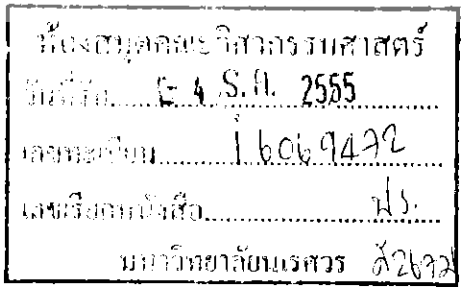
มาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ELECTRONIC ELECTRICITY-COST METER

นายสมพล ไพสิฐวลี รหัส 51384048

นายฐิตินันท์ ก่อเกิดวงศ์ รหัส 51384857



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน มาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ผู้ดำเนินโครงงาน นายสมพล ไพสิฐวลี รหัส 51384048

นายฐิตินันท์ ก่อเกิดวงศ์ รหัส 51384857

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ
(ดร. แคทรียา สุวรรณศรี)

.....กรรมการ
(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	มาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายสมพล ไพสิฐวลี	รหัส 51384048
	นายฐิตินันท์ ก่อเกิดวงศ์	รหัส 51384857
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2554	

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงงานเกี่ยวกับการสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าเฟสเดียวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและแสดงผล การคำนวณค่าไฟฟ้าเป็นตามเงื่อนไขการจัดเก็บของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำหรับที่อยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน โครงงานนี้มีเป้าหมายเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับทั้งผู้ขายไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า โดยลดขั้นตอนในการเก็บข้อมูลและแจ้งยอดชำระค่าไฟฟ้าของผู้ขายไฟฟ้า ในขณะเดียวกันผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบปริมาณไฟฟ้าที่ใช้รวมถึงค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระตลอดเวลา ในโครงงานนี้ได้โปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของมาตรวัดให้สามารถแสดงระยะเวลาที่ใช้ไฟฟ้า ค่ากำลังจริง ค่าหน่วยไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระออกทางจอแสดงผลแอลซีดี ผลการทดลองกับโหลดที่ประเภทต่างๆ แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังจริงที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากการคำนวณ มาตรวัดที่สร้างขึ้นจึงมีโอกาสพัฒนาเพื่อการใช้งานจริงต่อไป

Project title	Electronic Electricity–Cost Meter	
Name	Mr. Samapol Paisitwalie	ID. 51384048
	Mr. Thitinan Kohkerdwong	ID. 51384857
Project advisor	Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.	
Major	Electrical Engineering	
Department	Electrical and Computer Engineering	
Academic year	2011	

.....

Abstract

This thesis presents a project in which a single–phase electricity–cost meter controlled by a microcontroller was developed. Hereby, the electricity–cost calculation was carried out according to the regulations of the Metropolitan Electricity Authority (MEA) and the Provincial Electricity Authority (PEA) in Thailand for dwellings in which up to 150 units of electricity are monthly consumed. The aim of the project is to contribute to comfortable lives for both electricity suppliers and consumers. The collection procedure of the consumed unit, electricity cost calculation and bill distribution to the costumers could be easier. Also, the consumer could always be informed of the consumed electricity units as well as the corresponding cost. In this project, the microcontroller was programmed to control the meter operations in such a way that the values of time duration, real power, energy unit and cost related to the electricity use were finally shown on an LCD module display. The meter was tested with different types of load and the experimental results showed that the measured power values were consistent with those derived from the theoretical calculation. Therefore, the proposed meter could be potentially further improved so that it would be operated in actual practice.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระทัยในพระมหากรุณาธิคุณในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นล้นพ้นอย่างยิ่ง ที่ทรงให้ทุนในพระราชานุเคราะห์แก่ผู้ดำเนินโครงงานได้มีโอกาสทางการศึกษาจนประสบความสำเร็จในระดับปริญญาตรี

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงงาน นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมใช้งานอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณนายปกรณ์ ปากองวัน ที่ให้คำชี้แนะในการต่อวงจร

เหนือสิ่งอื่นใดคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายสมพล ไพสิฐวลี
นายฐิตินันท์ ก่อเกิดวงศ์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 3
1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าและการวัดค่าหน่วยไฟฟ้า 4
2.1 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าและอัตราค่าไฟฟ้า 4
2.1.1 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า 4
2.1.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 5
2.2 ค่ากำลังไฟฟ้า 17
2.2.1 ความหมายของกำลังไฟฟ้า 17
2.2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสตรง 18
2.2.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 19
2.3 มาตรวัดกำลังจริงและมาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้า 23
2.3.1 มาตรวัดกำลังจริง 23
2.3.2 มาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้า 26
2.4 การประมวลผลค่าไฟฟ้าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 แหล่งตรวจจับพลังงานไฟฟ้าด้วยไอซี ADE7753ARSZ 30
2.5.1 การตรวจจับสัญญาณกระแสอินพุต 31
2.5.2 การตรวจจับสัญญาณแรงดันอินพุต 31
2.6 การแสดงผลการทำงานด้วยจอแอลซีดี 31

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 32
3.1 ขั้นตอนการสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 32
3.2 ส่วนประกอบของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 32
3.2.1 ฮาร์ดแวร์ 32
3.2.2 ซอฟต์แวร์ 38
3.3 ขั้นตอนการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 42

บทที่ 4 ผลการทดลอง 44
4.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังจริง 44
4.1.1 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานอย่างเดียว 44
4.1.2 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 46
4.1.3 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ 48
4.1.4 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ 50
4.2 ผลการทดลองการปรับเทียบเวลากับนาฬิกาอ้างอิง 52
4.3 ผลการทดลองการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า 52
4.3.1 การทดลองวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า 52
4.3.2 การทดลองวัดโหลดตู้เย็น 53
4.3.3 การทดลองวัดโหลดโทรทัศน์ 53
4.3.4 การทดลองวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า ตู้เย็น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์พกพา และโคมไฟฟ้า 54
4.3.5 การทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสม 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 58
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 58
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข 58
5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงานต่อไป 58

เอกสารอ้างอิง 59

ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 60
ภาคผนวก ข รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 75
ภาคผนวก ค รายละเอียดของไอซี ADE7753ARSZ 77

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยแบบอัตราปกติ 6
2.2 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 7
2.3 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กแบบอัตราปกติ 8
2.4 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กแบบตามช่วงเวลาของการใช้ 8
2.5 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางแบบอัตราปกติ 9
2.6 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 10
2.7 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่แบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน 11
2.8 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 12
2.9 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการเฉพาะอย่างแบบอัตราปกติ 13
2.10 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการเฉพาะอย่างแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 13
2.11 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรแบบอัตราปกติ 15
2.12 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 15
2.13 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตรแบบอัตราปกติ 16
2.14 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตรแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ 16
3.1 หน้าที่แต่ละขาของไอซี ADE7753ARSZ ที่ถูกต่อใช้งาน 36
3.2 หน้าที่แต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่ถูกต่อใช้งาน 37
3.3 หน้าที่แต่ละขาของจอแอลซีดี 38
4.1 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน 45
4.2 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 47
4.3 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ 49
4.4 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ 51
4.5 ผลการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า 55
4.6 ผลการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสม 57

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การต่อมิเตอร์วัดกำลังกระแสตรง 19
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าในชั่วขณะ 20
2.3 สามเหลี่ยมกำลัง 22
2.4 อิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ 23
2.5 ส่วนประกอบของอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ 24
2.6 การใช้อิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์วัดกำลังจริง 24
2.7 ส่วนประกอบของมาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ 26
2.8 แผนภาพเฟสเซอร์ของมาตรวัดค่าไฟฟ้า 28
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 29
2.10 วงจรการทำงานของไอซี ADE7753ARSZ 30
2.11 จอแสดงผลแอลซีดี 31
3.1 ส่วนประกอบของวงจรมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 33
3.2 ชุดแหล่งจ่ายพลังงานและชุดประมวลผลการทำงาน 34
3.3 วงจรชุดตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดัน 35
3.4 ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า 35
3.5 ชุดแสดงผลการทำงาน 37
3.6 โปรแกรมโปรติอุส 39
3.7 โปรแกรมซีซีเอส ซี คอมไพเลอร์ 39
3.8 โปรแกรมพิคคิท 2 39
3.9 ขั้นตอนการทำงานของส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ 40
3.10 ผังโปรแกรมควบคุมการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ 41
4.1 การวัดกำลังจริงในวงโหลดตัวต้านทาน 45
4.2 การวัดกำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 46
4.3 การวัดกำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ 48
4.4 การวัดกำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ 50
4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาในมาตรวัดกับเวลาอ้างอิง 52
4.6 ผลการทดลองวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า 53
4.7 ผลการทดลองวัดโหลดตู้เย็น 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 ผลการทดลองวัดโหลดโทรทัศน์ 54
4.9 ผลการวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า ตู้เย็น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์พกพา และโคมไฟฟ้า 54
4.10 ผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมกรณีต่อโหลดโทรทัศน์ 1 เครื่อง
และพัดลม 2 เครื่อง 56
4.11 ผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมกรณีต่อโหลดโทรทัศน์ 1 เครื่อง
และพัดลม 1 เครื่อง 56
4.12 ผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสม กรณีต่อโหลดโทรทัศน์ 1 เครื่อง 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญมากต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ทั้งใช้ในชีวิตประจำวัน การติดต่อสื่อสาร การประกอบธุรกิจ การอุตสาหกรรม และเศรษฐกิจ เนื่องจากไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน อาทิ พลังงานแสงสว่าง พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานเสียง เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย ประชาชนสามารถซื้อไฟฟ้าได้จากการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยคิดค่าใช้จ่ายจากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในแต่ละครัวเรือนด้วยมาตรวัดไฟฟ้า (Electricity meter) โดยทั่วไปมาตรวัดไฟฟ้ามี 2 ชนิดคือ แบบการหมุนครบรอบของจานอะลูมิเนียม (Aluminium disc) และแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดนั้นไม่มีระบบคำนวณค่าไฟฟ้าให้โดยตรงภายในตัวมาตรวัด ผู้ขายไฟฟ้าจะต้องไปจดบันทึกปริมาณหน่วยไฟฟ้า แล้วนำมาคำนวณคิดค่าไฟฟ้าอีกครั้ง ก่อนจะส่งใบชำระค่าไฟฟ้าที่จัดเก็บไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้ต้องใช้เวลามากและมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นระหว่างการทำงานแต่ละขั้นตอนได้ ทั้งจากการจดบันทึกปริมาณหน่วยไฟฟ้าและการกรอกข้อมูลลงระบบคำนวณที่การไฟฟ้า นอกจากนี้ผู้ใช้ไฟฟ้ายังไม่มีโอกาสทราบค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระจนกว่าจะได้รับใบชำระค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ผู้ดำเนินโครงงานจึงสนใจที่จะสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic electricity–cost meter) ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมภาษาซี เหตุผลที่เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ได้รวบรวมวงจรและฟังก์ชันที่สำคัญต่างๆมาไว้ภายในจึงสามารถใช้งานและหาซื้อได้ง่าย โครงงานมีเป้าหมายในการนำมาตรวัดชนิดนี้ไปใช้งานคือใช้เป็นมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นมาตรวัดต้นแบบสำหรับอาคารบ้านเรือนทั่วไปที่เชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าให้สามารถแสดงปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป พร้อมทั้งค่าไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระ เป็นตัวเลขบนหน้าจอแสดงผลแอลซีดี

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ออกแบบและสร้างวงจรเพื่อวัดหน่วยไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 220 V 50 Hz ตามหลักเกณฑ์ของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2) แสดงหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าบนหน้าจอแอลซีดี
3) ควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554							ปี 2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาการทำงานของมาตรวัดไฟฟ้าและหลักเกณฑ์การคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค										
2) ออกแบบและสร้างวงจรเพื่อวัดหน่วยไฟฟ้าและคำนวณค่าไฟฟ้า										
3) ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของมาตรวัดไฟฟ้าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์										
4) ทดสอบ และปรับปรุงชิ้นงาน										
5) สรุปผลการดำเนินโครงงานและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

ผู้จัดเก็บค่าไฟฟ้าประหยัดเวลา เพิ่มความสะดวกและลดขั้นตอนในการคำนวณค่าไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระตามเวลาจริง และตระหนักถึงความประหยัดในการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.6 งบประมาณ

1) ค่าอุปกรณ์ชุดอัดโปรแกรม พิคคิท 2	2,000 บาท
2) ค่าอุปกรณ์ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน	170 บาท
3) ค่าอุปกรณ์ชุดตรวจจับสัญญาณ	100 บาท
4) ค่าอุปกรณ์ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	130 บาท
5) ค่าอุปกรณ์ชุดประมวลผล	200 บาท
6) ค่าอุปกรณ์ชุดแสดงผล	500 บาท
7) ค่ากล่องอเนกประสงค์ สายไฟฟ้าและปลั๊กไฟฟ้า	200 บาท
8) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	700 บาท
รวมเป็นเงิน (สี่พันบาทถ้วน)	4,000 บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
การคิดอัตราค่าไฟฟ้าและการวัดค่าหน่วยไฟฟ้า

ในการสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ มีหลักการและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องสำหรับนำมาประยุกต์ใช้สร้างมาตรวัด มีหลักการและทฤษฎีต่างๆดังกล่าวจะอธิบายดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าและอัตราค่าไฟฟ้า

2.1.1 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า

โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าจัดทำขึ้นเพื่อจัดเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้า มีหน่วยงานที่รับผิดชอบดูแล คือ คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (Energy regulatory commission) [1] โดยโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ อัตราค่าไฟฟ้าฐาน (Base tariff) อัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Automatic adjustment mechanism or float time: F_t) และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (Value added tax: VAT)

ก. อัตราค่าไฟฟ้าฐาน

อัตราค่าไฟฟ้าฐาน เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนต้นทุนที่แท้จริงของการลงทุนของโรงไฟฟ้าระบบสายส่งและสายจำหน่าย ต้นทุนราคาเชื้อเพลิง อัตราเงินเฟ้อ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราในแต่ละช่วงเวลาภายใต้สมมติฐาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพของการไฟฟ้า อัตราค่าไฟฟ้าฐานสามารถแยกต้นทุนของกิจการไฟฟ้าได้เป็น 4 ประเภท คือ (1) ต้นทุนของกิจการผลิตไฟฟ้า (Generation) ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ และต้นทุนการรับซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ (2) ต้นทุนกิจการระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Transmission and distribution charge) (3) ต้นทุนของกิจการผู้ดูแลระบบและผู้ซื้อไฟฟ้ารายเดียว (System operator and single buyer) (4) ต้นทุนของกิจการจำหน่ายไฟฟ้า (Retail) ค่าไฟฟ้าฐานจะมีการพิจารณาปรับทุกๆ 2 ปี [1]

ข. อัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ

อัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ คือค่าไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง และค่าซื้อไฟฟ้านอกเหนือจากการควบคุมของการไฟฟ้าฯ จะมีการพิจารณาเปลี่ยนแปลงทุกๆ 4 เดือน [3] มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าไฟฟ้าสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนใน 2 ด้านหลักคือ (1) ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงและค่าซื้อไฟฟ้าที่มีความเปลี่ยนแปลงไปจากสมมติฐานที่ใช้กำหนดโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน (IPP, SPP, VSPP) และค่าซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ (2) การส่งผ่านค่าใช้จ่ายตามนโยบายที่รัฐบาลกำหนด ได้แก่ การส่งเงิน

เข้ากองทุนพัฒนาไฟฟ้า และการส่งผ่านส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนของการไฟฟ้า อัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

สำหรับการไฟฟ้านครหลวง $$F_t = \frac{F_{t(retail)} \times EU_{(MEA)} \times PE_{(MEA)}}{ES_{(MEA)}} \quad (2.1)$$

โดยที่ EU_{MEA} คือ ประมาณการหน่วยจำหน่ายที่ กฟน. ขายให้ผู้ใช้ไฟฟ้างวดปัจจุบัน (หน่วย)

PE_{MEA} คือ ประมาณค่าใช้จ่ายตามนโยบายของรัฐ ในส่วนของ กฟน. งวดปัจจุบัน (บาท)

ES_{MEA} คือ ประมาณการหน่วยจำหน่ายที่ กฟผ. ขายให้ กฟน. งวดปัจจุบัน (หน่วย)

สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค $$F_t = \frac{F_{t(retail)} \times EU_{(PEA)} \times PE_{(PEA)}}{ES_{(PEA)}} \quad (2.2)$$

โดยที่ EU_{PEA} คือ ประมาณการหน่วยจำหน่ายที่ กฟภ. ขายให้ผู้ใช้ไฟฟ้า งวดปัจจุบัน (หน่วย)

PE_{PEA} คือ ประมาณค่าใช้จ่ายตามนโยบายของรัฐ ในส่วนของ กฟภ. งวดปัจจุบัน (บาท)

ES_{PEA} คือ ประมาณการหน่วยจำหน่ายที่ กฟผ. ขายให้ กฟภ. งวดปัจจุบัน (หน่วย)

ค. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

เนื่องจากไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นสินค้าชนิดหนึ่ง ดังนั้นผู้ใช้ไฟฟ้าต้องจ่ายภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% ด้วย สูตรค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% เป็นดังสมการที่ (2.3)

$$\text{VAT } 7\% = 0.07 \times (\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + F_t) \quad (2.3)$$

2.1.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

แผนนโยบายการกำหนดโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2554–2558 [4] จำแนกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 8 ประเภทคือ (1) บ้านอยู่อาศัย (2) กิจการขนาดเล็ก (3) กิจการขนาดกลาง (4) กิจการขนาดใหญ่ (5) กิจการเฉพาะอย่าง (6) องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร (7) กิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตร และ (8) ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว สำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้า กำหนดไว้ว่าประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเดียวกัน ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าในอัตราเดียวกันทั่วประเทศ ทำให้การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าจากทั้งการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเท่ากันทุกประการ [5] อย่างไรก็ตามสำหรับโครงงานนี้จะสนใจเฉพาะการคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยเท่านั้น อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท มีรายละเอียดต่อไปนี้

ก. ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ใช้สำหรับไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่างๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านมาตรวัดเครื่องเดียว อัตราการคำนวณแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ (1) อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน (2) อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน (3) อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of use tariff: TOU) โดยอัตราปกติ แสดงดังตารางที่ 2.1 และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยแบบอัตราปกติ

หน่วยที่ (kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1.1 อัตราแบบอัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน		8.19
0 – 15	1.8632	
16 – 25	2.5026	
26 – 35	2.7549	
36 – 100	3.1381	
101 – 150	3.2315	
151 – 400	3.7362	
401 เป็นต้นไป	3.9361	
1.2 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน		38.22
0 – 150	2.7628	
151 – 400	3.7362	
401 เป็นต้นไป	3.9361	

ตารางที่ 2.2 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	
1.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้			
1.3.1 12 – 24 kV	4.5827	2.1495	312.24
1.3.2 ต่ำกว่า 12 kV	5.2674	2.1827	38.22

โดยที่ On peak คือ ช่วงเวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และวันพืชมงคล

Off peak คือ ช่วงเวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และวันพืชมงคล

ช่วงเวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ และวันแรงงานแห่งชาติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชยและวันพืชมงคล)

หมายเหตุ

1) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 5 A 220 V 1 เฟส 2 สาย จะถูกจัดให้อยู่ในอัตราข้อ 1.1 แต่ถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในอัตราข้อ 1.2 และถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือนติดต่อกัน 3 เดือนในเดือนถัดไป จะจัดเข้าอยู่ในอัตราข้อ 1.1 ตามเดิม
2) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าขนาดเกินกว่า 5 A 220 V 1 เฟส 2 สายถูกจัดให้อยู่ในอัตราข้อ 1.2 ตลอดไป
3) ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกใช้อัตราข้อ 1.3 ได้ โดยจะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้าก่อน และต้องชำระค่ามาตรวัด TOU หรือค่าบริการด้านมาตรวัด TOU เพิ่มขึ้นจากค่าบริการปกติ และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราเดิมอีกก็ได้
4) สถานที่ประกอบศาสนกิจรวมทั้งบริเวณที่เกี่ยวข้องด้วยสามารถเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 6 ได้
5) ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า
6) ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1.1 ซึ่งติดตั้งมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 5 A และใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 90 หน่วยต่อเดือน ไม่ต้องชำระค่าไฟฟ้าในเดือนนั้น

ข. ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

เป็นการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 kW โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณแยกเป็น 2 รูปแบบคือ (1) แบบอัตราปกติ และ (2) แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ [5] แสดงดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กแบบอัตราปกติ

ช่วงแรงดัน		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
2.1 แบบอัตราปกติ			
2.1.1 12 – 24 kV		3.4230	312.24
2.1.2 ต่ำกว่า 12 kV	150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1 – 150)	2.7628	46.16
	250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
	เกิน 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ตารางที่ 2.4 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กแบบตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	
2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้			
2.2.1 12 – 24 kV	4.5827	2.1495	312.24
2.2.2 ต่ำกว่า 12 kV	5.2674	2.1827	46.16

หมายเหตุ

1) ถ้าหากผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบเดือนใดเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 อัตราข้อ 3.2 ประเภทที่ 4 อัตราข้อ 4.2 หรือประเภทที่ 5 อัตราข้อ 5.2 แล้วแต่กรณี และจะจัดเข้ามาอยู่ในประเภทที่ 2 อีกก็ต่อเมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวลดลงต่ำกว่า 30 kW ติดต่อกันเป็นเวลานาน12 เดือน

2) ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 2.1 สามารถเลือกใช้อัตราข้อ 2.2 ได้ โดยต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้าก่อน และต้องชำระค่ามาตรวัดแบบ TOU หรือค่าบริการด้านมาตรวัดแบบ TOU เพิ่มขึ้นจากค่าบริการปกติ และหากเลือกใช้ไปแล้วนานเกิน 12 เดือน ขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราข้อ 2.1 ตามเดิมได้
3) ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้ไม่มีการใช้ไฟฟ้า

ค. ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ ที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 kW และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณแยกเป็น 2 แบบคือ แบบอัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาการใช้ แสดงดังตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางแบบอัตราปกติ

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
3.1 แบบอัตราปกติ			
3.1.1 69 kV ขึ้นไป	175.70	2.7441	312.24
3.1.2 12 – 24 kV	196.26	2.7815	312.24
3.1.3 ต่ำกว่า 12 kV	221.50	2.8095	312.24

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า: (1) แบบอัตราปกติ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน (2) แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On peak ในรอบเดือน ถ้าเศษของ kW ไม่ถึง 0.5 kW ให้ตัดทิ้ง แต่ถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.5 kW ขึ้นไป ให้คิดเป็น 1 kW

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด: ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าตัวประกอบกำลัง: สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังล้าหลัง (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าจินตภาพเป็น kVAR เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เกินกว่า 61.97% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าจริงเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็น kW แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังในอัตรา kVAR ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น ถ้าเศษของ kVAR ไม่ถึง 0.5 kVAR ให้ตัดทิ้ง แต่ถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.5 kVAR ขึ้นไปคิดเป็น 1 kVAR

ตารางที่ 2.6 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	On peak	Off peak	
3.2 แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้					
3.2.1 69 kV ขึ้นไป	74.14	0	3.6917	2.2507	312.24
3.2.2 12 – 24kV	132.93	0	3.7731	2.2695	312.24
3.2.3 ต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	3.9189	2.3027	312.24

หมายเหตุ

1) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในอัตราข้อ 3.1 ซึ่งใช้ไฟฟ้าก่อนเดือนตุลาคม 2543 จะยังคงถูกจัดอยู่ในอัตราข้อ 3.1 สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดเข้าอยู่ในอัตราข้อ 3.2 ในเดือนถัดไป หลังจากเดือนที่ติดตั้งมาตรวัดแบบ TOU แล้ว
2) ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภทที่ 3 หากมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไปในเดือนใด หรือการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน จะถูกจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 อัตราข้อ 4.2 ในเดือนถัดไป หลังจากเดือนที่ติดตั้งมาตรวัดแบบ TOU แล้ว
3) ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 3.1 จะเปลี่ยนไปใช้อัตราข้อ 3.2 ได้ โดยต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้าฯ ก่อน และต้องชำระค่ามาตรวัดแบบ TOU ทั้งนี้หากเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมอีกไม่ได้

4) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 kW ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะถูกจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 และจะจัดเข้ามาอยู่ในอัตราข้อ 3.2 เมื่อมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวตั้งแต่ 30 ถึง 999 kW

5) ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระค่าบริการรายเดือนเพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุด

ง. ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณแยกเป็น 2 แบบคือ แบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of day tariff: TOD) และแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ โดยแสดงดังตารางที่ 2.7 และ 2.8

ตารางที่ 2.7 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่แบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)			ค่าพลังงานไฟฟ้าทุกช่วงเวลา (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Partial peak	Off peak		
4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน					
4.1.1 69 kV ขึ้นไป	224.30	29.91	0	2.7441	312.24
4.1.2 12 – 24kV	285.05	58.88	0	2.7815	312.24
4.1.3 ต่ำกว่า 12 kV	332.71	68.22	0	2.8095	312.24

โดยที่ On peak คือช่วงเวลา 18.30 – 21.30 น. ของทุกวัน

Partial peak คือช่วงเวลา 08.00 – 18.30 น. ของทุกวัน คิดค่าไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On peak

Off peak คือช่วงเวลา 21.30 – 08.00 น. ของทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2.8 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	On peak	Off peak	
4.2 แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้					
4.2.1 69 kV ขึ้นไป	74.14	0	3.6917	2.2507	312.24
4.2.2 12 – 24kV	132.93	0	3.7731	2.2695	312.24
4.2.3 ต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	3.9189	2.3027	312.24

โดยที่ On peak คือ ช่วงเวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และวันพืชมงคล

Off peak คือ ช่วงเวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และวันพืชมงคล
ช่วงเวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ และวันแรงงานแห่งชาติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชยและวันพืชมงคล)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า: (1) แบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือนคือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On peak และช่วงเวลา Partial peak เฉพาะส่วนที่เกินจากช่วงเวลา On peak ในรอบเดือน (2) แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือนคือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On peak ในรอบเดือน ถ้าเศษของ kW ไม่ถึง 0.5 kW ให้ตัดทิ้ง ถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.5 kW ขึ้นไป ให้คิดเป็น 1 kW

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด: ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าตัวประกอบกำลัง: สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังล้าหลัง ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าจินตภาพเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็น kVAR เกินกว่า 61.97% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าจริงเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็น kW แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังในอัตรา kVAR ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น ถ้าเศษของ kVAR ไม่ถึง 0.5 kVAR ให้ตัดทิ้ง ถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.5 kVAR ขึ้นไป ให้คิดเป็น 1 kVAR

จ. ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการประเภทโรงแรม และกิจการให้เช่าพักอาศัยตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณคือแบบอัตราปกติ และแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ โดยแสดงดังตารางที่ 2.9 และ 2.10

ตารางที่ 2.9 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการเฉพาะอย่างแบบอัตราปกติ

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
5.1 แบบอัตราปกติ			
5.1.1 69 kV ขึ้นไป	220.56	2.7441	312.24
5.1.2 12 – 24kV	256.07	2.7815	312.24
5.1.3 ต่ำกว่า 12 kV	276.64	2.8095	312.24

ตารางที่ 2.10 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการเฉพาะอย่างแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	On peak	Off peak	
5.2 แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้					
5.2.1 69 kV ขึ้นไป	74.14	0	3.6917	2.2507	312.24
5.2.2 12 – 24kV	132.93	0	3.7731	2.2695	312.24
5.2.3 ต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	3.9189	2.3027	312.24

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า: (1) แบบอัตราปกติ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน (2) แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On peak ในรอบเดือน โดยที่ถ้าเศษของ kW ไม่ถึง 0.5 kW ตัดทิ้ง ถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.5 kW ขึ้นไปให้คิดเป็น 1 kW

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด: ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าตัวประกอบกำลัง: สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังแบบล้าหลัง ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานงานไฟฟ้าจินตภาพเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็น kVAR เกินกว่า 61.97% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าจริงเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็น kW แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังในอัตรา kVAR ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น ถ้าเศษของ kVAR ไม่ถึง 0.5 kVAR ให้ตัดทิ้ง ถ้ามีค่าตั้งแต่ 0.5 kVAR ขึ้นไปให้คิดเป็น 1 kVAR

หมายเหตุ

1) ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 5 จะถูกจัดเข้าอยู่ในอัตราข้อ 5.2 เท่านั้น ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งมาตรวัดแบบ TOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าในอัตราข้อ 5.1 ไปพลางก่อน
2) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 kW ติดต่อกันเป็นเวลาถึง 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 และจะจัดเข้ามาอยู่ในอัตราข้อ 5.2 เมื่อมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป
3) ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระค่าบริการรายเดือนเพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

ฉ. ประเภทที่ 6 องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

สำหรับองค์กรที่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการ โดยไม่คิดค่าตอบแทน รวมถึงสถานที่ที่ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่รวมถึงหน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณแยกเป็น 2 แบบ คือ แบบอัตราปกติ และแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ โดยแสดงดังตารางที่ 2.11 และตารางที่ 2.12

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า: ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือนคือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On peak ในรอบเดือน ถ้าเศษของ kW ไม่ถึง 0.5 kW ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 kW ขึ้นไปให้คิดเป็น 1 kW

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด: ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ตารางที่ 2.11 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรแบบอัตราปกติ

ช่วงแรงดัน		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
6.1 แบบอัตราปกติ			
6.1.1 69 kV ขึ้นไป		3.0493	312.24
6.1.2 12 – 24kV		3.2193	312.24
6.1.3 ต่ำกว่า 12 kV	10 kWh แรก (หน่วยที่ 1–10)	2.4357	312.24
	เกิน 10 kWh (หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป)	3.5263	312.24

ตารางที่ 2.12 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	On peak	Off peak	
6.2 แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้					
6.2.1 69 kV ขึ้นไป	74.14	0	3.6917	2.2507	312.24
6.2.2 12 – 24kV	132.93	0	3.7731	2.2695	312.24
6.2.3 ต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	3.9189	2.3027	312.24

หมายเหตุ

1) ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 6.1 สามารถเลือกใช้อัตราข้อ 6.2 ได้ โดยต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้าก่อน และต้องชำระค่ามาตรวัดแบบ TOU และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราข้อ 6.1 ตามเดิมได้
2) ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 6.1 ต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 6.2 ต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย
3) สำหรับการใช้ไฟฟ้าของหน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น รวมทั้งบริเวณที่เกี่ยวข้อง อนุโลมให้จัดอยู่ประเภทที่ 6 จนถึงเดือนกันยายน 2555 หากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือมีปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 อัตราข้อ 4.2 ในเดือนถัดไปหลังจากเดือนที่ติดตั้ง

มาตรวัดแบบ TOU แล้ว และตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนตุลาคม 2555 เป็นต้นไป จะจัดเข้าในประเภทที่ 2 หรือประเภทที่ 3 อัตราข้อ 3.2 หรือ ประเภทที่ 4 อัตราข้อ 4.2 แล้วแต่กรณีตามลักษณะการใช้ไฟฟ้า

ช. ประเภทที่ 7 กิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยราชการ ของสำนักงาน หรือหน่วยงานของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กลุ่มเกษตรกรที่ทางราชการรับรอง หรือสหกรณ์เพื่อการเกษตร โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณแยกเป็น 2 แบบคือ แบบอัตราปกติ และแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ โดยแสดงดังตารางที่ 2.13 และ 2.14

ตารางที่ 2.13 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตรแบบอัตราปกติ

ช่วงแรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
7.1 แบบอัตราปกติ		
7.1.1 100 หน่วย (kWh) แรก (หน่วยที่ 1 – 100)	1.6033	115.16
7.1.2 เกินกว่า 100 หน่วย (หน่วยที่ 101 เป็นต้นไป)	2.7549	

ตารางที่ 2.14 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตรแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้

ช่วงแรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		อัตราค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On peak	Off peak	On peak	Off peak	
7.2 แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้					
7.2.1 12 – 24 kV	132.93	0	3.6531	2.1495	228.17
7.2.2 ต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	3.7989	2.1827	228.17

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า: ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ในละเดือนคือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On peak ในรอบเดือน ถ้าเศษของ kW ไม่ถึง 0.5 kW ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 kW ขึ้นไปให้คิดเป็น 1 kW

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด: ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนซึ่งต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

หมายเหตุ

1) ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องมีแรงม้าของเครื่องสูบน้ำ รวมกันไม่ต่ำกว่า 25 แรงม้า และต้องทำสัญญากับการไฟฟ้าก่อน
2) ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราในข้อ 7.1 สามารถเลือกใช้อัตราในข้อ 7.2 ได้ โดยต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้า และต้องชำระค่ามาตรวัดแบบ TOU และเมื่อใช้ไปแล้วอย่างน้อย 12 เดือน สามารถเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราข้อ 7.1 ตามเดิมอีกได้
3) ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระค่าบริการรายเดือนเพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

ซ. ประเภทที่ 8 ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว

สำหรับการใช้ไฟฟ้าชั่วคราวเพื่อใช้ในการก่อสร้างอาคารทั่วไปหรือสิ่งปลูกสร้าง การจัดงานขึ้นเป็นกรณีพิเศษชั่วคราว หรือใช้ในกรณีต่างๆ เป็นการชั่วคราว โดยต่อผ่านมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราการคำนวณรายเดือน คือค่าพลังงานไฟฟ้าในทุกระดับ หน่วยละ 6.4369 บาท

หมายเหตุ

หากผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตรราประเภทที่ 8 นี้ ต้องการขอเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างอื่น หรือการไฟฟ้าฯ ตรวจพบว่าได้เปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างอื่น ต้องยื่นคำร้องขอใช้ไฟฟ้าถาวรที่การไฟฟ้าฯ พร้อมเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ภายในให้ถูกต้องตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าฯ กำหนด และชำระเงินค่าธรรมเนียมการใช้ไฟฟ้าแบบถาวรให้ครบถ้วนตามที่กำหนด

2.2 ค่ากำลังไฟฟ้า

2.2.1 ความหมายของกำลังไฟฟ้า

กำลัง หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา [2] แสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$p = \frac{w}{t} \tag{2.4}$$

โดยที่ p คือกำลัง (J /s)

w คืออัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (J)

t คือเวลาที่เปลี่ยนแปลง (s)

กำลังทางไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) โดยจากนิยามความต่างศักย์ ที่ว่าถ้าใช้พลังงาน 1 J เคลื่อนประจุขนาด 1 C จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะทำให้เกิดความต่างศักย์ 1 V ตกคร่อมระหว่าง 2 จุดนั้น สามารถแสดงในรูปกระแสและแรงดันได้ดังสมการต่อไปนี้

$$v = \frac{E}{q} \tag{2.5}$$

หรือ $$E = vq \tag{2.6}$$

และจากนิยามที่ว่ากระแสคือ จำนวนประจุที่เคลื่อนที่ในจุดที่กำหนดให้เป็นเวลา 1 วินาที แสดงได้ดังสมการที่ (2.7)

$$i = \frac{q}{t} \tag{2.7}$$

แทนสมการที่ (2.6) และ(2.7) ลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$p = \frac{vq}{q/i} = vi \tag{2.8}$$

กำลังไฟฟ้าแบ่งได้ 2 ประเภท คือกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

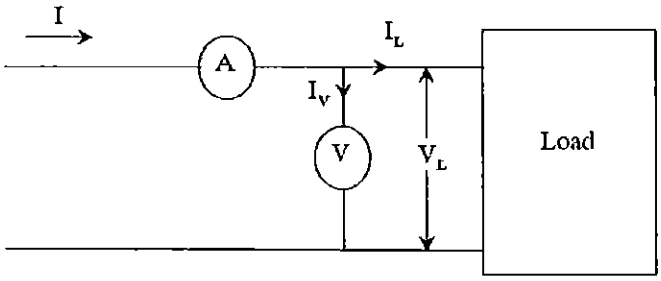
2.2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current power) การหากำลังไฟฟ้าสามารถหาได้จากกฎของโอห์ม โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปที่แตกต่างกันได้ดังนี้

$$P = I^2 R \tag{2.9}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{2.10}$$

จากสมการที่ (2.8) (2.9) และ(2.10) จะได้ว่าเราสามารถหากำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้ด้วยการใช้แอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อย่างไรก็ตามในการทำโครงงานนี้เราสนใจเฉพาะกำลังไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.1 การต่อมิเตอร์วัดกำลังกระแสตรง

2.2.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

ก. กำลังไฟฟ้าในชั่วขณะ

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ สัญญาณกระแสและแรงดันจะแปรตามเวลาทำให้กำลังไฟฟ้าที่หาได้จากสมการที่ (2.8) เป็นกำลังไฟฟ้าที่แปรตามเวลาด้วย เรียกว่ากำลังไฟฟ้าในชั่วขณะ (Instantaneous power) ซึ่งมีประโยชน์มากในการนำไปใช้กำหนดกำลังสูงสุดที่ทนได้ของโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า [2] กำลังไฟฟ้าในชั่วขณะแสดงดังสมการที่ (2.11)

$$p(t) = v(t) \times i(t) \tag{2.11}$$

การหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average power: P_{av}) ที่จ่ายให้กับโหลดทำได้โดยการอินทิเกรตสมการกำลังไฟฟ้าในชั่วขณะภายในช่วงเวลาใดๆที่กำหนด แสดงได้ดังสมการที่ (2.12)

$$P_{av} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt \tag{2.12}$$

หากสัญญาณมีลักษณะเป็นฟังก์ชันคาบเวลา (Periodic function) สามารถแสดงกำลังไฟฟ้าในชั่วขณะได้ดังสมการที่ (2.13)

$$p(t) = p(t+T) \tag{2.13}$$

กำลังไฟฟ้าในชั่วขณะในหนึ่งช่วงคาบเวลา (T) ใดๆหาได้จากสมการที่ (2.14)

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_{t}^{t+T} p(t)d(t) = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} p(t)dt \tag{2.14}$$

สัญญาณโดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณไซนูซอยด์ (Sinusoidal signal) ให้ θ_v เป็นมุมเฟสของแรงดัน และ θ_i เป็นมุมเฟสของกระแส เขียนสมการแสดงแรงดันและกระแสไซนูซอยด์ได้ดังนี้

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \tag{2.15}$$

$$i(t) = I_m \cos\left(\omega t + \theta_i\right) \tag{2.16}$$

ในสถานะอยู่ตัว (Steady state) จะได้กระแสไฟฟ้าในชั่วขณะเป็น

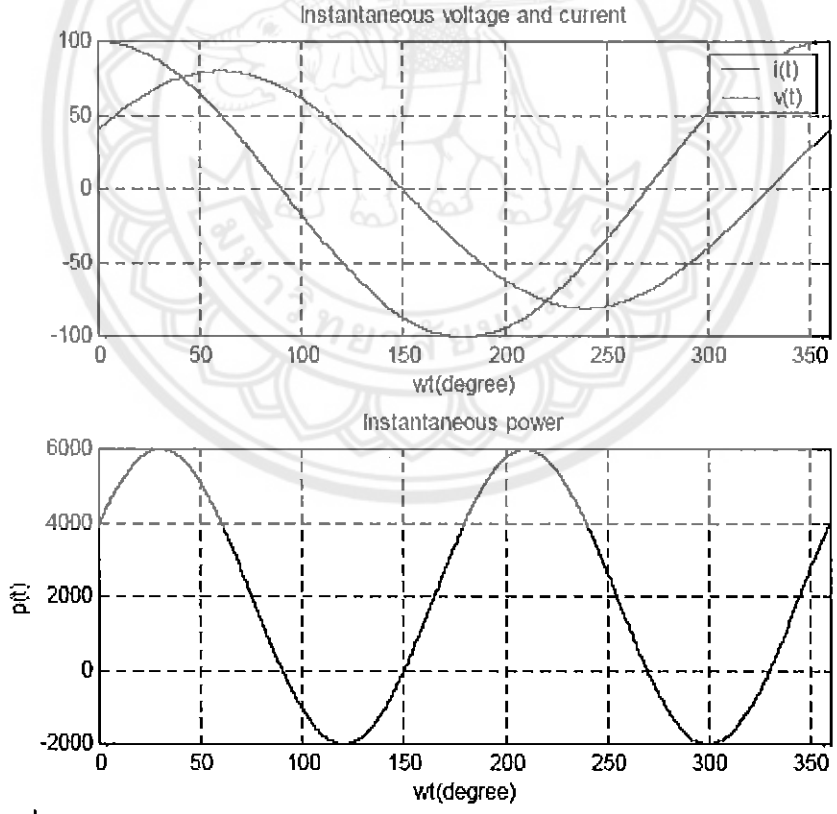
$$p(t) = V_m I_m \cos\left(\omega t + \theta_v\right)\cos\left(\omega t + \theta_i\right) \tag{2.17}$$

แก้สมการตรีโกณมิติ จะได้คำตอบเป็น

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos\theta\left[1 + \cos 2\left(\omega t + \theta_v\right)\right] + \frac{1}{2} V_m I_m \sin\theta \sin 2\left(\omega t + \theta_v\right) \tag{2.18}$$

โดยที่ $\theta = \theta_v - \theta_i$ เรียกว่ามุมต่างเฟส

จากสมการที่ (2.18) พบว่ากำลังไฟฟ้าในชั่วขณะมีความถี่เป็น 2 เท่าของแรงดันและกระแส ซึ่งแสดงตัวอย่างกราฟได้ดังรูปที่ 2.2 จากกราฟในแต่ละคาบของกำลังไฟฟ้าในชั่วขณะ มีบางช่วงที่กำลังไฟฟ้ามีค่าติดลบหมายความว่า พลังงานที่เคยสะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีการคายกลับคืนสู่วงจรหรือถูกดึงออกไปใช้งาน



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าในชั่วขณะ

ข. กำลังจริงเฉลี่ยและกำลังจินตภาพเฉลี่ย

จากสมการที่ (2.18) จะได้กำลังจริงในชั่วขณะ $p_R(t)$ และกำลังจินตภาพในชั่วขณะ $p_x(t)$ เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$p_R(t) = V_m I_m \cos\theta\left[1+\cos 2\left(\omega t+\theta_v\right)\right] \tag{2.19}$$

$$p_x(t) = V_m I_m \sin\theta \sin 2\left(\omega t+\theta_v\right) \tag{2.20}$$

จะได้กำลังจริงใน 1 ช่วงคาบเวลาเป็นดังสมการที่ (2.21)

$$P_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T p_R(T)dt = V_m I_m \frac{1}{T}\int_0^T \cos\theta\left[1+\cos 2\left(\omega T+\theta_v\right)\right]dt = V_m I_m \frac{1}{T}\left(T\cos\theta\right)$$

$$P_{av} = V_m I_m \cos q \tag{2.21}$$

จากสมการที่ (2.21) จะได้ว่าพจน์ที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่แหล่งจ่าย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และได้ว่ากำลังจริงเฉลี่ยมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 เสมอ ในทำนองเดียวกันนี้ทำให้ได้กำลังจินตภาพเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือมีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ

$$Q_{av} = 0 \tag{2.22}$$

กำลังจริงมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) ส่วนกำลังจินตภาพมีหน่วยเป็นวาร์ (VAR) จากสมการที่ (2.19) และ (2.20) เราสามารถหาค่ากำลังจริงสูงสุด และเราสามารถหาค่ากำลังจินตภาพสูงสุดได้มีค่าเท่ากับ

$$P_{\max} = P_{av} = V_m I_m \cos q \tag{2.23}$$

จะเห็นว่ากำลังจริงสูงสุดเท่ากับกำลังจริงเฉลี่ย

$$Q_{\max} = V_m I_m \sin q \tag{2.24}$$

เราสามารถหาค่าอาร์เอ็มเอสของกำลังจริงและกำลังจินตภาพเป็น

$$P = \frac{P_{\max}}{2} = \frac{V_m I_m}{2}\cos\theta = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times \frac{I_m}{\sqrt{2}}\cos\theta$$

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos q \tag{2.25}$$

และ

$$Q = \frac{Q_{\max}}{2} = V_{rms} I_{rms} \sin q \tag{2.26}$$

ค. กำลังปรากฏ

กำลังปรากฏ (Apparent power) คือขนาดของกำลังเชิงซ้อน ซึ่งประกอบด้วยกำลังจริง และกำลังจินตภาพ แสดงในดังสมการที่ (2.27)

$$S = P + jQ \tag{2.27}$$

โดยที่ S คือ กำลังปรากฏ (VA)

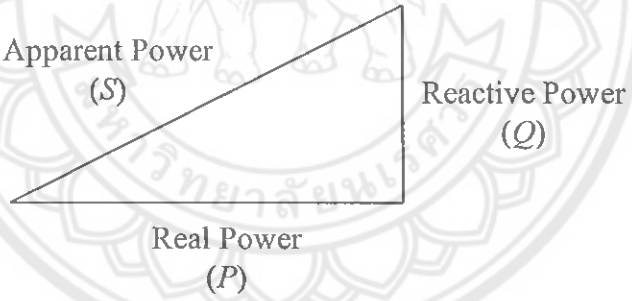
P คือ กำลังจริง (W)

Q คือ กำลังจินตภาพ (VAR)

และขนาดของกำลังปรากฏหาได้จาก

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.28}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 แบบสามารถเขียนในรูปสามเหลี่ยมกำลัง (Power triangle) ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมกำลัง

จากรูปที่ 2.3 จะได้ว่า

$$P = |S|\cos\theta \tag{2.29}$$

และ $$Q = |S|\sin\theta \tag{2.30}$$

ง. ตัวประกอบกำลังและตัวประกอบจินตภาพ

มุมต่างเฟส $\theta = \theta_v - \theta_i$ มีความสำคัญในการคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยค่าโคไซน์ (Cosine) ของมุมเรียกว่า ตัวประกอบกำลัง (Power factor: PF) ส่วนค่าไซน์ (Sine) ของมุมเรียกว่าตัวประกอบ

จินตภาพ (Reactive factor: RF) แต่เราจะให้ความสำคัญกับตัวประกอบกำลังมากกว่าเพราะเป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการนำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดไปใช้ประโยชน์

$$PF = \cos\theta = \frac{P}{S} \tag{2.31}$$

$$RF = \sin\theta = \frac{Q}{S} \tag{2.32}$$

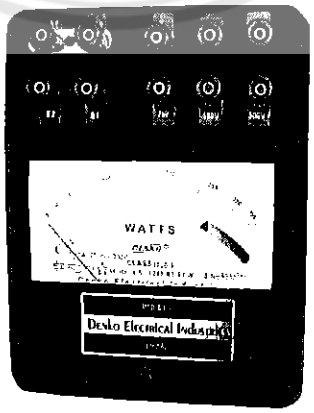
ตัวประกอบกำลังมี 3 แบบตามชนิดของโหลดคือถ้าโหลดเป็นตัวต้านทาน (Resistive load) มุมต่างเฟสเท่ากับ 0 ทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 1 (Unity power factor) ถ้าโหลดเป็นชนิดตัวเหนี่ยวนำ (Inductive load) มุมเฟสเป็นบวก คือสัญญาณกระแสวิ่งตามแรงดัน ค่า PF 1 เรียกว่าตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลัง ถ้าโหลดเป็นชนิดตัวเก็บประจุ (Capacitive load) มุมเฟสเป็นลบ คือสัญญาณกระแสวิ่งนำแรงดัน ตัวประกอบจะน้อยกว่า 1 เรียกว่าตัวประกอบกำลังชนิดล้ำหน้า

2.3 มาตรวัดกำลังจริงและมาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้า

อุปกรณ์มาตรวัดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดกำลังไฟฟ้าได้แก่ มาตรวัดตัวประกอบกำลัง มาตรวัดกำลังจริง มาตรวัดกำลังจินตภาพ และมาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้า

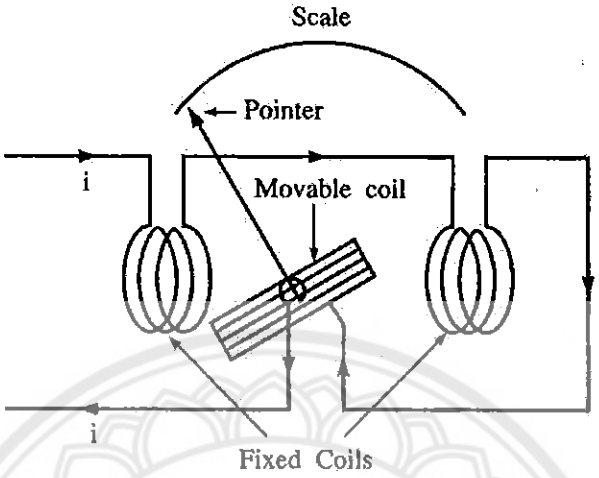
2.3.1 มาตรวัดกำลังจริง

มาตรวัดกำลังจริง (Active power meter) หรือวัตต์มิเตอร์ (Watt meter) แบบเข็มชี้สามารถวัดได้ทั้งค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ไม่เกิน 400 Hz มาตรวัดกำลังไฟฟ้าแบบเข็มชี้ที่นิยมใช้เป็นแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ 2.4



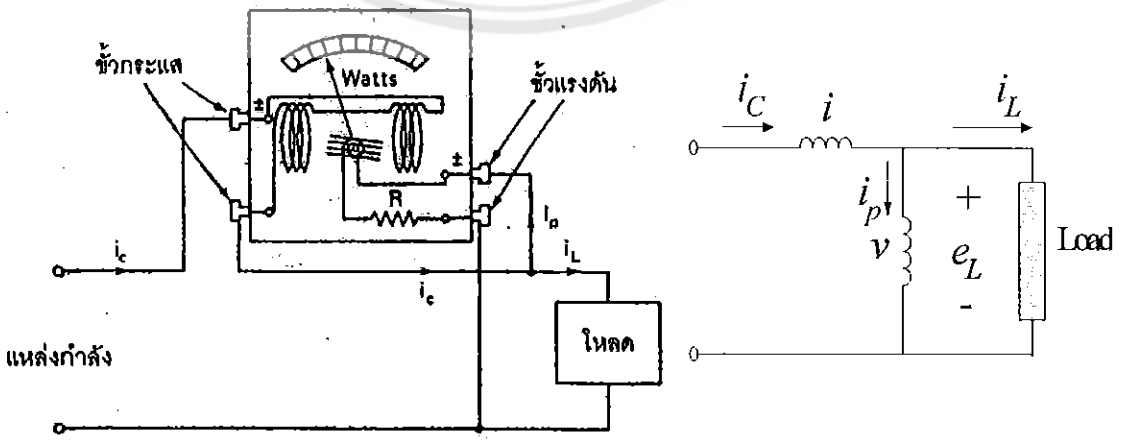
รูปที่ 2.4 อิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

ส่วนประกอบหลักมี 2 ส่วนคือขดลวดสนามอยู่กับที่ (Fixed coil) จะมีขนาดใหญ่ มีจำนวนรอบน้อยกว่า กับขดลวดสนามเคลื่อนที่ (Movable coil) มีขนาดเล็กและมีจำนวนรอบมากกว่า โดยแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ [2]

ในการใช้อิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์วัดค่ากำลังจริงจะต่อขดลวดสนามอยู่กับที่อนุกรมกับโหลด ทำให้ปริมาณฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในขดลวดนี้ขึ้นอยู่กับกระแสของโหลด ส่วนขดลวดสนามเคลื่อนที่จะต่อขนานกับโหลด ปริมาณฟลักซ์ในขดลวดนี้จึงขึ้นอยู่กับแรงดันที่จ่ายเข้าโหลด ลักษณะการต่อ และวงจรสมมูลเป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การใช้อิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์วัดกำลังจริง [2]

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในช่วงครึ่งคาบบวก ส่วนบนของขดลวดสนามอยู่กับที่จะเกิดเป็นขั้วใต้ (S) ด้านล่างเป็นขั้วเหนือ (N) ทางด้านซ้ายของขดลวดสนามอยู่กับที่จะเกิดเป็นขั้วเหนือ (N) ด้านขวาเกิดเป็นขั้วใต้ จึงทำให้เข็มชี้หมุนออกไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ในช่วงครึ่งคาบลบ ส่วนด้านซ้ายของขดลวดสนามอยู่กับที่จะเกิดเป็นขั้วเหนือ ด้านขวาเป็นขั้วใต้ แต่ขั้วขดขดลวดสนามเคลื่อนที่ยังคงเหมือนเดิม ทำให้เกิดแรงบิดหมุนเข็มชี้ออกไปทิศตามเข็มนาฬิกาเช่นกัน การหมุนของเข็มชี้เกิดจากพลังงานที่สะสมในสนามแม่เหล็ก (W) [2] ตามสมการที่ (2.33)

$$W = \frac{1}{2} L_c i_c^2 + L_p i_p^2 + M i_c i_p \tag{2.33}$$

โดยที่ L_c, L_p คือความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self inductance) ของขดลวด C และ P ตามลำดับ

i_c, i_p คือกระแสที่ไหลผ่านขดลวด C และ P ตามลำดับ

M คือความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวด C และ P

พลังงานสะสมนี้ทำให้เกิดแรงบิดในชั่วขณะ (T_θ) เคลื่อนที่ออกไปทิศตามเข็มนาฬิกา จากสมการ

$$T_\theta = \frac{\partial W}{\partial \theta} = i_c i_p \frac{\partial M}{\partial \theta} \tag{2.34}$$

จะได้แรงบิดเฉลี่ยเป็น $$T_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T T_\theta dt = \frac{\partial M}{\partial \theta}\frac{1}{T}\int_0^T i_c i_p dt \tag{2.35}$$

ในขณะที่ขดลวดเคลื่อนที่ออกไปจะถูกต้านโดยแรงจากสปริงควบคุมดังสมการ

$$T_s = K\theta_{av} \tag{2.36}$$

เมื่อเข็มหยุดนิ่งจะได้ว่า $$T_s = T_{av} \tag{2.37}$$

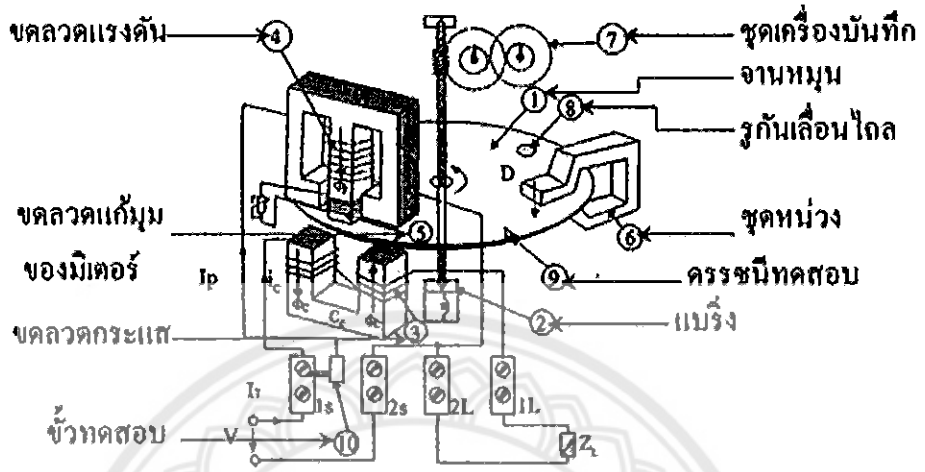
แทนค่า T_s และ T_{av} ลงในสมการที่ (2.37) จะได้

$$\theta_{av} = \frac{T_{av}}{K} = \frac{1}{K}\frac{\partial M}{\partial \theta}\frac{1}{T}\int_0^T i_c i_p dt = \frac{1}{K_1}\frac{1}{T}\int_0^T i_c i_p dt \tag{2.38}$$

โดยที่ K คือค่าคงที่ของสปริง และ K_1 คือค่าคงที่ของมาตรวัดฟังก์ชันของ $\frac{\partial M}{\partial \theta}$

2.3.2 มาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้า

มาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้า (Watt–hour meter) กระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ (Induction) มีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.7 [2]



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของมาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ [2]

จากรูปที่ 2.7 เมื่อต่อโหลดกับมาตรวัดทำให้เกิดกระแส I_T ไหล และถูกแบ่งเป็นกระแส I_P และ I_C กระแส I_P ไหลผ่านขดลวดแรงดัน (Potential coil) โดยล้าหลังแรงดันอยู่ 90° ทำให้เกิดฟลักซ์ (Flux) ϕ_P ขึ้น ส่วนกระแส I_C จะไหลผ่านขดลวดกระแส (Current coil) ทำให้เกิดฟลักซ์ ϕ_C สำหรับฟลักซ์ ϕ_P ที่ปล่อยจากขั้วแม่เหล็กจะพุ่งตัดผ่านจานหมุน D ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำ (Eddy e.m.f.) กระแสไหลวน (Eddy current: I_e) และฟลักซ์ด้านบนจานหมุนตามลำดับ ทำให้มีฟลักซ์และกระแสไหลวน 2 ส่วนคือ ฟลักซ์ส่วนที่หนึ่ง (ϕ_1) ทำปฏิกิริยากับกระแสไหลวน (Eddy current: I_{e2}) ที่ถูกเหนี่ยวนำจากฟลักซ์ส่วนที่สอง (ϕ_2) และฟลักซ์ส่วนที่สอง (ϕ_2) ทำปฏิกิริยากับกระแสไหลวน (I_{e1}) ที่ถูกเหนี่ยวนำจากฟลักซ์ส่วนแรก (ϕ_1) เป็นผลเกิดแรงบิดขับ T_d 2 ส่วนด้วย

ถ้าให้ $v(t) = V_m \sin \omega t$ และ $i(t) = I_m \sin(\omega t - \theta)$ ดังนั้น

ก. ฟลักซ์ (ϕ_C) ที่เกิดจากกระแสโหลดไหลผ่านขดลวดกระแส มีสมการเป็น

$$\phi_C = k \cdot I_m \sin(\omega t - \theta) = \phi_{m,c} \sin(\omega t - \theta) \tag{2.39}$$

ข. ฟลักซ์ (ϕ_P) ที่เกิดจากกระแสโหลดไหลผ่านขดลวดแรงดันมีสมการเป็น

$$\phi_P = k' \int v(t)\,dt$$

$$\phi_{\mathrm{P}} = \mathrm{k}'\left(\frac{V_m}{\omega}\right)\cos(\omega t) = \phi_{\mathrm{m,p}}\sin\left(\omega t - 90^{\circ}\right) \tag{2.40}$$

โดยที่ $v(t) = \dfrac{1}{k'}\dfrac{d(\phi c)}{dt}$; k , k' คือค่าคงที่

แรงดันไหลวน e_p ที่เหนี่ยวนำโดยฟลักซ์ (ϕ_C) หาจาก

$$e_p \propto -\frac{d(\phi c)}{dt} = -k \cdot I_m \cdot \omega \cdot cos(\omega t) \tag{2.41}$$

กระแสไหลวน I_e เกิดในจานหมุนจากอิทธิพลของกระแสไหลผ่านขดลวดกระแส หาจาก

$$i_c \propto -k\left(\frac{I_m}{Z}\right)\cdot\omega\cdot\cos(\omega t - \theta - \alpha) = k\left(\frac{I_m}{Z}\right)\cdot\omega\cdot\sin\left[\omega t - \left(\theta - \alpha + 90^{\circ}\right)\right] \tag{2.42}$$

โดยที่ Z คือ อิมพีแดนซ์ (Impedance) ในจานที่ทำให้เกิดกระแสไหลวน

α คือ มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสไหลวน มีค่า $\alpha = \tan^{-1}(X/R) = 0$ มีค่าประมาณศูนย์เพราะค่าความเหนี่ยวนำในจานหมุนมีค่าน้อยมากจึงทำให้ $X \cong 0$

ทำนองเดียวกัน เมื่อต้องการหาแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำ (e_p และ I_p) หาจาก

$$e_p \propto -\frac{d(\phi p)}{dt} = -k'\left(\frac{V_m}{\omega}\right)\omega\sin(\omega t) \tag{2.43}$$

$$i_p \propto -k'\left(\frac{V_m}{Z}\right)\sin(\omega t - \alpha) = k'\left(\frac{V_m}{Z}\right)\sin\left[\omega t + (180 - \alpha)\right] \tag{2.44}$$

ดังนั้นแรงบิดชั่วขณะ (Instantaneous torque) บนแผ่นจานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ

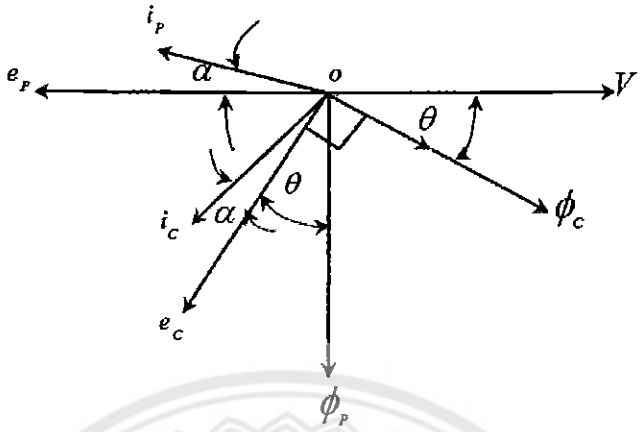
$$\left(\phi_p \cdot i_C - \phi_c \cdot i_p\right) = \left(\frac{kk'}{Z}\right)V_m I_m\left\{\left[\cos(\omega t)\cos(\omega t - \theta - \alpha)\right] - \left[\sin(\omega t - \theta)\sin(\omega t - \alpha)\right]\right\} \tag{2.45}$$

โดยที่ ϕ_p คือ ฟลักซ์ที่เกิดจากขดลวดแรงดัน และ ϕ_c คือ ฟลักซ์ที่เกิดจากขดลวดกระแส

I_p คือ กระแสเหนี่ยวนำในจานหมุนซึ่งเกิดจากการกระทำของฟลักซ์จากขดลวดแรงดัน

I_e คือ กระแสเหนี่ยวนำในจานหมุนซึ่งเกิดจากการกระทำของฟลักซ์จากขดลวดกระแส

ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของแรงดัน กระแส และฟลักซ์ แสดงเป็นแผนภาพเฟสเซอร์ (Phasor diagram) ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพเฟสเซอร์ของมาตรวัดค่าไฟฟ้า

ฟลักซ์ ϕ_c ที่เกิดจากขดลวดกระแสมีเฟสตรงกันกับกระแสไหลผ่านโหลด และฟลักซ์ ϕ_p ที่เกิดจากขดลวดแรงดัน ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำสูงมากล้าหลังแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นมุม 90° สำหรับแรงบิดเฉลี่ยที่กระทำบนแผ่นจานสามารถหาได้จาก

$$T_{d(ave)} \propto \left(\frac{kk'}{Z}\right) V_m I_m \left(\frac{1}{2}\right)\left[\cos(\theta+\alpha)+\cos(\theta-\alpha)\right]$$

$$T_{d(ave)} \propto VI\cos\theta = P \qquad (2.46)$$

จากรูปที่ 2.7 เมื่อแผ่นจานอะลูมิเนียม D หมุนด้วยอัตราเร็ว (N) จะเกิดกระแสไหลวน (i_b) ในจานซึ่งเกิดจากการตัดกับฟลักซ์ของแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กเบรกที่มีค่าคงที่ (ϕ_b) จึงทำให้เกิดแรงบิดหน่วงหรือแรงบิดเบรก จะได้ว่า $T_b \propto N$

ที่สภาวะการหมุนของแผ่นจานคงที่ จะได้แรงบิดขับเท่ากับแรงบิดเบรก นั่นคือ $T_d \propto T_b$ ดังนั้น ความเร็วของจานหมุนที่สะสมไว้จะมีค่าตามสมการ $V \cdot I \cdot \cos\theta \propto N$ จำนวนรอบของการหมุนที่สะสมไว้จะมีค่าตามสมการ

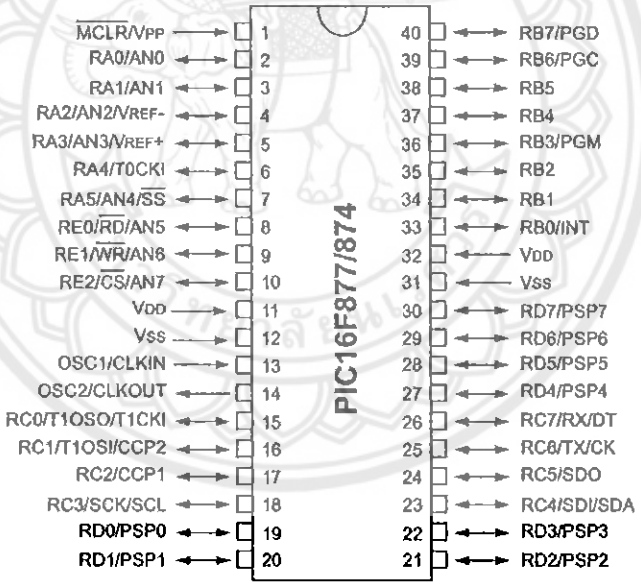
$$\int V \cdot I \cdot \cos\theta \cdot dt \propto \int N \cdot dt$$

จึงได้ว่า $$\int V \cdot I \cdot \cos\theta \cdot dt \propto Energy\ \ consumed \qquad (2.45)$$

หมายความว่าการอินทิเกรตของจำนวนรอบการหมุนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ ซึ่งการหมุนจานจะต่อกับเฟืองทดแบบตัวหนอนเพื่อให้เข็มชี้หรือล้อตัวเลขหมุนและแสดงผลในรูปของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็น kWh

2.4 การประมวลผลค่าไฟฟ้าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

PIC ย่อมาจากคำว่า Peripheral interface controller เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลหนึ่งที่มีการรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แก่ หน่วยความจำข้อมูล (Program Memory) แรม (RAM) อีอีพร็อม (EEPROM) พอร์ตสื่อสารอนุกรม (Serial port) การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล และอื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ภายในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำเสมือนเป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit: CPU) ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีขาทั้งหมด 40 ขา ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

คุณลักษณะของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีดังนี้

– สามารถทำงานที่ความถี่สูงสุด 20 MHz

– มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (FLASH Program memory) ขนาด 8 kByte

– มีหน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพร็อม (EEPROM Data memory) ขนาด 256 Byte

– หน่วยความจำข้อมูลชั่วคราว ขนาด 368 Byte

– รองรับคำสั่ง Interrupt 14 คำสั่ง

– มีพอร์ตสำหรับวงจรดิจิตอลจำนวน 5 พอร์ต (Ports) คือพอร์ต A – E

– สามารถควบคุมตัวตั้งเวลา (Timers) ได้ 3 ชุด

– มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบ MSSP และ USART

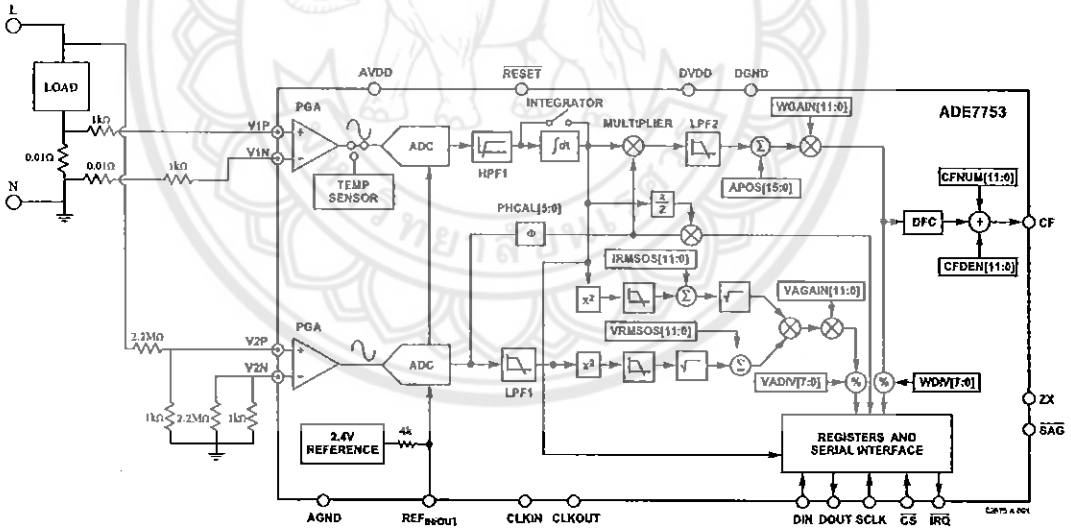
– มีพอร์ตสื่อสารขนานแบบ PSP

– มีโมดูลแปลงแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิตจำนวน 8 ช่องอินพุต

– มีโมดูลเปรียบเทียบ 2 โมดูล

2.5 แหล่งตรวจจับพลังงานไฟฟ้าด้วยไอซี ADE7753ARSZ

ไอซี ADE7753ARSZ เป็นไอซีตรวจวัดปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ผลิตโดยบริษัทแอนะล็อก ดีไวซ์ (Analog devices, inc.) โดยรับสัญญาณกระแสและแรงดันเป็นปริมาณอินพุต ลักษณะการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรการทำงานของไอซี ADE7753ARSZ

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าสัญญาณที่รับเข้ามาในตัวไอซี เป็นสัญญาณแอนะล็อกซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน แล้วจึงนำสัญญาณดิจิตอลนี้ไปประมวลผลต่อไป รายละเอียดการรับสัญญาณอินพุตมีดังต่อไปนี้

2.5.1 การตรวจจับสัญญาณกระแสอินพุต

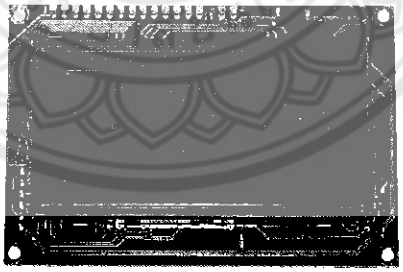
ไอซีรับสัญญาณกระแสเข้าทางช่องสัญญาณที่ 1 (Channel 1) ที่ขา V1P และขา V1N โดยโครงงานนี้เลือกใช้แรงดันเต็มสเกลเท่ากับ 0.25 V และเลือกอัตราขยายที่ 1 เท่า ออกแบบโดยนำตัวต้านทานขนาด 0.01 Ω 5 W มาต่ออนุกรมกับโหลดของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งสามารถทนกระแสโหลดได้สูงถึงประมาณ 22.36 A

2.5.2 การตรวจจับสัญญาณแรงดันอินพุต

ไอซีรับสัญญาณแรงดันเข้าทางช่องสัญญาณที่ 2 (Channel 2) ที่ขา V2P และ V2N เลือกใช้ขนาดแรงดันเต็มสเกลที่ 1 V และเลือกอัตราขยายที่ 4 เท่า ออกแบบโดยนำตัวต้านทานขนาด 2.2 MΩ 1 W และตัวต้านทานขนาด 1 kΩ มาต่อขนานกับโหลดของระบบแล้วนำแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานขนาด 1 kΩ ไปประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 2.10

2.6 การแสดงผลการทำงานด้วยจอแอลซีดี

จอแสดงผลแอลซีดี (Liquid crystal display: LCD) เป็นอุปกรณ์แสดงผลโดยอาศัยหลักการที่ว่า “สารผลึกเหลวสามารถเปลี่ยนสภาพตนเองจากโปร่งแสงเป็นทึบแสง หรือจากทึบแสงเป็นโปร่งแสงได้โดยการป้อนแรงดันเข้าไป” [6] ซึ่งจอแอลซีดีมีข้อดีคือใช้พลังงานต่ำในการทำงาน การแสดงผลมีความน่าเชื่อถือได้สูง และมีอายุการใช้งานนาน ลักษณะของจอแอลซีดีที่นำมาใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบจำนวน 16 ช่อง 4 แถว ดังรูปที่ 2.11 โดยใช้การส่งข้อมูลแบบ 4 บิต



รูปที่ 2.11 จอแสดงผลแอลซีดี

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆในบทที่ 2 นำมาสู่การออกแบบสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์และการทดลอง ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

3.1 ขั้นตอนการสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นตอนการสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์มีดังนี้

ก) ออกแบบวงจรที่เป็นส่วนประกอบต่างๆของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

ข) ต่อวงจรที่ออกแบบไว้ในโปรแกรมโปรติอุส เพื่อจำลองผลการทำงาน หากได้ตามที่ต้องการแล้ว จะนำวงจรที่ออกแบบมาต่อกับแผ่นโปรโตบอร์ด (Protoboard)

ค) วัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร เช่น สัญญาณที่ได้จากชุดตรวจจับแรงดันและกระแส โดยใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

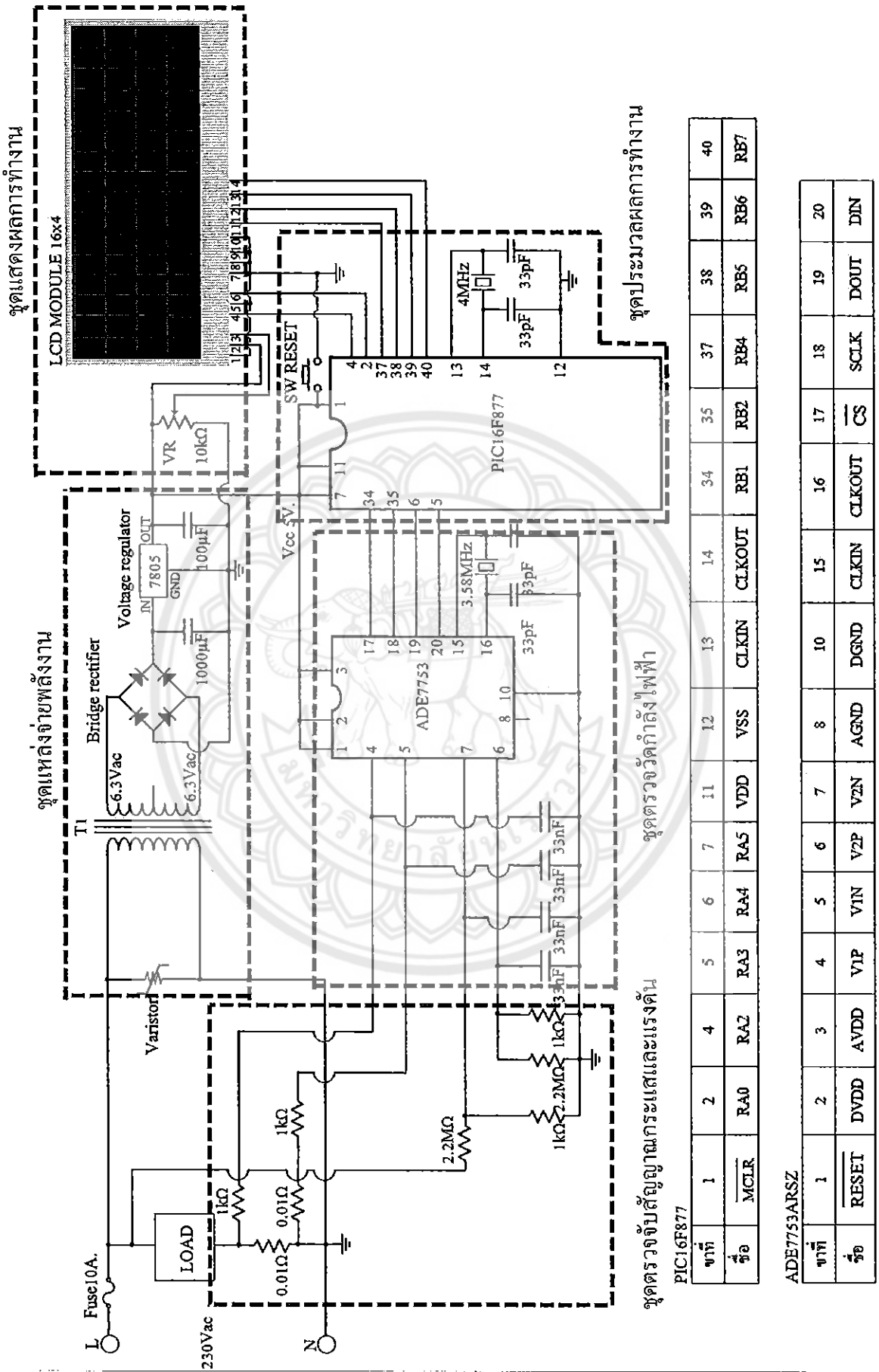
ง) ออกแบบวงจรพีซีบี (PCB) และทำวงจรลงแผ่นพิมพ์ แล้วต่ออุปกรณ์ส่วนต่างๆลงในแผ่นพิมพ์

จ) ทดลองการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ โดยใช้วงจรจำลองและคำนวณค่าสำหรับเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง

3.2 ส่วนประกอบของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 ฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์มี 5 ส่วนดังนี้ (1) ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน (Power supply unit) (2) ชุดตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดัน (Current sensor and voltage sensor unit) (3) ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Power metering unit) (4) ชุดประมวลผลการทำงาน (Processing unit) (5) ชุดแสดงผลการทำงาน (Display unit) โดยส่วนประกอบแต่ละส่วนแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



PIC16F877

ขาที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ชื่อ	$\overline{MCLR}$	RA0	RA2	RA3	RA4	RA5	V2P	V1N	V1P	V2N	VDD	VSS	CLKIN	CLKOUT	CLKIN	CLKOUT	RB2	RB4	RB5	RB6	RB7

ขาที่	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ชื่อ	RB3	RB1	RB0	RA1	RA7	RA6	RC0	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6	RC7	RB3	RB1	RB0	RA1	RA7	RA6

ADE7753ARSZ

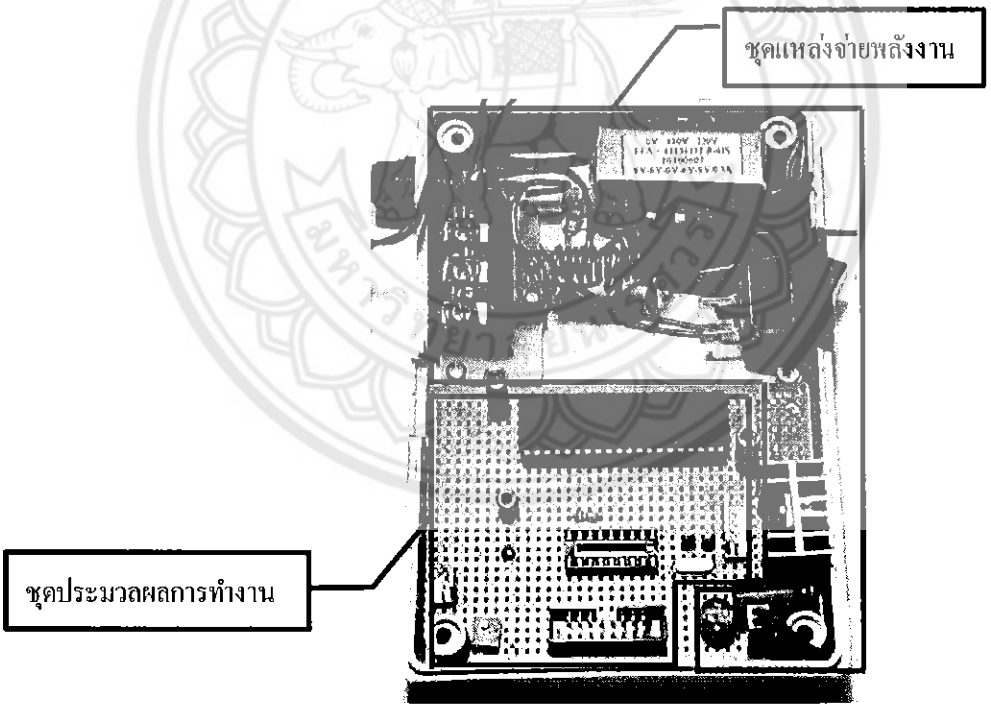
ขาที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ชื่อ	$\overline{RESET}$	DVDD	AVDD	V1P	V1N	V2P	V2N	AGND	DGND	CLKIN	CLKOUT	$\overline{CS}$	SCLK	DOUT	DIN	IRQ1	IRQ0	WAVE	$\overline{SS}$	SCLK

รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของวงจรมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

รายละเอียดและหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์มีดังนี้

ก. ชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบไว้เป็นดังรูปที่ 3.1 ลักษณะการต่อของวงจรเป็นดังรูปที่ 3.2 หลักการทำงานของวงจรเริ่มจาก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 – 250 V ให้กับหม้อแปลง T1 จะแปลงแรงดันลงเป็น 12.6 V แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ต่อตัวเก็บประจุ 1,000 μF ให้แรงดันที่มากขึ้น แรงดันที่ได้จะไหลเข้าขาอินพุต (Input) ของ IC7805 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคงค่าแรงดัน (Regulator) ได้แรงดันกระแสตรง 5 V ออกมาทางขาเอาท์พุต (Output) นำไปเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มาตรวัดต่อไป วงจรของชุดแหล่งจ่ายพลังงานถูกป้องกันสภาวะแรงดันจากวงจรกำลังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันด้วยวาร์ริสเตอร์ (Varistor)



รูปที่ 3.2 ชุดแหล่งจ่ายพลังงานและชุดประมวลผลการทำงาน

ข. ชุดตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดัน

ชุดตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดันสร้างขึ้นจากนำตัวต้านทานขนาดต่างๆมาต่ออนุกรมและต่อขนานกับวงจรกำลังดังรูปที่ 3.3 การตรวจจับกระแส ถูกออกแบบโดยนำตัวต้านทาน

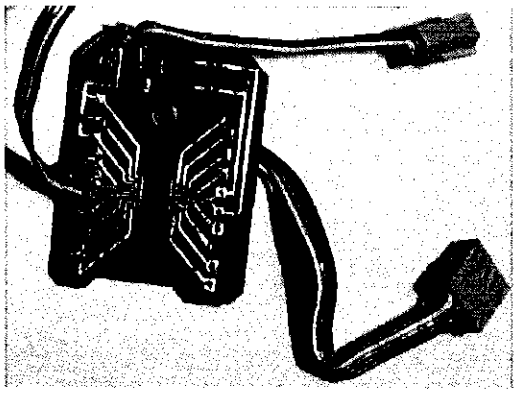
ขนาด 0.01 Ω 5 W ต่ออนุกรมกับวงจรกำลังแล้วนำแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนี้ไปใช้ในการประมวลผลต่อไป ซึ่งสามารถทนกระแสโหลดได้สูงสุดเท่ากับ $\sqrt{5/0.01} = 22.36$ A แต่ใช้ฟิวส์ป้องกันระบบที่ 10 A แสดงว่าหากโหลดไฟฟ้ามีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.85 แรงดัน 230 V มาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจะสามารถทนโหลดได้สูงสุดเท่ากับ $10 \times 230 \times 0.85 = 1955$ W สำหรับค่าแรงดันที่คร่อมตัวต้านทานขนาด 0.01 Ω 5 W มีค่าสูงสุดเท่ากับ $10 \times 0.01 = 1$ V

ในการตรวจจับแรงดันออกแบบโดยนำตัวต้านทานมาต่อขนานกับโหลด แล้วแบ่งแรงดันซึ่งตัวต้านทานที่ใช้มีขนาด 2.2 MΩ 1 W และ 1 kΩ 1 W ซึ่งแรงดันที่นำไปใช้คือแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 1 kΩ มีค่าเท่ากับ (1/2201) เท่าของแรงดันตกคร่อมโหลด

รูปที่ 3.3 วงจรชุดตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดัน

ค. ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้าคือไอซี ADE7753ARSZ มีจำนวนขาทั้งหมด 20 ขา ลักษณะเป็นดังรูปที่ 3.4 ขาที่ถูกต่อใช้งานแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 หน้าที่แต่ละขาของไอซี ADE7753ARSZ ที่ถูกต่อใช้งาน

ขาที่	สัญลักษณ์	หน้าที่	รายละเอียด
1	$\overline{\text{RESET}}$	หน่วยอินพุต	รีเซตไอซี ADE
2	DVDD	หน่วยอินพุต	แหล่งจ่ายพลังงานเข้าวงจรดิจิตอลของไอซี ADE
3	AVDD	หน่วยอินพุต	แหล่งจ่ายพลังงานเข้าวงจรแอนะล็อกของไอซี ADE
4	V1P	หน่วยอินพุต	ตรวจวัดสัญญาณกระแสด้านบวก
5	V1N	หน่วยอินพุต	ตรวจวัดสัญญาณกระแสด้านลบ
6	V2P	หน่วยอินพุต	ตรวจวัดสัญญาณแรงดันด้านบวก
7	V2N	หน่วยอินพุต	ตรวจวัดสัญญาณแรงดันด้านลบ
8	AGND	หน่วยอินพุต	กราวด์ (Ground) ของวงจรแอนะล็อก
10	DGND	หน่วยอินพุต	กราวด์ (Ground) ของวงจรดิจิตอล
15	CLKIN	หน่วยอินพุต	รับสัญญาณนาฬิกา
16	CLKOUT	หน่วยอินพุต	รับสัญญาณนาฬิกา
17	$\overline{\text{CS}}$	หน่วยอินพุต	รับข้อมูลควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC
18	SCLK	หน่วยอินพุต	รับความถี่ควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC
19	DOUT	หน่วยอินพุต	ส่งข้อมูลเข้าออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC
20	DIN	หน่วยเอาท์พุต	รับข้อมูลเข้าจากจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ง. ชุดประมวลผลการทำงาน

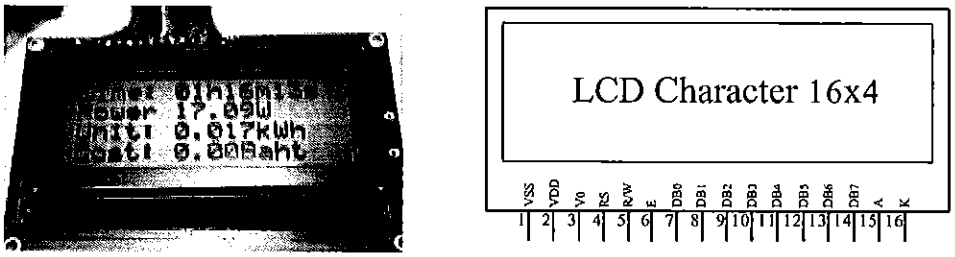
ชุดประมวลผลการทำงานคือไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โดยพอร์ตที่ถูกใช้ในโครงงานนี้คือ พอร์ตเอ (Port A) และพอร์ตบี (Port B) ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตและเอาท์พุตตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีขาอื่นๆ ทำหน้าที่ต่างๆกัน ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเฉพาะขาที่ถูกต่อใช้งานในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 หน้าที่แต่ละขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่ถูกต่อใช้งาน

ขาที่	สัญลักษณ์	หน้าที่	รายละเอียด
1	$\overline{\text{MCLR}}$	หน่วยอินพุต	รีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์
2	RA0	หน่วยเอาท์พุต	เชื่อมต่อ (Enable) จอแอลซีดี
4	RA2	หน่วยเอาท์พุต	รีเซตจอแอลซีดี
5	RA3	หน่วยเอาท์พุต	ส่งข้อมูลเข้าขา Din ของไอซี ADE
6	RA4	หน่วยอินพุต	รับข้อมูลออกจากขา Dout ของไอซี ADE
7	RA5	หน่วยอินพุต	รับไฟฟ้า 5 V จากแหล่งจ่ายพลังงาน
11	VDD	หน่วยอินพุต	รับไฟฟ้า 5 V จากแหล่งจ่ายพลังงาน
12	VSS	หน่วยอินพุต	ต่อลงกราวด์ (Ground)
13	CLKIN	หน่วยอินพุต	รับสัญญาณนาฬิกา
14	CLKOUT	หน่วยอินพุต	รับสัญญาณนาฬิกา
34	RB1	หน่วยอินพุต	ควบคุมสื่อสารข้อมูลระหว่าง PIC กับ ADE
35	RB2	หน่วยเอาท์พุต	ส่งความถี่ควบคุมการสื่อสารข้อมูลระหว่าง PIC กับ ADE
37	RB4	หน่วยเอาท์พุต	ส่งผลการประมวลไปแสดงที่จอแอลซีดี
38	RB5	หน่วยเอาท์พุต	ส่งผลการประมวลไปแสดงที่จอแอลซีดี
39	RB6	หน่วยเอาท์พุต	ส่งผลการประมวลไปแสดงที่จอแอลซีดี
40	RB7	หน่วยเอาท์พุต	ส่งผลการประมวลไปแสดงที่จอแอลซีดี

จ. ชุดแสดงผลการทำงาน

ชุดแสดงผลการทำงานเป็นจอแอลซีดีขนาด 16 ช่อง × 4 แถว ดังรูปที่ 3.5 โดยโครงงานนี้ใช้ระบบการส่งผลการประมวลแบบ 4 บิต ดังนั้นเราจึงใช้ขารับข้อมูลของจอแอลซีดีไม่ครบทุกขา ซึ่งขาที่ไม่ใช้งานจะต่อลงกราวด์ไว้ รายละเอียดการต่อใช้งานแสดงดังตารางที่ 3.3



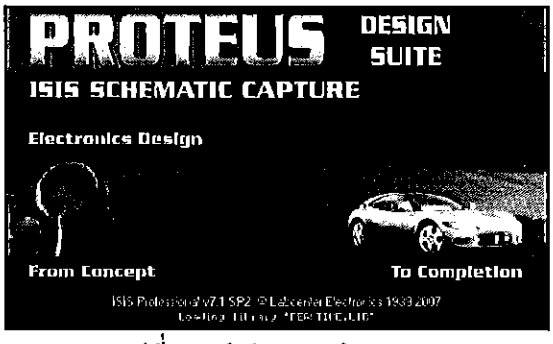
รูปที่ 3.5 ชุดแสดงผลการทำงาน

ตารางที่ 3.3 หน้าที่แต่ละขาของจอแอลซีดี

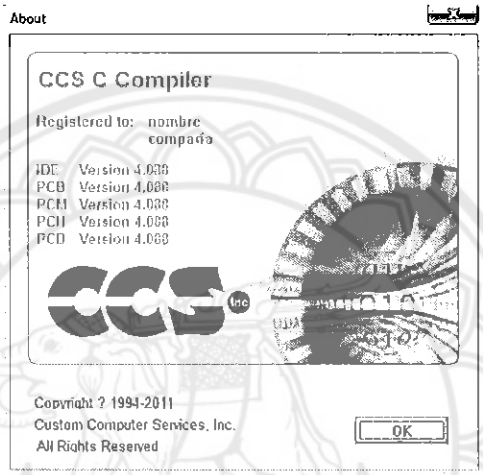
ขาที่	สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	VSS	ขากราวด์ของจอแอลซีดี
2	VDD	ต่อแหล่งจ่ายพลังงานให้จอแอลซีดี
3	V0	ขาปรับความสว่างจอแอลซีดี
4	RS	ขารีเซตจอแอลซีดี
5	R/W	ขาอ่านและเขียนข้อมูล (ต่อลงดินเพราะไม่ได้ใช้งาน)
6	E	ขาเชื่อมต่อควบคุมการทำงานของจอแอลซีดี
7	DB0	ขาส่งข้อมูลบิต 0 (ต่อลงดินเพราะไม่ได้ใช้งาน)
8	DB1	ขาส่งข้อมูลบิต 1 (ต่อลงดินเพราะไม่ได้ใช้งาน)
9	DB2	ขาส่งข้อมูลบิต 2 (ต่อลงดินเพราะไม่ได้ใช้งาน)
10	DB3	ขาส่งข้อมูลบิต 3 (ต่อลงดินเพราะไม่ได้ใช้งาน)
11	DB4	ขาส่งข้อมูลบิต 4 รับข้อมูลจากขา RB4 ของ PIC
12	DB5	ขาส่งข้อมูลบิต 5 รับข้อมูลจากขา RB5 ของ PIC
13	DB6	ขาส่งข้อมูลบิต 6 รับข้อมูลจากขา RB6 ของ PIC
14	DB7	ขาส่งข้อมูลบิต 7 รับข้อมูลจากขา RB7 ของ PIC
15	A	ขาแคโทดปรับความสว่างจอแอลซีดี
16	K	ขาแอโนดปรับความสว่างจอแอลซีดี

3.2.2 ซอฟต์แวร์

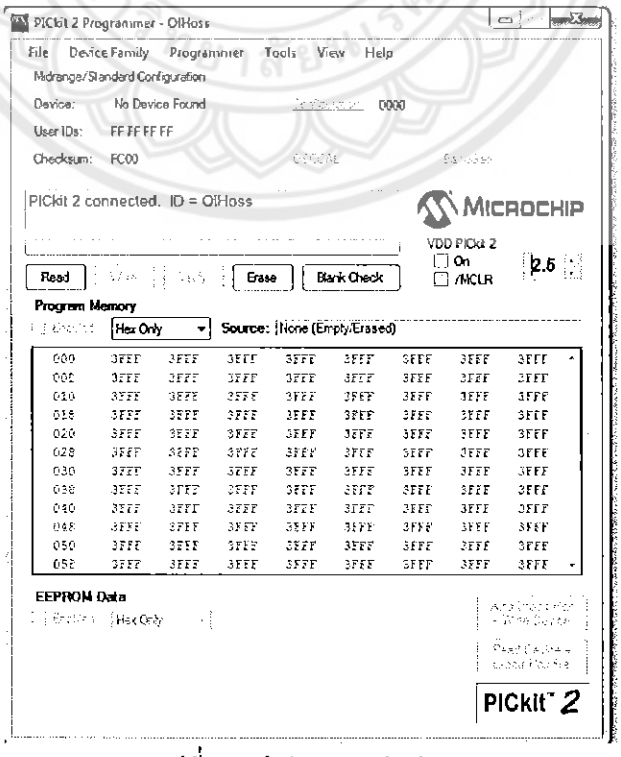
ซอฟต์แวร์ (Software) ได้แก่ (1) โปรแกรมโปรติอุส (Proteus) สำหรับจำลองผลการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (2) ซีซีเอส ซี คอมไพเลอร์ (CCS C Compiler) สำหรับใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาซี และแปลงรหัสคำสั่งเป็นเลขฐาน 16 ควบคุมการประมวลผลของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (3) โปรแกรมพิคคิท2 (PICkit2) ใช้สำหรับอัดโปรแกรม (Bum) รหัสควบคุมลงไปในตัวตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะโปรแกรมเป็นดังรูปที่ 3.6 รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ตามลำดับ และทั้ง 3 โปรแกรมมีลำดับการใช้งานสรุปได้ดังผังงานในรูปที่ 3.9



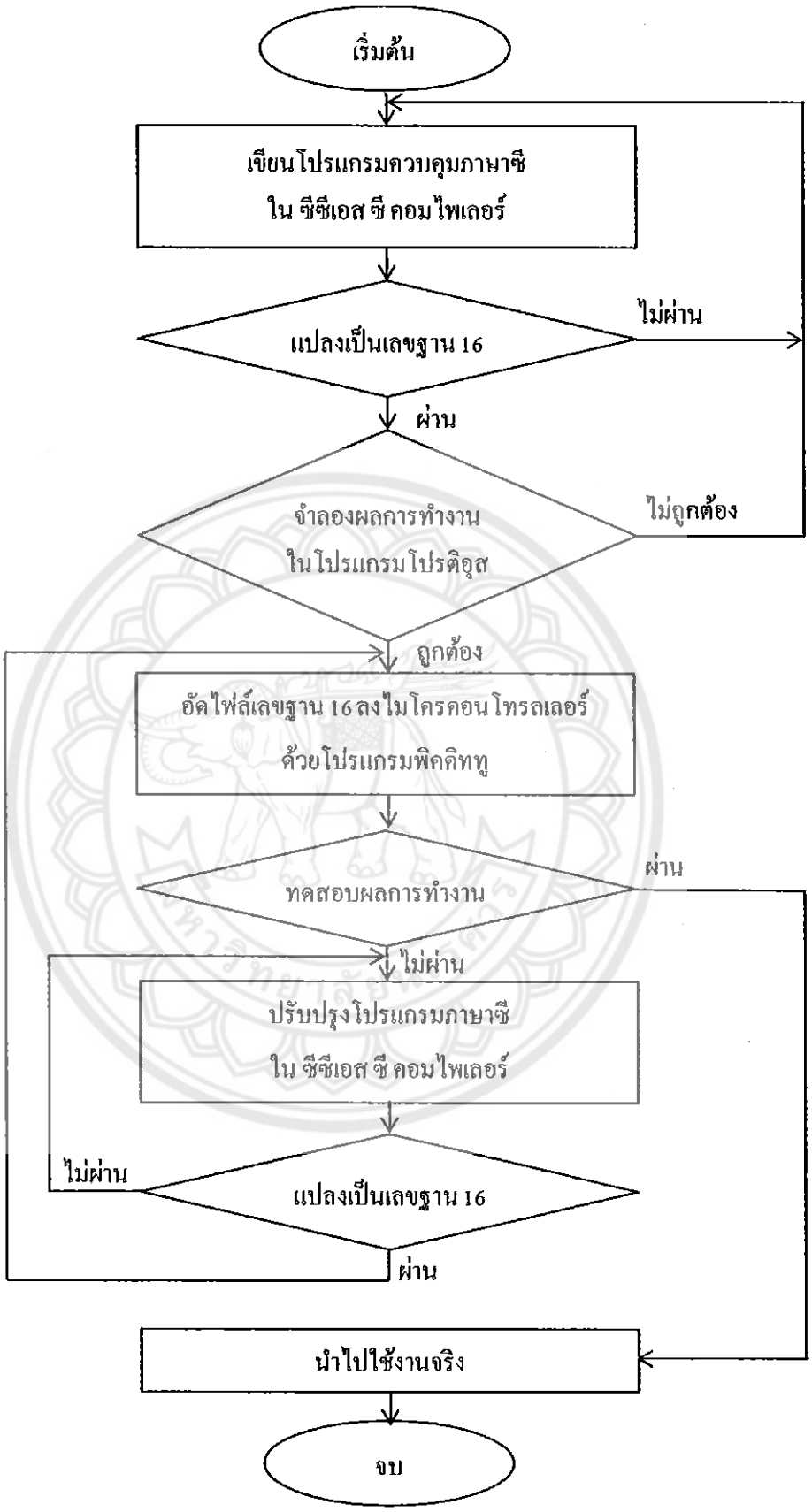
รูปที่ 3.6 โปรแกรมโปรติอุส



รูปที่ 3.7 โปรแกรมซีซีเอส ซี คอมไพเลอร์

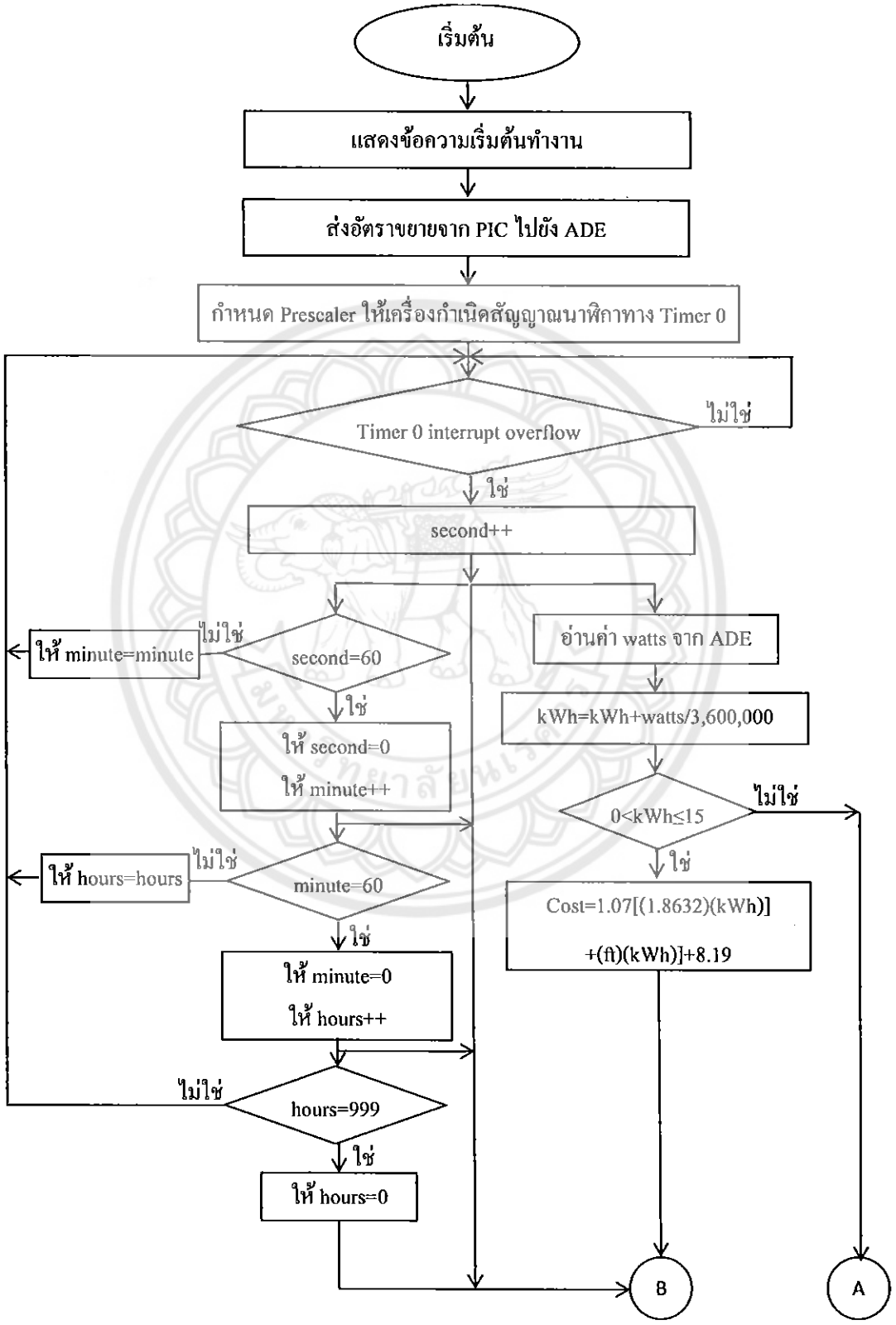


รูปที่ 3.8 โปรแกรมพิคคิท 2

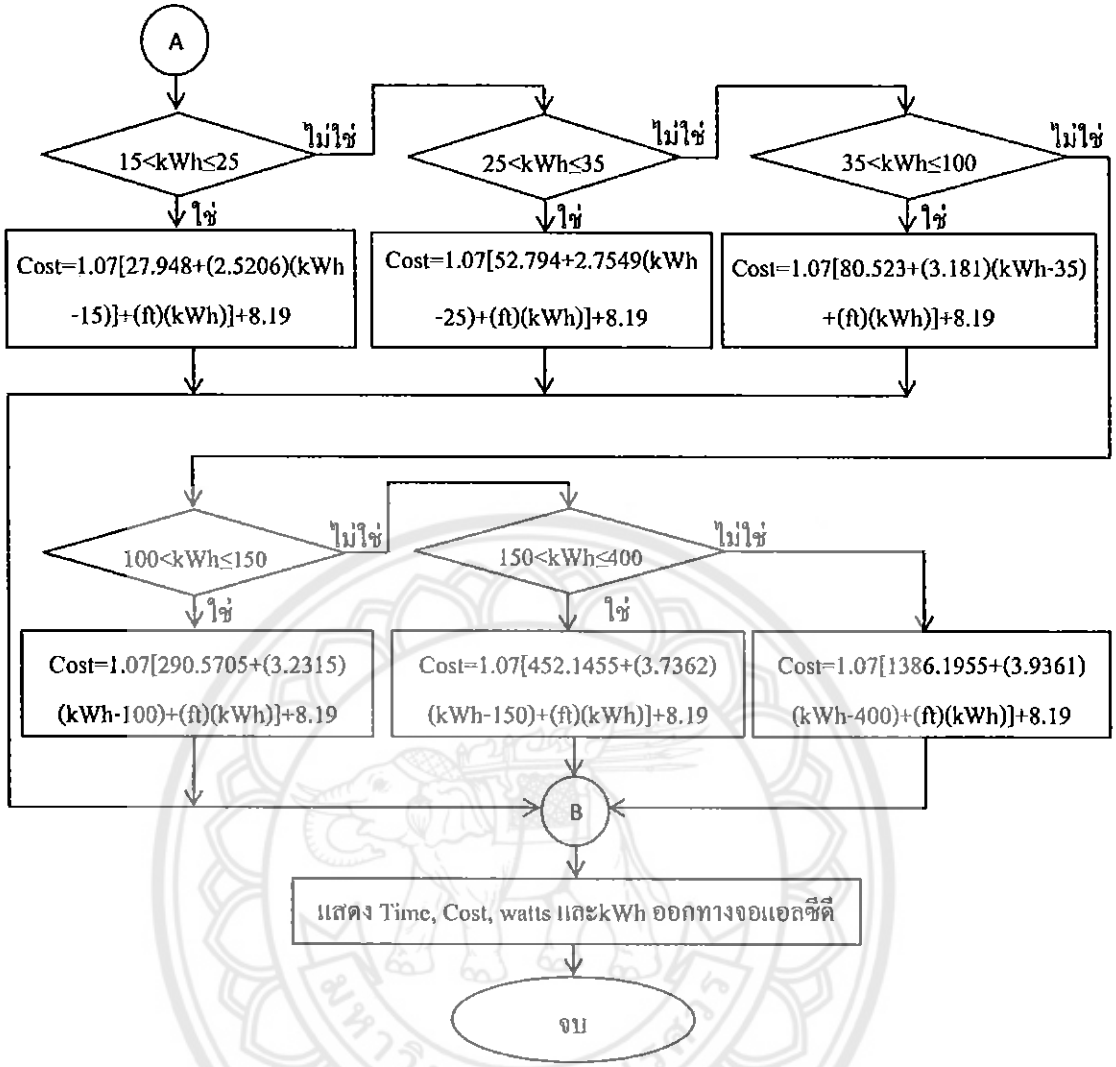


รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานของส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ จากโปรแกรมซีซีเอส ซี คอมไพเลอร์ สามารถสรุปเป็นแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผังโปรแกรมควบคุมการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.10 (ต่อ) ผังโปรแกรมควบคุมการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

3.3 ขั้นตอนการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายหลักการทำงานของวงจรได้เป็นขั้นตอนดังนี้

1) ชุดตรวจจับสัญญาณจะตรวจจับสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันมาที่ช่องรับสัญญาณที่ 1 และ 2 ของไอซี ADE7753ARSZ ตามลำดับ
2) ไอซี ADE7753ARSZ แปลงสัญญาณที่ได้รับเข้ามาซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วไปประมวลผลหากำลังไฟฟ้า ซึ่งถูกควบคุมกระบวนการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จากนั้นจะส่งสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกทางขา DOUT ออกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

3) ไมโครคอนโทรลเลอร์นำสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ได้รับเข้ามาประมวลเป็นหน่วยไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าตามเงื่อนไขของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทบ้านพักอยู่อาศัยแบบอัตราปกติ จากนั้นนำผลที่ได้ไปแสดงยังจอแอลซีดี

บทที่ 4

ผลการทดลอง

หลังจากได้ออกแบบและสร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ในบทที่ 3 แล้ว จึงนำมาสู่การทดลอง โดยในขั้นแรกเป็นการทดลองวัดกำลังจริงของโหลดจำลองจากการนำตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำมาต่อเป็นวงจรโหลด เพื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดกับค่าที่คำนวณ หลังจากนั้นต้องมีการปรับเทียบเวลาการใช้พลังงานที่แสดงบนจอแอลซีดีกับนาฬิกาจับเวลาอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องแล้วจึงวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและคำนวณราคาค่าไฟฟ้า ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะกล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้

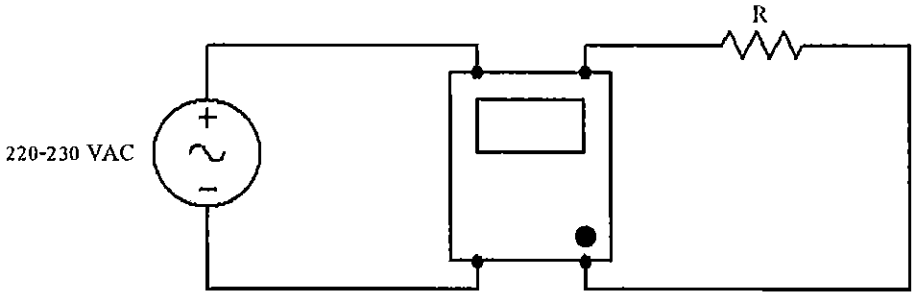
4.1 ผลการทดลองการวัดค่ากำลังจริง

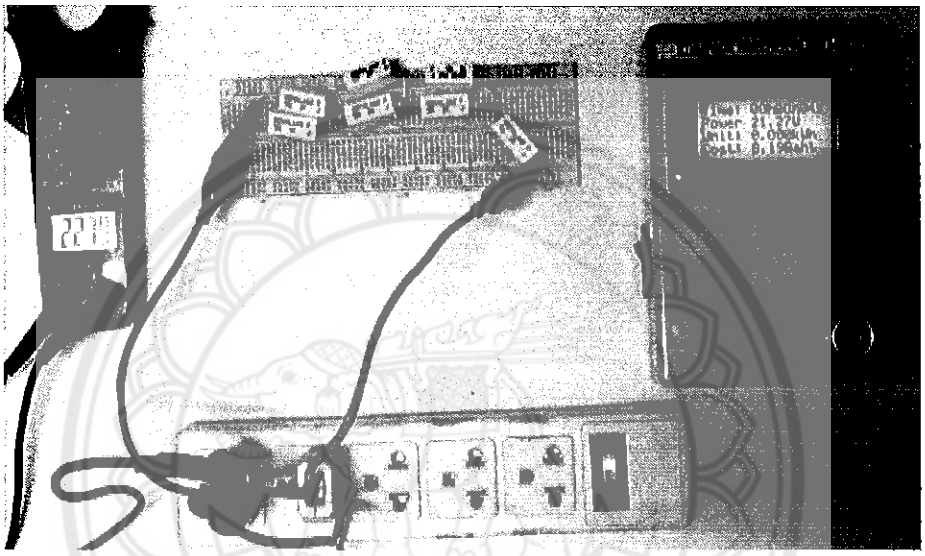
การวัดค่ากำลังจริงได้ทดลองกับวงจรโหลดจำลอง 4 แบบ คือ (1) วงจรโหลดตัวต้านทานอย่างเดียว (2) วงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ (3) วงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (4) วงจรโหลดตัวต้านทานตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดยจะวัดค่าความต้านทานของแต่ละวงจรที่ทดลอง วัดแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของโหลดขณะทำการทดสอบ รายละเอียดการทดลองเป็นดังนี้

4.1.1 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานอย่างเดียว

ในการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานอย่างเดียว ได้นำตัวต้านทานขนาด 1 kΩ ต่อกันแบบผสมจำนวน 5 วงจร วัดค่าความต้านทานสมมูลแต่ละวงจร วัดแรงดันขณะทำการทดลองและวัดกำลังจริงในแต่ละวงจร ตัวอย่างการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

จากการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุด อยู่ที่ประมาณ 1.33% และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ $\frac{0.4855+0.3330+1.3324+0.8469+1.0395}{5} = 0.8075\% \approx 1\%$





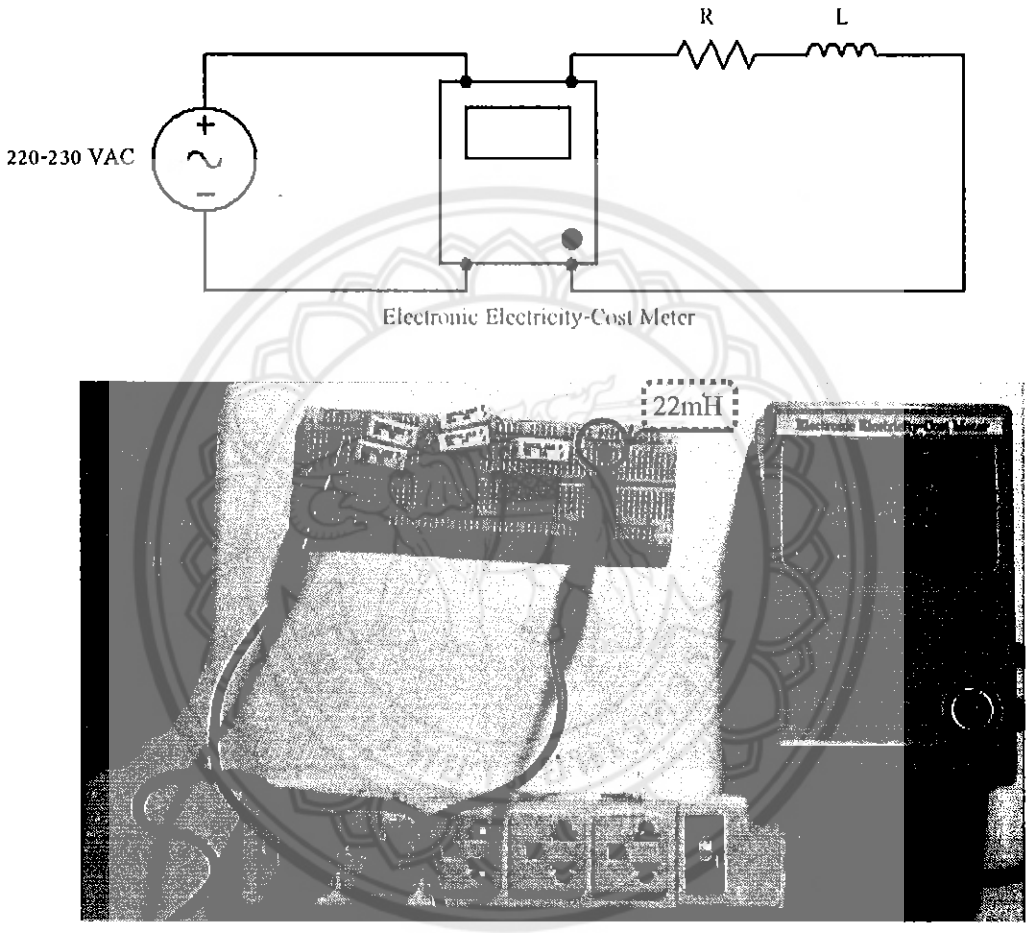
รูปที่ 4.1 การวัดกำลังจริงในวงโหลดตัวต้านทาน

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน

การทดลองที่	ความต้านทาน (kΩ)	แรงดัน (V)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากการคำนวณ (W)	ค่ากำลังไฟฟ้าจากการวัด (W)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
1	1.96	228.2	26.5690	26.44	–0.4855
2	2.45	227.9	21.1994	21.27	0.3330
3	2.92	227.9	17.7870	17.55	–1.3324
4	3.44	228.2	15.1382	15.01	–0.8469
5	3.93	228.0	13.2275	13.009	–1.0395

4.1.2 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

ในการทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำทำโดยนำตัวเหนี่ยวนำขนาด 22 mH และ 44 mH ต่ออุนกรมกับวงจรตัวต้านทานที่ใช้ในการทดลองครั้งแรกโดยมีเหตุผลคือเพื่อไม่ให้เสียเวลาในการต่อวงจรตัวต้านทานอีกครั้งตัวอย่างการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 4.2 โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การวัดกำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

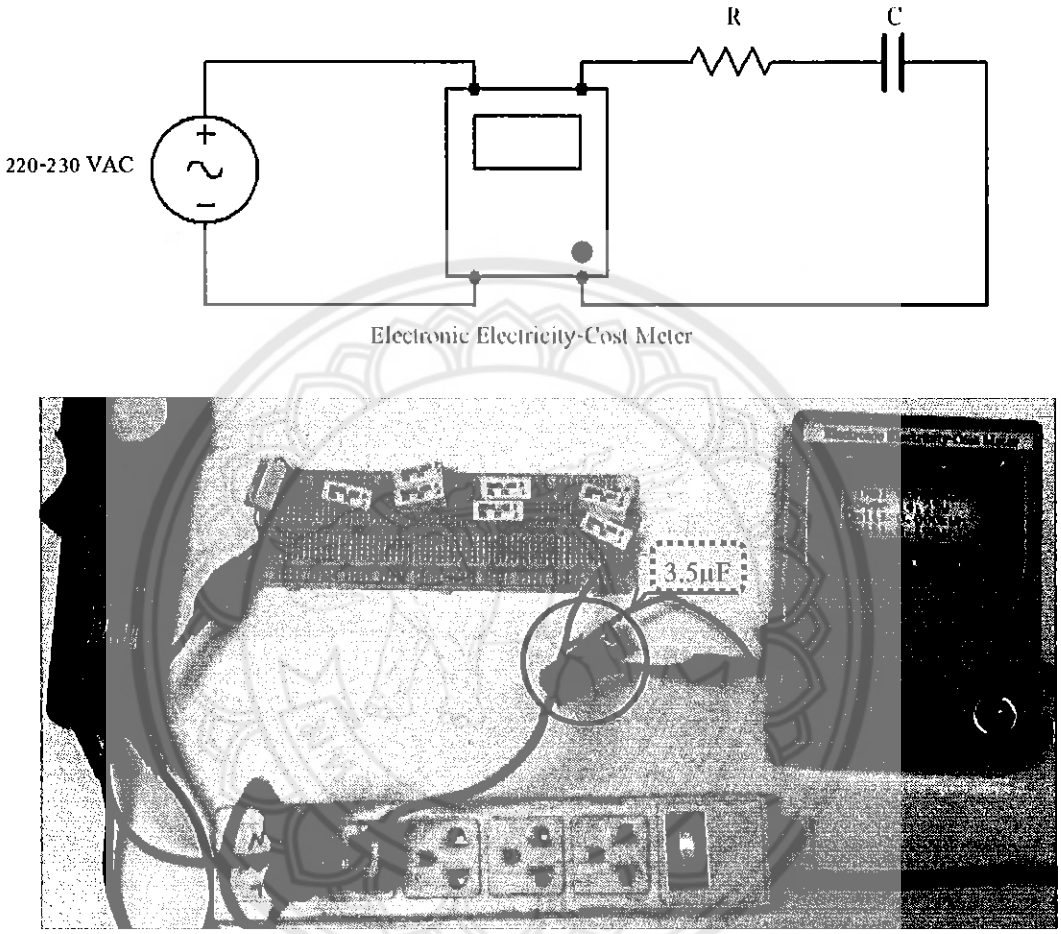
การทดลองครั้งที่	ค่าความต้านทาน (kΩ)	ความเหนี่ยวนำ (mH)	แรงดัน (V)	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)	กำลังจริงจากการคำนวณ (W)	กำลังจริงจากการวัด (W)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
1	1.96	22	228.1	$1960.012186\angle 0.2020^{\circ}$	26.5454	25.29	–4.7293
2	2.45	44	228.0	$2450.038995\angle 0.3233^{\circ}$	21.2173	20.90	–1.4955
3	2.92	44	227.9	$2920.032718\angle 0.2712^{\circ}$	17.7867	17.35	–2.4552
4	3.44	22	227.9	$3440.006943\angle 0.1151^{\circ}$	15.0983	14.45	–4.2939
5	3.93	22	228.4	$3930.006077\angle 0.1008^{\circ}$	13.2739	12.84	–3.2688

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดประมาณ 4.7% และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยจากการทดลองวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

เท่ากับ $\frac{4.7293+1.4955+2.4552+4.2939+3.3688}{5} = 3.2485\% \approx 3.2\%$

4.1.3 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

ในการทำการทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยนำตัวเก็บประจุขนาด 2 μF และ 3.5 μF มาต่ออุนกรมกับวงจรตัวต้านทานใช้ในการทดลองครั้งแรก จำนวน 5 วงจร ตัวอย่างการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การวัดกำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

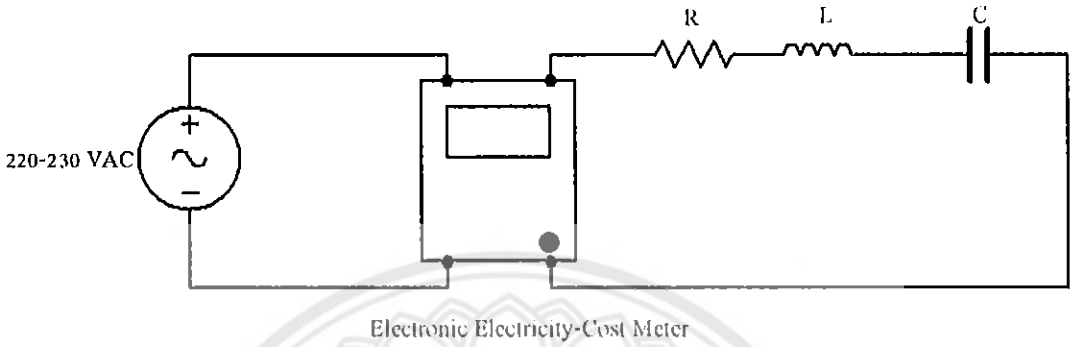
ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

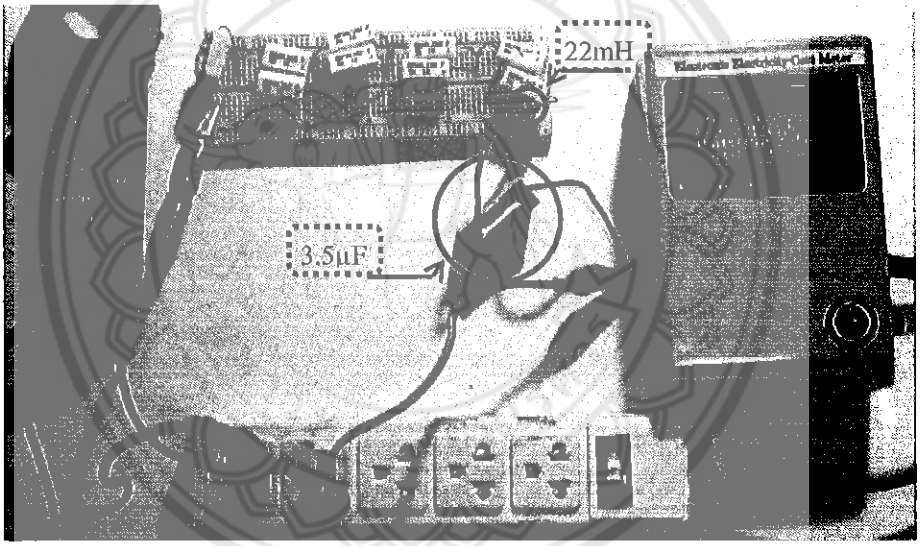
การทดลองครั้งที่	ความต้านทาน (kΩ)	ความจุไฟฟ้า (μF)	แรงดัน (V)	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)	กำลังจริงจากการคำนวณ (W)	กำลังจริงจากการวัด (W)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
1	1.96	2	227.7	$2524.802882\angle -39.0771^{\circ}$	15.9414	16.22	1.7477
2	2.45	2	228.1	$2921.562868\angle -33.0082^{\circ}$	14.9343	14.05	–3.3098
3	2.92	3.5	228.1	$3058.351141\angle -17.2996^{\circ}$	16.2427	15.78	–2.8486
4	3.44	3.5	226.9	$3558.189386\angle -14.8089^{\circ}$	13.9884	14.23	1.7271
5	3.93	3.5	228.4	$4033.858166\angle -13.0297^{\circ}$	12.5992	12.77	1.3556

จากตารางที่ 4.3 จะได้ว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดประมาณ 3.3% และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยของการทดลองโหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเท่ากับ $\frac{1.7477+3.3098+2.8486+1.6271+1.3556}{5} = 2.1797\% \approx 2.2\%$

4.1.4 การทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

ในการทดลองวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ โดยนำตัวเหนี่ยวนำขนาด 22 mH กับ 44 mH และตัวเก็บประจุขนาด 2 μF และ 3.5 μF ต่ออนุกรมวงจรตัวต้านทานใช้ในการทดลองครั้งแรกดังรูปที่ 4.4 โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4





รูปที่ 4.4 การวัดกำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่ากำลังจริงในวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

การทดลองครั้งที่	ค่าความต้านทาน (kΩ)	ความเหนี่ยวนำ (mH)	ความจุไฟฟ้า (μF)	แรงดัน (V)	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)	กำลังจริง การคำนวณ (W)	กำลังจริงจากการวัด (W)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
1	1.96	44	2	228.3	$2516.112213\angle -38.8328^{\circ}$	16.3645	15.77	–3.6329
2	2.45	44	2	227.9	$2914.057708\angle -32.7803^{\circ}$	14.9851	15.22	1.5676
3	2.92	22	3.5	228.7	$3056.303003\angle -17.1759^{\circ}$	16.3502	15.69	–4.0379
4	3.44	22	3.5	228.1	$3556.4291\angle -14.7012^{\circ}$	14.1508	13.55	–4.2457
5	3.93	44	3.5	228.1	$4030.764186\angle -12.8382^{\circ}$	12.5854	12.35	–1.8704

จากตารางที่ 4.4 จะพบค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 4% และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยจากการทดลองวงจรโหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุเท่ากับ $\frac{3.6329+1.5676+4.0379+4.2457+1.8704}{5}=3.0709\% \approx 3\%$

4.2 ผลการทดลองการปรับเทียบเวลากับนาฬิกาอ้างอิง

โครงงานนี้สร้างนาฬิกาขึ้นจากการอินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลาที่ 0 (Timer 0 interrupt overflow) โดยการนับรอบสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกาแบบผลึก (Crystal clock) จากผลการทดลองเทียบเวลากับนาฬิกาอ้างอิงดังรูปที่ 4.1 พบว่านาฬิกาที่สร้างขึ้นในตัวมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ จะวิ่งเร็วกว่านาฬิกาอ้างอิงประมาณ 1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป 44 นาที โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นความผิดพลาดได้เท่ากับ $((44 + 1/60) - 44)100/44 = 0.03788\%$ หมายความว่าเวลาในมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์จะมากกว่าเวลาอ้างอิง 1 วินาที ในทุกๆ 44 นาที คิดเป็นเวลาต่อชั่วโมงได้เท่ากับ (1×60)/44 = 1.3636 วินาทีต่อชั่วโมง

(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาในมาตรวัดกับเวลาอ้างอิง

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ารูปที่ 4.1 (ก) แสดงเวลา 9 นาที 20 วินาที ทั้งเวลาในตัวมาตรวัดและเวลาอ้างอิง ส่วนรูปที่ 4.1 (ข) เวลาในตัวมาตรวัดเร็วกว่าเวลาอ้างอิง 2 วินาที

4.3 ผลการทดลองการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

ในการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการทดลองกับโหลดต่างๆดังต่อไปนี้

4.3.1 การทดลองวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า

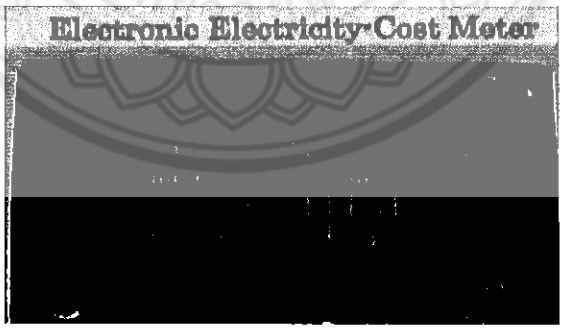
ในการวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า ใช้เวลาการทดลอง 8 ชั่วโมง 51 นาที 24 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.6 คิดเป็นชั่วโมงได้เท่ากับ $8+(51/60)+(24/3600) = 8.8567$ ชั่วโมง ค่าหน่วยไฟฟ้าที่ได้

เท่ากับ 0.216 kWh คิดเป็นค่ากำลังจริงของโหลดเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ $(0.216 \times 1000)/8.8567 = 24.388$ W และจะได้ว่าค่าไฟฟ้าที่ยังไม่คิดค่าบริการเท่ากับ 8.62 – 8.19 = 0.43 บาท

รูปที่ 4.6 ผลการทดลองวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า

4.3.2 การทดลองวัดโหลดตู้เย็น

ในการวัดโหลดตู้เย็น ใช้เวลาการทดลอง 7 ชั่วโมง 39 นาที 18 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.7 คิดเป็นชั่วโมงได้เท่ากับ $7 + (39/60) + (18/3600) = 7.655$ ชั่วโมง ค่าหน่วยไฟฟ้าที่ได้เท่ากับ 0.255 kWh คิดเป็นค่ากำลังจริงเฉลี่ยเท่ากับ $(0.255 \times 1000)/7.655 = 33.312$ W และค่าไฟฟ้าที่ไม่คิดค่าบริการเท่ากับ 8.69 – 8.19 = 0.50 บาท



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองวัดโหลดตู้เย็น

4.3.3 การทดลองวัดโหลดโทรทัศน์

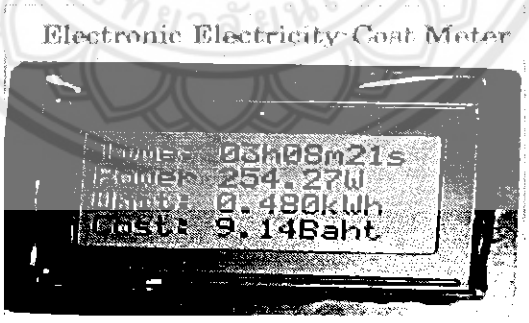
ในการวัดโหลดโทรทัศน์ ใช้เวลาทดลองคือ 7 ชั่วโมง 51 นาที 6 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.8 คิดเป็นชั่วโมงได้เท่ากับ $7 + (51/60) + (6/3600) = 7.8517$ ชั่วโมง ค่าหน่วยไฟฟ้าบนจอแสดงผล

เท่ากับ 0.255 kWh ค่ากำลังจริงเฉลี่ยเท่ากับ (0.255×1000)/7.8517 = 33.312 W และค่าไฟฟ้าที่ยังไม่คิดค่าบริการเท่ากับ 8.93 – 8.19 = 0.74 บาท

รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวัดโหลดโทรทัศน์

4.3.4 การทดลองวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า ตู้เย็น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์พกพา และโคมไฟฟ้า

ทำการทดลองโดยนำโหลดจาก 3 การทดลองแรกมาต่อพร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งใช้เวลา 3 ชั่วโมง 8 นาที 21 วินาที คิดเป็นชั่วโมงได้เท่ากับ 3 + (8/60) + 21/3600) = 3.1392 ชั่วโมง ค่าหน่วยไฟฟ้าที่ได้เท่ากับ 0.480 kWh คิดเป็นค่ากำลังจริงเฉลี่ยตลอดช่วงที่ทำการทดลองเท่ากับ (0.480×1000)/3.1392 = 152.905 W และค่าไฟฟ้าที่ไม่คิดค่าบริการเท่ากับ 9.14 – 8.19 = 0.95 บาท



รูปที่ 4.9 ผลการวัดโหลดเครื่องดักยุงไฟฟ้า ตู้เย็น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์พกพา และโคมไฟฟ้า

จากผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่กล่าวมาขั้นต้นนี้ สามารถนำมาสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.5

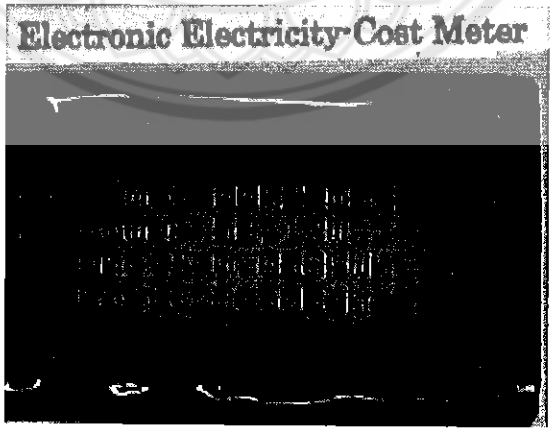
ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

การทดลองที่	รายการโหลด	ขนาดโหลด (W)	เวลาทดสอบ	เวลาการทดสอบ (h)	ค่าหน่วยไฟฟ้า (kWh)	ค่าไฟฟ้ารวมค่าบริการ (บาท)	ค่าไฟฟ้าไม่รวมค่าบริการ (บาท)
1	เครื่องดักยุงไฟฟ้า	20	08 h 51 m 24 s	8.8567	0.216	8.62	0.43
2	ตู้เย็น	70	07 h 39 m 12 s	7.655	0.255	8.69	0.50
3	โทรทัศน์	55	07 h 51 m 06 s	7.8517	0.374	8.93	0.74
4	– เครื่องดักยุง ไฟฟ้า 20 W – ตู้เย็น 70 W – โทรทัศน์ 55 W – โคมไฟฟ้า 15 W – คอมพิวเตอร์พกพา 35 W	195	03 h 08 m 21 s	3.1392	0.480	9.14	0.95

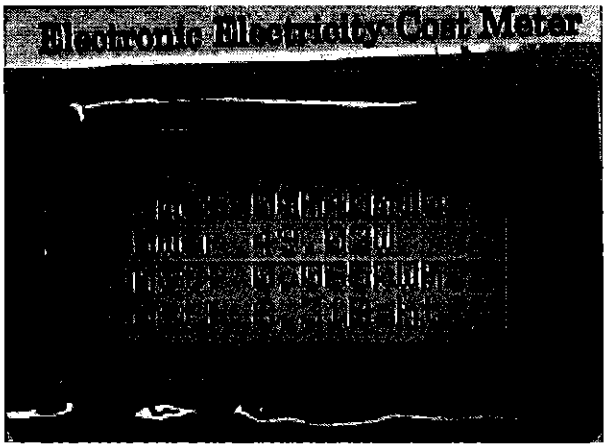
4.3.5 การทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสม

ในการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมและราคาค่าไฟฟ้าโดยมีโหลดคือโทรทัศน์ขนาด 55 W จำนวน 1 เครื่อง พัดลมขนาด 50 W จำนวน 1 เครื่อง และพัดลมขนาด 20 W จำนวน 1 เครื่อง แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณีในเวลาที่ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 40 นาทีคือ (1) ต่อโหลดพร้อมกันทั้ง 3 เครื่อง เป็นเวลา 15 นาที (2) นำโหลดพัดลมขนาด 20 W ออกแล้ววัดต่อเป็นเวลา 15 นาที (3) นำโหลดพัดลมขนาด 50 W ออกอีก จึงเหลือโหลดโทรทัศน์อย่างเดียว แล้ววัดต่ออีก 10 นาที จากนั้นนำค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าหน่วยไฟฟ้าจากการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

รูปที่ 4.10 ผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมกรณีต่อโหลดโทรทัศน์ 1 เครื่อง และพัดลม 2 เครื่อง



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมกรณีต่อโหลดโทรทัศน์ 1 เครื่อง และพัดลม 1 เครื่อง



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสม กรณีต่อโหลดโทรทัศน์ 1 เครื่อง

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าสะสม

รายการโหลด	ขนาดโหลด (W)	เวลา (นาที)	ค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมจากการคำนวณ (kWh)	ค่าหน่วยไฟฟ้าสะสมจากการวัด (kWh)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
– โทรทัศน์ 55 W – พัดลม 50 W – พัดลม 20 W	125	15	0.0312	0.027	–12.9032
– โทรทัศน์ 55 W – พัดลม 50 W	105	15	0.0575	0.058	0.8696
– โทรทัศน์ 55 W	55	10	0.0667	0.065	–2.5487

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง เหตุผลเพราะไม่ได้เปิดใช้งานโหลดพัดลมขนาด 50 W เต็มพิกัด

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองการทำงานของมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมข้อเสนอแนะ และแนวทางการนำไปพัฒนา ให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

ในโครงงานได้สร้างมาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ประมวลผล ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมภาษาซี และแสดงผลการทำงานบนหน้าจอแสดงผลแอลซีดีขนาด 16 ช่อง × 4 แถว ซึ่งมาตรวัดมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วนคือ ชุดตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดัน ชุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ชุดประมวลผลการทำงาน และชุดแสดงผลารทำงาน จากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่ามาตรวัดค่าไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น สามารถวัดค่ากำลังจริง แสดงเวลาที่ใช้ไฟฟ้า ค่าหน่วยไฟฟ้า และราคาค่าไฟฟ้าได้ โดยกำลังจริงที่วัดได้มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ประมาณ 97% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณ ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ถึงค่าความถูกต้องในการวัดค่าหน่วยไฟฟ้าด้วย สามารถแสดงค่าไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยแบบอัตราปกติของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และที่สำคัญคือมีราคาถูกว่ามาตรวัดค่าหน่วยไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายในตลาดทั่วไป

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

มาตรวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นนี้ใช้คำนวณเวลาการใช้งานจากเครื่องกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบผลึก จึงทำให้เวลาที่คำนวณได้ไม่ตรงกับเวลาจริงซึ่งเป็นผลมาจากการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการประมวลผลการทำงานของโปรแกรมด้วย แนวทางการแก้ไขคือใช้ไอซีฐานเวลาจริงแทนเครื่องกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงานต่อไป

เนื่องจากมาตรวัดที่สร้างขึ้นนี้แสดงค่าหน่วยไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ฟ้าเท่านั้น แต่ไม่สามารถบันทึกค่าหน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระแบบรายเดือนได้ และยังไม่มีระบบปรับราคาค่าไฟฟ้าบนตัวมาตรวัด จึงควรพัฒนาต่อยอดในประเด็นดังกล่าวเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สกพ.). จาก http://www.erc.or.th, สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2554.

[2] รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์. (2546) **การวัดและมาตรวัดไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย–ญี่ปุ่น.

[3] กลุ่มงานค่าไฟฟ้า (ดฟฟ–ผ.) ฝ่ายเศรษฐกิจพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. จาก http://www2.egat.co.th/ft/definition.html, สืบค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2554.

[4] สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สกพ.). จาก http://www.erc.or.th, สืบค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2554.

[5] การไฟฟ้านครหลวง. จาก http://www.mea.or.th, สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2554.

[6] นายโกวิทย์ ส่องสี. "การออกแบบต้นแบบ สำหรับตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ โดยผ่านทางเครือข่ายไฟฟ้ากำลังหลัก" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2548. จาก http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream, สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2555.

ภาคผนวก ก
โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมประมวลผล

```
                                    // ใช้กับโปรแกรม CCS C compiler version 4.0
                                    // ขึ้นไป
#define  16F877
#ifdef   16F877
#include <16F877.h>                 // เรียก Header file
#device PASS_STRINGS=IN_RAM
#fuses XT
#fuses NOWDT                        // ไม่ใช้ Watch dog timer
#fuses NOPROTECT                    // ไม่ป้องกันโปรแกรม
#fuses BROWNOUT                     // ใช้การตรวจจับ Brown-out
#fuses NOLVP                        // ไม่ตั้งโปรแกรมที่ค่าแรงดันต่ำ
                                    // กำหนดค่าให้เรจิสเตอร์ต่างๆที่ใช้งาน
#byte    indf = 0
#byte    tmr0 = 1
#byte    status = 3
#byte    fsr = 4
#byte    porta = 5
#byte    portb = 6
#byte    pclath = 0x0a
#byte    intcon = 0x0b
#use     delay(clock=4000000)       // เลือกความถี่ของไอซีกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่
                                    // ใช้งาน
#endif
#use     fast_io(A)                 // ใช้พอร์ตA เป็นพอร์ต อินพุต และเอาท์พุต
#use     fast_io(B)                 // ใช้พอร์ต B เป็นพอร์ต อินพุต และเอาท์พุต
#define  TRISA 0b11110000           // 0 คือเอาท์พุต และ 1 คืออินพุต
#define  TRISB 0b00001000
#define  bit short
#define  word int16
char     stmp[32];                  // ตัวแปรจัดเก็บตัวอักษร
```

```
float     signed_watts;                  // ตัวแปรอ่านค่ากำลังจาก ADE
float     watts_max = 9999;              // กำหนดค่ากำลังสูงสุด
float     watts_min =0;                  // กำหนดค่ากำลังต่ำสุด
float     watts;                         // ตัวแปรเก็บค่ากำลังเพื่อแสดงหน้าจอแอลซีดี
float     kwh=0;                         // ตัวแปรเก็บค่าหน่วยไฟฟ้า
float     cost=0;                        // ตัวแปรเก็บราค่าไฟฟ้า
float     ft=0;                          // ตัวแปรเก็บค่า F_t
int       minute=0;                      // ตัวแปรเก็บเวลา (นาที)
int       hours=0;                       // ตัวแปรเก็บเวลาหลักสิบ (1–99 ชั่วโมง)
int       hours2=0;                      // ตัวแปรเก็บเวลาหลักร้อย (100–900 ชั่วโมง)
int       second=0;                      // ตัวแปรเก็บเวลา (วินาที)
byte      save_w;                        // ตัวแปรเก็บเรจิสเตอร์ W ก่อนอินเทอร์รัพต์
#locate   save_w=0x70                    // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร save_w
#reserve  0x70, 0xf0, 0x170, 0x1f0       // ตำแหน่งที่อยู่สำรองของตัวแปร save_w
byte      save_status;                   // ตัวแปรเก็บเรจิสเตอร์ STATUS ก่อน
                                         // อินเทอร์รัพต์
#locate   save_status=0x71               // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร STATUS
#reserve  0x71, 0xf1, 0x171, 0x1f1       // ตำแหน่งที่อยู่สำรองของตัวแปร STATUS
byte      save_fsr;                      // ตัวแปรเก็บเรจิสเตอร์ SFR ก่อนอินเทอร์รัพต์
#locate   save_fsr=0x72                  // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร save_fsr
#reserve  0x72, 0xf2, 0x172, 0x1f2       // ตำแหน่งที่อยู่สำรองของตัวแปร save_fsr
byte      save_pclath;                   // ตัวแปรเก็บเรจิสเตอร์เก็บ Interrupt program
                                         // counter
#locate   save_pclath=0x73               // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร save_pclath
#reserve  0x73, 0xf3, 0x173, 0x1f3       // ตำแหน่งที่อยู่สำรองของตัวแปร save_pclath
signed    int32 rd;                      // กำหนดตัวแปรเก็บค่ากำลังแบบบิตที่รับ
                                         // จาก ADE

#locate   rd=0x22
#byte     rd1=0x22
#byte     rd2=0x23
#byte     rd3=0x24
#byte     rd4=0x25
```

```
#byte    rd5=0x26
byte     store2;                                  // ตัวแปรเก็บค่านับจำนวนบิต หรือวนลูป
#locate  store2=0x27                              // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร store2
byte     sec_flag;                                // ตัวแปรแสดงค่าเมื่อจับเวลาได้ 1 วินาที
#locate  sec_flag=0x28                           // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร sec_flag
byte     sec_cnt;                                 // ตัวแปรนับรอบความถี่สัญญาณนาฬิกา
#locate  sec_cnt=0x29                            // ตำแหน่งที่อยู่ของตัวแปร sec_cnt
#include "LCD_Driver16x4.c"                      // เชื่อมต่อการใช้งานโปรแกรมควบคุมจอแอล
                                                 // ซีดี 16 ช่อง × 4 แถว
                                                 // เชื่อมต่อฟังก์ชันย่อยต่างๆ
void Power_or_Cost_Display(byte prefix_nbr, float nbr, byte decimal_points, byte suffix_nbr,
byte x, byte y);                                 // ฟังก์ชันย่อยแสดงกำลังหรือราคาค่าไฟฟ้า
void UnitDisplay(byte prefix_nbr, float nbr, byte decimal_points, byte suffix_nbr,byte x, byte y);
                                                 // ฟังก์ชันย่อยแสดงค่าหน่วยไฟฟ้า
void TimeDisplay();                              // ฟังก์ชันย่อยแสดงเวลา
                                                 // ฟังก์ชันย่อยเรียกตัวอักษรหน่วยต่างๆ
byte CopyEEPROMString(byte msg_nbr, byte offset);
void PrintString(byte line1, byte line2);        // ฟังก์ชันย่อยแสดงตัวอักษร
                                                 // ฟังก์ชันย่อยส่งคำสั่ง
void SendCommand(bit s16bit, byte reg, word data);
void Cost_Calculation();                         // ฟังก์ชันย่อยคำนวณค่าไฟฟ้า
                                                 // กำหนดค่าเริ่มต้น
#rom  0x2100 = {0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc2, 0x00, 0x63, 0x5a}
#define MSG_START 8
#rom  0x2108 = {" ","W","kWh","Baht"}            // กำหนดตัวอักษรค่าหน่วยต่างๆ
#INT_GLOBAL                                      // ฟังก์ชันอินเทอร์รัพต์โกลบอล
void MyGlobal()                                  // ฟังก์ชันอินเทอร์รัพต์โกลบอล
{
        #asm                                     // เริ่มโปรแกรมแอสเซมบลี
                                                 // เก็บค่าเรจิสเตอร์ต่างๆก่อนเกิดอินเทอร์รัพต์
        movwf   save_w
        swapf   status,w
```

```
movwf  save_status
clrf   status
bcf    intcon,2
movf   tmr0,w
nop
nop
addlw  0x8
movwf  tmr0
movf   fsr,w
movwf  save_fsr
movf   pclath,w
movwf  save_pclath
clrf   pclath
#endasm                          // จบโปรแกรมแอสเซมบลี
sec_cnt++;                       // เริ่มนับรอบสัญญาณนาฬิกา
if(sec_cnt == 251)               // 251 รอบ = 1 วินาที
{
      sec_cnt = 0;               // ถ้าครบ 251 รอบแล้วให้เริ่มนับใหม่จาก 0
      sec_flag = 1;              // sec_flag = 1 แสดงว่านับเวลาได้ 1 วินาทีแล้ว
      #asm                       // เริ่มโปรแกรมแอสเซมบลี
      movlw  0x03
      movwf  rd5  ;ให้ rd5 = 0x03
      movlw  0x08
      movwf  store2              ; กำหนดค่านับจำนวน 8 บิต
      bcf    portb,1             ; เชื่อมต่อขา CS ของ ADE
NXT_BT:                          ; วน 8 รอบ ในการควบคุม ADE
      bcf    porta,3
      rlf    rd5,f
      btfsc  status,0
      bsf    porta,3
      bsf    portb,2
      bcf    portb,2
```

```
        decfsz  store2,f
        goto    NXT_BT
        movlw   40
        movwf   store2              ; กำหนดค่านับจำนวน 40 บิต
NXT_RD:                             ; วน 40 รอบ เพื่อรับค่าจำนวน 40 บิต
        bsf     portb,2
        bcf     portb,2
        bcf     status,0
        btfsc   porta,4
        bsf     status,0
        rlf     rd1,f
        rlf     rd2,f
        rlf     rd3,f
        rlf     rd4,f
        rlf     rd5,f
        decfsz  store2,f
        goto    NXT_RD
        bsf     portb,1             ; ถ้ารับข้อมูลครบ 40 บิตแล้วให้หยุดเชื่อมต่อขา
                                    ; CS ของ ADE
        #endasm                     // จบโปรแกรมแอสเซมบลี
}
#asm                                ; เริ่มโปรแกรมแอสเซมบลี เรียกค่าเรจิสเตอร์
                                    ; ต่างๆก่อนเกิดอินเทอร์รัพต์คืนที่เดิม
movf    save_pclath, w
movwf   pclath
movf    save_fsr, w
movwf   fsr
swapf   save_status,w
movwf   status
swapf   save_w,f
swapf   save_w,w
retfie                              ; ออกจากโปรแกรมอินเทอร์รัพต์
```

```
        #endasm                                 // จบโปรแกรมแอสเซมบลี
}
void main()  // โปรแกรมหลัก
{
        byte i;
        set_tris_a(TRISA);                      // เชื่อมต่อพอร์ต A
        set_tris_b(TRISB);                      // เชื่อมต่อพอร์ต B
        port_b_pullups(0);                      // ไม่เชื่อมต่อการพูลอัพ
        output_b(1);
        delay_ms(200);
        lcd_init();
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("   Electronic");              // แสดงชื่อโครงงาน
        lcd_gotoxy(1,2);
        lcd_putc("Electricity-Cost");           // แสดงชื่อโครงงาน
        lcd_gotoxy(1,3);
        lcd_putc("      Meter");                // แสดงชื่อโครงงาน
        delay_ms(1000);
        lcd_clear();
        printf(lcd_putc,"    Make By");
        lcd_gotoxy(1,2);
        lcd_putc("SAMAPOL 51384048");           // แสดงชื่อผู้ดำเนินโครงงาน
        lcd_gotoxy(1,3);
        lcd_putc("THITINAN51384857");           // แสดงชื่อผู้ดำเนินโครงงาน
        delay_ms(2000);
        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("Time:");                      // แสดง Time:
        lcd_gotoxy(1,2);
        lcd_putc("Power:");                     // แสดง Power:
        lcd_gotoxy(1,3);
        lcd_putc("Unit:");                      // แสดง Unit:
```

```
lcd_gotoxy(1,4);
lcd_putc("Cost:");                    // แสดง Cost:
                                      // อ่านค่าจาก EEPROM
for(i = 0 ; i < CONFIG_DATA_SIZE ; i++)
*(CONFIG_DATA_START + i) = read_eeprom(i);
SendCommand(0, 0x8a, 0b01010000);     // ส่งค่าอัตราขยาย
SendCommand(1, 0x86, 0x0004);
                                      // ใช้ Prescaller 16 เท่า
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_16);
enable_interrupts(INT_TIMER0);        // เชื่อมต่ออินเทอร์รัพต์ตัวจับเวลาที่ 0
enable_interrupts(GLOBAL);            // เชื่อมต่ออินเทอร์รัพต์โกลบอล
while (true)                          // ให้โปรแกรมทำงานตลอดเวลา
 {
        if(sec_flag)                  // เมื่อนับเวลาครบ 1 วินาที
        {
           sec_flag = false;
           second++;                  // เพิ่มวินาที
           TimeDisplay();             // แสดงเวลา
           signed_watts = (float)rd /(float)505143.9846;

              if(!bit_test(rd5, 7))   // ถ้าอ่านข้อมูลครบ 40 บิตจาก ADE
                {
                                      // อ่านค่ากำลังจริง
                watts = signed_watts;*1.001395237;
                                      // อ่านค่าหน่วยไฟฟ้า
                kwh=kwh+watts/3600000;
                                      // แสดงหน่วยไฟฟ้า
                UnitDisplay(0,kwh,0,2,6,3);
                if(watts > watts_max) watts_max = watts;
                if(watts < watts_min) watts_min = watts;
                lcd_gotoxy(10,2);
                lcd_putc("      ");
```

```
                                        // แสดงค่ากำลังจริง
                                Power_or_Cost_Display(0,watts,0,1,6,2);
                                        // คำนวณค่าไฟฟ้า
                                Cost_Calculation();
                                        // แสดงค่าไฟฟ้า
                                Power_or_Cost_Display(0,cost,0,3,6,4);
                        }
                        else
                                watts = 0;
                }
        }
}
void SendByte(byte data)                        // ฟังก์ชันย่อยส่งข้อมูล
{
        byte i;
        for(i = 0 ; i < 8 ; i++)
        {
                output_bit(PIN_A3, bit_test(data, 7));
                output_high(PIN_B2);
                data <<= 1;
                output_low(PIN_B2);
        }
}
                                        // ฟังก์ชันย่อยส่งคำสั่ง
void SendCommand(bit s16bit, byte reg, word data)
{
        output_low(PIN_B1);
        SendByte(reg);
        if(s16bit) SendByte(data >> 8);
        SendByte(data);
        output_high(PIN_B1);
```

```
}
                                        // ฟังก์ชันย่อยเรียกหน่วยต่างๆที่กำหนด
byte CopyEEPROMString(byte msg_nbr, byte offset)
{
        byte i;
        for(i = MSG_START ; msg_nbr != 0 ; i++) if(read_eeprom(i) == 0) msg_nbr—;
        for( ; read_eeprom(i) != 0; i++) stmp[offset++] = read_eeprom(i);
        stmp[offset] = 0;
        return offset;
}
void PrintString(byte line1, byte line2)          // ฟังก์ชันย่อยแสดงหน่วยต่างๆ
{
        byte i;
        lcd_gotoxy(line1,line2);
        for(i = 0 ; stmp[i] != 0; i++) lcd_putc(stmp[i]);
}
                                        // ฟังก์ชันย่อยแสดงค่าหน่วยไฟฟ้า
void UnitDisplay(byte prefix_nbr, float nbr, byte decimal_points, byte suffix_nbr, byte x, byte y)
{
        byte j;
        j = CopyEEPROMString(prefix_nbr, 0);
        sprintf(&stmp[j], "%.4f", nbr);
        while(stmp[j] != 0) j++;
        if(decimal_points == 0) j—;
        j = CopyEEPROMString(suffix_nbr, j – decimal_points);
        PrintString(x,y);
}
                                        // ฟังก์ชันย่อยแสดงกำลังจริงและค่าไฟฟ้า
void Power_or_Cost_Display(byte prefix_nbr, float nbr, byte decimal_points, byte suffix_nbr,
byte x, byte y)
{
        byte j;
```

```
        j = CopyEEPROMString(prefix_nbr, 0);
        sprintf(&stmp[j], "%.3f", nbr);
        while(stmp[j] != 0) j++;
        if(decimal_points == 0) j--;
        j = CopyEEPROMString(suffix_nbr, j – decimal_points);
        PrintString(x,y);
}
void TimeDisplay()                          // ฟังก์ชันย่อยแสดงเวลา
{
        if(second==60)
        {
                second=0;
                minute++;
                if(minute==60)
                {
                        minute=0;
                        hours++;
                        if(hours==100)
                        {
                                hours=0;
                                hours2++;
                                lcd_gotoxy(6,1);
                                printf(lcd_putc,"%01i",hours2);
                                if(hours2>9)
                                {
                                        hours2=0;
                                        lcd_gotoxy(6,1);
                                        lcd_putc(" ");
                                }
                        }
                }
        }
```

```
        lcd_gotoxy(7,1);
        printf(lcd_putc,"%02ih%02im%02is",hours,minute,second);
}
void Cost_Calculation()                          // ฟังก์ชันย่อยคำนวณค่าไฟฟ้า
{
        if(kwh<=0.00000)
        {
        cost=0;
        }
        else
        {
                if (kwh>0.00000)
                {
                cost=1.07*(1.8632*kwh + ft*kwh) + 8.19;
                }
                else if(kwh>15)
                {
                        cost=1.07*(27.948 + (2.5206*(kwh–15)) + ft*kwh) + 8.19;
                }
                else if(kwh>25)
                {
                        cost=1.07*(52.794 + (2.7549*(kwh–25)) + ft*kwh) + 8.19;
                }
                else if(kwh>35)
                {
                cost=1.07*(80.523 + (3.1381*(kwh–35)) + ft*kwh) + 8.19;
                }
                else if(kwh>100)
                {
                        cost=1.07*(284.4995 + (3.2315*(kwh–100)) + ft*kwh) + 8.19;
                }
                else if(kwh>150)
```

```
                {
                        cost=1.07*(446.0745 + (3.7362*(kwh–100)) + ft*kwh) + 8.19;
                }
                else if(kwh>400)
                {
                        cost=1.07*(1380.1245 + (3.9361*(kwh–400)) + ft*kwh) + 8.19;
                }
        }
}
```

โปรแกรมควบคุมจอแสดงผลแอลซีดี

```
#define LCD_RS PIN_A2                    // ให้ขา A2 ควบคุมขา Reset ของแอลซีดี
#define LCD_EN PIN_A0                    // ให้ขา A0 ควบคุมขา Enable ของแอลซีดี
#define lcd_line_two 0x40
void lcd_send_nibble(byte n)             // ฟังก์ชันควบคุมการทำงานจอแอลซีดี
{
        output_b(n | 1);
        delay_cycles(1);
        output_high(LCD_EN);
        delay_us(2);
        output_low(LCD_EN);
        delay_us(2);
}
void lcd_send_byte(short RegSel, byte n)        // ฟังก์ชันส่งข้อมูล
{
        output_bit(LCD_RS, RegSel);
        delay_cycles(1);
        lcd_send_nibble(n & 0xf0);
        lcd_send_nibble(n << 4);
        delay_us(40);
        output_low(LCD_RS);
}
void lcd_clear()                         // ฟังก์ชันลบหน้าจอแอลซีดี
{
        lcd_send_byte(0, 0b00000001);
        delay_ms(2);
        lcd_send_byte(0,0x80);
}
```

```
void lcd_init()                                    // ฟังก์ชันเชื่อมต่อจอแอลซีดี
{
        BYTE i;
        output_low(LCD_EN);
        output_low(LCD_RS);
        delay_ms(2);
        for(i=1;i<=3;++i)
        {
                lcd_send_nibble(3<<4);
                delay_ms(5);
        }
        lcd_send_nibble(2<<4);
        lcd_clear();
        lcd_send_byte(0, 0b00101100);
        lcd_send_byte(0, 0b00101100);
        lcd_send_byte(0, 0b00001100);
        lcd_send_byte(0, 0b00000110);
        lcd_clear();
}
void lcd_gotoxy( BYTE x, BYTE y)                   // ฟังก์ชันเลือกช่องและแถวของจอแอลซีดี
{
        BYTE address;
        switch(y)
        {
                case 1 : address=0x80;break;
                case 2 : address=0xc0;break;
                case 3 : address=0x90;break;
                case 4 : address=0xd0;break;
        }
                address+=x-1;
                lcd_send_byte(0,address);
}
```

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

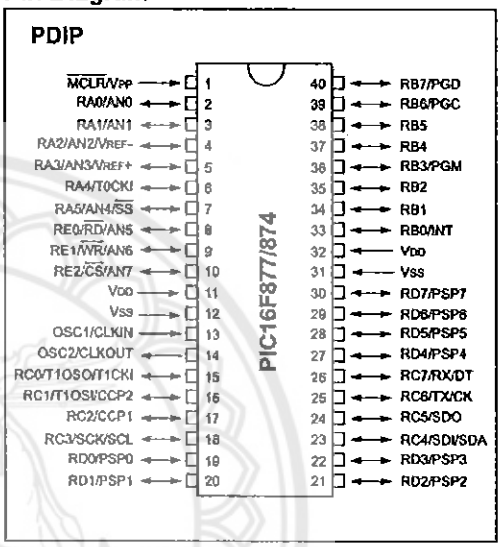
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของไอซี ADE7753ARSZ

PIN CONFIGURATION AND FUNCTION DESCRIPTIONS

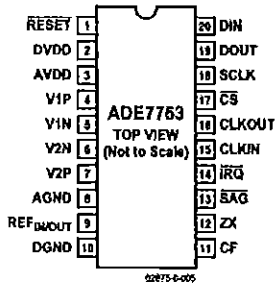


Figure 5. Pin Configuration (SSOP Package)

Table 4. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	$\overline{\text{RESET}}$[1]	Reset Pin for the ADE7753. A logic low on this pin holds the ADCs and digital circuitry (including the serial interface) in a reset condition.
2	DVDD	Digital Power Supply. This pin provides the supply voltage for the digital circuitry in the ADE7753. The supply voltage should be maintained at 5 V ± 5% for specified operation. This pin should be decoupled to DGND with a 10 µF capacitor in parallel with a ceramic 100 nF capacitor.
3	AVDD	Analog Power Supply. This pin provides the supply voltage for the analog circuitry in the ADE7753. The supply should be maintained at 5 V ± 5% for specified operation. Every effort should be made to minimize power supply ripple and noise at this pin by the use of proper decoupling. The typical performance graphs show the power supply rejection performance. This pin should be decoupled to AGND with a 10 µF capacitor in parallel with a ceramic 100 nF capacitor.
4, 5	V1P, V1N	Analog Inputs for Channel 1. This channel is intended for use with a di/dt current transducer such as a Rogowski coil or another current sensor such as a shunt or current transformer (CT). These inputs are fully differential voltage inputs with maximum differential input signal levels of ±0.5 V, ±0.25 V, and ±0.125 V, depending on the full-scale selection—see the Analog Inputs section. Channel 1 also has a PGA with gain selections of 1, 2, 4, 8, or 16. The maximum signal level at these pins with respect to AGND is ±0.5 V. Both inputs have internal ESD protection circuitry, and, in addition, an overvoltage of ±6 V can be sustained on these inputs without risk of permanent damage.
6, 7	V2N, V2P	Analog Inputs for Channel 2. This channel is intended for use with the voltage transducer. These inputs are fully differential voltage inputs with a maximum differential signal level of ±0.5 V. Channel 2 also has a PGA with gain selections of 1, 2, 4, 8, or 16. The maximum signal level at these pins with respect to AGND is ±0.5 V. Both inputs have internal ESD protection circuitry, and an overvoltage of ±6 V can be sustained on these inputs without risk of permanent damage.
8	AGND	Analog Ground Reference. This pin provides the ground reference for the analog circuitry in the ADE7753, i.e., ADCs and reference. This pin should be tied to the analog ground plane or the quietest ground reference in the system. This quiet ground reference should be used for all analog circuitry, for example, anti-aliasing filters, current and voltage transducers, etc. To keep ground noise around the ADE7753 to a minimum, the quiet ground plane should connected to the digital ground plane at only one point. It is acceptable to place the entire device on the analog ground plane.
9	$\text{REF}_{\text{IN/OUT}}$	Access to the On-Chip Voltage Reference. The on-chip reference has a nominal value of 2.4 V ± 8% and a typical temperature coefficient of 30 ppm/°C. An external reference source can also be connected at this pin. In either case, this pin should be decoupled to AGND with a 1 µF ceramic capacitor.
10	DGND	Digital Ground Reference. This pin provides the ground reference for the digital circuitry in the ADE7753, i.e., multiplier, filters, and digital-to-frequency converter. Because the digital return currents in the ADE7753 are small, it is acceptable to connect this pin to the analog ground plane of the system. However, high bus capacitance on the DOUT pin could result in noisy digital current, which could affect performance.
11	CF	Calibration Frequency Logic Output. The CF logic output gives active power information. This output is intended to be used for operational and calibration purposes. The full-scale output frequency can be adjusted by writing to the CFDEN and CFNUM registers—see the Energy-to-Frequency Conversion section.

Pin No.	Mnemonic	Description
12	ZX	Voltage Waveform (Channel 2) Zero-Crossing Output. This output toggles logic high and logic low at the zero crossing of the differential signal on Channel 2—see the Zero-Crossing Detection section.
13	$\overline{SAG}$	This open-drain logic output goes active low when either no zero crossings are detected or a low voltage threshold (Channel 2) is crossed for a specified duration—see the Line Voltage Sag Detection section.
14	$\overline{IRQ}$	Interrupt Request Output. This is an active low open-drain logic output. Maskable interrupts include active energy register rollover, active energy register at half level, and arrivals of new waveform samples—see the ADE7753 Interrupts section.
15	CLKIN	Master Clock for ADCs and Digital Signal Processing. An external clock can be provided at this logic input. Alternatively, a parallel resonant AT crystal can be connected across CLKIN and CLKOUT to provide a clock source for the ADE7753. The clock frequency for specified operation is 3.579545 MHz. Ceramic load capacitors of between 22 pF and 33 pF should be used with the gate oscillator circuit. Refer to the crystal manufacturer's data sheet for load capacitance requirements.
16	CLKOUT	A crystal can be connected across this pin and CLKIN as described for Pin 15 to provide a clock source for the ADE7753. The CLKOUT pin can drive one CMOS load when either an external clock is supplied at CLKIN or a crystal is being used.
17	$\overline{CS}$	Chip Select. Part of the 4-wire SPI serial interface. This active low logic input allows the ADE7753 to share the serial bus with several other devices—see the ADE7753 Serial Interface section.
18	SCLK	Serial Clock Input for the Synchronous Serial Interface. All serial data transfers are synchronized to this clock—see the ADE7753 Serial Interface section. The SCLK has a Schmitt-trigger input for use with a clock source that has a slow edge transition time, for example, opto-isolator output.
19	DOUT	Data Output for the Serial Interface. Data is shifted out at this pin on the rising edge of SCLK. This logic output is normally in a high impedance state unless it is driving data onto the serial data bus—see the ADE7753 Serial Interface section.
20	DIN	Data Input for the Serial Interface. Data is shifted in at this pin on the falling edge of SCLK—see the ADE7753 Serial Interface section.

[1] It is recommended to drive the RESET, SCLK, and $\overline{CS}$ pins with either a push-pull without an external series resistor or with an open-collector with a 10 kΩ pull-up resistor. Pull-down resistors are not recommended because under some conditions, they may interact with internal circuitry.

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายสมพล ไพสิฐวลี

ภูมิลำเนา 65 หมู่12 ต.เทอดไทย อ.แม่ฟ้าหลวง อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย

ประวัติการศึกษา

– จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศึกษาสงเคราะห์แม่จัน

– ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E–mail: samapol.p@gmail.com

ชื่อ นายฐิตินันท์ ก่อเกิดวงศ์

ภูมิลำเนา 77/1 ถ.นาก่วมเหนือ ซอย 3 ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง

ประวัติการศึกษา

– จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอัสสัมชัญลำปาง

– ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E–mail: thitinan.koh@gmail.com