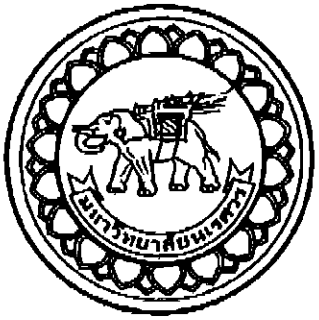


กิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

Kilowatt-Hour Meter By Microcontroller

นางสาวภัทราพร จิตตา รหัส 47380254

นายวิษณุ ทองปิ่น รหัส 47380338

นายอภิชาติ จันทร์วัน รหัส 47380345

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 พ.ค. 2553
เลขทะเบียน 150171
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	กิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์		
ผู้ดำเนินงาน	นางสาวภัทราพร	จิตตา	รหัส 47380254
	นายวิษณุ	ทองปิ่น	รหัส 47380338
	นายอภิชาติ	จันทร์วัน	รหัส 47380345
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สราวุฒิ	วัฒนวงค์พิทักษ์	
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์)

..... กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

..... กรรมการ
(ดร.แคทรียา สุวรรณศรี)

หัวข้อโครงงาน	กิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวภัทราพร	จิตตา	รหัส 47380254
	นายวิษณุ	ทองปิ่น	รหัส 47380338
	นายอภิชาติ	จันทร์วัน	รหัส 47380345
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟสแบบดิจิตอล โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรมภาษาซีเป็นตัวควบคุมการทำงานและคำนวณค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งจะแสดงผลในรูปของเวลาที่ใช้ กิโลวัตต์-เอาว์ จำนวนหน่วยการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายออกมาทางหน้าจอ LCD โดยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นสามารถวัดการใช้พลังงานได้เฟสเดียวและสามารถแสดงจำนวนการใช้พลังงานได้ไม่เกิน 150 หน่วย จากการทดลอง ได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ ผลการทดลองที่ได้พบว่าจำนวนหน่วยการใช้พลังงานที่วัดจากเครื่องมือวัดทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้โครงงานนี้ยังสามารถพัฒนาต่อโดยนำไปใช้กับภาระโหลดชนิด 3 เฟส แสดงจำนวนการใช้พลังงานได้เกิน 150 หน่วย และสามารถคำนวณหน่วยการใช้พลังงานที่แปรผันตามช่วงเวลาที่ใช้ (Time of Use, TOU)

Project title	Kilowatt-Hour Meter By Microcontroller.	
Name	Miss Pattaraporn	Jitta
	Mr. Witsanu	Tongpin
	Mr. Apichat	Janwan
Project advisor	Mr. Sarawut	Wattanawongpitak
Major	Electrical Engineering.	
Department	Electrical and Computer Engineering.	
Academic year	2007	

.....

Abstract

This objective project is studying, designing and developing a digital single phase kilowatt-hour meter by applying Micro-controller, programmable by C language for controlling overall processes and calculating total cost of energy used. Time of use, Kilowatt-hour, Units and cost are displayed on LCD screen. This meter can apply with single phase and uses not exceed 150 units. By experiments, there are comparing this digital single phase kilowatt-hour meter with induction kilowatt-hour meter. The results show that used energy unit counts of both meters are closed. Furthermore, this project can be developed for applying with three-phase loads, using exceed 150 units and calculating used energy units in case of Time of Use (TOU).

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากการทำงานร่วมกันในหลายๆส่วน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงคือ อาจารย์สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์ ดร.ชัยรัตน์ พินทอง และ ดร.แคทรียา สุวรรณศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และให้ความช่วยเหลือเสมอ รวมถึงอาจารย์ท่านอื่นๆ ที่มิได้กล่าวถึง ที่ได้คอยแนะนำและให้คำปรึกษาในการจัดทำโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้พวกข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่อย่างเต็มที่ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ พวกข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ภัทราพร จิตตา
วิษณุ ทองปิ่น
อภิชาติ จันทร์วัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 งบประมาณของโครงงาน 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 กำลังไฟฟ้า (Electric Power) 3

2.2 การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 5

2.3 เครื่องวัดพลังงานและกำลังไฟฟ้า 10

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 21

2.5 ทฤษฎีการใช้หน้าจอแสดงผล 23

บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 บล็อกไดอะแกรม 28

3.2 วงจรกระแส 29

3.3 วงจรPower Supply 29

3.4 วงจรLCD 30

3.5 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์บล็อกไดอะแกรม 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 ขั้นตอนการทำงานของชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์..... 33

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 จุดประสงค์การทดลอง.....35

4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....35

4.3 ผลการทดลอง.....36

4.4 สรุปผลการทดลอง..... 50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 51

5.2 ปัญหาที่พบในการปฏิบัติงาน.....52

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา.....52

5.4 ข้อเสนอแนะ..... 52

เอกสารอ้างอิง..... 53

ภาคผนวก ก. 54

ภาคผนวก ข. 64

ประวัติผู้เขียนโครงงาน.....77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อัตราค่าไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	6
2.2	อัตราค่าไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน	6
2.3	อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	6
2.4	อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	7
2.5	การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าเมื่อติดตั้งมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 5 A ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	8
2.6	การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าเมื่อติดตั้งมิเตอร์ขนาดเกิน 5 A ใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน	9
2.7	การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าเมื่อติดตั้งมิเตอร์แบบ TOU โดยใช้แรงดันต่ำกว่า 22 KVต่ำกว่า 22 KV ติดตั้งมิเตอร์ 5 A และมีการใช้ไฟ 3 เดือนที่ผ่านมาไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	10
2.8	รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล	24
2.9	รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการแสดงผล	24
2.10	รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร	25
2.11	รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งกำหนดฟังก์ชั่นการทำงาน	25
2.12	รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งอ่านแฟลก BUSY และแอดเดรส	26
2.13	สมการที่ใช้ในการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์	27
4.1	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ ที่ P.F. = 1.0, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7%	37
4.2	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ ที่ P.F. = 0.9, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7%	41
4.3	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ ที่ P.F. = 0.8, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7%	45

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง v(t) กับ i(t)	4
2.2	ตัวอย่างการคูณสัญญาณแรงดันกับสัญญาณกระแส	5
2.3	การทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ	11
2.4	แสดงการสุ่มสัญญาณ x(t)	13
2.5	สัญญาณมอดูเลตระหว่าง x(t) กับ p(t)	13
2.6	Fourier Transform ของสัญญาณ	14
2.7	สเปกตรัมของสัญญาณที่มีค่า $f_s - f_M < f_M$	15
2.8	การสุ่มสัญญาณไซน์ด้วยความถี่ค่าต่าง ๆ กัน	
	ก) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 6 เท่าของสัญญาณไซน์	15
	ข) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 เท่าของสัญญาณไซน์	15
	ค) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 1.2 เท่าของสัญญาณไซน์	16
2.9	ไดอะแกรมวงจร Successive Approximation A/D Converter	18
2.10	แสดงตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่า	18
2.11	บล็อกไดอะแกรมการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	19
2.12	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC)	21
3.1	บล็อกไดอะแกรมกิโลวัตต์-เอาว์ มิเตอร์	28
3.2	วงจรเช็คกระแส	29
3.3	วงจร Power supply	29
3.4	การต่อใช้งานจอแสดงผล	30
3.5	การต่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.6	แสดง Circuit Board	32
3.7	แสดงอุปกรณ์บน Circuit Board	32
3.8	ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	33
4.1	ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้นของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	36
4.2	ค่ากำลังไฟฟ้าเริ่มต้นของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำ ที่ P.F.= 1.0	36
4.3	ค่า KWh, Unit, Price ของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผ่านไป 12 ชั่วโมง ที่ P.F. = 1.0	41
4.4	ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่เวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ที่ P.F. = 1.0	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้นของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ P.F. = 0.9	38
4.6	ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่ P.F. = 0.9	42
4.7	ค่า KWh, Unit, Price ของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผ่านไป 12 ชั่วโมงที่ P.F. = 0.9	47
4.8	ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่เวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงที่ P.F. = 0.9	47
4.9	ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้นของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ P.F. = 0.8	48
4.10	ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่ P.F. = 0.8	48
4.11	ค่า KWh, Unit, Price ของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผ่านไป 12 ชั่วโมงที่ P.F. = 0.8	53
4.12	ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่เวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงที่ P.F. = 0.8	53
4.13	กราฟเปรียบเทียบค่า KWh ที่ P.F. 1.0, P.F. 0.9 และ P.F. 0.8	54
4.14	กราฟเปรียบเทียบค่า Unit ที่ P.F. 1.0, P.F. 0.9 และ P.F. 0.8	54
4.15	กราฟเปรียบเทียบค่า Price ที่ P.F. 1.0, P.F. 0.9 และ P.F. 0.8	55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันได้มีการรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อที่จะลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ฟุ่มเฟือยลง ถ้าเรามองในส่วนของที่พักอาศัยจะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าและจิตสำนึกของผู้ใช้ ด้วยเหตุนี้ ทำให้ผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ จึงนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีมาผสมผสานกัน โดยจะออกแบบสร้างกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ที่ใช้ในการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่เรียกว่า กิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีกว่ากิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ กิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์จะแสดงผลออกมาในหน่วยของจำนวนเงิน (บาท) ทำให้สามารถทราบได้ว่าในช่วงระยะเวลาหนึ่งได้มีการใช้กำลังไฟฟ้าไปเป็นจำนวนเงินเท่าไร จึงจะทำให้สามารถควบคุมค่าใช้จ่ายและอาจมีผลทางจิตวิทยาต่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบสร้างกิโลวัตต์เอาว์มิเตอร์ที่สามารถแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบจำนวนเงิน (บาท)

1.2.2 เพื่อช่วยในเรื่องของการจูงใจในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในแง่ของการที่สามารถควบคุมค่าใช้ไฟฟ้าได้

1.2.3 เพื่อให้เข้าใจในวิธีการนำพลังงานไฟฟ้ามาคิดเป็นจำนวนเงิน

1.2.4 เพื่อให้นักศึกษาได้ศึกษาถึงวิธีการนำเอาอุปกรณ์ต่างๆมาใช้และฝึกการทำงานร่วมกัน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบสร้างกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ใช้กับไฟฟ้าระบบ 1 เฟส 2 สาย

1.3.2 พิกัดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 3.0 กิโลวัตต์

1.3.3 อัตราใช้ไฟฟ้าได้ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

1.3.4 แสดงผลเวลาในการใช้พลังงานไฟฟ้า, ค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh), หน่วยพลังงานไฟฟ้า, ค่าใช้พลังงานไฟฟ้า (บาท)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ลำดับการทำงาน	มกราคม (สัปดาห์)				กุมภาพันธ์ (สัปดาห์)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	←	—	→					
2. ศึกษาและออกแบบโปรแกรม			←	→				
3. จัดทำชิ้นงาน					↔			
4. ทดสอบการทำงานและปรับปรุงแก้ไข					←	→		
5. ทดสอบการใช้งานจริง							↔	
6. จัดทำรายงานปริญญานิพนธ์							←	→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในแต่ละเดือนได้

1.5.2 เกิดแรงจูงใจในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

1.5.3 หลักการนำพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มาคิดเป็นจำนวนเงิน

1.6 งบประมาณของโครงงาน

1.6.1 ค่าหนังสือข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน

1.6.2 ค่าอุปกรณ์

1.6.3 ค่าถ่ายเอกสารและปริ้นงาน

1.6.4 ค่าเข้าเล่มรายงาน

1.6.5 ค่าแผ่นซีดี

รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ในการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้านั้น มีอยู่สิ่งหนึ่งที่เราไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้ นั่นคือ การ พิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจร การพิจารณาและการคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจรในเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะเห็นได้ว่าไม่ยุ่งยากและซับซ้อนเท่าใดนัก เพราะกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันกับกระแสที่มีค่าคงที่และอินเฟสกันด้วย ซึ่งสามารถจะเขียนเป็นสูตรได้ว่า P = IE (ในที่นี้ P คือ กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์, I คือ กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ และ E คือแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลท์) ส่วนกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ดูออกจะยุ่งยากและสลับซ้อนมากกว่าทั้งนี้เพราะแรงดันกับกระแสของไฟสลับมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้มุมเฟสของวงจรที่เกิดจากแรงดันกับกระแสยังมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อใช้โหลดที่แตกต่างกัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของไฟสลับที่เกิดขึ้น ณ เวลาในขณะนั้น ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ว่า p = ie (ในที่นี้ p, i และ e หมายถึงกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะใด ๆ ของไฟสลับตามลำดับ)

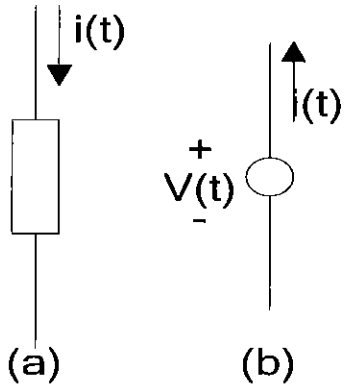
2.1 กำลังไฟฟ้า (Electric Power)

2.1.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power)

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะของอุปกรณ์ใด ๆ สามารถหาได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม และค่ากระแสที่ไหลผ่าน โดยค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะหาได้จากสมการ

$$p(t) = v(t)\, i(t) \qquad (2.1)$$

ความสัมพันธ์นี้ใช้ได้กับอุปกรณ์และวงจรทุกแบบ ค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะโดยทั่วไปจะมีปริมาณแปรผันไปตามเวลา ถ้าสัญญาณที่เข้าเป็นดังรูปที่..(a) อุปกรณ์จะมีค่ากำลังไฟฟ้าขึ้น ถ้า p(t) เป็นบวกที่เวลาใด ๆ t และอุปกรณ์จะจ่ายกำลังไฟฟ้า ถ้า p(t) เป็นลบ แหล่งจ่ายโดยส่วนใหญ่จะสมมุติให้ทิศทางของกระแสเป็นทิศทางเดียวกับกำลังที่จ่ายออกมา ดังรูปที่..(b) ค่าบวก p(t) แสดงให้เห็นว่า แหล่งจ่าย ให้กำลังไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง v(t) กับ i(t)

2.1.2 พลังงาน (Energy)

พลังงาน หรือ งาน คือ การอินทิเกรตค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ จากสัญญาณปกติ, พลังงานจะเกิดจากการอินติเกตจากช่วงเวลา t_1 ถึง t_2

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)\, d(t) \qquad (2.2)$$

ถ้า v(t) มีหน่วยเป็น โวลต์ และ i(t) มีหน่วยเป็นแอมแปร์ กำลังไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็นวัตต์ และพลังงาน จะมีหน่วยเป็น จูล

2.1.3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)

ฟังก์ชั่นของแรงดัน และกระแสช่วงใด ๆ จะทำให้เกิด ฟังก์ชั่นของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก็คือ ค่าเฉลี่ยเวลาของ p(t) ที่หนึ่งช่วงเวลา หรือมากกว่า ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย P คำนวณได้จากสูตร

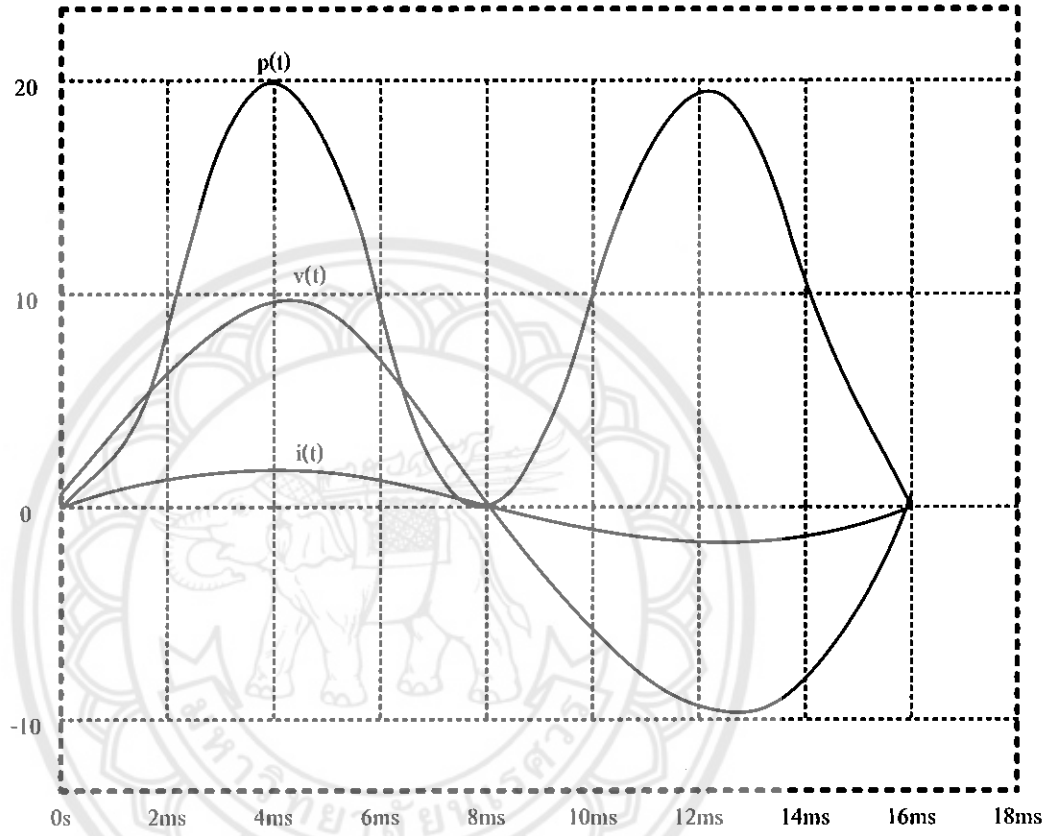
$$P(t) = \frac{1}{T}\int_{T} p(t)dt = \frac{1}{T}\int_{T} i(t) * e(t)\, dt \qquad (2.3)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาของคลื่นกำลังไฟฟ้า และจากสมการ P(t) และสมการ W กำลังไฟฟ้าสามารถ คำนวณได้จากพลังงานต่อคาบเวลา :

$$P = \frac{W}{T} \qquad (2.4)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยบางครั้งจะเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริง หรือกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง โดยเฉพาะในวงจร AC เวลาพูดถึงกำลังไฟฟ้า โดยปกติจะหมายถึง กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดในวงจร จะมีค่าเท่ากับ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดที่ถูกจ่ายออกมา

ตัวอย่างการหาค่ากำลังไฟฟ้า โดยการคูณสัญญาณแรงดัน กับสัญญาณกระแส



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการคูณสัญญาณแรงดัน กับสัญญาณกระแส

2.2 การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2.1 อัตราปกติ

การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์และสถานประกอบการศาสนกิจของทุกศาสนา โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.1.1ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ตารางที่ 2.1 อัตราค่าไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
5	หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0-5)	0	8.19
10	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 6-15)	1.3576	8.19
10	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16-25)	1.5445	8.19
10	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26-35)	1.7968	8.19
65	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36-100)	2.1800	8.19
50	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101-150)	2.2734	8.19
250	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151-400)	2.7781	8.19
เกิน 400	หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401เป็นต้นไป)		2.9780	8.19

2.2.1.2ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ตารางที่ 2.2 อัตราค่าไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
150	หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0-150)	1.8047	40.90
250	หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151-400)	2.7781	40.90
เกิน 400	หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)		2.9780	40.90

2.2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้(Time of Use Rate : TOU)

2.2.2.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์

ตารางที่ 2.3 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์

ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
Peak	Off Peak	
3.6246	1.1914	228.17

2.2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์

ตารางที่ 2.4 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์

ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
Peak	Off Peak	
4.3093	1.2246	57.95

ข้อกำหนดช่วงเวลาอัตรา TOU

Peak : เวลา 09.00 น. – 22.00 น. วันจันทร์ – ศุกร์ และวันพืชมงคล

Off Peak : เวลา 22.00 น. – 09.00 น. วันจันทร์ – ศุกร์ และวันพืชมงคล

เวลา 00.00 น. – 24.00 น. วันเสาร์ – อาทิตย์,วันแรงงานแห่งชาติ,วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)และวันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์–อาทิตย์

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไม่เกิน 5 แอมแปร์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่2.2.1.1แต่หากมีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะเข้าประเภทที่ 2.2.1.2 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะเข้าประเภทที่ 2.2.1.1
2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดเกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย ให้ใช้อัตราประเภทที่ 2.2.1.2
3. ประเภทที่ 2.2.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้าให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย
4. ประเภทที่ 2.2.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดและหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 2.2.1 ตามเดิมได้

2.2.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า

2.2.3.1 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อติดตั้งมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 5 A ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	135	หน่วยต่อเดือน
ค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(Ft)	43.28	สตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 2.5 การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าเมื่อติดตั้งมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 5 A ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ส่วนที่1 ค่าไฟฟ้าฐาน				
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า				
5	หน่วยแรก (หน่วยที่1-5)		0.00	บาท
10	หน่วยต่อไป (หน่วยที่6-15)	(10×1.3576)	13.58	บาท
10	หน่วยต่อไป (หน่วยที่16-25)	(10×1.5445)	15.45	บาท
10	หน่วยต่อไป (หน่วยที่26-35)	(10×1.7968)	17.97	บาท
65	หน่วยต่อไป (หน่วยที่36-100)	(65×2.1800)	141.70	บาท
50	หน่วยต่อไป (หน่วยที่101-150)	(135-100)×2.2734	79.57	บาท
250	หน่วยต่อไป (หน่วยที่151-400)	(0×2.7781)	0.00	บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่401เป็นต้นไป)		(0×2.9780)	0.00	บาท
รวม			268.26	บาท
1.2 ค่าบริการ			8.19	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน		268.260+8.19	276.45	บาท
ส่วนที่2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(Ft)				
จำนวนพลังงานไฟฟ้า×ค่าFt		135×0.4328	58.43	บาท
ส่วนที่3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%				
(ค่าไฟฟ้าฐาน+ค่าFt)×7/100		(276.45+58.43)×7/100	23.44	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า		276.45+58.43+23.44	358.32	บาท

2.2.3.2 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อติดตั้งมิเตอร์ขนาดเกิน 5 A ขึ้นไป ใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 250 หน่วยต่อเดือน

ค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(Ft) 43.28 สตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 2.6 การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าเมื่อติดตั้งมิเตอร์ขนาดเกิน 5 A ใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ส่วนที่1 ค่าไฟฟ้าฐาน			
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า			
150 หน่วยต่อไป (หน่วยที่1-150)	(150×1.8047)	270.71	บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่151-400)	(100×2.7781)	277.81	บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่401เป็นต้นไป)	(0×2.9780)	0.00	บาท
รวม		548.52	บาท
1.2 ค่าบริการ		40.90	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน	548.52+40.90	589.42	บาท
ส่วนที่2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(Ft)			
จำนวนพลังงานไฟฟ้า×ค่าFt	250×0.4328	108.20	บาท
ส่วนที่3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%			
(ค่าไฟฟ้าฐาน+ค่าFt)×7/100	(589.42+108.20)×7/100	48.83	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า	589.42+108.20+48.83	746.45	บาท

2.2.3.3 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อติดตั้งมิเตอร์แบบ TOU โดยใช้แรงดันต่ำกว่า 22 KV ติดตั้งมิเตอร์ 5 A และมีการใช้ไฟ 3 เดือนที่ผ่านมา ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา On Peak 1,000 หน่วย

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา Off Peak 2,500 หน่วย

ค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(Ft) 43.28 สตางค์ต่อหน่วย

ตารางที่ 2.7 การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าเมื่อติดตั้งมิเตอร์แบบ TOU โดยใช้แรงดันต่ำกว่า 22 KV ติดตั้งมิเตอร์ 5 A และมีการใช้ไฟ 3 เดือนที่ผ่านมา ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ส่วนที่1 ค่าไฟฟ้าฐาน			
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า	(จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × อัตราค่าไฟฟ้าช่วง On Peak)+(จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × อัตราค่าไฟฟ้าช่วง Off Peak)		
รวม	(1000×4.3093)+(2500×1.2246)	7,370.80	บาท
1.2 ค่าบริการ		57.95	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน	7370.80+57.97	7,428.75	บาท
ส่วนที่2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(Ft)			
จำนวนพลังงานไฟฟ้า×ค่าFt	3500×0.4328	1,514.80	บาท
ส่วนที่3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%			
(ค่าไฟฟ้าฐาน+ค่าFt)×7/100	(7428.75+1514.80)×7/100	626.05	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า	7428.75+1514.80+626.05	9,569.60	บาท

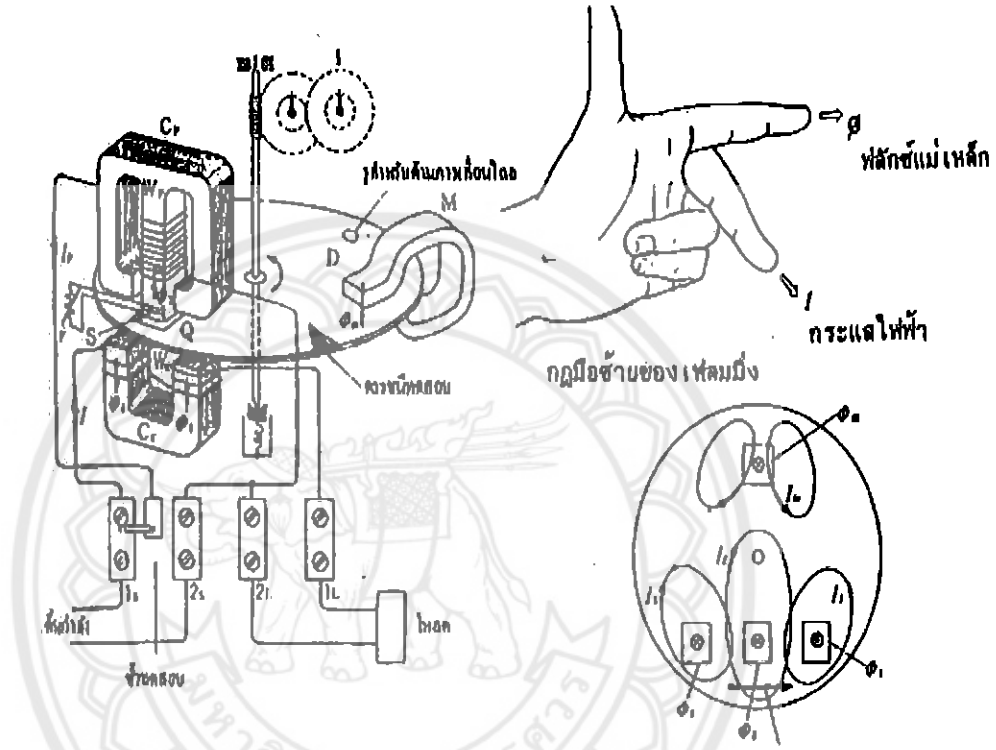
หมายเหตุ : ค่า Ft คือ ค่าความผันแปรที่ปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามภาวะต้นทุนการผลิต การส่งและการจำหน่ายที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากต้นทุนที่กำหนดไว้ในค่าไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ อัตราเงินเฟ้อ และหน่วยจำหน่ายที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่ประมาณการไว้ในการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าฐานจะคิดกับผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทในอัตราเท่ากันทุกหน่วย ค่า Ft โดยปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงทุก 4 เดือน เพื่อไม่ให้ค่าไฟฟ้าผันผวนมากเกินไป

2.3 เครื่องวัดพลังงานและกำลังไฟฟ้า

2.3.1 เครื่องวัดพลังงานและกำลังไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า (kW-h มิเตอร์) และเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (ดีมานด์มิเตอร์) กระแสสลับชนิดจานหมุน การทำงานอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า เช่นเดียวกับอินดักชั่นมอเตอร์ กล่าวคือ เมื่อเส้นแรงแม่เหล็ก (Fluxs) ที่เกิดจากขดลวดแรงดัน (Voltage coils) และขดลวดกระแส (Current coils) ผ่านไปบนแผ่นโลหะตัวนำ เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นบนแผ่นโลหะ ซึ่งทำให้เกิดกระแสวนเวียน (Eddy cerrent)

ไหลวนอยู่ในแผ่นโลหะตัวนำนั้น จะเกิดแรงบิด (Driving torque) ขึ้น ซึ่งเป็นแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกระแสวนเวียนตัดกับสนามแม่เหล็กกระแสสลับ บนแผ่นโลหะตัวนำนั้น ทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ทำให้แผ่นโลหะตัวนำเกิดการเคลื่อนที่รอบแกนหมุนแรงบิด (T_d) ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านมิเตอร์ไปยังโหลด



รูปที่ 2.3 การทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ในรูปข้างบน C_c เป็นแกนเหล็ก (Laminated iron core) สำหรับขดลวดกระแส W_c เป็นขดลวดกระแส ซึ่งพันรอบแกนเหล็กด้วยเส้นลวดขนาดใหญ่เคลือบฉนวนจำนวนรอบน้อย จนถือว่าค่าอินดัคแตนซ์ของขดลวดตัดทิ้งได้ C_p เป็นแกนเหล็กสำหรับขดลวดแรงดัน W_p เป็นขดลวดแรงดันซึ่งพันรอบแกนเหล็กด้วยเส้นลวดขนาดเล็กเคลือบฉนวนจำนวนรอบมากพอที่จะถือว่าเป็นอินดัคแตนซ์บริสุทธิ์ เมื่อกระแสโหลด I ไหลผ่าน W_c จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_1 มีค่าเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ I และ ฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_1 ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นไซน์เวฟจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_1 บนจานโลหะตัวนำ ซึ่งจะเกิดกระแสวนเวียน I_1 มีค่าเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ I และ V_1 ล้าหลัง I และ ϕ_1 อยู่ 90 องศา ทั้งนี้เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Induced emf.) จะล้าหลังฟลักซ์ที่ทำให้มันเกิดอยู่ 90 องศา W_p ซึ่งมีจำนวนรอบมากจะมีค่าอิมพิ

แดนซ์สูง กระแสและฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_2 ที่เกิดจาก W_p จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแรงดันของโหลด V และล้าหลัง V อยู่ 90 องศา ฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_2 นี้ จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_2 ซึ่งทำให้เกิดกระแสวนเวียน I_2 ในแผ่นโลหะและล้าหลัง ϕ_2 อยู่ 90 องศา

2.3.2 เครื่องวัดพลังงานและกำลังไฟฟ้าดิจิตอล

2.3.2.1 ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ

ในการประมวลผลหรือวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิตอล หัวใจสำคัญชุดแรกก็คือวงจรการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ค่าของสัญญาณดิจิตอลแต่ละค่า จะได้มาจากการแปลงสัญญาณของวงจรเอทูดี ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการสุ่มสัญญาณอนาล็อก ณ ที่เวลาใดเวลาหนึ่ง ที่วงจรเอทูดีเริ่มต้นทำการแปลงสัญญาณ อัตราการสุ่มนี้จะมีผลต่อความถูกต้องระหว่างสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล ถ้าอัตราการสุ่มสัญญาณมีค่าสูง จะทำให้สัญญาณดิจิตอลที่ได้มีค่าผิดเพี้ยนจากค่าจริงน้อยแต่ถ้าอัตราการสุ่มของสัญญาณมีค่าต่ำ ก็จะทำให้สัญญาณดิจิตอลที่ได้มีความผิดเพี้ยนมาก ทำให้การประมวลผลหรือวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าได้ไม่ถูกต้องตามความจริง

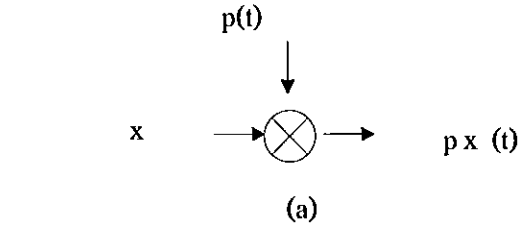
(ก) อัตราการสุ่มสัญญาณของไนควิสท์

โดยปกติสัญญาณไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนไปตามเวลา คือ เป็นฟังก์ชั่นของเวลา สัญญาณไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

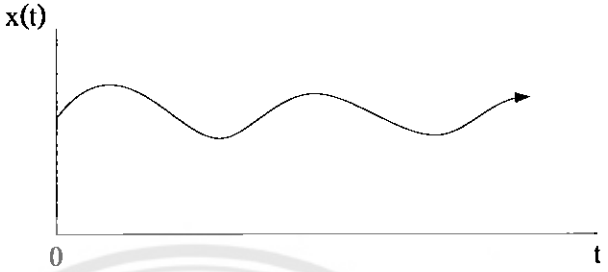
1. สัญญาณต่อเนื่อง คือ สัญญาณที่มีค่าต่อเนื่องตลอดเวลาโดยที่สัญญาณนี้จะถูกเรียกว่าสัญญาณ อนาล็อก

2. สัญญาณไม่ต่อเนื่อง คือ สัญญาณที่มีค่าเป็นช่วง ๆ สัญญาณจะมีค่าเฉพาะบางช่วงเวลาเท่านั้น โดยเวลาจะมีค่าไม่ต่อเนื่อง ปกติแล้วสัญญาณ Discrete จะอยู่ในรูปของลำดับของตัวเลข

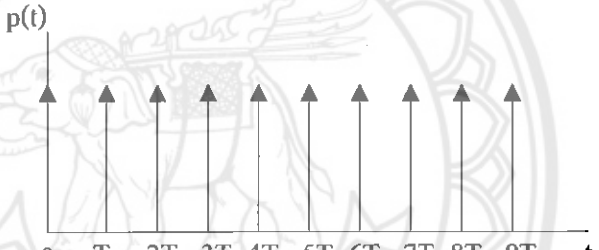
ลักษณะของการสุ่มสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.4 สัญญาณ x(t) จะเป็นสัญญาณอนาล็อกทั่วไป สัญญาณ p(t) เป็นสัญญาณอินพัลส์ เป็นช่วงเปรียบเสมือนสัญญาณพาหะ มีช่วงเวลาระหว่างอินพัลส์ เท่ากับ T ถ้านำสัญญาณทั้งสองมามอดูเลตกัน โดยให้ขนาดของสัญญาณถูกจำกัดด้วยขนาดของสัญญาณ x(t) จะได้สัญญาณ $x_p(t)$ ตามรูปที่ 2.5 สัญญาณอินพัลส์ ที่ได้ใหม่นี้จะมีขนาดตามสัญญาณอนาล็อก x(t) เป็นการพิจารณาในโดเมนของเวลา สัญญาณที่กล่าวมานี้ ถ้าพิจารณาในโดเมนของความถี่โดยวิธี Fourier Transform จะได้สัญญาณตามรูปที่ 2.6



(a)

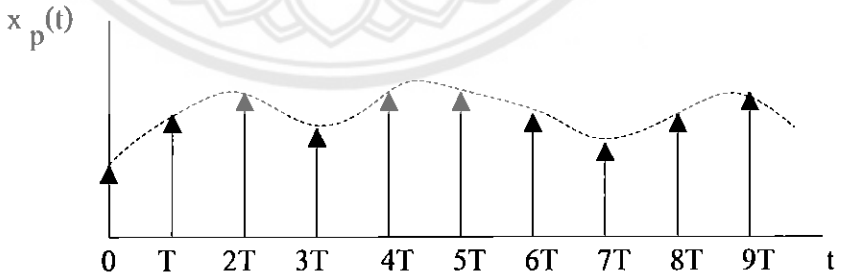


(b)



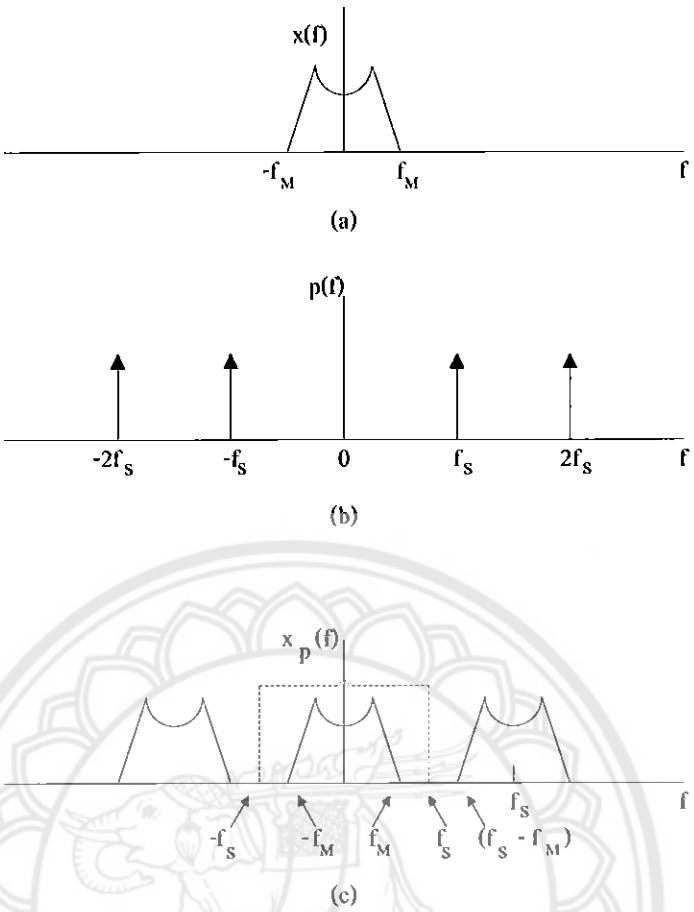
(c)

รูปที่ 2.4 แสดงการสุ่มสัญญาณ x(t)



(d)

รูปที่ 2.5 สัญญาณมอดูเลตระหว่าง x(t) กับ p(t)

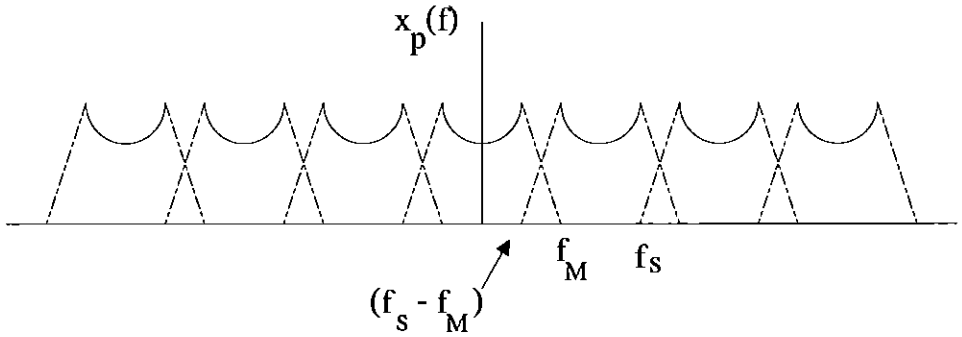


รูปที่ 2.6 Fourier Transform ของสัญญาณ

สัญญาณ X(f) จะแทนสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณอนาล็อก x(t) จะเห็นได้ว่า X(f) = 0 ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ f_M นั่นคือสัญญาณ x(t) จะไม่มีส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ f_M สัญญาณ p(f) จะแทนสเปกตรัมของสัญญาณอินพัลส์ p(t) โดยมีระยะห่างเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพัลส์ p(t) ซึ่งความถี่ของสัญญาณอินพัลส์ก็คือความถี่ในการสุ่มสัญญาณนั่นเอง ใช้สัญลักษณ์ f_s (Sampling frequency) สัญญาณ $X_p(f)$ แทนสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้มอดูเลตแล้ว $x_p(t)$ โดยจะมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณ X(f) แต่จะมีจำนวนหลาย ๆ รูปตามจำนวนของสัญญาณอินพัลส์โดยมีระยะห่างเท่ากับความถี่ในการสุ่มสัญญาณ (f_s)

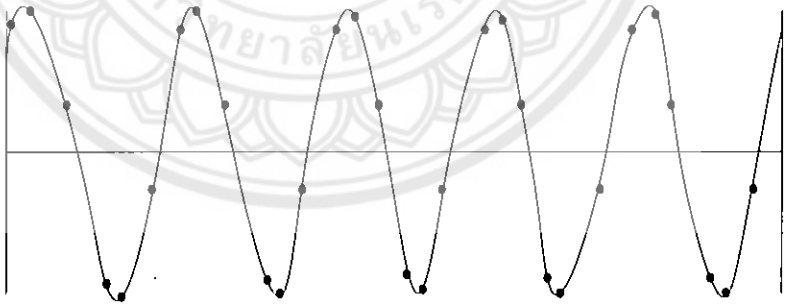
การรวบรวมค่าสเปกตรัมทั้งหมดในโดเมนความถี่ คือ การคืนสภาพของสัญญาณอนาล็อก x(t) จากสัญญาณที่ได้สุ่มมา เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณคืนสภาพกลับมาได้อย่างถูกต้อง ความถี่ คัทออฟของวงจรกรองความถี่ต่ำแสดงเป็นเส้นประในรูปที่ 2.6 จะต้องมีค่ามากกว่าความถี่ f_M เพื่อที่จะไม่ให้สเปกตรัมของสัญญาณเหลื่อมล้ำกัน ความถี่ในการสุ่มสัญญาณ f_s จะต้องมีค่า

$$f_s - f_M >= f_M \text{ หรือ } f_s >= 2f_M \quad (2.5)$$

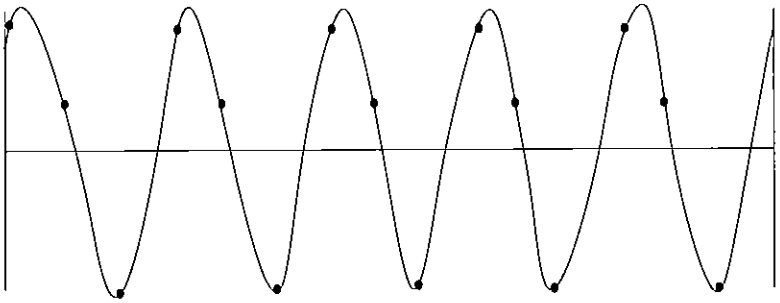


รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของสัญญาณที่มีค่า $f_s - f_M < f_M$

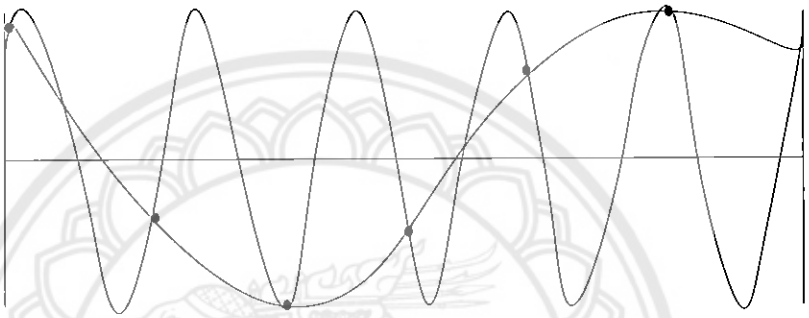
เมื่ออัตราการสุ่มสัญญาณมีความถี่น้อยกว่า 2 เท่าของสัญญาณที่จะวัด ($f_s < 2f_M$) แสดงว่า $f_s < f_M$ มีค่าน้อยกว่า f_M สเปกตรัมของสัญญาณจะเกิดการเหลื่อมล้ำกัน แสดงดังรูปที่ 2.7 ทำให้การคืนสภาพของสัญญาณอนาล็อก x(t) จากสัญญาณที่ได้สุ่มมานั้นมีค่าผิดพลาดขึ้น ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการสุ่มสัญญาณมีความถี่น้อยกว่า 2 เท่าของสัญญาณที่ต้องการวัดนี้ เรียกว่า Aliasing หรือ Frequency Aliasing ลักษณะของการเกิด Aliasing สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.8



ก) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 6 เท่าของสัญญาณไซน์



ข) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 3 เท่าของสัญญาณไซน์



ค) ความถี่การสุ่มสัญญาณเท่ากับ 1.2 เท่าของสัญญาณไซน์

รูปที่ 2.8 การสุ่มสัญญาณไซน์ด้วยความถี่ค่าต่าง ๆ กัน

จากรูป ความถี่ในการสุ่มสัญญาณที่มีค่ามากกว่า 2 เท่า ของสัญญาณความถี่ไซน์ จะทำให้สัญญาณที่ได้จากการสุ่มนี้มีความถี่เท่าเดิม และถ้าความถี่ในการสุ่มสัญญาณยิ่งมีค่ามาก ความผิดเพี้ยนของสัญญาณยิ่งมีค่าน้อยลงจากรูปที่ 2.8 ค ความถี่ในการสุ่มสัญญาณมีค่า 1.2 เท่าของสัญญาณไซน์ (น้อยกว่า 2 เท่า) มีผลทำให้เกิด Aliasing $f_s = 2f_M$ เรียกความถี่นี้ว่า ความถี่ไนควิสท์ (Nyquist frequency) หรืออัตราการสุ่มของไนควิสท์ (Nyquist Sampling Rated) ในการป้องกันไม่ให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลสัญญาณผิดพลาดอันเนื่องมาจาก Aliasing จึงมีการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำให้กับสัญญาณที่ต้องการจะวัด เรียกวงจรนี้ว่า Anti-Aliasing Filter โดยให้มีจุดคัทออฟต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความถี่ที่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ โดยสรุปแล้วทฤษฎีในการสุ่มสัญญาณจะต้องมีการจำกัดแถบความถี่ของสัญญาณ และความถี่ในการสุ่มสัญญาณจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัด

(ข) การสุ่มสัญญาณแบบสม่ำเสมอ

หลักการส่วนใหญ่ทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีประมวลผลสัญญาณดิจิตอล จะสมมติให้อัตราการสุ่มสัญญาณมีค่าสม่ำเสมอ (Uniformly Sampling or Periodic Sampling) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ T ในทางปฏิบัติการแปลงสัญญาณ Continuous-Time ให้เป็น Discrete-Time จะใช้ไอซีเอ

ทูดี (Analog to Digital Converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป จากรูปที่ 2.4 สัญญาณ p(t) คือสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมให้เอทูดีเริ่มต้นแปลงสัญญาณ หรือสัญญาณ Start of Conversion ของเอทูดีนั่นเองสัญญาณ p(t) ได้มาจากระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่ง เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีการทำงานเป็นแบบวนลูป ดังนั้นช่วงเวลาในการสุ่ม T จึงมีค่าเท่ากันตลอด ทำให้สามารถประมวลสัญญาณได้ตามหลักการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลทั่วไป แต่ในกรณีที่ค่า T มีค่าไม่เท่ากันตลอดเนื่องมาจากการเขียนโปรแกรมควบคุมไม่ดีจะทำให้การสุ่มสัญญาณเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ (Nonuniformly Sampled Signal) ลำดับข้อมูลดิจิตอลที่ได้จึงไม่สามารถนำมาคำนวณตามหลักการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลทั่วไป หรือ Fourier Transform ได้

2.3.2.2 คุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ระบบไมโครโปรเซสเซอร์หรือคอมพิวเตอร์มีการทำงานในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอล ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไปจะเป็นสัญญาณอนาล็อก เช่น แรงดัน กระแส อุณหภูมิความดัน และอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นการนำระบบคอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์สัญญาณอนาล็อกจึงต้องมีการแปลงรูปสัญญาณให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตอลเสียก่อน วงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณนี้เรียกว่า วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter) หรือวงจรเอทูดี วงจรดังกล่าวถูกผลิตขึ้นมาเป็นชิพไอซีเรียกว่า ไอซีเอทูดี (A/D integrated Circuit)

(ก) ลักษณะทั่ว ๆ ไปของวงจรเอทูดี

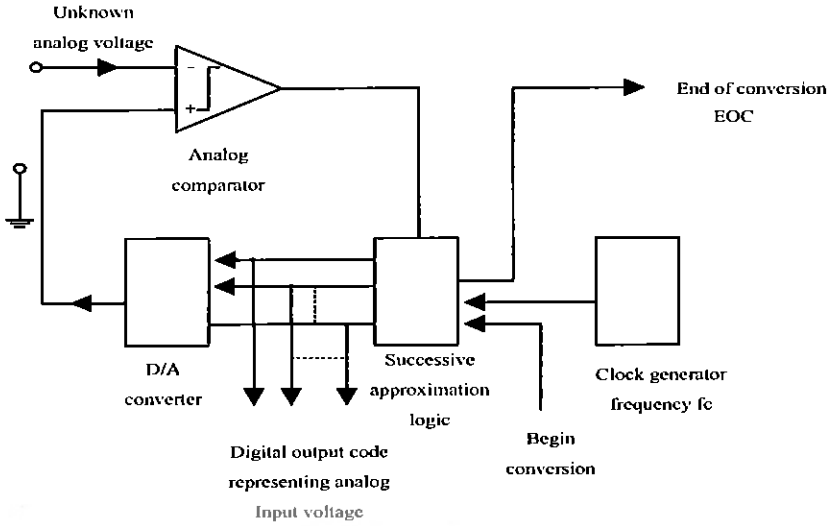
หลักการของวงจรเอทูดี แบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

- Integrating A/D Converter
- Successive Approximation A/D Converter
- Flash A/D Converter

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่เลือกนำมาใช้ในการแปลงสัญญาณในการหาค่ากำลังไฟฟ้านี้คือ เป็นแบบ Successive Approximation A/D Converter เบอร์ 0820 ซึ่งได้รับความนิยมมากในการนำมาทำเป็นวงจร แปลงสัญญาณในการแปลงข้อมูลขนาด 8 ถึง 16 บิต โดยจะมีหลักการทำงานดังนี้

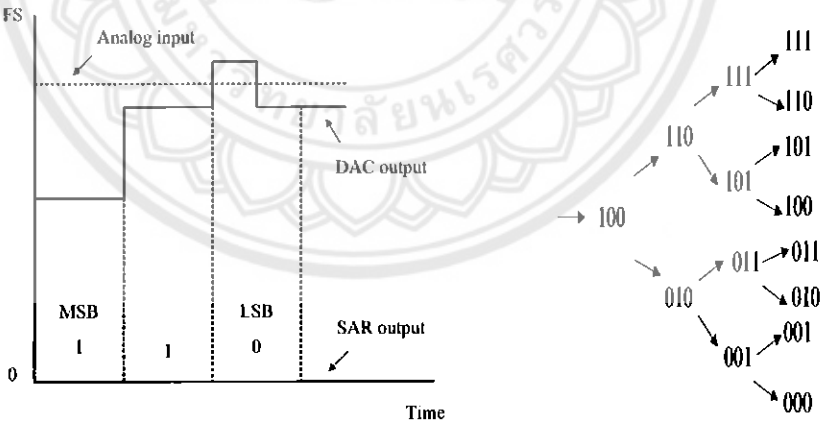
(ข) Successive Approximation A/D Converter

เป็นวิธีการซึ่งใช้เวลาในการแปลงสัญญาณคงที่ เวลาในการแปลงสัญญาณไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต หัวใจสำคัญของการทำงานอยู่ที่ชุด Successive Approximation Register (SAR) หรือ Successive Approximation Logic (SAL) ชุด SAR นี้ จะทำหน้าที่กำหนดค่าแรงดันอินพุตเป็นดิจิตอล แล้วส่งค่าให้ D/A Converter เพื่อแปลงสัญญาณกลับเป็นอนาล็อกนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต แล้วนำผลการเปรียบเทียบที่ได้ส่งกลับมาให้ SAR เพื่อกำหนดค่าดิจิตอลใหม่ต่อไป ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมวงจร Successive Approximation A/D Converter

โดยประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก ซึ่งจะแปลงค่าแรงดันเปรียบเทียบ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต โดยค่าที่เปรียบเทียบแต่ละครั้งจะเป็นเอาต์พุตของค่าดิจิตอลแต่ละบิตจากบิตสูงไปบิตต่ำ โดยจะมีพัลส์จากสัญญาณนาฬิกาคอยสั่งให้เปรียบเทียบทีละนิด ถ้าตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลมี 8 บิต ก็จะต้องการพัลส์ 8 ลูก เพื่อทำการเปรียบเทียบค่านั้น ๆ



รูปที่ 2.10 แสดงตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่า

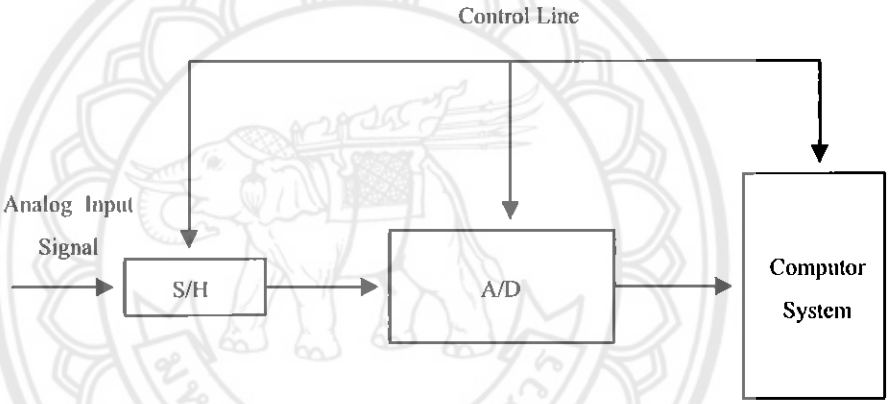
จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการทำงานของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 3 บิต โดยที่พัลส์ลูกแรก ค่าจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก จะมีค่าเท่ากับค่ากลางของแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference คือ 100) ซึ่งน้อยกว่าอินพุท ค่าในรีจิสเตอร์ภายในจึงเป็น "1" เมื่อมีพัลส์ลูกที่ 2 ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก จะเพิ่มค่าขึ้นเป็น 110 ซึ่งน้อยกว่าอินพุตอยู่อีก ค่าบิตที่ 2 จึงเป็น "1" เมื่อมีพัลส์ลูกที่ 3 ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก จะเพิ่มค่าเป็น

111 มากกว่าอินพุท ค่าบิตที่ 3 จึงเป็น "0" สังเกตว่า ความจริงสัญญาณอินพุตจะมีค่ามากกว่า 110 แต่น้อยกว่า 111 ซึ่งตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก A ขนาด 3 บิต มีความละเอียดไม่พอที่จะเปรียบเทียบได้ ต้องทำการเพิ่มขนาดบิตของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก จึงจะได้เอาท์พุทที่มีค่าใกล้เคียงอินพุตขึ้น

ข้อดีของวงจรแบบนี้คือ ความละเอียดของวงจรขึ้นกับบิต ถ้าต้องการให้เอาท์พุทละเอียดมากก็เพิ่มขนาดของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล และเวลาที่ใช้ในการแปลงคงที่ ทุก ๆ ค่า

(ค) ความเร็วในการแปลงสัญญาณ

อัตราการสุ่มสัญญาณแต่ละครั้ง สามารถคำนวณได้จากส่วนกลับของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงสัญญาณต่อหนึ่งครั้ง องค์ประกอบหลักของด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลให้กับคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ขั้นตอนในการสุ่มสัญญาณแต่ละครั้งจะประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งให้กับวงจร Sample & Hold เพื่อทำหน้าที่คงค่าสัญญาณให้กับเอทูดีและส่งคำสั่งเริ่มต้นแปลงสัญญาณให้กับเอทูดี

2. เมื่อเอทูดีแปลงสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จะส่งสัญญาณไปขัดจังหวะคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งให้รู้ว่ามีข้อมูลใหม่มาแล้ว

3. คอมพิวเตอร์ทำการอ่านและเก็บข้อมูลที่ได้จากเอทูดีไว้ในหน่วยความจำ

ในขั้นตอนที่ 2 ถ้าใช้วิธีอินเทอร์รัพท์ ผู้เขียนโปรแกรมต้องเขียนโปรแกรมใน Interrupt Service Routine ให้คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลจากเอทูดี แต่ถ้าใช้แบบหน่วงเวลาก็ไม่ต้องใช้สัญญาณอินเทอร์รัพท์ ผู้เขียนโปรแกรมต้องเขียนโปรแกรมหน่วงเวลาเพื่อรอให้เอทูดีแปลงสัญญาณเสร็จเรียบร้อยเสียก่อน จึงจะไปอ่านข้อมูลจากเอทูดีได้ มิฉะนั้นแล้วข้อมูลที่อ่านได้จะผิดพลาดจากความเป็นจริง จากขั้นตอนในการสุ่มสัญญาณ จะเห็นว่าเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงสัญญาณหนึ่ง

ครั้งนั้น จะประกอบด้วยเวลาที่วงจร Sample & Hold คงค่าสัญญาณอินพุต แบ่งเป็นช่วง Aequisition Time กับช่วง Setting Time เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณของวงจรเอทูดี และเวลาที่คอมพิวเตอร์ทำคำสั่ง OUT เพื่อควบคุมวงจร Sample & Hold และเอทูดีให้ทำคำสั่ง IN เพื่ออ่านข้อมูล แล้วเก็บค่าในการแปลงสัญญาณมีค่าดังต่อไปนี้

สมมติให้ค่าเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณมีค่าดังต่อไปนี้

S/H Acquisition Time.....6

S/H Output Setting Time.....1

A/D Converter Time.....110

คำสั่ง IN, OUT และคำสั่งอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง.....40

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงสัญญาณต่อหนึ่งครั้งคือ 6 + 1 + 110 + 40 = 157 เพราะฉะนั้น อัตราการสุ่มสัญญาณสูงที่สุดที่สามารถทำได้คือ 6369 ครั้ง/วินาที

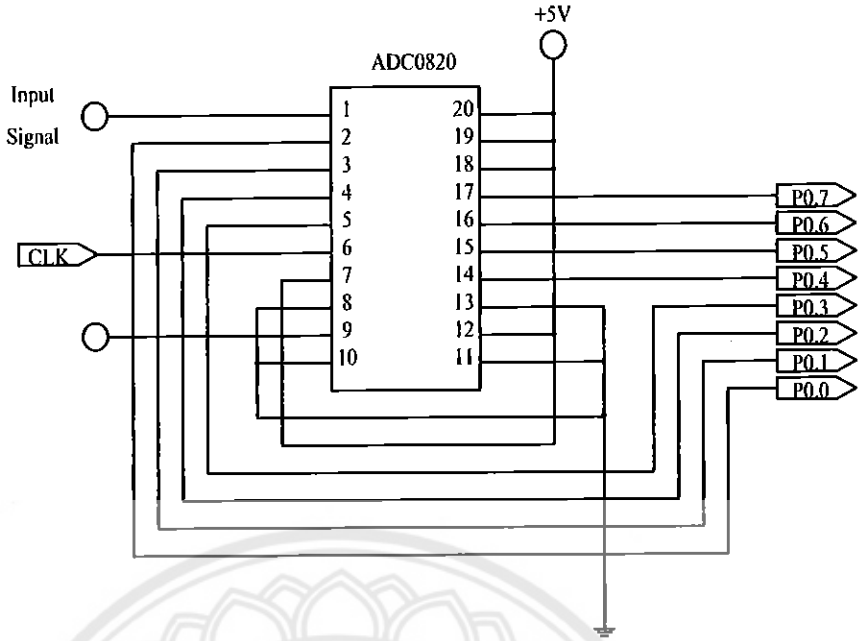
จะเห็นว่าอัตราการสุ่มสัญญาณนั้นขึ้นอยู่กับเวลาในการแปลงสัญญาณของเอทูดี และความเร็วในการทำงานของคอมพิวเตอร์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการที่จะเพิ่มอัตราการสุ่มสัญญาณ จึงสามารถกระทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ ลดค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของเอทูดี ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วในการแปลงสัญญาณนั่นเอง วิธีที่ 2 คือ เลือกคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการทำงานสูง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงวิธีแรกเท่านั้น โดยเลือกใช้ไอซีเอทูดีแบบ Successive Approximation Converter ขนาด 8 บิต เบอร์ AD7574 มีค่า Conversion Time ต่ำสุด 15 ไมโครเซค จากหัวข้อทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ ค่า Conversion Time ของเอทูดีประเภทนี้ขึ้นอยู่กับคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ และจำนวนบิตของเอทูดี

$$Tc = n \times \frac{1}{f_{CLK}} \qquad (2.6)$$

ดังนั้น ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ใช้กับเอทูดีขนาด 8 บิต ความเร็ว 15 ไมโครเซค จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 533.33 kHz

(ง) การต่อใช้งานของวงจรแปลงสัญญาณ

ในส่วนวงจร ADC นี้จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อก (กำลังไฟฟ้า) ที่เข้ามาด้านอินพุตให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป โดยวงจรนี้ได้ใช้ IC ADC0820 (8-bit High speed A/D converter) ซึ่งเป็น ADC ชนิด Successive approximation แบบ 8 บิต ที่มีการใช้เวลาในการแปลงสัญญาณ (conversion time) 2.5 ไมโครเซค การต่อวงจร ADC นี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC)

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์คืออะไร

ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) มาจากคำสองคำ คำหนึ่งคือไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็กและคำว่า คอนโทรลเลอร์ (controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

2.4.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆได้ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู(CPU:Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ(Memory)สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก(Program Memory)เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะคือข้อมูลใดๆที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล(Data Memory)ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม(RAM)ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม

ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็นอีอีพรอม(EEPROM:Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่ออุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต(Port) มี 2 ลักษณะคือพอร์ตอินพุต(Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต(Output Port)ส่วนนี้ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปยังพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส(BUS)คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างซีพียูหน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล(Data Bus),บัสแอดเดรส(Address Bus) และบัสควบคุม(Control Bus) บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูล เพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถการประมวลผลของซีพียู สำหรับในงานทั่วๆไป ขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิตและในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16,32และ64 บิต บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียูต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมากยิ่งมากเท่าไรก็จะเป็นการแสดงขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อได้ โดยสามารถคำนวณได้จาก จำนวนแอดเดรสของหน่วยความจำเท่ากับสองยกกำลังn (n คือจำนวนของเส้นทาง) ยกตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้สองยกกำลังสิบเท่ากับ1,024 ตำแหน่ง หากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริงๆจะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลว่าเป็นเท่าใด หากเป็น 8 บิต ความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้นจะเท่ากับ 8×1024 เท่ากับ 8,192 บิต และ 1 กิโลไบต์เท่ากับ 1,024 ไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าว จึงมีความจุของหน่วยความจำเท่ากับ 8,192 บิตหรือ1,024 ไบต์หรือ 1 กิโลไบต์ ส่วนบัสควบคุมเป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ต สำหรับสายสัญญาณเลือกควบคุมหลักได้แก่ สายสัญญาณเลือกอ่าน-เขียนหน่วยความจำข้อมูลกับพอร์ต
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกานับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.5 ทฤษฎีการใช้จอแสดงผล

2.5.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุม LCD

ในการใช้งาน LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน โดยส่วนต่าง ๆ ภายในของชิพควบคุม LCD ที่ใช้ใน LCD แบบอักขระประกอบด้วย

บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data register : DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display data RAM : DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR โดยตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look-up table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอมและแรมเก็บตัวอักษรเพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รอมเก็บตัวอักษร (Character generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำรอมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร (Character generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟลก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณ์ทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมจะต้องตรวจสอบสถานะของแฟลก BUSY นี้เสียก่อน

2.5.2 การทำงานของขาต่างๆของ LCD

V_{ss} (ขา 1) : ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง + 5 โวลต์

V_O (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผล ในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น "0" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น "1" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น "0" เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6) : เป็นขาอีนาเบิลให้ LCD ทำงาน

D0 – D7 (ขา 7 – 14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

2.5.3 คำสั่งสำหรับควบคุม LCD

- คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear display) มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่างเข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด

- คำสั่ง Return home ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น "1" เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผลแต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือข้อมูลคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

- คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode set) มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูป

ตารางที่ 2.8 รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น "1" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่อักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่หากบิตนี้เป็น "0" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น "1" แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น "0" แอดเดรสของ DDRAM จะลดลง

- คำสั่งควบคุมการแสดงผล มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูป

ตารางที่ 2.9 รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการแสดงผล

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปร.
ก3750
2550
เลขหมู่ ...

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น "0" จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น "1" ถ้ากำหนดให้เป็น "0" จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์ หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น "1" เคอร์เซอร์จะกระพริบ

- คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูป

ตารางที่ 2.10 รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ถ้า S/C เป็น "0" และ R/L เป็น "0" จะเป็นการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย

ถ้า S/C เป็น "0" และ R/L เป็น "1" จะเป็นการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา

ถ้า S/C เป็น "1" และ R/L เป็น "0" จะเป็นการเลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย

ถ้า S/C เป็น "1" และ R/L เป็น "1" จะเป็นการเลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา

- คำสั่งกำหนดฟังก์ชั่นการทำงาน มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูป

ตารางที่ 2.11 รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งกำหนดฟังก์ชั่นการทำงาน

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น "0" จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็นแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น "0" จะแสดงผล 1 บรรทัด แต่ถ้าเป็น "1" จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงผลได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็ให้กำหนดบิต N นี้เป็น "1"

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรในการแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น "0" จะเป็นการแสดงผลแบบ 5 x 7 จุด และถ้าเป็น "1" จะเป็นการแสดงผลแบบ 5 x 10 จุด

- คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น "0" บิต 6 เป็น "1" ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM โดยจะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ที่ 00H-3FH

- คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น "1" และข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H – 0FFH

- คำสั่งอ่านแฟลก BUSY และแอดเดรส มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูป

ตารางที่ 2.12 รายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งอ่านแฟลก BUSY และแอดเดรส

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
BF	A	A	A	A	A	A	A

แอดเดรสไบต์สูง ← → แอดเดรสไบต์ต่ำ →

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟลก BUSY (BF) โดยแฟลกนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น "0" แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น "1" แสดงว่าขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล

2.5.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่ LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุม LCD ให้แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (Instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่ LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (Data) ที่ต้องการแสดงผล เนื่องจากบัสข้อมูลของ LCD มี 8 เส้น คือ D0 – D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูลดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น "1" เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้จะเป็นข้อมูลปกติไม่ใช่ข้อมูลคำสั่ง ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจะต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น "1" ข้อมูลขนาด 8 บิต ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

2.5.5 การต่อใช้งาน LCD

ในที่นี้จะใช้ส่วนแสดงผลของค่าใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปนั้น จะใช้การแสดงผลออกทางจอ LCD 2 บรรทัดแบบ 16 ขา โดยบรรทัดบนจะแสดงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในหน่วย

กิโลวัตต์ต่อ ชั่วโมง และบรรทัดล่างจะแสดงค่าใช้ไฟฟ้าซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้วโดยจะแสดงออกมาในหน่วยบาท โดยจอ LCD จะถูกตั้งให้รับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพียง 4 บิต ซึ่งมีลักษณะในการต่อใช้งานดังนี้

<u>สมการที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์</u>

ตารางที่ 2.13 สมการที่ใช้ในการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์

บ้านอยู่อาศัย		
1.1 อัตราปกติ		
1.1.1 ไม่เกิน 150 หน่วย / เดือน		
0-5	kWh.	8.19 + 0
6-15	kWh.	8.19 + 1.3576E – 6.7880
16-25	kWh.	8.19 + 1.5445E – 9.5915
26-35	kWh.	8.19 + 1.7968E – 15.8990
36-100	kWh.	8.19 + 2.1800E – 29.3110
101-150	kWh.	8.19 + 2.2734E – 38.6510
151-400	kWh.	8.19 + 2.7781E – 114.3560
เกิน 400	kWh.	8.19 + 2.9780E – 194.3160
1.1.2 เกิน 150 หน่วย / เดือน		
0-150	kWh	40.90+1.8047E
151-400	kWh	40.90+2.7781E-146.01
เกิน400	kWh	40.90+2.9780E-225.97
1.2 TOU		
22-33	KV	228.17+3.6246Ep+1.1914Eo
<22	KV	57.91+4.3093Ep+1.2246Eo

เมื่อ E = หน่วยรวม

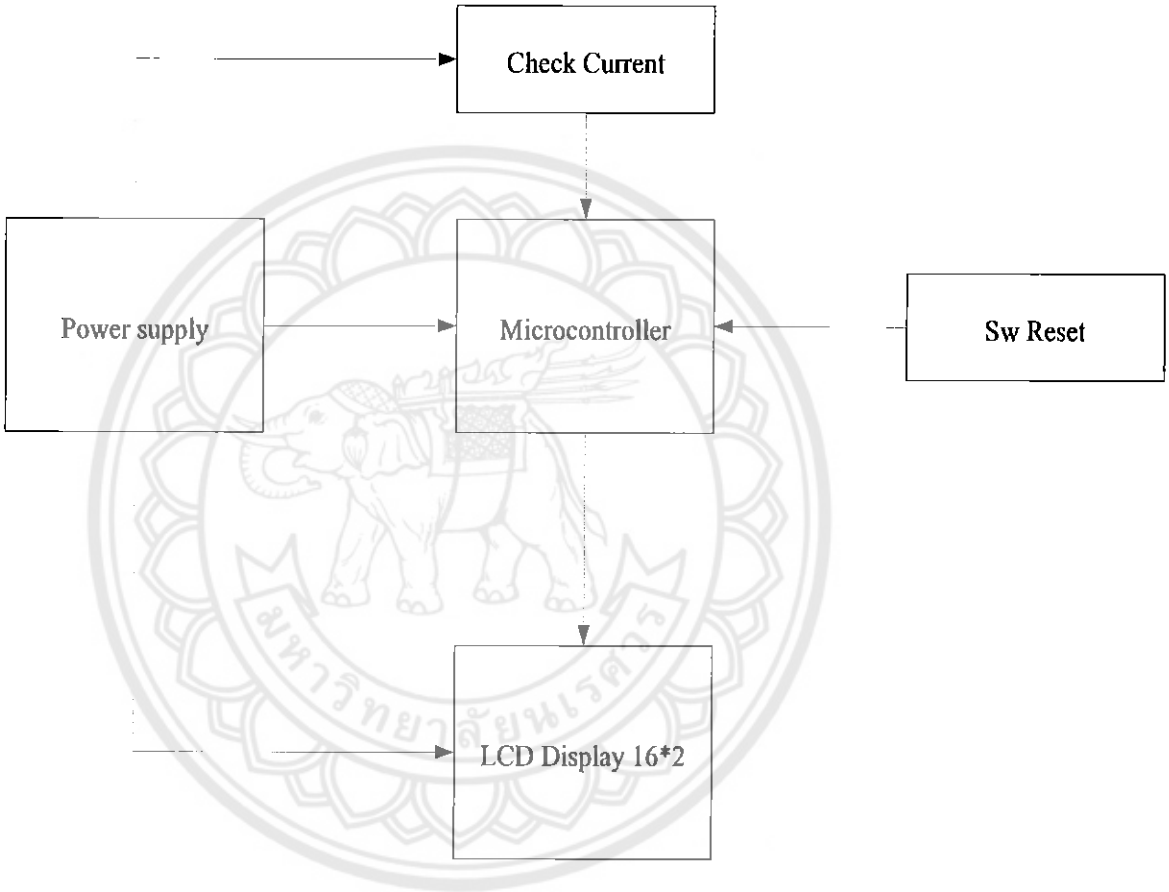
Ep = หน่วยช่วง Peak

Eo = หน่วยช่วง Off Peak

บทที่ 3

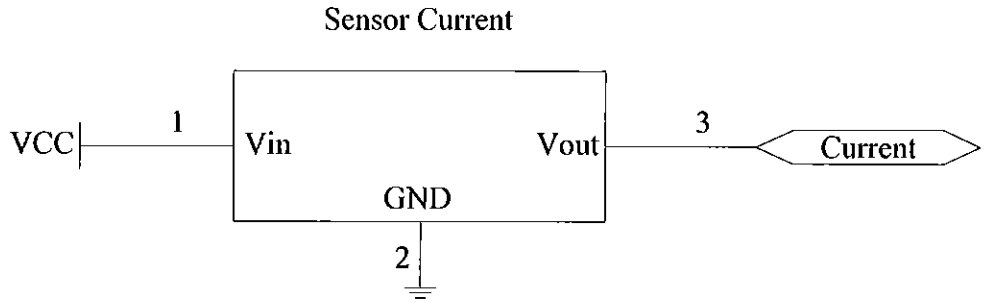
การออกแบบ

3.1 ขั้นตอนการทำงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานกิโลวัตต์-เอาว์ มิเตอร์

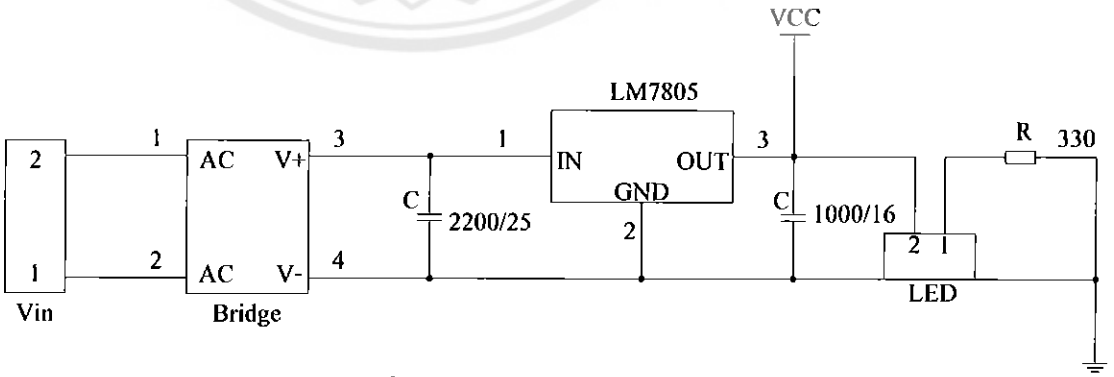
3.2 วงจรกระแส



รูปที่ 3.2 วงจรเช็คกระแส

จากวงจรเช็คกระแสด้านบนจะใช้ IC Current Transformer เบอร์ ACS754 ซึ่งคุณสมบัติของ IC ตัวนี้สามารถรองรับกระแสได้ถึง 50 Amp และรองรับ โวลต์เตจที่วิ่งผ่านตัวถังได้ถึง 500V โดยการเชื่อมต่อโหลดที่ต้องการจะวัดเข้ากับตัวถัง หลักการทำงานของ IC Current Transformer คือมีกระแสไหลผ่าน จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็กและเกิดการเหนี่ยวนำ และมีการขยายสัญญาณออกมาเป็น Analog ระดับสัญญาณตั้งแต่ -5 ถึง 5 volt ซึ่งสามารถส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการเช็คค่าที่กระแสไหลผ่านได้ หากกระแสไหลผ่านมากก็จะทำให้ Voltages ที่ออกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์มากขึ้นเช่นกัน หลังจากนั้นทำการวัดด้วย Clamp meter เพื่อหาค่า กระแสที่อ่านได้จริงๆ กับค่าที่ออกมาจาก IC Currents Transformer และทำการคำนวณหาค่ากระแสที่ถูกต้องต่อไป

3.3 วงจร Power supply

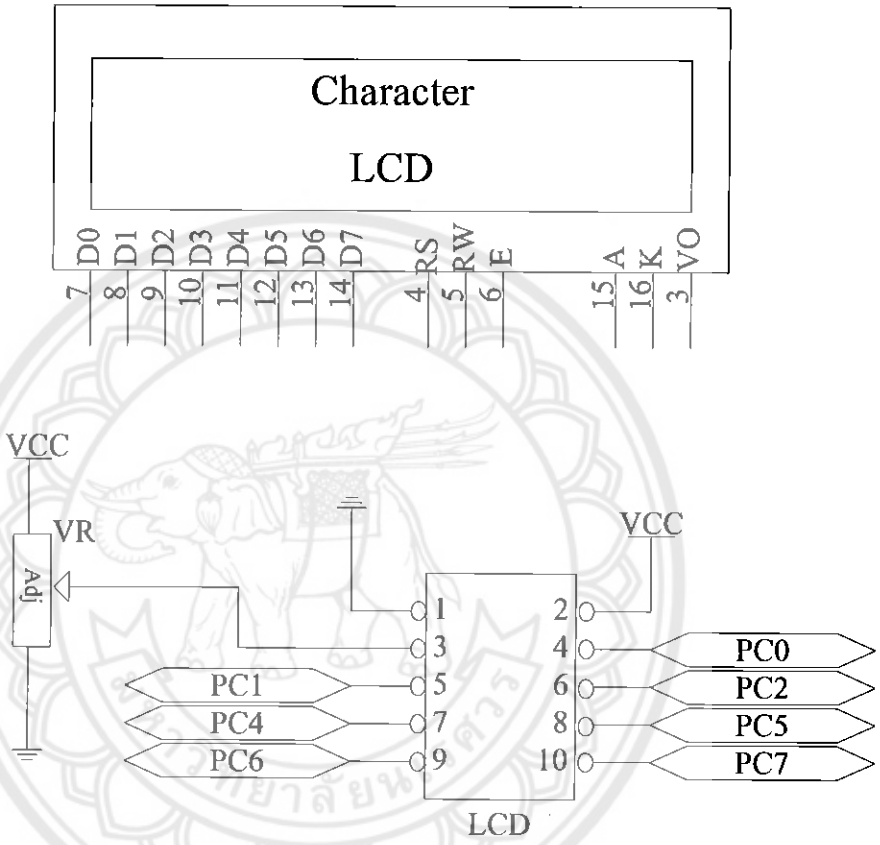


รูปที่ 3.3 วงจร Power supply

หลักการทำงานของวงจร เมื่อแรงดันไฟฟ้า 220VAC ผ่านหม้อแปลงเหลือ 12VAC จากนั้นเข้ามาสู่ Bridge แปลงไฟ AC 12 V ให้เป็นไฟ DC 17 V เพื่อทำการเลี้ยงวงจร โดยมี C

2200/25 V ทำหน้าที่กรองกระแสและปรับระดับแรงดันให้เรียบขึ้น จากนั้นทำการลดระดับแรงดันให้เหลือ 5 VDC เพื่อส่งเข้าไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์, LCD และ IC Current Transformer ต่อไป

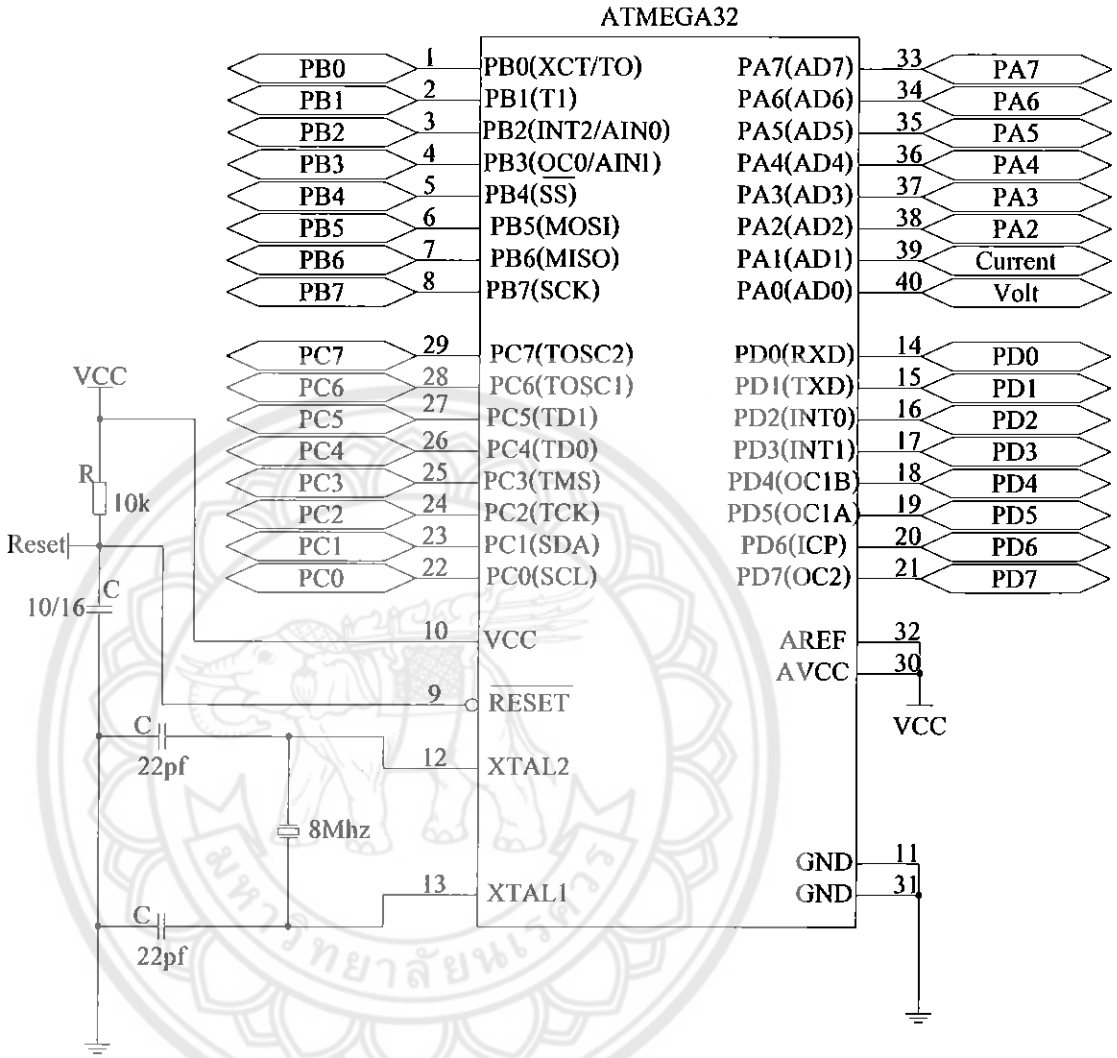
3.4 วงจร LCD



รูปที่ 3.4 การต่อใช้งานจอแสดงผล

จากรูปวงจรด้านบน เป็นวงจรแสดงผลผ่าน LCD ขา 1 ต่อเข้ากับ GND ขา 2 ต่อเข้ากับ VCC และขา 3 เป็นขาปรับความสว่างของ LCD ส่วนขา 4 5 6 11 12 13 14 เป็นขา Control ที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการเขียนตัวอักษรบนตัว LCD นั้นเอง

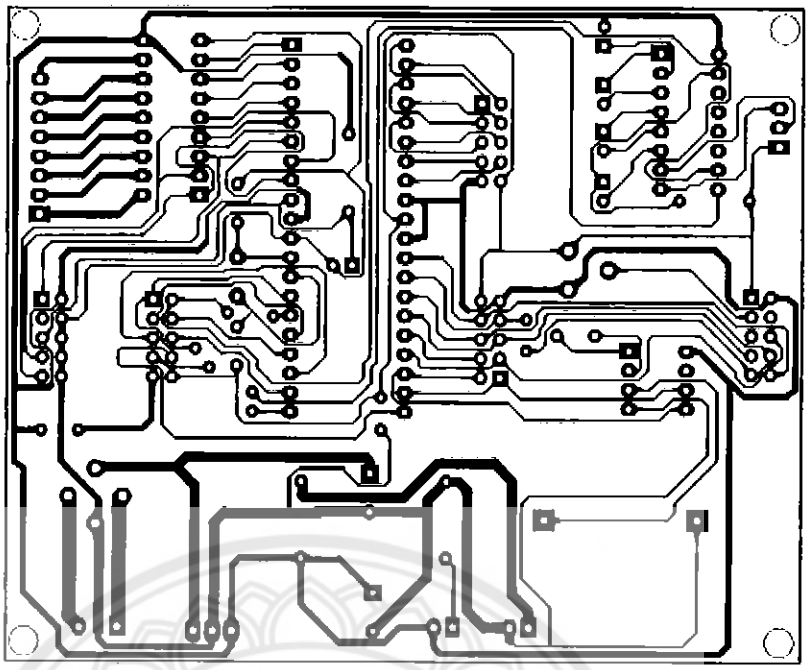
3.5 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์



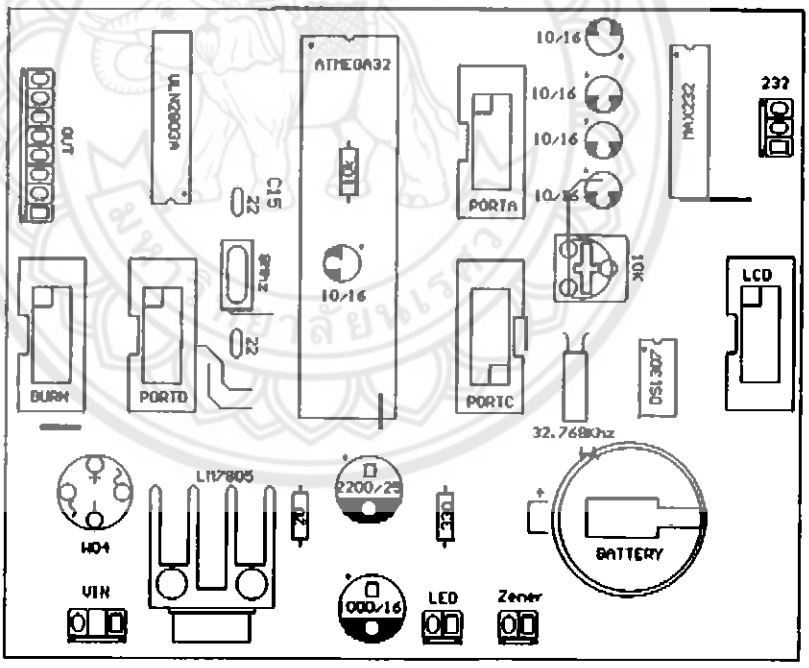
รูปที่ 3.5 การต่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปเป็นการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับวงจรพื้นฐาน ดังนี้

- วงจร รีเซ็ต ประกอบด้วย R 10k และ C 10/16V ต่อกับขา 9 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการ Reset ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้พร้อมใช้งานทุกครั้งหลังจากที่เปิดไฟเข้าเครื่อง
- วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา ใช้ crytal ขนาด 8 MHz เพื่อทำการสร้างสัญญาณนาฬิกาส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกานั้นเอง
- วงจร ADC Referent ใช้สำหรับการเช็คค่าที่ถูกส่งมาจากการวัดกระแสและแรงดันนั้นเอง เป็นขา 30 และ 32 ที่หลือเป็น PORT I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์

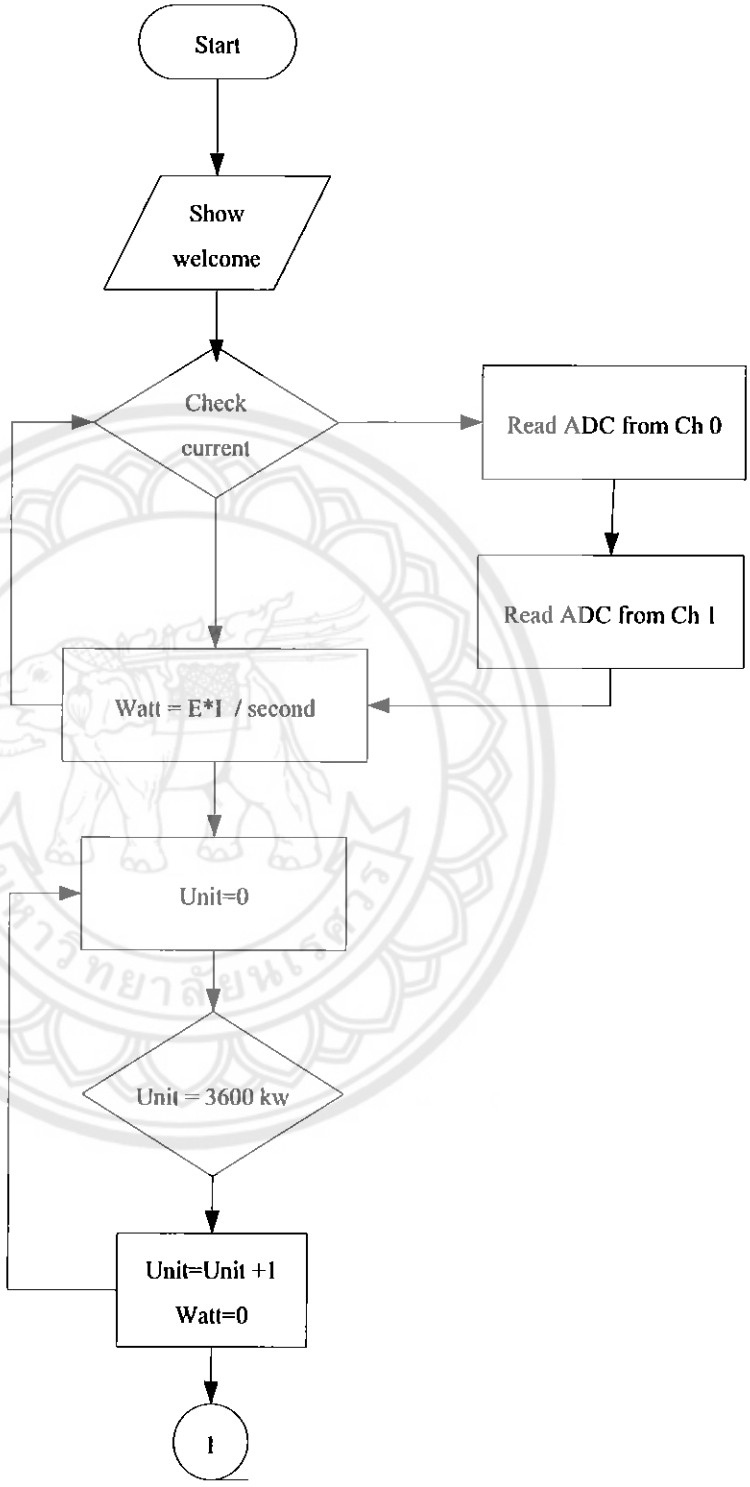


รูปที่ 3.6 แสดง Circuit Board

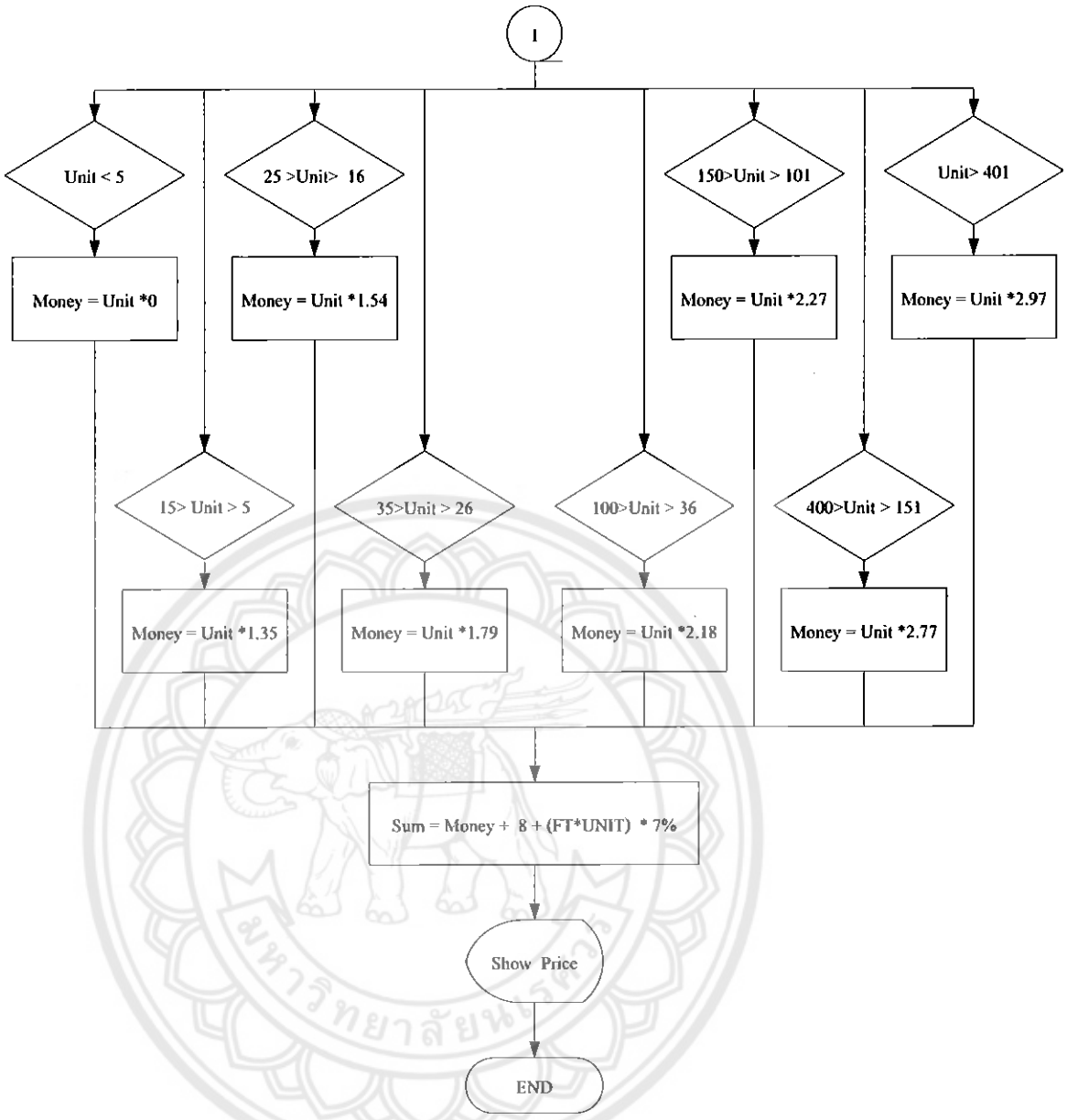


รูปที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์บน Circuit Board

3.6 ขั้นตอนการทำงานของชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 จุดประสงค์ของการทดลอง

4.1.1 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.2 เพื่อหาจุดบกพร่อง สาเหตุ วิธีการแก้ไขและปรับปรุง

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

วิธีการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกิโลวัตต์-เอาว์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าสามารถที่จะใช้งานได้เหมือนกันกับกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำจริงหรือไม่ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. ต่อวงจรของกิโลวัตต์-เอาว์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. นำโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้ามาต่อกับกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแบบเหนี่ยวนำ โดยในการทดลองมีอุปกรณ์ดังนี้
   - กระทะไฟฟ้าขนาด 1000 W จำนวน 1 เครื่อง
   - หม้อหุงข้าวขนาด 700 W จำนวน 1 เครื่อง
   - โทรทัศน์สี 14 นิ้ว 56 W จำนวน 1เครื่อง
   - หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 9 W จำนวน1 หลอด
   - Note book จำนวน 1 เครื่อง
   - ลำโพง จำนวน 1 ตัว
   - เตารีดขนาด 1000 W จำนวน 1 ตัว
   - พัดลมขนาด 56 W จำนวน 1 ตัว

   ทดลองที่ค่า Power facter 1.0, Power facter 0.9 และ Power facter 0.8 ใช้เวลาในการทดลองอย่างละ 12 ชั่วโมง รวม 36 ชั่วโมง โดยในแต่ละชั่วโมงโหลดจะเปลี่ยนแปลงเสมอ
3. ทำการตรวจสอบค่าเริ่มต้นของกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ และ แบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
4. สังเกตค่าที่ได้จากกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ และ แบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

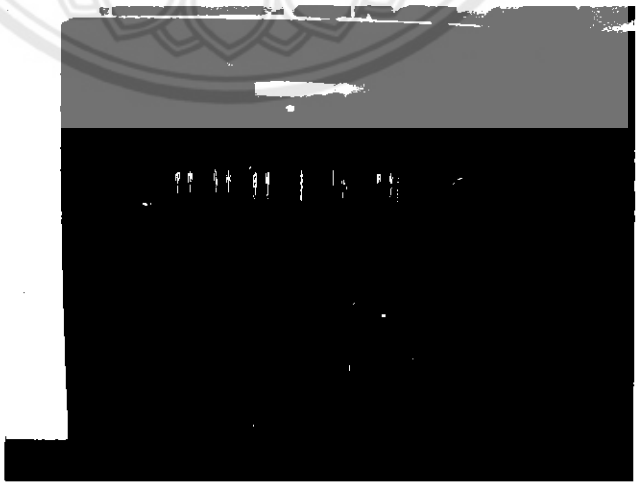
4.3 ผลการทดลอง

การทดลองโดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกิโลวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ

โดยที่เครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำ 1 KWh = 1 Unit ก็คือเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 1 KW ถูกใช้งานต่อเนื่องตลอดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปเป็น 1 KWh หรือเท่ากับ 1 Unit นั่นเอง ส่วนเครื่องวัดแบบดิจิตอล 3,600 KWh = 1 Unit เนื่องจากมีการตรวจจับสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปขณะนั้นทุกๆวินาที นั่นเอง คือ 1 KW×60นาที×60วินาที จะได้ 1/3,600 KWh หรือเท่ากับ 1 Unit นั่นเอง

ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้น ที่ P.F. = 1.0

รูปที่ 4.1 ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้นของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ P.F.= 1.0



รูปที่ 4.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำ ที่ P.F. = 1.0

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ

ที่ P.F. = 1.0, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7%

เวลา	0-1 ชั่วโมง	1-2 ชั่วโมง	2-2.30 ชั่วโมง	2.30-3.30 ชั่วโมง	3.30-5 ชั่วโมง	5-6.30 ชั่วโมง	6.30-7.30 ชั่วโมง
อุปกรณ์	โหลด 1*	โหลด 1*	โหลด 2*	โหลด 3*	โหลด 4*	โหลด 4*	โหลด 5*
P.F	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Amp	7.5	5	5.2	7.4	1.2	1.2	2.5
Unit(แบบเหนี่ยวนำ)	1.24	2.44	2.89	3.13	3.43	3.74	4.79
Unit (ดิจิตอล)	1.279	2.484	2.9288	3.1299	3.4567	3.7718	4.8383
KWh	4604	8942	10544	11268	12444	13579	17418
Price	9.3556	9.9136	10.1196	10.2128	10.3641	10.51	11.0039

โหลด 1*		โหลด 2*		โหลด 3*		โหลด 4*		โหลด 5*	
1. กระติกน้ำร้อน	600 W	1. กระติกน้ำร้อน	600 W	1. กระติกน้ำร้อน	600 W	1. พัดลม	56 W	1. หม้อหุงข้าว	700 W
2. กระทะไฟฟ้า	1000 W	2. หม้อหุงข้าว	700 W	2. เตารีด	900 W	2. โคมไฟ	9 W	2. พัดลม	56 W
3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โคมไฟ	9 W
4. พัดลม	56 W	4. พัดลม	56 W	4. พัดลม	56 W	4. Note Book		4. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W
5. โคมไฟ	9 W	5. โคมไฟ	9 W	5. โคมไฟ	9 W	5. ลำโพง		5. Note Book	
								6. ลำโพง	

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ

ที่ P.F. = 1.0, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7% (ต่อ)

เวลา	7.30-8.30 ชั่วโมง	8.30-9.30 ชั่วโมง	9.30-10.30 ชั่วโมง	10.30-12 ชั่วโมง
อุปกรณ์	โหลด 6*	โหลด 7*	โหลด 8*	โหลด 9*
P.F	1.00	1.00	1.00	1.00
Amp	5	5.7	4	1.2
Unit(แบบเหนี่ยวนำ)	6.19	6.53	7.65	7.85
Unit (ดิจิตอล)	6.2316	6.5792	7.6834	7.8681
KWh	22434	23685	27660	28325
Price	13.4382	14.1041	16.2194	16.5732

โหลด 6*

1. กระทะไฟฟ้า 1000 W
2. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
3. พัดลม 56 W
4. โคมไฟ 9 W
5. Note Book
6. ลำโพง

โหลด 7*

1. เตารีด 900 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
5. Note Book
6. ลำโพง

โหลด 8*

1. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. หม้อหุงข้าว 700 W
5. กระติกน้ำร้อน 600 W
6. Note Book

โหลด 9*

1. พัดลม 56 W
2. โคมไฟ 9 W
3. Note Book
4. ลำโพง

ค่าของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ที่ P.F. = 1.0

รูปที่ 4.3 ค่า KWh, Unit, Price ของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์**ที่ผ่านไป 12 ชั่วโมง** ที่ P.F. = 1.0

รูปที่ 4.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่เวลาผ่านไป 12 **ชั่วโมง ที่** P.F. = 1.0

ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้น ที่ P.F. = 0.9

รูปที่ 4.5 ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้นของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ P.F. = 0.9

รูปที่ 4.6 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่ P.F. = 0.9

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ

ที่ P.F. = 0.9, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7%

เวลา	0-1 ชั่วโมง	1-2 ชั่วโมง	2-2.30 ชั่วโมง	2.30-3.30 ชั่วโมง	3.30-5 ชั่วโมง	5-6.30 ชั่วโมง	6.30-7.30 ชั่วโมง
อุปกรณ์	โหลด 1*	โหลด 1*	โหลด 2*	โหลด 3*	โหลด 4*	โหลด 4*	โหลด 5*
P.F	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Amp	7.5	5	5.2	7.4	1.2	1.2	2.5
Unit(แบบเหนี่ยวนำ)	1.23	2.34	2.71	2.96	3.26	3.57	4.62
Unit (ดิจิตอล)	1.0463	2.1345	2.5331	2.8208	3.1231	3.4196	4.4841
KWh	3767	7684	9119	10115	11243	12316	16143
Price	9.2481	9.7541	9.9367	10.0699	10.2099	10.3472	10.8402

โหลด 1*		โหลด 2*		โหลด 3*		โหลด 4*		โหลด 5*	
1. กระติกน้ำร้อน	600 W	1. กระติกน้ำร้อน	600 W	1. กระติกน้ำร้อน	600 W	1. พัดลม	56 W	1. หม้อหุงข้าว	700 W
2. กระทะไฟฟ้า	1000 W	2. หม้อหุงข้าว	700 W	2. เตารีด	900 W	2. โคมไฟ	9 W	2. พัดลม	56 W
3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W	3. โคมไฟ	9 W
4. พัดลม	56 W	4. พัดลม	56 W	4. พัดลม	56 W	4. Note Book		4. โทรทัศน์ 14 นิ้ว	56 W
5. โคมไฟ	9 W	5. โคมไฟ	9 W	5. โคมไฟ	9 W	5. ลำโพง		5. Note Book	
								6. ลำโพง	

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ ที่ P.F. = 0.9, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7% (ต่อ)

เวลา	7.30-8.30 ชั่วโมง	8.30-9.30 ชั่วโมง	9.30-10.30 ชั่วโมง	10.30-12 ชั่วโมง
อุปกรณ์	โหลด 6*	โหลด 7*	โหลด 8*	โหลด 9*
P.F	0.9	0.9	0.9	0.9
Amp	5	5.7	4	1
Unit(แบบเหนี่ยวนำ)	6.01	6.35	7.49	7.73
Unit (ดิจิตอล)	5.8146	6.2044	7.2753	7.4901
KWh	20930	22336	26191	26964
Price	11.4564	13.3864	15.4382	15.8495

โหลด 6*

1. กระทะไฟฟ้า 1000 W
2. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
3. พัดลม 56 W
4. โคมไฟ 9 W
5. Note Book
6. ลำโพง

โหลด 7*

1. เตารีด 900 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
5. Note Book
6. ลำโพง

โหลด 8*

1. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. หม้อหุงข้าว 700 W
5. กระติกน้ำร้อน 600 W
6. Note Book

โหลด 9*

1. พัดลม 56 W
2. โคมไฟ 9 W
3. Note Book
4. ลำโพง

ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้น ที่ P.F. = 0.8

รูปที่ 4.9 ค่า KWh, Unit, Price เริ่มต้นของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ P.F. = 0.8

รูปที่ 4.10 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่ P.F. = 0.8

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ

ที่ P.F. = 0.8, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7%

เวลา	0-1 ชั่วโมง	1-2 ชั่วโมง	2-2.30 ชั่วโมง	2.30-3.30 ชั่วโมง	3.30-5 ชั่วโมง	5-6.30 ชั่วโมง	6.30-7.30 ชั่วโมง
อุปกรณ์	โหลด 1*	โหลด 1*	โหลด 2*	โหลด 3*	โหลด 4*	โหลด 4*	โหลด 5*
P.F	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Amp	7.5	5	5.2	7.4	1.2	1.2	2.5
Unit(แบบเหนี่ยวนำ)	1.34	2.53	2.97	3.23	3.53	3.85	4.87
Unit (ดิจิตอล)	0.9633	1.078	2.2725	2.5406	2.7050	2.9020	3.5852
KWh	3468	6868	8181	9146	9738	10447	12907
Price	9.2097	9.6471	9.8132	9.9370	10.0129	10.1040	10.4195

โหลด 1*

1. กระติกน้ำร้อน 600 W
2. กระทะไฟฟ้า 1000 W
3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
4. พัดลม 56 W
5. โคมไฟ 9 W

โหลด 2*

1. กระติกน้ำร้อน 600 W
2. หม้อหุงข้าว 700 W
3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
4. พัดลม 56 W
5. โคมไฟ 9 W

โหลด 3*

1. กระติกน้ำร้อน 600 W
2. เตารีด 900 W
3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
4. พัดลม 56 W
5. โคมไฟ 9 W

โหลด 4*

1. พัดลม 56 W
2. โคมไฟ 9 W
3. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
4. Note Book
5. ลำโพง

โหลด 5*

1. หม้อหุงข้าว 700 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
5. Note Book
6. ลำโพง

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอลและแบบเหนี่ยวนำ

ที่ P.F. = 0.8, Volt = 220 V, FT =0.4328 และ VAT 7% (ต่อ)

เวลา	7.30-8.30 ชั่วโมง	8.30-9.30 ชั่วโมง	9.30-10.30 ชั่วโมง	10.30-12 ชั่วโมง
อุปกรณ์	โหลด 6*	โหลด 7*	โหลด 8*	โหลด 9*
P.F	0.8	0.8	0.8	0.8
Amp	5	5.7	4	1
Unit(แบบเหนี่ยวนำ)	6.27	6.76	7.75	7.99
Unit (ดิจิตอล)	4.7166	5.0304	5.6650	5.8858
KWh	19680	18110	20394	21189
Price	10.9421	11.0870	11.3801	11.4821

โหลด 6*

1. กระทะไฟฟ้า 1000 W
2. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
3. พัดลม 56 W
4. โคมไฟ 9 W
5. Note Book
6. ลำโพง

โหลด 7*

1. เตารีด 900 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
5. Note Book
6. ลำโพง

โหลด 8*

1. โทรทัศน์ 14 นิ้ว 56 W
2. พัดลม 56 W
3. โคมไฟ 9 W
4. หม้อหุงข้าว 700 W
5. กระติกน้ำร้อน 600 W
6. Note Book

โหลด 9*

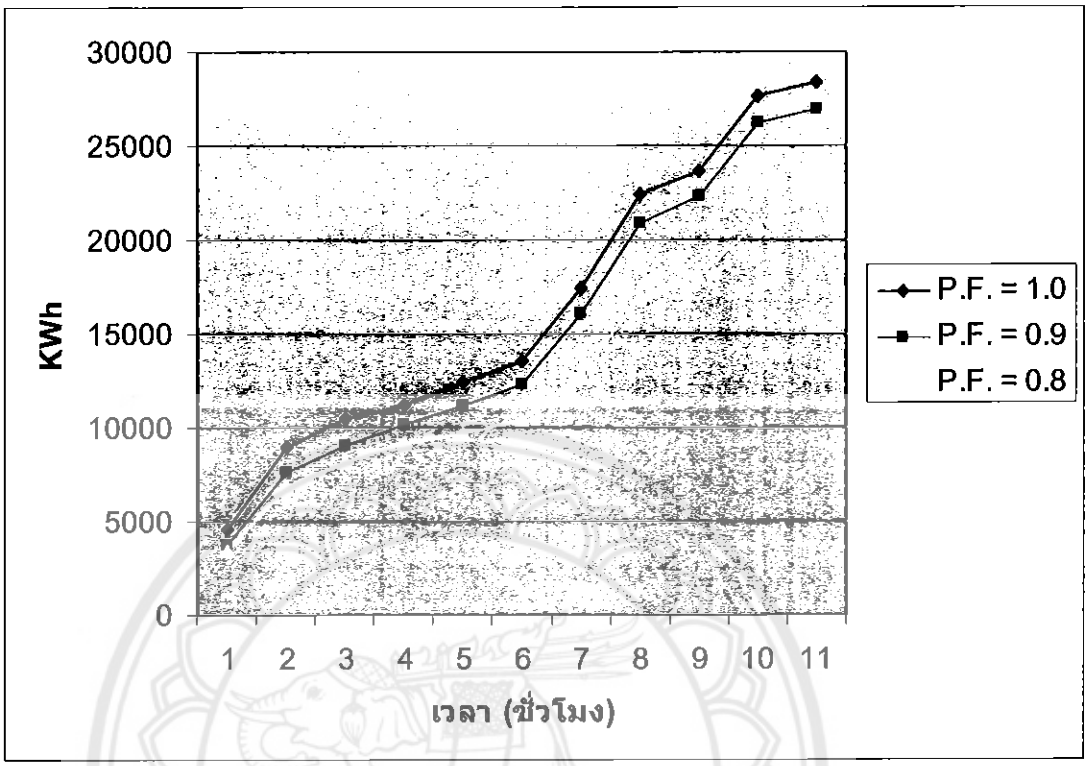
1. พัดลม 56 W
2. โคมไฟ 9 W
3. Note Book
4. ลำโพง

ค่าของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ที่ P.F. = 0.8

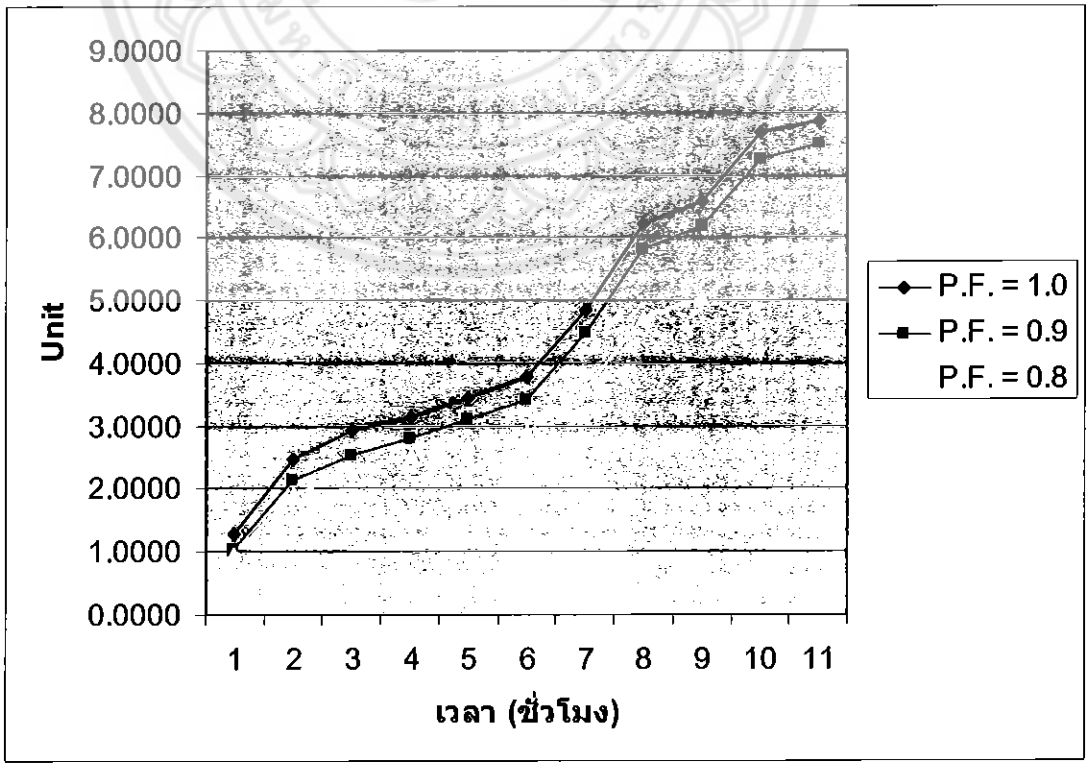
รูปที่ 4.11 ค่า KWh, Unit, Price ของเครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์**ที่ผ่านไป 12 ชั่วโมง** ที่ P.F. = 0.8

รูปที่ 4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำที่เวลาผ่านไป 12 **ชั่วโมงที่** P.F. = 0.8

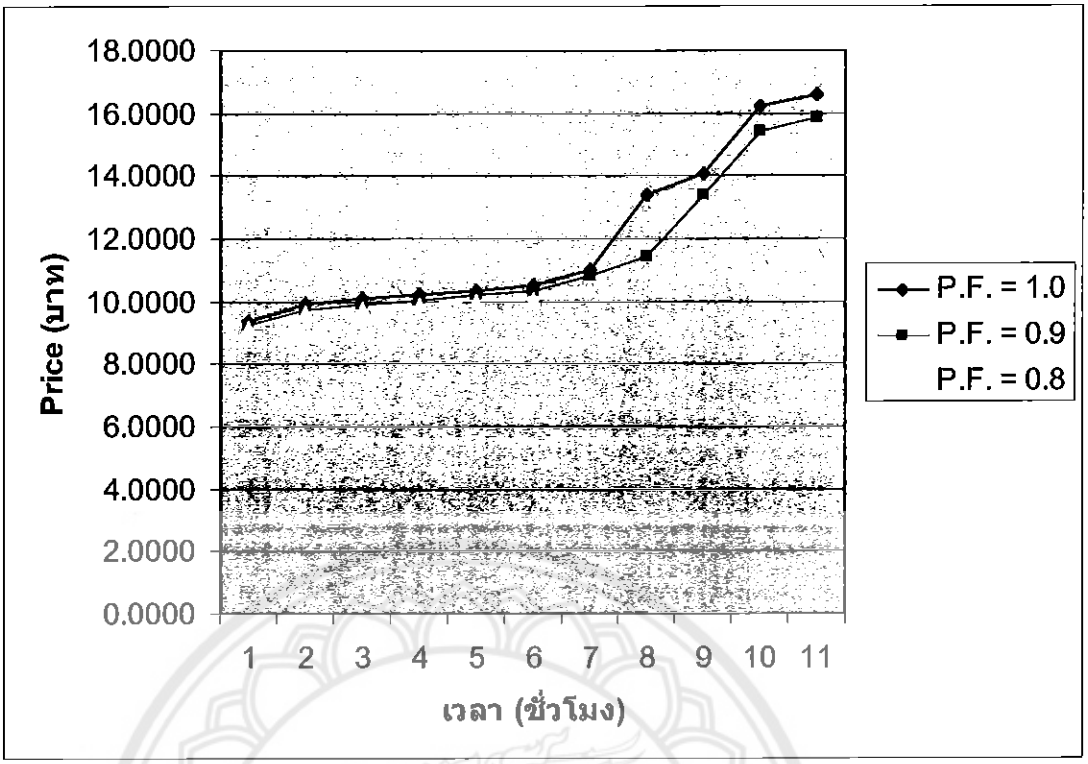
จากผลการทดลองข้างต้น สามารถเขียนกราฟเปรียบเทียบค่า KWh, Unit และ Price ได้ดังนี้



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่า KWh ที่ P.F. 1.0, P.F. 0.9 และ P.F. 0.8



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่า Unit ที่ P.F. 1.0, P.F. 0.9 และ P.F. 0.8



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่า Price ที่ P.F. 1.0, P.F. 0.9 และ P.F. 0.8

ที่ P.F. = 1.0

เครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นที่ 0 KWh เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง อ่านค่าได้ 28325 KWh จาก 3,600 KWh = 1 Unit จะได้ (28325 / 3,600) = 7.8681 Unit

เครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำเริ่มต้น 14.91 Unit เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง อ่านค่าได้ 22.76 Unit จะได้ (22.76-14.91) = 7.85 Unit

ที่ P.F. = 0.9

เครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นที่ 0 KWh เมื่อเวลา 12 ชั่วโมง อ่านค่าได้ 26964 KWh จาก 3,600 KWh = 1 Unit จะได้ (26964 / 3,600) = 7.4901 Unit

เครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำเริ่มต้น 24.12 Unit เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง อ่านค่าได้ 31.85 Unit จะได้ (31.85-24.12) = 7.73 Unit

ที่ P.F. = 0.8

เครื่องวัดแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นที่ 0 KWh เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง อ่านค่าได้ 21189 KWh จาก 3,600 KWh = 1 Unit จะได้ (21189 / 3,600) = 5.8858 Unit

เครื่องวัดแบบเหนี่ยวนำเริ่มต้น 31.85 Unit เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง อ่านค่าได้ 39.84 Unit จะได้ (39.84-31.85) = 7.99 Unit

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบเครื่องวัดกิโลวัตต์-เอาว์มิเตอร์แบบดิจิตอลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องวัดกิโลวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ โดยการใช้โหลดเหมือนกัน ขนาดกำลังไฟฟ้าและเวลาเท่ากันในการทดลอง ปรากฏว่าที่ P.F. ต่างกันจะได้ค่าจำนวนหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่างกัน โดยที่ค่า P.F.=1 จะได้ค่าจำนวนหน่วยการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันมากกว่าและมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ที่ P.F. = 0.9 จำนวนหน่วยพลังงานที่ใช้จะมีค่าน้อยกว่าค่า P.F.=1 แต่ก็มีค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก ที่ค่า P.F.=0.8 จำนวนหน่วยการใช้พลังงานที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุดที่เวลาเท่าๆกันและเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกัน แสดงว่าโหลดที่นำมาทดลองทั้งหมดมีค่า P.F. มีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากจากการทดลองที่กำหนด P.F. = 1 มีค่าหน่วยการใช้ไฟฟ้าเครื่องวัดเอาว์มิเตอร์แบบดิจิตอลกับแบบเหนี่ยวนำมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่า P.F.จึงส่งผลต่อจำนวนหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางแก้ไข

โครงงานนี้ศึกษา ออกแบบ และพัฒนากิโลวัตต์-เอาว์ มิเตอร์แบบดิจิตอล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเทียบกับกิโลวัตต์-เอาว์ มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ เพื่อใช้ในการวัดการใช้กำลังไฟฟ้าในบ้านเรือน แล้วแสดงผลออกมาเป็นจำนวนเงินบาท ดิจิตอลกิโลวัตต์เอาว์มิเตอร์ดังกล่าวจะมีการทำงานแบ่งออกเป็นส่วนๆ คือ การวัดค่าสัญญาณแรงดันและค่าสัญญาณกระแสเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี ADC ภายในตัว จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะประมวลผลไปยังจอแสดงผล เพื่อแสดงผลออกมาเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์เอาว์, ค่าไฟฟ้าเป็นเงินบาทและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ณ เวลานั้นๆ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ในบทที่ 4 นั้น ทำให้เราทราบว่า การใช้งานกิโลวัตต์-เอาว์ มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำกับการใช้งานกิโลวัตต์ - เอาว์ มิเตอร์ชนิด 1 เฟส แบบดิจิตอล โดยการใช้โหลดเหมือนกัน ขนาดกำลังไฟฟ้าและเวลาเท่ากันพบว่าการทดลองที่ P.F. ต่างกัน จะได้จำนวนหน่วยการใช้พลังงานที่ต่างกัน โดยที่ P.F. = 1 จะได้จำนวนหน่วยการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันและมีการคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ที่ P.F. = 0.9 จำนวนหน่วยการใช้พลังงานจะมีค่าน้อยกว่า P.F. = 1 และที่ P.F. = 0.8 จะมีหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยสุด ดั้งนั้นจึงแสดงได้ว่าที่ P.F. น้อยลงจะส่งผลทำให้พลังงานไฟฟ้าลดลง การใช้งานกิโลวัตต์ - เอาว์มิเตอร์แบบดิจิตอลจะเห็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าค่าเงินบาทและเวลาที่ใช้ไฟฟ้า ณ เวลานั้นทันทีและเห็นได้ชัดเจนกว่ากิโลวัตต์ - เอาว์มิเตอร์แบบเหนียวนำ ในการทดลอง นี้จะยังไม่ได้มีการเปลี่ยนค่า F.T และ Vat แต่การใช้งานจริงจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 4 เดือน ดังนั้น จึงต้องเปลี่ยนค่า F.T และ ค่า Vat ตามการไฟฟ้ากำหนดต่อไป

ในส่วนการเขียนโปรแกรมนั้นสามารถทำการคิดค่าเงินบาทในกรณีที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน 5 หน่วยแรกโปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 0 บาท/หน่วย หน่วยที่ 6-15 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 1.3576 บาท/หน่วย หน่วยที่ 16-25 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 1.5445 บาท/หน่วย หน่วยที่ 26-35 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 1.7968 บาท/หน่วย หน่วยที่ 36-100 โปรแกรมจิคดค่าพลังงานไฟฟ้า 2.1800 บาท/หน่วย หน่วยที่ 101-150 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 2.2734 บาท/หน่วย หน่วยที่ 151-400 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 2.7781 บาท/หน่วยและหน่วยที่ 400 ขึ้นไป โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 2.9780 บาท/หน่วย กรณีที่ใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือนหน่วยที่ 0-150 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 1.8047 บาท/หน่วย หน่วยที่ 151-400 โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 2.7781 บาท/หน่วย หน่วยที่ 400

ขึ้นไป โปรแกรมจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 2.9780 บาท/หน่วย ซึ่งโปรแกรมจะคิดตามจำนวนหน่วยที่ใช้จริง

5.2 ปัญหาที่พบในการปฏิบัติงาน

ปัญหาที่พบในการทดลองคือการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาทดลองมีการตัดกระแสบ่อยครั้งทำให้เราไม่สามารถวัดกระแสที่แน่นอนของโหลดได้

ปัญหาในการจ่ายแรงดันเข้าให้กับตัวมิเตอร์จะเกิดการอาร์กขณะเสียบปลั๊ก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ Error มีผลทำให้ค่าหน่วยมิเตอร์ที่แสดงออกมามีค่าติดลบ

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหาเครื่องใช้ที่นำมาทดลอง มีการตัดกระแสบ่อยครั้ง แก้ไขโดยการทดลองต้องนำโหลดที่เป็นโหลดใช้งานต่อเนื่องมาทำการทดลอง

ปัญหาในเรื่องการอาร์กขณะเสียบปลั๊ก แก้ไขโดยการ Reset ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กลับไปอยู่ค่าเริ่มต้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การสร้างและการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้กับกิโลวัตต์-เอาว์ มิเตอร์แบบ 3 เฟส และสามารถใช้กับโหลดที่มีการใช้กระแสเกิน 50 แอมป์

5.4.2 ควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้กับโหลดที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือนและใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

5.4.3 ควรพัฒนาเรื่องกระแสฮาโมนิกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ประจิน พลังสันติกุล. **C Programming for AVR Microcontroller and WinAVR (C Complier).**กรุงเทพมหานคร : บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด. 2549

[2] Electronic Source. Optoelectronics - LCD Character/ Modules Displays.[online]. Available : **http://www.es.co.th/detail.asp?Prod=ABC016002A07-GHY-R.** 2007

[3] Almel. 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In System Programmable Flash Available : http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=2014. 2002

[4] Electronic Source. Sensors / Transducer Current Sensors 50 A. Abailable : **http://**www.es.co.th/detail.asp?Prod=ACS754SCB%2D050%2DPFF. 2007

ภาคผนวก ก.

Code โปรแกรมในส่วนของการวิเคราะห์และประมวลผล

```
#include <mega32.h>
#include <math.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <lcd.h>
//#include <lcd4x40.h>

#define  LINE1  129
#define  LINE2  193
#define  LINE3  149
#define  LINE4  213

#define      AMP         1
#define      MUX         85
#define      VAL_DEFAULT    520
#define      PER_UNIT       3600 //  3600 kw/unit
#define      FIX_COST       819  //satang
#define      SW_RESET       PIND.6

long t1,t2,t3,t4=0;
unsigned char zero=0,active=0;
unsigned int v,a,Hz=0,buf[20]={0};
unsigned int i;
unsigned int HzCnt=0;
unsigned int maxval=0,minval=0;

eeprom float FT=0.00,vat_=0.00,cos_=0.00,WattNow=0.0;
eeprom unsigned long TimeON=0,Time_min=0,Time_hr=0;
unsigned int cnt=0,voltcheck=0;
float vat_total=0.00;

long buf1=0;
float total_unit=0.0;
float Kwatt=0;
char KEY,keypad=0;

eeprom  float  Price=0.00;

eeprom  unsigned int  MATotal =0,stang=0,satang=0;

eeprom float WattAll=0;
```

```
float   Kilowatt=0 ;
unsigned long unit=0,unitt=0;
unsigned int    AMPval=0;
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input);

char mode=0,list=0;
char index=0,loop=0,keybuf[10]={'0'};
float  tempf=0.0,PriceFT=0,sum_money=0.00;

#asm
  .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
//#include <lcd.h>

#define Col1  PORTB.0
#define Col2  PORTB.1
#define Col3  PORTB.2

#define Row1  PINB.3
#define Row2  PINB.4
#define Row3  PINB.5
#define Row4  PINB.6


#define RXB8 1
#define TXB8 0
#define UPE 2
#define OVR 3
#define FE 4
#define UDRE 5
#define RXC 7


 if (SW_RESET==0)   {WattAll=0;TimeON=0;Time_min=0;Time_hr=0;

  }
}

#include <delay.h>

void int_kb(void)
{
      PORTB=0xff;

      DDRB.0 = 1;
      DDRB.1 = 1;
      DDRB.2 = 1;

      DDRB.3 = 0;
      DDRB.4 = 0;
```

```
    DDRB.5 = 0;
    DDRB.6 = 0;
}

unsigned char scankey(void)
{
      #define time_kb 100

      PORTB=0xff;
      KEY=0;
      Col1=0;
      delay_ms(30);
      if (!Row1)  {KEY='1';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row2)  {KEY='4';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row3)  {KEY='7';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row4)  {KEY='*';delay_ms(time_kb);}
      Col1=1;
    Col2=0;
      delay_ms(30);
      if (!Row1)  {KEY='2';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row2)  {KEY='5';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row3)  {KEY='8';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row4)  {KEY='0';delay_ms(time_kb);}

      Col2=1;
    Col3=0;
      delay_ms(30);
      if (!Row1)  {KEY='3';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row2)  {KEY='6';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row3)  {KEY='9';delay_ms(time_kb);}
      else if (!Row4)  {KEY='#';delay_ms(time_kb);}
    delay_ms(30);
      return(KEY);

}
    lcd_gotoxy(0,0);

}

void  call_sum_money(void)

{
    sum_money=0;
  if (total_unit > 400)
  {
      sum_money =  sum_money + 8.190;
      sum_money =  sum_money + (10*1.3576);
      sum_money =  sum_money + (10*1.5445);
      sum_money =  sum_money + (10*1.7968);
      sum_money =  sum_money + (65*2.1800);
```

```
        sum_money =  sum_money + (50*2.2734);
        sum_money =  sum_money + (250*2.7781);
        sum_money =  sum_money + (total_unit-400)*2.9780;
    }
    else if (total_unit >= 151)
    {
        sum_money =  sum_money + 8.190;
        sum_money =  sum_money + (10*1.3576);
        sum_money =  sum_money + (10*1.5445);
        sum_money =  sum_money + (10*1.7968);
        sum_money =  sum_money + (65*2.1800);
        sum_money =  sum_money + (50*2.2734);
        sum_money =  sum_money + (total_unit-150)*2.7781;
    }
    else if (total_unit >= 101)
    {
       sum_money =  sum_money + 8.1900;
        sum_money =  sum_money + (10*1.3576);
        sum_money =  sum_money + (10*1.5445);
        sum_money =  sum_money + (10*1.7968);
        sum_money =  sum_money + (65*2.1800);
        sum_money =  sum_money + (total_unit-100)*2.2734;
    }
    else if (total_unit >= 36)
    {
        sum_money =  sum_money + 8.190;
        sum_money =  sum_money + (10*1.3576);
        sum_money =  sum_money + (10*1.5445);
        sum_money =  sum_money + (10*1.7968);
        //sum_money =  sum_money + (65*2.18);
        sum_money =  sum_money + (total_unit-35)*2.1800;
    }
    else if (total_unit >= 26)
     {
        sum_money =  sum_money + 8.190;
        sum_money =  sum_money + (10*1.3576);
        sum_money =  sum_money + (10*1.5445);
        sum_money =  sum_money + (total_unit-25)*1.7968;
    }
    else if (total_unit >= 16)
     {
        sum_money =  sum_money + 8.190;
        sum_money =  sum_money + (10*1.3576);
        sum_money =  sum_money + (total_unit-15)*1.5445;
    }
    else if (total_unit >= 6)
    {
        sum_money =  sum_money + 8.190;
        sum_money =  sum_money + (total_unit-5)*1.3576;
    }
```

```
   else    sum_money =   8.190;
}
void show(int address ,char *str)
{
      char k;
      while (k=*str++)
      {
            //lcd_putchar(k);
            lcd_write_byte(address,k);
            address++;
      }
}
void main(void)
{

PORTA=0xff;
DDRA=0x00;

PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
PORTD.6=1;
DDRD.6=0;

TCCR0=0x03;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
```

```
GICR|=0xC0;
MCUCR=0x0E;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0xC0;

UCSRA=0x00;
UCSRB=0xD8;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x47;

ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;



lcd_init(20);


//    0  mA    520
//  850  mA    530        10  //85
//
// 5400  mA    583.529      63.529  //85


while (1)
    {
    if (active)
    {
            zero = 0;
            mode=0;
            keypad = scankey();
            if (keypad!=0)
            {
                if (keypad=='0')
                {
                    clear_lcd();

                    sprintf(strtemp,"...Setup Config....");//lcd_puts(strtemp);
            show(LINE1,strtemp);

            sprintf(strtemp,"FT  : ");
            show(LINE2,strtemp);  ftoa(FT,4,strtemp); //lcd_puts(strtemp);
            show(LINE2+5,strtemp);

            sprintf(strtemp,"COS : ");
            show(LINE3,strtemp);  ftoa(cos_,2,strtemp); //lcd_puts(strtemp);
```

```
show(LINE3+5,strtemp);

sprintf(strtemp,"VAT : ");
show(LINE4,strtemp);  ftoa(vat_,4,strtemp); //lcd_puts(strtemp);
show(LINE4+5,strtemp);
delay_ms(3000);

      }
      if (keypad=='1')
      {
            clear_lcd();
            mode=1;
            Show_line(1); lcd_putsf("Set FT    : ");
      }
      if (keypad=='2')
      {
            clear_lcd();
            mode=2;
            Show_line(1); lcd_putsf("Set Cos   : ");
      }
      if (keypad=='3')
      {
            clear_lcd();
            mode=3;
            Show_line(1); lcd_putsf("Set Vat   : ");
      }
      delay_ms(1000);
      if (mode>0)
      {
            loop=1;
            index=0;
            cnt=0;
            keybuf[0]='0';
            keybuf[1]='0';
            keybuf[2]='0';
            keybuf[3]='0';
            keybuf[4]='0';

            while(loop)
            {

                  keypad = scankey();
                  if (keypad!=0)
                  {
                        if (keypad=='#')  loop=0;
                        else
                        {     if (keypad=='*') keypad='.';

                              lcd_putchar(keypad);
                              keybuf[index]= keypad;
```

```
                    index++;
                }
                cnt=0;

            }
            cnt++;

            if (cnt > 20)
            {
                cnt=0;
                loop=0;
                mode=0;
            }
        }
        if (mode==1)  FT    = atof(keybuf);
        if (mode==2)  cos_  = atof(keybuf);
        if (mode==3)  vat_  = atof(keybuf);
        keybuf[0]='0';
        keybuf[1]='0';
        keybuf[2]='0';
        keybuf[3]='0';
        keybuf[4]='0';
    }
 }
 voltcheck=220;
while(zero==0);  //* wait for zero-crossing
 for (i=0; i<20; i++)
 {
    buf[i] = read_adc(AMP);
    delay_ms(1);
    // max 1024
    // min 500
 }
 minval = 1024;
 maxval = 0;
 for (i=0; i<20; i++)
 {
    if (buf[i] > maxval) maxval = buf[i];
    if (buf[i] < minval) minval = buf[i];
 }
 if  (maxval > VAL_DEFAULT)
 {
    MATotal = abs(maxval-VAL_DEFAULT)*MUX;

    TimeON++;

    if (TimeON >= 60)  //nu
    {
        TimeON=0;   //nu
        Time_min++;
```

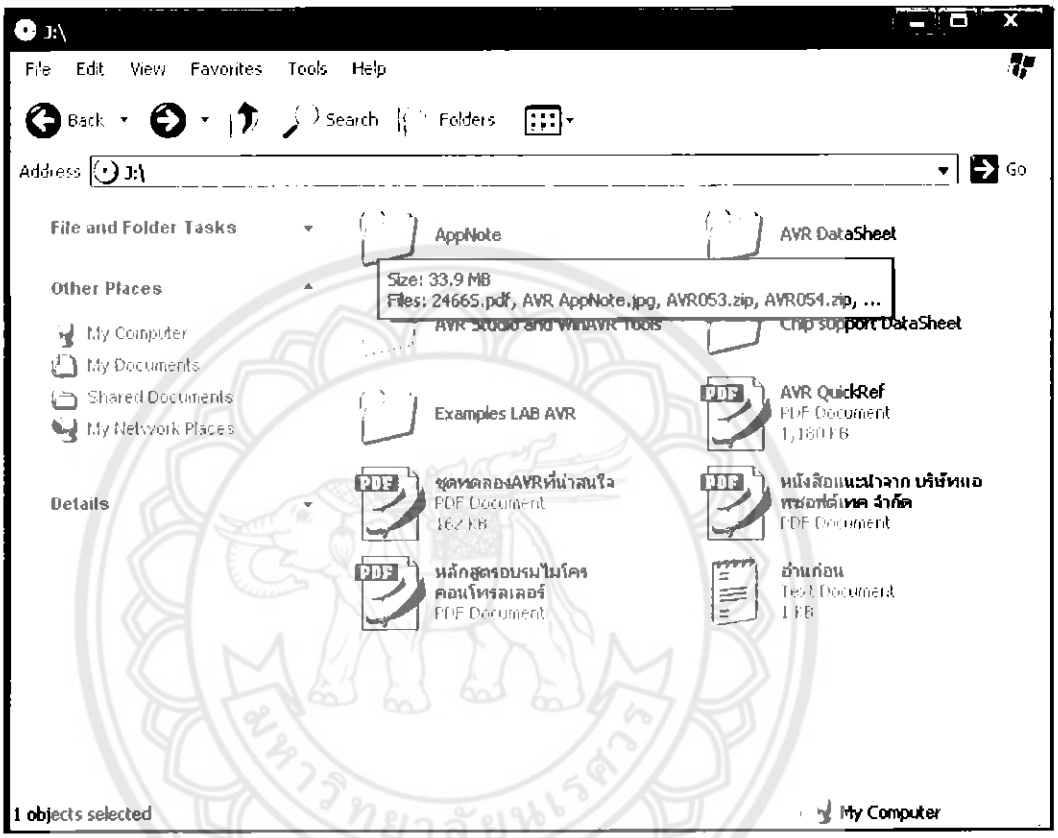
```
                    if (Time_min >= 60)    //nu
                    {
                        Time_min = 0;
                    Time_hr++;          //nu
                    }
                }
                WattNow = (MATotal/1000)*voltcheck*cos_;
                ftoa(WattNow,4,strtemp);
                MATotal=0;
                WattAll =(WattAll+WattNow);
                Kwatt = WattAll;
                ftoa(Kwatt,4,strtemp);
                printf(" WattTotal = %s \r\n",strtemp);
                WattNow=0;
            }
        total_unit =  (Kwatt/PER_UNIT);
            PriceFT = total_unit * FT;
            clear_lcd();



             sprintf(strtemp,"Time  : %i.%i.%i
        ",Time_hr,Time_min,TimeON);//lcd_puts(strtemp);
            show(LINE1,strtemp);

            sprintf(strtemp,"Unit  :");
            show(LINE2,strtemp);     ftoa(total_unit,4,strtemp); //lcd_puts(strtemp);
            show(LINE2+8,strtemp);


            sprintf(strtemp,"KWH   :");
            show(LINE3,strtemp);  ftoa(Kwatt,0,strtemp); //lcd_puts(strtemp);
            show(LINE3+8,strtemp);


            sprintf(strtemp,"Price :");
            show(LINE4,strtemp);  ftoa(Price,4,strtemp); //lcd_puts(strtemp);

            delay_ms(500);
            //display();

        }

        };
    }
```

ภาคผนวก ข.

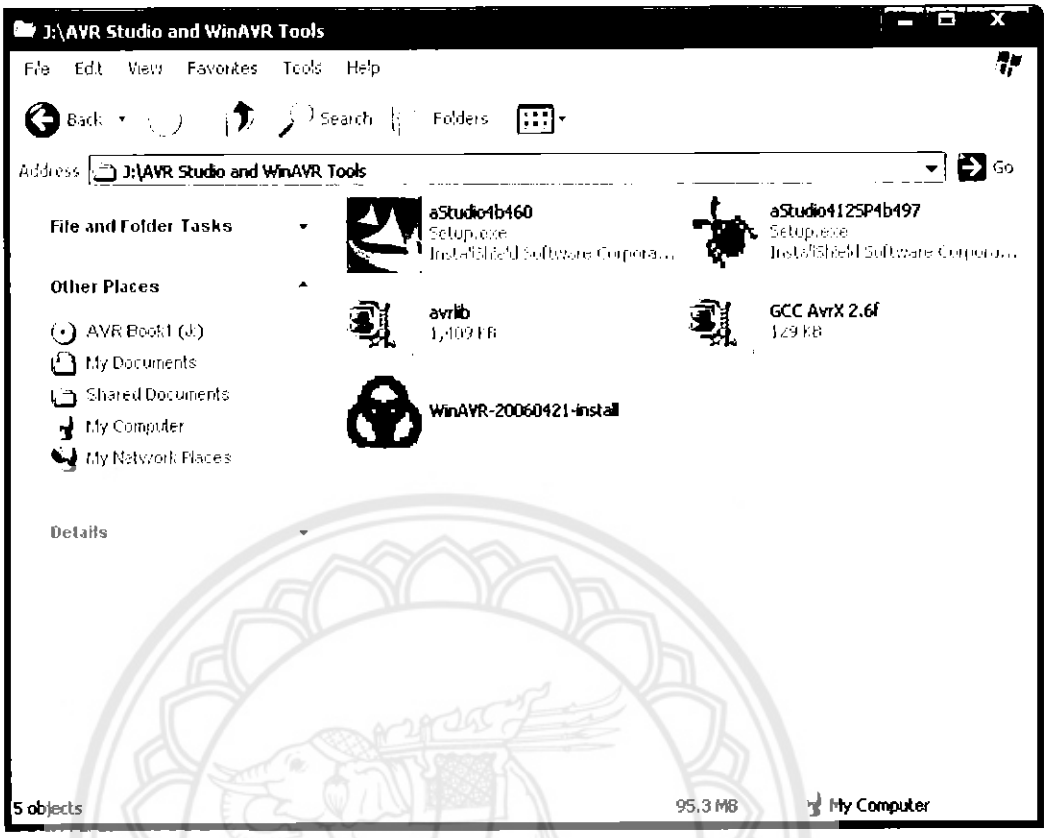
วิธีการลงโปรแกรม AVR Microcontroller

โปรแกรมที่จะต้อง install มี 3 โปรแกรม คือ aStudio4b460.exe , aStudio412SP4b497.exe และ WinAVR-20060421-install.exe ดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิก AVR Studio and WinAVR Tools

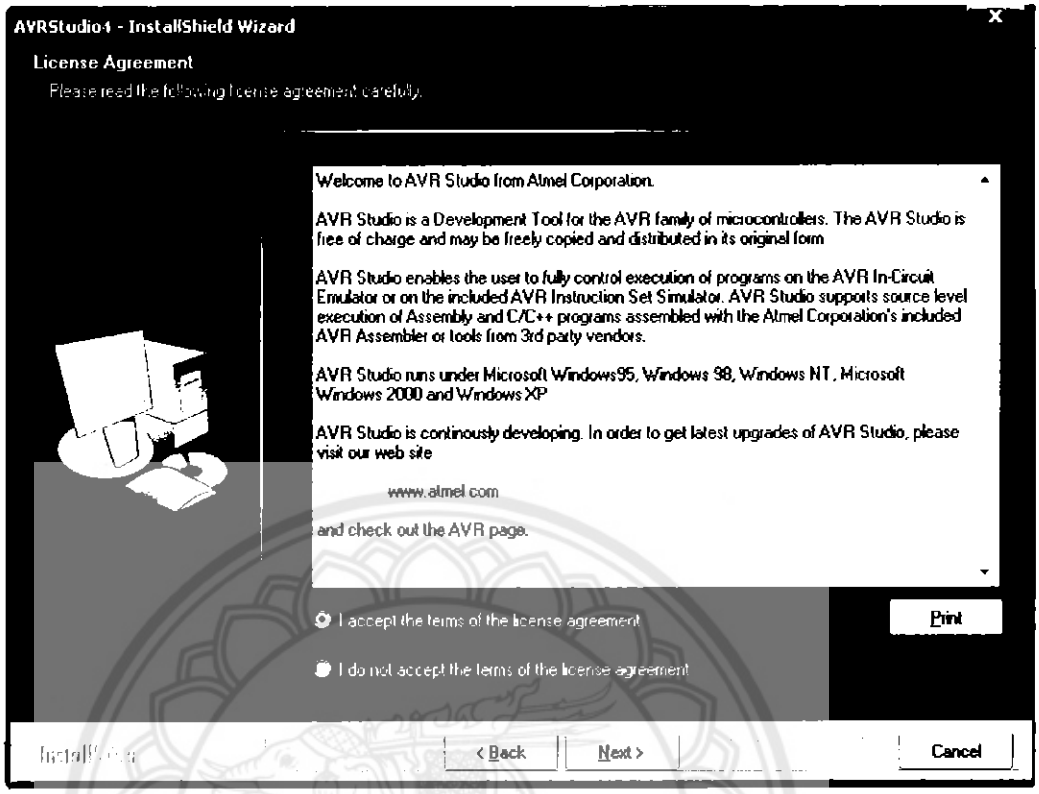


2. ดับเบิ้ลคลิก aStudio4b460.exe

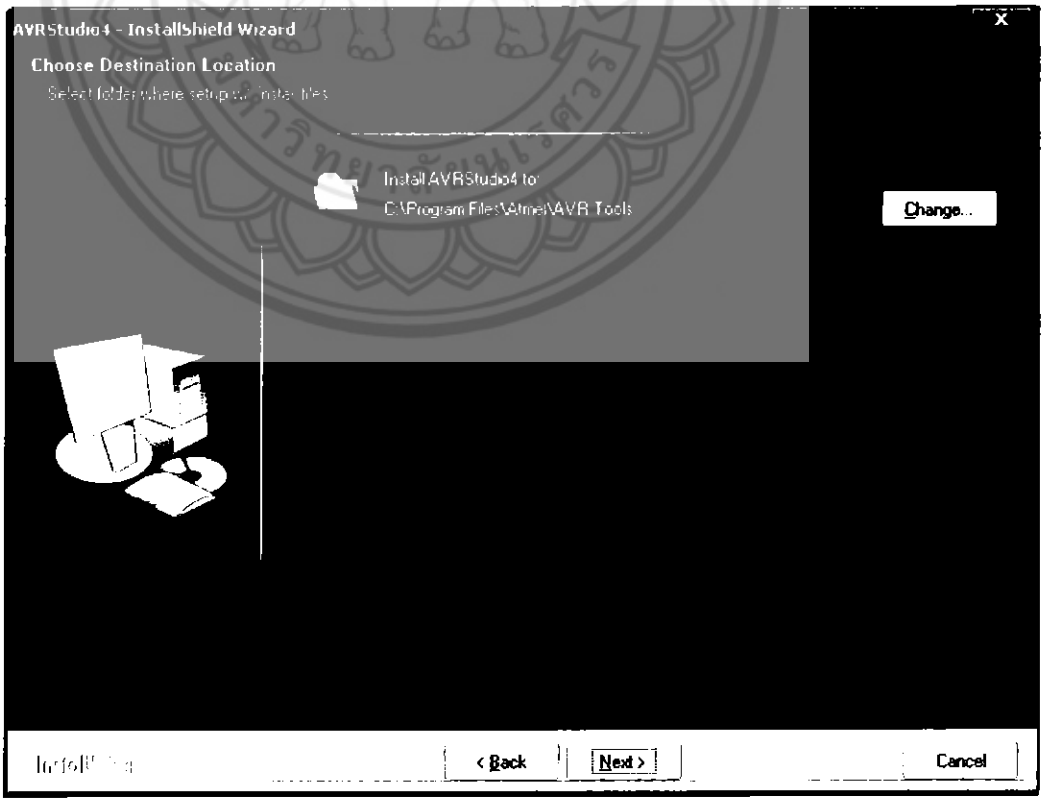


3. คลิก next

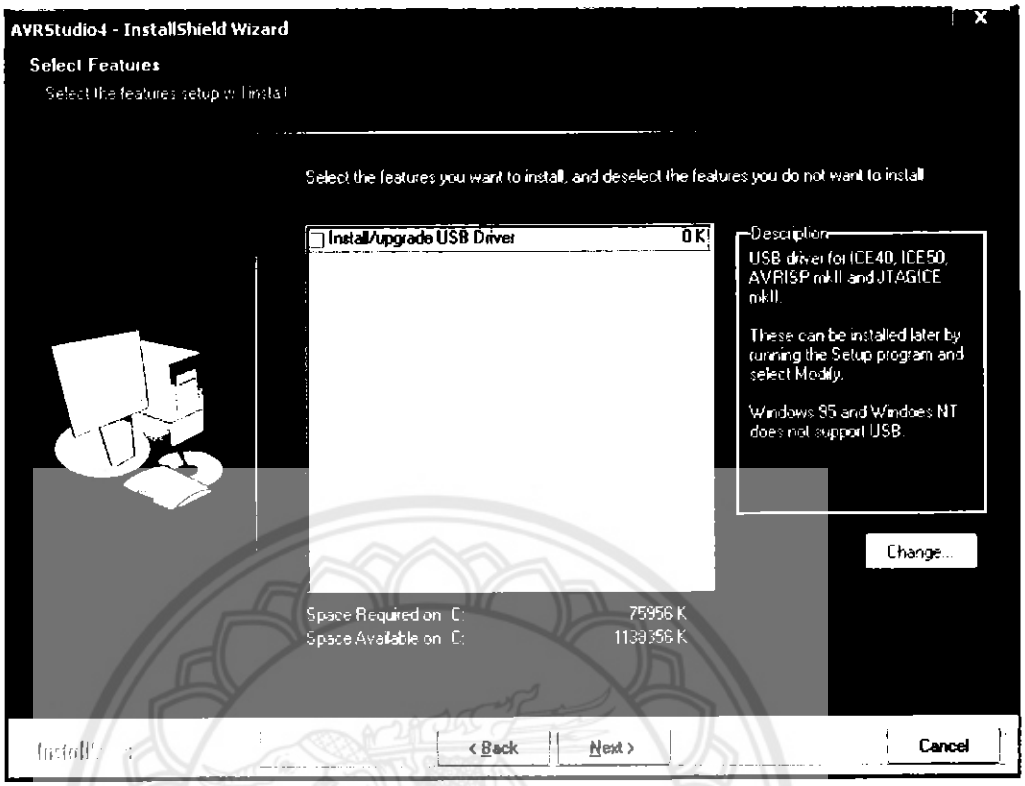
4. เลือก I accept the terms of the license agreement แล้วคลิก next



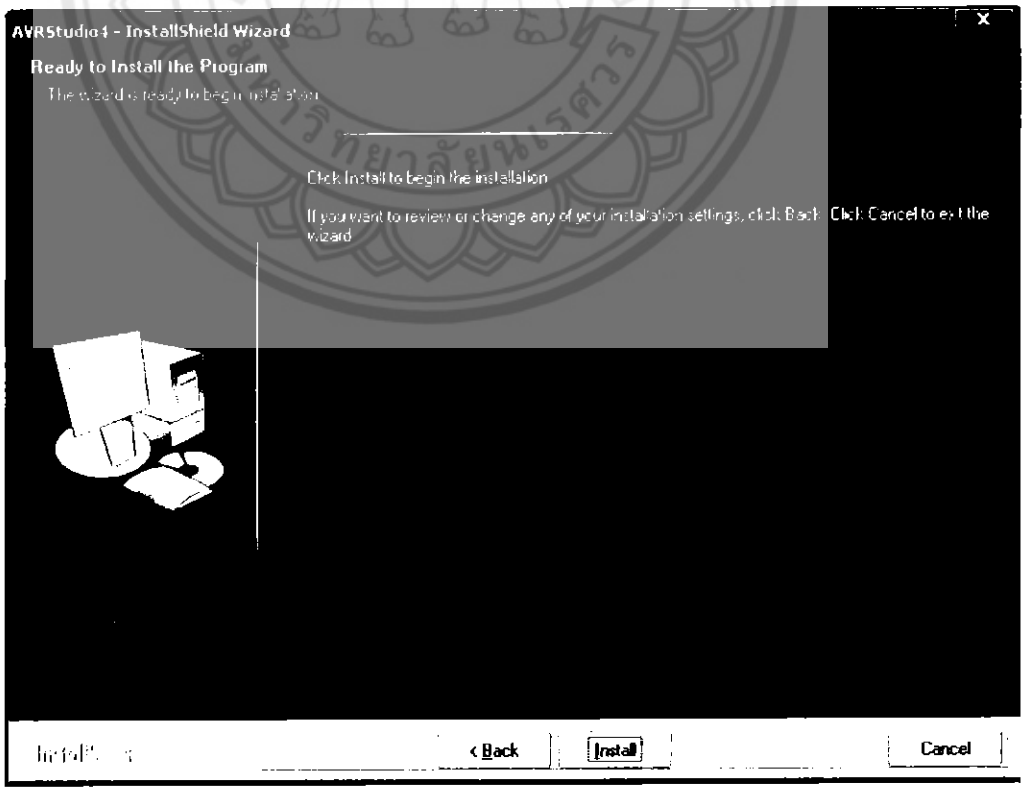
5. คลิก next



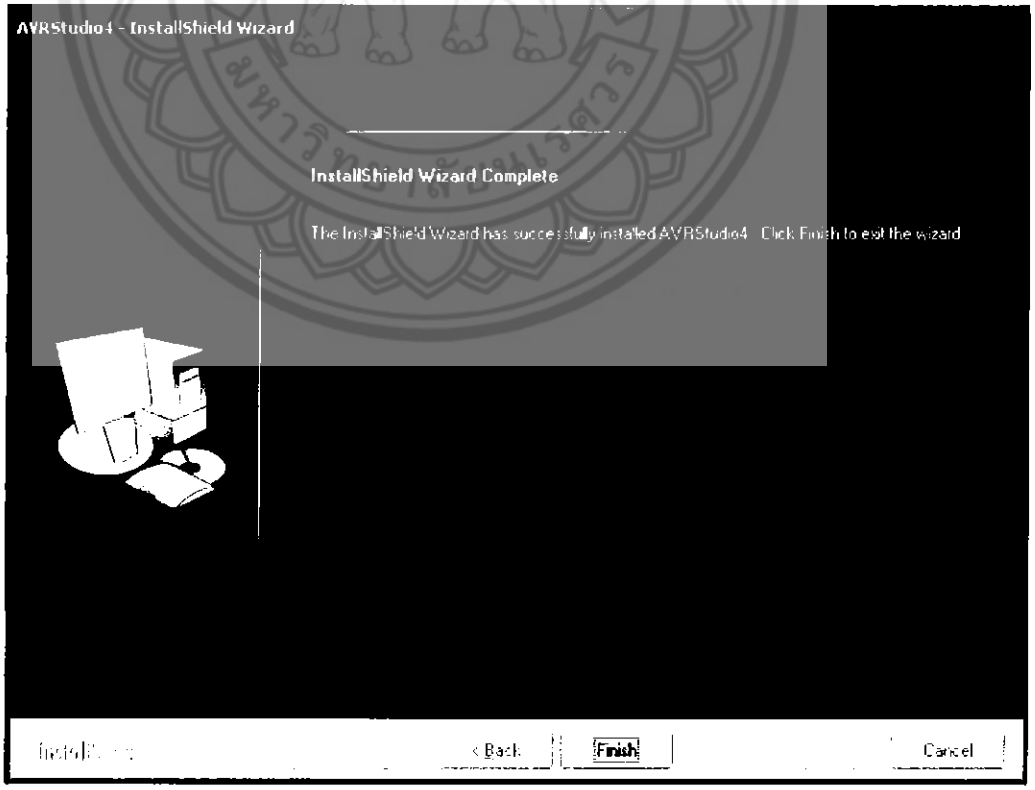
6. คลิก next



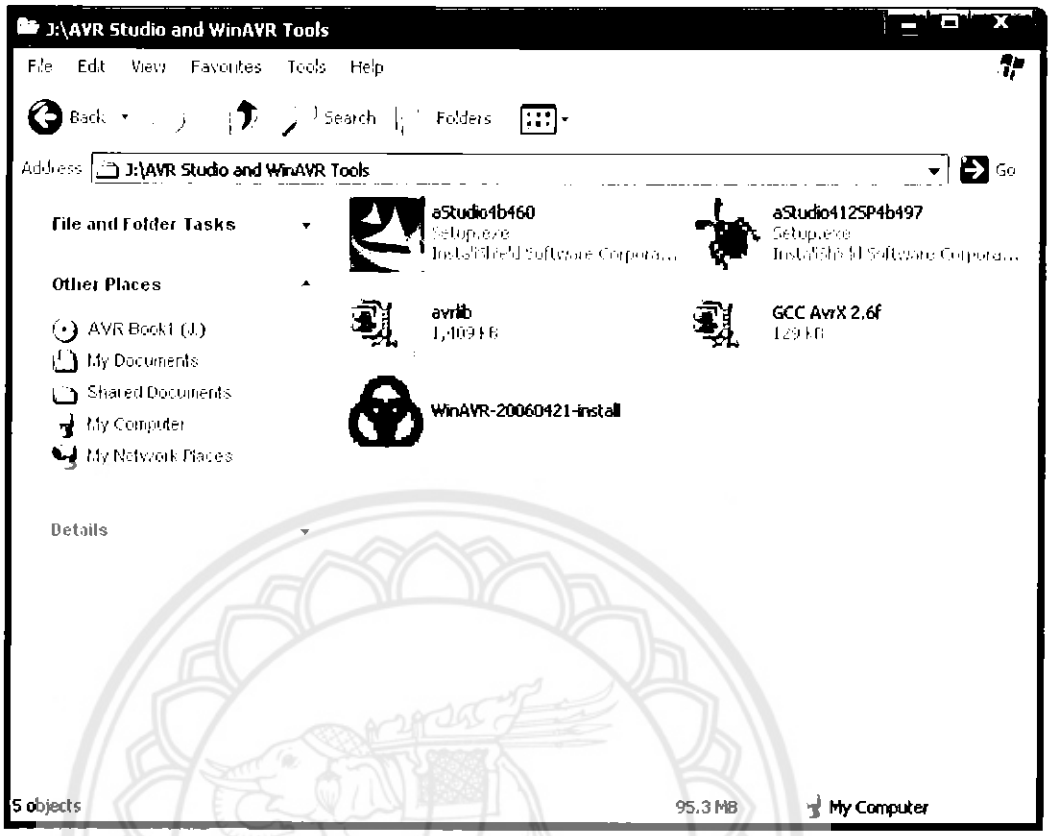
7. คลิก install

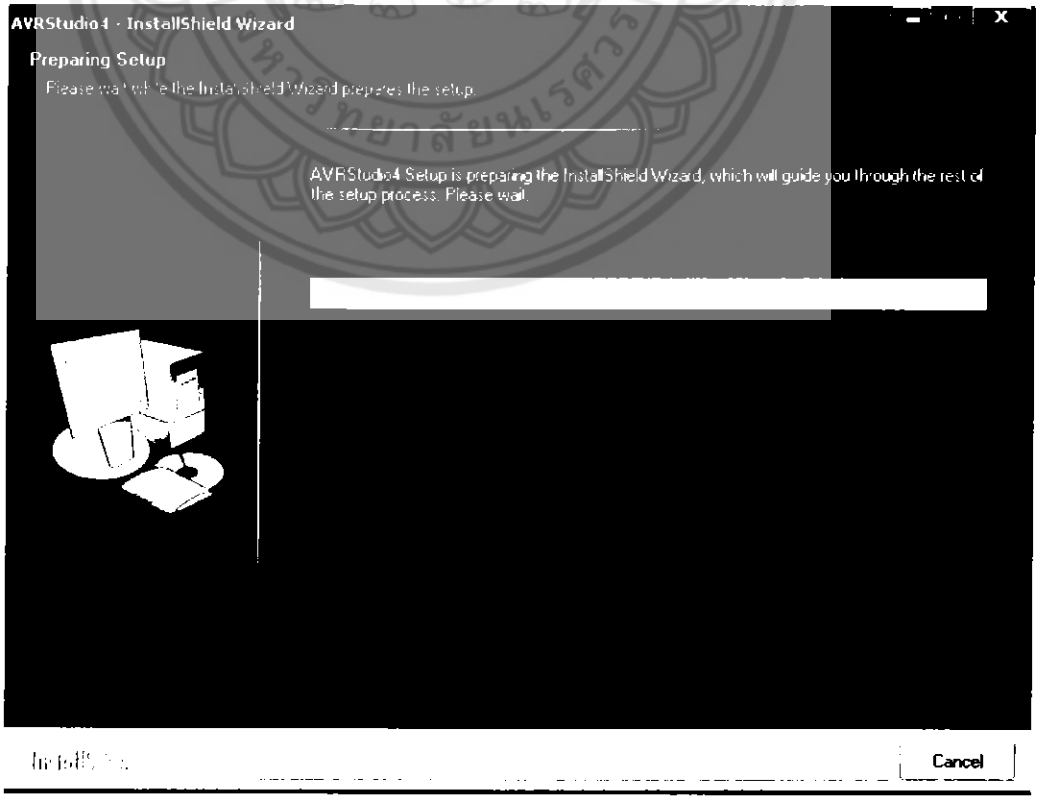


8. โปรแกรมจะทำการ install แล้วคลิก finish

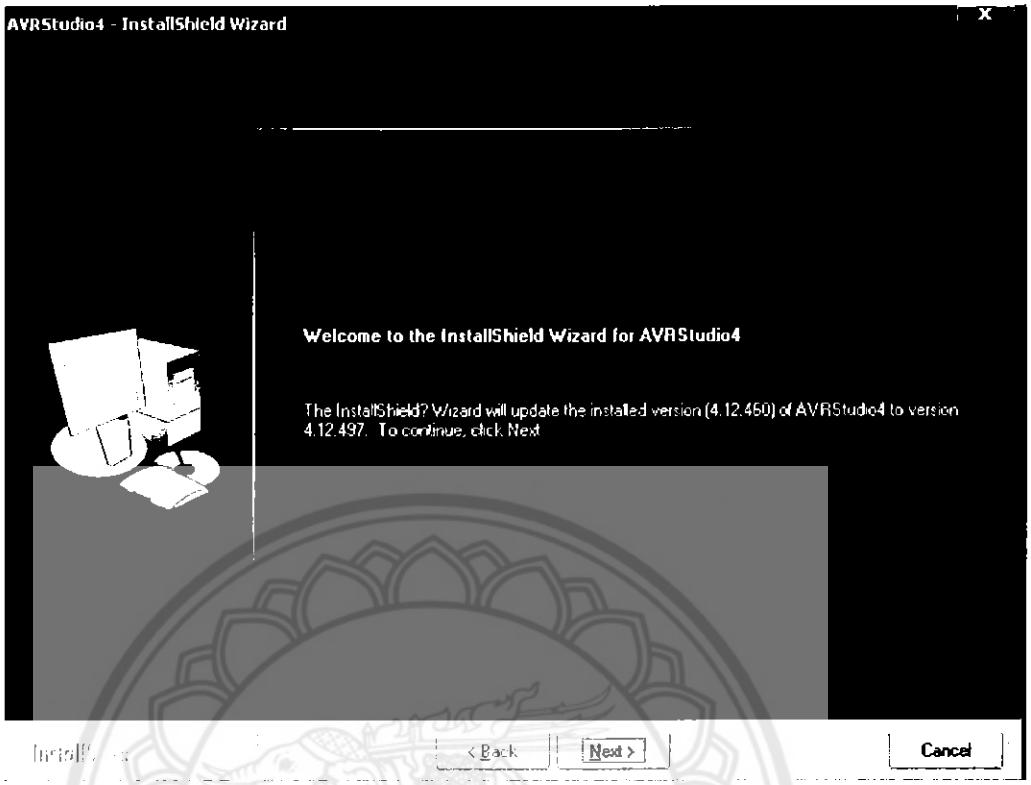


9. ดับเบิ้ลคลิกไฟล์ aStudio412SP4b497.exe

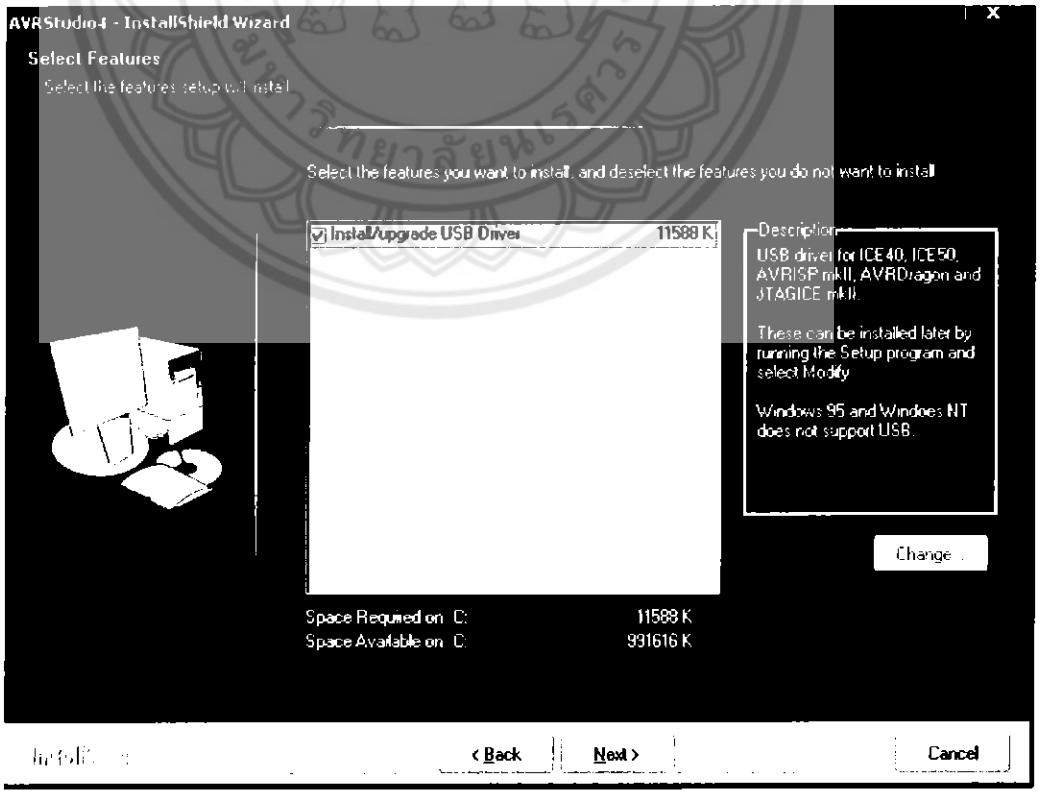




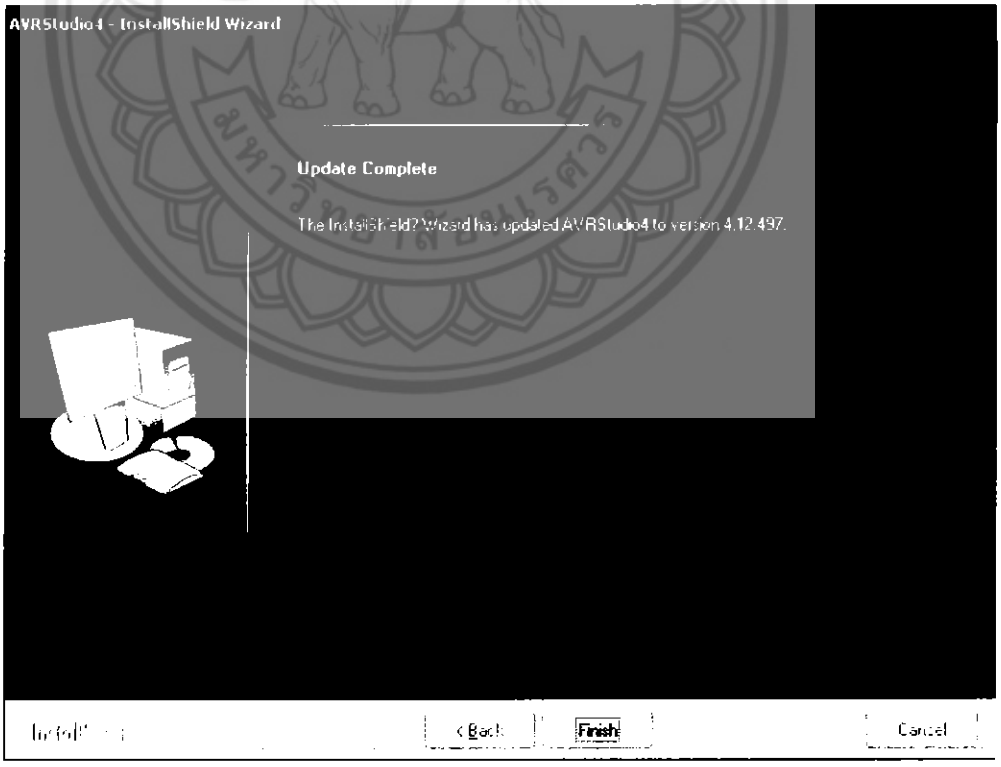
10. คลิก next



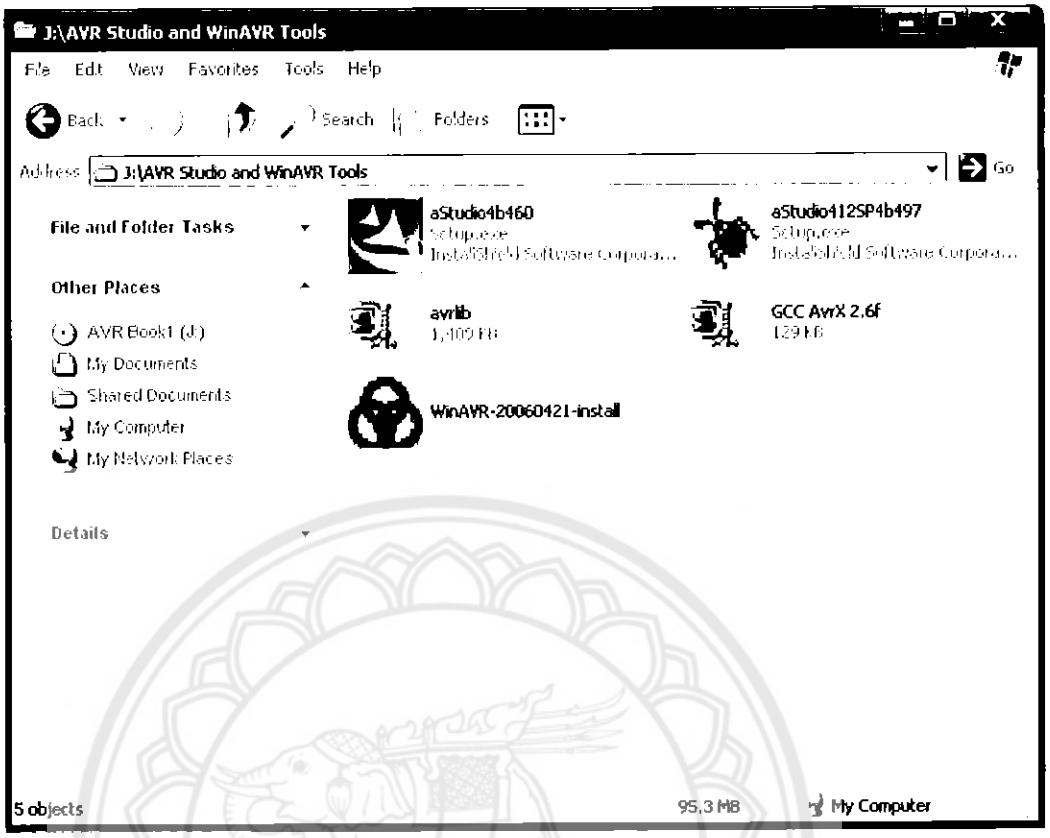
11. คลิกที่ Install/upgrade USB Driver แล้วคลิก next

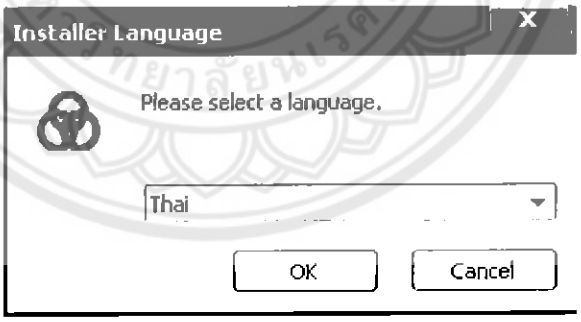


12. โปรแกรมจะทำการ install เสร็จแล้วคลิก finish

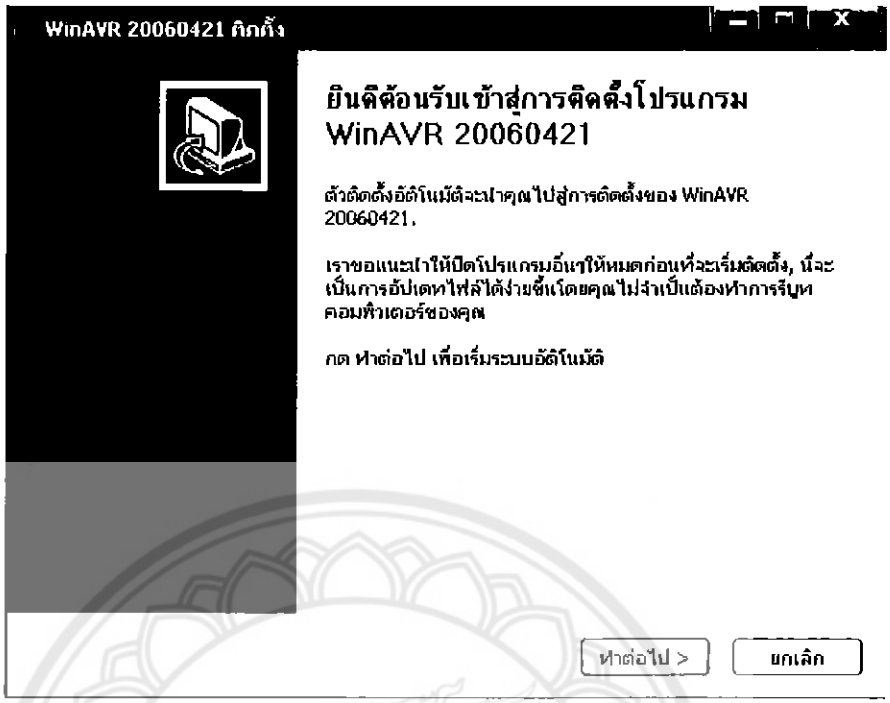


13. ดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ WinAVR-20060421-install แล้วเลือกภาษา โดยในที่นี้จะเลือก Thai

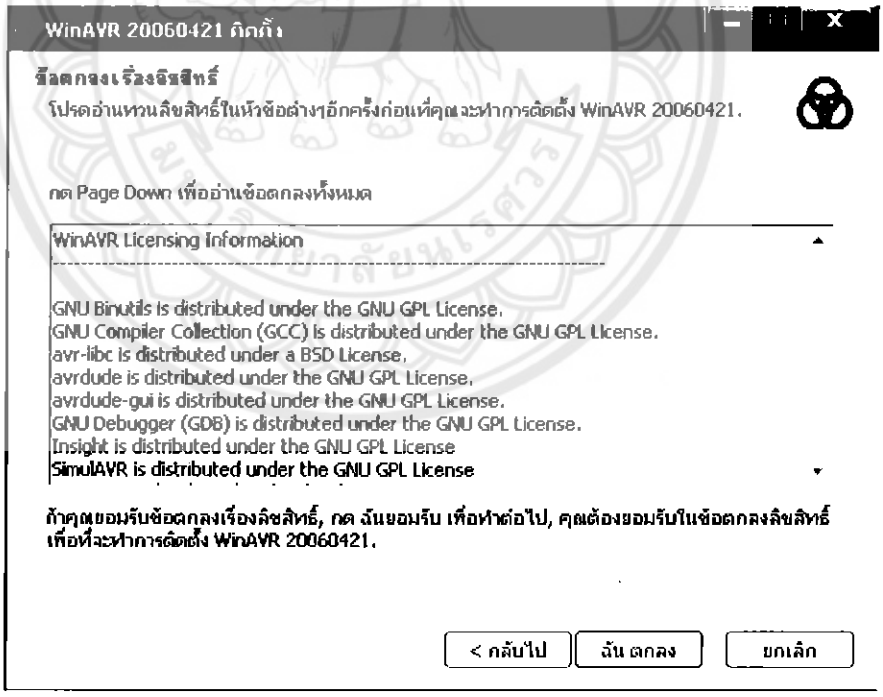




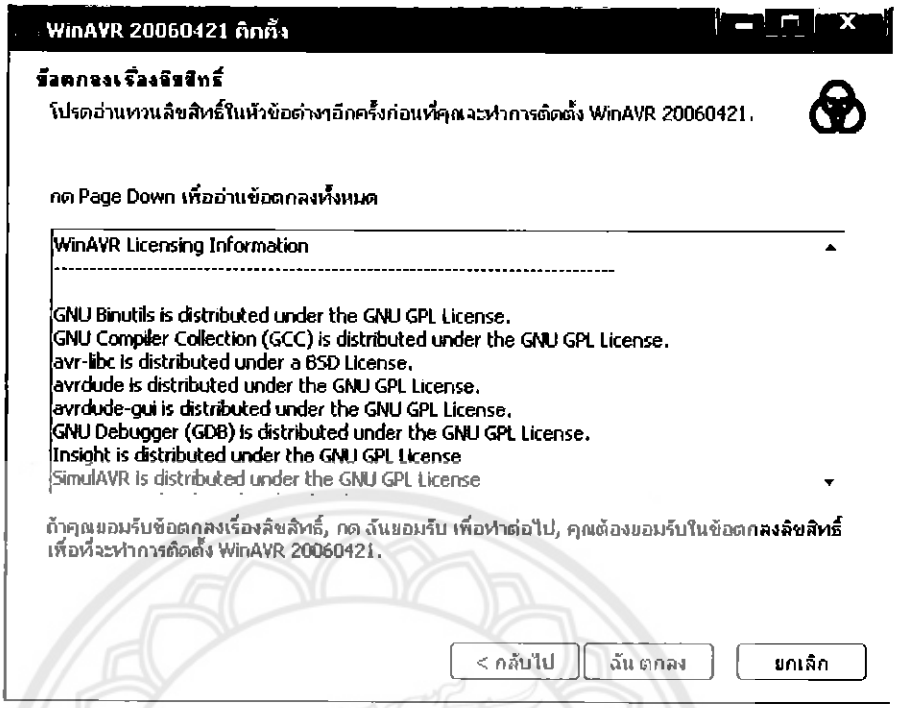
14. คลิก ทำต่อไป>



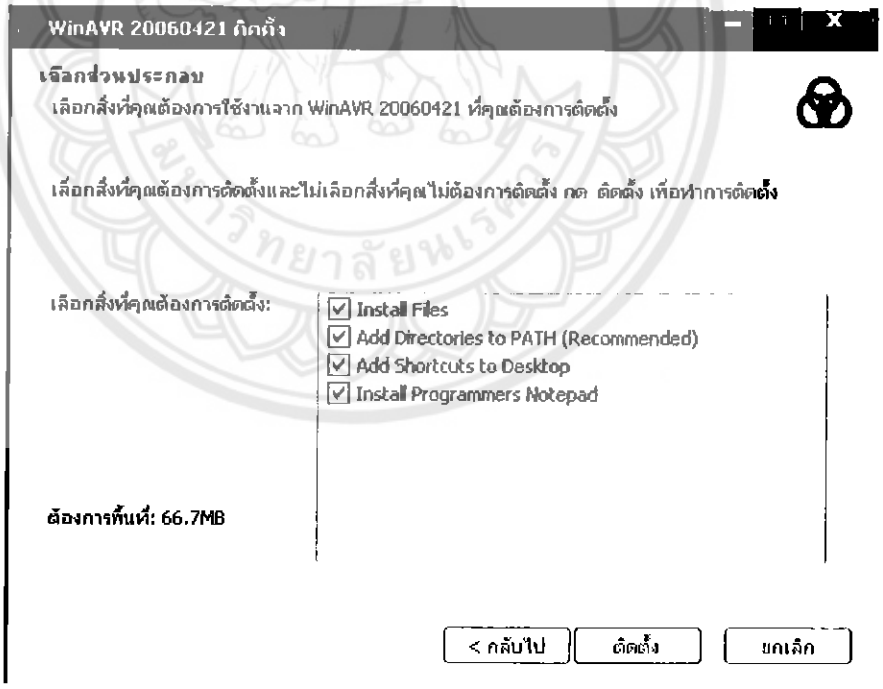
15. คลิก ฉันตกลง



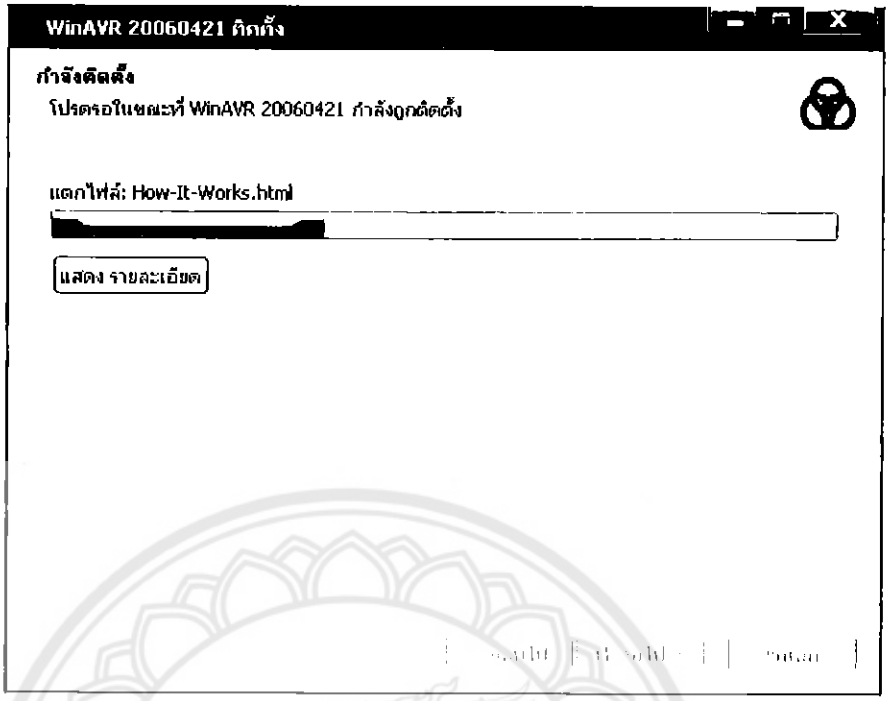
16. คลิก ทำต่อไป>

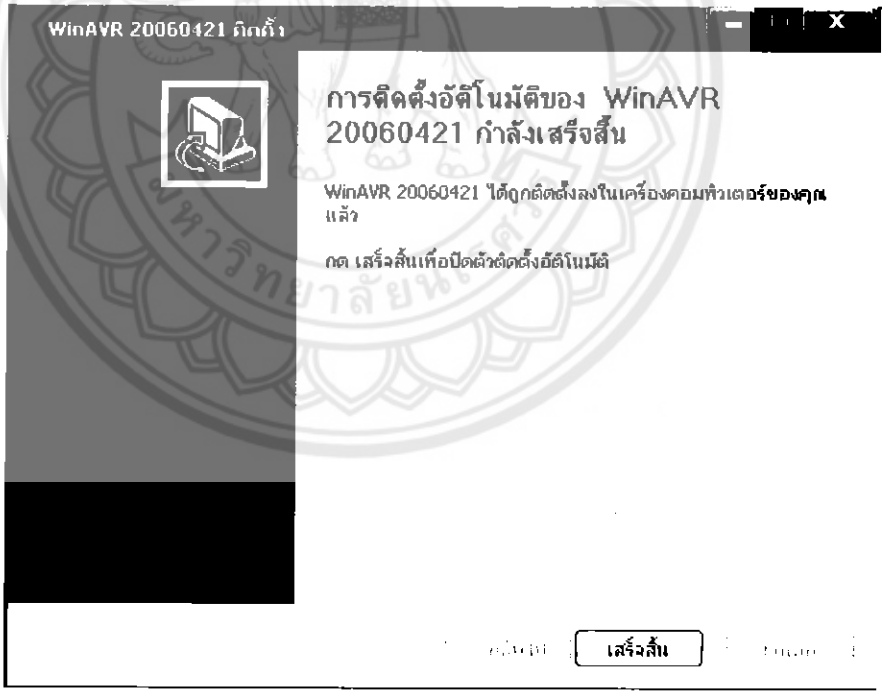


17. คลิก ติดตั้ง



18. โปรแกรมจะทำการติดตั้ง เสร็จแล้วเลือก finish การลงโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งาน





ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นางสาวภัทราพร จิตตา

ภูมิลำเนา 384/81 หมู่ 10 ตำบลชมพู อำเภอเมืองลำปาง
จังหวัดลำปาง 52000

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษามัธยมจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปี 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : dek-d-zaa@hotmail.com

ชื่อ นายวิษณุ ทองปิ่น

ภูมิลำเนา 102 หมู่ 14 ตำบลป่ามะคาบ อำเภอเมืองพิจิตร
จังหวัดพิจิตร 66000

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษามัธยมจากโรงเรียนพิจิตรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปี 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : witsanu_nu_ee@hotmail.com

ชื่อ นายอภิชาติ จันทร์วัน

ภูมิลำเนา 2 หมู่ 5 ตำบลตาดกลอย อำเภอหล่มเก่า
จังหวัดเพชรบูรณ์ 67120

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษามัธยมจากโรงเรียนเมืองราดวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปี 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : pe_toso@hotmail.com