การพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4

นายกัมปนาท สุวรรนาวุธ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC METER READING SYSTEM VIA 2.4 GHZ RADIO FREQUENCY BAND COMPLIED WITH ZIGBEE/IEEE 802.15.4 STANDARD

MR. KAMPANARD SUWANNAWUT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4
โดย	นาย กัมปนาท สุวรรนาวุธ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัศมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงฤดี วรสุชีพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. วิษุวัฒน์ ปลอดประดิษฐ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กัมปนาท สุวรรนาวุธ : การพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4. (DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC METER READING SYSTEM VIA 2.4 GHZ RADIO FREQUENCY BAND COMPLIED WITH ZIGBEE/IEEE 802.15.4 STANDARD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. วันเฉลิม โปรา, 101 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้า โดยใช้มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ความละเอียด 12 บิต อัตราการชักสัญญาณ 2 ksps ส่วนที่สองคือการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในระบบเครือข่าย โดยส่งข้อมูลที่วัดได้ผ่านคลื่นสัญญาณวิทยุตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 ในย่านความถี่ 2.4 GHz ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB ทั้งสองส่วนนี้อาศัยชิป dsPIC33FJ256GP506 ในการประมวลผลพร้อมกับอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างมิเตอร์กับตัวอ่าน ซึ่งหากระยะห่างระหว่างมิเตอร์กับตัวอ่านเกินรัศมีการสื่อสารกันโดยตรง ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังมิเตอร์ตัวอื่น ๆ เพื่อส่งไปที่ตัวอ่านอีกทอดหนึ่ง วิธีการส่งสัญญาณนี้ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง และค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จะถูกส่งไปแสดงผลบนโปรแกรมประสานกราฟิกผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) และบันทึกลงบนฐานข้อมูลที่ใช้โปรแกรม MySQL บนคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต กัมปนาท สุวรรนาวุธ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2552

5070537621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: ENERGY METER / AUTOMATIC METER READING / ZIGBEE

KAMPANARD SUWANNAWUT : DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC METER READING SYSTEM VIA 2.4 GHZ RADIO FREQUENCY BAND COMPLIED WITH ZIGBEE/IEEE 802.15.4 STANDARD. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WANCHALERM PORA, Ph.D., 101 pp.

This thesis presents the development of an automatic meter reading system via 2.4 GHz radio frequency band complied with zigbee/IEEE 802.15.4 standard. The developed system composes of two main elements: the energy measurement and data processing and transmission unit. The energy meter employs a microcontroller with a 12-bit ADC module to convert its voltage and current signal at the rate of 2 ksps. For the data and transmission, the processed data is transmitted via MRF24J40MB module, which complied with the 2.4 GHz zigbee/IEEE 802.15.4 standard. These two elements use dsPIC33FJ256GP506 microcontroller board to process and read the data of electrical energy retrieved from a meter and the reader. If the locations of these two devices are beyond the direct communication capacity, the data will be passing on to other meters in order to reach the reader. In doing this, the operational system would be enhanced to cover a wider area. Finally, the measured data will be transmitted to the central-processor, will be presented via the graphic user interface (GUI), and be stored in the MySQL database for further investigation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Electrical Engineering Student's Signature Kampanard Suwannawut

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

Academic Year: 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.วันเฉลิม โปรา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ด้านงานวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆ ทั้งทางด้านวิชาการด้านสังคมและอื่นๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณไชยวัฒน์ ศรีวงศ์เจริญ, คุณวิชิต พิบูลวิทยากุล, คุณสราวุฒิ เดชจรัสโยธิน รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและวงจรรวมทุกคน สำหรับกำลังใจ ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินต่อไปได้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา อันเป็นที่เคารพรัก ที่อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3. ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4. วิธีการดำเนินการวิจัย 2

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6. ลำดับขั้นตอนในงานวิจัย 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4

2.1. มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส แบบดิจิทัล 4

2.2. ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ 5

2.2.1. ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ 7

2.2.2. ระบบอ่านค่าอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุตามโพรโทคอล Zigbee 9

2.2.3. โพรโทคอลที่ใช้ติดต่อกันระหว่างตัวเก็บข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ 16

หน้า

2.3. ฐานข้อมูล 17
2.3.1. ระบบจัดการฐานข้อมูล 18
2.3.2. การทำให้เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) 20
บทที่ 3 รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์ 22
3.1. รายละเอียดโครงสร้างของมิเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบอ่านแบบอัตโนมัติ 23
3.2. รายละเอียดโครงสร้างของตัวประสานกลาง 24
3.3. หน่วยประมวลและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ 25
3.3.1. ชิปประมวลผล 25
3.3.2. มอดูล Zigbee 28
3.3.3. อีอีพร็อม 29
3.3.4. วงจรสร้างแรงดันออฟเซต 30
3.3.5. วงจรปรับขนาดสัญญาณ (Signal Condition Circuit) 30
3.3.6. วงจรตรวจสอบไฟดับ 31
3.3.7. ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ 32
3.4. ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น 33
บทที่ 4 รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์ 37
4.1. โปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ 37
4.1.1. การทำงานของโปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ 38
4.1.2. การตั้งค่าเริ่มต้นและการทำงานของหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล 39

หน้า

4.1.3. โปรแกรมคำนวณค่าทางไฟฟ้า....41
4.1.4. โปรแกรมการติดต่อกับอีอีพร็อม....43
4.1.5. โปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟดับ....46
4.1.6. โปรแกรมสื่อสารในชั้นประยุกต์....47
4.2. โปรแกรมควบคุมตัวประสาน....51
4.2.1. โครงสร้างของโปรแกรมควบคุมตัวประสาน....51
4.2.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับโพรโทคอล Zigbee....52
4.2.3. โปรแกรมควบคุมการติดต่อผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม....55
4.3. โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์....56
4.3.1. การทำงานของโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้....57
4.3.2. ฐานข้อมูล....63
บทที่ 5 ผลการทดลองและการทดสอบ....65
5.1. การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์....65
5.2. การทดสอบการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ....74
5.2.1. การทดสอบระยะปฏิบัติการ....74
5.2.2. การทดสอบสิ่งกีดขวาง....75
5.2.3. การทดสอบอ่านค่าจากมิเตอร์....77
5.3. การทดสอบการแจ้งเตือน....83
5.4. การทดสอบการทำงานในส่วนต่อประสานการฟิกกับผู้ใช้....83
5.4.1. การติดต่อรับข้อมูลกับเครือข่าย....83
5.4.2. ใบแจ้งค่าไฟฟ้า....84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

5.4.3. การจัดการข้อมูลพื้นฐานผู้ใช้ 84
5.5. การทดสอบระบบฐานข้อมูล 86
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 89
6.1. ข้อสรุป 89
6.2. ข้อเสนอแนะ 90
รายการอ้างอิง 91
ภาคผนวก 93
ภาคผนวก ก รูปวงจรซึ่งออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ 94
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5-1 ค่า LQI เฉลี่ยและค่าร้อยละของ LQI เมื่อเทียบกับค่าสูงสุด เมื่อวัดที่ระยะต่าง ๆ....75

ตารางที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคที่ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง.....76

ตารางที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LQI เฉลี่ยและอุปสรรค ที่ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง.....77

ตารางที่ 5-4 ระยะสูงสุดระหว่างตัวเครื่องที่มีแต่ละช่วง ห่างเท่า ๆ กัน โดยทำการทดสอบด้วยรูปแบบโครงข่ายต่าง ๆ.....78

ตารางที่ 5-5 ตารางตัวย่อแทนอุปกรณ์ในการสื่อสาร.....79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ.....5

รูปที่ 2-2 การใช้ระบบอ่านมิเตอร์ โดยใช้เครือข่าย GPRS.....6

รูปที่ 2-3 ระบบอ่านมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบเคลื่อนที่.....7

รูปที่ 2-4 ระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบอยู่กับที่.....8

รูปที่ 2-5 ระบบอ่านมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบอยู่กับ ที่มีการส่งค่ามิเตอร์ต่อ ๆ กันไปได้.....9

รูปที่ 2-6 ชุดโพรโทคอล Zigbee มีย่านการทำงาน 3 ย่านความถี่.....10

รูปที่ 2-7 Star Network, การติดต่อของ End Device ต้องติดต่อผ่าน Coordinator เท่านั้น 11

รูปที่ 2-8 Cluster Tree Network, Rounter ช่วยเพิ่มระยะทางการเชื่อมต่อระหว่าง End Device กับCoordinator.....12

รูปที่ 2-9 Mesh Network, End Device End Device สามารถติดต่อกันได้เอง Coordinator มีหน้าที่ติดต่อกับเครือข่ายข้างเคียง 13

รูปที่ 2-10 โครงสร้างของชุดโพรโทคอล Zigbee ซึ่งกำหนดโดย Zigbee Alliance, IEEE 802.15.4, และจากผู้ใช้งาน.....14

รูปที่ 2-11 ระดับย่อย Application Support Sub-Layer ดูแลจัดการข้อมูลภายในชั้น Application layer.....15

รูปที่ 2-12 ตัวอย่างกระบวนการอ่านข้อมูลระหว่างเครือข่ายกับคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996.....17

รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูล 19

รูปที่ 3-1 แผนภาพการใช้งานมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าและระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ 22

รูปที่ 3-2 โครงสร้างภายในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า.....24

หน้า

รูปที่ 3-3 โครงสร้างภายในตัวประสานกลาง (Coordinator) 24
รูปที่ 3-4 โครงสร้างภายในของชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 26
รูปที่ 3-5 การเชื่อมต่อระหว่างชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (a) และตัวประสานกลาง (Coordinator) (b) กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ.....28
รูปที่ 3-6 โครงสร้างภายในของมอดูล Zigbee และการเชื่อมต่อระหว่างมอดูล Zigbee และชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506.....29
รูปที่ 3-7 การเชื่อมต่อระหว่างมอดูล Zigbee และอีอีพร็อม 29
รูปที่ 3-8 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงเบอร์ LM336 Z-2.5 และ LM385 Z-1.2 30
รูปที่ 3-9 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับวัดแรงดันในระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย.....30
รูปที่ 3-10 วงจรวัดกระแสของระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย.....31
รูปที่ 3-11 วงจรตรวจสอบไฟดับ.....32
รูปที่ 3-12 จอแอลซีดี 16X4 32
รูปที่ 3-13 หม้อแปลงกระแสกระแสพิกัด 10 แอมป์.....33
รูปที่ 3-14 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า.....33
รูปที่ 3-15 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (a) - (c) และตัวประสานกลาง (d), (e).....36
รูปที่ 4-1 โครงสร้างโปรแกรมบนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ.....37
รูปที่ 4-2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า ที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ.....39
รูปที่ 4-3 แผนผังการตั้งค่าเริ่มต้นและการทำงานของหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล 40
รูปที่ 4-4 แผนผังการการคำนวณค่าทางไฟฟ้า.....41
รูปที่ 4-5 แผนผังโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้า.....42

หน้า

รูปที่ 4-6 แผนผังโปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้า 43

รูปที่ 4-7 แผนผังการแบ่งพื้นที่อีอีพร็อมและรูปแบบข้อมูลในการจัดเก็บ 44

รูปที่ 4-8 แผนผังของโปรแกรมการบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าลงอีอีพร็อม 46

รูปที่ 4-9 แผนผังของโปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟดับ 47

รูปที่ 4-10 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในชั้นประยุกต์.....48

รูปที่ 4-11 แผนผัง ASM คุมลำดับการทำงานของโพรโทคอลบนชั้นประยุกต์บนมิเตอร์.....50

รูปที่ 4-12 โครงสร้างโปรแกรมควบคุมตัวประสาน (Coordinator).....52

รูปที่ 4-13 แผนผัง ASM การคุมลำดับการทำงานของโพรโทคอล บนชั้นประยุกต์บน
ตัวประสาน (Coordinator) 53

รูปที่ 4-14 แผนผังแสดงตัวอย่างกระบวนการควบคุมการส่งข้อมูลด้วยโพรโทคอล Zigbee 54

รูปที่ 4-15 แผนผังแสดงตัวอย่างกระบวนการส่งข้อมูลซ้ำเมื่อปลายทางยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล 55

รูปที่ 4-16 แผนผังการติดต่อผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) 56

รูปที่ 4-17 โครงสร้างซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์ 57

รูปที่ 4-18 หน้าต่างรายการเลือกหลัก (Main Menu).....58

รูปที่ 4-19 หน้าต่างติดต่อกับระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ผ่านทางช่องทางข้อมูลอนุกรม
(Serial Port).....59

รูปที่ 4-20 หน้าต่างเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์และหน้าต่างแก้ไขข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ 60

รูปที่ 4-21 หน้าต่างลบข้อมูลเจ้าของมิเตอร์.....61

รูปที่ 4-22 หน้าต่างแสดงผลข้อมูล 61

รูปที่ 4-23 หน้าต่างคิดค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้มิเตอร์.....62

รูปที่ 4-24 แผนผังแบบจำลองอี-อาร์ของระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ 63

หน้า

รูปที่ 5-1 เครื่องจ่ายโหลดพลังงานไฟฟ้าเสมือน CALSOURCE 200 65
รูปที่ 5-2 มิเตอร์อ้างอิง PRS1.3 66
รูปที่ 5-3 มิเตอร์ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้น 66
รูปที่ 5-4 ระบบทดสอบมิเตอร์ 67
รูปที่ 5-5 กราฟการสุ่มตัวอย่างแรงดัน และกระแสเข้ามาภายในมิเตอร์ด้วยอัตราเร็ว 2 ksps 68
รูปที่ 5-6 ค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น 68
รูปที่ 5-7 หน้าจอแสดงผลการวัดกำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์อ้างอิง 69
รูปที่ 5-8 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง = 1.0 69
รูปที่ 5-9 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง =0.94 นำหน้า 70
รูปที่ 5-10 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง =0.94 ล้าหลัง 70
รูปที่ 5-11 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง = 0.5 นำหน้า 71
รูปที่ 5-12 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง = 0.5 ล้าหลัง 71
รูปที่ 5-13 เปรียบเทียบความแม่นยำมิเตอร์ที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ 72
รูปที่ 5-14 ลักษณะการชักตัวอย่างสัญญาณเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการชักสัญญาณ 73
รูปที่ 5-15 เปรียบเทียบความแม่นยำมิเตอร์ที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนรูปแบบของการชักสัญญาณ 73
รูปที่ 5-16 อุปกรณ์แม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator และ มอดูล Zigbee สำหรับติดต่อสื่อสารที่ติดตั้งอยู่บนมิเตอร์ 74
รูปที่ 5-17 การทดสอบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ 78
รูปที่ 5-18 กราฟิกในส่วนติดต่อรับข้อมูลจากมิเตอร์ภายในเครือข่าย 83
รูปที่ 5-19 กราฟิกในส่วนใบแจ้งค่าไฟฟ้า 84

หน้า

รูปที่ 5-20 กราฟิกในส่วนการเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์ 85

รูปที่ 5-21 กราฟิกในส่วนการแก้ไขข้อมูลผู้ใช้มิเตอร์ในส่วนค้นหา 85

รูปที่ 5-22 กราฟิกในส่วนการแก้ไขผู้ใช้มิเตอร์ในส่วนแก้ไข 86

รูปที่ 5-23 กราฟิกในส่วนการลบข้อมูลผู้ใช้มิเตอร์.....86

รูปที่ 5-24 ตารางข้อมูลผู้ใช้บริการ.....87

รูปที่ 5-25 ตารางแสดงความเป็นเจ้าของมิเตอร์และที่ติดตั้งมิเตอร์.....87

รูปที่ 5-26 ตารางค่าพลังงาน 87

รูปที่ 5-27 ตารางเวลาเปิดใช้งานมิเตอร์ครั้งแรก 88

รูปที่ 5-28 ตารางเวลาไฟฟ้ากลับมาใช้ได้อีกครั้งหลังไฟดับ.....88

รูปที่ 5-29 ตารางเวลาเมื่ออีอีพร็อมที่ใช้เก็บการใช้ไฟฟ้าทุก 15 นาที เต็ม 88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

การอ่านค่าไฟฟ้าหรือค่าน้ำจากมิเตอร์ตามบ้าน นอกจากอาศัยเจ้าหน้าที่จดบันทึกค่าที่อ่านได้จากตัวมิเตอร์โดยตรงแล้ว ในปัจจุบันอาจใช้ระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading: AMR) ซึ่งเป็นวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดความสะดวกและมีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มมากขึ้น โดยตัวกลางของการสื่อสารอาจใช้ คลื่นความถี่วิทยุ, แสงอินฟราเรด, โมเด็มผ่านโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน, โมเด็มผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่, สัญญาณดาวเทียม หรือสายส่งกำลังก็ได้

ตัวกลางในการสื่อสารในแต่ละแบบนั้นมีข้อเสียต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น ระบบการอ่านค่ามิเตอร์โดยอัตโนมัติ แบบที่ใช้โมเด็มจะต้องเสียค่าโทรศัพท์, ค่าดูแลคู่สาย และมีปัญหาระดับกราวด์ หากใช้แบบลำแสงอินฟราเรด ระยะทำการจะใกล้และต้องเห็นตัวมิเตอร์ หากใช้แบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายขณะติดต่อและโมเด็มมีราคาค่อนข้างสูง หรือหากใช้สายส่งกำลังก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในสายส่ง อีกทั้งไม่สามารถอ่านค่าพลังงานจากมิเตอร์ขณะไฟฟ้าดับได้ การใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นตัวกลางไม่มีข้อเสียดังที่กล่าวมาข้างต้น

การอ่านมิเตอร์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุมีอยู่ด้วยกันสองแบบคือ แบบที่หนึ่งเป็นแบบที่ตัวอ่านอยู่กับที่ จะอ่านมิเตอร์ได้ในพื้นที่จำกัด ทำให้ต้องใช้ตัวกลางแบบอื่นเพื่อรวบรวมข้อมูลที่อ่านได้ไปยังศูนย์กลางการเก็บข้อมูล และแบบที่สองเป็นแบบตัวอ่านพกพา ทำให้ได้พื้นที่กว้างขึ้น ซึ่งต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการเดินทางไป และช่วยดำเนินการอ่านเล็กน้อย

ปัจจุบันมีโพรโทคอล Zigbee [1] ที่ใช้อยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 [2] ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐาน IEEE802.15 ที่ไว้ใช้สำหรับ WPAN (Wireless Personal Area Network) เป็นมาตรฐานสำหรับการส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในย่าน ISM (Industrial Scientific and Medical Bands), อัตราการส่งข้อมูลต่ำ, ประหยัดพลังงาน และราคาไม่สูงมาก ซึ่งเห็นว่า Zigbee เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางในระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ ซึ่งไม่ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก และปริมาณข้อมูลที่รับส่งมีไม่มากด้วย

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนามิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบเฟสเดียว
2. พัฒนาเครือข่ายการสื่อสาร ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 สำหรับการสื่อสารระหว่างมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้ากับคอมพิวเตอร์ โดยผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz
3. พัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้จัดเก็บค่าที่อ่านได้ และนำค่าเหล่านั้นไปคำนวณค่าไฟฟ้า หรือแสดงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าต่อไป

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

ระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ออกแบบระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านทางคลื่นวิทยุตามมาตรฐาน Zigbee ที่สามารถส่งค่าที่อ่านจากมิเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนกลางได้
2. ระบบการอ่านมิเตอร์ที่ออกแบบดัดแปลงจากมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 [3] มีพิกัดกระแส 10 A และ พิกัดแรงดัน 220 Vrms
3. สร้างเครือข่ายต้นแบบ Zigbee ที่ประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์, ตัวประสาน (Coordinator) [1] และมิเตอร์ 3 ตัว
4. มิเตอร์แต่ละตัวสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย พิกัดกระแส 10 A และแรงดัน 220 V และทำหน้าที่เป็น Router [1] เพื่อส่งข้อมูลไปยังตัวประสานโดยใช้โพรโทคอล Zigbee ได้
5. สร้างตัวประสานสำหรับติดต่อกับมิเตอร์ในเครือข่าย โดยใช้โพรโทคอล Zigbee และส่งค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์
6. ระยะการส่งข้อมูลสูงสุดระหว่างมิเตอร์กับมิเตอร์เป็น 50 เมตร
7. ระยะการส่งข้อมูลสูงสุดระหว่างมิเตอร์กับตัวประสานเป็น 50 เมตร
8. มีซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับอ่านข้อมูลจากตัวประสาน (Coordinator), จัดทำระบบฐานข้อมูล, แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าของมิเตอร์แต่ละตัวในระบบ

1.4. วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติจะมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษารูปแบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติแบบต่าง ๆ
2. ศึกษาโพรโทคอลสำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านพลังงานไฟฟ้าและมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน ANSI C12.18 – 1996
3. ศึกษาโพรโทคอล Zigbee
4. ศึกษาเครื่องมือสำหรับรับส่งค่าโดยใช้คลื่นวิทยุ
5. ออกแบบและสร้างมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบเฟสเดียว และระบบการอ่านค่ามิเตอร์โดยอัตโนมัติ
6. เขียนโปรแกรมวัดพลังงานไฟฟ้าและระบบอ่านค่ามิเตอร์โดยอัตโนมัติลงบนชิปประมวลและโปรแกรมประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บค่ามิเตอร์ลงบนฐานข้อมูล
7. รวบรวมผลการทดลอง, สรุปผล และ เขียนวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้ในการออกแบบสร้างมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบเฟสเดียว
2. ความรู้การสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4
3. เพิ่มทักษะในการเขียนโปรแกรมภาษาซี, การจัดการโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ
4. สามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ
5. ความรู้ในการออกแบบฐานข้อมูลสำหรับเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า
6. ได้ต้นแบบระบบการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติจากมิเตอร์แบบใช้คลื่นวิทยุ Zigbee

1.6. ลำดับขั้นตอนในงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยบทที่ 2 จะกล่าวถึง ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 บทที่ 3 และบทที่ 4 จะนำเสนอ ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ บทที่ 5 จะกล่าวถึงการทดลองและการทดสอบใช้งานระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น และในบทที่ 6 จะกล่าวถึงข้อสรุปและข้อเสนอแนะของการวิจัยพัฒนาระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 1 เฟส แบบดิจิทัล

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่เป็นแบบดิจิทัล [4] ต้องอาศัยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ในการชักสัญญาณแรงดัน v(t) และกระแส i(t) ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกแบบเวลาต่อเนื่อง (Contunuous) มาได้เป็นแรงดัน V_n และกระแส I_n ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ด้วยความถี่ชักสัญญาณ (Sampling Frequency) fs หรือทุกคาบเวลาชักสัญญาณ (Sampling Period) T_s

เมื่อสมมติให้ที่เวลา t=0 วินาที และที่ n=0 และให้ V_0 และ I_0 เป็นค่าที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อแรงดันและกระแสที่วัดเข้ามามีค่าเป็น 0 โวลต์ และ 0 แอมป์ ตามลำดับ และ V_1, V_2 และ V_3 เป็นค่าที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ตำแหน่งเวลา T_s, $2T_s$ และ $3T_s$ ตามลำดับ จะได้ ดังสมการ(2.1) และ (2.2)

$$v(nT_s) \approx a_v[V_n - V_0] = u_n \qquad \text{โวลต์} \qquad (2.1)$$

$$i(nT_s) \approx a_i[I_n - I_0] = i_n \qquad \text{แอมป์} \qquad (2.2)$$

หากสมมติให้วงจรแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีค่าความเป็นเชิงเส้นที่สมบูรณ์ และเมื่อให้ค่าแรงดันที่รู้ค่า $v(nT_s)$ และอ่านค่าที่ได้จากวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลได้ V_n ก็จะหาค่า a_v ที่ทำให้ $v(nT_s) \approx u_n$ ได้ และในทำนองเดียวกันก็จะได้ค่า a_i ที่ทำให้ $i(nT_s) \approx i_n$ ได้

จากทฤษฎีพลังงานไฟฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบเวลาต่อเนื่อง ดังสมการ (2.3) และ (2.4)

$$E(T_1) = \int_0^{T_1} i(t)v(t)dt \qquad \text{วัตต์} \qquad (2.3)$$

$$P(T_1) = \frac{1}{T_1}\int_0^{T_1} i(t)v(t)dt \qquad \text{กิโลวัตต์-ชั่วโมง} \qquad (2.4)$$

พลังงานไฟฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ดังสมการ(2.5) และ (2.6)

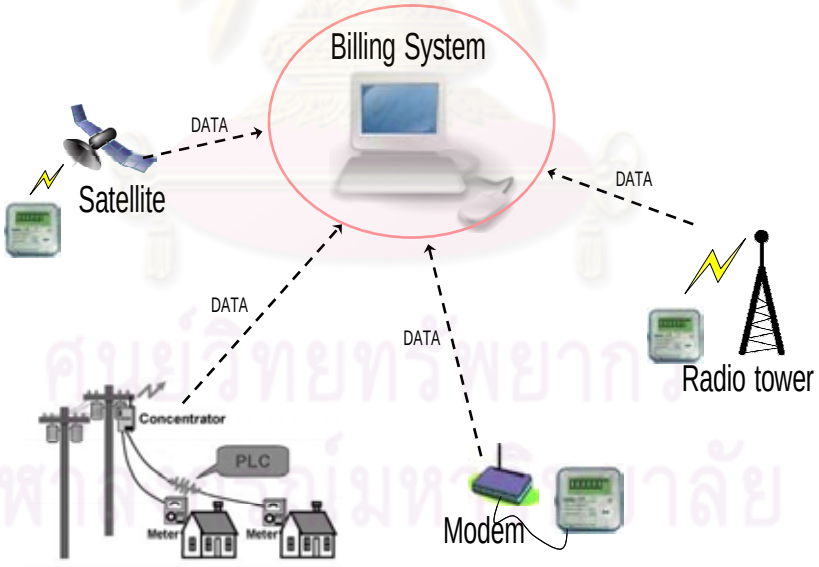
$$\mathrm{E}(T_1) = \frac{T_1}{N}\sum_{j=0}^{N-1} i_j n_j \quad \text{วัตต์} \qquad (2.5)$$

$$\mathrm{P}(T_1) = \frac{1}{N}\sum_{j=0}^{N-1} i_j n_j \quad \text{กิโลวัตต์-ชั่วโมง} \qquad (2.6)$$

เมื่อ N คือจำนวนการชักสัญญาณในแต่ละคาบเวลา T_1 และเมื่อจำนวนการชักสัญญาณในแต่ละคาบมากขึ้นจะทำให้ $\mathrm{E}(T_1)$ และ $\mathrm{P}(T_1)$ ตามสมการ (2.5) และ (2.6) ใกล้เคียงกับค่า $E(T_1)$ และ $P(T_1)$ ตามสมการ (2.3) และ (2.4) มากขึ้น

2.2. ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ

ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบเก่าจะใช้พนักงานเข้าไปอ่านมิเตอร์ที่เป็นแบบจานหมุน แต่ปัจจุบันมีมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติเกิดขึ้น ซึ่งการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติมีหลายแบบด้วยกัน มีทั้งการใช้พอร์ตแสงอินฟราเรด, การใช้โมเด็มผ่านโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน, การใช้คลื่นวิทยุ, การใช้เครือข่ายดาวเทียม, และการใช้สายส่งกำลัง ตามรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ

การอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติแบบต่าง ๆ ก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การเลือกใช้แบบใดนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายด้าน ทั้งสภาพความเหมาะสม รวมถึงต้องดูพื้นที่การใช้งานซึ่งเป็น

ปัจจัยหลัก, อีกทั้งด้านราคาค่าใช้จ่ายของการอ่านแบบต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน, รวมถึงความยุ่งยากในการวางระบบ

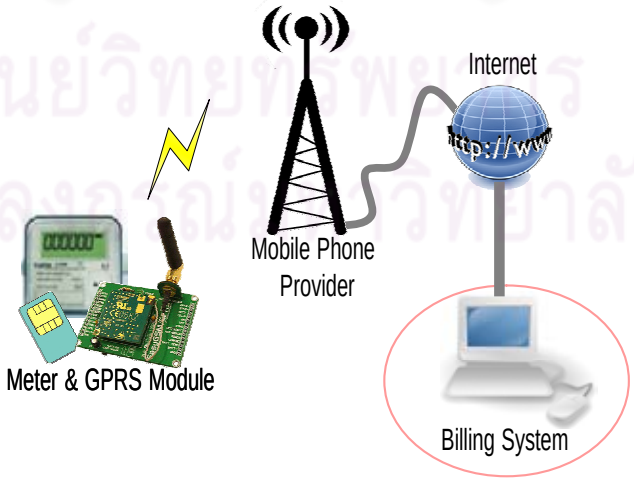
รูปแบบการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติมีดังต่อไปนี้

1. การใช้สายส่งกำลัง

เป็นวิธีที่นำสายส่งกำลังที่มีอยู่มาใช้เป็นตัวนำในการสื่อสารของระบบอ่านมิเตอร์ โดยใช้เทคนิคการนำข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลตสัญญาณส่งที่สัญญาณความถี่สูง (โดยทั่วไปอยู่ในย่าน 9 KHz ไปจนถึง 20 MHz) เข้าไปในสายส่งกำลังและการมอดูเลตสัญญาณพาหะนี้เข้ากับข้อมูลโดยใช้โมเด็มชนิดส่งข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง (Power Line Modem) ข้อดีของวิธีนี้คือ การใช้ประโยชน์จากสายส่งกำลังที่มีอยู่แล้วทำให้ไม่ต้องเดินสายใหม่ แต่วิธีนี้มีปัญหา คือทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในสายส่ง และไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามหม้อแปลงได้ทำให้ต้องติดตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ไว้ทั้ง 2 ข้างของหม้อแปลง ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการติดตั้ง

2. การใช้เครือข่าย GPRS (General Packet Radio Service) [5]

ระบบ GPRS เป็นเทคโนโลยีที่อยู่ระหว่าง 2G และ 3G โดยอาศัยช่องสัญญาณตามช่วงเวลา TDMA (Time Division Multiple Access) ที่ไม่ใช้งาน ซึ่งปัจจุบันนำมาใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับติดต่อผ่านทางอินเตอร์เน็ต และการเชื่อมต่อกับเครือข่ายสามารถทำได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องมีการกดเลขหมาย (Dial Up) เหมือนกับการใช้โมเด็ม การใช้งานจะต้องอยู่ในพื้นที่ทำการของเครือข่ายนั้น ๆ โดยความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 9.6 - 28.8 kbps แต่ต้องมีการเสียค่าบริการให้กับผู้ให้บริการเครือข่ายตามเงื่อนไขของผู้ให้บริการด้วย



รูปที่ 2-2 การใช้ระบบอ่านมิเตอร์ โดยใช้เครือข่าย GPRS

ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ สามารถติดต่อกับมิเตอร์จำนวนมากเท่าไหร่ก็ได้ โดยมิเตอร์จะต้องอยู่ในภายในพื้นที่เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ซึ่งปัจจุบันก็ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของประเทศ แต่ข้อเสียของระบบนี้คืออุปกรณ์ที่เป็นมอดูล GPRS นั้นยังมีราคาที่ค่อนข้างสูง และในการใช้งานจะต้องมีการเสียค่าบริการให้กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย

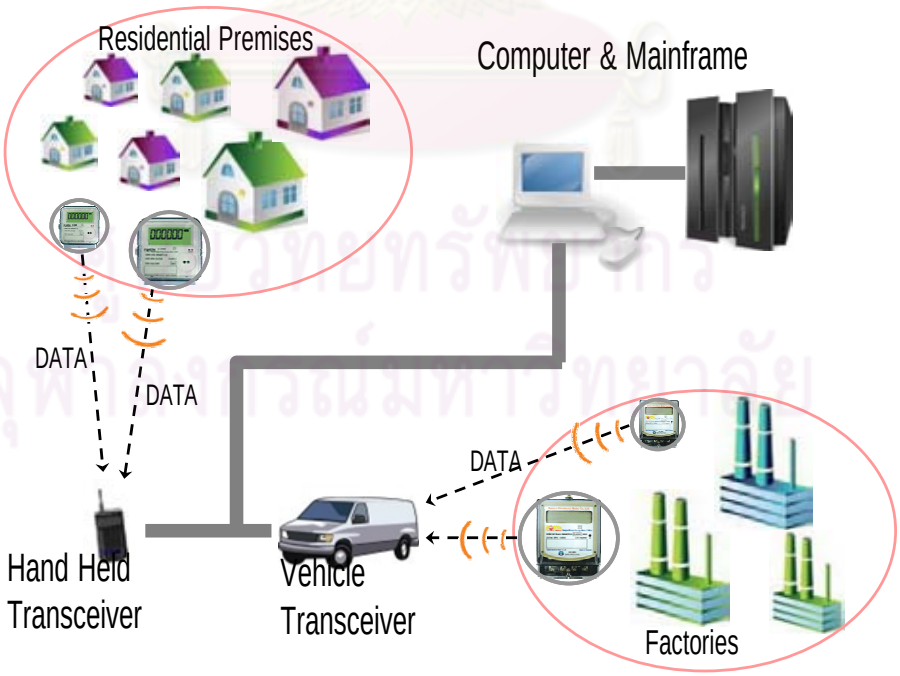
3. การใช้คลื่นวิทยุ

เป็นการนำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นตัวกลาง ข้อดีของระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุ คือมีการติดตั้งระบบและการทำงานที่ง่ายเนื่องจากไม่ต้องเดินสายไฟเพิ่มเติม และมีต้นทุนโดยรวมที่ไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอ่านค่ามิเตอร์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ด้วยข้อดีที่กล่าวมาทำให้ตัวกลางคลื่นวิทยุมีการสร้างมาตรฐานเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย เช่น IEEE 802.11 (WIFI), 802.15.1 (Bluetooth), และ 802.15.4 (Zigbee) จากข้อดีที่กล่าวมางานวิจัยนี้ได้เลือกคลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการอ่านค่ามิเตอร์ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไปในหัวข้อ 2.2.1

2.2.1. ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ

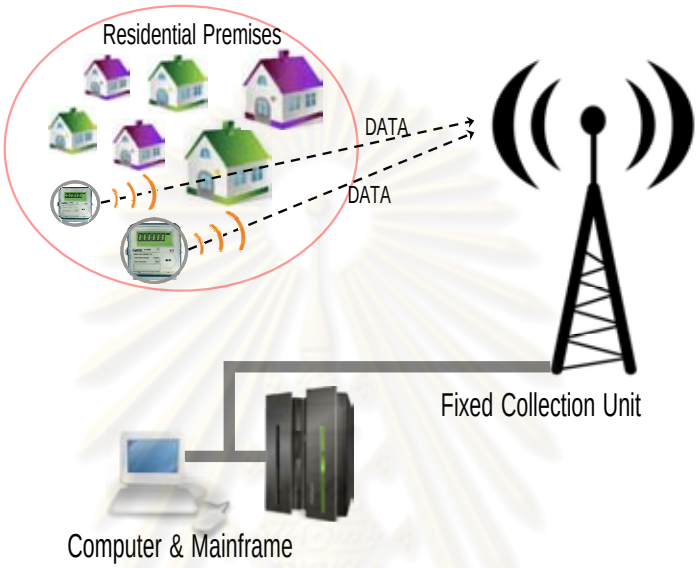
การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุมีกัน 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. ระบบเคลื่อนที่ (Mobile Radio) [6] ระบบที่มีตัวอ่านเคลื่อนที่ได้สำหรับคอยเก็บค่ามิเตอร์ตามจุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ระบบอ่านมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบเคลื่อนที่

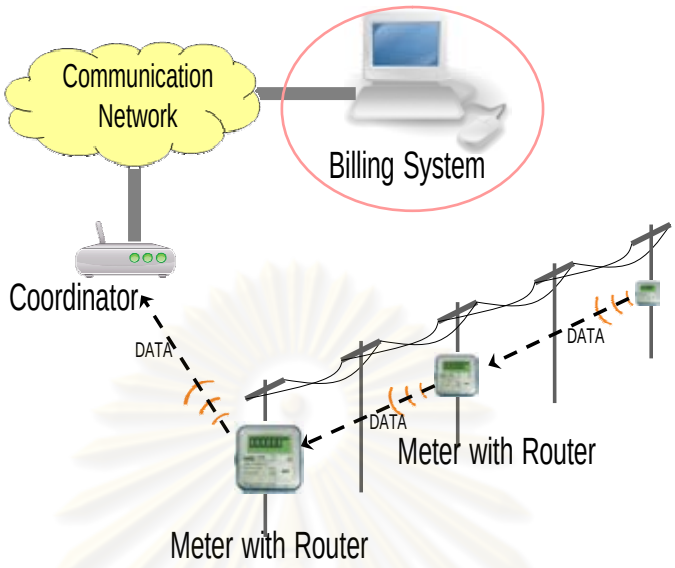
2. ระบบอยู่กับที่ (Fixed Radio) ระบบการอ่านข้อมูลโดยที่ตัวเก็บข้อมูลจะติดตั้งไว้ตามเสา ทำหน้าที่รับสัญญาณแล้วส่งต่อไปยังสำนักงานกลางต่อไป โดยอาจใช้ตัวกลางอื่นร่วมด้วย เช่น เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบอยู่กับที่

ในงานวิจัยได้เลือกใช้วิธีนี้แต่นำมาดัดแปลงรูปแบบจากการที่มีตัวเก็บข้อมูลเพียงตัวเดียว ก็จะเปลี่ยนให้ตัวมิเตอร์แต่ละตัวสามารถส่งค่ามิเตอร์ต่อ ๆ กันไปเพื่อส่งข้อมูลไปยังตัวเก็บข้อมูลกลางได้ ดังรูปที่ 2-5 ทำให้ดูเสมือนว่ามิเตอร์แต่ละตัวสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเก็บข้อมูล เมื่อใช้รูปแบบการเก็บค่ามิเตอร์เป็นทอด ๆ ทำให้สามารถลดกำลังการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุลงได้ ซึ่งดีกว่าการส่งข้อมูลระหว่างตัวเก็บข้อมูลกับตัวมิเตอร์โดยตรง จึงช่วยให้ประหยัดพลังงานมากกว่าแบบอยู่กับที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-5 ระบบอ่านมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบอยู่กับ ที่มีการส่งค่ามิเตอร์ต่อ ๆ กันไปได้

2.2.2. ระบบอ่านค่าอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุตามโพรโทคอล Zigbee

การเก็บค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุควรอยู่ภายใต้โพรโทคอล เพื่อทำให้ดำเนินกิจการรับส่งข้อมูลให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากโพรโทคอลมีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการติดต่อสื่อสาร และในการเก็บค่ามิเตอร์นั้นค่ามิเตอร์ถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญ ไม่ควรปล่อยข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยที่ไม่มีรักษาความปลอดภัยให้กับข้อมูล จึงควรใช้โพรโทคอลที่มีการเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลด้วย ซึ่งในงานวิจัยเลือกใช้โพรโทคอล Zigbee ที่อยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นโพรโทคอลในการสื่อสารทางคลื่นวิทยุย่าน ISM (Industrial Scientific and Medical Bands) โดยที่โพรโทคอล Zigbee นี้มีข้อกำหนดที่ต่ำกว่าชั้นประยุกต์ไว้ให้ใช้งานแล้ว อีกทั้งโพรโทคลอ Zigbee ยังมีส่วนการเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลให้เรียกใช้งาน และมีการเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) [7] ซึ่งเป็นเทคนิคสำหรับจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณเพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ ทำให้การประยุกต์ใช้งานระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติสะดวกมากขึ้น

ชุดโพรโทคอล Zigbee ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย บริษัท Zigbee Alliance เพื่อใช้สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายในอัตราการส่งข้อมูลไม่สูงนัก, ราคาไม่แพง และกินกำลังน้อยทำให้ประหยัดพลังงาน ซึ่งโพรโทคอล Zigbee ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะใช้ในระบบควบคุมบ้านและอาคารอัตโนมัติ, ระบบควบคุมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ, อุปกรณ์ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์, อุปกรณ์

ตรวจวัดทางการแพทย์ และของเล่นเกมส์ต่าง ๆ โดยชุดโพรโทคอล Zigbee ได้กำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานไว้ 3 ย่านความถี่ [8] ดังรูปที่ 2-6 ได้แก่

1. ความถี่ 868.3 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 0) อัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 20 กิโลบิตต่อวินาที
2. ย่านความถี่ 902-928 MHz มี 10 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 1-10) แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 2 MHz อัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 40 กิโลบิตต่อวินาที
3. ย่านความถี่ 2.4-2.835 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 11-26) แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 5 MHz อัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 กิโลบิตต่อวินาที

รูปที่ 2-6 ชุดโพรโทคอล Zigbee มีย่านการทำงาน 3 ย่านความถี่

ภายในชุดโพรโทคอล Zigbee จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิด ได้แก่

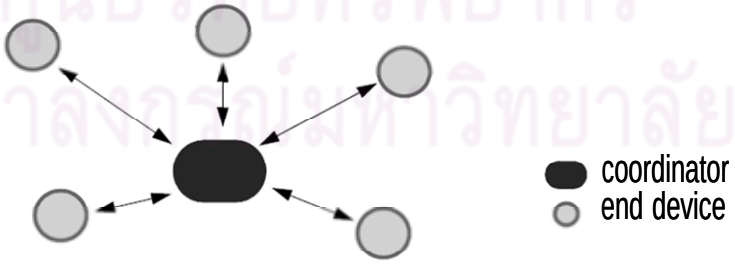
1. Coordinator เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล หรือ Personal Area Network (PAN) ขึ้นมาใหม่ และรับผิดชอบเกี่ยวกับการรับเข้าร่วมและการถอนตัวออกจากเครือข่าย รวมถึงการทำหน้าที่ติดต่อรับส่งข้อมูลข้ามระหว่างเครื่อข่ายส่วนบุคคล ที่ใช้โพรโทคอล Zigbee เหมือนกัน และภายในเครือข่ายส่วนบุคคลหนึ่ง ๆ จะมี Coordinator 1 ตัวเท่านั้น
2. Router เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่รับอุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายได้เช่นเดียวกับ Coordinator และทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง เนื่องจากอยู่ไกลกันเกินระยะที่สามารถติดต่อได้ router จะทำหน้าที่ทวน

สัญญาณและส่งต่อจากต้นทางไปยังปลายทางได้ แต่ไม่สามารถตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล หรือ Personal Area Network (PAN) ขึ้นใหม่ได้เอง

3. End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่าย สามารถทวนสัญญาณหรือส่งต่อข้อมูลได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างเครือข่ายที่เลือกใช้งาน แต่อุปกรณ์ชนิด End Device นี้ไม่สามารถรับอุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายได้เหมือนอย่างเช่น Coordinator และ Router

ลักษณะการเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือที่เรียกว่า โครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) ของชุดโพรโทคอล Zigbee ได้กำหนดไว้ว่าภายในเครือข่ายเดียวกันจะต้องมี Coordinator เพียง 1 ตัวเท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล หรือ Personal Area Network (PAN) ใหม่ขึ้น และรับผิดชอบเกี่ยวกับการรับเข้าร่วมและการถอนตัวออกจากเครือข่าย โดยการขอเข้าร่วมได้กำหนดไว้ 3 รูปแบบด้วยกัน [9] คือ Star Network, Cluster Tree Network และ Mesh Network

1. Star Network มี Coordinator Node เป็นศูนย์กลางในการติดต่อ มี Zigbee End Device Node อื่น ๆ ล้อมรอบ เมื่อ Zigbee End Device เครื่องหนึ่งต้องการส่งข้อมูลไปยัง Zigbee End Device อีกเครื่องหนึ่งจะต้องติดต่อผ่านทาง Coordinator Node ทางด้าน Coordinator Node จึงจะส่งข้อมูลไปยัง Zigbee End Device ที่อยู่ปลายทางให้อีกต่อหนึ่ง การจัดการเครือข่ายทั้งหมด เป็นหน้าที่ของ Coordinator Node ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์จะเป็นแบบ ลูกกับแม่ (Child and Parent) โดยเปรียบ Coordinator เป็นอุปกรณ์แม่ (Parent) และ Zigbee End Device เป็นลูก (Child)



รูปที่ 2-7 Star Network, การติดต่อของ End Device ต้องติดต่อผ่าน Coordinator เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Cluster Tree Network ลักษณะเครือข่ายจะเสมือนว่ามี Star Network หลาย ๆ เครือข่ายมาเชื่อมโยงกัน โดยมี Coordinator Node 1 ตัว เป็นตัวดูแลทั้งเครือข่าย Zigbee End Device แต่ละตัวไม่จำเป็นต้องติดต่อผ่านทาง Coordinator Node การรับส่งข้อมูลจะติดต่อผ่านทาง Router Node ก็ได้ ทำให้สามารถเพิ่มระยะทางของเครือข่ายได้ไกลมากขึ้น ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบ (Child and Parent) เช่นกัน โดยมี Coordinator เป็นอุปกรณ์แม่ (Parent) ของ Router 1 ในทางกลับกัน Router 1 เป็นลูก (Child) ของ Coordinator และ Router1 ก็เป็นอุปกรณ์แม่ (Parent) ให้กับ Router 2 และ Zigbee End Device 3 ต่อกันไป

รูปที่ 2-8 Cluster Tree Network, Rounter ช่วยเพิ่มระยะทางการเชื่อมต่อระหว่าง End Device กับCoordinator

3. Mesh Network ลักษณะเครือข่ายจะมีความคล่องตัวสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ 2 แบบข้างต้น ในแต่ละ End Device สามารถติดต่อกันได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องผ่านตัว Coordinator Node หรือ Router Node ที่ทำหน้าที่รับ End Device เข้าร่วมเครือข่ายด้วยแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามเครือข่ายต้องมี Coordinator Node 1 ตัว เป็นตัวไว้ที่ทำหน้าที่ตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล (Personal Area Network :PAN) ขึ้นมาใหม่ และทำหน้าที่ติดต่อกับเครือข่ายส่วนบุคคลอื่นที่อยู่รอบ ๆ

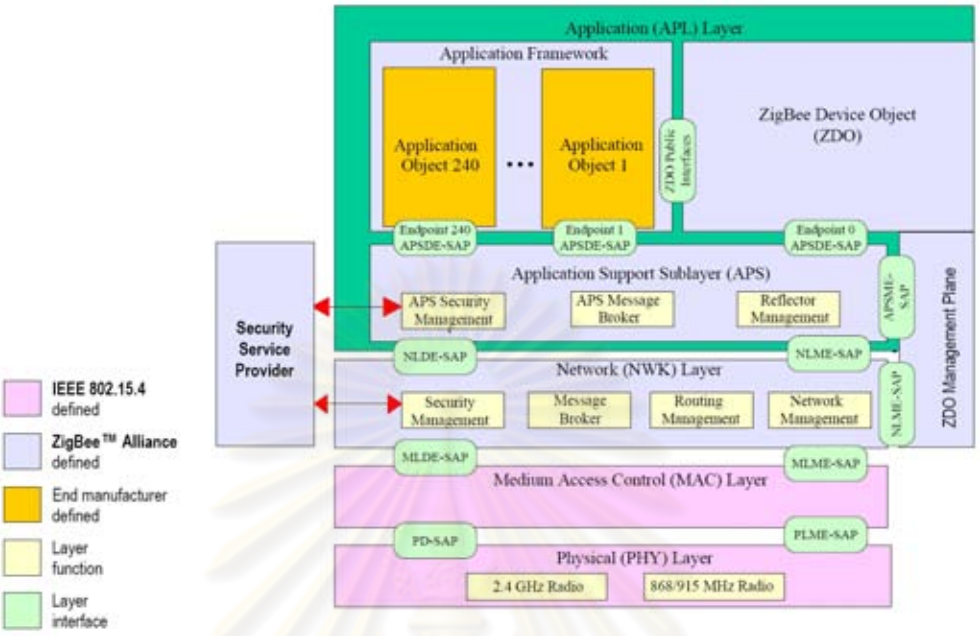
รูปที่ 2-9 Mesh Network, End Device End Device สามารถติดต่อกันได้เอง Coordinator มีหน้าที่ติดต่อกับเครือข่ายข้างเคียง

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้โครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster Tree Network ที่มีมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้าพร้อมกับทำหน้าที่เป็น Router คอยส่งข้อมูลการติดต่อของมิเตอร์เอง และทวนสัญญาณให้กับตัวมิเตอร์ข้างเคียงที่อยู่ไกลกว่า กลับเข้ามาที่ส่วนกลางที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator ซึ่งความสามารถในการทวนสัญญาณได้นี้ ทำให้เพิ่มระยะทางของเครือข่ายและส่งผลให้ครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น อีกทั้งโครงสร้างแบบ Cluster Tree Network ยังจัดการเครือข่ายได้ง่ายกว่าแบบ Mesh Network ซึ่งมีความซับซ้อนกว่าด้วย

2.2.2.1. โครงสร้างของชุดโพรโทคอล Zigbee ที่ใช้ในมิเตอร์

ภายในโครงสร้างชุดโพรโทคอล Zigbee [1] มีองค์ประกอบอยู่เป็นชั้น ๆ ประกอบไปด้วยระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) ,ระดับชั้นเครือข่าย (Network Layer) 2 ระดับนี้ เป็นส่วนที่กำหนดตามมาตรฐานของบริษัท Zigbee Alliance ได้วางไว้ และในระดับชั้น Medium Access Control (MAC) Layer และระดับชั้นกายภาพ (Physical Layer) เป็นส่วนที่กำหนดตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ดังรูปที่ 2-10

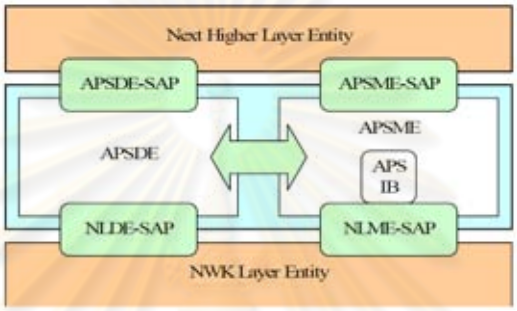
ซึ่งทั้ง 4 ระดับชั้น มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2-10 โครงสร้างของชุดโพรโทคอล Zigbee ซึ่งกำหนดโดย Zigbee Alliance, IEEE 802.15.4, และจากผู้ใช้งาน

1. ระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) เป็นระดับชั้นที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้งานมากสุด ภายในมีส่วนที่สร้างไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดลักษณะการตอบสนองได้เอง โดยที่สูงสุดสามารถใส่ชุดคำสั่งได้ถึง 240 ชุดคำสั่ง ซึ่งแต่ละการตอบสนองสามารถเขียนเป็นชุดคำสั่งเพิ่มเข้าไปได้ และภายในชั้นประยุกต์ (Application Layer) มีตัวประสานคอยช่วยจัดการบริการที่ เรียกว่า Application Support Sub-Layer ซึ่งแบ่งหน้าที่ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ
   - ส่วนที่ 1 ส่วนที่ดูแลด้านข้อมูล (Application Support Sub-Layer Data Entity :APSDE) มีหน้าที่สร้าง Overhead เพิ่มเข้าไปและถอด Overhead ออกจากข้อมูลเพื่อช่วยในการติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ภายในระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer), ทำหน้าที่จัดการสร้างและถอด overhead ของข้อมูลที่ถูกส่งมาในลักษณะการสื่อสารแบบที่อยู่แบบกลุ่ม (Group Address) รวมถึงทำหน้าที่ปฏิเสธข้อมูลที่ได้รับหากข้อมูลนั้นเคยรับมาก่อนหน้านั้นแล้ว
   - ส่วนที่ 2 ส่วนที่ดูแลด้านการจัดการส่งข้อมูล (Application Support Sub-Layer Management Entity :APSME) มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันพร้อมที่จะ

รับส่งข้อมูลหากอุปกรณ์ทั้งสองต้องการติดต่อสื่อสารกัน จัดการเพิ่มหรือลดอุปกรณ์เข้าและออกออกจากการสื่อสารแบบที่อยู่แบบกลุ่ม (Group Address) และทำหน้าที่ติดต่อกับส่วนจัดหาบริการระบบความปลอดภัย (Security Service Provider) สำหรับตั้งค่าเปลี่ยนค่ารหัสผ่านเพื่อใช้ในการดูแลความปลอดภัยของข้อมูลที่รับส่งกันในเครือข่าย



รูปที่ 2-11 ระดับย่อย Application Support Sub-Layer ดูแลจัดการข้อมูลภายในชั้น Application layer

2. ระดับชั้นเครือข่าย (Network Layer) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลในระดับชั้นเครือข่าย, ทำหน้าที่จัดการกับอุปกรณ์ที่มาเข้าร่วมในเครือข่ายได้จำนวนมาก, ทำหน้าที่รับเข้าร่วมและถอนออกจากเครือข่าย, ทำหน้าที่จัดสรรที่อยู่ (Short Address) ให้กับอุปกรณ์ที่มาเข้าร่วมเครือข่าย, ทำหน้าที่ติดต่อกับส่วนจัดการบริการระบบความปลอดภัย (Security Service Provider) เพื่อให้เฟรมรับส่งมีความปลอดภัย, และทำหน้าที่จัดหาเส้นทางการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง
3. ระดับชั้น Medium Access Control (MAC) Layer ทำหน้าที่จัดรูปแบบโครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) ได้หลายรูปแบบโดยไม่ซ้ำซ้อน และมีกลไกการทำงาน Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูล
4. ระดับชั้นกายภาพ (Physical Layer) เป็นระดับชั้นที่อยู่ล่างสุดทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่อยู่ในระดับบิตแล้ว ไปยังอุปกรณ์การส่งด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่ง Zigbee ใช้กันอยู่ที่ 3 ย่านความถี่ด้วยกัน ที่ 868 MHz, 915 MHz, และ 2.4 GHz การส่งข้อมูลใช้การส่งข้อมูลในลักษณะ Direct Sequence เป็นเทคนิคที่ใช้คลื่นพาห์แบบระบุความถี่ใช้งาน และมีการสร้างบิตข้อมูลไว้เผื่อ โดยจะส่งไปพร้อมกับบิตข้อมูล หากบิตข้อมูล

เกิดความเสียหายระหว่างการส่งก็สามารถตรวจพบแก้ไขหรือร้องขอให้ส่งใหม่ได้ ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

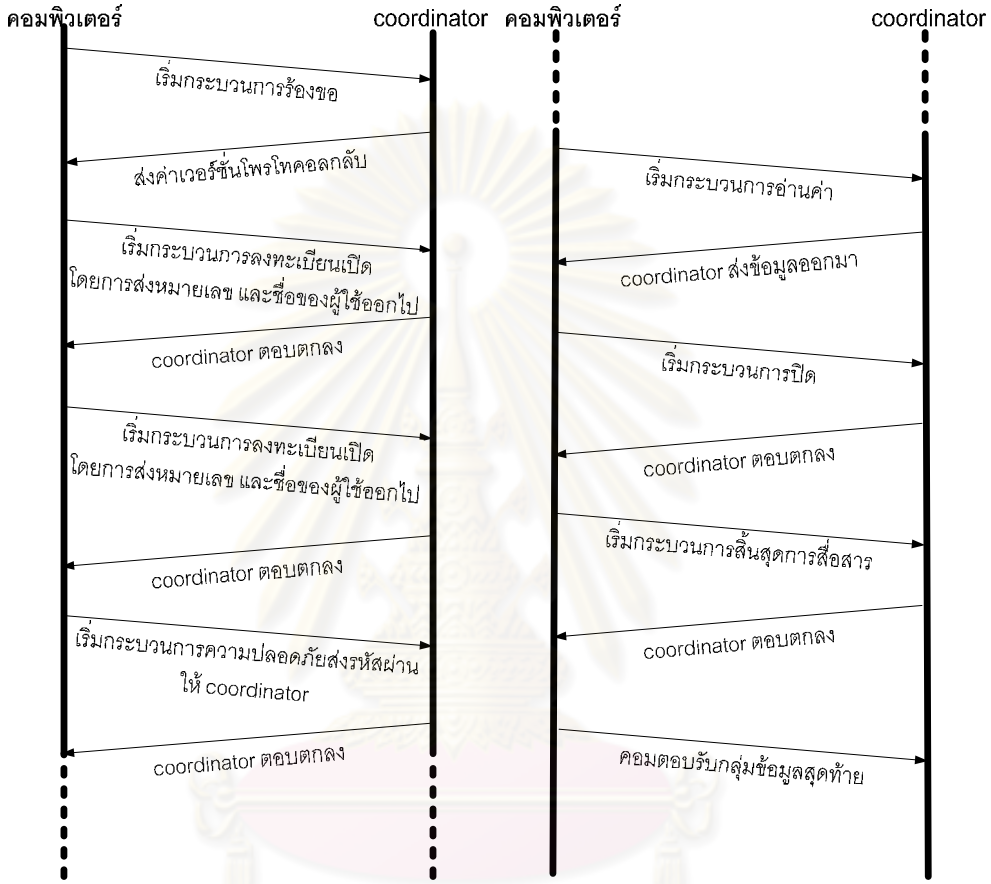
2.2.3. โพรโทคอลที่ใช้ติดต่อกันระหว่างตัวเก็บข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการประยุกต์มาตรฐาน ANSI C12.18-1996 เพื่อใช้เป็นโพรโทคอลในส่วนการติดต่อกันระหว่างตัว Coordinator ที่เป็นตัวรวบรวมข้อมูลในเครือข่าย Zigbee กับคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างกระบวนการ (Service) ต่าง ๆ [5] ได้แก่

1. กระบวนการระบุ (Identification Service) เป็นกระบวนการที่ต้องทำเป็นลำดับแรก หลังจากที่มีการเชื่อมต่อช่องทางการสื่อสารขึ้น กระบวนการนี้ใช้สำหรับร้องขอดูรายละเอียดของรุ่น (Version) และรุ่นของการปรับปรุง (Revision) ของโพรโทคอลบนเครือข่ายมิเตอร์ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการต่อไป
2. กระบวนการเจรจา (Negotiate Service) เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับตั้งหรือเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสื่อสารกับเครื่องข่ายมิเตอร์ไปจากค่าเริ่มต้น (Default Value) ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้แก่ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ขนาดและจำนวนของกลุ่มข้อมูล (Packet) มากสุดที่รองรับได้
3. กระบวนการลงบันทึกเปิด (Logon Service) ใช้สำหรับร้องขอการเริ่มต้นเข้าสู่ช่วงเวลาสื่อสาร (Session state) โดยการส่งหมายเลขของผู้ใช้ และชื่อของผู้ใช้ที่ลงบันทึกเปิดไปในขั้นตอนร้องขอ
4. กระบวนการรักษาความปลอดภัย (Security Service) ถูกใช้สำหรับการอนุญาตหรือกำหนดสิทธิในการเข้าถึงข้อมูลให้กับแต่ละตารางข้อมูลบนตัวมิเตอร์ โดยการส่งรหัสผ่านไปในขั้นตอนร้องขอ
5. กระบวนการอ่าน (Read Service) เป็นกระบวนการที่ใช้อ่านข้อมูลจากเครือข่ายมิเตอร์ออกมา
6. กระบวนการลงบันทึกปิด (Logoff Service) ตรงข้ามกับกระบวนการลงบันทึกเปิด คือใช้ร้องขอการออกจากช่วงเวลาการสื่อสารซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการลงบันทึกเปิด โดยค่าพารามิเตอร์ที่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการเจรจาจะยังคงเดิมอยู่
7. กระบวนการทำให้สิ้นสุด (Terminate Service) ใช้สั่งยกเลิกช่องทางการสื่อสารที่ถูกสร้างขึ้นโดยทันที

ดังนั้นในการสื่อสารเพื่อติดต่อกับตัวมิเตอร์โดยทั่วไปนั้นจะประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้

กระบวนการระบุ -> กระบวนการเจรจา -> กระบวนการลงบันทึกเปิด -> กระบวนการรักษาความปลอดภัย -> กระบวนการอ่าน -> กระบวนการทำให้สิ้นสุด



รูปที่ 2-12 ตัวอย่างกระบวนการอ่านข้อมูลระหว่างเครือข่ายกับคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996

2.3. ฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล (Data Base) [10] คือการเก็บข้อมูลที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามลักษณะความสัมพันธ์ โดยต้องผ่านการออกแบบวางแผนว่าข้อมูลนั้น ๆ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลรวมกันหรือแยกกันได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในการเก็บข้อมูลได้นำซอฟแวร์เข้ามาเป็นตัวเก็บ สามารถเพิ่ม, จัดเรียง, เปลี่ยนแปลง, และเรียกข้อมูลขึ้นมา โดยไม่

ส่งผลกระทบใด ๆ กับข้อมูลในส่วนอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง ซึ่งการเก็บข้อมูลลงบนฐานข้อมูลจะช่วยให้จัดการกับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2.3.1. ระบบจัดการฐานข้อมูล

ระบบจัดการฐานข้อมูล (DataBase Management System: DBMS) เป็นกลุ่มซอฟต์แวร์ในระบบฐานข้อมูลที่เป็นเสมือนตัวกลางระหว่างผู้ใช้งานกับแฟ้มข้อมูลต่าง ๆ ทำหน้าที่หลักในการดึงข้อมูลจากแฟ้มมาแสดงให้กับผู้ใช้ เพื่อให้ผู้ใช้ดำเนินการกับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคอยจัดการควบคุมความถูกต้องของข้อมูล ไม่ให้เกิดการซ้ำซ้อนกันของข้อมูล ในปัจจุบันโปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ได้รับความนิยมในการจัดการฐานข้อมูลมีอยู่มาก ตัวอย่างเช่น Firebird, MaxDB, Microsoft SQL, MySQL, PosgreSQL, และ Oracle เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม MySQL เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์เนื่องจาก ชุดที่เลือกใช้จัดอยู่ในกลุ่มโปรแกรม Open source โดยตัวโปรแกรมจะรองรับคำสั่ง SQL (Structured Query Language) ทำให้สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ได้ง่าย

หน้าที่ของระบบจัดการฐานข้อมูลมีดังต่อไปนี้

2.3.1.1. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลตามที่มีการออกแบบ ซึ่งออกแบบตามความสัมพันธ์อาจมีข้อมูลบางชุดที่ต้องจัดเก็บไว้หลายแฟ้ม เรียกว่า การซ้ำซ้อนของข้อมูล (Reduce Data Redundancy) และเมื่อมีการปรับปรุงข้อมูลจะต้องเข้าไปปรับปรุงในทุก ๆ แฟ้มที่มีข้อมูลนั้นอยู่ให้ครบ เพื่อให้ข้อมูลยังคงความถูกต้อง เพื่อให้เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูลน้อยที่สุดจึงต้องออกแบบฐานข้อมูลด้วยการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normaliation) โดยจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 2.3.2 และการออกแบบฐานข้อมูลที่ดีจะส่งผลให้ใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลน้อยตามไปด้วย

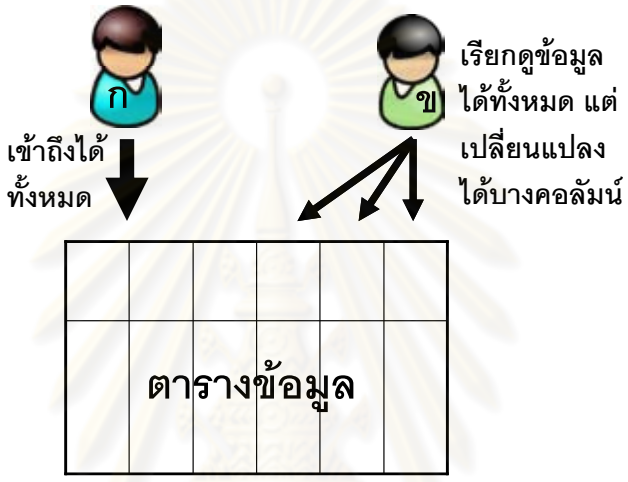
2.3.1.2. จัดการข้อมูลตามที่ผู้ใช้ต้องการ

ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้ โดยจะแปลคำสั่งที่ได้รับ แล้วส่งให้ฐานข้อมูลทำงาน เช่น การเรียกใช้ข้อมูล, การเพิ่มข้อมูล, การลบข้อมูล ซึ่งในด้านการเรียกใช้การสืบค้นข้อมูล (Data Retrieval or Query) ระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ดีควรจะเรียกข้อมูลขึ้นมาได้รวดเร็ว

2.3.1.3. ความปลอดภัยของฐานข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูล เป็นการป้องกันเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล และไม่ให้ถูกเปิดเผยต่อบุคคลได้ง่าย โดยระบบฐานข้อมูลควรมีระบบการรักษาความปลอดภัย ดังนี้

- การควบคุมสิทธิว่าผู้ใดสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยกำหนดด้วยชื่อผู้ใช้งาน (UserName) และรหัสผ่าน (Password)
- กำหนดสิทธิ์ว่าผู้ใช้คนใดสามารถทำอะไรในฐานข้อมูลได้มากน้อยแค่ไหน โดยสามารถเรียกอ่านข้อมูลได้อย่างเดียว หรือทั้งอ่านและเขียนข้อมูลได้แต่เป็นแค่บางส่วน หรือทั้งอ่านและเขียนข้อมูลได้ทั้งหมด ดังรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูล

- ข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลมีการเข้ารหัสข้อมูล (Data Encryption) เพื่อเป็นการป้องกันการโจรกรรมข้อมูล หากข้อมูลถูกคัดลอกออกไปจากฐานข้อมูลโดยไม่ผ่านระบบตรวจสอบชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน ข้อมูลที่ได้ไปนั้นจะอ่านไม่เข้าใจเมื่อไม่ได้เรียกใช้ด้วยวิธีปรกติ
- ระบบฐานข้อมูลสามารถใช้วิว (View) ซึ่งไม่ได้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจริง ๆ วิวจึงเป็นเสมือนตัวแทนของข้อมูล ใช้เพื่อแสดงข้อมูลให้กับผู้ใช้ ซึ่งข้อมูลที่ปรากฏนั้นไม่สามารถแก้ไขได้ในตารางของวิว ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อข้อมูลจริงในฐานข้อมูล

2.3.1.4. การจัดการเมื่อมีการเรียกใช้ข้อมูลพร้อมกัน

เนื่องจากฐานข้อมูลสามารถถูกเรียกใช้พร้อมกันได้มากกว่า 1 คน ทำให้ต้องมีการจัดการในกรณีที่มีผู้ใช้หลายคนพยายามเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลในเวลาเดียวกัน ซึ่งโปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูลแต่ละค่ายก็มีวิธีจัดการแตกต่างกันออกไป

2.3.1.5. การสำรองข้อมูล และกู้ข้อมูลจากการล่มของระบบฐานข้อมูล

โดยระบบจัดการฐานข้อมูลจะสำรองฐานข้อมูลไว้หลาย ๆ ที่ และเมื่อเกิดกรณีความเสียหายขึ้น ก็จะสามารถกู้ข้อมูลมาจากส่วนที่สำรองไว้ได้

2.3.2. การทำให้เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐาน (Normalization)

การทำให้เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐาน คือกระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง หรือรูปแบบของตารางที่ใช้เก็บข้อมูลภายในฐานข้อมูล ลดการซ้ำซ้อนของข้อมูลและตารางที่ใช้เก็บข้อมูล โดยการวิเคราะห์ระหว่างชนิดของข้อมูล (Attribute) ในแต่ละความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relation) หรือตาราง ทำให้ขจัดปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากการเพิ่ม, การลด และการแก้ไขข้อมูล

การทำให้เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานมีทั้งหมด 5 ระดับ และยิ่งข้อมูลผ่านระดับการทำมากเท่าใด ก็จะช่วยลดปัญหาความซ้ำซ้อนมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามการทำให้เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานก็มีข้อเสียอยู่เช่นกัน เนื่องจากการทำในแต่ละระดับจะทำให้จำนวนตารางเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อความเร็วของการเรียกใช้ข้อมูล (Query) ที่ต้องเรียกใช้ตารางจำนวนมากแทนที่จะอ่านจากตารางเพียงตารางเดียว ดังนั้นระบบงานที่มีการเรียกใช้ข้อมูลเป็นหลัก ผู้ออกแบบฐานข้อมูลควรเลือกให้เกิดความซ้ำซ้อนเพิ่มขึ้นบ้าง เพื่อแลกกับความเร็วในการเรียกข้อมูล (Query) ที่เพิ่มขึ้น

การทำให้เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานมีขั้นต่าง ๆ ดังนี้

1. รูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 1 (First Normal Form :1NF) คือไม่มีคอลัมน์ใดในตารางที่มีข้อมูลมากกว่า 1 ค่า และแต่ละตารางจะต้องมีคีย์หลัก (Primary key) เสมอ
2. รูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 2 (Second Normal Form :2NF) คือ
   - ความสัมพันธ์ต้องมีคุณสมบัติอยู่ในรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 1
   - ชนิดของข้อมูล (Attribute) ทุกตัวที่อยู่ในตาราง จะต้องขึ้นอยู่กับทุกตัวที่เป็นคีย์หลัก (Primary key) เท่านั้น ไม่ใช่ขึ้นอยู่กับคีย์หลัก (Primary key) แค่บางตัว
3. รูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 3 (Third Normal Form :3NF) คือ
   - ความสัมพันธ์ต้องมีคุณสมบัติอยู่ในรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 2
   - ชนิดของข้อมูล (Attribute) ที่ไม่ใช่คีย์หลัก (Primary key) จะต้องไม่ขึ้นต่อกันเอง

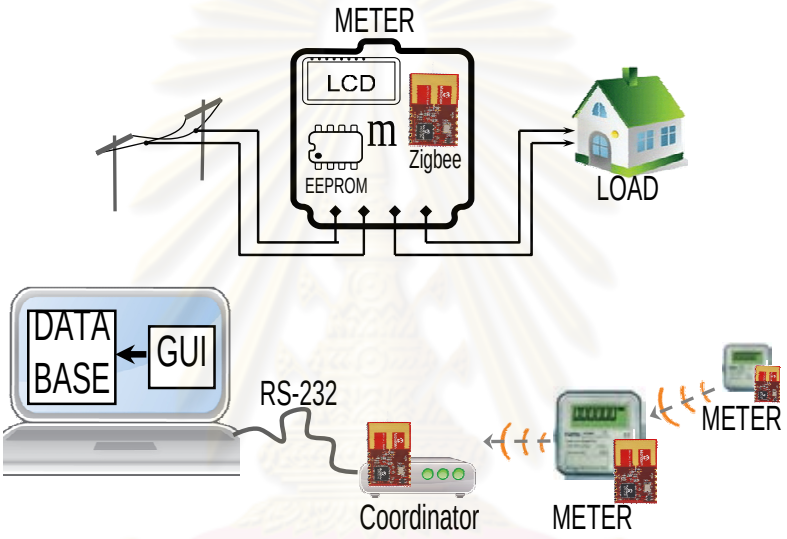
4. รูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานแบบ Boyce/Codd (Boyce/Codd Normal Form :BCNF) เป็นรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 3 แบบใหม่ โดยคุณสมบัติ คือชนิดของข้อมูล (Attribute) ที่เป็นคีย์หลัก (Primary key) ในตารางเดียวกันจะต้องไม่ซ้ำกัน
5. รูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 4 (Forth Normol Form :4NF) คือ
   - ความสัมพันธ์ต้องมีคุณสมบัติอยู่ในรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานแบบ Boyce/Codd
   - ในตารางต้องไม่มีการขึ้นกันแบบเป็นกลุ่ม (Multivalued Dependency :MVD)
6. รูปแบบที่เป็นบรรทัดฐานขั้นที่ 5 (Fifth Normal Form :5NF) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของข้อมูล (Attribute) แบบ JOIN โดยความสัมพันธ์ย่อย ๆ ที่จำแนกออกมาต้องเป็นคีย์คู่แข่ง (Candidate Key) ของความสัมพันธ์เดิมเสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า และส่วนระบบเครือข่ายบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนภาพการใช้งานมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าและระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ

การทำงานในส่วนของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า เริ่มจากวัดสัญญาณอะแนล็อกของแรงดันโดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน และวัดสัญญาณอะแนล็อกของกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Current Trasformer (CT) จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านการปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning) เพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณที่เหมาะสมและส่งเข้าไปที่หน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter: ADC) ที่อยู่ในชิปประมวลผล เพื่อแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ข้อมูลที่เป็นดิจิทัลแล้วจะถูกนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า จากนั้นข้อมูลที่คำนวณได้จะนำไปแสดงบนจอแอลซีดี (LCD) และนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้ไปบันทึกยังอีอีพร็อม (EEPROM) ทุก 15 นาที เพื่อนำค่าที่บันทึกไว้มาวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป

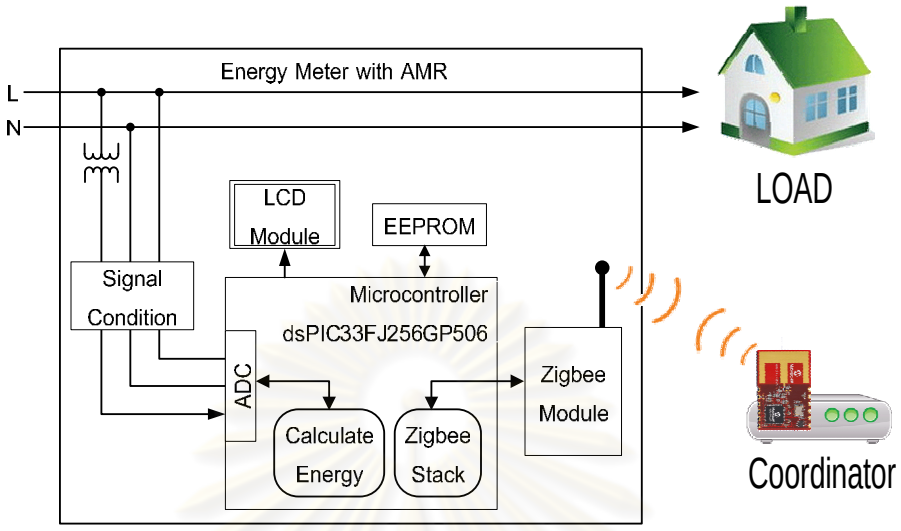
การทำงานในส่วนของระบบเครือข่ายบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า เริ่มจากผู้ใช้งานร้องขอข้อมูลทางไฟฟ้า ผ่านทางโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User

Interface: GUI) บนคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับตัวประสานกลาง (Coordinator) ทางตัวต่อประสานการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication Interfaces: SCIs, UART) ต่อจากนั้นตัวประสานกลาง (Coordinator) จะร้องขอข้อมูลด้วยโมดูล Zigbee ผ่านทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ไปยังมิเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย (Router) ที่ติดตั้งมอดูล Zigbee ไว้เช่นกัน และในการส่งข้อมูลทางไฟฟ้ากลับมายังตัวประสานกลาง (Coordinator) หากลูกข่าย (Router) เครื่องไหนอยู่ไกลจากตัวประสานกลาง (Coordinator) เกินกว่าระยะที่คลื่นวิทยุจะส่งได้ ก็จะส่งผ่านข้อมูลให้กับลูกข่าย (Router) ข้างเคียงเพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังตัวประสานกลาง (Coordinator) ต่อไป เมื่อได้ข้อมูลทางไฟฟ้าครบทั้งเครือข่ายแล้ว โปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) จะนำข้อมูลทางไฟฟ้ามาบันทึกลงบนฐานข้อมูลที่ได้สร้างขึ้น

3.1. รายละเอียดโครงสร้างของมิเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบอ่านแบบอัตโนมัติ

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบอ่านแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ มีโครงสร้างดังรูปที่ 3-2 ทำการที่พิกัดกระแสสูงสุด 10 แอมแปร์ และพิกัดแรงดัน 220 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โดยมีชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 [11] ทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ผ่านการปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning) แล้ว จากสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล จากนั้นนำมาคำนวณทางคณิตศาสตร์หาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า, ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าลงอีอีพร็อม (EEPROM), ควบคุมการแสดงผลผ่านหน้าจอผลึกเหลว (LCD) และทำหน้าที่ส่งข้อมูลทางไฟฟ้าผ่านมอดูล Zigbee ซึ่งภายในชิปประมวลผลได้โปรแกรมซอฟแวร์โพรโทคอล Zigbee Stack สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee เพื่อส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุไปยังตัวประสานกลาง (Coordinator) ต่อไป

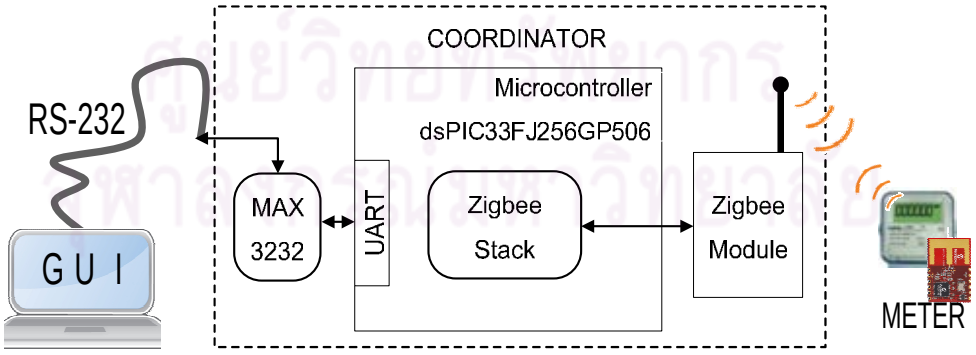
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-2 โครงสร้างภายในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

3.2. รายละเอียดโครงสร้างของตัวประสานกลาง

ตัวประสานกลาง (Coordinator) มีโครงสร้างดังรูปที่ 3-3 โดยใช้ชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ทางคอมพิวเตอร์ ผ่านตัวประสานการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication Interfaces: SCIs, UART) และเรียกข้อมูลทางไฟฟ้าจากมิเตอร์ที่อยู่ในเครือข่าย โดยติดต่อผ่านทางมอดูล Zigbee ซึ่งภายในชิปประมวลผลมีซอฟแวร์โพรโทคอล Zigbee Stack สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee



รูปที่ 3-3 โครงสร้างภายในตัวประสานกลาง (Coordinator)

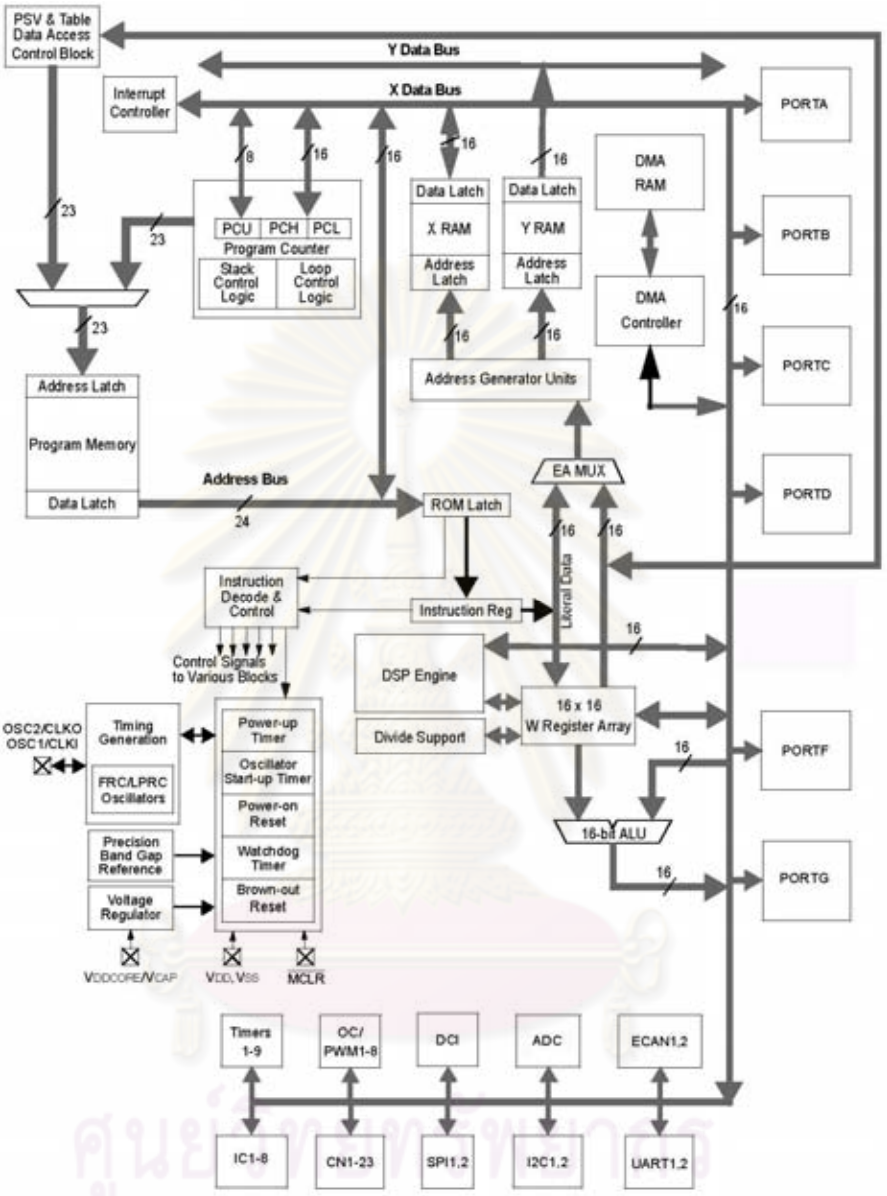
3.3. หน่วยประมวลและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

ในส่วนนี้จะแสดงรายละเอียดของชิปประมวลผล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่อยู่ในระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

3.3.1. ชิปประมวลผล

ชิปประมวลผลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ dsPIC33FJ256GP506 เป็นของบริษัท Microchip Technology ชิปนี้จัดอยู่ในกลุ่ม DSC (Digital Signal Controller) ที่ออกแบบมาสำหรับงานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลหรืองานที่ต้องการความเร็วในการคำนวณสูง มีความเร็วในการทำงานสูงสุดที่ 40 MIPS (Milion Instruction per Second) โดยมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต ประมวลผลข้อมูลที่ 16 บิต และมีแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งชิปนี้มีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 3-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



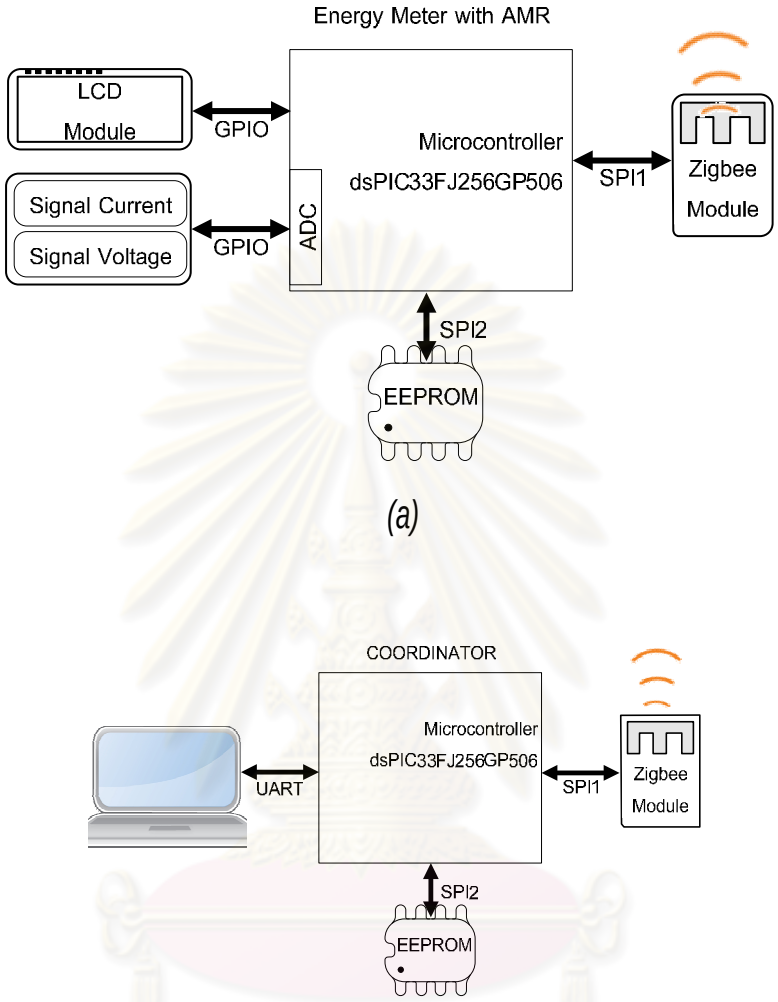
รูปที่ 3-4 โครงสร้างภายในของชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 [11]

การทำงานภายในชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 สำหรับการพัฒนาและสร้างมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบอ่านแบบอัตโนมัติและตัวประสานกลาง (coordinator) ในงานวิจัยนี้มี ดังนี้

1. ชิปประมวลผลที่สัญญาณนาฬิกาความถี่ 16 MHz
2. ตัวตั้งเวลา (Timers) ขนาด 32 บิต ที่สามารถนำมาต่อกันเพื่อเพิ่มขนาดเป็น 64 บิตได้ โดยมีอยู่ในชิปประมวลผล 9 ชุด ใช้ในงานวิจัย 5 ชุด คือ

- TIMER3 สำหรับตั้งเวลาในการสุ่มค่าแรงดันและกระแส
- TIMER4, 5 นำมาต่อกัน สำหรับตั้งเวลาเก็บค่าพลังงานลงอีอีพร็อมทุก 15 นาที
- TIMER6, 7 นำมาต่อกัน สำหรับตั้งเวลาในการติดต่อสื่อสารผ่านโพรโทคอล Zigbee

3. ตัวขัดจังหวะ (INTERUPT) จากภายนอก ใช้รับระดับสัญญาณจากภายนอก สำหรับตรวจสอบไฟฟ้าดับ เพื่อเข้าสู่ภาวะหลับ (Sleep Mode) และออกจากภาวะหลับเมื่อไฟฟ้ากลับมาทำงานตามปรกติ
4. ADC (Analog to Digital Converter) ใช้แปลงสัญญาณค่าแรงดันและกระแสที่วัดได้ มีความละเอียดสูงสุดที่ 12 บิต อัตราเร็วในการชักตัวอย่างแรงดันและกระแสใช้ที่ 4 กิโลบิตต่อวินาที (ksps) ซึ่งเลือกนำสัญญาณแรงดันและกระแสเข้า ADC สลับกัน ห่างกัน 12.5 ไมโครวินาที
5. DMA (Direct Memory Access) สำหรับเป็นที่พัก (Buffer) ใช้เก็บสัญญาณแรงดันและกระแสที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว ขนาดของที่พักที่ใช้เก็บสัญญาณ ใช้เก็บสัญญาณแรงดัน 320 ค่า และเก็บสัญญาณกระแส 320 ค่า เมื่อเก็บค่าครบตามจำนวนดังกล่าวแแล้วจะเกิดสัญญาณขัดจังหวะ (Interupt) จาก DMA เพื่อถ่ายโอนข้อมูลไปส่วนคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าต่อไป
6. UART (Universal Asynchronous Teceiver Transmitter) สำหรับติดต่อกับคอมพิวเตอร์ทางช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) อัตราการส่งข้อมูลที่ 19,200 บิตต่อวินาที (bps)
7. SPI1 (Serial Peripheral Interface 1) สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee ด้วยสัญญาณนาฬิกา 2 เมกะเฮิรตซ์
8. SPI2 (Serial Peripheral Interface 2) สำหรับติดต่อกับอีอีพร็อม (EEPROM) ด้วยสัญญาณนาฬิกา 2 เมกะเฮิรตซ์
9. GPIO (General Purpose Input/Output) ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับจอแอลซีดี (LCD) และแสดงสถานะการเข้าร่วมเครือข่าย Zigbee

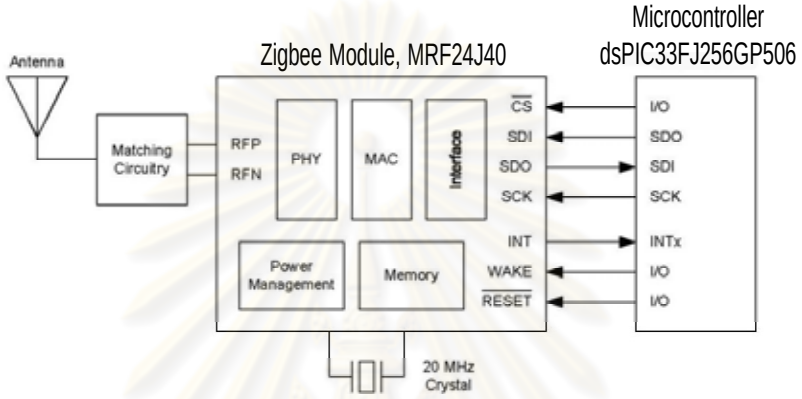


รูปที่ 3-5 การเชื่อมต่อระหว่างชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (a) และตัวประสานกลาง (Coordinator) (b) กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

3.3.2. มอดูล Zigbee

มอดูล Zigbee ของบริษัท Microchip Technology ใช้สำหรับรับส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ สามารถปรับช่องสัญญาณได้ 16 ช่องสัญญาณ (ตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 11 – 26) ภายในมอดูล Zigbee ประกอบไปด้วยชิป MRF24J40MB [12] เป็นหน่วยประมวลผลทำงานที่ความถี่ 20 กิกะเฮิรตซ์ มีโพรโทคอลในชั้น MAC (Medium Access Control) อยู่ภายใน

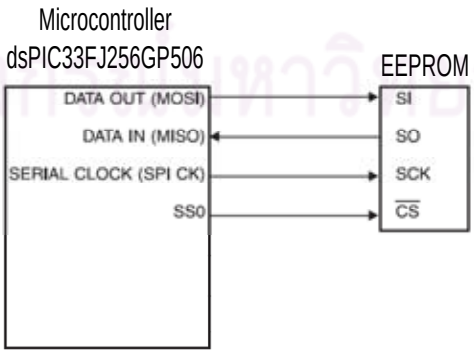
สามารถรับส่งข้อมูลด้วยโพรโทคอล Zigbee ที่อยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้ โดยขึ้นอยู่กับว่าชิปประมวลผลที่มาเชื่อมต่อด้วยนั้นมีโพรโทคอล Zigbee Stack โปรแกรมลงบนชิปหรือไม่ การเชื่อมต่อเชื่อมผ่านช่องทาง SPI (Serial Peripheral Interface) มีอัตรารับส่งข้อมูลที่ 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ระยะทางรับส่งข้อมูลสูงสุด 1,219.20 เมตร (4,000 ฟุต) ในที่โล่ง



รูปที่ 3-6 โครงสร้างภายในของมอดูล Zigbee และการเชื่อมต่อระหว่างมอดูล Zigbee และชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 [12]

3.3.3. อีอีพร็อม

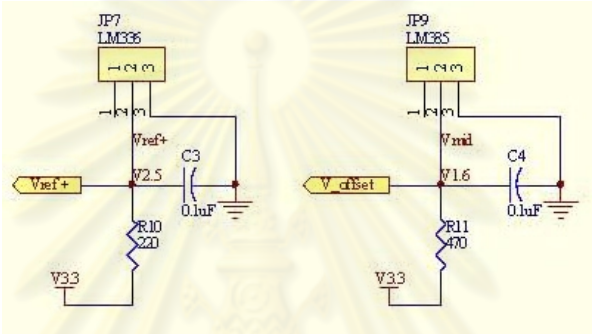
อีอีพร็อม (EEPROM) ใช้ชิปเบอร์ ATMEL334 ของบริษัท Atmel เป็นอีอีพร็อมขนาด 256 กิโลบิต ติดต่อผ่านทางช่องทาง SPI (Serial Peripheral Interface) อัตราเร็วในการติดต่อที่ 2 เมกะบิตต่อวินาที มีหน้าที่เก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที และมีหน้าที่เก็บตารางต่าง ๆ ที่ใช้ใน Zigbee Stack เช่น ตารางเส้นทางเครือข่าย เป็นต้น



รูปที่ 3-7 การเชื่อมต่อระหว่างมอดูล Zigbee และอีอีพร็อม

3.3.4. วงจรสร้างแรงดันออฟเซต

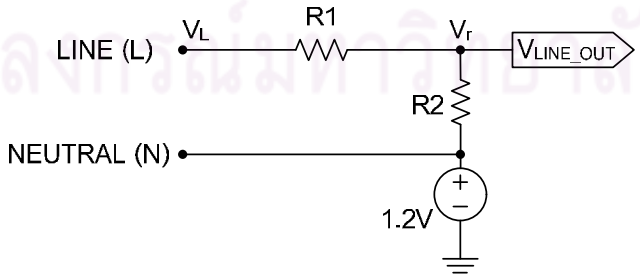
วงจรสร้างแรงดันออฟเซตใช้ชิปเบอร์ LM336 Z-2.5 และ LM385 Z-1.2 สร้างแรงดันขนาด 2.5 โวลต์ และ 1.2 โวลต์ ตามลำดับ แรงดัน 2.5 โวลต์ ใช้สำหรับเป็นแรงดันอ้างอิงให้กับหน่วยแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งต่อเข้ากับขาแรงดันอ้างอิงบวก (Vref+) และแรงดัน 1.2 โวลต์ ใช้สำหรับวงจรวัดแรงดันและกระแส สำหรับเป็นแรงดันออฟเซตเพื่อให้สามารถวัดค่าสัญญาณที่เป็นลบได้



รูปที่ 3-8 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงเบอร์ LM336 Z-2.5 และ LM385 Z-1.2

3.3.5. วงจรปรับขนาดสัญญาณ (Signal Condition Circuit)

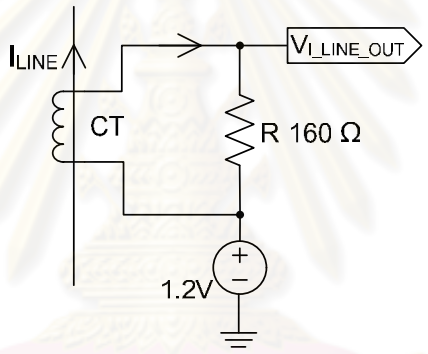
สัญญาณแรงดันและกระแสที่วัดในระบบไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ จะต้องลดทอนระดับแรงดันให้อยู่ในช่วงที่ชิปประมวลผลสามารถรับได้ตามข้อกำหนด ซึ่งรับแรงดันแอนะล็อกได้ระหว่างค่าของขาแรงดันอ้างอิงบวก (Vref+) ที่ต่อกับชิปแรงดันอ้างอิงเบอร์ LM336 Z-2.5 ที่เคยกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3.4 และขาแรงดันอ้างอิงลบ (Vref-) ซึ่งต่อกับกราวด์ของระบบ ทำให้สัญญาณแอนะล็อกขาเข้าต้องอยู่ในช่วง 2.5-0 โวลต์ โดยใช้วงจรปรับขนาดดังนี้



รูปที่ 3-9 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับวัดแรงดันในระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

1. วงจรปรับขนาดสัญญาณสำหรับการวัดแรงดัน เป็นวงจรแบ่งแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน เนื่องจากมีความเป็นเชิงเส้นที่ดีและไม่ยุ่งยาก ดังรูปที่ 3-9 โดยเลือกใช้ค่า R1 = 1360 kΩ, R2 = 3.92 kΩ และนำสายนิวทรอล (Neutral) ต่อเข้าในตำแหน่งขาแรงดันอ้างอิง 1.2 โวลต์ ซึ่งสร้างแรงดันออฟเซตจากชิปแรงดันอ้างอิงเบอร์ LM385 Z-1.2 ที่เคยกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3.4 จะได้สัญญาณแรงดันขาออกดังสมการที่ (3.1)

$$V_r - V_n = V_{rn} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \times (V_L - V_n)$$
$$V_r = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \times (V_L - V_n) + 1.2V \qquad ,V_n = 1.2V \tag{3.1}$$

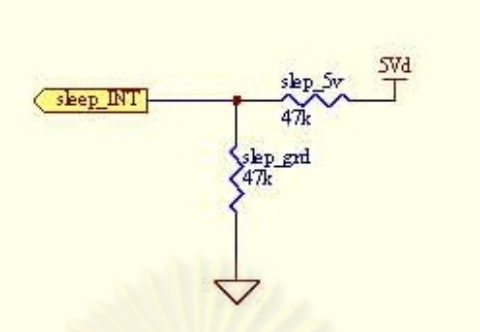


รูปที่ 3-10 วงจรวัดกระแสของระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

2. วงจรปรับขนาดสัญญาณสำหรับการวัดกระแส สัญญาณกระแสในสายไฟระบบไฟฟ้า 1 เฟส จะถูกวัดโดยใช้หม้อแปลงกระแส ที่มีอัตราส่วนของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิเท่ากับ 1:2500 จากนั้นกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิจะถูกนำไปผ่านตัวต้านทานขนาด 160 Ω เพื่อสร้างเป็นสัญญาณแรงดันส่งไปยังหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ดังรูปที่ 3-10

3.3.6. วงจรตรวจสอบไฟดับ

มีหน้าที่ตรวจสอบค่าแรงดันในระบบว่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือไม่ โดยดูจากระดับของแรงดันขาเข้าแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง เมื่อระดับแรงดันตกลงมาต่ำกว่าร้อยละ 80 จากสภาวะปรกติ ชิปประมวลผลจะรับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก เพื่อเข้าสู่ภาวะหลับ (Sleep Mode) เนื่องจากขณะไฟดับ ระบบจำเป็นต้องใช้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟสำรองแบตเตอรี่ 3 โวลต์ แทนการใช้ไฟจากแหล่งจ่ายปรกติ เพื่อรักษาค่าพลังงานที่เก็บไว้ให้คงอยู่



รูปที่ 3-11 วงจรตรวจสอบไฟดับ

3.3.7. ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

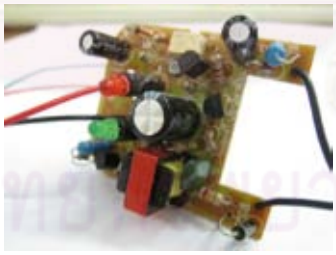
- **จอผลึกเหลว** (LCD) ขนาด 4 บรรทัด บรรทัดละ16 ตัวอักษร ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3-12 ข้อมูลที่แสดงผลบนจอแอลซีดีมีดังนี้
  1. ค่ากำลังไฟฟ้า
  2. ค่าพลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 3-12 จอแอลซีดี 16X4

- **หม้อแปลงกระแส** (Current Transformer) ของบริษัท Shenzhen Belta Electronic ความแม่นยำระดับคลาส 0.1% อัตราส่วนขดลวดปฐมภูมิต่อทุติยภูมิ 1:2500 กระแสพิกัด 10 แอมป์ ซึ่งมีความเป็นเชิงเส้นในการวัดในช่วงกระแส 0 - 10 แอมป์

รูปที่ 3-13 หม้อแปลงกระแสกระแสพิกัด 10 แอมป์

- **วาริสเตอร์** เบอร์ S14K275 ของบริษัท EPCOS มีระดับแรงดันทำงานที่ 247 VAC ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเสิร์จ โดยรับพลังงานไว้ไม่ให้เข้าไปทำความเสียหายต่อชิปประมวลผลและอุปกรณ์ภายในของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า
- **แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า** วงจรไฟเลี้ยงทำหน้าที่แปลงไฟขนาด 220 โวลต์ เข้าสู่วงจรและจ่ายไฟขนาด 5.8 โวลต์ออกมา โดยทางฝั่งแรงดันต่ำ (5.8 โวลต์) จะเอกเทศ (ISOLATE) จากฝั่งแรงดันสูง (แรงดัน 220 โวลต์) เพื่อขจัดปัญหาในส่วนวัดสัญญาณแรงดันและกระแส แรงดัน 5.8 โวลต์ ใช้สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงจอแอลซีดีโดยตรง และใช้วงจรเรียงกระแส (Voltage Regurator) เบอร์ LM1117 สำหรับลดระดับแรงดันเป็น 3.3 โวลต์ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้ชิปประมวลผล, อีอีพร็อม, และมอดูล Zigbee



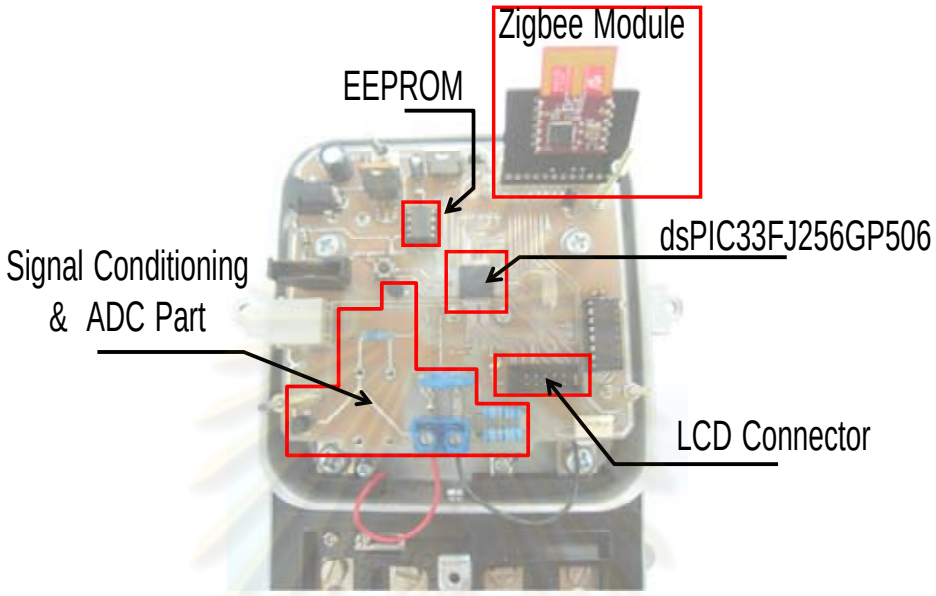
รูปที่ 3-14 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

3.4. ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น

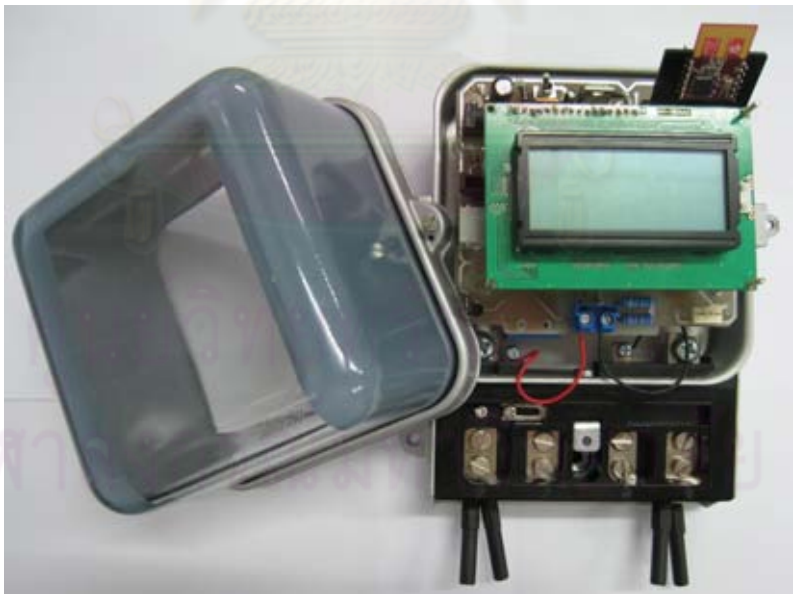
ฮาร์ดแวร์ของระบบอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 3-15 ประกอบไปด้วย

1. มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ

2. ตัวประสานกลาง (Coordinator)

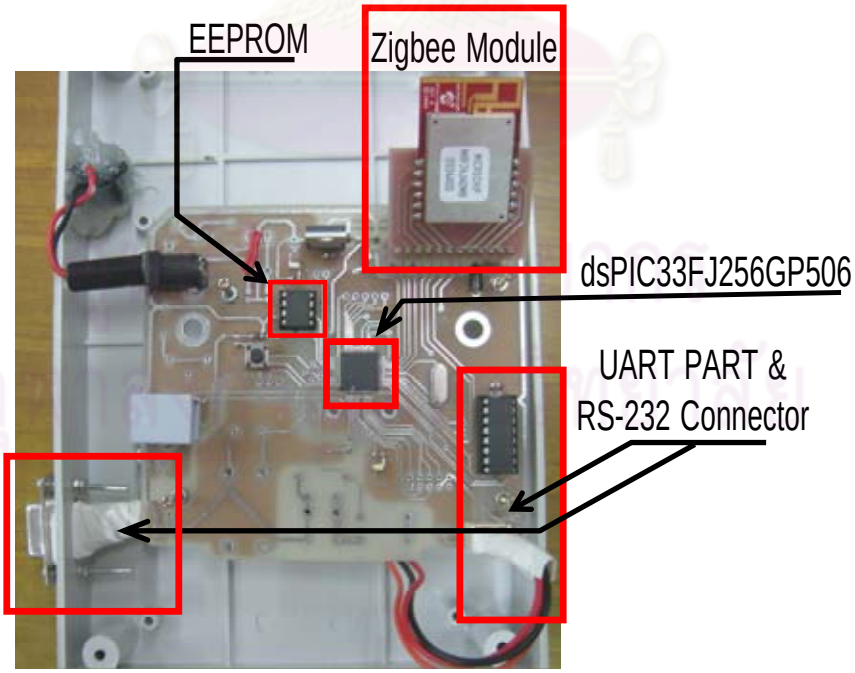


(a)

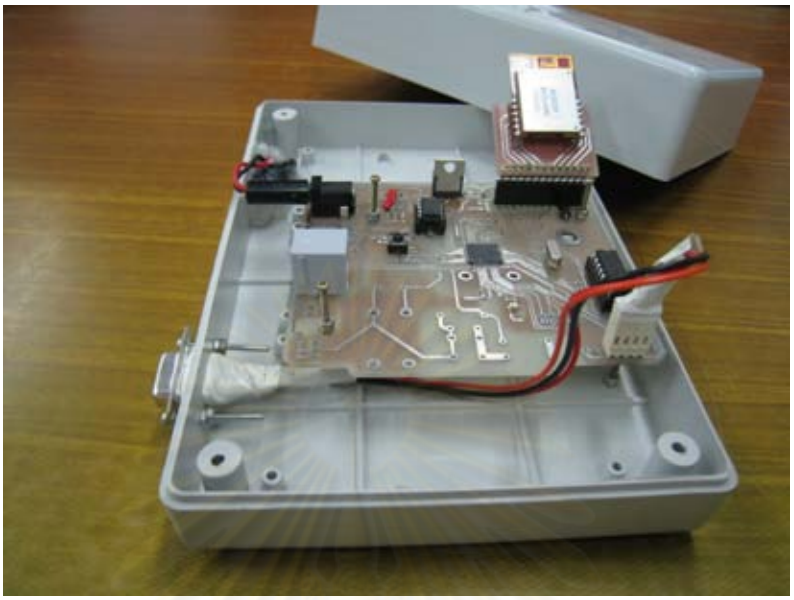


(b)

(c)


EEPROM
Zigbee Module
dsPIC33FJ256GP506
UART PART &
RS-232 Connector

(d)



(e)

รูปที่ 3-15 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (a) - (c) และตัวประสานกลาง (d), (e)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

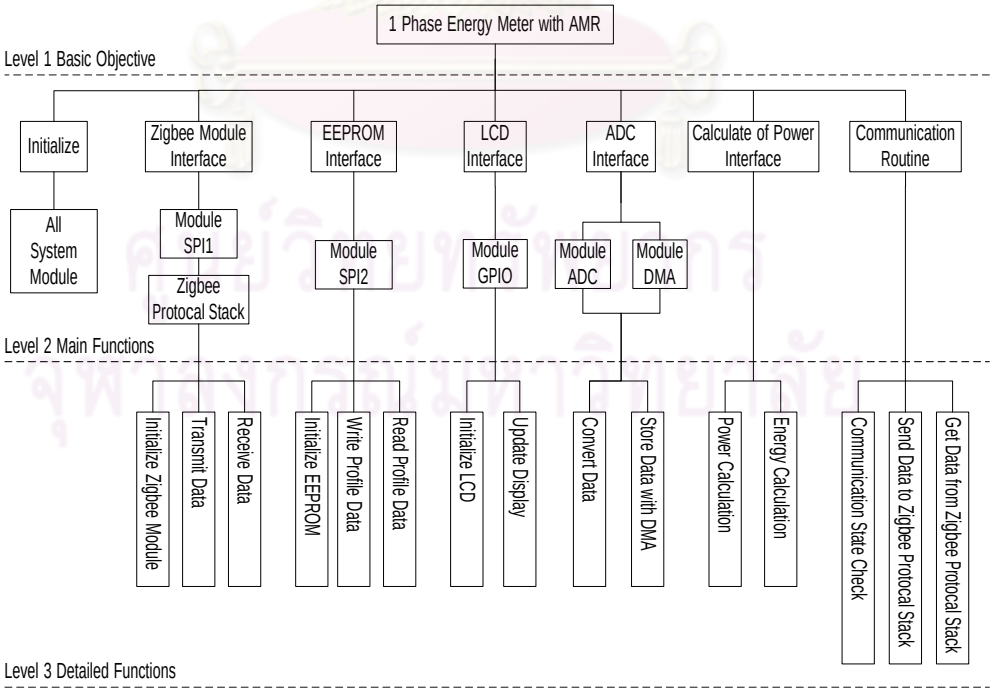
บทที่ 4

รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ โปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ, โปรแกรมควบคุมตัวประสานกลาง (Coordinator) และโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

4.1. โปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ

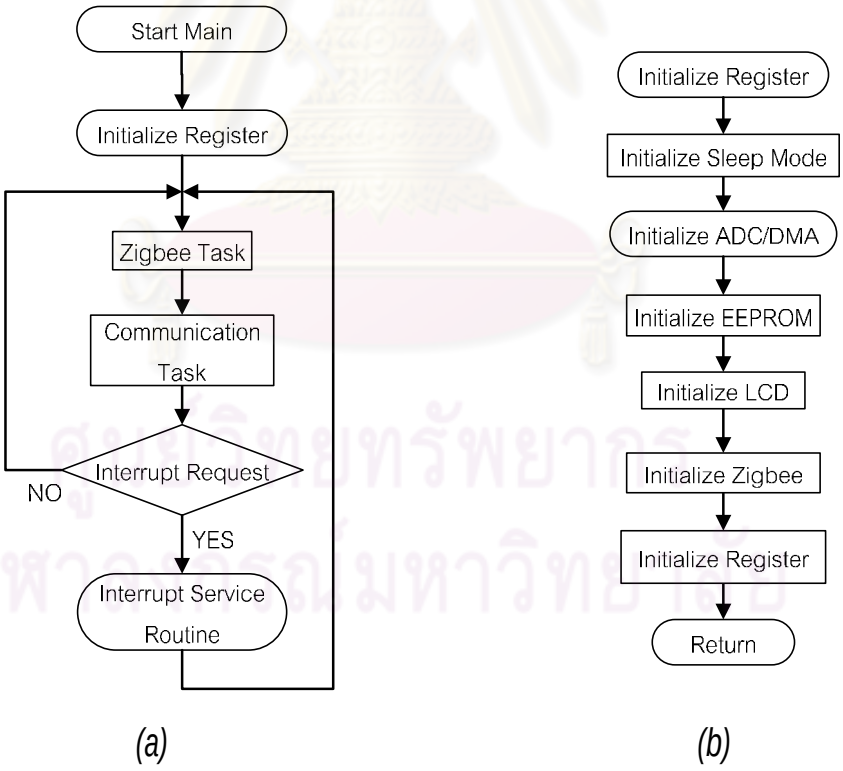
โปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ ใช้ภาษาซีในการพัฒนา โดยใช้โปรแกรม MPLAB IDE ของบริษัท Microchip Technology ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล, การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าทางไฟฟ้า, ควบคุมการทำงานของอีอีพร็อมเพื่อจัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า, ควบคุมการทำงานจอแอลซีดี, ควบคุมการสื่อสารในระบบอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ และควบคุมการทำงานของมอดูล Zigbee สำหรับใช้ในการติดต่อกับเครือข่าย มีโครงสร้างโปรแกรมภายในดังรูปที่ 4-1



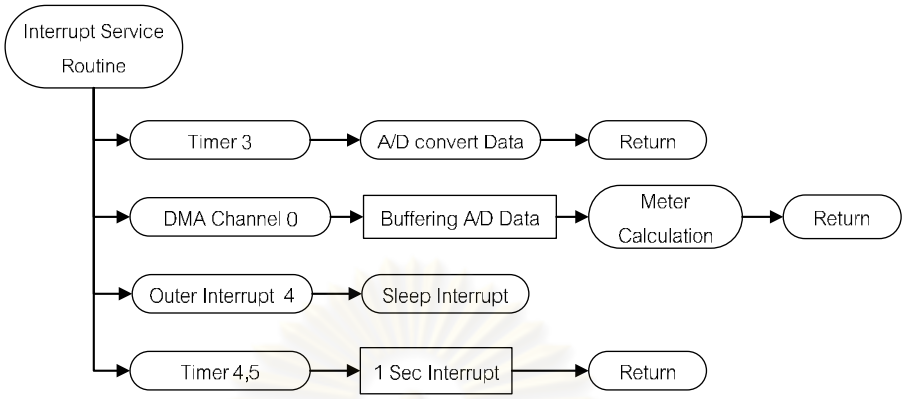
รูปที่ 4-1 โครงสร้างโปรแกรมบนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ

4.1.1. การทำงานของโปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ

การทำงานเริ่มต้นจากตั้งค่าเริ่มต้นให้กับเรจิสเตอร์ สำหรับมอดูลภายนอกและภายในชิปประมวลผล ได้แก่ สำหรับสภาวะหลับ, สำหรับ ADC/DMA, อีอีพร็อม, จอแอลซีดี, มอดูล Zigbee ฯลฯ ดังรูปที่ 4-2b จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่ Zigbee Task ซึ่งเป็นส่วนโปรแกรมสำเร็จรูป Zigbee2006 ของบริษัท Microchip Technology ที่รองรับการติดต่อด้วยโพรโทคอล Zigbee โดยส่วน Zigbee Task จะทำหน้าที่ เช่น การเข้าร่วมเครือข่าย, การดูแลควบคุมความปลอดภัยให้กับข้อมูล และสร้างฟังก์ชั่นสำหรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอล Zigbee ให้สะดวกต่อการเรียกใช้งาน เป็นต้น จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่ส่วนการสื่อสาร ซึ่งใช้สำหรับการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูลผ่านโพรโทคอล Zigbee และสุดท้ายจะเข้าสู่โหมดรอการร้องขอจากสัญญาณขัดจังหวะ เพื่อทำงานในแต่ละประเภทของสัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) ต่อไป โดยมีแต่ละรอบการทำงานดังรูปที่ 4-2a



(a) *(b)*



(c)

รูปที่ 4-2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

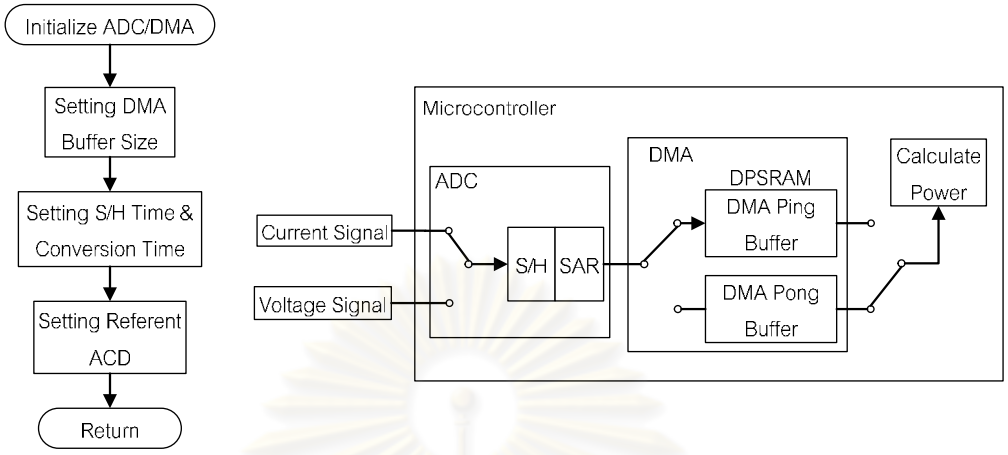
ที่มีระบบอ่านค่าอัตโนมัติ

สัญญาณขัดจังหวะจะถูกสร้างขึ้นจากเหตุการณ์การต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-2c ดังนี้

1. เมื่อตัวตั้งเวลา 120 ไมโครวินาที ส่งสัญญาณขัดจังหวะ สำหรับแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล
2. เมื่อข้อมูลจาก A/D ถูกส่งเข้าบัฟเฟอร์ใน DMA ครบตามขนาดหน่วยความจำที่ตั้งไว้ตอนตั้งค่าเริ่มต้นให้กับเรจิสเตอร์ DMA สำหรับนำค่าไปคำนวณทางคณิตศาสตร์
3. เมื่อระดับแรงดันที่ขาสัญญาณตรวจสอบไฟดับ ลดลงต่ำกว่า 2.3 โวลต์ สำหรับเข้าสู่สภาวะประหยัดพลังงาน
4. เมื่อตัวตั้งเวลา 1 วินาที ส่งสัญญาณขัดจังหวะ สำหรับบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าลงบนอีอีพร็อม

4.1.2. การตั้งค่าเริ่มต้นและการทำงานของหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

การตั้งค่าเริ่มจากตั้งค่าให้กับ DMA (Data Memory Access) สำหรับจัดการเก็บข้อมูลที่แปลงจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแล้วเข้าบัฟเฟอร์ภายใน DMA ซึ่งตั้งขนาดไว้ที่ 640 ไบต์ จำนวน 2 ชุด สำหรับทำงานสลับกันระหว่าง การเก็บข้อมูลและการนำข้อมูลไปประมวลผล จากนั้นตั้งช่วงเวลาระหว่างการชักค่าสัญญาณ และเลือกใช้ระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับหน่วยแปลงสัญญาณด้วยระดับแรงดันอ้างอิงภายนอกเพื่อความแม่นยำของการแปลงข้อมูล ดังรูปที่ 4-3a

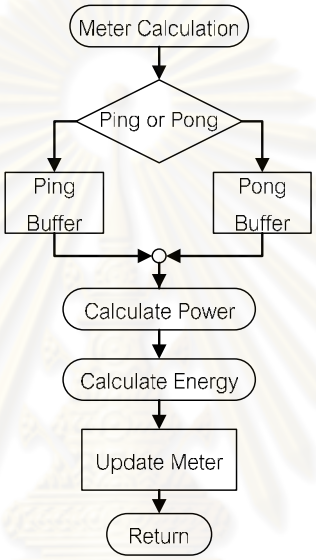


รูปที่ 4-3 แผนผังการตั้งค่าเริ่มต้นและการทำงานของหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ในส่วนการทำงานของหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อก เริ่มจากรับสัญญาณแรงดันและกระแสที่ผ่านการปรับแต่งสัญญาณแล้ว เข้าหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลสลับกัน โดยเริ่มจากชักตัวอย่างสัญญาณกระแสเข้ามาก่อน เมื่อแปลงสัญญาณกระแสเป็นแบบดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นรอตัวตั้งเวลาส่งสัญญาณขัดจังหวะที่เวลาผ่านไป 12.5 ไมโครวินาที โดยตัวตั้งเวลาเริ่มนับมาตั้งแต่ตอนชักตัวอย่างสัญญาณกระแสเข้ามา เมื่อมีสัญญาณขัดจังหวะเข้ามาจึงเริ่มชักตัวอย่างสัญญาณแรงดันเข้าหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกต่อไป และทำงานเช่นนี้สลับกันไป ซึ่งความถี่ในการชักตัวอย่างแรงดันและตัวอย่างกระแสอยู่ที่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เท่ากัน จากนั้นข้อมูลที่แปลงเป็นดิจิทัลจะถูกนำมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์โดยหน่วย DMA (Data Memory Access) ซึ่งเมื่อบัฟเฟอร์เต็มแล้ว ก็จะนำข้อมูลไปคำนวณค่าทางไฟฟ้าต่อไป จากรูปที่ 4-3b จะเห็นว่าภายใน DMA มีบัฟเฟอร์อยู่ 2 ชุด เนื่องจากขณะที่หน่วยประมวลผลของชิปประมวลผลกำลังคำนวณค่าทางไฟฟ้าอยู่ ด้วยการนำข้อมูลที่บันทึกในบัฟเฟอร์ Pong มาใช้ ข้อมูลแรงดันและกระแสจากหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่แปลงอยู่ขณะเดียวกัน จะถูกส่งเข้ามาเก็บยังบัฟเฟอร์ Ping หลังจากที่คำนวณค่าทางไฟฟ้าเสร็จ จะสลับไปรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ Ping มาคำนวณพลังงานแทน ส่วนข้อมูลแรงดันและกระแสจากหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกก็จะถูกส่งเข้ามาเก็บยังบัฟเฟอร์ Pong แทน กระบวนการแบบนี้เรียกว่า Ping-Pong Buffering ซึ่งจะช่วยให้การคำนวณค่าทางไฟฟ้าและการบันทึกข้อมูลเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่มีการขาดหายของสัญญาณในช่วงที่หน่วยประมวลผลกำลังทำงานอยู่ เนื่องจากมีหน่วย DMA ที่ทำงานเป็นอิสระจากหน่วยประมวลผลภายในชิป

4.1.3. โปรแกรมคำนวณค่าทางไฟฟ้า

โปรแกรมในส่วนนี้จะทำหน้าที่ นำข้อมูลแรงดันและกระแสที่แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ที่ถูกเก็บไว้ในบัพเฟอร์ Ping และ Pong โดยสลับกันใช้ทุกรอบการทำงาน ตามที่ได้กล่าวไว้ใน 4.1.2 มาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า จากนั้นก็ปรับค่ากำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ให้เป็นปัจจุบัน ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 แผนผังการการคำนวณค่าทางไฟฟ้า

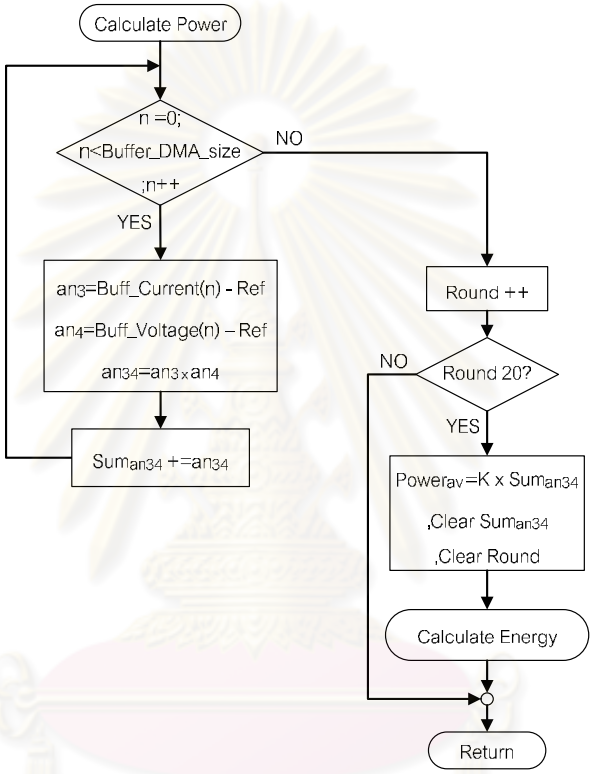
สำหรับโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้ามีการทำงานดังต่อไปนี้

4.1.3.1. โปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้า

การทำงานของโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้า เริ่มจากนำข้อมูลของกระแส (Buffer_Current(n)) และแรงดัน (Buffer_Voltage(n)) ที่บันทึกอยู่ในบัฟเฟอร์ทีละชุดออกมา และนำข้อมูลมาลบออกจากค่าคงที่ค่าหนึ่ง (Ref) เนื่องจากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้ เป็นแบบ Single-End จึงต้องยกระดับของสัญญาณให้ลอยขึ้น ทำให้เมื่อแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัลแล้ว ต้องลดระดับสัญญาณลง โดยการลบด้วยค่าคงที่ (Ref) ทั้งสัญญาณกระแสและแรงดัน จากนั้นนำสัญญาณกระแส (an_3) และแรงดัน (an_4) ที่ได้มาคูณกัน และนำผลคูณ (an_{34}) นั้นมาบวกกันจนครบรอบตั้งแต่รอบที่ n=0 จนถึงรอบที่ n=ขนาดของบัฟเฟอร์ สุดท้ายจะตรวจสอบว่ารอบการทำงานถึงรอบที่ 20 หรือไม่ หากยังไม่ครบให้ออกจากโปรแกรมและก็เก็บค่าผลคูณ (sum_{an34}) ไว้บวกเพิ่มในรอบต่อ ๆ ไป หากครบแล้วจึงจะนำค่าที่ได้ (sum_{an34}) ไปคูณกับค่าคงที่ K

เพื่อปรับระดับของกระแสและแรงดันให้ถูกต้อง โดยค่าคงที่ K ที่นำมาใช้นี้ได้มาจากการสอบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน ค่าที่ได้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้า ($Power_{av}$) ซึ่งโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้านี้เป็นการคำนวณค่าพลังงานตามสมการ (2.5) และ (2.6)

การทำงานของโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 4-5



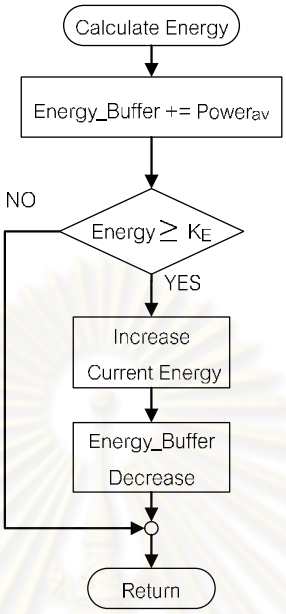
รูปที่ 4-5 แผนผังโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้า

4.1.3.2. โปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้า

การทำงานของโปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้า จะถูกเรียกใช้งานในโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-5 ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ($Power_{av}$) จะเปลี่ยนแปลงในทุก 0.8 วินาที และจากสมการ (2.5) และ (2.6) ทำให้คำนวณค่าพลังงาน (E) ที่เกิดขึ้นได้ ดังสมการ (4.1)

$$E = Power_{av} \times 0.8\,\text{sec.} \times \frac{1\,\text{min.}}{60\,\text{sec.}} \times \frac{1Hr.}{60\,\text{min.}} \quad \text{W-Hr.}$$

$$= 2.2\dot{2} \times 10^{-4} \cdot Power_{av} \quad \text{W-Hr.} \qquad (4.1)$$



รูปที่ 4-6 แผนผังโปรแกรมคำนวณพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4-6 เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะเพิ่มค่าพลังงานสะสม (Energy_Buffer) ด้วยค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ($Power_{av}$) ในรอบการทำงานนั้น ๆ จนถึงรอบการทำงานที่ค่าพลังงานสะสม (Energy_Buffer) ถึงค่าค่าหนึ่ง (K_E) ที่กำหนดไว้ ก็จะเพิ่มค่าพลังงานไฟฟ้าปัจจุบัน (Current Energy) ขึ้น 1 W-Hr และลดค่าพลังงานสะสม (Energy_Buffer) ลง ด้วยค่า K_E ค่าพลังงานสะสมที่เหลือจะนำไปเป็นค่าตั้งต้น เพื่อนำไปบวกกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ($Power_{av}$) ในรอบการทำงานต่อ ๆ ไป

ค่า K_E คำนวณได้จากสมการ (4.2) และจากสมการ เมื่อค่าพลังงานสะสม (Energy_Buffer) ถึงค่า 4,500 แล้ว จะทำให้ค่าพลังงาน (W) มีค่าเป็น 1 วัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นค่าคงที่ (K_E) จึงเท่ากับ 4,500

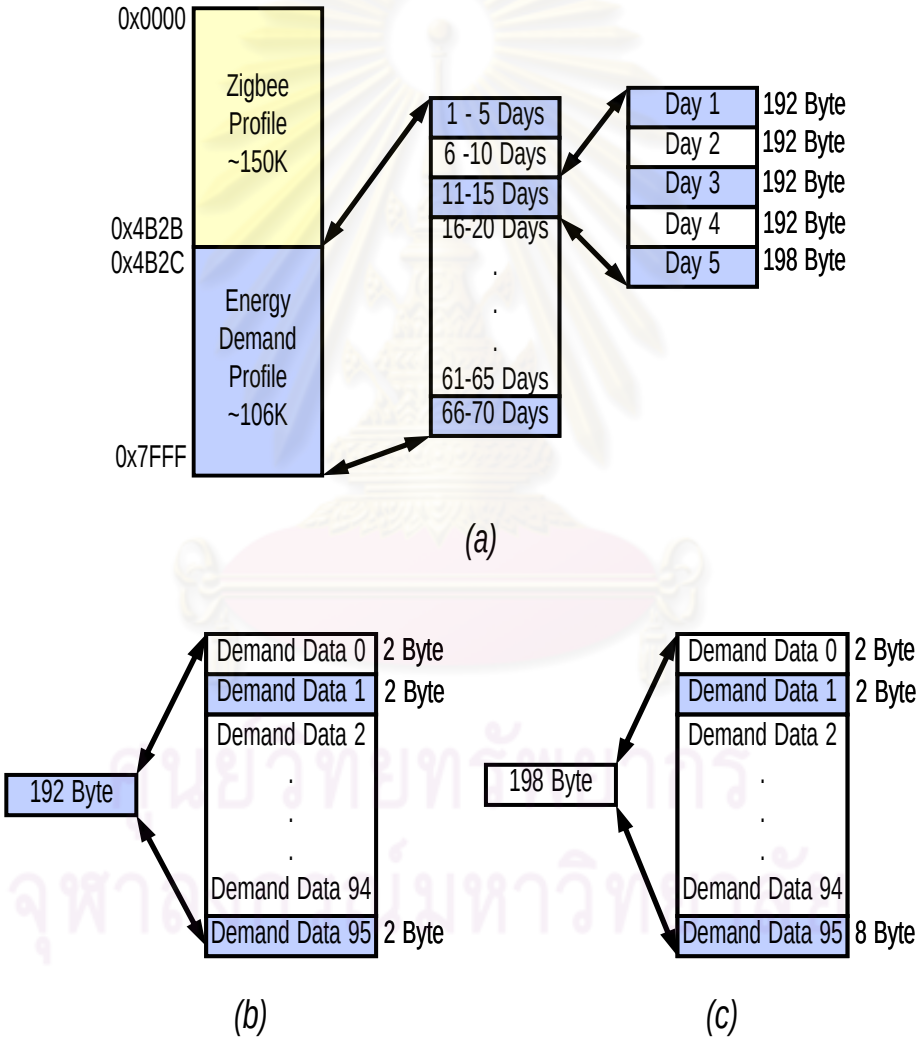
$$\begin{aligned} \mathrm{E} &= 2.22\times10^{-4}\times Energy_Buffer \\ Energy_Buffer &= 4,500 \qquad \mathbf{Q}\,\mathrm{E}=1 \end{aligned} \tag{4.2}$$

4.1.4. โปรแกรมการติดต่อกับอีอีพร็อม

พื้นที่ในการเก็บข้อมูลในอีอีพร็อมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 4-7a ได้แก่ พื้นที่สำหรับบันทึกข้อมูลที่ใช้ในโพรโทคอล Zigbee โดยเริ่มตั้งแต่เรจิสเตอร์เลขที่ (Address Register) 0x0000 ถึง 0x4B2B และพื้นที่สำหรับบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบทุก ๆ 15 นาที ตั้งแต่เรจิสเตอร์เลขที่ (Address Register) 0x4B2C ถึง 0x7EEE ซึ่งใช้พื้นที่ครั้งละ 2 ไบต์ โดยเก็บ

เฉพาะผลต่างของรอบการใช้พลังงานไฟฟ้า 15 นาที ล่าสุด เพื่อลดการใช้พื้นที่บนอีอีพร็อม และเมื่อเวลาผ่านไปทุก ๆ 5 วัน จะมีการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าขณะนั้น (Current Energy) 1 ครั้ง โดยใช้พื้นที่ 8 ไบต์ สำหรับเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง

รูปที่ 4-7b แสดงถึงการบันทึกข้อมูลที่เก็บครั้งละ 2 ไบต์ เป็นเวลา 1 วัน และรูปที่ 4-7c แสดงถึงวันสุดท้ายของการบันทึกข้อมูลในรอบทุก ๆ 5 วัน โดยตำแหน่งสุดท้ายจะเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าขณะนั้น (Current Energy) ที่ใช้พื้นที่ 8 ไบต์

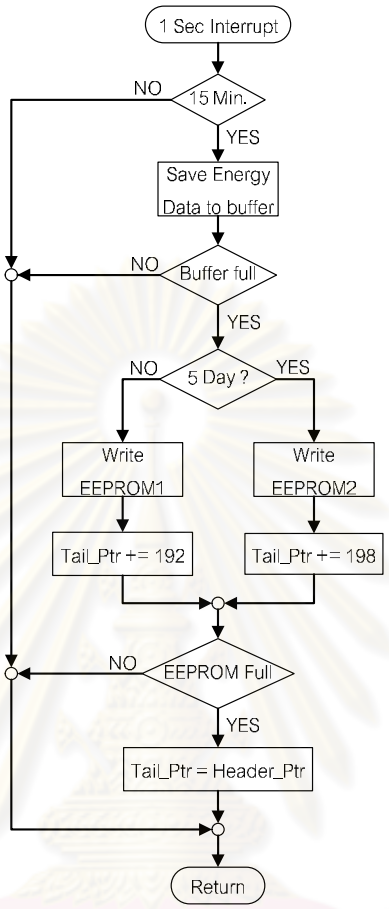


รูปที่ 4-7 แผนผังการแบ่งพื้นที่อีอีพร็อมและรูปแบบข้อมูลในการจัดเก็บ

โปรแกรมการบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าลงบนอีอีพร็อม โดยโปรแกรมมีตัวควบคุมตำแหน่งบนอีอีพร็อม 2 ตัว คือ Header_Ptr และ Tail_Ptr ทำหน้าที่เป็นดัชนีชี้ตำแหน่งแรกของพื้นที่ใช้เก็บข้อมูล และตำแหน่งปัจจุบันตามลำดับ

การตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า จะเริ่มด้วยการขัดจังหวะทุก ๆ 1 วินาที โปรแกรมจะตรวจสอบเวลาในขณะนั้นว่าผ่านไป 15 นาที แล้วหรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะจบโปรแกรมลง ถ้าใช่จะบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ลงในบัฟเฟอร์ก่อน เนื่องจากการเขียนโปรแกรมลงบนอีอีพร็อมบ่อยครั้งเกินไปจะลดอายุการใช้งานของอีอีพร็อมลง จากนั้นตรวจสอบว่าเก็บข้อมูลเต็มบัฟเฟอร์ที่ตั้งไว้สำหรับระยะเวลา 96 ค่า หรือ 1 วัน หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้จบโปรแกรม ถ้าใช่ให้เข้าสู่กระบวนการบันทึกข้อมูลลงอีอีพร็อม โดยการตรวจสอบต่อว่าเป็นรอบที่ 5 (ผ่านไป 5 วัน) หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ตลอดทั้ง 1 วันที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์ ลงบนอีอีพร็อมในตำแหน่งที่ Tail_Ptr ชี้อยู่ และปรับค่า Tail_Ptr เพื่อชี้ตำแหน่งของการบันทึกในครั้งต่อไป แต่ถ้าใช่ก็จะบันทึกเพิ่มในส่วนพลังงานไฟฟ้าขณะนั้น (Currernt Energy) ลงไปเพิ่มด้วย และปรับ Tail_Ptr เพิ่มขึ้นกว่าเดิม ตามขนาดที่ใช้สำหรับเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าขณะนั้น (Current Energy) ดังรูปที่ 4-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

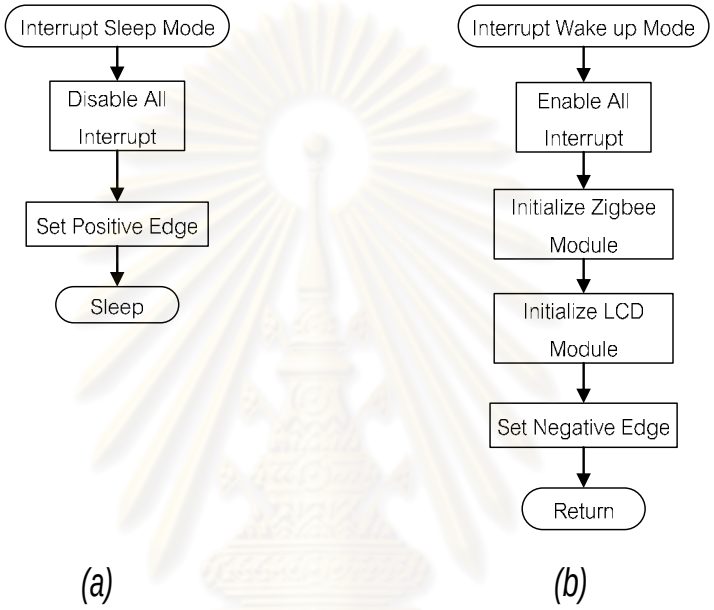


รูปที่ 4-8 แผนผังของโปรแกรมการบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าลงอีอีพร็อม

4.1.5. โปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟดับ

โปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟดับ ใช้การขัดจังหวะของขาสัญญาณที่ขา INT4 ซึ่งต่อกับวงจรตรวจสอบไฟดับ เมื่อเกิดสัญญาณขัดจังหวะขึ้นดังรูปที่ 4-9a โปรแกรมจะเริ่มจากยกเลิกการขัดจังหวะชนิดอื่น ๆ ทั้งหมด และกำหนดขาสัญญาณ INT4 เปลี่ยนจากเกิดการขัดจังหวะเมื่อเกิดขอบสัญญาณขาลง ให้เป็นเกิดการขัดจังหวะเมื่อเกิดขอบสัญญาณขาขึ้น จากนั้นก็สั่งการให้ซิปประมวลผลเข้าสู่สภาวะหลับ โดยในขณะที่ไฟดับ ซิปประมวลผลจะได้รับไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ 3 โวลต์ สำหรับรักษาค่าพลังงานไฟฟ้าขณะนั้น (Current Energy) และค่าพลังงานไฟฟ้าทุกช่วง 15 นาที ที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภายในซิปประมวลผล รอบันทึกลงบนอีอีพร็อมเมื่อครบ 1 วัน โดยในขณะที่ไฟดับ การทำงานของมิเตอร์ในส่วนการวัดพลังงาน, การแสดงผลหน้าจอแอลซีดี และการติดต่อตัวกับตัวประสาน (Coordinator) รวมถึงมิเตอร์เครื่องอื่น ๆ จะไม่สามารถทำได้

เมื่อระดับแรงดันกลับเป็นสภาวะปรกติ จะเกิดการขัดจังหวะที่ขา INT4 เช่นกัน ต่อจากนั้นเปิดการขัดจังหวะชนิดอื่น ๆ ทั้งหมด ให้กลับมาทำงานเช่นเดิม จากนั้นตั้งค่าเริ่มต้นให้มอดูล Zigbee และมอดูลแอลซีดีใหม่อีกครั้ง และสุดท้ายกำหนดขา INT4 ให้เกิดการขัดจังหวะเมื่อเกิดขอบสัญญาณขาลงเช่นเดิม ดังรูปที่ 4-9b



รูปที่ 4-9 แผนผังของโปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟดับ

4.1.6. โปรแกรมสื่อสารในชั้นประยุกต์

ภายในเครือข่ายการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติใช้รูปแบบเครือข่ายแบบ Cluster Tree ตามรายละเอียด 2.2.2 เมื่อจัดโครงข่ายเสร็จสิ้นทั้งระบบ มิเตอร์แต่ละเครื่องจะมีที่อยู่ (Short Address) เป็นเสมือนชื่อใช้สำหรับติดต่อกันภายในเครือข่าย โดยมีตัวประสาน (Coordinator) ที่มีที่อยู่ (Short Address) คือ 0x0000 เสมอ ซึ่งการจัดรูปแบบโครงข่ายและการจัดการแจกที่อยู่ (Short Address) ถูกทำโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Zigbee 2006 ที่ใส่อยู่บนชิปประมวลผล ของตัวประสาน (Coordinator) และมิเตอร์ทุกตัว

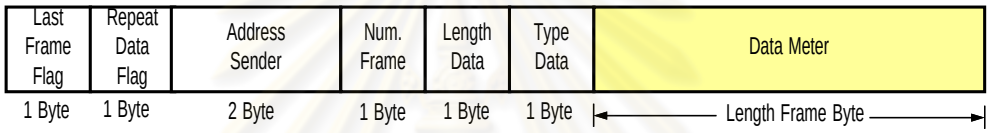
การส่งข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ทำโดยส่งข้อมูลเข้าบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล ใส่ที่อยู่ (Short Address) ปลายทางที่จะส่งลงเรจิสเตอร์ปลายทาง และสั่งให้โปรแกรมสำเร็จรูป

Zigbee2006 ส่งข้อมูลให้โดยอัตโนมัติ และสำหรับการรับข้อมูล เมื่อมีข้อมูลเข้ามา โปรแกรมสำเร็จรูป Zigbe2006 ก็จะส่งสัญญาณให้เข้าไปนำมูลออกมาจากบัฟเฟอร์

การส่งข้อมูลในเครือข่ายอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัตินี้ ได้เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโพรโทคอล Zigbee ภายในชั้นประยุกต์ สำหรับควบคุมจังหวะขั้นตอนการรับส่ง ให้สามารถอ่านมิเตอร์แบบทวนสัญญาณข้อมูลได้

4.1.6.1. รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในชั้นประยุกต์

รูปแบบของกลุ่มข้อมูลของการส่งข้อมูลที่ใช้ในชั้นประยุกต์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 4-10 คือ



รูปที่ 4-10 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในชั้นประยุกต์

- Last Frame Flag มีขนาด 1 ไบต์ สำหรับให้ผู้รับตรวจสอบว่า กลุ่มข้อมูลนี้เป็นกลุ่มข้อมูลสุดท้ายของการส่งหรือไม่ เนื่องจากการส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที ต้องมีการส่งหลายกลุ่มข้อมูล ทำให้ต้องแจ้งว่าเป็นกลุ่มข้อมูลสุดท้ายแล้วหรือไม่ ถ้าเป็นจะมีค่าเป็น 0x79 ถ้าไม่ใช่จะมีค่าเป็น 0x33
- Repeat Data Flag มีขนาด 1 ไบต์ สำหรับให้ผู้รับตรวจสอบว่าข้อมูลที่ถูกส่งมาเป็นข้อมูลของผู้ส่งเอง หรือเป็นข้อมูลที่รับมาอีกต่อหนึ่ง (ไม่ใช่เป็นข้อมูลของผู้ส่ง) เพื่อใช้เปลี่ยนสถานะในแผนผัง ASM (Algorithmic State Machine) ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ4.1.6.2 โดยถ้าเป็นข้อมูลของผู้ส่งเองจะมีค่าเป็น 0x66 และถ้าเป็นข้อมูลที่รับมาอีกต่อหนึ่ง จะมีค่าเป็น 0x44
- Address Sender มีขนาด 2 ไบต์ เป็นค่าที่อยู่ (Short Address) ของเจ้าของข้อมูล
- Number of Frame มีขนาด 1 ไบต์ คือ ค่าเลขที่ของกลุ่มข้อมูลว่าเป็นกลุ่มข้อมูลที่เท่าไหร่ เนื่องจากส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที ต้องมีการส่งหลายกลุ่มข้อมูล
- Length of Data มีขนาด 1 ไบต์ คือ ขนาดความยาวของข้อมูล (Data Meter) ว่ามีกี่ไบต์
- Type of Data มีขนาด 1 ไบต์ คือประเภทของข้อมูล มีด้วยกัน 3 ประเภท ดังนี้

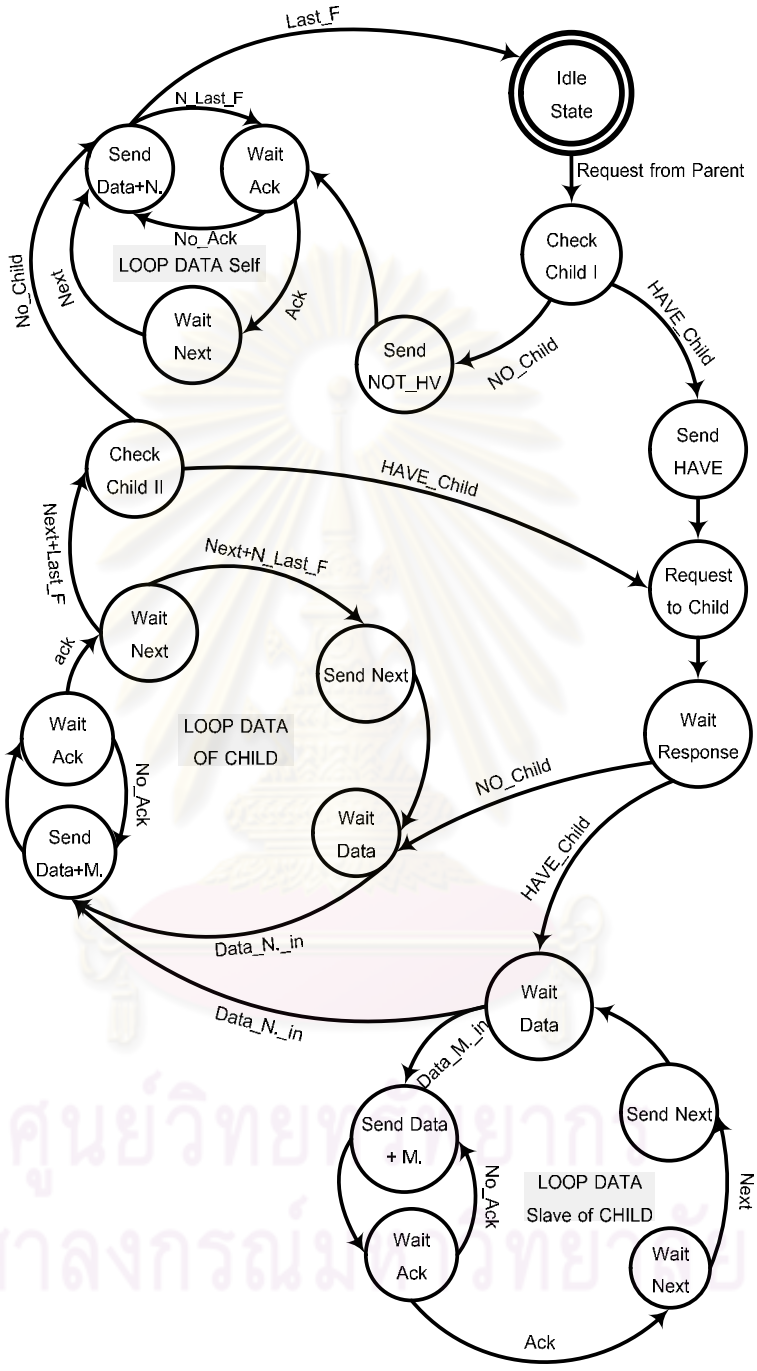
- ข้อมูลที่ส่งคือ MAC Address ของผู้ส่ง Type of Data จะมีค่าเป็น 0x21
- ข้อมูลที่ส่งคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าขณะนั้น (Current Energy) Type of Data จะมีค่าเป็น 0x04
- ข้อมูลที่ส่งคือ การใช้พลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที Type of Data จะมีค่าเป็น 0x11

- Data Meter มีขนาดเท่ากับ Length of Data ไบต์ จะเป็นข้อมูลของผู้ส่งประเภทไหนขึ้นอยู่กับ Type of Data ของกลุ่มข้อมูลนั้น

4.1.6.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของโพรโทคอล Zigbee

โปรแกรมควบคุมการทำงานของโพรโทคอล Zigbee บนมิเตอร์ คือส่วนที่ควบคุมขั้นตอนในการดำเนินงานของกระบวนการต่างในการส่งข้อมูลภายในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามแผนผัง ASM (Algorithmic State Machine) ดังรูปที่ 4-11 โดยส่วนควบคุมลำดับการทำงานต่าง ๆ ของโพรโทคอล ได้นำหลักการทำงานแบบกลไกลำดับขั้น (State Machine) มาใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-11 แผนผัง ASM คุมลำดับการทำงานของโพรโทคอลบนชั้นประยุกต์บนมิเตอร์

เริ่มต้นจากเมื่อได้รับการร้องขอข้อมูลจากอุปกรณ์แม่ (Parent) ก็จะตรวจสอบว่ามีลูก (Child) ต่อจากมิเตอร์เองอีกหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะเข้าสถานะ Sent Not HAVE เพื่อส่งข้อมูลกลับมาบอกอุปกรณ์แม่ (Parent) ว่าไม่มีลูก (Child) ต่อแล้ว และจะเข้าสู่กระบวนการส่งข้อมูลของมิเตอร์

เอง (Loop Data Self) แต่ถ้ามีลูกต่อ ก็จะเข้าสู่สถานะ Send HAVE เพื่อส่งบอกกลับทางอุปกรณ์แม่ (Parent) ว่ายังมีลูก (Child) ต่อไปอีก

หลังจากเข้าสู่สถานะ Send HAVE แล้ว มิเตอร์จะเข้าสู่สถานะร้องขอข้อมูลจากลูก (Child) และรอการตอบกลับของมิเตอร์ลูก (Child) ที่สถานะ Wait Response ถ้าลูก (Child) ตอบกลับมาว่ามีลูกของลูกอีก ก็จะเข้าสู่กระบวนการส่งข้อมูลของลูกหลานของลูก (Loop Data Slave of Child) แต่ถ้าลูก (Child) ตอบกลับมาว่าไม่มีก็จะเข้าสู่กระบวนการรับข้อมูลจากลูกมิเตอร์เอง (Loop Data of Child) ต่อไป

และเมื่อรับข้อมูลจากลูก (Child) ตัวหนึ่ง ๆ ใน Loop Data of Child จนได้ข้อมูลครบแล้ว ก็จะเข้าสู่สถานะตรวจสอบว่ามีลูกอีกหรือไม่ (Check Child II) ถ้ามีก็จะร้องขอข้อมูลจากลูก (Child) ต่อไป แต่ถ้าไม่มีก็จะส่งข้อมูลของมิเตอร์เองจนเสร็จ แล้วจึงเข้าสู่สถานะนิ่ง (Idle State) ตามเดิมเพื่อรอการร้องขอจากอุปกรณ์แม่ (Parent) ในครั้งต่อไป

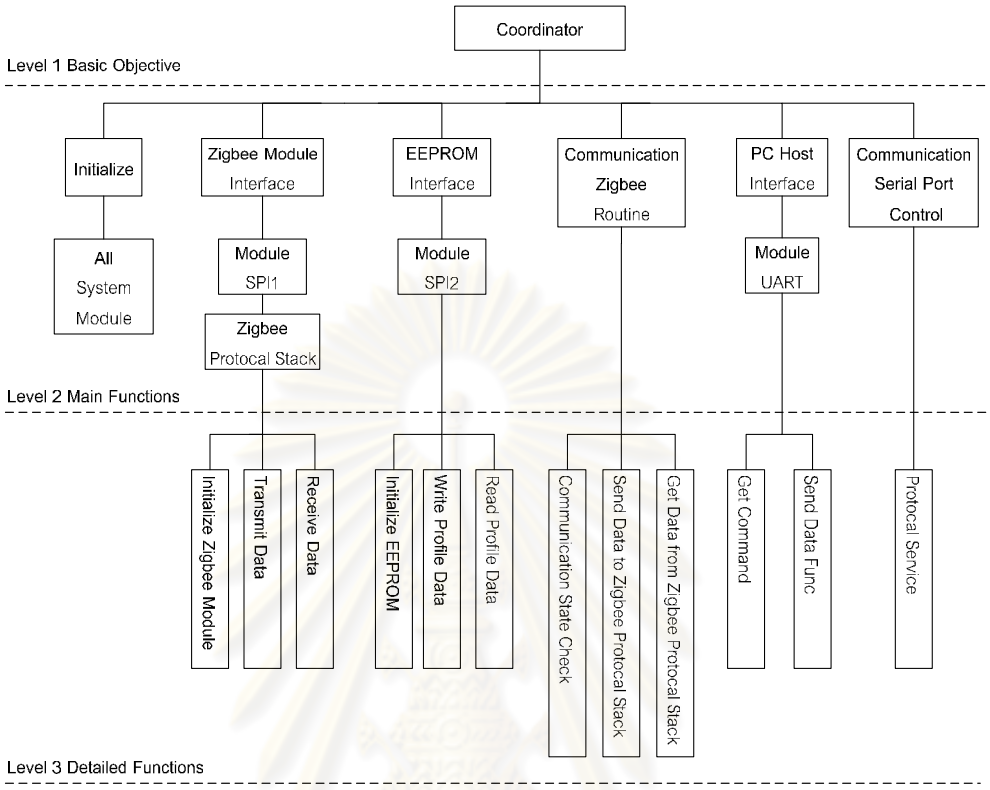
4.2. โปรแกรมควบคุมตัวประสาน

โปรแกรมควบคุมตัวประสาน (Coordinator) เป็นโปรแกรมที่เป็นตัวกลางในการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์ที่อยู่ภายในเครือข่าย Zigbee ออกมา และส่งข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ทางช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port)

4.2.1. โครงสร้างของโปรแกรมควบคุมตัวประสาน

โปรแกรมควบคุมตัวประสาน (Coordinator) มีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 4-12 ประกอบไปด้วย โปรแกรม 2 ส่วน หลัก ๆ คือ โปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับโพรโทคอล Zigbee และโปรแกรมติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางมอดูล UART

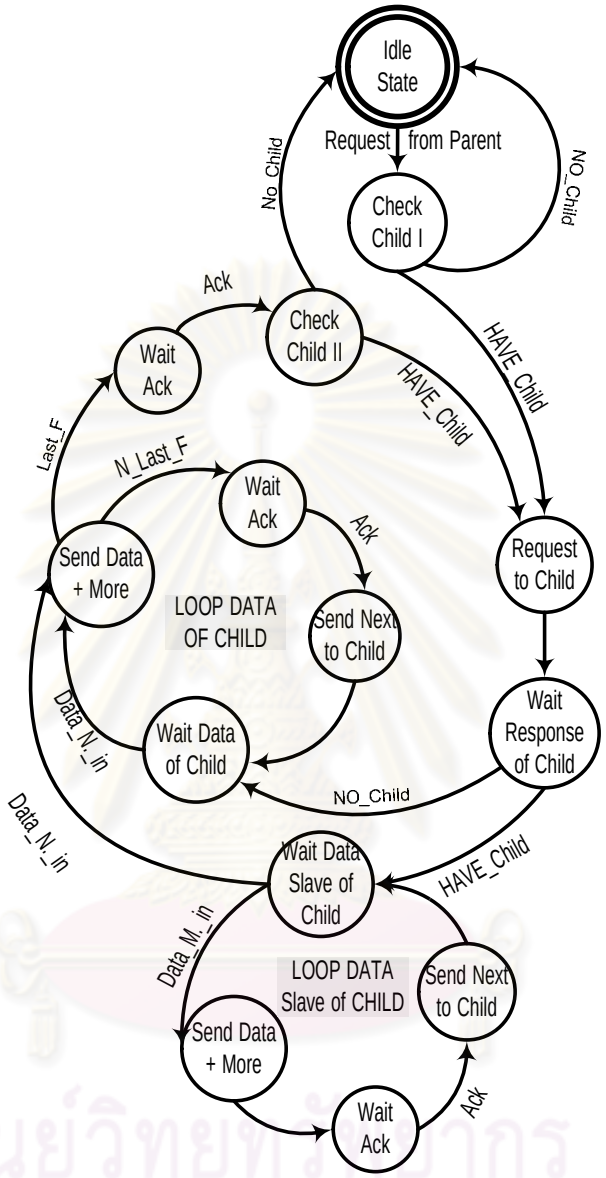
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-12 โครงสร้างโปรแกรมควบคุมตัวประสาน (Coordinator)

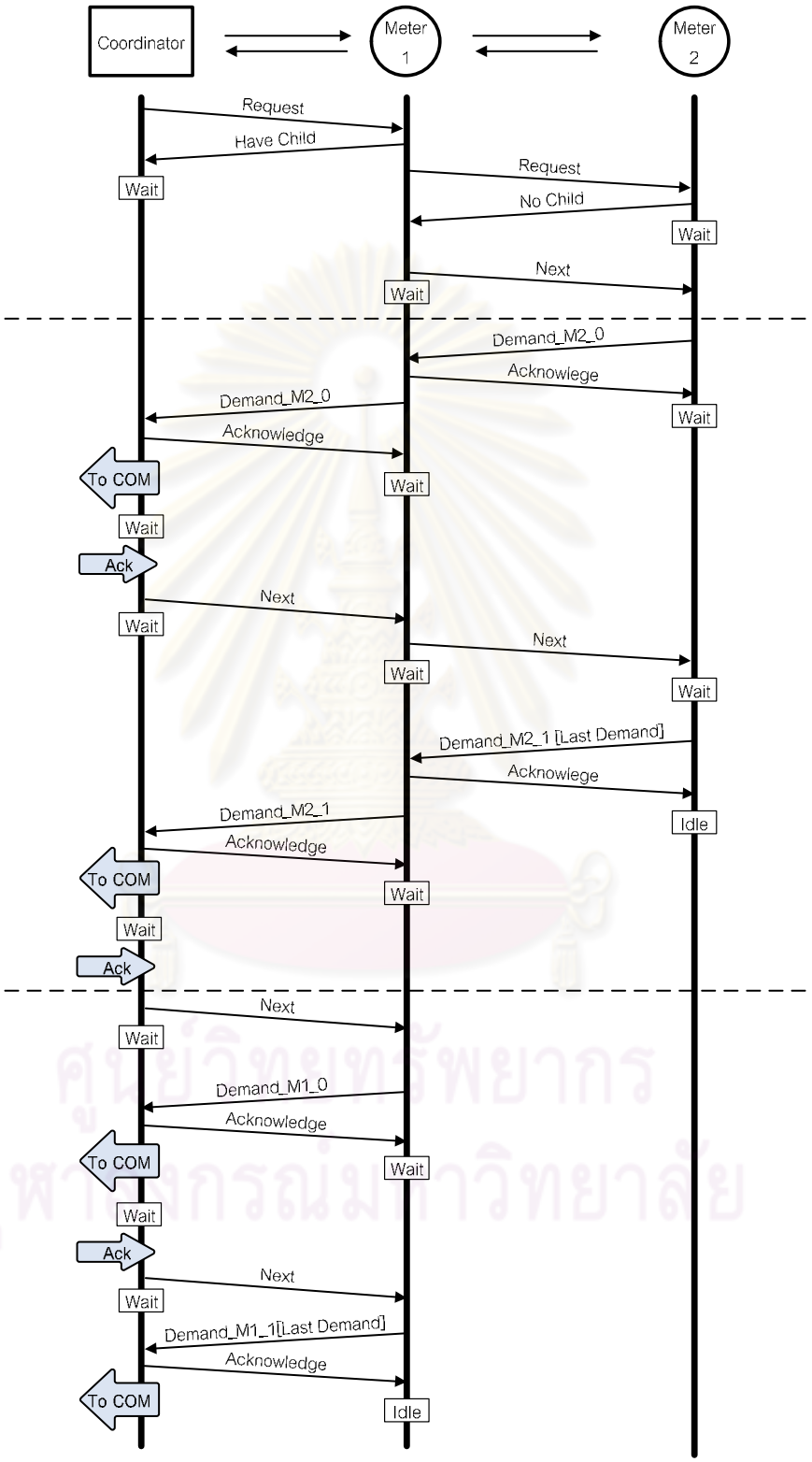
4.2.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานสำหรับโพรโทคอล Zigbee

โปรแกรมควบคุมการทำงานโพรโทคอล Zigbee บนตัวประสาน (Coordinator) จะมีการทำงานคล้ายโปรแกรมควบคุมการทำงานของโพรโทคอล Zigbee บนมิเตอร์ แต่จะแตกต่างที่สถานะ (State) จะน้อยกว่า และการรอร้องขอข้อมูล จะตอบสนองการร้องขอข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ รวมถึงการส่งข้อมูลจะเป็นการส่งข้อมูลออกไปทางมอดูล UART เข้าคอมพิวเตอร์แทน โดยมีแผนผัง ASM (Algorithmic State Machine) ดังรูปที่ 4-13



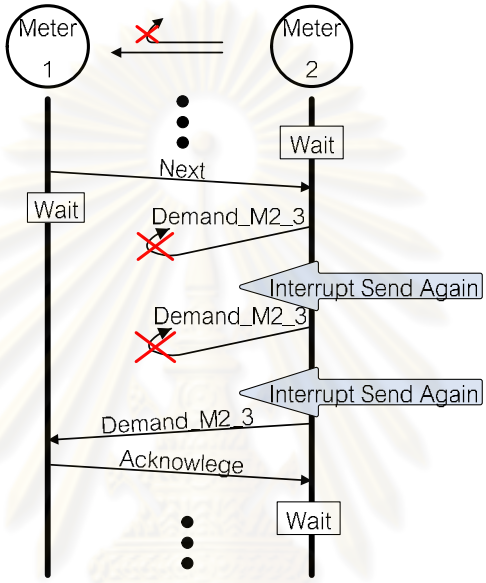
รูปที่ 4-13 แผนผัง ASM การคุมลำดับการทำงานของโพรโทคอล บนชั้นประยุกต์บนตัวประสาน (Coordinator)

รูปที่ 4-14 แสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลตามแผนผัง ASM (Algorithmic State Machine) โดยมีตัวประสาน (Coordinator) 1 เครื่อง และมิเตอร์ 2 เครื่อง ได้แก่ มิเตอร์หมายเลข 1 และมิเตอร์หมายเลข 2 ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลที่เป็นข้อมูลของมิเตอร์1 และมิเตอร์2 เครื่องละ 2 กลุ่มข้อมูลเช่นกัน เมื่อตัวประสาน (Coordinator) ได้รับกลุ่มข้อมูล ก็จะส่งข้อมูลต่อไปยังคอมพิวเตอร์ทางช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) ต่อไป



รูปที่ 4-14 แผนผังแสดงตัวอย่างกระบวนการควบคุมการส่งข้อมูลด้วยโพรโทคอล Zigbee

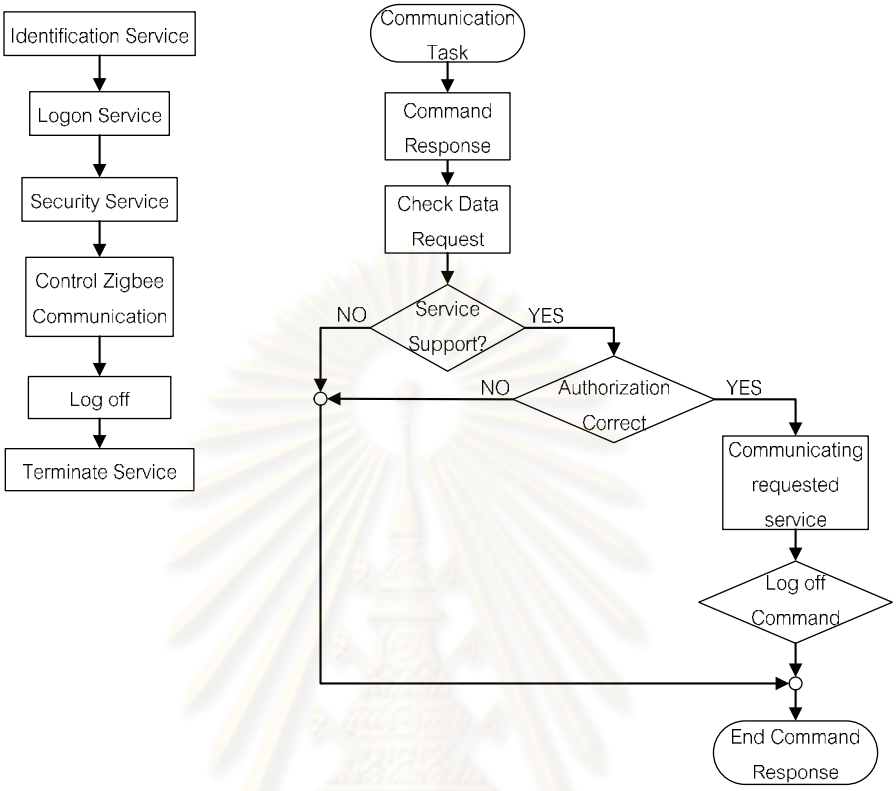
รูปที่ 4-15 แสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลซ้ำ โดยมีมิเตอร์ 2 เครื่อง ได้แก่ มิเตอร์หมายเลข 1 และมิเตอร์หมายเลข 2 เมื่อมิเตอร์2 ส่งข้อมูลให้กับมิเตอร์1 แต่ไม่มีการตอบกลับ (Acknowledge) จากมิเตอร์1 เป็นเวลานานกว่า 0.5 วินาที มิเตอร์2ก็จะส่งข้อมูลเดิมออกไปอีกครั้ง จนกว่าจะได้รับการตอบกลับ (Acknowledge) มา



รูปที่ 4-15 แผนผังแสดงตัวอย่างกระบวนการส่งข้อมูลซ้ำเมื่อปลายทางยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล

4.2.3. โปรแกรมควบคุมการติดต่อผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม

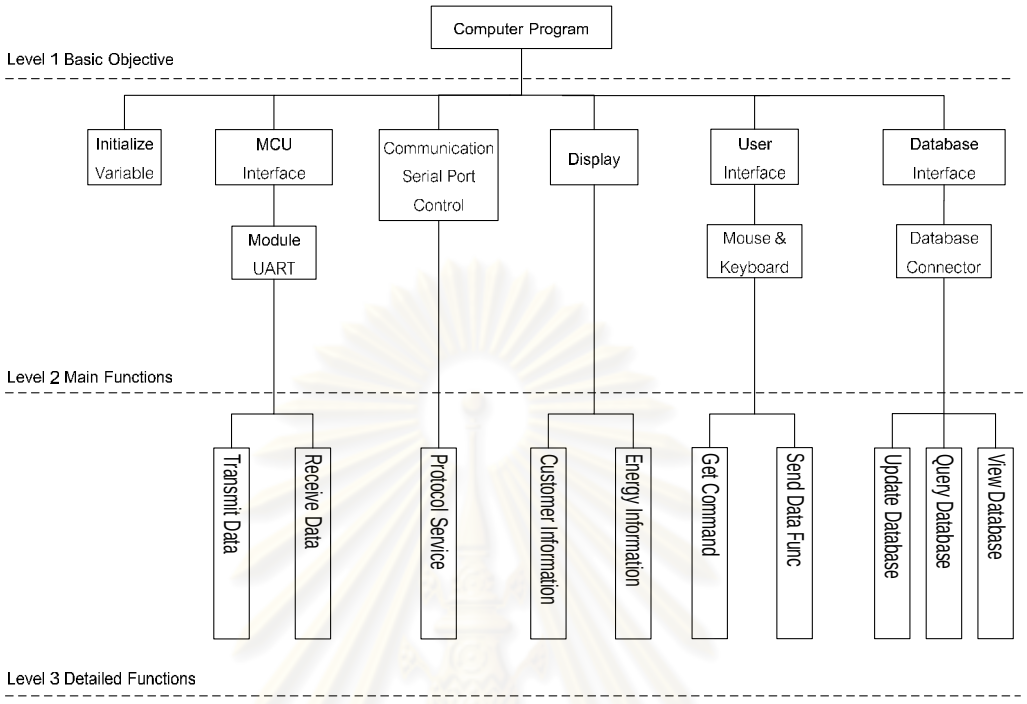
โปรแกรมควบคุมการติดต่อผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) เพื่อใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โปรแกรมจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน โดยดัดแปลงมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 มาใช้ ซึ่งลำดับขั้นตอนการติดต่อเป็นดังรูปที่ 4-16a และโปรแกรมควบคุมมีการทำงานดังรูปที่ 4-16b สำหรับขั้นตอนแรก เริ่มจากรับการร้องขอที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นตรวจสอบว่าระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัตินี้สนับสนุนกระบวนการที่ร้องขอหรือไม่ และเข้าสู่ขั้นตอนลงทะเบียนผู้ใช้งาน หากกระบวนการร้องขอถูกต้อง จะอนุญาตให้ผู้ใช้ติดต่อกับระบบเครือข่ายมิเตอร์ผ่านทางโพรโทคอล Zigbee ได้ และหลังจากติดต่อรับส่งข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะรอรับคำสั่งร้องขอลงทะเบียนปิดจากผู้ใช้ เพื่อออกจากโปรแกรม



รูปที่ 4-16 แผนผังการติดต่อผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port)

4.3. โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ 2 หน้าที่หลัก ๆ คือ ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูล (Database) จัดการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเก็บข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ พร้อมกับทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) ในการเก็บข้อมูลของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ, แสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า, แสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับเจ้าของมิเตอร์, ทำหน้าที่ติดต่อกับตัวประสาน (Coordinator) ทางโปรแกรมควบคุมที่ช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) และทำหน้าที่ติดต่อกับฐานข้อมูล (Database) เพื่อนำข้อมูลเข้าไป เพิ่มเติม, แก้ไข, และปรับปรุง ดังรูปที่ 4-17



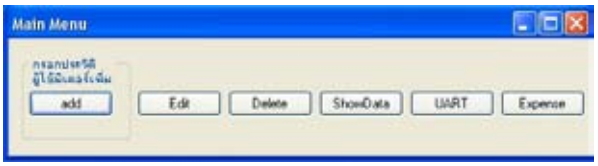
รูปที่ 4-17 โครงสร้างซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์

4.3.1. การทำงานของโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้

โปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา Vitual Basic (VB) บนโปรแกรม Microsoft Visual Studio เป็นส่วนที่ใช้เพื่อความสะดวกในการอ่านมิเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเก็บไว้ในรูปแบบของฐานข้อมูล (Database) และการติดต่อกับฐานข้อมูลโดยมีการออกแบบหน้าต่างแสดงผลไว้ 6 หน้าต่าง ด้วยกัน ได้แก่ หน้าต่างรายการเลือกหลัก (Main Manu), หน้าต่างติดต่อกับระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port), หน้าต่างแสดงผลข้อมูล, หน้าต่างเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์, หน้าต่างแก้ไขข้อมูลของเจ้าของมิเตอร์ และหน้าต่างลบข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ออกจากฐานข้อมูล

4.3.1.1. หน้าต่างรายการเลือกหลัก

เป็นหน้าต่างแสดงผลหลัก เพื่อเข้าสู่หน้าต่างการทำงานอื่น ๆ ต่อไป ได้แก่ เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างการเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์ ให้กดปุ่ม Add, เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างแก้ไขข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ ให้กดปุ่ม Edit, เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างลบข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ออกจากฐานข้อมูล ให้กดปุ่ม Delete, เมื่อต้องการติดต่อกับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ ให้กดปุ่ม UART และเมื่อต้องการคิดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้มิเตอร์ ให้กดปุ่ม Expense ดังรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-18 หน้าต่างรายการเลือกหลัก (Main Menu)

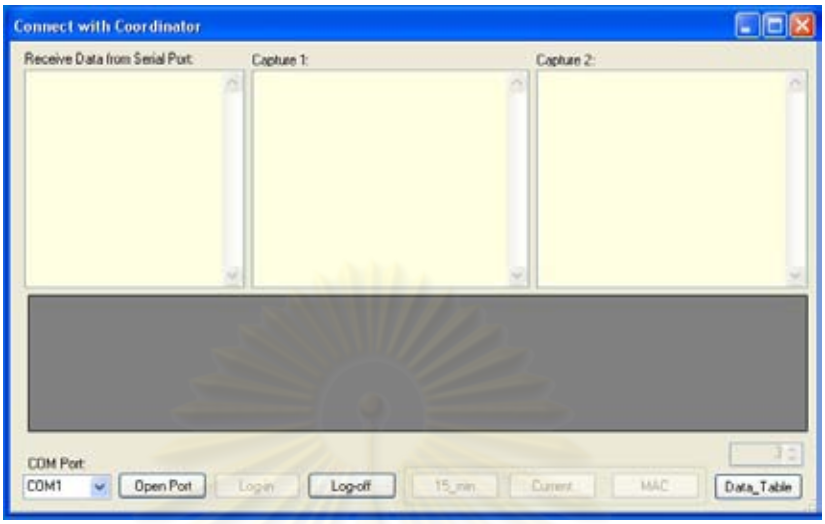
4.3.1.2. **หน้าต่างติดต่อกับระบบอ่านมิเตอร์ผ่านทางช่องทางข้อมูลอนุกรม**

ภายในหน้าต่างมีพื้นที่ Receive Data from Serial Port สำหรับแสดงผลข้อมูลที่ส่งผ่านช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) และ Capture1 กับ Capture2 สำหรับแสดงข้อมูลที่ตัดแล้วเพื่อนำเข้าฐานข้อมูลต่อไป ดังรูปที่ 4-19

พื้นที่ด้านล่างของหน้าต่างประกอบไปด้วยปุ่มควบคุม ดังนี้

- ปุ่ม Open Port สำหรับเริ่มติดต่อกับช่องทางข้อมูลอนุกรม
- ปุ่ม Log-in สำหรับเริ่มต้นการติดต่อกับตัวประสาน (Coordinator) เพื่อขอลงทะเบียนใช้งาน
- ปุ่ม Log-off สำหรับลงทะเบียนออกจากการเชื่อมกับตัวประสาน (Coordinator)
- ปุ่ม 15-min สำหรับเรียกข้อมูลการใช้พลังงานทุก 15 นาที จากมิเตอร์
- ปุ่ม Current สำหรับเรียกข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าปัจจุบัน จากมิเตอร์
- ปุ่ม MAC สำหรับเรียกข้อมูลค่า MAC Address จากมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



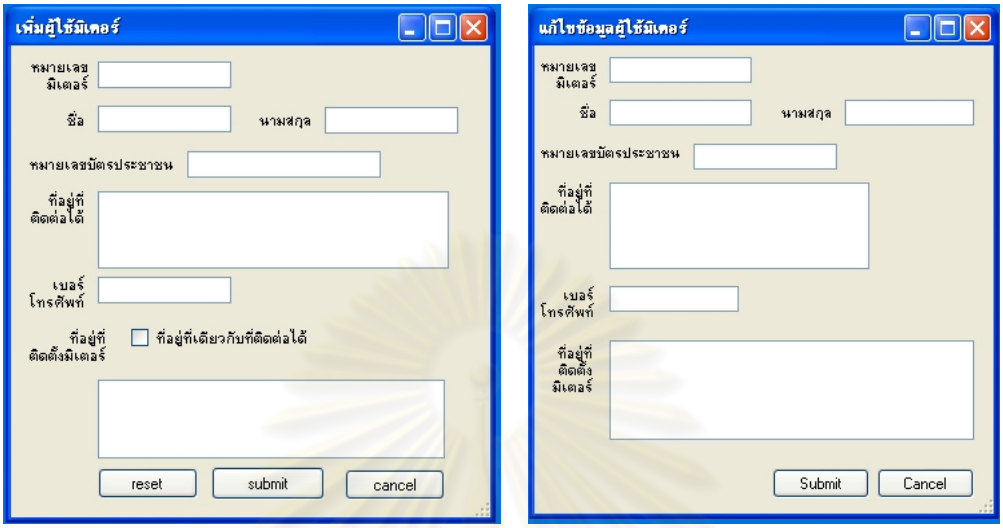
รูปที่ 4-19 หน้าต่างติดต่อกับระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ

ผ่านทางช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port)

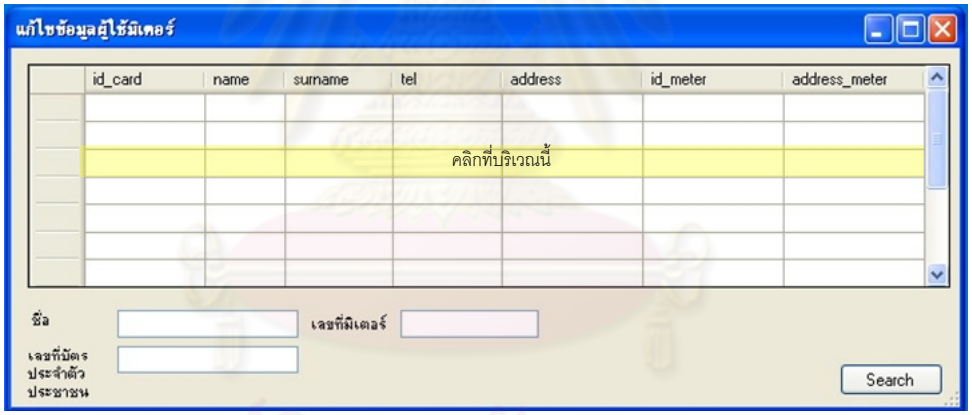
4.3.1.3. หน้าต่างเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์และหน้าต่างแก้ไขข้อมูล

หน้าต่างเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์ และหน้าต่างแก้ไขข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ ใช้สำหรับเพิ่มข้อมูลเข้าไปในฐานข้อมูล และเมื่อต้องการแก้ไขข้อมูล สามารถค้นหาด้วยการกรอกชื่อ, เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน และเลขที่มิเตอร์ กรอกที่ใดที่หนึ่ง หรือทั้ง 3 ที่, กดปุ่ม Search และให้คลิกที่พื้นที่บริเวณเจ้าของมิเตอร์รายนั้น ดังรูปที่ 4-20c ก็จะปรากฏหน้าสำหรับแก้ไขข้อมูลขึ้นมา ดังรูปที่ 4-20b

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) *(b)*

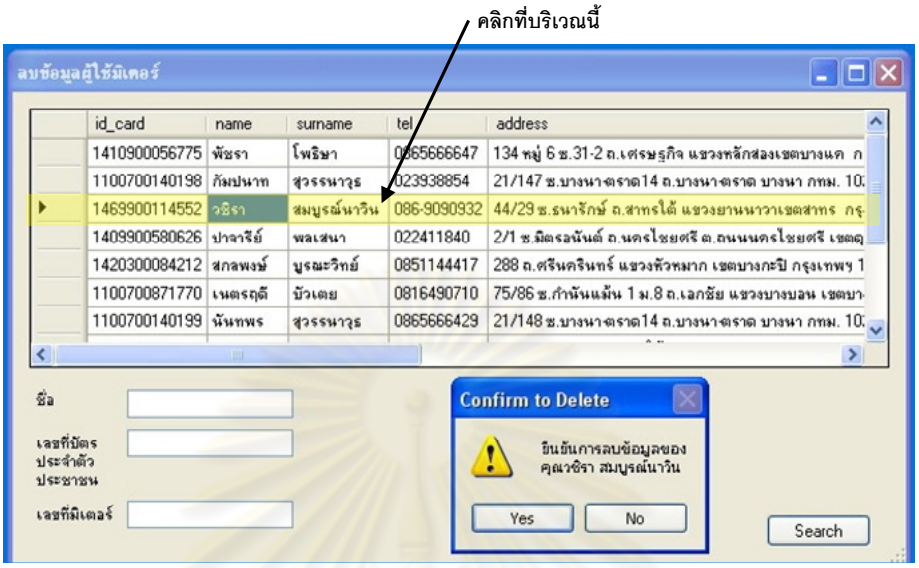


(c)

รูปที่ 4-20 หน้าต่างเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์และหน้าต่างแก้ไขข้อมูลเจ้าของมิเตอร์

4.3.1.4. หน้าต่างลบข้อมูลเจ้าของมิเตอร์

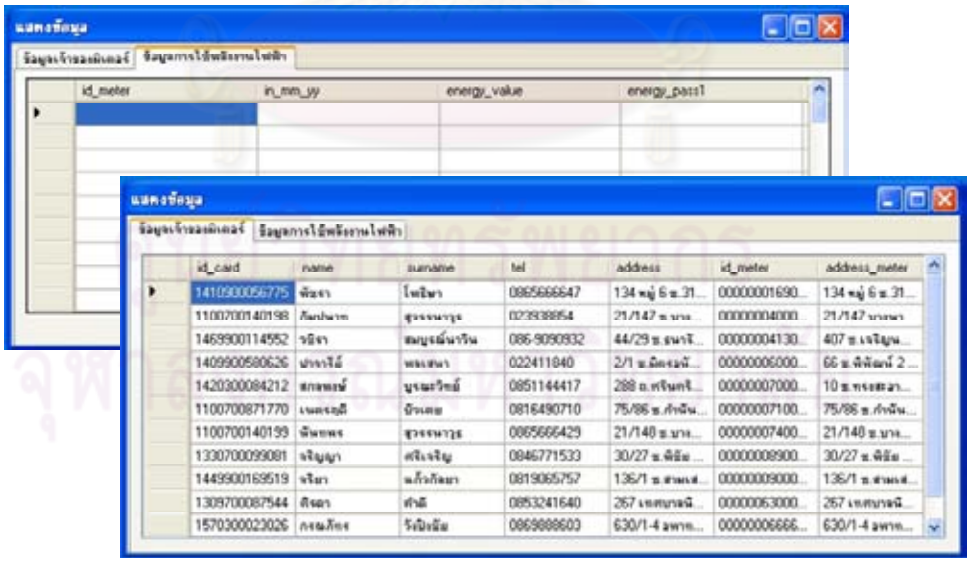
เมื่อต้องการลบข้อมูลเจ้าของมิเตอร์รายใดออกจากฐานข้อมูล ให้คลิกไปที่พื้นที่นั้น หากเจ้าของมิเตอร์มีมาก สามารถค้นหาได้ด้วยการกรอกข้อมูล ชื่อ, เลขที่บัตรประชาชน และเลขที่มิเตอร์ และกดปุ่ม Serch โดยรูปที่ 4-21 แสดงตัวอย่างเมื่อต้องการลบข้อมูลของคุณ วชิรา สมบูรณ์นาวิน ออกจากฐานข้อมูล และเมื่อคลิกเข้าไปแล้ว จะมีหน้าต่างแจ้งเตือนการลบข้อมูลขึ้นมา เพื่อให้ยืนยันการลบอีกครั้ง



รูปที่ 4-21 หน้าต่างลบข้อมูลเจ้าของมิเตอร์

4.3.1.5. หน้าต่างแสดงผลข้อมูล

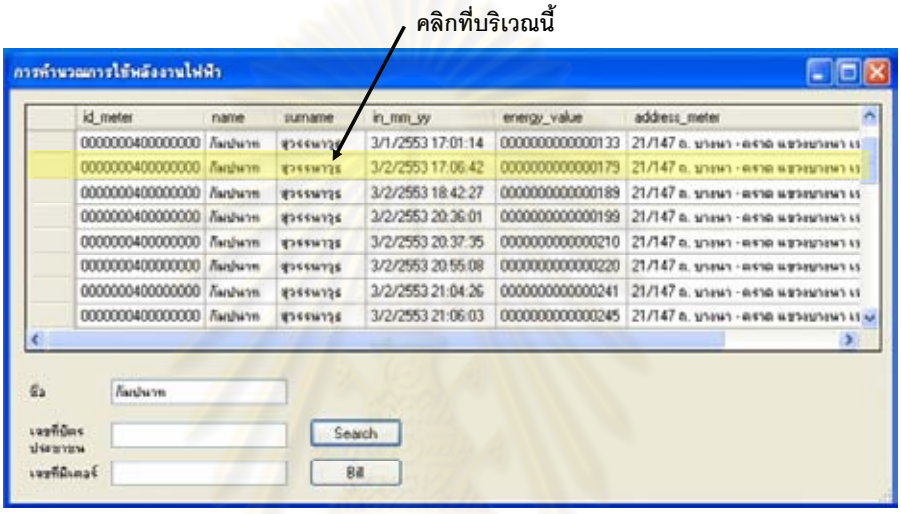
หน้าต่างแสดงผลข้อมูลใช้แสดงข้อมูลเจ้าของมิเตอร์ และข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดของเจ้าของมิเตอร์ทุกราย ดังรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 หน้าต่างแสดงผลข้อมูล

4.3.1.6. หน้าต่างคิดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้มิเตอร์

เมื่อเข้าสู่หน้าต่างการคิดค่าไฟฟ้า สามารถเลือกได้ว่าต้องการคิดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้บริการท่านใด และเดือนอะไร ด้วยการคลิกที่ตำแหน่งที่ต้องการ ดังรูปที่ 4-23a จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Bill เพื่อแสดงผลหน้าต่างใบแจ้งค่าไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-23b



(a)

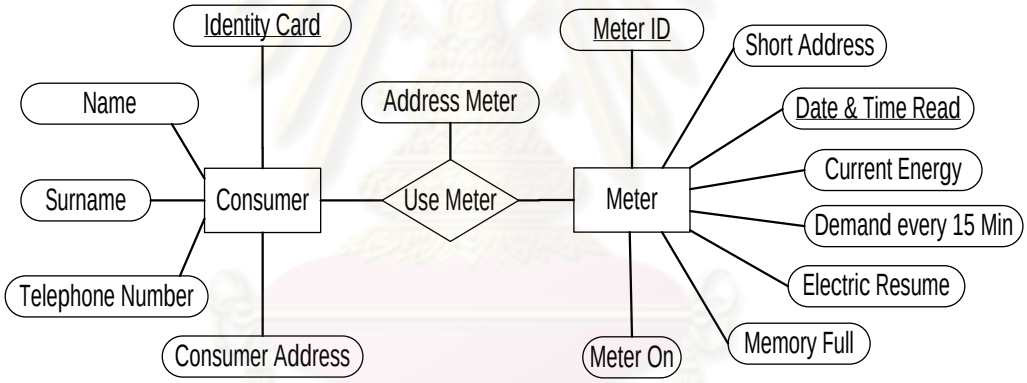
(b)

รูปที่ 4-23 หน้าต่างคิดค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้มิเตอร์

4.3.2. ฐานข้อมูล

ในการออกแบบฐานข้อมูล ต้องศึกษาข้อมูลเบื้องต้น เพื่อกำหนดรูปร่างของฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์และความต้องการของผู้ใช้งาน การออกแบบเริ่มต้นจากการออกแบบเชิงแนวคิด โดยใช้แบบจำลอง อี-อาร์ (E-R Model) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่สนใจ ที่เรียกว่า เอนทิตี (Entity) และรายละเอียดคุณสมบัติ (Attribute) ของสิ่งที่ต้องการจัดเก็บ จากนั้นแปลงแบบจำลองอี-อาร์ (E-R Model) เป็นโครงสร้างของตารางต่อไป ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม MySQL ในการจัดการฐานข้อมูล โดยจะติดต่อกับส่วนประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Grahpic User Interface: GUI) ผ่านทางตัวเชื่อมต่อที่เรียกว่า MySQL Connector

ในการออกแบบฐานข้อมูลได้กำหนดให้มีการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์, ข้อมูลผู้ใช้งาน, และข้อมูลมิเตอร์ ตามความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองอี-อาร์โมเดล ดังรูปที่ 4-24



รูปที่ 4-24 แผนผังแบบจำลองอี-อาร์ของระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ

เอนทิตีลูกค้า (Consumer Entity) ประกอบไปด้วยรายละเอียดคุณสมบัติ ดังนี้ Identity Card, Name, Surname, Telephone Number และ Consumer Address โดยมี Identity Card เป็นคีย์หลัก (Primary Key)

เอนทิตีมิเตอร์ (Meter Entity) ประกอบไปด้วยรายละเอียดคุณสมบัติ ดังนี้ Meter ID, Short Address, Date & Time Read, Current Energy, Demand every 15 Min, Electric Resume, Memory Full, และ Meter On โดยมี Meter ID และ Date & Time Read เป็นคีย์หลัก (Primary Key) ซึ่งคุณสมบัติบางประการมีรายเอียด ดังต่อไปนี้

- Electric Resume เป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นเมื่อมิเตอร์เกิดไฟดับ และไฟฟ้ากลับมาใช้ได้อีกครั้ง มิเตอร์จะส่งแจ้งเตือนมาที่ส่วนกลาง (Coordinator) เพื่อบันทึกวันเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไว้
- Meter On เป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นเมื่อมิเตอร์เปิดใช้งานครั้งแรก มิเตอร์จะส่งแจ้งเตือนมาที่ส่วนกลาง (Coordinator) เพื่อบันทึกวันเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไว้
- Memory Full เป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นเมื่อหน่วยความจำภายในมิเตอร์เต็ม และจะกลับไปบันทึกข้อมูลซ้ำตำแหน่งเก่าอีกครั้ง มิเตอร์ก็จะส่งแจ้งเตือนมาที่ส่วนกลาง (Coordinator) เพื่อบันทึกวันเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไว้

และมีรายละเอียดคุณสมบัติ คือ Address Meter เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีลูกค้า (Consumer Entity) และเอนทิตีมิเตอร์ (Meter Entity)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองและการทดสอบ

การทดสอบระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุตามมาตรฐาน Zigbee ประกอบไปด้วย การทดสอบต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์ด้วยค่ากระแส และค่าตัวประกอบกำลังที่ต่างกัน, การทดสอบระยะปฏิบัติการและความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคต่อการส่งข้อมูล, การทดสอบส่งข้อมูลของมิเตอร์ด้วยรูปแบบเครือข่ายต่าง ๆ, การทดสอบแจ้งเตือนต่าง ๆ, การทดสอบการทำงานส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ และการทดสอบระบบฐานข้อมูล

5.1. การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์

การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์ใช้อุปกรณ์สำหรับสอบเทียบ ดังนี้

1. เครื่องจ่ายโหลดพลังงานไฟฟ้าเสมือน CALSOURCE 200 มีความแม่นยำ 0.1 % ของบริษัท MEH (Energie Messtechnik GmbH) ดังรูปที่ 5-1

รูปที่ 5-1 เครื่องจ่ายโหลดพลังงานไฟฟ้าเสมือน CALSOURCE 200

2. มิเตอร์อ้างอิงที่มีความแม่นยำในการวัดระดับ 0.05% PRS1.3 ของบริษัท MEH (Energie Messtechnik GmbH) ดังรูปที่ 5-2

รูปที่ 5-2 มิเตอร์อ้างอิง PRS1.3

3. มิเตอร์ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้น

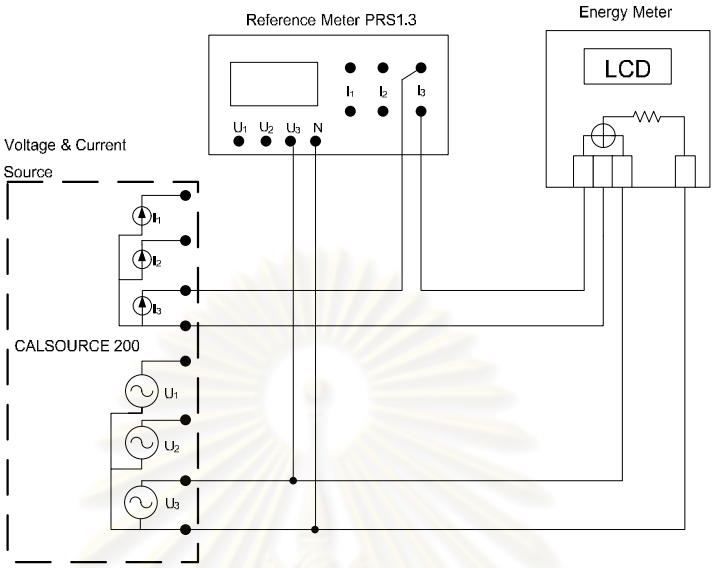
รูปที่ 5-3 มิเตอร์ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้น

ระบบทดสอบความแม่นยำ ดังรูปที่ 5-4 โดยสัญญาณแรงดันสลับ และกระแสสลับ 1 เฟส ถูกสร้างขึ้นจากเครื่องจ่ายไฟฟ้าเสมือน CALSOURCE 200 ซึ่งปริมาณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกแสดงผลที่จอแอลซีดี ที่ติดตั้งบนมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น และนำค่ามาเปรียบเทียบกับมิเตอร์อ้างอิง เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด โดยหาได้จากสมการ (5.1)

$$error = \frac{P_{meter} - P_{ref}}{P_{ref}} \times 100 \quad (\%) \qquad (5.1)$$

เมื่อ P_{meter} = ค่ากำลังที่วัดได้จากมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

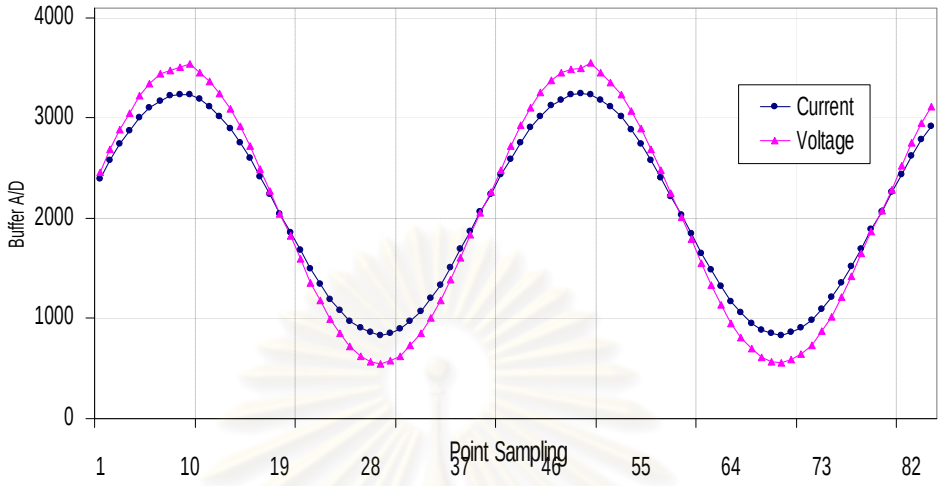
P_{ref} = ค่ากำลังที่วัดได้จากมิเตอร์อ้างอิง



รูปที่ 5-4 ระบบทดสอบมิเตอร์

ในการวัดพลังงานของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า จะชักตัวอย่างสัญญาณกระแสและแรงดันเข้ามา และเนื่องจากมีวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเพียงมอดูลเดียว จึงต้องสลับกันระหว่างการชักกระแสและแรงดัน โดยเริ่มจากชักสัญญาณกระแสก่อน หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 12.5 ไมโครวินาที จึงเริ่มชักสัญญาณแรงดัน ทำสลับไปมาด้วยอัตราเร็วในการสุ่มของทั้งกระแสและแรงดันที่เท่ากันที่ค่า 2 ksps ดังรูปที่ 5-5 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการสุ่มแรงดันสลับ 220 โวลต์ และกระแสสลับ 10 แอมป์ ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 1.0 โดยในแกนตั้งของกราฟ แสดงช่วงตามความละเอียดของวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทอล 12 บิต ที่มีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 4095 และแกนนอนของกราฟ แสดงตำแหน่งของการชักตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

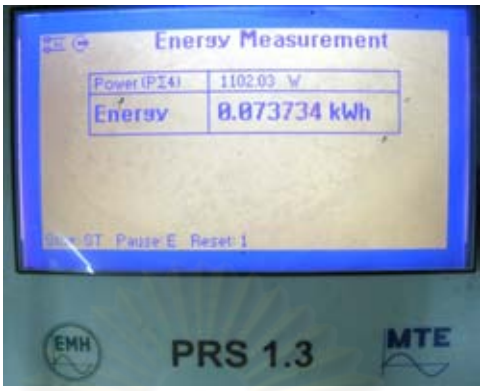


รูปที่ 5-5 กราฟการสุ่มตัวอย่างแรงดัน และกระแสเข้ามาภายในมิเตอร์ด้วยอัตราเร็ว 2 ksps

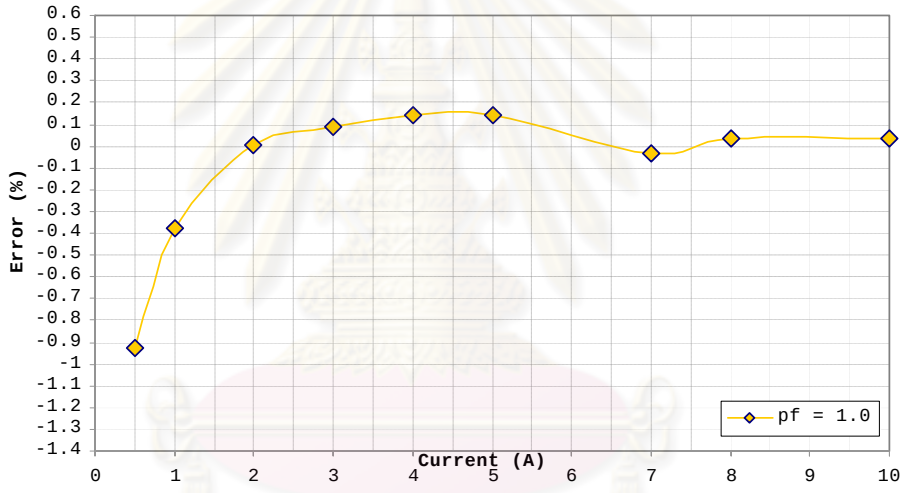
การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์ โดยกระทำภายใต้สภาวะต่าง ๆ กัน คือ แปรโหลดที่กระแสและค่าตัวประกอบกำลัง 1.0, 0.94 ล้าหลัง, 0.94 นำหน้า, 0.5 ล้าหลัง และ 0.5 นำหน้า ที่ค่าแรงดันของระบบคงที่ที่ 220 โวลต์ มิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นจะนำสัญญาณกระแสและแรงดันไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากับพลังงานไฟฟ้า และแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี ดังรูปที่ 5-6

รูปที่ 5-6 ค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมิเตอร์อ้างอิง ดังหน้าจอในรูปที่ 5-7 ณ เวลาเดียวกัน ผลการวัดความแม่นยำเป็นดังกราฟรูปที่ 5-8 ถึงรูปที่ 5-13

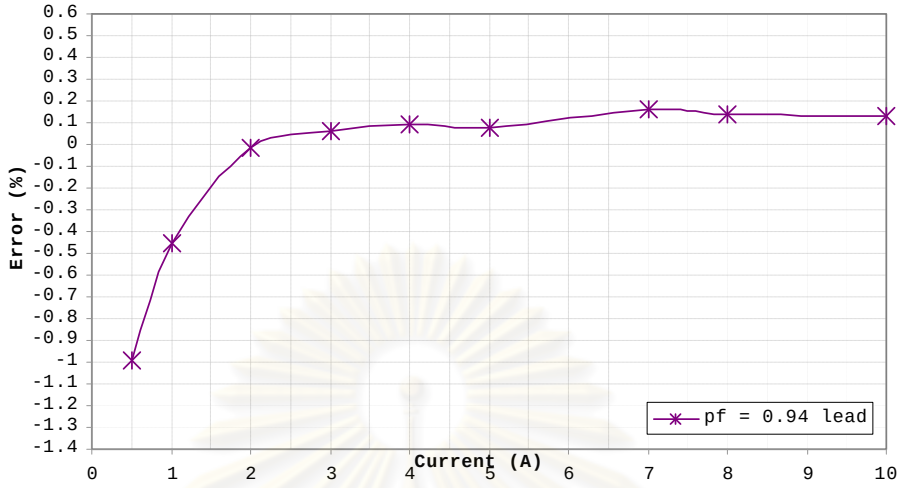


รูปที่ 5-7 หน้าจอแสดงผลการวัดกำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์อ้างอิง

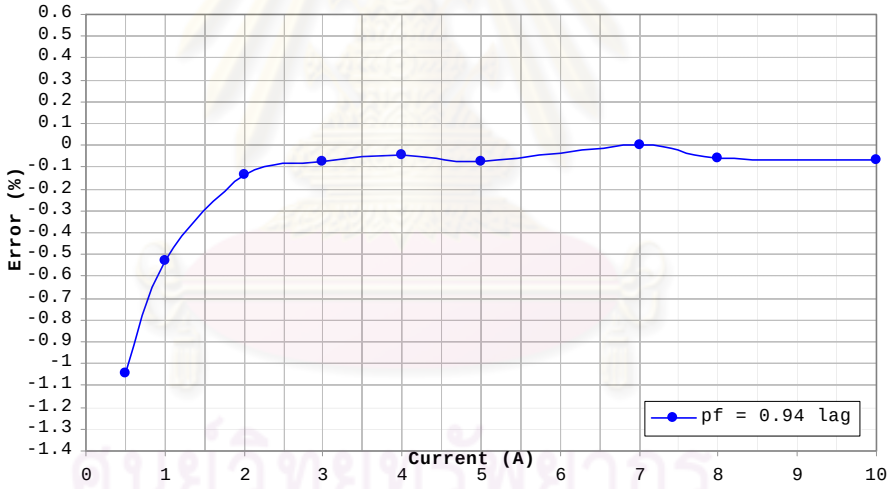


รูปที่ 5-8 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง = 1.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

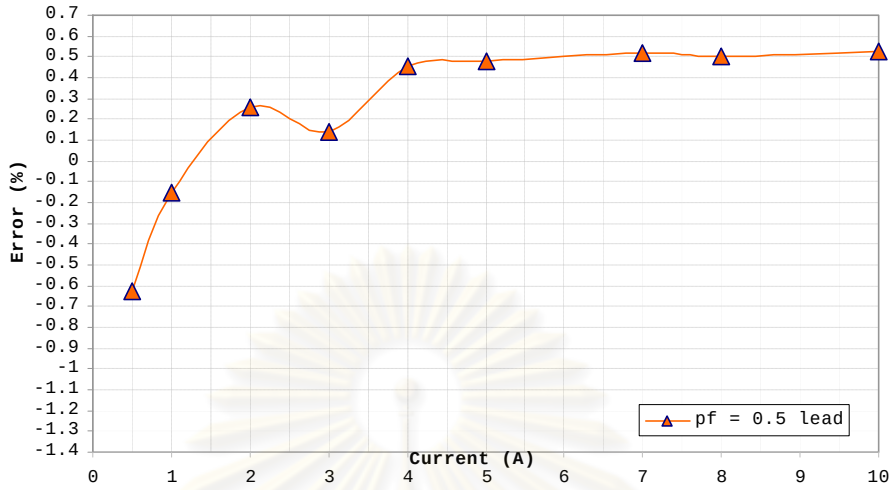


รูปที่ 5-9 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง =0.94 นำหน้า

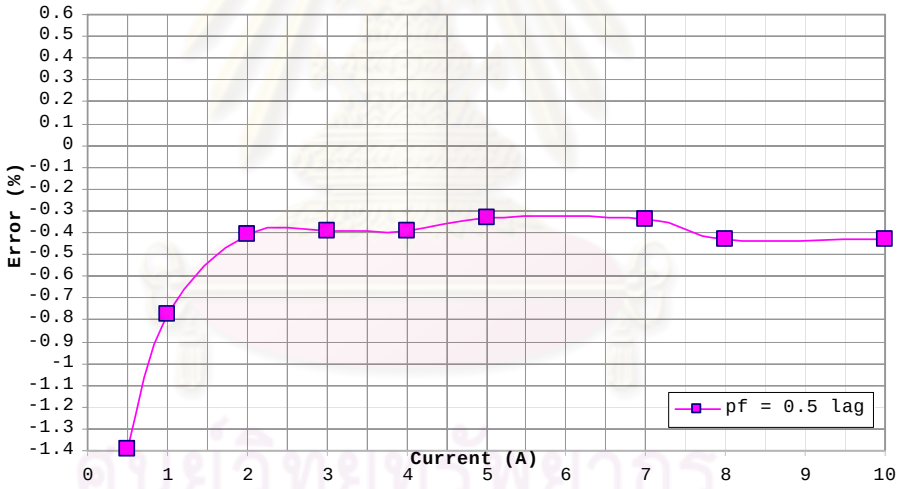


รูปที่ 5-10 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง =0.94 ล้าหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

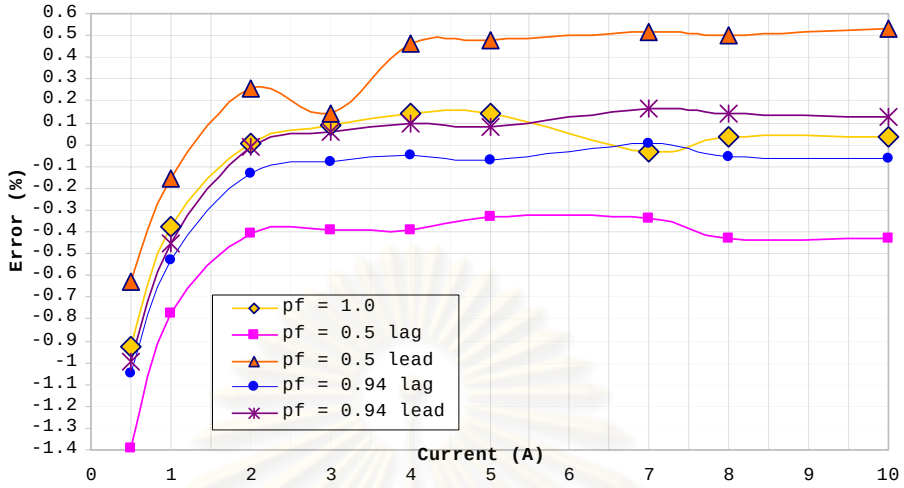


รูปที่ 5-11 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง = 0.5 นำหน้า



รูปที่ 5-12 การทดสอบความแม่นยำมิเตอร์เมื่อค่าตัวประกอบกำลัง = 0.5 ล้าหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

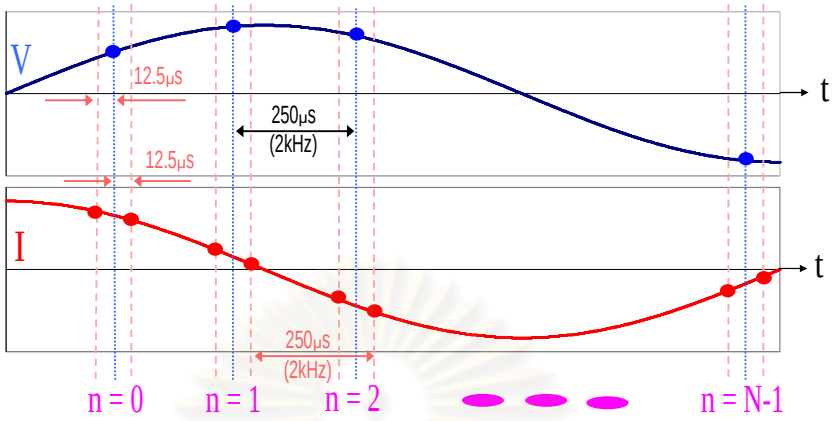


รูปที่ 5-13 เปรียบเทียบความแม่นยำมิเตอร์ที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ

จากรูปที่ 5-8 ถึงรูปที่ 5-13 จะเห็นว่าการทดสอบครอบคลุมกระแสพิกัดตั้งแต่ 0 – 10 แอมป์ การออกแบบความแม่นยำเมื่อพิจารณาช่วงกระแสต่ำของพิกัดการทำงานนั้น ๆ เป็นช่วงที่มีความผิดพลาดสูงเมื่อเทียบกับช่วงกระแสสูง และเนื่องด้วยการคำนวณที่เกิดจากจุดเวลาที่ต่างกันในการสุ่มกระแสและแรงดัน คือห่างกัน 12.5 ไมโครวินาที ส่งผลให้ความผิดพลาดมากขึ้นที่ตัวประกอบกำลังสูงขึ้น

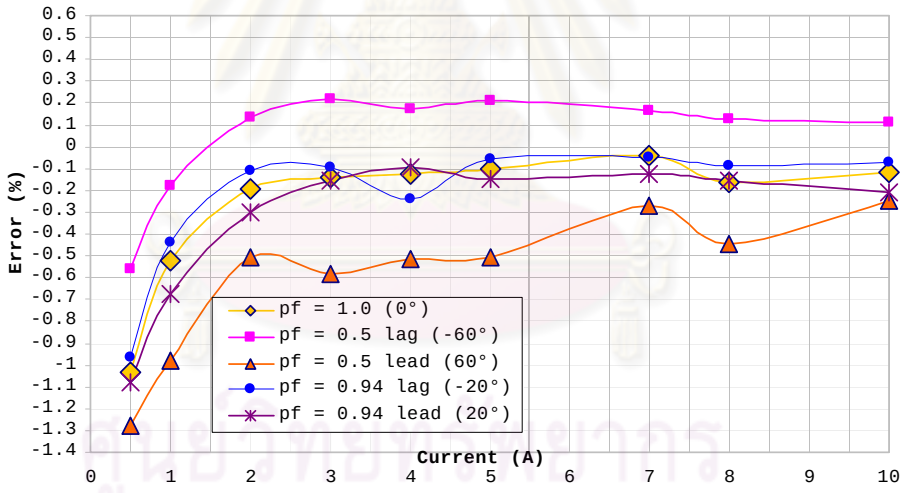
ทำการทดสอบความแม่นยำมิเตอร์อีกครั้งโดยเปลี่ยนรูปแบบการชักสัญญาณ เริ่มจากชักสัญญาณกระแสเข้ามาก่อน หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 12.5 ไมโครวินาที จึงเริ่มชักสัญญาณแรงดัน และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 12.5 ไมโครวินาที ก็ชักสัญญาณกระแสเข้ามาอีกครั้ง นำค่ากระแสที่ได้ทั้งสองจุด มาหาค่าเฉลี่ยกัน เพื่อให้ได้ค่ากระแสที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ชักสัญญาณแรงดันมากขึ้น ทำซ้ำที่ความถี่ 2 กิโลเฮิรตซ์ ดังรูปที่ 5-14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-14 ลักษณะการชักตัวอย่างสัญญาณเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการชักสัญญาณ

การทดสอบทำภายใต้สภาวะต่าง ๆ ตามการทดสอบความแม่นยำมิเตอร์ในครั้งก่อน ผลการวัดความแม่นยำเป็นดังกราฟรูปที่ 5-15



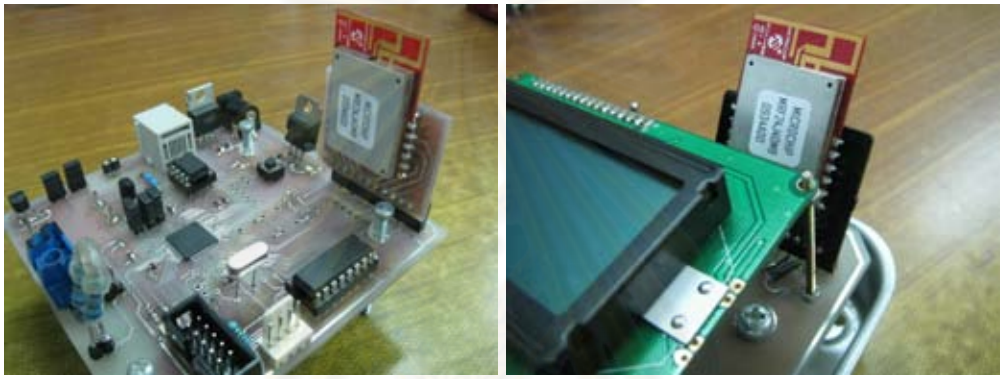
รูปที่ 5-15 เปรียบเทียบความแม่นยำมิเตอร์ที่ค่าตัวประกอบกำลังต่าง ๆ

เมื่อเปลี่ยนรูปแบบของการชักสัญญาณ

จากผลการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างรูปที่ 5-13 และ รูปที่ 5-15 พบว่าเมื่อมีการเฉลี่ยค่าของกระแส ทำให้ที่ค่าตัวประกอบกำลังสูงทั้งนำหน้าและล้าหลัง มีค่าความผิดพลาดใกล้กับค่าความผิดพลาดที่ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับหนึ่งมากขึ้น

5.2. การทดสอบการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ

อุปกรณ์แม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator ถูกพัฒนาขึ้นดังรูปที่ 5-16 (a) เพื่อใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ กับมิเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีมอดูลคลื่นวิทยุโพรโทคอล Zigbee ติดอยู่ ดังรูปที่ 5-16 (b) การทดสอบการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุของเครือข่ายไร้สายโพรโทคอล Zigbee สามารถทดสอบได้ ดังนี้



(a) *(b)*

รูปที่ 5-16 อุปกรณ์แม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator และ มอดูล Zigbee สำหรับติดต่อสื่อสารที่ติดตั้งอยู่บนมิเตอร์

5.2.1. การทดสอบระยะปฏิบัติการ

การทดสอบระยะปฏิบัติการโดยดูจากค่า Link Quality Indicator (LQI) ของการติดต่อสื่อสาร โดยค่า LQI บอกถึงคุณภาพของข้อมูลว่าถูกต้องมากหรือน้อยอย่างไร ซึ่งคุณภาพสูงสุดค่า LQI จะอยู่ที่ 255 และค่าต่ำสุดที่ 0 การทดสอบจะใช้แม่ข่าย 1 เครื่อง และมิเตอร์เป็นลูกข่าย 1 เครื่อง ติดต่อกันที่ระยะเปิด คือไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างแม่ข่ายและมิเตอร์ โดยทิศของเสาอากาศทั้ง 2 เครื่อง ปรับหันเข้าหากัน และต่างทำมุมฉากกับพื้น เพื่อให้ทิศในการรับส่งข้อมูลมีกำลังส่งสูงสุด ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5-1

ระยะ (เมตร)	ค่า LQI เฉลี่ยที่วัดได้	% ของค่า LQI เมื่อเทียบกับ 255 (%)
50	210	82.4
100	166	65.1
150	118	46.3
200	100	39.2
250	89	34.9
300	87	34.1
350	79	31.0
400	68	26.7

ตารางที่ 5-1 ค่า LQI เฉลี่ยและค่าร้อยละของ LQI เมื่อเทียบกับค่าสูงสุด เมื่อวัดที่ระยะต่าง ๆ

จากการทดสอบค่า LQI ที่ระยะต่าง ๆ จะสามารถนำผลการทดสอบไปกำหนดตั้งค่า LQI ต่ำสุดในการรับเข้าเครือข่าย เมื่อนำไปใช้กับระบบอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้มั่นใจว่า มิเตอร์ที่เข้าร่วมเครือข่ายนั้น จะสามารถส่งค่ามิเตอร์กลับมาที่แม่ข่ายได้ ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ5.2.3

5.2.2. การทดสอบสิ่งกีดขวาง

ในการนำระบบอ่านค่ามิเตอร์โดยอัตโนมัติไปใช้งานนั้น อาจมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อยู่ระหว่างมิเตอร์กับมิเตอร์ หรือระหว่างมิเตอร์กับแม่ข่าย สิ่งกีดขวางต่าง ๆ นี้ อาจอยู่ในรูปแบบของผนังห้อง คอนกรีต หรือเหล็ก ซึ่งเป็นการลดทอนกำลังส่งของสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยที่ลักษณะการลดทอนของสัญญาณได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5-2

สิ่งกีดขวางของคลื่นวิทยุ (RF Barrier)	การลดทอนของสัญญาณ (Relative degree of Attenuation)	ตัวอย่าง
ไม้(Wood)	ต่ำ	ผนังกั้นสำนักงาน
วัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Material)	ต่ำ	ผนังกั้นสำนักงาน
แร่ใยหิน (Asbestos)	ต่ำ	เพนดาน
กระจก (Glass)	ต่ำ	หน้าต่าง
น้ำ (Water)	ปานกลาง	ไม้ที่เปียก,ตู้ปลา
อิฐ (Bricks)	ปานกลาง	กำแพงอิฐ
หินอ่อน (Marble)	ปานกลาง	กำแพงภายในบ้าน
คอนกรีต (Concrete)	มาก	พื้นและกำแพงบ้าน
กระจกกันกระสุน (Bullet-proof glass)	มาก	ตู้รักษาความปลอดภัย
เหล็ก (Metal)	มากที่สุด	โต๊ะเหล็ก,ตู้เหล็ก

ตารางที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคที่ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง [6]

และได้ทำการทดสอบ โดยวัดค่า LQI ที่สิ่งกีดขวางแบบต่าง ๆ ลักษณะการทดสอบ คือ ใช้แม่ข่าย 1 เครื่อง และมิเตอร์ลูกข่าย 1 เครื่อง ที่ติดตั้งมอดูล Zigbee MRF24J40MA ซึ่งมีระยะทำการสูงสุดในที่โล่ง 100 เมตร (ระยะทำการต่ำกว่ามอดูล MRF24J40MB ที่ใช้ในงานวิจัยนี้) สื่อสารกันที่ระยะ 1 เมตร ระหว่าง 2 เครื่อง มีสิ่งกีดขวางที่ขนาดพอ ๆ กัน หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร กั้นอยู่ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางตารางที่ 5-3

สิ่งกีดขวาง	ค่า LQI เฉลี่ย	% การลดทอนเมื่อเทียบกับอากาศ
อากาศ	181	0

ผ้า	179	1.10
โฟม	177	2.21
กระจก	174	3.87
พลาสติก	173	4.42
ไม้อัดหนา	171	5.52
เหล็ก	113	37.57

ตารางที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LQI เฉลี่ยและอุปสรรค

ที่ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง

จากตารางที่ 5-2 และตารางที่ 5-3 ทำให้ทราบถึงแนวโน้มในการนำไปใช้งานจริง เมื่อติดตั้งมิเตอร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการติดตั้งที่อาจจะส่งผลต่อระยะทำการมาก เช่น เหล็ก เป็นต้น

5.2.3. การทดสอบอ่านค่าจากมิเตอร์

การทดสอบการทำงานของระบบอ่านค่ามิเตอร์โดยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น จำเป็นต้องนำอุปกรณ์แม่ข่าย หรือ Coordinator มาทำการทดสอบอ่านค่าจากมิเตอร์ ได้แก่ การอ่านข้อมูลจากลูกข่ายมิเตอร์เพียง 1 เครื่อง, โครงข่ายแบบ Star ที่มีลูกข่ายมิเตอร์ 3 เครื่อง และโครงข่ายแบบ Cluster Tree ที่มีลูกข่ายมิเตอร์ 3 เครื่อง ด้วยวิธีส่งข้อมูลผ่านกันเป็นทอด ๆ ดังรูปที่ 5-17 (a), (b) และ (c) ตามลำดับ เพื่อทดสอบระยะทำการสูงสุดที่ระยะเปิด คือไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวอุปกรณ์ และได้มีการเฝ้าดูกลุ่มข้อมูล (Packet Monitoring) ขณะใช้กระบวนการสื่อสารที่พัฒนาขึ้นบนโพรโทคอล Zigbee ภายในเครือข่าย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของการส่งข้อมูล

(a) *(b)*

(c)

รูปที่ 5-17 การทดสอบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ

ในการทดสอบอ่านค่าจากมิเตอร์เพื่อหาระยะทำการสูงสุดที่ระยะเปิด เมื่อให้ระยะห่างระหว่างแม่ข่ายถึงมิเตอร์ และระยะห่างระหว่างมิเตอร์ถึงมิเตอร์ห่างเท่า ๆ กัน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5-4

รูปแบบการอ่านค่าจากมิเตอร์ที่ทดสอบ	ระยะสูงสุดในการส่งข้อมูลระหว่างตัวเครื่องในแต่ละช่วงห่าง (เมตร)
แม่ข่าย 1 เครื่อง กับลูกข่าย 1 เครื่อง	325
แม่ข่าย 1 เครื่อง กับลูกข่าย 3 เครื่อง ที่มีโครงข่ายแบบ Star	325
แม่ข่าย 1 เครื่อง กับมิเตอร์ 3 เครื่อง ที่มีโครงข่ายแบบ Cluster Tree	325 (325x3 เครื่อง = 975)

ตารางที่ 5-4 ระยะสูงสุดระหว่างตัวเครื่องที่มีแต่ละช่วง ห่างเท่า ๆ กัน โดยทำการทดสอบด้วยรูปแบบโครงข่ายต่าง ๆ

จากการทดสอบระยะสูงสุดในที่เปิด ระหว่างแม่ข่ายกับมิเตอร์ และระหว่างมิเตอร์กับมิเตอร์ เท่ากันที่ 325 เมตร ทำให้ควรตั้งค่า LQI ต่ำสุดในการรับเข้าเครือข่ายที่เท่ากับ 87 หรือต่ำกว่า เพื่อให้มั่นใจว่า เมื่อมิเตอร์เข้าร่วมเครือข่ายแล้วจะสามารถส่งข้อมูลได้ ดังตารางที่ 5-1 ที่ได้กล่าวมา

ในการทดสอบการอ่านค่า จะอ่านค่าจากมิเตอร์ 3 เครื่อง ที่ต่อกันด้วยรูปแบบโครงข่ายแบบ Cluster Tree ดังรูปที่ 5-17 (c) ซึ่งระยะห่างระหว่างมิเตอร์แต่ละตัวเท่ากันที่ 325 เมตร และ

ระยะห่างระหว่างมิเตอร์ใกล้สุดกับแม่ข่าย ห่างกันที่ 325 เมตร เช่นกัน โดยแม่ข่ายจะได้รับข้อมูลที่สร้างขึ้นจากมิเตอร์แต่ละตัวเป็นเลขฐานสิบหกตั้งแต่ 0-F เป็นจำนวน 2 ชุดข้อมูล โดยได้รับข้อมูลจากมิเตอร์หมายเลข 3 ก่อน จากนั้นจะตามด้วยข้อมูลของมิเตอร์หมายเลข 2 และ 1 ตามลำดับ เพื่อทดสอบการทำงานของกระบวนการการสื่อสารที่ได้ออกแบบไว้ ผลการทดสอบนั้น สามารถดูจากข้อมูลที่รับส่งกันภายในเครือข่าย โดยใช้เครื่องหมาย -> และ <- แทนการบอกทิศทางการส่งข้อมูลจากที่ใดไปที่ใด และใช้ตัวย่อแทนอุปกรณ์ดังตารางตารางที่ 5-5 รวมถึงใช้เลขฐานสิบหกในการแสดงผล

ตัวย่อ	แทน
Com	Computer
Co	Coordinator
M1	Meter เครื่องที่ 1
M2	Meter เครื่องที่ 2
M3	Meter เครื่องที่ 3

ตารางที่ 5-5 ตารางตัวย่อแทนอุปกรณ์ในการสื่อสาร

- เริ่มกระบวนการลงทะเบียนเปิด เพื่อเข้าใช้เครือข่ายโพรโทคอล Zigbee

Com -> Co 69 EE 00 00 00 00 01 20 13 10 (เริ่มกระบวนการร้องขอ)

Com <- Co 06 EE 00 00 00 00 05 00 00 01 00 00 C6 B5 (Coordinator ส่งค่า Version ของโพรโทคอลกลับมา)

Com -> Co 06 EE 00 20 00 00 0D 50 00 01 31 20 20 20 20 20 20 20 20 20 27 4C (เริ่มกระบวนส่งหมายเลขและชื่อผู้ใช้ออกไป)

Com <- Co 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (Coordinator ตอบตกลง)

Com -> Co 06 EE 00 00 00 00 15 51 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 34 75 2B (เริ่มกระบวนการความปลอดภัยทำการส่งรหัสผ่าน 20 ไบต์ให้ Coordinator)

Com <- Co 06 EE 00 00 00 00 01 00 11 31 (มิเตอร์ตอบตกลง)

- เริ่มกระบวนการสื่อสารด้วยภายในโพรโทคอล Zigbee

Com -> Co 33 30 31 (ร้องขอข้อมูลที่อยู่ในอีอีพร็อมของมิเตอร์ภายในเครือข่าย)

Co -> M1 00 33 11 (ร้องขอข้อมูลที่อยู่ในอีอีพร็อม)

Co <- M1 99 (มิเตอร์ 1 ยังมีมิเตอร์ที่เป็นลูกข่ายต่อไปอีก)

M1 -> M2 00 33 11 (ร้องขอข้อมูลที่อยู่ในอีอีพร็อม)

M1 <- M2 99 (มิเตอร์ 2 ยังมีมิเตอร์ที่เป็นลูกข่ายต่อไปอีก)

M2 -> M3 00 33 11 (ร้องขอข้อมูลที่อยู่ในอีอีพร็อม)

M2 <- M3 77 (มิเตอร์ 3 ไม่มีลูกข่ายต่อจากตน พร้อมที่จะส่งข้อมูลในอีอีพร็อม)

M2 -> M3 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูล)

M2 <- M3 33 66 00 03 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 3 ส่งข้อมูล 00-0F ชุดที่ 1 ภายในอีอีพร็อมออกมา)

M2 -> M3 0077 (มิเตอร์ 2 ตอบตกลง)

M1 <- M2 33 44 00 03 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 2 ทวนข้อมูลให้มิเตอร์ 1)

M1 -> M2 0077 (มิเตอร์ 1 ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co <- M1 33 44 00 03 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 1 ทวนข้อมูลให้ Coordinator)

Co -> M1 0077 (Coordinator ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Com <- Co 33 44 00 03 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(Coordinator ส่งข้อมูลให้กับ Computer)

Com -> Co 66 36 (Computer ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co -> M1 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M1 -> M2 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M2 -> M3 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M2 <- M3 79 66 00 03 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 3 ส่งข้อมูล 00-0F ชุดที่ 2 ที่เป็นชุดสุดท้ายที่จะส่ง ของมิเตอร์3 ภายในอีอีพร็อมออกมา)

M2 -> M3 0077 (มิเตอร์ 2 ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

M1 <- M2 79 44 00 03 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 2 ทวนข้อมูลให้มิเตอร์ 1)

M1 -> M2 0077 (มิเตอร์ 1 ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co <- M1 79 44 00 03 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 1 ทวนข้อมูลให้ Coordinator)

Co -> M1 0077 (Coordinator ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Com <- Co 79 44 00 03 02 10 1100 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(Coordinator ส่งข้อมูลให้กับ Computer)

Com -> Co 66 36 (Computer ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co -> M1 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M1 -> M2 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M1 <- M2 33 66 00 02 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 2 ส่งข้อมูล 00-0F ชุดที่ 1 ภายในอีอีพร็อมออกมา)

M1 -> M2 0077 (มิเตอร์ 1 ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co <- M1 33 44 00 02 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 1 ทวนข้อมูลให้ Coordinator)

Co -> M1 0077 (Coordinator ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Com <- Co 33 44 00 02 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(Coordinator ส่งข้อมูลให้กับ Computer)

Com -> Co 66 36 (Computer ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co -> M1 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M1 -> M2 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

M1 <- M2 79 66 00 02 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 2 ส่งข้อมูล 00-0F ชุดที่ 2 ที่เป็นชุดสุดท้ายที่จะส่ง ของมิเตอร์2 ภายในอีอีพร็อมออกมา)

Co <- M1 79 44 00 02 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(มิเตอร์ 1 ทวนข้อมูลให้ Coordinator)

Com <- Co 79 44 00 02 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F
(Coordinator ส่งข้อมูลให้กับ Computer)

Com -> Co 66 36 (Computer ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co -> M1 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

Co <- M1 33 66 00 01 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F (มิเตอร์ 1 ส่งข้อมูล 00-0F ชุดที่ 1 ภายในอีอีพร็อมออกมา)

Co -> M1 0077 (Coordinator ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Com <- Co 33 66 00 01 01 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F (Coordinator ส่งข้อมูลให้กับ Computer)

Com -> Co 66 36 (Computer ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Co -> M1 44 (พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดถัดไป)

Co <- M1 79 66 00 01 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F (มิเตอร์ 1 ส่งข้อมูล 00-0F ชุดที่ 2 ที่เป็นชุดสุดท้ายที่จะส่ง ของมิเตอร์1 ภายในอีอีพร็อมออกมา)

Co -> M1 0077 (Coordinator ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

Com <- Co 79 66 00 01 02 10 11 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F (Coordinator ส่งข้อมูลให้กับ Computer)

Com -> Co 66 36 (Computer ตอบรับกลุ่มข้อมูล)

- เริ่มกระบวนการลงทะเบียนปิด เพื่อเลิกการติดต่อเครือข่าย Zigbee

Com -> Co 6F EE 00 00 00 00 01 52 86 40 (เริ่มการลงทะเบียนปิด)

Com <- Co 06 EE 00 00 00 00 01 00 11 31 (มิเตอร์ตอบตกลง)

Com -> Co 06 EE 00 20 00 00 01 21 0B 61 (กระบวนการสิ้นสุดการสื่อสาร)

Com <- Co 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

Com -> Co 06 (คอมพิวเตอร์ตอบรับกลุ่มข้อมูลสุดท้าย)

จากผลการทดสอบนี้ ทำให้เห็นถึงการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.2.3, 4.1.6 และ 4.2.2

5.3. การทดสอบการแจ้งเตือน

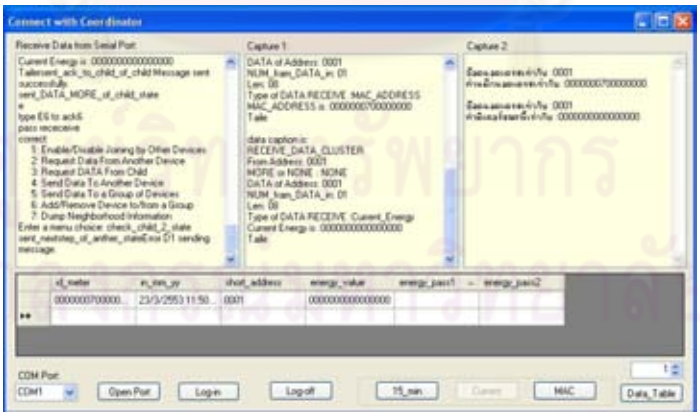
ในระบบแจ้งเตือน มีการแจ้งเตือนจากมิเตอร์เข้ามาที่แม่ข่าย 3 ลักษณะด้วยกัน คือ การแจ้งเตือนเมื่อมิเตอร์เปิดใช้งานเป็นครั้งแรก, การแจ้งเตือนเมื่อไฟกลับมาใช้ได้อีกครั้งหลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ และการแจ้งเตือนเมื่อข้อมูลในส่วนการใช้ไฟฟ้าทุก 15 นาที เต็มอีอีพร็อม โดยจะส่งค่าเลขประจำตัวมิเตอร์กลับมาที่แม่ข่าย เพื่อลงบันทึกเวลาของเหตุการณ์ ลงระบบฐานข้อมูล ผลการทดสอบแจ้งเตือน 20 ครั้งของแต่ละเหตุการณ์ แม่ข่ายสามารถรับการแจ้งเตือนได้

5.4. การทดสอบการทำงานในส่วนต่อประสานการฟิกกับผู้ใช้

การทดสอบส่วนประสานกราฟิกกับผู้ใช้ โดยแบ่งตามการใช้งาน ซึ่งมีด้วยกัน 3 ส่วน ได้แก่

5.4.1. การติดต่อรับข้อมูลกับเครือข่าย

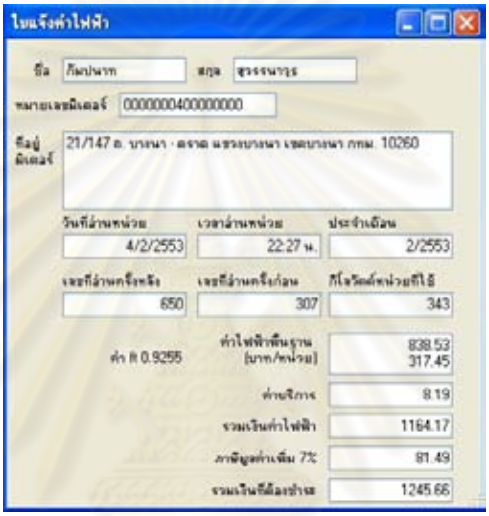
ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในส่วนติดต่อรับข้อมูลกับเครือข่าย ดังรูปที่ 5-18 ได้ทดสอบลงทะเบียนเข้าและลงทะเบียนออกในการติดต่อกับแม่ข่าย, ทดสอบรับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และทดสอบรับค่าแจ้งเตือนต่าง ๆ และภายหลังจากรับข้อมูล โปรแกรมจะนำข้อมูลที่ได้บันทึกลงในฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติต่อไป



รูปที่ 5-18 กราฟิกในส่วนติดต่อรับข้อมูลจากมิเตอร์ภายในเครือข่าย

5.4.2. ใบแจ้งค่าไฟฟ้า

ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในส่วนใบแจ้งค่าไฟฟ้า ได้ทดสอบการคำนวณค่าไฟฟ้าตามรอบเดือน และแสดงผลออกมาผ่านส่วนของใบแจ้งค่าไฟฟ้า ดังรูปที่ 5-19 ซึ่งมีรายละเอียดคือ ชื่อ, นามสกุล, ที่อยู่ของผู้ใช้,หมายเลขมิเตอร์, วันเวลาที่อ่านหน่วย, ประจำเดือนที่เท่าไหร่ และค่าไฟฟ้าในรอบการใช้งาน ภายในเดือนนั้น

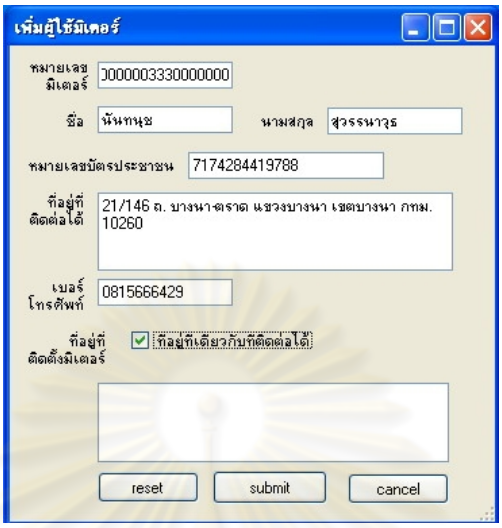


รูปที่ 5-19 กราฟิกในส่วนใบแจ้งค่าไฟฟ้า

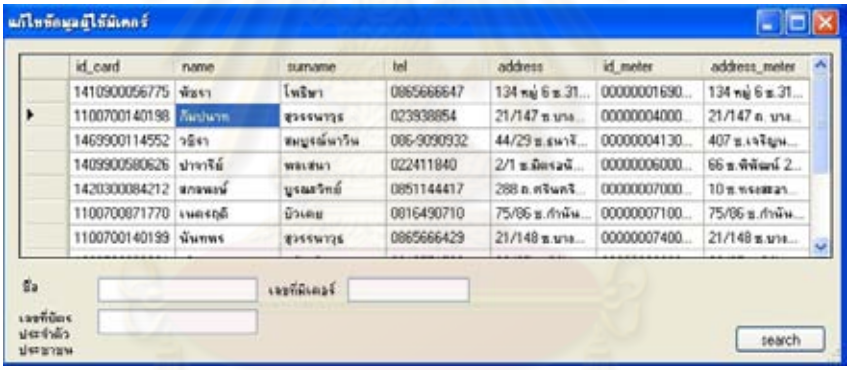
5.4.3. การจัดการข้อมูลพื้นฐานผู้ใช้

ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ในส่วนการจัดการข้อมูลผู้ใช้มิเตอร์ ได้ทดสอบการเพิ่ม, แก้ไข และลบข้อมูล เข้าและออกจากฐานข้อมูล ดังรูปที่ 5-20 ถึง รูปที่ 5-23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

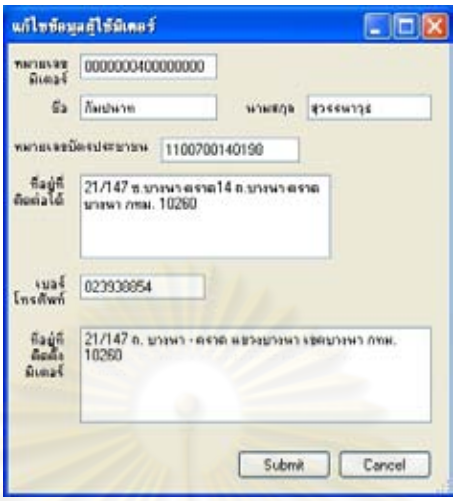


รูปที่ 5-20 กราฟิกในส่วนการเพิ่มผู้ใช้มิเตอร์

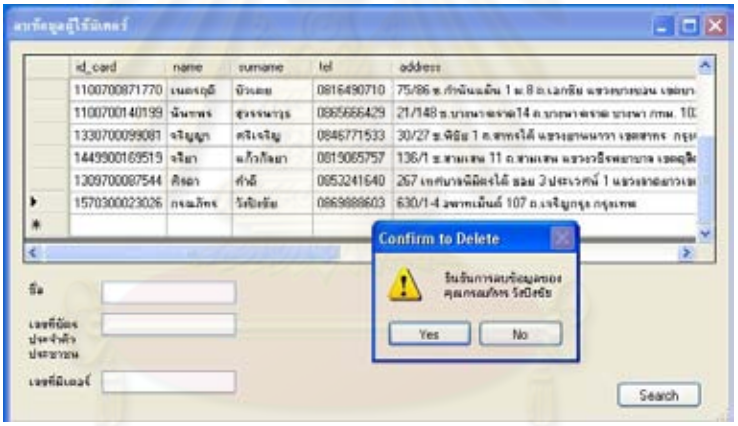


รูปที่ 5-21 กราฟิกในส่วนการแก้ไขข้อมูลผู้ใช้มิเตอร์ในส่วนค้นหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-22 กราฟิกในส่วนการแก้ไขผู้ใช้มิเตอร์ในส่วนแก้ไข



รูปที่ 5-23 กราฟิกในส่วนการลบข้อมูลผู้ใช้มิเตอร์

5.5. การทดสอบระบบฐานข้อมูล

ทดสอบการเก็บข้อมูลลงบนฐานข้อมูล ทั้งในส่วนข้อมูลผู้ใช้บริการ และข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านมิเตอร์ ผ่านเครือข่ายคลื่นวิทยุโพรโทคอล Zigbee โดยข้อมูลต่าง ๆ ถูกเก็บไว้ในตารางที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งมีตารางต่าง ๆ ดังรูปที่ 5-24 ถึง รูปที่ 5-29

ID_CARD	Name	surname	address	tel
1100700140198	กัมปนาท	สุวรรนาวุธ	21/147 ซ.บางนา-ตราด14 ถ.บาง...	023938854
1100700140199	พันทพร	สุวรรนาวุธ	21/148 ซ.บางนา-ตราด14 ถ.บาง...	0865666429
1100700871770	เนตรฤดี	บัวเตย	75/86 ซ.กำนันแม้น 1 ม.8 ถ.เอ...	0816490710
1309700087544	ศิรดา	คำดี	267 เทศบาลนิมิตรใต้ ซอย 3 ปร...	0853241640
1330700099081	จริญญา	ศรีเจริญ	30/27 ซ.พิชัย 1 ถ.สาทรใต้ แขว...	0846771533
1409900580626	ปาจารีย์	พลเสนา	2/1 ซ.มิตรอนันต์ ถ.นครไชยศรี ...	022411840
1410900056775	พัชรา	โพธิษา	134 หมู่ 6 ซ.31-2 ถ.เศรษฐกิจ แ...	0865666647
1420300084212	สกลพงษ์	บูรณะวิทย์	288 ถ.ศรีนครินทร์ แขวงหัวหมา...	0851144417
1449900169519	จริยา	แก้วกัลยา	136/1 ซ.สามเสน 11 ถ.สามเสน ...	0819065757
1469900114552	วชิรา	สมบูรณ์นาวิน	44/29 ซ.ธนารักษ์ ถ.สาทรใต้ แข...	086-9090932
1570300023026	กรณภัทร	วังปิงชัย	630/1-4 อพาทเม้นต์ 107 ถ.เจริ...	0869888603

รูปที่ 5-24 ตารางข้อมูลผู้ใช้บริการ

id_meter	ID_CARD	address_meter
0000000169000000	1410900056775	134 หมู่ 6 ซ.31-2 ถ.เศรษฐกิจ แขวงท...
0000000400000000	1100700140198	21/147 ถ. บางนา - ตราด แขวงบางนา ...
0000000413000000	1469900114552	407 ซ.เจริญนคร 40 ถ.เจริญนคร แข...
0000000600000000	1409900580626	66 ซ.พิพัฒน์ 2 ถ.คอนแวนต์ แขวงบา...
0000000700000000	1420300084212	10 ซ.ทรงสะอาด ถ.วิภาวดี เขต ลาดพร้...
0000000710000000	1100700871770	75/86 ซ.กำนันแม้น 1 ม.8 ถ.เอกชัย ...
0000000740000000	1100700140199	21/148 ซ.บางนา-ตราด14 ถ.บางนา-ตร...
0000000890000000	1330700099081	30/27 ซ.พิชัย 1 ถ.สาทรใต้ แขวงยาน...
0000000900000000	1449900169519	136/1 ซ.สามเสน 11 ถ.สามเสน แขวงว...
0000006300000000	1309700087544	267 เทศบาลนิมิตรใต้ ซอย 3 ประเวศ...
0000000666640000	1570300023026	630/1-4 อพาทเม้นต์ 107 ถ.เจริญกรุง ...

รูปที่ 5-25 ตารางแสดงความเป็นเจ้าของมิเตอร์และที่ติดตั้งมิเตอร์

id_meter	in_mm_yy	short_address	energy_value	energy_pass1
0000000400000000	2010-02-04 21:59:41	0001	0000000000000044	0002000200030002000300020003000300002
0000000900000000	2010-02-04 22:05:30	0003	0000000000000000	0000000000000000000000000000000000000000
0000000700000000	2010-02-04 22:05:30	0002	0000000000000000	0000000000000000000000000000000000000000
0000000400000000	2010-02-04 22:05:30	0001	0000000000000379	0002000200030002000300020003000300002
0000000900000000	2010-02-04 22:06:19	0003	0000000000000000	0000000000000000000000000000000000000000
0000000700000000	2010-02-04 22:06:19	0002	0000000000000000	0000000000000000000000000000000000000000
0000000400000000	2010-02-04 22:06:19	0001	0000000000000427	0002000200030002000300020003000300002
0000000900000000	2010-02-04 22:14:11	0003	0000000000000000	0000000000000000000000000000000000000000
0000000700000000	2010-02-04 22:14:11	0002	0000000000000000	0000000000000000000000000000000000000000
0000000400000000	2010-02-04 22:14:11	0001	0000000000000670	0002000200030002000300020003000300002

รูปที่ 5-26 ตารางค่าพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

id_meter	time_start
0000000400000000	2010-03-18 19:54:56
0000000400000000	2010-03-19 08:46:22
0000000400000000	2010-03-19 08:47:23
0000000400000000	2010-03-19 08:50:21
0000000400000000	2010-03-19 09:48:40
0000000400000000	2010-03-19 09:49:42
0000000400000000	2010-03-19 09:51:00
0000000700000000	2010-03-18 19:55:45
0000000700000000	2010-03-19 08:46:20
0000000700000000	2010-03-19 08:47:25
0000000700000000	2010-03-19 08:50:25
0000000700000000	2010-03-19 09:48:29

รูปที่ 5-27 ตารางเวลาเปิดใช้งานมิเตอร์ครั้งแรก

id_meter	time_bo
0000000700000000	2010-03-18 00:00:00
0000000700000000	2010-03-18 18:03:03
0000000700000000	2010-03-23 13:11:53
0000000700000000	2010-03-23 13:12:40
0000000700000000	2010-03-23 13:18:11
0000000700000000	2010-03-23 13:23:21
0000000700000000	2010-03-23 13:25:41
0000000900000000	2010-03-18 19:34:53

รูปที่ 5-28 ตารางเวลาไฟฟ้ากลับมาใช้ได้อีกครั้งหลังไฟดับ

id_meter	time_ee
0000000700000000	2010-03-23 13:45:41
0000000700000000	2010-03-23 13:46:43
0000000700000000	2010-03-23 13:47:48
0000000700000000	2010-03-23 13:48:53
0000000700000000	2010-03-23 13:49:59
0000000700000000	2010-03-23 13:50:03
0000000700000000	2010-03-23 13:51:06

รูปที่ 5-29 ตารางเวลาเมื่ออีอีพร็อมที่ใช้เก็บการใช้ไฟฟ้าทุก 15 นาที เต็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. ข้อสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ รายละเอียดการพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุโพรโทคอล Zigbee ด้วยการส่งข้อมูลกลับมายังแม่ข่าย โดยใช้โครงข่ายแบบ Cluster Tree สามารถส่งผ่านข้อมูลระหว่างมิเตอร์ เพื่อนำข้อมูลส่งผ่านคลื่นวิทยุมายังแม่ข่ายได้ ข้อมูลนั้น ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน, ข้อมูลการใช้พลังงงานไฟฟ้าทุก 15 นาที และการแจ้งเหตุการณ์ต่างๆ เข้ามาที่แม่ข่าย เพื่อนำข้อมูลมาบันทึกไว้ที่ฐานข้อมูล

โครงสร้างฮาร์ดแวร์มีด้วยกัน 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นมิเตอร์ และส่วนที่เป็นแม่ข่าย โดยส่วนที่เป็นมิเตอร์ประกอบด้วยส่วนหลัก ได้แก่ ชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ทำหน้าที่ชักสัญญาณกระแสและแรงดัน ผ่านเข้าทางมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในชิป และทำหน้าที่จัดการการรับส่งข้อมูลผ่านชุดโพรโทคอล Zigbee ที่ถูกโปรแกรมลงในชิปประมวลผล โดยชุดโพรโทคอล Zigbee จะทำหน้าที่ติดต่อกับมอดูลรับส่งสัญญาณวิทยุ MRF24J40 ผ่านทางช่องทางการสื่อสารแบบ SPI และสำหรับส่วนที่เป็นแม่ข่ายประกอบด้วยส่วนหลัก ได้แก่ ชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ทำหน้าที่จัดการรับส่งข้อมูลผ่านชุดโพรโทคอล Zigbee สำหรับติดต่อมอดูลรับส่งสัญญาณที่ติดตั้งบนแม่ข่ายเช่นกัน และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางตัวต่อประสานการสื่อสารแบบอนุกรม (UART)

จากการทดสอบการทำงานของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น วัดพลังงานไฟฟ้าได้ที่แรงดัน 220 โวลต์ โดยมีกระแสพิกัดที่ 10 แอมป์ ปริมาณไฟฟ้าที่วัดออกมามีความผิดพลาดอยู่ในช่วง -1.4% ถึง 0.6% เมื่อเทียบกับมิเตอร์อ้างอิง

ในส่วนการสื่อสาร สามารถสื่อสารด้วยโครงข่ายแบบ Star และโครงข่ายแบบ Cluster Tree ที่มีแม่ข่าย 1 เครื่อง และมิเตอร์ 3 เครื่อง ทำที่ระยะเปิด โดยระยะสูงสุดที่ทำได้ห่างกันระหว่างมิเตอร์ถึงมิเตอร์ และมิเตอร์ถึงแม่ข่ายห่างเท่ากันที่ 325 เมตรได้ และมิเตอร์สามารถแจ้งเตือนกลับมาที่แม่ข่าย ได้แก่ เมื่อเปิดใช้งานมิเตอร์ครั้งแรก, เมื่อไฟกลับมาใช้ได้อีกครั้งหลังเกิดไฟฟ้าดับ และเมื่อข้อมูลในส่วนการใช้ไฟฟ้าทุก 15 นาที เต็มอีอีพร็อม

ในส่วนซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าของมิเตอร์แต่ละตัวในระบบ และมีตารางฐานข้อมูลใช้สำหรับบันทึกข้อมูลผู้ใช้บริการ และข้อมูลต่าง ๆ ของมิเตอร์

6.2. ข้อเสนอแนะ

1. การรับสัญญาณกระแสและแรงดันเข้ามาเพื่อวัดค่าพลังงาน ควรเพิ่มวงจร Low Pass Filter เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัดค่าทางไฟฟ้า
2. โปรแกรมคำนวณค่าทางไฟฟ้า ควรแบ่งระหว่างการคำนวณที่ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ และสูงให้ใช้สมการในการคำนวณที่แตกต่างกัน (ค่าคงที่การคูณแตกต่างกัน) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัดค่าทางไฟฟ้า
3. เพิ่มนาฬิกาไว้ใช้ภายในมิเตอร์ เพื่อความถูกต้องของการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที ที่ฐานข้อมูล
4. ออกแบบวงจรไฟสำรองให้มีกำลังจ่ายมากขึ้นเพื่อสามารถรักษาสถานะการเชื่อมต่อของมอดูล Zigbee ในมิเตอร์ ให้เครือข่ายยังคงใช้ได้ในขณะไฟดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Zigbee Alliances. Zigbee Specification Document 053474r17 [Online]. 2008. Available from: http://www.zigbee.org [January, 2008]

[2] IEEE 802.15.4 Std. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifiactions for Low-Rate Wirless Personal Area Networks (WPANs) [Online]. 2007 Available from: http://ieeexplore.ieee.org [August, 2007]

[3] ANSI C12.18 American National Standard. Protocol Specification for ANSI Type 2 Optical Port. [Online]. 1996. Available from: http://www.ansi.org [April, 1996]

[4] กวิน เลขานนท์. การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ที่ใช้ในอาคารที่ระดับความแม่นยำ 0.5. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

[5] วิชิต พิบูลวิทยากุล. การพัฒนาระบบการอ่านค่ามิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550

[6] ไชยวัฒน์ ศรีวงศ์เจริญ. การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ความแม่นยำ 0.2 ใช้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

[7] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์ เครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร. กรุงเทพฯ. 2548

[8] Sinem Coleri Ergen. Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary [Online]. 2004. Available from: http://www.eecs.berkeley.edu/ [September, 2004]

[9] Microchip Technology. AN1232 Microchip Zigbee-2006 Residential Stack Protocol [Online]. 2009. Available from: http://www.microchip.com [March, 2009]

[10] มณีโชติ สมานไทย. คู่มือการออกแบบฐานข้อมูลและภาษา SQL ฉบับผู้เริ่มต้น. นนทบุรี: อินโฟเพรส, 2546.

[11] Microchip Technology. dsPIC33FJXXXGPX06A/X08A/X10A 16-bit Digital Signal Controllers [Online]. 2009. Available from: http://www.microchip.com [March, 2009]

[12] Microchip Technology. MRF24J40MB 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4 20 dBm RF Transceiver Module [Online]. 2009. Available from: www.microchip.com [August, 2009]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

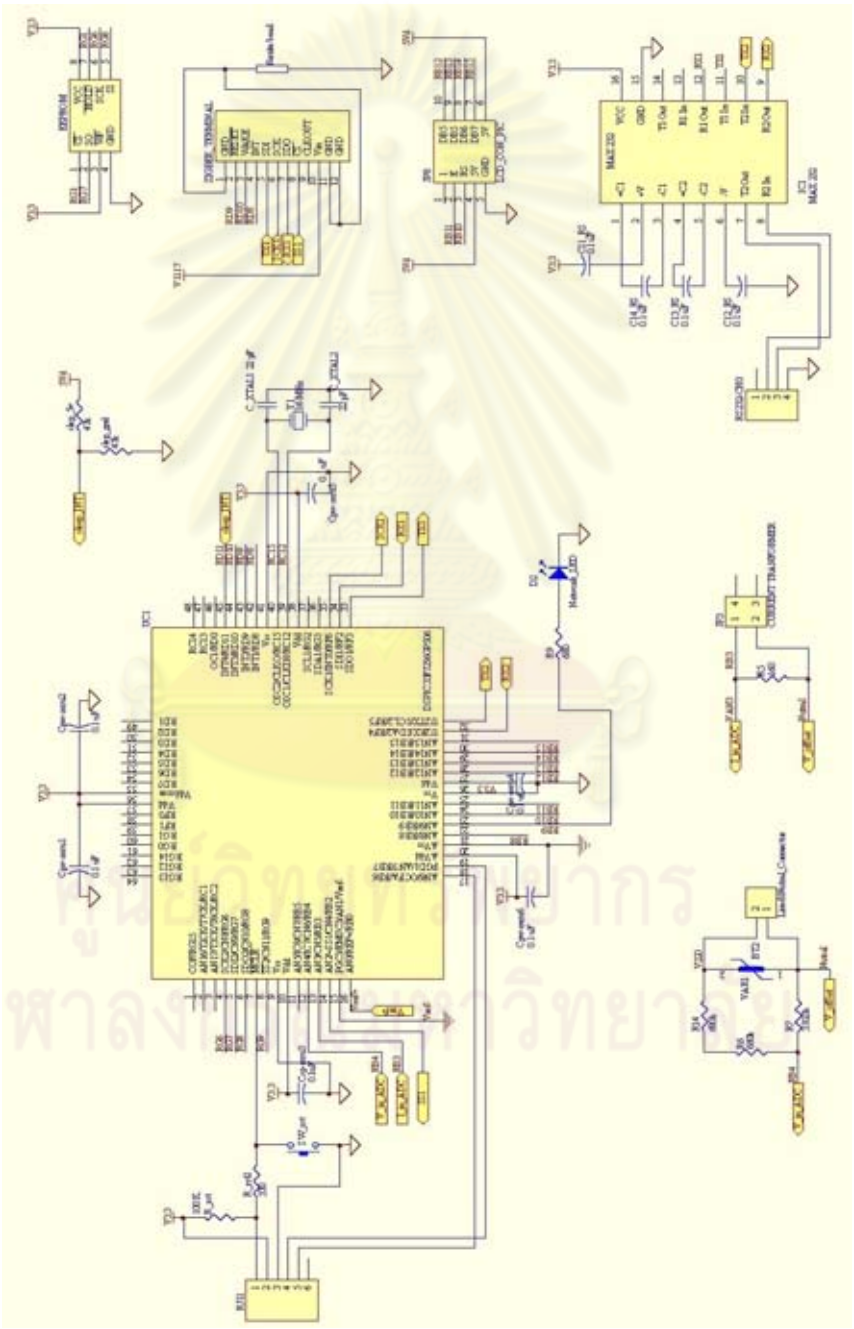
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

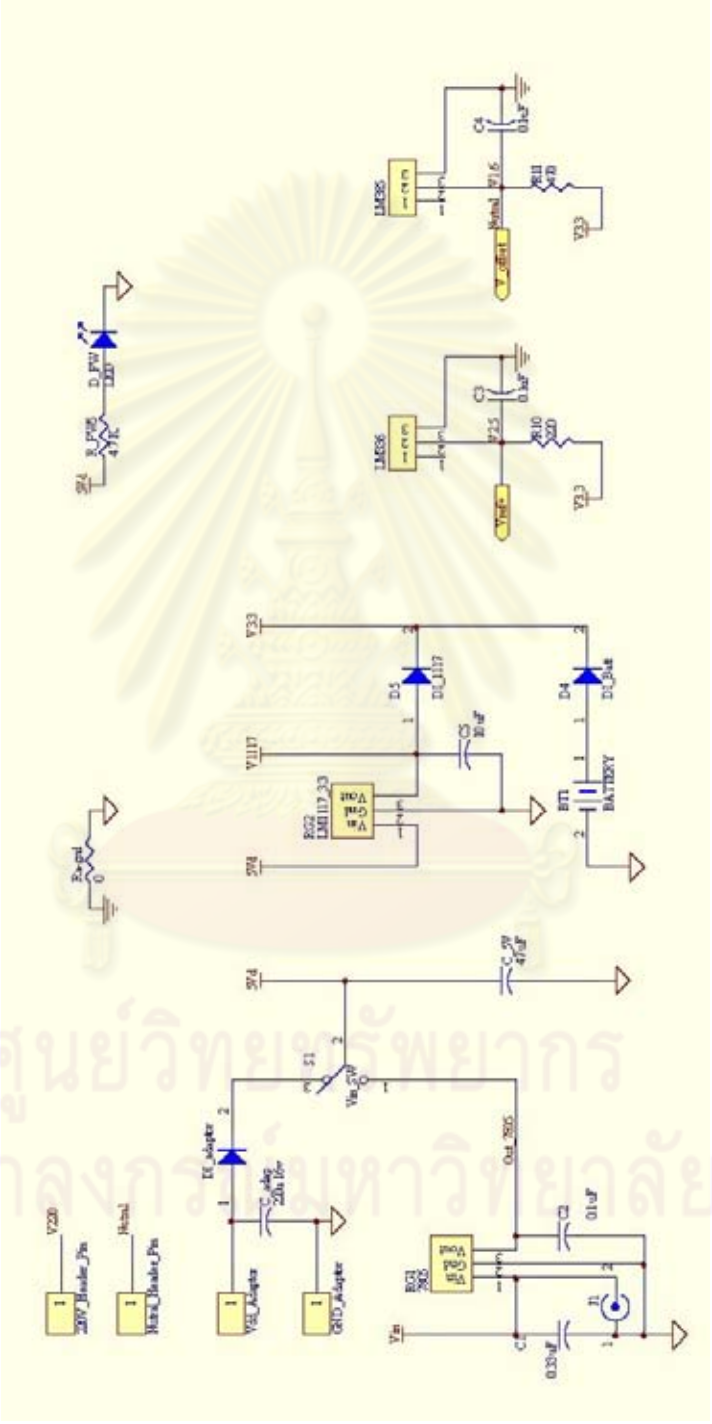
ภาคผนวก ก

รูปวงจรซึ่งออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้

วงจรบอร์ดชิป dsPIC33FJ256GP506



วงจรไฟเลี้ยงบอร์ด



ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาเครือข่ายมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน Zigbee

Development of an Energy Meter Network complied with the Zigbee Standard

กัมปนาท สุวรรนาวุธ และ รินดอิน โปร่า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
โทรศัพท์: 0-2218-6488 โทรสาร 0-2218-6488 E-mail: kampanard_s@hotmail.com

EL 020

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบเครือข่ายมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าซึ่งส่งข้อมูลโดยใช้สัญญาณวิทยุในย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน Zigbee ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ บอร์ดแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลความละเอียด 12 บิต ที่อัตราชักตัวอย่าง 4 ksps และส่วนระบบเครือข่ายสำหรับบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยส่งข้อมูลที่วัดได้ผ่านคลื่นสัญญาณวิทยุตามมาตรฐาน Zigbee ในย่านความถี่ 2.4 GHz ที่ระยะส่งสูงสุด 100 เมตร ซึ่งใช้บอร์ดรับส่งสัญญาณวิทยุ MRF24J40MA ทั้ง 2 ส่วนนี้ทำงานอยู่บนชิพประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ที่มีหน่วยความจำภายในขนาด 256 กิโลไบต์ ใหญ่พอสำหรับเก็บโปรแกรมวัดพลังงานไฟฟ้าและโปรแกรมสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ (Zigbee Stack) ไว้ในชิพเดียว, จึงทำให้ระบบมีขนาดเล็ก, ประหยัดและกินพลังงานต่ำ ระบบที่นำเสนอนี้สามารถส่งผ่านข้อมูลระหว่างมิเตอร์กับตัวอ่านผ่านมิเตอร์ตัวอื่นได้ ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ไกลขึ้น

คำสำคัญ: มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า, เครือข่ายไร้สาย, ระบบอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ

Abstract

This paper presents development of an energy meter using 2.4 GHz radio frequency compiled with the Zigbee standard. The energy meter comprises of 2 important parts, which are energy meter for measuring voltage and current by 12-bit 4 ksps analog to digital converter, and a wireless network system for sending computed electrical energy via 2.4 GHz MRF24J40 Zigbee module with 100 meters range. All processing tasks are performed by dsPIC33FJ256GP506 processor. Software for computing electrical energy and Zigbee stack resides 256 KB internal memory of the processor which makes the overall system compact, cost effective and energy saving. The proposed system covers wide area, because, it can transmit data between one meter to reader via another meter.

Keywords: Energy Meter, Zigbee, Automatic Meter Reading

1. บทนำ

ปัญหาการใช้พลังงานในปัจจุบัน เป็นผลมาจากการการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการจดบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละบริเวณที่ต้องการจะตรวจสอบ อันจำเป็นต้องอาศัยระบบที่เหมาะสมกับบริเวณตรวจสอบ หากเป็นพื้นที่ทุรกันดารเข้าถึงได้ยาก ทำให้คนเข้าไปตรวจสอบด้วยเท้าได้ลำบาก การนำระบบอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading: AMR) เข้ามาช่วย ซึ่งอาศัยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดความสะดวกอีกทั้งขจัดข้อผิดพลาดอันเกิดขึ้นจากคนออกไป ตัวกลางที่นำมาใช้ในระบบอาจใช้คลื่นความถี่วิทยุ, แสงอินฟราเรด, หรือสายส่งกำลัง ทั้งนี้การเลือกใช้ตัวกลางใดนั้นแล้วแต่ความเหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ใช้งานและปัจจัยทางด้านราคาต้นทุน ณ ขณะนั้น เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุด

การเลือกตัวกลางเป็นคลื่นวิทยุในระบบเครือข่ายมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัตินี้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้วัดพลังงานไฟฟ้าตามจุดต่างๆที่ต้องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เนื่องจากระบบนี้ง่ายในการติดตั้ง โดยไม่ต้องพิจารณาถึงการเดินสายไฟสำหรับส่งข้อมูลจากมิเตอร์แต่ละเครื่อง และเนื่องจากโพรโทคอล Zigbee [1] ที่ใช้อยู่บนมาตรฐาน IEEE802.15.4 [2] เข้ามามีส่วนร่วมใช้กับระบบแล้ว ทำให้การสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น [1] อีกทั้งเนื้อเลือกใช้รูปแบบเครือข่ายที่เหมาะสมยังสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขึ้นด้วย

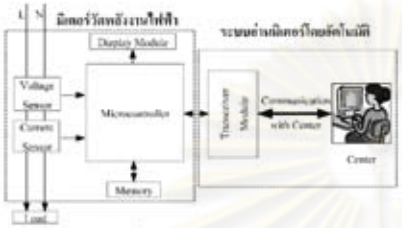
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติ

ระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติ เป็นระบบที่ต้องวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและอ่านค่ามิเตอร์ผ่านระบบสื่อกลาง จากนั้นนำข้อมูลที่อ่านได้ทั้งหมดมารวบรวมเก็บไว้ที่ส่วนกลาง ระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ

1. ส่วนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า
2. ส่วนระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าอัตโนมัติ

ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติ

2.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า [3] ทำได้โดยนำค่าสัญญาณตัวอย่างของทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้ามาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

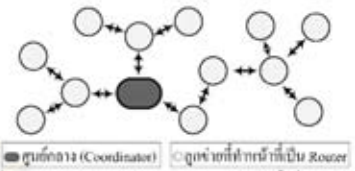
$$P = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} I_n V_n \qquad (1)$$

$$W = \frac{\Delta t}{3.6\times10^{6}}\sum_{n=0}^{N-1} I_n V_n \qquad (2)$$

โดย $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ คือระยะห่างของการเก็บตัวอย่างระหว่าง $i(t)$ และแรงดัน $v(t)$, I_n กับ V_n คือตัวอย่างกระแสและแรงดันที่เก็บในลำดับที่ n ตามลำดับ

2.3 โพรโทคอล Zigbee

โพรโทคอล Zigbee ความเร็วในการการส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเหมาะสมกับระบบอ่านค่ามิเตอร์ เนื่องจากไม่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลมากนัก ในบทความนี้เลือกใช้รูปแบบเครือข่ายแบบ Cluster Network [1] ดังแสดงในรูปที่ 2 เครือข่ายแบบนี้มีศูนย์กลางที่เรียกว่า Coordinator คอยดูแลการติดต่อสื่อสารของทั้งระบบ หากลูกข่ายอยู่ห่างจากศูนย์กลางเกินระยะสื่อสารกันโดยตรง สามารถติดต่อผ่านทางลูกข่ายที่เป็น Router ได้ ในบทความนี้ตัวมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในระบบสื่อสารเป็น Router เพื่อส่งผ่านข้อมูลพลังงานจากมิเตอร์ตัวหนึ่งไปยังมิเตอร์ข้างเคียง ไปจนถึงส่วนกลาง ซึ่งทำให้ขอบเขตการอ่านเพิ่มมากขึ้น



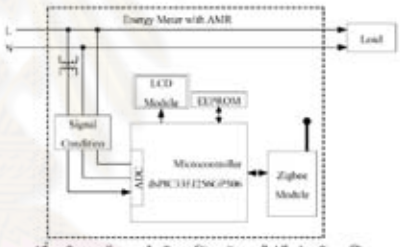
รูปที่ 2. รูปแบบเครือข่ายแบบ Cluster Network ทำให้พื้นที่ของเครือข่ายกว้างมากยิ่งขึ้น

3. ระบบเครือข่ายอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

ระบบเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นสามารถแบ่งรายละเอียดออกเป็นส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ดังนี้

3.1 ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3 และวงจรต้นแบบในรูปที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ดังนี้



รูปที่ 3. โครงสร้างภายในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติ

รูปที่ 4. บอร์ดมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติที่สร้าง

- หน่วยประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 [4] ประมวลผลที่ความเร็ว 16 MHz ประกอบด้วยมอดูลเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ขนาด 12 บิต 1 ชุด, มอดูลการติดต่อสื่อสาร SPI 2 ชุด, มอดูลการติดต่อสื่อสาร UART 2 ชุด, โมดูล GPIO 53 ขา

- มอดูลรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไพวโทคอล Zigbee เบอร์ MRF24J40MA [5] ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรทซ์ มีความเร็วในการส่งข้อมูล 250 กิโลบิตต่อวินาที ติดต่อผ่านพอร์ต SPI ระยะทางส่งข้อมูลสูงสุด 100 เมตร ในที่โล่ง

- หม้อแปลงกระแส ความแม่นยำ 0.5% กระแสพิกัด 10 A

- ส่วนปรับเงื่อนไขสัญญาณ (Signal Conditioning Board) ทำหน้าที่ปรับขนาดสัญญาณที่วัดให้เหมาะสม ก่อนส่งเข้าไปยังส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลภายใน microcontroller

- หน่วยความจำนิด EEPROM ภายนอกขนาด 256 กิโลไบต์ เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ต SPI

- จอ LCD ทำหน้าที่แสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้

3.2 รายละเอียดส่วนซอฟแวร์

ซอฟแวร์ที่โปรแกรมลงภายในชิพประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 ส่วนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

การทำงานของโปรแกรมวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 5 ได้แก่

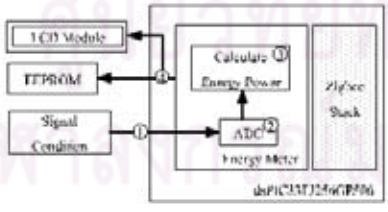
1. รับสัญญาณกระแสสลับกับแรงดันจากส่วนปรับเงื่อนไขสัญญาณด้วยความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์

2. แปลงสัญญาณกระแสและแรงดันจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ 12 บิต ADC

3. คำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2 โดยใช้ dsPIC33FJ256GP506

4. ส่งข้อมูลที่คำนวณได้ไปบันทึกลง EEPROM ทุก 15 นาที และส่งสัญญาณคำสั่งและข้อมูลเพื่อแสดงผลบนจอ LCD

5. หากเกิดระบบไฟฟ้าขัดข้อง เมื่อกลับสู่สภาวะปรกติมิเตอร์จะกลับมาอ่านค่าพลังงานล่าสุดที่เก็บไว้ใน EEPROM อำนวย



รูปที่ 5. ขั้นตอนการทำงานในส่วนมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าในชิพประมวลผล dsPIC33FJ256GP506

3.1.2 ส่วนระบบสื่อสาร Zigbee

การสื่อสาร Zigbee เป็นการส่งข้อมูลจากตัวมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าไปยังส่วนกลาง ซึ่งข้อมูลถูกส่งผ่านทางซอฟแวร์ไพวโทคอล Zigbee Stack [6] ของบริษัท Microchip โดยได้ส่วนของขั้นตอนการส่งค่าพลังงานเพิ่มเติมเข้าไป ดังมีลำดับการส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

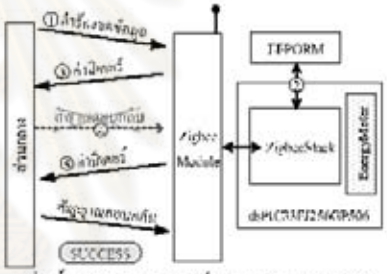
1. รับการร้องขอข้อมูลจากส่วนกลางผ่านทาง Zigbee Module

2. ชิพประมวลผ่านข้อมูลมิเตอร์ที่เก็บไว้ทุก 15 นาทีจาก EEPROM

3. ส่งข้อมูลกลับไปยังส่วนกลางผ่านทาง Zigbee Module

4. รอสัญญาณตอบรับจากส่วนกลาง

5. หากไม่ได้รับสัญญาณตอบกลับจากส่วนกลาง ระบบจะส่งข้อมูลออกไปซ้ำครั้งจนกว่าจะได้รับการตอบรับจากส่วนกลาง



รูปที่ 5. ขั้นตอนการทำงานในส่วนสื่อสารของโปรแกรมภายในชิพประมวลผล dsPIC33FJ256GP506

4. การทดลอง

ได้ทำการทดลองสองชุด ชุดแรกเป็นการวัดความแม่นยำของมิเตอร์ที่ระดับกระแสต่าง ๆ และชุดที่สองเป็นการวัดระยะสื่อสารที่คุณภาพต่าง ๆ กัน

4.1 การวัดค่าความแม่นยำของมิเตอร์ที่กระแสต่าง ๆ

วัดพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายโหลดไฟฟ้าสามเฟส CALSOURCE 200 ของบริษัท MTE (Meter Test Equipment) แล้วเทียบกับมิเตอร์อ้างอิงซึ่งมีความแม่นยำในการวัดระดับ 0.05% ของบริษัท MEH (Energie Messtechnik GmbH) โดยจ่ายโหลดด้วยแรงดัน 220 โวลต์ และค่ากระแสต่าง ๆ กัน แล้ววัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนกับค่าที่วัดได้จากมิเตอร์อ้างอิง ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าวัดได้จากมิเตอร์ที่สร้างขึ้นเทียบกับมิเตอร์อ้างอิงมาตรฐาน ที่ระดับกระแสป้อนโหลดต่าง ๆ

กระแสโหลด (A)	กำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์อ้างอิง (W)	กำลังไฟฟ้าจากเครื่องวัด (W)	ความผิดพลาด (%)
0.5	109.96	108.36	- 1.46
1	219.99	218.02	- 0.90
2	439.33	438.82	- 0.12
5	1,099.3	1,100.3	+ 0.09
10	2,199.6	2,190.6	- 0.41

4.2 การสื่อสารที่คุณภาพต่าง ๆ

ส่วนของการสื่อสารในล้านการเข้าร่วมเครือข่ายได้ปรับขอบเขตต่ำสุดของคุณภาพสัญญาณที่รับเข้าร่วมเครือข่าย (LQI: Link quality indicator) [1] ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพ รวมถึงค่า SNR (Signal to noise ratio) ของการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวศูนย์กลางกับอุปกรณ์ย่อย โดยวัดระยะสูงสุดที่ตัวลูกข่ายยังสามารถเข้าร่วมเครือข่ายได้ การทดสอบเป็นการทดสอบในที่โล่ง โดยปรับทิศหน้าสายสัญญาณเข้าหากันและต่างฉากกับพื้น เพื่อให้ทิศในการรับส่งข้อมูลมีกำลังสัญญาณสูงสุด ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะสูงสุดในการเข้าร่วมเครือข่ายที่ระดับ LQI ต่าง ๆ

LQI ต่ำสุดที่รับเข้าเครือข่าย	ระยะสูงสุดที่ยังสามารถเข้าร่วมเครือข่ายได้ (เมตร)
40	25
30	32
20	47
10	56
7	62
1	96

จากตารางที่ 2 ค่า LQI ที่เลือกใช้ส่งข้อมูลของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าในบทความนี้เท่ากับ 7 ซึ่งได้ระยะในการเข้าร่วมเครือข่ายสูงสุดที่ 62 เมตร เนื่องจากเป็นระยะที่เพียงพอสำหรับติดตั้งมิเตอร์ระหว่างเสาไฟฟ้า ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 50 เมตร

5. สรุปและงานต่อยอด

ได้พัฒนาระบบโครงข่ายมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า ตามมาตรฐานการสื่อสาร Zigbee โดยใช้รูปแบบโครงข่าย Cluster เพื่อช่วยเพิ่มระยะการส่งจากมิเตอร์ตัวไกลสุดถึงส่วนกลางได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ระบบครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ซึ่งระยะการส่งข้อมูลระหว่างมิเตอร์ตัวหนึ่งต่อมิเตอร์อีกตัวหนึ่งคือ 62 เมตร เพียงพอสำหรับการส่งข้อมูลระหว่างเสาไฟฟ้าแต่ละต้นที่มีระยะห่างกัน 50 เมตร และทดสอบแล้วว่าเพียงพอสำหรับการส่งข้อมูลระหว่างชั้นของอาคาร จึงสามารถนำไปใช้ในการวัดการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย หรือสำนักงาน ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบเครือข่ายในอาคารสำนักงานได้ และอาจนำไปใช้ร่วมกับ Ethernet เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่อเครือข่ายให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Zigbee Alliances, "Zigbee Specification Document 053474e17" Available from: http://zigbee.org, January, 2008.

[2] IEEE Std 802.15.4a-2007, "wireless medium Access Control and Physical Layer Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks", August, 2007.

[3] กรีน เลขานนท์, "การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ที่ใช้ในอาคารที่ระดับความแม่นยำ 0.5", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

[4] Microchip Technology Inc., "dsPIC33FJ256GP506 Digital Signal Controller", Available from: http://www.microchip.com, August, 2007.

[5] Microchip Technology Inc., "MRF24J40MA 2.4 GHz IEEE 802.15.4 radio transceiver module", Available from: http://www.microchip.com, August, 2008.

[6] Microchip Technology Inc., "AN123 Microchip Zigbee-2006 Residential Stack Protocol", Available from: http://www.microchip.com, August, 2008.

กัมปนาท สุวรรณาวุธ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สนใจงานวิจัยด้านการออกแบบระบบสมองกลฝังตัว

รินดอลิม โปรา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี และโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก จาก Imperial College University of London, UK ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกัมปนาท สุวรรนาวุธ เกิดวันที่ ๒ พฤศจิกายน พ.ศ.๒๕๒๗ ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา ๒๕๔๙ ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา ๒๕๕๐

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย