ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า | วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย

Development of Electric Energy Monitoring System for Residential Application

นามผู้วิจัย นายปรัชญา สุริย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูเกียรติ การะเกตุ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย

Development of Electric Energy Monitoring System for Residential Application

โดย

นายปรัชญา สุริย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญา สุริย์ 2555: การพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูเกียรติ การะเกตุ, Ph.D. 62 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย ซึ่งประกอบไปด้วยการพัฒนาสมาร์ทมิเตอร์สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า ที่สามารถส่งข้อมูลด้วยการสื่อสารแบบซิกบี หน่วยรวมข้อมูลที่ทำหน้าที่รับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสมาร์ทมิเตอร์ผ่านการสื่อสารแบบซิกบี และส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยใช้การสื่อสารแบบ GPRS ผ่านระบบอินเตอร์เน็ต และคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูล และนำข้อมูลมาแสดงผลในรูปแบบของเว็บเพจเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ได้

ผลการพัฒนาพบว่า สมาร์ทมิเตอร์ที่ถูกพัฒนามีค่าความแม่นยำเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62053-21 Class 1 ระบบถูกติดตั้ง และถูกใช้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า และนำผลมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานได้จริง

__________________ __________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Prachya Suri 2012: Development of Electric Energy Monitoring System for Residential Application. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Chugiat Garagate, Ph.D. 62 pages.

This research presents development of electric energy monitoring system for residential application. System development consist of smart meter for measurement of electrical energy usage and send data by Zigbee communication. Data concentrator unit is used for receiving energy usage information from smart meter through Zigbee communication and send data to computer server by using GPRS communication through internet network system. Finally, computer server is used for storing data and present these data to user by web pages for further analysis.

Development result found that the developed smart meter has accuracy comply with IEC 62053-21 class 1 standard. System was installed and used for collect electrical energy usage data every 15 minutes, so the user will know about behavior of electrical energy usage. The result can be used to change behavior of electric energy usage in order to reduce using energy.

_______________________ _______________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชูเกียรติ การะเกตุ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณบริษัท พรีไซซ ซิสเท็มแอนด์ โปรเจค จำกัด ที่ได้ให้โอกาสแก่ผู้วิจัยในการศึกษาในครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ปรัชญา สุริย์

พฤษภาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	49
ผล	49
วิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
สรุป	55
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ภาคผนวก	59
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และ พลังงานไฟฟ้า ของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2545 – 2554	4
2	ประเภทข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม	19
3	ประเภทข้อมูลชนิดจำนวนทศนิยม	19
4	ประเภทข้อมูลสำหรับวันและเวลา	20
5	ประเภทข้อมูลสำหรับตัวอักษร	21
6	คุณสมบัติของแต่ละ Field ข้อมูลของ Table “raw”	43
7	ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของสมาร์ทมิเตอร์	50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เลเยอร์การทำงานของการสื่อสารด้วยซิกบี	7
2	ลักษณะการทำงานของซิกบี	8
3	ตัวอย่างการแทรกคำสั่งภาษา PHP ในเอกสาร HTML	10
4	ตัวอย่างการแสดงข้อความออกทางบราวเซอร์	10
5	ตัวอย่างการใส่ Comment ภายในสคริปต์	11
6	ตัวอย่างการกำหนดตัวแปร Integer	11
7	ตัวอย่างการกำหนดตัวแปร String	12
8	ตัวอย่างการใช้เงื่อนไขด้วยคำสั่ง IF…ELSE Condition	13
9	ตัวอย่างการใช้เงื่อนไข ด้วยคำสั่ง Switch	13
10	ตัวอย่างการใช้ลูป ด้วยคำสั่ง While Loop	14
11	ตัวอย่างการใช้ลูป ด้วยคำสั่ง Do while	14
12	ตัวอย่างการใช้ลูป ด้วยคำสั่ง For Loop	15
13	ผลลัพธ์การเรียกใช้คำสั่ง $mysql	16
14	แผนผังของระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย	25
15	แผนผังวงจรสมาร์ทมิเตอร์	26
16	วงจรส่วน AFE	26
17	ส่วนประกอบภายใน IC ADE7169	27
18	Block Diagram ภายในวงจรส่วน Energy Measurement	28
19	XBee PRO Communication Module	28
20	แผนผังวงจรของสมาร์ทมิเตอร์	29
21	แผงวงจรส่วนมิเตอร์	30
22	แผงวงจรส่วนสื่อสารด้วยซิกบี	30
23	สมาร์ทมิเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	31
24	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	32
25	แผนผังของวงจรหน่วยรวมข้อมูล	36
26	SIM300C GSM/GPRS Module	36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	แผนผังวงจรส่วนหน่วยประมวลผล	37
28	แผนผังวงจรส่วนการสื่อสารด้วยซิกบี	38
29	แผงวงจรหน่วยรวมข้อมูล	38
30	หน่วยรวมข้อมูลที่ประกอบสมบูรณ์	39
31	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของหน่วยรวมข้อมูล	39
32	แผนผังการทำงานของโปรแกรมส่วนสื่อสาร	41
33	Icon ของโปรแกรมส่วนสื่อสาร และการแสดง Icon บน Taskbar	43
34	เมนูบาร์ของโปรแกรม	44
35	หน้าต่างการใส่รหัสผ่านของโปรแกรม	44
36	หน้าต่างหลักของโปรแกรม	44
37	การแสดงผลส่วน Recent Usage	47
38	การแสดงผลส่วน Historical Usage	48
39	การแสดงผลส่วน About Us	48
40	เครื่อง Test Bench และการทดสอบสมาร์ทมิเตอร์ด้วย Test Bench	49
41	การติดตั้งทดสอบเพื่อวัดการใช้กำลังงานไฟฟ้า	50
42	โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องวิจัย สำหรับใช้ในการทดสอบระบบ	51
43	ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า (ณ วันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2012)	52
44	ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า (ณ วันที่ 22-23 พฤศจิกายน 2012)	52
45	ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าเดือน ธันวาคม 2554	53

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AFE	=	Analog Front End
CT	=	Current Transformer
EEPROM	=	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPRS	=	General Packet Radio Service
I	=	Current
IC	=	Integrated circuit
kbps	=	Kilobit per Second
kW	=	Kilo Watt
kWh	=	Kilo Watt Hour
LCD	=	Liquid Crystal Display
MC	=	Meter Constance
MCU	=	Main Controller Unit
MPU	=	Main Processor Unit
RTC	=	Real Time Clock
SFRs	=	Special Function Registers
UART	=	Universal Asynchronous Receiver / Transmitter
V	=	Voltage
WPAN	=	Wireless Personal Area Network

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย

Development of Electric Energy Monitoring System for Residential Application

คำนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วต่อไปในอนาคต พลังงานไฟฟ้าจึงเสมือนเป็นความต้องการขั้นพื้นฐานในการใช้ชีวิตของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน และในอนาคต

จากแนวโน้มดังกล่าว อาจเกิดปัญหากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน ซึ่งการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นนั้น แนวทางหนึ่งคือการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต โดยการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่นโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันมนุษย์ได้ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมของโลก และปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลทำให้มีการต่อต้านการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ดังกล่าวข้างต้น การผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับพลังงานสะอาด และปลอดภัยกับสิ่งแวดล้อม แต่ ณ ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตอุปกรณ์การผลิตพลังงานทดแทนในเชิงพาณิชย์ได้ ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีราคาค่อนข้างสูง

อีกแนวทางหนึ่งในการป้องกันปัญหากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการใช้งานทำได้โดยการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งการแก้ปัญหาโดยแนวทางดังกล่าว ต้องแก้ไขโดยการปรับพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละบุคคล

ในปัจจุบันการใช้งานอินเตอร์เน็ตเป็นส่วนหนึ่งของพฤติกรรมการใช้ชีวิตของมนุษย์ โดยเป็นแหล่งข้อมูลที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ง่าย ผ่านการใช้งานคอมพิวเตอร์ หรือสมาร์ทโฟน ดังนั้นอินเตอร์เน็ตจึงเป็นโดยเครื่องมือหนึ่งที่ความสามารถนำมาใช้ในการแสดงผล ให้ผู้ใช้ทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองได้โดยง่ายผ่านโปรแกรมเว็บบราวเซอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานสำหรับที่พักอาศัย จะเป็นการพัฒนาสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ก่อนส่งข้อมูลในรูปแบบซิกบี ให้กับหน่วยรวมข้อมูล ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรวบรวมข้อมูลก่อนส่งข้อมูลผ่านระบบ GPRS เพื่อเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลให้กับผู้ใช้งานในลักษณะเว็บเพจ ซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการคือระบบที่ทำให้ผู้ใช้สามารถทราบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเอง และสามารถวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และผู้ใช้งานสามารถตั้งเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเอง ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเป็นไปตามแนวทางสมาร์ทกริดนั้นเอง

ระบบการตรวจวัดพลังงานสำหรับที่พักอาศัย จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่ให้ผู้ใช้งานสามารถทราบการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเอง แล้วเพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตนเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบระบบการตรวจวัดพลังงานสำหรับที่พักอาศัย ที่รองรับลักษณะการใช้งานจริงในสภาวะแวดล้อมของที่พักอาศัยในประเทศไทย

2. เพื่อพัฒนาสมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) ต้นแบบ เพื่อใช้ในการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและสามารถส่งข้อมูลด้วยการสื่อสารไร้สายแบบซิกบี

3. เพื่อพัฒนาหน่วยรวมข้อมูล (Data Concentrator Unit) ต้นแบบ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ผ่านการสื่อสารแบบซิกบี และส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตโดยอาศัยระบบ GPRS ไปสู่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์

4. เพื่อพัฒนาซอฟแวร์ส่วนสื่อสาร (Head-End Software) สำหรับติดตั้งที่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้ในการดึงข้อมูล และมาเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล

5. เพื่อพัฒนาโปรแกรมส่วนแสดงผลบนเว็บเพจ (Web Application) สำหรับแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

6. เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของระบบ และนำเสนอวิธีการปรับพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

สมาร์ทกริด

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีความต้องการในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยมีความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และพลังงานไฟฟ้า 10 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2545 - พ.ศ. 2554) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และ พลังงานไฟฟ้า ของประเทศไทยปีพ.ศ. 2545 - 2554

ปี พ.ศ.	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (GW)	พลังงานไฟฟ้า (GWh)
2545	16,126	103,855
2546	16,681	111,255
2547	18,121	117,290
2548	19,326	121,534
2549	20,538	134,798
2550	21,064	141,918
2551	22,586	147,025
2552	22,568	148,264
2553	22,596	148,372
2554	24,630	163,660

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

โดยพบว่าประเทศไทยมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด เพิ่มขึ้นเท่ากับ 52.73% และการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 57.58% ส่งผลให้ประเทศไทยจำเป็นต้องวางแผนการพัฒนาประเทศให้รองรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าว โดยจะเห็นได้จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550- พ.ศ. 2554) ซึ่งพอสรุปได้ 2 แนวทางคือการพัฒนาพลังงานทางเลือก และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2548) ซึ่งแนวทางดังกล่าวคือแนวทางตามแนวคิดของสมาร์ทกริดนั่นเอง

ปัจจุบันในแต่ละประเทศที่พัฒนาแล้ว จะมีนโยบายการพัฒนาประเทศมุ่งสู่แนวทางสมาร์ทกริด ซึ่งปัจจัยหลักที่มีส่วนผลักดันให้นำแนวทางสมาร์ทกริดเข้ามาประยุกต์ใช้ (Scott *et al.,* 2008) มีด้วยกัน 3 ส่วนคือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ความต้องการ ความน่าเชื่อถือ และคุณภาพของพลังงานไฟฟ้า

2. ความต้องการที่จะรักษาสิ่งแวดล้อม

3. ความต้องการที่จะพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพเพิ่มที่ดีที่สุด

ในแต่ละประเทศสมาร์ทกริด อาจมีความหมายแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับนโยบายหลักของการนำไปใช้ แต่สิ่งที่เหมือนกันคือ คุณลักษณะของแนวทางสมาร์ทกริด (Dolle, 2009) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 ข้อ คือ

1. การมีส่วนร่วมของผู้บริโภคที่สามารถทราบถึงข้อมูล และร่วมบริหารจัดการ

2. รองรับการผลิตและจัดเก็บ พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่หลากหลาย

3. เปิดโอกาสในการแข่งขันของผู้ให้บริการทางไฟฟ้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้บริโภค

4. จัดหาพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพ

5. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบไฟฟ้า

6. คาดการและตอบสนองเพื่อแก้ปัญหาของระบบไฟฟ้าได้

7. ป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าได้

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ประธานาธิบดีบารัค โอบามา (Barack Obama) ได้ประกาศนโยบายการลงทุนสำหรับการพัฒนาประเทศ ในวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2552 (THE OFFICE OF THE PRESIDENT – ELECT, 2009) โดยมีเนื้อหาส่วนหนึ่ง กล่าวถึงการใช้แนวทางสมาร์ทกริดเพื่อพัฒนาระบบไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้มีการวางแผนการใช้งบประมาณมูลค่า 100,000 ล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อดำเนินโครงการประหยัดพลังงาน และสนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือก ซึ่งแผนการนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยังรวมถึงการปฏิวัติระบบจำหน่ายให้ทันสมัย โดยติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ในที่พักอาศัยรวมทั้งสิ้น 40 ล้านหลังคาเรือนด้วย

กูเกิล (Google) ตระหนักถึงความสำคัญของแนวทางสมาร์ทกริด ซึ่งได้แถลงการณ์ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 (สำนักความร่วมมือระหว่างประเทศ, 2552) โดยมีใจความสำคัญว่ากูเกิลตั้งใจ และยืนยันที่จะช่วยโลกให้พ้นจากภาวะวิกฤตโลกร้อน ด้วยการเปลี่ยนวิถีชีวิตของคนนับล้าน โดยการออกแบบเครื่องมือให้บริการผ่านอินเตอร์เน็ตที่สามารถแสดงภาพการใช้พลังงานภายในบ้านแบบเวลาจริง โดยเรียกเครื่องมือนี้ว่า กูเกิลพาวเวอร์มิเตอร์ (Google PowerMeter) โดยมีเป้าหมายหลัก 3 ประการดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาปรับพฤติกรรมการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ให้ใช้พลังงานอย่างประหยัด เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือน

3. แบ่งปันข้อมูลการใช้พลังงานภายในบ้านกับเพื่อนหรือชุมชน เพื่อร่วมหาวิธีประหยัดพลังงาน

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2554) ได้ประกาศแผนยุทธศาสตร์ “PEA Smart Grid Roadmap” เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบไฟฟ้า สู่แนวทางสมาร์ทกริดโดยมีแผนการ โดยมีแผนการติดตั้งโครงข่ายมิเตอร์ก้าวหน้า (Advanced Metering Infrastructure: AMI) โดยประกอบด้วย การติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ เพื่อทดแทนอิเล็กทรอ-แมคคานิคมิเตอร์ ที่ติดตั้งใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อย จำนวนทั้งสิ้นประมาณ 15 ล้านเครื่อง ภายในระยะเวลา 15 ปี

โดย Shang-Wen Luan *et al.* (2009) ได้พัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อแจ้งข้อมูลให้กับผู้ใช้ได้ตลอดเวลา โดยใช้สมาร์ท มิเตอร์ ที่ใช้ระบบสื่อสารแบบซิกบีส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการแสดงข้อมูล ซึ่งการพัฒนาระบบดังกล่าวยังมีปัญหาในการแสดงข้อมูลให้ผู้ใช้งานที่ยังไม่สะดวก เพราะการแสดงผลของระบบดังกล่าวยังถูกจำกัด โดยสามารถแสดงผลให้กับผู้ใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ที่อยู่ระยะใกล้ในระยะการสื่อสารแบบซิกบีเท่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซิกบี

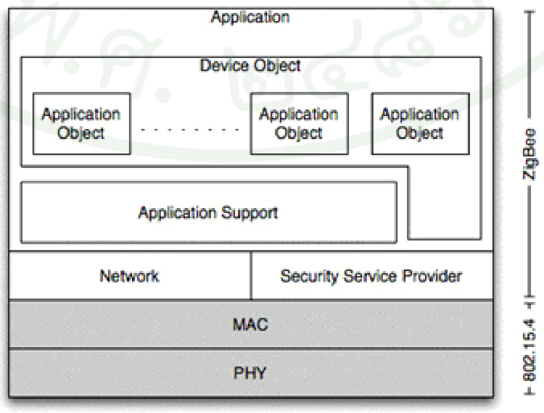
ซิกบี (ZigBee Alliance, 2011) เป็นมาตรฐานการสื่อสารสากลซึ่งถูกกำหนดโดย ZigBee Alliance ซึ่งเป็นการสื่อสารไร้สาย ด้วยคลื่นวิทยุพลังงานต่ำ ซึ่งมีลักษณะการสื่อสารเป็น Mesh Network ทำงานอยู่บนย่านความถี่ ISM โดยมาตรฐานมีด้วยกัน 3 ความถี่ คือ

1. ความถี่ 868 MHz สำหรับใช้ในกลุ่มประเทศยุโรป มีช่องสัญญาณ 1 ช่องสัญญาณ ความเร็วสูงสุด 20 kbps.

2. ความถี่ 915 MHz สำหรับใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีช่องสัญญาณ 10 ช่องสัญญาณ ความเร็วสูงสุด 40 kbps.

3. ความถี่ 2.4 GHz สำหรับใช้กับทุกประเทศทั่วโลก มีทั้งหมด 16 ช่องสัญญาณ ความเร็วสูงสุด 250 kbps.

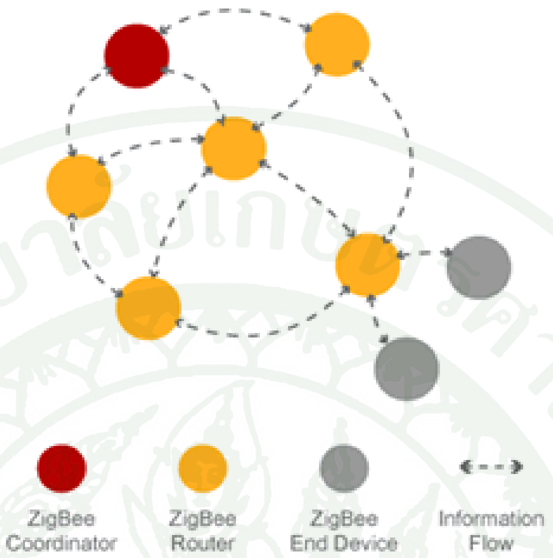
โครงสร้างการสื่อสารด้วยซิกบีทำงานบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN โดยใช้ Physical Layer และ MAC Layer ทำงานใน 2 เลเยอร์ล่างสุด เพื่อนำมาใช้จัดการเรื่องระดับกำลังของสัญญาณ, คุณภาพของการเชื่อมต่อ, การควบคุมการเข้าถึง และความปลอดภัย เป็นต้น ส่วนเลเยอร์ถัดไปจะเป็นรูปแบบของซิกบี ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เลเยอร์การทำงานของการสื่อสารด้วยซิกบี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซิกบีสามารถแบ่งการทำงานได้ 3 ลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 2 คือ



ภาพที่ 2 ลักษณะการทำงานของซิกบี

ที่มา: Zigbee Alliance (2011)

1. Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device และ Router และดูแลจัดการเรื่องการเส้นทางการสื่อสารในการส่งข้อมูล

2. End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน

3. Router มีหน้าที่ใช้รับส่งสัญญาณจากเซ็นเซอร์ และทำหน้าที่รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่างๆ ของเครือข่าย เพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสารในเครือข่าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาษา PHP (PHP Hypertext Preprocessor Language)

ภาษา PHP (PHP Hypertext Preprocessor Language) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ สคริปต์ (Server-Side Script) ซึ่งจะทำงาน ในฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server) และส่งการแสดงผลมายังบราวเซอร์ (Browser) ของตัวไคลเอ็นต์ (Client) และนอกจากนี้ยังเป็นสคริปต์ ที่ embed บน HTML อีกด้วย

ภาษา PHP มีลิขสิทธิ์อยู่ในลักษณะโอเพนซอร์ส ซอฟต์แวร์ (OpenSource Software) ใช้สำหรับจัดทำเว็บไซต์ และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML โดยมีรากฐานโครงสร้างคำสั่งมาจากภาษาซี (C Language) ภาษาจาวา (Java Language) และภาษาเพิร์ล (Perl Language)

ลักษณะของภาษา PHP เป็นภาษาสคริปต์ซึ่งคำสั่งต่างๆจะเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่า สคริปต์ (Script) และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัวแปรชุดคำสั่ง โดยภาษา PHP มีความแตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่นๆ คือ ภาษา PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมา เพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นจึงกล่าวว่าภาษา PHP เป็นภาษาที่เรียกว่า HTML-Embedded Scripting Language ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้สามารถสร้างเอกสารแบบไดนามิก (Dynamic) HTML ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น

ภาษา PHP เป็นผลงานที่เติบโตมาจากกลุ่มของนักพัฒนาในเชิงเปิดเผยรหัสต้นฉบับ ดังนั้นภาษา PHP จึงมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับ Apache Web Server บนระบบปฏิบัติการเช่น Linux หรือ FreeBSD เป็นต้น ในปัจจุบันภาษา PHP สามารถใช้ร่วมกับ Web Server หลายๆตัวบนระบบปฏิบัติการอย่างเช่น Windows 95/98/NT/XP/7 เป็นต้น (บัญชา, 2550)

1. คำสั่งใช้งานภาษา PHP

1.1 การแทรกคำสั่งภาษา PHP ในเอกสาร HTML การวางตำแหน่งของสคริปต์สามารถแทรกลงในส่วนไหนของ HTML ได้โดยมีเครื่องหมาย <? เพื่อเปิดสคริปต์ และ ?> เพื่อปิดสคริปต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
<html>
<head>
<title>Test PHP</title>
</head>
<body>
<center>
<font face="MS Sans Serif" size=2>ทดสอบการแสดงผล</font>
</center>
<? echo "<center><font face=\"ms sans serif\" size=3>Test PHP Script</font></center>"; ?>
</body>
</html>
```

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการแทรกคำสั่งภาษา PHP ในเอกสาร HTML

1.2 การแสดงข้อความออกทางบราวเซอร์สามารถใช้คำสั่ง ในการแสดงผลได้ 2 คำสั่ง คือ echo และ print

```
<?
echo "<center><font face=\"ms sans serif\" size=3>Test PHP Script</font></center>";
print "<center><font face=\"ms sans serif\" size=3>Test PHP Script</font></center>";
?>
```

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการแสดงข้อความออกทางบราวเซอร์

ผลที่ได้ :

Test PHP Script

Test PHP Script

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 การใส่ Comment ซึ่ง Comment มีไว้เพื่อเป็นบันทึกช่วยให้ผู้เขียนหรือผู้อ่านโปรแกรมเข้าใจโปรแกรม ภายในสคริปต์ ในภาษา PHP รูปแบบ Comment ทั้งแบบบรรทัดเดียว โดยการใส่ // หรือ # ไว้ข้างหน้าประโยคที่เป็น Comment ใช้กรณี Comment บรรทัดต่อบรรทัดเท่านั้น และ แบบหลายบรรทัด ใช้ /* เปิดหัว และ */ เพื่อปิดท้าย Comment

```
<?
echo "test"; /* แสดงข้อความ text */
/* comment หลายบรรทัด
ก็สามารถทำได้ */
echo "$sum"; // The summation of cost
echo "$mem_id"; // ID of each member
echo "$max_id"; # Maximun of member ID
?>
```

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการใส่ Comment ภายในสคริปต์

1.4 การกำหนดตัวแปร (Variable) ในวิธีการกำหนดตัวแปรในภาษา PHP จะต้องขึ้นต้นด้วยเครื่องหมาย $ แล้วตามด้วยชื่อของตัวแปร

```
<?
$num1=3;
$num2=4;
$sum=$num1+$num2;
echo "<center><font face=\"ms sans serif\" size=3>$sum</font></center>";
?>
```

ภาพที่ 6 ตัวอย่างการกำหนดตัวแปร Integer

ผลที่ได้ : 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
<?
$char1='Today';
$char2='is';
$char3='Sunday.';
echo "<center><font face=\"ms sans serif\" size=3>$char1 $char2 $char3</font></center>";
?>
```

ภาพที่ 7 ตัวอย่างการกำหนดตัวแปร String

ผลที่ได้ : Today is Sunday.

1.5 Operator ที่สามารถใช้ได้ในภาษา PHP มีดังนี้

1.5.1 Arithmetic Operators ได้แก่ +, -, *, /, %

1.5.2 Combined Assignment Operators ได้แก่ +=, -=, *=, /=, %=, .=

1.5.3 Pre- and Post- Increment and Decrement ได้แก่ a++, ++a, a--, --a

1.5.4 Comparison Operators ได้แก่ == (equals), === (identical), != (not equal), <> (not equal), <, >, <=, >=

1.6 การใช้เงื่อนไข

1.6.1 คำสั่ง IF...ELSE Condition เป็นคำสั่งที่เลือกการทำงานตามเงื่อนไข ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
<?
$sum=10;
if ($sum==0) {
echo "Summation is 0";
}
else {
echo "Summation = ". $sum;
}
?>
```

ภาพที่ 8 ตัวอย่างการใช้เงื่อนไขด้วยคำสั่ง IF…ELSE Condition

ผลที่ได้ : Summation = 10

1.6.2 คำสั่ง Switch เป็นคำสั่งที่เลือกการทำงานตามเงื่อนไขเช่นเดียวกับคำสั่ง IF…ELSE แต่ว่า นิพจน์ของ IF เป็น expression อย่างเช่น (a == 2) หรือ (a*b > 5) ได้ นอกจากนี้ คำสั่งใน switch ถ้าหากว่าถูกกระทำแล้วจะหยุดเมื่อเจอคำสั่ง break

```
<?
$i=2;
switch ($i) {
case 0: print "i equals 0"; break;
case 1: print "i equals 1"; break;
case 2: print "i equals 2"; break;
}
?>
```

ภาพที่ 9 ตัวอย่างการใช้เงื่อนไข ด้วยคำสั่ง Switch

ผลที่ได้ : i equals 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.7 การใช้ลูป

1.7.1 คำสั่ง While Loop จะทำการตรวจสอบเงื่อนไขก่อน แล้วจึงค่อยทำในลูป

```
<?
$i=1 // ให้ค่าเริ่มต้น
while ($i<=5) {
print $i;
$i++;
}
?>
```

ภาพที่ 10 ตัวอย่างการใช้ลูป ด้วยคำสั่ง While Loop

ผลที่ได้ : 12345

1.7.2 คำสั่ง Do while จะทำคำสั่งในลูปก่อน แล้วจึงค่อยตรวจสอบเงื่อนไข

```
<?
$i=5 // ให้ค่าเริ่มต้น
do {
print $i;
$i++;
} while ($i<=5);
?>
```

ภาพที่ 11 ตัวอย่างการใช้ลูป ด้วยคำสั่ง Do while

ผลที่ได้ : 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.7.3 คำสั่ง For Loop ทำงานเหมือนกับคำสั่ง While Loop คือ จะทำการตรวจสอบเงื่อนไขก่อน แล้วจึงค่อยทำงานในลูป

```
<?
for ($i=1; $i <=5; $i++) {
print $i;
}
?>
```

ภาพที่ 12 ตัวอย่างการใช้ลูป ด้วยคำสั่ง For Loop

ผลที่ได้ : 12345

2. ข้อดีของภาษา PHP

ภาษาอื่นที่ทำหน้าที่คล้าย ๆ กับภาษา PHP คือ Perl, Microsoft Active Server Pages (ASP), Java Server Page (JSP), และ Allaire ColdFusion ถ้าเปรียบเทียบภาษา PHP กับ ภาษาอื่น ๆ จะพบว่าภาษา PHP มีข้อได้เปรียบดังต่อไปนี้

2.1 มีสมรรถนะสูง สามารถรองรับการใช้หลายล้าน Hits ในแต่ละวัน

2.2 สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลหลากหลายเช่น MySQL, PostgreSQL, mSQL, Oracle, Informix, Sybase และสามารถใช้ Open Database Connectivity Standard (ODBC) ได้

2.3 ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้ สามารถดาวน์โหลด PHP ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ

2.4 เรียนรู้และใช้ง่าย โดยเฉพาะถ้ามีพื้นฐานภาษา C, C++, Perl, และ Java อยู่แล้ว

2.5 สามารถใช้ภาษา PHP ได้บนหลายระบบปฏิบัติการโดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนโปรแกรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาษา Mysql (Mysql Language)

ภาษา MySQL จัดเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS: Relational Database Management System) ซึ่งเป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน มีลิขสิทธิ์อยู่ในลักษณะโอเพนซอร์ส ซอฟต์แวร์ (OpenSource Software)

MySQL ได้รับการยอมรับและทดสอบเรื่องของความรวดเร็วในการใช้งาน โดยจะมีการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางด้านฐานข้อมูลอื่นอยู่เสมอ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบัน MySQL ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการรองรับข้อมูลจำนวนมหาศาล สามารถใช้งานหลายผู้ใช้ได้พร้อมๆ กัน (Multi-user) มีการออกแบบให้สามารถแตกงานออก เพื่อช่วยในการทำงานให้เร็วยิ่งขึ้น รองรับข้อมูลจำนวนมหาศาล เพื่อช่วยการทำงานเร็วยิ่งขึ้น (Multi-threaded) การกำหนดสิทธิและการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น เครื่องมือหรือโปรแกรมสนับสนุนทั้งของตัวเองและของผู้พัฒนาอื่นๆ มีมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้สิ่งหนึ่งที่สำคัญคือ MySQL ได้รับการพัฒนาไปในแนวทางตามข้อกำหนดมาตรฐาน SQL จึงสามารถใช้คำสั่ง SQL ในการทำงาน MySQL ได้ นักพัฒนาที่ใช้ SQL มาตรฐานอยู่แล้ว ไม่ต้องศึกษาคำสั่งเพิ่มเติม แต่อาจจะต้องเรียนรู้ถึงรูปแบบและข้อจำกัดบางอย่างโดยเฉพาะ ทั้งนี้ทั้งนั้น ทางทีมงานผู้พัฒนา MySQL มีเป้าหมายอย่างชัดเจนที่จะพัฒนาให้ MySQL มีความสามารถสนับสนุนตามข้อกำหนด SQL92 มากที่สุด และจะพัฒนาให้เป็นไปตามข้อกำหนด SQL99 ต่อไป

ในปัจจุบันมีการนำ MySQL ไปใช้ในระบบต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบเล็กๆ ที่มีจำนวนตารางข้อมูลน้อย มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละตารางไม่ซับซ้อน ไปจนถึงระบบจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วยตารางข้อมูลมากมาย มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละตารางซับซ้อน ในปัจจุบัน มีการใช้ MySQL เป็นDatabase Server เพื่อการทำงานสำหรับ Web Database Application ในโลกของอินเตอร์เน็ตมากขึ้น (บัญชา, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. คำสั่งใช้งานภาษา Mysql

1.1 คำสั่ง $mysql ใช้เพื่อเข้าใช้งาน MySQL ผลลัพธ์ที่ได้จะมีหน้าจอดังนี้

```
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 1460 to server version: 3.23.49-log
Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the buffer.
mysql>
```

ภาพที่ 13 ผลลัพธ์การเรียกใช้คำสั่ง $mysql

1.2 คำสั่ง create database ใช้เพื่อสร้างฐานข้อมูล

รูปแบบคำสั่ง: create database <ชื่อฐานข้อมูล>;

1.3 คำสั่ง show database ใช้เพื่อแสดงฐานข้อมูลทั้งหมดที่ถูกสร้าง

รูปแบบคำสั่ง: show databases;

1.4 คำสั่ง use ใช้เพื่อเข้าใช้งานฐานข้อมูล หลังจากสร้างฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

รูปแบบคำสั่ง: use <ชื่อฐานข้อมูล>;

1.5 คำสั่ง create table ใช้เพื่อสร้างตาราง

รูปแบบคำสั่ง: create table <ชื่อ Table> (ชื่อField1 ชนิดข้อมูล(ขนาด), ชื่อField2 ชนิดข้อมูล(ขนาด),…….. , primary key(ชื่อ Field));

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 คำสั่ง insert into ใช้ในการเพิ่มข้อมูลในตาราง

รูปแบบคำสั่ง: insert into <ชื่อ table> values (‘Expression1’,’Expression2’,’…’);

1.7 คำสั่ง select ใช้ในการแสดงข้อมูลในตาราง

รูปแบบคำสั่ง: select <ชื่อ Field1, ชื่อ Field2, …..> from <ชื่อ table>;

1.8 คำสั่ง where ใช้ในการแสดงข้อมูลแบบมีเงื่อนไข

รูปแบบคำสั่ง: select <ชื่อ Field1, ชื่อ Field2, …..> from <ชื่อ table> where <Condition>

1.9 คำสั่ง update ใช้ในการแก้ไขหรือปรับปรุงข้อมูล

รูปแบบคำสั่ง: Update <ชื่อ table> set <ชื่อ Field> = <Expression>;

1.10 คำสั่ง alter ใช้ในการแก้ไขโครงสร้างของตาราง

รูปแบบคำสั่ง: alter table <ชื่อ table> add <ชื่อ field> <ชนิดข้อมูล>;

1.11 คำสั่ง drop ใช้เพื่อลบตาราง

รูปแบบคำสั่ง: drop table <ชื่อ table>;

1.12 คำสั่ง delete ใช้เพื่อลบข้อมูลในตาราง

รูปแบบคำสั่ง: delete from <ชื่อ table> where <ชื่อ Field> = <ค่าที่ต้องการลบ>;

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ประเภทของข้อมูลใน mysql

2.1 ประเภทข้อมูลสำหรับตัวเลข ใช้สำหรับเก็บข้อมูลตัวเลข ที่ใช้ในการคำนวณหรือการจัดเรียงเปรียบเทียบกันในฟิลด์นั้นๆ แบ่งออกเป็น จำนวนเต็ม จำนวนทศนิยม และจำนวนจริง

ตารางที่ 24 ประเภทข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม

ประเภทข้อมูล	แบบคิดเครื่องหมาย	แบบไม่คิดเครื่องหมาย	เนื้อที่
TINYINT(M)	-128 ถึง127	0 ถึง 255	1 byte
SMALLINT(M)	-32768 ถึง 32767	0 ถึง 65535	2 byte
MEDIUMINT(M)	-8388608 ถึง 8388607	0 ถึง16777215	3 byte
INT(M)	-2147483648 ถึง 2147483647	0 ถึง 4294967295	4 byte
BIGINT(M)	-9223372036854775808 ถึง 9223372036854775807	0 ถึง 18446744073709551615	8 byte

ตารางที่ 25 ประเภทข้อมูลชนิดจำนวนทศนิยม

ประเภทข้อมูล	แบบคิดเครื่องหมาย	แบบไม่คิดเครื่องหมาย	เนื้อที่
FLOAT(M,D)	3.402823466E+38 ถึง -1.175494351E-38	0 และ1.175494351E-38 ถึง 3.402823466E+38	4 byte
DOUBLE(M,D)	-1.7976931348623157E+308 ถึง -2.2250738585072014E-308	0 และ 2.2250738585072014E-308 ถึง 1.7976931348623157E+308	8 byte

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ประเภทข้อมูลสำหรับวันที่และเวลา ใช้สำหรับเก็บข้อมูลวันที่และเวลา

ตารางที่ 26 ประเภทข้อมูลสำหรับวันและเวลา

ประเภทข้อมูล	รายละเอียด	เนื้อที่
DATE	ข้อมูลชนิดวันที่ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1000 ถึง 31 ธันวาคม ค.ศ. 9999 การแสดงผลวันที่อยู่ในรูปแบบ 'YYYY-MM-DD'	3 byte
DATETIME	ข้อมูลชนิดวันที่และเวลา ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1000 เวลา 00:00:00 ถึง 31 ธันวาคม ค.ศ. 9999 เวลา 23:59:59 การแสดงผลวันที่และเวลาอยู่ในรูปแบบ 'YYYY-MM-DD HH:MM:SS'	8 byte
TIME	ข้อมูลประเภทเวลา สามารถเป็นได้ตั้งแต่ '-838:59:59' ถึง '838:59:59' แสดงผลในรูปแบบ HH:MM:SS	3 byte
YEAR(2/4)	ข้อมูลประเภทปี ค.ศ. โดยสามารถเลือกว่าจะใช้แบบ 2 หรือ 4 หลัก ถ้าเป็น 2 หลักจะใช้ได้ตั้งแต่ปี คศ 1901 ถึง 2155 ถ้าเป็น 4 หลักจะใช้ได้ตั้งแต่ปี คศ 1970 ถึง 2069	1 byte

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ประเภทข้อมูลสำหรับตัวอักษร

ตารางที่ 27 ประเภทข้อมูลสำหรับตัวอักษร

ประเภทข้อมูล	รายละเอียด	เนื้อที่
CHAR(M)	เป็นข้อมูลสตริงที่จำกัดความกว้าง ไม่สามารถปรับขนาดได้ ขนาดความกว้างเป็นได้ตั้งแต่ 1 ถึง 255 ตัวอักษร	ตามจำนวนตัวอักษรที่ระบุ
VARCHAR(M)	คล้ายกับแบบ CHAR(M) แต่สามารถปรับขนาดตามข้อมูลที่เก็บในฟิลด์ได้ ความกว้างเป็นได้ตั้งแต่ 1 ถึง 255 ตัวอักษร	ขนาดข้อมูลจริง + 1 byte
TINYTEXT	เป็น text ที่ความกว้างเป็นได้สูงสุด 255 ตัวอักษร	ขนาดข้อมูลจริง + 1 byte
TEXT	เป็น text ที่ความกว้างเป็นได้สูงสุด 65,535 ตัวอักษร	ขนาดข้อมูลจริง + 2 byte
MEDIUMTEXT	เป็น text ที่ความกว้างเป็นได้สูงสุด 16,777,215 ตัวอักษร	ขนาดข้อมูลจริง + 3 byte
LONGTEXT	เป็น text ที่ความกว้างเป็นได้สูงสุด 4,294,967,295 ตัวอักษร	ขนาดข้อมูลจริง + 4 byte
ENUM	เป็นข้อมูลประเภทระบุเฉพาะค่าที่ต้องการ หรือถ้าไม่มีจะให้เป็นค่า NULL สามารถกำหนดค่าได้ถึง 65,535 ค่า	ตามจำนวนตัวอักษรที่ระบุ
SET('value1','value2',…)	เป็นข้อมูลประเภทเซท ประกอบด้วยข้อมูลที่ไม่มีค่าหรือมีค่าตามสมาชิกที่กำหนดสามารถมีจำนวนสมาชิกได้ 64 ตัว	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ข้อดีของภาษา MySQL

2.2.1 ภาษา MySQL เป็นฟรีแวร์ทางด้านฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง ในด้านความรวดเร็ว ความสามารถในการรองรับจำนวนผู้ใช้ และรองรับขนาดของข้อมูลจำนวนมาก

2.2.2 เป็นทางเลือกใหม่จากผลิตภัณฑ์ระบบจัดการฐานข้อมูลในปัจจุบัน ที่มักจะเป็นการผูกขาดของผลิตภัณฑ์เพียงไม่กี่ตัว

2.2.3 สนับสนุนการใช้งานบนระบบปฏิบัติการหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น Unix, OS/2, Mac OS หรือWindows ก็ตาม

2.2.4 สามารถใช้งานร่วมกับ Web Development Platform หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น C, C++, Java, Perl, PHP, Python, Tcl หรือ ASP ก็ตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

   1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

   1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์

   1.3 อุปกรณ์สำหรับประกอบต้นแบบสมาร์ทมิเตอร์

   1.4 อุปกรณ์สำหรับประกอบต้นแบบหน่วยรวมข้อมูล

   1.5 XBee PRO Communication Module

   1.6 SIM300C GSM/GPRS Module

   1.7 บอร์ดดาวน์โหลดโปรแกรมสำหรับ PIC18F6627

   1.8 บอร์ดดาวน์โหลดโปรแกรมสำหรับ ADE7769

   1.9 ซิมการ์ดโทรศัพท์มือถือ

   1.10 Calibration & Test Bench

   1.11 อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ สำหรับใช้เป็นโหลดในการทดลอง

   1.12 ADSL Router

2. โปรแกรมซอฟต์แวร์

   2.1 MS Windows XP service pack 3

   2.2 Altium Designer Winter 09

   2.3 Microsoft Vistual Studio 6.0

   2.4 MPLAB IDE 8.5

   2.5 CCS C Complier V.4

   2.6 Keil C51

   2.7 EditPlus 3

   2.8 FusionCharts 3.2 Evaluation

   2.9 Navicat 8.0 for MySQL

   2.10 Appserv win32 2.5.10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล เกี่ยวกับการวัดค่าพลังงานทางไฟฟ้า

2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล เกี่ยวกับการสื่อสารแบบซิกบี

3. ออกแบบ และพัฒนาระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ

   3.1 อุปกรณ์สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter)
   3.2 อุปกรณ์หน่วยรวมข้อมูล (Data Concentrator Unit)
   3.3 โปรแกรมส่วนสื่อสาร (Head-End Software)
   3.4 โปรแกรมส่วนแสดงผลบนเว็บเพจ (Web Application)

4. ติดตั้งทดสอบระบบ

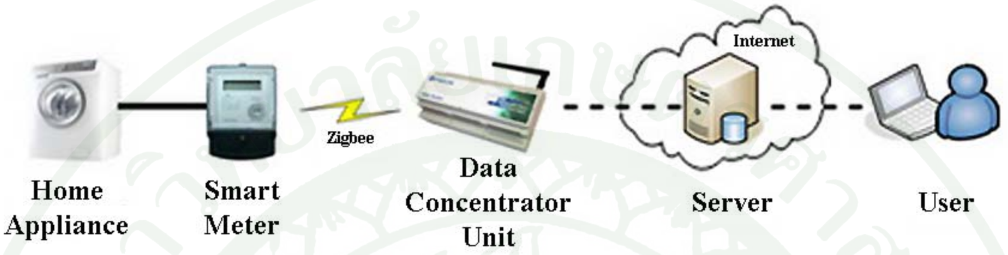
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากเก็บข้อมูลเพื่อนำมาปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า

6. สรุปผลการใช้งานก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย

ระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัยถูกออกแบบ โดยสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ 5 ส่วนดังแสดงในภาพที่ 14 คือ



ภาพที่ 14 แผนผังของระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย

1. เครื่องใช้ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นโหลดของระบบ โดยมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านสมาร์ทมิเตอร์

2. สมาร์ทมิเตอร์ คือ มิเตอร์สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการจะทำการตรวจวัด และส่งข้อมูลให้กับหน่วยรวมข้อมูลผ่านการสื่อสารด้วยซิกบี

3. หน่วยรวมข้อมูล คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ตรวจวัดโดยสมาร์ทมิเตอร์ และทำหน้าที่ส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตด้วยระบบ GPRS ไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์

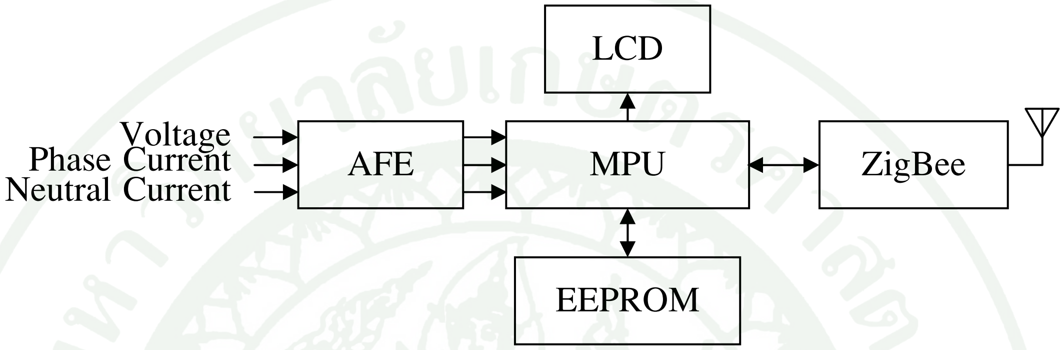
4. คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ คือ คอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลที่ถูกส่งมาจากหน่วยรวมข้อมูลเก็บไว้ในฐานข้อมูล และทำงานในลักษณะเว็บเซอร์ฟเวอร์เพื่อแสดงผลให้กับผู้ใช้งานผ่านเว็บเพจ

5. ผู้ใช้งาน คือ บุคคลที่ต้องการทราบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยดูจากเว็บเพจจากคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบอินเตอร์เน็ต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

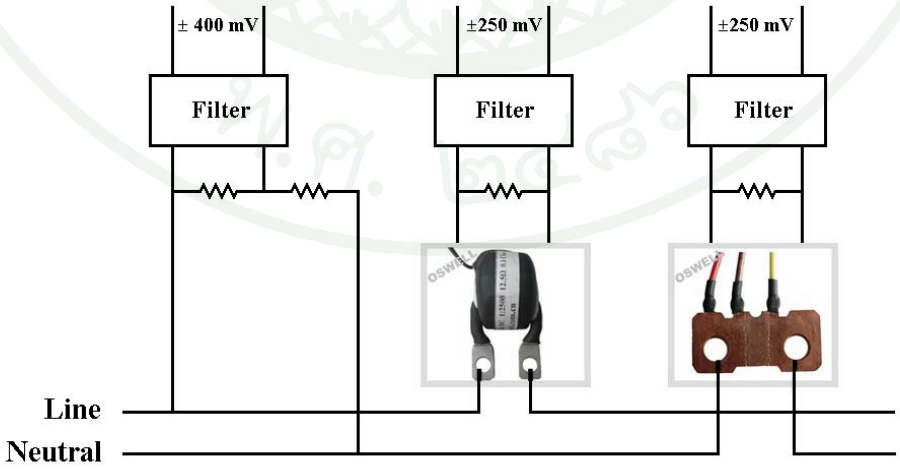
การออกแบบสมาร์ทมิเตอร์

สมาร์ทมิเตอร์ ถูกออกแบบตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาครุ่น 15(45)A โดยแบ่งส่วนประกอบวงจรเป็นส่วนๆ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนผังวงจรสมาร์ทมิเตอร์

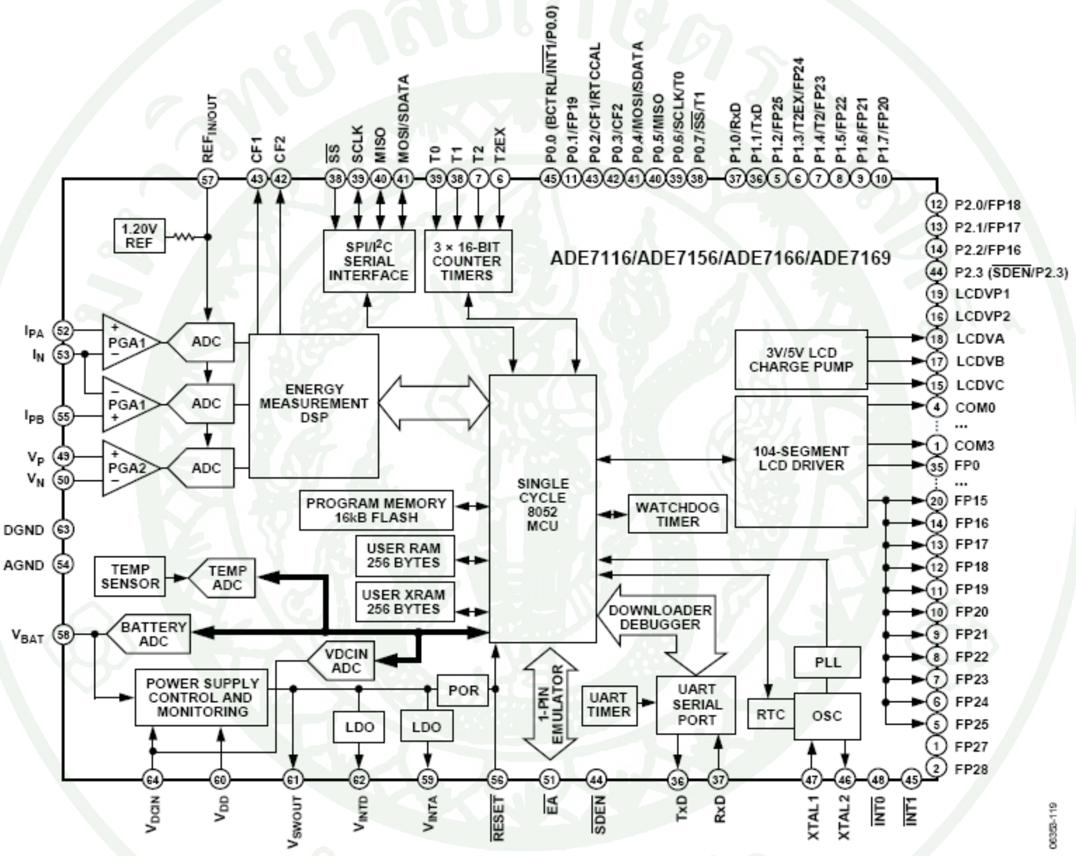
หน่วยประมวลผลหลัก (MPU) วัดกระแส และแรงดันผ่านวงจร AFE โดยใช้ CT สำหรับวัดกระแส Phase และ R Shunt สำหรับวัดกระแส Neutral โดยออกแบบให้แรงดันอยู่ในช่วง ±250 mV ส่วนการวัดแรงดัน จะใช้การแบ่งแรงดัน ให้อยู่ในช่วง ±400 mV แล้วผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำก่อนเข้าสู่ วงจรส่วน Energy Measurement ในหน่วยประมวลผลหลักต่อไป ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 วงจรส่วน AFE

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

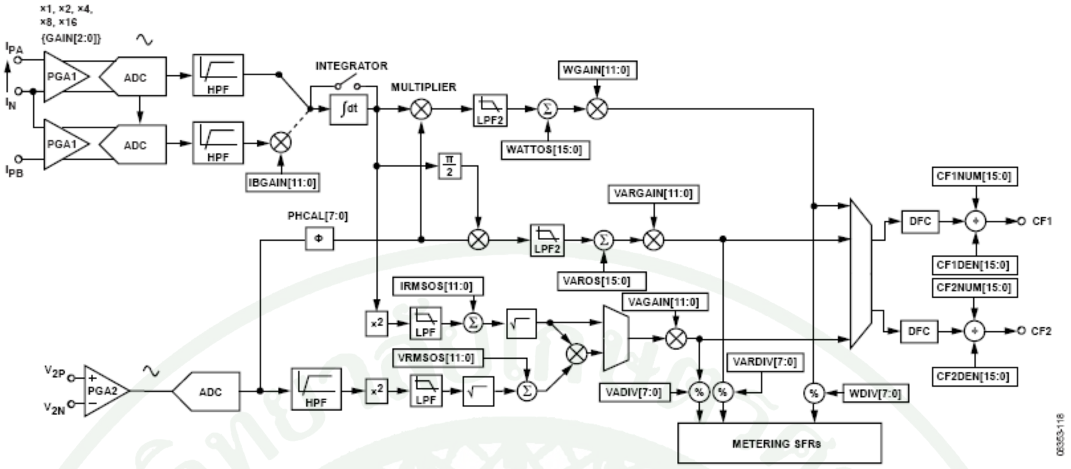
วงจรส่วนหน่วยประมวลผลหลัก ออกแบบโดยใช้ IC ADE7169 ซึ่งเป็น Single-Phase Energy Measurement IC ที่ภายในประกอบส่วนประกอบดังภาพที่ 17 ซึ่งส่วนประกอบหลักได้แก่ 8052 MCU, Energy Measurement, RTC และ LCD Driver ซึ่ง MCU จะสามารถติดต่อกับวงจร Energy Metering ผ่าน SFRs สามารถวัดค่า kWh, V, I, และ kW และแสดงผลบน Segment LCD ผ่าน LCD Driver



ภาพที่ 17 ส่วนประกอบภายใน IC ADE7169

แผนผังของวงจรส่วน Energy Measurement มีส่วนประกอบดังภาพที่ 18 โดยมีการทำงาน คือ การนำสัญญาณกระแส และแรงดัน ผ่านเข้าวงจรส่วน PGA เพื่อปรับ Gain ให้เหมาะสมกับวงจรส่วน AFE โดยมี Register IBGAIN ใช้สำหรับปรับค่า กระแสจาก Channel A และ B ให้มีค่าที่เท่ากัน ซึ่งจะมีวงจรส่วน Selector เพื่อเลือก Channel ที่จะนำมาคำนวณ ก่อนเข้าสู่ วงจรคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมี Register ที่สำคัญในการสอบเทียบคือ WATTOS และ WGAIN ซึ่ง Output ที่ได้จะถูกเก็บอยู่ในส่วน Metering SFRs ซึ่ง MCU สามารถนำไปใช้ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



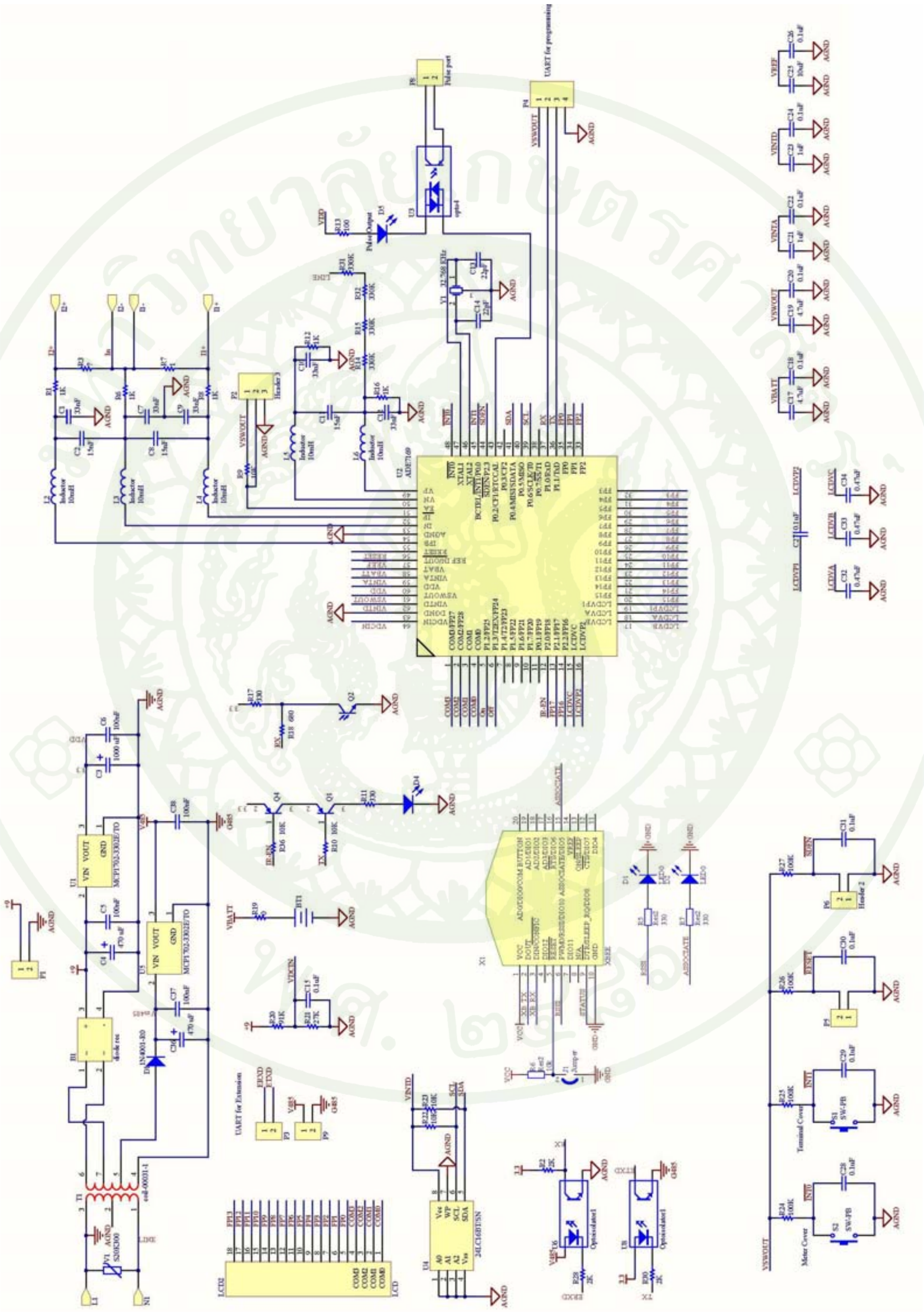
ภาพที่ 18 Block Diagram ภายในวงจรส่วน Energy Measurement

MCU จะถูกออกแบบให้สามารถสื่อสารไปยังหน่วยรวมข้อมูลผ่านการสื่อสารในรูปแบบซิกบี ที่ทำงานในลักษณะ Router โดยเลือกใช้ XBee PRO Communication Module ดังแสดงในรูปที่ 19 ซึ่งการสื่อสารจะอยู่ในรูปแบบ UART

ภาพที่ 19 XBee PRO Communication Module

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

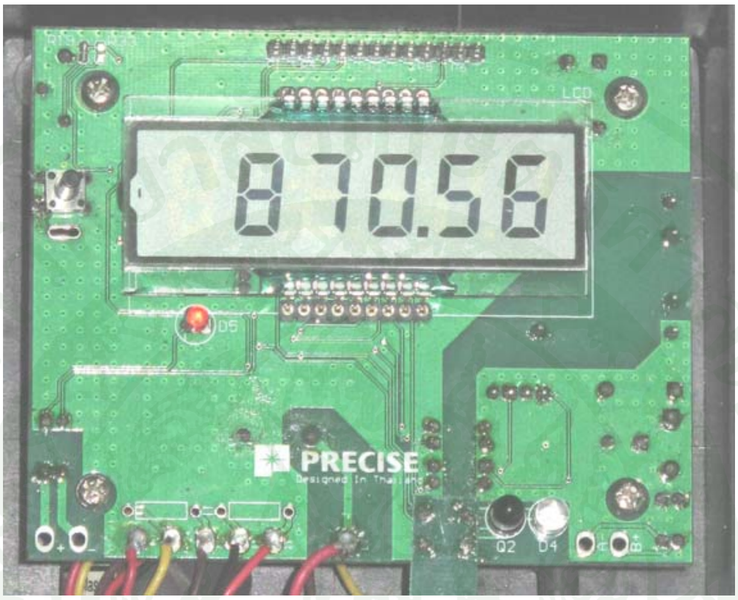
วงจรแต่ละส่วน จะถูกออกแบบ และพัฒนารวมเป็นแผงวงจรโดยอาศัยโปรแกรม Altium Designer ซึ่งมีแผนผังวงจร ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แผนผังวงจรของสมาร์ทมิเตอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แผนผังวงจรดังกล่าวจะถูกออกแบบ และพัฒนาเป็นแผงวงจร โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ แผงวงจรส่วนมิเตอร์ ดังภาพที่ 21 และแผงวงจรส่วนการสื่อสารด้วยซิกบี ดังภาพที่ 22 เพื่อให้ง่ายในการเปลี่ยนไปใช้ระบบสื่อสารอื่นในอนาคต



ภาพที่ 21 แผงวงจรส่วนมิเตอร์

ภาพที่ 22 แผงวงจรส่วนสื่อสารด้วยซิกบี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยแผงวงจรและส่วนประกอบอื่นๆ จะถูกนำมาประกอบเป็นสมาร์ทมิเตอร์โดยเสร็จสมบูรณ์จะมีลักษณะดังภาพที่ 23

ภาพที่ 23 สมาร์ทมิเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

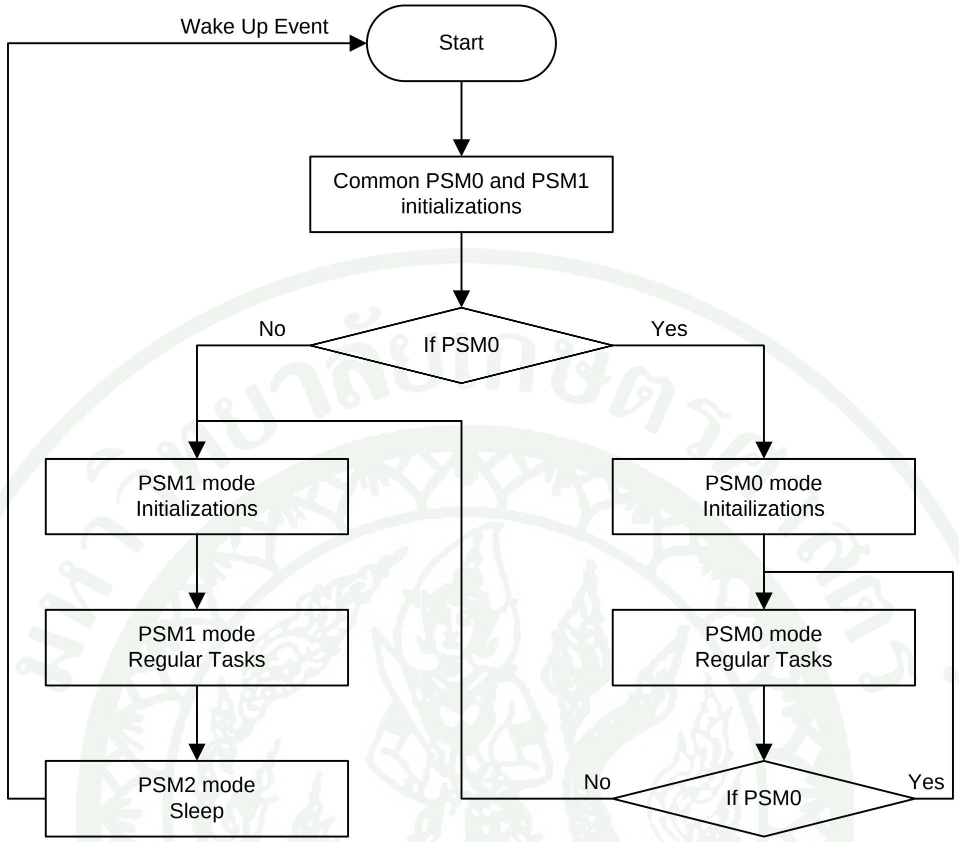
โปรแกรมสำหรับสมาร์ทมิเตอร์ พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Keil C51 ซึ่งมีแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน แสดงโดยภาพที่ 24 โดยมีรูปแบบการทำงานของโปรแกรม 3 โหมด คือ

1. โหมด PSM0 คือการทำงานในลักษณะปกติ โดยจะทำงานวนไปเรื่อยๆ

2. โหมด PSM1 คือการทำงานในลักษณะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ เมื่อเกิดไฟฟ้าดับ

3. โหมด PSM2 คือการทำงานในลักษณะหลับ ซึ่งจะใช้พลังงานน้อยมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 24 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

การทำงานในโหมด PSM0 จะมีระบบการจัดการ Task ซึ่งจะแบ่งการทำงานตามความสำคัญได้ 2 ระดับ ดังนี้

1. High Priority Task ซึ่งเป็น Task ที่มีความสำคัญ โดยออกแบบให้ทำงานบ่อยๆ เท่าที่จะเป็นได้ ซึ่งได้แก่

1.1 Power Management คือโปรแกรมส่วนการบริหารพลังงานไฟฟ้าของมิเตอร์ โดยการวัดระดับแรงดันจากขา VDCIN ของ IC หากต่ำกว่า 1.2 V จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็น PSM1 ซึ่งจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

1.2 Energy Accumulation คือโปรแกรมส่วนการวัดพลังงานไฟฟ้าของสมาร์ทมิเตอร์ โดยการอ่านค่า Register Active_Energy[0] ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดของการวัดพลังงานไฟฟ้าของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งคือค่า MC ของมิเตอร์ ซึ่งถูกออกแบบไว้คือ 1600 pulse/kWh ตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำหรับมิเตอร์รุ่น15(45)A โดยโปรแกรมจะแปลงให้อยู่ในรูปของ kWh คือ 16 pulse = 0.01 kWh ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดในการแสดงผลของมิเตอร์ แล้วเก็บไว้ในรูปแบบ BCD ที่ Register Active_Energy[4:1]

1.3 UART Communication คือโปรแกรมส่วนการจัดการระบบสื่อสาร ซึ่งการสื่อสารดังกล่าวใช้ Baud Rate = 9600 bps, Data Bits = 8 Bits, Parity = None, Stop Bits = 1 Bit โดยการทำงานในลักษณะ Polling กล่าวคือมิเตอร์จะรับข้อมูลจากขา RxD ของ IC หลังจากนั้นจะทำการประมวลผลคำสั่ง และส่งคำตอบกลับผ่านทางขา TxD ของ IC

ตัวอย่างคำสั่งสำหรับการถาม kWh ของสมาร์ทมิเตอร์คือ
0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x10 0x00 0x00 0x00 0x00

ตัวอย่างคำตอบสำหรับการถาม kWh คือ
0x01 0x23 0x45 0x67 0x00 0x00 0x10 0x00 0xAA 0x55 0xAA

โดย 4 ไบต์แรก คือค่า kwh ที่อยู่ในรูปแบบ BCD ซึ่งจากตัวอย่างข้างต้น ค่า kWh ที่อ่านได้คือ 12,345.67 kWh

2. Low Priority Task คือ Task ที่มีความสำคัญต่ำ ออกแบบให้ทำงานทุกๆ 0.5 วินาที

2.1 Battery Voltage Monitoring คือโปรแกรมส่วนการวัดแรงดันของแบตเตอรี่สำรองของสมาร์ทมิเตอร์

2.2 Midnight Management คือโปรแกรมส่วนการจัดการ และประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะทำงานทุกๆ เวลา 24:00 น. ของทุกวัน ซึ่งสมาร์ทมิเตอร์จะทำการปรับปรุง Register Date และทำการเก็บค่า kWh (End of Day) ซึ่งก็คือการใช้พลังงานของแต่ละวันนั่นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 Monthly Energy Storage คือโปรแกรมส่วนการจัดการ และประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะทำงานทุกๆ เวลา 24:00 น. ของทุกๆ วันสิ้นเดือน ซึ่งสามร์ทมิเตอร์จะเก็บค่า kWh (End of Month) ซึ่งก็คือการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละเดือนนั่นเอง

2.4 LCD Display Management คือโปรแกรมส่วนการจัดการแสดงผลบน LCD ของสามาร์ทมิเตอร์ ซึ่งสามารถกำหนดให้แสดงผลค่า kWh, Voltage, Current, Date, Time ได้ตามความต้องการ ซึ่งสำหรับสมาร์ทมิเตอร์ที่ออกแบบนั้นกำหนดให้แสดงผลเฉพาะค่า kWh เท่านั้น

2.5 Refresh Watchdog คือโปรแกรมส่วนการจัดการ Watchdog โดยจะทำการ Clear ค่า Register Watchdog เพื่อไม่ให้ สมาร์ทมิเตอร์ Reset

เพื่อที่จะให้สมาร์ทมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้องตามมาตรฐาน IEC62053-21 นั้นจำเป็นต้องทำการสอบเทียบก่อน โดยการสอบเทียบสมาร์ทมิเตอร์นั้นใช้วิธีการสอบเทียบสมาร์ทมิเตอร์ กับมิเตอร์อ้างอิง และบันทึกค่า Register ที่คำนวณได้ผ่านระบบสื่อสารของสมาร์ทมิเตอร์ โดยมีขั้นตอนการสอบเทียบดังนี้

1. การคำนวณค่า Register WGAIN ตามสมการที่ 1 โดยใช้แหล่งกำเนิด จ่ายกระแส 15A แรงดัน 220 V pf =1

$$WGAIN = \left(\frac{1}{1+\%Err} - 1\right) \times 10^{12} \tag{1}$$

2. การคำนวณค่า Register WATTOS ตามสมการที่ 2 โดยใช้แหล่งกำเนิด จ่ายกระแส 100 mA แรงดัน 220 V pf =1

$$WAtTOS = -\%Err \times CF_{EXPECTED} \times \frac{CFDEN}{1+\frac{WGAIN}{2^{12}}} \times 2^{33} \tag{2}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การคำนวณค่า Register PHCAL ตามสมการที่ 3 โดยใช้แหล่งกำเนิด จ่ายกระแส 15 A แรงดัน 220 V pf =0.5

$$PHCAL = -\left(\frac{a\sin\left(\frac{\%Err}{\sqrt{3}}\right)}{2\pi f \times 1.22 \times 10^{-6}} \right) + 0x40 \qquad (3)$$

โดยที่

$\%Err$ คือ เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างสมาร์ทมิเตอร์ และมิเตอร์อ้างอิง

$CF_{EXPECTED}$ คือ จำนวน Pulse Output ที่ต้องการเมื่อค่าพลังงานที่วัด ซึ่งคำนวณได้ตามสมาการที่ 4

$CFDEN$ คือ ค่าคงที่สำหรับลดทอนจำนวน Output Frequency เพื่อให้ได้ Pulse Output ตามต้องการ โดยคำนวณได้ตามสมการที่ 5

$$CF_{EXPECTED} = \frac{MC \times Load}{3600} \times \cos\theta \qquad (4)$$

โดยที่

MC คือ ค่าคงที่ Meter Constance ซึ่งเท่ากับ 1600 pulse/kWh

$Load$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายผ่านมิเตอร์

θ คือ มุมของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายผ่านมิเตอร์

$$CFDEN = \frac{CF_{fullscale} \times \%V_{OP} \times \%I_{OP}}{CF_{EXPECTED}} \qquad (5)$$

โดยที่

$CF_{fullscale}$ คือ ค่าคงที่ความถี่ CF สูงสุด ซึ่งเท่ากับ 21.1 kHz

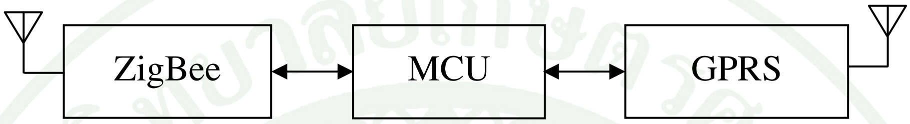
$V_{OP\%}$ คือ เปอร์เซ็นแรงดันขณะทำงาน ต่อแรงดันสูงสุด

$I_{OP\%}$ คือ เปอร์เซ็นต์กระแสขณะทำงาน ต่อกระแสสูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบหน่วยรวมข้อมูล

หน่วยรวมข้อมูลเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้ารวมรวมข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ผ่านการสื่อสารด้วยซิกบี แล้วส่งข้อมูลเตอร์ผ่านอินเตอร์เน็ตด้วยระบบ GPRS ไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์เซอร์ฟเวอร์ โดยมีวงจรส่วนประกอบหลักดังภาพที่ 25



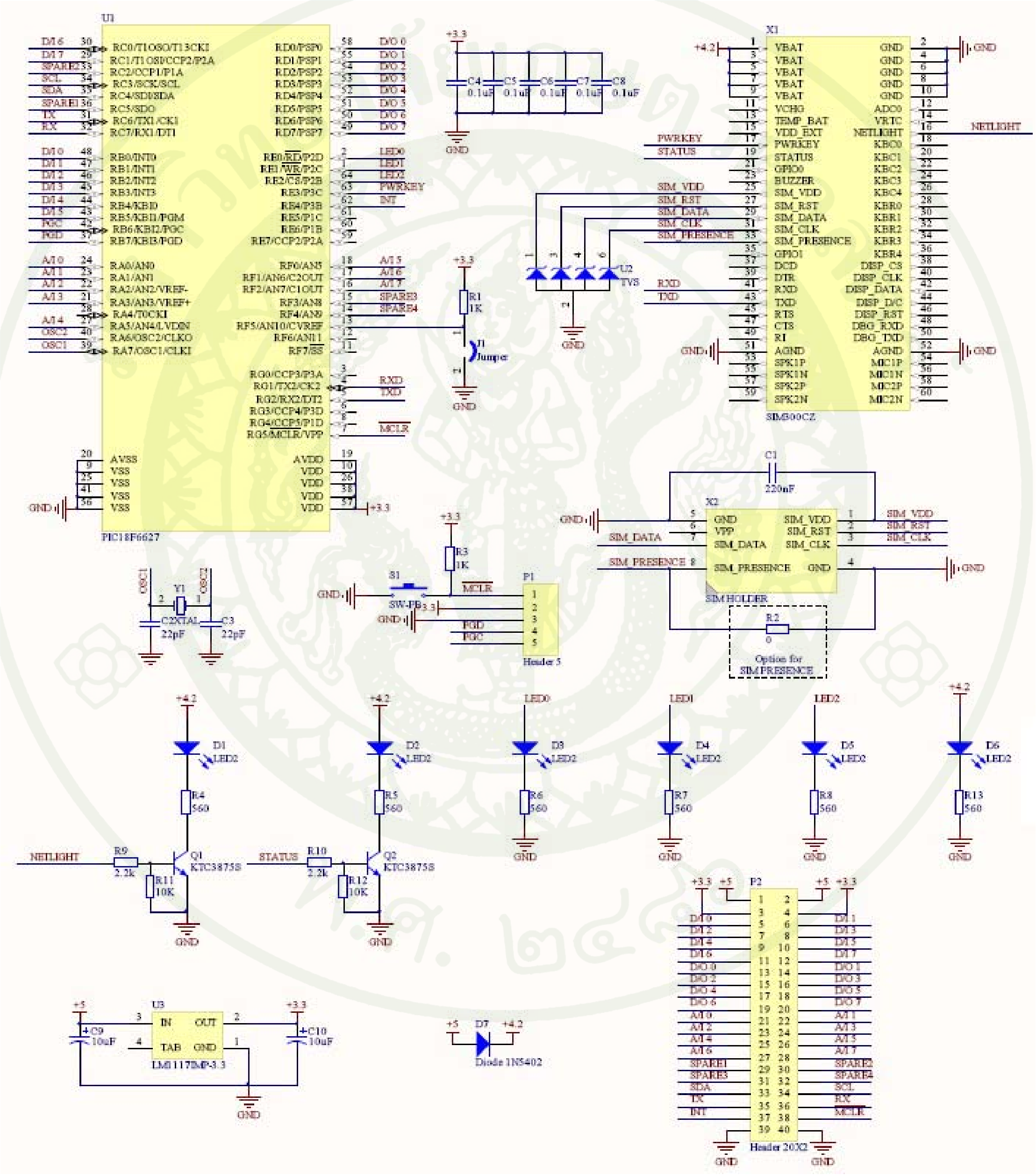
ภาพที่ 25 แผนผังของวงจรหน่วยรวมข้อมูล

MCU ออกแบบโดยใช้ IC PIC18F6627 โดยจะทำการอ่านค่า kWh จากสมาร์ทมิผ่านการสื่อสารในรูปแบบซิกบี ที่ทำงานในลักษณะ Router โดยเลือกใช้ XBee PRO Communication Module โดยทำงานในลักษณะ Coordinator ซึ่งค่า kWh ที่อ่านได้จะถูกบันทึกอยู่ที่หน่วยความจำภายในทุกๆ 15 นาที โดยจะบันทึกค่าที่นาทีที่ 0, 15, 30 และ 45 ของทุกๆ ชั่วโมง และจะส่งค่า kWh ไปบันทึกไว้ที่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ผ่าน GPRS Modem โดยเลือกใช้ SIM300C GSM/GPRS Module ดังภาพที่ 26

ภาพที่ 26 SIM300C GSM/GPRS Module

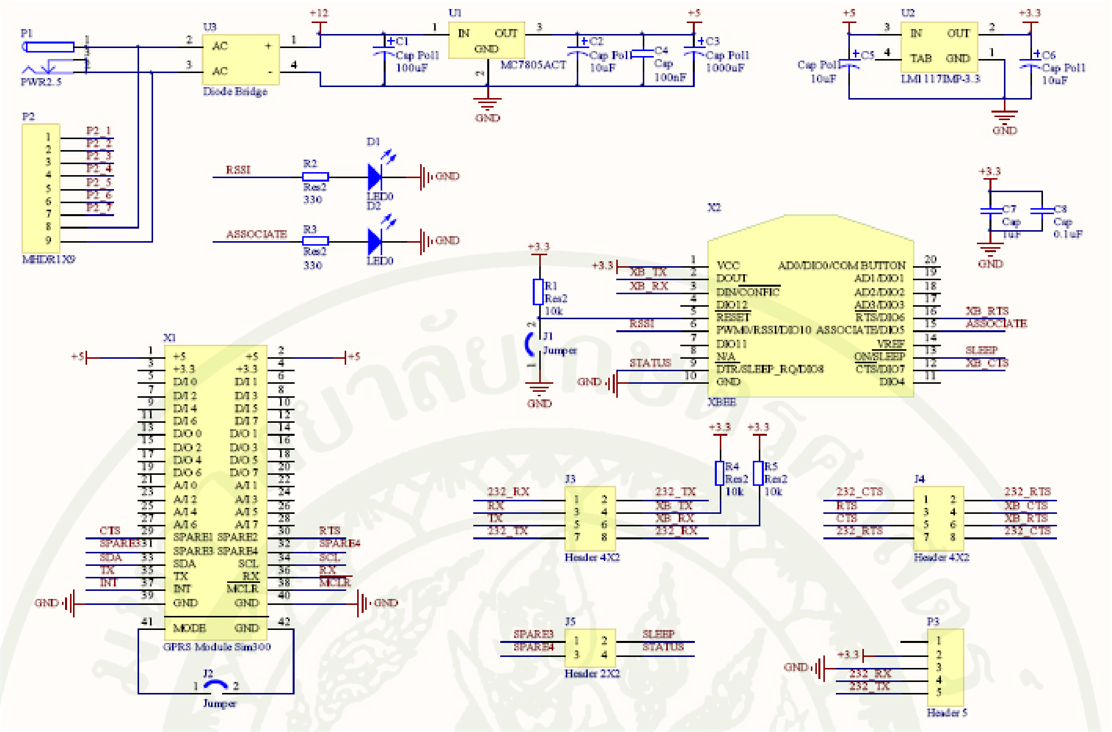
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบแผงวงจรถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ แผงวงจรส่วน หน่วยประมวลผล และแผงวงจรส่วนการสื่อสารด้วยซิกบี เพื่อให้ง่ายในการเพื่อให้ง่ายในการเปลี่ยนไปใช้ระบบสื่อสารอื่นในอนาคต โดยใช้โปรแกรม Altium Designer ในการออกแบบ โดยมีแผนผังวงจร ดังภาพที่ 27 และภาพที่ 28



ภาพที่ 27 แผนผังวงจรส่วนหน่วยประมวลผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 แผนผังวงจรส่วนการสื่อสารด้วยซิกบี

แผนผังวงจรดังกล่าว จะออก และพัฒนาเป็นแผงวงจร โดยมีลักษณะดังภาพที่ 29

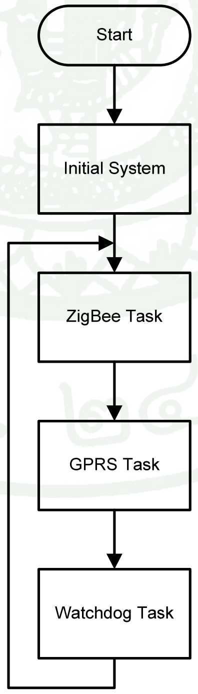
ภาพที่ 29 แผงวงจรหน่วยรวมข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยแผงวงจร และส่วนประกอบอื่นๆ จะถูกนำมาประกอบเป็นหน่วยรวมข้อมูล โดยเสร็จสมบูรณ์จะมีลักษณะดังภาพที่ 30

ภาพที่ 30 หน่วยรวมข้อมูลที่ประกอบสมบูรณ์

การพัฒนาโปรแกรมภายในหน่วยรวมข้อมูล ถูกพัฒนาโดยเลือกใช้ CCS Complier V.4 บนโปรแกรม MPLAB IDE 8.50 โดยออกแบบให้โปรแกรมทำงานโดยมี แผนผังขั้นตอนการทำงาน 3 ส่วน ดังภาพที่ 31 คือ



ภาพที่ 31 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของหน่วยรวมข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ZigBee Task มีหน้าที่ทำงานเกี่ยวกับการสื่อสารกับซิกบี ซึ่งได้แก่ การอ่านค่า kWh จากสมาร์ทมิเตอร์ ผ่าน XBee PRO Communication Module โดยการส่งข้อมูลในรูปแบบ UART ซึ่งการสื่อสารดังกล่าวใช้ Baud Rate = 9600 bps, Data Bits = 8 Bits, Parity = None, Stop Bits = 1 Bit โดยใช้คำสั่งที่กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยจะส่งคำสั่งดังกล่าวทุกๆ 1 นาที โดยเมื่อได้รับคำตอบจากสมาร์ท มิเตอร์แล้วจะทำการบันทึกค่าดังกล่าวพร้อมทั้งเวลาในหน่วยความจำภายในของ MCU ทุกๆ 15 นาที ในนาทีที่ 0, 15, 30 และ 45 ของทุกชั่วโมง ข้อมูลทั้งหมดที่หน่วยรวมข้อมูลสามารถเก็บได้คือ 64 ค่า ซึ่งเก็บในลักษณะต่อเนื่องเป็นวงกลม โดยการบันทึกค่าในหน่วยความจำ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพจะเก็บข้อมูล 8 ไบต์สำหรับข้อมูล 1 ค่า

ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลภายในหน่วยความจำภายใน

0x14 0x01 0x0C 0x0A 0x01 0x23 0x45 0x67

โดยที่ 3 ไบต์แรก คือ วัน เดือน และ ปี ซึ่งจากตัวอย่างข้างต้นหมายถึง วันที่ 20 มกราคม 2012 ไบต์ที่ 4 คือ เวลาของวัน โดยมีค่าตั้งแต่ 1-96 ซึ่งแทนค่าทุกๆ 15 นาทีของวัน โดยเริ่มนับที่ 24:00 น. คือค่า 1 จนกระทั่ง 23:45 น. คือค่า 96 ซึ่งจากตัวอย่างข้างต้นหมายถึง 2:15 น. ไบต์ที่ 5-8 คือ ค่า kWh ในรูปแบบ BCD ซึ่งจากตัวอย่างข้างต้นหมายถึง 12,345.67 kWh

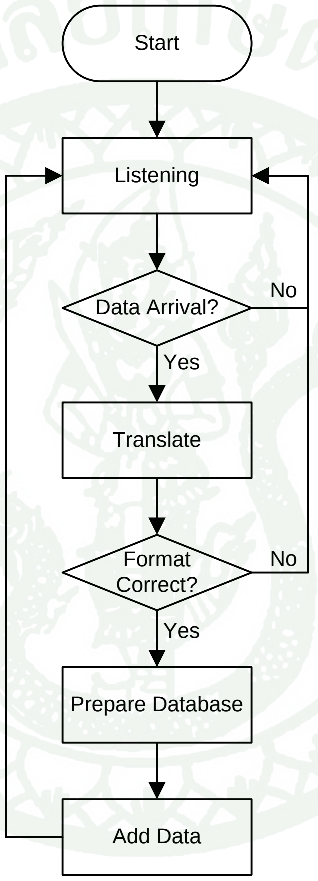
2. GPRS Task มีหน้าที่ทำงานเกี่ยวกับ GPRS Modem โดยใช้การสื่อสารข้อมูลกับ SIM300C GSM/GPRS Module ในรูปแบบ UART ซึ่งการสื่อสารดังกล่าวใช้ Baud Rate = 9600 bps, Data Bits = 8 Bits, Parity = None, Stop Bits = 1 Bit และใช้ AT Command ในการสั่งงาน โดยจะทำการเปิดการสื่อสารแบบ GPRS ทุกๆ 15 นาทีเพื่อเข้าสู่อินเตอร์เน็ต และติดต่อผ่าน การสื่อสารด้วย TCP ไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ที่ใช้ IP Address 202.173.215.152 ผ่าน Port 5001 เข้าไป โดยจะส่งข้อมูลที่อยู่ภายในหน่วยความจำในส่วนที่ยังไม่เคยส่ง หรือส่งแต่ไม่สำเร็จไปให้กับคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ เพื่อแก้ปัญหาระบบสื่อสาร GPRS ที่บางช่วงเวลาไม่สามารถสื่อสารได้ โดยเมื่อส่งข้อมูลเสร็จแล้วโปรแกรมจะทำการสั่งตัดการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต

3. Watchdog Task มีหน้าที่ทำงานเพื่อกำหนดระยะเวลาในการทำงานในแต่ละส่วน ว่าใช้เวลามากเกินไปหรือไม่ เพื่อทำการ Reset ระบบให้เข้าสู่สภาวะปกติ ตัวอย่างเช่นปัญหาการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตไม่ได้ หรือการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ไม่ได้ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบโปรแกรมส่วนสื่อสาร

โปรแกรมส่วนสื่อสาร (Head-End Software) เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ เพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลที่ถูกส่งจากหน่วยรวมข้อมูลมาประมวลผล และบันทึกลงสู่ฐานข้อมูล โปรแกรมถูกพัฒนาโดยภาษา Visual Basic 6.0 โดยมีแผนผังการทำงานดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 แผนผังการทำงานของโปรแกรมส่วนสื่อสาร

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการเปิด Listening Port 5001 เมื่อมีการร้องขอการเชื่อมต่อ โปรแกรมจะอนุญาตทำการเชื่อมต่อ และรับข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้รับจะผ่านการตรวจสอบรูปแบบของข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาจากจำนวนไบต์ที่ได้รับมา หากไม่ถูกต้องโปรแกรมจะละทิ้งข้อมูลที่ได้รับ และกลับไปทำการเปิด Listening รอข้อมูลต่อไป แต่หากข้อมูลมีขนาดที่ถูกต้อง โปรแกรมจะทำการตีความข้อข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมสำหรับการบันทึกในฐานข้อมูล ซึ่งได้แก่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. Address คือ ข้อมูลของหมายเลขสมาร์ทมิเตอร์ ออกแบบไว้เพื่อให้โปรแกรมรองรับการทำงานสำหรับสมาร์ทมิเตอร์ที่มีมากกว่า 1 ตัว

2. Date/Time คือ ข้อมูลของวันและเวลาของค่า kWh บันทึก ซึ่งอยู่ในรูปแบบ "YYYY/MM/DD hh:mm:ss" ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับข้อมูลชนิด Data/Time ของฐานข้อมูล MySQL

3. kWh คือ ข้อมูลค่า kWh ของสมาร์ทมิเตอร์ ณ วัน/เวลา นั้นๆ

ขั้นตอนต่อไปโปรแกรมจะทำการเตรียมฐานข้อมูล โดยหากฐานข้อมูลยังไม่เคยมีข้อมูลของสมาร์ทมิเตอร์ Address และ วันที่ ดังกล่าว โดยจะสร้างข้อมูลว่าง จำนวน 96 Records เตรียมไว้สำหรับข้อมูล 1 วัน ของมิเตอร์ Address ข้างต้น ทุกๆ 15 นาที

หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการเพิ่มข้อมูลค่า kWh ของ Address, วัน และเวลา ดังกล่าวเข้าไปในฐานข้อมูล แต่เนื่องจากข้อมูลที่บันทึกนั้นเป็นค่ากำลังงาน ซึ่งการที่จะนำข้อมูลมาแสดงผลนั้นต้องอยู่ในรูปแบบของค่าพลังงาน โปรแกรมจึงทำการคำนวณค่าพลังงาน และเพิ่มข้อมูลเข้าไปในฐานข้อมูล โดยการคำนวณทำตามสมการที่ 6

$$P_{avg} = \frac{(E_2 - E_1)}{(t_2 - t_1)} \times 60 \times 10^3 \qquad (6)$$

โดยที่

P คือ Power เฉลี่ยระหว่างช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 มีหน่วยเวลาเป็น W

E_1 คือ กำลังไฟฟ้า ณ เวลา t_1 มีหน่วยเป็น kWh

E_2 คือ กำลังไฟฟ้า ณ เวลา t_2 มีหน่วยเป็น kWh

t_1 คือ เวลาของ Record ก่อนที่มีการบันทึกในฐานข้อมูล มีหน่วยเป็น นาที

t_2 คือ เวลาของ Record ที่จะทำการบันทึกในฐานข้อมูล มีหน่วยเป็น นาที

โดยในกรณีที่ค่า kWh ในฐานข้อมูลมีการขาดหายไป เนื่องจากปัญหาในการสื่อสารที่ไม่สมบูรณ์ โปรแกรมจะนำค่า Power ที่คำนวณได้ เฉลี่ยและบันทึกลงในแต่ละ Record ของทุกๆ 15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นาที โดยโปรแกรมถูกกำหนดให้ทำการคำนวณค่า Power ย้อนหลังเพียง 2 ช.ม. เท่านั้นเพื่อให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องเพียงพอในการแสดงผล

ฐานข้อมูลที่เลือกใช้คือ MySQL ซึ่งถูกออกแบบ และสร้างโดยใช้โปรแกรม Navicat 8.0 for MySQL โดยสร้างฐานข้อมูลที่มีชื่อว่า “headend” โดยมี Table “raw” ซึ่งสำหรับเก็บข้อมูล โดยมีคุณสมบัติในแต่ละ Field ข้อมูล ดังที่แสดงตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของแต่ละ Field ข้อมูลของ Table “raw”

Filed Name	**Type**	**Length**	**Decimal**	**Allow Null**	**Primary Key**
ID	int	11	0		✓
Address	int	11	0	✓	
DT	datetime	0	0	✓	
KWH	double	10	2	✓	
POWER	double	10	2	✓	

Field “ID” ถูกใช้เป็น Primary Key ของ Table โดยใช้เป็น Auto Increment เพื่อไม่ให้มีการซ้ำของข้อมูล Primary Key , Field “Address” ใช้เก็บค่า Address ของสมาร์ทมิเตอร์ ซึ่งเก็บค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม, Field “DT” ใช้สำหรับเก็บค่า วันเวลาของข้อมูลนั้นๆ ส่วน Field “KWH” และ “POWER” ใช้สำหรับเก็บข้อมูล Energy และ Power ของสมาร์ทมิเตอร์ โดยกำหนดให้เก็บข้อมูลชนิด Double ทศนิยม 2 นำแหน่ง

โปรแกรมถูกติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยจะถูกเรียกให้ทำงานเมื่อเปิดเครื่องและทำงานในลักษณะซ่อนอยู่ตลอดเวลาโดยจะมี Icon แสดงบน Taskbar แสดงดังภาพที่ 33

ภาพที่ 33 Icon ของโปรแกรมส่วนสื่อสาร และการแสดง Icon บน Taskbar

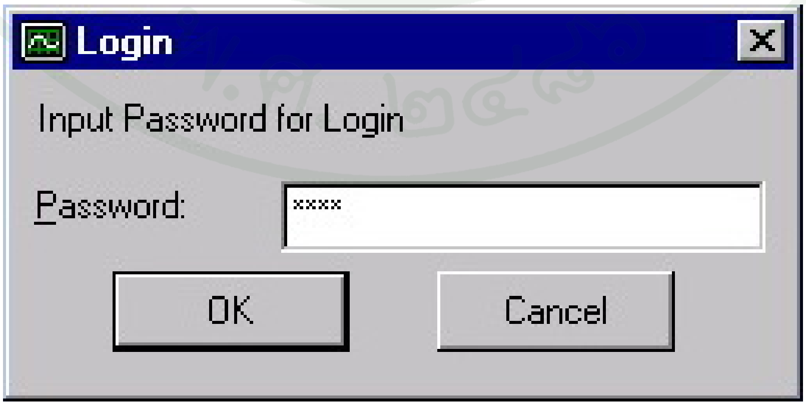
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานโปรแกรมเพื่อตรวจสอบข้อมูลได้โดยการคลิ๊กขวาที่ Icon โดยจะมีเมนูบาร์ ให้เลือก 3 ส่วน ดังภาพที่ 34 โดยประกอบไปด้วย

1. About โดยโปรแกรมจะทำการแสดงหน้าต่างข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม
2. Login เป็นการเข้าสู่หน้าต่างหลักของโปรแกรม เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบข้อมูล
3. Exit เป็นการออกจากโปรแกรม

ภาพที่ 34 เมนูบาร์ของโปรแกรม

เมื่อผู้ใช้งานคลิ๊กเลือก Login หรือ Exit โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพื่อให้ผู้ใช้งานใส่รหัสผ่านเพื่อป้องกันผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบมาใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 หน้าต่างการใส่รหัสผ่านของโปรแกรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อผู้ใช้งานใส่รหัสผ่านถูกต้องแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างหลัก ดังแสดงในภาพที่ 36 ซึ่งประกอบด้วย

1. Data เป็นส่วนการแสดงข้อมูลที่ได้รับจากหน่วยรวมข้อมูลล่าสุด ที่ถูกแบ่งเป็นส่วนๆ

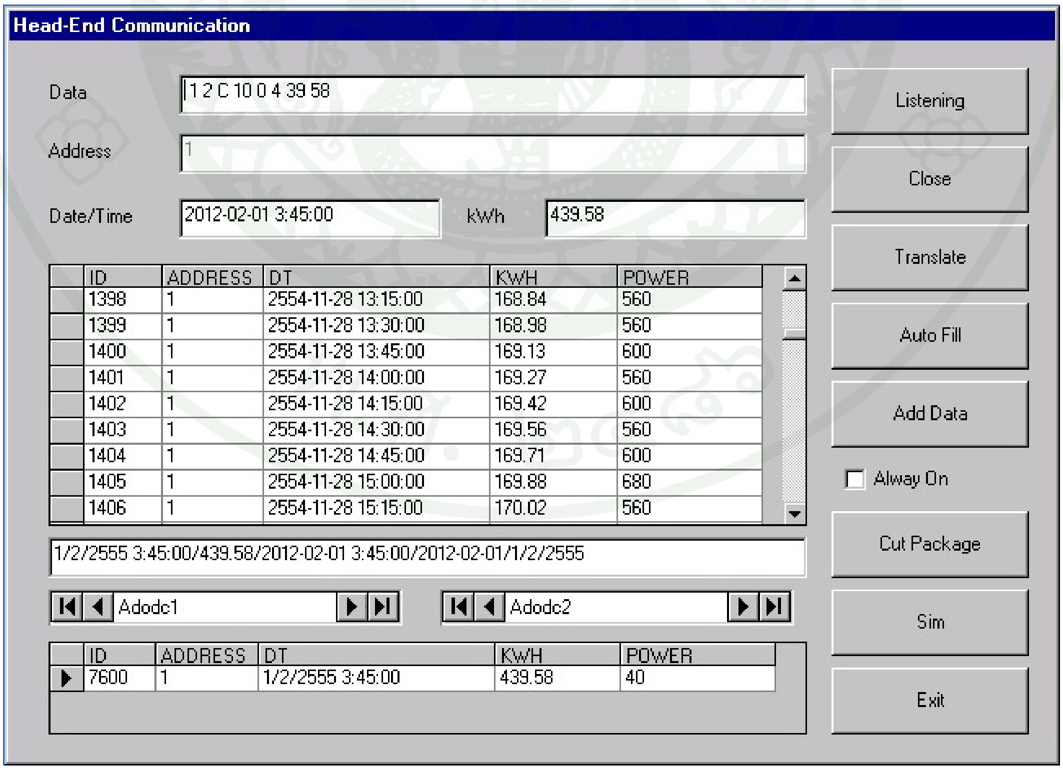
2. Address เป็นข้อมูล Address ของมิเตอร์ โดยกำหนดให้เป็น 1

3. Date/Time เป็นข้อมูลวันเวลาจากการตีความข้อมูลจาก Data

4. kWhเป็นข้อมูล kWh จากการตีความข้อมูลจาก Data

5. ตารางแสดงข้อมูลใน ฐานข้อมูล

6. ปุ่มควบคุมการทำงานในแต่ละ Function แบบ Manual เพื่อใช้ตรวจสอบการทำงาน



ภาพที่ 36 หน้าต่างหลักของโปรแกรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบโปรแกรมส่วนแสดงผลบนเว็บเพจ

โปรแกรมส่วนแสดงผลบนเว็บเพจ ถูกพัฒนาโดยภาษา HTML และ PHP โดยทำงานอยู่บนเว็บเซิร์ฟเวอร์ Apache ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยหน้าเว็บเพจจะนำข้อมูลจากฐานข้อมูล มาประมวลผล และแสดงผล โดยถูกออกแบบการแสดงผลแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้คือ

1. Recent Usage เป็นการแสดงผลในลักษณะช่วงเวลาของวัน ดังแสดงในภาพที่ 37 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

1.1 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าทุก 15 นาที โดยแสดงเปรียบเทียบระหว่างวันนี้ และเมื่อวานนี้

1.2 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าในลักษณะเปิดตลอด (Always On) โดยแสดงเปรียบเทียบระหว่างวันนี้ และเมื่อวานนี้

1.3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละวัน โดยแสดงผลเป็นตัวเลข เปรียบเทียบระหว่างวันนี้ และเมื่อวานนี้

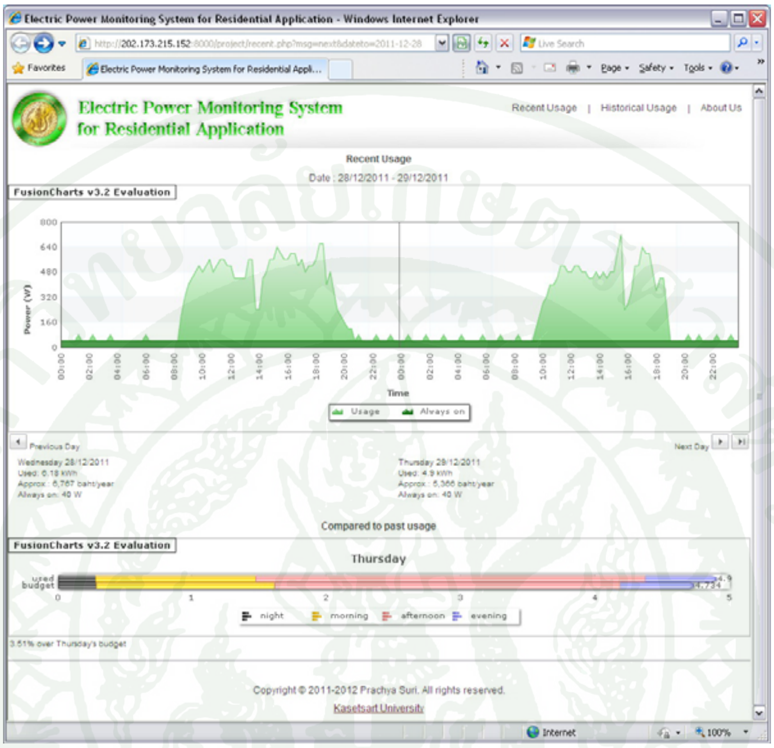
1.4 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในระยะเวลา 1 ปี โดยคิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ วันนั้นๆ เปรียบเทียบระหว่างวันนี้ และเมื่อวานนี้

1.5 ค่าใช้กำลังไฟฟ้าในลักษณะเปิดตลอด โดยแสดงเปรียบเทียบระหว่างวันนี้ และเมื่อวานนี้

1.6 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ Night (24:00 - 6:00น.), Morning (6:00 – 12:00 น.), Afternoon (12:00 – 18:00 น.) และ Evening (18:00 – 24:00 น.) ซึ่งเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของเป้าหมายที่ต้องการจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากวันเดียวกันของสัปดาห์ก่อน 10% ในแต่ละช่วงเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.7 ค่าเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน กับเป้าหมายที่ต้องการจะลดการใช้พลังงานจากวันเดียวกันของสัปดาห์ก่อน 10%



ภาพที่ 37 การแสดงผลส่วน Recent Usage

2. Historical Usage เป็นการแสดงผลในลักษณะของช่วงเวลา 1 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 38 ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังนี้

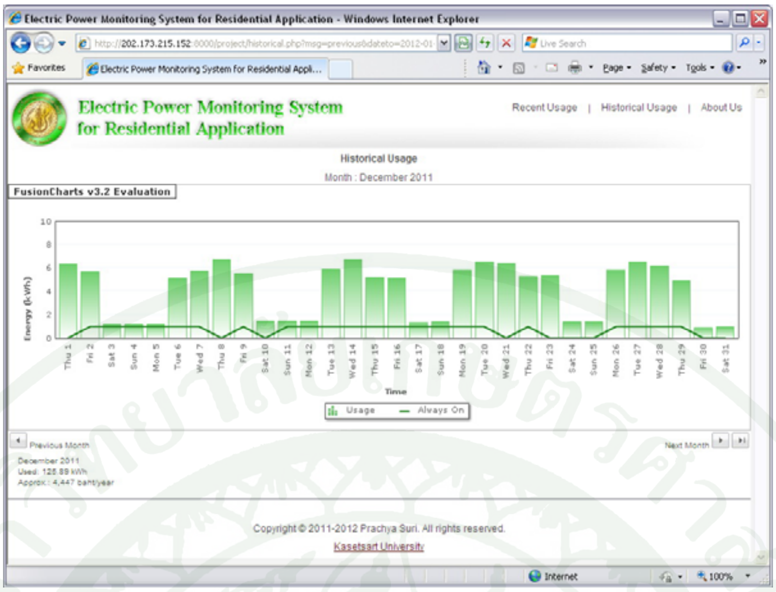
2.1 กราฟแสดงการใช้พลังงานในแต่ละวัน ภายในเดือนนั้นๆ

2.2 กราฟแสดงการใช้พลังงานในลักษณะเปิดตลอดของแต่ละวัน

2.3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในเดือนนั้น

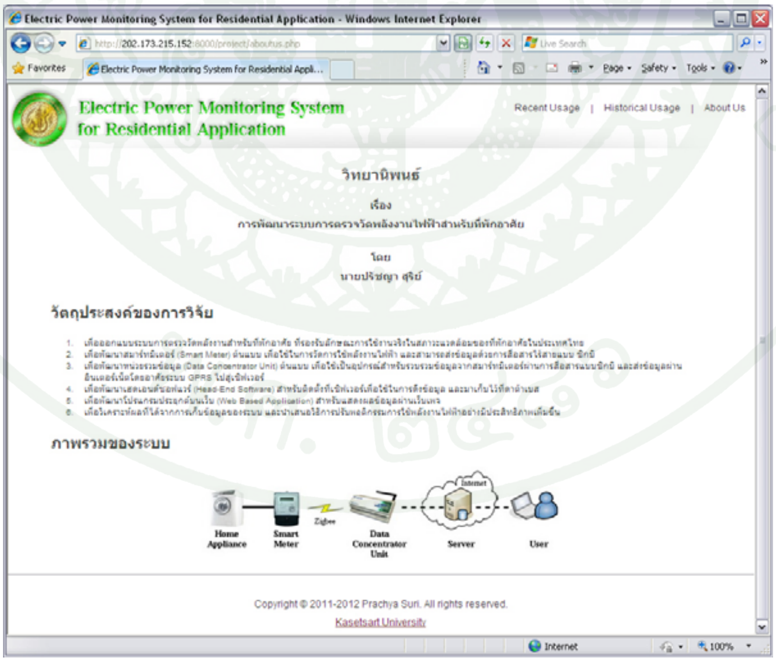
2.4 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในระยะเวลา 1 ปี โดยคิดจากการใช้พลังงานของเดือนนั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 การแสดงผลส่วน Historical Usage

3. About Us เป็นการแสดงผลข้อมูลทั่วไปของโครงการดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 การแสดงผลส่วน About Us

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

การทดสอบค่าความแม่นยำของสมาร์ทมิเตอร์

อุปกรณ์สมาร์ทมิเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะถูกนำมาทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน IEC62053-21 Class 1 โดยการใช้เครื่อง Test Bench รุ่น SY8125D ในการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 40

ภาพที่ 40 เครื่อง Test Bench และการทดสอบสมาร์ทมิเตอร์ด้วย Test Bench

โดยผลที่ได้จากการทดสอบค่าความแม่นยำจากเครื่อง Test Bench มีค่าในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของสมาร์ทมิเตอร์

Current	%Error		
	pf = 1	pf = 0.5 Inductor	pf = 0.8 Capacitor
0.75	0.25	-	-
1.5	0.17	0.15	0.24
3	0.12	0.06	0.18
7.5	0.01	0.08	0.06
15	0.01	0.15	0.02
30	0.11	0.29	-0.08
45	0.19	0.40	-0.19

การทดสอบการติดตั้งใช้งานระบบ

อุปกรณ์ทั้งหมดถูกติดตั้งและทดสอบ ที่ฝ่ายวิจัย และพัฒนา บริษัท พรีไซซ ซิสเท็ม แอนด์ โปรเจ็ค จำกัด โดยสมาร์ทมิเตอร์ได้ถูกติดตั้งทดสอบเพื่อวัดการใช้กำลังงานไฟฟ้าภายในห้องวิจัย โดยมีการติดตั้งดังภาพที่ 41

ภาพที่ 41 การติดตั้งทดสอบเพื่อวัดการใช้กำลังงานไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

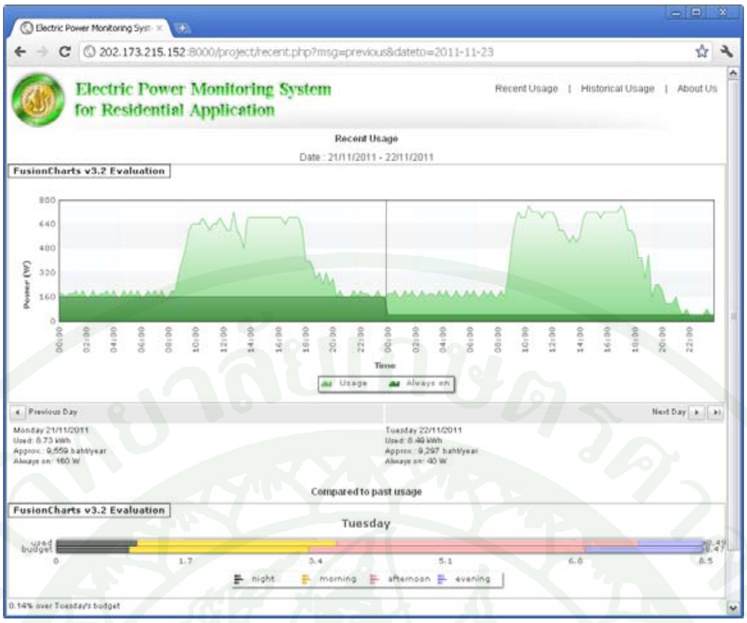
โดยมีอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า คือคอมพิวเตอร์จำนวน 8 เครื่อง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ใช้พลังงานต่ำอีกส่วนหนึ่ง เช่น External Modem, Ethernet Switch เป็นโหลดของการวัดพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 42

ภาพที่ 42 โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องวิจัย สำหรับใช้ในการทดสอบระบบ

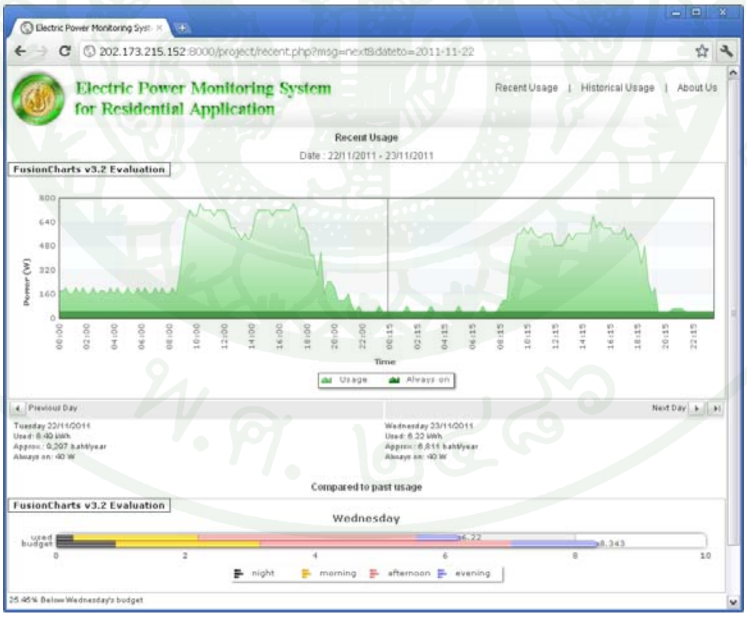
บุคคลากรในห้องวิจัยสามารถทราบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ผ่าน เว็บเพจ โดยผลก่อนการปรับพฤติกรรมของบุคคลากรในห้องวิจัย ลักษณะการใช้พลังงานเป็นไปตามภาพที่ 43 โดย ณ วันที่ 21 พฤศจิกายน 2554 การใช้กำลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 8.73 kWh ต่อวัน โดยเป็นการใช้ในพลังงานไฟฟ้าลักษณะเปิดตลอดเท่ากับ 160 W คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยประมาณเท่ากับ 9,559 บาทต่อปี

จากผลดังกล่าวผู้ใช้งานระบบนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสาเหตุการใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะเปิดตลอด ซึ่งพบว่าอุปกรณ์ที่เป็นสาเหตุคือ UPS ซึ่งภายหลังที่บุคลากรในห้องวิจัยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมโดยการปิด UPS หลังเลิกงาน ตั้งแต่วันที่ 22 พฤศจิกายน 2554 เป็นต้นไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ในพลังงานไฟฟ้าลักษณะเปิดตลอดลดลงเหลือเท่ากับ 40 W

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า ก่อนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า (ณ วันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2554)

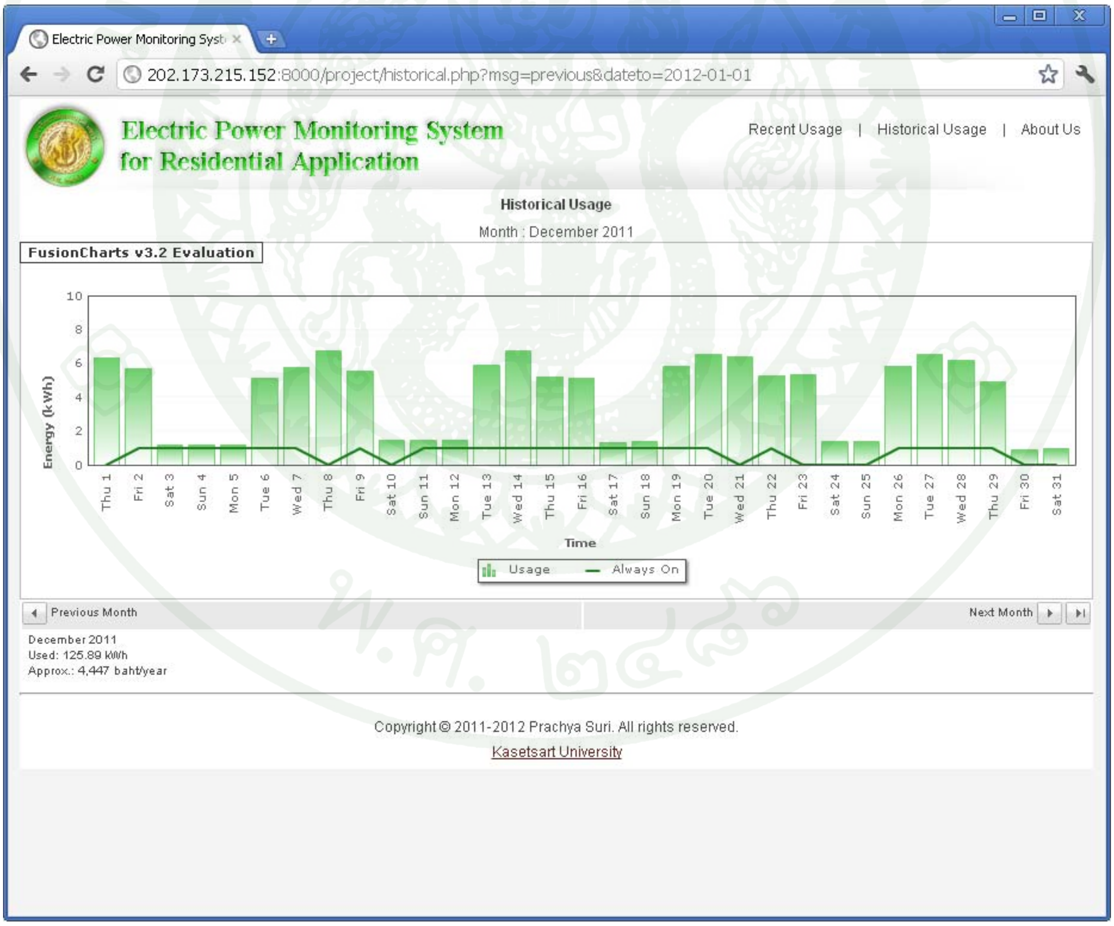


ภาพที่ 44 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า หลังการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า (ณ วันที่ 22-23 พฤศจิกายน 2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภายหลังที่บุคลากรในห้องวิจัย ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมโดยการปิด UPS หลังเลิกงาน ลักษณะการใช้พลังงงานไฟฟ้าเป็นดังภาพที่ 44 โดยมีการใช้กำลังงานไฟฟ้า ณ ลดลงเหลือเท่ากับ 6.22 kWh ต่อวัน เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะเปิดตลอดลดลงเท่ากับ 40 W คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยประมาณเท่ากับ 6,811 บาทต่อปี โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 25.45% จากเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ได้ 10% จากสัปดาห์ก่อน

เมื่อผู้ใช้งานระบบ สามารถทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมอย่างต่อเนื่อง โดยผลการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดเดือนธันวาคม 2012 ดังภาพที่ 45 ซึ่งมีการใช้กำลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้นเท่ากับ 125.89 kWh คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยประมาณเท่ากับ 4,447 บาท/ปี



ภาพที่ 45 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าเดือน ธันวาคม 2554

วิจารณ์

จากผลทดสอบค่าความแม่นยำของสมาร์ทมิเตอร์ โหลดที่มีค่าน้อยกว่า 5A ค่า %Error มีแนวโน้ม ลดลงเนื่องจาก อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบมีค่ามากขึ้นตามปริมาณกระแสที่วัด แต่สำหรับโหลดที่มีค่ามากกว่า 5A ค่า %Error มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ค่าความคลาดเคลื่อนที่แฝงอยู่ใน Register WGAIN จากการสอบเทียบ ซึ่งใช้เป็นตัวคูณค่าพลังงานที่วัดได้ จะเริ่มส่งผลให้ %Error มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณค่าพลังงานที่วัด ส่วนค่า %Error ของ pf ที่ได้ต่างกันมีผลเนื่องจากกระแสเกิด Phase Shift เมื่อผ่าน CT ในวงจรส่วน AFE

จากการติดตั้งระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย ผู้ใช้งานระบบสามารถทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองได้ และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อปรับปรุงพฤติกรรม ส่งผลให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สมาร์ทมิเตอร์ที่ถูกพัฒนามีค่าความแม่นยำสำหรับ pf = 1 โหลด 0.75 - 1.5 A %Error น้อยกว่า ±1.5% สำหรับโหลด 1.5 - 45 A %Error น้อยกว่า ±1% และสำหรับ pf = 0.5 Inductor และ 0.8 Capacitor โหลด 1.5 - 3 A %Error น้อยกว่า ±1.5% และ โหลด 3 - 45 A %Error น้อยกว่า ±1% ซึ่งไปตามมาตรฐาน IEC62053-21 Class 1

ระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยให้ผู้ใช้งานระบบทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเอง และนำผลที่ได้มาปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริง

ข้อเสนอแนะ

หน่วยรวมข้อมูลควรปรับปรุงให้ทำงานให้เป็นอุปกรณ์ In Home Display เพื่อใช้ควบคุมและแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้านได้ โดยทำงานร่วมกับระบบ Smart Appliance หรือ Smart Plug

การสื่อสารระหว่างหน่วยรวมข้อมูล และเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบ GPRS ยังมีปัญหาเรื่องความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารในบางครั้ง ซึ่งตรวจสอบแล้วเกิดจากปัญหาของ SIM300C GSM/GPRS Module เอง ซึ่งควรแก้ไขโดยการเปลี่ยนรุ่น GPRS Modem เป็นรุ่นอื่น รวมทั้งควรปรับปรุงรูปแบบการส่งข้อมูลใหม่ เพื่อสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้มากขึ้น เช่นการใช้กระบวนการ Check Sum และการร้องขอข้อมูลจากหน่วยรวมข้อมูลใหม่ หากข้อมูลที่ได้รับตรวจสอบแล้วทราบว่าผิดพลาด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2553. **ข้อมูลพลังงาน**. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/info/5electricity_stat.htm, 10 ม.ค. 2554.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2554. **Provincial Electricity Authority Smart Grid Roadmap**. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

ชาญชัย ศุภอรรถกร. 2552. **คู่มือจัดการฐานข้อมูล MySQL**. ซัคเซส มีเดีย, กรุงเทพฯ.

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. 2554. **Advanced PIC Microcontroller in C: การประยุกต์ใช้งาน PIC ชั้นสูงด้วยภาษา C**. สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, กรุงเทพฯ.

บัญชา ประสีละเตสัง. 2550. **คู่มือการพัฒนาเว็บด้วย PHP 5 และ MySQL 5**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

สำนักความร่วมมือระหว่างประเทศ. 2552. **รายงานข่าวและสรุปสถานการณ์ความเคลื่อนไหวด้านพลังงานระหว่างประเทศ ระหว่างวันที่ 6-10 กุมภาพันธ์ 2552**. 4 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2548. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550- พ.ศ. 2554)**. แหล่งที่มา: http://www.nesdb.go.th/Default.aspx?tabid=139, 10 ม.ค. 2553.

สำเริง เต็มราม และ เดชฤทธิ์ มณีธรรม. 2550. **คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Microcontroller PIC)**. เคทีพี, กรุงเทพฯ.

Digi Inc. 2011. **ZigBee and RF Modules**. Available Source: http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/, May 10, 2011.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dolle, D.V. 2009. **Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap**. Electric Power Research Institute (EPRI), USA.

Han, D.M. and J.H. Lim. 2010. Smart Home Energy Management System using IEEE 802.15.4 and ZigBee. **Consumer Electronics** 56 (3): 1403-1410.

IEC. 2003. **Static meters for active energy (classes 1 and 2)**. IEC Standard 62053-21 First Edition, 2003.

Luan S.W., Teng J.H., Chan S.Y. and Hwang L.C. 2009. Development of a Smart Power Meter for AMI Based on ZigBee Communiction, pp. 661-665. *In* **Proceedings of Power Electronics and Drive Systems 2009**. 2-5 Nov. 2009. PEDS, Taiwan.

Provincial Electricity Authority. **Single-Phase Electronic Watt-Hour Meters Specification No.: RMTR-027/2553**. 2011.

Scott J., P. Vaessen and F. Verheij. 2008. **Reflections on Smart Grids for the Future**. KEMA Consulting, Netherlands.

THE OFFICE OF THE PRESIDENT - ELECT. 2009. **Remarks of President-Elect Barrack Obama As Prepared for Delivery American Recovery and Reinvestment**. Available Source: http://change.gov/newsroom/entry/dramatic_action/, June 5, 2011.

Tse C.F., Y.C. Chan and L.L. Lai. 2009. Development of a Smart Metering Scheme for Building Smart Grid System, pp. 1-5. *In* **Proceedings of Advances in Power System Control, Operation and Management 2009.** 8-11 Nov. 2009. APSCOM, Hongkong.

Wikipedia. 2010. **ZigBee**. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee, June 6, 2011.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Yussoff Y., H.Z. Abidin, R.A. Rahman and F.H. Yahaya. 2010. Development of a PIC- Based Wireless Sensor Node Utilizing XBee Technology, pp. 116-120. *In* **Proceedings of Information Management and Engineering.** 16-18 April 2010. ICIME, South Africa.

Zigbee Alliance. 2011. **ZigBee Specification Network Topology**. Available Source: http://zigbee.org/Specifications/ZigBee/NetworkTopology.aspx, June 6, 2011.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบฟอร์มสำหรับใช้บันทึกผลการทดสอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Test Report

Model : ______________________ **Type :** ______________________

Voltage : ________ **Rating :** ____________ **Phase :** ________ **Wire :** ________

Serial No.: ______________________ **Constant** ____________ **imp/kWh**

Frequency : ________ **Class :** ____________ **Project :** ______________________

Starting Test

Voltage	Power Factor	current	Result
Un	1	0.004Ib	

Running with no-load

Voltage	current	Result
115% of Un	No current	

Accuracy Test.

Current	Power Factor	Balance	Error(%)
0.05Ib	1	Balance	
Ib	1	Balance	
Ib	0.5L	Balance	
Imax	1	Balance	

Meter Constant Test.

Start Value	End Value	Value	Error(%)
		1	

Test By : ______________________

Date : ______________________

Approved By : ______________________

Date : ______________________

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายปรัชญา สุริย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 31 ตุลาคม 2521
สถานที่เกิด	สระบุรี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน พ.ศ. 2543
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทพรีไซซ ซิสเท็ม แอนด์ โปรเจ็ค จำกัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์