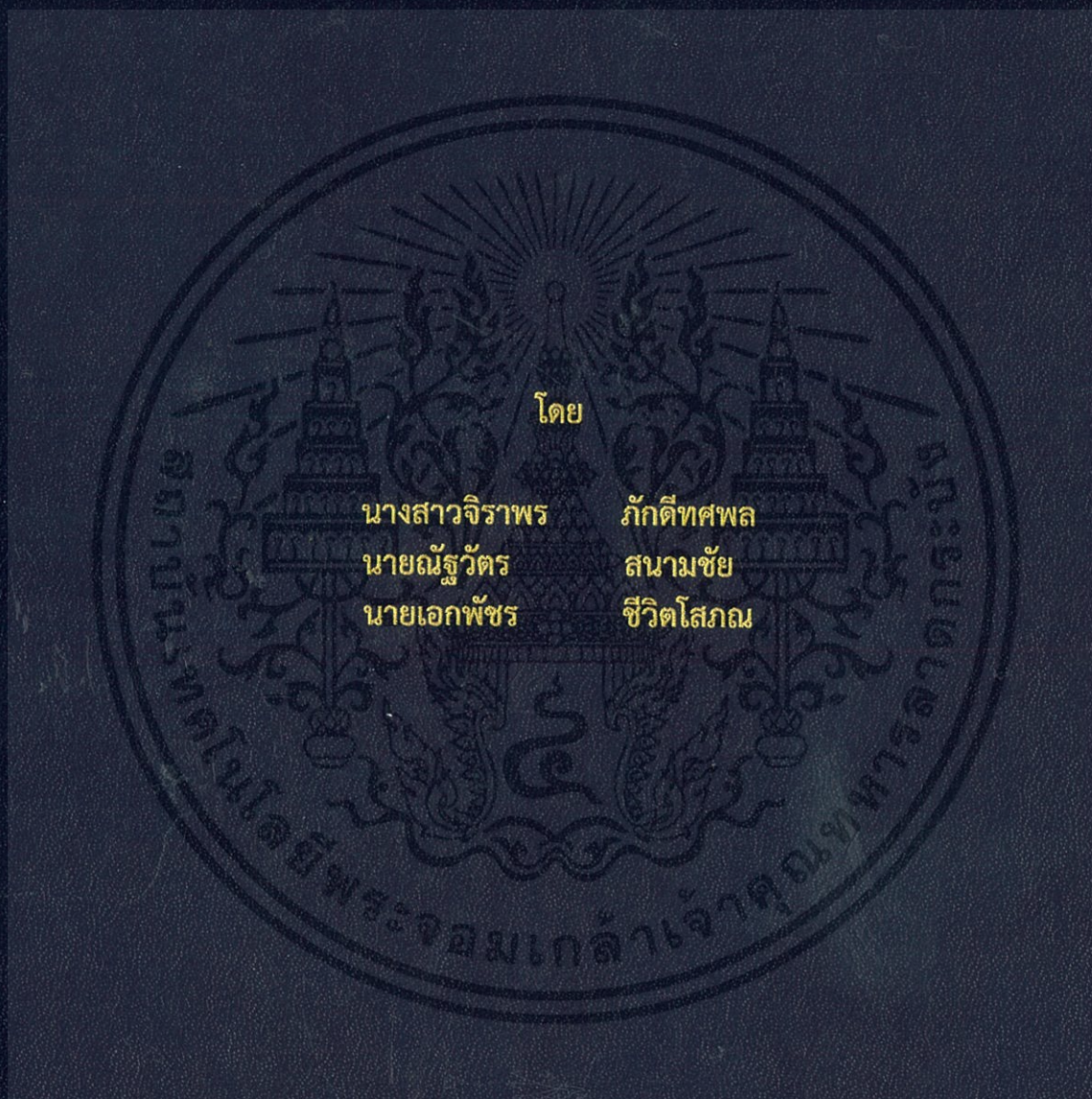


ปลั๊กไฟอัจฉริยะ
SMART PLUG



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ปลั๊กไฟอัจฉริยะ
SMART PLUG



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART PLUG



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

ปลั๊กไฟอัจฉริยะ

SMART PLUG



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ

รศ.ดร.สมชาติ จิรวินิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ปลั๊กไฟอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจิราพร ภัคดีทศพล
2. นายณัฐวัตร สนามชัย
3. นายเอกพัชร ชีวติโสภณ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ มานพ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิริวิภากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลั๊กไฟอัจฉริยะ

นางสาว จิราพร ภักดีทศพล
นาย ณัฐวัตร สนามชัย
นาย เอกพัชร ชีวดีโสภณ
ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สมชาติ จิรวินิจการ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน โดยใช้ปลั๊กไฟอัจฉริยะในการเก็บและวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของครัวเรือน โดยจะนำระบบเครือข่ายไร้สายมาประยุกต์ใช้กับปลั๊กไฟอัจฉริยะ เพื่อความสะดวกในการส่งข้อมูลจากปลั๊กไฟอัจฉริยะมาแสดงผลยังผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพโดยจะแบ่งระบบการทำงานเป็น 3 ส่วน โดยหลักการการทำงานทั้งหมดนั้นจะเริ่มต้นจากการรับค่าข้อมูลทางไฟฟ้าต่างๆที่ต้องการจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้ปลั๊กไฟอัจฉริยะ ในส่วนนี้อุปกรณ์ปลายทางคือ ปลั๊กไฟอัจฉริยะ(End Device Node) ชั้นที่สองคือส่วนของกำลังที่จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าและจ่ายไฟให้กับโมดูลอาคูโนและชิปคำนวณพลังงาน ในส่วนนี้คือส่วนของกำลัง (Power Node) ชั้นที่สามคือการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆ โดยใช้โมดูลอาคูโนและส่งคำสั่งไปยังรีเลย์ในการสั่งเปิด-ปิดปลั๊กไฟอัจฉริยะ ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนศูนย์การควบคุม(Coordinator Node) ชั้นที่สามคือการแสดงข้อมูลที่เก็บค่าได้ขึ้นยังหน้าจอแอลซีดีบนปลั๊กไฟอัจฉริยะและส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายไปแสดงยังหน้าจอคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน ซึ่งในส่วนนี้คือ ส่วนแสดงข้อมูล(Displayed Node) เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าของครัวเรือนต่อไป

SMART PLUG

Jiraporn Pakdeetossaphol

Nutthawat Sanamchai

Ekkapach Cheevitsopon

Asst.Prof. Dr. Nirudh Jirasuwankul Supervisor

Assoc.Prof. Dr. Chalermchat Manop Supervisor

Assoc.Prof. Dr. Somchat Jiriwibhakorn Supervisor

Year 2013

ABSTRACT

This paper presents the study of Energy management in home by using smart plug in collecting and controlling energy consumption in home for management in home to be more effective. In the paper we apply Wireless technology with smart plug. Smart plug enable two-way communication between the smart plug and the central system and also be able to reduce operating costs. So, consumers can monitor their energy consumption in real-time, more accurately and more efficiently. This paper is divided into 3 parts which are End Device Node (Smart plug), Power Node, Coordinator Node and Displayed Node. The process is starting with collecting then analyzing the data from smart plug which is End Device Node. Next Switching Power supply transforms voltage and power into Arduino module and microchip which is Power Node. Next smart plug control the power consumption of activities in home by using Arduino module and transmit directive to the relay to open - close smart plug which is Coordinator Node. Lastly, Database display on LCD Smart plug and transmit via wireless communication system on computer display which is Display Node. Therefore, the consumer can monitor and control their energy usage to reduce energy bill and to improve home returns with better management.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความมุ่งมั่น อาศัยความร่วมมือกันของกลุ่มเป็นอย่างดีและได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านที่ให้ความรู้และเทคนิคต่างๆเกี่ยวกับการวิจัยเรื่องปลั๊กไฟอัจฉริยะ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชาติ มานพ และรองศาสตราจารย์ ดร. สมชาติ จิรวิภากร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการโครงการ	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	4
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	4
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	7
2.1.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)	7
2.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power)	8
2.1.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power)	8
2.1.4 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)	9
2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)	10
2.3 พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy)	11
2.4 หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)	12
2.4.1 หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer: PT)	12
2.4.2 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer: CT)	14
2.5 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand)	16
2.6 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand-Side Management (DSM))	18
2.6.1 การจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency)	18
2.6.2 การบริหารการใช้โหลด (Load management)	19
2.7 Arduino	22
2.7.1 Arduino Board	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2 Arduino IDE	22
2.7.3 Arduino Uno R3	23
2.8 รูปแบบในการส่งข้อมูล (Transmission Mode)	25
2.8.1 ลักษณะของรูปแบบในการส่งข้อมูล	25
2.8.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการส่งผ่าน ข้อมูลแบบอะซิงโครนัส และแบบซิงโครนัส	31
2.9 UART	32
2.10 การรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย	34
2.10.1 ชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	34
2.10.2 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย	39
2.11 Bluetooth	45
2.11.1 ที่มาของ Bluetooth	45
2.11.2 ความหมายของ Bluetooth	46
2.11.3 ระบบการทำงานของ Bluetooth	47
2.11.4 ประโยชน์ของ Bluetooth	49
2.11.5 Bluetooth ในอนาคต	51
บทที่ 3 การออกแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ	52
3.1 การเลือกรูปแบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	52
3.2 การออกแบบวงจรเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	52
3.3 การเลือกระบบการรับส่งข้อมูลระหว่าง ปลั๊กไฟอัจฉริยะกับอุปกรณ์ที่ใช้รับข้อมูล	54
3.4 โครงสร้างของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	55
3.4.1 ชิพคำนวณพลังงาน	55
3.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	57
3.4.3 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	58
3.4.4 อุปกรณ์ป้องกัน	59
3.4.5 ขนาดสายไฟของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	59
3.4.6 ระบบรับส่งข้อมูลไร้สาย	60
3.4.7 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุม	60
3.4.8 การลดทอนกระแสและแรงดันให้เหมาะสม	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 หลักการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	61
บทที่ 4 ผลการทดลอง	65
4.1 บทนำ	65
4.2 ผลทดลองการส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Uno R3 กับโทรศัพท์มือถือ	65
4.3 การทดลองวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ	67
4.3.1 กรณีไม่มีโหลด (No Load)	67
4.3.2 กรณีโหลดไฟ1หลอด	68
4.3.3 กรณีโหลดไฟ2หลอด	71
4.4 การทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ	75
4.4.1 กรณีโหลดไฟ1หลอด	75
4.4.2 กรณีโหลดไฟ2หลอด	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ผลการดำเนินงานและแนวทางการพัฒนา	76
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.1.1 การทดลองวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ	76
5.1.2 การทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ	76
5.2 สรุปผลการดำเนินงาน	76
5.3 วิจัยรณผลการทดลอง	77
5.4 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ	77
5.5 แนวทางการพัฒนา	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	82
ภาคผนวก ข MCP39F511	87
ภาคผนวก ค Arduino Uno R3	96
ภาคผนวก ง โปรแกรม Arduino สำหรับรับข้อมูล แปลงข้อมูลและส่งข้อมูล	105
ประวัติผู้เขียน	109

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ(Smart Plug)	2
2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของวงจร R-L	10
2.2 โครงสร้างของหม้อแปลงแรงดัน	12
2.3 การนำหม้อแปลงแรงดันไปใช้งาน	14
2.4 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส	10
2.5 ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum demand) ภายในช่วงเวลาต่าง ๆ	17
2.6 กราฟ Peak Clipping	19
2.7 กราฟ Valley Filling	20
2.8 กราฟ Load Shifting	20
2.9 กราฟ Strategis Load Growth	21
2.10 กราฟ Strategic Conservation	21
2.11 กราฟ Flexible Load Shape	22
2.12 Arduino Uno R3	23
2.13 การส่งข้อมูลแบบขนาน	25
2.14 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	26
2.15 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	27
2.16 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่ได้ใช้พาร์ตีตี้	28
2.17 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ใช้พาร์ตีตี้	28
2.18 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	29
2.19 ตัวอย่างอักขระซิง (SYN character)	29
2.20 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 1 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส	30
2.21 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส	30
2.22 แสดงการตัดแฉวของบิตออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8 บิต	30
2.23 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส	31
2.24 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	31
2.25 รูปแบบการสื่อสารแบบ Universal Asynchronous Receiver Transmitter	32
2.26 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ UART	33
2.27 ภาพสัญญาณไมโครเวฟ (Microwave)	35
2.28 ภาพดาวเทียม (Satellite)	36
2.29 ภาพคลื่นวิทยุ (Radio)	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 ภาพอินฟราเรด (Infrared)	38
2.31 ตราสัญลักษณ์แสดงการรับรองมาตรฐานของ WiFi	42
2.32 บริษัทที่ร่วมก่อตั้ง Bluetooth	46
2.33 สัญลักษณ์ของ Bluetooth	47
2.34 ระบบการทำงานของ Bluetooth	48
2.35 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโทรศัพท์มือถือโดยใช้ Bluetooth	49
2.36 การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือกับชุดหูฟัง(Smalltalk)โดยใช้ Bluetooth	50
2.37 หูฟังบลูทูธรุ่นใหม่ ๆ จากซัมซุง	51
3.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์	54
3.2 เต้ารับคู่ มีกราวด์	54
3.3 โครงสร้างของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	55
3.4 โครงสร้าง MICROCHIP รุ่น MCP39F511	56
3.5 วงจรของ Arduino UNO R3	58
3.6 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซึ่งขนาด 5 V 3 A	58
3.7 แบบวงจร Opto-Isolated 2 Channel Relay Board	59
3.8 ลักษณะคำสั่งส่วนเซ็ทอัพและส่วนการทำงานแบบลูป	60
3.9 ลักษณะของหม้อแปลงกระแสรุ่น TZ2L9	61
3.10 แผนภาพสถานะหลักการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	62
3.11 ค่าเริ่มต้นของระบบ(Initialize)	63
3.12 Flowchart การทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ	64
4.1 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ โทรศัพท์มือถือ	66
4.2 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE	66
4.3 วงจรการทดลองกรณีไม่มีโหลด	67
4.4 วงจรการทดลองกรณีโหลดไฟ1หลอด	68
4.5 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ1หลอด	70
4.6 วงจรการทดลองกรณีโหลดไฟ2หลอด	72
4.7 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ2หลอด	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติปลั๊กธรรมดาและปลั๊กอัจฉริยะ	2
1.2 แผนการดำเนินงาน	5
2.1 เปรียบเทียบบัลลาสต์ชนิดต่างๆ	18
2.2 ข้อกำหนดทางเทคนิคของ Arduino Uno R3	24
2.3 ตารางแสดงเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่สำคัญในเครือข่ายไร้สาย	45
3.1 แบบและพิกัดของเต้าไฟฟ้า	53
3.2 แสดงการเชื่อมต่อของ MCP39F511	57
3.3 ตารางการทดสอบของหม้อแปลงกระแสรุ่น TZ2L9	61
4.1 เปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าที่โทรศัพท์มือถือกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ Serial Monitor	65
4.2 ผลการทดลองกรณีไม่มีโหลด	67
4.3 ผลการทดลองกรณีโหลดไฟ1หลอด	68
4.4 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ1หลอด	69
4.5 ผลการทดลองกรณีโหลดไฟ2หลอด	71
4.6 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ1หลอด	72
4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ1หลอด	75
4.8 ค่าพลังงานไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ2หลอด	75

บทที่ 1

บทนำ

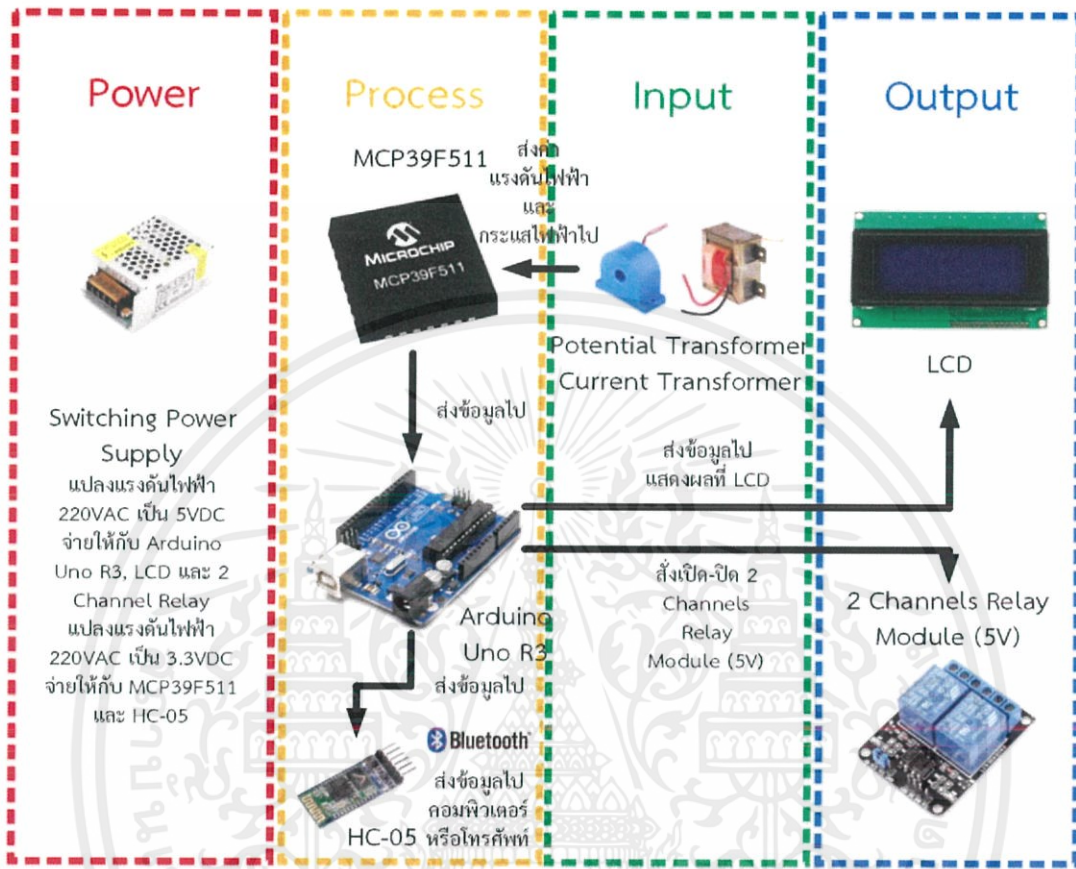
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ผลิตได้ไม่พอสอดคล้องความต้องการ และมีราคาสูงขึ้น [1] ความต้องการไฟฟ้าที่สูงขึ้นเรื่อยๆนี้เองทำให้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนตระหนักถึงคุณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่อย่างจำกัดมากขึ้น ทำให้ต้องมีการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า [2] เพื่อเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ใช้การบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการหาพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก (Alternative Energy) ที่นำมาใช้แทนพลังงานหลักซึ่งก็คือน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติ สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไปเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง (Nonrenewable Energy) ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ เป็นต้น [3] และอีกประเภทหนึ่งคือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) พลังงานทดแทนที่ได้จากแหล่งที่สามารถหมุนเวียนมาใช้โดยไม่วันหมด มักเป็นพลังงานสะอาด และไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานมากขึ้น โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) [4] ที่เป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และสื่อสารมาบริหารจัดการ ควบคุมการผลิต ส่ง และจ่ายพลังงานไฟฟ้า อาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smartgrid Building) [4] ที่ได้รับการออกแบบโดยใช้เทคนิคการก่อสร้างที่มีความก้าวหน้า มีการติดตั้งอุปกรณ์ ที่รับรู้ข้อมูลต่างๆของอาคาร โดยข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลกลาง บ้านอัจฉริยะ (Smart home) [5] การใช้เทคโนโลยีมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้าน เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย มีระบบการจัดการพลังงานควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งรวมถึงปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) [6]

ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) นี้สามารถรับ-ส่งข้อมูลทางไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้า (P) ,พลังงานไฟฟ้า (E) ,แรงดันไฟฟ้า (V) ,กระแสไฟฟ้า (I) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF.) จากเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางหน้าจอ LCD แบบ Real-Time ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย เช่น WIFI หรือ ZigBee โดยมีระบบการทำงาน ดังรูปที่ 1.1 และยังสามารถกำหนดค่าพลังงานไฟฟ้า คือเมื่อโหลดทางไฟฟ้าใช้พลังงานถึงค่าที่กำหนดให้ ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) จะทำการปิดการใช้งานทันที เป็นการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทางไฟฟ้า ถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าเกินหรือรั่ววงจรเกิดขึ้น ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) ก็จะปิดการใช้งานทันทีเหมือนกัน โดยต่อไปในอนาคตอาจจะมีการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการทำงานให้มีฟังก์ชันการทำงาน ความสะดวกสบายและประโยชน์ที่มากยิ่งขึ้น เพื่อนำไปใช้งานจริงในสถานประกอบการโรงงานต่างๆ



รูปที่ 1.1 ระบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ(Smart Plug)

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติปลั๊กธรรมดาและปลั๊กอัจฉริยะ

ความสามารถในการทำงาน	ปลั๊กธรรมดา	ปลั๊กอัจฉริยะ
จ่ายไฟให้กับโหลดทางไฟฟ้า	สามารถทำได้	สามารถทำได้
วัดค่าทางไฟฟ้า	ไม่สามารถทำได้	สามารถทำได้
ส่งข้อมูลการใช้พลังงาน	ไม่สามารถทำได้	สามารถทำได้
ความสามารถในการสื่อสารกับศูนย์ควบคุมแบบไร้สาย	ไม่สามารถทำได้	สามารถทำได้
ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า	ไม่สามารถทำได้	สามารถทำได้
ป้องกันเมื่อเวลาเกิดกระแสไฟฟ้าเกินหรือรั่ววงจร	ไม่สามารถทำได้	สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้ได้นำเสนอถึงการทำงานของปลั๊กอัจฉริยะ(Smart Plug) ที่สามารถแสดงค่าที่วัดได้ทางไฟฟ้าต่างๆ ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า(P) ,พลังงานไฟฟ้า(E) ,แรงดันไฟฟ้า(V) ,กระแสไฟฟ้า(I) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.) ซึ่งระบบของปลั๊กอัจฉริยะ(Smart Plug) ดังกล่าวนี้นำไปประยุกต์ใช้กับโหนดทางไฟฟ้าภายในครัวเรือนได้ทุกชนิด โดยสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาการทำงานของโหนดทางไฟฟ้า และการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน เพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโหนดทางไฟฟ้า และนำข้อมูลการใช้งานที่วัดค่าได้ออกมาวางแผนประหยัดการใช้พลังงาน โดยดูจากการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในแต่ละกิจกรรม ซึ่งการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าถ้ามีการดำเนินการอย่างเหมาะสม และสม่ำเสมอจะมีผลดีทั้งต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในด้านการลดลงของค่าใช้จ่ายในการชำระค่าไฟฟ้า ส่วนผลดีต่อผู้ผลิตไฟฟ้าจะเป็นในด้านของการเลื่อนเวลาการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มในอนาคต รวมถึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการพยากรณ์กรค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการพลังงานและจัดทำแผนพัฒนาพลังงาน และยังช่วยให้ประเทศชาติ ลดการใช้พลังงาน ทำให้ประเทศชาติมีแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนมากยิ่งขึ้น และนอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังได้พัฒนาความสามารถในส่วนของการตัดกระแสไฟฟ้าเกินหรือลัดวงจรได้อย่างทันที เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับโหนดทางไฟฟ้า และยังช่วยลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินรวมทั้งเศรษฐกิจ ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ
2. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ
3. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าชนิดต่างๆ ภายในครัวเรือน
4. เพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าชนิดต่างๆ ภายในครัวเรือน
5. เพื่อทดลองการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านการสื่อสารไร้สาย

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและการจัดสร้างปลั๊กไฟอัจฉริยะแบบ 1 เฟสใช้กับ วงจรย่อยเต้ารับตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2001-56 โดยกำหนดขนาดภาระไว้ไม่เกิน 440 VA 1 วงจรต่อ 1 ปลั๊กอัจฉริยะ เพื่อแสดงข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านจอแสดงผล LCD บนปลั๊กไฟอัจฉริยะ และรับ-ส่งข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับควบคุมการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ ซึ่งปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ประกอบด้วยกำลังไฟฟ้า เฉลี่ย พลังงานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าชนิดต่างๆ ภายในครัวเรือน โดยอาศัย สวิตช์ตัด-ต่อวงจรที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงาน

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ
2. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้กับการวิจัย ตลอดจนการศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
3. ทดลองการรับ-ส่งข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากหม้อแปลงเครื่องมือวัด
4. ทดลองการรับ-ส่งข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ และระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอแสดงผล LCD
5. ออกแบบและจัดสร้างปลั๊กไฟอัจฉริยะ ประกอบด้วยส่วนวงจรกำลัง ส่วนวงจรการวัดและประมวลผลค่ากำลังไฟฟ้าแบบ 1 เฟส และส่วนวงจรควบคุม
6. ทดลองการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ
7. บันทึกผลการทดลองเพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน
8. วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลอง
9. จัดทำรูปเล่มปฏิญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงาน โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ สิงหาคม 2559 ถึง มีนาคม 2560 รวมเป็นเวลา 8 เดือน โดยมีแผนการดำเนินโครงการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ								
2. ศึกษาจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้กับโครงการ								
3. ศึกษาและทดลองการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์								
4. ศึกษาการสร้างเว็บไซต์เพื่อรับข้อมูลและสร้างเว็บไซต์								
5. ออกแบบและจัดสร้างปลั๊กไฟอัจฉริยะ								
6. ทดลองการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ								
7. บันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง								
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถบอกข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ประกอบด้วย ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย(P) , พลังงานไฟฟ้า(E) ,แรงดันไฟฟ้า(V) และกระแสไฟฟ้า(I) ของโหลดทางไฟฟ้าแต่ละชนิด
2. สามารถเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโหลดทางไฟฟ้าภายในครัวเรือนได้ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลการวิเคราะห์ และวางแผนการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน
3. สามารถควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน
4. สามารถพัฒนาต่อยอดทักษะการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ [7] มีกำลังไฟฟ้า 3 ชนิด (3 หน่วย) ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) หรือกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ เป็นเลขจำนวนจริง เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือพลังงานกล กำลังงานส่วนนี้เกิดจากกระแสไฟฟ้าใช้งาน (active current) สามารถคำนวณได้จาก

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad (2.1)$$

ในกรณีที่ วงจรไฟฟ้ามีโหลดเป็นตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว $\cos \theta = 1$ ทำให้ $P = V \times I$

วงจรไฟฟ้ามีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว $\cos \theta = 0$ ทำให้ $P = 0$

วงจรไฟฟ้ามีโหลดเป็นตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว $\cos \theta = 0$ ทำให้ $P = 0$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

θ คือ มุมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า เป็นมุมเดียวกับ θ ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน (Resistor) เพียงอย่างเดียว กระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าจะมีเฟสเดียวกัน ทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเท่ากับผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ส่วนวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เพียงอย่างเดียว กระแสไฟฟ้าจะล่าหลังแรงดันไฟฟ้า 90° สถานะนี้เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล่าหลัง (Lagging Power Factor) ทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเท่ากับศูนย์ และวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพียงอย่างเดียว กระแสไฟฟ้าจะล่าหน้าแรงดันไฟฟ้า 90° สถานะนี้เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล่าหน้า (Leading Power Factor) ทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเท่ากับศูนย์เช่นเดียวกับวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว

2.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่เอามาใช้ทำงานไม่ได้ เป็นจำนวนจินตภาพ (เป็นเลขจำนวนที่สมมติขึ้น) เป็นกำลังไฟฟ้าในรูปแบบของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าที่ไม่สามารถทำให้เกิดการทำงานได้โดยตรง แต่เป็นตัวกลางที่สามารถแปลงรูปแบบไปเป็นกำลังงานชนิดอื่นได้ โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ บัลลาสต์ ฯลฯ ต้องใช้กำลังรีแอกทีฟนี้สร้างสนามแม่เหล็ก ถ้าไม่มีสนามแม่เหล็กอุปกรณ์ดังกล่าวจะไม่สามารถทำงานได้ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟนี้จะเกิดขึ้นกับวงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุ ตัวอย่างเช่น วงจร R-L และ R-C เป็นกำลังที่สูญเสียในรูปแบบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า เป็นต้น สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = V \times I \times \sin \theta \quad (2.2)$$

เมื่อ Q คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ มีหน่วยเป็นวาร์ (Var)

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

θ คือ มุมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า เป็นมุมเดียวกับ θ ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

2.1.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) คือ กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าที่ปรากฏตามโวลท์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ เป็นกำลังงานที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเป็นผลจากการรวมกันทางเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ สามารถคำนวณได้จาก

$$S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ S คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็นวีเอหรือโวลต์-แอมป์ (VA)

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

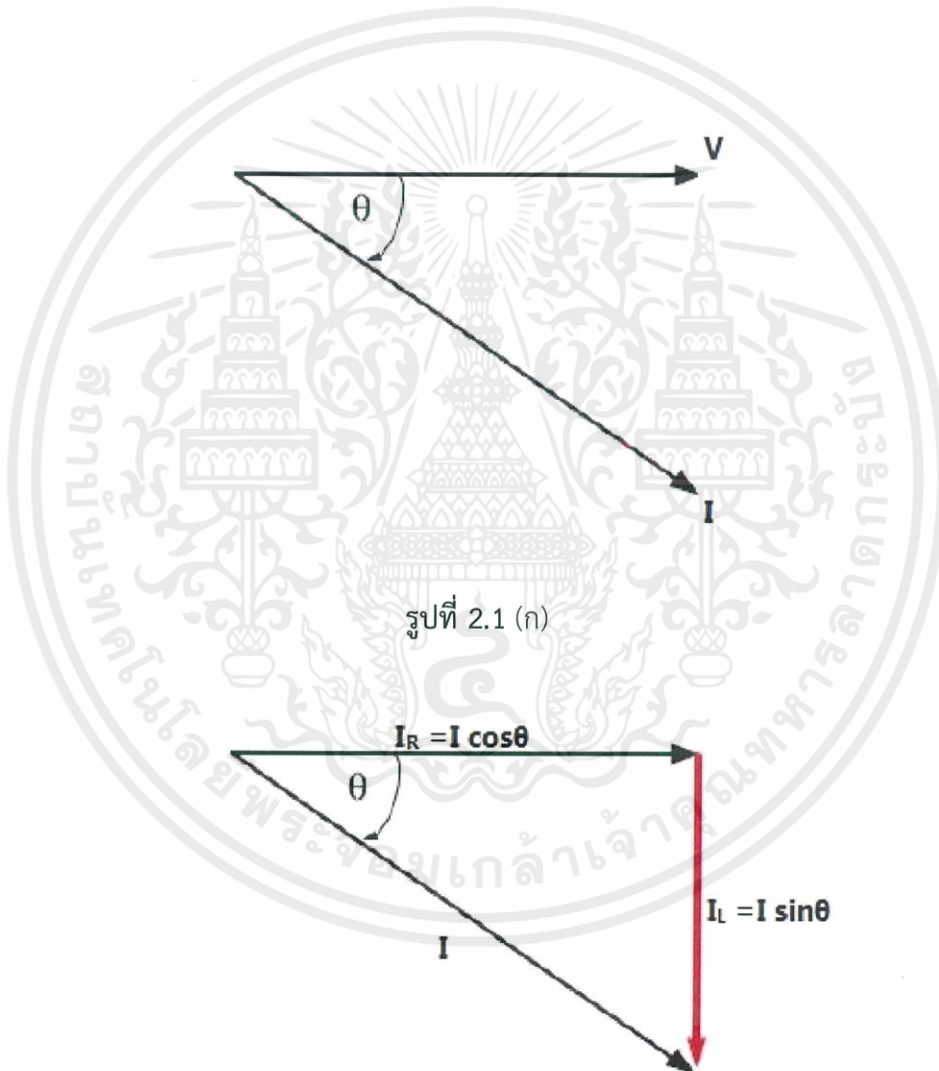
I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

P คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

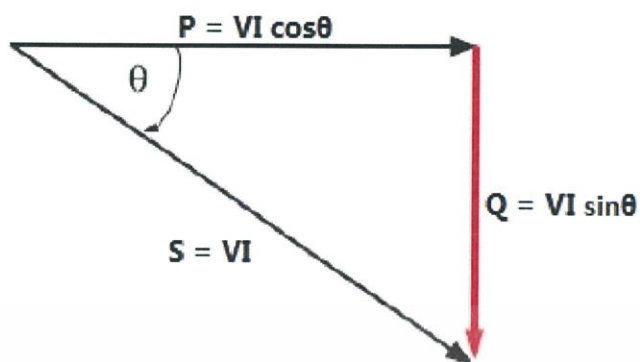
Q คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ มีหน่วยเป็นวาร์ (Var)

2.1.4 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

กรณีที่หนึ่ง วงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้ามีเฟสเดียวกัน จะมีกำลังไฟฟ้าเพียงค่าเดียว คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กรณีที่สอง วงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าล่าหลังหรือล้ำหน้าแรงดันไฟฟ้าเป็นมุม 90° จะมีกำลังไฟฟ้าเพียงค่าเดียว คือ กำลังไฟฟารีแอกทีฟ กรณีที่สาม วงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าล่าหลังหรือล้ำหน้าแรงดันไฟฟ้าเป็นมุมไม่ถึง 90° จะมีกำลังไฟฟ้าสามค่า คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟารีแอกทีฟ และกำลังไฟฟ้าปรากฏ ซึ่งสามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 (ข)



รูปที่ 2.1 (ค)

รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของวงจร R-L

- (ก) เฟสเซอร์ไดอะแกรมกระแสไฟฟ้าล้าหลังแรงดันไฟฟ้า (ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมกระแสไฟฟ้า
(ค) สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) หรือกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt: W) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยเป็นวีเอหรือโวลต์-แอมป์ (VA) เป็นค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ต่อกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้กับวงจรไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จาก

$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S} \quad (2.4)$$

เมื่อ PF คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

θ คือ มุมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า เป็นมุมเดียวกับ θ ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

P คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

S คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็นวีเอหรือโวลต์-แอมป์ (VA)

วงจรไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุจะเกิดกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็นวาร์ (Var) เป็นกำลังที่สูญเสียในรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

ทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ส่งผลให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่า 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy)

พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง (Wh) หรือยูนิท (1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) เท่ากับ 1 ยูนิท) สามารถวัดได้จากวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ หรือกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ (Kilowatt-Hour Meter) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน 1,000 วัตต์-ชั่วโมง = 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง = 1 ยูนิท คำนวณได้จาก

$$W = P \times t = E \times I \times t \quad (2.5)$$

เมื่อ W คือ พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง (Wh)

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

t คือ เวลา มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h)

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกนำมาใช้งานในชีวิตประจำวัน เราต้องซื้อมาจากหน่วยงานที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกจำหน่าย เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าเหล่านี้มิได้ถูกคิดออกมาเป็นจูล (J) แต่จะคิดออกมาเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt-hour, kWh) ไม่ได้จัดเป็นหน่วย SI แต่มีความสัมพันธ์กับหน่วยระบบ SI โดยคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์ (kW) คิดในเวลาเป็นชั่วโมง (h) เขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$W(kWh) = P(kW) \times t(h) \quad (2.6)$$

เมื่อ W คือ พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

t คือ เวลา มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h)

ตัวอย่าง เตารีดขนาด 1,000 วัตต์ ใช้รีดผ้าเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะใช้พลังงานไฟฟ้าไปเท่าไร

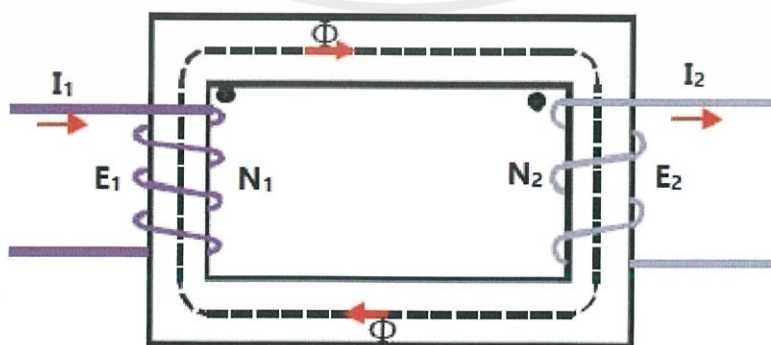
วิธีทำ	สูตร	$W = P \times t$
	เมื่อ	$W = ?$
		$P = 1,000 \text{ W} = 1\text{kW}$
		$t = 4 \text{ h}$
	แทนค่า	$W = 1,000 \text{ W} \times 4 \text{ h} = 4\text{kWh}$
		\therefore เตารีดใช้พลังงานไฟฟ้าไป = 4kWh

2.4 หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)

ในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าปริมาณสูง เครื่องมือวัดไม่สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้โดยตรง เนื่องจากย่านการวัดของเครื่องมือวัดมีขอบเขตจำกัด ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับเครื่องมือวัด เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับย่านการวัดของเครื่องมือวัดเสียก่อน อุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่า หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer) ซึ่งช่วยป้องกันความเสียหายแก่เครื่องมือวัดและป้องกันความอันตรายแก่ผู้ใช้งาน เครื่องมือวัด สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer: PT) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับโวลต์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิให้เหมาะสม เมื่อแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดสูงกว่าย่านการวัดของเครื่องมือวัด

2.4.1.1 โครงสร้างของหม้อแปลงแรงดัน ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กที่ทำมาจากแผ่นเหล็กฉาบด้วยฉนวนไฟฟ้าอัดซ้อนกัน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหม้อแปลงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงแรงดัน จากรูปที่ 2.1 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ขดลวดปฐมภูมิ จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) เปลี่ยนแปลงตามเวลา และเคลื่อนที่ตัดขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิได้ดังสมการ

$$E_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}, \frac{d\Phi}{dt} = \frac{E_1}{N_1}$$

$$E_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}, \frac{d\Phi}{dt} = \frac{E_2}{N_2}$$

$$\therefore \frac{d\Phi}{dt} = \frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2}$$

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\therefore a_e = E_1/E_2 = N_1/N_2 \quad (2.7)$$

เมื่อ E_1 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

E_2 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

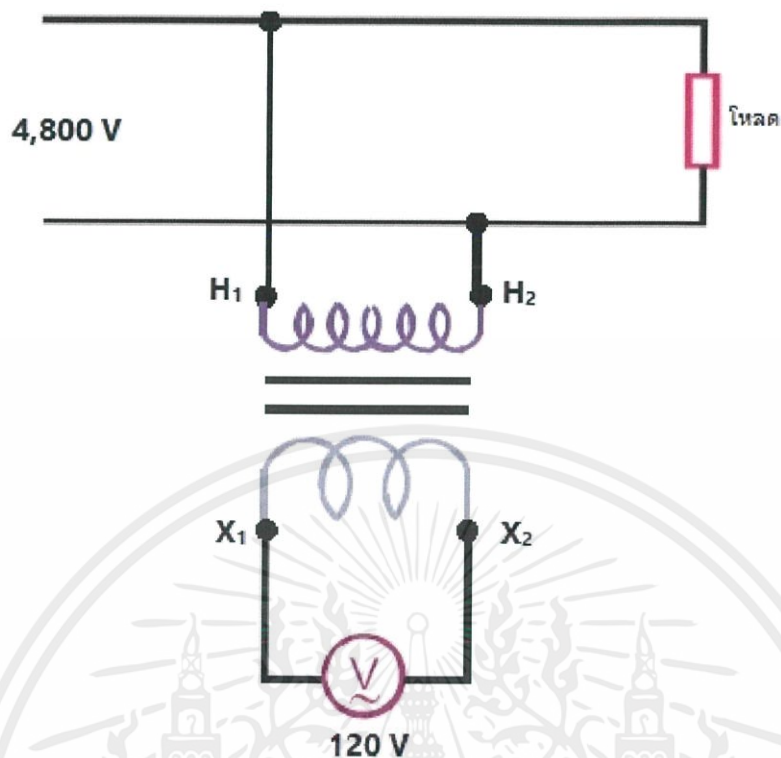
N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นรอบ

N_2 คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นรอบ

a_e คือ อัตราส่วน (Ratio) ของหม้อแปลงแรงดัน

2.4.1.3 การนำหม้อแปลงแรงดันไปใช้งาน หม้อแปลงแรงดันสามารถนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมือวัด ตัวอย่างเช่น ใช้ร่วมกับโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโพลต์มีขนาด 4,800 V แต่โวลต์มิเตอร์มีย่านการวัดของเครื่องมือวัดสูงสุด 120 V ดังนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลงแรงดันประกอบเพื่อให้สามารถใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโพลต์ได้ โดยแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิมิขนาด 4,800 V และแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิมิขนาด 120 V ดังนั้นอัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันมีค่า $E_1/E_2 = 4,800 \text{ V}/120 \text{ V} = 40/1$ หรือถ้าต้องการทราบแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโพลต์ก็สามารถหาได้โดยนำแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากโวลต์มิเตอร์คูณอัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันมีค่า $120 \text{ V} \times 40 = 4,800 \text{ V}$

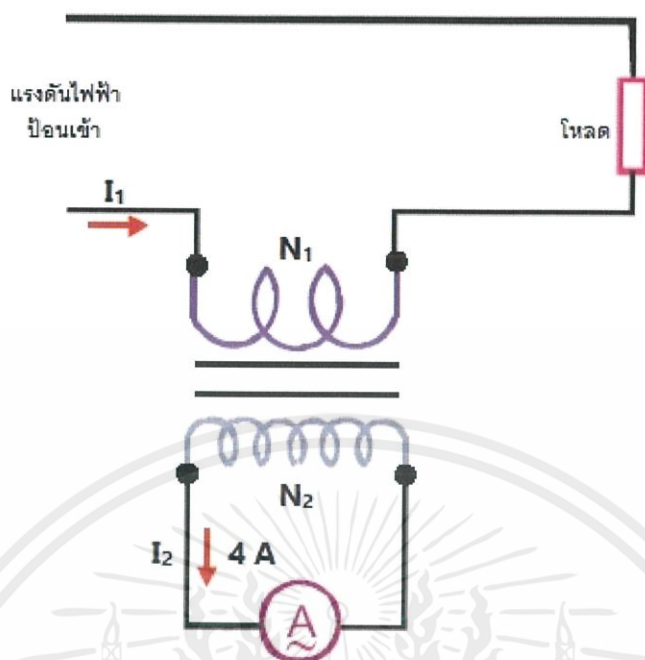
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การนำหม้อแปลงแรงดันไปใช้งาน

2.4.2 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer: CT) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับแอมป์มิเตอร์ วัดคัมมิเตอร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิให้เหมาะสม เมื่อกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดสูงกว่าย่านการวัดของเครื่องมือวัด

2.4.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิจำนวนรอบน้อยต่ออนุกรมกับโหลด และขดลวดทุติยภูมิจำนวนรอบมาก



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส

2.4.2.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส จากรูปที่ 2.2 เมื่อขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับโหลด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวดปฐมภูมิ และเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดทุติยภูมิ จึงทำให้เข็มของแอมป์มิเตอร์เกิดการป่ายเบน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิได้ดังสมการ

$$a_i = I_1/I_2 = N_2/N_1 \quad (2.8)$$

เมื่อ I_1 คือ กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

I_2 คือ กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นรอบ

N_2 คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นรอบ

a_i คือ อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

2.4.2.3 การนำหม้อแปลงกระแสไปใช้งาน หม้อแปลงกระแสสามารถนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมือวัด ตัวอย่างเช่น ใช้ร่วมกับแอมป์มิเตอร์ ดังรูปที่ 2.3 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแอมป์มิเตอร์มีค่าเท่ากับ 4 A สมมติว่าเลือกอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสมีค่าเท่ากับ 100 : 5 กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 100 : 5 หรือ 20 เท่าของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ นั่นคือ กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิมีค่า $20 \times 4 \text{ A} = 80 \text{ A}$

2.5 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand)

ดีมานด์ (Demand) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของโหลดในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ หรือ เมกกะวัตต์ เช่นกัน แต่มีความหมายต่างจากคำว่าโหลด เนื่องจากโหลดนั้นจะหมายถึงค่าชั่วขณะที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เมื่อเขียนเป็นกราฟมักจะไม่มีช่วงที่ราบเรียบเลย ดังนั้นจากนิยามของคำว่า ดีมานด์ (Demand) สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

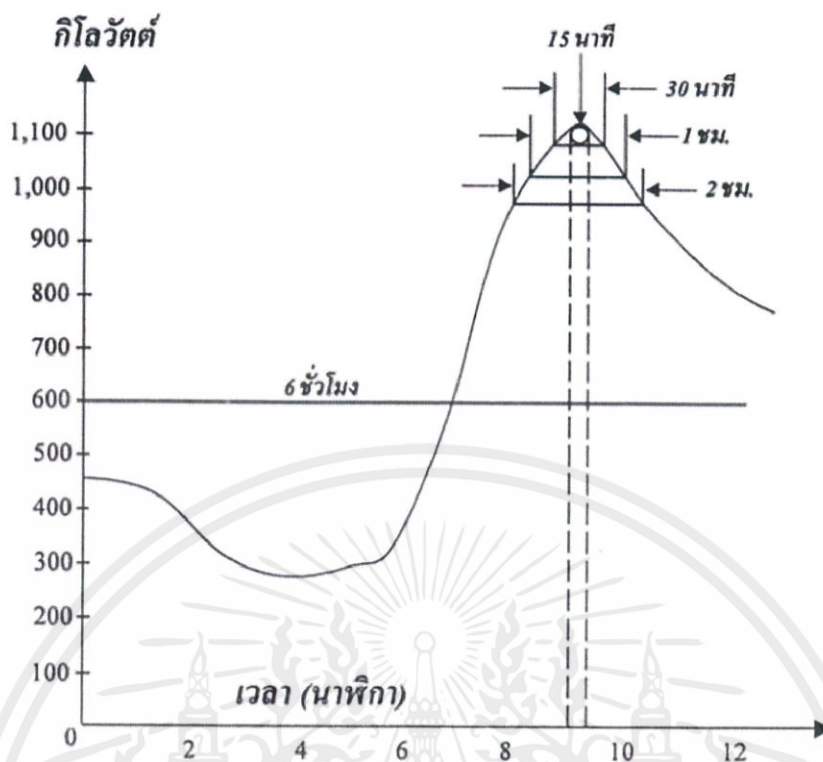
$$\text{ดีมานด์ (Demand)} = \frac{\text{พลังงานในหนึ่งคาบ (Kw - hr)}}{\text{เวลาในหนึ่งคาบ (hr)}} \quad (2.9)$$

จะเห็นได้ว่าสูตรในการหาดีมานด์นั้นเหมือนกับการหาโหลดเฉลี่ย ต่างกันตรงที่คาบเวลาในการหาดีมานด์นั้นมักเป็นระยะเวลาสั้น ๆ

ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum demand) [8] จึงเป็นการวัดค่าเฉลี่ยของโหลดไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในเวลาที่กำหนดให้เช่น ภายในเวลา 15 นาที 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง เป็นต้น

พิจารณา รูปที่ 2.5 จะเห็นว่า

- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 15 นาที (15 - minute demand) มีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลวัตต์ เกิดขึ้นช่วงเวลา 8.45 – 9.00 น.
- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 30 นาที (30 - minute demand) มีค่าเท่ากับ 960 กิโลวัตต์ เกิดขึ้นช่วงเวลา 8.42 – 9.12 น.
- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 1 ชั่วโมง (1 - hr demand) มีค่าเท่ากับ 930 กิโลวัตต์ เกิดขึ้นช่วงเวลา 8.30 – 9.30 น.
- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 2 ชั่วโมง (2 - hr demand) มีค่าเท่ากับ 870 กิโลวัตต์ เกิดขึ้นช่วงเวลา 8.00 – 10.00 น.



รูปที่ 2.5 ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum demand) ภายในช่วงเวลาต่างๆ

ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) นี้ได้จากการอ่านค่าของ “ดีมานต์มิเตอร์” หรือจากการวิเคราะห์จากกราฟของโหลด (Load Curve) สาเหตุที่ต้องมีการหาค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อนำไปกำหนดขนาดของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทนโหลดเกินพิกัด (Over Load) ในระยะเวลาสั้น ๆ ได้สูงมากเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในช่วงเวลาของความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ซึ่งเป็นเวลาสั้น ๆ (15 หรือ 30 นาที) อุปกรณ์พวกนี้จึงสามารถทำงานในลักษณะโหลดเกินพิกัด (Over Load) ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงยึดถือค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดนี้ เป็นตัวกำหนดในการพิจารณาเลือกพิกัดขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ แทนที่จะใช้ค่าโหลดสูงสุดในระบบ (Maximum Load) มาเป็นตัวกำหนด เพราะจะทำให้ขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ใหญ่เกินไปส่งผลให้ราคาลงทุนสูง โดยทั่วไปการไฟฟ้าคิดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (ค่าสูงสุดของดีมานต์) เมื่อโหลดสูงสุดเกิดขึ้นติดต่อกันเป็นเวลานานมากกว่า 15 นาที

2.6 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand-Side Management (DSM))

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่จัดการเพื่อสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด ลดความต้องการใช้ไฟฟ้า ตลอดจนการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ [9] ซึ่งวิธีการที่ดำเนินการจัดการมี 2 รูปแบบคือ 1.การจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency) และ 2.การบริหารการใช้พลังงาน (Load management)

โดยการวัดผลประสิทธิภาพการนาการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า มี 2 ธรรมเนียมชี้วัดคือ ค่าพลังงานไฟฟ้า(Energy charge) และ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge)

2.6.1 การจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency)

2.6.1.1 ระบบแสง (Lighting System)

-บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประกอบกันเป็นวงจร เพื่อทำงานในย่านความถี่สูง ดังนั้นชิ้นส่วนจะมีขนาดเบาและเล็กเมื่อเทียบตัวเหนี่ยวนาแกนเหล็กและหม้อแปลง จึงทำให้ลดการสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ถึง 60 % จากตารางที่ 2.1 จะเป็นการเปรียบเทียบค่าต่างๆของบัลลาสต์แต่ละชนิด

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบบัลลาสต์ชนิดต่างๆ [10]

	เหล็กธรรมดา	เหล็ก ชนิดการสูญเสียต่ำ	อิเล็กทรอนิกส์
หลอดไฟที่ใช้	36 วัตต์	36 วัตต์	36 วัตต์
กำลังไฟฟ้าที่หลอด	36 วัตต์	36 วัตต์	32 วัตต์
กำลังสูญเสียที่บัลลาสต์	10 วัตต์	6 วัตต์	4 วัตต์
กำลังไฟฟ้างจรวม	46 วัตต์	42 วัตต์	36 วัตต์
ดัชนีเปรียบเทียบความ สูญเสีย	1.0	0.91	0.78

2.6.1.2 ระบบปรับอากาศ (Air Condition System)

-อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

(Variable Speed Drive :VSD)

อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถปรับความถี่ไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนรอบความเร็วของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของโหลด โดยอาศัยหลักการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนา ทำให้ความเร็วรอบมอเตอร์เปลี่ยนแปลง ไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

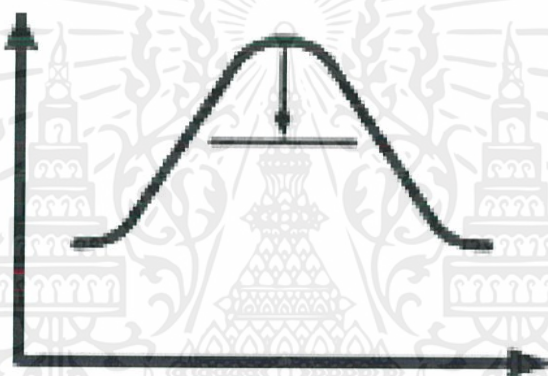
$$\text{Speed (Synchronous)} = \frac{120f}{p} \quad (2.10)$$

เมื่อ f คือ ความถี่แรงดันไฟฟ้าเข้ามอเตอร์

p คือ จำนวนขั้วมอเตอร์เหนี่ยวนำ

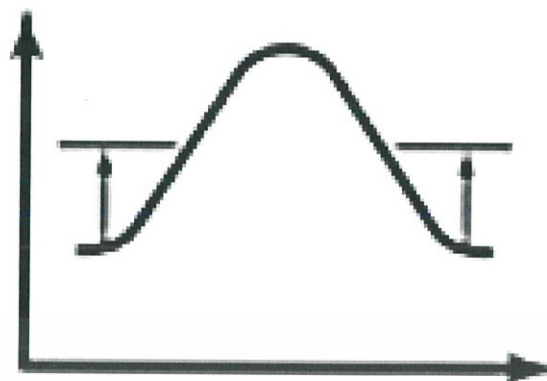
2.6.2 การบริหารการใช้โหลด (Load management)

2.6.2.1 Peak Clipping คือ วิธีการจัดการให้ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลดลง (Reduction of Peak Load) วิธีการทั่วไป คือ การควบคุมเวลาและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง โดยควบคุมที่อุปกรณ์



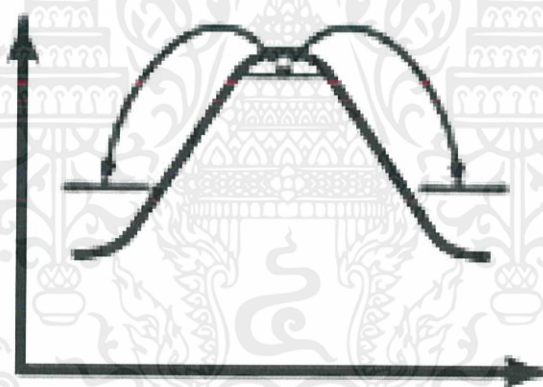
รูปที่ 2.6 กราฟ Peak Clipping

2.6.2.2 Valley Filling คือ การเพิ่มความต้องการในช่วง off-peak ถ้าหากต้นทุนหน่วยสุดท้าย (Long-run marginal cost) ต่ำกว่าราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย การใช้วิธีการเพิ่มปริมาณจำหน่าย ก็จะทำให้ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำลงได้ วิธีการที่นิยมใช้สำหรับเป้าหมายนี้ก็คือ การใช้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน (Energy Storage)



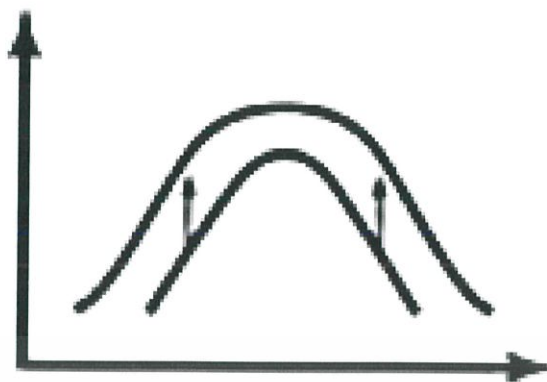
รูปที่ 2.7 กราฟ Valley Filling

2.6.2.3 Load Shifting คือ load Management อีกวิธีหนึ่งที่เลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง peak มาสู่ off-peak ในช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานภายใน 1 วัน เช่นการใช้ระบบกักเก็บพลังงาน storage water heating หรือ เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้าโดยผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.8 กราฟ Load Shifting

2.6.2.4 Strategis Load Growth คือ การเพิ่ม energy sale นอกเหนือจากวิธี Valley Filling ทำได้โดยเพิ่ม หรือส่งเสริมการใช้ไฟฟ้าแทนเชื้อเพลิงอื่น



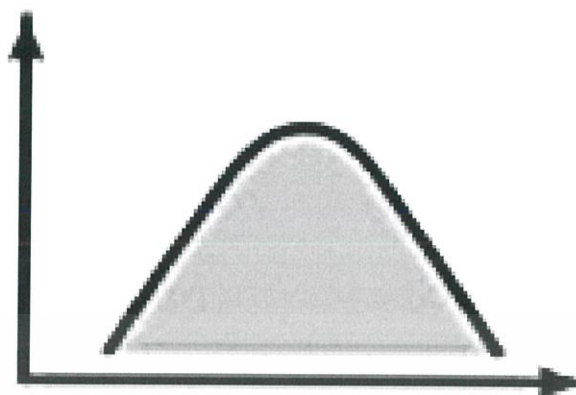
รูปที่ 2.9 กราฟ Strategis Load Growth

2.6.2.5 Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่งช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลา การส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง ดังที่ กฟผ. ดำเนินการเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กลยุทธ์นี้



รูปที่ 2.10 กราฟ Strategic Conservation

2.6.2.6 Flexible Load Shape or Flexible Reliability คือ การปรับเปลี่ยน load-shape ไปตามต้องการได้โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายอมรับความเชื่อถือได้ของระบบที่ต้องเปลี่ยนไปโดยแลกกับสิ่งจูงใจ (incentive) เช่น การใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบงดจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ (Interruptible Rate) เป็นต้น



รูปที่ 2.11 กราฟ Flexible Load Shape

2.7 Arduino

Arduino [11] เป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware (Arduino Board) และ Software (Arduino IDE) สำหรับสร้างต้นแบบของโปรเจกต์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือระบบฝังตัว (Embedded System) โดย Arduino นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน จึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น อีกทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดและประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย

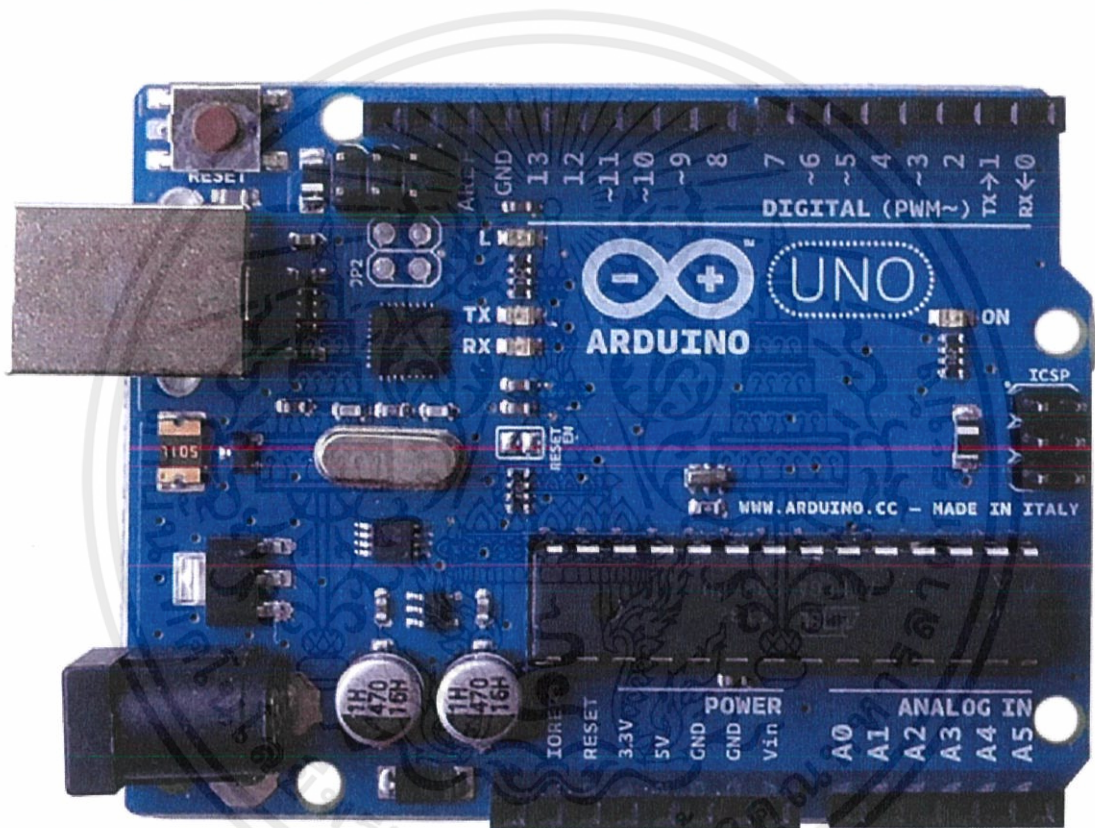
2.7.1 Arduino Board คือ บอร์ด PCB (Printed Circuit Board) ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยมีชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega ตระกูล mx8 (168 หรือ 328) [12] สามารถเขียนโปรแกรมสำหรับใช้ในการรับหรือส่งค่าจากอุปกรณ์ต่างๆผ่านพอร์ต Input หรือ Output ของบอร์ด Arduino ตัวอย่างการรับค่า Input เช่น การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ การตรวจจับการกดปุ่ม หรือการรับสัญญาณ Analog ต่างๆ เป็นต้น ตัวอย่างการส่งค่า Output เช่น การส่ง Pulse ไปควบคุมมอเตอร์ หรือการเปิด-ปิดหลอดไฟ LED เป็นต้น นอกจากนี้บอร์ด Arduino ยังสามารถเชื่อมต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆจากภายนอก หรือเชื่อมต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น ซึ่งเป็นบอร์ดวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับทำงานเฉพาะอย่างเพื่อให้ง่ายสำหรับผู้ใช้งาน

2.7.2 Arduino IDE (Arduino Integrated Development Environment) คือ Software ที่ใช้สำหรับเขียน คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino เป็นการบอกไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าผู้ใช้งานต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอะไร ตัวอย่างเช่น การเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งหลอดไฟ LED ให้เปิด-ปิด สั่งหลอดไฟ LED ให้กระพริบ หรือถ้าผู้ใช้งานต่อสวิตช์ปุ่มกดและเขียนโปรแกรมเพิ่มจะสามารถควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ LED ด้วยการกดสวิตช์ปุ่มกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น สำหรับภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นภาษา C ประยุกต์รูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างของภาษาใกล้เคียงกับภาษา C แต่มีการปรับปรุงรูปแบบการเขียนโปรแกรมบางส่วนเพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถใช้ภาษา C ตามมาตรฐาน ANSI C เขียนโปรแกรมได้อีกด้วย

2.7.3 Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆที่พัฒนาขึ้นมาสนับสนุนจะอ้างอิงกับ Arduino Uno R3 เป็นหลัก ข้อดีอีกอย่าง คือ ผู้ใช้งานสามารถซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์มาเปลี่ยนเองได้กรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เสีย



รูปที่ 2.12 Arduino Uno R3

สำหรับ Layout & Pin out ของ Arduino Uno R3 มีดังนี้

1. พอร์ต USB: ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปโหลดโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานและจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Arduino
2. ปุ่ม Reset: ใช้กดเมื่อต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มการทำงานใหม่
3. พอร์ต ICSP ของ ATmega16U2

4. พอร์ต I/O: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้บางช่องทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย ตัวอย่างเช่น ช่อง 0 และ 1 เป็นขา RX และ TX Serial, ช่อง 3, 5, 6, 9, 10 และ 11 เป็นขา PWM เป็นต้น

5. พอร์ต ICSP ของ ATmega328

6. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328: เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของบอร์ด Arduino

7. พอร์ต I/O: Digital I/O นอกจากนี้ยังเป็นช่องรับสัญญาณ Analog ตั้งแต่ขา A0 ถึง A5

8. พอร์ต Power: ประกอบด้วยส่วนที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Arduino กรณีที่ไม่ใช้พอร์ต USB เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ขา Vin และ GND กับส่วนที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆจากภายนอก ได้แก่ ขา 3.3V, 5V และ GND

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega16U2: เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็น USB to Serial ของบอร์ด Arduino โดย ATmega328 จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน ATmega16U2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดทางเทคนิคของ Arduino Uno R3

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limit)	6-20 V
Digital I/O Pins	14
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB
Flash Memory for Bootloader	0.5 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

2.8 รูปแบบในการส่งข้อมูล (Transmission Mode)

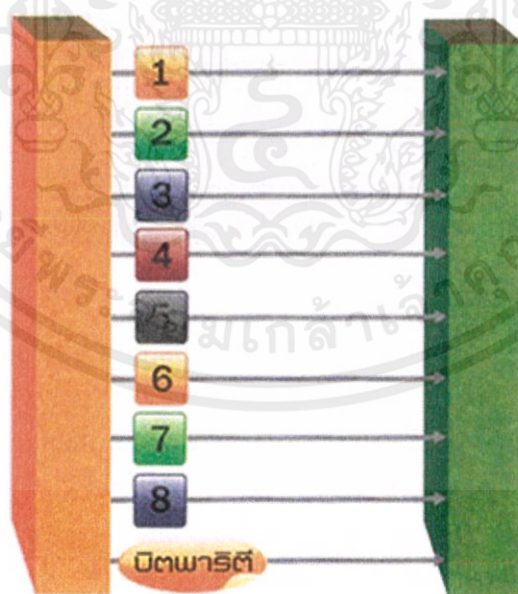
รูปแบบของสายส่งสัญญาณสื่อสาร [13] อาจประกอบด้วยสายส่งตั้งแต่หนึ่งสายขึ้นไป ซึ่งทำให้เกิดช่องทางการส่ง ข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งช่องทาง

2.8.1 ลักษณะของรูปแบบในการส่งข้อมูล

2.8.1.1 การส่งแบบขนาน (parallel transmission)

คือการส่งข้อมูลพร้อมกันที่ละหลาย ๆ บิตในหนึ่งรอบสัญญาณนาฬิกา โดยการส่งจะรวมบิต 0 และ 1 หลาย ๆ บิตเข้าเป็นกลุ่มจำนวน n บิต ผู้ส่งส่งครั้งละ n บิต ผู้รับจะรับครั้งละ n บิตเช่นกัน ซึ่งจะคล้ายกับเวลาที่เรานำพุดคุยเราจะพูดเป็นคำ ๆ ไม่พุดทีละตัวอักษร

กลไกการส่งข้อมูลแบบขนานใช้หลักการง่าย ๆ คือแต่ละบิตจะมีสายของตัวเอง ในการส่งแต่ละครั้งจะถูกส่งผ่านไปตามสายส่ง หลายๆ สายขนานกันไป ทุกเส้นต้องใช้สัญญาณนาฬิกาอันเดียวกัน ทำให้สามารถส่งออกไปยังอุปกรณ์อื่นพร้อมกันได้ ดังนั้นทุกบิตจะเดินทางไปถึงผู้รับพร้อมๆ กัน เพื่อให้เกิดช่องทางการส่งจำนวนสายส่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนบิตที่เข้ารหัสแทนตัวอักษรในแต่ละระบบ เช่นการส่งผ่านข้อมูลที่เข้ารหัสแบบ ASCII ก็จำเป็นต้องใช้ช่องทางการส่ง 8 ช่องทาง จึงจะทำให้ทุกบิตวิ่งผ่านสายส่งขนานกันไปได้ อาจมีการส่งข้อมูลอื่นเพิ่มเติมไปด้วย เช่น พาริตี บิต (paritybit) ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ เพื่อควบคุมจังหวะของการรับ-ส่งข้อมูลแต่ละชุดดังรูป

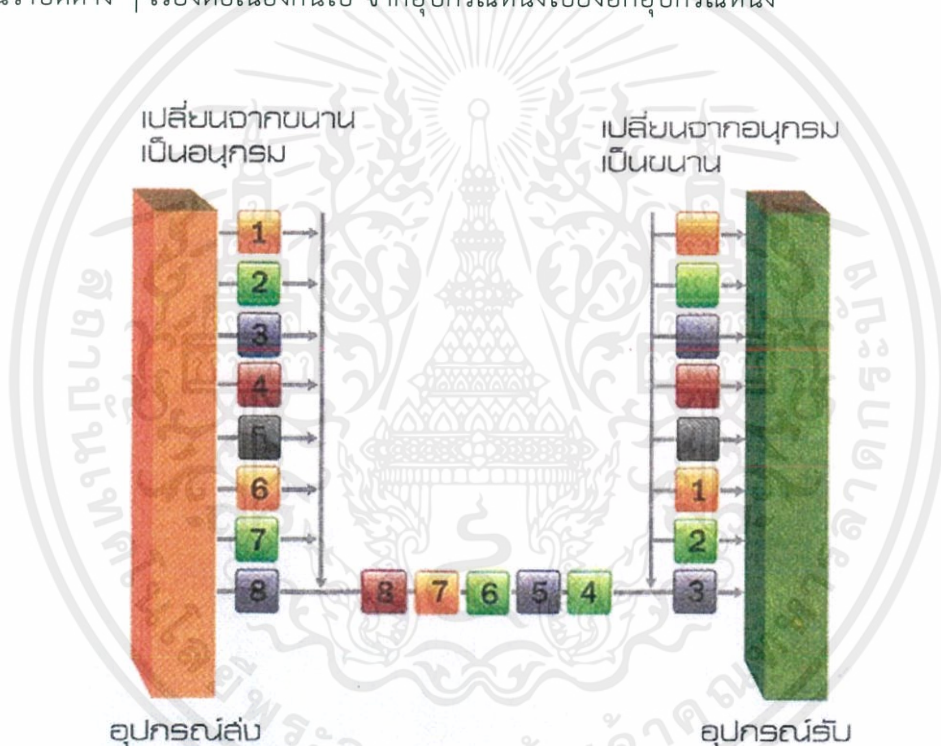


รูปที่ 2.13 การส่งข้อมูลแบบขนาน

จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่าทุกบิตที่เข้ารหัสตัวอักษรตัวหนึ่งๆ จะเดินทางขนานกันไป โดยเริ่มจากต้นทางผ่านสายส่งสัญญาณที่มีอยู่ด้วยกัน 8 เส้น ไปยังปลายทาง ดังนั้นปลายทางจะได้รับทุกบิตของตัวอักษรพร้อมๆ กัน ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบขนานคือ ความเร็ว เพราะส่งข้อมูลได้ครั้งละ n บิต ดังนั้น ความเร็วจึงเป็น n เท่าของการส่งแบบอนุกรม แต่ข้อเสียที่สำคัญคือ ค่าใช้จ่าย ทั้งนี้เพราะต้องใช้สายจำนวน n เส้น ส่วนมากจะใช้ในการส่งผ่านข้อมูลในระยะใกล้ ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบขนาน เช่น การเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบข้างของมันเช่น ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

2.8.1.2 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial transmission)

จะใช้วิธีการส่งทีละ 1 บิตในหนึ่งรอบสัญญาณนาฬิกา ทำให้ดูเหมือนว่าบิตต่าง ๆ เรียงต่อเนื่องกันไป จากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอีกอุปกรณ์หนึ่ง



รูปที่ 2.14 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.14 ตัวอักษรจะประกอบด้วย 8 บิต เรียงเป็นลำดับ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างต้นทาง และปลายทาง และปลายทางจะรวบรวมบิตเหล่านี้ทีละบิตจนครบ 8 บิต เป็น 1 ตัวอักษร ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอนุกรม คือการใช้ช่องทางการสื่อสารเพียง 1 ช่อง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงซึ่งเหมาะสำหรับการส่งระยะทางไกลๆ แต่ข้อเสียคือ ความเร็วของการส่งที่ต่ำการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน ตัวอย่างของการส่งข้อมูลแบบอนุกรม เช่น โมเด็ม

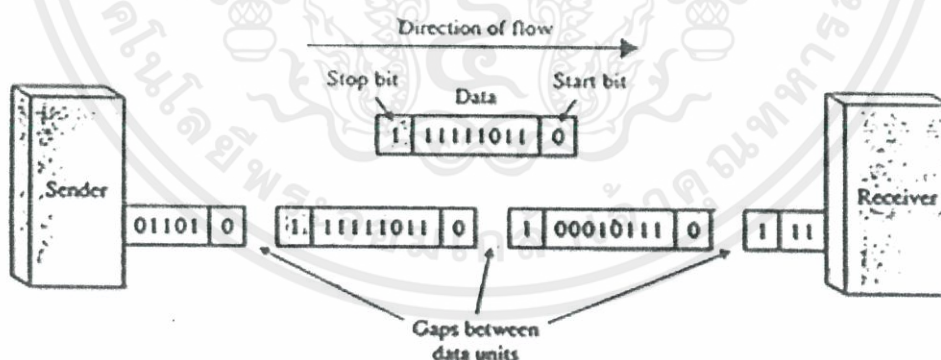
จะให้การส่งแบบอนุกรมเนื่องจากในสัญญาณโทรศัพท์มีสายสัญญาณเส้นเดียว และอีกเส้นหนึ่งเป็นสายดิน

โดยทั่วไปแล้วการส่งข้อมูลนั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มของตัวอักษร ดังนั้นในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้จึงเกิดปัญหาขึ้นว่า แล้วต้นทางและปลายทางจะทราบได้อย่างไรว่าจะแบ่งแต่ละตัวอักษรตรงบิตใด จึงเกิดวิธีการสื่อสารข้อมูลขึ้น 2 แบบคือ การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission) และการสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรม แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1 .การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (asynchronous transmission)

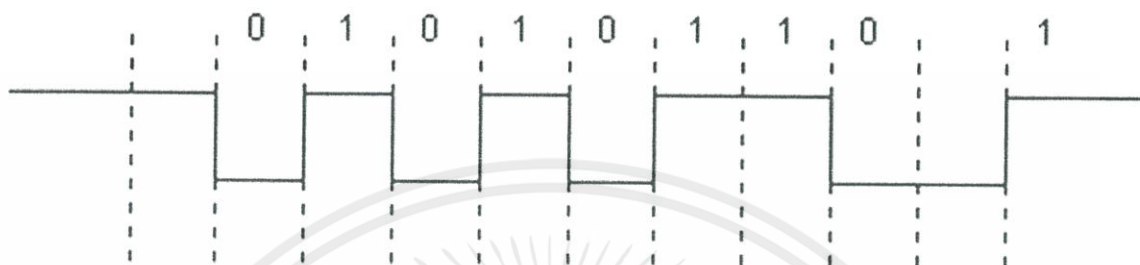
เป็นการส่งข้อมูลที่ได้รับและผู้ส่งไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเดียวกัน แต่ข้อมูลที่รับต้องถูกแปลตามรูปแบบที่ได้ตกลงกันไว้ก่อน เนื่องจากไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเดียวกันทำให้ผู้รับไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าเมื่อใดจะมีข้อมูลส่งมาให้ ดังนั้นผู้ส่งจึงจำเป็นต้องแจ้งผู้รับให้ทราบว่า จะมีการส่งข้อมูลมาให้โดยการเพิ่มบิตพิเศษเข้ามาอีกหนึ่งบิต เอาไว้ก่อนหน้าบิตข้อมูล เรียกว่า บิตเริ่ม (start bit) โดยทั่วไปมักใช้บิต 0 และเพื่อให้ผู้รับทราบจุดสิ้นสุดของข้อมูลจึงต้องมีการเพิ่มบิตพิเศษอีกหนึ่งบิตเรียกว่าบิตจบ (stop bit) มักใช้บิต 1 นอกจากนี้แล้วการส่งข้อมูลแต่ละกลุ่มต้องมีช่องว่างระหว่างกลุ่ม โดยช่องว่างระหว่างบิตอาจใช้วิธีปล่อยให้ช่องสัญญาณว่าง หรืออาจใช้กลุ่มของบิตพิเศษที่มีบิตจบก็ได้ รูปต่อไปนี้แสดงการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ให้บิตเริ่มเป็นบิต 0 บิตจบเป็นบิต 1 และให้ช่องว่างแทนไม่มีการส่งข้อมูล (สายว่าง)



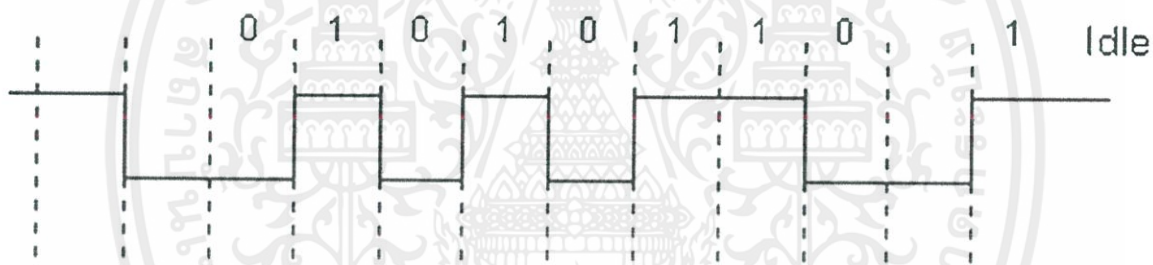
(ที่มา : Fourouzan, 1998 : 124)

รูปที่ 2.15 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

บิตเริ่มต้น (start bit) บิตของข้อมูลที่สื่อสาร (transmission data)
จำนวน 8 บิต บิตตรวจข้อผิดพลาด(parity bit) และบิตสิ้นสุด (stop bit) สำหรับบิตตรวจสอบ
ข้อผิดพลาดจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ ดังนั้นสัญญาณจึงต้องประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน
ดังรูปที่ 2.16 และ 2.17



รูปที่ 2.16 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่ได้ใช้บิตพาริตี



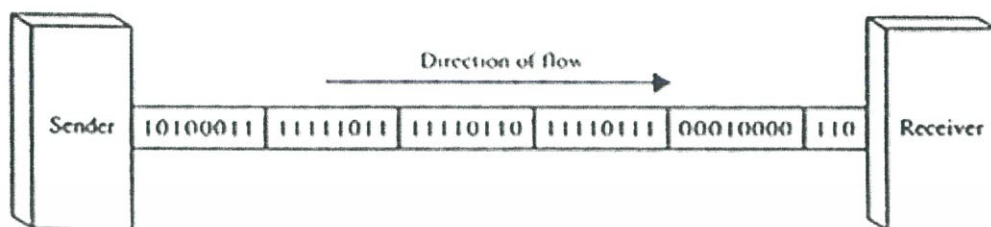
รูปที่ 2.17 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ใช้พาริตีบิต

ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส มี 2 ประการ คือ ค่าใช้จ่ายถูกและมีประสิทธิภาพ
การส่งข้อมูลแบบนี้จะนำไปใช้ในการสื่อสารที่ต้องการใช้ความเร็วไม่สูงนัก ตัวอย่างเช่น การติดต่อ
ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องปลายทาง (terminal) ที่โดยธรรมชาติแล้วเป็นการสื่อสาร
แบบอะซิงโครนัส เพราะผู้ใช้จะพิมพ์ทีละ 1 ตัวอักษรจากเครื่องปลายทางไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์จึง
ไม่ต้องใช้ความเร็วสูงในการติดต่อสื่อสาร

2. การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (synchronous transmission)

เป็นการส่งบิต 0 และ 1 ที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีการแบ่งแยก ผู้รับต้องแยก
บิตเหล่านี้ออกมาเป็นไบต์ หรือเป็นตัวอักษรเอง จากภาพแสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ผู้ส่งทำ

การส่งบิตติดต่อกันยาว ๆ ถ้าผู้ส่งต้องการแบ่งช่วงกลุ่มข้อมูลก็ส่งกลุ่มบิต 0 หรือ 1 เพื่อแสดงสถานะว่าง เมื่อแต่บิตมาถึงผู้รับ ผู้รับจะนับจำนวนบิตแล้วจับกลุ่มของบิตให้เป็นไบนารีที่มี 8 บิต



(ที่มา : Fourouzan, 1998 : 125)

รูปที่ 2.18 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

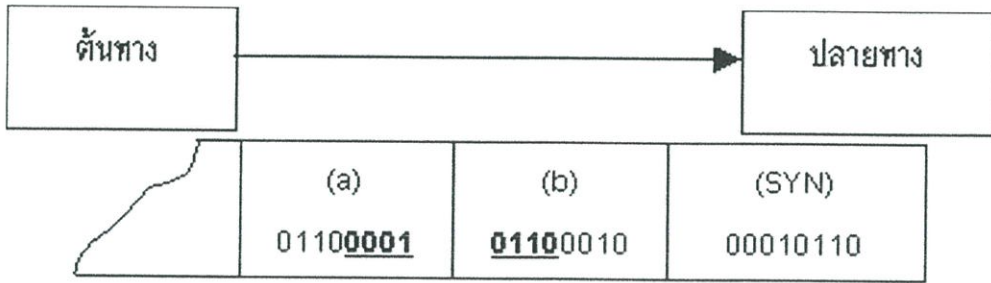
การสื่อสารแบบซิงโครนัส จะทำการจัดกลุ่มของข้อมูลเป็นกลุ่มๆ และทำการส่งข้อมูลทั้งกลุ่มไปพร้อมกันในทีเดียว เราเรียกกลุ่มของข้อมูลนี้ว่า บล็อกของข้อมูล (Block of Data) ซึ่งตัวอักษรตัวแรก และตัวถัดไปที่อยู่ในบล็อกเดียวกันจะไม่มีอะไรมาคั่นเหมือนอย่างแบบอะซิงโครนัส ที่ต้องใช้บิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดคั่นทุกๆ ตัวอักษร แต่จะมีข้อมูลเริ่มต้นซึ่งเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่ส่งมาเพื่อให้รู้ว่านั้นคือ จุดเริ่มต้นของกลุ่มตัวอักษรที่กำลังส่งเรียงกันเข้ามา เช่น อักขระซิง (SYN character) โดยที่อักขระซิงมีรูปแบบบิต คือ 00010110 ตัวอย่างของการส่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างอักขระซิง (SYN character)

จากรูปเมื่อปลายทางตรวจพบอักขระซิง หรือ 00010110 แล้วจะทราบได้ทันทีว่าบิตที่ตามมาคือบิตตัวอักษรแต่ละตัว แต่การใช้อักขระซิงเพียงตัวเดียวอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เช่น ถ้าเราส่งตัวอักษร b และตัวอักษร a ติดต่อกันไป ซึ่งตัวอักษร b มีรูปแบบบิตคือ 01100010 และตัวอักษร a มีรูปแบบบิตคือ 01100001 การส่งจะแสดงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

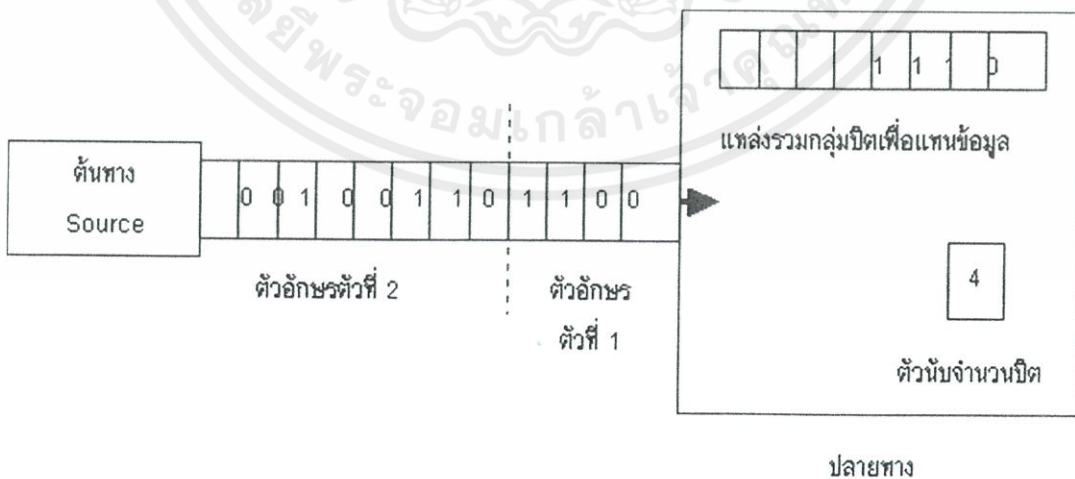


รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 1 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส

จะเห็นว่าเครื่องปลายทางจะตรวจพบอักขระซิงระหว่างบิตของตัวอักษร b และตัวอักษร a ทำให้เข้าใจว่าบิตต่อไปจะเป็นบิตของกลุ่มข้อมูล ซึ่งจะทำให้การรับข้อมูลนั้นเกิดผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยการใช้อักขระซิง 2 ตัวต่อกันเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่บอกให้ทราบว่าเป็นจุดเริ่มต้นบิตของกลุ่มข้อมูล ตัวอย่างของการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส และการตัดแฉวของบิตข้อมูลออกเป็นกลุ่มทีละ 8 บิต เพื่อแทนข้อมูลแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.22 การตัดแฉวของบิตออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอะซิงโครนัสมาก และทำให้มีการใช้ความสามารถของสายสื่อสารได้เกือบทั้งหมด ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส คือความเร็วในการส่งข้อมูล ทั้งนี้เพราะไม่มีบิตพิเศษหรือช่องว่างที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้เมื่อถึงผู้รับ จึงทำให้ความเร็วของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเร็วกว่าแบบอะซิงโครนัส ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำไปใช้งานที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์

2.8.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส และแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.23 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.24 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

จากรูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสนั้นส่วนมากแล้ว ตลอดทางของสายส่งจะใช้ส่งผ่านข้อมูลเต็มตลอดทั้งสาย ส่วนรูปที่ 2.24 แสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นสายส่งจะขาดความต่อเนื่องของสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่าน หรือถ้ามีสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่านต่อเนื่องกันเต็มตลอดทั้งสายแล้ว ก็จะมีสูญเสียช่องทางการส่งไปกับการส่งบิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดของแต่ละตัวอักษร

ตัวอย่างเช่น กรณีที่ส่งผ่านข้อมูลที่อยู่ในรูปของรหัส ASCII ซึ่งตัวอักษรหนึ่งตัวถูกแทนด้วย 8 บิต ถ้ามีการส่งกลุ่มของข้อมูล 240 ตัวอักษร ในกรณีการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสมีการใช้ตัวอักษรละ 3 ตัว และการส่งผ่าน ข้อมูลแบบอะซิงโครนัสไม่มีการใช้บิตตรวจข้อผิดพลาด ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างการส่งข้อมูลได้ ดังนี้

บิตทั้งหมดของตัวอักษรที่ส่งจะได้

$240 \text{ ตัวอักษร} \times 8 \text{ บิต/ตัวอักษร} = 1920 \text{ บิต}$

แบบซิงโครนัส

บิตของตัวอักษรซิงที่ใช้จะได้ SYN 3 ตัว เท่ากับ $3 \times 8 \text{ บิต} = 24 \text{ บิต}$

ผลรวมของบิตที่ต้องส่งทั้งหมด = $1920 + 24 = 1944 \text{ บิต}$

อัตราส่วนระหว่างการส่งข้อมูลที่ต้องส่งจริง กับจำนวนบิตทั้งหมดที่จำเป็นต้องส่งคือ

$1920 \text{ บิต} / 1944 \text{ บิต} \approx 99 \%$

แบบอะซิงโครนัส

บิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดที่ใช้จะได้ $2 \times 240 = 480 \text{ บิต}$

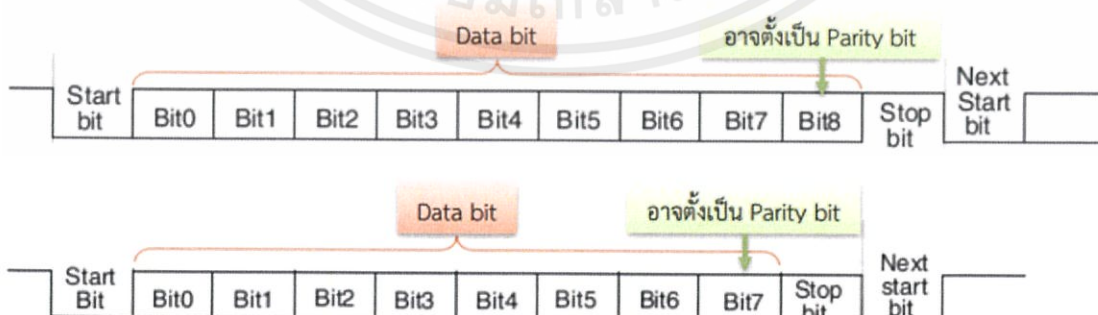
ผลรวมของบิตที่ต้องส่งทั้งหมด = $1920 + 480 = 2400 \text{ บิต}$

อัตราส่วนระหว่างการส่งข้อมูลที่ต้องส่งจริง กับจำนวนบิตทั้งหมดที่จำเป็นต้องส่งคือ

$1920 \text{ บิต} / 2400 \text{ บิต} \approx 80 \%$

2.9 UART

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็น การเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, GSM Module, Wifi Module เป็นต้น ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full duplex กล่าวคือสามารถรับและส่งข้อมูลระหว่าง Receiver และ Transmitter ได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ไม่ต้องใช้สายสัญญาณ Clock เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่มีการกำหนดรูปแบบ Format หรือ Protocol การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับส่ง ข้อมูลให้เท่ากัน



รูปที่ 2.25 รูปแบบการสื่อสารแบบ Universal Asynchronous Receiver Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

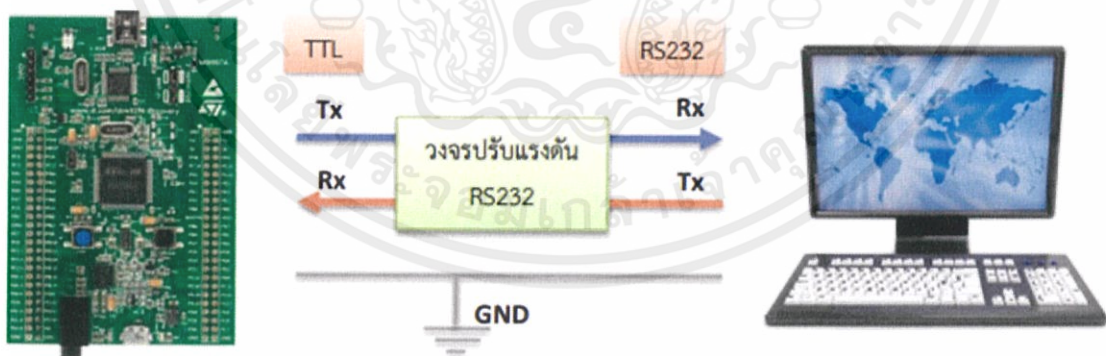
จากรูป 2.25 แสดงรูปแบบการสื่อสารของ UART โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดคุณสมบัติเหล่านี้ให้เหมือนกันทั้งฝั่ง Receiver และ Transmitter ซึ่งประกอบด้วย

- Start Bit เป็นสถานะ Low
- ผู้ใช้งานสามารถกำหนดจำนวนข้อมูลของ Data Bit ให้เป็น 8 หรือ 9 Bit
- ผู้ใช้งานสามารถกำหนดชนิดของ Parity Bit แบบ Odd, Even หรือ None
- Stop Bit มีจำนวน 0.5, 1, 1.5 หรือ 2 บิต

นอกจากนี้ผู้ใช้งานควรศึกษาระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณการสื่อสารแบบ UART โดยแบ่งได้ดังนี้

- TTL เป็นระดับสัญญาณแบบดิจิทัลทั่วไปที่ใช้กับ Microcontroller โดยสถานะโลจิก “0” จะมีแรงดันเท่ากับ 0 V และสถานะโลจิก “1” จะมีแรงดันเท่ากับ 3.3 หรือ 5 V
- RS232 เป็นระดับสัญญาณที่ใช้กับ Computer โดยสถานะโลจิก “0” จะมีแรงดันเท่ากับ -5 หรือ -13 V และสถานะโลจิก “1” จะมีแรงดันเท่ากับ +5 หรือ +13V

รูปที่ 2.26 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ ขา Transmit Data (Tx) ของ Transmitter จะเชื่อมต่อกับ ขา Receive Data (Rx) ของ Receiver เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Receiver ขา Rx ของ Transmitter เชื่อมต่อกับขา Tx ของ Receiver เพื่อรับข้อมูลจาก Receiver และขา GND ของอุปกรณ์ทั้งสองควรต่อกัน ถ้าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานควรเพิ่มวงจรปรับแรงดันของสัญญาณ เช่น IC เบอร์ MAX232 [2] เป็นต้น



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ UART

2.10 การรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย

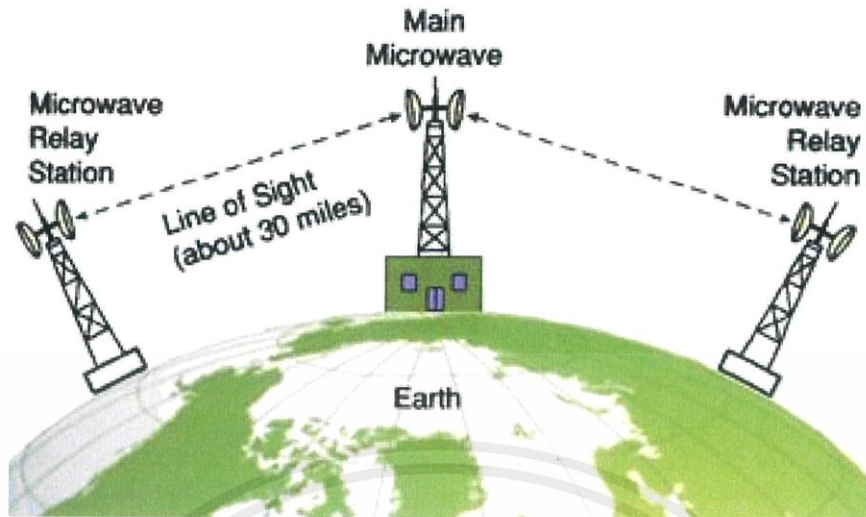
การสื่อสารไร้สาย (wireless communication) หมายถึง การสื่อสารข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยปราศจากการเชื่อมต่อในเชิงกายภาพ (physical wired) หรือการใช้สัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ [14] ซึ่งก็คือการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์สื่อสารหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง หรือกลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถสื่อสารกันได้ รวมถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยไม่ใช้สายสัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ แต่จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต้นทางกับปลายทางเพื่อรับส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ และระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่ายโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อาจเป็นคลื่นวิทยุคลื่นไมโครเวฟหรืออินฟราเรด เป็นต้น

2.10.1 ชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แบ่งตามช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 4 ชนิด ดังนี้

2.10.1.1 สัญญาณไมโครเวฟ (Microwave)

เป็นสื่อกลางในการสื่อสารที่มีความเร็วสูงในระดับกิกะเฮิรตซ์ (GHz) และเนื่องจากความยาวของคลื่นมีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร จึงเรียกชื่อว่า “ไมโครเวฟ” การส่งข้อมูลโดยอาศัยสัญญาณไมโครเวฟ ซึ่งเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปใน อากาศพร้อมกับข้อมูลที่ต้องการส่ง และจะต้องมีสถานีที่ทำหน้าที่ส่งและรับข้อมูล และเนื่องจากสัญญาณไมโครเวฟจะเดินทางเป็นเส้นตรงในระดับสายตา ไม่สามารถเลี้ยวหรือโค้งตามขอบโลกที่มีความโค้งได้ จึงต้องมีการตั้งสถานีรับ-ส่งข้อมูล เป็นระยะๆ และส่งข้อมูลต่อกันเป็นทอดๆ ระหว่างสถานีต่อสถานีจนกว่าจะถึงสถานีปลายทาง หากลักษณะภูมิประเทศ มีภูเขาหรือ ดึกสูงบดบังคลื่นแล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณไปยังเป้าหมายได้ ดังนั้นแต่ละสถานีจึงจำเป็นต้องตั้งอยู่ในที่สูง เช่น ดาดฟ้า ดึกสูง หรือยอดดอย เพื่อหลีกเลี่ยงการชนเนื่องจากแนวการเดินทางที่เป็นเส้นตรงของสัญญาณตั้งที่กล่าวมาแล้วการส่งข้อมูลด้วยสื่อกลางชนิดนี้เหมาะกับการส่งข้อมูลในพื้นที่ห่างไกลมากๆ และทุรกันดาร

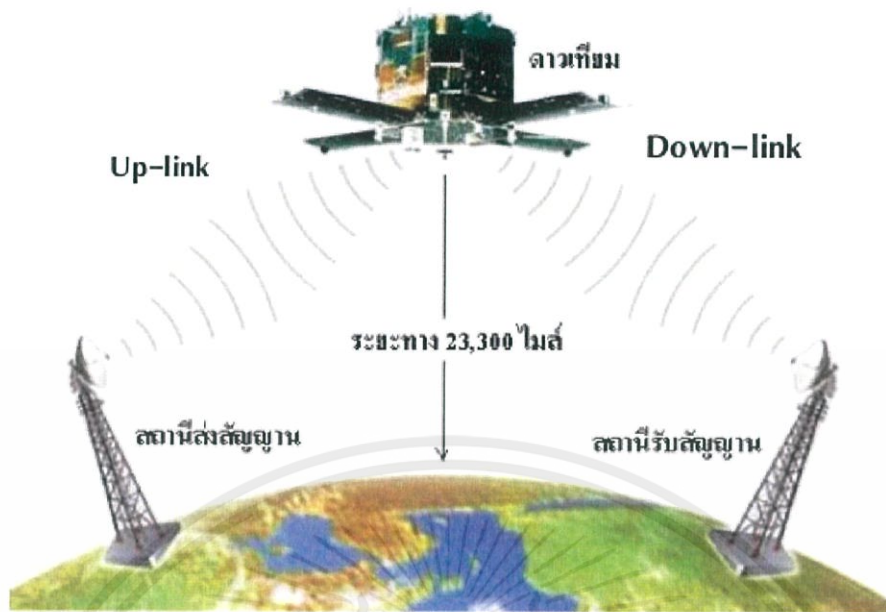


รูปที่ 2.27 ภาพสัญญาณไมโครเวฟ (Microwave)

- ข้อดี - ใช้ในพื้นที่ซึ่งการเดินสายกระทำได้ไม่สะดวก
 - ราคาถูกกว่าสายใยแก้วนำแสงและดาวเทียม
 - ติดตั้งง่ายกว่าสายใยแก้วนำแสงและดาวเทียม
 - อัตราการส่งข้อมูลสูง
- ข้อเสีย - สัญญาณจะถูกรบกวนได้ง่ายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากธรรมชาติเช่น พายุ หรือฟ้าผ่า

2.10.1.2 ดาวเทียม (Satellite)

ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดของสถานีรับ-ส่ง ไมโครเวฟบนผิวโลก วัตถุประสงค์ในการสร้างดาวเทียมเพื่อเป็นสถานีรับ - ส่งสัญญาณไมโครเวฟบน อวกาศและทวนสัญญาณในแนวโคจรของโลก ในการส่งสัญญาณดาวเทียมจะต้องมีสถานีภาคพื้นดิน คอยทำหน้าที่รับ และส่งสัญญาณขึ้นไปบนดาวเทียมที่โคจรอยู่สูงจากพื้นโลก 22,300 ไมล์ โดย ดาวเทียมเหล่านั้น จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากับการหมุนของโลก จึงเสมือนกับดาวเทียมนั้นอยู่นิ่ง อยู่กับที่ ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเองทำให้การส่งสัญญาณไมโครเวฟจากสถานีหนึ่งขึ้นไปบนดาวเทียม และการกระจายสัญญาณจากดาวเทียมลงมายังสถานีตามจุดต่างๆบนผิวโลกเป็นไปอย่างแม่นยำ ดาวเทียมสามารถโคจรอยู่ได้ โดยอาศัยพลังงานที่ได้มาจากการเปลี่ยน พลังงานแสงอาทิตย์ด้วย แผง โซลาร์ (solar panel)

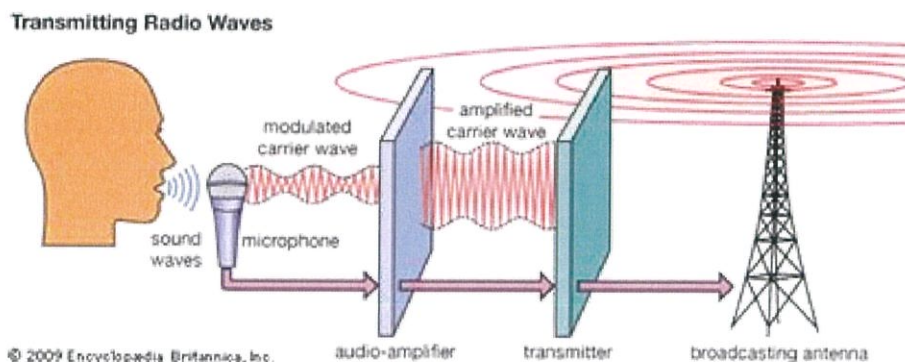


รูปที่ 2.28 ภาพดาวเทียม (Satellite)

- ข้อดี - ส่งสัญญาณครอบคลุมไปยังทุกจุดของโลกได้-
 - ค่าใช้จ่ายในการให้บริการส่งข้อมูลของระบบดาวเทียมไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ห่างกันของสถานีพื้นดิน
- ข้อเสีย - มีเวลาหน่วง (Delay Time) ในการส่งสัญญาณ

2.10.1.3 คลื่นวิทยุ (Radio)

คลื่นวิทยุ เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่สามารถกระจายสัญญาณได้ในระยะไกล เช่น ระหว่างจังหวัด ประเทศเป็นต้น และในระยะใกล้ เช่น ภายในบ้านหรือที่ทำงาน เป็นต้น สำหรับการส่งสัญญาณนั้นผู้ส่งจำเป็นต้องใช้เครื่องส่งเพื่อส่งสัญญาณวิทยุและผู้รับก็จะต้องมีอุปกรณ์รับสัญญาณด้วย แต่เครือข่ายบางเครือข่ายสามารถใช้ “Transceiver” เพื่อทำหน้าที่ทั้งรับและส่งสัญญาณภายในตัวเดียวกันได้ผู้ใช้ตามบ้านและสำนักงานทั่วไปกำลังนิยมใช้เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยสัญญาณ วิทยุระยะสั้นตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี Blue tooth ซึ่งมีความเร็วในการสื่อสารไม่เกิน 1 Mbps การใช้เทคโนโลยี Blue tooth นี้จะต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า “Blue tooth-enabled” ที่ติดตั้งขีปดงกล่าว เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์พีซี โน้ตบุ๊ก ปาล์ม โทรศัพท์มือถือ แพ้กซ์เครื่องพิมพ์ เป็นต้น การสื่อสารกับ Blue tooth-enabled เหล่านี้สามารถสื่อสารได้ในระยะ 10 เมตร แต่ถ้ามีอุปกรณ์ขยายสัญญาณก็อาจจะสื่อสารได้ไกลมากกว่า 100 เมตร



รูปที่ 2.29 ภาพคลื่นวิทยุ (Radio)

- ข้อดี - การจัดการกับสัญญาณมีความยืดหยุ่นสูงกว่าสายสัญญาณ
- ข้อเสีย - มีความเร็วในการส่งข้อมูลน้อย
- ถูกรบกวนและดักจับสัญญาณได้ง่าย

2.10.1.4 อินฟราเรด (infrared)

อินฟราเรด หรือ I.R. คือ รูปแบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลโดยใช้คลื่นแสงอินฟราเรด มีลักษณะการสื่อสารคล้ายกับการสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ กล่าวคือการสื่อสารด้วยแสงอินฟราเรดจะต้องหันตัวรับและตัวส่งให้ตรงกันและไม่มีสิ่ง กีดขวางเส้นสายตา (Line-of-sight) หรือขวางแสงอินฟราเรด การสื่อสารด้วยวิธีนี้ใช้ได้ในระยะทางที่ไม่ไกลนักในปัจจุบันมีคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์มากมายที่สามารถใช้คลื่นแสงอินฟราเรดนี้สื่อสารข้อมูลกันได้ เช่น คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก คอมพิวเตอร์แบบพกพา เม้าส์เคียบอร์ด เป็นต้น ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีพอร์ตที่เรียกว่า "IrDA" ที่มีไว้เป็นช่องสำหรับต่อพ่วงอุปกรณ์ประเภทใช้แสง



รูปที่ 2.30 ภาพอินฟราเรด (Infrared)

- ข้อดี
- ใช้พลังงานน้อย จึงนิยมใช้กับเครื่อง Laptops โทรศัพท์
 - แผงวงจรควบคุมราคาต่ำ (Low circuitry cost) เรียบง่ายและสามารถเชื่อมต่อกับระบบอื่นได้อย่างรวดเร็ว
 - มีความปลอดภัยในการเรื่องข้อมูลสูง ลักษณะการส่งคลื่น (Directionality of the beam) จะไม่รั่วไปที่เครื่องรับตัวอื่นในขณะที่ส่งสัญญาณ
 - กฎข้อห้ามระหว่างประเทศของ IrDA (Infrared Data Association) มีค่อนข้างน้อยสำหรับนักเดินทางทั่วโลก
 - คลื่นแทรกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงมีน้อย (high noise immunity)
- ข้อเสีย
- เครื่องส่ง (Transmitter) และเครื่องรับ (receiver) ต้องอยู่ในแนวเดียวกัน คือต้องเห็นว่อยู่ในแนวเดียวกัน
 - คลื่นจะถูกกั้นโดยวัตถุทั่วไปได้ง่ายเช่น คน กำแพง ต้นไม้ ทำให้สื่อสารไม่ได้
 - ระยะทางการสื่อสารจะน้อย ประสิทธิภาพจะตกลงถ้าระยะทางมากขึ้น
 - สภาพอากาศ เช่น หมอก แสงอาทิตย์แรงๆ ฝนและมลภาวะมีผลต่อประสิทธิภาพการสื่อสาร
 - อัตราการส่งข้อมูลจะช้ากว่าแบบใช้สายไฟทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย

การกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ในเครือข่ายไร้สายมีจุดประสงค์เพื่อให้การทำงานของอุปกรณ์ ไร้สายตามมาตรฐานต่าง ๆ [14] ที่กำหนดไว้ สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครือข่ายทั้งที่เป็น เครือข่ายใช้สายและเครือข่ายไร้สายมาตรฐานที่ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายที่นิยมใช้มีดังนี้

2.10.2.1 IEEE 802.11

โดยองค์กรมาตรฐานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือ IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) ได้กำหนดมาตรฐานหลักของระบบเครือข่ายไร้สายและอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย คือ มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในเครือข่ายแลนไร้สาย หรือ ที่ รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า Wi-Fi ซึ่งอ่านว่า “ ไว-ไฟ ”

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ.2540 ซึ่งอุปกรณ์ตาม มาตรฐานดังกล่าวมีข้อกำหนดระบุไว้ว่า ผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของระดับชั้นกายภาพ นั้นจะมี ความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps ด้วยตัวกลางอินฟราเรด หรือ คลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ส่วนในระดับชั้น MAC layer นั้น ได้กำหนดกลไกของการทำงาน แบบ CSMA/CD (Carrier Sense Multiple/Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet และมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมกับมีการตรวจสอบผู้ใช้งาน (WEP) อีกด้วย ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่ายแลนไร้สายได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและยังไม่รองรับหลักการ คุณภาพของบริการ (Quality of Service: QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการปรับปรุง เพิ่มเติมมาตรฐานให้มีความปลอดภัยสูงขึ้น โดยมาตรฐานต่าง ๆ ที่คณะทำงานพัฒนาขึ้นมาที่น่าสนใจและเป็น ที่รู้จักกันดีได้แก่

1. IEEE 802.11a ได้ถูกตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ.2542

มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า โอลเฟตดีเอ็ม (OFDM) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่ง ข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงที่สุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุความถี่ 5 GHz ซึ่งย่านความถี่สาธารณะ สำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ดังกล่าว ไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่าง เช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a ที่ใช้ในระบบแลนไร้สายก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาด ค่อนข้างสั้นประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b ที่ใช้ในระบบแลน ไร้สาย ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใ้

งานภายในอาคาร อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a ยังมี ราคาสูงกว่า IEEE 802.11b ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b

2. IEEE 802.11b ได้ถูกตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปีพ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า ซีซีเค (Complimentary Code Keying: CCK ผสมกับ ดีเอสเอสเอส (DSSS) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เสรีที่เรียกว่า ISM ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ เช่น IEEE 802.11 บลูทูธ โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ เป็นต้น ส่วนใหญ่และอุปกรณ์ IEEE 802.11 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมดับบลิวอีซีเอ (Wireless Ethernet Compatibility Alliance: WECA) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำการทดสอบและรับรองผลิตภัณฑ์ Wi-Fi โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่น ๆ ที่ได้รับเครื่องหมายไวไฟ (Wi-Fi) ได้

3. IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรับรองการใช้งานตามหลักการประกันคุณภาพบริการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (QoS) สำหรับการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับมัลติมีเดีย เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมจึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11e ทุกเวอร์ชันได้

4. IEEE 802.11f เป็นที่รู้จักกันในนาม ไอเอพีพี (Inter Access Point Protocol : IAPP) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการบริหารจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขตการให้บริการของอุปกรณ์กระจายสัญญาณ ตัวหนึ่งไปยังอุปกรณ์กระจายสัญญาณ อีกตัวหนึ่งเพื่อให้บริการในแบบโรมมิ่งสัญญาณระหว่างกัน

5. IEEE 802.11g ได้นำเทคโนโลยี ไอเอพีดีเอ็มมาประยุกต์ใช้ในความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนความยาวรัศมีในการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g จะอยู่ระหว่างความยาวรัศมีในการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากลอีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b ได้ ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงที่อุปกรณ์ IEEE 802.11g จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้นและในที่สุดจะมาแทนที่ IEEE 802.11b

6. IEEE 802.11h เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์สำหรับเครือข่ายไร้สายที่ใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป

7. IEEE 802.11i เป็นมาตรฐานที่ออกแบบปรับปรุง MAC layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัยเนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเข้ารหัสข้อมูล (encryption) ด้วยคีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงนำเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคีย์ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง

8. IEEE 802.11k เป็นมาตรฐานที่ใช้จัดการการท างานของเครือข่ายระบบ ไร้สายและจัดการการใช้งานคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพมีฟังก์ชันการเลือกช่องสัญญาณการโรมมิ่งและการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณโดยทำการปรับแต่งค่าให้เหมาะสมกับการท างานการท ารหัสของสัญญาณการใช้งานสำหรับเครื่องโคลแอนต์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ระบบจัดการสามารถท างานจาก ศูนย์กลางได้

9. IEEE 802.11n เป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่คาดหมาย กันว่าจะเข้ามาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11a IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่ใช้งานกันอยู่ใน ปัจจุบันโดยสามารถรับส่งข้อมูลด้วยอัตราในระดับ 100 เมกะบิตต่อวินาที

10. IEEE 802.11x เป็นมาตรฐานที่ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัยซึ่ง ก่อนเข้าใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายจะต้องตรวจสอบสิทธิในการใช้งานก่อน โดย IEEE 802.11x จะ ใช้โปรโตคอลอย่าง LEAP PEAP EAP-TLS และ EAP-FAST ซึ่งรองรับการตรวจสอบผ่านเซิร์ฟเวอร์ เช่น RADIUS หรือ Kerberos เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าเป็นมาตรฐาน 802.11 ที่ใช้งานในเครือข่ายไร้สายจะมีหลาย มาตรฐานแต่มาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและสามารถใช้งานในประเทศไทยได้มีอยู่ 3 มาตรฐานคือ IEEE 802.11a IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g และที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ มาตรฐาน IEEE 802.11g และในการเลือกซื้ออุปกรณ์เพื่อนำมาใช้ในเครือข่ายไร้สายนั้นก่อนตัดสินใจซื้ออุปกรณ์ใด ๆ ผู้ซื้อควรตรวจสอบรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชนิดให้เรียบร้อย โดยตรวจสอบดูว่าอุปกรณ์ชิ้นนั้น รองรับมาตรฐานใดและมาตรฐานนั้นได้รับการรับรองอย่างเป็นทางการแล้วหรือไม่หากว่าอุปกรณ์ตัว นั้นผ่านตามมาตรฐานก็จะได้ตรา WIFI certified ซึ่งก็จะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์นั้นสามารถติดต่อกับ เป็น สิ่งจำเป็นและเป็นสิ่งสำคัญเพื่อจะได้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้โดยไม่มีปัญหา



รูปที่ 2.31 ตราสัญลักษณ์แสดงการรับรองมาตรฐานของ WiFi

2.10.2.2 บลูทูธ (Bluetooth)

บลูทูธ (Bluetooth) คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบสองทางเป็นเทคโนโลยีไร้สายแบบระยะสั้น (Short-Range) คือ มีกำลังส่งต่ำมีระยะทำการระหว่างอุปกรณ์ที่รองรับบลูทูธด้วยกันเพียง 10 เมตร ซึ่งจะใช้สำหรับต่อเข้ากับระบบเน็ตเวิร์คขนาดเล็ก ๆ ที่อุปกรณ์แต่ละตัวอยู่ไม่ห่างกันมากที่เรียกว่า เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) โดยบลูทูธนี้จะทำงานเคลื่อนที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่เรียกแถบความถี่เสรี (ISM) โดยความถี่นี้ไม่มีใครเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์

บลูทูธจะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz แต่จะแยกย่อยออกไปแต่ละประเทศในแถบยุโรปและอเมริกาจะใช้ช่วง 2.400 ถึง 2.4835 GHz แบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้เพื่อส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อวินาที ในขณะที่ญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz แบ่งออกเป็น 23 ช่อง ระยะในการใช้งานของบลูทูธจะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การบ่อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อและป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสารโดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมาบลูทูธจะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติโดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่องทำให้การดักฟังหรือการลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น คือเทคโนโลยีในการรับส่งสัญญาณที่เรียกว่า FHSS

โดยหลักของบลูทูธจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากใช้การขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มากอย่างเช่น ไฟล์ภาพ เสียง แอปพลิเคชันต่าง ๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายโดยขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อยและสามารถใช้งานได้ยาวนานโดยไม่ต้องชาร์จไฟบ่อย ๆ ด้วยบลูทูธจึงเหมาะกับการใช้งานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ รวมถึงเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาเรียกว่า พีดีเอ (personal digital assistants PDA) จาพวก ปาล์ม (Palm) หรือ พ็อกเก็ตพีซี (Pocket PC)

2.10.2.3 ไวแม็กซ์ (WiMAX)

ไวแม็กซ์ (WiMAX) เป็นชื่อย่อของ Worldwide Interoperability for Microwave Access มีวิวัฒนาการมาจากเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุย่านไมโครเวฟซึ่งเป็นเทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูงรุ่นใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาตามมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งต่อมา ก็ได้พัฒนา IEEE 802.16a ขึ้นรัศมีทำการประมาณ 50 กิโลเมตรมีอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดถึง 75 Mbps ซึ่งเดิมมีรูปแบบการสื่อสารแบบเป็นเส้นตรง (Line of Sight: LOS) และเป็นการเชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Point-to-Point) ต่อมา มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงให้ไวแม็กซ์มีรูปแบบการสื่อสารแพร่กระจายคลื่นวิทยุรอบทิศทาง (Omni-direction) หรือแบบกำหนดทิศทาง (directional) โดยขึ้นกับการเลือกใช้กับเสาอากาศตั้งนั้น ไวแม็กซ์จึงเป็นการสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non Line of Sight: NLOS) เช่นเดียวกับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในกรณีของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ทั่วไปไวแม็กซ์สามารถทำงานได้แม้กระทั่งมีสิ่งกีดขวางเช่น ต้นไม้หรือ อาคารได้เป็นอย่างดีรองรับการใช้งานวีดิทัศน์หรือการใช้งานเสียงซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของเครือข่ายมากอย่างแต่ก่อน อีกทั้งในเรื่องของความปลอดภัยยังได้เพิ่มคุณสมบัติของความเป็นส่วนตัวซึ่งต้องได้รับอนุญาตก่อนที่จะเข้าออกโครงข่ายและข้อมูลต่าง ๆ ที่รับส่งก็จะได้รับการเข้ารหัส (encryption) ทำให้การรับส่งข้อมูลบนมาตรฐานนี้มีความปลอดภัยมากขึ้น สำหรับมาตรฐานของเทคโนโลยีไวแม็กซ์ที่มีการพัฒนาขึ้นมาในขณะนี้นั้นมีดังต่อไปนี้

1. IEEE 802.16-2001 เป็นมาตรฐานที่ให้การเชื่อมโยง 1.6-4.8 กิโลเมตร เป็นมาตรฐานเดียวที่สนับสนุนการสื่อสารแบบเป็นเส้นตรง (LOS) โดยมีการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากคือ 10-66 GHz
2. IEEE 802.16a เป็นมาตรฐานที่แก้ไขปรับปรุงจาก IEEE 802.16 เดิมโดยใช้งานที่ความถี่ 2-11 GHz ซึ่งคุณสมบัติเด่นที่ได้รับการแก้ไขจากมาตรฐาน 802.16 เดิม คือ คุณสมบัติรองรับการทำงานแบบไม่เป็นเส้นตรง (NLOS) ซึ่งมีคุณสมบัติการทำงานได้เมื่อมีสิ่งกีดขวาง อาทิเช่น ต้นไม้ อาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถขยายระบบโครงข่ายเชื่อมต่อไร้สายความเร็วสูงได้อย่างกว้างขวางด้วยรัศมีทำการประมาณ 50 กิโลเมตร และมีอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ทำให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายที่ใช้สายประเภทที่ 1 (T1-type) กว่า 60 ช่องสัญญาณและการเชื่อมต่อแบบ ดีเอสแอล (DSL) ตามบ้านเรือนที่พักอาศัยอีกหลายร้อยครัวเรือนได้พร้อมกันโดยไม่เกิดปัญหาในการใช้งาน
3. IEEE 802.16-2004 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดยการนำข้อดีของมาตรฐานต่าง ๆ IEEE 802.16a 802.16c และ 802.16d มารวมกัน โดยสามารถใช้งานที่ความถี่ 2-66 กิกะเฮิร์ตซ์ รัศมีทำการที่ไกลประมาณ 50 กิโลเมตร
4. IEEE 802.16e เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาให้สนับสนุนการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์พกพาประเภทต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ พีดีเอไอ้ตบुक เป็นต้น โดยใช้งานที่ความถี่ 2-5 กิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กะเอิร์ทซ์ ให้รัศมีทำงานที่ 1.6-4.8 กิโลเมตร มีระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสื่อสารโดยให้คุณภาพในการสื่อสารที่ดีและมีเสถียรภาพขณะใช้งานแม้จะมีการเคลื่อนที่ช้าๆ อยู่ตลอดเวลาก็ตาม

2.10.2.4 ซิกบี

การประยุกต์ใช้งานระบบติดตามและควบคุมแบบไร้สาย (monitoring and control) แบบไร้สายสำหรับอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัยนั้นถ้าจะนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้จริงนั้นตัวอุปกรณ์จะต้องมีช่วงเวลาของการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานในการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราที่ต่ำและ ต้องมีความซับซ้อนน้อยกว่ามาตรฐานสื่อสารไร้สายแบบไร้สายแบบอื่นๆ ด้วยซึ่งมาตรฐานของการสื่อสารไร้สายส่วนใหญ่มีการสื่อสารด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงและใช้กำลังไฟฟ้ามากถ้านำมาประยุกต์ใช้ในระบบการติดตามและควบคุมนั้นระบบจะมีความซับซ้อนมากทำให้มีราคาแพงตามไปด้วย นอกจากนี้สมรรถนะของระบบที่จะนำมาใช้จริงในท้องตลาดจำเป็นต้องมีความเชื่อถือได้มีความปลอดภัยและมีราคาถูก ทั้งนี้ระบบสื่อสารไร้สายดังกล่าวจะต้องสามารถระบุแอดเดรสเฉพาะตัวที่ใช้ในการควบคุมระหว่างเซนเซอร์พื้นฐานในโครงข่ายได้

ดังนั้นองค์การ IEEE จึงพัฒนามาตรฐานของการสื่อสารไร้สายที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานข้างต้น คือ มาตรฐาน IEEE 802.15 หรือที่รู้จักกันในชื่อว่า ซิกบี (ZigBee) โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ และมีช่วงเวลาการใช้งานจากแบตเตอรี่ได้หลายเดือนหรือหลายปีและมีความซับซ้อนน้อยมาก โดยย่านความถี่ที่ถูกนำมาใช้งานนั้นจะอยู่ในย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาตกำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ 2.4 GHz ย่านความถี่ 915 MHz และย่านความถี่ 868 MHz โดยแต่ละย่านความถี่จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง 10 ช่อง และ 1 ช่องตามลำดับส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps 40 Kbps 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน และเนื่องจากมีระยะทางในการรับส่งข้อมูลไม่ไกล คือ รัศมีการทำงานอยู่ระหว่าง 10-100 เมตร ซิกบี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ซึ่งมาตรฐานนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านอัตโนมัติเซนเซอร์ไร้สายของเล่นที่โต้ตอบได้และรีโมตคอนโทรลเป็นต้น โดย IEEE 802.15.4 จะถูกกำหนดไว้ในชั้นกายภาพ (physical) และระดับชั้นแมค (Media Access Controller: MAC) ส่วนในระดับชั้นเน็ตเวิร์ก (network) นั้นถูกกำหนดโดยกลุ่มที่ชื่อว่า ZigBee Alliance ที่เป็นการรวมกลุ่มจากบริษัทต่าง ๆ มากกว่า 60 บริษัท

จากเทคโนโลยีที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปเทคโนโลยีที่สำคัญ
ได้ดังตารางที่ 2.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่สำคัญในเครือข่ายไร้สาย

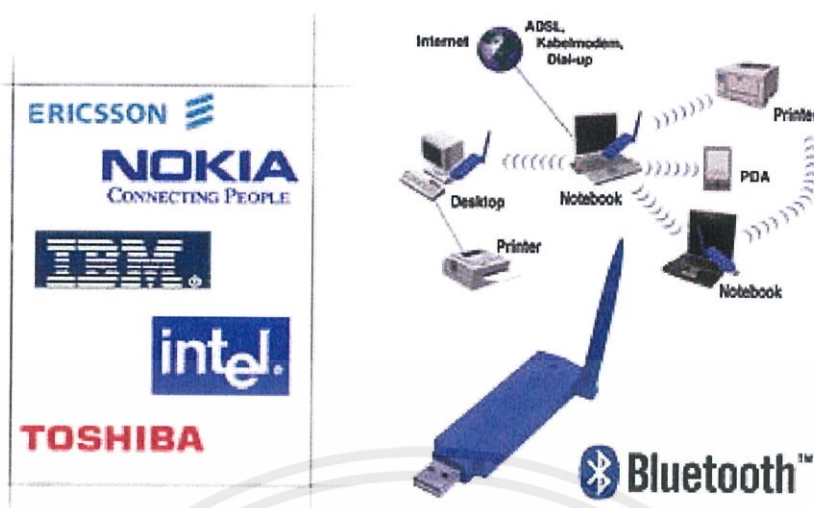
เทคโนโลยี	มาตรฐาน	เครือข่าย	ระยะทาง (เมตร)	ความถี่ (GHz)
ยูดับเบิลยูบี (UWB)	802.15.3a	Wireless PAN	10	7.5
บลูทูธ (Bluetooth)	802.15.1	Wireless PAN	10	2.4
ซิกบี (Zigbee)	802.15.4	Wireless PAN	10	2.4, 0.9, 0.8
ไวไฟ (WiFi)	802.11a	Wireless LAN	100	5
	802.11b	Wireless LAN	100	2.4
	802.11g, n	Wireless LAN	100	2.4
ไวแมกซ์ (WiMAX)	802.16d	Wireless MAN	6400-9600	11
	802.16e	Mobile Wireless MAN	1600-4800	2-6
ดับเบิลยูซีดีเอ็มเอ (WCDMA)	IMT-2000 (3G)	Wireless WAN	1600-8000	1.8, 1.9, 2.1
ซีดีเอ็มเอ 2000 (CDMA 2000)	IMT-2000 (3G)	Wireless WAN	1600-8000	0.4, 0.8, 0.9, 1.7, 1.8, 1.9, 2.1
เอดจ์ (EDGE)	IMT-2000 (3G)	Mobile Wireless WAN	1600-800	1.9

2.11 Bluetooth

2.11.1 ที่มาของ Bluetooth

ปี 1994 บริษัท อีริคสัน โมบาย คอมมูนิเคชัน เริ่มต้นที่จะค้นคว้าวิจัยความเป็นไปได้ในการนำคลื่นสัญญาณวิทยุ มาใช้ระหว่างโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ต่างๆ และเป็นผู้นำชื่อ Bluetooth มาใช้

ปี 1998 กลุ่มผู้พัฒนาวิจัยระบบ Bluetooth ได้ถูกก่อตั้งขึ้น โดยเกิดจากการรวมตัวของบริษัทยักษ์ใหญ่อย่าง Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba และ Intel ในกลุ่มที่ใช้ชื่อว่า Special Interest Group (SIG) ซึ่งในกลุ่มจะประกอบด้วย กลุ่มผู้นำทางด้านโทรศัพท์มือถือ, คอมพิวเตอร์ ฯลฯ ซึ่งกลุ่มเหล่านี้ได้ประเมินว่า ภายในปี 2002 ในอุปกรณ์การสื่อสาร, เครื่องใช้, คอมพิวเตอร์ จะถูกติดตั้ง Bluetooth ที่จะใช้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.32 บริษัทที่ร่วมก่อตั้ง Bluetooth

โดยในปีเดียวกัน บริษัทเหล่านี้ ได้ประกาศ การรวมตัวกัน และเชิญชวน บริษัทอื่นๆ ให้เข้าร่วม ในลักษณะของการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ โดยในปี 1999 ได้ทำการเผยแพร่ Bluetooth specification Version 1.0 และได้สมาชิกเพิ่มขึ้น ดังนี้ Microsoft, Lucent, 3Com, Motorola

2.11.2 ความหมายของ Bluetooth

Bluetooth คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ และไม่จำเป็นต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด [15] ซึ่งถือว่าเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับ อุปกรณ์ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ และในการวิจัย ไม่ได้มุ่งเฉพาะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังคงศึกษาถึงการส่งข้อมูลที่เป็นเสียง เพื่อใช้สำหรับ Headset บนโทรศัพท์มือถือด้วยเทคโนโลยี บลูทูธ เป็นเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบไร้สายที่น่าจับตามองเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน ทั้งในเรื่องความสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ใช้ทั่วไป และประสิทธิภาพในการทำงาน เนื่องจาก เทคโนโลยีบลูทูธ มีราคาถูก ใช้พลังงานน้อย และใช้เทคโนโลยี short – range ซึ่งในอนาคต จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนา เพื่อนำไปสู่การแทนที่อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สาย เคเบิล เช่น Headset สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น เทคโนโลยีการเชื่อมโยงหรือการสื่อสารแบบใหม่ที่ถูกคิดค้นขึ้น เป็นเทคโนโลยีของอินเทอร์เน็ตเฟสทางคลื่นวิทยุ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสื่อสารระยะใกล้ที่ปลอดภัยผ่านช่องสัญญาณความถี่ 2.4 Ghz โดยที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของการใช้สายเคเบิลในการเชื่อมโยง โดยมีความเร็วในการเชื่อมโยงสูงสุดที่ 1 mbp ระยะเวลาครอบคลุม 10 เมตร เทคโนโลยีการส่งคลื่นวิทยุของบลูทูธจะใช้การกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency hop) เพราะว่าเทคโนโลยีนี้เหมาะที่จะใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหากไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

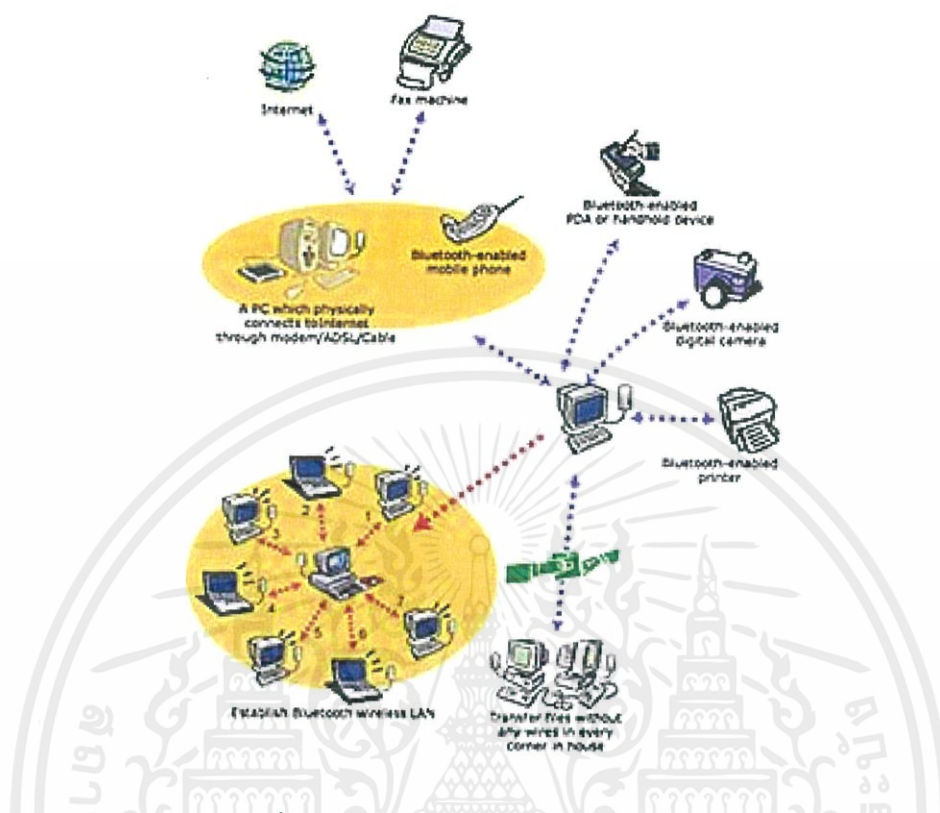
การส่งคลื่นวิทยุที่มีกำลังส่งต่ำและราคาถูก โดยจะแบ่งออกเป็นหลายช่องความถี่ขนาดเล็ก ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนช่องความถี่ที่ไม่แน่นอนทำให้สามารถหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนที่เข้ามาแทรกแซงได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่จะได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีบลูทูธ ต้องผ่านการทดสอบจาก Bluetooth SIG (Special Interest Group) เสียก่อนเพื่อยืนยันว่ามันสามารถที่จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่นๆและอินเทอร์เน็ตได้



2.11.3 ระบบการทำงานของ Bluetooth

Bluetooth จะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz. แต่จะแยกย่อยออกไปตามแต่ละประเทศ อย่างในแถบยุโรปและอเมริกา จะใช้ช่วง 2.400 ถึง 2.4835 GHz. แบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ เพื่อส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ส่วนที่ญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz. แบ่งออกเป็น 23 ช่อง ระยะทำการของ Bluetooth จะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และ ป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสาร โดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมา จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น

โดยหลักของบลูทูธจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากใช้การขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มาก อย่างเช่น ไฟล์ภาพ, เสียง, แอปพลิเคชันต่างๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น (ประมาณ 5-10 เมตร) นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อย และสามารถใช้งานได้นาน โดยไม่ต้องนำไปชาร์จไฟบ่อยๆด้วย



รูปที่ 2.34 ระบบการทำงานของ Bluetooth

ส่วนความสามารถการส่งถ่ายข้อมูลของ Bluetooth จะอยู่ที่ 1 Mbps (1 เมกกะบิตต่อวินาที) และคงจะไม่มีปัญหาอะไรมากกับขนาดของไฟล์ที่ใช้กันบนโทรศัพท์มือถือ หรือ การใช้งานแบบทั่วไป ซึ่งถือว่าเหลือเฟือมาก แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ล่ะก็ คงจะช้าเกินไป และ ถ้าถูกนำไปเปรียบเทียบกับ Wireless LAN (WLAN) แล้ว ความสามารถของ Bluetooth คงจะห่างชั้นกัน เยอะ ซึ่งในส่วนของ WLAN ก็ยังมีระยะการรับ-ส่งที่ไกลกว่า แต่ข้อได้เปรียบของ Bluetooth จะอยู่ที่ ขนาดที่เล็กกว่า การติดตั้งทำได้ง่ายกว่า และที่สำคัญ การใช้พลังงานก็น้อยกว่ามาก อยู่ที่ 0.1 วัตต์ หากเทียบกับคลื่นมือถือแล้วยังห่างกันอยู่หลายเท่าเหมือนกัน

2.11.4 ประโยชน์ของ Bluetooth

2.11.4.1 คอมพิวเตอร์ กับ โทรศัพท์มือถือ

หากเราต้องเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น พรินเตอร์ คีย์บอร์ด เม้าท์ หรือลำโพง การเชื่อมต่อในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะใช้สายเคเบิลเป็นตัวเชื่อมต่อทั้งหมด (Serial และ USB) ซึ่งอาจจะไม่สะดวกทั้งในด้านการใช้สอย เคลื่อนย้าย และความเรียบร้อยต่างๆ แต่หากเครื่อง PC มีอุปกรณ์ Bluetooth ก็สามารถติดต่อเข้าหากันได้โดยใช้คลื่นแทนการใช้สายไฟ เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ทั้งหมด ทั้งการส่งไฟล์ภาพ, เสียง, ข้อมูล อีกทั้งระบบเชื่อมต่อผ่าน CSD และ GPRS บนโทรศัพท์มือถือ ก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้สาย ซึ่งจะช่วยลดความยุ่งยาก อีกทั้งยังเพิ่มความสะดวกสบายในการทำงานมากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.35 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโทรศัพท์มือถือโดยใช้ Bluetooth

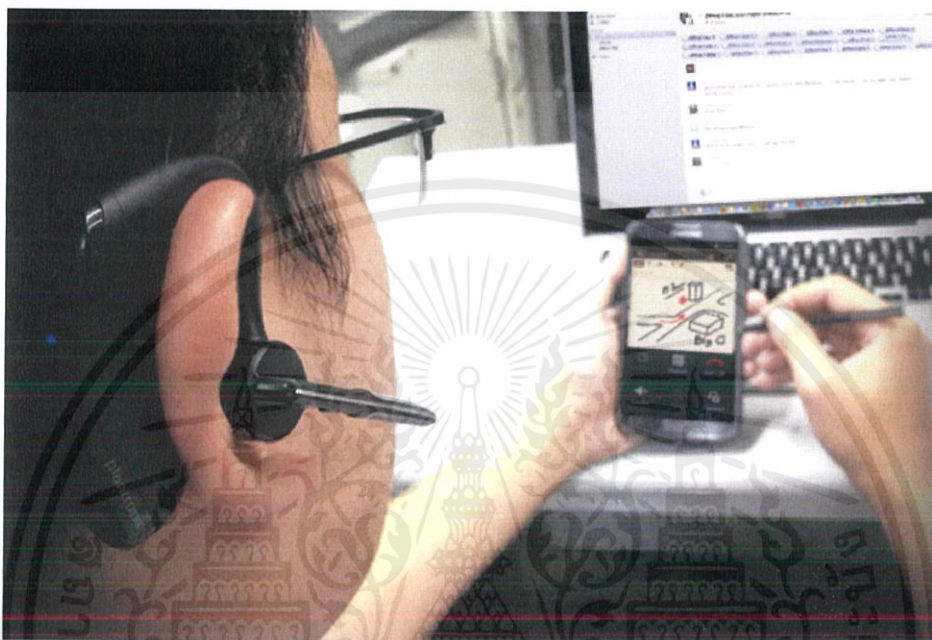
แต่ข้อจำกัดการใช้งานก็มีเช่นกัน การเชื่อมต่ออุปกรณ์พกพาต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก หรือ พ็อกเก็ต พีซี เข้ากับอินเทอร์เน็ต จะสามารถใช้งานได้เพียง 1 อุปกรณ์ ต่อ 1 ชั้นเท่านั้น ซึ่งบางทีอาจจะต้องสลับการใช้งานกันบ่อยๆ (สำหรับผู้ใช้อุปกรณ์ไร้สายขนาดใหญ่) แต่ก็ถือว่าให้ความสะดวกมากกว่าการใช้สายเคเบิล

2.11.4.1 โทรศัพท์มือถือ กับ ชุดหูฟัง (Smalltalk)

ชุดหูฟัง หรือ Smalltalk อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่ผู้ใช้เกือบทุกคนต้องมีใช้กัน ซึ่งราคาเดี๋ยวนี้อาจมีตั้งแต่ 30-300 บาท ในด้านการใช้งานบนเครื่องโทรศัพท์มือถือ หากเป็นชุดหูฟังแบบมีสาย ข้อจำกัดจะอยู่ที่ เราไม่สามารถเคลื่อนตัวไปไหนได้ไกลกว่าที่สายจะยาวถึง แล้วก็ต้องคอยระวังสายไม่ให้ไปเกี่ยวกับสิ่งของต่างๆ บางทีอาจจะทำให้สายหลุดออกจากเครื่องด้วย แต่เมื่อนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bluetooth มาแทนที่การใช้งาน ก็น่าจะเพิ่มความสะดวกและความปลอดภัยในการใช้มือทั้งสองข้างทำงานอย่างอื่นไปพร้อมๆ กันด้วย ทั้งในเวลาขับรถ (ตอนนี้กฎหมายก็มีออกมาแล้ว เกี่ยวกับการใช้โทรศัพท์มือถือขับรถ) ขณะออกกำลังกาย หรือ ขณะปฏิบัติกิจต่างๆ ก็สามารถขยับตัวไปไหนได้อย่างสะดวก แค่นียิบชุดหูฟังมาแนบหูแล้วเอาโทรศัพท์เหน็บเอว เท่านั้นก็คุยได้แล้ว



รูปที่ 2.36 การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือกับชุดหูฟัง(Smalltalk)โดยใช้ Bluetooth

จากประโยชน์ต่างๆ จะเห็นได้ว่า เทคโนโลยี Bluetooth สามารถนำมาใช้ให้เข้ากับชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี และยังเพิ่มความสะดวกในการทำงานกับอุปกรณ์ต่างๆ และนอกเหนือจากที่กล่าวไป Bluetooth ยังถูกพัฒนามาใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ อีกด้วย ทั้งหูฟังสเตอริโอ เครื่องเล่นซีดี รีโมทวิทยุ แม้กระทั่งในรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี Bluetooth ไปใช้กันแล้ว ทั้งชุด Handsfree, หรือ รีโมทเปิด-ปิดประตู หรือระบบ Keyless แต่เราไม่ต้องกดปุ่มที่กุญแจอีกต่อไป เพียงแค่ออยู่ในระยะการทำงาน ประตูก็จะเปิดล็อคให้ทันที ส่วนเวลาลงรถก็สามารถเดินตัวปลิวออกจากรถได้เลย เมื่อการเชื่อมต่อระหว่างตัวรถกับกุญแจขาดจากกัน ก็จะล็อคให้เองอัตโนมัติ (รถบางรุ่นเริ่มมีใช้กันแล้ว Mercedes-Benz SLR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.5 Bluetooth ในอนาคต

ปัจจุบัน การแทนที่สายเคเบิลด้วย Bluetooth อาจยังมีปัญหาอยู่บ้าง เช่น ในด้านของราคาที่สูงกว่าแบบใช้สายเคเบิลอยู่พอสมควร ดังนั้นหากอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี Bluetooth เหล่านี้ สามารถลดระดับราคาลง (แต่ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยได้หลายๆด้าน) เทคโนโลยีบลูทูธ ก็น่าจะถูกนำมาใช้แทนที่การติดต่อสื่อสารแบบที่ใช้สายได้อย่างแพร่หลายค่อนข้างแน่นอน



รูปที่ 2.37 หูฟังบลูทูธรุ่นใหม่ๆ จากซัมซุง

ในอนาคตใกล้ Bluetooth จะกลายเป็นระบบไร้สายมาตรฐานบนเครื่องโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ PDA โน้ตบุ๊ก รวมไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ และจะทำให้ตลาดการสื่อสารเปลี่ยนรูปแบบใหม่ จะมีการค้นคว้าวิจัยเพิ่มมากขึ้นในการพัฒนาสินค้า-บริการ รวมถึงการติดต่อสื่อสารที่สามารถทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น ซึ่งดูเหมือนว่าทุกอย่างน่าจะไปได้สวย ดังนั้น Bluetooth จึงเป็นเทคโนโลยีอนาคตที่น่าสนใจ และ น่าจับตามองที่สุด

บทที่ 3

การออกแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ






3.1 การเลือกรูปแบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

การเลือกรูปแบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้น โดยมีการกำหนดให้ปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและแสดงผลการใช้ไฟฟ้าและค่าที่วัดได้ทางไฟฟ้าต่างๆผ่านคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยระบบการส่งข้อมูลและการสื่อสารไร้สาย Bluetooth และยังสามารถส่งข้อมูลทางไฟฟ้าไปยังจอแสดงผลโดยตรงที่ติดตั้งอยู่กับปลั๊กไฟอัจฉริยะและสามารถสั่งการเพื่อควบคุมการเปิดปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่ติดตั้งปลั๊กไฟอัจฉริยะและสามารถป้องกันวงจรของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับปลั๊กไฟอัจฉริยะเมื่อเกิดการลัดวงจรหรือเกิดกระแสเกินจะสามารถตัดกระแสไฟฟ้าภายในวงจรได้อย่างทันที

3.2 การออกแบบวงจรเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

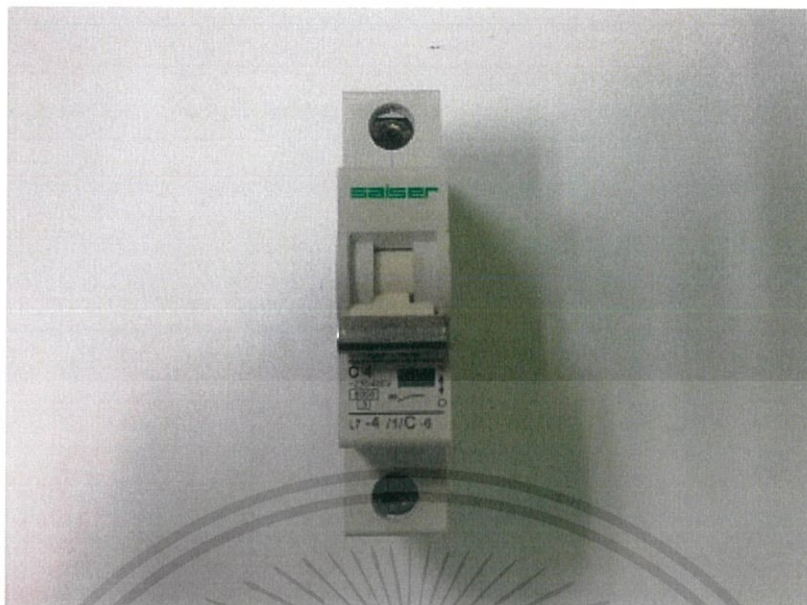
การออกแบบวงจรย่อยเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556[1] และเป็นไปตามข้อกำหนดทั่วไป มาตรฐานเลขที่ มอก. 2162-2547[2] ที่กำหนดให้เต้าไฟฟ้าต้องมีแบบ พิกัดแรงดันไฟฟ้า และพิกัดกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แบบและพิกัดของเต้าไฟฟ้า

แบบ	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด โวลต์	กระแสไฟฟ้าที่กำหนด แอมแปร์
2P (เฉพาะเต้าเสียบเปลี่ยน สายไม่ได้)	130 หรือ 250	2.5
2P (เฉพาะเต้าเสียบ)	130 หรือ 250	6
2P	130 หรือ 250	10
2P + 		16
2P + 		32
2P + 	440	16
3P + 		32
3P + N + 		
หมายเหตุ โครงแบบและค่าตามมาตรฐานของระบบที่มีอยู่ได้รายงานไว้ใน IEC 60083		

หมายเหตุ ประเทศออสเตรเลีย เยอรมนี อิตาลี มีข้อกำหนดห้ามใช้เต้ารับยึดกับที่แบบ 2P

ปลั๊กอัจฉริยะเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ยี่ห้อ Salser รุ่น L7-4 /1 /C ดังรูปที่ 3.1 มีพิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 230/400 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้า 4 แอมแปร์ สำหรับการกำหนดขนาดพิกัดวงจรย่อย เนื่องจากเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะต้องมีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าขนาดพิกัดวงจรย่อย จึงเลือกใช้เต้ารับคู่ มีกราวด์ ยี่ห้อ Panasonic รุ่น WEG15929 ดังรูปที่ 3.2 มีพิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 250 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้า 16 แอมแปร์ เป็นเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะ นอกจากนี้ปลั๊กไฟอัจฉริยะเลือกใช้สายไฟทีเอชดับเบิลยู(THW) ยี่ห้อ Thai-Yazaki มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร มีพิกัดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องสูงสุดในอากาศ 23 แอมแปร์ สำหรับการเดินสายภายในปลั๊กไฟอัจฉริยะ



รูปที่ 3.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 3.2 เต้ารับคู่ มีกราวด์

3.3 การเลือกระบบการรับส่งข้อมูลระหว่างปลั๊กไฟอัจฉริยะกับอุปกรณ์ที่ใช้รับข้อมูล

การเลือกระบบการรับส่งข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างปลั๊กไฟอัจฉริยะกับอุปกรณ์ที่ใช้รับข้อมูลนั้น โดยเนื่องจากการกำหนดขอบเขตการควบคุมปลั๊กไฟอัจฉริยะกับการรับส่งข้อมูลเป็นการควบคุมและการรับส่งข้อมูลภายในบ้านและที่อยู่อาศัยเป็นการควบคุมและรับส่งข้อมูลระยะสั้นและเนื่องจากขนาดข้อมูลที่รับส่งในจำนวนไม่มากจึงเลือกใช้การรับส่งข้อมูลสัญญาณแบบไร้สาย Bluetooth เพื่อให้เหมาะสมกับขอบเขตที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อย และสามารถใช้งานได้นาน

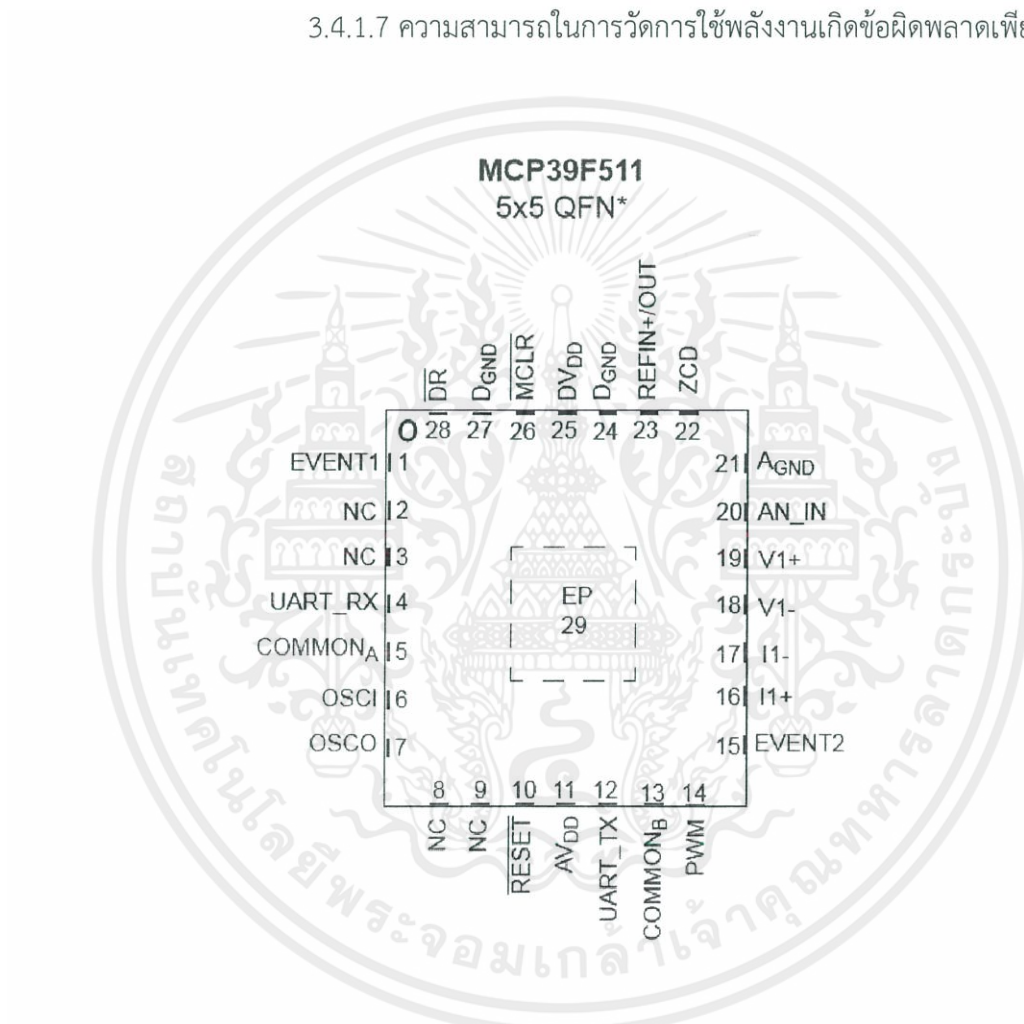
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 สามารถเชื่อมต่อกับ UART

3.4.1.5 สามารถทำงานที่ช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 125 องศาเซลเซียส

3.4.1.6 สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ถูกจ่ายให้กับชิปทั้งแบบกระแสตรงและแบบกระแสสลับได้ตามเวลาจริง

3.4.1.7 ความสามารถในการวัดการใช้พลังงานเกิดข้อผิดพลาดเพียง 0.1%



รูปที่ 3.4 โครงสร้าง MICROCHIP รุ่น MCP39F511

ตารางที่ 3.2 แสดงการเชื่อมต่อของ MCP39F511

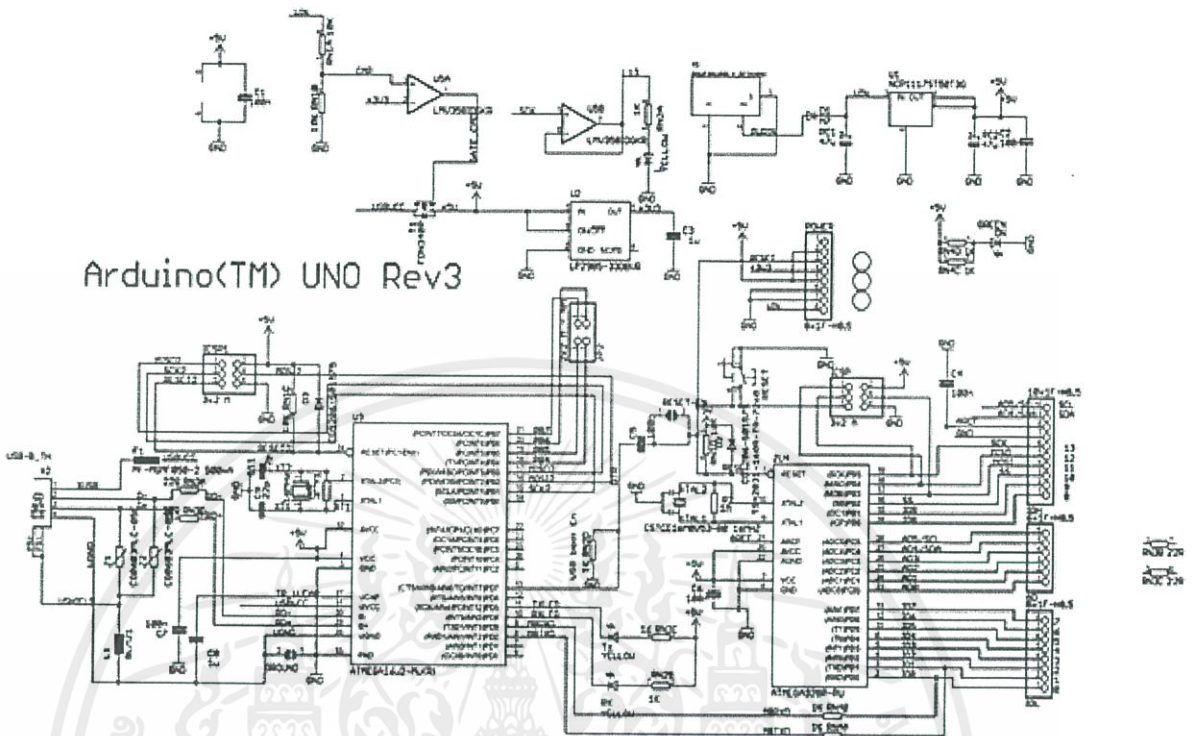
PIN FUNCTION TABLE		
MCP39F511 5x5 QFN	Symbol	Function
1	EVENT1	Event 1 Output pin
2, 3, 8, 9	NC	No Connect (must be left floating)
4	UART_RX	UART Communication RX pin
5	COMMON _A	Common pin A, to be connected to pin 13 (COMMON _B)
6	OSCI	Oscillator Crystal Connection pin or External Clock Input pin
7	OSCO	Oscillator Crystal Connection pin
10	RESET	Reset pin for Delta-Sigma ADCs
11	AV _{DD}	Analog Power Supply pin
12	UART_TX	UART Communication TX pin
13	COMMON _B	Common pin B, to be connected to pin 5 (COMMON _A)
14	PWM	Pulse-Width Modulation (PWM) Output pin
15	EVENT2	Event 2 Output pin
16	I1+	Noninverting Current Channel Input for 24-bit $\Delta\Sigma$ ADC
17	I1-	Inverting Current Channel Input for 24-bit $\Delta\Sigma$ ADC
18	V1-	Inverting Voltage Channel Input for 24-bit $\Delta\Sigma$ ADC
19	V1+	Noninverting Voltage Channel Input for 24-bit $\Delta\Sigma$ ADC
20	AN_IN	Analog Input for SAR ADC
21	A _{GND}	Analog Ground Pin, return path for internal analog circuitry
22	ZCD	Zero Crossing Detection Output
23	REFIN+/OUT	Noninverting Voltage Reference Input and Internal Reference Output Pin
24, 27	D _{GND}	Digital Ground pin, return path for internal digital circuitry
25	DV _{DD}	Digital Power Supply pin
26	MCLR	Master Clear for device
28	DR	Data Ready (must be left floating)
29	EP	Exposed Thermal Pad (to be connected to pins 24 and 27 (D _{GND}))

© 2015 Microchip Technology Inc.

3.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้ในการควบคุมและสั่งการทำงานของชิปคำนวณพลังงานโดยใช้ Arduino ในการเขียนคำสั่งในการควบคุมและสั่งการการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆที่พัฒนาขึ้นมาสนับสนุนจะอ้างอิงกับ Arduino Uno R3 เป็นหลัก สามารถซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์มาเปลี่ยนเองได้กรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เสีย

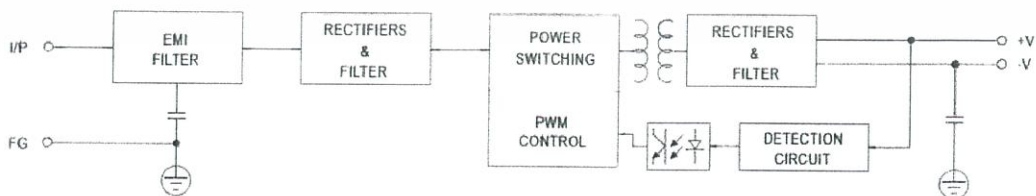


Arduino(TM) UNO Rev3

รูปที่ 3.5 วงจรของ Arduino UNO R3

3.4.3 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ที่ซึ่งขนาด 5 V 3 A แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V เป็น 5 V จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ Arduino UNO R3, LCD และ 2 Channel Relay



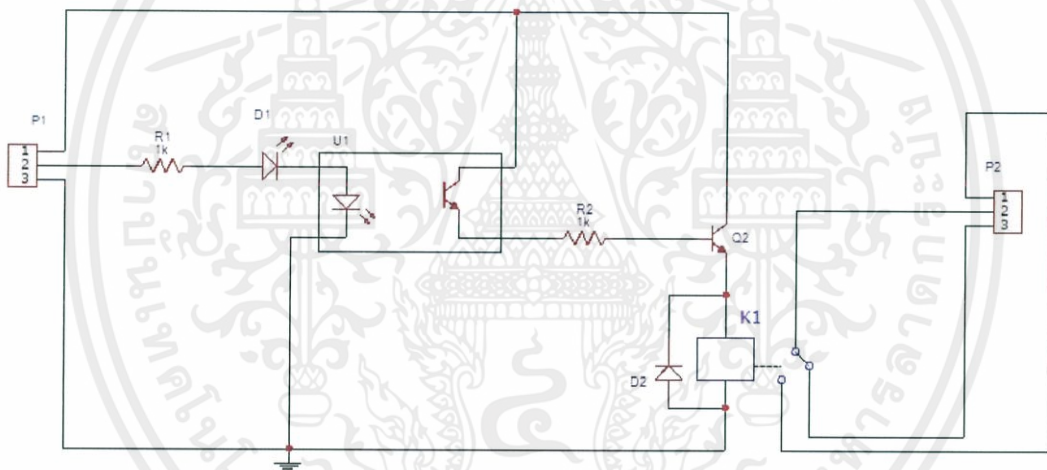
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ที่ซึ่งขนาด 5 V 3 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 อุปกรณ์ป้องกัน

3.4.4.1 เซอร์คิตเบรกเกอร์ชนิด 1 pole ขนาด 4 A ของบริษัท SALZER ซึ่งทำหน้าที่ตัดวงจรต่อเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ต่อกับเซอร์คิตเบรกเกอร์นั้นเกิดความเสียหายขึ้นจากกระแสที่เกินกำหนด มีค่าพิกัดความต้านทานกระแสอยู่ที่ 4 A

3.4.4.2 Opto-Isolated 2 Channel Relay Board รีเลย์ 2 ตัว เพื่อใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า รับกระแสได้สูงถึง 10 A ใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ รับแรงดันระดับ 5 V ตรงจาก Arduino board มี LED แสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ ออกแบบให้ป้องกันวงจรด้านควบคุมออกจากด้านกำลังโดยการส่งผ่านด้วยแสง(Optocoupler) ในทุกตัวรีเลย์



รูปที่ 3.7 แบบวงจร Opto-Isolated 2 Channel Relay Board

3.4.5 ขนาดสายไฟของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

สายไฟขนาด 2.5 sq.mm. ประเภท VAF ชนิด 2 แกน มีขนาดรองรับพิกัดกระแส 20 A ตามมาตรฐานสายไฟ มอก. 11-2531

3.4.6 ระบบรับส่งข้อมูลไร้สาย

HC-05 คือ Bluetooth Module ที่ใช้ในการส่งข้อมูลไร้สายด้วย 2.4 GHz Bluetooth 2.0+EDR (Enhanced Data Rate) มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ สามารถต่ออินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์ด้วย UART Interface เพื่อใช้งาน AT Command สามารถตั้งค่าเป็นได้ทั้ง Master และ Slave มีระยะการรับส่งสัญญาณอยู่ในช่วงประมาณ 10 เมตร

3.4.7 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุม

Arduino IDE คือ เครื่องมือการเขียนโปรแกรมที่มีใช้งานได้กับ Arduino ได้ทุกรุ่น เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางาน สำหรับบอร์ด Arduino นั่นคือโปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ดโดย ขนาดของโปรแกรม Arduino โดยปกติแล้วจะใหญ่กว่าโค้ด AVR ปกติเนื่องจากโค้ด AVR เป็นการเข้าถึงจาก รีจิสเตอร์โดยตรง แต่โค้ด Arduino เข้าถึงผ่านฟังก์ชัน เพื่อให้สามารถเขียนโค้ดได้ง่ายมากกว่าการเขียนโค้ดแบบ AVR หรือเวอร์ชันอื่นๆ ของ Arduino IDE ย่อมาจาก (Integrated Development Environment) คือ ส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่างๆที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนา Application เพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ ตรวจสอบระบบที่จัดทำได้ ทำให้การพัฒนางานต่างๆเร็วมากขึ้น

Arduino IDE สามารถแบ่งวิธีการเขียนโปรแกรมได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนเซ็ทอัพ และส่วนการทำงานแบบลูป ส่วนเซ็ทอัพ คือส่วนที่เอาไว้ตั้งค่าให้ Pins ต่างๆของ Arduino ทำหน้าที่อะไร ส่วนการทำงานแบบลูปคือส่วนที่ออกคำสั่งให้ Pin ที่เราประกาศไปแล้วนั้น มีหน้าที่การทำงานแบบไหน มีลักษณะการทำงานอย่างไร โดยการทำงานจะวนซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะเลิกจ่ายไฟ

```
void setup()
{
  pinMode(9, OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay(5000);
  digitalWrite(9, LOW);
  delay(1000);
}
```

รูปที่ 3.8 ลักษณะคำสั่งส่วนเซ็ทอัพและส่วนการทำงานแบบลูป

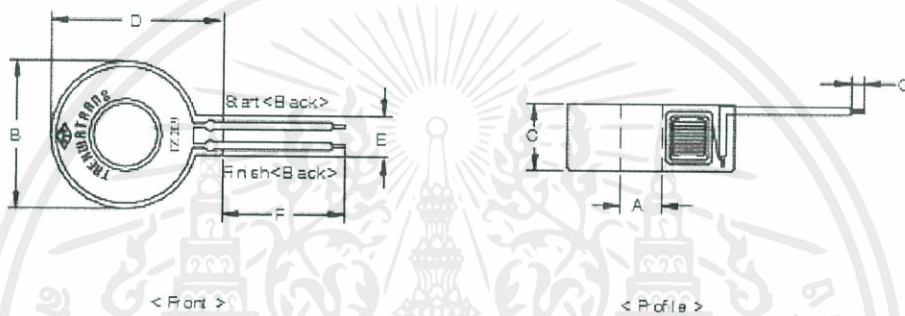
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 การลดทอนกระแสและแรงดันให้เหมาะสม

เนื่องจากชิปคำนวณพลังงานไม่สามารถรับกระแสและแรงดันที่พิกัด 220 โวลต์ ได้โดยตรง จึงทำการติดตั้งหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสเพื่อลดทอนกระแสและแรงดันให้เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปใช้งานกับชิปคำนวณพลังงานดังต่อไปนี้

3.4.8.1 หม้อแปลงแรงดันพิกัด 220/15 Vdc

3.4.8.2 หม้อแปลงกระแส รุ่น TZ2L9 แปลงกระแสเหลือเพียง 25 mA



รูปที่ 3.9 ลักษณะของหม้อแปลงกระแสรุ่น TZ2L9

ตารางที่ 3.3 ตารางการทดสอบของหม้อแปลงกระแสรุ่น TZ2L9

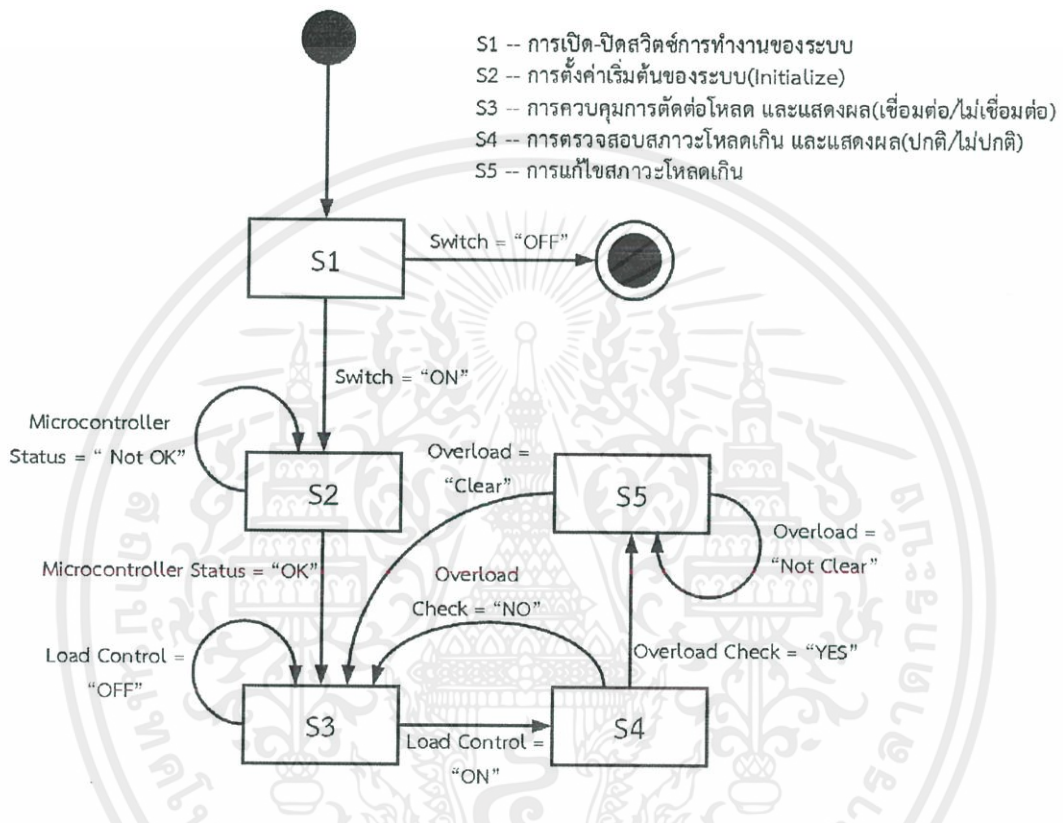
TEST CONDITIONS				Electrical Properties		
Primary Current I_o (mA)	Secondary Burden Resistance(Ω)	Frequency (Hz)	DC Current (AT)	Output Voltage V_o (mV)	Remanence Magnetism V_o'' (mV)	Thermal Variation V_o'' (mV) at -20°C + 65°C
25mA	1K Ω	50/60Hz	50AT	17 ~ 21mV	Max 8%	Max 10%

3.5 หลักการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

ปลั๊กไฟอัจฉริยะถูกออกแบบเพื่อทำการวัดและคำนวณค่าปริมาณทางไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าไปทำการวิเคราะห์และควบคุมการใช้ไฟฟ้าภายในครัวเรือน โดยปลั๊กไฟอัจฉริยะจะแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่จอแสดงผลบนปลั๊กไฟอัจฉริยะและส่งค่าปริมาณทางไฟฟ้าไปแสดงที่คอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่อาศัย Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสำหรับรับ-ส่งข้อมูล นอกจากรับ-ส่งค่าปริมาณทางไฟฟ้าแล้วปลั๊กไฟอัจฉริยะยังอาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bluetooth ในการรับ-ส่งคำสั่งสำหรับเปิด-ปิดการทำงานจากคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้เพื่อความปลอดภัยสำหรับการใช้งานเมื่อเกิดการลัดวงจรหรือเกิดสถานะโหลดเกินขึ้นจึงมีการติดตั้งรีเลย์ซึ่งเป็นสวิตซ์ตัดต่อวงจรไว้ภายในปลั๊กไฟอัจฉริยะเพื่อป้องกันความเสียหายและอันตรายสำหรับผู้ใช้งาน หลักการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะทั้งหมดสามารถอธิบายโดยใช้แผนภาพแสดงสถานะตามรูปที่ 3.10



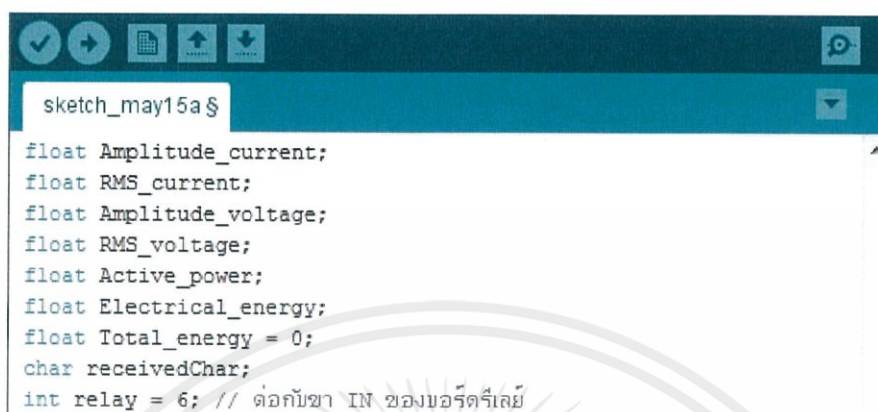
รูปที่ 3.10 แผนภาพสถานะหลักการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

หลักการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถแบ่งออกเป็น 5 สถานะ แต่ละสถานะมีรายละเอียดดังนี้

1. การเปิด-ปิดสวิตซ์การทำงานของระบบ(S1) เป็นสถานะเริ่มต้นการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ เมื่อทำการเปิดสวิตซ์การทำงานของระบบแล้วปลั๊กไฟอัจฉริยะจะทำงานวนซ้ำอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งของแผนภาพแสดงสถานะจนกว่าจะปิดสวิตซ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะจึงจะหยุดทำงาน

2. การตั้งค่าเริ่มต้นของระบบ (Initialize)(S2) เป็นสถานะที่กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรที่ใช้สำหรับเก็บค่าปริมาณทางไฟฟ้าและตัวแปรที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของ

ปลั๊กไฟอัจฉริยะ ในสถานะนี้จะทำการตรวจสอบไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าพร้อมสำหรับการทำงานหรือไม่



```

sketch_may15a $
float Amplitude_current;
float RMS_current;
float Amplitude_voltage;
float RMS_voltage;
float Active_power;
float Electrical_energy;
float Total_energy = 0;
char receivedChar;
int relay = 6; // ต่อกับขา IN ของบอร์ดรีเลย์

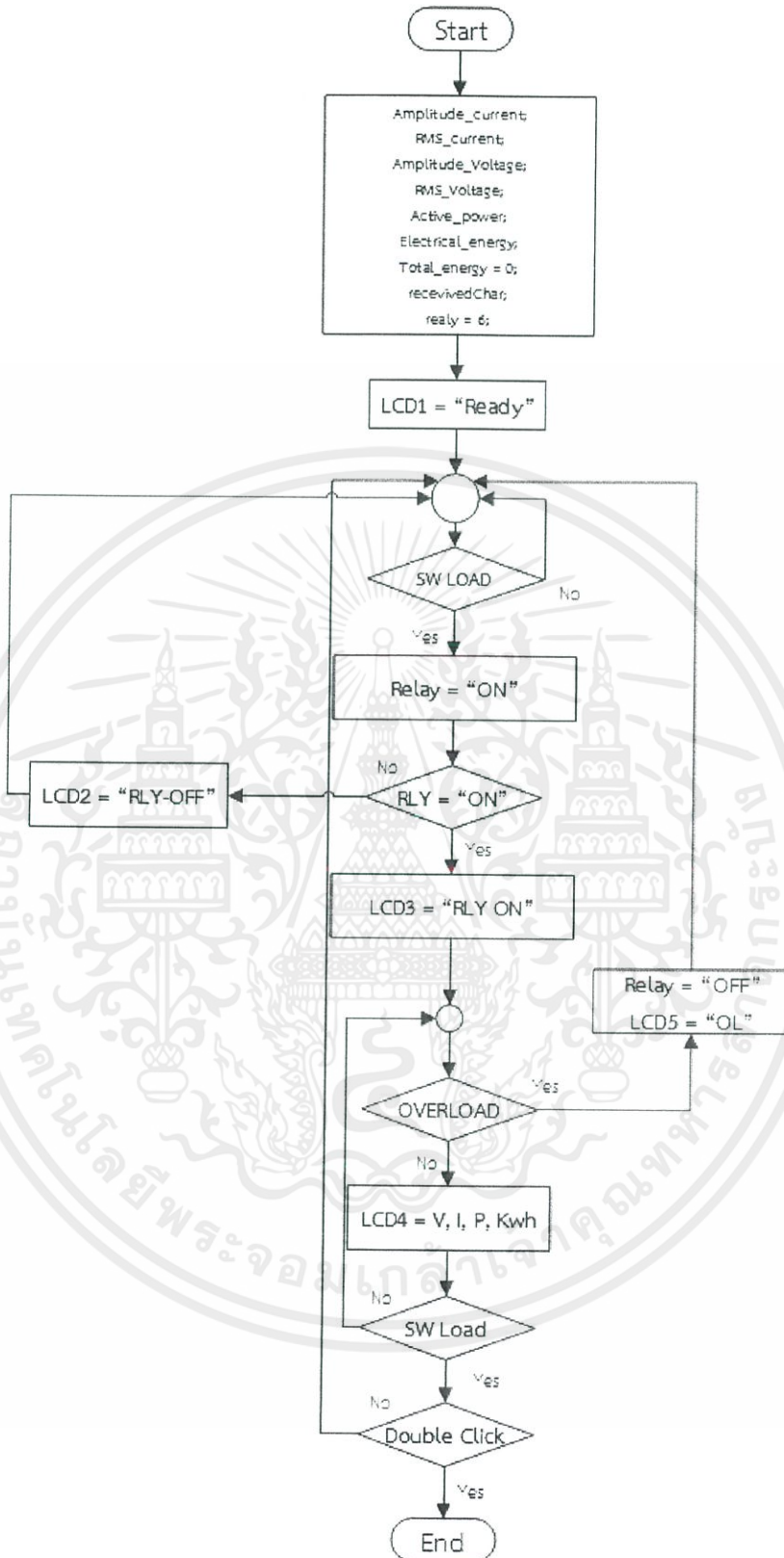
```

รูปที่ 3.11 ค่าเริ่มต้นของระบบ(Initialize)

3. การควบคุมการตัดต่อโหลด และแสดงผล(S3) เป็นสถานะที่ควบคุมการเปิด-ปิดรีเลย์ซึ่งเป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรโดยอาศัย Bluetooth ในการรับ-ส่งคำสั่งสำหรับเปิด-ปิดการทำงานจากคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ และแสดงสถานะ ณ ขณะนั้นว่าปลั๊กไฟอัจฉริยะมีการเชื่อมต่อโหลดหรือไม่ ถ้ามีการเชื่อมต่อโหลดจอแสดงผลบนปลั๊กไฟอัจฉริยะจะแสดงข้อความว่า “Smart Plug-On” หากไม่มีการเชื่อมต่อโหลดจอแสดงผลบนปลั๊กไฟอัจฉริยะจะแสดงข้อความว่า “Smart Plug-Off” นอกจากนี้แสดงข้อความที่จอแสดงผลบนปลั๊กไฟอัจฉริยะแล้วปลั๊กไฟอัจฉริยะยังส่งข้อความไปแสดงที่คอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย

4. การตรวจสอบสถานะโหลดเกิน และแสดงผล(S4) เป็นสถานะที่ตรวจสอบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะว่ามีการทำงานเกินพิกัดกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้หรือไม่ หากมีการทำงานเกินพิกัดกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ปลั๊กไฟอัจฉริยะจะทำการตัดโหลดเพื่อป้องกันความเสียหายและอันตรายสำหรับผู้ใช้งาน และจะส่งข้อความว่า “Overload” ไปแสดงที่จอแสดงผลบนปลั๊กไฟอัจฉริยะ และคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย โดยพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ออกแบบไว้คือ 4 แอมแปร์

5. การแก้ไขสถานะโหลดเกิน(S5) เป็นสถานะที่ทำการแก้ไขโหลดที่เชื่อมต่อกับปลั๊กไฟอัจฉริยะให้มีพิกัดกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 4 แอมแปร์ หากมีการแก้ไขโหลดเสร็จเรียบร้อยแล้วปลั๊กไฟอัจฉริยะก็จะกลับมาทำงานตามปกติ



รูปที่ 3.12 Flowchart การทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและเก็บผลข้อมูล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเสนอถึงผลการทดลองของการศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน โดยในการทำงานของระบบจะแยกเป็น 4 ส่วนหลักคือ ส่วนอุปกรณ์ปลายทางรับข้อมูล(End Device Node) ส่วนกำลัง(Power Node) ส่วนศูนย์การควบคุม(Coordinator Node) และส่วนแสดงผลข้อมูล(Displayed Node) โดยทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีรายละเอียดดังนี้

4.2 ผลทดลองการส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Uno R3 กับโทรศัพท์มือถือ

ทดลองการส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Uno R3 กับโทรศัพท์มือถือผ่าน HC-05 Bluetooth Serial Module โดยการนำ Switching Power Supply 5VDC จ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานปรับค่า $5\text{ k}\Omega$ ได้เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า แล้วบันทึกผลการทดลองระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ โทรศัพท์มือถือเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าที่โทรศัพท์มือถือกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ Serial Monitor

จำนวนรอบของ R ปรับค่าได้	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่โทรศัพท์มือถือ	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ Serial Monitor
0	0.0000000000	0.0000000000
1/4	2.0527858734	2.0527858734
1/2	3.0351905822	3.0351905822
3/4	4.9902248382	4.9902248382
3/4	4.9902248382	4.9902248382
1/2	3.1036167144	3.1036167144
1/4	1.9941349029	1.9941349029
0	0.0000000000	0.0000000000

```

BlueTerm +                               connected:HC-05
Voltage =
0.0000000000
Voltage =
0.0000000000
Voltage =
2.0527858734
Voltage =
3.0351905822
Voltage =
4.9902248382
Voltage =
4.9902248382
Voltage =
3.1036167144
Voltage =
1.9941349029
Voltage =
0.0000000000
Voltage =
0.0000000000

```

รูปที่ 4.1 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ โทรศัพท์มือถือ

```

Voltage =
0.0000000000
Voltage =
0.0000000000
Voltage =
2.0527858734
Voltage =
3.0351905822
Voltage =
4.9902248382
Voltage =
4.9902248382
Voltage =
3.1036167144
Voltage =
1.9941349029
Voltage =
0.0000000000
Voltage =
0.0000000000

```

รูปที่ 4.2 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ

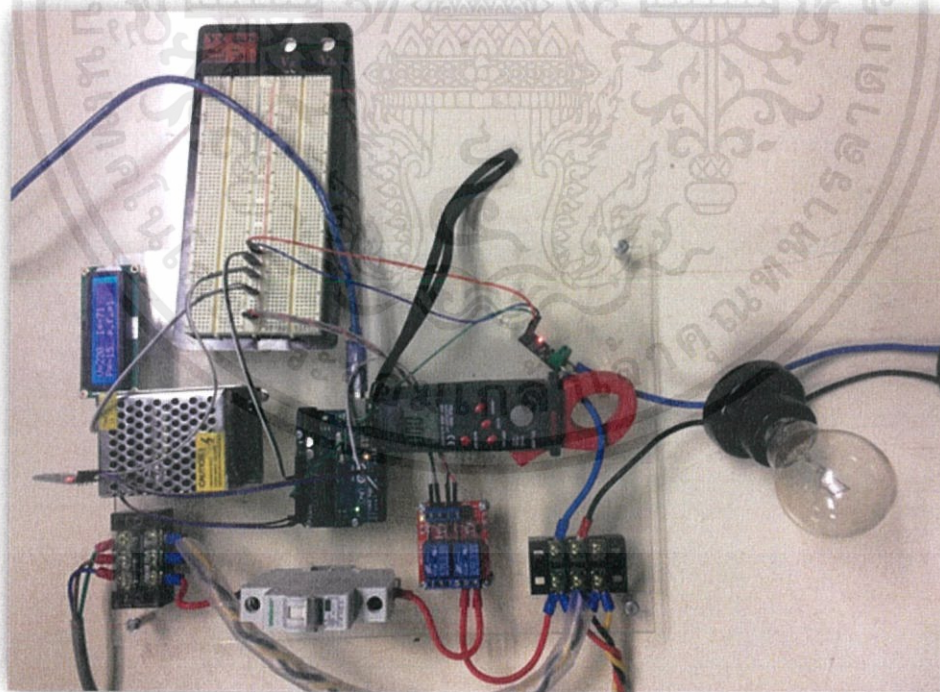
ในส่วนนี้คือการทดลองการวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะในกรณีที่ไม่มีโหลดและมีโหลด โดยใช้หลอดไฟแทนโหลดในการทดลอง ในการทดลองจะกำหนดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.) ให้มีค่าเท่ากับ1

4.3.1 กรณีไม่มีโหลด (No Load)

จากการทดลองโดยการนำมิเตอร์มาต่อเข้ากับปลั๊กไฟอัจฉริยะเพื่อวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่าได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกรณีไม่มีโหลด

ข้อมูลทางไฟฟ้า	MCU	Meter
กระแสไฟฟ้า(I)	0	0.0002
แรงดันไฟฟ้า(V)	219.5	218
ค่ากำลังไฟฟ้า(P)	0	0



รูปที่ 4.3 วงจรการทดลองกรณีไม่มีโหลด

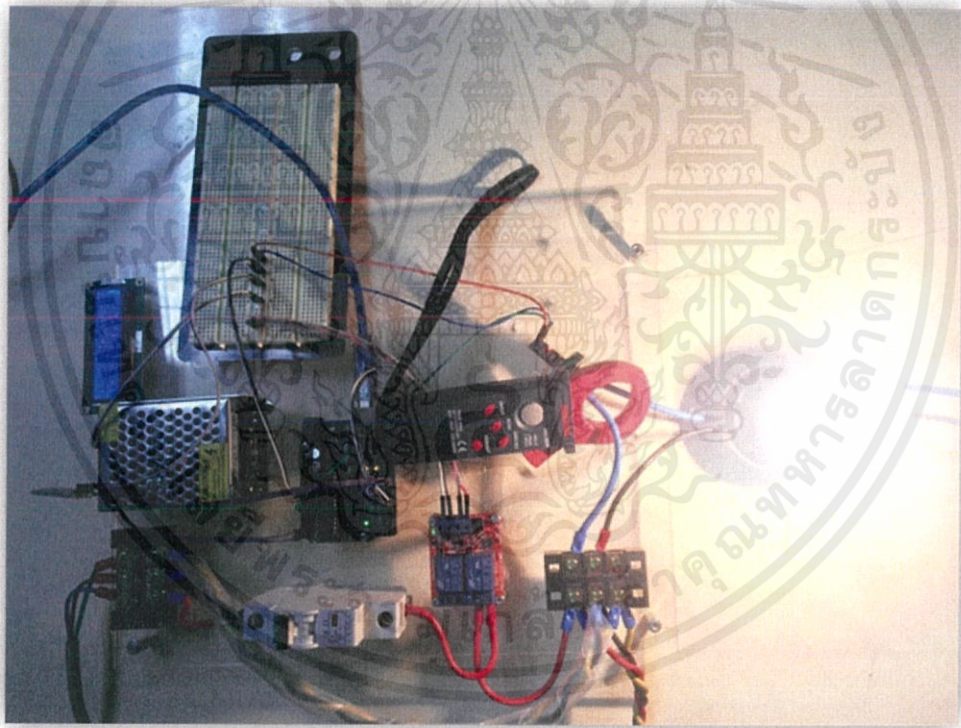
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 กรณีหลอดไฟ1หลอด

จากการทดลองทำการเปิดหลอดไฟ1หลอด แล้วนำมิเตอร์มาต่อเข้ากับปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่าได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีหลอดไฟ1หลอด

ข้อมูลทางไฟฟ้า	MCU	Meter
กระแสไฟฟ้า(I)	0.412	0.409
แรงดันไฟฟ้า(V)	218.571	217
ค่ากำลังไฟฟ้า(P)	90.036	88.7



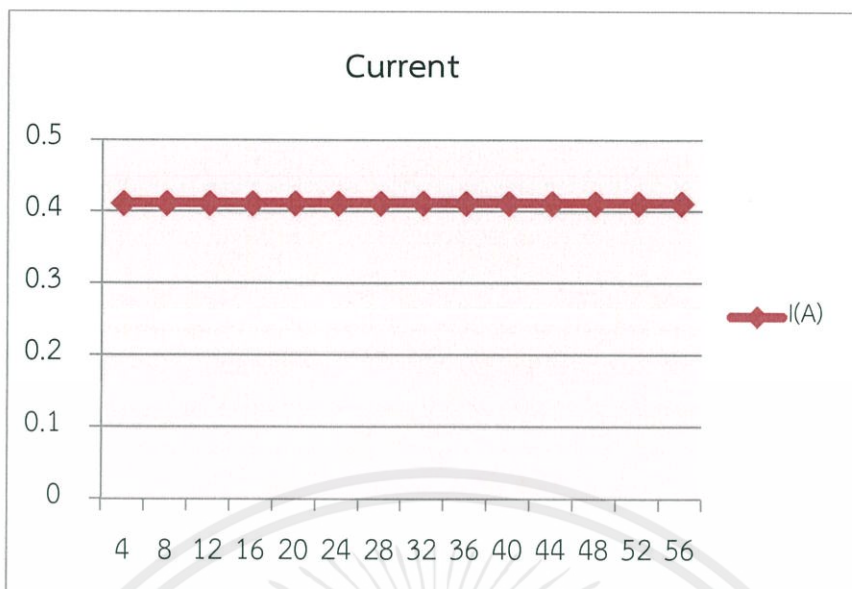
รูปที่ 4.4 วงจรการทดลองกรณีหลอดไฟ1หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

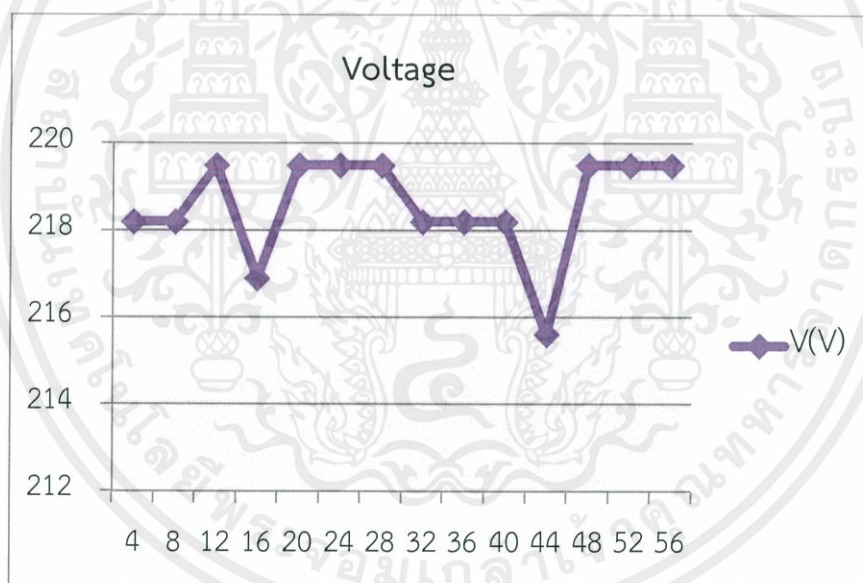
จากการทดลองได้ทำการเก็บค่าข้อมูลทางไฟฟ้าที่ปลั๊กอัจฉริยะได้ส่งผลการทดลองไปแสดงบนหน้าจอบนคอมพิวเตอร์หรือหน้าจอโทรศัพท์มือถือโดยผ่านสัญญาณ Bluetooth โดยทำการเก็บค่าเป็นเวลา 1 นาทีจะได้ทั้งหมด 14 ค่าและได้นำค่าทั้งหมดที่ได้มาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีหลอดไฟ 1 หลอด

เวลา(วินาที)	แรงดันไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า(A)	กำลังไฟฟ้าจริง(W)
4	0.412	218.2	89.9
8	0.412	218.2	89.9
12	0.412	219.5	90.4
16	0.412	216.9	89.4
20	0.412	219.5	90.4
24	0.412	219.5	90.4
28	0.412	219.5	90.4
32	0.412	218.2	89.9
36	0.412	218.2	89.9
40	0.412	218.2	89.9
44	0.412	215.6	88.8
48	0.412	219.5	90.4
52	0.412	219.5	90.4
56	0.412	219.5	90.4

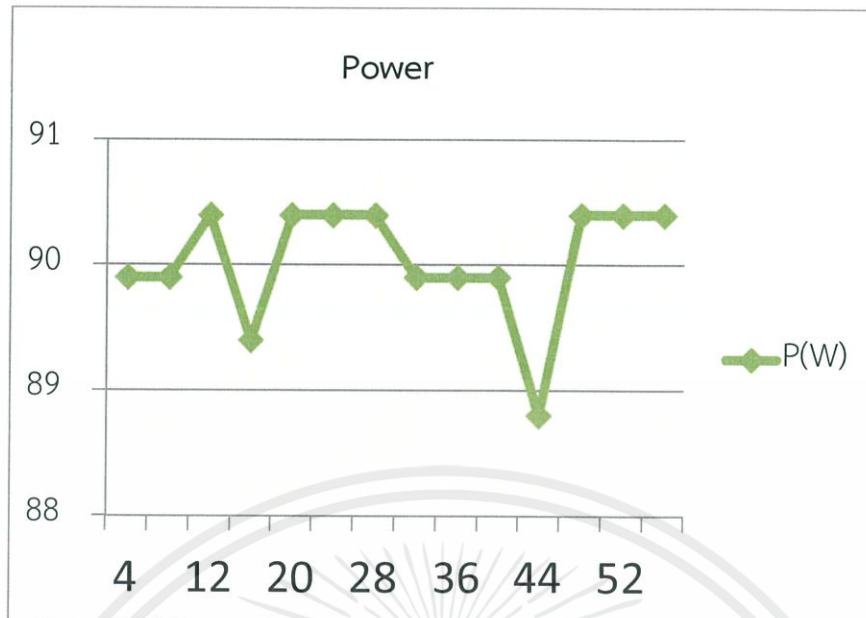


รูปที่ 4.5 (ก)



รูปที่ 4.5 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ค)

รูปที่ 4.5 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีหลอดไฟ1หลอด

(ก) ค่ากระแสไฟฟ้า(I)กรณีหลอดไฟ1หลอด (ข) ค่าแรงดันไฟฟ้า(V)กรณีหลอดไฟ1หลอด

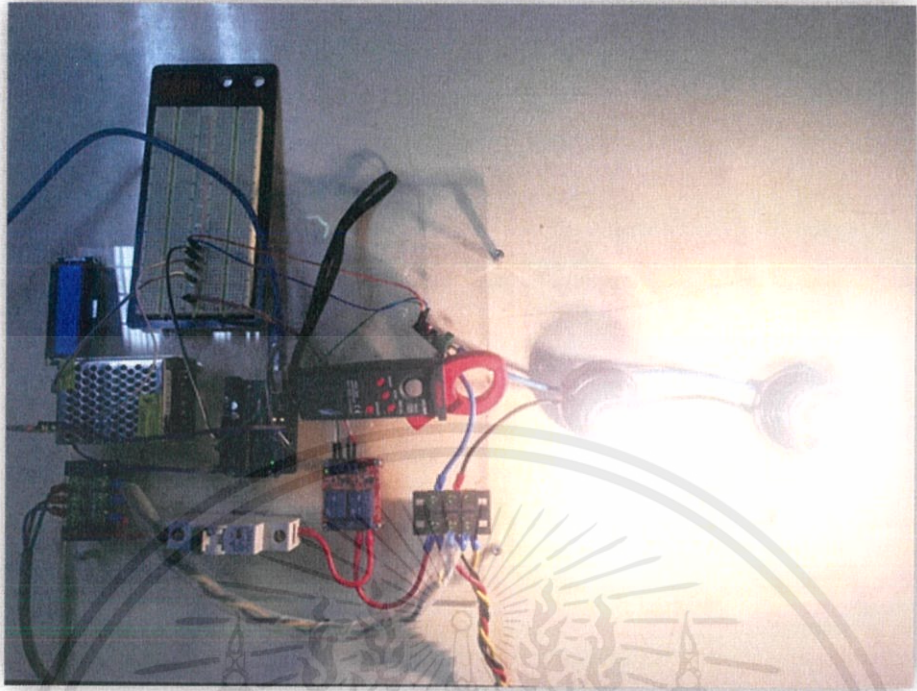
(ค) ค่ากำลังไฟฟ้า(P)กรณีหลอดไฟ1หลอด

4.3.3 กรณีหลอดไฟ2หลอด

จากการทดลองทำการเปิดหลอดไฟ2หลอด แล้วนำมิเตอร์มาต่อเข้ากับปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่าได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกรณีหลอดไฟ2หลอด

ข้อมูลทางไฟฟ้า	MCU	Meter
กระแสไฟฟ้า(I)	0.8871	0.823
แรงดันไฟฟ้า(V)	217.457	216.5
ค่ากำลังไฟฟ้า(P)	192.893	178



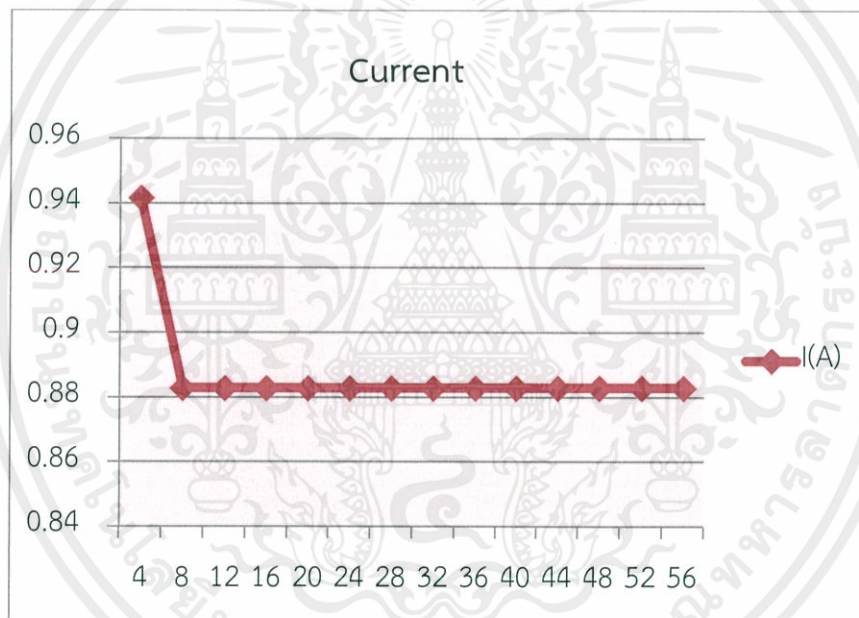
รูปที่ 4.6 วงจรการทดลองกรณีโหลดไฟ2หลอด

จากการทดลองได้ทำการเก็บค่าข้อมูลทางไฟฟ้าที่ปลั๊กอัจฉริยะได้ส่งผลการทดลองไปแสดงบนหน้าจอกอมพิวเตอร์หรือหน้าจอโทรศัพท์มือถือโดยผ่านสัญญาณ Bluetooth โดยทำการเก็บค่าเป็นเวลา1นาทิจะได้ทั้งหมด14ค่าและได้นำค่าทั้งหมดที่ได้มาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีโหลดไฟ1หลอด

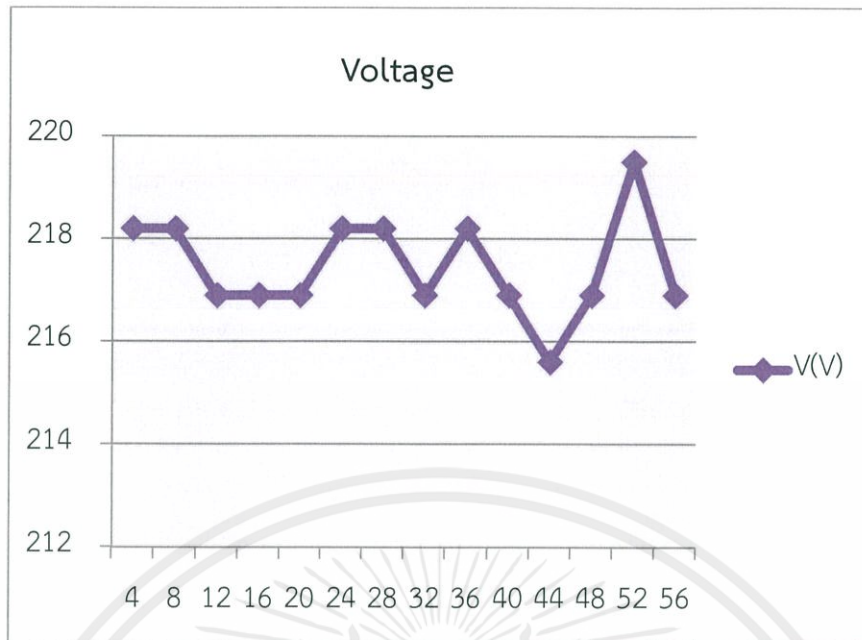
เวลา(วินาที)	แรงดันไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า(A)	กำลังไฟฟ้าจริง(W)
4	0.9417	218.2	205.5
8	0.8829	218.2	192.6
12	0.8829	216.9	191.5
16	0.8829	216.9	191.5
20	0.8829	216.9	191.5
24	0.8829	218.2	192.6
28	0.8829	218.2	192.6

เวลา(วินาที)	แรงดันไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า(A)	กำลังไฟฟ้าจริง(W)
32	0.8829	216.9	191.5
36	0.8829	218.2	192.6
40	0.8829	216.9	191.5
44	0.8829	215.6	190.3
48	0.8829	216.9	191.5
52	0.8829	219.5	193.8
56	0.8829	216.9	191.5

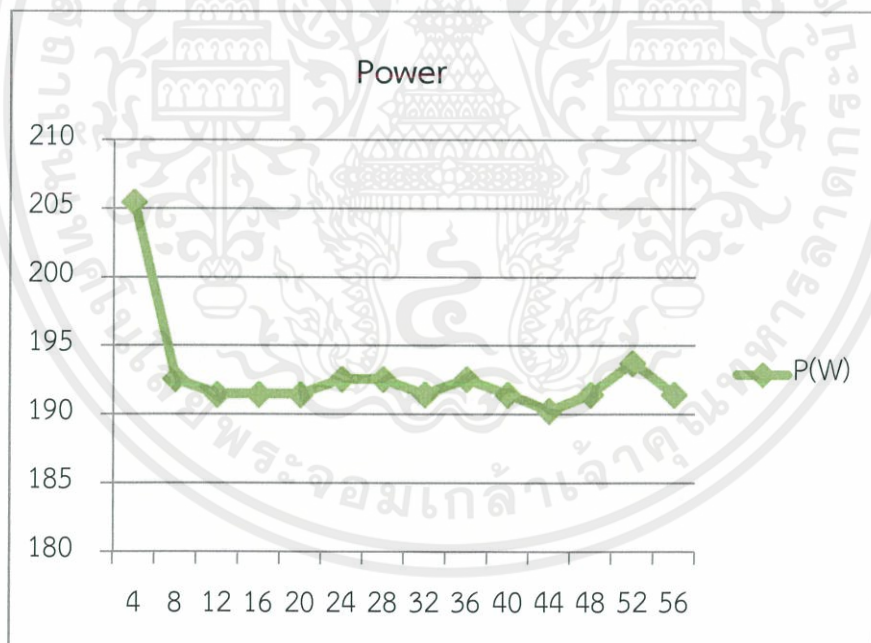


รูปที่ 4.7 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ข)



รูปที่ 4.7 (ค)

รูปที่ 4.7 ค่าข้อมูลทางไฟฟ้ากรณีหลอดไฟ2หลอด

(ก) ค่ากระแสไฟฟ้า(I)กรณีหลอดไฟ2หลอด (ข) ค่าแรงดันไฟฟ้า(V)กรณีหลอดไฟ2หลอด

(ง) ค่ากำลังไฟฟ้า(P)กรณีหลอดไฟ2หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ

ในส่วนนี้คือการทดลองการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะในกรณีมีโหลด โดยใช้หลอดไฟแทนโหลดในการทดลอง ในการทดลองจะกำหนดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.)ให้มีค่าเท่ากับ1

4.4.1 กรณีหลอดไฟ1หลอด

จากการทดลองโดยใช้หลอดไฟ1หลอดได้ทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ปลั๊กอัจฉริยะได้ส่งผลการทดลองไปแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์หรือหน้าจอมือถือโดยผ่านสัญญาณ Bluetooth โดยทำการเก็บค่าเป็นเวลา5นาที่ดังตารางที่4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้ากรณีหลอดไฟ1หลอด

เวลา(นาที่)	แรงดันไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า(A)	กำลังไฟฟ้าจริง(W)	พลังงานไฟฟ้า(kWh)
1	219.50	0.47	103.35	1.634×10^3
2	222.13	0.47	104.59	3.253×10^3
3	223.44	0.53	118.36	4.809×10^3
4	220.81	0.53	116.97	6.506×10^3
5	219.50	0.53	116.27	8.176×10^3

4.4.2 กรณีหลอดไฟ2หลอด

จากการทดลองโดยใช้หลอดไฟ2หลอดได้ทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ปลั๊กอัจฉริยะได้ส่งผลการทดลองไปแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์หรือหน้าจอมือถือโดยผ่านสัญญาณ Bluetooth โดยทำการเก็บค่าเป็นเวลา5นาที่ดังตารางที่4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าพลังงานไฟฟ้ากรณีหลอดไฟ2หลอด

เวลา(นาที่)	แรงดันไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า(A)	กำลังไฟฟ้าจริง(W)	พลังงานไฟฟ้า(kWh)
1	219.50	0.94	206.71	3.191×10^3
2	216.87	0.94	204.23	6.331×10^3
3	216.87	1.00	217.00	9.325×10^3
4	220.81	0.94	207.94	1.246×10^3
5	216.87	1.00	217.00	1.564×10^3

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ผลการดำเนินงานและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล วิจัย ทดลองและพัฒนาระบบของปลั๊กไฟอัจฉริยะ(Smart Plug) แล้วนั้น หลังจากได้ทดลองจริงโดยการจำลองภาระทางไฟฟ้าภายในห้องทดลองของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการใช้หลอดไฟแทนโหลดทางไฟฟ้าได้ผลต่างๆแยกเป็นการทดลองแต่ละส่วนได้ดังนี้

5.1.1 การทดลองวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ

จากการทดลองโดยการนำมิเตอร์มาต่อเข้ากับปลั๊กไฟอัจฉริยะเพื่อวัดค่าข้อมูลทางไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่าได้ โดยในการทดลองจะกำหนดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.) ให้มีค่าเท่ากับ1 ได้ทำการแบ่งการทดลองเป็น3กรณี คือ แบบกรณีไม่มีโหลด, แบบกรณีหลอดไฟ1หลอด และแบบกรณีหลอดไฟ2หลอด จากการทดลองพบว่าปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถอ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่มิเตอร์วัดค่าได้เป็นอย่างดี ไม่มีปัญหา

5.1.2 การทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ

จากการทดลองการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ โดยในการทดลองจะกำหนดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.) ให้มีค่าเท่ากับ1 ได้ทำการแบ่งการทดลองเป็น3กรณี คือ แบบกรณีไม่มีโหลด, แบบกรณีหลอดไฟ1หลอด และแบบกรณีหลอดไฟ2หลอด โดยทำการส่งผลการทดลองไปแสดงบนหน้าจอกอมพิวเตอร์หรือหน้าจอมือถือโดยผ่านสัญญาณ Bluetooth โดยทำการเก็บค่าเป็นเวลา5นาที จากการทดลองพบว่าสามารถรับข้อมูลทางไฟฟ้าต่างๆได้เป็นอย่างดี ในส่วนการแปลงข้อมูลก็สามารถแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการอ่านค่า ในส่วนการส่งข้อมูลสามารถทำการส่งข้อมูลให้กับส่วนแสดงผลได้ตามที่โปรแกรมเอาไว้และยังมีการเก็บข้อมูลและดึงข้อมูลต่างๆมาแสดงผลตามที่กำหนด จากการทดลองสามารถทำได้ดีและยังสามารถพัฒนาได้อีกในภายภาคหน้า

5.2 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและทดลองเกี่ยวกับปลั๊กไฟอัจฉริยะ(Smart Plug) ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถทำงานร่วมกับระบบการสื่อสารไร้สาย โดยปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้สามารถรับ-ส่งข้อมูลทางไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้า(P), พลังงานไฟฟ้า(E), แรงดันไฟฟ้า(V), กระแสไฟฟ้า(I) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.) จากโหลดทางไฟฟ้าผ่านทางหน้าจอ LCD และส่งค่าข้อมูลทางไฟฟ้าต่างมายังหน้าจอกอมพิวเตอร์หรือหน้าจอโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้งาน โดยผ่านสัญญาณ Bluetooth ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเก็บค่าข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านั้นมาทำการศึกษาการทำงานของโหนดทางไฟฟ้า และการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน เพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโหนดทางไฟฟ้า และนำข้อมูลการใช้งานที่วัดค่าได้ออกมาวางแผนประประหยัดการใช้พลังงาน โดยดูจากการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในแต่ละกิจกรรม ทำให้เป็นผลดีกับผู้ใช้ไฟฟ้าในด้านการประหยัดของค่าใช้จ่ายในการชำระค่าไฟฟ้า และผลดีต่อผู้ผลิตไฟฟ้าจะเป็นในด้านของการเลื่อนเวลาการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มในอนาคต รวมถึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการพยากรณ์กรค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการพลังงานและจัดทำแผนพัฒนาพลังงาน

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา พัฒนา ออกแบบและติดตั้งปลั๊กไฟอัจฉริยะที่เชื่อมต่อกับ Arduino Uno R3 และกับโทรศัพท์มือถือผ่าน HC-05 Bluetooth Serial Module เพื่อแสดงข้อมูลการใช้ไฟของโหนดทางไฟฟ้า รวมถึงการเก็บข้อมูลมาศึกษา สุดท้ายคือสามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าของโหนดทางไฟฟ้านั้นๆได้

จากการทดลองสรุปได้ว่า ปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้นสามารถวัดค่า บันทึกค่า และแสดงค่าปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือ เพื่อแสดงค่าปริมาณต่างๆผ่านหน้าจอLCD หน้าจอคอมพิวเตอร์ และหน้าจอโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรับรู้และทราบถึงพฤติกรรมการใช้ไฟของตัวเอง ซึ่งสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้อย่างสิ้นเปลืองลงได้ อีกทั้งยังสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะช่วยให้สามารถรับรู้ถึงการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้งานได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการติดตั้งปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับระบบบ้านอัจฉริยะ(Smart home) และอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smartgrid Building) ได้ในอนาคต

5.3 วิจัยรณผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อการพัฒนาปฏิญานิพนธ์เรื่อง ระบบจัดการพลังงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ เล่มนี้พบว่าหากมีการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นก็จะทำให้คุณภาพของข้อมูลที่ดีขึ้น

5.4 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ

5.4.1 เนื่องจากการทำโครงการนี้ต้องใช้ความรู้ในหลายๆด้านทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ รวมถึงเทคโนโลยีอื่นๆที่ใช้ในโครงการนี้ ผู้ทำโครงการมีความรู้ไม่เพียงพอจึงทำให้เสียเวลามากในการศึกษาและค้นคว้าข้อมูล ควรมีการเตรียมตัวให้ดีกว่านี้เพื่อการพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 เนื่องจากการทำโครงการนี้ต้องใช้ความรู้ในด้านสารสนเทศอย่างมาก ทำให้มี ปัญหาในการทำงานเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากไม่ตรงกับสายที่เรียนมา แต่ก็ถือว่าเป็นความรู้ใหม่ที่ใช้พัฒนา ทักษะของผู้จัดทำได้ต่อไปในอนาคต

5.5 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาและเพิ่มความสามารถในการทำงานได้มากขึ้น เพื่อความหลากหลายในการใช้งาน ดังนี้

- 1) ในส่วนของการแสดงปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าบนหน้าจอกอมพิวเตอร์และหน้าจอ โทลด์ศัพท์มือถือ สามารถปรับปรุงให้มีการแจ้งเตือนเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เพื่อช่วยในการ ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้เอง
- 2) การพัฒนาต่อยอดในส่วนของการแสดงข้อมูลบนคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือ สามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไปกว่าเดิมได้อีก สามารถเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานให้หลากหลายมากขึ้น เพื่อให้ ครอบคลุมทุกส่วนที่จำเป็นต่อการใช้งาน
- 3) ปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถพัฒนาไปถึงการสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานบน ระบบของเว็บไซต์ได้ เพื่อความสะดวกมากขึ้นต่อผู้ใช้งานมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ
- 4) การเลือกอุปกรณ์ของปลั๊กไฟอัจฉริยะควรจะมีคุณภาพดี ซึ่งจะทำให้ปลั๊กไฟ อัจฉริยะมีคุณภาพของสัญญาณที่ดี สามารถอ่านค่าและส่งค่าได้ถูกต้องและแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579,” กระทรวงพลังงาน, 2558, หน้า1-20.
- [2] ชนิกันต์ หอมมาลัย ชวิน หฤหรรษพงศ์ และ ชัชชล กระจ่างทอง, “การศึกษาและพัฒนา ระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้,” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [3] มณฑาสินี หอมหวาน, “พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต(Renewable Energy: A New Way to Save Our Environment),” Executive Journal, 2558, หน้า 100-104.
- [4] กระทรวงพลังงาน, “แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579,” กระทรวงพลังงาน, 2558, หน้า1-35.
- [5] ทศวิน จ้างประเสริฐ เหมชาติ เชื้อโชติ และ นิพัฒน์ จงเจริญศิริ, “Smart Home บ้านอัจฉริยะ,” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2541.
- [6] Igor Horvat, Nikola Lukac, Roman Pavlovic and Dusan Starcevic, “Smart plug solution based on bluetooth low energy,” Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin), 2015, pp. 435–437.
- [7] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma and Thomas Overbye, Power System Analysis and Design, Canada, Cengage Learning, 2011.
- [8] ปรีชา หลวงปลัด, วิเคราะห์ระบบส่งและจ่ายไฟฟ้า (เล่ม 1), ราชบุรี, สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการ, 2555.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า”, เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน , พ.ศ.2548.
- [10] ระวีกิตต์ ประดับศิลป์ สถาพร เทพนาทิม, “การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management),” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] เอกชัย มะการ, หนังสือเรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino, กรุงเทพฯ, บริษัท อีทีที จำกัด, 2552.
- [12] วิลาศิณี วิสิทธิ์กาศ และ คณะ, ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega128 ด้วยซอฟต์แวร์, กรุงเทพฯ, บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพริเมนต์ จำกัด, 2552.
- [13] อาจารย์ปิยพร นุรักษ์, “การสื่อสารข้อมูล,” คอมพิวเตอร์เบื้องต้น, 2539, หน้า1-53.
- [14] ปริญา น้อยดอนไพร, “การสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย Data Communication and Network,” ปรินญาพันธวิศกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี, 2556.
- [15] ธนกฤต เหมวรงค์กุล และ คณะ, เรียนรู้และปฏิบัติการระบบควบคุมไร้สายบลูทูธ, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ อินโนเวตีฟ เอ็กเพริเมนต์, 2552.
- [16] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลั๊กไฟอัจฉริยะ

SMART PLUG

นางสาวจิราพร ภักดีศพล นายณัฐวัตร สนามชัย นายเอกพัชร ชีวีตโสภณ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: nutthawat13oom@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆภายในครัวเรือน โดยใช้ปลั๊กไฟอัจฉริยะในการเก็บและวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของครัวเรือน โดยจะนำระบบเครือข่ายไร้สายมาประยุกต์ใช้กับปลั๊กไฟอัจฉริยะ เพื่อความสะดวกในการส่งข้อมูลจากปลั๊กไฟอัจฉริยะมาแสดงผลยังผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพโดยจะแบ่งระบบการทำงานเป็น 3 ส่วน โดยหลักการการทำงานทั้งหมดนั้นจะเริ่มต้นจากการรับค่าข้อมูลทางไฟฟ้าต่างๆที่ต้องการจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้ปลั๊กไฟอัจฉริยะ ในส่วนนี้อุปกรณ์ปลายทางคือ ปลั๊กไฟอัจฉริยะ(End Device Node) ชั้นที่สองคือส่วนของกำลังที่จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าและจ่ายไฟให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และชิปคำนวณพลังงาน ในส่วนนี้คือส่วนของกำลัง (Power Node) ชั้นที่สามคือการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจกรรมต่างๆ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งคำสั่งไปยังรีเลย์ในการสั่งเปิด-ปิดปลั๊กไฟอัจฉริยะ ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนศูนย์การควบคุม(Coordinator Node) ชั้นที่สามคือการแสดงข้อมูลที่เก็บค่าได้ขึ้นยังหน้าจอแอลซีดีบนปลั๊กไฟอัจฉริยะและส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายไปแสดงยังหน้าจอคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน ซึ่งในส่วนนี้คือ ส่วนแสดงข้อมูล(Displayed Node) เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าของครัวเรือนต่อไป

คำสำคัญ: ปลั๊กไฟอัจฉริยะ, ควบคุมการใช้พลังงาน, ประหยัดพลังงาน

Abstract

This paper presents the study of Energy management in home by using smart plug in collecting and controlling energy consumption in home for management in home to be more effective. In the paper we apply Wireless LAN technology with smart plug. Smart plug enable two-way communication between the smart plug and the central system and also be able to reduce operating costs. So, consumers can monitor their energy consumption in real-time, more accurately and more efficiently. This paper is divided into 4 parts which are End Device Node (Smart plug), Power Node, Coordinator Node and Displayed Node. The process is

starting with collecting then analyzing the data from smart plug which is End Device Node. Next Switching Power supply transforms voltage and power into Arduino module and microchip which is Power Node. Next smart plug control the power consumption of activities in home by using Arduino module and transmit directive to the relay to open - close smart plug which is Coordinator Node. Lastly, Database display on ICD Smart plug and transmit via wireless communication system on computer display which is Display Node. Therefore, the consumer can monitor and control their energy usage to reduce energy bill and to improve home returns with better management.

Keyword: Smart Plug, Controlling Energy, Energy Saving

1. บทนำ

ในปัจจุบันความจำเป็นต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น แต่พลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ากลับมีทิศทางลดลง และมีราคาสูงขึ้น [1] ความต้องการไฟฟ้าที่สูงขึ้นเรื่อยๆนี้เองทำให้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนตระหนักถึงคุณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่อย่างจำกัดมากขึ้น ทำให้ต้องมีการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า [2] เพื่อเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ใช้การบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า โครงการนี้ได้นำเสนอถึงการทำงานของปลั๊กอัจฉริยะ(Smart Plug) ที่สามารถแสดงค่าที่วัดได้ทางไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งระบบ ดังกล่าวนี้น่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโหลดทางไฟฟ้าภายในครัวเรือนได้ทุกชนิด โดยสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาการทำงาน และการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน เพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และนำข้อมูลการใช้งานที่วัดค่าได้ ออกมาวางแผนประประหยัดการใช้พลังงาน โดยดูจากการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าถ้ามีการดำเนินการอย่างเหมาะสม และสม่าเสมอจะมีผลดีทั้งต่อผู้ใช้ไฟฟ้าช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้า ส่วนผลดีต่อผู้ผลิตไฟฟ้าจะเป็นในด้านของการเลื่อนเวลาการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มในอนาคต รวมถึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการพลังงานและจัดทำแผนพัฒนาพลังงาน และยังช่วยให้ประเทศชาติ ลดการใช้พลังงาน ทำให้ประเทศชาติมีแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนมากยิ่งขึ้นและนอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังได้พัฒนาความสามารถในส่วนของ การตัดกระแสไฟฟ้าเกินหรือลัดวงจรได้อย่างทันที เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับโหลดทางไฟฟ้า และยังช่วยลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินรวมทั้งเศรษฐกิจ ได้อีกด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) หรือกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ เป็นเลขจำนวนจริง

$$P = V \times I \times \cos \theta \tag{1}$$

2.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่เอามาใช้ทำงานไม่ได้ เป็นจำนวนจินตภาพ (เป็นเลขจำนวนที่สมมติขึ้น)

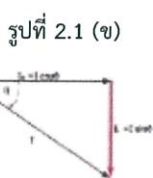
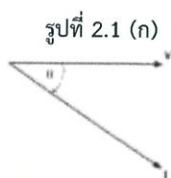
$$Q = V \times I \times \sin \theta \tag{2}$$

2.1.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) คือ กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าที่ปรากฏตามโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ เป็นผลจากการรวมกันทางเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

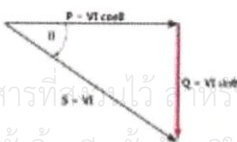
$$S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{3}$$

2.1.4 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

กรณีที่หนึ่ง วงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้ามีเฟสเดียวกัน จะมีกำลังไฟฟ้าเพียงค่าเดียว คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กรณีที่สอง วงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าล่าช้าหรือล่าหน้าแรงดันไฟฟ้าเป็นมุม 90° จะมีกำลังไฟฟ้าเพียงค่าเดียว คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ กรณีที่สามวงจรไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าล่าช้าหรือล่าหน้าแรงดันไฟฟ้าเป็นมุมไม่ถึง 90° จะมีกำลังไฟฟ้าสามค่า คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และกำลังไฟฟ้าปรากฏ ซึ่งสามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 (ก)



รูปที่ 2.1 (ค)

รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของวงจร R-L เฟสเซอร์โคเคแกรม กระแสไฟฟ้าล่าช้าหลังแรงดันไฟฟ้า (ข) เฟสเซอร์โคเคแกรมกระแสไฟฟ้า(ค) สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ต่อกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้กับวงจรไฟฟ้า

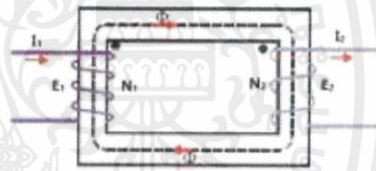
$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S} \tag{4}$$

2.3 พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง (Wh) หรือยูนิต สามารถวัดได้จากวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ หรือกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

$$W = P \times t = E \times I \times t \tag{5}$$

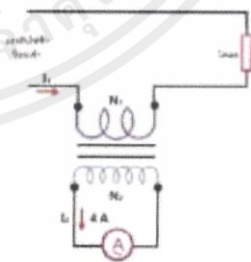
2.4 หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)

2.4.1 หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer: PT) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิให้เหมาะสม



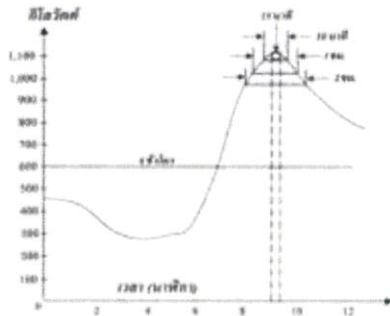
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหม้อแปลงแรงดัน

2.4.2 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer: CT) ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิให้เหมาะสม



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส

2.5 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) เป็นการวัดค่าเฉลี่ยของโหลดไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในเวลาที่กำหนดให้เช่น ภายในเวลา 15 นาที 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง

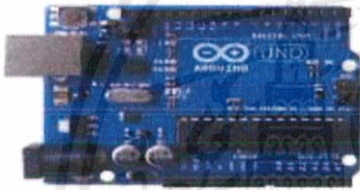


รูปที่ 2.4 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดภายในช่วงเวลาต่าง ๆ

- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 15 นาที (15 - minute demand) มีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลวัตต์ เกิดขึ้นช่วงเวลา 8.45 – 9.00 น.
- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 30 นาที (30 - minute demand) มีค่าเท่ากับ 960 กิโลวัตต์ เกิดขึ้นช่วงเวลา 8.42 – 9.12 น.

2.6 Arduino

ใช้ในการรับและส่งข้อมูลและประมวลผลข้อมูลที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 Arduino Uno R3

2.7 UART

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็นการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, GSM Module, Wifi Module เป็นต้น

2.8 Bluetooth คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ

3. ออกแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ

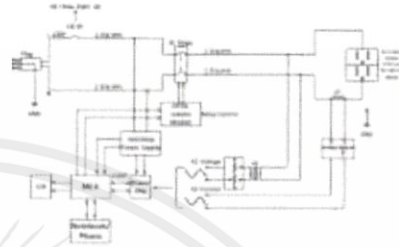
3.1 การเลือกรูปแบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

การเลือกรูปแบบการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้น โดยมีการกำหนดให้ปลั๊กไฟอัจฉริยะวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและแสดงผลการใช้ไฟฟ้าและค่าที่วัดได้ทางไฟฟ้าต่างๆผ่านคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยระบบการส่งข้อมูลและการสื่อสารไร้สาย Bluetooth และส่งข้อมูลทางไฟฟ้าไปยังจอLCDโดยตรงที่ติดตั้งอยู่กับปลั๊กไฟอัจฉริยะและสามารถสั่งการเพื่อควบคุมการเปิดปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่ติดตั้งปลั๊กไฟอัจฉริยะ

3.2 การออกแบบวงจรเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

การออกแบบเต้ารับของปลั๊กไฟอัจฉริยะเป็นไปตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 2001-56 กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 166-2549 และ มอก. 2162-2547

3.3 โครงสร้างของปลั๊กไฟอัจฉริยะ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

3.4 ชิปคำนวณพลังงาน

ชิปประมวลผลที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆในปลั๊กไฟอัจฉริยะคือ MCP39F511 เป็นชิปคำนวณพลังงานของบริษัท MICROCHIP เพื่อวัดค่าทางไฟฟ้า 1 เฟส โดยสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆได้ คือ ค่าแรงดัน ค่ากระแส ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง

3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้ในการควบคุมและสั่งการทำงานของชิปคำนวณพลังงานโดยใช้ Arduino ในการเขียนคำสั่งในการควบคุมและสั่งการการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตช์ซึ่งขนาด 5 V 3 A แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V เป็น 5 V จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ Arduino Uno R3, LCD และ 2 Channel Relay

3.7 อุปกรณ์ป้องกัน

3.7.1 เซอร์คิตเบรกเกอร์ชนิด 1 pole ขนาด 4 A ซึ่งทำหน้าที่ตัดวงจรต่อเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ต่อกับเซอร์คิตเบรกเกอร์นั้นเกิดความเสียหายขึ้นจากกระแสที่เกินกำหนด

3.7.2 Opto-Isolated 2 Channel Relay Board รีเลย์ 2 ตัว เพื่อใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า มี LED แสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ออกแบบให้ป้องกันวงจรด้านควบคุมออกจากด้านกำลังโดยการส่งผ่านด้วยแสง(Optocoupler)ในทุกตัวรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุม

Arduino IDE คือเครื่องมือการเขียนโปรแกรมที่มีใช้งานร่วมกับ Arduino ได้ทุกรุ่น เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางานสำหรับบอร์ด Arduino

3.9 การลดทอนกระแสและแรงดันให้เหมาะสม

เนื่องจากชิปคำนวณพลังงานไม่สามารถรับกระแสและแรงดันที่พิกัด 220 โวลต์ ได้โดยตรง จึงทำการติดตั้งหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสเพื่อลดทอนกระแสและแรงดันให้เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปใช้งานกับชิปคำนวณพลังงาน

4. การแสดงผลข้อมูล

4.1 ทดลองการส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Uno R3 กับโทรศัพท์มือถือ

ทดลองการส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Uno R3 กับ โทรศัพท์มือถือผ่าน HC-05 Bluetooth Serial Module โดยการนำ Switching Power Supply 5VDC จ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานปรับค่า 5 kΩ ได้เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า แล้วบันทึกผลการทดลองระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ โทรศัพท์มือถือเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดง ณ Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino IDE

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าที่โทรศัพท์มือถือกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ Serial Monitor

จำนวนรอบของ R	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่โทรศัพท์มือถือ	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ Serial Monitor
0	0.0000000000	0.0000000000
¼	2.0527858734	2.0527858734
½	3.0351905822	3.0351905822
¾	4.9902248382	4.9902248382
¾	4.9902248382	4.9902248382
½	3.1036167144	3.1036167144
¼	1.9941349029	1.9941349029
0	0.0000000000	0.0000000000

4.2 การทดลองการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ

ทำการทดลองในกรณีมีโหลด โดยใช้หลอดไฟแทนโหลดในการทดลอง ในการทดลองจะกำหนดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PF.)ให้มีค่าเท่ากับ 1 ทำการทดลองโดยใช้หลอดไฟแทนโหลดทางไฟฟ้าได้ทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ปลั๊กอัจฉริยะได้ส่งผลการทดลองไปแสดงบนคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือโดยผ่านสัญญาณ Bluetooth และทำการเก็บค่าเป็นเวลา 5 นาทีดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพลังงานไฟฟ้ากรณีหลอดไฟหลอด

เวลา (นาท)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้าจริง (W)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1	219.50	0.47	103.35	1.634×10 ³
2	222.13	0.47	104.59	3.253×10 ³
3	223.44	0.53	118.36	4.809×10 ³
4	220.81	0.53	116.97	6.506×10 ³
5	219.50	0.53	116.27	8.176×10 ³

ตารางที่ 4.3 ค่าพลังงานไฟฟ้ากรณีหลอดไฟ 2หลอด

เวลา (นาท)	แรงดันไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า(A)	กำลังไฟฟ้าจริง(W)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
1	219.50	0.94	206.71	3.191×10 ³
2	216.87	0.94	204.23	6.331×10 ³
3	216.87	1.00	217.00	9.325×10 ³
4	220.81	0.94	207.94	1.246×10 ³
5	216.87	1.00	217.00	1.564×10 ³

5. สรุปผลการดำเนินการ

จากการทดลองสรุปได้ว่า ปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้นสามารถวัดค่า บันทึกค่า และแสดงค่าปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือ เพื่อแสดงค่าปริมาณต่างๆผ่านหน้าจอ LCD คอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับรู้ถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวผู้ใช้เอง ซึ่งสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้อย่างสิ้นเปลืองลงได้ อีกทั้งยังสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะช่วยให้สามารถรับรู้ถึงการใช้จ่ายไฟฟ้าของผู้ใช้งานได้ ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการติดตั้งปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับระบบบ้านอัจฉริยะ(Smart home)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชาติ มานพ และรองศาสตราจารย์ ดร. สมชาติ จิรวินากร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือ จนการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yaowaluk Thongkhao and Wanchalerm Pora, "A low-cost Wi-Fi smart plug with on-off and Energy Metering functions," Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016, pp. 1–5.
- [2] Maytham S. Ahmed, Azah Mohamed, Raad Z. Homod, Hussain Shareef, Ahmad H. Sabry and Khairuddin Bin Khalid, "Smart plug prototype for monitoring electrical appliances in Home Energy"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MCP39F511

Power-Monitoring IC with Calculation and Energy Accumulation

Features

- Power Monitoring Accuracy Capable of 0.1% Error Across 4000:1 Dynamic Range
- Built-In Calculations on Fast 16-Bit Processing Core
 - Active, Reactive, Apparent Power
 - True RMS Current, RMS Voltage
 - Line Frequency, Power Factor
- 64-bit Wide Import and Export Active Energy Accumulation Registers
- 64-bit Four Quadrant Reactive Energy Accumulation Registers
- Signed Active and Reactive Power Outputs
- Dedicated Zero Crossing Detection (ZCD) Pin Output with Less than 200 μ s Latency
- Dedicated PWM Output Pin with Programmable Frequency and Duty Cycle
- Automatic Event Pin Control through Fast Voltage Surge Detection Less than 5 ms Delay
- Two Wire Serial Protocol with Selectable Baud Rate Up to 115.2 kbps using Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)
- Four Independent Registers for Minimum and Maximum Output Quantity Tracking
- Fast Calibration Routines and Simplified Command Protocol
- 512 Bytes User-Accessible EEPROM through Page Read/Write Commands
- Low-Drift Internal Voltage Reference, 10 ppm/ $^{\circ}$ C Typical
- 28-lead 5x5 QFN Package
- Extended Temperature Range -40° C to $+125^{\circ}$ C

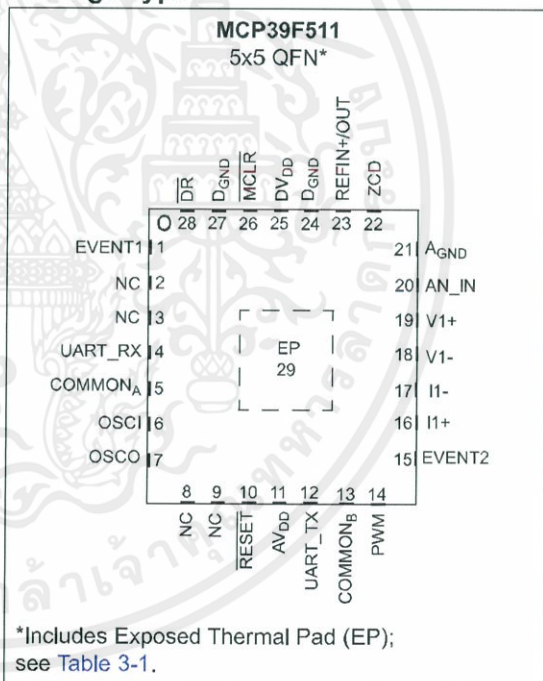
Applications

- Power Monitoring for Home Automation
- Industrial Lighting Power Monitoring
- Real-Time Measurement of Input Power for AC/DC Supplies
- Intelligent Power Distribution Units

Description

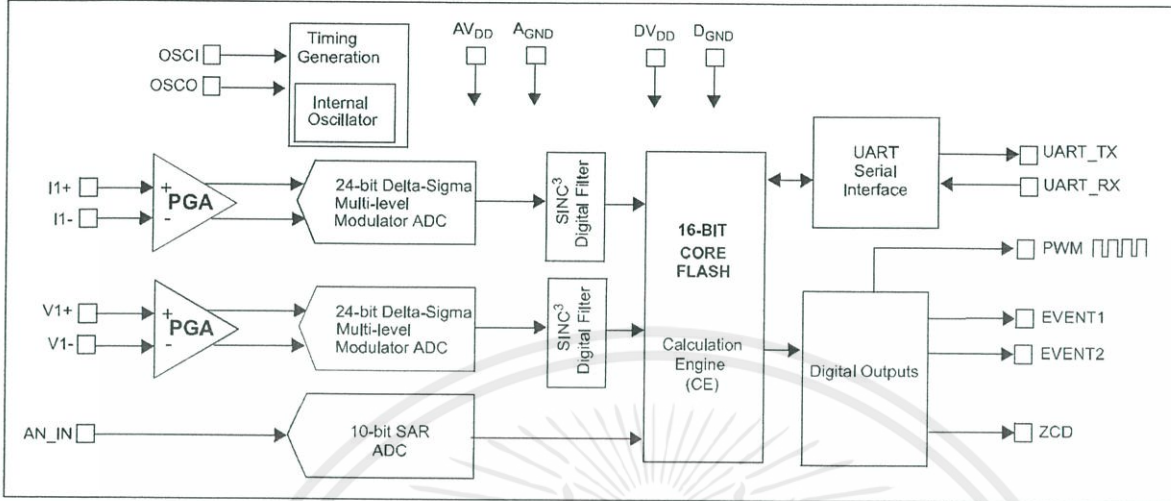
The MCP39F511 is a highly integrated, complete single-phase power-monitoring IC designed for real-time measurement of input power for AC/DC power supplies, power distribution units, consumer and industrial applications. It includes dual-channel Delta-Sigma ADCs, a 16-bit calculation engine, EEPROM and a flexible 2-wire interface. An integrated low-drift voltage reference with 10 ppm/ $^{\circ}$ C in addition to 94.5 dB of SINAD performance on each measurement channel allows for better than 0.1% accurate designs across a 4000:1 dynamic range.

Package Types



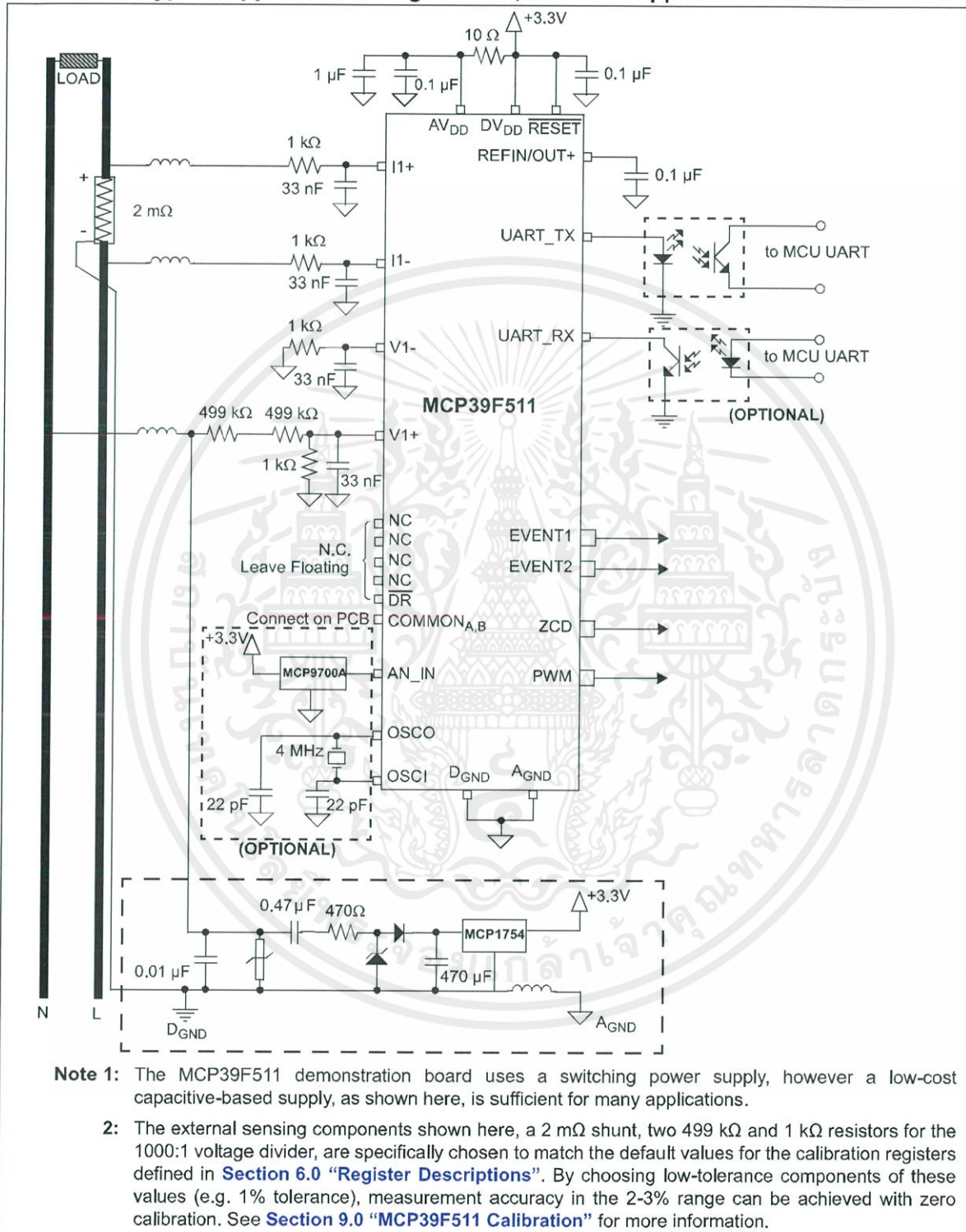
MCP39F511

Functional Block Diagram



MCP39F511

MCP39F511 Typical Application – Single Phase, Two-Wire Application Schematic



MCP39F511

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

DV _{DD}	-0.3 to +4.5V
AV _{DD}	-0.3 to +4.0V
Digital inputs and outputs w.r.t. A _{GND}	-0.3V to +4.0V
Analog Inputs (I+,I-,V+,V-) w.r.t. A _{GND}	-2V to +2V
V _{REF} input w.r.t. A _{GND}	-0.6V to AV _{DD} +0.6V
Maximum Current out of D _{GND} pin	300 mA
Maximum Current into DV _{DD} pin	250 mA
Maximum Output Current Sunk by Digital IO	25 mA
Maximum Current Sourced by Digital IO	25 mA
Storage temperature	-65°C to +150°C
Ambient temperature with power applied	-40°C to +125°C
Soldering temperature of leads (10 seconds)	+300°C
ESD on the analog inputs (HBM,MM)	4.0 kV, 200V
ESD on all other pins (HBM,MM)	4.0 kV, 200V

† **Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

1.1 Specifications

TABLE 1-1: ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at AV_{DD}, DV_{DD} = +2.7 to +3.6V, T_A = -40°C to +125°C, MCLK = 4 MHz, PGA GAIN = 1.

Characteristic	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
Power Measurement						
Active Power (Note 1)	P	—	±0.1	—	%	4000:1 Dynamic Range on Current Channel (Note 2)
Reactive Power (Note 1)	Q	—	±0.1	—	%	4000:1 Dynamic Range on Current Channel (Note 2)
Apparent Power (Note 1)	S	—	±0.1	—	%	4000:1 Dynamic Range on Current Channel (Note 2)
Current RMS (Note 1)	I _{RMS}	—	±0.1	—	%	4000:1 Dynamic Range on Current Channel (Note 2)
Voltage RMS (Note 1)	V _{RMS}	—	±0.1	—	%	4000:1 Dynamic Range on Voltage Channel (Note 2)
Power Factor (Note 1)	Φ	—	±0.1	—	%	
Line Frequency (Note 1)	LF	—	±0.1	—	%	

Note 1: Calculated from reading the register values with no averaging, single computation cycle with accumulation interval of 4 line cycles.

2: Specification by design and characterization; not production tested.

3: N = Value in the Accumulation Interval Parameter register. The default value of this register is 2 or T_{CAL} = 80 ms for 50 Hz line.

4: Applies to Voltage Sag and Voltage Surge events only.

5: Applies to all gains. Offset and gain errors depend on the PGA gain setting. See **Section 2.0 "Typical Performance Curves"** for typical performance.

6: V_{IN} = 1V_{PP} = 353 mV_{RMS} @ 50/60 Hz.

7: Variation applies to internal clock and UART only. All calculated output quantities are temperature compensated to the performance listed in the respective specification.

8: Lower baud rates selectable only on system versions 0xFA14 and later.

MCP39F511

TABLE 1-1: ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $AV_{DD}, DV_{DD} = +2.7$ to $+3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4$ MHz, PGA GAIN = 1.						
Characteristic	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
Calibration, Calculation and Event Detection Times						
Auto-Calibration Time	t_{CAL}	—	$2^N \times (1/f_{LINE})$	—	ms	Note 3
Minimum Time for Voltage Surge/Sag Detection	t_{AC_SASU}	—	see Section 7.0	—	ms	Note 4
24-Bit Delta-Sigma ADC Performance						
Analog Input Absolute Voltage	V_{IN}	-1	—	+1	V	
Analog Input Leakage Current	A_{IN}	—	1	—	nA	
Differential Input Voltage Range	$(I1+ - I1-), (V1+ - V1-)$	-600/GAIN	—	+600/GAIN	mV	$V_{REF} = 1.2V$, proportional to V_{REF}
Offset Error	V_{OS}	-1	—	+1	mV	
Offset Error Drift		—	0.5	—	$\mu V/^{\circ}C$	
Gain Error	GE	-4	—	+4	%	Note 5
Gain Error Drift		—	1	—	ppm/ $^{\circ}C$	
Differential Input Impedance	Z_{IN}	232	—	—	k Ω	G = 1
		142	—	—	k Ω	G = 2
		72	—	—	k Ω	G = 4
		38	—	—	k Ω	G = 8
		36	—	—	k Ω	G = 16
		33	—	—	k Ω	G = 32
Signal-to-Noise and Distortion Ratio	SINAD	92	94.5	—	dB	Note 6
Total Harmonic Distortion	THD	—	-106.5	-103	dBc	Note 6
Signal-to-Noise Ratio	SNR	92	95	—	dB	Note 6
Spurious Free Dynamic Range	SFDR	—	111	—	dB	Note 6
Crosstalk	CTALK	—	-122	—	dB	
AC Power Supply Rejection Ratio	AC PSRR	—	-73	—	dB	AV_{DD} and $DV_{DD} = 3.3V + 0.6V_{PP}$, 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz
DC Power Supply Rejection Ratio	DC PSRR	—	-73	—	dB	AV_{DD} and $DV_{DD} = 3.0$ to $3.6V$

- Note 1:** Calculated from reading the register values with no averaging, single computation cycle with accumulation interval of 4 line cycles.
- 2:** Specification by design and characterization; not production tested.
- 3:** N = Value in the Accumulation Interval Parameter register. The default value of this register is 2 or $T_{CAL} = 80$ ms for 50 Hz line.
- 4:** Applies to Voltage Sag and Voltage Surge events only.
- 5:** Applies to all gains. Offset and gain errors depend on the PGA gain setting. See Section 2.0 "Typical Performance Curves" for typical performance.
- 6:** $V_{IN} = 1V_{PP} = 353$ mV_{RMS} @ 50/60 Hz.
- 7:** Variation applies to internal clock and UART only. All calculated output quantities are temperature compensated to the performance listed in the respective specification.
- 8:** Lower baud rates selectable only on system versions 0xFA14 and later.

MCP39F511

TABLE 1-1: ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $AV_{DD}, DV_{DD} = +2.7$ to $+3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4$ MHz, PGA GAIN = 1.						
Characteristic	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
DC Common Mode Rejection Ratio	DC CMRR	—	-105	—	dB	V_{CM} varies from -1V to +1V
10-Bit SAR ADC Performance for Temperature Measurement						
Resolution	N_R	—	10	—	bits	
Absolute Input Voltage	V_{IN}	$D_{GND} - 0.3$	—	$D_{VDD} + 0.3$	V	
Recommended Impedance of Analog Voltage Source	R_{IN}	—	—	2.5	k Ω	
Integral Nonlinearity	I_{NL}	—	± 1	± 2	LSb	
Differential Nonlinearity	D_{NL}	—	± 1	± 1.5	LSb	
Gain Error	G_{ERR}	—	± 1	± 3	LSb	
Offset Error	E_{OFF}	—	± 1	± 2	LSb	
Temperature Measurement Rate		—	$f_{LINE}/2^N$	—	sps	Note 7
Clock and Timings						
UART Baud Rate	UDB	1.2 ⁽⁸⁾	—	115.2	kbps	See Section 3.2 for protocol details
Master Clock and Crystal Frequency	f_{MCLK}	-2%	4	+2%	MHz	
Capacitive Loading on OSCO pin	COSC2	—	—	15	pF	When an external clock is used to drive the device
Internal Oscillator Tolerance	f_{INT_OSC}	—	2	—	%	-40 to +85°C only (Note 7)
Internal Voltage Reference						
Internal Voltage Reference Tolerance	V_{REF}	-2%	1.2	+2%	V	
Temperature Coefficient	TCV_{REF}	—	10	—	ppm/°C	$T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $V_{REFEXT} = 0$
Output Impedance	$Z_{OUTV_{REF}}$	—	2	—	k Ω	
Current, V_{REF}	$AI_{DDV_{REF}}$	—	40	—	μA	
Voltage Reference Input						
Input Capacitance		—	—	10	pF	
Absolute Voltage on V_{REF+} Pin	V_{REF+}	$A_{GND} + 1.1V$	—	$A_{GND} + 1.3V$	V	

Note 1: Calculated from reading the register values with no averaging, single computation cycle with accumulation interval of 4 line cycles.

2: Specification by design and characterization; not production tested.

3: N = Value in the Accumulation Interval Parameter register. The default value of this register is 2 or $T_{CAL} = 80$ ms for 50 Hz line.

4: Applies to Voltage Sag and Voltage Surge events only.

5: Applies to all gains. Offset and gain errors depend on the PGA gain setting. See Section 2.0 "Typical Performance Curves" for typical performance.

6: $V_{IN} = 1V_{PP} = 353$ mV_{RMS} @ 50/60 Hz.

7: Variation applies to internal clock and UART only. All calculated output quantities are temperature compensated to the performance listed in the respective specification.

8: Lower baud rates selectable only on system versions 0xFA14 and later.

MCP39F511

TABLE 1-1: ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $AV_{DD}, DV_{DD} = +2.7$ to $+3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4$ MHz, PGA GAIN = 1.

Characteristic	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
Power Specifications						
Operating Voltage	AV_{DD}, DV_{DD}	2.7	—	3.6	V	
DV_{DD} Start Voltage to Ensure Internal Power-On Reset Signal	V_{POR}	D_{GND}	—	0.7	V	
DV_{DD} Rise Rate to Ensure Internal Power-On Reset Signal	SDV_{DD}	0.05	—	—	V/ms	0 – 3.3V in 0.1s, 0 – 2.5V in 60 ms
AV_{DD} Start Voltage to Ensure Internal Power-On Reset Signal	V_{POR}	A_{GND}	—	2.1	V	
AV_{DD} Rise Rate to Ensure Internal Power On Reset Signal	SAV_{DD}	0.042	—	—	V/ms	0 – 2.4V in 50 ms
Operating Current	I_{DD}	—	13	—	mA	
Data EEPROM Memory						
Cell Endurance	EPS	100,000	—	—	E/W	
Self-Timed Write Cycle Time	T_{IWD}	—	4	—	ms	
Number of Total Write/Erase Cycles Before Refresh	R_{REF}	—	10,000,000	—	E/W	
Characteristic Retention	T_{RETDD}	40	—	—	years	Provided no other specifications are violated
Supply Current during Programming	I_{DDPD}	—	7	—	mA	

- Note 1:** Calculated from reading the register values with no averaging, single computation cycle with accumulation interval of 4 line cycles.
- 2:** Specification by design and characterization; not production tested.
- 3:** N = Value in the Accumulation Interval Parameter register. The default value of this register is 2 or $T_{CAL} = 80$ ms for 50 Hz line.
- 4:** Applies to Voltage Sag and Voltage Surge events only.
- 5:** Applies to all gains. Offset and gain errors depend on the PGA gain setting. See **Section 2.0 “Typical Performance Curves”** for typical performance.
- 6:** $V_{IN} = 1V_{PP} = 353$ mV_{RMS} @ 50/60 Hz.
- 7:** Variation applies to internal clock and UART only. All calculated output quantities are temperature compensated to the performance listed in the respective specification.
- 8:** Lower baud rates selectable only on system versions 0xFA14 and later.

MCP39F511

TABLE 1-2: SERIAL DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $AV_{DD}, DV_{DD} = +2.7$ to $+3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4$ MHz

Characteristic	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
High-Level Input Voltage	V_{IH}	$0.8 DV_{DD}$	—	DV_{DD}	V	
Low-Level Input Voltage	V_{IL}	0	—	$0.2 DV_{DD}$	V	
High-Level Output Voltage	V_{OH}	3	—	—	V	$I_{OH} = -3.0$ mA, $V_{DD} = 3.6V$
Low-Level Output Voltage	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 4.0$ mA, $V_{DD} = 3.6V$
Input Leakage Current	I_{LI}	—	—	1	μA	Digital Output pins only (ZCD, PWM, EVENT1, EVENT2)
			0.050	0.100		

TABLE 1-3: TEMPERATURE SPECIFICATIONS

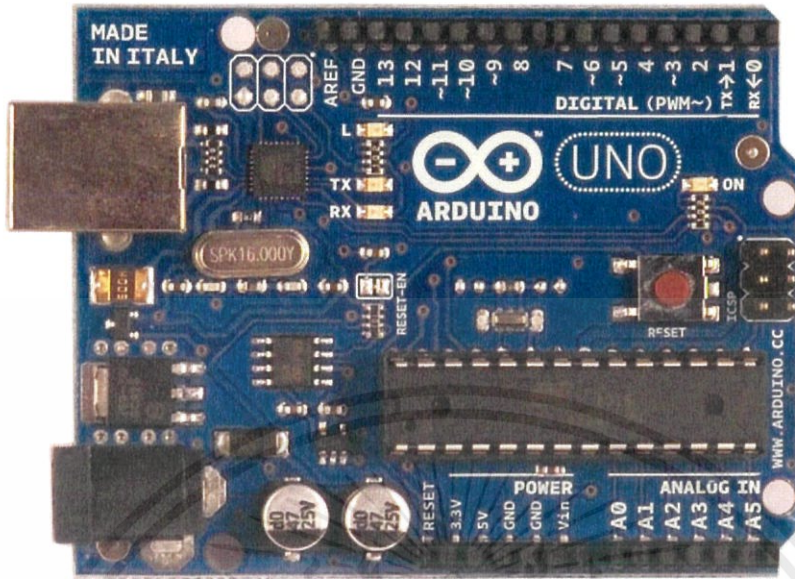
Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at $AV_{DD}, DV_{DD} = +2.7$ to $+3.6V$.

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 28LD 5x5 QFN	θ_{JA}	—	36.9	—	$^{\circ}C/W$	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

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

Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



Radiospares

RADIONICS



ALLIED ELECTRONICS
ANALOG, DIGITAL, POWER, LINEAR

Technical Specification

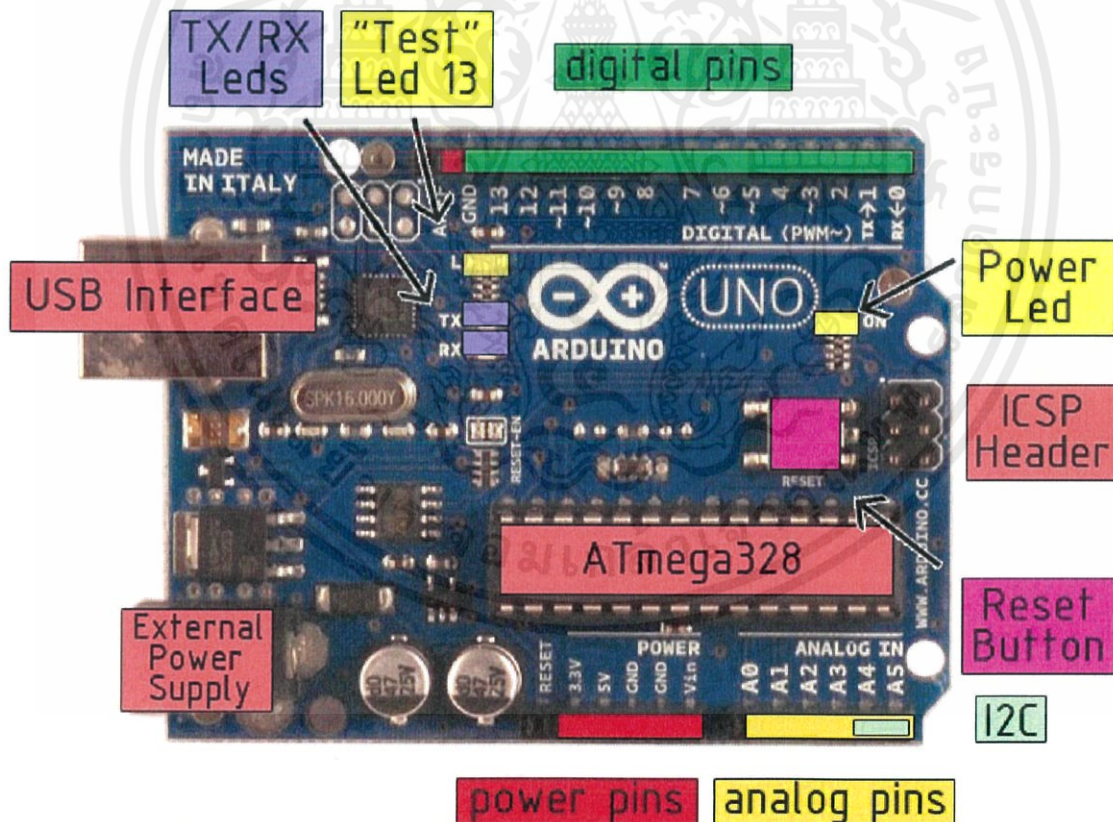


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares RADIONICS



เอกสาร อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้าของบริษัทฯ และผู้ขายให้บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้าของบริษัทฯ

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power

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

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

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

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

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

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



radiospares

RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

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

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

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

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

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

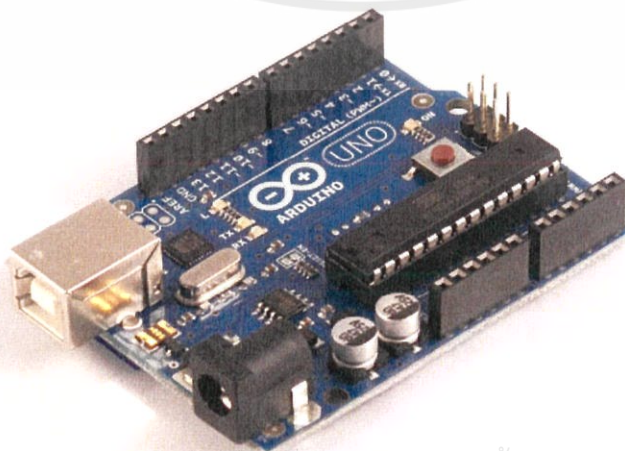
The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#)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

USB Overcurrent Protection

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

Physical Characteristics

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่เป็นไรใด ๆ ทั้งสิ้น ซึ่งทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select

Now you have to go to **Tools>SerialPort**

and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```

Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blink.s
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13
// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
  
```



Done compiling.

Press Compile button
(to check for errors)



Upload



TX RX Flashing



Blinking Led!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

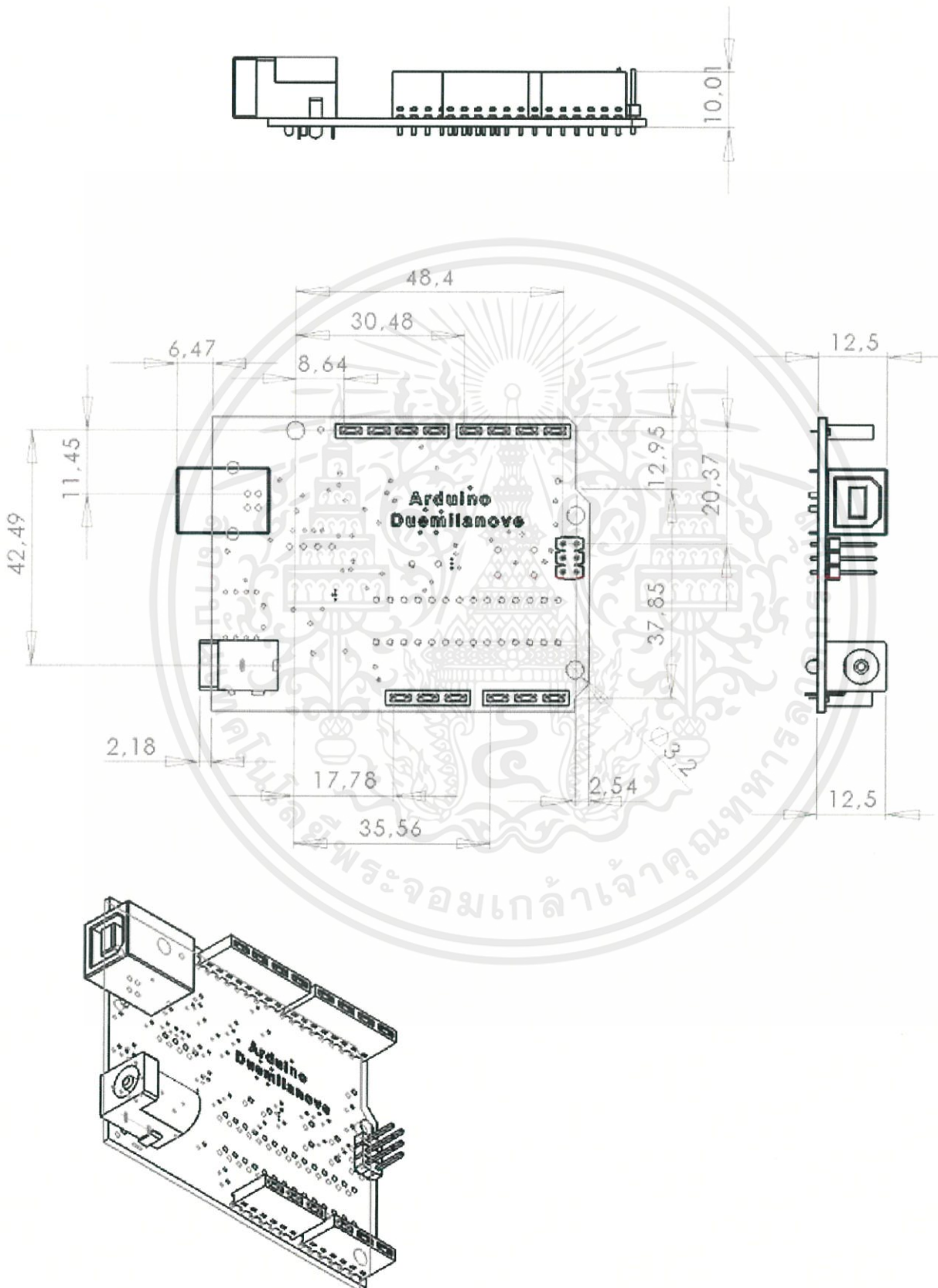


ทั้งที่ **radiospares** และ **RADIONICS**



เอกสารนี้ **ALLIED ELECTRONICS** ครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensioned Drawing





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <SoftwareSerial.h>

// Set the LCD address to 0x27 or 0x3F for a 16 chars and 2 line display.

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

char receivedChar;

SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX

// Select the input pin for the potentiometer.

int sensorPin = A3;

// Variable from the sensor.

int sensorValue = 0;

// ถ้าต้องการให้ relay ปิดวงจรก็ส่งค่า 0 ถ้าต้องการให้ relay เปิดวงจรก็ส่งค่า 1

int relay = 7; // ต่อกับขา in1 ของบอร์ดรีเลย์

void setup()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

Serial.begin(9600); // กำหนดความเร็วในการติดต่อสื่อสาร 9600

mySerial.begin(9600);

// Initialize the LCD.

lcd.begin();

// Turn on the backlight and print a message.

lcd.backlight();

lcd.setCursor(0,0); // ไปที่ตัวอักษรที่ 0 แถวที่ 1

lcd.print("Voltage = ");

pinMode(relay, OUTPUT);

}

void loop()

{

// Read the value from the sensor:

int sensorValue = analogRead(sensorPin);

float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Print report:

Serial.println("Voltage = ");

Serial.println(voltage, DEC); // เลขฐาน 10

lcd.setCursor(10,0); // ไปที่ตัวอักษรที่ 10 แถวที่ 1

lcd.print(voltage, DEC); // เลขฐาน 10

mySerial.println("Voltage = ");

mySerial.println(voltage, DEC); // เลขฐาน 10

if (voltage > 4) {
digitalWrite(relay, 1);
} // สั่ง relay เปิดวงจร

delay(1000);
}

```

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวจิราพร รักดีทศพล
 วัน เดือน ปีเกิด 22 มีนาคม 2537
 ที่อยู่ 264/19 หมู่ธรรมชาติ ตำบลลำผักกูด
 อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนมัธยมสาธิตวัดพระศรีมหาธาตุ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท บริษัท บริษัท เทอร์โมเทรเซอร์ จำกัด (Thermo Tracer Co.,Ltd.)
 ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2559



ชื่อ-นามสกุล นายณัฐวัตร สนามชัย
 วัน เดือน ปีเกิด 13 มิถุนายน 2537
 ที่อยู่ ตำบลไม้ดัด อำเภอบางระจัน
 จังหวัดสิงห์บุรี 16130

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนมัธยมสาธิตวัดพระศรีมหาธาตุ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด (มหาชน)
 ระหว่างวันที่ 2 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2558



ชื่อ-นามสกุล นายเอกพัชร ชีวดีโสภณ
 วัน เดือน ปีเกิด 10 กุมภาพันธ์ 2538
 ที่อยู่ 100/92 หมู่1 หมู่บ้านร้อยकार์เดินแอร์พอร์ต
 ถนนหลวงแพ่ง ซอยพรทิพย์ ตำบลศรีษะจรเข้ชั้นน้อย
 อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ 1057

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า กทม

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท Gulf. JP CRN.

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2559

