



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

มิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้เต้ารับอัจฉริยะ  
Wireless Wattmeter System Using Smart Socket Outlet



นางสาว ทัตยา ปุคคละนันท์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ReH

๓343๓

2556

เลขหมู่.....

136360

เลขทะเบียน.....

7 ก.ย. 2558

รับ.....



b. 12707405

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) มิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้เต้ารับอัจฉริยะ  
 แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้  
 ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท  
 ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง กันยายน พ.ศ. 2556  
 ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ นางสาว ทศยา ปุคคละนนท์  
 สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 โทร. 02-329-8353 E-mail : kptattay@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้นำเสนอออกแบบและสร้างระบบการตรวจวัดและแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้เต้ารับไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart socket outlet) ภายใต้การติดต่อสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลระดับการใช้กำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ในแต่ละจุด สำหรับเป็นข้อมูลในการจัดสรรและอนุรักษ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละบุคคล คริวเรือน หรือ หน่วยงาน ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อตอบสนองกับการประยุกต์ใช้กับระบบบ้านพักอาศัยอัจฉริยะ (smart home) หรือพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในระบบบริหารจัดการพลังงานในองค์กร หน่วยงาน หรือ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

คำสำคัญ : วัดมิเตอร์ การสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 โมดูลซิกบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Wireless Wattmeter System Using Smart Socket Outlet  
**Researcher:** Assoc. Prof. Dr. Tattaya Pukkalanun  
**Faculty:** Engineering                      **Department:** Instrumentation and Control Engineering

## ABSTRACT

This research describes the design of the wireless wattmeter using smart socket outlets. The developed system is based on IEEE 802.15.4 communication standard for monitoring and recording the real power values. The developed WSN network is mainly composed of two important parts. The first part, consisting of microcontroller PIC24FJ48GA002 and Xbee module, is performed as a central monitor for displaying and recording the measured average power levels for each electrical appliance. The second part, which is composed of ACS711 current sensor, is used to measure the current signals and send the measured signals via 2.4 GHz Zigbee module with 100 meters range. Owing to the wireless nature, the proposed system is compact and also provides the simplicity of installation and movement. Experimental results show that the developed system can work correctly as expected.

**Keywords :** Wattmeter    Wireless communication    IEEE 802.15.4    Xbee module

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ทัตยา ปุคคละนันท์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กล่าวนำ	6
2.2 พื้นฐานไฟฟ้ากระแสสลับ	6
2.3 คุณสมบัติของโหลดทางกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ	7
2.3.1 โหลดที่มีลักษณะเหมือนตัวต้านทาน	7
2.3.2 โหลดที่มีลักษณะคล้ายตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำ	8
2.3.3 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น	8
2.4 อุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	9
2.4.1 อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า	9
2.4.2 อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า	11
2.4.3 ไอซีวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4	13
2.5.1 ประเภทของการใช้งานช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4	14
2.5.2 อุปกรณ์ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานซิกบี	15
2.5.3 รูปแบบการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานซิกบี	15
2.5.4 โมดูลติดต่อสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4	18
2.6 สรุป	18
<b>บทที่ 3 ระบบมิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย</b>	
โดยใช้ตัวรับอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น	19
3.1 การออกแบบระบบที่พัฒนาขึ้น	19
3.1.1 โหลดแบบตัวต้านทาน	21
3.1.2 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น	23
3.2 การออกแบบและสร้างระบบสื่อสารไร้สาย	25
3.3 วงจรต้นแบบ	26
3.4 การออกแบบโปรแกรมในส่วนประมวลผลกลาง	28
3.5 สรุป	30
<b>บทที่ 4 บทสรุป</b>	31
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติพื้นฐานของ ACS711 ที่มีย่านการวัดกระแสสูงสุด 12.5 A	11
2.2	การเปรียบเทียบการติดต่อสื่อสารไร้สายรูปแบบต่างๆ	17
3.1	ผลการทดสอบกับโหลดแบบตัวต้านทาน	23
3.2	ผลการทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น	25
3.3	ผลการทดสอบระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	หลักการทํางานโดยรวมของระบบเครือข่ายไร้สายที่พัฒนาขึ้น	2
1.2	โครงสร้างและหลักการทํางานของตัวรับไฟฟ้าอัจฉริยะ	3
2.1	นิยามของค่าประสิทธิภาพ	6
2.2	ผลตอบสนองของกระแสและแรงดันในโหลดทางไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน	8
2.3	ผลตอบสนองของกระแสและแรงดันของโหลดแบบรีแอกทีฟ	8
2.4	ผลตอบสนองแรงดันและกระแสในโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น	9
2.5	อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าเบอร์ ACS711	10
2.6	ความเป็นเชิงเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิของ ACS711	12
2.7	หม้อแปลงไฟฟ้าที่เลือกใช้และวงจรสมมูลทางไฟฟ้า	13
2.8	บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของไอซีเบอร์ ADE7753	14
2.9	บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอ	14
2.10	ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4	16
2.11	ระบบเครือข่ายแบบต่างๆ (ก) แบบดาว (ข) แบบลำดับชั้น (ค) แบบเมช	18
2.12	โมดูลสื่อสารไร้สาย MRF24J40MB	19
3.1	หลักการทํางานของมิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยใช้ตัวรับอัจฉริยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น	20
3.2	โครงสร้างของอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า	21
3.3	วงจรต้นแบบอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง	22
3.4	การทดสอบกับโหลดแบบตัวต้านทาน	22
3.5	กราฟผลการทดสอบเปรียบเทียบผลการวัดกระแสของอุปกรณ์วัดกำลังงาน กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของโหลดแบบตัวต้านทาน	23
3.6	กราฟแสดงค่าความผิดพลาดเทียบกับกำลังไฟฟ้าของโหลดแบบตัวต้านทาน	24
3.7	การทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	กราฟผลการทดสอบเปรียบเทียบผลการวัดกระแสของอุปกรณ์วัดกำลังงานกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น	25
3.9	กราฟแสดงค่าความผิดพลาดเทียบกับกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น	26
3.10	โครงสร้างของระบบสื่อสารไร้สาย	26
3.11	ระบบมิเตอร์ตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้	27
3.12	การทดสอบระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบในห้องปฏิบัติการ	28
3.13	แผนผังการจัดการข้อมูลในการออกแบบฐานข้อมูล	29
3.14	คลาสในการออกแบบโปรแกรมในส่วนประมวลผลกลาง	30
3.15	หน้าจอการทำงานหลักของโปรแกรม	30



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพบว่ากิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก อาทิเช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินทาง เพื่อการประกอบอาหาร อำนวยความสะดวก หรือแม้กระทั่งเพื่อความบันเทิง เป็นต้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันว่าวัตถุดิบเช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน หรือ ก๊าซธรรมชาติ ที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าได้นั้นกลับมีปริมาณลดลง เห็นได้จากในปัจจุบันประเทศไทยจำเป็นต้องสั่งซื้อพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน และยังมีแนวโน้มราคาต่อหน่วยสูงมากขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ยังพบว่าสาเหตุสำคัญประการหนึ่งในการใช้ไฟฟ้าของคนส่วนใหญ่ ก็คือ การละเลยมองข้ามเรื่อง การประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากเกินไปเกินความจำเป็น และการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยไม่จำเป็น ซึ่งก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจวัดและแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้เต้ารับไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart socket outlet) ภายใต้การติดต่อสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลระดับการใช้กำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ในแต่ละจุด สำหรับเป็นข้อมูลในการจัดสรรและอนุรักษ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละบุคคล คริวเรือน หรือ หน่วยงาน ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ยังได้นำเสนอแนวทางการนำระบบการตรวจวัดและแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายที่พัฒนาขึ้นมาต่อเป็นโครงข่ายการตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้า เพื่อตอบสนองกับการประยุกต์ใช้กับระบบบ้านพักอาศัยอัจฉริยะ (smart home) หรือพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในระบบบริหารจัดการพลังงานในองค์กร หน่วยงาน หรือ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

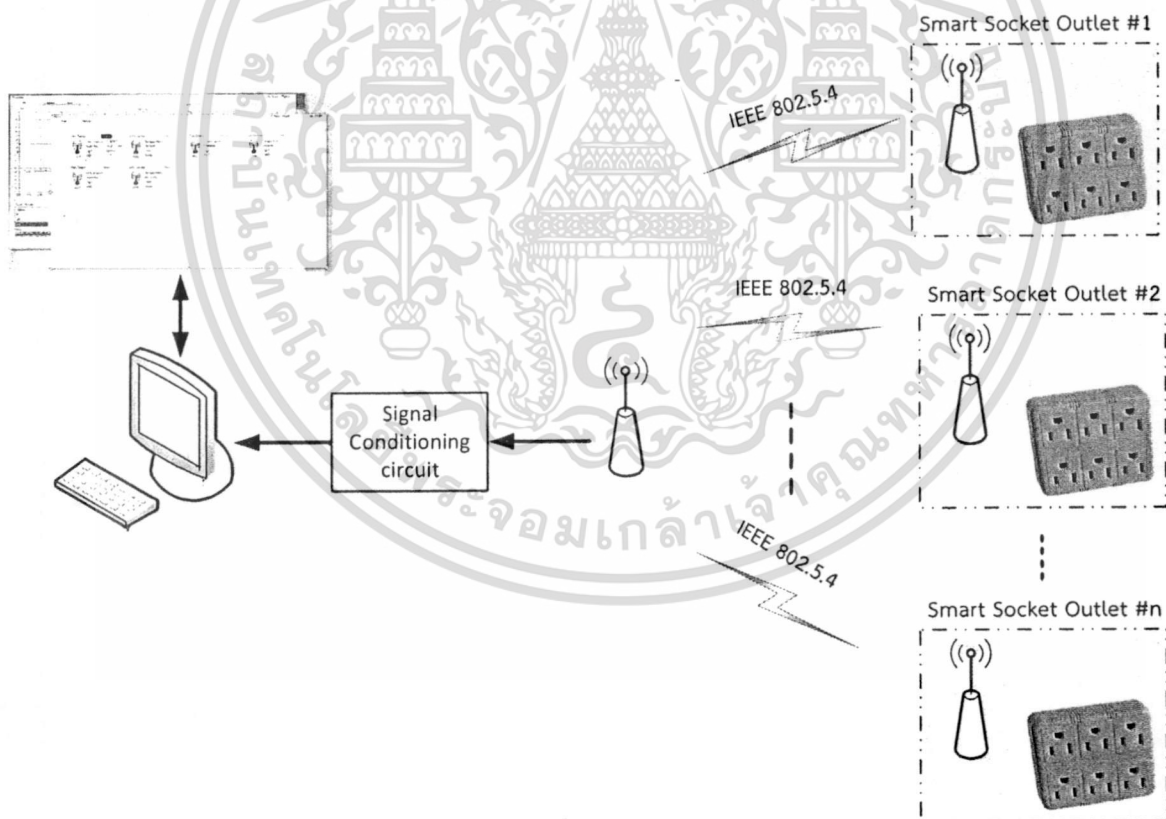
โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นแนวคิดในการออกแบบและสร้างระบบเครือข่ายไร้สายสำหรับตรวจวัดแสดงผล และบันทึกค่ากำลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก ดังต่อไปนี้

- 1) ออกแบบสร้างระบบตรวจวัด แสดงผล และบันทึกข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย ที่มีประสิทธิภาพในการทำงาน มีขนาดเล็กและสะดวกในการติดตั้ง มีความถูกต้องแม่นยำในการวัด และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
- 2) สามารถรายงานผลการวัดบนหน้าจอบนคอมพิวเตอร์และบันทึกลงในระบบจัดเก็บข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดสรรและอนุรักษ์การใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป
- 3) เครื่องมือวัดที่สร้างจากฝีมือคนไทย โดยใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่และอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ในประเทศไทย แต่มีคุณภาพทัดเทียมกับต่างประเทศ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

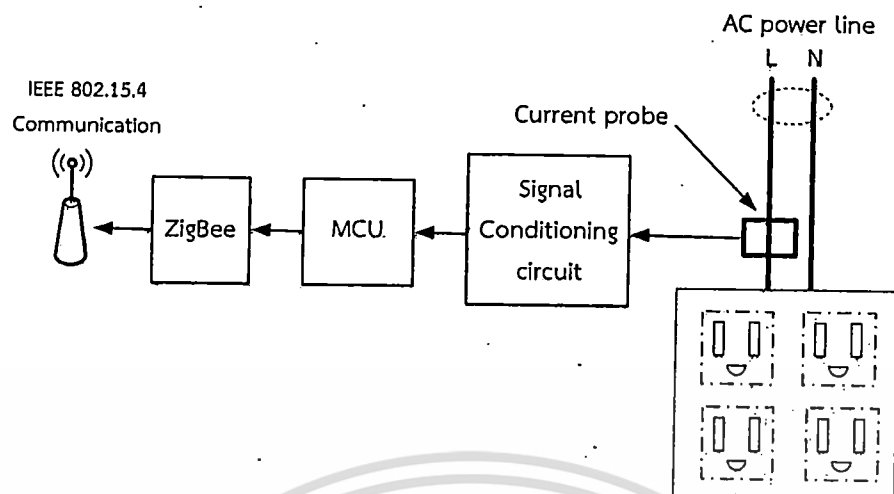
รูปที่ 1.1 แสดงหลักการการทำงานโดยรวมของระบบเครือข่ายไร้สายสำหรับตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าโดยใช้เต้ารับอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญสองส่วน คือ เต้ารับไฟฟ้าอัจฉริยะทำหน้าที่เป็นส่วนตรวจวัด และระบบคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลและจัดเก็บข้อมูล โดยที่องค์ประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่การทำงานดังนี้

โครงสร้างและหลักการการทำงานของเต้ารับไฟฟ้าอัจฉริยะแสดงได้ดังรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าติดตั้งโพรบวัดทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานของโหลดที่มาต่อกับเต้ารับ จากนั้นสัญญาณวัดเอาต์พุตที่ได้จากโพรบวัดจะถูกส่งผ่านวงจรปรับแต่งสภาพสัญญาณ (signal conditioning circuit) เพื่อทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณให้เหมาะสมก่อน เข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ทั้งนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำสัญญาณข้อมูลที่ได้ประมวลผล พร้อมทั้งจัดการรูปแบบการติดต่อสื่อสารก่อนที่จะส่งข้อมูลที่ได้จากการวัดกำลังงานไฟฟ้าส่งผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย ZigBee (ZigBee module) [1]-[2] ซึ่งทำงานตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 [3] โดยโครงการวิจัยนี้จะใช้การติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ Star ซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทาง ทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม [4]-[6]



รูปที่ 1.1 หลักการทำงานโดยรวมของระบบเครือข่ายไร้สายที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของเต้ารับไฟฟ้าอัจฉริยะ

องค์ประกอบส่วนที่สองจะเป็นส่วนประมวลผลกลาง (central processing unit) ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากเต้ารับแต่ละตัว (#1, #2, ..., #n) มาทำการสรุปเป็นข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าของเต้ารับแต่ละตัว โดยการแสดงผลบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งจัดเก็บเป็นข้อมูลในการจัดสรร ควบคุมและบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์สูงสุดต่อไป โดยในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อทำหน้าที่แสดงผลและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดช่วงเวลาในการแสดงผลและปรับปรุงข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ หรือ สามารถกำหนดการทำงานของระบบให้ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (real time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินโครงการใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งโครงการทั้งสิ้น 12 เดือน เริ่มจากเดือน ตุลาคม 2555 ถึงเดือนกันยายน 2556

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ศึกษาทฤษฎีการติดต่อสื่อสารมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และ โพรโตคอล ZigBee	↔												
2. ออกแบบและพัฒนาโครงสร้างของระบบทั้งหมดจากทฤษฎี และ หลักการที่ได้ศึกษามาทั้งหมด			↔										
3. จัดเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่จะนำมาใช้ในโครงการวิจัย				↔									
4. ออกแบบสร้างและทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการประมวลผลสัญญาณที่วัดได้					↔								
5. ออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลการวัดบนหน้าจอบนคอมพิวเตอร์ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้							↔						
6. ทดสอบการทำงานโดยการต่อเชื่อมอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วบันทึกผลการทดลอง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลทุกๆ ขั้นตอน เพื่อนำผลลัพธ์มาปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดของงานวิจัย										↔			
7. วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผล พร้อมทั้งจัดทำรายงานสรุปโครงการวิจัย												↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

- 1) ระบบเครือข่ายสำหรับตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายที่สามารถรายงานผลการวัดและมีระบบแจ้งเตือนผ่านการแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และสามารถบันทึกลงในระบบฐานข้อมูล สำหรับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าขององค์กรหรือหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) เครื่องมือวัดต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาผลิตเชิงพาณิชย์ได้อย่างมากมาย เนื่องจากวงจรมีขนาดเล็กสามารถนำไปปรับแต่งให้อยู่ในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลากหลายรูปแบบ ทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ เช่น ออกแบบให้สามารถปรับใช้ในระบบอ่านมาตรวัดไฟฟ้าอัตโนมัติ (automatic meter reading) แบบไร้สาย ออกแบบเป็นเต้ารับไฟฟ้าในระบบ wireless home networking สำหรับบ้านอัจฉริยะ หรือ นำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในระบบบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
- 3) เนื่องจากโครงการวิจัยนี้ทำงานโดยใช้โพรโทคอล ZigBee ทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 จึงทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้เป็นอุปกรณ์ในโครงสร้างพื้นฐานของระบบอ่านมาตรแบบก้าวหน้า (Advanced Metering Infrastructure, AMI) ซึ่งเป็นแนวโน้มใหม่ในการอ่านค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ตามบ้านอยู่อาศัย
- 4) โอกาสทางการตลาดที่สามารถนำระบบเครือข่ายต้นแบบนำไปพัฒนาออกแบบสร้างในเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม ซึ่งมีความต้องการสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

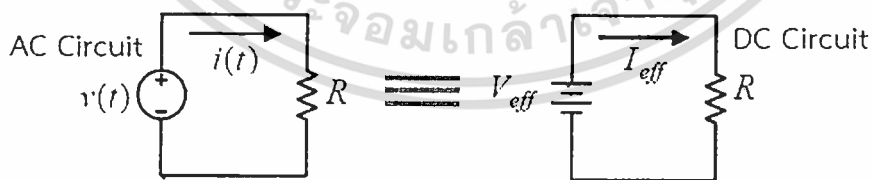
#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและหลักการของการวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและแสดงผลการใช้กำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้ตัวรับอัจฉริยะ ดังนั้นหลักการการวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสจึงถือได้ว่าเป็นส่วนพื้นฐานที่สำคัญของงานวิจัยนี้เนื่องจากจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้งานก่อนที่จะนำข้อมูลของพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านกระบวนการจัดเก็บและแสดงผลข้อมูล ซึ่งในส่วนการส่งข้อมูลระยะไกลแบบไร้สายในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การติดต่อสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ในการสื่อสารเพื่อรับส่งข้อมูล

#### 2.2 พื้นฐานไฟฟ้ากระแสสลับ

ในระบบการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับบ้านเรือนส่วนใหญ่จะเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 2 สาย ที่มีขนาดของแรงดันไฟฟ้า 220 Vrms และความถี่ 50 Hz โดยเป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัยนี้จะได้มุ่งเน้นในการจัดทำระบบตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าแบบ 1 เฟส เท่านั้น เนื่องจากเป็นระบบการใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนทั่วไป ส่วนระบบไฟฟ้าสามเฟสนั้นเป็นระบบที่มักจะใช้กับระบบไฟฟ้าโรงงานหรือระบบที่ต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่ได้อ้างถึงในส่วนนี้

ค่าอาร์ เอ็ม เอส (RMS, root mean square) หรือค่าประสิทธิผล (effective value) นั้น หมายถึงค่าของปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับโหลดทางไฟฟ้าแล้วได้ผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าที่เท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.1 . เพื่อให้เห็นภาพยิ่งขึ้นขอยกตัวอย่าง เช่น กรณีที่มีหลอดไฟอยู่หนึ่งหลอดถูกป้อนแรงดันไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V แล้วหลอดไฟนั้นมีความสว่างของหลอดไฟอยู่ค่าหนึ่งดังนั้นในทางกลับกันหากเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสสลับแบบไซน์ที่มีขนาดของแรงดันที่ 12 V ปรากฏว่าความสว่างจะลดลงเนื่องจากค่าประสิทธิผลของสัญญาณไซน์มีค่าเท่ากับ  $\frac{12}{\sqrt{2}}$  หรือประมาณ 8.485 Vrms



รูปที่ 2.1 นิยามของค่าประสิทธิผล

ดังนั้นในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้า และค่าประสิทธิผลของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโหลดทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณหา กำลังไฟฟ้าของโหลดทางไฟฟ้าที่ใช้ไปเนื่องจากคุณสมบัติของโหลดทางไฟฟ้าที่มีการใช้งานอยู่จริงในชีวิตประจำวันมีคุณสมบัติ ที่สามารถแยกตามค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดได้แตกต่างกันกล่าวคือ โหลดทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าที่มีค่าอิมพีแดนซ์เป็นจำนวนจริงอย่างเดียว โหลดประเภทนี้จะเป็นจำพวกโหลดทางไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวต้านทานทางไฟฟ้า และโหลดทางไฟฟ้าที่มีค่าอิมพีแดนซ์แบบค่าจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งโหลดประเภทนี้จะเป็นค่าความต้านทานต่อร่วมกับตัวเก็บประจุหรือต่อร่วมกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งโหลดทางไฟฟ้าที่มันพบมากในชีวิตประจำวันจะเป็นโหลดประเภทนี้เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อโหลดทางไฟฟ้ามีคุณสมบัติที่มีค่าอิมพีแดนซ์เป็นจำนวนเชิงซ้อนแล้วจึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดทางไฟฟ้ามีคุณสมบัติที่สามารถแยกได้ดังนี้

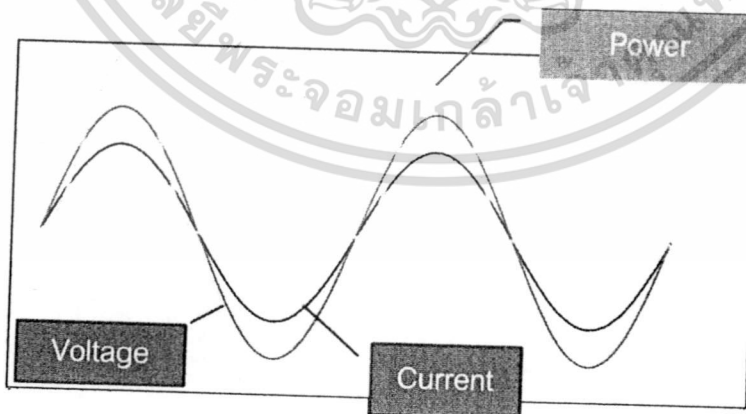
- 1) กำลังไฟฟ้าจริง (real power) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่โหลดดึงไปใช้เพื่อทำให้เกิดงานจริงๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt)
- 2) กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (reactive power) หมายถึง กำลังงานไฟฟ้าที่ย้อนกลับออกมาจากโหลด แต่กำลังงานเหล่านี้ก็ไม่ได้กลับไปยังแหล่งกำเนิดแต่จะสูญเสียไปเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปซึ่งเกิดกับโหลดที่มีกระแสและแรงดันที่มีเฟสไม่ตรงกันมีหน่วยเป็น VAR
- 3) กำลังไฟฟ้าปรากฏ (apparent power) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายให้กับโหลดได้สูงสุดมีหน่วยเป็น VA

### 2.3 คุณสมบัติของโหลดทางกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

โหลดหรือภาระทางไฟฟ้าในที่นี้หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีการใช้หรือดูดกลืนพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น หลอดไฟ พัดลม โทรทัศน์ วิทยุ เครื่องซักผ้า ซึ่งโหลดแต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป โดยแบ่งได้สามประเภทตามลักษณะผลตอบสนองของกระแสและแรงดันดังนี้

#### 2.3.1 โหลดที่มีลักษณะเหมือนตัวต้านทาน

โหลดประเภทนี้มีลักษณะและผลตอบสนองทางด้านกระแสและแรงดันใกล้เคียงกับตัวต้านทาน กล่าวคือคุณสมบัติของกระแสและแรงดันที่โหลดใช้ไปจะมีสัญญาณของกระแสและแรงดันที่มีเฟสของสัญญาณตรงกันโดยสามารถแสดงรูปของกระแสและแรงดันของโหลดชนิดนี้ได้ดังรูปที่ 2.2



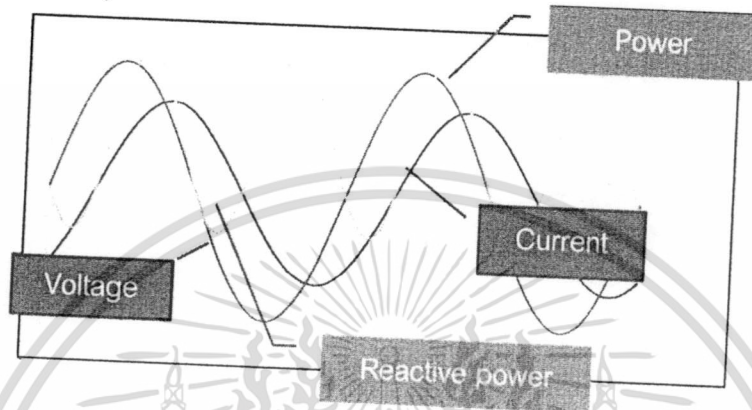
รูปที่ 2.2 ผลตอบสนองของกระแสและแรงดันในโหลดทางไฟฟ้าแบบตัวต้านทาน

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่ากระแสและแรงดันมีเฟสตรงกัน ทำให้การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในที่นี้สามารถใช้กฎของโอห์มในการคำนวณได้ปกติ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะประเภทนี้ ได้แก่ หลอดไฟไส้หม้อ เเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นเอกสารการคำนวณค่า ไม่ว่าจะเป็นกรณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุงข้าว เตารีด หัวแรง กระจกน้ำร้อนไฟฟ้า ซึ่งหากสังเกตได้ว่าโหลดประเภทนี้มักจะเป็นโหลดที่ให้พลังงานความร้อนเป็นส่วนใหญ่

2.3.2 โหลดที่มีลักษณะคล้ายตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำ

โหลดประเภทนี้มักจะเป็นโหลดที่มีตัวเหนี่ยวนำอยู่ในหรือมีลักษณะของตัวเก็บประจุ หากพิจารณาจากลักษณะของกราฟแรงดันและกระแสของโหลดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลตอบสนองของกระแสและแรงดันของโหลดแบบรีแอกทีฟ

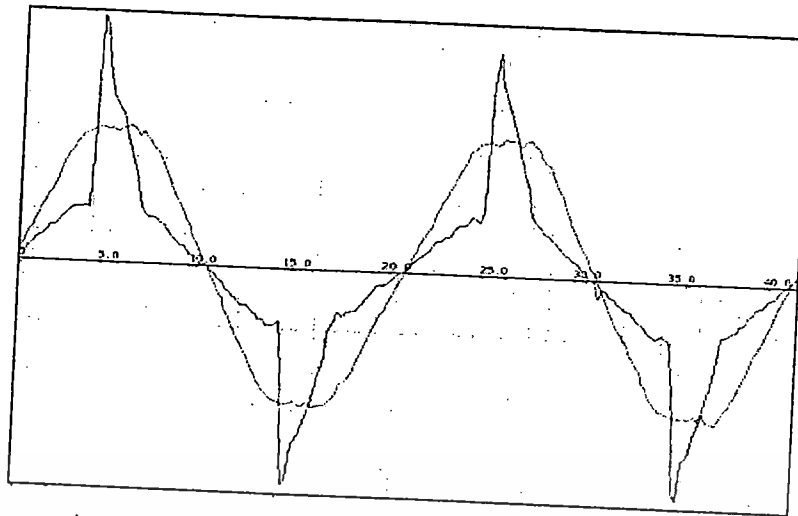
จะเห็นว่าเฟสแรงดันและเฟสของกระแสจะไม่ตรงกัน ทำให้ผลการคูณของแรงดันและกระแส นอกจากจะได้กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้จริงแล้วยังปรากฏส่วนของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ โหลดจ่ายออกมาด้วยโหลดประเภทนี้ที่พบเจอภายในบ้าน ได้แก่ เครื่องซักผ้า เครื่องปั่น เครื่องเป่าผม พัดลม ซึ่งมีลักษณะของตัวเหนี่ยวนำเนื่องจากมีมอเตอร์อยู่ภายใน หรือเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่มีลักษณะของตัวเก็บประจุ โหลดประเภทนี้มีลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งก็คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงมักจะไม่เท่ากัน ช่วงเริ่มใช้งานหรือช่วงที่โหลดกำลังสตาร์ทจะใช้พลังงานไฟฟ้าค่าหนึ่งเมื่อใช้ไประยะหนึ่งก็จะลดพลังงานที่ใช้ลงมาหรือเพิ่มขึ้น

2.3.3 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น

โหลดที่ไม่มีความเป็นเชิงเส้น (non-linear load) มักจะเป็นโหลดที่มีปัญหาเกี่ยวกับการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ คุณสมบัติของกระแสและแรงดันของโหลดไม่มีรูปร่างที่แน่นอนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังได้แสดงรูปคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของโหลดชนิดนี้ดังรูปที่ 2.4

โหลดประเภทนี้ลักษณะของรูปสัญญาณแรงดันและกระแสจะเพี้ยนไปจากรูปไซน์ปกติ บางครั้งกลายเป็นคลื่นสามเหลี่ยมเลยก็มีเนื่องจากโหลดประเภทนี้มีการปะปนของความถี่อื่น นอกเหนือจากความถี่ที่แหล่งจากไฟฟ้าปกติที่จ่ายให้กับโหลดที่ 50 Hz ซึ่งส่วนใหญ่โหลดชนิดนี้จะมาจากวงจรที่มีการสวิตซ์แรงดันที่ค่าความถี่สูงเช่น วงจรจ่ายไฟฟ้า (power supply) แบบสวิตซ์ซิ่งและมีโหลดอื่นที่ใช้หลักการสวิตซ์ความถี่สูงดังกล่าว เช่น คอมพิวเตอร์ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ โทรทัศน์ เตารีดแม่เหล็กไฟฟ้า ไมโครเวฟ มอนิเตอร์ทีวีแบบLCD อะแดปเตอร์ของที่ชาร์จโทรศัพท์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองแรงดันและกระแสในโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

อนึ่ง การแยกประเภทของโหลดออกเป็นสามแบบนี้เพื่อให้ชี้ลักษณะเด่นเฉพาะของโหลดชนิดนั้นเท่านั้น ในความเป็นจริงแล้วโหลดหนึ่งๆ อาจจะมีลักษณะเป็นทั้งโหลดแบบรีแอคทีฟและโหลดไม่เป็นเชิงเส้น Load ในคราวเดียวกัน หรือโหลดที่เป็นลักษณะความต้านทาน เช่น ฮีตเตอร์ (heater) หากมีการชดของขดลวดความร้อนมากไปผลตอบสนองก็อาจจะมีลักษณะเป็น L ได้เช่นกัน

## 2.4 อุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

ในการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้อาศัยคุณสมบัติความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมและค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้อุปกรณ์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้า (current sensor) เป็นตัววัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า (voltage sensor) เป็นตัววัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดโดยหลักการและคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้

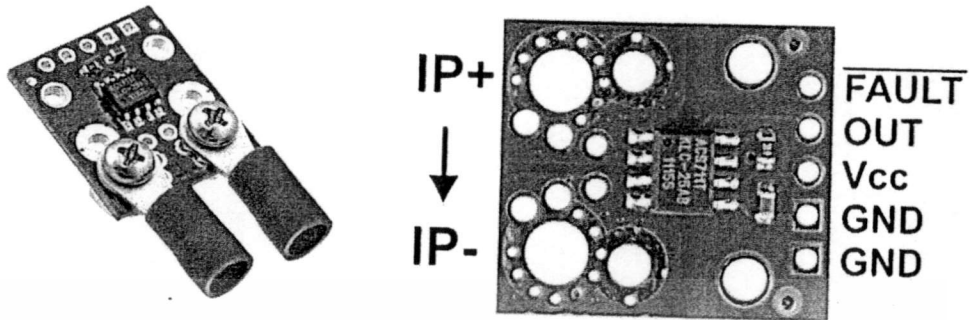
### 2.4.1 อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า

การตรวจวัดกระแสไฟฟ้านั้น ตัวตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจะต้องเข้าไปอนุกรมในวงจรไฟฟ้าที่จะต้องการตรวจวัดกระแสไฟฟ้านั้น ในขณะที่วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในการใช้งานหากโหลดมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้านั้นมากด้วย ซึ่งหากพิจารณาจุดนี้หากการออกแบบอุปกรณ์ไม่มีการออกแบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าที่ดีหรือเหมาะสมอาจจะทำให้เกิดอันตรายกับผู้ที่ใช้งานในแง่ของการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลมายังผู้ใช้สัมผัสได้ โดยในออกแบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้ามีปัจจัยในการเลือกดังนี้

- 1) การแยกจากกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาด (electric isolation) เพื่อแยกระบบกราวด์ของอุปกรณ์วัดกระแสออกจากระบบกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน
- 2) พิจารณาเรื่องขนาดของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า ในการออกแบบอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าในมุมมองของขนาดควรมีขนาดเล็กเนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องติดตั้งอยู่กับระบบเต้ารับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) พิจารณาเรื่องของราคาในการออกแบบอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าจะต้องมีราคาที่ไม่สูงมากและควรเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศ



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าเบอร์ ACS711

ดังนั้นจากปัจจัยดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบใช้หลักการของสนามแม่เหล็กเบอร์ ACS711 และ ACS714 ดังรูปที่ 2.5 [8]

ACS711 เป็นอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าซึ่งใช้หลักการวัดกระแสไฟฟ้าที่อาศัยความสัมพันธ์จากสนามไฟฟ้า [5] (hall effect) ที่เกิดขึ้นกับตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่ค้นพบโดย Dr. Edwin Hall ในปี ค.ศ. 1879 ที่ว่าเมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำที่วางอยู่บนสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันที่ขอบของตัวนำนั้นทั้งสองข้างเรียก Hall Voltage ซึ่งแรงดันจะแปรเปลี่ยนไปตามความหนาแน่นของประจุหรือกระแส นั้นเอง

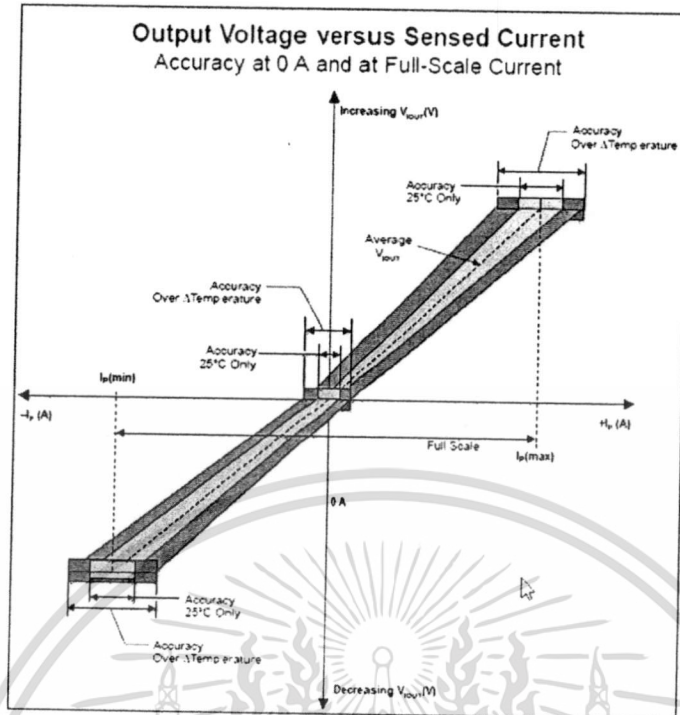
คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า ACS711 คือ สามารถใช้งานได้แบบ single supply และช่วงไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3.3 – 5.5 V และสามารถใช้ตรวจวัดได้ทั้งไฟกระแสสลับและไฟกระแสตรง ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะสัญญาณแรงดันที่เป็นสัดส่วน (proportional) กับกระแสที่ไหลผ่าน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า ACS711 ที่มีย่านการวัดกระแสสูงสุด 12.5 A ดังนั้นจึงทำให้มีความไวของการวัดกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 110 mV/A ตัวอย่างเช่น หากวัดกระแสสลับขนาด 1 A ก็จะได้แรงดัน 110 mV แต่ว่าแรงดันนั้นเอาต์พุตของอุปกรณ์วัดกระแสจะถูกยกระดับสัญญาณไฟตรง (dc offset) เท่ากับ VCC/2 ตัวอย่างเช่น หากไฟเลี้ยง 3.3 V และวัดกระแสสลับขนาด 1 A ก็จะได้แรงดันที่เป็นสัดส่วนตั้งแต่ 1.65 – 110 mV จนถึง 1.65 + 110mV เป็นต้น โดยคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์วัดกระแสได้แสดงดังตารางที่ 2.1 และคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิดังรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของ ACS711 ที่มีย่านการวัดกระแสสูงสุด 12.5 A

x12.5A PERFORMANCE CHARACTERISTICS for E TEMPERATURE RANGE $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{CC} = 3.3\text{ V}$ , unless otherwise specified						
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-12.5	-	12.5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$	-	110	-	mV/A
		Full scale of $I_P$ applied for 5 ms, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	110	-	mV/A
Noise <sup>2</sup>	$V_{NOISE}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , no external low pass filter on VIOUT	-	11	-	mV
		$I_P = 0\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	±5	-	mV
Electrical Offset Voltage	$V_{OE(TOP)HT}$	$I_P = 0\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$	-	±40	-	mV
		$I_P = 0\text{ A}$ , $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	±50	-	mV
Total Output Error <sup>3</sup>	$E_{TOT}$	$I_P = \pm 12.5\text{ A}$ , $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$	-	±5	-	%

<sup>1</sup>See Characteristic Performance Data for parameter distributions over temperature.  
<sup>2</sup>±3 sigma noise voltage  
<sup>3</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = \pm 12.5\text{ A}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

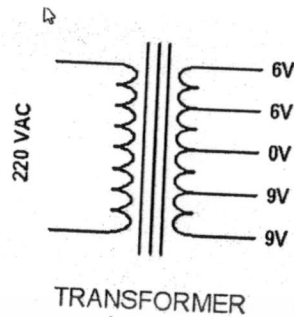
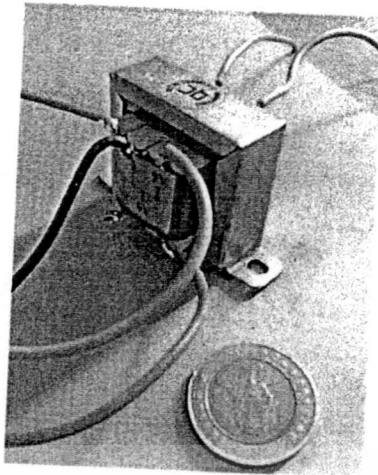


รูปที่ 2.6 ความเป็นเชิงเส้นต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิของ ACS711

#### 2.4.2 อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า

ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้านั้นตัวตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจะต้องต่อคร่อมสายไฟ (line) กับนิวทอล (neutral) ของระบบไฟฟ้า ดังนั้นในการวัดแรงดันไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน กล่าวคือแรงดันที่ทำการวัดมีขนาดแรงดันที่สูง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของการทำการวัดแรงดันจึงจำเป็นต้องเลือกใช้อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าที่มีการแยกกราวด์จากแรงดันที่ต้องการวัดจากกราวด์ของระบบบันทึกค่าการวัด โดยแนวทางการเลือกใช้หรือออกแบบอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าจึงมีคุณสมบัติเหมือนกับการเลือกใช้อุปกรณ์การตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดแรงดันแบบหม้อแปลงแรงดัน (voltage transformer) เนื่องจากมีราคาที่ถูก อีกทั้งมีการแยกวงจรวัดอย่างอิสระจากกัน โดยหม้อแปลงแรงดันที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้แสดงดังรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าในการวัดแรงดันไฟฟ้าจะใช้ขดลวดฝั่งขดลวดที่วัดแรงดัน 220 V เป็นจุดวัดแรงดันที่ต้องการวัด และใช้ขดลวดฝั่งแรงดัน 6 V และ 0 V เป็นแรงดันที่วัดได้ โดยจะเห็นได้ว่าเหตุผลที่เลือกใช้อุปกรณ์วัดแรงดันแบบหม้อแปลงไฟฟ้าเพราะมีการแยกวงจรที่อิสระจากกันระหว่างขดลวดที่ต้องการวัดกับวงจรที่จะนำไปวัดและบันทึกค่า โดยเมื่อได้แรงดันที่ต้องการวัดที่ระดับแรงดัน 6 V แล้วจะนำสัญญาณแรงดันที่ได้ผ่านวงจรปรับสัญญาณให้มีขนาดสัญญาณแรงดันที่ต้องการวัดที่ระดับแรงดัน 2.5 V และในส่วนขดลวดฝั่งแรงดัน 9 V สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นชุดจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ที่ทำการวัดได้โดยนำแรงดันดังกล่าวผ่านวงจรเรียงกระแสและวงจรปรับระดับแรงดัน



รูปที่ 2.7 หม้อแปลงไฟฟ้าที่เลือกใช้และวงจรสมมูลทางไฟฟ้า

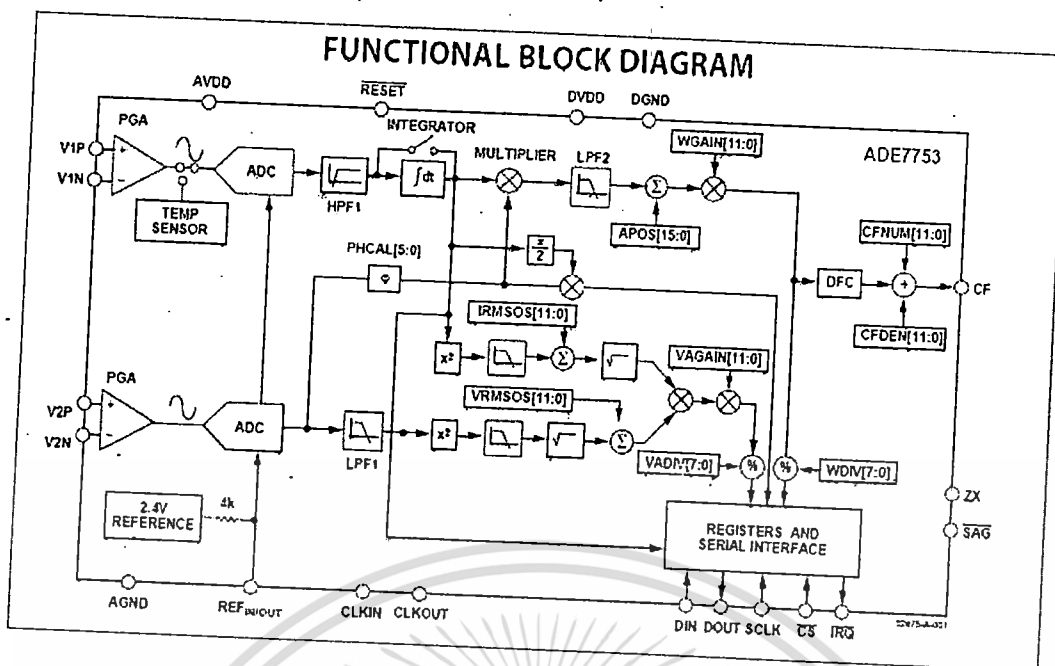
#### 2.4.3 ไอซีวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้ามีความจำเป็นและเป็นข้อมูลที่สำคัญมากในการบริหารจัดการการใช้พลังงาน ประกอบกับความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้มีผู้วิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ชิพไอซีสำเร็จรูปที่ทำหน้าที่วัดค่ากำลังไฟฟ้า โดยในปัจจุบันมีการนำอุปกรณ์ไอซีดังกล่าวออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ไอซีวัดพลังงานไฟฟ้าเบอร์ ADE7753 ของบริษัท Analog Device มาใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้า

ไอซีเบอร์ ADE7753 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล [9] ภายในมีวงจรแปลงค่าแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (analog to digital converter, ADC) สองชุดเป็นแบบ sigma-delta อันดับสอง (2<sup>nd</sup> order sigma-delta) ที่มีความละเอียด 16 บิต มีวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (voltage reference) อยู่ภายในการติดต่อสื่อสารในการส่งค่าข้อมูลที่วัดได้ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม SPI

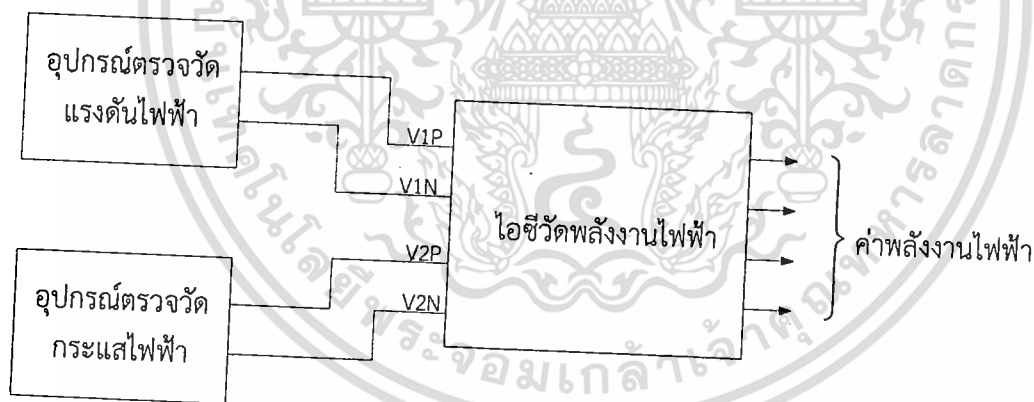
รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของไอซีเบอร์ ADE7753 ประกอบด้วยขา V1P และ V1N ทำหน้าที่รับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแส ในขณะที่ V2P และ V2N จะใช้ในการรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดัน จากนั้นจะผลต่างของแรงดันจะถูกสุ่มค่าแรงดันผ่านวงจร ADC และนำสัญญาณดิจิทัลที่ได้ผ่านวงจรกรองสัญญาณและนำข้อมูลดังกล่าวส่งไปยังภาคการคำนวณกำลังไฟฟ้าค่าที่ถูกคำนวณแล้วจะถูกเก็บไว้ในส่วนการเก็บข้อมูล (register) ภายในของตัวไอซีอย่างอัตโนมัติเป็นระยะๆ โดยค่าที่ไอซีเก็บบันทึกลงในส่วนการเก็บข้อมูลจะประกอบด้วย ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ค่ากระแสอาร์เอ็มเอส ค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟารีแอกทีฟ ซึ่งในการพัฒนาสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้ามาอ่านค่าเหล่านี้ผ่านทางวิธีการสื่อสารแบบอนุกรม SPI ได้โดยรายละเอียดเพิ่มเติมจากเอกสารของบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของไอซีเบอร์ ADE7753

ตั้งนั้นการสร้างอุปกรณ์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้สร้างจากการนำอุปกรณ์วัดค่ากระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ามาต่อร่วมกับไอซีวัดกำลังงานไฟฟ้าตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.9 โดยในส่วนของค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกจัดเก็บค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์และมีการจัดส่งเป็นเครือข่ายไร้สายต่อไป



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอ

### 2.5 การสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4

กลุ่มเทคโนโลยีเครือข่ายเฉพาะที่ระยะใกล้แบบไร้สายได้มีการกำหนดมาตรฐานในการติดต่อสื่อสารขึ้นมาหลากหลาย หนึ่งในนั้น ก็คือ เทคโนโลยีซิกบี (ZigBee) [1]-[3] ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารที่ถูกออกแบบขึ้นมาสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สายโดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานในการรับส่งข้อมูลแบบ IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงานโดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ มีขนาดเล็ก ใช้งานได้ง่าย และมีราคาที่ถูกการติดต่อสื่อสารในลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซนเซอร์ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการติดตั้ง เพราะไม่ต้องลากสายนำสัญญาณจำนวนมากไปยังห้องแสดงผล จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการติดตั้ง [10]

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 นี้ได้กำหนดขึ้นสำหรับการรับส่งข้อมูลเบื้องต้นให้กับวงจรของเครื่องรับส่งวิทยุในชั้นกายภาพ (physical layer) ตามโมเดลมาตรฐานของ โอเอสไอ โมเดล (OSI model, OSI 7 layer) และควบคุมการรับส่งข้อมูลในชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (data link layer) ใช้การผสมสัญญาณ (modulation) แบบ Offset Quadrature Phase Shift Keying (Offset-QPSK) และใช้การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ควบคุมการรับส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอลแบบ Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance (CSMA/CA)

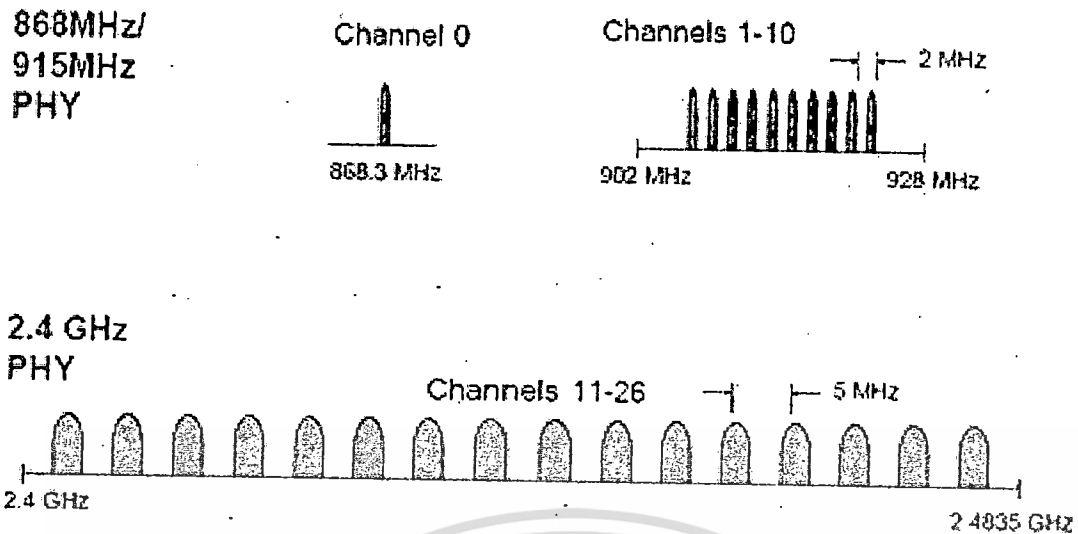
การเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายกำหนดโดยมาตรฐานซิกบีที่มีส่วนสำคัญสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายคือกลไกการประหยัดพลังงานซึ่งตัวอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับเซนเซอร์สามารถกำหนดระยะเวลาในการเข้าสู่การหลับหรือพักการทำงาน (sleep mode) โดยตัวอุปกรณ์จะทำหน้าที่ลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานการกำหนดการหลับนี้ทำได้โดยการร้องขอไปที่อุปกรณ์ในระบบของซิกบีเพื่อบอกระยะเวลาที่จะทำการหลับและเมื่อมีการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตัวอื่นมายังอุปกรณ์ที่หลับอยู่อุปกรณ์ในระบบของซิกบีก็จะทำการออกจากสถานะพักการทำงานและจะทำการเก็บข้อมูลไว้ให้ชั่วคราวและถามหาอุปกรณ์ตัวนั้นเป็นระยะเมื่ออุปกรณ์ตัวนั้นตื่นหรือพร้อมทำงานต่อจะได้รับ การถามหาอุปกรณ์ตัวนั้นจึงส่งการร้องขอข้อมูลที่ได้เก็บไว้ให้และจึงทำการรับส่งข้อมูลต่อไปจนได้รับข้อมูลที่ครบสมบูรณ์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เป็นระบบเครือข่ายที่มีความยืดหยุ่น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์พื้นฐานอื่นๆ ได้อย่างหลากหลาย

#### 2.5.1 ประเภทของการใช้งานช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

ชั้นกายภาพตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 จะมีย่านความถี่ที่ใช้งานอยู่สามย่านความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยย่านความถี่ทั้งสามมีคุณสมบัติดังนี้

1. ย่านความถี่ 868 MHz โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 20 kbps มีช่องสัญญาณสื่อสาร 1 ช่องสัญญาณ
2. ย่านความถี่ 915 MHz โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 40 kbps มีช่องสัญญาณสื่อสาร 10 ช่องสัญญาณโดยแต่ละช่องมีย่านความถี่ต่างกัน 2 MHz
3. ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 kbps มีช่องสัญญาณสื่อสาร 16 ช่องสัญญาณโดยแต่ละช่องมีย่านความถี่ต่างกัน 5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

### 2.5.2 อุปกรณ์ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานซิกบี

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานของซิกบีจะมีอยู่สามแบบ ซึ่งมีหน้าที่และกลไกในการทำงานที่แตกต่างกันไปตามชนิด หรือรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย โดยสามารถทำการกำหนดรูปแบบของตัวอุปกรณ์ที่จะใช้ได้ด้วยการโปรแกรมให้กับตัวอุปกรณ์ [8]-[11]

1. อุปกรณ์แม่ข่าย (coordinator) เป็นเหมือนกับแกนหลักของระบบเครือข่ายทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการสร้างการเชื่อมต่อให้กับระบบเครือข่าย
2. อุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง (router) ทำหน้าที่เป็นตัวที่คอยถ่ายโอน หรือส่งต่อข้อมูล และทำการค้นหาเส้นทางที่จะใช้เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไปยังโหนดอื่นๆ
3. อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเซนเซอร์ (end device) ทำหน้าที่เป็นโหนดสุดท้ายของเครือข่าย มักจะเอาไว้สำหรับใช้เชื่อมต่อเซนเซอร์ต่างๆ และสามารถเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานได้

### 2.5.3 รูปแบบการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานซิกบี

มาตรฐานซิกบีได้ถูกกำหนดให้สามารถเชื่อมต่อเป็นระบบเครือข่ายได้โดยสามารถเชื่อมต่อได้สูงสุด 65,535 โหนด และยังสามารถนำมาเชื่อมต่อเป็นระบบเครือข่ายแบบต่างๆได้ตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งานได้ดังนี้

1. ระบบเครือข่ายแบบจุดต่อจุด (peer-to-peer) เป็นการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแบบจุดต่อจุดสองโหนดลักษณะการเชื่อมต่อของโครงสร้างแบบนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อไร้สายระหว่างสองจุด
2. ระบบเครือข่ายแบบดาว (star) จะมีลักษณะการเชื่อมต่อของโครงสร้างคล้าย กับดาวกระจายดังแสดงในรูปที่ 2.11(ก) กล่าวคือ มีอุปกรณ์แม่ข่าย เป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อแบบโดยมีอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเซนเซอร์ หรืออุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง เป็นอุปกรณ์ลูกข่าย ระบบเครือข่ายแบบนี้มีประโยชน์คือเวลาที่เครื่องแม่ข่าย ขาดการติดต่อจากโหนดใดโหนดหนึ่งในระบบหรือเสียก็จะมีผลต่อการทำงานของระบบโดยรวมแต่อย่างใดและการต่อแบบสตาร์นี้เป็นแบบที่นิยมมากในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบเครือข่ายแบบลำดับชั้น (cluster tree) ดังรูปที่ 2.11(ข) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับต้นไม้ กล่าวคือ จะประกอบไปด้วยระบบเครือข่ายแบบดาวหลายๆกลุ่มรวมกัน หรือต้องการเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารให้ไกลขึ้นเพื่อครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน หรือขยายขนาดของระบบเครือข่าย

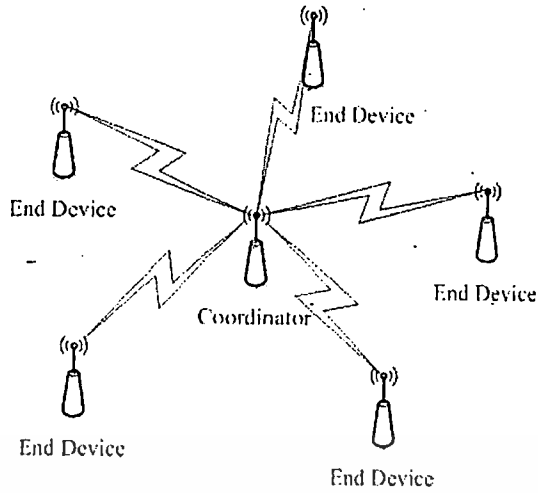
4. ระบบเครือข่ายแบบเมช (mesh) ดังรูปที่ 2.11(ค) ถือเป็นเครือข่ายที่จัดได้ว่ามีความน่าเชื่อถือที่สุดเครือข่ายหนึ่งโดยที่แต่ละโหนดจะเป็นทั้งอุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง และอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเซนเซอร์ กล่าวคือ ถ้าโหนดใดโหนดหนึ่งไม่ทำงาน โหนดที่เหลือก็ยังคงสามารถสื่อสารกับ โหนดอื่นได้โดยตรงหรือผ่านทางโหนดตัวกลางอื่นๆ หนึ่งตัวหรือมากกว่า เพื่อส่งข้อมูลไปหาโหนดปลายทางที่ต้องการเชื่อมต่อ

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการติดต่อสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ เช่น ซิกบี ไวไฟ บลูทูธและ อินฟราเรด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดต่อสื่อสารไร้สายตามมาตรฐานซิกบี มีคุณสมบัติเด่นที่เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สาย เพราะมีอายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานกว่าการติดต่อสื่อสารไร้สายแบบอื่นที่อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 250 Kbps/s สามารถเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารได้ มี ยานความถี่ให้เลือกใช้งานหลากหลายย่านความถี่ อีกทั้งยังสามารถนำมาเชื่อมต่อเป็นระบบเครือข่ายได้

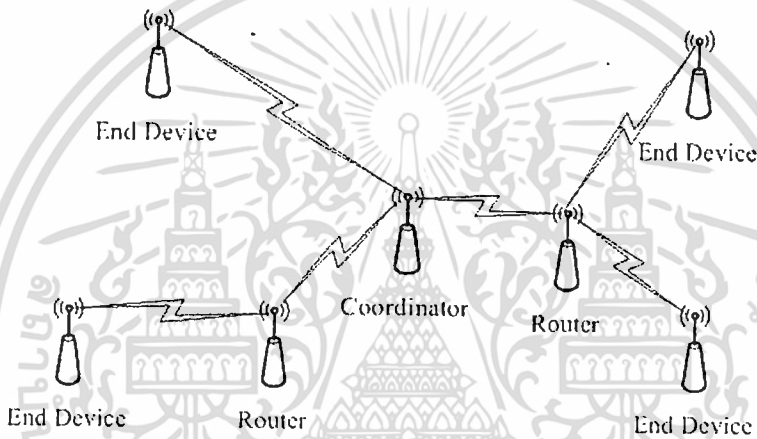
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการติดต่อสื่อสารไร้สายรูปแบบต่างๆ

คุณสมบัติ	รูปแบบการติดต่อสื่อสารไร้สาย			
	ZigBee	Wi-Fi	bluetooth	IR wireless
data rate	20,40,250 Kbps/s	11 & 54 Mbits/sec	1 Mbits/s	20-40 Kbits/s
range	10-100 meters	50-100 meters	10 meters	< 10 meters (line of sight)
networking topology	Ad-hoc, peer to peer, star, mesh	ad-hoc, peer to peer, star	very small network, ad-hoc	peer to peer
operating frequency	868 MHz, 915MHz, 2.4 GHz	2.4 and 5 GHz	2.4 GHz	800-900 nm
battery life	2-3 year	1-3 hour	4-8 hour	1 year
typical applications	sensor network, home automation, industrial control	wireless LAN, broadband internet access	phone, PDA, laptop, handsets	remote control, PDA, phone, laptop links, PC

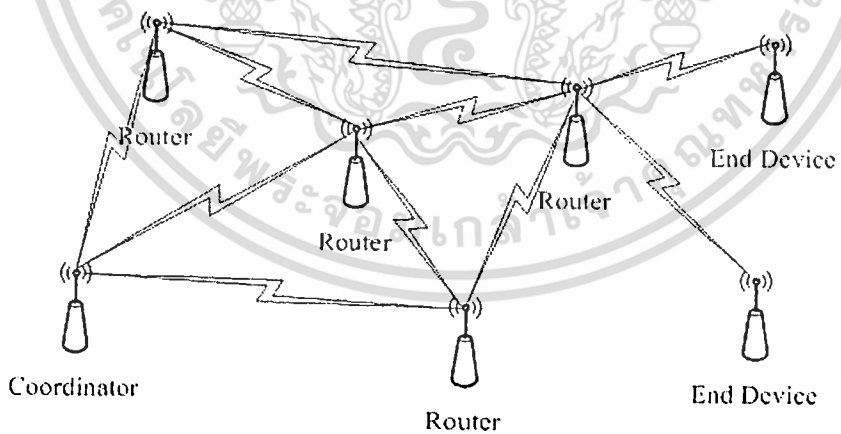
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.11 ระบบเครือข่ายแบบต่างๆ

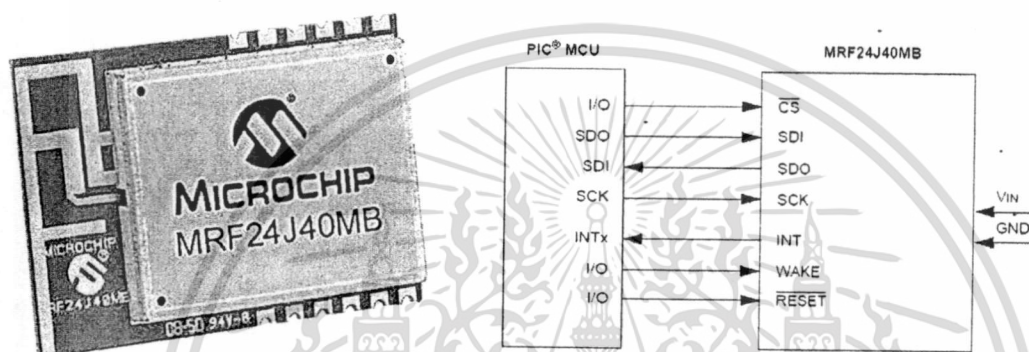
(ก) แบบดาว (ข) แบบลำดับชั้น (ค) แบบเมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.4 โมดูลติดต่อสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4

ในส่วนของโมดูลติดต่อสื่อสารไร้สายที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 นั้นในปัจจุบันมีหลายตัวเลือกให้พิจารณา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักเกณฑ์พิจารณาเลือกใช้โมดูลติดต่อสื่อสารไร้สายคือการพิจารณาด้านราคาและคุณภาพรวมถึงความนิยมใช้งานของคนส่วนใหญ่ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ในงานวิจัยนี้ได้เลือกโมดูล MRF24J40MB ดังรูปที่ 2.12 เนื่องจากโมดูลดังกล่าวสามารถใช้งานการพัฒนาในระดับรีจิสเตอร์ได้ อีกทั้งในโมดูลเองยังมีภาคขยายสัญญาณ เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกใช้โดยมีอัตราขยาย +20 dBm ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศภายนอก

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าโมดูลสื่อสารไร้สายที่งานวิจัยนี้เลือกใช้มีการเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม SPI ดังนั้นในขบวนการเชื่อมต่อกับโมดูลสามารถพัฒนาการเชื่อมต่อและติดต่อสื่อสารได้ง่าย



รูปที่ 2.12 โมดูลสื่อสารไร้สาย MRF24J40MB

### 2.6 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอข้อมูลรวมถึงเทคนิคขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบหนึ่งเฟส โดยในส่วนแรกจะได้กล่าวถึงการเลือกใช้หรือการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นอินพุตของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในส่วนการวัดพลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ ADE7753 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คำนวณและประมวลผลสัญญาณการวัดกำลังงานไฟฟ้าและในการเชื่อมต่อบริเวณเครือข่ายไร้สายได้ใช้โมดูลการติดต่อสื่อสารมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยเลือกใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบดาวในการการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ระบบมิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยใช้เต้ารับอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น

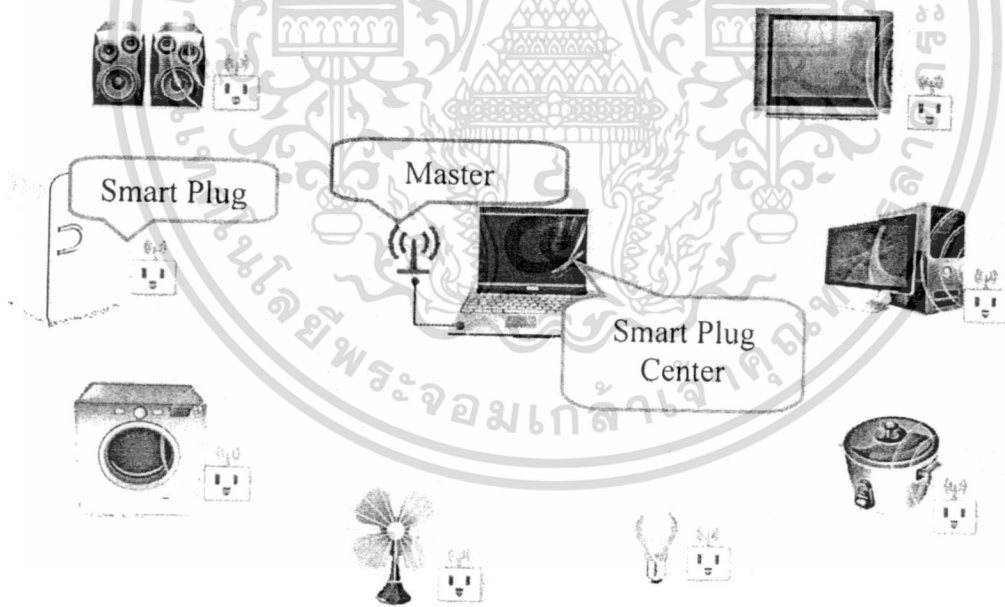
### 3.1 การออกแบบระบบที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานของมิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้เต้ารับอัจฉริยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยเต้ารับทำหน้าที่วัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไป จากนั้นระบบจะนำข้อมูลค่ากำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ส่งไปยังส่วนประมวลผลกลางเพื่อทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลไว้แสดงผลการใช้กำลังงานแก่ผู้ใช้งาน ดังนั้นจากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของระบบที่นำเสนอประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญสามส่วน คือ

1. ส่วนวัดกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งถูกนำไปติดตั้งกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้ไป และทำการส่งข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าไปยังส่วนประมวลผลกลางเพื่อทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

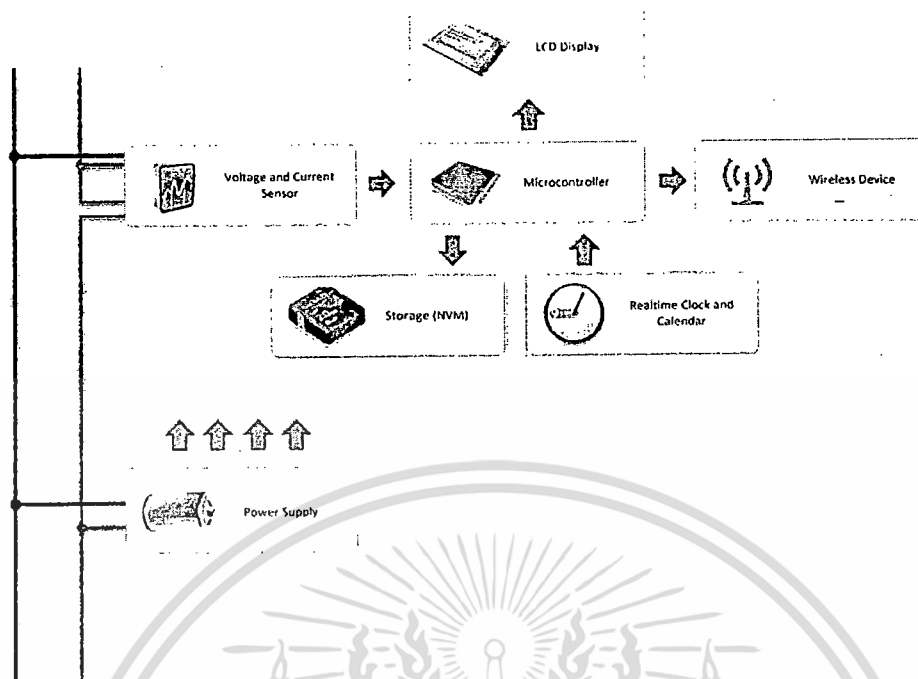
2. ส่วนรับส่งข้อมูล ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB เนื่องจากคอมพิวเตอร์ไม่มีอุปกรณ์ติดต่อเครือข่ายไร้สายในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จึงจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ส่วนนี้เพื่อทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์เครือข่าย

3. ซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเก็บข้อมูลและทำรายงานผลการใช้กำลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของมิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย  
โดยใช้เต้ารับอัจฉริยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



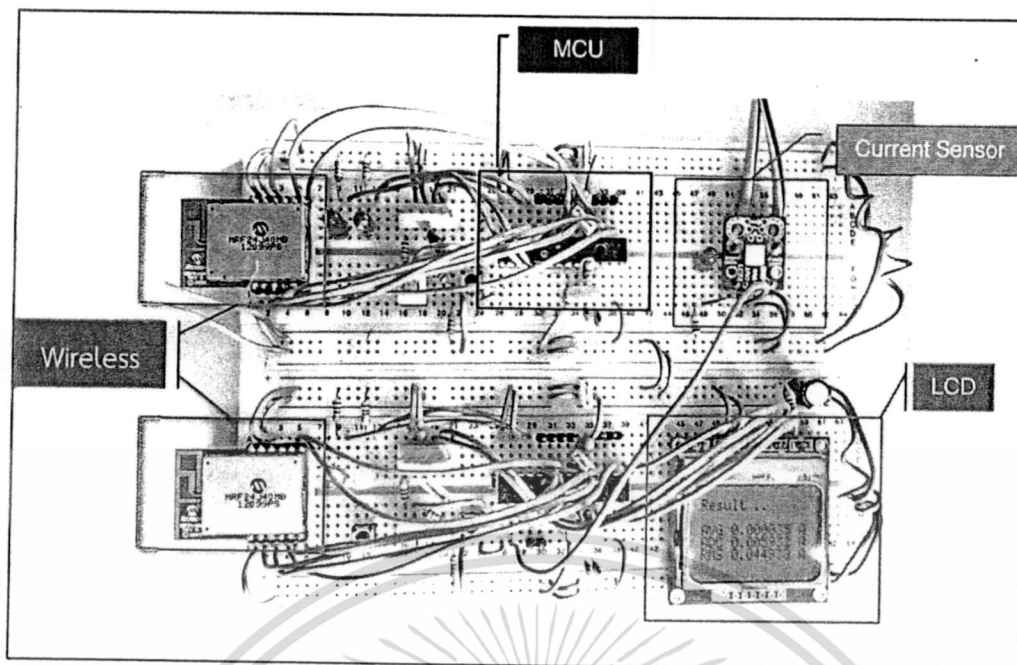
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า

หากพิจารณาส่วนวัดกำลังงานไฟฟ้าในส่วนแรก เมื่อนำหลักการที่ได้นำเสนอมาหลักการดังกล่าวมาสังเคราะห์จะได้โครงสร้างของอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.2

จากโครงสร้างของอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าในรูปที่ 3.2 โครงการวิจัยนี้ได้ทำการต่อวงจรทดสอบกับแผงทดลองเนกประสงค์โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC24FJ48GA002 มาเป็นส่วนจัดการข้อมูลของกำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้และทำการจัดส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังส่วนประมวลผลกลาง วงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบด้วย

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เบอร์ PIC24FJ48GA002
- ส่วนแสดงผล โดยในที่นี้ได้เลือกใช้ Graphic LCD Nokia 5110
- โมดูลการสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เบอร์ MRF24J40MB
- อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าเบอร์ ACS711
- อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าขนาด  $220V_{rms}/6V_{rms}$

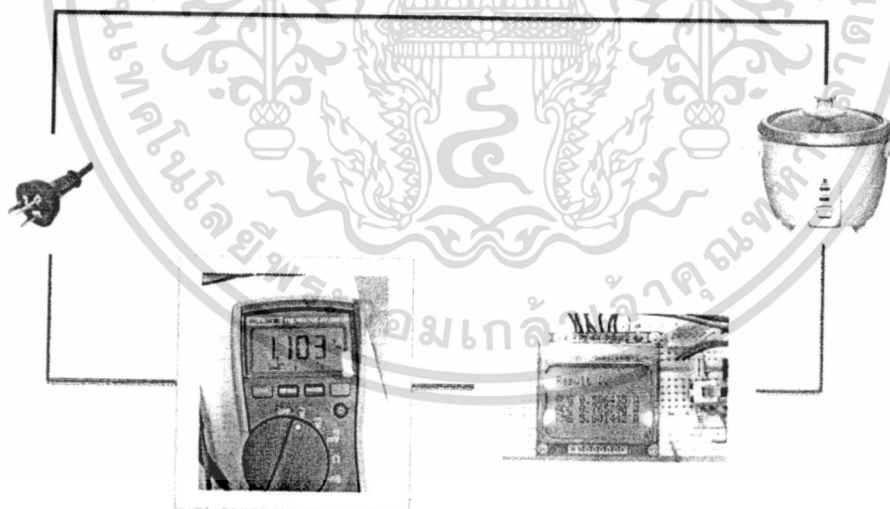
สำหรับการทดสอบอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าได้จำลองการวัดและทดสอบกับโหลดทางไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันสองลักษณะ คือ โหลดแบบตัวต้านทาน และโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยในการวัดกำลังงานไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าเทียบกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยผลการวัดและทดสอบสามารถสรุปและแยกตามลักษณะของโหลดดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรต้นแบบอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

### 3.1.1 โหลดแบบตัวต้านทาน

กรณีได้ทำการทดสอบกับโหลดแบบตัวต้านทาน คือ หลอดไฟฟ้าแบบหลอดไฟไส้ขนาด 25 W, 40 W, 60 W, 100 W หม้อหุงข้าวขนาด 300 W และหัวแร้ง 30 W ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

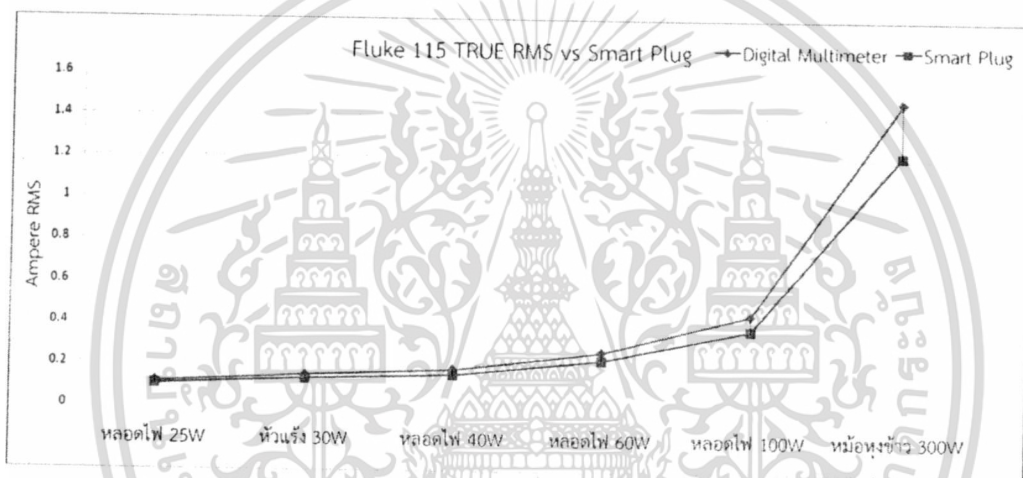


รูปที่ 3.4 การทดสอบกับโหลดแบบตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบกับโหลดแบบตัวต้านทาน

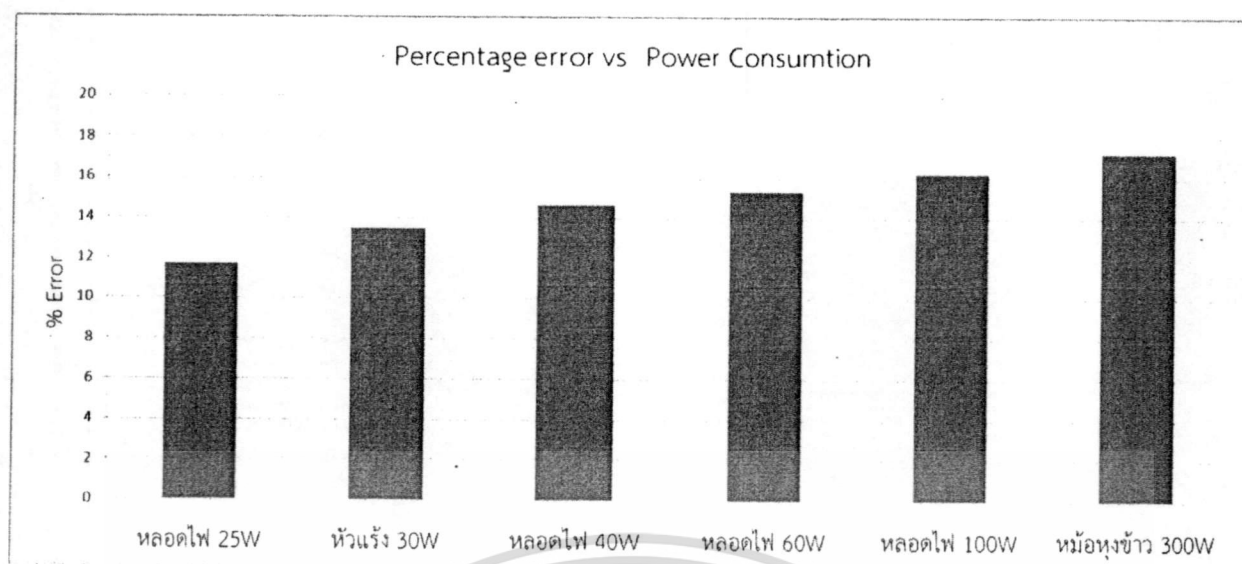
Load	Digital Multimeter	Smart Plug	% Error
โหลดไฟ 25W	0.111	0.098	11.7117117
หัวแรง 30W	0.148	0.128	13.5135135
โหลดไฟ 40W	0.177	0.151	14.6892655
โหลดไฟ 60W	0.267	0.226	15.3558052
โหลดไฟ 100W	0.449	0.376	16.2583519
หม้อหุงข้าว 300W	1.475	1.22	17.2881356



รูปที่ 3.5 กราฟผลการทดสอบเปรียบเทียบผลการวัดกระแสของอุปกรณ์วัดกำลังงาน กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของโหลดแบบตัวต้านทาน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่โหลดที่มีการใช้กระแสที่สูงจะเกิดผลของค่าความผิดพลาดของการวัดกระแสที่ผิดพลาดสูงขึ้นตาม โดยในส่วนนี้เป็นผลเนื่องจากค่าความผิดพลาดของการต่ออุปกรณ์การทดลองแบบแยกส่วนกัน โดยเมื่อทำการคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าในการทดสอบที่โหลดแตกต่างกันสามารถแสดงกราฟของกำลังไฟฟ้าที่โหลดต่างๆ ได้ดังรูปที่ 3.6 จากผลการทดสอบจะพบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 17% และต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 11.15%

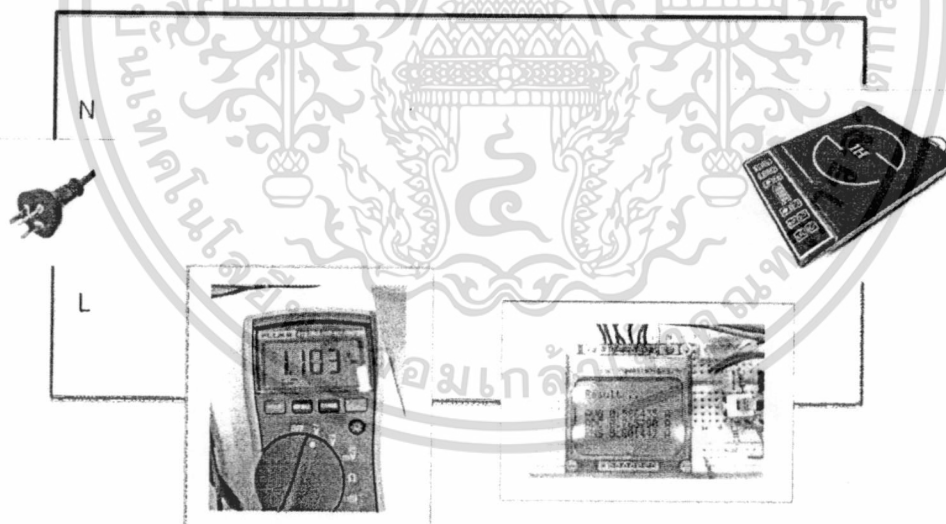
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดเทียบกับกำลังไฟฟ้าของหลอดแบบตัวด้านทาน

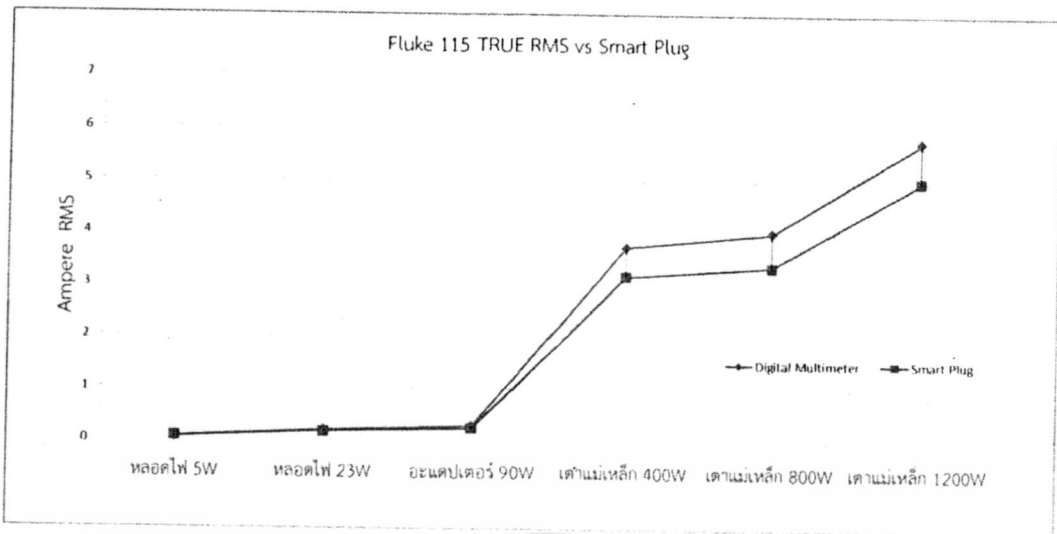
### 3.1.2 โหลดไม่เป็นเชิงเส้น

ในที่นี้การทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ใช้หลอดไฟฟ้าแบบประหยัดไฟ หรือหลอดตะเกียบ อุปกรณ์แปลงแรงดัน และเตาแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการทดลองได้ต่ออุปกรณ์ที่ใช้วัดกำลังงานกับโหลดทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.8 และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.7 การทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



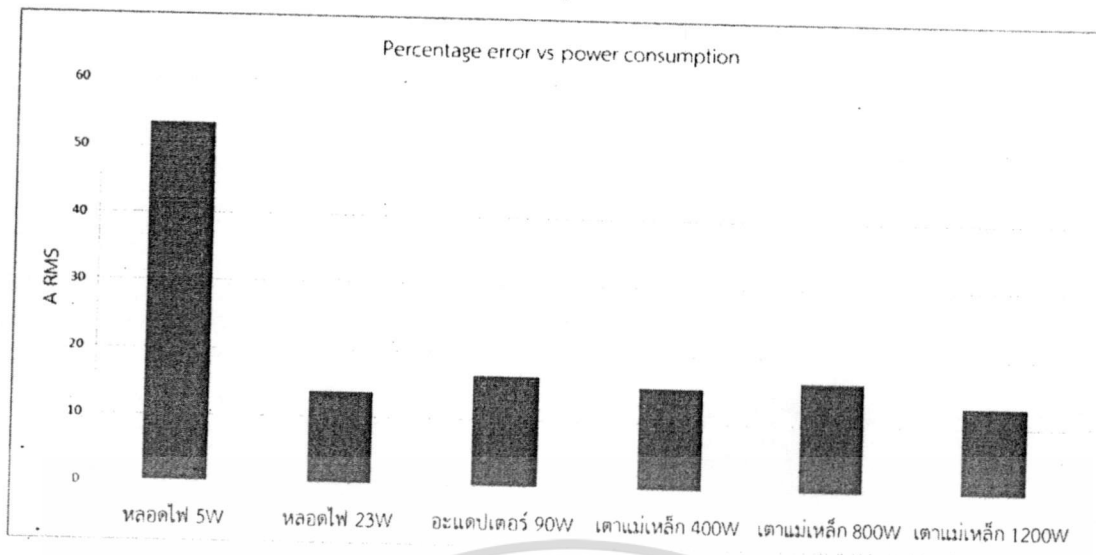
รูปที่ 3.8 กราฟผลการทดสอบเปรียบเทียบผลการวัดกระแสของอุปกรณ์วัดกำลังงาน กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

Load	Digital Multimeter	Smart Plug	% Error
หลอดไฟ 5W	0.043	0.066	53.48837209
หลอดไฟ 23W	0.188	0.1622	13.72340426
อะแดปเตอร์ 90W	0.284	0.237	16.54929577
เต้าแม่เหล็ก 400W	3.734	3.168	15.1580075
เต้าแม่เหล็ก 800W	4.019	3.361	16.3722319
เต้าแม่เหล็ก 1200W	5.758	5.01	12.99062174

ผลการทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นในตารางที่ 3.2 เมื่อนำมาเขียนแสดงในรูปกราฟแท่งจะได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ประมาณ 53.48 % และมีค่าต่ำสุดประมาณ 12.99 % ทั้งนี้ค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังไฟฟ้าที่มีค่าสูงเกิดขึ้นในกรณีที่โหลดมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำ ดังนั้นผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าขอบเขตในการวัดปริมาณไฟฟ้าต่ำสุดควรจะมีค่าไม่น้อยกว่า 20 W และผลของค่าความผิดพลาดในการวัดกระแสมีแนวโน้มเดียวกันกับการทดลองในโหลดแบบตัวต้านทาน ซึ่งค่าผิดพลาดดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการต่ออุปกรณ์การทดลองแบบแยกส่วนกัน

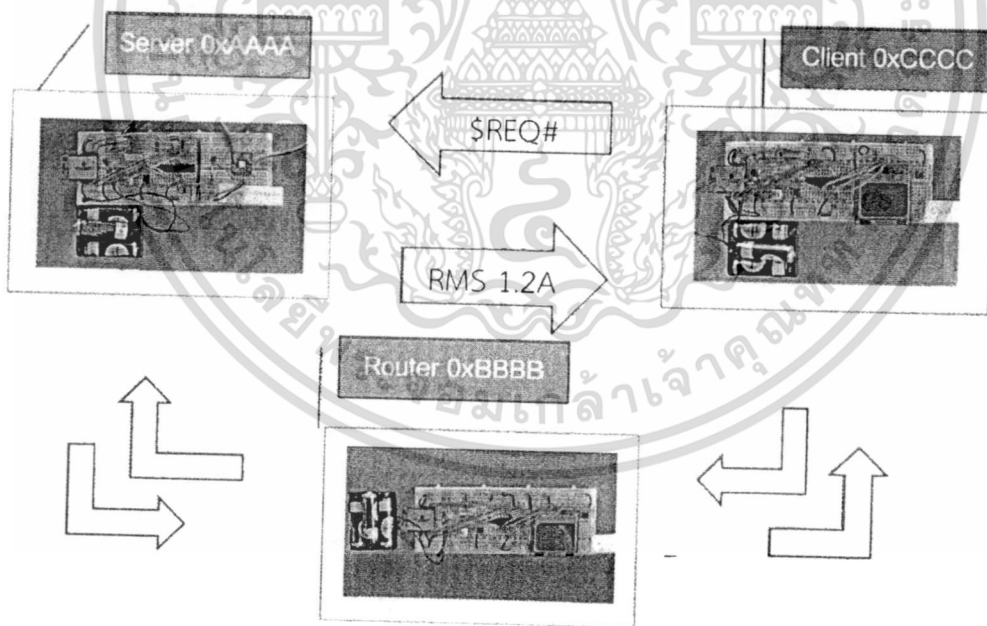
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดเทียบกับกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

### 3.2 การออกแบบและสร้างระบบสื่อสารไร้สาย

การออกแบบระบบโครงข่ายสื่อสารไร้สายในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC24FJ48GA002 เพื่อทำหน้าที่จัดการข้อมูลของกำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้และปรับรูปแบบข้อมูลเพื่อส่งให้โมดูลการสื่อสารไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเลือกใช้โมดูลสื่อสารไร้สายเบอร์ MRF24J40MB โครงสร้างของระบบสื่อสารไร้สายแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



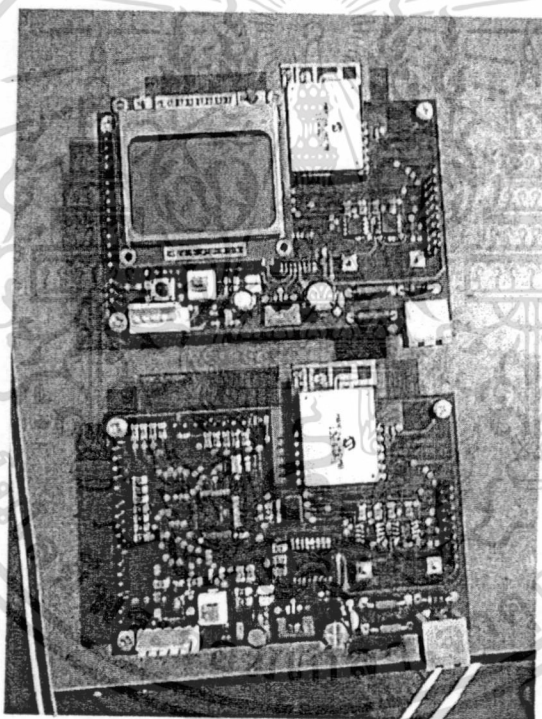
รูปที่ 3.10 โครงสร้างของระบบสื่อสารไร้สาย

จากรูปที่ 3.10 โครงสร้างของระบบโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลกลางที่คอยรวบรวมข้อมูลของการวัดกำลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ (client) และส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าที่จะต้องคอยส่งข้อมูลในกับส่วนประมวลผลกลาง (server) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการทดสอบได้กำหนดให้ server มีแอดเดรส (address) อยู่ที่ตำแหน่ง 0xAAAA และ client มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 0xCCCC โดยขั้นตอนการทดสอบได้ให้ส่วน client ส่งคำสั่งเพื่อขอรับข้อมูลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก server ในงานวิจัยนี้ได้ใช้รูปแบบของคำสั่งในการขออ่านข้อมูลคือ \$REQ# จากนั้นเมื่อ server ได้รับข้อมูลการร้องขอการขออ่านข้อมูลก็จะส่งข้อมูลของการวัดกระแสที่อ่านค่าได้ในขณะนั้นกลับไปยัง client ในการทดลองการทำงานของระบบสื่อสารไร้สายดังรูปที่ 3.10 ได้ทดสอบที่ระยะทางในการส่ง 40-50 เมตร ที่กำลังส่งรวม +20 dBm หากต้องการเพิ่มระยะทางในการส่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มส่วนทวนสัญญาณ (router) ดังรูปที่ 3.10 เพิ่มเติม

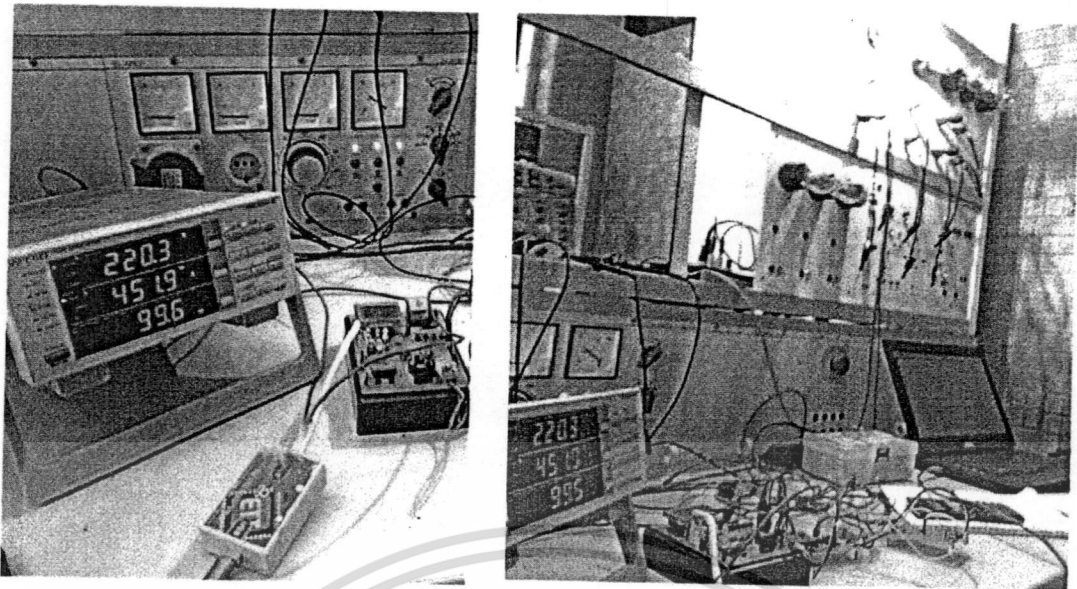
### 3.3 วงจรต้นแบบ

ในหัวข้อนี้ได้นำโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้ามาสร้างเป็นระบบมิเตอร์ตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 และได้นำระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบไปทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องในการใช้งานโดยนำไปวัดเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังงานไฟฟ้ามาตรฐานรุ่น YOKOKAWA WT 110 ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 ระบบมิเตอร์ตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การทดสอบระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

จากรูปที่ 3.12 การทดสอบระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังงานไฟฟ้ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการได้เลือกใช้โหลดทางไฟฟ้าที่เป็นหลอดไส้ขนาด 100 W จำนวน 9 หลอด โดยได้ทำการทดลองในสภาวะที่ไม่ได้ต่อโหลดหรือกำลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0 W แล้วเพิ่มการต่อโหลดที่เป็นหลอดไฟฟ้าทีละ 1 หลอดจนครบ 9 หลอด หรือนั่นคือทำการทดสอบกับโหลดทางไฟฟ้าที่ 0 W จนถึง 900 W โดยเพิ่มโหลดทางไฟฟ้าทีละ 100 W ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังงานไฟฟ้าของระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบมีค่าสูงสุดประมาณ 1 %

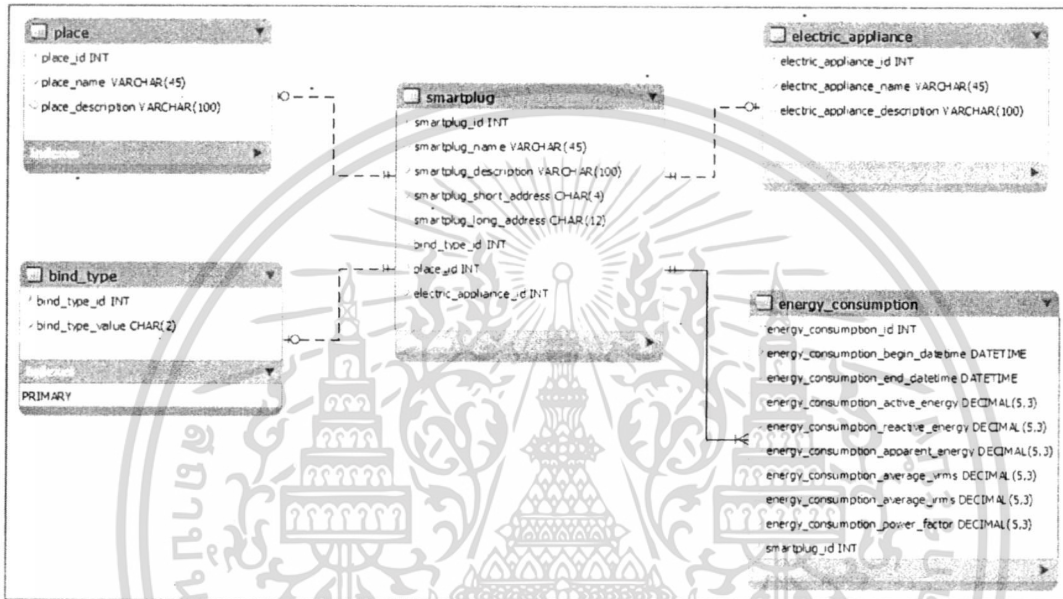
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

Load	Irms %Err	Vrms %Err	Power %Err
100W	-1.3636	0.0147	-1.0808
200W	-0.4494	-0.0459	-0.2650
300W	0.2239	-0.0478	-0.2007
400W	0.0565	-0.0846	-0.1747
500W	0.2691	-0.0394	0.1630
600W	0.2247	0.0588	0.0943
700W	0.2244	0.0162	0.1182
800W	0.3922	-0.0032	0.3401
900W	0.7960	-0.0135	0.7461

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบโปรแกรมในส่วนประมวลผลกลาง

โปรแกรมในส่วนประมวลผลส่วนกลาง คือ โปรแกรมควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลและทำรายงานซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาด้วย C# และเลือกใช้ระบบฐานข้อมูล (database) เป็นแบบ MySQL เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายด้านลิขสิทธิ์ โดยที่แผนผังการจัดการข้อมูลในการออกแบบฐานข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 ส่วนรูปที่ 3.14 ได้แสดงคลาสในการออกแบบโปรแกรมในส่วนประมวลผลกลาง โดยได้แสดงรายละเอียดการออกแบบฟังก์ชันการทำงานต่างเพื่อรองรับการทำงานจากผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.13 แผนผังการจัดการข้อมูลในการออกแบบฐานข้อมูล

รูปที่ 3.15 แสดงหน้าจอหลักในส่วนการทำงานหลักซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. Smart Network Explorer เป็นส่วนที่แสดงภาพรวมของเครือข่ายเราว่ามีอุปกรณ์อะไรบ้าง
2. Properties เป็นส่วนแสดงคุณสมบัติที่ผูกติดอยู่กับ Smart Plug เช่น Address , MAC ค่ากำลังงานในขณะนั้น จากตัวอย่างคือ ค่า Vrms และ Irms
3. ส่วนแสดงผลการทำงานย่อย ตอนนี้อยู่ในโหมด Monitor ก็จะแสดงกราฟของ Smart Plug ที่ออนไลน์อยู่ในขณะนั้น
4. เลือกโหมด ได้แก่ โหมด Report สำหรับการทำรายงาน และหน้าจอ Console และการตั้งค่าหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการและแนวทางในการออกแบบและสร้างระบบมิเตอร์ตรวจวัดและแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยใช้ตัวรับอัจฉริยะ โดยได้ทำการสร้างวงจรต้นแบบและทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นได้ว่าระบบมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริง อีกทั้งมีค่าความผิดพลาดในการวัดกำลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 บทสรุป

### 4.1 บทสรุป

โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายที่สามารถตรวจวัด แสดงผล และบันทึกค่ากำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวรับอัจฉริยะ ตามมาตรฐานการสื่อสาร IEEE 802.15.4 โดยใช้โปรโตคอลซิกบีต้อเป็นเครือข่ายแบบดาว ผลการทดสอบการทำงานแสดงให้เห็นว่าระบบที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตรงตามทีออกแบบไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความแม่นยำและถูกต้องในการอ่านค่า และทดสอบกับโหลดทางไฟฟ้าโดยทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ส่วนความสามารถทางด้านเครือข่ายไร้สายนั้น รองรับการใช้งานแบบดาว ซึ่งมีการประหยัดพลังงานสูงและเครือข่ายไม่ซับซ้อน โดยระยะการติดต่อระหว่างศูนย์กลางกับตัวรับแต่ละตัวนั้นครอบคลุมระยะทางสูงสุดในการรับส่งข้อมูลประมาณ 60 เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้งานภายในบ้านพักอาศัย นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารข้อมูลให้มีระยะทางในการติดต่อสื่อสารข้อมูล เพิ่มขึ้นได้สูงสุดประมาณ 2 km โดยการเปลี่ยนเสาอากาศเพื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ หรือเพิ่มโหนดทวนสัญญาณ ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานในส่วนประมวลผลกลางนั้นสามารถจัดเก็บข้อมูลลงในระบบแม่ข่ายฐานข้อมูล (Data Base Server) และทำรายงานได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Zigbee Alliance, “ZigBee Technology”, March 2011.
- [2] ZigBee Tutorial, <http://www.ifn.et.tudresden.de/~marandin/ZigBee/ZigBeeTutorial.html>
- [3] Jennic Ltd, “IEEE802.15.4/ZigBee Module Family”, [www.jennic.com](http://www.jennic.com), 2007.
- [4] สุชาติ คุ่มมะณี, ธวัชชัย ชมศิริ. เรียนรู้เครือข่ายและอุปกรณ์ Cisco ด้วยโปรแกรม Simulation. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โปรวิชั่น. 2550.
- [5] สุวัฒน์ ปุณณชัยยะ, ต้น ตันท์สุทธีวงศ์, สุพจน์ ปุณณชัยยะ. เปิดโลก TCP/IP และโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โปรวิชั่น. 2547.
- [6] thaigoodviewInc, “ประเภทของระบบเครือข่ายไร้สาย”. [Online]. Available : <http://www.thaigoodview.com/library/contest2551/tech04/20/wireless/n05.html>.
- [7] Dell Support. Dell Inc, “เครือข่ายเฉพาะที่ เครือข่ายไร้สาย เครือข่ายบรอดแบนด์เคลื่อนที่” [Online]. Available: <http://support.dell.com/support/edocs/systems/xlob/dtqth/networks.htm>
- [8] Allegro, “ACS711, Hall Effect Linear Current Sensor Data Sheet”, 2008.
- [9] Analog Devices, “ADE7753: Single-Phase Multifunction Metering IC with di/dt Sensor interface Data Sheet”, 2010.
- [10] ธงชัย พจน์เสถียร “ระบบเครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE802.15.4 สำหรับแสดงผลและบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและค่าความอิมิตัวของออกซิเจนในเลือด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2556
- [11] Microchip, “PIC24FJ48GA002: 16-bit Microcontroller, 48 KB Flash Memory, 8 KB RAM Data Sheet”, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้