สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล

REMOTE CONTROL KILOWATT HOUR METER READER

T042523

นางสาวเสาวรัตน์ ลิ่มสกุล
นายอภิลักษณ์ สิงครุธ
นางสาวปาลิตา แซ่ลิ้ม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42523
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOTE CONTROL KILOWATT HOUR METER READER

SAOWARAT LIMSAKUL

APILAK SINGKRUT

PALITA SAELIM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล		
	REMOTE CONTROL KILOWATT HOUR METER READER		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวเสาวรัตน์	ลิ่มสกุล	รหัสประจำตัว 40010925
	นายอภิลักษณ์	สิงครุธ	รหัสประจำตัว 40010953
	นางสาวปาลิตา	แซ่ลิ้ม	รหัสประจำตัว 40010982
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2543		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รศ.เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์	
อ.อาจินต์ น่วมสำราญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 15 มีนาคม พ.ศ.2544

สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบปริญญานิพนธ์ ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชา ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล	
	REMOTE CONTROL KILOWATT HOUR METER READER	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวเสาวรัตน์	ลิ่มสกุล
	นายอภิลักษณ์	สิงครุธ
	นางสาวปาลิตา	แซ่ลิ้ม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.เกษตร์	ศิริสันติสัมฤทธิ์
	อ.อาจินต์	น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

เนื้อหาของโครงงานนี้เป็นการพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย ส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-485 เข้าสู่พอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์เพื่อจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการคำนวณค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Remote Control Kilowatt Hour Meter Reader
Authers	MissSaowarat Limsakul
	Mr.Apilak Singkrut
	MissPalita Saelim
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Kaset Sirisantisamrit
	Ajin Nuamsumran
Year	2000

ABSTRACT

Remote Control Kilowatt Hour Meter Reader is developed by used chip microcontroller to record kilowatt hour (kWh) from kilowatt hour meter, that connect in network system.Then microcontroller send this data to computer by serial port via RS-485 communication standard for store customer's database and calculate electricity price.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์จากบุคคลหลายๆท่าน นับตั้งแต่เริ่มทำเป็นต้นมาจวบจนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้ได้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ โดยเฉพาะรศ.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์และอาจารย์อาจินต์ น่วมสำราญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 แนวคิดในการจัดทำปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....1

1.4 หลักการทำงานของระบบจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล.....2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....**4**

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....4

2.2 การสื่อสารข้อมูล.....10

2.3 การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม.....13

2.4 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232.....19

2.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485.....22

2.6 แนวความคิดของระบบควบคุม.....27

2.7 แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power Supply).....28

2.8 อัตราค่าไฟฟ้าของ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) 34

บทที่ 3 โครงสร้างและการออกแบบ.....**46**

3.1 เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า.....46

3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย.....49

3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก.....50

3.4 ชุดอุปกรณ์การตัด-ต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้า.....52

3.5 ตัวแปลงสัญญาณ (Adapter).....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง.....54

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....67

4.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์.....67

4.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบโปรแกรมคำนวณภายในไมโครคอนโทรลเลอร์.....68

4.3 การทดลองที่ 3 การตัด-ต่อกระแสไฟฟ้า.....68

4.4 การทดลองที่ 4 การคำนวณค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง.....69

4.5 สรุปผลการทดลอง.....71

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง.....71

บทที่ 5 บทสรุป.....72

5.1 ความแตกต่างระหว่างโครงงาน.....72

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ.....73

บรรณานุกรม.....74

ภาคผนวก.....75

ภาคผนวก ก 76

ภาคผนวก ข 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าอินเทอร์รัพท์เวคเตอร์ของ MCS 51.....10

2.2 ลำดับความสำคัญของการทำอินเทอร์รัพท์.....10

2.3 อักขระควบคุมใน Bisyn.....15

2.4 บิทพาริตี้ของข้อมูล.....18

2.5 การจัดขาคอนเน็กเตอร์พอร์ทอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232
ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25.....22

2.6 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารของข้อมูลของ EIA.....23

4.1 แสดงค่าจากการบันทึกผลการทดลองที่1.....67

4.2 แสดงค่าจากการบันทึกผลการทดลองที่2.....68

4.3 แสดงค่าจากการบันทึกผลการทดลองที่2.....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล.....2
2.1 สถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51..... 6
2.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51.....7
2.3 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร.....11
2.4 โครงสร้างของข้อมูล Bisyn.....16
2.5 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัสอย่างง่าย.....16
2.6 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสอย่างง่าย.....17
2.7 ไดอะแกรมการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์.....20
2.8 คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 และ DB-9.....22
2.9 การเชื่อมต่อเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485.....24
2.10 ช่วงของกระแสและแรงดันในการทำงาน.....24
2.11 ไอซี SN75176B.....25
2.12 เครือข่ายที่สมมูลกันตามมาตรฐาน RS-485.....26
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและอัตราการส่งข้อมูล.....27
2.14 การเชื่อมต่อเครือข่ายของระบบควบคุม.....28
2.15 ส่วนประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง.....29
2.16 การทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก.....30
2.17 การทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ.....31
2.18 ลักษณะของสัญญาณแรงดัน.....32
2.19 วงจรพื้นฐานของไอซีตระกูล 78xx.....33
3.1 KILOWATT HOUR METER.....46
3.2 เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 47
3.3 การติดตั้งเซ็นเซอร์กับจานหมุนเพื่อนับรอบ.....48
3.4 สัญญาณอินเทอร์รัพท์จากเซ็นเซอร์.....49
3.5 LogicDiagramของMultiplexerเบอร์CD4051BC.....51
3.6 LogicDiagramของDecoderเบอร์SN74LS137.....51
3.7 วงจรควบคุมการทำงานของรีเลย์.....52
3.8 โครงสร้างของตัวแปลงสัญญาณ.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.9 การเชื่อมต่อเครือข่ายของ IC 75176.....53

3.10 วงจรของตัวแปลงสัญญาณ.....54

3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดในการจัดทำปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการไฟฟ้าได้ใช้วิธีการเก็บค่าไฟฟ้าตามบ้านเรือนด้วยการใช้เจ้าหน้าที่จดบันทึกค่าที่ได้จากหน้าปัดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (Kilowatt-hour meter) พบว่ามีความสิ้นเปลืองทั้งในส่วนของทรัพยากรบุคคล งบประมาณในการดำเนินงาน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ง่าย จึงมีแนวคิดในการนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ มาตรฐานการสื่อสารในรูปแบบต่างๆ และภาษาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการจัดทำระบบจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลเพื่อทดแทนแรงงานคน โดยเป็นการพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้า ให้สามารถเก็บข้อมูลได้ในระยะทางไกล สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและมีความน่าเชื่อถือของข้อมูล อีกทั้งยังพัฒนาให้ระบบสามารถเข้าสู่ระบบเครือข่าย อันเป็นสิ่งสำคัญของการพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าให้สามารถทำงานได้ด้วยการควบคุมระยะไกล
2. เพื่อพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าให้สะดวกต่อการใช้งาน
3. เพื่อพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
4. เพื่อพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเครือข่าย
5. เพื่อเป็นการนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะในบริเวณที่มีผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่รวมกันค่อนข้างหนาแน่น ระบบจะทำหน้าที่เก็บปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า แล้วส่งค่าที่บันทึกได้ผ่านสายเกลียวคู่ (Twist Pair) ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและเก็บข้อมูลไว้ใช้สำหรับออกใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าต่อไป

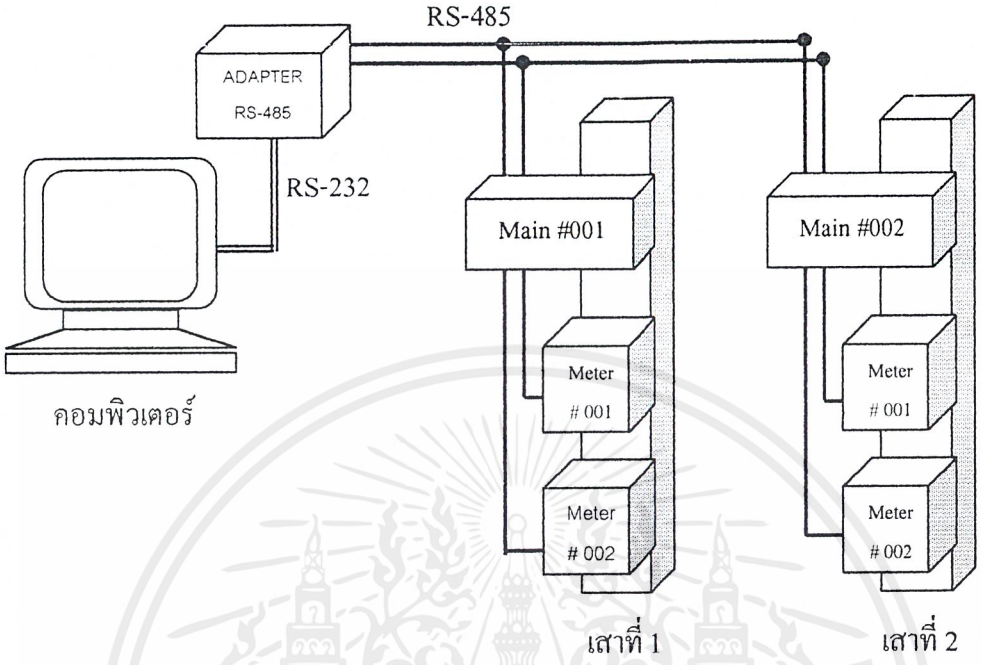
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 หลักการทำงานของระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล

มีหลักการทำงานดังนี้

1. นับจำนวนรอบการหมุนของจานหมุนในเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์บริเวณขอบจานหมุน เมื่อจานหมุนหมุนครบ 1 รอบ เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย เพื่อเก็บข้อมูลจำนวนรอบการหมุนที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย (MCS-51) มีหน้าที่
   2.1 เก็บข้อมูลจำนวนรอบการหมุนที่ได้จากเซ็นเซอร์ และส่งข้อมูลนั้นให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักในหน่วยยูนิต (Unit) หรือกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) โดย 1 ยูนิต เท่ากับ 1200 รอบ เมื่อมีการเรียกขอดูข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า
   2.2 เป็นตัวควบคุมชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้า
3. ชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้า ใช้หลักการทำงานของอุปกรณ์รีเลย์ (Relay) ซึ่งถูกควบคุมการทำงานโดยโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย
4. ไมโครคอนโทลเลอร์หลัก (MCS-51) เป็นศูนย์กลางการควบคุมไมโครคอนโทรเลอร์ลูกข่ายแต่ละตัวที่เชื่อมต่อภายในระบบเดียวกันกล่าวคือเมื่อมีผู้ใช้ระบบส่งสัญญาณคำสั่งขอดูข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือคำสั่งตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งในระบบผ่านคอมพิวเตอร์ สัญญาณนั้นจะผ่านเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์หลักเพื่อประมวลผลตามคำสั่ง จากนั้นจึงนำผลที่ได้ส่งกลับไปยังผู้ใช้ระบบผ่านสายเกลียวคู่ตามมาตรฐาน RS-485
5. แบตเตอรี่สำรอง เป็นระบบพลังงานสำรองสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบเมื่อไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของระบบปกติ
6. การติดต่อสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทลเลอร์หลักกับผู้ใช้ระบบผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว (Half-duplex) ผ่านสายเกลียวคู่ซึ่งข้อมูลจะถูกแปลงจากสัญญาณดิจิตอลเป็นดิฟเฟอเรนเชียลไลน์ไดร์เวอร์ (Differential Line Driver)
7. ซอฟท์แวร์ ใช้ในการติดต่อระหว่างผู้ใช้ระบบกับระบบจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลเขียนขึ้นโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์วิชวลเบสิค (Visual Basic)
8. ฐานข้อมูล (Database) เป็นการบันทึกปริมาณพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน (4 เดือน) เพื่อใช้ในการคิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ได้จากระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว คือไมโครคอมพิวเตอร์แบบที่มีขนาดเล็ก โดยบรรจุไว้ในแผงวงจรรวม (Integrated Circuit) เพียงชิพเดียว เหมาะสำหรับควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ โดยอัตโนมัติโดยผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้ตามต้องการ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS-51 ที่เลือกใช้ในโครงงานนี้คือเบอร์ AT89C51 ของบริษัท ATMEL ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำโปรแกรม (ROM) ภายในแบบแฟลช ขนาด 4 กิโลไบท์ ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบข้อมูลใหม่ถึง 1000 ครั้ง โดยที่ไม่ต้องใช้หน่วยความจำแบบ EPROM ภายนอก และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

2.1.1 คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิท ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายใน จำนวน 8 กิโลไบท์ ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานของโครงงานนี้
- สามารถต่อหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลในระหว่างการทำงานของโปรแกรม (RAM) ได้ 64 กิโลไบท์
- สามารถใช้กับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บชุดคำสั่งที่จะทำให้ MCS-51 ทำงานได้สูงสุด 64 กิโลไบท์
- มีคำสั่งคูณและหารเลข (คำสั่งทางคณิตศาสตร์) ขนาด 8 บิท
- มีการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Series) หรือ Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)
- มีวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิท 2 ชุด
- มีการขอขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม (Interrupt)
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์เพียงชุดเดียว
- สามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมดของการทำงานปกติ (Idle) และการประหยัดพลังงานไฟฟ้า (Powerdown)

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาจึงทำให้ MCS-51 เป็นที่นิยมใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติ ซึ่งบรรจุไว้ในไอซีวงจรรวมเดี่ยว (Single Chip) ขนาด 40 ขา ดังนั้นจึงสามารถออกแบบให้ระบบมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กทำให้ตรวจสอบหาข้อผิดพลาดได้ง่าย รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตหากจะต้องมีการผลิตเป็นจำนวนมาก

2.1.2 โครงสร้างของ MCS-51

โครงสร้างของ MCS-51 ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ซีพียู (Central Processing Unit) ภายในแบ่งย่อยได้เป็นส่วนๆ แต่ละส่วนมีหน้าที่ต่างๆ ได้แก่ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม (Control Unit) ในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ และส่วนประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล สำหรับนำข้อมูลไปเก็บไว้และอ่านเอาข้อมูลออกจากหน่วยความจำ
3. อุปกรณ์อินพุท/เอาท์พุท ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก

2.1.3 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51

หน่วยความจำของ MCS-51 แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

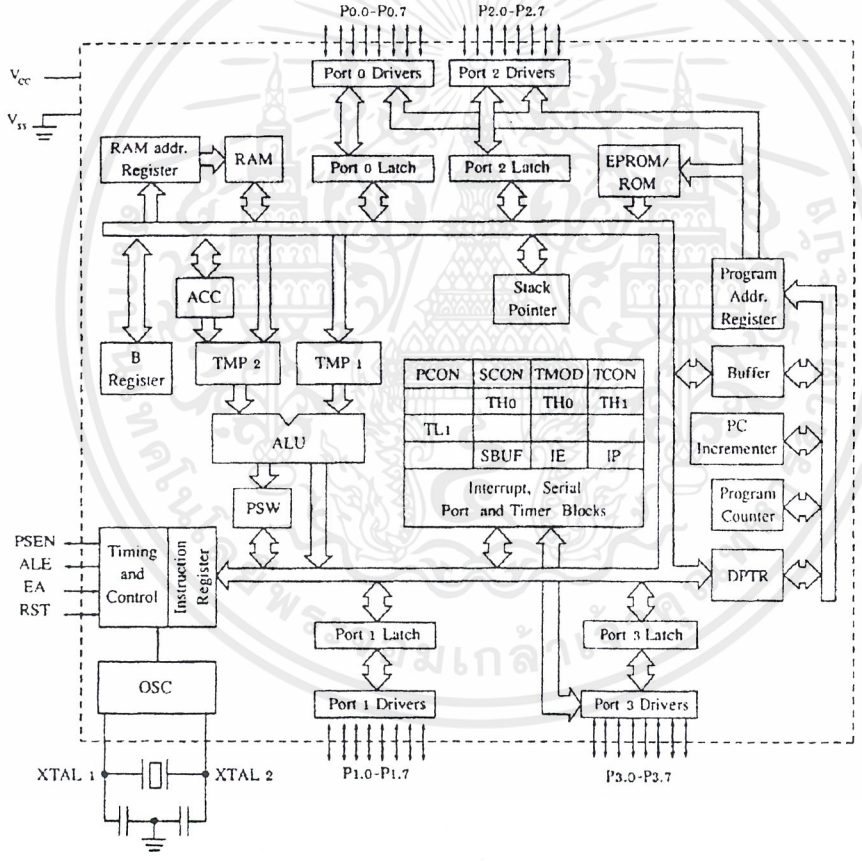
1. หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บโปรแกรมการทำงาน ซึ่งจะเป็น ROM (Read Only Memory) เท่านั้น แบ่งเป็น
   1.1 หน่วยความจำภายใน (Internal Memory) ซึ่งจะอยู่ภายใน MCS-51 จำนวน 4 กิโลไบท์ ตำแหน่งของหน่วยความจำนี้อยู่ที่ 0000H ถึง 0FFFH
   1.2 หน่วยความจำภายนอก (External Memory) ตำแหน่งของหน่วยความจำจะอยู่ที่ 1FFFH ถึง FFFFH
2. หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) เป็นหน่วยความจำใช้สำหรับพักเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน การเขียนหรือการอ่านจะกระทำโดยคำสั่งที่เก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำประเภทนี้เป็น RAM (Random Access Memory) ซึ่งมีอยู่ภายใน MCS-51 จำนวน 128 ไบท์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH และอยู่ภายนอก MCS-51 มีได้สูงสุด 64 กิโลไบท์ที่ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH โดยภายในจะแบ่งออกได้เป็น
   2.1 ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุด เรียกแต่ละชุดว่ารีจิสเตอร์แบงค์ที่ตำแหน่ง 00H-1FH โดยแต่ละชุด ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ R0-R7
   2.2 หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิทได้ ตำแหน่ง 20H-2FH
   2.3 หน่วยความจำใช้งานทั่วไปตำแหน่ง 30H-7FH
   2.4 รีจิสเตอร์ฟังค์ชันพิเศษตำแหน่ง 80H-FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราสามารถอ้างหน่วยความจำภายในได้ 2 แบบ คืออ้างไปยังตำแหน่งของไบท์ (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านนอก) หรือการอ้างไปที่ตำแหน่งของบิท (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านใน) โดยตำแหน่งของหน่วยความจำที่อ้างเป็นแบบบิทได้จะมีตำแหน่งบิทที่แน่นอน

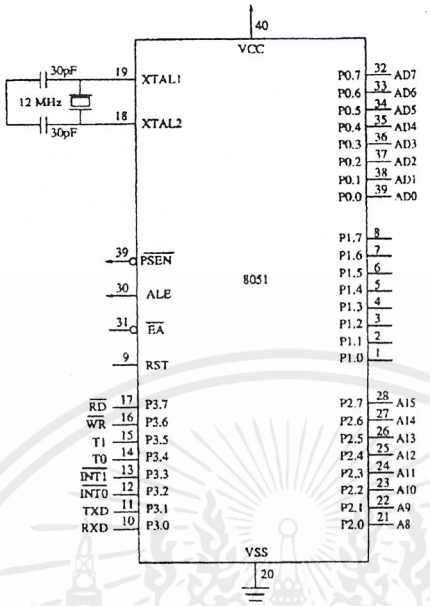
2.1.4 สถาปัตยกรรมของ MCS-51

สถาปัตยกรรมของ MCS-51 อธิบายถึงส่วนย่อยๆ ภายใน MCS-51 เพียงชิพเดียว ดังภาพที่ 2.1 และสัญญาณจากภายในจะต่อออกสู่ภายนอกทางขาต่างๆ 40 ขาของ MCS-51 ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 บรรจุอยู่ในไอซีวงจรรวมแบบ Dual Inline Package (DIP) มีขาทั้งหมด 40 ขา มีลักษณะการใช้งานต่างๆ กันดังนี้

1. พอร์ท 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุทเอาท์พุทได้ นอกจากนี้การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย
2. พอร์ท 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ท 8 บิท สามารถอ้างทีละบิทได้
3. พอร์ท 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าที่ คือเป็นพอร์ท 8 บิท และเป็นขาแอดเดรส 8 บิทในการอ้างหน่วยความจำภายนอก
4. พอร์ท 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งาน 2 หน้าที่คือ เป็นพอร์ทอินพุทและเอาท์พุท และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆดังนี้ P3.0/RXD (Serial Input Port) ขารับข้อมูลแบบอนุกรม
   - P3.1/TXD (Serial Output Port) ขาส่งข้อมูลแบบอนุกรม
   - P3.2/INT0 (External Interrupt) ขารับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก
   - P3.3/INT1 (External Interrupt) ขารับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก
   - P3.4/T0 (Timer/Counter0 External Input) ขารับสัญญาณเข้ายังวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T0 นี้ หรือสัญญาณนาฬิกา
   - P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้ายังวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับ T0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.6/WR (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอก
- P3.7/RD (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลสำหรับหน่วยความจำภายนอก

5. PSEN (Program Store Enable) ได้แก่ขาที่ 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา PSEN จะต่อกับขา Output Enable (OE) ของ EPROM
6. ALE (Address Latch Enable) เนื่องจากพอร์ท 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้แก่ขา 30 ขานี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ พอร์ท 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น จะต้องมีอุปกรณ์มาติดต่อกับพอร์ท 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง พอร์ท 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอกให้เก็บค่า Address Bus ของพอร์ท 0 ไว้ เพื่อใช้ พอร์ท 0 เป็น Data Bus ต่อไป
7. EA (External Access) ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก 1 ใช้กับเบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก 0 บอกว่าให้ MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก
8. RST (Reset) ได้แก่ขาที่ 9 จะใช้ในการรีเซต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก 1 อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะรีเซตระบบได้

2.1.5 การอินเทอร์รัพท์

การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปมักมีอุปกรณ์ภายนอกต่อร่วมอยู่ ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการทำงานกับอุปกรณ์ภายนอกจะต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์นั้นเสมอ ถ้ามีอุปกรณ์ภายนอกหลายตัว ระบบตรวจสอบจะทำให้เสียเวลาในการทำงานหลักไป ดังนั้นการเปลี่ยนให้อุปกรณ์ภายนอกส่งสัญญาณมาบอกซีพียูเองเมื่อต้องการติดต่อกับซีพียูทำให้ซีพียูไม่ต้องเสียเวลาในการตรวจอุปกรณ์ภายนอกจึงเกิดขึ้น เราเรียกระบบนี้ว่า การอินเทอร์รัพท์ (Interrupt)

2.1.5.1 ขบวนการเกิดอินเทอร์รัพท์

ถ้าหากคอมพิวเตอร์ทำงานโปรแกรมหลักอยู่ เมื่อมีการอินเทอร์รัพท์เข้ามาคอมพิวเตอร์จะละทิ้งโปรแกรมหลัก แต่ไปทำโปรแกรมการตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine) เมื่อทำโปรแกรมการตอบสนองอินเทอร์รัพท์เสร็จ คอมพิวเตอร์จะกลับมาทำโปรแกรมเดิมในตำแหน่งแอดเดรสถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2 สัญญาณอินเทอร์รัพท์

แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ใช้กับ MCS-51 คือ

1. อินเทอร์รัพท์ภายใน เกิดขึ้นจากภายในตัว MCS-51 เอง ได้แก่สัญญาณจาก ไทเมอร์แฟลก 0, ไทเมอร์แฟลก 1 และพอร์ทอนุกรม
2. อินเทอร์รัพท์ภายนอก เกิดจากสัญญาณที่กระตุ้นเข้ามาทางขา INT0 และ INT1

เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัพท์เข้ามา เราสามารถโปรแกรมได้ว่าจะให้ MCS-51 ยอมให้มีการอินเทอร์รัพท์ได้หรือไม่ โดยการโปรแกรมไปที่ รีจิสเตอร์อินเทอร์รัพท์อีนาเบิล IE (Interrupt Enable) และถ้ามีสัญญาณอิมเทอร์รัพท์มาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่งพร้อมกัน เราสามารถจัดลำดับได้ว่าจะให้อินเทอร์รัพท์ใดเกิดก่อน โดยการโปรแกรมไปที่อินเทอร์รัพท์ไพออริตี้ IP (Interrupt Priority)

Interrupt Enable เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิทได้ ใช้กำหนดค่าว่าถ้าเกิด อินเทอร์รัพท์จากแหล่งต่างๆจะทำอินเทอร์รัพท์เหล่านั้นหรือไม่

Interrupt Priority เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิทได้ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพท์ซึ่งสามารถจัดได้สองลำดับ ถ้าเป็น "1" หมายความว่า มีความสำคัญสูงสุด ถ้าเป็น "0" หมายความว่า มีลำดับความสำคัญต่ำสุด

2.1.5.3 การทำงานของระบบหลังถูกอินเทอร์รัพท์

เมื่อ MCS-51 ถูกอินเทอร์รัพท์ จะกระโดดไปทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์โดยตำแหน่งที่กระโดดไปเรียกว่า อินเทอร์รัพท์เวคเตอร์ (Interrupt Vectors) เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์เรียบร้อยแล้ว MCS-51 จะกระโดดมาทำงานยังตำแหน่งเดิม โดยก่อนที่จะกระโดดไปทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์จะต้องเก็บค่าตำแหน่งเดิมไว้ โดยเก็บค่า PC ลงหน่วยความจำสแตกซึ่งอยู่ที่หน่วยความจำที่ถูกชี้โดยรีจิสเตอร์ SP เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์เสร็จแล้วจะคืนค่าในหน่วยความจำสแตกให้ PC ตามเดิม ค่าอินเทอร์รัพท์เวคเตอร์ของ MCS-51 แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

จากตารางจะเห็นว่าถ้าระบบถูกอินเทอร์รัพท์จากภายนอกทาง INT0 ตัว MCS-51 จะกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่ง 0003H ถ้าระบบถูกอินเทอร์รัพท์จาก Timer 0 จะกระโดดไปทำงานตำแหน่ง 000BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าอินเทอร์รัพท์เวคเตอร์ของ MCS-51

อินเทอร์รัพท์	อินเทอร์รัพท์เวคเตอร์
System Reset	0000H
External 0	0003H
Timer 0	000BH
External 1	0013H
Timer 1	001BH
Serial Port	0023H
Timer 2	002BH

ตารางที่ 2.2 ลำดับความสำคัญของการทำอินเทอร์รัพท์

อินเทอร์รัพท์	ลำดับความสำคัญ
IE0	ความสำคัญสูงสุด
TF0	
IE1	
TF1	
Serial	ความสำคัญต่ำสุด

2.2 การสื่อสารข้อมูล (Data Communications)

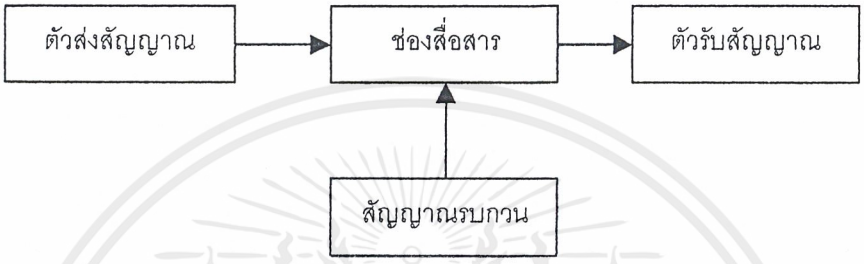
คำว่าการสื่อสารคือ พฤติกรรม ขั้นตอน และเทคโนโลยีต่างๆ ที่ทำให้สามารถส่งหรือแปลความหมายของข้อมูลข่าวสารได้ เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารกัน เช่น การสื่อสารระหว่างบุคคลเพื่อถ่ายทอดความคิดความรู้สึกไปยังอีกคนหนึ่ง แต่การสื่อสารของคนมีขีดจำกัดทางด้านภาษาที่แตกต่างกัน หรืออุปสรรคด้านระยะทางที่ห่างไกลกันมากระหว่างผู้ส่งสารและผู้รับสาร ดังนั้นมนุษย์จึงได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการและเทคนิคใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อลดขีดจำกัดทางด้านการสื่อสารลง

ข้อมูลข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน แบ่งออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ

1. เสียงหรือออดิโอ (audio) ได้แก่เสียงพูดในระบบโทรศัพท์ เสียงพูด เสียงเพลง หรือเสียงดนตรีซึ่งต้องการคุณภาพเสียงดีในระบบวิทยุกระจายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพ (picture) ได้แก่ภาพนิ่งในระบบโทรสาร (facsimile) และระบบส่งภาพระยะไกล (telephoto) ภาพยนตร์ในระบบโทรทัศน์
3. ข้อมูล (data) ส่วนใหญ่ส่งมาเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องคอมพิวเตอร์ ได้แก่ข้อมูลและคำสั่งในระบบโทรมาตร ตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์ หรือโทรเลข ข้อมูลคอมพิวเตอร์ในระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร

จากภาพที่ 2.3 ระบบสื่อสารไม่ว่าในรูปแบบใดจะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกันอยู่ 4 อย่าง ดังนี้

1. ตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ตัวส่งสัญญาณวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะแปลงข้อมูลข่าวสารหรือเสียงพูดให้เป็นสัญญาณรูปแบบที่สามารถส่งออกไปในตัวกลางหรือช่องสัญญาณ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไมโครเวฟ เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง เป็นต้น
2. สื่อกลางหรือช่องสื่อสาร (Communication Channel) เป็นตัวกลางที่ให้สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จากผู้ส่ง ณ สถานที่หนึ่งผ่านไปยังผู้รับในอีกสถานที่หนึ่งได้ ตัวกลางในที่นี้ได้แก่ คลื่นวิทยุ และในตัวกลางนี้มีส่วนทำให้สัญญาณที่ถูกส่งลดทอนลงไปได้ส่วนหนึ่ง
3. สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นพลังงานของรูปแบบต่างๆ ที่มีลักษณะไม่แน่นอนเข้ามาในระบบสื่อสาร มีผลรบกวนสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาในช่องสื่อสาร บางครั้งสัญญาณรบกวนอาจเกิดขึ้นในวงจรของตัวรับสัญญาณก็ได้ สำหรับระบบสื่อสารไร้สายนั้น นอยส์ที่รับเข้ามาได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ
   3.1 นอยส์บรรยากาศ (atmospheric noise) เกิดจากการแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก นอยส์บรรยากาศเกิดขึ้นตลอดเวลาแม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 นอยส์จากอวกาศ (space noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้านๆ ดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้นดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมามีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้ปรากฏออกมาเป็นนอยส์คงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวนอื่นอีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์ (sun spot) การลุกโชติช่วง (sola flar) ซึ่งก่อให้เกิดนอยส์เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยจักรวาล ก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดนอยส์มายังโลกได้

3.3 นอยส์ที่เกิดขึ้นจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made-noise) ได้แก่ นอยส์จากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น พัดลมที่เป่าผม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีนอยส์จากระบบจุดระเบิดรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

3.4 นอยส์ภายในตัวอุปกรณ์ในเครื่องรับ (internal noise) แยกออกเป็น 2 ประเภท คือ นอยส์อุณหภูมิ (thermal noise) และช็อตนอยส์ (shot noise) นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้งเรียกว่าจอห์นสันนอยส์ (Johnson noise) ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกทีฟ (active device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล เช่น ในทรานซิสเตอร์ ซึ่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

4. ตัวรับสัญญาณ (Receiver) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบให้รับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาทางช่องสื่อสาร และทำการแปลงสัญญาณให้กลับไปอยู่ในรูปแบบที่ผู้รับปลายทางสามารถเข้าใจได้ เช่น ตัวรับสัญญาณจากดาวเทียม

2.2.1 รูปแบบของการสื่อสาร

มีทางเลือกอยู่ 2 ทางที่จะเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ หรือระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกัน นั่นคือการรับส่งข้อมูลแบบขนาน และการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การรับส่งแบบขนาน จะเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิท ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การรับหรือส่งข้อมูลทำได้ที่ความเร็วสูง ซึ่งหมายความว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการส่งจะต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิทของข้อมูลที่จะส่งด้วย นอกจากนี้ยังจะต้องรวมถึงสายที่ใช้สำหรับการควบคุมและการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจจะต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิทข้อมูลที่จะรับหรือส่งก็ได้ ซึ่งก็เป็นปัญหาในเรื่องของราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานที่มักจะมีราคาแพง

ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิท แต่ก็สามารถรับส่งข้อมูลคราวละหลายๆ บิทได้ หากแต่จะต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวส่งและตัวรับว่า จะรับส่ง

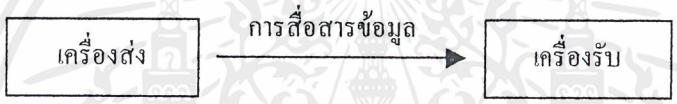
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลคราวละกี่บิท ตัวรับจะต้องรอข้อมูลมาให้ครบทุกบิทก่อนจึงจะทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่ามาก อย่างน้อยที่สุดใช้เพียง 2 – 3 เส้นเท่านั้น แต่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลอาจต่ำกว่าแบบขนาน อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถทำได้มากกว่า

2.3 การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

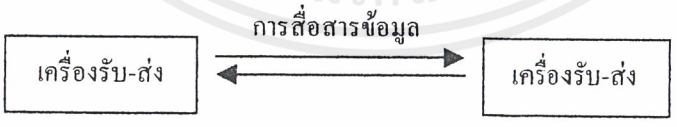
การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม แบ่งตามรูปลักษณะได้ 3 แบบ

1. แบบ Simplex ข้อมูลส่งได้ในทางเดียวเท่านั้น บางครั้งก็เรียกว่าการส่งทิศทางเดียว (Unidirectional data bus)



2. แบบ Half Duplex ข้อมูลสามารถส่งได้ทั้งสองสถานี แต่จะต้องผลัดกันรับผลัดกันส่ง จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้

3. แบบ Full Duplex ทั้งสองสถานีสามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน



การส่งแบบ Full duplex และ Half duplex ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของสายในการติดต่อ บางครั้งคำว่า two wire หรือ 2 เส้น และ four wire หรือ 4 เส้น ใช้ในการบรรยายถึงลักษณะการสื่อสารข้อมูลที่อาจจะทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

ข่าวสารบนสายการสื่อสารนั้นมีลักษณะเป็นกลุ่มของบิท ซึ่งเรียกว่าตัวอักษร (character) ตัวอักษรจะมีขนาดที่จำกัดแน่นอน โดยปกติทั่วไปแล้วเครื่องมือการสื่อสารจะไม่ส่งข้อมูลที่เป็นเพียงครึ่งหรือค่อนตัวอักษร จะต้องส่งไปเป็นข้อมูลของตัวอักษรที่สมบูรณ์ ดังนั้นถ้าจะกล่าวว่าตัวอักษร ก็คืออะตอมของเนื้อข้อมูลในการสื่อสารก็คงไม่ผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส และอะซิงโครนัส

การใช้ศัพท์คำว่าซิงโครนัส (Synchronous) และอะซิงโครนัส (Asynchronous) นั้นจะใช้อธิบายถึงการเกี่ยวข้องของเวลาที่สัมพันธ์กันระหว่างเวลาการส่งตัวอักษรแต่ละตัวบนสายส่งข้อมูล ถ้าจะกล่าวถึงความหมายตามตัวอักษรแล้ว อะซิงโครนัสก็หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน (not synchronous) แต่อย่างไรก็ดี ความหมายของการส่งข้อมูลในระบบอะซิงโครนัสนั้นหมายถึงว่า การส่งตัวอักษรตัวหนึ่งๆ นั้นจะเริ่มต้นที่เวลาใดก็ได้ เวลาที่ว่างในระหว่างการส่งอักษรแต่ละตัวไม่มีความแน่นอน ช่วงเวลาที่ว่าง (Idle time) นี้ไม่มีการจำกัดระยะเวลาไว้แต่อย่างใด ดังนั้นรูปแบบการส่งข้อมูลแบบนี้ จึงเหมาะสมกับข้อมูลที่เกิดจากการพิมพ์ตัวอักษรของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์ในการพิมพ์ แต่ละครั้งที่กดแป้นพิมพ์ตัวอักษร ตัวอักษรก็จะถูกส่งไปแบบอะซิงโครนัส

ในรูปแบบซิงโครนัส เวลาที่ว่างระหว่างตัวอักษรจะถูกขจัดออกไป บิทแรกของตัวอักษรจะถูกส่งตามหลังบิทสุดท้ายของตัวอักษรที่ส่งมาก่อนนั้นแล้วอย่างต่อเนื่อง นั่นก็คือบนสายส่งข้อมูลนั้นจะต้องมีอะไรถูกส่งผ่านอยู่เสมอ และถ้ามีช่วงเวลาที่อุปกรณ์ที่ควบคุมสายไม่มีอะไรเป็นพิเศษที่จะส่ง ช่วงเวลานี้ก็จะต้องถูกเติมอักษรข้อมูลที่ไม่ใช่อักขระ (Nonalphanumerical character) ซึ่งกำหนดจุดมุ่งหมายพิเศษเฉพาะเพื่อจะใช้รักษาความเป็นซิงโครนัสของสายสัญญาณไว้ ความจริงแล้วยังมีสภาพการณ์อื่นๆอีกที่จะทำให้เกิดการสูญเสียการควบคุมการส่งแบบซิงโครนัสนี้ไปได้ เช่น การที่เครื่องรับไม่สามารถกำหนดได้ว่า ตัวอักษรที่ส่งมานั้นสิ้นสุดที่ไหน และตัวอักษรตัวต่อไปจะเริ่มต้นที่ใด และเมื่อบิทข้อมูลเป็น 1 หรือ 0 ยาวเกินไป จะทำให้ขาดสัญญาณควบคุมสัญญาณนาฬิกาไปดังนั้นการสื่อสารแบบซิงโครัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์

2.3.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

ข้อแตกต่างระหว่างวงจรส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัส คือความต่อเนื่องของข้อมูลที่ส่ง ในแบบซิงโครนัสข้อมูลที่ส่งออกมาแบบต่อเนื่อง ไม่มีบิทสตาร์ทหรือบิทสต็อปหรือแม้แต่บิทพาริตี้ โปรโตคอลที่ใช้ในการส่งแบบซิงโครนัสจึงแตกต่างไปจากโปรโตคอลแบบอะซิงโครนัส

โปรโตคอลแบบไบซิงก์ (Bisyn Protocal) เป็นโปรโตคอลในระดับอักขระแต่ละตัวมีขอบเขตที่แน่นอน แต่ละอักขระไม่มีสตาร์ทบิทหรือสต็อปบิทเหมือนอะซิงโครนัส การซิงโครนัสกระทำกันที่จุดเริ่มต้นของการส่งข้อมูลเลยทีเดียว สถานีส่งจะส่งสัญญาณที่เรียกว่าตัวอักษรนำ (leading pad character) ไปยังสถานีรับก่อนที่จะเริ่มส่งข้อมูล ตัวอักษรนำประกอบไปด้วย 0 และ 1 สลับกันเพื่อให้สถานีรับจัดสัญญาณนาฬิกาให้ตรงกัน นอกจากนั้น ก่อนข้อมูลจะส่งออกมาจะต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักขระที่เรียกว่า syn ตามหลัง pad มาก่อน และสถานีส่งจำเป็นจะต้องบอกความยาวของข้อมูลและเครื่องหมายที่เป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของข้อมูลมาด้วย

อักขระ syn ในโปรโตคอลไบซิงก์ทำหน้าที่คล้ายกับบิทเริ่มต้นในอะซิงโครนัสซึ่งทำหน้าที่ "ปลุก" สถานีรับให้ตื่นมารับข้อมูล ขณะที่สถานีรับกำลังรอรับสัญญาณจากสถานีส่ง เครื่องรับอยู่ในสถานภาพที่เรียกว่า "Hint" บิททุกบิทที่ผ่านเข้ามาจะถูกหาอักขระ syn ก่อน เมื่อได้รับอักขระ syn แล้ว จึงจะเริ่มนับบิทที่เข้ามาเพื่อจุดเริ่มต้นของสัญญาณ เพื่อป้องกันโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด อักขระ syn จะส่งมา 2 ตัวก่อนที่จะเริ่มส่งข้อมูล อักขระควบคุมที่ใช้ในการส่งใน Bisyn แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 การใช้แสดงไว้ในภาพที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 อักขระควบคุมใน Bisyn

อักขระ	เลขฐาน 16 (Hex value)	เลขฐาน 10 (Decimal value)	อธิบาย
SYN	32	22	Synchronous Idle บอกการซิงโครนัส
PAD	55	85	Pad เริ่มต้นของ frame
PAD	FF	255	Pad บอกท้าย frame
DLE	10	16	Data link Escape บอกว่าใช้อักขระที่ตามหลังมาในการควบคุม
ENQ	2D	5	Enquiry ขอให้ส่ง
SOH	01	1	Start of Heading: เริ่มส่วนหัว
STX	02	2	Start of Text: เริ่มต้นข้อความ
ITB	1F	15	End of Intermediat Block หมดสิ้นกลุ่มของข้อมูลระหว่างกลาง
ETB	26	23	End of Transmission Block สิ้นสุดการส่งข้อมูล
ETX	03	3	End of Text สิ้นสุดข้อความ

ไม่มีขอบเขตจำกัดของจำนวนกลุ่มที่จะส่งไปในการส่งแต่ละครั้ง กลุ่มของข้อมูลอาจจะมีส่วนหัวนำหน้าเพื่อบรรยายข้อมูลที่ส่งมา

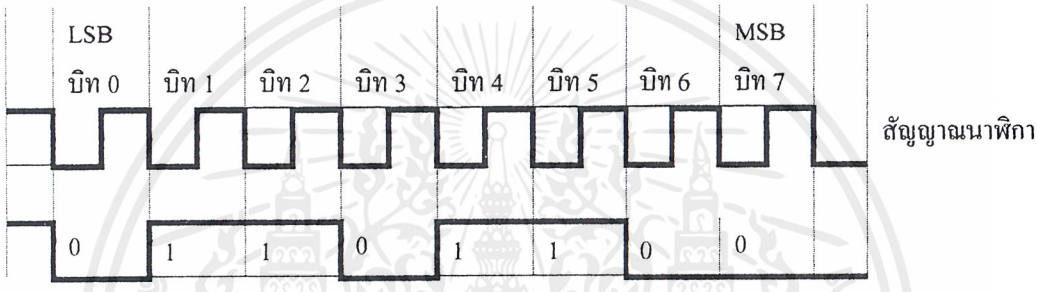
ส่วนที่เป็นข้อมูลจริงๆในสัญญาณไบซิงก์ มีกฎเกณฑ์บางอย่างเหมือนระบบอะซิงโครนัส คือ อักขระแต่ละตัวอาจจะใช้ 5, 6, 7 หรือ 8 บิท และอาจตามด้วยพาริตี้บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAD	PAD	SYN	SYN	SOH	HEADING	DLE	STX	TRANSPARENT DATA	DLE	ITB	BCC	DLE	STX	TRANSPARENT DATA	DLE	ETB	BCC	PAD

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของข้อมูล Bisyn

แต่ละกลุ่มของข้อมูลที่ถูกส่งออกจะได้รับการตรวจสอบความถูกต้องที่ฝ่ายรับ โดย Block Check Character (BCC) ซึ่งเป็นกลุ่มของตัวอักษรสำหรับตรวจสอบความถูกต้อง



ภาพที่ 2.5 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัสอย่างง่าย

2.3.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยเหมือนการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า "อัตราการถ่ายทอดข้อมูล" หรือ "บอดเรท" (Baudrate) มีหน่วยเป็นบิทต่อวินาที (Bit Per Second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

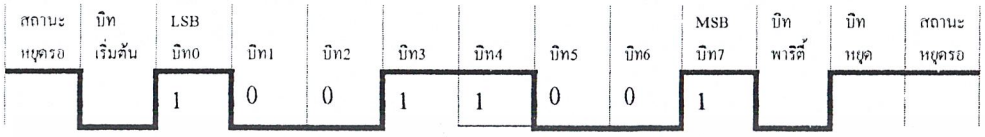
1. บิทเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิท
2. บิทข้อมูลอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิท
3. บิทตรวจสอบพาริตี้ (parity Bit) จะมีขนาด 1 บิท หรือไม่มีก็ได้
4. บิทปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิท

ภาพที่ 2.6 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเมื่อไม่มีข้อมูลส่ง ขาข้อมูลจะมีสถานะลอจิก "1" ซึ่งเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (Waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขาข้อมูลมีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิท ซึ่งเรียกบิทนี้ว่าบิทเริ่มต้น จากนั้นบิทข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิทที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบท์ที่จะส่งอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มีจำนวนบิท 5, 6 ,7 หรือ 8 บิทก็ได้ จากนั้นจะตามด้วยบิทพาริตี้ ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิทสุดท้ายที่จะส่งคือบิทปิดท้าย ซึ่งจะให้ขาข้อมูลมีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 , 1.5 หรือ 2 บิท เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว



ภาพที่ 2.6 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสอย่างง่าย

อุปกรณ์พิเศษที่ออกแบบมาสำหรับการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเรียกว่า Universal Asynchronous Receive/Transmitter หรือ UART อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ "ค่าบอดเรท" ซึ่งก็คือค่าจำนวนบิทต่อวินาทีที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล บอดเรทมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ทอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิทต่อวินาที และมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ซึ่งการรับส่งแบบอนุกรมโดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะสามารถกำหนดค่าบอดเรทได้ถึง 115200 บิทต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็น แบบคี่ (Odd), คู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ การตรวจสอบพาริตี้เป็นการกำหนดการตรวจสอบจำนวนรวมของบิทที่เป็นลอจิก "1" ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบท์ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่โดยรวมบิทพาริตี้เข้าไปด้วย

บิทพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART ซึ่งทางภาครับจะต้องทำการกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ให้ตรงกันว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดรวมทั้งบิทพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาเป็นตัวเลขคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ นับเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างง่ายที่สุด แต่จะเชื่อถือได้เมื่อมีบิทข้อมูลที่ทำการส่งผิดพลาดเพียงบิทเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิทที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิท การตรวจสอบด้วยวิธีจะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิทเป็น None นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42523

ตารางที่ 2.4 บิทพาริตี้ของข้อมูล

ข้อมูล	บิทพาริตี้คู่	บิทพาริตี้คี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	0	1
11111111	1	0

2.3.1.3 UART

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receive/Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส แล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่นๆ ให้กับคอมพิวเตอร์ทราบด้วย เช่น อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (บอดเรท) รูปแบบการส่งข้อมูล ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี้, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

ภายใน UART มีส่วนของวงจรสร้างบอดเรทแบบโปรแกรมได้ (Programmable buadrate generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิท ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1 - 65,535 UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half duplex) และฟูลดูเพล็กซ์ (Full duplex)

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่มีใช้กันมายาวนาน UART เบอร์นี้จะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.8 กิโลบิทต่อวินาทีเท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ รุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์หนึ่งคือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 115,200 บิทต่อวินาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับUART นอกจากนั้นยังเพิ่มส่วนของชิฟต์รีจิสเตอร์แบบ FIFO (First In First Out) ขนาด 16 ไบท์เข้าไป ทำให้สมารถสนับสนุนความเร็วในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับส่งข้อมูลที่ 256 กิโลบิทต่อวินาทีได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น เบอร์ TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบท์ ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน +5 โวลต์ และ +3 โวลต์ มีโหมดประหยัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 1 เมกะบิทต่อวินาทีเมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิรตซ์

อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากมายของ UART เบอร์ใหม่ ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 เมกะเฮิรตซ์

2.4 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดหนึ่งที่อยู่ห่างกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า "สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industrail Association :EIA) " ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS–232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสายสัญญาณสูงสุดไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ –3 ถึง –12 โวลต์แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12 โวลต์แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment :DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating :DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิทข้อมูลอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เพียงเป็นตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะต้องกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

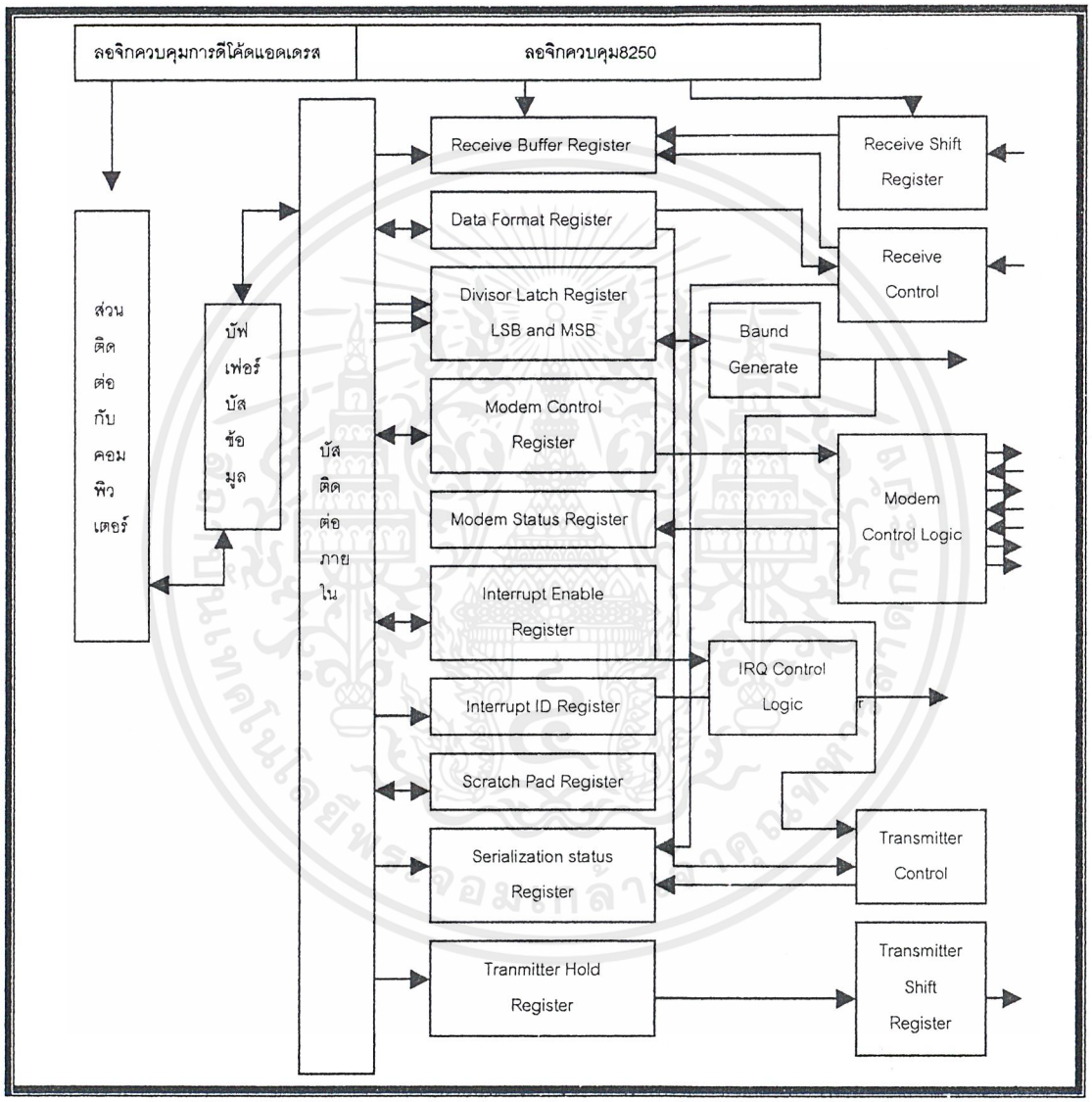
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE เป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE เป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่จะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ทอนุกรม RS-232 มักจะถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 วงจรภายในและรีจิสเตอร์ของพอร์ทอนุกรม RS-232

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปสามารถต่อพอร์ทอนุกรม RS-232 สูงสุดได้ 4 พอร์ท ซึ่งมีชื่อเรียกเป็น COM1, COM2, COM3 และ COM4 ซึ่งพอร์ทอนุกรมแต่ละตัวต่างก็ใช้งาน UART ภายในคอมพิวเตอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2.7 ไดอะแกรมการทำงานภายในของพอร์ทอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมการทำงานภายในพอร์ทอนุกรม ซึ่งประกอบไปด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิท 8 ตัวที่ใช้งานร่วมกับ UART แอดเดรสของรีจิสเตอร์ภายในพอร์ทอนุกรมสามารถคำนวณได้จากค่ารีจิสเตอร์พื้นฐานของพอร์ทอนุกรม ยกตัวอย่าง พอร์ทอนุกรม COM1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 3F8H ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ จะเป็นตำแหน่งที่ไปบวกเข้ากับค่า 3F8H

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรีจิสเตอร์ที่ใช้งานกับพอร์ทอนุกรมมีดังนี้

00H รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาหรือเตรียมข้อมูลก่อนส่งออกไป

01H รีจิสเตอร์อีนาเบิลการอินเทอร์รัพท์ ใช้ในการเซตโหมดการอินเทอร์รัพท์ของพอร์ทอนุกรม

02H รีจิสเตอร์แสดงโหมดการอินเทอร์รัพท์เพื่อตรวจสอบโหมดของการอินเทอร์รัพท์เมื่อมีการอินเทอร์รัพท์เกิดขึ้น

03H รีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบของข้อมูล

04H รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม ใช้ตรวจสอบบิทสำหรับติดต่อโมเด็ม เช่น RTS หรือ DTR

05H รีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

06H รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม ซึ่งแสดงสถานะชองขา DCD, RI, DSR และ CTS

07H รีจิสเตอร์สำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราว

2.4.2 ลักษณะสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของพอร์ท RS-232

สัญญาณเอาท์พุทที่ใช้ควบคุม (RST และ DTR) และสัญญาณแสดงสถานะอินพุท (CRT, DSR และ DCD) ของพอร์ทอนุกรม RS –232 จะถูกกลับสถานะภายในตัว UART ส่วนสัญญาณข้อมูลทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่ถูกกลับสถานะ UART จะให้ระดับสัญญาณเอาท์พุทออกมาเป็นแบบทีทีแอลเท่านั้น ดังนั้นเมื่อสัญญาณถูกส่งออกมาจาก UART จึงต้องส่งเข้าสู่วงจรขับเพื่อปรับระดับแรงดันให้ได้ระดับสัญญาณเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 ก่อนส่งออกไปจากคอมพิวเตอร์ สำหรับอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางก็จะต้องมีวงจรขับในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน เพื่อให้ได้ระดับสัญญาณในระดับเดียวกันแต่วงจรขับที่ใช้ทั้งภายในคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เชื่อมปลายทางนั้นจะถูกกลับสถานะ

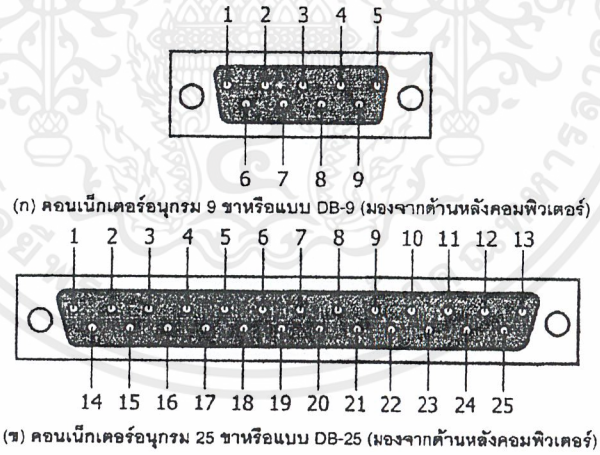
2.4.3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ท RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 หรือ DB-9 ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB –25 จะต่อขาใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันใช้งานไม่มากนักจึงถูกยกเลิกไป แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.5 และภาพที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ทอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect : DCD	อินพุท
2	3	Received Data : RxD	อินพุท
3	2	Transmitted Data : TxD	เอาท์พุท
4	20	Data Terminal Ready : DTR	เอาท์พุท
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุท
7	4	Request To Send : RTS	เอาท์พุท
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุท
9	22	Ring Indicator : RI	อินพุท



ภาพที่ 2.8 คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 และ DB-9

2.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นคือ RS-232 นั้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลในแบบที่ใช้งานระหว่างอุปกรณ์หรือจุดต่อจุด (point-to-point) ส่วน RS-422A นั้นเป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก RS-232 ให้ได้ระยะทางไกลขึ้น และอัตราการสื่อสารเพิ่มขึ้น แต่ก็ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการสื่อสารข้อมูลจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ได้สูงสุด 10 ตัวเท่านั้น ไม่สามารถส่งย้อนกลับจากอุปกรณ์ 10 ตัวได้ หรือกล่าวได้ว่า การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-422A นั้นเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์ คือทิศทางข้อมูลเป็นแบบทางเดียวตลอดเวลา ดังนั้นถ้าต้องการออกแบบระบบให้เป็นโครงข่ายข้อมูลจึงไม่สามารถทำได้

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลของ EIA

พารามิเตอร์	RS-232-C	RS-423-A	RS-422-A	RS-485
โหมดการทำงาน	Single-ended	Single-ended	Differrential	Differrential
จำนวนของตัวรับและตัวส่งที่ยอมรับได้	1 ตัวส่ง 1 ตัวรับ	1 ตัวส่ง 10 ตัวรับ	1 ตัวส่ง 10 ตัวรับ	32 ตัวส่ง 32 ตัวรับ
ความยาวของคู่สายสัญญาณรับส่งข้อมูล	50 ฟุต	4000 ฟุต	4000 ฟุต	4000 ฟุต
อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด (บิทต่อวินาที)	20 k	100 k	10 M	10 M
แรงดันไฟฟ้าโหมดร่วมสูงสุด	±2.5 V	±6 V	6 V -2.5 V	12 V -7 V
Driver output	±5 V ต่ำสุด ±15 V สูงสุด	±3.6 V ต่ำสุด ±6.0 V สูงสุด	±2 V ต่ำสุด	±1.5 V ต่ำสุด
Driver load Ω	3 k ถึง 7 k	450 ต่ำสุด	100 ต่ำสุด	60 ต่ำสุด
Driver slew rate	30 V/ μs สูงสุด	-	NA	NA
กระแสลิมิตเมื่อเอาท์พุทลัดวงจร	500 mA ลัดวงจรกับ VCC หรือ GND	150 mA ลัดวงจรกับ GND	150 mA ลัดวงจรกับ GND	150 mA ลัดวงจรกับ GND 250 mA ลัดวงจรกับ 8 V หรือ 12 V
ค่าความต้านทานเอาท์พุทของตัวส่ง Ω	NA – power on 300 – power off	NA – power on 60 k – power off	NA – power on 60 k – power off	120 k power on ,off
ค่าความต้านทานอินพุทของตัวรับ Ω	3 k ถึง 7 k	4 k	4 k	12 k
ความไวของตัวรับ	±3 V	±200 mV	±200 mV	±200 mV

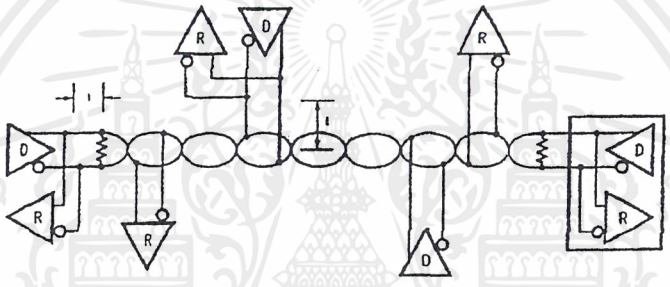
ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนามาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบใหม่เพื่อรองรับความต้องการการต่อเป็นโครงข่ายของข้อมูลนี้ คือมาตรฐาน RS-485 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่อาศัยหลักการของสัญญาณแบบ ดิฟเฟอเรนเชียล เช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422A แต่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทั้งใน 2 ทิศทางในสายสัญญาณเพียงคู่เดียว ซึ่งการสื่อสารข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ผลของการใช้สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะดิฟเฟอเรนเชียลนี้ทำให้ระยะทางและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีค่าสูงเช่นเดียวกับมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล RS-422A แต่มาตรฐาน RS-485 สามารถที่จะสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้งการรับและการส่งได้สูงสุด 32 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่า การสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 เป็นการสื่อสารแบบหลายจุด (Multipoint communication)

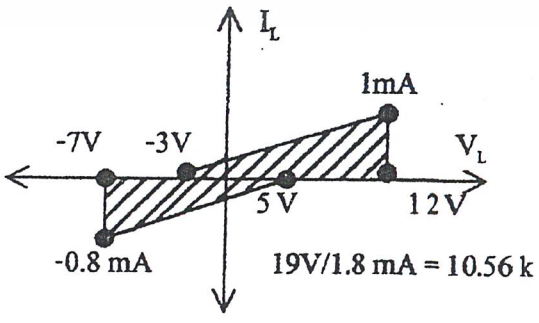
2.5.1 คุณสมบัติในการสื่อสารแบบสองทิศทางในคนละเวลา (Half-duplex)

เนื่องจากตัวรับและตัวส่งตามมาตรฐาน RS-485 ได้ถูกออกแบบให้เป็นแบบ 3 สถานะ (Tri State) จึงสามารถทำการสื่อสารได้สองทิศทางบนสายสัญญาณเพียงคู่เดียว (bidirectional) ซึ่งมีข้อดี คือทำให้สะดวก และประหยัดต่อการใช้งาน



ภาพที่ 2.9 การเชื่อมต่อเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485

นอกจากนี้ตามมาตรฐาน RS-485 นั้นยังสามารถที่จะเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้มากถึง 32 ชุด (Unit Load :UL) บนสายสัญญาณคู่เดียว ซึ่งช่วงของกระแสและแรงดันในการทำงานเมื่อเชื่อมต่อทั้ง 32 ชุดจะแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ช่วงของกระแสและแรงดันในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

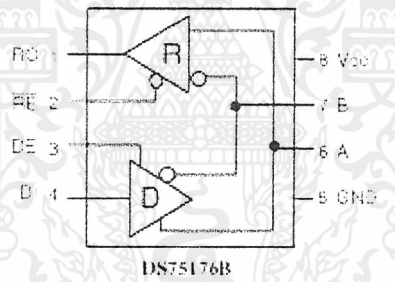
2.5.2 ความหมายของ Unit Load

เป็นจำนวนที่มากที่สุดของตัวรับและตัวส่ง ที่สามารถใช้งานบนคู่สายสัญญาณรับส่งคู่หนึ่ง โดยจะขึ้นกับค่า Unit Load (UL) ซึ่ง RS-485 ยอมรับได้ที่ 32 Unit Load ต่อคู่สายสัญญาณหนึ่งคู่

นิยาม Unit Load : เป็นโหลดที่ใช้กระแส 1 มิลลิแอมแปร์ที่แรงดันไฟฟ้าโหมดร่วม 12 โวลต์ ซึ่งโหลดนี้ประกอบด้วยตัวส่งและหรือตัวรับ แต่ไม่รวมค่าความต้านทานที่เกิดจากความต้านทานที่ต่อคร่อมของคู่สายสัญญาณรับส่ง

2.5.2 คุณสมบัติของคู่ตัวรับ-ส่ง (Transceivers)

คู่ตัวรับ- ส่งเป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในชิพเดียวกัน เพื่อให้สะดวกในการใช้งานและทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง ในที่นี้จะใช้ชิพ SN75176B (อาจใช้ชิพเบอร์อื่นคือ SN75177B, SN75178B, SN75179B แทนก็ได้)



ภาพที่ 2.11 ไอซี SN75176B

2.5.2.1 คุณลักษณะเฉพาะของตัวส่ง RS-485

- ตัวส่ง 1 ตัว สามารถขับโหลดได้สูงสุด 32 ชุด โดยที่โหลด 1 ชุด ประกอบด้วยตัวส่ง 1 ตัวและตัวรับ 1 ตัว และค่าของความต้านทานที่ต่อคร่อมระหว่างคู่สายสัญญาณมีค่า 60 โอห์ม หรือมากกว่า (ประมาณ 120 โอห์ม)
- เอาท์พุทของตัวส่งในสภาวะออฟ มีกระแสรั่วไหลไม่เกิน 100 ไมโครแอมแปร์ ในช่วงแรงดันไฟฟ้าโหมดร่วม ระหว่าง –7 โวลต์ ถึง +12 โวลต์
- เอาท์พุทของตัวส่งให้แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท 1.5 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ในช่วงแรงดันไฟฟ้าโหมดร่วมระหว่าง –7 โวลต์ ถึง 12 โวลต์
- ตัวส่งมีวงจรป้องกันตัวเองที่ส่วนเอาท์พุท ในกรณีที่ตัวส่งหลายๆ ตัว ส่งข้อมูลออกมาพร้อมๆ กัน

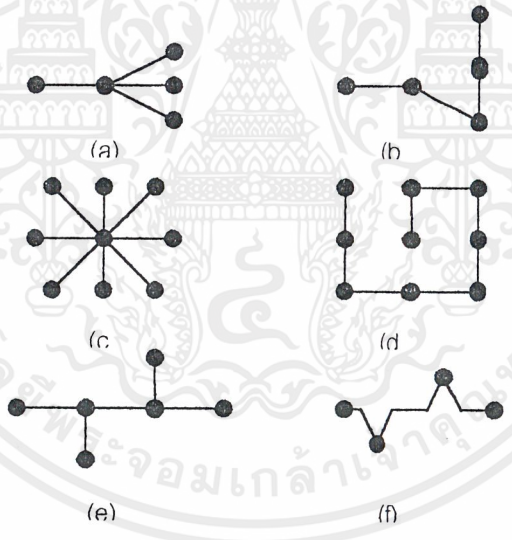
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 คุณลักษณะเฉพาะของตัวรับ RS-485

- ค่าความต้านทานอินพุทมีค่าสูง โดยมีค่าไม่น้อยกว่า 12 กิโลโอห์ม
- ตัวรับมีค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุทโหมดร่วม ระหว่างค่า -7 โวลต์ ถึง 12 โวลต์
- ตัวรับสามารถตอบสนองต่อสัญญาณที่แตกต่างจากสัญญาณโหมดร่วมได้ ±200 มิลลิโวลต์ (น้อยที่สุด)

2.5.3 คุณสมบัติทางการเชื่อมต่อเป็นเครือข่าย

ตามมาตรฐาน RS-485 นั้นเครือข่ายสามารถเชื่อมต่อได้หลายจุดบนสายสัญญาณเพียงคู่เดียว (Multiple Transceivers) และการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-485 นั้นจะมีพื้นฐานอยู่บนการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบบัส (Bus-Type Network) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อได้หลายแบบโดยอาศัยการแปลงให้เป็นเครือข่ายเสมือนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทำงาน ดังในภาพที่ 2.12 เครือข่ายทางขวามือจะเป็นเครือข่ายเสมือนของเครือข่ายทางซ้ายมือ



ภาพที่ 2.12 เครือข่ายที่สมมูลกันตามมาตรฐาน RS-485

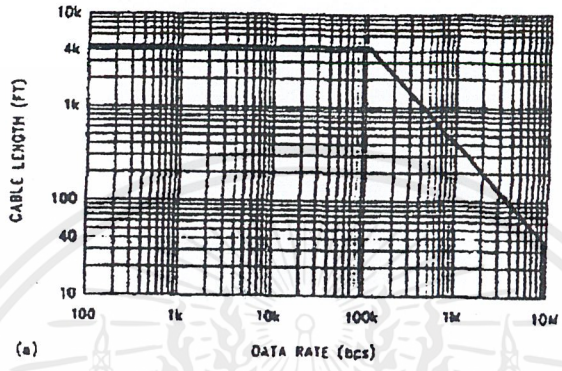
2.5.4 คุณสมบัติของสายสัญญาณที่ใช้

สายสัญญาณที่ใช้ตามมาตรฐาน RS-485 นั้นสามารถที่จะใช้สายเกลียวคู่ (Twist Pair) ซึ่งเป็นสายสัญญาณโทรศัพท์ที่ใช้งานโดยทั่วๆไปได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อการสื่อสาร แต่ถ้าต้องการคุณภาพของการสื่อสารที่สูงขึ้น อาจใช้สายสัญญาณที่มีคุณภาพดีกว่าสายเกลียวคู่ เช่นสายโคแอกเชียล (Coaxial) เป็นสายสัญญาณในการสื่อสารแทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 คุณสมบัติทางด้านอัตราเร็วและระยะทางในการส่งข้อมูล

ในการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-485 นั้นสามารถที่จะส่งข้อมูลได้สูงที่สุดถึง 10 เมกะบิทต่อวินาที (Mbps) และส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดถึง 4000 ฟุต หรือ 1200 เมตร โดยความสัมพันธ์ของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลและระยะทางในการส่งข้อมูลจะแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและอัตราการส่งข้อมูล

2.5.6 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนจะมีผลต่อการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 น้อยมาก ถ้าเลือกอัตราเร็วและระยะทางในการส่งข้อมูลให้เหมาะสม เนื่องจากตามมาตรฐาน RS-485 นั้นการสื่อสารจะเป็นแบบ Current Loop และใช้ความต่างศักย์ของคู่สายสัญญาณในการส่งข้อมูล ทำให้สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีโดยเฉพาะสัญญาณรบกวนในลักษณะของ Common-mode noise

2.6 แนวความคิดของระบบควบคุม

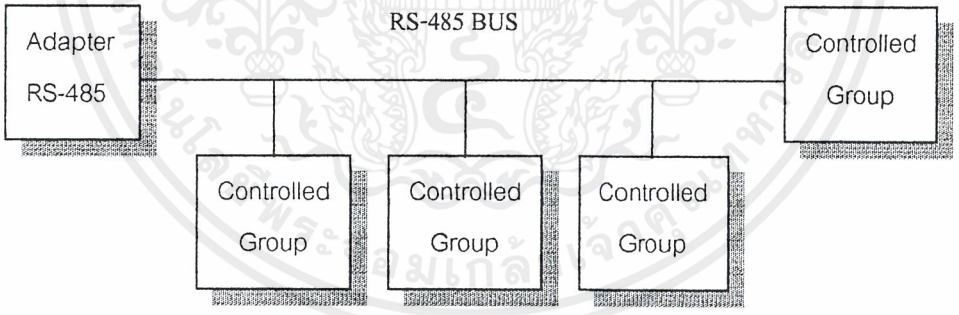
ในปัจจุบันการสื่อสารและการควบคุมอุปกรณ์มีความจำเป็นมากขึ้น เนื่องจากจำนวนของอุปกรณ์ที่มากขึ้น ความต้องการในการใช้งาน ความสะดวกสบาย ความรวดเร็วในการทำงานที่มีเพิ่มมากขึ้น แนวทางที่จะตอบสนองความต้องการดังกล่าวแนวทางหนึ่ง คือการสร้างระบบควบคุมที่สามารถทำงานได้ดี กล่าวคือ ใช้งานได้ง่าย มีความยืดหยุ่น มีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อย อีกทั้งยังต้องสามารถขยายระบบที่ต้องการควบคุมออกไปได้ จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างระบบควบคุมโดยการประยุกต์ใช้งาน RS-485 ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 โครงสร้างของระบบควบคุม

การทำงานของระบบควบคุมทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer : PC) โดยจะเป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์ (Centralize Control) ซึ่งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) และควบคุมระบบโดยการจ่ายงานให้กับตัวควบคุมที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย

โครงสร้างของการเชื่อมต่อระบบควบคุมโดยใช้การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยผ่านทางพอร์ทสื่อสาร (Communication Port : Com Port) ของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยเลือกใช้พอร์ท DB-9 ในการเชื่อมต่อ การสื่อสารของระบบควบคุมจะเป็นดังนี้คือ สัญญาณที่ออกจากพอร์ทสื่อสารจะถูกแปลงจากสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232C ให้เป็นสัญญาณตามมาตรฐาน RS-485 โดยอแดปเตอร์ (Adapter) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านสายสัญญาณ (RS-485 BUS) ไปยังตัวควบคุมและตัวลูกข่ายตามลำดับ สามารถแสดงการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของระบบควบคุมได้ดังภาพที่ 2.14 โดยจะจัดตัวควบคุมกับตัวลูกข่ายที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มเรียกว่ากลุ่มตัวควบคุม และการเชื่อมต่อกลุ่มตัวควบคุมเข้าเป็นเครือข่ายจะใช้สายสัญญาณเพียงคู่เดียวในการเชื่อมต่อเท่านั้น



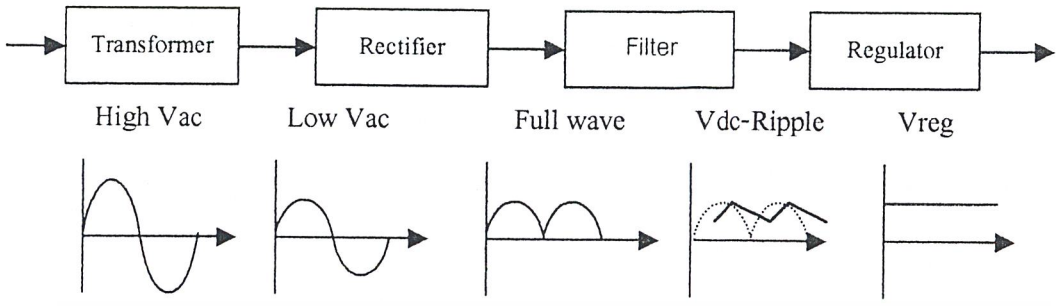
ภาพที่ 2.14 การเชื่อมต่อเครือข่ายของระบบควบคุม

2.7 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power Supply)

2.7.1 โครงสร้างแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (Power Supply) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ให้มาเป็นกระแสตรงแรงดันต่ำตามแรงดันที่ต้องการ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 ส่วนประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ส่วนประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่ลดขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ให้ต่ำลงโดยจะได้เป็นแรงดันไฟสลับที่มีขนาดลดลง แต่มีความถี่เท่าเดิม
2. วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลงขดทุติยภูมิให้เป็นกระแสตรง โดยอาศัยคุณสมบัติการยินยอมให้กระแสไหลทางเดียวของไดโอด แต่ไฟกระแสตรงที่ได้มานี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้เพราะยังมีการกระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันอยู่มาก
3. วงจรกรองแรงดัน (Filter) ทำหน้าที่กรองแรงดันที่ผ่านมาจากวงจรเรียงกระแสให้เรียบขึ้น โดยอาศัยการเก็บประจุ (Charge) และการคายประจุ (Discharge) ของตัวเก็บประจุ โดยไฟกระแสตรงที่ได้เป็นไฟตรงที่ยังมีการกระเพื่อมสูงพอสมควร ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร แต่ไฟตรงที่ได้จากขั้นตอนนี้สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว
4. เรคกูเลเตอร์ (Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมความไม่สม่ำเสมอของระดับแรงดันทางเอาท์พุทและปรับแรงดันให้ราบเรียบที่สุด มักใช้ซีเนอร์ไดโอด หรือไอซีเรคกูเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หลักในการควบคุมแรงดันทำหน้าที่ป้องกันเอาท์พุทลัดวงจรและป้องกันโหลดดึงกระแสมากเกินไป

2.7.2 องค์ประกอบของ Linear DC Power Supply

2.7.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้มีขนาดของแรงดัน (Amplitude) สูงขึ้นหรือต่ำลงตามต้องการ โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในขดลวด โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

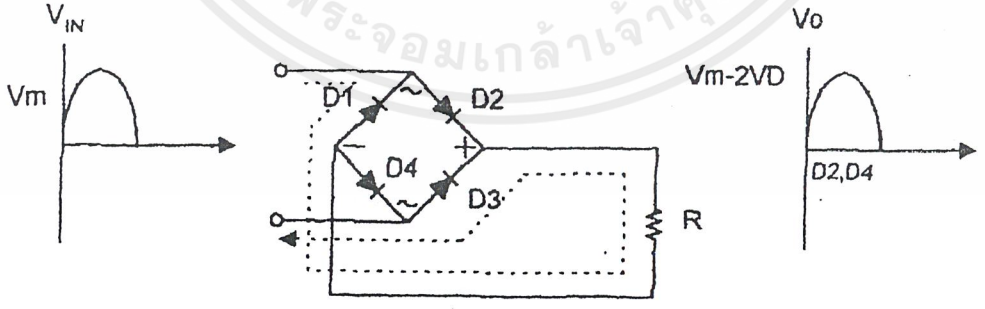
ขดลวดด้านไฟฟ้าเข้าเราเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทางด้านเอาท์พุทเราเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary)

2.7.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

คือวงจรที่ใช้แปลงกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง โดยอาศัยคุณสมบัติการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียวของไดโอดเหมือนสวิตซ์ทางเดียวสำหรับกระแสไฟฟ้าซึ่งไฟตรงที่ได้นั้นจะไม่เรียบ ลักษณะเป็นพัลส์ซึ่งดีซี คือ จะเป็นช่วงๆ ที่มีขั้วแน่นอน โดยวงจรเรคติไฟเออร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier) และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีข้อเสียคือให้แรงดันเฉลี่ยทางเอาท์พุทต่ำกว่าและความไม่สม่ำเสมอสูงกว่าแบบเต็มคลื่นจึงทำให้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเป็นที่นิยมใช้มากกว่า

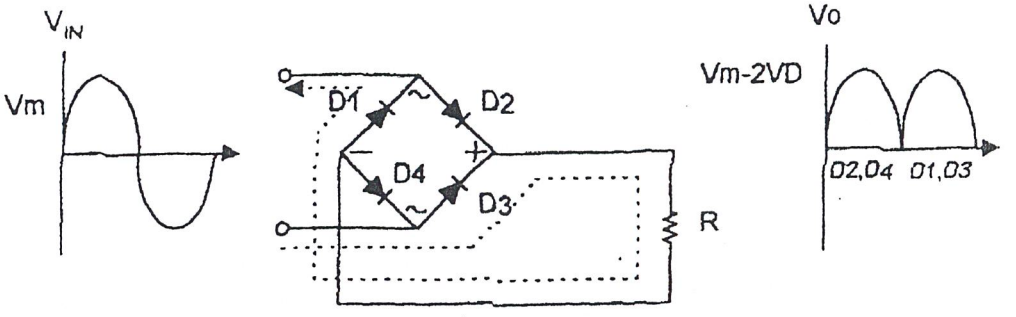
ในโครงงานนี้เลือกใช้วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full-Wave-Bridge-Rectifier) ซึ่งเป็นไดโอด 4 ตัวบรรจุอยู่ในแผ่นซิลิกอน โดยมีหลักการทำงานดังนี้

- ในช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลบวกซึ่งป้อนเข้าไปในวงจร ไดโอด D2 และ D4 จะทำงานเนื่องจากได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ส่วนไดโอด D1 และ D3 จะไม่ทำงานเนื่องจากได้รับไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) ทำให้ได้เอาท์พุทดังภาพที่ 2.16 ซึ่งโวลต์เตจเอาท์พุทจะน้อยกว่าอินพุท
- ในช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ ไดโอด D1และ D3 จะทำงานเนื่องจากได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ส่วนไอโอด D2 และ D4 จะไม่ทำงานเนื่องจากได้รับไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) ทำให้ได้เอาท์พุทดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.16 การทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.17 การทำงานเมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์กับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะพบว่ามีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยหรือค่าไฟตรงของวงจรแบบเต็มคลื่นจะมากกว่าค่าเฉลี่ยของวงจรแบบครึ่งคลื่น 2 เท่าและแรงดันไฟตรงขาออกก็จะเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟแบบครึ่งคลื่น
2. ค่า Irms และกำลังไฟฟ้าสลับขาเข้าของไดโอดแต่ละตัวของวงจรแบบเต็มคลื่นนั้นจะเท่ากับของวงจรแบบครึ่งคลื่น ฉะนั้นกำลังไฟฟ้าสลับทั้งหมดก็จะเป็น 2 เท่า
3. ประสิทธิภาพของการเรียงกระแส (Efficiency of Rectification) จะเท่ากับ 81.2% หรือเท่ากับ 2 เท่าของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น
4. ความถี่ต่ำสุดของฮาร์โมนิคของวงจรนี้เท่ากับ 2 เท่าของความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับจึงง่ายแก่การกรองฮาร์โมนิคที่ไม่ต้องการออก
5. พิจารณาไดโอดขณะที่ไม่ทำงาน จะต้องสามารถทนแรงดันกลับขั้วเท่ากับแรงดันสูงสุดที่คร่อมขดลวดทุติยภูมิทั้ง 2 ครึ่งคลื่น

วงจรนี้สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะดีกว่าแบบวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เนื่องจากให้แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่า และสามารถกรองฮาร์โมนิคได้ง่ายกว่า นอกจากนี้วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ยังมีข้อดีที่หม้อแปลงไม่จำเป็นต้องมีแทปกลาง

2.7.2.3 วงจรกรองแรงดัน (Filter)

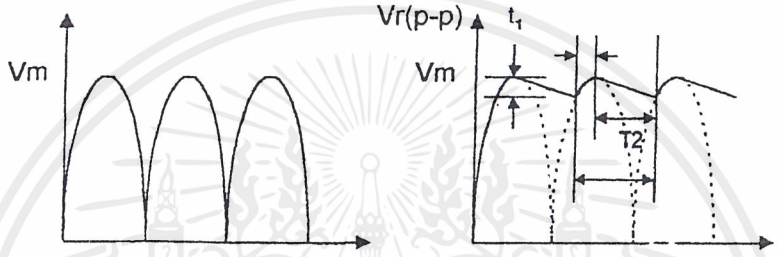
คือวงจรที่ใช้จัด Frequency spectrum ของ electical signal ให้เป็นไปตามต้องการ เราจะพบว่าสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรเรียงกระแสมีค่าเป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้มีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุทค่อนข้างมาก และในเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่เรียบจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยวงจรกรองแรงดันกรองสัญญาณที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงๆ ให้เรียบขึ้น วงจรกรองแรงดันมีหลายประเภท เช่น วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ และวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter) เราใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานเข้าไปหลังส่วนของวงจรเรียงกระแส โดยมีหลักการทำงานดังนี้

ในช่วงเวลา T1 ตัวเก็บประจุจะสะสมพลังงาน (Charge ประจุ) จนกระทั่งช่วงเวลา T2 ซึ่งเป็นช่วงที่ไดโอด cut off ตัวเก็บประจุจะคายพลังงาน (discharge) ซึ่งเป็นการจ่ายกระแสให้กับโหลดแทนดังนั้นจึงได้กระแสที่เรียบขึ้น



ภาพที่ 2.18 ลักษณะของสัญญาณแรงดัน

2.7.2.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Regulator)

วงจรโวลเตจเรกกูเลเตอร์ คือวงจรที่ใช้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทให้เรียบคงที่ไม่ว่ากระแสของโหลดทางเอาท์พุทหรือระดับแรงดันอินพุทจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม วงจรไฟฟ้าบางประเภทต้องการไฟเลี้ยงที่เรียบไม่มีการกระเพื่อม แต่จากที่เราได้ศึกษามาแล้วว่า สัญญาณที่ออกมาทางเอาท์พุทของวงจรกรองแรงดัน (Filter) มีการกระเพื่อมมีลักษณะคล้ายฟันเลื่อย ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้กับงานที่ต้องการความถี่ที่ไม่ต้องการการกระเพื่อมของแหล่งจ่ายไฟได้ เราสามารถแก้ไขได้โดยการใช้วงจรเรกกูเลเตอร์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้เรียบคงที่

ประเภทของวงจรเรกกูเลเตอร์

- สร้างโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด
- สร้างโดยใช้ทรานซิสเตอร์
- สร้างโดยใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์

ซึ่งทั้ง 3 ประเภท มีลักษณะการต่อ 2 ลักษณะคือ ขนานและอนุกรมกับโหลด ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้

แบบขนาน

- ต้องจ่ายไฟตลอดไม่ว่ามีโหลดหรือไม่ก็ตาม
- ไม่เสียหายเมื่อมีการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอนุกรม

- รูปแบบการต่อวงจรซับซ้อนกว่า
- เสียหายได้ง่ายเมื่อมีการลัดวงจร

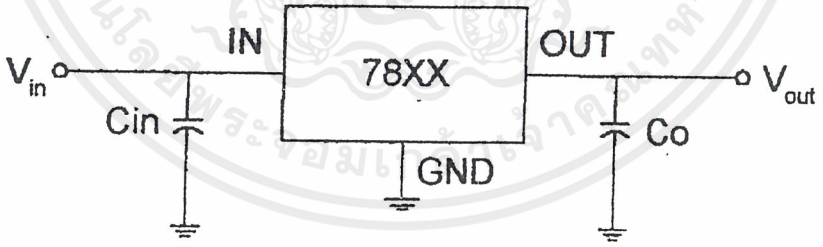
เราจะเห็นได้ว่าแบบขนานจะเปลืองกำลังไฟฟ้ามากกว่าเนื่องจากต้องจ่ายไฟให้ตลอดเวลา ไม่ว่ามีโหลดหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นเรามีวิธีการเลือกใช้ดังนี้

- แบบขนาน ใช้งานที่กระแสและกำลังไม่สูงมากนัก
- แบบอนุกรม ใช้ในงานที่กระแสและกำลังงานที่สูงกว่า

สำหรับในโครงงานนี้ เลือกใช้วงจรเรกกูเลเตอร์แรงดันแบบใช้ไอซีเนื่องจากมีข้อดีคือ ราคาถูก มีขนาดเล็ก และมีรูปแบบวงจรที่ง่าย

เราใช้เรกกูเลเตอร์แบบสามขา ซึ่งเป็นแบบที่มีราคาถูกและง่ายต่อการออกแบบ ซึ่งสามารถจ่ายกระแสเอาท์พุทได้ตั้งแต่ 100 มิลลิแอมแปร์ ถึง 3 แอมแปร์ตามเบอร์ที่เราเลือกใช้ และยังมีวงจรป้องกันกระแสเกินภายในและวงจรป้องกันเมื่ออุณหภูมิเกินภายในด้วย โดยไอซีเบอร์ต่างๆ จะมีคุณสมบัติทางด้านกระแสเอาท์พุทสูงสุด แรงดันเอาท์พุท แรงดันอินพุท Line Regulator Load

เบอร์ที่นิยมใช้จะเป็นไอซีตระกูล MC78XX และ MC79XX ต่างกันที่ตระกูล 78XX จะเป็นแรงดันไฟบวก ส่วน 79XX เป็นแรงดันไฟลบ XX แสดงค่าแรงดันเอาท์พุท เช่น 7805 ให้แรงดันเอาท์พุทคงที่ 5 โวลต์ โดยมีรูปแบบการต่อวงจรพื้นฐานดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 วงจรพื้นฐานของไอซีตระกูล 78XX

ขา in ของ MC 78XX จะต่อกับไฟบวก

Cin ใช้เป็น C Filter ในกรณีห่างจาก Filter ของซัพพลายเกิน 2 นิ้ว

Cout ใช้ปรับค่าการตอบสนองทางด้านทรานเซียนท์ (Transient Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 อัตราค่าไฟฟ้าของ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

เริ่มใช้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือน ตุลาคม 2543

2.8.1 ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่าง ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.8.1.1 ประเภท 1.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า

5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1-5)	เป็นเงิน	0.00 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6-15)	หน่วยละ	1.3576 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16-25)	หน่วยละ	1.5445 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26-35)	หน่วยละ	1.7968 บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36-100)	หน่วยละ	2.1800 บาท
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101-150)	หน่วยละ	2.2734 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	หน่วยละ	2.7781 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.9780 บาท

ค่าบริการ : เดือนละ 8.19 บาท

2.8.1.2 ประเภท 1.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า

150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1 - 150)	หน่วยละ	1.8047 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	หน่วยละ	2.7781 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.9780 บาท

ค่าบริการ : เดือนละ 83.18 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.3 ประเภท 1.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	2*	
1.3.1 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	3.6246	1.1914	228.17
1.3.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	4.3093	1.2246	57.95

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

หมายเหตุ

1. ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ขนาดไม่เกิน 5 แอมแปร์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สาย จะถูกจัดให้อยู่ในอัตราประเภท 1.1 แต่ถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกัน 3 เดือนในเดือนถัดไป จะจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 1.2 และถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกัน 3 เดือนในเดือนถัดไป จะจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 1.1 ตามเดิม

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ขนาดเกินกว่า 5 แอมแปร์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สาย จะถูกจัดให้อยู่ในอัตราประเภท 1.2 ตลอดไป

3. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 1.2 สามารถเลือกใช้อัตราประเภท 1.3 ได้ และจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU หรือ ค่าบริการด้านเครื่องวัดTOU เพิ่มขึ้นจากค่าบริการปกติ และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน จะขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราประเภท 1.2 ตามเดิมอีกก็ได้

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ประสงค์จะเลือกใช้อัตราประเภท 1.3จะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน และการไฟฟ้านครหลวงจะติดตั้งเครื่องวัดTOU ให้ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 เป็นต้นไป

5. สถานที่ที่ใช้ประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องสามารถเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 6 ได้

6. ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า

2.8.2 ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.1 ประเภท 2.1 อัตราปกติ

ค่าพลังงานไฟฟ้า

2.1.1 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	หน่วยละ	2.4649	บาท
ค่าบริการ : เดือนละ 228.17 บาท			
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์			
150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1-150)	หน่วยละ	1.8047	บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	หน่วยละ	2.7781	บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.9780	บาท
ค่าบริการ : เดือนละ 40.90 บาท			

2.8.2.2 ประเภท 2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff

	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	2*	
2.2.1 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	3.6246	1.1914	228.17
2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	4.3093	1.2246	57.95

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

<u>หมายเหตุ</u>

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 นี้ หากในรอบเดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 ประเภทที่ 4 หรือประเภทที่ 5 แล้วแต่กรณี และจะจัดเข้ามาอยู่ในประเภทที่ 2 อีกต่อเมื่อความต้องการพลังไฟฟ้าดังกล่าว ลดลงต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 2.1 สามารถเลือกใช้อัตราประเภท 2.2 ได้ และจะต้องชำระค่าเครื่องวัดTOU หรือค่าบริการด้านเครื่องวัดTOU เพิ่มขึ้นจากค่าบริการปกติ และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน จะขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราประเภท 2.1 ตามเดิมอีกก็ได้

3.ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ประสงค์จะเลือกใช้อัตราประเภท 2.2จะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน การไฟฟ้านครหลวงจะติดตั้งเครื่องวัดTOU ตั้งแต่เดือน มกราคม 2545เป็นต้นไป

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.8.3.1 ประเภท 3.1 อัตราปกติ

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย
3.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70	1.6660
3.1.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	196.26	1.7034
3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	221.50	1.7314

2.8.3.2 ประเภท 3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	1*	2*	
3.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์	74.14	2.6136	1.1726	228.17
3.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 ก่อนเดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 3.1 สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 3.2 ในเดือนถัดไปหลังจากเดือนที่ติดตั้งเครื่องวัดTOU แล้ว ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดTOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าตามอัตราประเภท 3.1 ไปพลางก่อน

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 หากมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไปในเดือนใด หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน จะถูกจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ประเภท 4.2 ในเดือนถัดไปหลังจากเดือนที่ติดตั้งเครื่องวัด TOU แล้ว ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัด TOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าอัตราข้อ 3.1 ไปพลางก่อน แม้ว่าต่อมาจะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือนก็ตาม

3. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือนในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 และจะจัดเข้ามาอยู่ในประเภทที่ 3 อีก เมื่อมีความต้องการพลังไฟฟ้าดังกล่าวตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 3.1 สามารถเลือกใช้อัตราประเภท 3.2 ได้ โดยจะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อนและจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU ทั้งนี้หากเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมอีกไม่ได้ แม้ว่าต่อมาจะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือนก็ตาม นอกจากจะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน หรือได้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้า

5. กรณีที่จะต้องเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ในอัตราร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมานั้น ให้มีการยกเว้นการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดดังกล่าวไปก่อน จนถึงเดือน กันยายน 2545

6. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 3.2 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือนเพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4. ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.8.4.1 ประเภท 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff : TOD Tariff)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/เดือน
4.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30
4.1.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	285.05
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	332.71

1* On Peak : เวลา 18.30 – 21.30 น. ของทุกวัน

2* Partial Peak : เวลา 08.00 – 18.30 น. ของทุกวัน
คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On Peak

3* Off Peak : เวลา 21.30 – 08.00 น. ของทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

2.8.4.2 ประเภท 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	1*	2*	
4.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์	74.14	2.6136	1.1726	228.17
4.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และ
วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการพลังไฟฟ้า : คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในอัตราประเภท 4.1 (TOD Rate เดิม) ซึ่งใช้ไฟฟ้าก่อนเดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดอยู่ในอัตราประเภท 4.1 (TOD Tariff ใหม่)

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในอัตราประเภท 4.2 (TOU Rate เดิม) ซึ่งใช้ไฟฟ้าก่อนเดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดอยู่ในอัตราประเภท 4.2 (TOU Tariff ใหม่)

3. ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้า เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไปหรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2543 เป็นต้นไป จะจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 4.2 ในเดือนถัดไปหลักจากเดือนที่ติดตั้งเครื่องวัดฯTOU แล้ว ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดฯ TOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าตามอัตราประเภท 3.1 ไปพลางก่อน

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 4.1 สามารถเลือกใช้อัตราประเภท 4.2 โดยจะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน และจะต้องชำระค่าเครื่องวัดฯ TOU ทั้งนี้หากเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมอีกไม่ได้ แม้ว่าต่อมาจะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ก็ตามนอกจากจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน หรือได้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้า

5. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 หรือประเภทที่ 6.1 แล้วแต่กรณี

6. กรณีที่จะต้องเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ในอัตราร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมานั้น ให้ยกเว้นการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดดังกล่าวไปก่อน จนถึงเดือน กันยายน 2545

7. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตรา 4.2 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.8.5.1 ประเภท 5.1 อัตราปกติ

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย
5.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	220.56	1.6660
5.1.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	256.07	1.7034
5.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	276.64	1.7314

2.8.5.2 ประเภท 5.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	1*	2*	
5.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์	74.14	2.6136	1.1726	228.17
5.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
5.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 5 จะจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 5.2 เท่านั้น ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดฯTOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าในประเภท 5.1 ไปพลางก่อน

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 และจะจัดเข้ามาอยู่ในประเภทที่ 5 อีกเมื่อมีความต้องการพลังไฟฟ้าดังกล่าวตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป

3. กรณีที่จะต้องเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ในอัตราร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมานั้น ให้ยกเว้นการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดดังกล่าวไปก่อน จนถึงเดือน กันยายน 2545

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 5.2 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

2.8.6 ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าของส่วนราชการ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน และองค์กรที่ไม่ใช่ ส่วนราชการแต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน รวมถึงสถานที่ที่ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่รวมถึงหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.8.6.1 ประเภท 6.1 อัตราปกติ

	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย	ค่าบริการ บาท/เดือน
6.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	1.9712	228.17
6.1.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	2.1412	228.17
6.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์		
10 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1 - 10)	1.3576	20.00
เกินกว่า 10 หน่วย (หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป)	2.4482	

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6.2 ประเภท 6.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	1*	2*	
6.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์	74.14	2.6136	1.1726	228.17
6.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
6.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

<u>ความต้องการพลังไฟฟ้า</u> : คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

<u>ค่าไฟฟ้าต่ำสุด</u> : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

<u>ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์</u>: สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

<u>หมายเหตุ</u>

1.ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นส่วนราชการหน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 1,000 กิโลวัตต์ หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน และองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรจะจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 6.1

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นส่วนราชการหากในรอบเดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000หน่วยต่อเดือน จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ประเภท 4.2 ในเดือนถัดไปหลังจากเดือนที่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งเครื่องวัดฯTOU ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดฯTOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าตามอัตราประเภท 6.1 ไปพลางก่อน

3. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 6.1 สามารถเลือกใช้อัตราประเภท 6.2 โดยจะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน และจะต้องชำระค่าเครื่องวัดฯ TOU ทั้งนี้หากเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมอีกไม่ได้ แม้ว่าต่อมาจะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ก็ตาม นอกจากจะมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน หรือได้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้า

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 6.2 ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในอัตราประเภท 6.1

5.สถานที่ที่ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องที่จัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 1 สามารถเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 6 นี้ได้

6. กรณีที่จะต้องเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ในอัตราร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมานั้น ให้มีการยกเว้นการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดดังกล่าวไปก่อน จนถึงเดือน กันยายน 2545

7. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 6.1 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 6.2 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

2.8.7 ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของส่วนราชการ กลุ่มเกษตรกรที่ทางราชการรับรองหรือสหกรณ์เพื่อการเกษตร โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.8.7.1 ประเภท 7.1 อัตราปกติ

ค่าพลังงานไฟฟ้า

100 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1-100)	หน่วยละ	0.6452 บาท
เกินกว่า 100 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 101 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	1.7968 บาท

ค่าบริการ : เดือนละ 115.16 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.7.2 ประเภท 7.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tarriff : TOU Tariff)

	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	1*	2*	
7.2.1 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
7.2.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

1* On Peak : เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

2* Off Peak : เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

<u>ความต้องการพลังไฟฟ้า</u> : คือความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

<u>ค่าไฟฟ้าต่ำสุด</u> : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

<u>หมายเหตุ</u>

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าในประเภทที่ 7 จะต้องทำสัญญากับการไฟฟ้านครหลวงก่อน

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 7.1 สามารถเลือกใช้อัตราประเภท 7.2 ได้ โดยจะต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน และจะต้องชำระค่าเครื่องวัดฯTOU และเมื่อใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน จะเปลี่ยนกลับไปใช้ในอัตราประเภท 7.1 ตามเดิมอีกก็ได้

3. กรณีที่จะต้องเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ในอัตราร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมานั้น ให้มีการยกเว้นการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าต่ำสุดดังกล่าวไปก่อน จนถึงเดือน กันยายน 2545

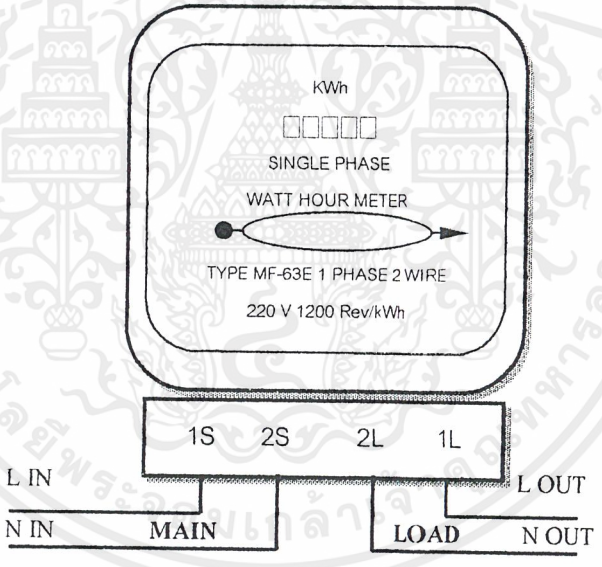
4. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 7.1 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือน ถึงแม้จะไม่มีการใช้ไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภท 7.2 จะต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างและการออกแบบ

3.1 เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (KILOWATTS HOUR METER)

ตามปกติเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามบ้านนั้นจะเป็นแบบจานหมุน ซึ่งจะขับเฟืองและแสดงผลโดยกลไกต่างๆ จะถูกสร้างโดยบริษัทที่ออกแบบและสร้างมา ดังนั้นการหมุนของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าก็จะมีผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปหรือคิดง่ายๆ คือ ถ้าเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าหมุน 1200 รอบ ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือเท่ากับ 1 ยูนิต (Unit) ที่ตัวเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าจะมีชุดแสดงผลเป็นตัวเลข 5 หลัก ซึ่งหลักที่ 2 นั้นจะมีค่าเป็นยูนิต เมื่อเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าหมุนครบ 1200 รอบ



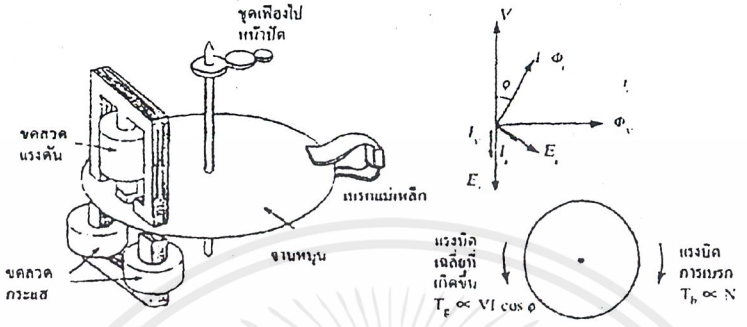
ภาพที่ 3.1 KILOWATT HOUR METER

ตามปกติเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามบ้านมีหลายขนาด ซึ่งการเลือกขนาดนั้นแล้วแต่ผู้ออกแบบ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าขนาด 5(15) A ซึ่งจะมีอัตราการหมุน 1200 รอบ/กิโลวัตต์ชั่วโมง เนื่องจากเป็นเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าขนาดที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไป

มาตรวัดแบบนี้พัฒนาโดย Schallenberger ในปี 1888 มาตรวัดแบบนี้ราคาไม่แพง และทำงานด้วยความถูกต้องเป็นเวลานาน โดยเกือบไม่ต้องบำรุงรักษา นอกจากนั้นมันยังไม่ถูกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระเทือนโดยการเปลี่ยนโหลด การเปลี่ยนของตัวประกอบกำลัง ตลอดจนสิ่งแวดล้อม มันจะบันทึกพลังงานที่โหลดใช้ไปโดยการนับจำนวนรอบที่จานอลูมิเนียมหมุนไป การหมุนของจานอลูมิเนียมเนื่องมาจากกำลังที่ผ่านมาตรวัด



ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ภาพที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของมาตรวัดหน่วยไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ โดยมีหลักการทำงานดังนี้คือ มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำซึ่งเอาต์พุทถูกดูดกลืนโดยระบบเบรกของมันและสูญเสียในรูปของความร้อน

แรงบิดที่ทำให้จานอลูมิเนียมหมุนจะเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างกระแสวนที่ถูกเหนี่ยวนำในจานกับสนามแม่เหล็ก แรงบิดที่ขณะใดๆ จะได้จาก

$$T \propto \omega \phi_{im} \phi_{2m} \sin\alpha \qquad (3.1)$$

เมื่อ $\phi_{im} = \phi_i$ เป็นเส้นแรงที่ทำให้เกิดขดลวดกระแส, $\phi_{2m} = \phi_v$ เป็นเส้นแรงที่กำเนิดโดยขดลวดแรงดัน α เป็นมุมที่ต้องการระหว่าง ϕ_{im} กับ ϕ_{2m} (ปกติ ϕ_v กับ V จะทำมุมไม่เท่ากับ 90 องศาพอดี เนื่องจากความต้านทานของขดลวด)

ดังนั้น จะใส่แหวน (Shaded Ring) ที่ขากลาง เพื่อทำหน้าที่ปรับให้เส้นแรง ϕ_v ทำมุมกับแรงดันที่ป้อนเท่ากับ 90 องศา

จากแผนภาพเฟสเซอร์ เส้นแรงที่กำเนิดโดยขดลวดกระแส จะมีเฟสเดียวกันกับกระแสขดลวดแรงดันมีความเหนี่ยวนำสูง และมีค่า L โดยมีความต้านทานที่ตัดทิ้งได้ เมื่อต่อคร่อมแรงดันกำเนิด ทำให้กระแสในขดแรงดัน เท่ากับ $\vee V / \omega L$ ดังนั้น $\phi_v \propto V/\omega L$และจะมีแรงดันที่ป้อน 90 องศา ทำให้ I ตาม V อยู่เท่ากับ ϕ ดังนั้นมุมเฟสระหว่าง ϕ_i และ ϕ_v คือ α โดย

$$\alpha = (90 - \phi) \qquad (3.2)$$

ดังนั้นแทนค่าลงในสมการ (3.1) จะได้

$$T \propto \omega I \frac{V}{\omega L} \sin(90 - \phi) \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\propto VI\cos\phi \tag{3.4}$$

แรงบิดต้านมาจากการเบรกแบบกระแสวน เนื่องจากแม่เหล็กสำหรับเบรกซึ่งอยู่ห่างจากชุดขดลวดกระแสและแรงดันเพื่อหลีกเลี่ยงการกวนของสนามเมื่อจานหมุนไปตัดกับสนามแม่เหล็กสำหรับเบรก จะเหนี่ยวนำกระแสวนขึ้น ทำให้เกิดแรงบิดที่จำเป็น แรงบิดในการเบรก

$$Tb \propto \frac{\phi^2 N}{R} \tag{3.5}$$

เมื่อ ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็กสำหรับการเบรก N คือความเร็วของจาน และ R คือความต้านทานของทางเดินกระแสวนถ้า ϕ และ R เป็นค่าคงที่

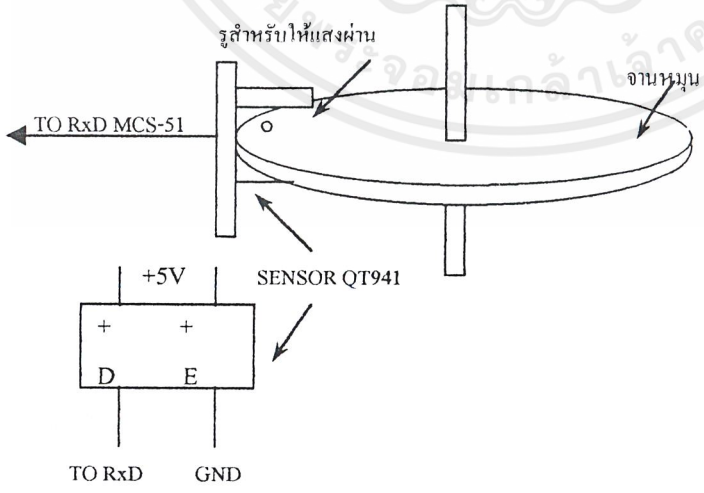
$$Tb \propto N \tag{3.6}$$

จานจะได้รับความเร็วที่คงที่ N เมื่อแรงบิดทั้งสองเท่ากัน นั่นคือเมื่อ

$$T = Tb \text{ และ } N \propto VI\cos\phi$$

ดังนั้น ความเร็วของการหมุนจานจะเป็นสัดส่วนกับกำลังเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนดจำนวนรอบการหมุน $\int_0^1 Ndt$ จะเป็นสัดส่วนกับ $\int_0^1 Wdt$ ซึ่งก็คือ พลังงานที่ใช้ไป

จากหลักการของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นจึงจำเป็นต้องทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นรู้ว่าเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นหมุนไปกี่รอบแล้ว สามารถทำได้โดยการติดตั้ง ออฟโต้ไดโอดเป็นเซ็นเซอร์ (Sensor) นับรอบของจานหมุน ตัวออฟโต้นั้นเป็นเซ็นเซอร์ทางแสง หลักการทำงาน เมื่อมีวัตถุมาบดบังทางเดินของแสงจะทำให้เซ็นเซอร์มีสถานะเป็น 0 ถ้าไม่มีอะไรมาบดบังทางเดินของแสงนั้น จะทำให้เซ็นเซอร์มีสถานะเป็น 1 ในโครงงานนี้ใช้เซ็นเซอร์แบบก้ามปู เบอร์ QT941 ดังนั้นจึงนำเซ็นเซอร์ไปติดตั้งที่จานหมุน ดังภาพที่ 3.3

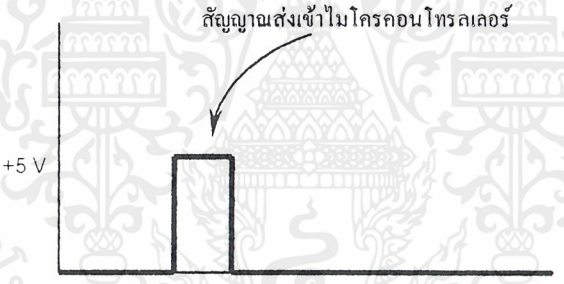


ภาพที่ 3.3 การติดตั้งเซ็นเซอร์กับจานหมุนเพื่อนับรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นปกติแล้วบางรุ่นจะมีรูที่จานหมุน ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเลื่อนกลไกของจานหมุนเมื่อไม่มีการต่อใช้งานหรือการต่อโหลด ดังนั้นจึงสามารถใช้รูนี้มาเป็นประโยชน์ในการมาบดบังแสงจากเซ็นเซอร์และให้แสงรอดผ่าน เพื่อที่จะทำการนับรอบของจานหมุนต่อไป

โดยปกติการทำงานของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นเมื่อมีการใช้ไฟฟ้าจานหมุนของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าจะหมุนโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อทำให้จานหมุนนั้นหมุน และไปขับเฟืองของชุดแสดงผลของตัวกิโลวัตต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนับรอบของจานหมุนโดยใช้ตัวออฟโต้ไดโอด เป็นตัวเซ็นเซอร์ เพื่อทำการนับรอบจานหมุน สัญญาณจากตัวเซ็นเซอร์เป็นพัลซ์ซึ่งสัญญาณนี้จะต่อเข้ากับขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะคอยตรวจสอบสัญญาณ โดยเมื่อรูที่จานหมุนหมุนผ่านตัวเซ็นเซอร์จะทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก “0” เป็น “1” หลังจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจพบสัญญาณ โปรแกรมก็จะทำการเก็บค่าทุกๆ รอบที่จานหมุนหมุนไปไว้ในหน่วยความจำ จำนวนรอบที่นับได้จะเป็นยูนิตที่ใช้ไปเมื่อจานหมุนหมุนครบ 1200 รอบ ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 ยูนิต หรือ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง



ภาพที่ 3.4 สัญญาณอินเทอร์รัพท์จากเซ็นเซอร์

3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย

ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายจะถูกติดตั้งอยู่ที่เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าแต่ละเครื่อง โดยมีหน้าที่คือ เก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้น

3.2.1 การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า

1. ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่บริเวณขอบจานหมุนของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าโดยเจาะรูเพิ่มที่จานหมุน เมื่อจานหมุนหมุนครบ 1 รอบ สัญญาณจากตัวเซ็นเซอร์จะถูกส่งเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อบันทึกรอบการหมุน
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะเก็บข้อมูลที่ได้ซึ่งอยู่ในรูปจำนวนรอบจานหมุนให้เป็นจำนวนหน่วยยูนิตหรือกิโลวัตต์ชั่วโมงโดย 1200 รอบ เท่ากับ 1 ยูนิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การตัดหรือจ่ายกระแสไฟฟ้า

ทำการต่อชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยต่ออนุกรมระหว่างสายที่ต่อจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งชุดอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำการควบคุมการตัดหรือต่อกระแสไฟฟ้าโดยการสั่งงานผ่านพอร์ทไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย

เมื่อสัญญาณที่พอร์ท P2.7 เป็น "0" ทำการต่อกระแสไฟฟ้า (สถานะ On Line)

เป็น "1" ทำการตัดกระแสไฟฟ้า (สถานะ Off Line)

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายทั้ง 2 กรณีข้างต้นนี้ จะมีการส่งข้อมูลและสถานะของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นกลับไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก หลังจากที่เสร็จสิ้นการทำงานตามคำสั่งที่ถูกส่งมาจากตัวดีโคดเดอร์ (Decoder) ของไมโครคอนโทรลเลอร์หลักแล้ว

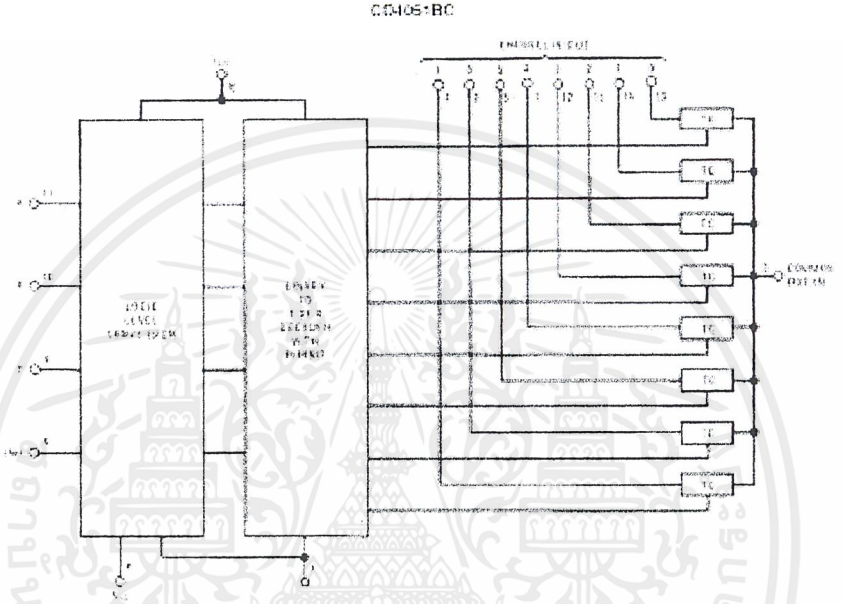
3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก

ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ประจำอยู่ที่เสาไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าลูกข่ายจำนวนหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลักในการรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางการติดต่อสื่อสารมาตรฐานRS468 มาประมวลผลว่า ต้องการติดต่อกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าลูกข่ายตัวใด โดยมีหลักการทำงานภายหลังได้รับสัญญาณดังนี้

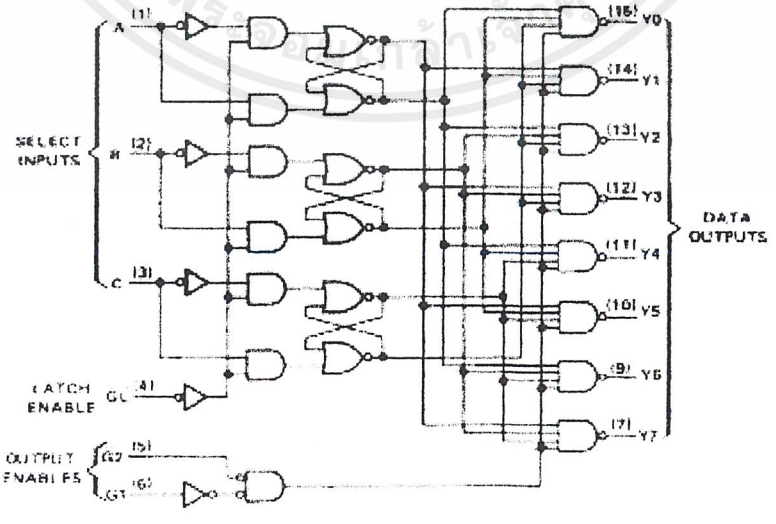
1. เมื่อมีสัญญาณการติดต่อจากพอร์ทอนุกรม RS-485 เข้ามา ไอซี 75176 จะแปลงสัญญาณจากมาตรฐาน RS-485 ให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน RS-232 ก่อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก
2. เนื่องจากเป็นการติดต่อสื่อสารควบคุมแบบเครือข่าย ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะมีการตรวจสอบสัญญาณว่าต้องการติดต่อกับตัวเองหรือไม่ หากไม่ใช่ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักนั้นจะไม่สนใจต่อสัญญาณที่รับเข้ามา
3. หากพบว่าสัญญาณนั้นต้องการติดต่อกับตัวเอง ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้เพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณที่ส่งมานั้นต้องการสั่งงานอะไรและไปยังเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าลูกข่ายตัวใด
4. ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะประมวลผลให้ทำงานตามคำสั่งที่ส่งมา ว่าเป็นคำสั่งขอดูข้อมูลปริมาณการใช้ไฟ, คำสั่งจ่ายกระแสไฟฟ้า หรือคำสั่งตัดกระแสไฟฟ้า
5. ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักทำการเลือกสายส่งขา RxD เพื่อรอรับข้อมูลจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการทำงานของดีมัลติเพล็กเซอร์ (Demultiplexer) และส่งสัญญาณคำสั่งโดยผ่านตัวดีโคดเดอร์
6. หลังจากเสร็จสิ้นการส่งสัญญาณคำสั่งให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะรอรับสัญญาณข้อมูลตอบกลับจากไมโครคอนโทรเลอร์ลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อได้รับข้อมูลจากไมโครคอนโทลเลอร์ลูกข่าย ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะสั่งให้ตัวดีมัลติเพล็กเซอร์ ทำงานอีกครั้งเพื่อเลือกขา RxD ให้พร้อมในการรับสัญญาณจากระบบในครั้งต่อไปพร้อมทั้งส่งข้อมูลที่ได้เป็นสัญญาณออกไปยังไอซี 75176 เพื่อแปลงสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232 เป็นมาตรฐาน RS-485 เข้าสู่ระบบเครือข่ายต่อไป



ภาพที่ 3.5 ลอจิกไดอะแกรมของดีมัลติเพล็กเซอร์เบอร์ CD4051BC



ภาพที่ 3.6 ลอจิกไดอะแกรมของดีโคดเดอร์เบอร์ SN74LS137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

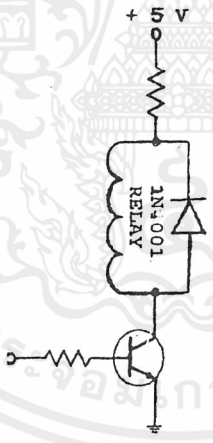
3.4 ชุดอุปกรณ์การตัด-ต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้า

ใช้รีเลย์ (Relay) ทำหน้าที่ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟ ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าค้างชำระหรือมีปัญหาที่ทำให้ต้องตัดกระแสไฟ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

รีเลย์จะได้รับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ต่อเข้าขา 2 และขา 5 จะต่อออกมาเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ขา C เมื่อมีสัญญาณไฟเข้าทางขา B ก็จะทำให้กระแสไหลผ่านขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำทำให้สวิตซ์รีเลย์ทำงานที่หน้าคอนเท็ค (Contact) (จาก NC เป็น NO) และจะสวิตซ์กลับเมื่อไม่มีสัญญาณไฟฟ้าไหลเข้าขา B (Open Circuit) ไม่มีกระแสไหลผ่านคอยล์ทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า สวิตซ์จะสวิตซ์กลับมาที่หน้าคอนเท็ค NC เหมือนเดิม

การสั่งงานให้สวิตซ์รีเลย์ทำงาน สั่งงานจากการโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณเข้าขาBของทรานซิสเตอร์ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดน้อยมาก จึงต้องผ่านบัฟเฟอร์ HD74LS08P เพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการส่งสัญญาณ

สายไฟฟ้าที่ต้องการตัดต่อกระแสไฟจะถูกต่อเข้ายังขา com ของรีเลย์และออกจากรีเลย์ที่ขา NC หรือ NO นั้นขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน



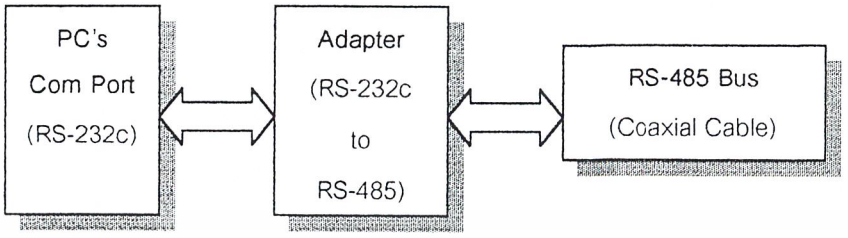
ภาพที่ 3.7 วงจรควบคุมการทำงานของรีเลย์

3.5 ตัวแปลงสัญญาณ (Adapter)

การทำงานของตัวแปลงสัญญาณ (Adapter) นั้นจะต้องทำการปรับสัญญาณระหว่างพอร์ทสื่อสารของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งเป็นมาตรฐาน RS-232 กับสายสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูล (RS-485 BUS) ซึ่งเป็นมาตรฐาน RS-485 และเนื่องจากการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 นั้นสามารถทำการสื่อสารได้ 2 ทิศทาง ดังนั้นตัวแปลงสัญญาณที่ใช้จะต้องสามารถแปลงสัญญาณจากมาตรฐาน RS-485 ให้กลับไปเป็นสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232 ได้ด้วย เพื่อให้สามารถรับและส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลผ่านทางตัวแปลงสัญญาณได้ ซึ่งโครงสร้างการทำงานของตัวแปลงสัญญาณสามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 3.8



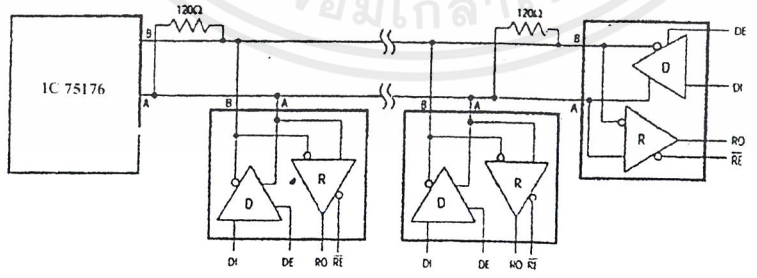
ภาพที่ 3.8 โครงสร้างของตัวแปลงสัญญาณ

3.5.1 การออกแบบตัวแปลงสัญญาณ

จากโครงสร้างของตัวแปลงสัญญาณซึ่งทำให้ทราบหน้าที่และลักษณะการทำงานของตัวแปลงสัญญาณ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความจำเป็นในการออกแบบตัวแปลงสัญญาณที่จะใช้กับระบบควบคุมเพื่อให้ระบบควบคุมสามารถสื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเชื่อมต่อกับพอร์ทสื่อสารของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะเลือกใช้พอร์ทสื่อสารแบบอนุกรม DB-25 หรือ DB-9 ก็ได้ ซึ่งสามารถทำการรับและส่งข้อมูลได้แบบอนุกรมโดยลักษณะของสัญญาณจะเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232C

โดยตัวแปลงสัญญาณจะทำงานคู่กับไอซี 75176 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485 ได้อย่างสมบูรณ์ เครือข่ายของไอซี 75176 แสดงไว้ในภาพที่ 3.9

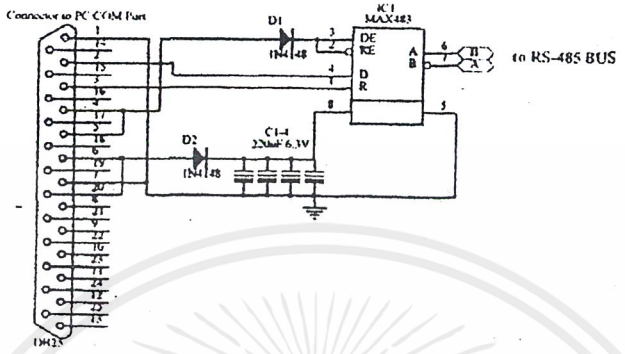


ภาพที่ 3.9 การเชื่อมต่อเครือข่ายของไอซี 75176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 วงจรของตัวแปลงสัญญาณ

วงจรของตัวแปลงสัญญาณจากมาตรฐาน RS-232 ไปเป็นสัญญาณตามมาตรฐาน RS-485 นั้นสามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 วงจรของตัวแปลงสัญญาณ

ในส่วนวงจรของตัวแปลงสัญญาณจะมีการเชื่อมต่อขาที่ทำหน้าที่ในการรับและส่งสัญญาณของพอร์ทสื่อสารแบบอนุกรมเข้ากับขาที่ใช้ในการรับและส่งสัญญาณของไอซี 75176 เพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูล โดยมีการป้องกันไม่ให้การรับสัญญาณและการส่งสัญญาณเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายในการสื่อสารได้

นอกจากนี้ยังได้มีการเชื่อมต่อขาไฟเลี้ยงของพอร์ทสื่อสารแบบอนุกรมเข้ากับขาไฟเลี้ยงของไอซี 75176 เพื่อนำไฟเลี้ยงจากพอร์ทสื่อสารไปเป็นพลังงานให้แก่ไอซีในการทำงานในการรับและส่งข้อมูล ทำให้ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยงไอซีจากวงจรภายนอกและภายในวงจรยังได้ต่อตัวเก็บประจุไว้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง ในกรณีที่ตัวแปลงสัญญาณต้องการใช้พลังงานมากกว่าปกติ ซึ่งก็คือการทำงานในช่วงที่ตัวแปลงสัญญาณต้องทำการส่งข้อมูลออกไปตามสายสัญญาณ แต่ในการรับสัญญาณไอซีจะใช้พลังงานในระดับที่น้อยมาก จึงไม่ต้องอาศัยพลังงานจากตัวเก็บประจุในการรับสัญญาณ

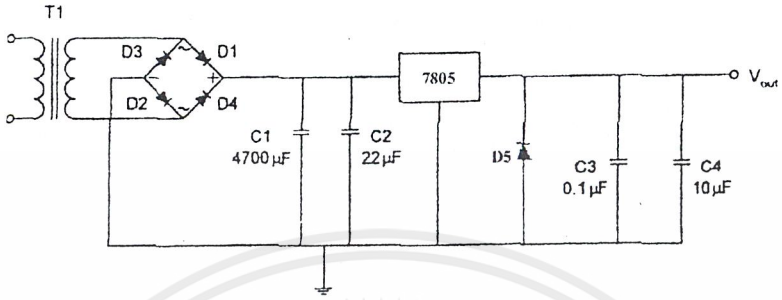
3.6 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

สำหรับโครงงานนี้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะออกแบบให้มีค่าแรงดัน 5 โวลต์ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

หม้อแปลง T1 จะทำหน้าที่ลดไฟสลับจาก 200 VMS ลงมาเหลือ 12 VMS แล้วป้อนให้แก่วงจรฟูลเวฟบริดจ์เรคติฟายออร์ซึ่งประกอบด้วย D1-D4 เพื่อแปลงให้เป็นไฟตรง และมี C1 ซึ่งกรองไฟตรงให้เรียบขึ้น C2 จะช่วยลดผลของสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่อาจปะปนเข้ามากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟบ้านไม่ให้มากวนการทำงานของ UA7805 ดังนั้นจึงควรวาง C2 ให้ใกล้กับขา In มากที่สุด ส่วน C3,C4 ที่เพิ่มเข้าไปในวงจรนั้นจะทำให้การทำงานของวงจรมีเสถียรภาพดีขึ้นไม่ว่าโหลดจะเป็นอย่างไรก็ตาม

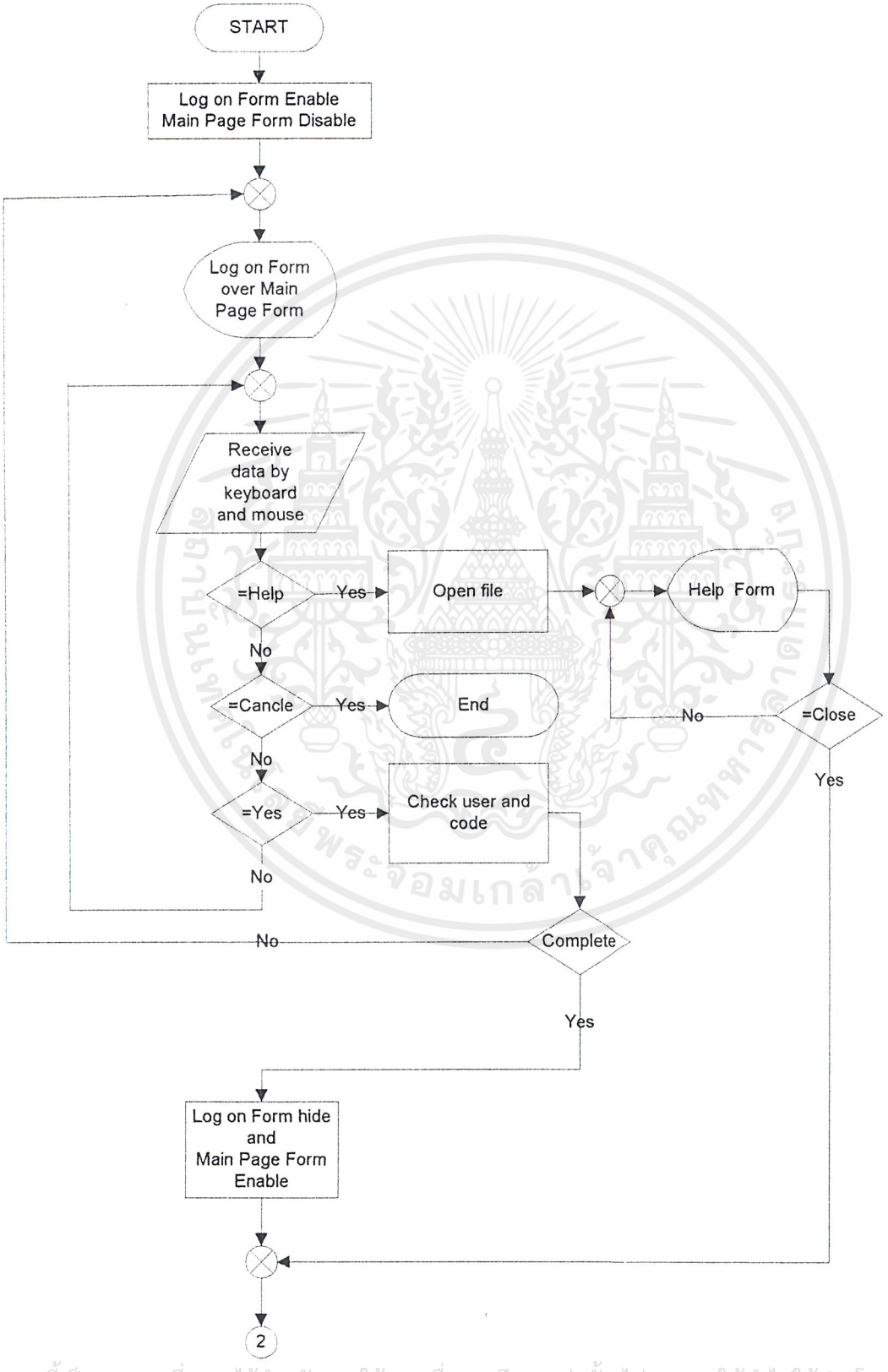


ภาพที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

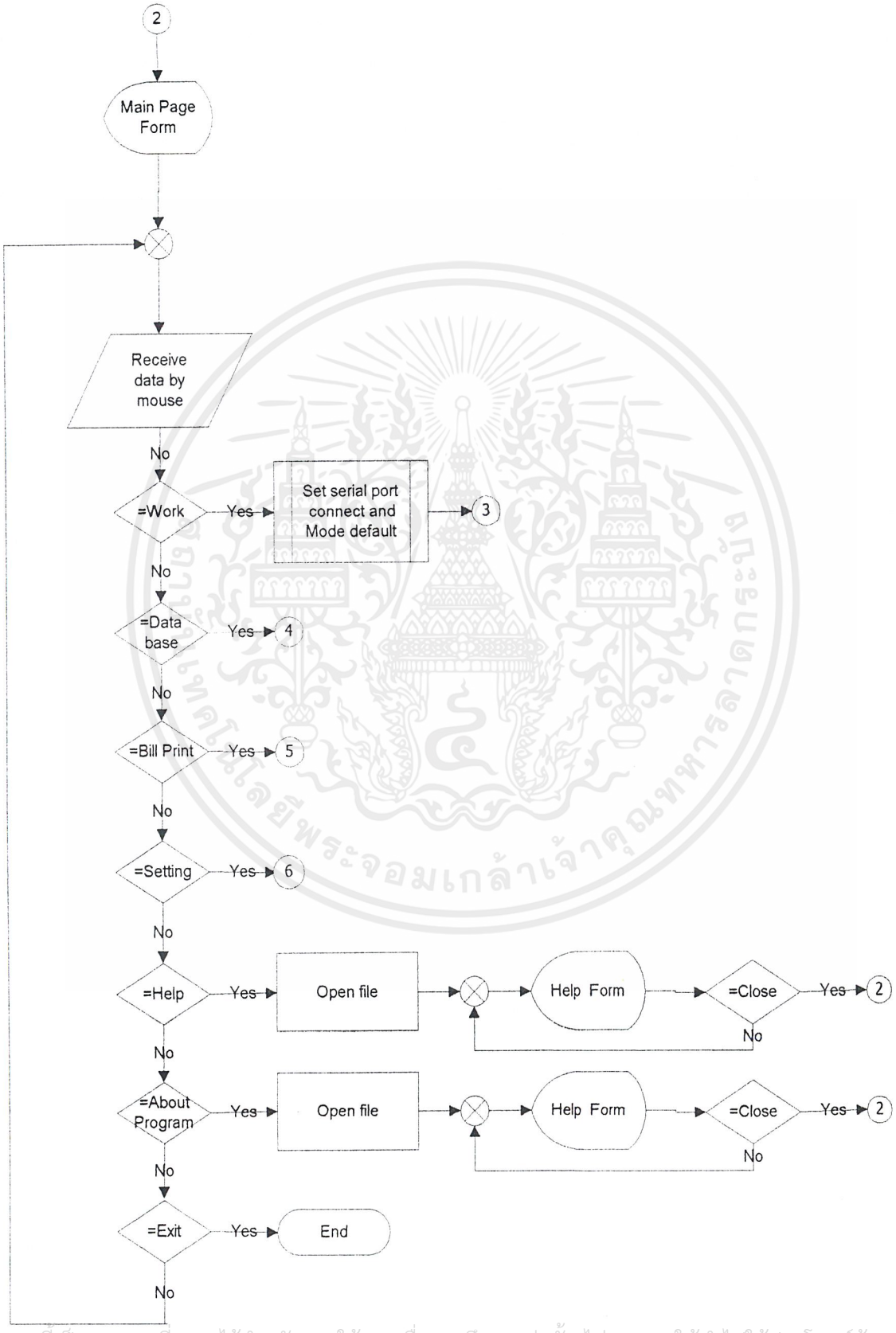
Flow Chart

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic



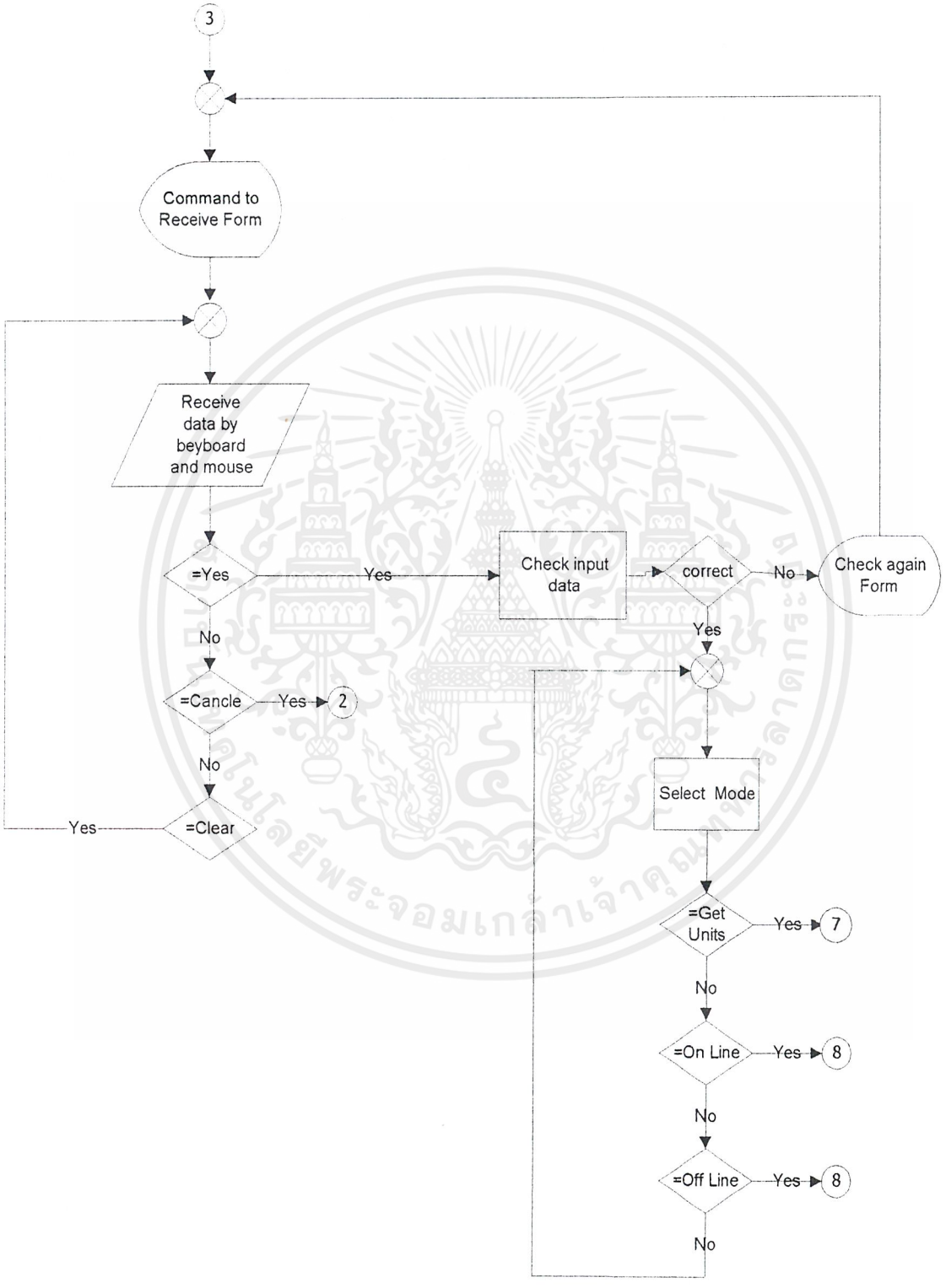
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



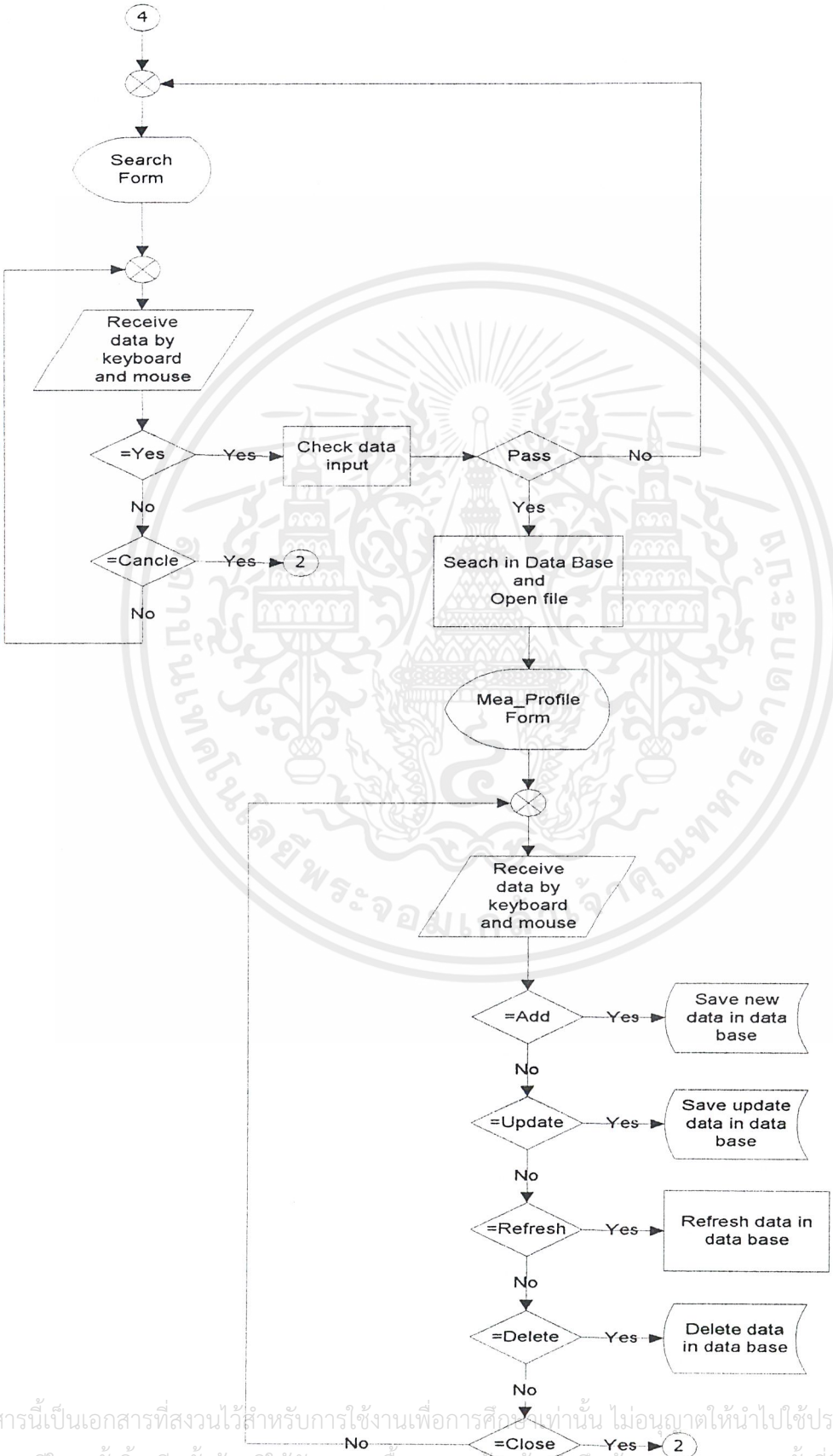
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



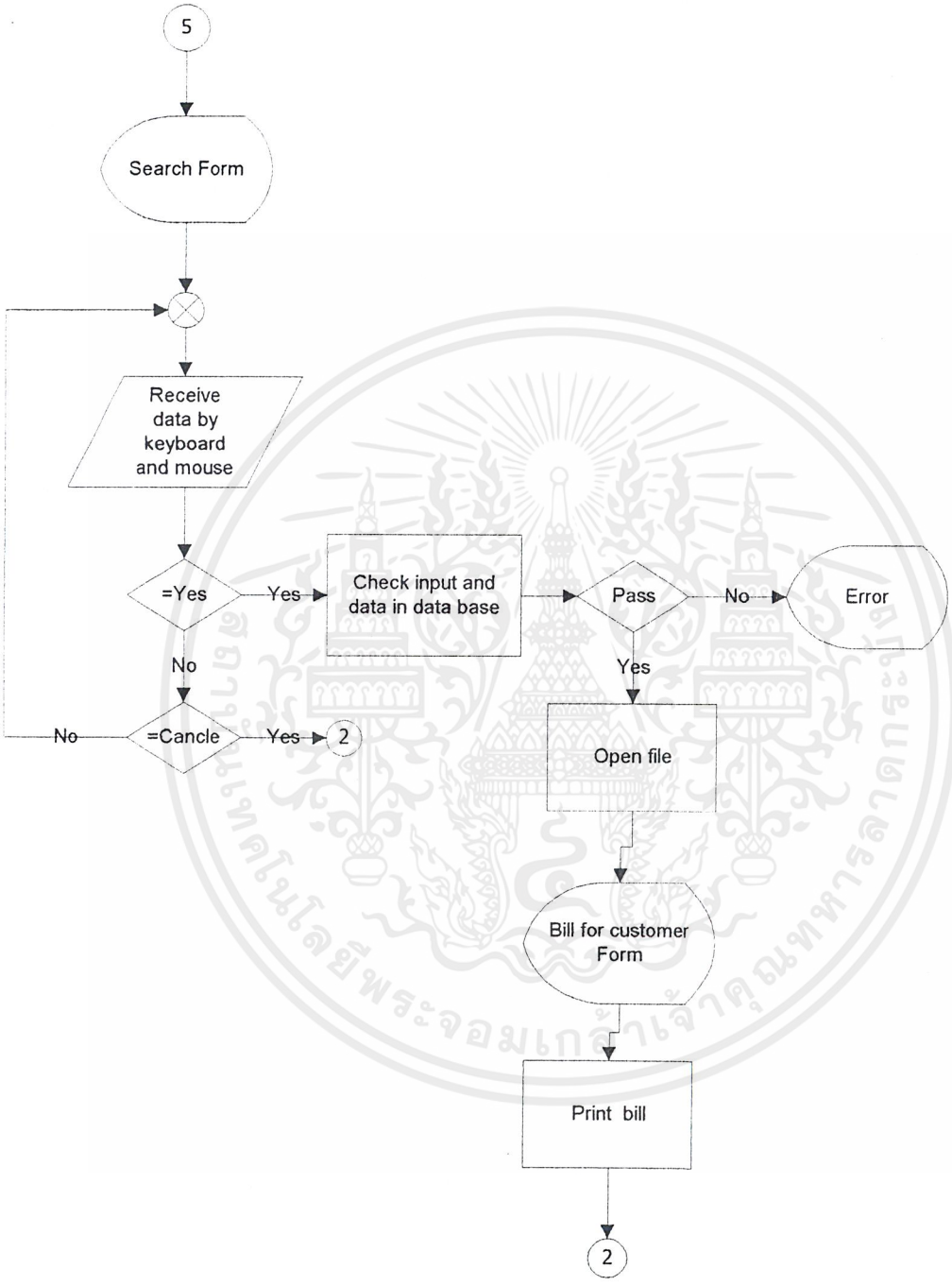
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



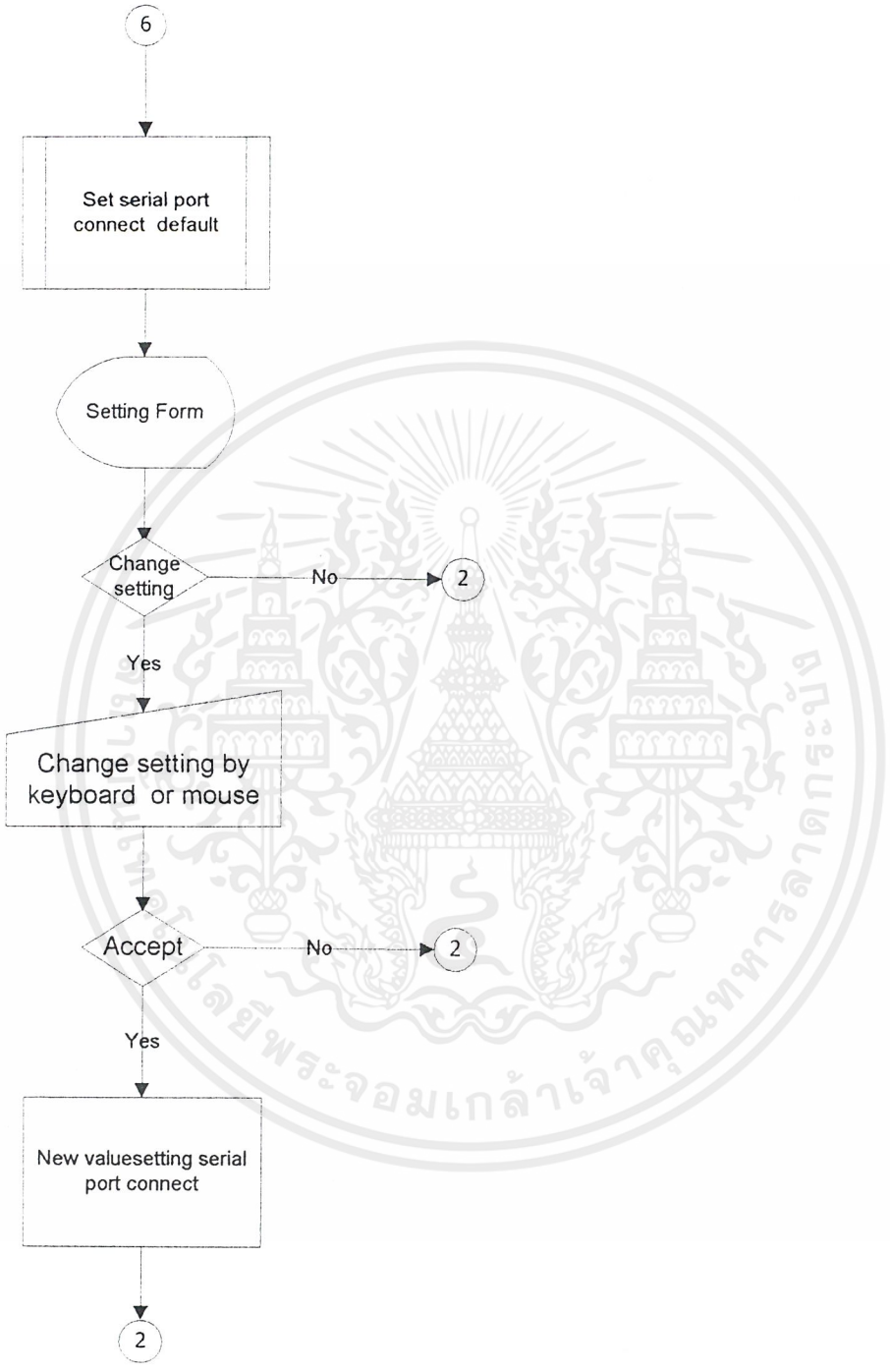
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



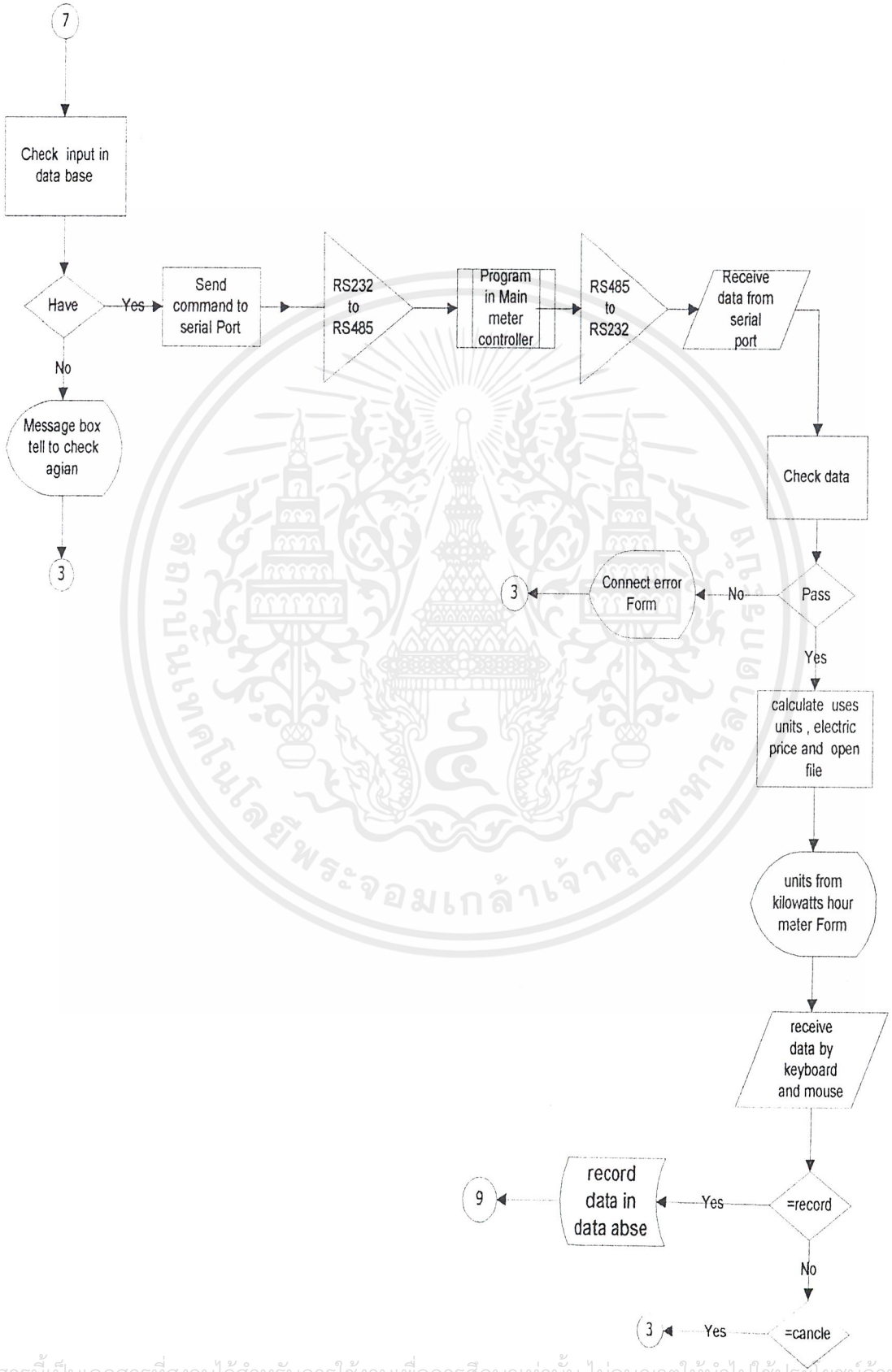
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



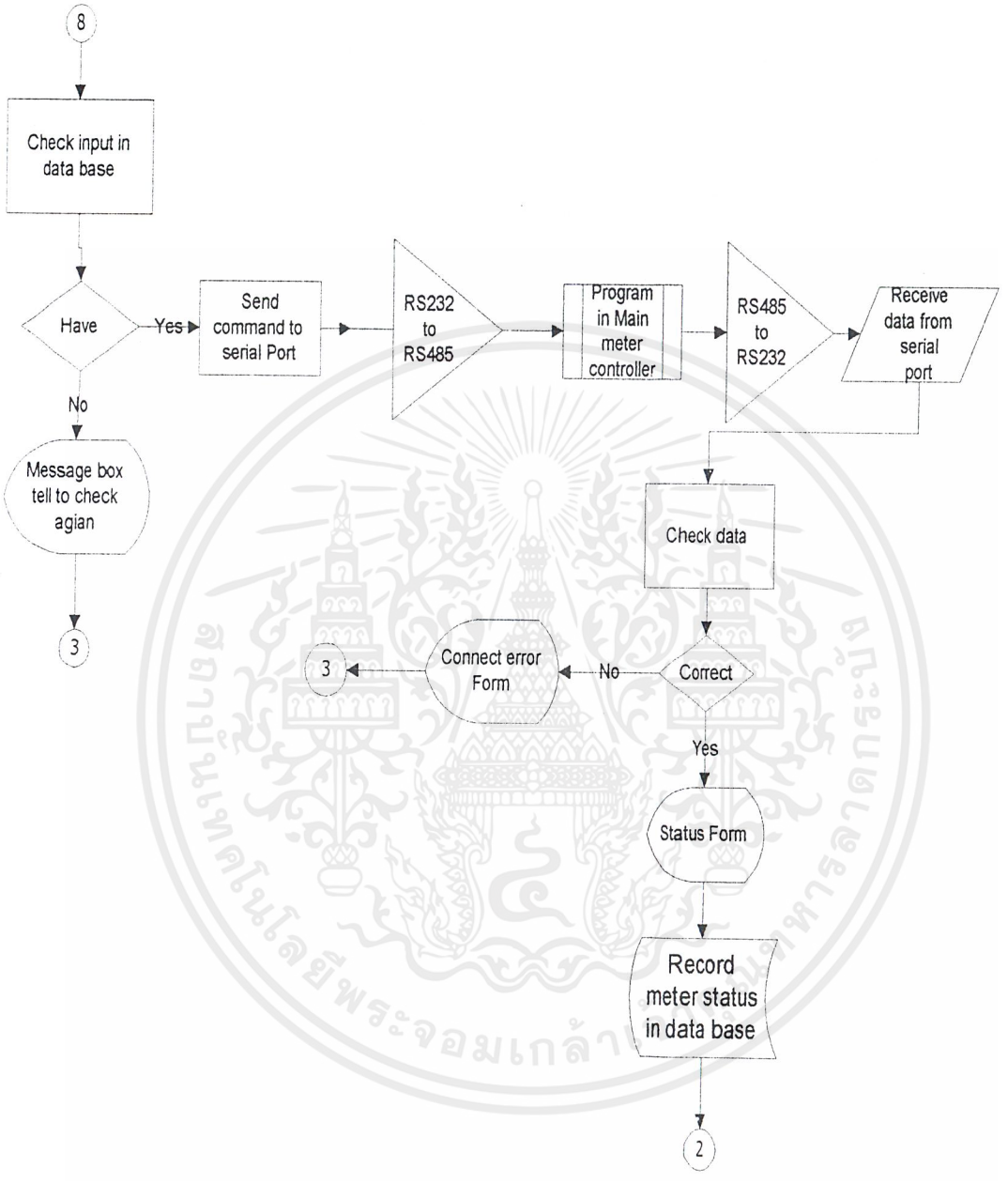
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



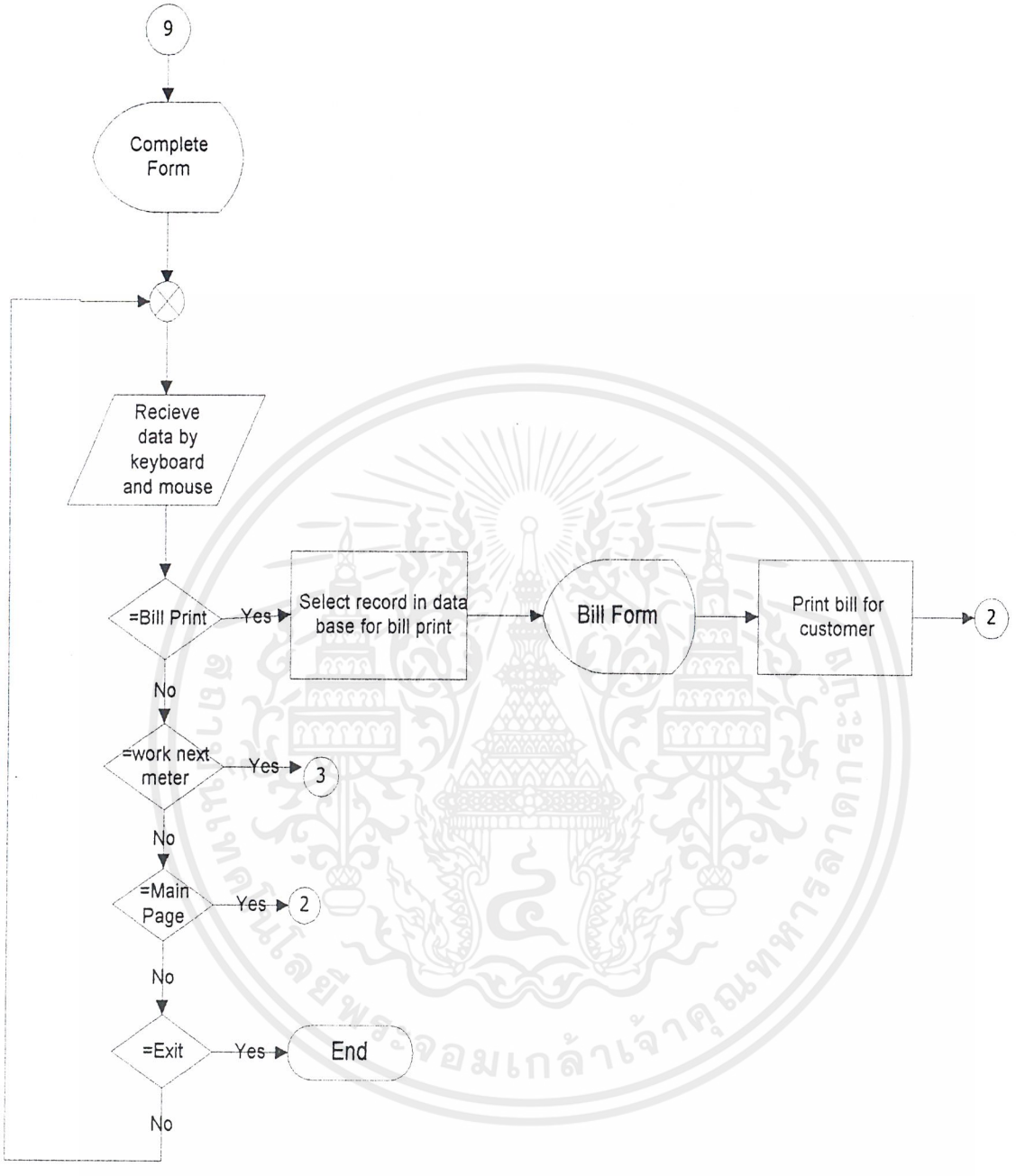
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



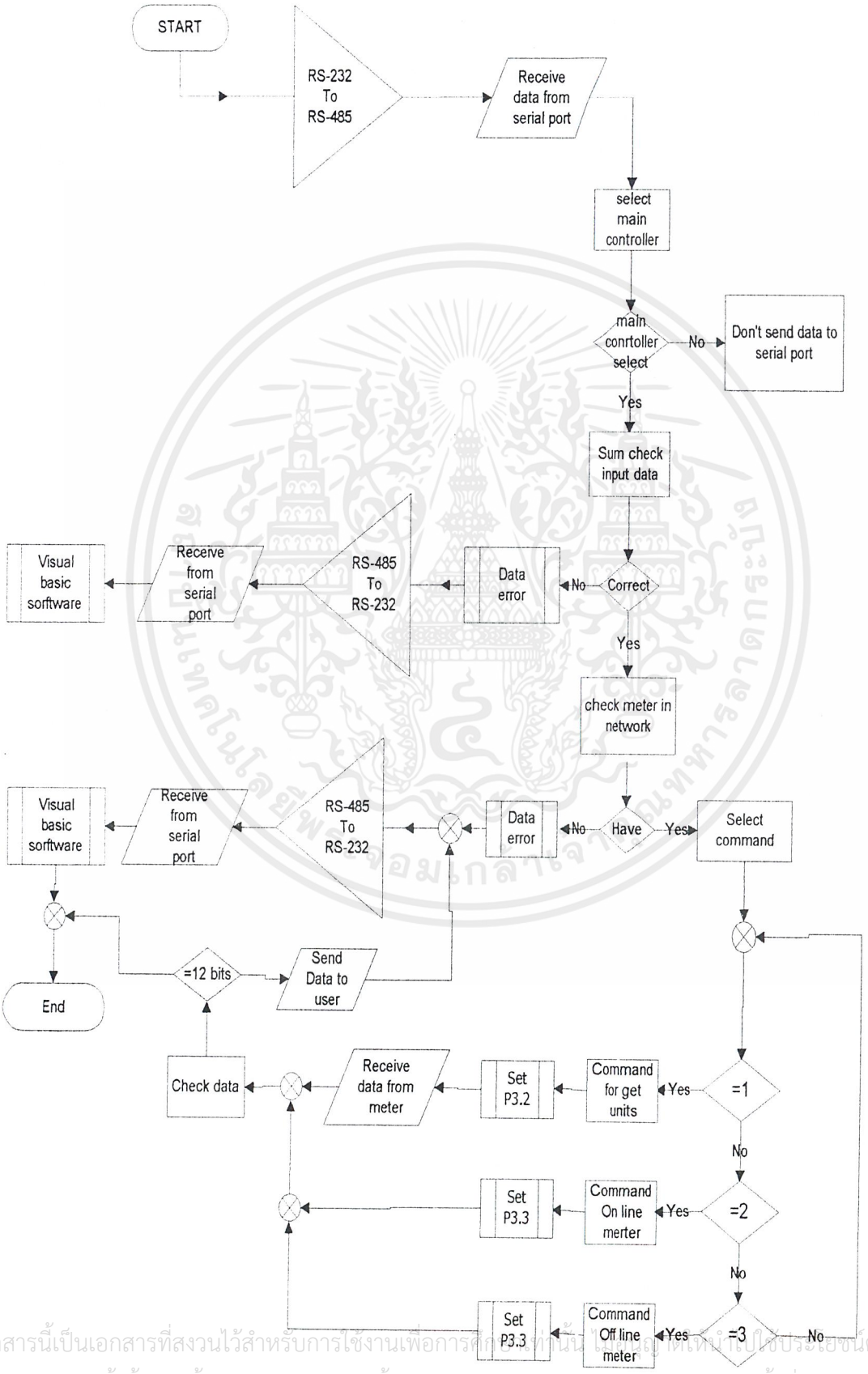
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงการทำงานของโปรแกรมการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลด้วยภาษา Visual Basic (ต่อ)



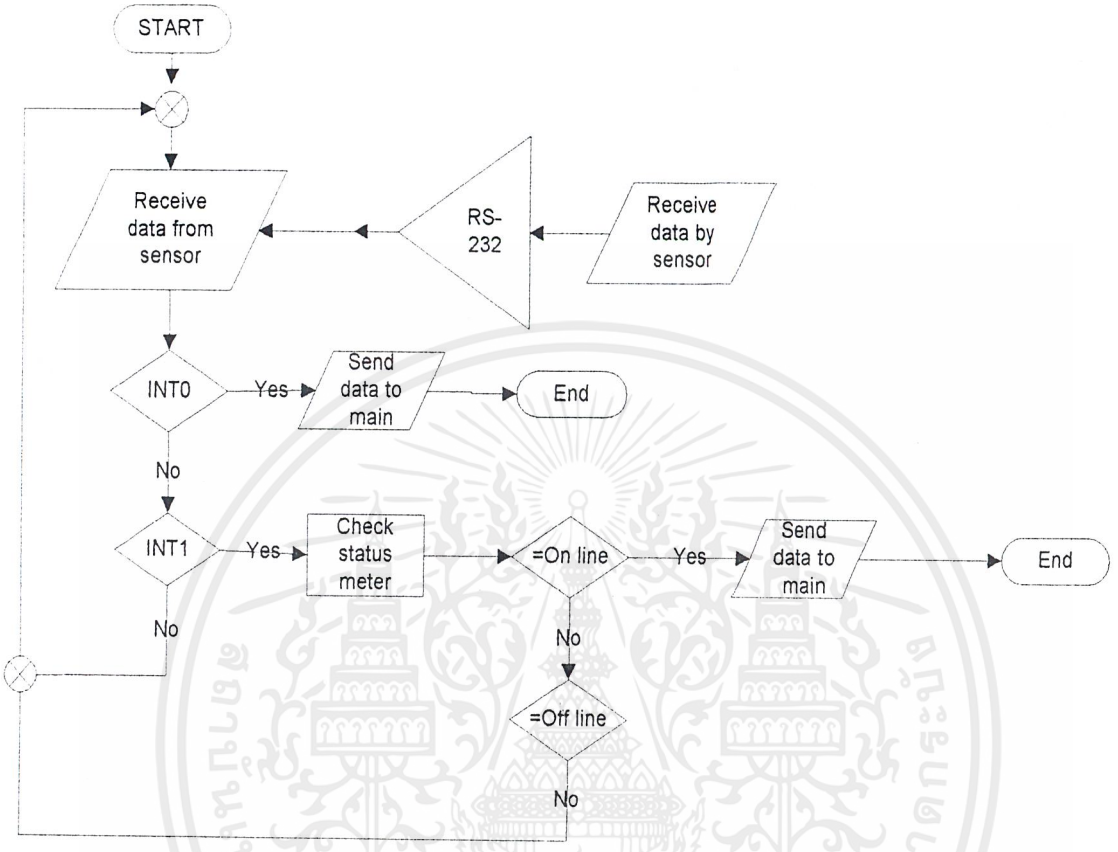
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์เบอร์ QT941 ในการนับจำนวนรอบการหมุนของจานหมุนภายในเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้า

การทดลอง

1.ติดตั้งเซ็นเซอร์บริเวณขอบจานหมุน ซึ่งมีรูเล็กๆ เพื่อให้แสงจากตัวเซ็นเซอร์ลอดผ่านได้

2.ต่อสายจากเซ็นเซอร์เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายซึ่งได้โปรแกรมการบันทึกจำนวนรอบการหมุนของจานหมุนจากสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์

3.ทำการต่อโหลดโดยผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าพร้อมนับจำนวนรอบการหมุนของจานหมุน

4.หยุดการจ่ายโหลด แล้วขอดูค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายบันทึกได้ผ่านซอฟท์แวร์จากคอมพิวเตอร์

6.เปรียบเทียบผลที่ได้ และบันทึกผลที่ได้ต่อเนื่องลงในตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าจากการบันทึกผลการทดลองที่1

ครั้งที่	จำนวนรอบที่ได้	
	จากการนับ	จากเซ็นเซอร์
1	0	0
2	5	5
3	10	10
4	15	15
5	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบโปรแกรมคำนวณภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบความแม่นยำ ความเที่ยงตรง ของเซ็นเซอร์และโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าว่าถูกต้องตรงกับค่าที่แสดงผลบนเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าหรือไม่

การทดลอง

1.ทำการติดตั้งระบบตามการทดลองที่ 1

2.ใช้โปรแกรมวัดและคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของหน่วย Unit หรือ kWh (1200 รอบ = 1 Unit)

3.จ่ายโหลด จนกว่าหน้าปัดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าจะแสดงผลเท่ากับ 1 Unit

4.ดูค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เก็บไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากหน้าปัดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

5.บันทึกผลที่ได้ลงในตาราง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าจากการบันทึกผลการทดลองที่2

ครั้งที่	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Unit)	
	จากหน้าปัดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า	จากไมโครคอนโทรลเลอร์
1	1	1
2	2	2
3	3	3

4.3 การทดลองที่ 3 การตัด-ต่อกระแสไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้า (รีเลย์) เมื่อสั่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดลอง

1.ต่อชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าอนุกรมกับสายไฟระหว่างเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้า

2. ต่อชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.ใช้โปรแกรมควบคุมการตัด-ต่อกระแสไฟฟ้า

4.สั่งงานตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าผ่านโปรแกรม ดูการทำงานของโหลด บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าจากการบันทึกผลการทดลองที่3

ครั้งที่	สถานะ	การทำงานของโหลด
1	On Line	ทำงาน
2	Off Line	ไม่ทำงาน

4.4 การทดลองที่ 4 การคำนวณค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการคำนวณค่าไฟฟ้าของซอฟท์แวร์ที่เขียนขึ้น

การทดลอง

1.เขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายหมายเลข 001001 สมมติค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

2.ใช้ซอฟท์แวร์ติดต่อขอดูข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย หมายเลข 001001

3.เปรียบเทียบค่าที่ได้จากซอฟท์แวร์กับการคำนวณจริง

การทดลองที่ 4.1 ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยอัตรา 1.1 (อัตราปกติ แบบอัตราก้าวหน้า)
ผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 120 หน่วยต่อเดือน

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

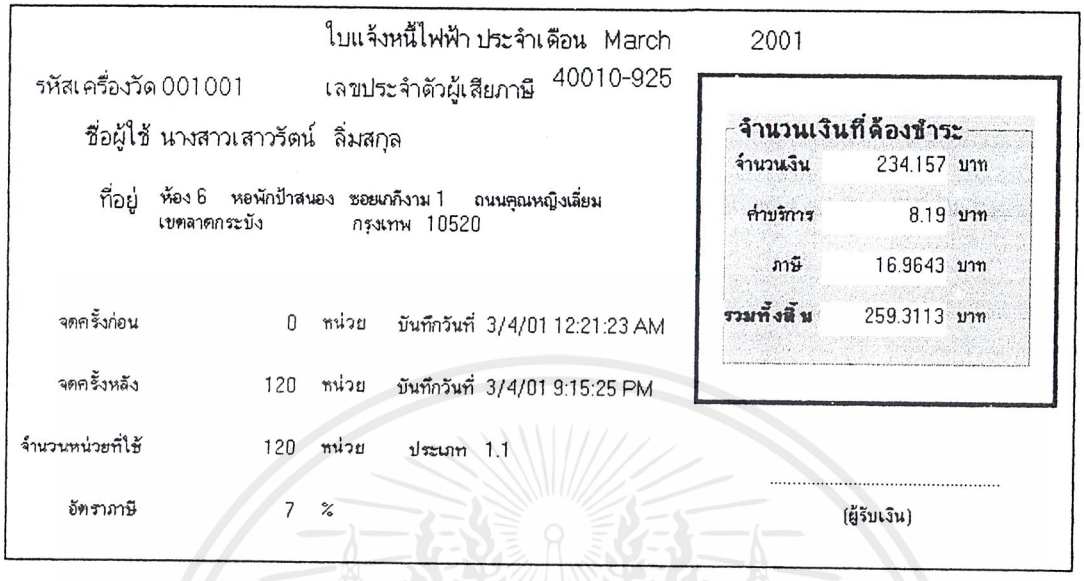
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า			
5 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1 – 5)		= 0.00	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6 – 15)	= (10x1.3576)	= 13.576	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 – 25)	= (10x1.5445)	= 15.445	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 – 35)	= (10x1.7968)	= 17.968	บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 – 100)	= (65x2.1800)	= 141.70	บาท
20 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 – 120)	= (20x2.2734)	= 45.468	บาท
รวม		= 234.1570	บาท
1.2 ค่าบริการ		= 8.19	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน	**= 234.157 + 8.19**	**= 242.3470**	**บาท**

ส่วนที่ 2 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

ค่าไฟฟ้าฐาน x 7/100	= 242.3470 x 7/100	**= 16.96429**	**บาท**
รวมเงินค่าไฟฟ้า	**= 242.3470 + 16.96429**	**= 259.31129**	**บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบแจ้งหนี้ที่ได้จากซอฟท์แวร์การคิดคำนวณค่าไฟฟ้า



ใบแจ้งหนี้ไฟฟ้า ประจำเดือน March 2001

รหัสเครื่องวัด 001001 เลขประจำตัวผู้เสียภาษี 40010-925

ชื่อผู้ใช้ นางสาวเสาวรัตน์ ลิ่มสกุล

ที่อยู่ ห้อง 6 หอพักป้าสนอง ซอยเกริงงาม 1 ถนนคุณหญิงเลี่ยม เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520

จดครั้งก่อน	0	หน่วย	บันทึกวันที่ 3/4/01 12:21:23 AM
จดครั้งหลัง	120	หน่วย	บันทึกวันที่ 3/4/01 9:15:25 PM
จำนวนหน่วยที่ใช้	120	หน่วย	ประเภท 1.1
อัตราภาษี	7	%	

จำนวนเงินที่ต้องชำระ

จำนวนเงิน	234.157	บาท
ค่าบริการ	8.19	บาท
ภาษี	16.9643	บาท
รวมทั้งสิ้น	259.3113	บาท

.....

(ผู้รับเงิน)

การทดลองที่ 4.2 ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยอัตรา 1.2 (อัตราปกติ แบบอัตราก้าวหน้า) ผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 313 หน่วยต่อเดือน

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

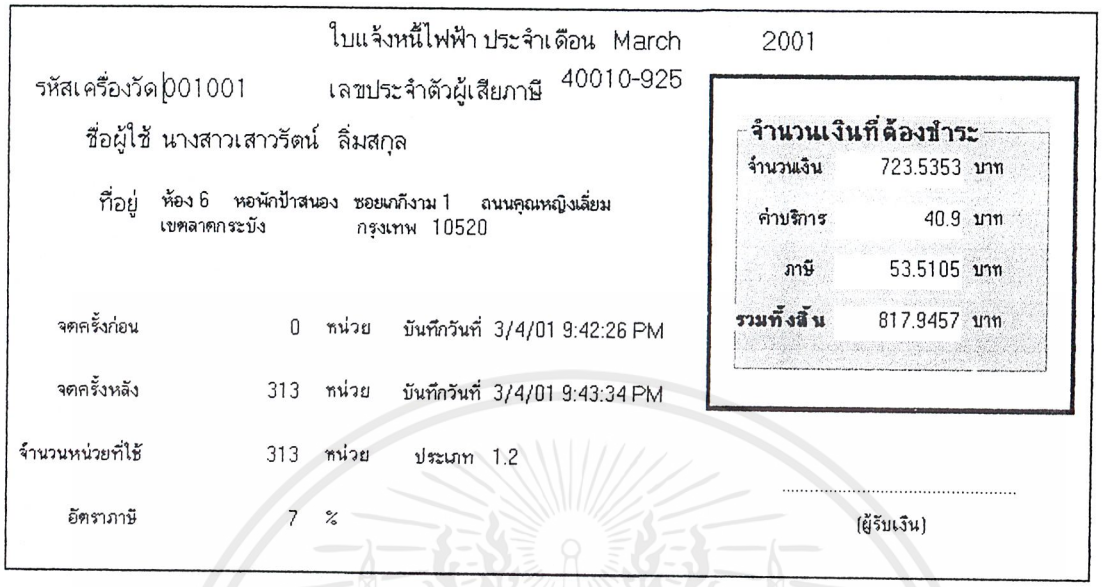
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1 – 150)	= (150x1.8047)	= 270.7050	บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 313)	= (163x2.7781)	= 452.8303	บาท
รวม		= 723.5353	บาท
1.2 ค่าบริการ		= 40.90	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน	= 723.5353 + 40.90	**= 764.4353**	**บาท**

ส่วนที่ 2 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

ค่าไฟฟ้าฐาน x 7/100	= 764.4353 x 7/100	**= 53.510471**	**บาท**
รวมเงินค่าไฟฟ้า	**= 764.4353 +53.510471**	**= 817.945771**	**บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบแจ้งหนี้ที่ได้จากซอฟท์แวร์การคิดคำนวณค่าไฟฟ้า



ใบแจ้งหนี้ไฟฟ้า ประจำเดือน March 2001

รหัสเครื่องวัด p01001 เลขประจำตัวผู้เสียภาษี 40010-925

ชื่อผู้ใช้ นางสาวเสาวรัตน์ ลิ่มสกุล

ที่อยู่ ห้อง 6 หอพักป้าสนอง ซอยเกกีงาม 1 ถนนคุณหญิงเลี่ยม เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520

จดครั้งก่อน	0	หน่วย	บันทึกวันที่	3/4/01 9:42:26 PM
จดครั้งหลัง	313	หน่วย	บันทึกวันที่	3/4/01 9:43:34 PM
จำนวนหน่วยที่ใช้	313	หน่วย	ประเภท	1.2
อัตราภาษี	7	%		

จำนวนเงินที่ต้องชำระ

จำนวนเงิน	723.5353	บาท
ค่าบริการ	40.9	บาท
ภาษี	53.5105	บาท
รวมทั้งสิ้น	817.9457	บาท

.....

(ผู้รับเงิน)

4.5 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ค่าจำนวนรอบการหมุนที่ได้จากการนับและจากเซ็นเซอร์เบอร์ QT941 มีค่าเท่ากัน สรุปได้ว่า เซ็นเซอร์เบอร์ QT941 มีความแม่นยำและเที่ยงตรงในการนับจำนวนรอบการหมุน

การทดลองที่ 2 ค่าจำนวน Unit ที่ได้จากหน้าปัดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า และจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าเท่ากัน สรุปได้ว่าโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการแปลงจำนวนรอบการหมุนเป็นจำนวน Unit ถูกต้อง

การทดลองที่ 3 โหลดมีการทำงานตามคำสั่งตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าได้ถูกต้อง สรุปได้ว่าชุดอุปกรณ์ตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าสามารถทำงานตามคำสั่งได้จริง

การทดลองที่ 4 ค่าไฟฟ้าจากการคำนวณจริง และจากซอฟท์แวร์มีค่าเท่ากัน สรุปได้ว่าซอฟท์แวร์คำนวณค่าไฟฟ้าสามารถทำงานได้ถูกต้อง

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งในส่วนของอุปกรณ์และซอฟท์แวร์ส่วนต่างๆ ของระบบ พบว่ามีความแม่นยำและเที่ยงตรงในการทำงาน ตามวัตถุประสงค์ของการทำงานที่ตั้งไว้

ปัญหาที่พบในการทดลอง เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่นำมาใช้งาน ได้มีการดัดแปลงเพื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ ทำให้จานหมุนเกิดปัญหาในการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าให้มีความสามารถควบคุมระบบได้ในระยะไกล มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน และมีความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยใช้ความรู้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์, การสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 และด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

5.1 ความแตกต่างระหว่างโครงงาน

1.ในโครงงานที่ผ่านมาผู้ใช้ระบบจะทำการติดต่อระบบโดยใช้การติดต่อแบบไร้สายผ่านคลื่นวิทยุซึ่งพบว่าเกิดข้อจำกัดในการใช้งาน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของข้อมูลสูง ในโครงงานนี้ จึงเปลี่ยนการติดต่อสื่อสารให้เป็นตามมาตรฐาน RS-485 ผ่านสายเกลียวคู่ (Twist Pair) ซึ่งมีข้อดีดังนี้

1.1ประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบโดยเฉพาะในบริเวณที่มีผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่อย่างหนาแน่น และสามารถขยายเครือข่ายของระบบการจัดเก็บค่าไฟฟ้าระยะไกลได้ง่ายสะดวก

1.2มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง และโอกาสเกิดข้อผิดพลาดในการติดต่อสื่อสารต่ำเพราะเป็นใช้สัญญาณ Differential ซึ่งหากเกิดการลดทอนสัญญาณขึ้นจะเกิดขึ้นทั้ง 2 สายด้วยค่าที่ใกล้เคียงกัน

1.3การใช้งานระบบสามารถทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยการสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

2.ความแตกต่างของโปรแกรม

2.1ในโครงงานที่ผ่านมาจะคิดค่าไฟฟ้าได้ถูกต้อง เมื่อจำนวนปริมาณพลังงานไฟฟ้า (Unit)ไม่เกิน 150 หน่วยเท่านั้น ในโครงงานนี้ได้พัฒนาให้ไม่มีข้อจำกัดของจำนวนปริมาณพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในการคิดคำนวณค่าไฟฟ้า

2.2ในโครงงานที่ผ่านมาภายหลังจากรับส่งข้อมูลผ่านชุดรีโมทแล้ว ข้อมูลที่ได้จะถูกถ่ายโอนจากชุดรีโมทเข้าสู่ในคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลอีกครั้งหนึ่ง จึงได้พัฒนาโครงงานให้ผู้ใช้ระบบสามารถทำงานได้ภายในหน้าจอเดียว ทำให้ลดความยุ่งยากในการถ่ายโอนข้อมูล

3.เป็นการพัฒนาเข้าสู่ระบบเครือข่าย Networkในโครงงานนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักหนึ่งตัวจะทำหน้าที่ควบคุมเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าลูกข่ายหลายตัว ซึ่งเป็นสร้างกลุ่มของการติดต่อสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารขึ้น การเชื่อมต่อแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นจุดเริ่มการพัฒนาเข้าสู่ระบบเครือข่าย Network

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

1.ขาดความเชี่ยวชาญในการเขียนโปรแกรมซอฟท์แวร์ทั้งในส่วนของภาษา Assembly และภาษา Visual Basic

2.ขาดความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์

3.ความไม่พร้อมของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน

4.การเปลี่ยนอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด.**ไมโครโปรเซสเซอร์ 2.**บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),พิมพ์ที่เม็ดทรายพริ้นติ้ง,กรุงเทพฯ,2539.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล.**การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.**สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ, ,2542.

ปรเมษฐ์ ประพยานันทน์.**คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.** บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),พิมพ์ที่บ.เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด,2536.

สมยศ จุณณะปิยะ.**การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.**คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2541.

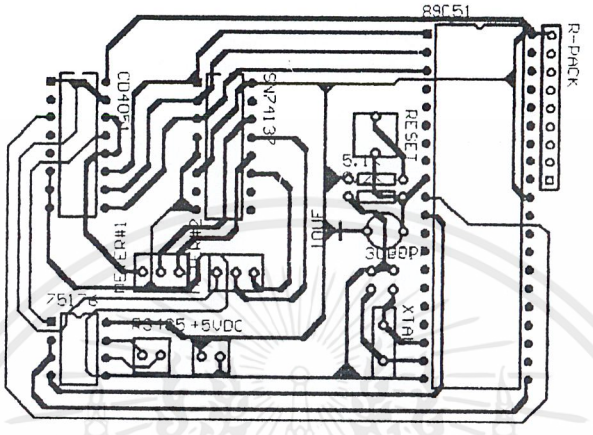
สุนทร วิทูสุรพจน์.**การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051.** บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),พิมพ์ที่บ.เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด,2537.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

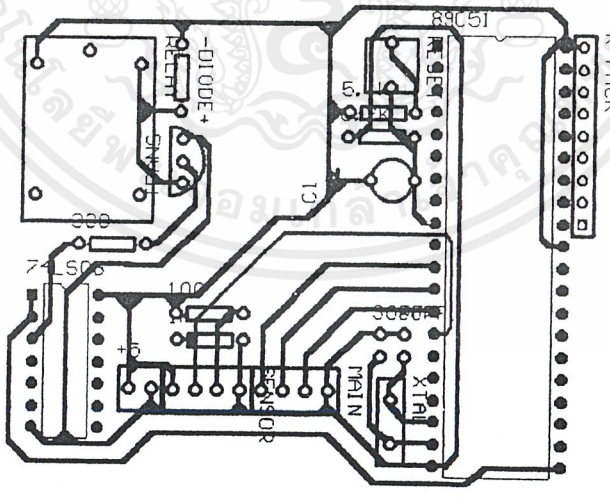
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

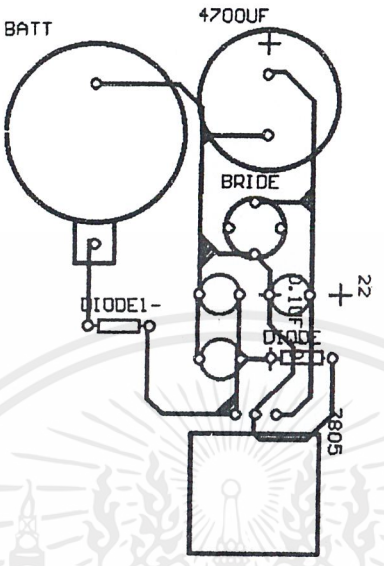


ลายวงจรของชุดไมโครคอนโทลเลอร์หลัก



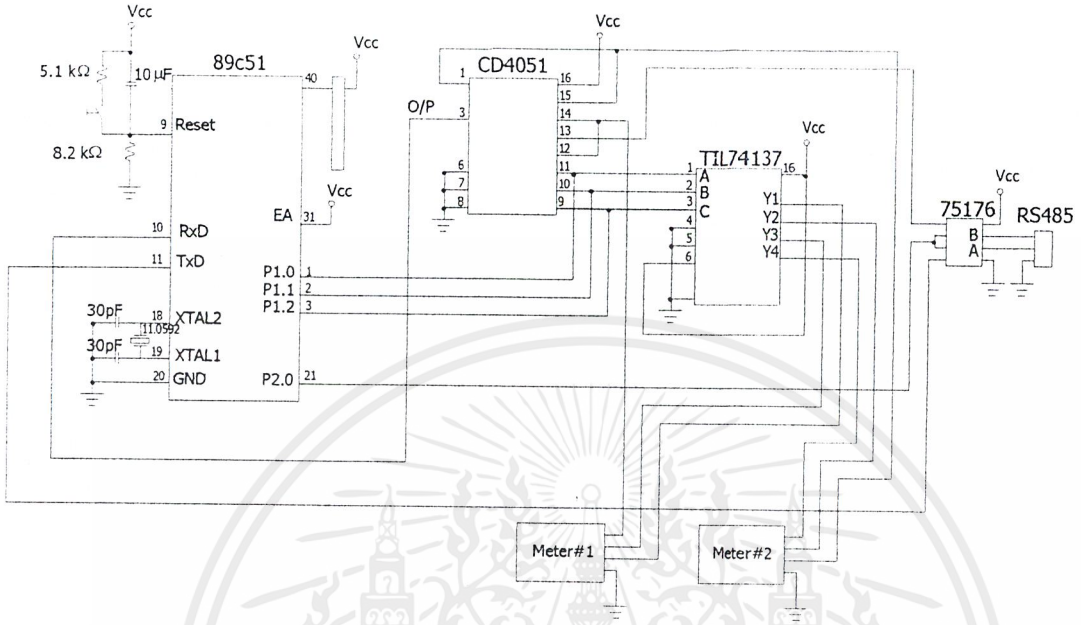
ลายวงจรของชุดไมโครคอนโทลเลอร์ลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

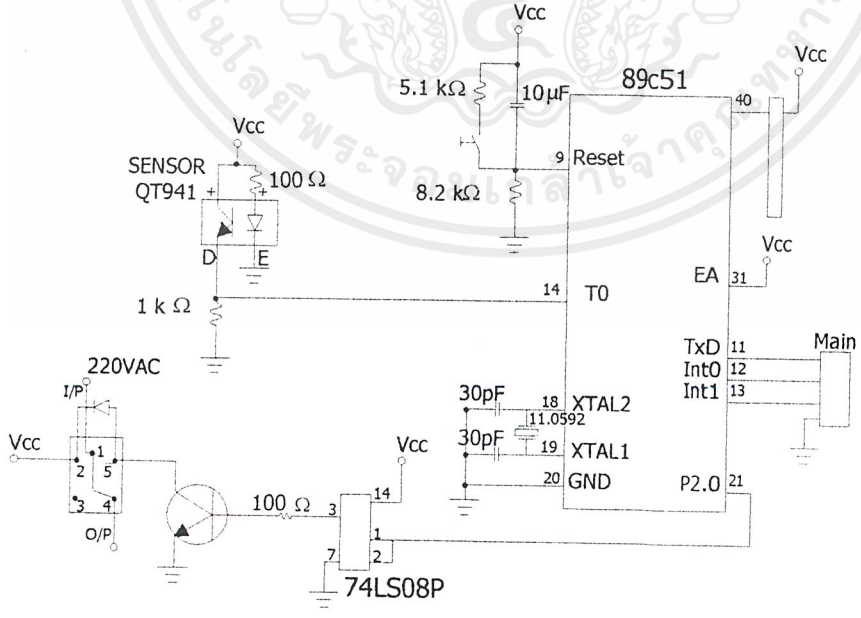


ลายวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก



วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้โปรแกรม

1.การติดตั้งโปรแกรมและฐานข้อมูล

โปรแกรมนี้ ประกอบด้วย

1.โปรแกรมจัดเก็บพลังงานการใช้ไฟฟ้าระยะไกล

2.แฟ้มข้อมูลการใช้ไฟฟ้า การจัดเก็บการใช้พลังงานไฟฟ้าระยะไกลนี้ จะต้องใช้ร่วม กับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษสำหรับโปรแกรมนี้ โดยเฉพาะ สิ่งที่ต้องมีสำหรับการใช้โปรแกรมนี้

2.1.โปรแกรมภาษาวิช่วลเบสิก ตั้งแต่เวอร์ชั่น 5 ขึ้นไป หรือติดตั้งไฟล์ที่แนบมากับโปรแกรมลงไปในไดเร็คทอรี่ C:/windows/system

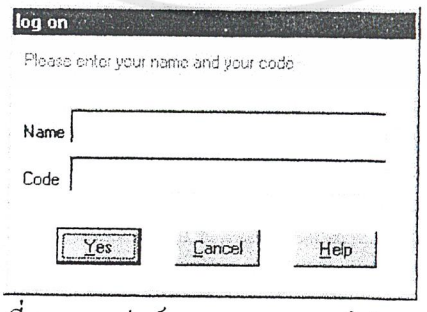
2.2.โปรแกรมMicrosoft Access สำหรับใช้จัดเก็บแฟ้มข้อมูลการใช้ไฟฟ้า

2.3.โปรแกรมเว็บบราวเซอร์ Internet Explorer

2.4.โปรแกรมและแฟ้มข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งลงในไดเร็คทอรี่ D:/Project/Nov15 และ คู่มือการใช้โปรแกรมจะถูกติดตั้งลงในไดเร็คทอรี่ D:/Project/Nov15/Help

2.เริ่มต้นใช้โปรแกรม

หลังจากโปรแกรมถูกติดตั้งเรียบร้อยแล้ว และเชื่อม ต่อกับระบบการจัดเก็บการใช้พลังงานไฟฟ้าระยะ ไกลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว สิ่งที่จะต้องทราบ ได้แก่User และ Code สำหรับพนักงานโดยการไฟฟ้า จะเป็นผู้กำหนด เพื่อระบุว่าพนักงานคนใดที่รับผิดชอบเกี่ยวกับข้อมูลของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นๆ



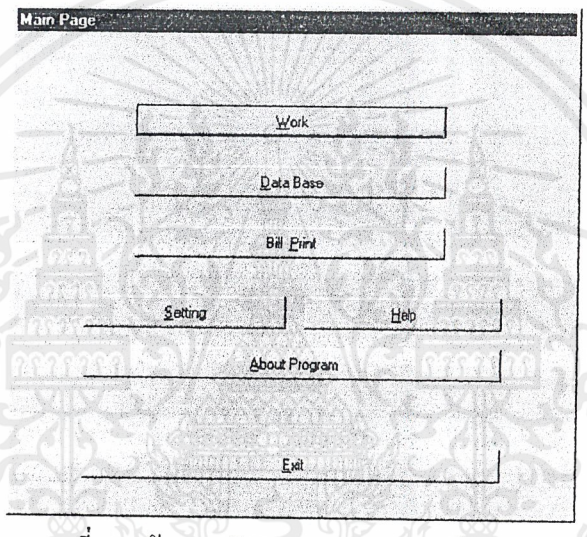
ภาพที่ 1 แบบฟอร์มการ LOG ON โปรแกรม

หลังจากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอหลัก (Main Page) สามารถที่จะเลือกโปรแกรมการทำงานโดย คลิ๊กที่ปุ่มที่ต้องการ ตามภาพที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

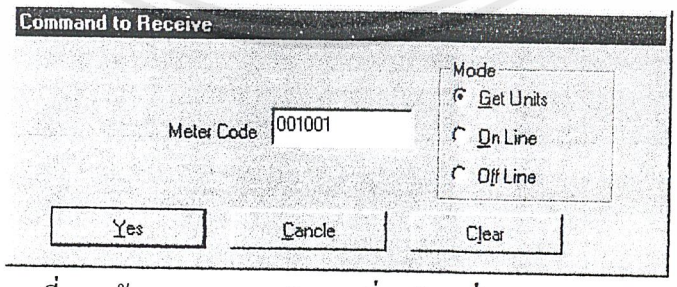
2.1 กรณีต้องการทำงานกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า จากภาพที่ 2 คลิ๊ก Work

เข้าสู่การทำงานเกี่ยวกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า โดยสามารถที่จะเรียกดูข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นๆได้ และสามารถตัดไฟหรือจ่ายไฟสำหรับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นๆได้ แต่กรณีนี้ จะต้องทราบสถานะของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าปัจจุบันว่าอยู่ในสถานะใด โดยสามารถเช็คได้จาก การ Get Units แล้วไม่ต้อง Record ข้อมูล เพื่อให้โปรแกรมกลับมาสู่หน้านี้อีกครั้ง หลังจากที่ใส่หมายเลขเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (Meter Code) ครบ 6หลักและ ถูกต้องเรียบร้อยแล้ว สามารถที่จะโปรแกรมการทำงานของ ได้โดยเลือกจากโหมด (Mode) แล้วคลิ๊ก Yes เพื่อทำงานต่อไป หรือคลิ๊ก Cancle เพื่อยกเลิกการทำงานโปรแกรมจะกลับสู่ หน้าหลัก



ภาพที่ 2 หน้าจอหลัก (Main Page) ของโปรแกรม

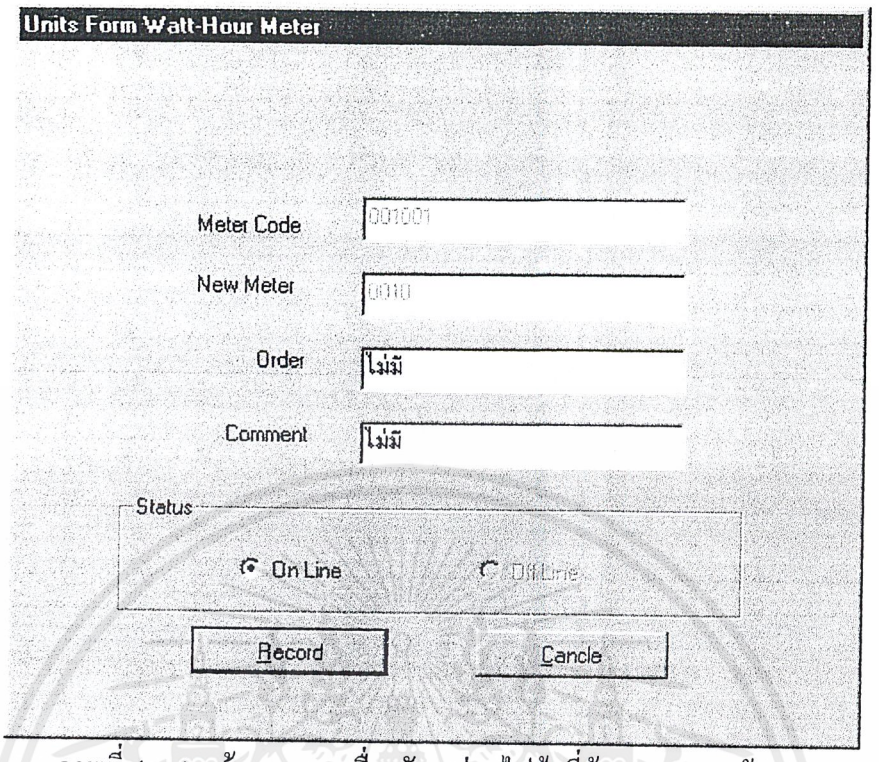
2.1.1 กรณี เลือก Mode Get Units (เป็นค่า default) จะแสดงหน้าจอดังภาพที่3



ภาพที่3 หน้าจอแสดงการทำงานเกี่ยวกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

หลังจากที่กรอก Meter Code ถูกต้อง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ต้องการจะแสดงดังภาพที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



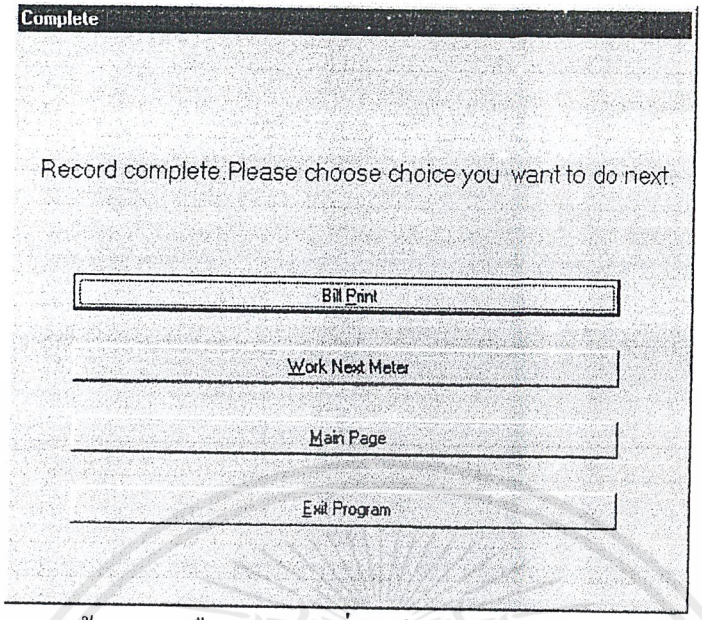
ภาพที่ 4 แสดงข้อมูลจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ต้องการทราบข้อมูล

จากนี้สามารถเลือกที่จะบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าลงในแฟ้มข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าได้หรือเลือกที่จะไม่บันทึกก็ได้ ในกรณีหลังโปรแกรมจะย้อนกลับไปหน้าจอ Command to Receive แต่ถ้าเลือกบันทึกข้อมูลจะถูกจัดเก็บลงในแฟ้มข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังภาพที่ 5

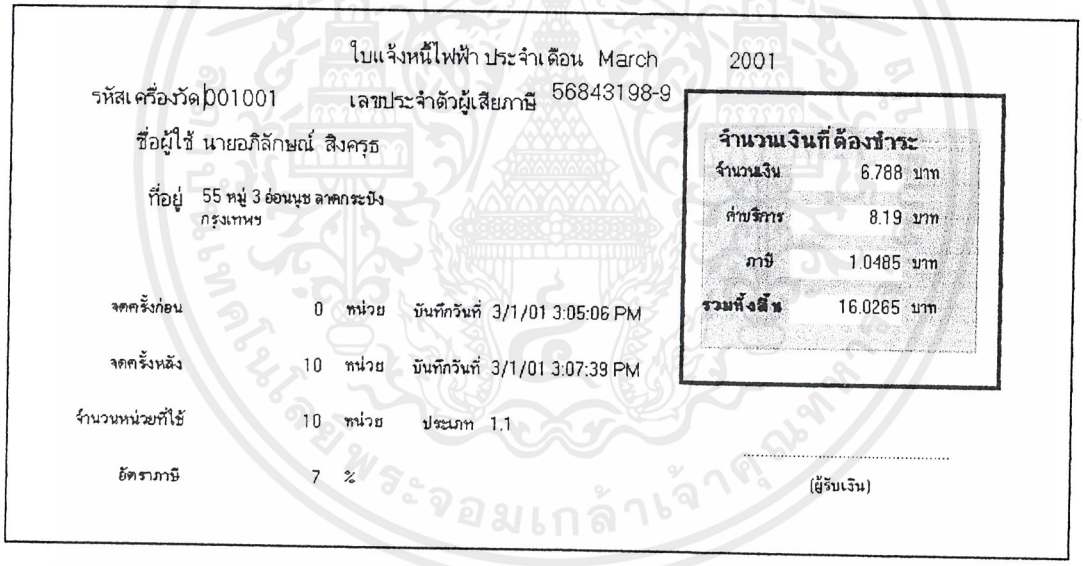
หน้าจอดังภาพที่ 5 สามารถที่จะเลือกโปรแกรม ได้ 4 ทางเลือก คือ

1. Bill Print เลือกที่จะพิมพ์ใบแจ้งหนี้ ใบแจ้งหนี้แสดงดังภาพที่ 6 โดยจะแสดงให้มองเห็นได้ 5 วินาที ไม่สามารถจะแก้ไขข้อมูลได้ หลังจากนั้นโปรแกรมจะสั่งพิมพ์อัตโนมัติ(เครื่องพิมพ์อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน) 1 สำเนา และจะกลับไปสู่หน้าจอหลัก
2. Work Next Meter เลือกที่จำทำงานกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าตัวใหม่ โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่3
3. Main Page เลือกที่จะกลับไปหน้าจอหลักเพื่อทำรายการใหม่
4. Exit Program เลือกที่จะจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 แสดงหน้าจอทางเลือกหลังจากที่บันทึกข้อมูลในแฟ้มของผู้ใช้ไฟฟ้าเสร็จสิ้น

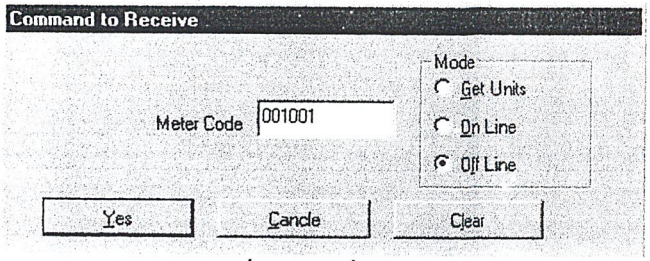


ภาพที่ 6 แสดงลักษณะของใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

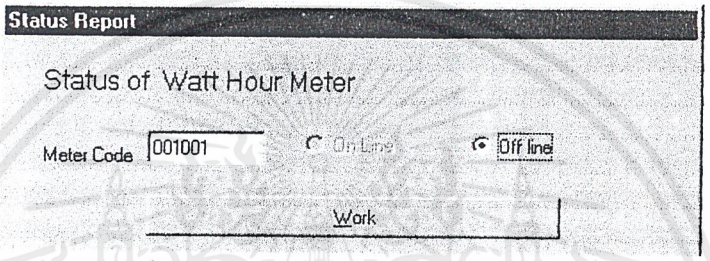
2.1.2 กรณีเลือก Mode On Line or Off Line เพื่อตัดหรือจ่ายกระแสไฟให้กับผู้ใช้ โปรแกรมจะแสดงดังภาพที่ 7

กรณีที่ 2.1.2 นี้จะต้องทราบสถานะของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้านั้นว่าอยู่ในสถานะจ่ายไฟ(On Line) หรือถูกตัดไฟ(Off Line) เพื่อไม่ให้การทำงานของโปรแกรมเกิดความผิดพลาด โดยสามารถเช็คสถานะของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าได้ตามข้อ 2.1.1 หลังจากเลือกเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่จะโปรแกรมแล้ว จะแสดงหน้าจอดังภาพที่ 8 หลังจากที่คลิ๊ก Work โปรแกรมจะกลับสู่หน้าหลักเพื่อเลือกการทำรายการใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

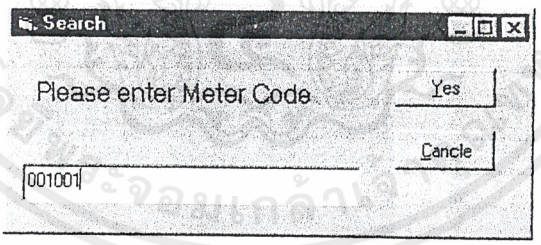


ภาพที่ 7 แสดงหน้าจอการทำงานเกี่ยวกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้ากรณีจะตัดหรือจ่ายไฟให้ผู้ใช้



ภาพที่ 8 หน้าจอรายงานสถานะเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าโดยสถานะของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าจะถูกบันทึกลงในแฟ้มของผู้ใช้ไฟฟ้า

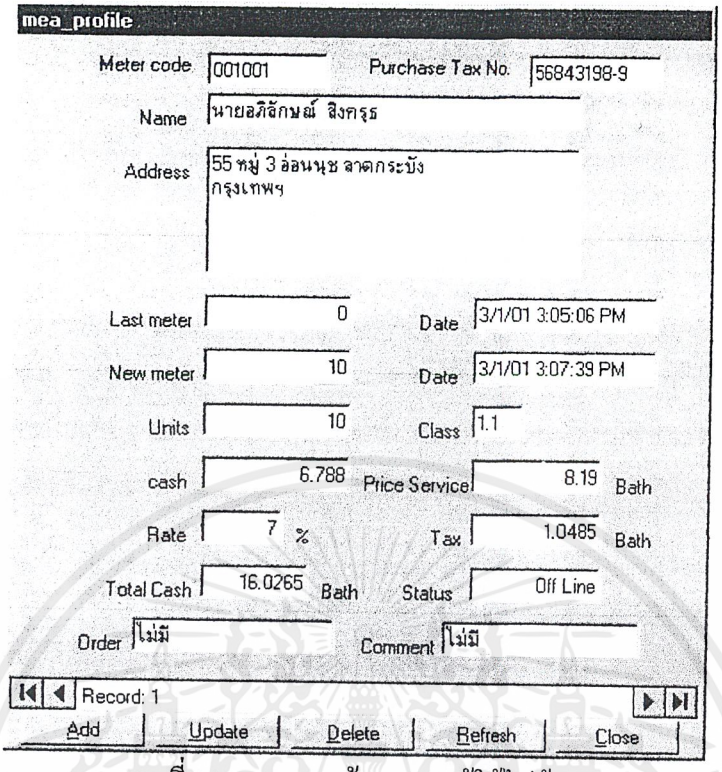
2.1.3 กรณีต้องการทำงานเกี่ยวกับฐานข้อมูล จากภาพที่ 2 คลิ๊ก Data Base จะปรากฏหน้าจอให้กรอก Meter Code ที่ต้องการจะทราบข้อมูลลงไป ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงหน้าจอสำหรับกรอกข้อมูลเพื่อดูข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า

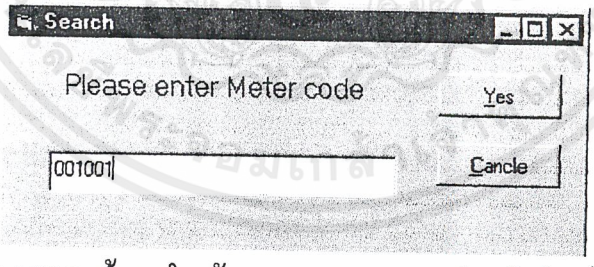
หลังจากที่กรอก Meter Code ตามที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าแสดงข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า ดังภาพที่ 10 โดยสามารถที่จะกระทำการกับข้อมูลได้ทุกอย่าง เช่นเพิ่มจำนวนผู้ใช้ ลบจำนวนผู้ใช้ออกจากระบบ เป็นต้น แต่การโปรแกรมหน้านี้ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากมีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลและความเสียหายของการไฟฟ้าด้วย เมื่อปิดหน้าจอนี้โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอหลักเพื่อเลือกทำรายการใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 แสดงฐานข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า

2.2 กรณีเลือกที่จะพิมพ์ใบแจ้งหนี้การใช้ไฟฟ้าจากฐานข้อมูลผู้ใช้ จากภาพที่ 2 คลิ๊ก Bill Print จะปรากฏหน้าจอให้กรอก Meter Code ของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ต้องการจะพิมพ์ใบแจ้งหนี้การใช้ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 11

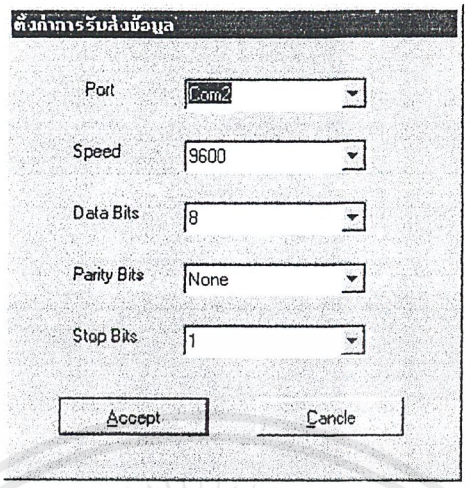


ภาพที่ 11 แสดงหน้าจอสำหรับกรอก Meter Code สำหรับพิมพ์ใบแจ้งหนี้

หลังจากที่กรอก Meter Code ของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่การพิมพ์แล้ว เมื่อคลิ๊ก Yes โปรแกรมจะค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าและโปรแกรมจะสั่งพิมพ์อัตโนมัติ(เครื่องพิมพ์อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน) 1 สำเนา และจะกลับไปสู่หน้าจอหลัก

2.4 กรณีเซ็ตค่าสำหรับติดต่อกับเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า จากภาพที่ 2 คลิ๊ก Settingจะปรากฏหน้าจอสำหรบการเซ็ตค่าการรับและส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม โดยค่าที่แสดงดังภาพ ที่ 12 คือ ค่า Defualt สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ตามที่ต้องการและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 12 แสดงหน้าจอสำหรับเซ็ตค่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.5 กรณีต้องการทราบวิธีใช้โปรแกรม จากภาพที่ 2 คลิ๊ก Help

2.6 กรณีต้องการทราบรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรมจากภาพที่ 2 คลิ๊กAbout Program

2.7 กรณีเลือกที่จะจบการทำงาน จากภาพที่ 2 คลิ๊ก Exit โปรแกรมจะถูกปิดเป็นอันเสร็จสิ้นการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้