สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเล็คทรอนิคเอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก

Programming control Electronic Expansion Valve (EXV) and Inverter for small Air-conditioner

นาย กฤษณ์ วัฒนพันธุ์
นาย อนุสรณ์ สิงหเสนี
นาย เอกพล รำเพยพล

ว/ทน.
ก 98/ ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....81783
วัน,เดือน,ปี.....24 มิ.ย. 2551

.b.....11937300.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเล็คทรอนิคเอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก

Programming control Electronic Expansion Valve (EXV) and Inverter for small Air-conditioner

ผู้จัดทำ

1.นาย กฤษณ์ วัฒนพันธุ์ รหัสประจำตัว 48015369

2.นาย อนุสรณ์ สิงหเสนี รหัสประจำตัว 48015409

3.นาย เอกพล รำเพยพล รหัสประจำตัว 48015454

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเล็คทรอนิคเอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก

นายกฤษณ์ วัฒนพันธุ์	รหัสประจำตัว 48015369
นายอนุสรณ์ สิงหเสนี	รหัสประจำตัว 48015409
นายเอกพล รำเพยพล	รหัสประจำตัว 48015454
ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาระบบทำความเย็นโดยนำเสนอการควบคุมปริมาณการจ่ายน้ำยาสารทำความเย็นเข้าอีวาโปเรเตอร์ (evaparator) โดยให้น้ำยาสารทำความเย็นระเหยหมดกลายเป็นไออิ่มตัวพอดีด้วยอุปกรณ์ควบคุมแบบ EXV(Electronic Expension Valve) และใช้ระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมอัตราการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการที่ EXV การควบคุมทั้งหมดนี้ใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic ติดต่อผ่านคอมพิวเตอร์ เพื่อรับค่าอุณหภูมิและความดันจากตัวตรวจจับ(sensor) และส่งสัญญาณผ่านทางพอร์ตขนาน ไปควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ให้เปิด-ปิดวาล์วของอุปกรณ์ควบคุมแบบ EXV โดยการควบคุมจะใช้ค่าความร้อนยิ่งยวดของไอ(Superheat vapor) และค่าการเป็นของเหลวเย็นยิ่ง(Liquid Subcooling) มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นด้วย เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการทดลองพบว่า เครื่องทำความเย็นขนาด 18,000 BTU/hr เมื่อทำการควบคุมปริมาณการจ่ายสารทำความเย็นโดย EXV(Electronic Expension Valve) เพื่อทำให้เกิด saturated ตลอดเวลาที่ทางออก Evaporator ที่อุณหภูมิมาตรฐานสามารถทำความเย็นได้ EER = 13.021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programming control Electronic Expansion Valve (EXV) and Inverter for small Air-conditioner

Krit Wattanaphan 48015369
Anusorn Singhasanee 48015409
Ekkaphon Rumpoeiphon 48015454
Assist. Prof. Thawatchai Nakpipat

Abstract

The study of refrigeration system is control on the refrigerant flow at evaporator. The optimum of refrigerant flow is controlled by Electronics Expansion Valve and Inverter system to be saturated vapor from evaporator outlet. An operation of EXV was controlled by Microsoft Visual Basic on computer. Feedback of Temperature and Pressure from sensors was used to measure data at several states. All data were analyzed and controlled by step motor via parallel port. Electronics Expansion Valve was done by step motor for control superheat and sub cooling as the set value of the refrigeration system for the best efficiency. Conclusion, the air conditioner 18,000 BTU/hr when the refrigerant flow is controlled by EXV to be saturated vapor from evaporator outlet at temperature standard every time. The system can be energy efficiency ratio is 13.021.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะความพากเพียรของผู้จัดทำ คงไม่อาจสำเร็จหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกอันเป็นที่สำคัญยิ่ง คือ ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้คอยให้ความเอาใจใส่ และความช่วยเหลือตลอดมา และรศ. ไสว พงศ์สวัสดิ์ และอาจารย์ธีรวัฒน์ เทพมณี จากภาควิชาวิศวกรรมวัดคุมที่ให้คำปรึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือวัด ตลอดจนรุ่นพี่ปริญญาโท ผู้ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องและให้คำแนะนำจนปริญญานิพนธ์นี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่มิอาจลืมได้คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักที่ให้โอกาสในการศึกษา และเป็นกำลังใจที่สำคัญ ส่งผลให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุลวงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอันสุดประมาณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายกฤษณ์ วัฒนพันธุ์

นายอนุสรณ์ สิงหเสนี

นาย เอกพล รำเพยพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญภาพ.....VII
สารบัญกราฟ.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....2
1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน.....2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....3
2.1 วัฏจักรอัดไอ.....3
2.2 ส่วนประกอบหลักของวัฏจักรอัดไอ.....3
2.3 การทำงานของระบบทำความเย็นอย่างง่าย.....11
2.4 หน่วยของการทำความเย็น (Standard Rating of Refrigeration).....12
2.5 สมการที่ใช้ในการคำนวณการทำความเย็น.....12
2.6 คุณสมบัติไซโคเมตริกของอากาศ (Psychometric Properties of Air).....13

บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง.....19
3.1 บทนำ.....19
3.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....19

บทที่ 4 การสั่งงานทางพอร์ตขนาน.....30
4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน.....30
4.2 การติดต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตอย่างง่าย.....40
4.3 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

4.4 การติดต่อพอร์ตขนานกับระบบบัสแบบ I^2C.....48
4.5 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย PCF8574 และ PCF8574A 55
4.6 การเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกพอร์ตขนานผ่านระบบบัส I^2C 57

บทที่ 5 แนวคิดของโปรแกรมควบคุมอีเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว.....65
5.1 โครงสร้างของโปรแกรม.....65
5.2 แนวคิดในการควบคุมการจ่ายปริมาณสารทำความเย็น.....70

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง.....71
6.1 วิธีการทดลอง.....71
6.2 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ต่าง ๆ.....72

บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง.....82
7.1 สรุปผลการทดลอง.....82
7.1 สรุปการทำงานของโปรแกรมควบคุม.....84
7.3 ข้อเสนอแนะ.....84

บรรณานุกรม.....85

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการขับสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส 8
ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบการขับสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส.....8
ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบการขับสเต็ปมอเตอร์แบบฮาล์ฟสเต็ป.....9
ตารางที่ 2.4 ชนิดของสารทำความเย็นที่นิยมใช้ 10
ตารางที่ 4.1 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน.....37
ตารางที่ 4.2 แสดงแอดเดรสจิสเตอร์ของพอร์ตขนาน 40
ตารางที่ 4.3 แสดงหน้าที่ของขาการใช้งานไอซีเบอร์ PCF8574/8574a.....56
ตารางที่ 6.1 แสดงมาตรฐาน ISO 5151-1994 ที่ใช้ทดสอบ.....71
ตารางที่ 6.2 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่35 Hz 73
ตารางที่ 6.3 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่45 Hz 75
ตารางที่ 6.4 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่50 Hz.....77
ตารางที่ 6.5 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่60 Hz.....79
ตารางที่ 6.6 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่70 Hz.....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2.1 วาล์วควบคุมการไหลแบบเทอร์โมสเตติกเอกซ์แปนชั่นวาล์ว....6
รูปที่ 2.2โครงสร้างพื้นฐานของ Step Motor ชนิด ยูนิโพล่าร์แบบ 5 และ 6 สาย....7
รูปที่ 2.3 แผนภาพ P-h Diagramแสดงการทำงานของระบบทำความเย็น....12
รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วๆ ไปของแผนภูมิไซโครเมตริค และคุณสมบัติพื้นฐานบางอย่างของอากาศ....18
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องระเหย....19
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องควบแน่น....20
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องอัด....21
รูปที่ 3.4 แสดงวาล์วขยายชนิด Electronic Expansion Valve....22
รูปที่ 3.5 แสดงกระจกมองสารทำความเย็น....22
รูปที่ 3.6 แสดงกรองไดรเออร์....23
รูปที่ 3.7 แสดงน้ำยาสารทำความเย็น R-22....23
รูปที่ 3.8 ตัวอาร์ทีดีที่ใช้ในการทดลอง....24
รูปที่ 3.9 อัตราส่วนของความต้านทานของโลหะที่ใช้ทำอาร์ทีดีเทียบกับค่าความต้านทานของมันที่ 0°C....25
รูปที่ 3.10 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี....26
รูปที่ 3.11ตัวตรวจวัดความดัน....26
รูปที่ 3.12 ชุด อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปรับค่าได้....27
รูปที่ 3.13 บอร์ดจ่ายแรงดันไฟฟ้า....27
รูปที่ 3.14 บอร์ดปรับปรุงสัญญาณความดัน....28
รูปที่ 3.15 บอร์ดปรับปรุงสัญญาณอุณหภูมิ....28
รูปที่ 3.16 บอร์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล....29
รูปที่ 3.17 พีบอร์ด....29
รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์....32
รูปที่ 4.2 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน....33
รูปที่ 4.3 วงจรภายในของพอร์ต Data....35
รูปที่ 4.4 วาจรภายในของพอร์ต Control....36
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.6 การเรียกไฟล์ INPOUT.BAS....40
รูปที่ 4.7 รายละเอียดของไฟล์ INPOUT.BAS....41
รูปที่ 4.8 วงจรสมบูรณ์ของ P- BOARD บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน....42
รูปที่ 4.9 แสดง บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนานหรือ P- BOARD....43
รูปที่ 4.10 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวต่อกันแบบดาสเตอร์....45
รูปที่ 4.11 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์....45
รูปที่ 4.12 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน....45
รูปที่ 4.13 การจัดขาของไอซีเบอร์ ULN2003....46
รูปที่ 4.14 สัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์ในแบบต่างๆ....47
รูปที่ 4.15 (ก) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิค "1....48
(ข) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิก "0"
รูปที่ 4.16 วงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C....49
รูปที่ 4-17 การต่อพ่วงอุปกรณ์ระบบบัส I^2C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน....50
รูปที่ 4-18 การต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขาสัญญาณของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C
เพื่อลดสัญญาณรบกวน....50
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมแสดงสถานะต่างๆ บนบัส I^2C....51
รูปที่ 4.20 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนบัส I^2C....52
รูปที่ 4.21 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของบัส I^2C....53
รูปที่ 4.22 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 10 บิตของระบบบัส I^2C....53
รูปที่ 4.23 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C ของ p-board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน....54
รูปที่ 4.24 การจัดขาของ PCF8574/8574a....55
รูปที่ 4.25 รายละเอียดวงจรขาพอร์ตของไอซี PCF8574/8574A....57
รูปที่ 4.26 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591....59
รูปที่ 4.27 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591....61
รูปที่ 4.28 วงจรสมบูรณ์ของ EX – 08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C....62
รูปที่ 4.29 ผลของการปรับความชัน (span) และตำแหน่งศูนย์ (zero)....63
รูปที่ 4.30 แสดงวงจรปรับความชันและตำแหน่งศูนย์....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม....65
รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของโปรแกรมที่ใช้งาน....66
รูปที่ 5.3 แสดง icon project.exe....66
รูปที่ 5.4 แสดงโปรแกรมจะทำการปรับตั้งตำแหน่งวาล์ว EXV ในตอนเริ่มต้น....67
รูปที่ 5.5 แสดงการตั้งค่าต่างๆ....67
รูปที่ 5.6 แสดง save ก่อนการใช้งานเครื่อง....68
รูปที่ 5.7 แสดงการบันทึกผล....68
รูปที่ 5.8 แสดงการใช้เมื่อหยุดบันทึกข้อมูล....69
รูปที่ 5.9 แสดงการใช้งานเมื่อจบการทำงาน....69
รูปที่ 5.10 แสดงขั้นตอนการทำงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมวาล์วอีเอ็กซ์วี....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

หน้าที่

กราฟที่ 6.1แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่ 35 Hz 72
กราฟที่ 6.2 แสดงอุณหภูมิที่ 35 Hz.....72
กราฟที่ 6.3 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 35 Hz.....73
กราฟที่ 6.4 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่ 45 Hz 74
กราฟที่ 6.5 แสดงอุณหภูมิที่ 45 Hz.....74
กราฟที่ 6.6 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 45 Hz.....75
กราฟที่ 6.7 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่50 Hz.....76
กราฟที่ 6.8 แสดงอุณหภูมิที่ 50 Hz.....76
กราฟที่ 6.9 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 50 Hz.....77
กราฟที่ 6.10 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่60 Hz 78
กราฟที่ 6.11 แสดงอุณหภูมิที่ 60 Hz.....78
กราฟที่ 6.12 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 60 Hz.....79
กราฟที่ 6.13 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่70 Hz 80
กราฟที่ 6.14 แสดงอุณหภูมิที่ 70 Hz.....80
กราฟที่ 6.15 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 70 Hz.....81
กราฟที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C.O.P. กับความถี่ของคอมเพรสเซอร์ 83
กราฟที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C.O.P. กับความถี่ของคอมเพรสเซอร์ 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเริ่มมีบทบาทต่อการทำงานของมนุษย์เราเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กซึ่งมักจะพบเห็นว่ามีการติดตั้งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่นตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัย, สำนักงานทั่วไป ฯลฯ ทั้งนี้เป็นที่ยอมรับกันอยู่แล้วว่ามนุษย์ต้องการอาศัยอยู่ในสภาพอากาศที่ดี มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลให้มนุษย์มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น สิ่งที่ผู้ใช้งานเครื่องปรับอากาศทุกคนต้องการก็คือ อากาศที่มีอุณหภูมิพอเหมาะ,ความชื้นในอากาศที่เหมาะสม, อากาศมีความสะอาดและมีปริมาณการระบายหมุนเวียนเพียงพอ แต่ในบางครั้งพบว่า ผู้ใช้ประสบกับปัญหาของการมีอากาศภายในห้องที่ไม่ดีนัก เช่น มีอากาศหนาวเนื่องมาจากอากาศภายในห้องเย็นเกินไป หรือมีอาการอึดอัดเนื่องจากอากาศภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลงร้อนและหนาว ฯลฯ

ระบบทำความเย็นมีความสะดวกเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับระบบสมัยก่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศแบบเดี๋ยวร้อนเดี๋ยวหนาว มีสาเหตุมาจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้ ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาตามที่ได้ปรับตั้งไว้ ดังนั้นระบบการทำความเย็นแบบอัดไอที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นก่อนที่จะผ่านเข้าอีวาโปเรเตอร์ชนิดที่มีการทำงานแบบท่อ เช่น ท่อแคพิลลารี (Capillary tube), เทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แพนชันวาล์วหรือทีเอ็กซ์วี (Thermostatic expansion valve หรือ TXV) ซึ่งจะมีข้อเสียเปรียบในแง่การทำงานในสภาวะภาระที่มากระทำได้ในช่วงที่แคบ รวมทั้งมีการตอบสนองต่อการทำงานหรือที่เรียกว่าการเข้าสู่สภาวะเสถียรค่อนข้างช้า กอปรกับปัจจุบันได้มีการพัฒนานำอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้กับวาล์วลดความดัน หรือที่เรียกกันว่าอิเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แพนชันวาล์วหรืออีเอ็กซ์วี (Electronic expansion valve หรือ EXV) ทำให้สามารถควบคุมสภาวะภาระที่มากระทำได้ในช่วงที่กว้างกว่า อีกทั้งยังมีการตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างรวดเร็วกว่า ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพการทำความเย็นน้อยและเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้นด้วย

การจะปรับสภาพอากาศภายในห้องให้มีค่าอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลานั้นเป็นเรื่องที่ยากมาก สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบเทอร์โมสตัท (Thermostat) ซึ่งทำหน้าที่ ตัดและต่อ การทำงานของคอมเพรสเซอร์ จากการตัดและต่อการทำงานนั้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องไม่คงที่และทำให้อายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง อีกทั้งการทำงานของเทอร์โมสเตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (TXV) จะทำให้สถานะของน้ำยาที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์มีค่าการเป็นซูปเปอร์ฮีตซึ่งมีผลต่อการทำความเย็นของระบบ ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีการเปลี่ยนอุปกรณ์จากเทอร์โมสเตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (TXV) เป็นอิเล็คทรอนิคเอกซ์แปนชั่นวาล์ว (EXV) โดยควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และใช้ระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์จากการเปลี่ยนอุปกรณ์มีผลทำให้สามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของสารทำความเย็นได้ตามที่กำหนดและอุณหภูมิภายในห้องมีค่าคงที่ตามที่กำหนดตลอดเนื่องจากไม่มีการตัดและต่อคอมเพรสเซอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาระบบทำความเย็นและระบบควบคุมโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว และอินเวอร์เตอร์ให้สัมพันธ์กับการกลายเป็นไออิ่มตัว ที่ทางออกอีวาโปเรเตอร์

1.2.2 ออกแบบโปรแกรมควบคุม EXVและอินเวอร์เตอร์

1.2.3 พัฒนาประสิทธิภาพของระบบเครื่องปรับอากาศให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้จะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความดันตามตำแหน่งต่างๆ ที่ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอของชุดทดลอง เพื่อส่งค่าที่ได้ไปประมวลผลในซอฟต์แวร์จากโปรแกรมVisual Basic ที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อให้ซอฟต์แวร์ทำการควบคุมEXVให้จ่ายน้ำยาสารทำความเย็นและให้ระเหยหมดเป็นไอพอดีที่ทางออกอีวาโปเรเตอร์ และครบคุมอินเวอร์เตอร์ให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอย่างเหมาะสมกับสภาวะ

1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน

1.4.1 เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีของระบบการทำความเย็นและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมElectronic Expansion Valve (EXV) รวมถึงศึกษาโปรแกรม Visual Basic

1.4.2 จัดหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการติดตั้งชุดทดลอง เมื่อทำการติดตั้งชุดทดลองระบบการทำความเย็นเสร็จ ก็ต้องมีการทำสุญญากาศระบบเพื่อดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบ หลังจากนั้นก็ทำการชาร์จน้ำยาเข้าระบบและทำการเดินระบบ โดยใช้การปรับวาล์วควบคุมEXVด้วยวิธีปรับด้วยมือ

1.4.3 สร้างชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเซ็นเซอร์ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความดันโดยผ่านทางพอร์ตขนาน

1.4.4 ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความดันกับอุปกรณ์สอบเทียบมาตรฐานที่ภาควิชาวิศวกรรมวัดคุมพร้อมทั้งปรับค่าเซ็นเซอร์ตัวตรวจวัดชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และทำการทดลอง

1.4.5 ส่วนสุดท้ายนี้จะนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานครั้งนี้ ข้อเสนอแนะในการนำโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้ รวมทั้งการปรับปรุง แก้ไขเพิ่มเติมอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีระบบการทำความเย็น

2.1 วัฏจักรอัดไอ

โดยธรรมชาติแล้วความร้อนจะต้องถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงไปสู่ที่อุณหภูมิต่ำ ในระบบทำความเย็นนั้น จะต้องทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในทางตรงกันข้าม การจะทำให้บรรลุความต้องการดังกล่าวจะต้องใช้ตัวกลางที่เรียกว่าสารทำความเย็น ซึ่งจะทำการดูดกลืนความร้อนแล้วเกิดการเดือดหรือระเหยที่ความดันต่ำทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอขึ้นต่อจากนั้นไอดังกล่าวจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และจะถ่ายเทความร้อนที่ได้รับมาให้แก่อากาศรอบข้างพร้อมกับการควบแน่นกลับคืนไปเป็นของเหลว เป็นผลให้เกิดการดูดกลืนหรือดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำและถ่ายเทความร้อนไปสู่แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้การทำงานของวัฏจักรอัดไอเป็นไปได้กล่าวคือ อุณหภูมิซึ่งสารทำความเย็นเกิดการเดือดจะแปรผันตามความดัน คือความดันยิ่งสูงจุดเดือดจะสูงตามไปด้วย เมื่อสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวเกิดการเดือดกลายเป็นไอ มันจะดูดความร้อนจากบริเวณโดยรอบ การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็น ในอุตสาหกรรมทำความเย็นมักจะใช้คำว่าระเหยแทนคำว่า เดือดถ้าไอได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดจะเรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่งหรือไอดง (Superheated vapor) และถ้าของเหลวถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิควบแน่นเราเรียกว่าของเหลวเย็นยิ่ง (sub cooled liquid) เพื่อช่วยให้ไอสารทำความเย็นสามารถควบแน่นได้ สารทำความเย็นจะต้องถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน เครื่องจักรกล เพื่อทำงานนี้ เครื่องจักรกลนี้เรียกว่า คอมเพรสเซอร์ และโดยทั่วไป จะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า

2.2 ส่วนประกอบหลักของวัฏจักรอัดไอ

2.2.1 เครื่องระเหย (Evaporator)

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งได้รับการออกแบบให้ทำการดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์หรือพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น การดึง ความร้อนออกโดยตรงระหว่างผลิตภัณฑ์กับอีวาโปเรเตอร์ โดยปกติไม่สามารถจะกระทำได้จึงมักจะต้องมีของไหลอื่นที่เหมาะสม เช่น อากาศ หรือสาร ทำความเย็นทุติยภูมิเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ตัวอย่างเช่น ในห้องเย็น หรือชั้นโชว์อาหารในซูเปอร์มาเก็ตนั้น อากาศถูกทำให้เย็นลงที่อีวาโปเรเตอร์แล้ว ถูกจ่ายให้หมุนเวียนไปรอบๆผลิตภัณฑ์ความจุของอีวาโปเรเตอร์ จะสัมพันธ์กับผลต่างอุณหภูมิระหว่างสิ่งที่กำลังถูกทำให้เย็นลง กับสารทำความเย็นอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับตัวกลางที่ถูกทำให้เย็นลงปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์ปัจจัยเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยวัสดุที่ใช้ในการผลิตอีวาโปเรเตอร์ และขนาดทาง กายภาพของมัน อีวาโปเรเตอร์ยิ่งมีขนาดใหญ่ก็จะยิ่งมีความสามารถทำความเย็นสูง และมีประสิทธิภาพของระบบสูง อย่างไรก็ตาม ขนาดจะมีผลต่อราคาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่องอัด (Compressor)

เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบทำความเย็นดังนั้นการเลือกใช้คอมเพรสเซอร์อย่างถูกต้องจึงมีผลกระทบสูงต่อการประหยัดพลังงานของระบบ สิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นอยู่ที่การเลือกให้ถูกต้องเหมาะสมกับภาระการทำความเย็น และในกรณีที่ภาระการทำความเย็นมีการแปรเปลี่ยนค่อนข้างมาก ความจุของคอมเพรสเซอร์จะต้องสามารถปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับการแปรเปลี่ยนดังกล่าวให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้พึงสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลกระทบอย่างมากต่อความเชื่อถือของระบบ โดยรวมด้วย

ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์โดยปกติคอมเพรสเซอร์ที่ใช้จะถูกออกแบบมาให้มีความสามารถในการดูดและอัดน้ำยาคงที่ในปริมาณหนึ่ง ดังนั้น ความร้อนภายในห้องจะถูกดูดออกไปภายนอกในปริมาณคงที่ทุกครั้งที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน เหตุเพราะความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าคงที่นั่นเอง แต่หากว่าเราสามารถที่จะปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ได้ ผลการดูดความร้อนภายในห้องของเครื่องปรับอากาศก็จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยเมื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ให้สูงขึ้นกว่าปกติจะทำให้คอมเพรสเซอร์สามารถอัดน้ำยาให้มีปริมาณมากขึ้น (ความดันด้านอัดสูงขึ้น) ส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ค่าสูงขึ้น (ดูดความร้อนได้มากขึ้น, ห้องเย็นเร็วขึ้น) แต่ก็ทำให้ความแตกต่างของความดันด้านอัดและความดันด้านดูดมีค่ามากขึ้นด้วย สำหรับคอมเพรสเซอร์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้ใช้งานได้ 2 ความถี่ (50 และ 60 Hertz) นั่นก็คือถ้าหากใช้งานที่ความถี่สูง (60 Hertz) แล้ว จะทำให้เครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการทำความเย็นได้สูงขึ้น (ประมาณ 15%) แต่ถ้าหากว่าเพิ่มความถี่ใช้งานไปมากกว่านี้ จะทำให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ร้อนจัดซึ่งอาจเกิดอันตรายขึ้นได้

เมื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ให้ต่ำลงกว่าปกติจะทำให้คอมเพรสเซอร์สามารถอัดน้ำยาเข้าไปในระบบได้ปริมาณน้อยลง (ความดันด้านอัดลดลง) ส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศมีค่าลดลงไปด้วย แต่จะเกิดผลดีต่อระบบคือความแตกต่างของความดันด้านอัดและความดันด้านดูดมีค่าลดลง และความร้อนที่ตัวมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ก็ไม่ร้อนมาก แต่ถ้าหากว่าลดความถี่ลงมามากเกินไปก็จะส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ไม่สามารถอัดปริมาณน้ำยาเข้าไปในระบบได้ ทำให้เครื่องปรับอากาศไม่สามารถดูดความร้อนออกจากห้องได้

2.2.3 เครื่องควบแน่น (Condenser)

คืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งมักจะมีโครงสร้างคล้ายกับอีวาโปเรเตอร์ การระบายความร้อนจากสารทำความเย็นจะใช้อากาศ หรือน้ำก็ได้ ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกคอนเดนเซอร์จะคล้ายกับการเลือก อีวาโปเรเตอร์คอนเดนเซอร์ที่มีขนาดใหญ่จะสามารถลดความดันควบแน่น ให้ต่ำลงได้ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น อย่างไรก็ตามราคาของคอนเดนเซอร์จะสูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับขนาดของมันในการเลือกคอนเดนเซอร์จะต้องไม่ลืมว่าระบบท่อและการระบายความร้อนโดยอุปกรณ์เก็บคืนความร้อนจะมีการสูญเสียความร้อนอยู่บ้างเล็กน้อย แต่มีคอนเดนเซอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายความร้อนออกจากระบบทำความเย็น ซึ่งเป็นความร้อนที่มาจากอีวาโปเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์ และภาระเสริมต่างๆ เช่น แสงสว่างปั๊ม พัดลม เป็นต้น

2.2.4 วาล์วควบคุมการไหลหรือวาล์วขยาย (Flow Control Valve or Expension Valve)

หน้าที่คือลดความดันของสารทำความเย็นยิ่งไปเป็นความดันของอีวาโปเรเตอร์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น เพื่อรักษาระดับสารทำความเย็นใน เครื่องระเหยให้เพียงพอ เพื่อให้สามารถทำความเย็นได้สูงสุดโดยให้มีเฉพาะไอร้อน ยวดยิ่งเท่านั้นที่เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ชนิดของอุปกรณ์ขยายตัวที่ใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบอีวาโปเรเตอร์ เช่น อาจจะเป็นวาล์วขยายตัว (Expansion valve) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิของสารทำความเย็น ที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์หรือเป็นวาล์วลูกลอย ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับสารทำความเย็นให้เหมาะสมที่สุดภายในอีวาโปเรเตอร์ที่มีสารทำความเย็นท่วมขัง อุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่ใช้กันแพร่หลายในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กจะมีอยู่ 3 ชนิดดังนี้

2.2.4.1 ท่อแคพิลลารี (Capillary tube)

ท่อแคพิลลารีเป็นอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่ง่ายที่สุด ประกอบด้วยท่อที่มีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางตามความสามารถในการทำความเย็น ภาระในการทำงานและปริมาณของสารทำความเย็นติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องควบแน่น และอีวาโพเรเตอร์โดยปกติเหมาะที่จะต่อในแนวตั้งจากท่อของเหลว (Liquid line) เนื่องจากมีความต้านทานความเสียดทานสูงเป็นผลจากความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็ก และเนื่องจากเป็นผลของกระบวนการทรอทริ่งจากการค่อยๆเกิด fash gas ในท่อขณะที่ความดันลดต่ำกว่าความดันอิ่มตัว ท่อแคพิลลารีจะเป็นตัวจำกัดหรือวัดอัตราการไหลของของเหลวจากเครื่องควบแน่นไปยังอีวาโพเรเตอร์ และยังรักษาความแตกต่างของความดันในการทำงานของเครื่องควบแน่นและอีวาโพเรเตอร์ด้วย ท่อแคพิลลารีทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนกลางประมาณ 0.5 มม. ถึง 2.5 มม.และมีความยาวประมาณ 0.5 ม. ถึง 5 ม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถและภาระของเครื่องทำความเย็น ท่อแคพิลลารี่มักใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กๆที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงภาระเช่น ตู้เย็น เครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก เป็นต้น

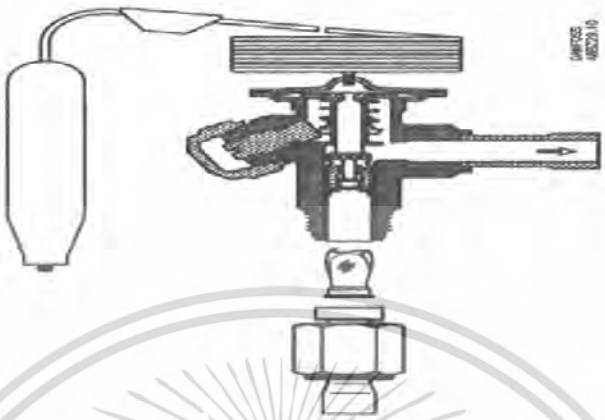
ข้อดีคือราคาถูก การทำงานง่าย ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ โอกาสที่จะเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆน้อย และถ้าหยุดการทำงานความดันในเครื่องควบแน่น และอีวาโพเรเตอร์จะเท่ากันส่วนข้อเสียคือ ทำงานได้ที่ภาระคงที่ เพราะการปรับตัวเมื่อภาระเปลี่ยนน้อยมา และเนื่องจากแคพิลลารีเป็นท่อที่เล็ก จึงต้องมีตัวกรองสิ่งสกปรกที่อาจมีอยู่ในสารความ เย็นเพื่อป้องกันการอุดตัน และความดันในการควบแน่นจะต้องไม่สูงเกินไปเพราะถ้าความดันสูงจะทำให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่เข้าไปในอีวาโพเรเตอร์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สารความเย็นในอีวาโพเรเตอร์ละเหยไม่หมดและถูกดูดเข้าไปในเครื่องอัดทำให้เสียหายได้

2.2.4.2 เทอร์โมสเตติกเอกซ์แปนชั่นวาล์วหรือ TXV (Thermostatic expansion valve)

ใช้ในการควบคุมการไหลของของไหลที่ผ่าน อีวาโปเรเตอร์ในลักษณะของ gas superheat ที่ปล่อยออกมาจากตัวมัน function ของตัวมันจะเก็บค่าการทำงานโดยจะไม่ให้ของเหลวไหลผ่านท่อ suction ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

evaporator ซึ่งจะมีอัตราที่สมดุลโดยมันจะเป็นไอในอีวาโปเรเตอร์ ด้วยการดูดซับความร้อน เพราะว่าวาล์วจะทำงานในลักษณะที่เป็นsuperheat TXVไม่เหมือนกับ constant pressure valve เพราะว่าไม่ต้องกำหนด limit ในการใช้งาน มันจะสามารถควบคุมสารทำความเย็นที่ไหลผ่านได้ทุกรูปแบบ



รูปที่ 2.1 วาล์วควบคุมการไหลแบบเทอร์โมสเตติกเอกซ์แปนชั่นวาล์ว

2.2.4.3 อีเลิกทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วหรือ EXV (Electric expansion valve) มีอยู่ด้วยกันอยู่หลายรูปแบบ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. Magnetically modulated valve ใช้วงจรไฟฟ้าแม่เหล็กกระแสตรง ใช้ทุ่น armature หรือ plunger การยุบตัวของสปริงควบคุมโดย coil ไฟฟ้า สามารถปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ plunger ซึ่งอาจจะต่อกับ pin หรือ poppet โดยตรง หรือ ใช้ หลอด pilot ใน loop ของ servo ทำงานกับวาล์วขนาดใหญ่ เมื่อทำการประการทำงานของ pin หรือ poppet โดยตรง

2. Pulse width modulated valve จะปิด –เปิดโดย solenoid valve ซึ่งมีลักษณะพิเศษคือสามารถให้การทำงานของ expansion valve สามารถผ่านตัวมันได้เป็นล้านรอบ แม้ว่าวาล์วจะเปิดสนิทหรือปิดสนิทก็ตาม อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดในขณะที่มันทำงาน โดยมันจะเปิดวาล์วในช่วงสั้นๆ ในลักษณะที่ต่อเนื่องกันทุกครั้งที่เปิดหรือทำงานช่วงสั้นๆจะถูกควบคุมโดย electronic ตัวอย่างเช่น วาล์วอาจจะทำงานช่วงสั้นๆ ในทุกๆ 6 วินาที ถ้าการไหลที่ต้องการ 50 % วาล์วก็จะหน่วง 3 วินาที ในการเปิด อีก 3 วินาทีในการปิด

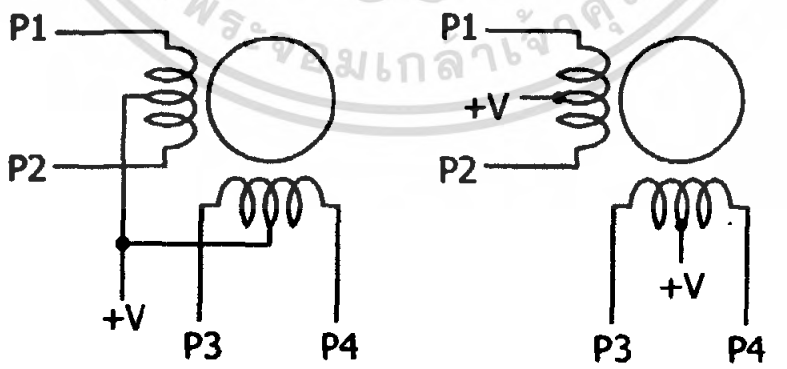
3. Step motor ใช้ไฟฟ้าในการแรกเปลี่ยนการทำงาน มอเตอร์แบบ multiphase ทำงานอย่างต่อเนื่องในการเดินหน้าและถอยหลัง หรือสามารถแยกตำแหน่งการทำงานให้เป็น function เล็กๆหลายๆ function แล้วทำงานร่วมกัน step motor อาจใช้อุปกรณ์ในการขับเคลื่อน, plotters หรืออุปกรณ์การทำงานอื่นๆ มาช่วยในส่วนที่ต้องการความแน่นอน step motor จำเป็นที่จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ตลอด

EXV อาจจะใช้สัญญาณ digital หรือสัญญาณ analog ในการควบคุม ในการใช้ electronic ในการควบคุมนั้นควรพิจารณาที่ลักษณะของแบบแผนมากกว่าที่อาจจะเปลี่ยนไปจากคู่มือบ้างเล็กน้อยการทำงานของ Stepper Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.4 การทำงานของ Stepper Motor

Stepper Motor เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานแตกต่างจากจากมอเตอร์ทั่วไปเพราะจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้แก่ขดลวดของมอเตอร์เป็นจังหวะอย่างเหมาะสม และการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้จะหมุนเป็นจังหวะพัลส์ที่ป้อนมา ไม่หมุนต่อเนื่องเหมือนมอเตอร์ทั่วไป ทำให้ผู้ควบคุมสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนได้ จังหวะการหมุนของ Stepper Motor เรียกว่า Step ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนไปในหนึ่ง Step หากมอเตอร์มีองศาต่อ Step มาก หมายความว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำตัวอย่างเช่น การหมุน 1 รอบเท่ากับ 360 องศา หากมอเตอร์มี Step การหมุนเท่ากับ 7.5 องศาต่อStep มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 48 ตำแหน่ง แต่ถ้ามี Step การหมุนเท่ากับ1.8 องศาต่อ Step จะมีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 200 ตำแหน่ง จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ตัวหลังมีความละเอียดสูงกว่ามอเตอร์ตัวแรกมาก ทำให้การนำไปใช้งานที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้ดีกว่าและแม่นยำกว่า ถ้านำมาผนวกกับวงจรขับแบบ Haft Step ความละเอียดของการหมุนจะเพิ่มขึ้นไปสองเท่า ทำให้มีความละเอียดของการหมุนกลายเป็น 400 ตำแหน่ง Stepper Motor ที่มีการผลิตและจำหน่ายอยู่ทั่วไป มีตั้งแต่ขนาดแรงดันต่ำ 3 V ไปจนถึง 24 V ส่วนขนาดกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่สิบมิลลิแอมป์อันเป็น Stepper Motor ตัวเล็ก ไปจนถึงเป็นสิบแอมป์ ซึ่งขนาดมอเตอร์ก็จะใหญ่โตขึ้นตามลำดับ Stepper Motor ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบัน Stepper Motor ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด และหาได้ง่าย คือ Stepper Motor แบบ Uni –Polar Stepper Motor มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.60 Stepper Motor แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขดลวดของขั้วแม่เหล็กของ Stator แต่ละขดลวดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวมีทั้งหมด 4 เฟส คือ เฟส 1, 2,3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยงทำให้ Stepper Motor แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สาย และ 6 สาย จะเป็นการนำเอาขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว



รูปที่ 2.2โครงสร้างพื้นฐานของ Step Motor ชนิด ยูนิโพล่าร์แบบ 5 และ 6 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.5 การกระตุ้นเพื่อขับสเต็ปมอเตอร์

สามารถทำได้โดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนแกนแม่เหล็กคงที่ ซึ่งต้องป้อนเป็นลำดับตามรูปแบบที่ถูกต้อง โดยสามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบคือ ฟูลสเต็ป 1 เฟส (full-step 1 phase), ฟูลสเต็ป 2 เฟส (full-step 2 phase), และฮาล์ฟสเต็ป (half step) ซึ่งการควบคุมการทำงานของอีเอ็กซ์ซีวีในที่นี้จะเป็นแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส เป็นการกระตุ้นที่ง่ายที่สุด โดยกระตุ้นที่ขดลวดทีละขดไล่เรียงกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1,2,3,4 แล้ววนกลับมาขดที่1หรือเริ่มขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4, 3, 2 แล้วกลับมายังขดที่ 1 อีกครั้งทำให้ทิศทางการหมุนสวนกัน ในการกระตุ้นแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่า นั้นการกระตุ้นแบบนี้มีราคาถูกและง่าย สรุปขั้นตอนการทำงานดังตารางที่ 2.1

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3
1	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	-
3	-	-	-
4	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการขับสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส จะกระตุ้นโดยจ่ายแรงดันไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไป ขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาเป็นขดที่ 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 2 และ 1แล้ววนกลับมาขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนกัน ดังแสดงขั้นตอนการกระตุ้นในตารางที่ 2.2 การกระตุ้นแบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบ 1 เฟส แกนแม่เหล็กเคลื่อนที่ภายในมอเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และหมุนต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบการขับสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฮาล์ฟสเต็ป เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบ 1 และ 2 เพื่อเพิ่มจำนวนสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1,1 และ 2,2,2 และ3,3,3 และ 4,4,4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 2.3 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงของการเคลื่อนที่ในแต่ละสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละ สเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังว่า เมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องหมุนถึง 2 สเต็ปจึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับการกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 1 สเต็ป สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียง

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบการขับสเต็ปมอเตอร์แบบฮาล์ฟสเต็ป

2.2.5 สารทำความเย็น (Refrigerant)

คือวัตถุหรือสารที่จะเป็นตัวรับความร้อนจากวัตถุหรือสารอื่น สำหรับระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ สารทำความเย็นซึ่งเป็นตัวทำงานอยู่ในรูปของไหล (Working Fluid) ซึ่งจะดูดความร้อนในช่วงของการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และคายความร้อนในช่วงการเปลี่ยนสถานะจากไอควบแน่นเป็นของเหลว ในการเลือกว่าสารใดจะใช้เป็นสารความเย็นนั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี, ฟิสิกส์ และเทอร์โมไดนามิกส์ ให้เหมาะกับระบบที่ใช้งาน

คุณสมบัติทั่วไปของสารทำความเย็น

สารความเย็นที่ใช้กันในระบบเครื่องทำความเย็นมีหลายชนิดแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน คุณสมบัติของสารที่กล่าวถึงมิได้หมายความว่า สารความเย็นที่มีจำหน่ายจะมีคุณสมบัติครบทุกข้อ มีเพียงบางข้อที่น่าให้ความสำคัญสำหรับงานแต่ละประเภท แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือความปลอดภัยของผู้ใช้
คุณสมบัติของสารความเย็นมีประเด็นที่ควรพิจารณาดังนี้

1. ไม่เป็นพิษ
2. ไม่เป็นวัตถุระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ไม่กัดกร่อนโลหะ

4.ไม่ติดไฟ

5.หากมีรอยรั่วสามารถตรวจสอบพบโดยง่าย

6.สามารถหาตำแหน่งรั่วได้ง่าย

7.ใช้งานที่ความดันสูงไม่มากนัก

8.ขณะอยู่ในสภาพแก๊สต้องเสถียรภาพคงที่

9.ขณะอยู่ในสภาพของเหลวต้องไหลง่าย

10.ไม่มีพิษเป็นอันตรายกับระบบหายใจและผิวหนังของมนุษย์

11.มีความหนาแน่นน้อย เพื่อให้สะดวกกับการควบคุมปริมาณใช้งาน

11.มีค่าความร้อนแฝงต่อหน่วยน้ำหนักสูง

ชนิดของสารทำความเย็น

ด้วยเหตุที่สารความเย็นเป็นสารผสมจากสารหลายชนิด การเรียกชื่อโดยตรงจะไม่สะดวก สมาคมวิศวกรเครื่องทำความร้อน เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering - ASHRAE) ได้กำหนดสารความเย็นแต่ละชนิดไว้เป็นตัวเลข โดยให้เป็น R-11, R-12, R-22 เป็นต้น R หมายถึง Refrigerant และตัวเลขที่ตามมาหมายถึง ชนิดของสารทำความเย็น

หมายเลขสารความเย็น	ชื่อและสูตรทางเคมี
R-11	Trichloromonofluoromethane CCl_3F
R-12	Dichlorodifluoromethane CCl_2F_2
R-22	Monochlorodifluoromethane $CHClF_2$
R-500	Azeotropic mixture of 78.3% of (R-12) and 26.2% of (R-152a)
R-502	Azeotropic mixture of 48.8% of (R-22) and 51.2% of (R-115)
R-503	Azeotropic mixture of 40.1% of (R-23) and 59.9% of (R-13)
R-504	Azeotropic mixture of 48.2% of (R-32) and 51.8% of (R-115)
R-717	Ammonia NH_3

ตารางที่ 2.4 ชนิดของสารทำความเย็นที่นิยมใช้

ประเภทของระบบทำความเย็น แบ่งตามน้ำหนักของสารความเย็นที่บรรจุในระบบดังนี้

ประเภท ก ระบบที่บรรจุสารความเย็นหนัก 500 กก. หรือมากกว่า

ประเภท ข ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 50 กก. แต่น้อยกว่า 500 กก.

ประเภท ค ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 10 กก. แต่น้อยกว่า 50 กก.

ประเภท ง ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 3 กก. แต่น้อยกว่า 10 กก.

ประเภท จ ระบบที่บรรจุสารความเย็นน้อยกว่า 3 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมแห่งประเทศไทยได้แบ่งประเภทเครื่องทำความเย็น และประเภทของสารความเย็นไว้ดังนี้

ชนิดไม่ระคายเคืองและไม่ติดไฟ

ประเภท 1 R-744

ประเภท 2 R-11, R-12,R-22,R-30,R-113,R-114,R-115,R-152a,R-500,R-502

ชนิดติดไฟ

ประเภท 1 R-40, R-1130

ประเภท 2 R-160, R-170, R-290, R-600, R-601, R-611

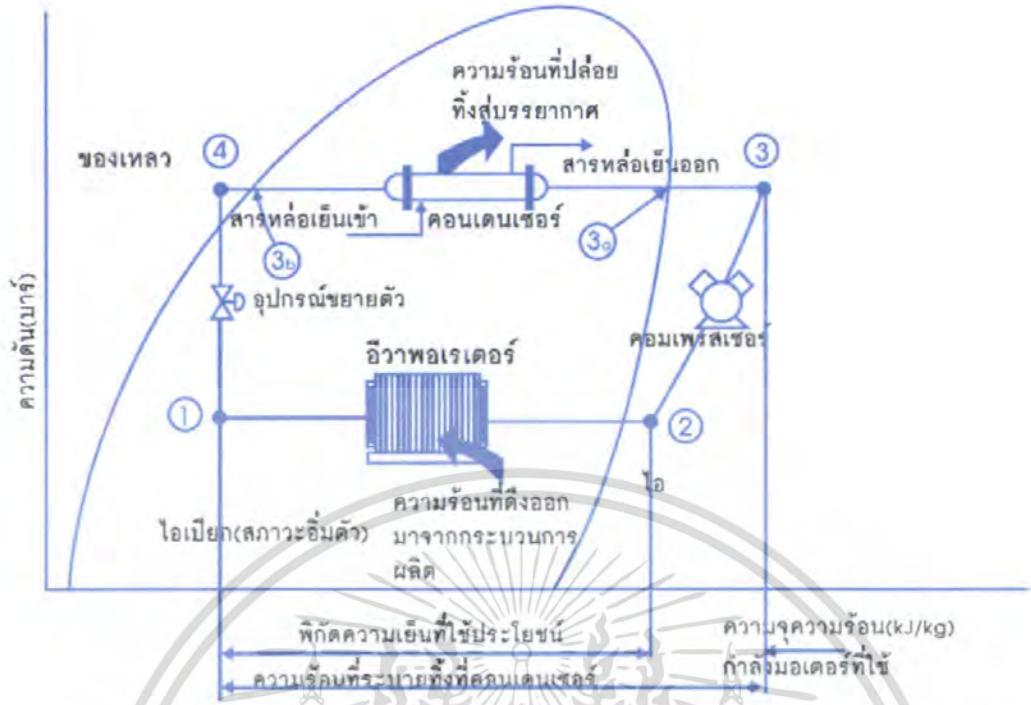
ชนิดระคายเคือง

ไม่แบ่งประเภท ได้แก่ R-764, R-717

2.3 การทำงานของระบบทำความเย็นอย่างง่าย

แสดงความดันสารทำความเย็น (Bar) และความจุความร้อน (kJ/kg) วัฏจักรทำความเย็นสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้จากรูปที่ 2.3 ที่ตำแหน่ง (1→2) สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวที่มีความดันต่ำในอีวาโปเรเตอร์จะดูดซับความร้อนจากบริเวณโดยรอบซึ่งตามปกติคือ อากาศ น้ำ หรือของเหลว ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ในระหว่างกระบวนการดังกล่าว สารทำความเย็น จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ และที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์ สารทำความเย็นจะมีสภาพเป็นไอร้อนยวดยิ่งเล็กน้อยที่ตำแหน่ง (2→3) ไอยวดยิ่งจะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์เพื่ออัดเพิ่มความดันให้สูงขึ้นในขณะเดียวกันอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลังงานที่ ป้อนเข้าไปในกระบวนการอัดจะถูกเก็บสะสมอยู่ในสารทำความเย็นที่ตำแหน่ง (3→4) ไอร้อนยวดยิ่งของสารทำความเย็นจะถูกส่งต่อจากทางออกของคอมเพรสเซอร์ไปสู่คอนเดนเซอร์ ในช่วงแรกของกระบวนการระบายความร้อน จาก (3→3a) เป็นการลดสภาพไอร้อนยวดยิ่ง จากนั้นในช่วงถัดไป จาก (3a→3b) จะเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอไปเป็นของเหลว การระบายความร้อนในกระบวนการนี้ มักจะใช้น้ำหรืออากาศ การลดลงของอุณหภูมิต่อจากนี้ (3b→4) จะเกิดขึ้นในท่อ และถังพักสารทำความเย็นเหลวทำให้สารทำความเย็นมีสภาพเป็นของเหลว เย็นยิ่งในขณะที่เข้าสู่อุปกรณ์ขยายตัวที่ตำแหน่ง (4→1) ของเหลวเย็นยิ่งความดันสูงจะไหลผ่านอุปกรณ์ขยายตัวซึ่งทำหน้าที่ทั้งลดความดันและควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์จะเห็นได้ว่า คอนเดนเซอร์จะต้องมีความสามารถ ในการระบายความร้อนรวมทั้งจากเครื่องระเหยและคอมเพรสเซอร์ กล่าวคือ พลังงานในช่วง (1→2) + (2 →3) จะต้องเท่ากับช่วง (3→4) เมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อนหรือรับความร้อนที่อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผนภาพP-h Diagramแสดงการทำงานของระบบทำความเย็น

2.4 หน่วยของการทำความเย็น (Standard Rating of Refrigeration)

หน่วยที่ใช้วัดอัตราการทำความเย็นใช้หน่วยที่เรียกว่า "ตันของการทำความเย็น" (Ton of Refrigeration) หนึ่งตันของการทำความเย็น หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งบริสุทธิ์ 1 ตัน (2000 ปอนด์) ที่อุณหภูมิ 32 °F กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์อุณหภูมิ 32 °F ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

จาก $Q = mL$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งจำนวน 1 ตันละลายเป็นน้ำ

m = มวลของน้ำแข็ง (lb)

L = ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง = 144 Btu/lb

ดังนั้น 1 ตันของการทำความเย็นจึงมีค่าเท่ากับ 12,000 Btu/hr หรือ 200 Btu/min

2.5 สมการที่ใช้ในการคำนวณการทำความเย็น

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์สามารถหาได้จาก

$$W_c = m(h_3 - h_2)$$

เมื่อ W_c คือ กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/min

h_1 คือ เอนทาลปี้ของสารความเย็นก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

h_2 คือ เอนทาลปี้ของสารความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

m คือ ปริมาณสารความเย็นที่ไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น lb/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเดนเซอร์ (Condenser) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกที่คอนเดนเซอร์หาได้จาก

$$q_c = m(h_3 - h_4)$$

เมื่อ q_c คือ ปริมาณความร้อนที่คายออกที่คอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/min

h_3 คือ เอนทาลปี้ของสารความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

อีวาโพเรเตอร์ (Evaporator) ค่าการทำความเย็นที่อีวาโพเรเตอร์หาได้จาก

$$R.E. = m(h_2 - h_1)$$

เมื่อ Refrigeration Effect (R.E.) คือ ค่าการทำความเย็น มีหน่วยเป็น Btu/hr

h_1 คือ เอนทาลปี้ของสารความเย็นก่อนเข้าอีวาโพเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

h_2 คือ เอนทาลปี้ของสารความเย็นออกจากอีวาโพเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

ประสิทธิภาพของการทำความเย็น

$$C.O.P = \frac{R.E}{W_c}$$

อัตราการกินพลังงาน (Energy Efficiency Ratio)

$$EER = \frac{R.E.\left(Btu/hr\right)}{W_c\left(Watt\right)}$$

$$= C.O.P \times 3.412\left(Btu/Watt\ hr\right)$$

System Capacity อัตราความสามารถในการดูดความร้อนของสารความเย็น (Btu/hr)

$$Q_c = m(R.E.)$$

2.6 คุณสมบัติไซโครเมตริกของอากาศ (Psychometric Properties of Air)

2.6.1 ส่วนประกอบของอากาศ (Composition of Air)

อากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ อากาศแห้ง(อากาศที่ไม่มีไอน้ำ) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไนโตรเจน(ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) และออกซิเจน(ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ส่วนที่เหลืออีก 1 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย คาร์บอนไดอ็อกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีเลียม นีออน และอาร์กอน ส่วนประกอบอากาศทั่ว ๆ ไปก็เป็นไปตามนี้ในบางกรณีจำนวนไอน้ำในอากาศโดยปกติจะมีปริมาณอยู่ 1 เปอร์เซ็นต์ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล เพราะว่าไอน้ำในอากาศเป็นผลขั้นแรกจากการระเหยเป็นไอของน้ำ ความชื้นของบรรยากาศ (จำนวนไอน้ำในอากาศ) จะมีมากน้อยก็จะขึ้นอยู่กับสถานที่ถ้าใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติเพราะว่าอากาศในธรรมชาติจะมีปริมาณไอน้ำปนอยู่ไม่มีอากาศแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม "อากาศแห้ง" เป็นประโยชน์อย่างมากอันหนึ่งในการคำนวณเกี่ยวกับไซโครเมตริค ต่อไปข้างล่างนี้ คำว่า "อากาศแห้ง" จะใช้ในความหมายของอากาศที่ปราศจากไอน้ำ ส่วนคำว่า "อากาศ" หรือ "อากาศชื้น" จะใช้ในความหมายส่วนผสมตามธรรมชาติของอากาศแห้งและไอน้ำ

2.6.2 กฎดาลตันของความดันย่อย (Dalton's Law of Partial Pressure)

กฎดาลตันของความดัน แสดงให้เห็นผลที่ว่าส่วนผสมทางกลใดๆ ของก๊าซและไอ (สิ่งเหล่านี้รวมตัวกันทางเคมี) ความดันที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแต่ละชนิดที่กระทำกับภาชนะที่บรรจุอากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ ก็จะเป็นไปตามกฎของดาลตัน เพราะฉะนั้นความกดดันของบรรยากาศจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแห้งและไอน้ำ

2.6.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point temperature)

สิ่งสำคัญที่ยังจำกันได้ที่ว่าไอน้ำในอากาศแห้งที่จริงก็คือ ไอน้ำที่ความดันต่ำ และไอน้ำที่ความดันต่ำนี้ก็จะเหมือนกับไอน้ำที่ความดันสูงจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว เมื่ออุณหภูมิที่สภาวะนั้นเป็นอุณหภูมิอิ่มตัวตรงกับความดันที่สภาวะนั้น เพราว่าส่วนผสมทั้งหมดของส่วนผสมของก๊าซที่บรรจุอยู่ในปริมาตรที่เท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นเมื่ออากาศที่อุณหภูมิใดๆ เหนืออุณหภูมิอิ่มตัวกระทำต่อความดันของไอน้ำเป็นผลทำให้ไอน้ำในอากาศเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ในอีกทางหนึ่งเมื่ออากาศมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวกระทำกับความดันของไอน้ำ ไอน้ำในอากาศจะเป็นน้ำอิ่มตัว อุณหภูมิซึ่งไอน้ำในอากาศเป็นน้ำอิ่มตัวเรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point) ของอากาศ เมื่อรู้ค่าความดันของไอน้ำ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศสามารถที่จะคำนวณจากตารางไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อรู้อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ ความดันของไอน้ำสามารถที่จะคำนวณได้จากตารางไอน้ำเช่นเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าความดันของไอน้ำ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของไอน้ำ เพราะว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศจะขึ้นกับความดันของไอน้ำในอากาศเท่านั้น ในปริมาตรกำหนดให้ของอากาศอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะขึ้นกับปริมาณมวลของไอน้ำในอากาศเท่านั้น ในขณะที่มวลของไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรของอากาศไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะคงที่ด้วย การเพิ่มของจำนวนไอน้ำในอากาศจะเป็นการเพิ่มความดัน ไอน้ำและอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเพิ่มขึ้นในทางกลับกันเมื่อจำนวนไอน้ำในอากาศลดลงความดันไอน้ำในอากาศก็จะลดลงและอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ความชื้นสมบูรณ์ (Absolute Humidity)

ไอน้ำในอากาศ เรียกว่า ความชื้น ความชื้นสมบูรณ์ของอากาศที่กำหนดให้ในสภาวะใดๆ คือมวลของไอน้ำต่อปริมาตรของอากาศที่สภาวะนั้นความชื้นสมบูรณ์หรืออาจจะเรียกว่าความหนาแน่นไอ(Vapour density) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (gm/m^3) หรือ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

ในหัวข้อ 2.6.2 แสดงให้เห็นว่า มวลของไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรของอากาศ (ความหนาแน่นไอ) ที่เกิดขึ้นจริงเป็นตำแหน่งเดียวของอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศเพราะว่าความสัมพันธ์นี้คงที่ระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างและความชื้นสมบูรณ์ของอากาศ เมื่อรู้ค่าใดค่าหนึ่ง ค่าอื่นๆ สามารถที่จะคำนวณได้ (หรือหาค่าความชื้นสมบูรณ์ใช้หาค่าปริมาตรจำเพาะ จากตารางไอน้ำ)

$$\text{ความชื้นสมบูรณ์} = \frac{1}{V} \quad kg/m^3 \quad (V = \text{ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ})$$

เพราะว่าความดันของไอน้ำในอากาศมีค่าต่ำสุด ไอน้ำในอากาศก็จะเข้าใกล้สภาวะก๊าซสมบูรณ์และมีคุณสมบัติเพียงพอที่จะเป็นไปตามกฎของก๊าซสมบูรณ์ คือ $pv = mRT$ และสามารถใช้รวมกับตารางไอน้ำคำนวณหาความชื้นสมบูรณ์ (ความหนาแน่นไอ) ของอากาศได้

2.6.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนความดันของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่ในอากาศชื้นต่อความดันอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$RH = \frac{\text{ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นจริง}}{\text{ความดันที่จุดอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100$$

RH บางครั้งหมายถึง อัตราส่วนของความหนาแน่นไอที่มีอยู่ในอากาศชื้นและความหนาแน่นไอที่อากาศอิ่มตัว

2.6.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature, DB)

หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี

2.6.7 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature, WB)

หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าที่ชื้น โดยมีกระแสลมที่มีความเร็วระหว่าง 5 และ 10 เมตรต่อวินาทีพัดผ่านกระเปาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8 อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, W)

อัตราส่วนความชื้นบางครั้งเรียกว่า ความชื้นจำเพาะ หมายถึงมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง และโดยปรกติจะมีหน่วยเป็น กรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง หรือ กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง

สำหรับความกดดันของบรรยากาศที่กำหนดให้ใดๆ อัตราส่วนความชื้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างเดียว อย่างไรก็ตามอัตราส่วนความชื้นต่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างที่กำหนดให้ใดๆ จะแปรกับความกดดันของบรรยากาศทั้งหมด สำหรับเหตุผลนี้จะเป็นไปตามกฎของก๊าซ ปริมาตรต่อหน่วยมวลของอากาศจะเพิ่มขึ้นขณะที่ความกดดันของบรรยากาศลดลง เพราะว่าความหนาแน่นของไอน้ำจะแปรโดยตรงกับปริมาตรเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นมวลของไอน้ำ ความหนาแน่นไอ และความดันไอ จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันด้วย เมื่อรู้ความกดดันของบรรยากาศ และอุณหภูมิจุดน้ำค้างอัตราส่วนความชื้นคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการของก๊าซสมบูรณ์และกฎของดัลตัน

ดังนั้นอัตราส่วนความชื้น , $W = \dfrac{(0.622k/kg)(P_w)}{P - P_w}$

เมื่อ W = อัตราส่วนความชื้นมีหน่วยเป็น kg ของไอน้ำต่อ kg ของอากาศแห้ง (kg/kg)

P_w = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง มีหน่วยเป็น bar

P = ความกดดันของบรรยากาศ มีหน่วยเป็น bar

2.6.9 เอนทาลปีของอากาศ (Enthalpy of Air)

อากาศมีความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) ความร้อนทั้งหมดของอากาศที่สภาวะใดๆ เป็นผลรวมของ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

จากที่ได้กล่าวมานี้จะแสดงในหัวข้อต่อไปคือ

1. ความร้อนสัมผัสของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง
2. ความร้อนแฝงของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง
3. ความร้อนทั้งหมดของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.6.10 ความร้อนสัมผัสของอากาศ (Sensible heat of air, H_s)

สำหรับค่าที่กำหนดให้ใดๆของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความร้อนสัมผัสของอากาศ หาได้จากสมการดังนี้

$$H_s = mC_pT_{db}$$

เมื่อ $H_s = mh_s$ = ความร้อนสัมผัสของอากาศ

m = จำนวนมวลของอากาศ, kg

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ = 1kJ/kg.K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_{db} = อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง

h_s = เอนทาลปีจำเพาะของอากาศแห้ง

2.6.11 ความร้อนแฝงของอากาศ (Latent heat of air, H_L)

ความร้อนแฝงของอากาศคือ ความร้อนแฝงของไอน้ำในอากาศ เพราะว่าจำนวนความร้อนแฝงที่กำหนดปริมาณของอากาศจะขึ้นอยู่กับมวลของไอน้ำในอากาศ และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำจะตรงกับอุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ

อุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศด้วย อุณหภูมิกระเปาะแห้งไม่ได้คำนวณจากมวลของไอน้ำในอากาศ แต่คิดจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ดังนั้น ความร้อนแฝงของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่คงที่ ความร้อนแฝงของอากาศก็คงที่ด้วย

ความร้อนสัมผัสของอากาศ คือ เอนทาลปีของอากาศแห้ง ความร้อนแฝงของอากาศคือ เอนทาลปีของไอน้ำผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของอากาศ คือ จำนวนความร้อนทั้งหมดหรือเอนทาลปีของอากาศ

ความร้อนแฝงของอากาศที่กำหนดให้สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$H_L = m(W \times h_W)$$

เมื่อ H_L = ความร้อนแฝงของอากาศ (kJ) ที่มีอัตราส่วนความชื้น w

M = มวลของอากาศ (kg)

W = อัตราส่วนความชื้น (kg/kg ของอากาศแห้ง)

h_W = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปรกติใช้ค่า hg ของไอน้ำ (kJ/kg)

h_L = $(W)(h_W)$ = ความร้อนแฝงของอากาศ (kJ/kg)

2.6.12 แผนภูมิไซโคเมตริค (Psychometric chart)

แผนภูมิไซโครเมตริคเป็นกราฟซึ่งแสดงคุณสมบัติของอากาศ แสดงในรูป ค่าที่กำหนดในแผนภูมิเป็นค่าที่ได้จากอากาศมาตรฐานและที่ความกดดันของบรรยากาศ

เส้นในแนวดิ่งของแผนภูมิเป็นเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่

เส้นในแนวราบเป็นเส้นอุณหภูมิน้ำค้างคงที่ และอัตราส่วนความชื้น

เส้นที่ลากทะแยงมุม เป็นเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่

เส้นที่ลากในแนวดิ่งแต่เฉียงมาทางด้านขวาเป็นเส้นปริมาตรจำเพาะคงที่

เส้นโค้งที่ลากจากด้านล่างซ้ายมือไปยังด้านขวามือบนแผนภูมิเป็นเส้นความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และเส้นส่วนโค้งทางซ้ายสุดของแผนภูมิเป็นส่วน 100% RH และเป็นที่รู้กันเป็นเส้นอิ่มตัว อากาศที่สภาวะเช่นนี้

เส้นโค้งหักเห (Deviation curve) เป็นเส้นของเอนทาลปีที่ผิดไปจาก เอนทาลปีจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

81783

รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วๆ ไปของแผนภูมิไซโคเมตริค และคุณสมบัติพื้นฐานบางอย่างของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 บทนำ

จุดประสงค์ของโครงงานนี้คือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานและออกแบบระบบเครื่องทำความเย็นระบบอัดไอให้สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูง โดยมุ่งเน้นไปที่การควบคุมความดันทำงานของสารทำความเย็นที่อุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสมควบคู่ไปกับการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้มีความสัมพันธ์กัน พอดีกับภาระที่เกิดขึ้นในระบบ ส่วนการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุม Electronic Expansion Valve ให้สามารถทำงานโดยอัตโนมัติ ควบคู่ไปกับการควบคุมความเร็วรอบการทำงานของเครื่องอัดโดยใช้ Inverter เป็นตัวปรับความถี่ ในส่วนอุปกรณ์หลักอื่น ๆ ที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษประกอบไปด้วย เครื่องระเหย, เครื่องควบแน่น, และเครื่องอัด ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบนั้นอาศัย ข้อมูลที่ทำการวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบประกอบไปด้วย ความดัน, อุณหภูมิ, ณ จุดต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ

3.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องระเหย (Evaporator)

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องระเหย

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์และพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็นดึงความร้อน (R-22) สำหรับครื่องระเหยที่ใช้ทดสอบสามารถทำความเย็นได้ 18,000 Btu/hr ถ้าอีวาโปเรเตอร์มีขนาดใหญ่ก็จะยิ่งมีความสามารถทำความเย็นได้สูง แต่ก็มีผลต่อราคาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	รายละเอียด	
ประสิทธิภาพการทำความเย็น	18,200 Btu/hr	
Cooling Capacity	5,330 Watt	
ระบบไฟฟ้า	200 Volt	
Power Source	1 PH. 50 Hz	
กระแสไฟฟ้า , กำลังไฟฟ้า	8.40 Amps.	1,700 Watt
ค่าประสิทธิภาพ (EER)/(COP)	10.70 / 3.13	
ชนิดสารทำความเย็น	R.22	
น้ำหนักสุทธิ	17.0 kg	

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดเครื่องระเหย

3.2.2 เครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่น เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับระบายความร้อนเพื่อให้ไอสารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้เครื่องควบแน่นชนิดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ

รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องควบแน่น

คอนเดนเซอร์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีโครงสร้างคล้ายอีวาโปเรเตอร์ ชุดทดสอบนี้เป็นการระบายความร้อนจากสารทำความเย็นโดยใช้อากาศ ซึ่งถูกควบคุมสภาวะอุณหภูมิด้าน Ovtdoor อยู่ที่ 35°C DB และ 24 °C WB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	รายละเอียด
พื้นที่คอยล์	24″ × 34″
จำนวนfin	18 fin/in.
ชนิดของ fin	Slit fin
ขนาดท่อ	7 mm
จำนวนวงจร	4 วงจร
จำนวนแถว	2 แถว

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องควบแน่น

3.2.3 เครื่องอัด (Compressor)

รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วาล์วขยาย (Electronic Expansion Valve)

ในการออกแบบนั้นใช้วาล์วชนิด Electronic Expansion Valve เนื่องจากมีคุณสมบัติดังนี้คือ ง่ายต่อการออกแบบการควบคุม ใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมน้อย และตอบสนองในการทำงานรวดเร็ว วาล์วขยายที่ใช้ทดสอบเป็นของยี่ห้อ SAGINOMIYA รุ่น DKV-30 ,ขนาดท่อต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 mm , ความดัน 0-23 Mpa, น้ำหนัก 0.09 kg, แรงดัน 130mA/ph, และระยะควบคุม 0-480 step

รูปที่ 3.4 แสดงวาล์วขยายชนิด Electronic Expansion Valve

3.2.5 กระจกมองสารทำความเย็น (Sight Glasses)

ใช้สำหรับสังเกตสารทำความเย็นที่ไหลภายในระบบว่ามีความชื้นและการไหลของสารทำความเย็นเต็มท่อหรือไม่

รูปที่ 3.5 แสดงกระจกมองสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 กรอง (Filter Drier)

มีหน้าที่ดูดความชื้นและกรองสิ่งสกปรกที่อยู่ภายในระบบ ซึ่งสิ่งสกปรกที่อยู่ในระบบจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องอัด และจะทำให้วาล์วขยายเกิดการอุดตันได้ ซึ่งระบบนี้ติดตั้งที่ตำแหน่งก่อนวาล์วขยาย ด้านOutdoor

รูปที่ 3.6 แสดงกรองไดรเออร์

3.2.7 สารทำความเย็น

ชื่อตามมาตรฐาน ASHRAE R-22 ชื่อทางเคมี Monochlorodifluoromethane $CHClF_2$ เป็นกลุ่มฟลูออโรคาร์บอนจึงไม่มีพิษ จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ -40.8 องศาเซลเซียส คุณสมบัติสามารถละลายในน้ำมันได้ดีทุกสถานะซึ่งจะพบในส่วนควบแน่นของระบบ แต่จะแยกออกจากกันในเครื่องระเหย รหัสถังบรรจุน้ำยาสีเขียว นิยมใช้สำหรับ เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก, แอร์บ้าน เป็นต้น

รูปที่ 3.7 แสดงน้ำยาสารทำความเย็น R-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 ท่อสารทำความเย็น

ในงานวิจัยนี้ใช้ท่อทองแดงซึ่งประกอบด้วยท่อต่าง ๆ ในระบบดังต่อไปนี้คือท่อทางดูด โดยปกติท่อทางดูดต้องมีความระมัดระวังในการออกแบบมากกว่าท่อสารทำความเย็นในตำแหน่งอื่นเนื่องจาก การออกแบบขนาดของท่อทางดูดเล็กเกินไป ส่งผลให้เกิดความดันลดของสารทำความเย็นในท่อดูด ถ้าหากการออกแบบมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ความเร็วของสารทำความเย็นลดลงไม่สามารถนำน้ำมันหล่อลื่นไหลกลับเครื่องอัดได้ ในงานวิจัยนี้ออกแบบท่อทางดูดมีขนาด 1/2 นิ้ว ท่อทางด้านอัด ขนาดท่อทางด้านอัดการออกแบบมีลักษณะคล้ายกับท่อทางดูด สิ่งที่เป็นตัวลดประสิทธิภาพและความสามารถของระบบคือความดันตกคร่อม จากการออกแบบท่อทางด้านอัดมีขนาด 3/8 นิ้ว ท่อสารทำความเย็นเหลว เป็นเส้นทางการไหลของสารทำความเย็นเหลวก่อนไหลผ่านวาล์วขยาย ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบคือการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลผ่านวาล์วขยาย ในโครงงานนี้ออกแบบท่อของเหลวมีขนาด 3/8 นิ้ว

3.2.9อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ (Resistance Temperature Detector หรือ RTD)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งค่าความต้านทานจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ค่าความต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ เราจะใช้ตัวอาร์ทีดีวัดค่าจากผิวท่อของวงจรของสารทำความเย็นและหุ้มฉนวนในจุดที่ต้องการวัดเพื่อป้องกันผลกระทบจากอุณหภูมิบรรยากาศ อาร์ทีดีทำด้วยลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ลวดโลหะดังกล่าวนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้ส่วนมากจะทำมาจากสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว โดยทั่วไปแล้วอาร์ทีดีจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (sheath) ฉนวนที่ใช้ก็จะเป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรงจะอยู่ตรงส่วนปลาย ซึ่งอาจมีความยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว

รูปที่ 3.8 ตัวอาร์ทีดีที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานนี้ได้ใช้ตัวอาร์ทีดีแบบมาตรฐานซึ่งเป็นที่แพร่หลาย คืออาร์ทีดีแบบแพลทินัม 100 โอห์ม โดยจะเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์ม ต่อ 1°C ในแหล่งใช้งานปกติ มีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ 1 mA อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1°C อาร์ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโวลเตจ 0.385 mV ซึ่งมากกว่าเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ถึง 10 เท่า ดังนั้นที่สัญญาณรบกวนค่าเดียวกันจะมีผลต่ออาร์ทีดีน้อยกว่าเทอร์โมคัปเปิล**หลักการของอาร์ทีดี**ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการ ดังนี้

$$Rt = R0\ (1 + \alpha T) \text{ หรือ } dRt / dT = \alpha R0$$

เมื่อ Rt คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ t°C

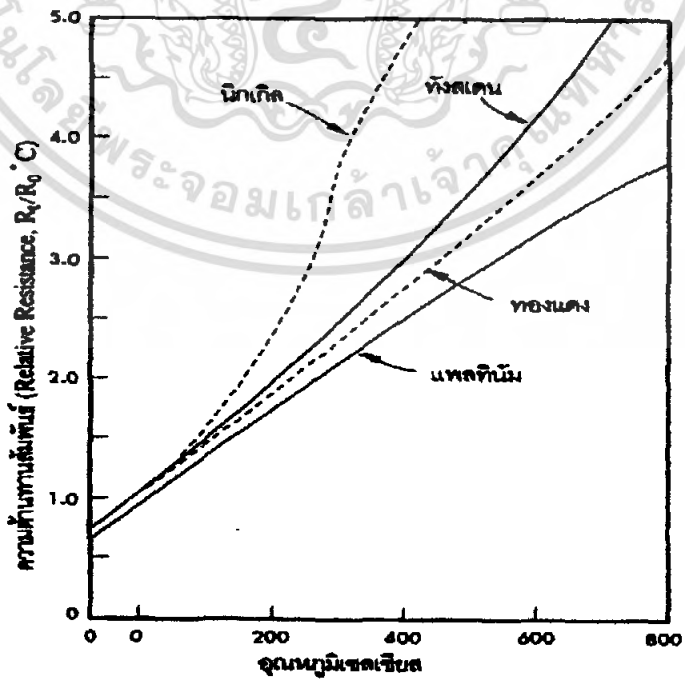
R0 คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ 0°C

α คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 1°C

ซึ่งค่า α เปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ เช่น แพลทินัม 0.00392 โอห์ม/โอห์ม/องศาเซลเซียส จากย่านอุณหภูมิ 0°C ถึง 100°C, นิกเกิล 0.0063 โอห์ม/โอห์ม/องศาเซลเซียส, ทองแดง 0.00425โอห์ม/โอห์ม/องศาเซลเซียสในทางปฏิบัติค่า α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง(Nonlinearly) ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอน สามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$Rt = R0(1 + \alpha T + \beta T2 + \gamma T4)$$

ค่า α, β และ γ ได้จากการทดลอง (Empirical Quantity) ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา แต่โดยทั่วๆ ไป การคำนวณจะใช้สูตร $Rt = R0\ (1 + \alpha T)$ โดยเลือกใช้ค่า α ตามตาราง



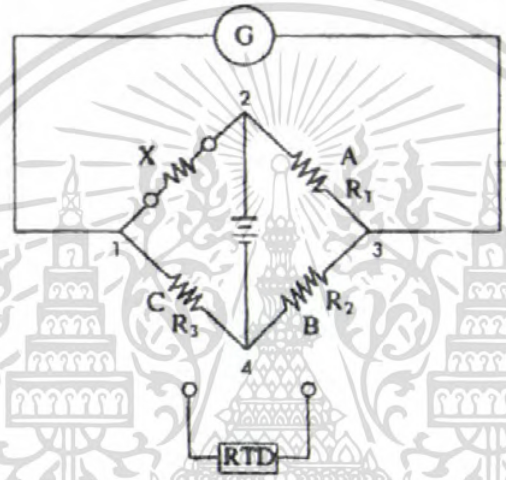
รูปที่ 3.9 อัตราส่วนของความต้านทานของโลหะที่ใช้ทำอาร์ทีดีเทียบกับค่าความต้านทานของมันที่ 0°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9.1 วงจรการใช้งานอาร์ทีดี

วงจรต่อที่ใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี คือ วีธสโตน บริดจ์ (Wheatstone Bridge) จากภาพที่ 3.10 ให้ X เป็นตัวอาร์ทีดี ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ รีซิสเตอร์ประกอบอีก 3 ตัว คือ A, B และ C อยู่ในทรานซิสเตอร์ในอุณหภูมิบรรยากาศ ริซิสเตอร์ A, B และ C ที่ใช้เป็นแบบที่มีความถูกต้องสูง ค่าดิฟ (ความต้านทานเปลี่ยนเมื่อใช้ไปนานๆ) มีค่าต่ำมาก

วงจรบริดจ์นี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่ออาร์ทีดีอยู่ในอุณหภูมิ 0°C ซึ่งจะทำให้อัตราส่วน X/C = A/B กัลวานอมิเตอร์จะชี้ที่ 0°C วงจรนี้ใช้ได้เมื่อตัวทรานสมิตเตอร์อยู่ใกล้กับตัวอาร์ทีดีมากๆ เท่านั้น เพราะถ้าสายยาวค่าผิดพลาดจะเกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของสายและอุณหภูมิของสายตัวนำ ถ้ามีค่ามาก ค่าความผิดพลาดก็จะสูง



รูปที่ 3.10 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี

3.2.10 อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน

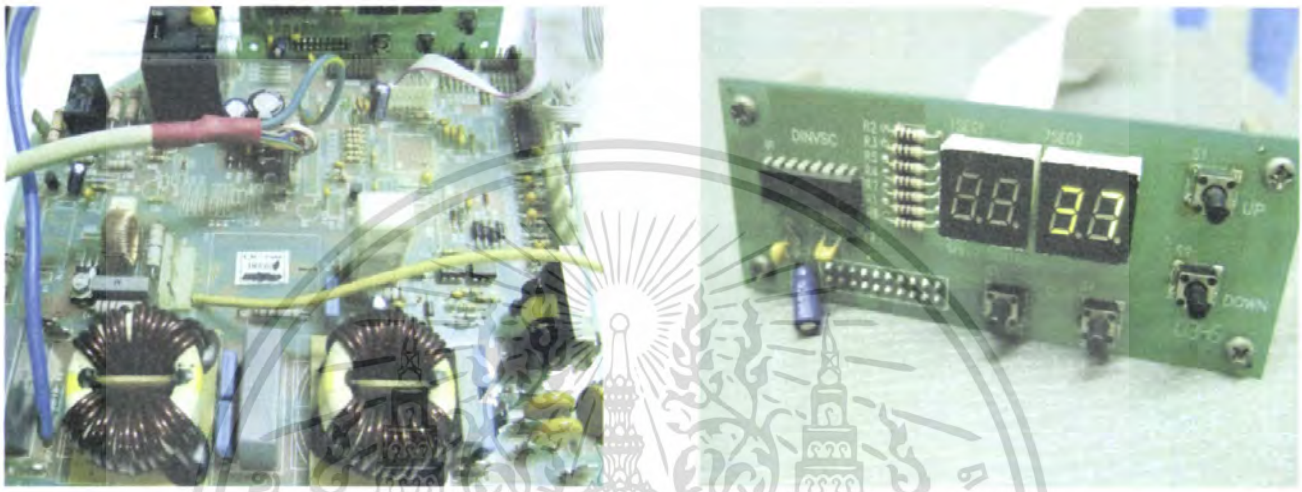
ดูข้อมูลได้ที่ภาคผนวก ข.

รูปที่ 3.11ตัวตรวจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 ชุด อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดแบบปรับค่าได้ด้วยมือ

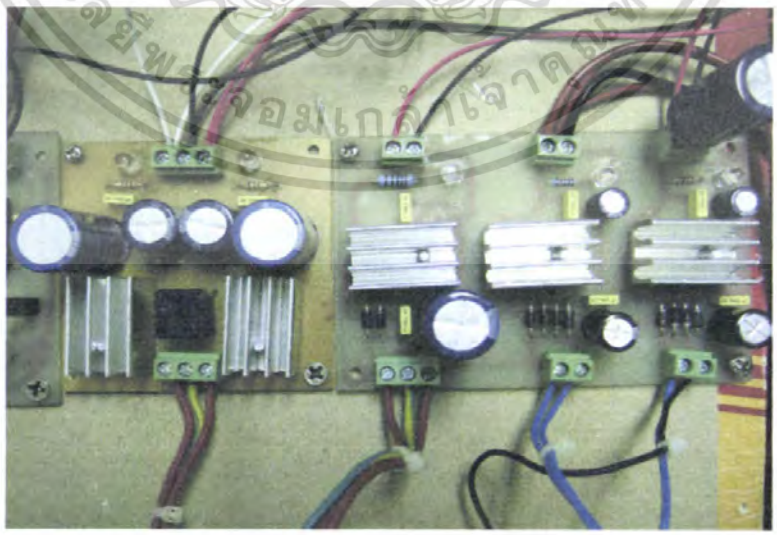
เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยใช้ Electronic Expansion Valve เพียงอย่างเดียว โดยที่เครื่องอัดยังทำงานด้วยความเร็วรอบคงที่สูงสุดนั้นจะไม่สามารถลดพลังงานที่ใช้ให้ประหยัดสูงสุดได้ การวิจัยจึงนำ Inverter มาควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดให้ทำงานที่ให้ความประหยัดที่สุด



รูปที่ 3.12 ชุด อินเวอร์เตอร์ ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปรับค่าได้

3.2.12 บอร์ดจ่ายแรงดันไฟฟ้า

เป็นบอร์ดที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าสำหรับเลี้ยงวงจรของบอร์ดต่าง ๆ ซึ่งมีย่านแรงดัน +5โวลต์ 12 โวลต์ 24โวลต์ และ +15 โวลต์ -15 โวลต์

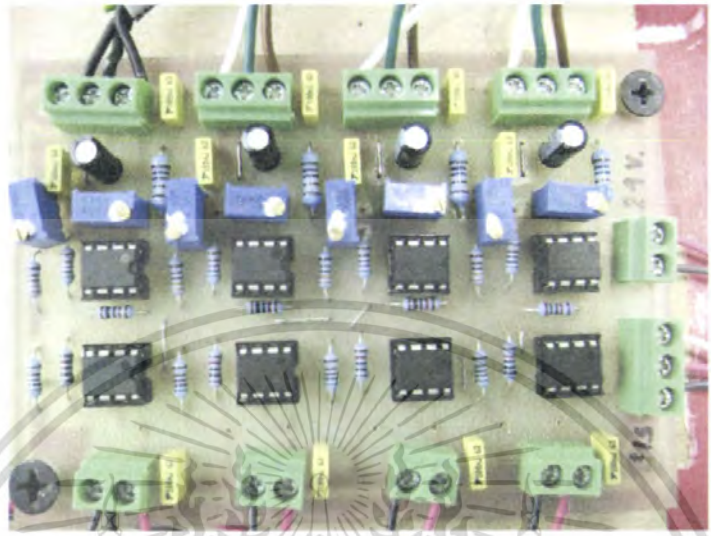


รูปที่ 3.13 บอร์ดจ่ายแรงดันไฟฟ้า

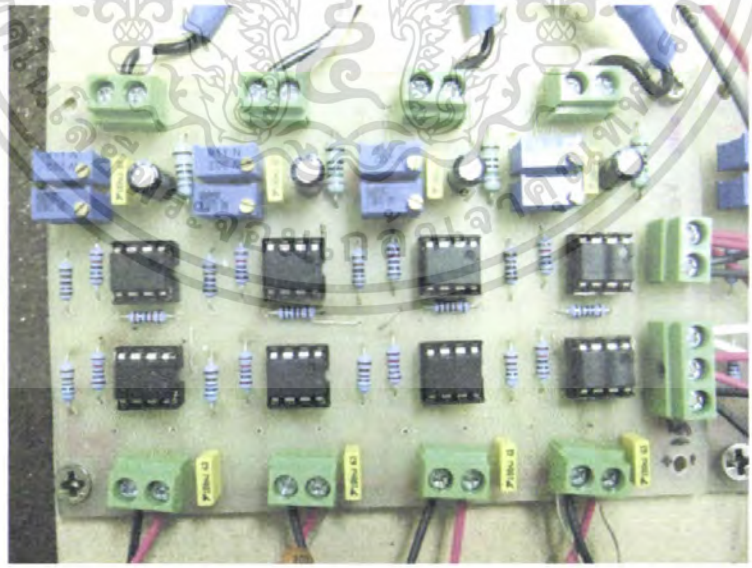
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.13 บอร์ดปรับปรุงสัญญาณ

เป็นบอร์ดที่ปรับปรุงสัญญาณจากตัวเซนเซอร์ซึ่งประกอบด้วยคือ บอร์ดความดันและบอร์ดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.14 บอร์ดปรับปรุงสัญญาณความดัน

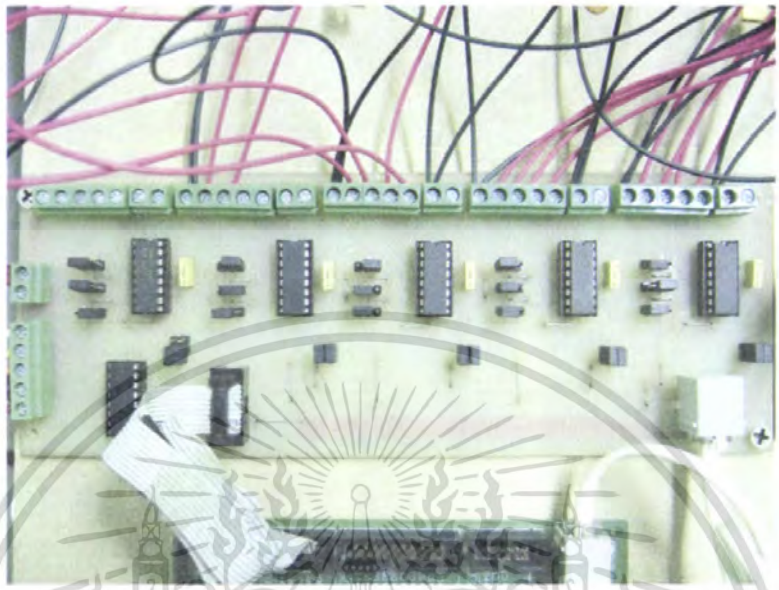


รูปที่ 3.15 บอร์ดปรับปรุงสัญญาณอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.14 บอร์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

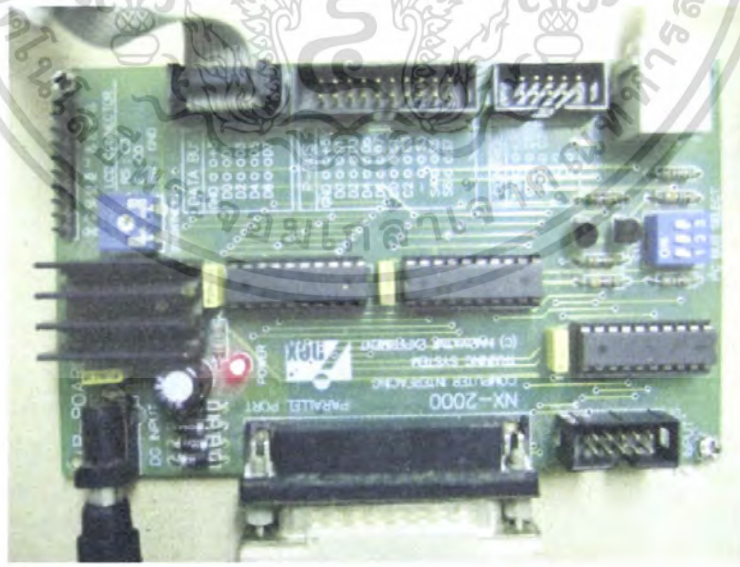
เป็นการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้าเป็นข้อมูลทางดิจิตอลอยู่ในรูปของเลขฐานสอง



รูปที่ 3.16 บอร์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

3.2.15 พีบอร์ด

เป็นบอร์ดที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์และพอร์ตขนาน



รูปที่ 3.17 พีบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การสั่งงานทางพอร์ตขนาน

4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน

การประมวลผลข้อมูลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกจะต้องมีส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจจะมาจากตัวตรวจจับต่าง ๆ ผ่านวงจรภาคขยายเพื่อเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้มาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจจะเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วนของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

- เชื่อมต่อผ่านทางการ์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีการเสียบหรือติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน
- เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่น ๆ เช่น พอร์ต USB, พอร์ต SCSI หรือพอร์ตGAME เป็นต้น

4.1.1 ทำไมถึงเลือกใช้งานพอร์ตขนาน

เมื่อเทียบกับการใช้งานการ์ดอินพุตเอาต์พุตที่ต้องติดตั้งอยู่ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานมีข้อได้เปรียบอยู่หลายประการดังนี้

ในด้านความปลอดภัย การที่ต้องถอดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์ออกมาเพื่อเสียบการ์ดเชื่อมต่อลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่น ๆ ของคอมพิวเตอร์ได้ถ้าผู้ใช้งานไม่มีความชำนาญหรือเกิดการต่อวงจรที่ผิดพลาด

ในด้านการเข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ การเชื่อมต่อโดยใช้การ์ดที่เสียบลงในสล็อตไม่สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ทุกรุ่น เช่น คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก จะไม่มีสล็อตเสียบแต่จะมีที่เสียบการ์ด PCMCIA แทน ในขณะที่พอร์ตขนานจะมีติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องทั้งนี้เพื่อใช้ในการติดต่อกับเครื่องพิมพ์

ข้อจำกัดด้านพื้นที่ คอมพิวเตอร์บางเครื่องมีการเสียบการ์ดเชื่อมต่อตัวอื่น ๆ อยู่แล้ว เช่น การ์ดเสียง การ์ดโมเด็ม เป็นต้น จนไม่มีสล็อตเหลือพอสำหรับเสียบการ์ดเชื่อมต่อเพิ่มเติม

ความสะดวกในการใช้งาน การเชื่อมต่อทางพอร์ตขนานสามารถทำได้ง่าย ๆ เพียงต่อสายสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ DB-25 ของพอร์ตขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนช่องสัญญาณอินพุตเอาต์พุต พอร์ตขนานมีจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตมากเพียงพอที่จะนำไปใช้งานต่าง ๆ และยังสามารถขยายให้มีจำนวนพอร์ตเพิ่มขึ้นได้ โดยพอร์ตขนานปกติมีจำนวนขาเอาต์พุต 12 ขา และขาอินพุต 5 ขา

ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลกับพอร์ตขนาน มีความเร็วเท่ากับการติดต่อกับระบบบัสโดยตรง และมีความเร็วมากกว่าการติดต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

อะไหล่และชิ้นส่วนประกอบ คอนเน็กเตอร์และสายเชื่อมต่อต่าง ๆ ของการเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน หาได้ง่ายและราคาไม่แพง หรืออาจจะสร้างขึ้นเองก็สามารถทำได้ง่ายดาย

จากคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้วนั้นทำให้พอร์ตขนานเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อควบคุมหรือรับสัญญาณข้อมูล นอกจากนี้หากนำคุณสมบัติของการเขียนโปรแกรมง่าย ๆ ผ่านระบบปฏิบัติการวินโดวส์ด้วยโปรแกรม VISUAL BASIC ก็จะสามารถสร้างระบบการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์และใช้งานได้ไม่ยาก

4.1.2 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน

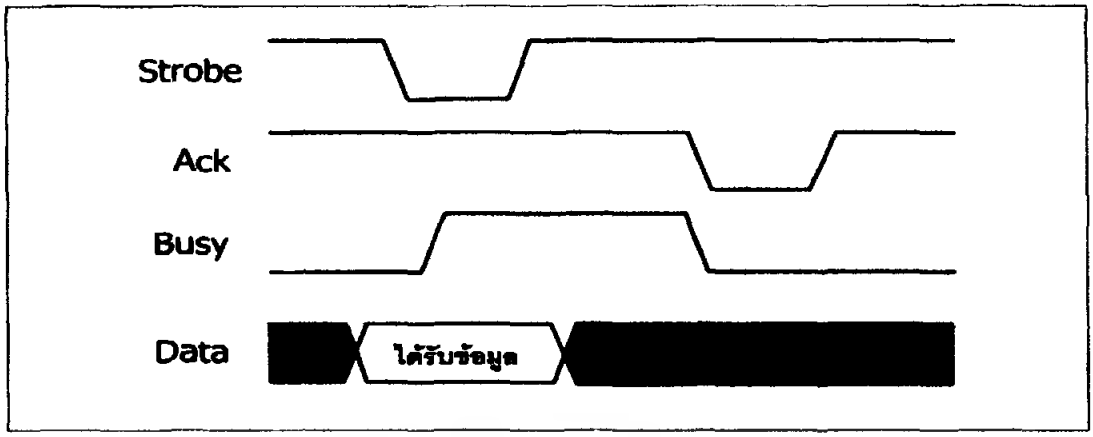
พอร์ตขนาน เป็นการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนาน หรือเรียกอีกอย่างว่า พอร์ตเครื่องพิมพ์ เนื่องจากพอร์ตนี้ใช้สำหรับต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์นั่นเอง

การถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานทำให้พอร์ตมีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า การประมวลผลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตนี้จึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิต ได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติม

ลักษณะกายภาพของพอร์ตขนาน

เพื่อให้เข้าใจการนำพอร์ตขนานไปใช้งาน ต้องเข้าใจว่าปกตินั้นการสั่งพิมพ์งานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนาน มีรูปแบบการทำงานภายในอย่างไร ในรูปที่ 4-1 แสดงไดอะแกรมเวลา ข้อติดต่อระหว่างพอร์ตขนานกับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะมีสัญญาณใช้งานจริงไม่มาก สัญญาณ พอร์ต Data ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobe ออกไปด้วยเพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลมาที่ขา Data จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์ จะสร้างสัญญาณ Busy หรือเพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ACK ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์

สัญญาณข้อมูล 8 บิต , สัญญาณ Strobe และสัญญาณ ACK เป็นสัญญาณที่สำคัญจากการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ ยังต้องมีสัญญาณอื่น ๆ ร่วมด้วย เนื่องจากเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ถึง 3 อย่างด้วยกันคือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ พิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามาและตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้ บางครั้งอาจเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น บัฟเฟอร์ สำหรับรับข้อมูลเต็มเครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าให้หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว เนื่องจากไม่สามารถรับข้อมูลมากกว่านี้ได้แล้ว สัญญาณที่ส่งจากเครื่องพิมพ์ไปยังคอมพิวเตอร์คือ สัญญาณ Busy และเมื่อเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาดเช่น กระดาษติด เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เช่นกัน เรียกสัญญาณนี้ว่า Error ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการ Reset เครื่อง ก็จะส่งสัญญาณ Reset ไปยังเครื่องพิมพ์ด้วย

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสัญญาณทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านั้น จะมีรีจีสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงานดังนี้

1. พอร์ตเอาต์พุต สำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้นมีรีจีสเตอร์ Data ควบคุม

2.พอร์ตอินพุต สำหรับการอ่านค่าสถานะต่าง ๆ จากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจีสเตอร์ Status ในการควบคุม

3. พอร์ตอินพุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุม ไปยังอุปกรณ์ภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจีสเตอร์ Control ในการควบคุม

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1.2 แสดงระบบบัสของคอมพิวเตอร์สำหรับการติดต่อกับพอร์ตขนาน สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ตขนานจะส่งสัญญาณไปยังคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันพอร์ตขนานจะมีมาพร้อมกับเมนบอร์ด ไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดเสียบเพิ่มเติมเหมือนในอดีต พร้อมทั้งมีฟังก์ชั่นการทำงานที่ซับซ้อนขึ้นแต่ยังสนับสนุนการทำงานของพอร์ตขนานในรูปแบบมาตรฐานอยู่

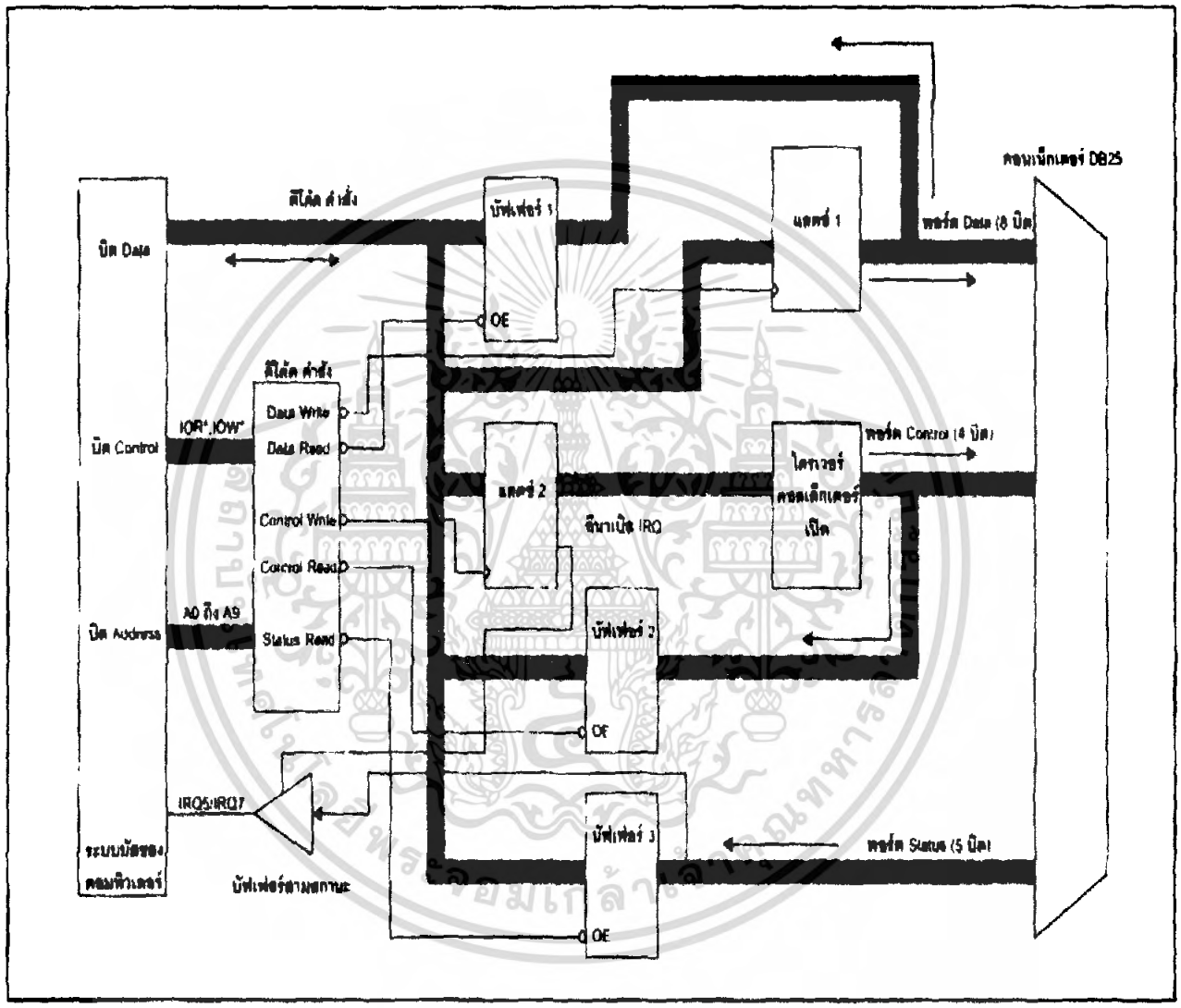
เมื่อดูจากรูปที่ 4.1 เทียบการทำงานโดยทั่วไปกับการเชื่อมต่อผ่านการ์ดที่เสียบลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการติดต่อกับพอร์ตขนานจะต้องมีการอ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรส ตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้อ้างถึงจะเป็นตำแหน่ง A0-A9 และใช้ขา IOR และ IOW สำหรับเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียนรีจีสเตอร์ตัวใด จากการดีโค้ดแอดเดรส A0-A9 นี้เองทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อควบคุมหรืออีนาเบิลวงจรบัฟเฟอร์ต่าง ๆ ดังนี้

Data Write สัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Data ของพอร์ตขนาน

Data Read สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านข้อมูลจากขา Data ของพอร์ตขนานมาเก็บไว้ในบัส Data



รูปที่ 4.2 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน

Control Write สัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Control ของพอร์ตขนาน สำหรับพอร์ตนี้นอกจากจะส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนานแล้ว ยังทำหน้าที่อีนาเบิลการอินเตอร์รัปต์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่พอร์ต Status อีกด้วย

Control Read สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขา Control มาเก็บไว้ในบัส Data

Status Read สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขาพอร์ต Status มาเก็บไว้ในบัส Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตคาต้า (Data Port)

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าพอร์ตคาต้าประกอบไปด้วยบัปเฟอร์ 1 ตัวและไอซีแลตซ์อีก 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตซ์ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตซ์ 1 คือ D0-D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึงขา 9 และที่ขาเอาต์พุตนี้สัญญาณคาต้าจะส่งกลับไปยังอินพุตของบัฟเฟอร์ด้วย ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสถานะปัจจุบันที่เกิดขึ้นกับพอร์ตคาต้าได้

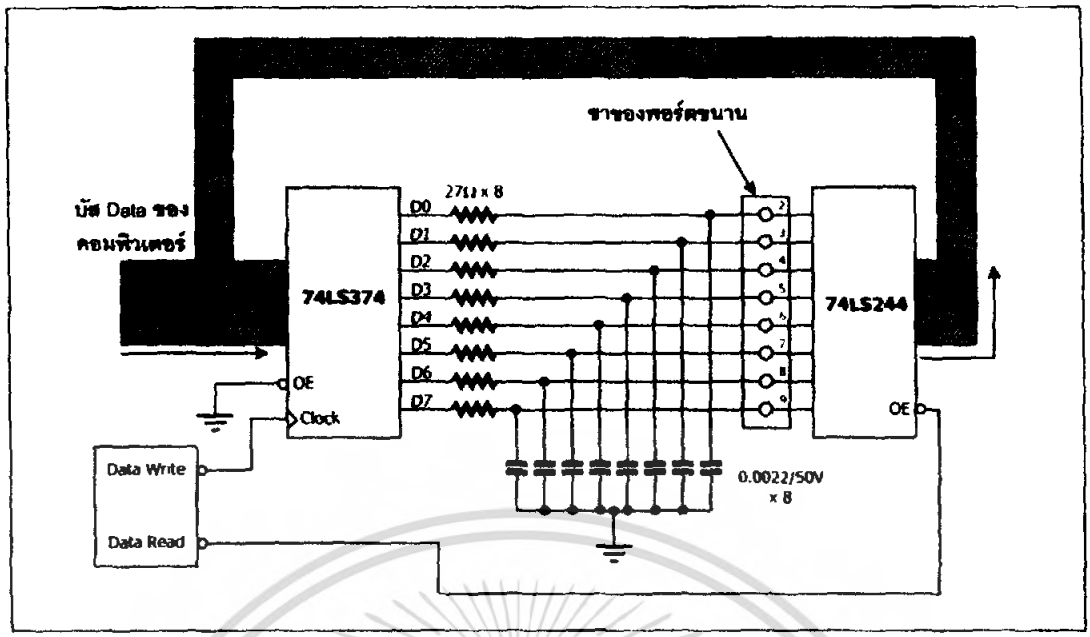
เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งมายังบัส ข้อมูลของคอมพิวเตอร์ผ่านไปให้กับไอซี 74LS374 ซึ่งเป็นไอซีแลตซ์ข้อมูล และเมื่อต้องการให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุตของคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ Data Write ออกไปที่ขา CLK ของ 74LS374 เอาต์พุตจาก 74LS374 จะถูกกรองด้วยวงจร RC ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานค่า 27 Ω และตัวเก็บประจุ 0.0022 μfd. เพื่อให้ช่วงเวลาที่เปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" หรือจากลอจิก "1" เป็นลอจิก "0" เป็นไปอย่างช้า เนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันที่รวดเร็วทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำข้ามไปยังข้อมูลบิตอื่น ๆ ได้ทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปมีข้อผิดพลาดจากค่า

ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจรทำให้เกิดการหน่วงเวลาไปประมาณ 60 นาโนวินาที จากวงจรในรูปที่ 1-3 ทำให้เอาต์พุตของพอร์ตคาต้า มีคุณสมบัติดังนี้

- กระแสซิงก์สูงสุด 24 mA
- กระแสซอร์สสูงสุด 2.6 mA
- ระดับแรงดันของลอจิก "1" ต่ำสุดเท่ากับ 2.4 V
- ระดับแรงดันสูงสุดสำหรับลอจิก "0" เท่ากับ 0.5 V

สำหรับบัฟเฟอร์สำหรับการอ่านข้อมูลกลับ ได้แก่เบอร์ 74LS244 ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ Data Read ออกมาเพื่ออินาเบิลไอซี 74LS244 สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน (Standard Parallel Port: SPP) พอร์ต Data จะต้องใช้เพื่อการส่งค่าออกเอาต์พุตเท่านั้น แต่สำหรับพอร์ตขนานที่มีการสื่อสาร 2 ทิศทางสามารถอ่านค่าพอร์ต Data ได้ด้วย แต่ก่อนที่จะอ่านค่าต้องจำไว้เสมอว่าจะต้องป้อนค่าเอาต์พุตให้มีค่าลอจิก "1" ทั้งหมดก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรภายในของพอร์ต Data

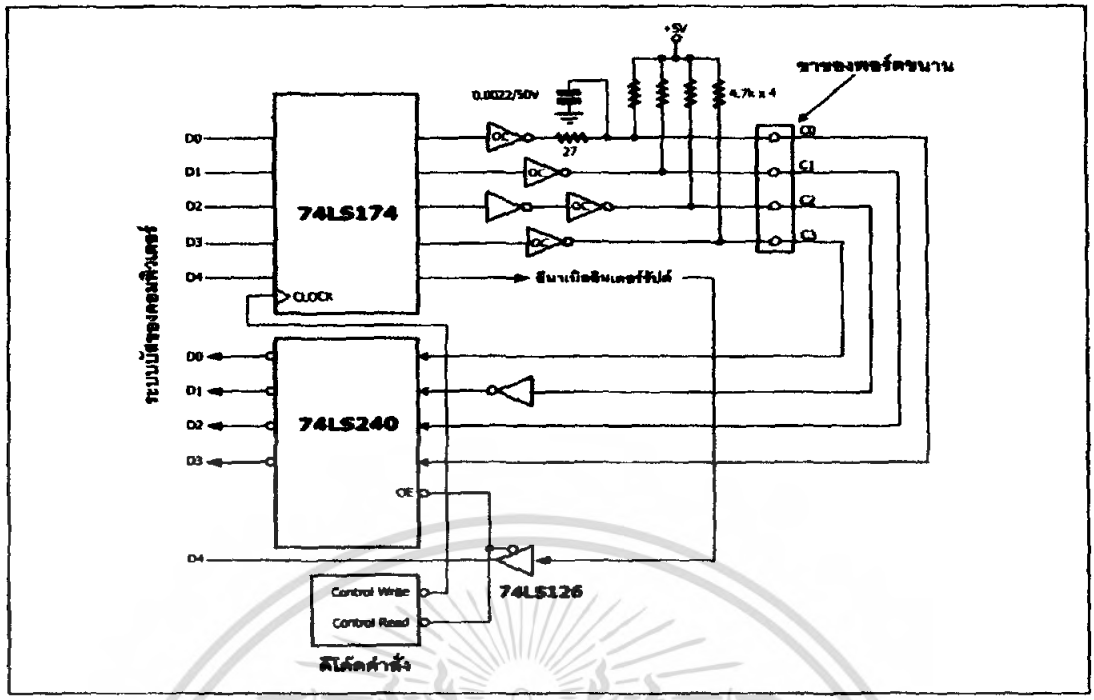
พอร์ต Control

พอร์ต Control ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องพิมพ์ รูปที่ 4-4แสดงบล็อกไดอะแกรมของพอร์ต Control เอาต์พุตของพอร์ต Control มีอินเวอร์เตอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดต่อร่วมอยู่ โดยเอาต์พุตเหล่านี้จะถูกพูลอัปไว้ด้วยตัวต้านทานค่า 4.7 kΩ สำหรับบิต C2 จะผ่านอินเวอร์เตอร์ถึง 2 ตัวทำให้ที่เอาต์พุตของบิต C2 ไม่มีการกลับสถานะลอจิก

สถานะของพอร์ต Control สามารถอ่านกลับได้โดยการใช้บัฟเฟอร์เบอร์ 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตของ 74LS240 มีอินเวอร์เตอร์อยู่ภายใน ทำให้ค่าที่อ่านได้ตรงกับค่าที่ส่งออกไป การควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ต Control คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลมาที่ขา Control Write และ Control Read

เนื่องจากเอาต์พุตของพอร์ต Control จะเป็นคอลเล็กเตอร์เปิด ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้พอร์ตนี้ในการอ่านค่าสัญญาณอินพุตจากภายนอกได้โดยก่อนที่จะอ่านจะต้องทำให้ขาพอร์ตที่ต้องการอ่านค่ามีลอจิก "1" เสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วาจรภายในของพอร์ต Control

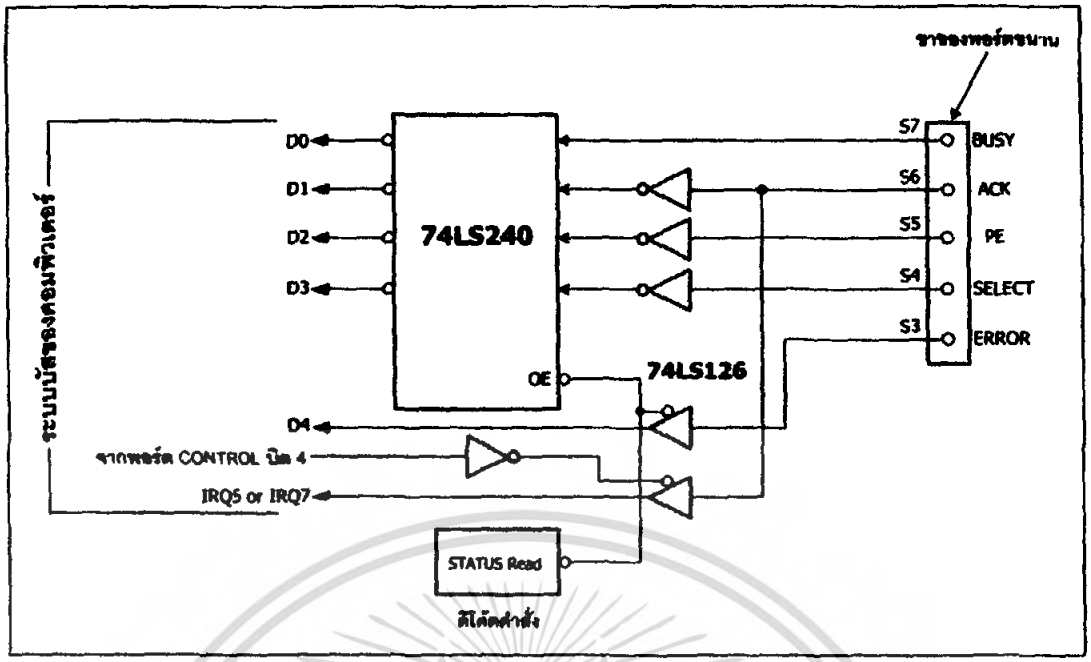
พอร์ตแสดงสถานะหรือพอร์ต Status

พอร์ต Status เป็นพอร์ตที่คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการอ่านค่าสถานะจากเครื่องพิมพ์ รูปที่ 4-5 แสดงรายละเอียดภายในของพอร์ต Status จะสังเกตได้ว่ามีขาสัญญาณอยู่ทั้งหมด 5 สัญญาณด้วนกัน และจะเรียกชื่อเป็น S3, S4, S5, S6และ S7 ซึ่งตัวเลขนั้นหมายถึงตำแหน่งบิตของขาเหล่านี้ภายในรีจิสเตอร์ Status นั่นเอง สำหรับบิต S7 จะมีข้อแตกต่างจากบิตอื่น ๆ ที่เมื่อสัญญาณจากภายนอกส่งเข้ามาแล้วจะไม่ผ่านอินเวอร์เตอร์ในขณะที่ขาอื่น ๆ ผ่านอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อข้อมูลผ่านจากขาอินพุตไปยัง 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตมีการกลับสถานะทำให้บิต S7 เป็นบิตเดียวที่มีการกลับสถานะนอกจากนี้ในการใช้งานถ้าต้องการให้มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากขา S6 สามารถกำหนดค่าได้จากพอร์ต Control บิต 4

4.1.3 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิตไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ต Control นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนาน

พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตตัวอื่น ๆ คือ เมื่อต้องการติดต่อจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วย ตารางที่ 1-1 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งคือ แอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data , รีจิสเตอร์ Status และรีจิสเตอร์ Control โดยแอดเดรสนี้จะมีอยู่ 3 ชุด สำหรับพอร์ตขนาน 3 ชุด คือ LPT1 ,LPT2 และ LPT3

ชื่อพอร์ต	LPT1:		LPT2:		LPT3:	
	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก
DATA	888	378H	956	3BCH	632	278H
STATUS	889	379H	957	3BDH	633	279H
CONTROL	890	37AH	958	3BEH	634	27AH

ตารางที่ 4.1 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน

เมื่อต้องการติดต่อกับพอร์ตขนานในตำแหน่งใด ก็ให้ส่งค่าข้อมูลออกไปที่พอร์ตขนานในตำแหน่งนั้น ๆ ยกตัวอย่างการเขียนโปรแกรมด้วย QBASIC เพื่อส่งค่าลอจิก " 1 " ออกไปทุกบิตของพอร์ต Data ของ LPT1 จะต้องเขียนโปรแกรมดังนี้

```
OUT   &H378, &HFF
```

โดยที่

เครื่องหมาย &H ที่แสดงนั้นหมายถึงตัวเลขฐานสิบหก

คำสั่ง OUT เป็นการส่งค่าข้อมูลออกเอาต์พุตของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า 378 เป็นแอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data สำหรับ LPT1

ค่าข้อมูล FF เป็นข้อมูลเลขฐานสิบหก ซึ่งหมายถึงการให้บิตทุกบิตของรีจิสเตอร์ Data มีลอจิกเป็น "1" นั้นเอง

ส่วนการอ่านค่าจากพอร์ตขนานมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต Status ของ LPT1 สามารถเขียนโปรแกรมด้วย QBASIC ได้ดังนี้

```
Temp = INP (&H379)
```

โดยที่

คำสั่ง INP (_) เป็นคำสั่งสำหรับการอ่านค่าข้อมูล

ค่า 379 เป็นตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ STATUS สำหรับ LPT1 ในตัวเลขฐานสิบหก

ตัวแปร Temp เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลที่อ่านได้จากพอร์ตขนาน

สำหรับโปรแกรมอื่น ๆ เช่น แอสเซมบลี้, เทอร์โบปาสคาล หรือเทอร์โบซี จะมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่แตกต่างกันบ้างดังนี้

แอสเซมบลี้

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

```
Mov dx, 378h
Mov al,ffh
Out dx,al
```

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ตขนาน

```
Mov dx, 379h
In al,dx
```

เทอร์โบปาสคาล

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

```
Port[378H] : FFH
```

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ตขนาน

```
Temp  : = Port[379H]
```

เทอร์โบซี

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

```
Outportb          (0x378, 0xff)
```

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ตขนาน

```
Temp = importb(0x379)
```

อย่างไรก็ตามโปรแกรมทุกตัวต่างก็ใช้วิธีการเดียวกันคือ กำหนดแอดเดรสที่จะทำการติดต่อจากนั้นจึงติดต่อกับแอดเดรสเหล่านั้นด้วยคำสั่งสำหรับการอ่านหรือเขียน

4.1.4 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วย Visual Basic

การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic ชุดคำสั่งส่วนใหญ่จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับ QBASIC แต่ Visual Basic จะไม่มีคำสั่งสำหรับการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงคือ คำสั่ง Inp() และคำสั่ง OUT เหมือนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QBASIC ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้คงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Libray)

ไฟล์ DLL นี้จะมีอยู่ 2 ไฟล์คือ input.dll และ input32.dll โดย input.dll นั้นใช้สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิตหรือวินโดวส์ 3.1 นั่นเอง ส่วน input32.dll จะใช้สำหรับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิต ซึ่งก็คือวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ 98

สำหรับตำแหน่งที่ใช้เก็บไฟล์ input.dll หรือ input32.dll นั้นจะต้องเก็บไว้ที่ไดเรกตอรี่ SYSTEM ซึ่งอยู่ภายในไดเรกตอรี่ที่เก็บโปรแกรมวินโดวส์ โดยส่วนใหญ่จะมีชื่อเป็น Windows

การกำหนดค่าในโปรแกรมเพื่อเรียกใช้งานไฟล์ DLL มีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิต

```
Declare Function Inp% Lib "Input.Dll" Alias "Inp16" (ByVal Portaddress%)
Declare Sub Out Lib "UnpOut.Dll" Alias "Out16" (ByVal PortAddress%, ByVal ByteToWrite%)
```

สำหรับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Inter) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "input32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

ในกรณีที่มีการใช้งานโปรแกรมทั้ง 2 ระบบปฏิบัติการ สามารถเติมคำสั่ง IF เข้าไปเพื่อตรวจสอบระบบปฏิบัติการก่อนที่จะเลือกใช้งาน DLL ตัวที่ต้องการ โดยสามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
#If Win32 Then
'Declare Inp and Out fpr port I/O
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
#Else
Declare Function Inp Lib "Input.Dll" (ByVal Port%) As Integer
Declare Sub Out Lib "UnpOut.Dll" (ByVal Port%, ByVal Value%)
#End If
```

แต่การกำหนดในสองรูปแบบหลังนี้จะสามารถใช้งานได้กับ Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชั่น 4 ขึ้นไปเท่านั้น

เมื่อมาถึงตรงนี้ อาจเกิดคำถามขึ้นว่า ทำไมไมโครซอฟต์ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ Visual Basic จึงไม่รวมคำสั่ง Inp และคำสั่ง Out ไว้ในโปรแกรม Visual Basic เนื่องจากว่าการเขียนและอ่านข้อมูลไปยังพอร์ตหรือหน่วยความจำโดยตรงนั้นอาจทำให้เกิดมีปัญหาแฮงก์หรือทำงานผิดพลาดได้และ Visual Basic เป็นระบบปฏิบัติการที่ทำงานบนวินโดวส์ซึ่งมีการทำงานแบบมัลติทาร์กิ้ง (multitasking) มีโปรแกรมหลาย ๆ ตัวทำงานอยู่พร้อมกัน ดังนั้นเมื่อเกิดความเสียหายกับโปรแกรมตัวหนึ่งก็อาจจะส่งผลให้โปรแกรมที่ทำงานอยู่ทั้งหมดเสียหายได้นอกจากนี้การเขียนข้อมูลโดยตรงไปยังพอร์ตอาจจะไปทับซ้อนกับโปรแกรมอื่น ๆ ที่มีการเขียนข้อมูลไปยังพอร์ตเช่นเดียวกัน ส่งผลให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด

สำหรับวินโดวส์ 95 นอกจากจะสามารถใช้งาน DLL ในการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงแล้วยังสามารถใช้งานโปรแกรมประเภท Visual Device Driver (Vxd) ในการติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตโดย Vxd จะตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาเรื่องการเข้าถึงพอร์ตพร้อมกันของโปรแกรมหลาย ๆ ตัวได้ แต่สำหรับโปรแกรมสั้น ๆ เช่น โปรแกรมอ่านค่าอุณหภูมิ โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตปกติซึ่งไม่มีการติดต่อกับพอร์ตอยู่ตลอดเวลา คำสั่ง Inp และ Out ใน DLL ก็ยังทำงานได้ดีและมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายกว่า

4.2 การติดต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตอย่างง่าย

รีจิสเตอร์ขนานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รีจิสเตอร์ คือ

1. รีจิสเตอร์ Data ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต
2. รีจิสเตอร์ Status ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต
3. รีจิสเตอร์ Control ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต

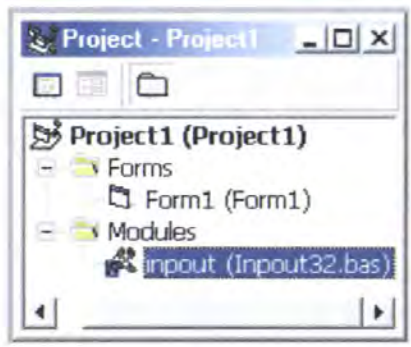
ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานต้องการส่งค่าออกเอาต์พุตก็ต้องใช้รีจิสเตอร์ Data หรือรีจิสเตอร์ Control ส่วนถ้าต้องการรับค่าจากอินพุต ผู้ใช้งานต้องใช้รีจิสเตอร์ Status ในการอ่านค่าอินพุต การจะอ้างถึงรีจิสเตอร์แต่ละตัวนั้น ผู้ใช้แต่ละตัวนั้น ผู้ใช้งานจะต้องใช้ตำแหน่งแอดเดรสเป็นตัวอ้างอิง ดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.2

โดยปกติแล้ว Visual Basic ไม่มีคำสั่ง Out เหมือนกับ Qbasic ดังนั้นเพื่อให้ Visual Basic สามารถใช้คำสั่งนี้ได้จำเป็นต้องเพิ่มไฟล์ INPOUT32.BAS เข้าไปใน PROJECT ของ Visual Basic ที่กำลังใช้งานอยู่ โดยต้องทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ไปที่เมนู Project เรียกคำสั่ง Add File แล้วเพิ่มไฟล์ INPOUT32.BAS ลงไปใน Project ที่ หน้าต่าง Project จะปรากฏไฟล์ INPOUT32.BAS ดังแสดงในรูปที่ 2-1
2. เมื่อเลือกชี้ที่ไฟล์ INPOUT32.BAS แล้วใช้คำสั่ง View Code เพื่อดูรายละเอียดภายในของไฟล์ INPOUT32.BAS ดังในรูปที่ 4.7

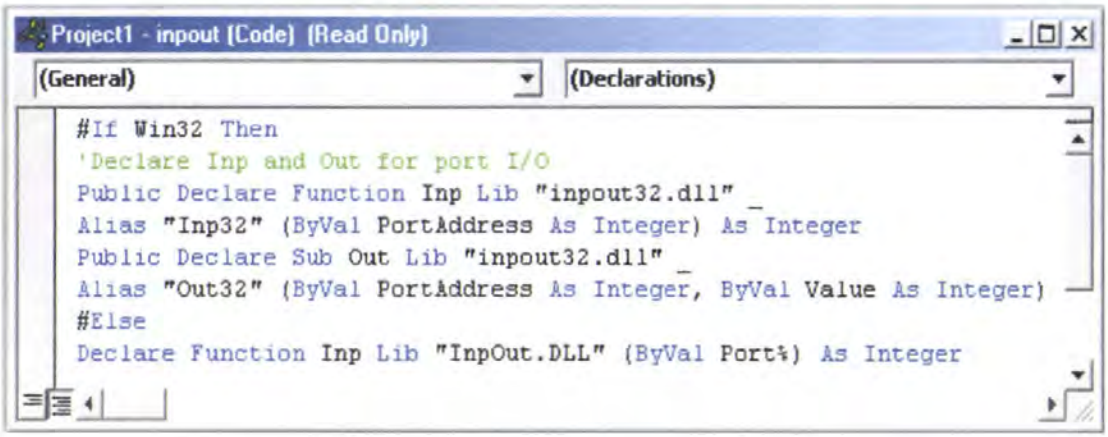
รีจิสเตอร์	LPT1	LPT2	LPT3
DATA	378H	3BCH	278H
TATUS	379H	3BDH	279H
CONTROL	37AH	3BEH	27AH

ตารางที่ 4.2 แสดงแอดเดรสจิสเตอร์ของพอร์ตขนาน



รูปที่ 4.6 การเรียกไฟล์ INPOUT.BAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รายละเอียดของไฟล์ INPOUT.BAS

3. สำหรับไฟล์ INPOUT32.BAS นั้นจะไปกำหนดคำสั่ง INP และOUT ให้กับ Visual Basic โดยจะต้องมีไฟล์ inpout32.dll บรรจุอยู่ในไดเรกเตอร์รี่ SYSTEM อยู่ก่อนแล้ว

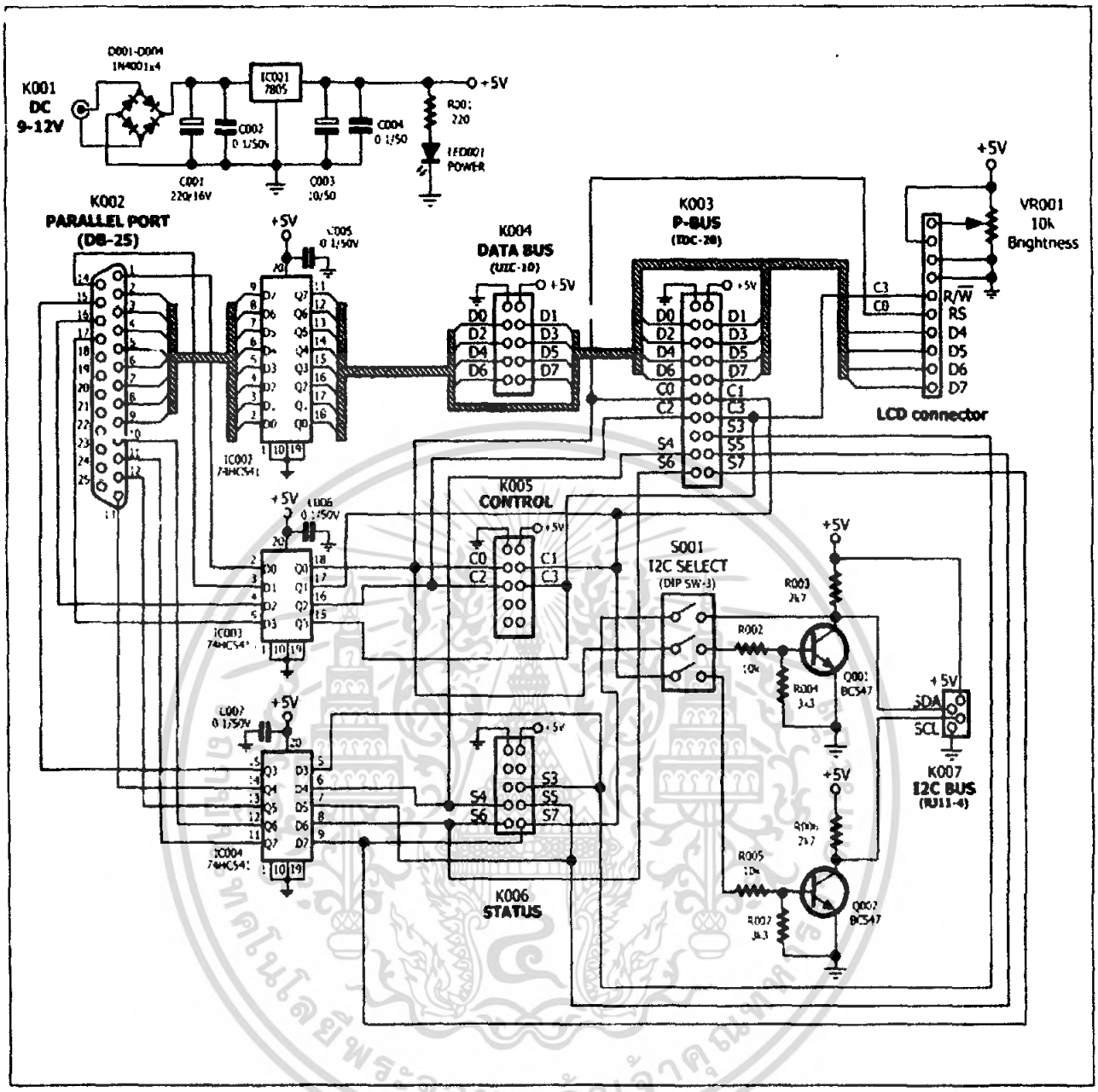
4. เมื่อถึงขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานสามารถใช้คำสั่ง INP และ คำสั่ง OUT ในโปรแกรมเพื่อรับและส่งค่ากับพอร์ตขนานได้แล้ว

4.2.1 P-BOARD บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

วงจรของ P-BOARD แสดงในรูปที่ 2-3 โดยเริ่มจากคอนเน็กเตอร์ K002 แบบ DB – 25 ตัวเมียอันเป็นจุดที่ใช้ต่อเชื่อมกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับการจัดสรรออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. พอร์ต DATA มีตำแหน่งอยู่ที่ขา 2 ถึงขา 9 ใช้ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่ไอซีบัฟเฟอร์ เบอร์ 74HC541 เพื่อขยายกระแสให้กับขาเอาต์พุต D0 – D7 ทั้ง ขา นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับพอร์ตขนานอีกด้วย เอาต์พุตจากไอซี 74HC541 ส่งออกไปยังคอนเน็กเตอร์ DATA BUS ซึ่งมีการจัดขาตามมาตรฐาน UIC – 10 และส่งออกไปรวมกับคอนเน็กเตอร์ P- BUS โดยคอนเน็กเตอร์ DATA BUS และ P – BUS จะใช้ประโยชน์ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด EX- SERIES ซึ่งเป็นอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต มีทั้งสิ้น 8 เบอร์สำหรับทำการทดลองการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 วงจรสมบูรณ์ของ P- BOARD บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

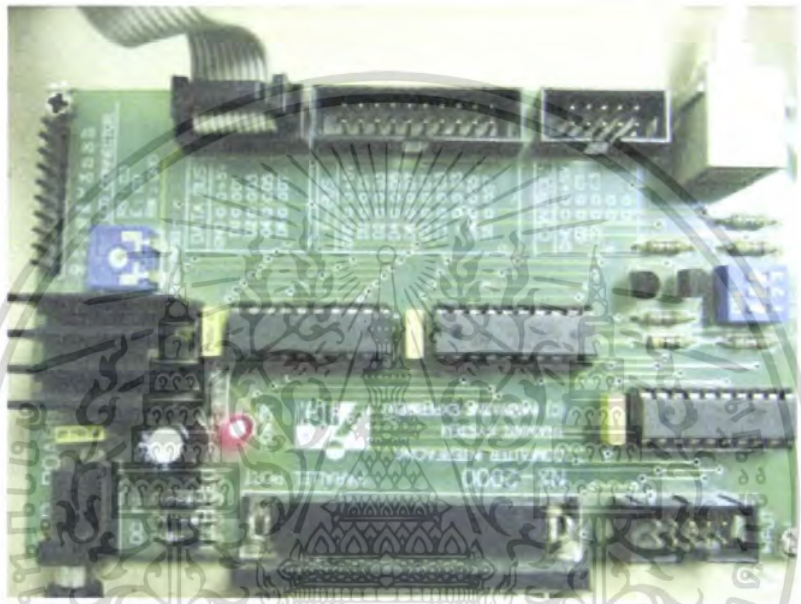
2. พอร์ต control ใช้ตำแหน่งขา 1, 14, 16 และ 17 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตเช่นกันโดยต่อเข้ากับไอซี 74HC541 เพื่อทำหน้าที่ขยายกระแสและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับพอร์ตขนาน แล้วต่อสายเอาต์พุตไปเข้าคอนเน็กเตอร์ CONTROL จะเห็นได้ว่าใช้เฉพาะขา C0 – C3 เท่านั้น พร้อมกันนั้นยังส่งต่อไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์ P-BUS ด้วย

นอกจากนี้พอร์ต Control ยังถูกใช้งานเพื่อเป็นขาเอาต์พุตสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยระบบบัสแบบ I2C ด้วย โดยใช้จะใช้ขา C1 ในการสร้างสัญญาณ SCL (สัญญาณนาฬิกา) และขา C0 ในการสร้างสัญญาณ SDA (ส่งข้อมูล) โดยใช้ขา S7 ซึ่งอยู่ในส่วนของพอร์ต Status รับข้อมูลจาก SDA การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบัส I2C จะเลือกผ่านดิปสวิตช์ เนื่องจากต้องการให้สามารถใช้งานพอร์ต Control และพอร์ต Status ในงานปกติได้ เมื่อไม่มีการใช้งาน ระบบบัส I2C

วงจรของส่วนเชื่อมต่อระบบบัส I2C ของ P –BOARD จะใช้ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน และเอาต์พุตของขา SAD และ SCL จะมีลอจิก "1" ให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน และให้เอาต์พุตของบัส I2C ออกมาเป็น "0" เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะทำการลัดวงจรขาเอาต์พุตลงกราวด์ สำหรับรายละเอียดการใช้งานระบบบัส I2C จะกล่าวถึงอีกครั้งในภายหลัง



รูปที่ 4.9 แสดง บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนานหรือ P- BOARD

3. พอร์ต Status ใช้ตำแหน่งขา 15 , 13 , 12 , 10 และ 11 ของพอร์ตขนาน โดยขาเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นขาอินพุต ดังนั้นไอซีบัฟเฟอร์ที่นำมาต่อด้วยจะเป็นการรับสัญญาณอินพุตจากภายนอกและส่งสัญญาณไปให้กับพอร์ตขนาน ซึ่งตรงกันข้ามกับ 2 พอร์ตแรก โดยใช้ไอซีบัฟเฟอร์ที่ใช้ยังเป็นเบอร์ 74HC541 ส่วนอินพุตของพอร์ต Status จะต่อเชื่อมกับคอนเนกเตอร์ Status ซึ่งมีการจัดขาตามมาตรฐาน UIC – 10 เช่นกัน โดยใช้งานเพียง 5 ตำแหน่งเท่านั้นคือ S3 ,S4 ,S5 , S6 และ S7 โดยที่ขา S 7 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตให้กับบัส I^2C ด้วย โดยขาของพอร์ต Status ทั้งหมดหลังจากผ่านบัฟเฟอร์แล้วจะไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์ P- BUS

นอกเหนือจากนี้ P – BOARD ได้เตรียมคอนเน็กเตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับโมดูล LCD แบบอักขระขนาด 16 ตัวอักษร 1 หรือ 2 บรรทัดเอาไว้ โดยกำหนดโหมดการติดต่อกับโมดูล LCD เป็นแบบ 4 บิต ซึ่งได้สายสัญญาณ D4- D7 จากพอร์ต DATA จะต่อเข้ากับขา D4 – D7 ของโมดูล LCD ส่วนขา C0 ของพอร์ต Control จะต่อเข้ากับขา E ของโมดูล LCD ขา C3 ของพอร์ต Control จะต่อเข้ากับขา RS ของโมดูล LCD และเนื่องจากการติดต่อกับโมดูล LCD จะเป็นการเขียนข้อมูลไปอย่างเดียว ดังนั้นขา R/W ของโมดูล LCD จึงไม่ต้องใช้งานขานี้ ให้ต่อลงกราวด์ P – BOARD ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอกป้อนเข้ามาทางแจ็กอะเดปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านไดโอดซึ่งต่อกันในลักษณะบริดจ์เพื่อจัดขั้วของไฟเลี้ยงบน P-BOARD ใหม่จากนั้นจะส่งผ่านไปยังวงจรเรกกูเลเตอร์เพื่อแปลงแรงดันให้เท่ากับ +5V สำหรับเป็นไฟเลี้ยงอุปกรณ์บนบอร์ด และเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรต่อพ่วงต่างๆ ที่เชื่อมต่อกันผ่านคอนเน็กเตอร์ P-BUS , DATA BUS และบัส I^2C

สรุป

การติดต่อกับพอร์ตขนานเบื้องต้นนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้คำสั่งพื้นฐานใน Visual Basic มาช่วยในการติดต่อได้ และเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คำสั่งการทำงานทางลอจิกมีประโยชน์อย่างมากในการกำหนดข้อมูลในระดับบิต เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ

4.3 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง

โดยความสามารถพื้นฐานของพอร์ตขนานแล้ว ไม่สามารถนำไปขับอุปกรณ์เอาต์พุตโดยตรงได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความสามารถในการจ่ายกระแส ดังนั้นถ้าต้องการนำเอาพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ไปขับอุปกรณ์ภายนอก จะต้องมีวงจรบัฟเฟอร์ที่จ่ายกระแสให้เพียงพอแก่ความต้องการของอุปกรณ์เอาต์พุตนั้น อย่างไรก็ตามในส่วนของวงจรบัฟเฟอร์นั้นก็มีขีดความสามารถในการจ่ายกระแสได้ระดับหนึ่งเท่านั้น กรณีที่ต้องการจ่ายพลังงานสูงจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสสูงโดยเฉพาะเรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า อุปกรณ์ขับ หรือไดรเวอร์ (Driver) ซึ่งในที่นี้นำมาอธิบายทั้งสิ้น 3 รูปแบบ คือ ใช้ทรานซิสเตอร์ขับ , ใช้ไอซีขับ และใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง หรือออปโต้คัปเปอร์ (Opto – Coupler) สำหรับโหลดที่ต้องการกระแสสูงมากๆ ทำให้ต้องมีการแยกระบบกราวด์ของระบบคอมพิวเตอร์ออกจากวงจรเอาต์พุต เพื่อลดสัญญาณรบกวนและป้องกันการย้อนกลับของแรงดันและกระแสสูง ที่อาจเข้ามาทำความเสียหายแก่พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์

การใช้ทรานซิสเตอร์ขับ

มีด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ ใช้ขับแบบเดี่ยว, แบบดาสเคด และแบบดาร์ลิงตัน

การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบเดี่ยว

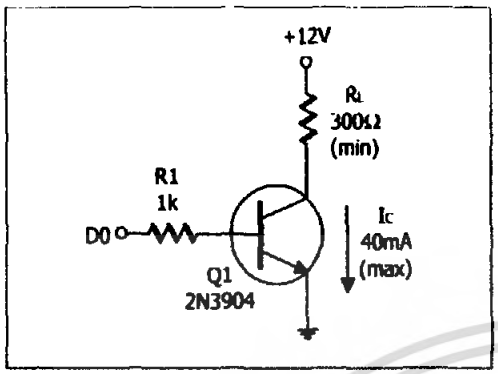
การขับโดยวิธีนี้เหมาะสมสำหรับโหลดที่มีความต้องการกระแสปานกลาง ตั้งแต่ 30 – 200 mA อาทิ รีเลย์กำลังต่ำไปจนถึงปานกลาง ที่มีค่าความต้านทานของขดลวดภายในรีเลย์ไม่ต่ำกว่า 100Ω, หลอดไฟกำลังต่ำ และมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็ก มีวงจรตัวอย่างตามรูปที่ 4-10

ในรูปที่ 4-10 เป็นการการต่อทรานซิสเตอร์เข้ากับขาพอร์ต DATA บิต D0 โดยมีตัวต้านทาน R1 ทำหน้าที่ที่จำกัดกระแสที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อบิต D0 มีสถานะลอจิกเป็น “1” เมื่อ Q1 ทำงาน ก็จะเกิดกระแสไหลผ่าน RL ซึ่งเป็นโหลดต่ออยู่ทางเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q1 กระแสโหลดสูงสุด (Ilmax) มีค่าเท่ากับ 12 V/300 Ω = 400 mA

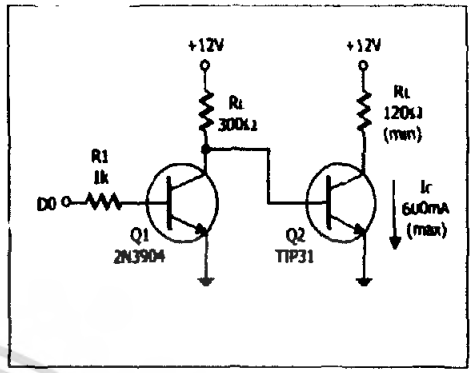
ถึงแม้ว่า Q1 เบอร์ 2N3904 มีค่ากระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุดถึง 100 mA แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่ควรที่จะออกแบบให้ทรานซิสเตอร์ทำงานถึงพิกัดสูงสุด ที่ย่านปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ควรอยู่ไม่เกินครึ่งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอัตราการทนได้สูงสุด ด้วยการจัดวงจรตามรูปที่ 4.10 สามารถใช้สัญญาณจากวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ตขนานกระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเพื่อขับรีเลย์ขนาดเล็กได้อย่างโปรดภัย



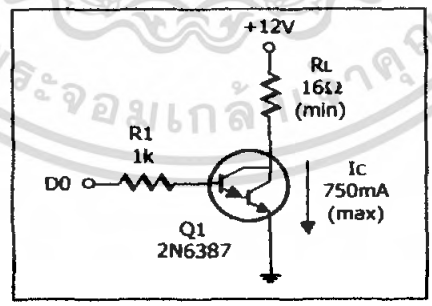
รูปที่4.10 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียว



รูปที่ 4.11 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบดาสเตอร์

4.3.1 การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบดาสเลด

เนื่องจากข้อจำกัดของทรานซิสเตอร์ขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถขับโหลดที่ต้องการกระแสสูงได้จึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีอัตราการทนทานกระแสคอลเล็กเตอร์ที่สูงขึ้นมาใช้ขับแต่ทรานซิสเตอร์ที่สามารถขับโหลดกำลังปานกลางไปจนถึงกำลังสูง จะมีความเร็วในการทำงานช้ากว่าทรานซิสเตอร์กำลังต่ำ ในระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการทำงานสูงเมื่อต้องการนำมาขับโหลดกำลังปานกลาง จึงต้องมีการใช้การขับแบบดาสเลดโดยให้คอมพิวเตอร์กระตุ้นทรานซิสเตอร์กำลังต่ำทำงานเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์กำลังปานกลางต่อไป ดังแสดงวงจรในรูปที่ 4.11



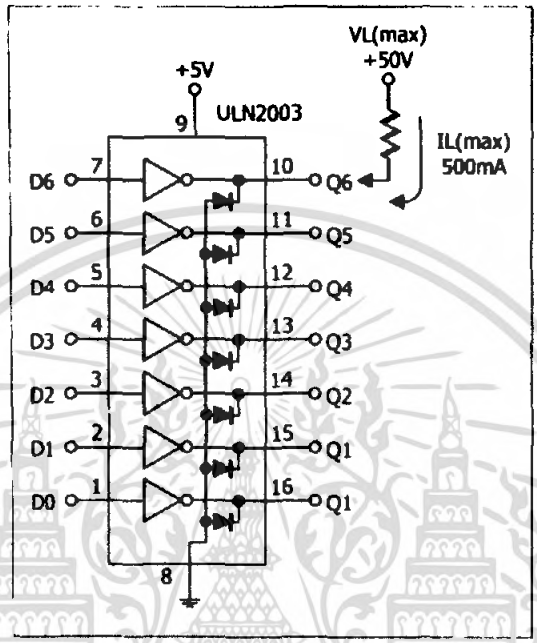
รูปที่ 4.12 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน

จากวงจรเมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานด้วยการป้อนลอจิก " 1 " ออกทางบิต D0 ของพอร์ต DATA จะเกิดกระแสไหลผ่าน R2 ไปเข้ายังเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อกระตุ้นให้ Q2 ทำงาน เกิดกระแสไหลผ่านโหลด RL มีค่าเท่ากับ 600 mA ทำให้สามารถนำไปขับมอเตอร์ไฟตรงหรือสเตปเปอร์มอเตอร์ขนาดเล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันขับโหลดกระแสสูง

จากการใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคาสเคดเพื่อเพิ่มความสามารถในการขับกระแสให้สูงขึ้นนำมาสู่การใช้ทรานซิสเตอร์อีกแบบหนึ่งที่บรรจุทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตัน ภายใต้ตัวถังเดียวกัน ทำให้สามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงและมีความเร็วในการทำงานสูงด้วยโดยใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียว ส่งผลให้ขนาดของวงจรเล็กลง ดังแสดงวงจรตามรูปที่ 4-12



รูปที่ 4.13 การจัดขาของไอซีเบอร์ ULN2003

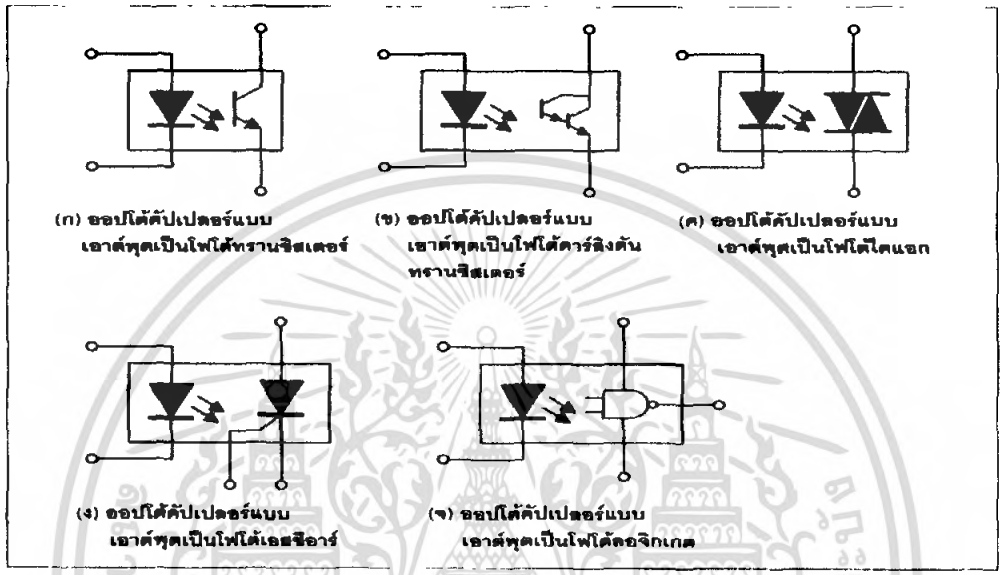
จากวงจรทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงถึง 750 mA ด้วยการต่อเข้ากับขาพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแสเพียงตัวเดียว และไม่ต้องต่อทรานซิสเตอร์แบบคาสเคด ทำให้มีความเร็วในการทำงานสูง ตลอดจนยังสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงพอสมควร ไอซีที่ใช้ในการขับโหลดกระแสสูงมักมีวงจรทางเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ทำให้สามารถใช้กับแรงดันไม่ต่ำกว่า 30 V ขึ้นอยู่กับไอซีในแต่ละเบอร์ สำหรับไอซีขับหรือไอซีไดรเวอร์ที่ยกมาอธิบายคือเบอร์ ULN2003 เป็นไอซีอินเวอร์เตอร์ไดรเวอร์ ภายในบรรจุอินเวอร์เตอร์เกต 7 ตัว สำหรับรายละเอียดของ ULN2003 มีดังนี้

ULN2003 มีรูปแบบการจัดขาและวงจรภายในแสดงในรูปที่ 3-4 ภายใน ULN2003 บรรจุอินเวอร์เตอร์เกตแบบคอลเล็กเตอร์เปิด 7 ตัว สามารถใช้กับแรงดันได้สูงสุด +50V กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 mA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟด้วย นอกจากนั้นยังต่อไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับ จากอุปกรณ์เอาต์พุตที่มีโครงสร้างเป็นขดลวดไว้ที่ทุกขาเอาท์พุต ทำให้สามารถขับโหลดที่เป็นขดลวด อาทิ รีเลย์ หรือมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การขับโหลดโดยใช้ออปโต้คัปเปลอร์

ในงานที่ต้องการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมโหลดที่ต้องการแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงมาก ๆ หรือเป็นโหลดทางไฟสลับ หากใช้พอร์ตขนานเข้าไปควบคุมโดยตรงอาจส่งผลเสียต่อระบบคอมพิวเตอร์ได้ เนื่องจากที่โหลดกำลังไฟฟ้าสูงนั้นเมื่อเริ่มต้นสิ้นสุดการทำงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและกระแสไฟฟ้าอย่างมากและรวดเร็ว ซึ่งอาจทำอันตรายต่อระบบคอมพิวเตอร์ได้หรือในการนำคอมพิวเตอร์ไปควบคุม



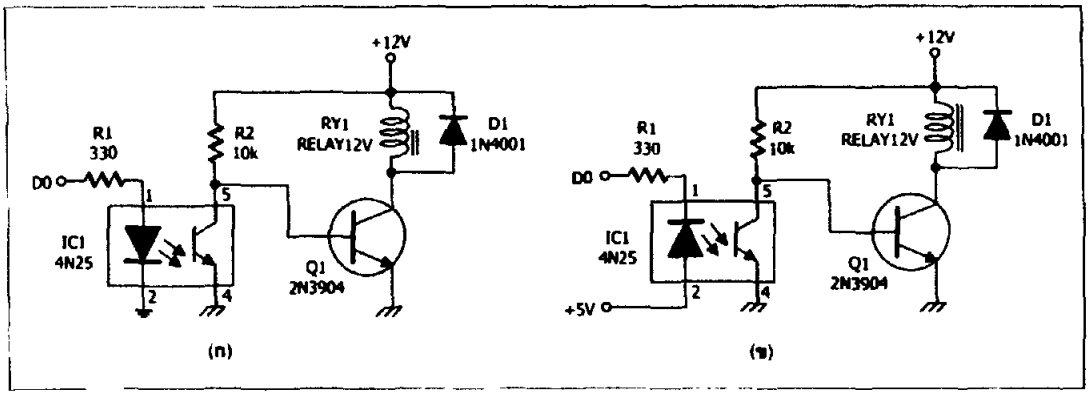
รูปที่ 4.14 สัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์ในแบบต่างๆ

โหลดที่ไวต่อสัญญาณรบกวน อาจไม่สามารถใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของโหลดประเภทนี้ได้ ทำให้การขับโหลดเหล่านี้จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ขับอีกแบบหนึ่งที่สามารถแยกระบบกราวด์ทางไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์ออกจากโหลดได้ ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้ากระชากหรือทรานเซียนต์ (Transient) และโหลดที่ไวต่อสัญญาณรบกวนก็สามารถร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ อุปกรณ์ขับตัวนี้คือ อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง หรือ ออปโต้คัปเปลอร์ (Optp – Couple)

ออปโต้คัปเปลอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีการแบ่งส่วนอินพุตและเอาต์ออกจากกันทางไฟฟ้าอย่างสิ้นเชิง การถ่ายทอดสัญญาณระหว่างส่วนอินพุตและเอาต์พุต จะใช้การเชื่อมโยงทางแสงเท่านั้น ทำให้กราวด์ของอินพุตและเอาต์พุตไม่เชื่อมต่อกัน ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้ทางอินพุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรทางเอาต์พุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับได้

ภาคอินพุตของออปโต้คัปเปลอร์โดยส่วนใหญ่จะเป็น LED อินฟราเรด ส่วนภาคเอาต์พุตจะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเมื่อมีแสงมาตกกระทบ เช่น โฟโต้ทรานซิสเตอร์, โฟโต้ดาร์ลิงตัน, โฟโต้ลอจิก และโฟโต้ไดแอกหรือโฟโต้ไทริสเตอร์ ดังแสดงสัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์แบบต่าง ๆ ในรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.15 (ก) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิค "1"
(ข) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิก "0"

การทำงานจะเริ่มต้นด้วยการจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้แก่ LED อินฟราเรดภายในออปโต้คัปเปลอร์ เมื่อ LED นำกระแส ก็จะกำเนิดแสงอินฟราเรดส่องไปตกกระทบที่ขาเบสของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (ในกรณีที่ภาคเอาต์พุตเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์หรือโฟโต้ดาร์ลิงตัน) ทำให้โฟโต้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเกิดกระแสไหลผ่านจากขาคอลเล็กเตอร์มายังอิมิเตอร์ โดยแหล่งจ่ายแรงดันทางเอาต์พุตสามารถที่จะใช้แยกกับทางอินพุตได้อย่างอิสระไม่ต้องต่อกราวด์ถึงกัน จึงสามารถต่อกับแหล่งกำเนิดแรงดันสูงหรือแหล่งกำเนิดไฟสลับได้ โดยไม่มีการรบกวนย้อนกลับมาทางอินพุตอย่างเด็ดขาด และยังสามารถป้องกันการรบกวนจากอินพุตโดยผ่านทางสายกราวด์ได้ด้วย

ในรูปที่ 4.15 เป็นวงจรตัวอย่างของการนำพอร์ตขนานขับออปโต้คัปเปลอร์เพื่อทำการขับโหลดรีเลย์กำลังไฟฟ้าสูง จะเห็นได้ว่าการใช้คอมพิวเตอร์กระตุ้นให้ออปโต้คัปเปลอร์ทำงานสามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ ใช้ลอจิก "1" ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ก) และใช้ลอจิก "0" ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ข)

ข้อควรจำในการใช้พอร์ตขนานร่วมกับออปโต้คัปเปลอร์ จะต้องต่อตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED ทางส่วนอินพุตของออปโต้คัปเปลอร์ด้วยเสมอ กระแสทางอินพุตสูงสุดไม่ควรมากกว่า 15 mA

4.4 การติดต่อพอร์ตขนานกับระบบบัสแบบ I^2C

I^2C ย่อมาจาก Inter – IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I^2C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียงสองเส้น เส้นที่หนึ่งคือสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Data Line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock Line) ในการอธิบายต่อไปนี้เรียกสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDA และ SCL

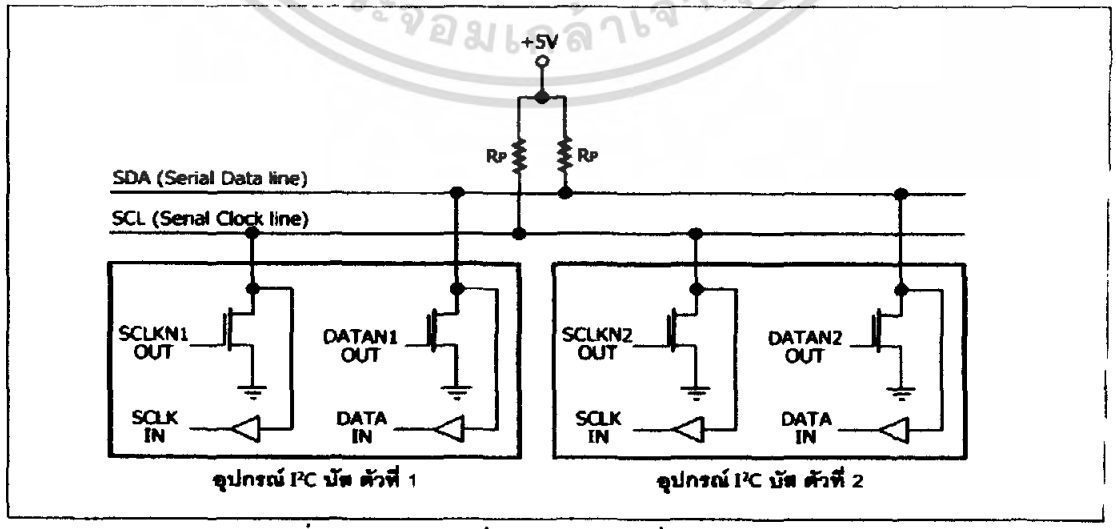
4.4.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi – direction line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (open – drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open – collector) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4-20

อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 แบบคือ 7บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10 – bit addressing)

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I^2C คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอุปกรณ์บัส I^2C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การติดต่อร่วมกันบนบัส I^2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และSCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกันและต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป (Rp) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้ด้วยเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.17

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I^2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า RS ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C ดังแสดงในรูปที่ 4.18

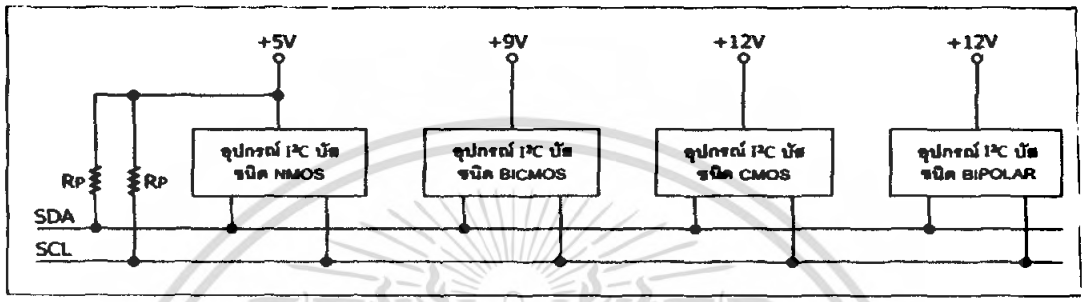


รูปที่ 4.16 วงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C

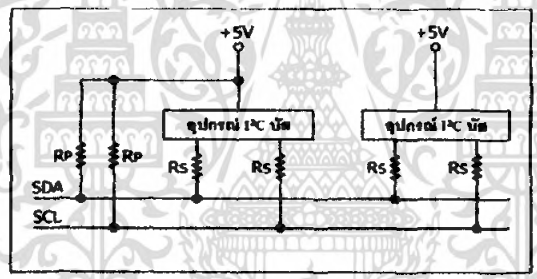
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 หลักการของบัส I^2C

บัส I^2C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือ เรียกว่า โปรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I^2C ต่อไป



รูปที่ 4.17การต่อพ่วงอุปกรณ์ระบบบัส I^2C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.18 การต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขาสัญญาณของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C เพื่อลดสัญญาณรบกวน

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูลเรียกว่า ตัวส่ง (transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูลเรียกว่า ตัวรับ (receiver) ในอุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

1. การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

2. ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจำได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

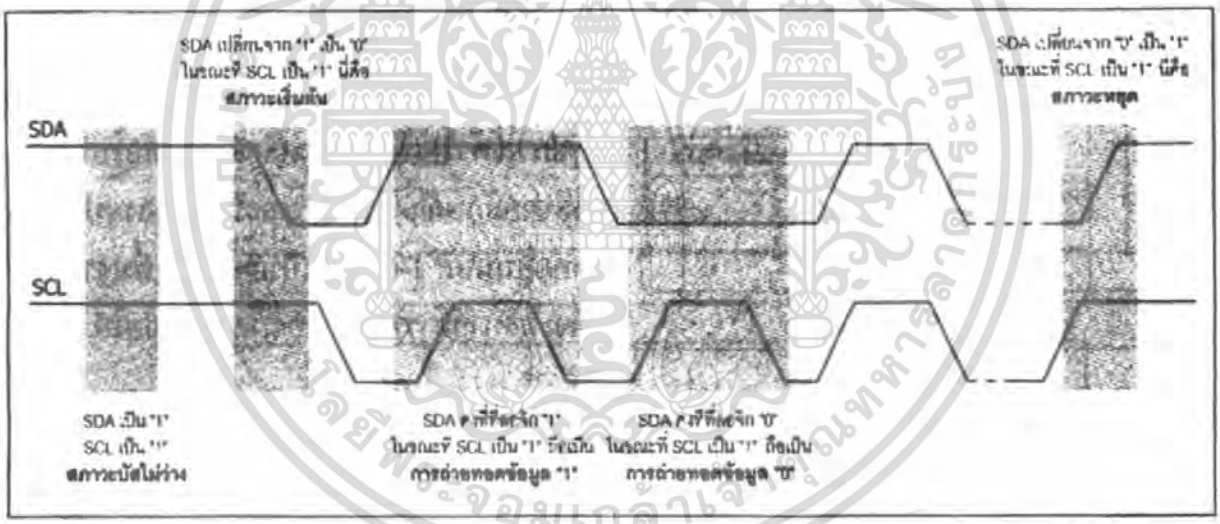
สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

1. บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสภาวะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2. เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

3. หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงเรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

4. ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น "0" หรือ "1" ข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น



รูปที่4.19 ไดอะแกรมแสดงสถานะต่างๆ บนบัส I^2C

อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

5. รับข้อมูล(acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกหลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

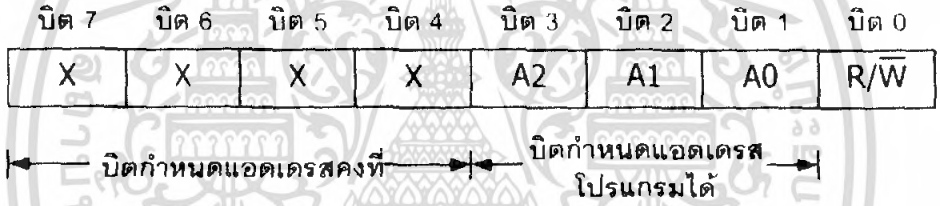
อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังหรือกำลังติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบ ว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

ในรูปที่ 4.19 เป็นไดอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสภาวะต่างๆ บนบัส I^2C ไม่ว่าจะเป็นสภาวะบัสว่าง, เริ่มต้น, ถ่ายทอดข้อมูล, รับรู้ และหยุดการถ่ายทอดข้อมูล

4.4.3 การทำงานบนบัส I^2C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างอิงถึงเสียก่อน โดยการอ้างอิงถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มากใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

ดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัส I^2C คือการอ้างอิงถึงอุปกรณ์แต่ละตัว ต่อไปนี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างอิงทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 4.20 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนบัส I^2C

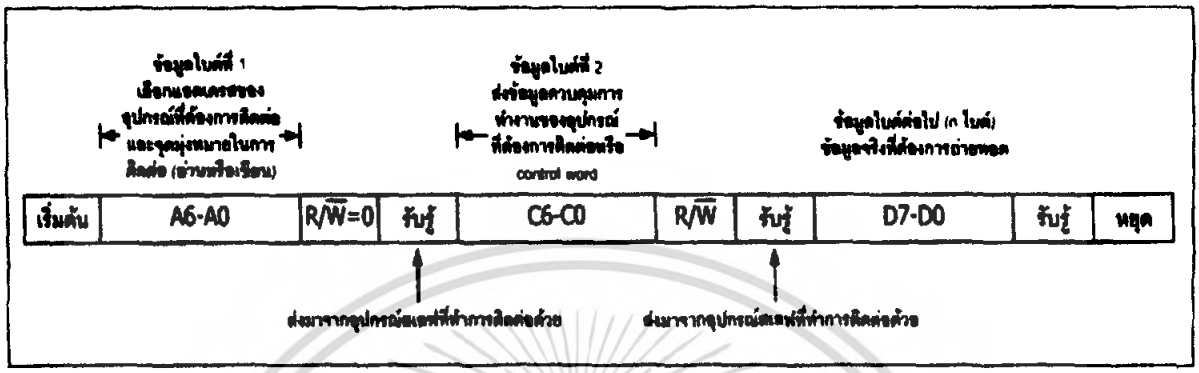
4.4.4 การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต (7 –bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อหรือข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 4.20 ใน 7 บิต บนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (Fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0 – A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

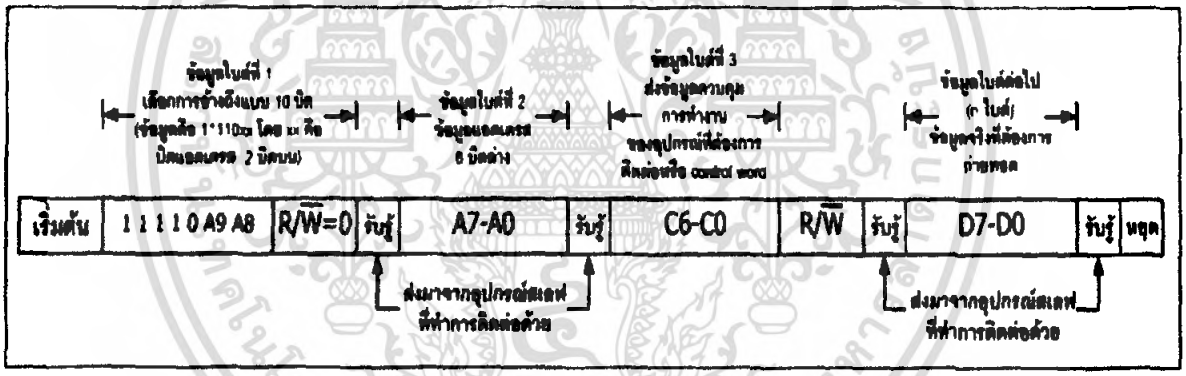
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (Control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่าบิตใดเป็นอินพุตบิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์ที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลยังคงสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 4.21 แสดงรูปแบบข้อมูลที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I^2C ของการอ้างถึงแบบ 7 บิต



รูปที่ 4.21 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของบัส I^2C



รูปที่ 4.22 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 10 บิตของระบบบัส I^2C

4.4.5 การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลักจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 1110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

เช่นเดียวกับการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้นเพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 4.22 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมแบบบัส I^2C

ในปัจจุบันบัส I^2C ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยข้อดีที่ชัดเจนคือ ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น และการขยายระบบควบคุมที่มีจำนวนอินพุตเอาต์พุตและหน่วยความจำจำกัดสามารถทำได้ง่ายขึ้นด้วยระบบบัส I^2C เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีอุปกรณ์ต่อร่วมที่ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I^2C เกิดขึ้นมากมายหลายผู้ผลิต ดังมีตัวอย่างต่อไปนี้

ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O expander) : PCF8574 , PCF8582 , PCF8584

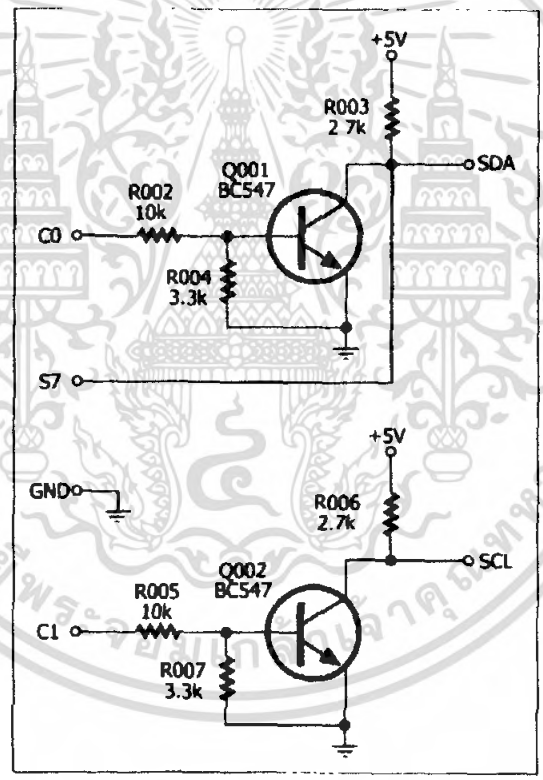
ไอซีหน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรม (Serial EEPROM) : 24Cxx , PCF8570 , PCF72/73 , PCF8582

ไอซี ADC/DAC : PCF8591

ไอซี รีลไทม์ล็อก (Real – time clock : RTC) : PCF8583 , PCF8593 , PCF 8598 , 41T56c

ไอซีขับ LCD โมดูล (LCD driver) : PCF8466 , PCF8577/78 , PCF8579

ไอซีกำเนิดสัญญาณ DTMF (generator) : PCD3311/12



รูปที่ 4.23 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C ของ p-board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

การต่ออุปกรณ์ระบบบัส I^2C กับพอร์ตขนานผ่าน P- Board

เพื่อให้สายสัญญาณของพอร์ตขนานสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นบัส I^2C จะต้องสร้างวงจรเชื่อมต่อขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อให้เอาต์พุตที่จะติดต่อด้วยเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด

ทรานซิสเตอร์ Q_{001} และ Q_{002} ได้รับการจัดวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาต์พุตของบัส I^2C โดย Q_{001} ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสายสัญญาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

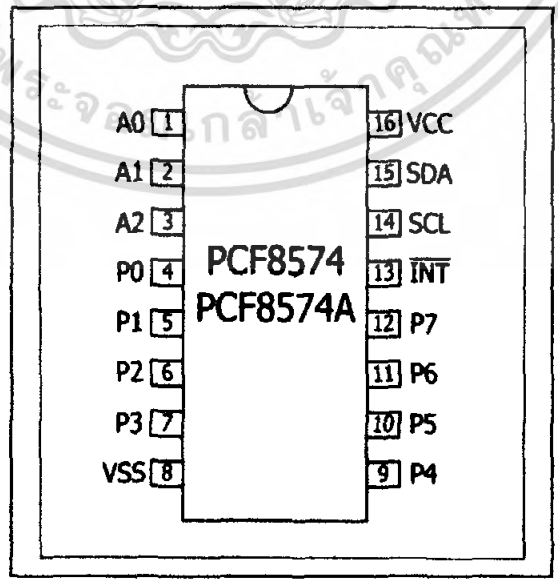
SDA ในขณะที่ Q_{002} ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณของสาย SCL ไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5 V จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ NPN แบบมาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ ที่สามารถตอบสนองความถี่สูงสุดถึง 100 KHz

4.5 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย PCF8574 และ PCF8574A

สำหรับการใช้งานอินพุตเอาต์พุตจำนวนมากนั้น ขาของพอร์ตขนานมีจำนวนไม่มากพอที่จะนำไปใช้ในการควบคุมโดยตรง จึงจำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมเพื่อขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ไอซีขยายพอร์ตผ่านระบบบัส I^2C เบอร์ PCF8574 และPCF8574A ที่สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้ตัวละ 8 ช่อง และสามารถต่อพ่วงกันได้มากถึง 8 ตัว ทำให้สามารถต่อพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 64 ช่อง จึงถูกเลือกมาใช้ โดย PCF8574 และPCF8574A มีการทำงานเหมือนกันทุกประการ ต่างกันเพียงข้อมูลแอดเดรสประจำตัวเท่านั้น

ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8574 และ PCF8574A มีดังนี้

1. ทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 2.5 V ถึง 6 V
2. กินกระแสในสภาวะสแตนด์บายต่ำเพียง 10 μA
3. ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I^2C
4. มีเอาท์พุตอินเวอร์เตอร์รัปต์แบบเดรนเปิด
5. เอาต์พุตสามารถแลตช์ค่าได้ ขับกระแสได้ 100 μA ถ้าต้องการขับ LED โดยตรงต้องต่อตัวต้านพูลอัปค่า 4.7 kΩ -10 kΩ เข้าที่ขาที่กำหนดให้เป็นเอาต์พุต
6. สามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของไอซีทางฮาร์ดแวร์ด้วยขา A0- A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ถึง 8 ตัว



รูปที่ 4.24 การจัดขาของ PCF8574/8574a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดขาของไอซี PCF8574/8574A แสดงในรูปที่ 4.24 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาในตารางที่ 4.3 ขาพอร์ตทั้ง 8 ขาของ PCF8574A สามารถกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระ ลักษณะวงจรภายในของพอร์ตอินพุตสแสดงในรูปที่ 4.25 เมื่อจ่ายไฟให้กับ PCF8574 และ PCF8574A ครั้งแรกขาพอร์ตทั้ง 8 ขามีลอจิก "1" ซึ่งจะเป็นการจ่ายกระแสมาจากแหล่งจ่ายกระแสคงที่ภายในตัวไอซี ทำให้มีกระแสในขณะลอจิก "1" นี้เพียง 100μAเท่านั้น ในกรณีที่ต้องการให้มีการจ่ายกระแสสูงๆ จำเป็นต้องต่อตัว

ด้านทานพูลอัปเอาไว้ที่ขาพอร์ตเหล่านี้ด้วยเมื่อต้องการให้ขาพอร์ตเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นอินพุตจะต้องส่งสัญญาณให้ขาเหล่านี้มีลอจิก "1" เสียก่อน เมื่อขาอินพุตได้รับสัญญาณจากภายนอกป้อนเข้ามา ไอซี PCF8574A จะสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ (INT) ป้อนให้คอมพิวเตอร์รับรู้แทนการต้องคอยตรวจสอบขาอินพุตตลอดเวลา สัญญาณอินเตอร์รัปนี้จะถูกรีเซตเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลหรือมีการเปลี่ยนค่าอินพุตไปสู่ค่าเดิม

ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
A0	1	อินพุตแอดเดรสตัวที่ 1
A1	2	อินพุตแอดเดรสตัวที่ 2
A2	3	อินพุตแอดเดรสตัวที่ 3
P0	4	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 0
P1	5	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 1
P2	6	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 2
P3	7	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 3
VSS	8	กราวด์
P4	9	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 4
P5	10	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 5
P6	11	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 6
P7	12	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 7
INT	13	ขาเอาต์พุตอินเตอร์รัปต์(ทำงานที่ลอจิก 0)
SCL	14	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I2C บัส
SDA	15	ขาข้อมูลสำหรับ I2C บัส
VDD	16	ไฟเลี้ยง

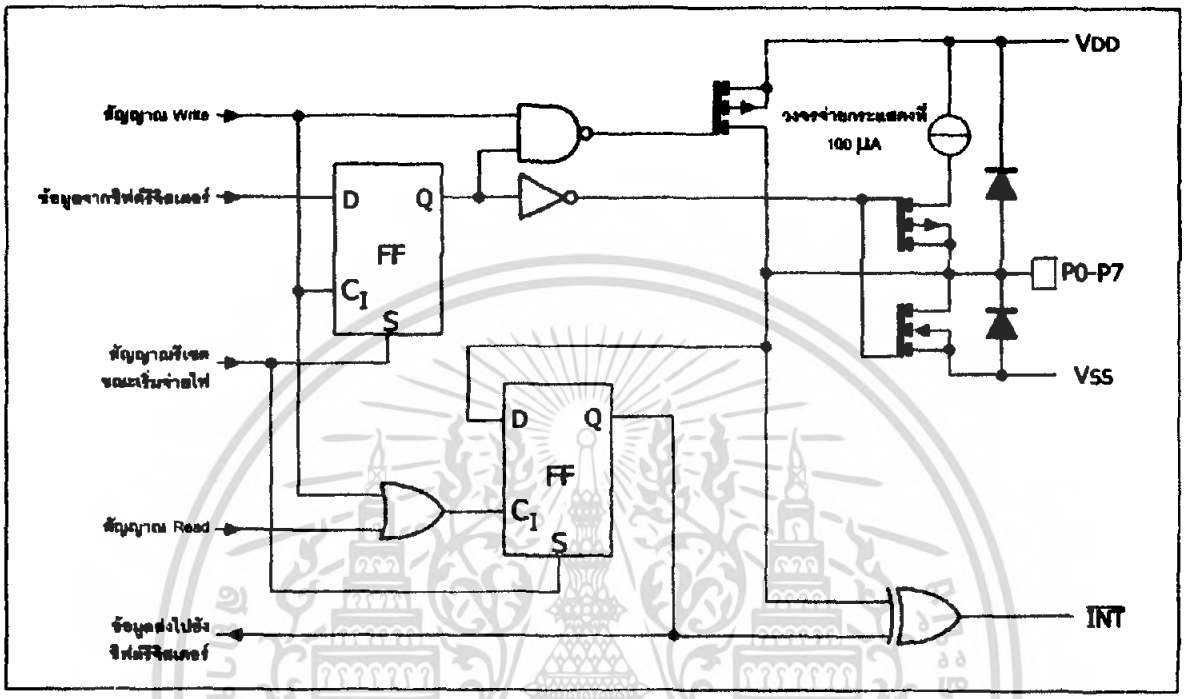
ตารางที่ 4.3 แสดงหน้าที่ของขาการใช้งานไอซีเบอร์ PCF8574/8574A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 การเขียนโปรแกรมควบคุม

PCF8574A ด้วย Visual Basic

เนื่องจาก PCF8574 และ PCF8574A มีการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I^2C ดังนั้นการติดต่อจึงต้องอ้างถึงโปรแกรมย่อยดังที่กล่าวไปแล้วในตอนต้น โดยจะต้องส่งข้อมูลแอดเดรสเพื่อติดต่อกับ PCF8574A ดังนี้



รูปที่ 4.25 รายละเอียดวงจรขาพอร์ตของไอซี PCF8574/8574A

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	1	1	1	A2	A1	A0	R/$\overline{W}$

ในกรณีติดต่อกับ PCF8574 ต้องส่งข้อมูลดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	1	0	0	A2	A1	A0	R/$\overline{W}$

บิต A0, A1, A2ใช้ในการระบุ PCF8574A ที่ใช้บนบอร์ดในกรณีที่มีการติดต่อ PCF8574 มากกว่า 1 ตัว โดยค่าของ A0- A2 จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละตัว

บิต R/W ใช้กำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซี PCF8574

จากการกำหนดแอดเดรส A0 –A2 จะให้สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 128 จุด โดยการใช้ PCF8574 ร่วมกับ PCF8574A

4.6 การเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกพอร์ตขนานผ่านระบบบัส I^2C

ปกติแล้วข้อมูลในการติดต่อกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์นั้น จะเป็นสัญญาณดิจิตอลทั้งสิ้น แต่เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ย่อมต้องเชื่อมต่อและประมวลผลกับสัญญาณอะนาลอกด้วย ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

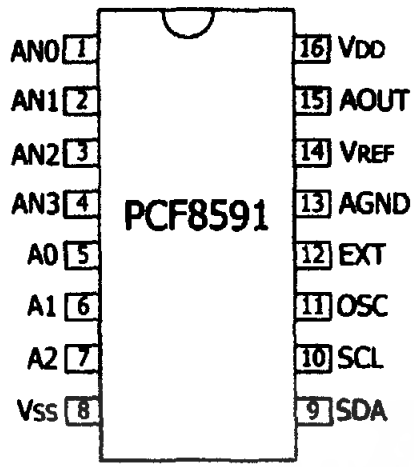
การเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกต้องใช้ไอซีพิเศษ ที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล หรือที่เรียกว่า ADC (Analog to Digital Converter) ในบทนี้จะเป็นการแนะนำและเรียนรู้เพื่อใช้งานไอซี ADC เชื่อมต่อกับพอร์ตขนาน เพื่อให้พอร์ตสามารถอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกจากภายนอกเข้ามาประมวลผลได้ โดยไอซี ADC ที่ใช้เบอร์ PCF8591 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C

4.6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

PCF8591 เป็นไอซีทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกในตัวเดียวกัน เป็นผลงานของฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ ผู้พัฒนาระบบบัส I^2C นั่นเองด้วยความสามารถที่รวมเอาวงจร ADC และ ADC เข้าไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ทำให้สามารถนำ PCF8591 ไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ PCF8591 มีดังนี้

1. ทำงานด้วยความละเอียดของข้อมูลดิจิตอลขนาด 8บิต
2. มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 8 บิต 4 ช่อง
3. มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก (DAC) ขนาด 8 บิต 1 ช่อง
4. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ตั้งแต่ 2.56 V
5. กินกระแสไฟฟ้าขณะอยู่ในสภาวะสแตนบายค์ต่ำ
6. ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
7. สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว จึงขยายจำนวนช่องอินพุตของสัญญาณอะนาลอกได้สูงถึง 32 ช่อง และช่อง เอาต์พุตของสัญญาณอะนาลอกจากวงจร DAC สูงถึง 8 ช่อง
8. อัตราการสุ่มข้อมูล (SAMPING) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C
9. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (DAC) สามารถเลือกการทำงานเป็นแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลได้ ในกรณีที่กำหนดเป็นดิฟเฟอเรนเชียล จำนวนช่องอินพุตจะลดลงเหลือ 2 ช่อง
10. การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
11. สามารถรับสัญญาณอะนาลอกระดับแรงดันตั้งแต่ VSS ไปจนถึง VDD
12. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
AN0	1	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 1
AN1	2	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 2
AN2	3	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 3
AN3	4	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 4
A0	5	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 0
A1	6	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 1
A2	7	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 2
VSS	8	กราวด์
SDA	9	ขาข้อมูลสำหรับ I2C บัส
SCL	10	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I2C บัส
OSC	11	ขาอินพุตเอาต์พุตออสซิลเลเตอร์
EXT	12	ขาเลือกออสซิลเลเตอร์ภายในหรือภายนอก
AGND	13	กราวด์อะนาลอก
VREF	14	ขาอินพุตสำหรับแรงดันอ้างอิง
AOUT	15	ขาอะนาลอกเอาต์พุต(วงจร D/A)
VDD	16	ไฟเลี้ยง

รูปที่ 4.26 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่องและทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2 การจัดขาและรายละเอียดตำแหน่งขาของ PCF8591 แสดงในรูปที่ 4.26

4.6.2 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆ ของ PCF8591

ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าของแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการ ติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เป็น 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น

ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 4.27

บิต6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับหาอีนาเบิลขาอะนาลอกเอาต์พุต เมื่อต้องการการอีนาเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591อย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น

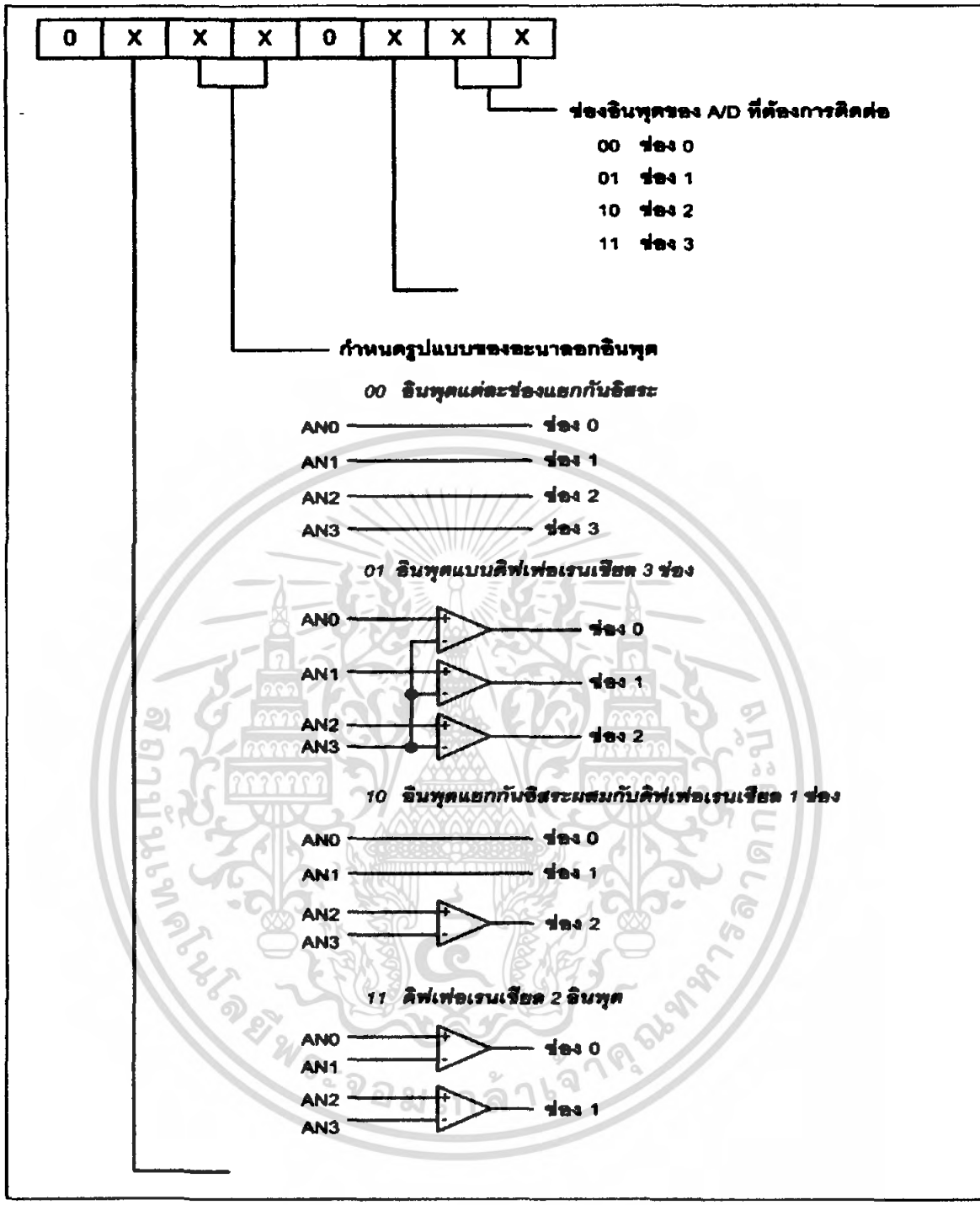
บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และบิต 1ใช้สำหรับกำหนดช่องอินพุตอะนาลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” และบิต “1” แล้วในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่าง ๆ ข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น “0”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

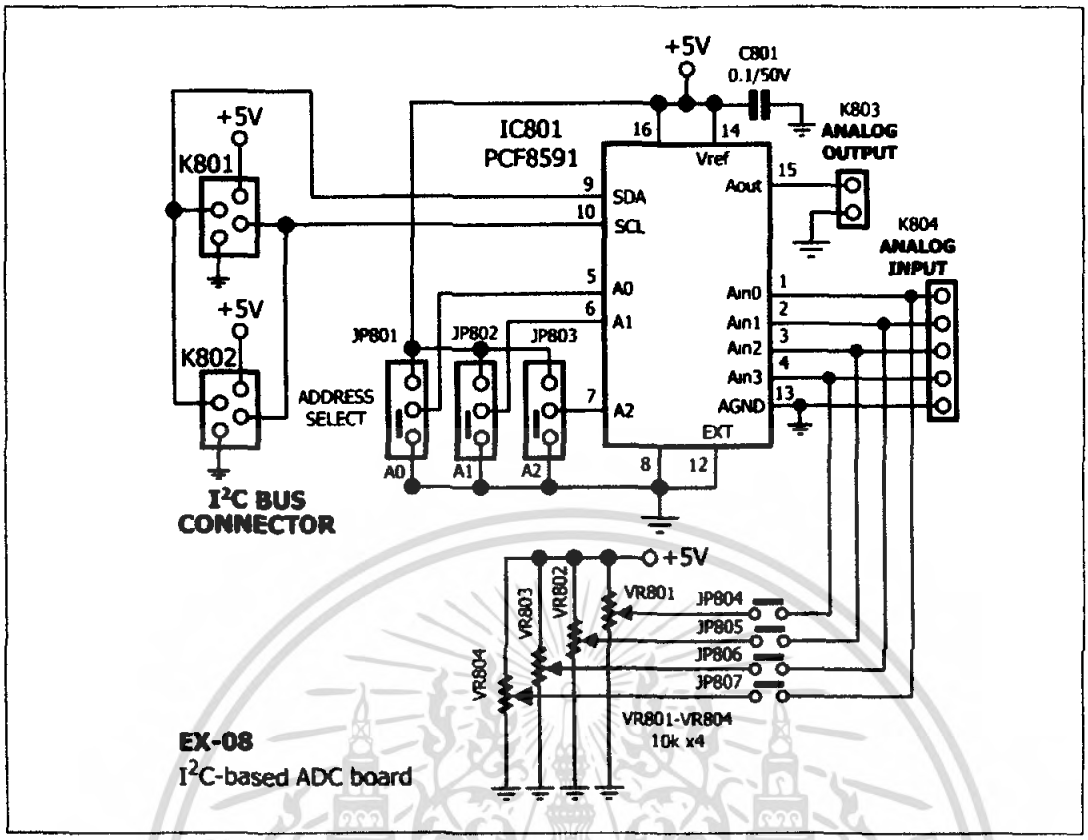


รูปที่ 4.27 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591

ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออกสซิลเลเตอร์ภายในขา EXT ต้องต่อกราวด์ ถ้าต้องการการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 วงจรสมบูรณ์ของ EX – 08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C

4.7.3 บอร์ด EX –08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C

บอร์ด EX – 08 มีวงจรแสดงในรูปที่ 4-32 บนบอร์ดมีไอซี PCF8591 ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ได้ตามต้องการผ่านจั๊มเปอร์ JP801 – JP803 โดยปกติถ้าใช้ PCF8591 เพียงตัวเดียวมักจะกำหนดค่าแอดเดรสเอาไว้เท่ากับ 000 การเชื่อมต่ออร์ด EX – 08 กับ P- BOARD จะใช้การเชื่อมต่อผ่านแจ็กโทรศัพท์เช่นเดียวกับบอร์ด EX –07 และสามารถต่อพ่วงบอร์ดร่วมกันได้มากถึง 8 บอร์ดจากการกำหนดแอดเดรสของแต่ละบอร์ดคนและตำแหน่งกัน อินพุตอะนาลอกที่ป้อนไปยัง PCF8591 มีทั้งหมด 4 จุดด้วยกัน ผู้ใช้งานสามารถเลือกการป้อนอินพุตอะนาลอก 0-5 V จากภายนอกหรือใช้การป้อนจากตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งใช้สำหรับปรับค่าแรงดันระหว่าง 0-5 V จากแหล่งจ่ายไฟภายในบอร์ด โดยการเลือกการอ่านค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้หรือจากภายนอกนั้นมาจากจั๊มเปอร์ JP704 – JP707 บนตัวบอร์ด

นอกจากนี้ PCF8591 ยังมีเอาต์พุตแบบอะนาลอกอีก 1 จุดเพื่อส่งแรงดันเอาต์พุตออกไปโดยค่าแรงดันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0-5 V ขึ้นอยู่กับการส่งข้อมูลมาควบคุมบอร์ด EX-08 แหล่งจ่ายไฟที่ใช้เลี้ยงบอร์ด EX –08 จะมาจากระบบบัส I^2C ซึ่งเป็นแจ็กโมดูล่าร์ 4 ขา เช่นเดียวกับบอร์ด EX-0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลสัญญาณอนาลอกเชิงเส้น

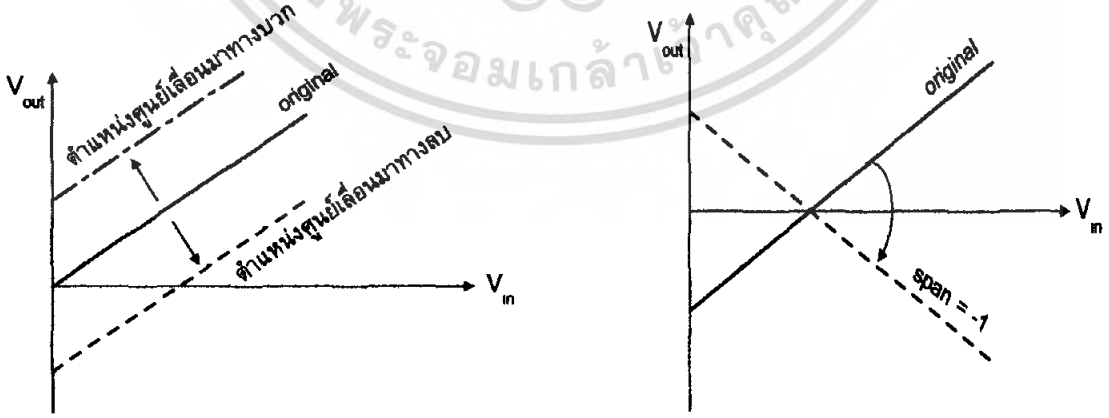
วงจรออปแอมป์แบบต่างๆ ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานด้านการประมวลผลสัญญาณอนาลอก (analog signal processing) ลักษณะต่างๆ เช่น ในระบบเครื่องมือวัด ระบบควบคุมค่ากระบวนการ หรือในระบบสื่อสารทั่วๆ ไป เป็นต้น ซึ่งโครงงานนี้ก็ได้นำวงจรออปแอมป์มาใช้ด้วยโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาท์พุทของวงจรเป็นไปตามคุณสมบัติของความเป็นเชิงเส้น (linear op-amp circuit) วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์เป็นวงจรที่มีความสำคัญวงจรหนึ่งในระบบเครื่องมือวัดและคุมค่ากระบวนการโดยทำหน้าที่ส่งผ่าน (transmission) และปรับแต่งสัญญาณ (signal conditioner) ระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับอินพุทให้มีความสัมพันธ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบต้องการ ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความชัน (slope) และปรับตำแหน่งศูนย์ (zero) ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับสัญญาณอินพุท ดังแสดงในกราฟคุณสมบัติรูปที่2.1

วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์และกราฟคุณสมบัติระหว่างแรงดันเอาท์พุท V_{out} กับแรงดันอินพุท V_{in} ของวงจร แสดงได้ดังรูปที่ 4.29 ซึ่งประกอบด้วยวงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier) A1 และวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier) A2 ที่มีอัตราขยายเป็น -1 ดังนั้นแรงดันเอาท์พุทของ A1 มีค่าเท่ากับ

$$V_{01} = -\left(\frac{R_f}{R_i}V_{in} + \frac{R_f}{R_{os}}V\right) \qquad (4.1)$$

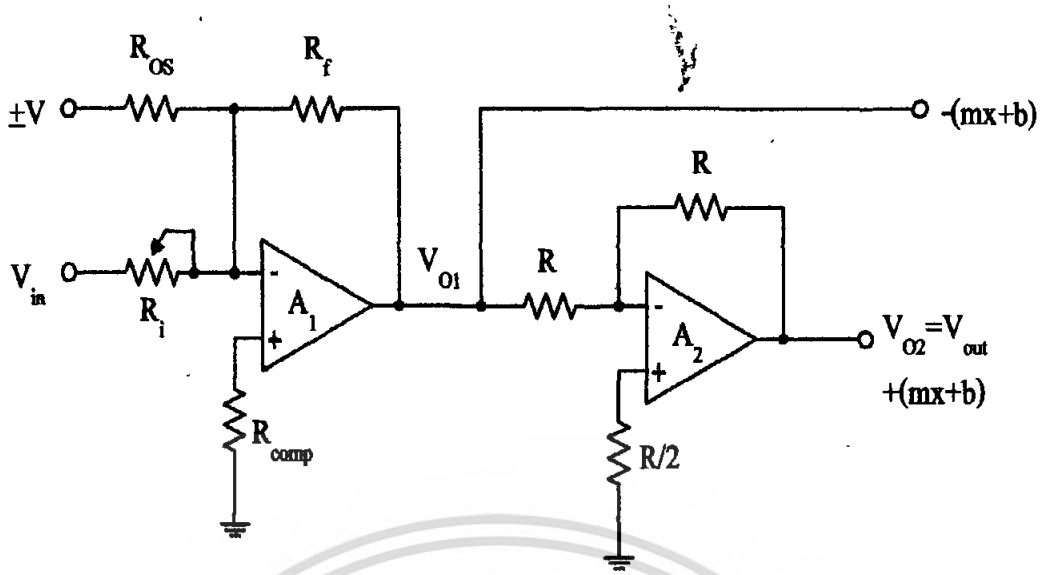
จากนั้นสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จาก A1 จะถูกป้อนให้เป็นสัญญาณอินพุทให้กับ A2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับ-1 ทำให้แรงดันเอาท์พุทของ A2 ได้เท่ากับ

$$V_{out} = V_{02} = (-1)V_{01} = \left(\frac{R_f}{R_i}V_{in} + \frac{R_f}{R_{os}}V\right) \qquad (4.2)$$



รูปที่ 4.29 ผลของการปรับความชัน (span) และตำแหน่งศูนย์ (zero)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงวงจรปรับความชันและตำแหน่งศูนย์

สมการที่ (4.2) แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง V_{out} กับ V_{in} ของวงจรนั้นอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง และจากรูปแบบทั่วไปของสมการเส้นตรง

$$y = mx + b \tag{4.3}$$

ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสมการที่(4.2) กับสมการที่ (4.3) แล้วจะได้ว่า

$$m = \frac{R_f}{R_i}$$ คือค่าความชันของกราฟหรืออัตราขยายของวงจร (4.4ก)

และ $$b = \frac{R_f}{R_{os}}(\pm V)$$ คือจุดตัดแกน y ของกราฟ หรือตำแหน่งศูนย์ (4.4ข)

นั่นคือการปรับค่าความชันสามารถทำการปรับแต่งได้จากค่าความต้านทาน R_f กับ R_i ของวงจร ในขณะที่ตำแหน่งศูนย์ของกราฟความสัมพันธ์จะปรับค่าได้ที่ค่าความต้านทาน R_{os} หรือแรงดันอ้างอิง $\pm V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
แนวคิดของโปรแกรมควบคุมอีเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว

5.1 โครงสร้างของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

5.1.1 ส่วนการรับสัญญาณอะนาลอก (Analog) จากภายนอก

ในส่วนนี้ใช้บอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งเป็นตัวจับสัญญาณที่เข้ามาจากภายนอก โดยสัญญาณที่รับเข้ามาจากภายนอก ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอกจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อที่คอมพิวเตอร์สามารถนำค่าสัญญาณมาใช้ในการประมวลผล ทั้งนี้เพื่อที่จะปรับตำแหน่งการหมุนของสเต็ปมอเตอร์เพื่อที่จะเพิ่มหรือลดปริมาณการจ่ายน้ำยาสารทำความเย็น

5.1.2 ส่วนการประมวลผลข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลเบื้องต้นจากส่วนการรับสัญญาณอะนาลอกแล้ว ในส่วนประมวลผลจะนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าใน DATABASE และคำนวณหาผลต่างเพื่อกำหนดการทำงานทางด้านควบคุมต่อไป

5.1.3 ส่วนการส่งสัญญาณควบคุม

สำหรับการส่งสัญญาณนั้นจะเป็นสัญญาณแบบ 8 บิต ซึ่ง 1 บิตก็คือสวิตช์ 1 ตัวซึ่งเราใช้สวิตช์ทั้งหมด 4 ตัวนั่นก็คือส่งสัญญาณออก

5.1.4 ลักษณะของโปรแกรมควบคุม

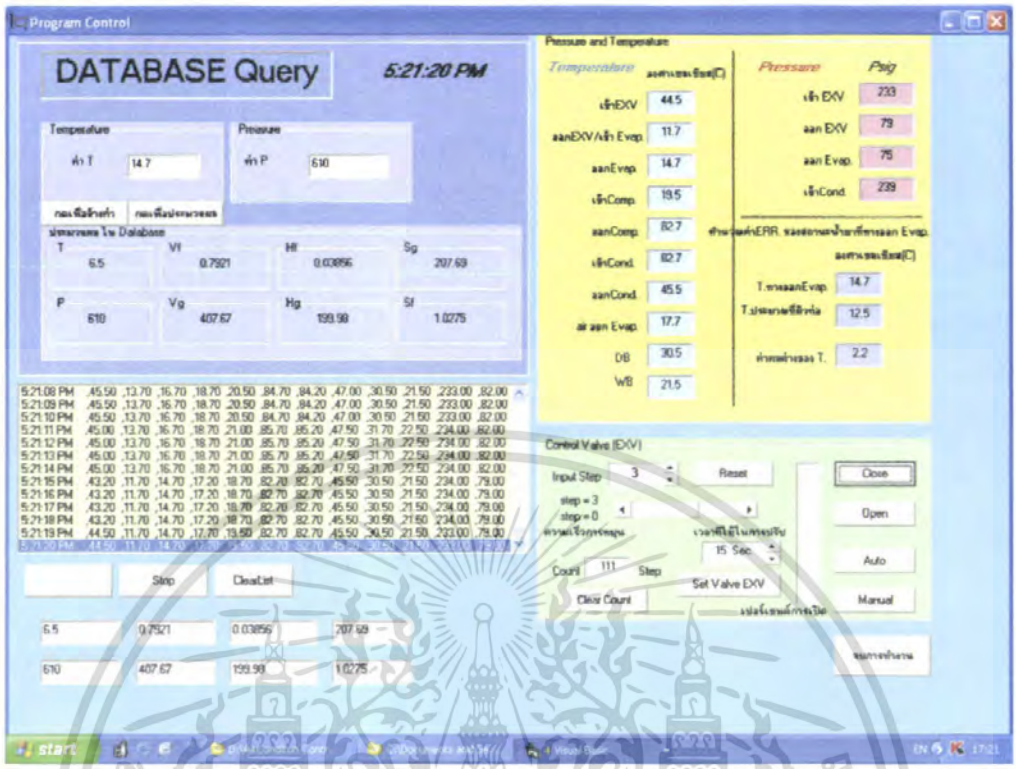
1. โครงสร้างต่าง ๆ ของโปรแกรม

รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม

โปรแกรมได้ทำการสร้างขึ้นเป็นโมดูลย่อย ๆ เพื่อสะดวกต่อการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งโมดูลที่ทำการใช้นั้นประกอบด้วยโมดูลทั้งสิ้น 3 โมดูลด้วยกันซึ่งสามารถดูรายละเอียดของโปรแกรมได้ที่ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

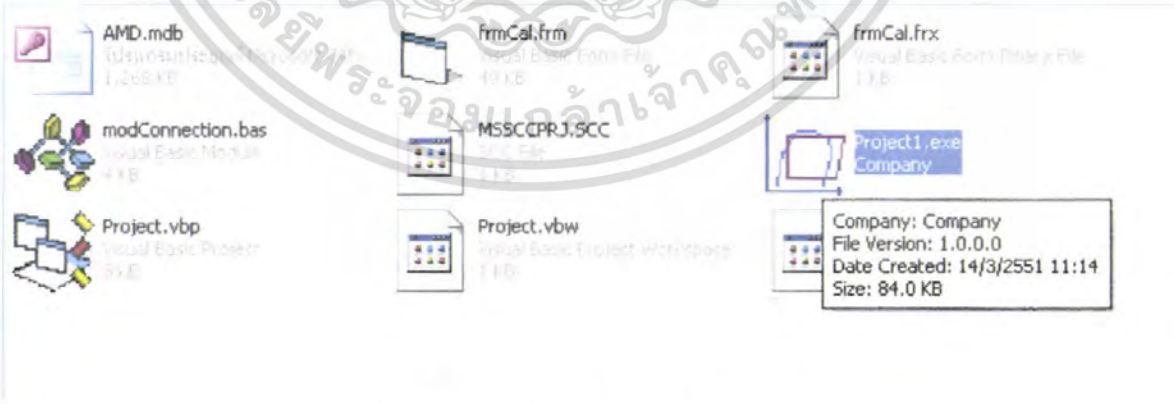
2. ลักษณะของตัวโปรแกรมที่ใช้งาน



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของโปรแกรมที่ใช้งาน

5.1.5 วิธีการใช้งานของโปรแกรม

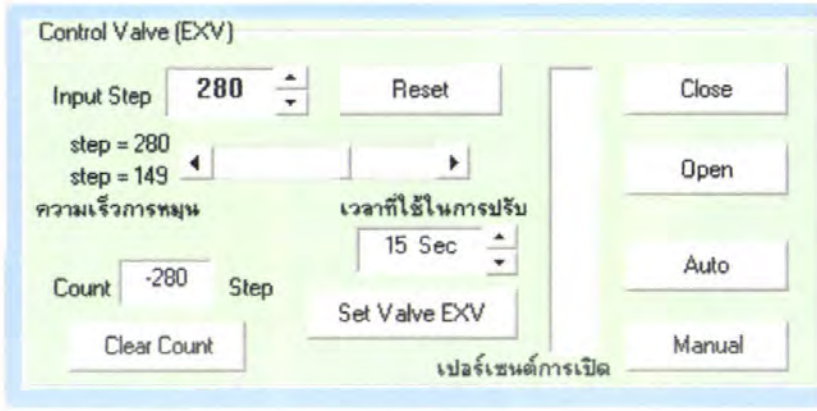
5.1.5.1 เลือกที่ icon Project1.exe



รูปที่ 5.3 แสดง icon project.exe

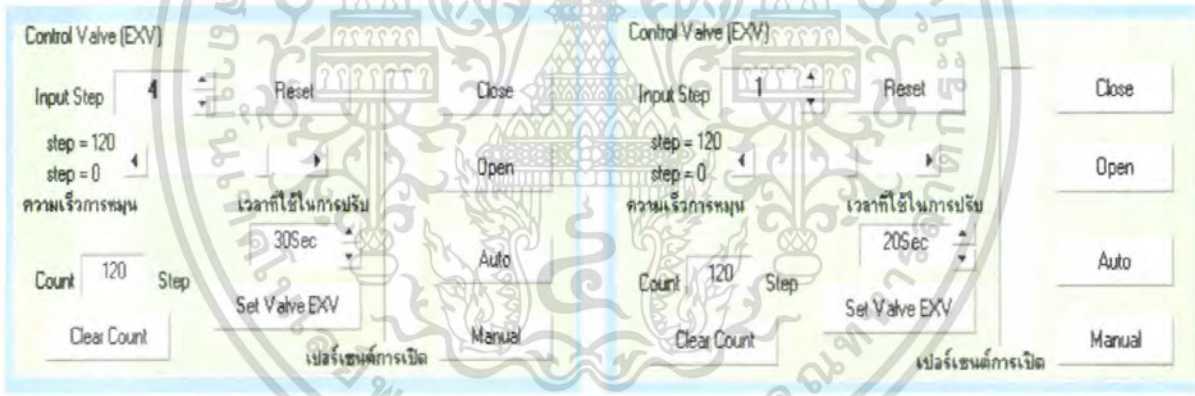
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5.2 จากนั้นโปรแกรมจะทำการปรับตั้งตำแหน่งวาล์ว EXV ในตอนเริ่มต้น



รูปที่ 5.4 แสดงโปรแกรมจะทำการปรับตั้งตำแหน่งวาล์ว EXV ในตอนเริ่มต้น

5.1.5.3 เมื่อโปรแกรมปรับเสร็จแล้วเราสามารถตั้งค่าการทำงานต่างๆได้ เช่น ระยะเวลาในการปรับวาล์ว ความเร็วของการหมุนและ สเต็ปการหมุนได้ เป็นต้น



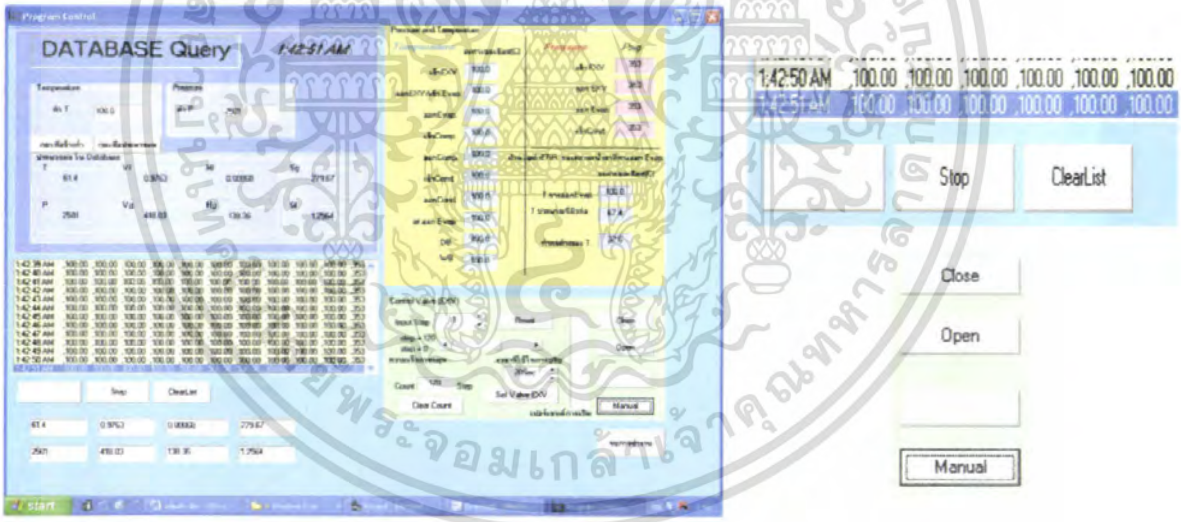
รูปที่ 5.5 แสดงการตั้งค่าต่างๆ

5.1.5.4 ก่อนทำการเริ่มรันเครื่องควร Save เพื่อบันทึกค่าตั้งแต่เริ่มต้นโดยการกดปุ่ม Save แล้วเลือกที่เก็บ จากนั้นตั้งชื่อแล้วตามด้วย .csv เพื่อเวลาเปิดไฟล์จะสามารถเปิดใน MS Excel ได้เป็นการสะดวกในการนำไปใช้งานด้านต่างๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 แสดง save ก่อนการรันเครื่อง

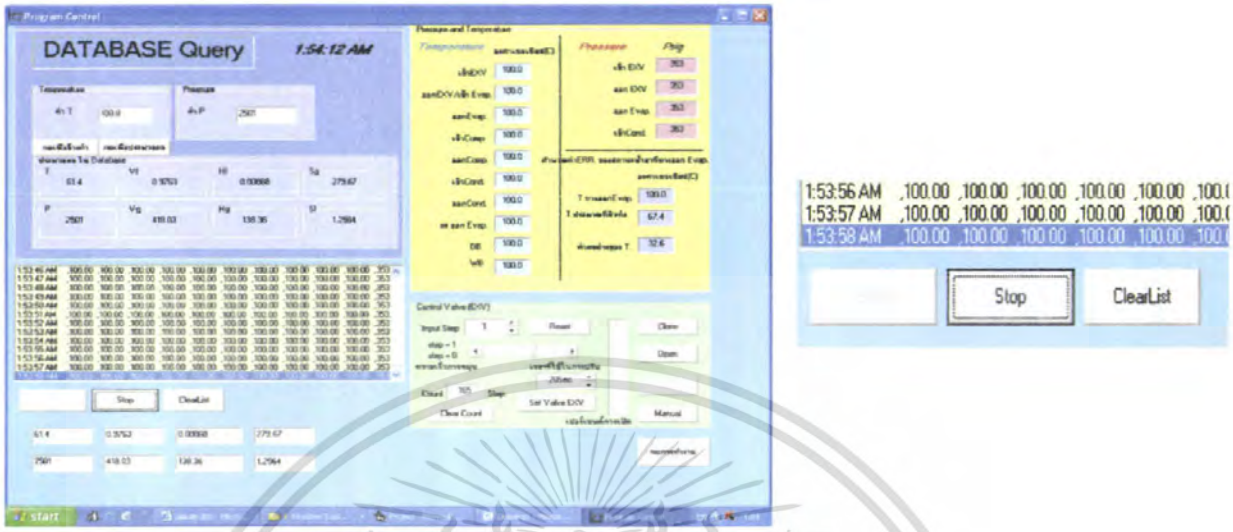
5.1.5.5 ระบบจะทำการบันทึกผล จากนั้นให้กดปุ่ม Auto เพื่อให้ระบบปรับวาล์วอัตโนมัติสังเกตว่าปุ่มที่ใช้งานแล้วจะไม่สามารถกดได้อีก (สังเกตจากตัวอักษรบนปุ่มที่หายไป)



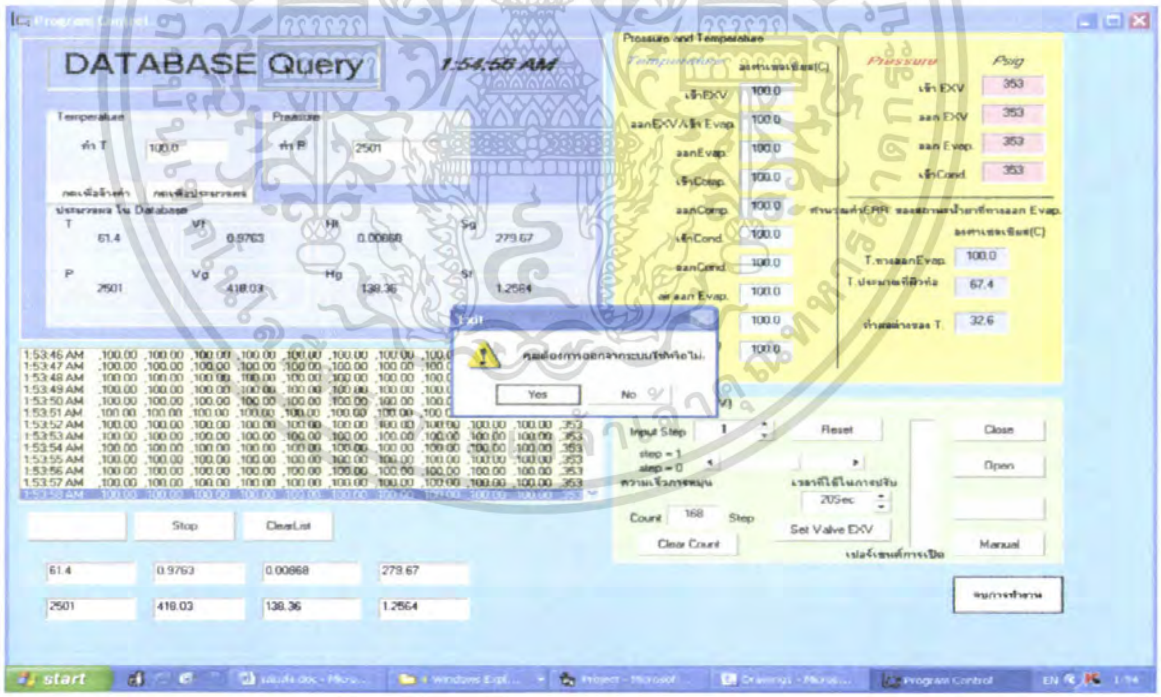
รูปที่ 5.7 แสดงการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5.6 เมื่อทำการทดลองจบครบเวลาที่กำหนดแล้วสามารถหยุดการบันทึกได้โดยการกดปุ่ม Stop เป็นอันเสร็จการทดลอง ถ้าจะออกจากโปรแกรม ให้กดปุ่ม จบการทำงาน



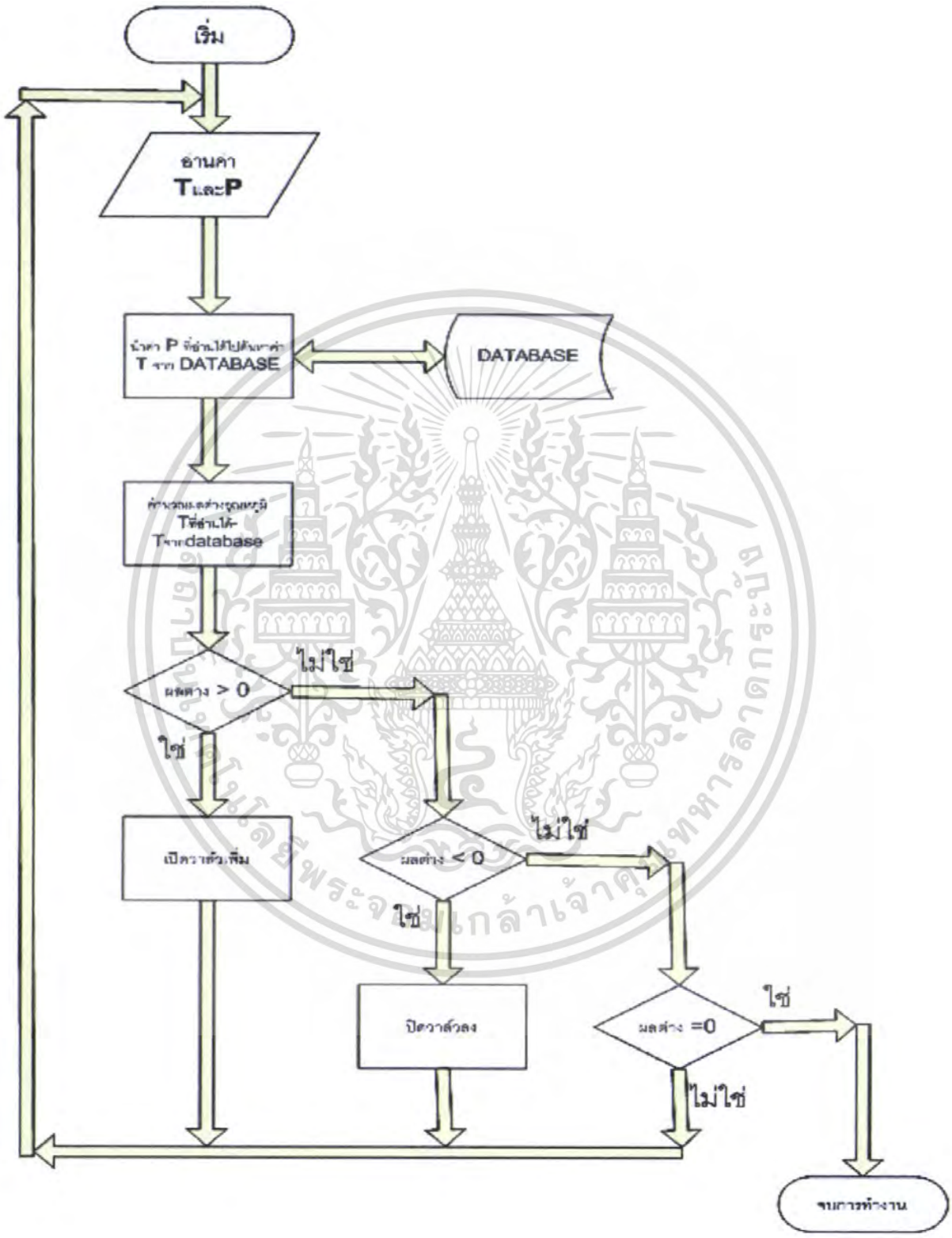
รูปที่ 5.8แสดงการใช้เมื่อหยุดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 5.9แสดงการใช้งานเมื่อจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 แนวคิดในการควบคุมการจ่ายปริมาณสารทำความเย็น



รูปที่ 5.10 แสดงขั้นตอนการทำงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมวาล์วอีเอ็กซ์วี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดลองและผลการทดลอง

6.1 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้สภาวะที่ได้นำมาใช้เป็นจุดอ้างอิงในการทดสอบเพื่อหาขีดความสามารถในการทำความเย็นและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน(Energy Efficiency Ratios) จะใช้สภาวะจากมาตรฐาน ISO 5151-1994 ทำการทดสอบดังตารางที่ 6.1

Condition	Indoor Room		Outdoor Room	
	Dry bulb	Wet bulb	Dry bulb	Wet bulb
Standard Cooling	27°C	19°C	35°C	24°C

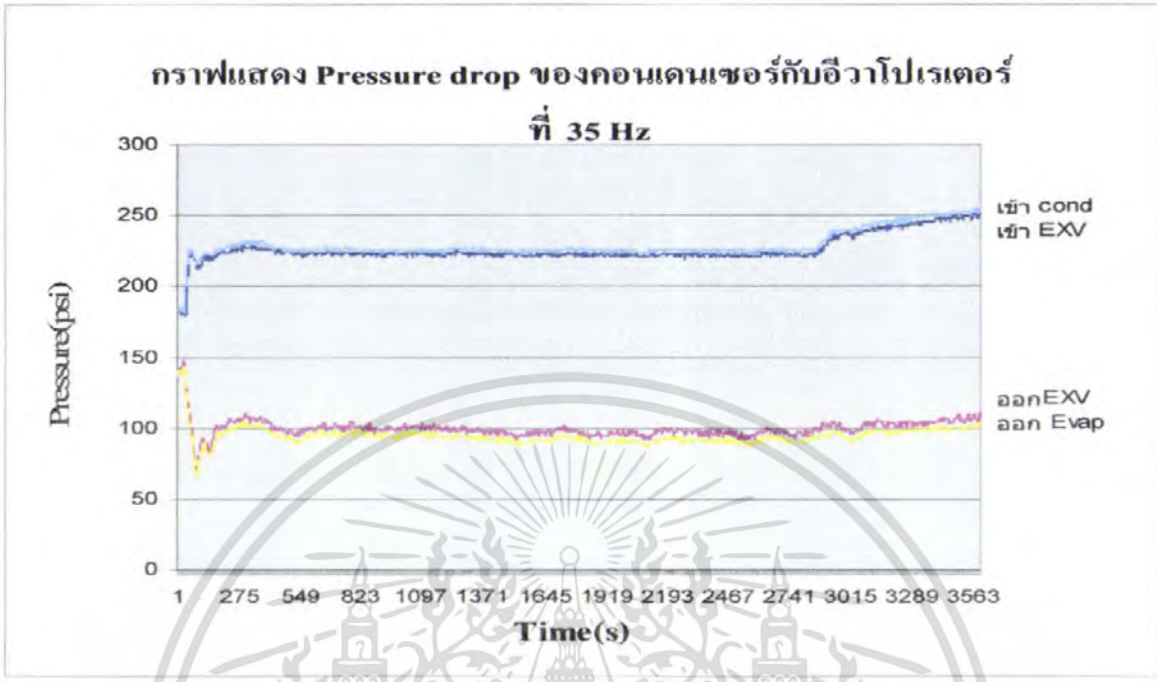
ตารางที่ 6.1 แสดงมาตรฐาน ISO 5151-1994 ที่ใช้ทดสอบ

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

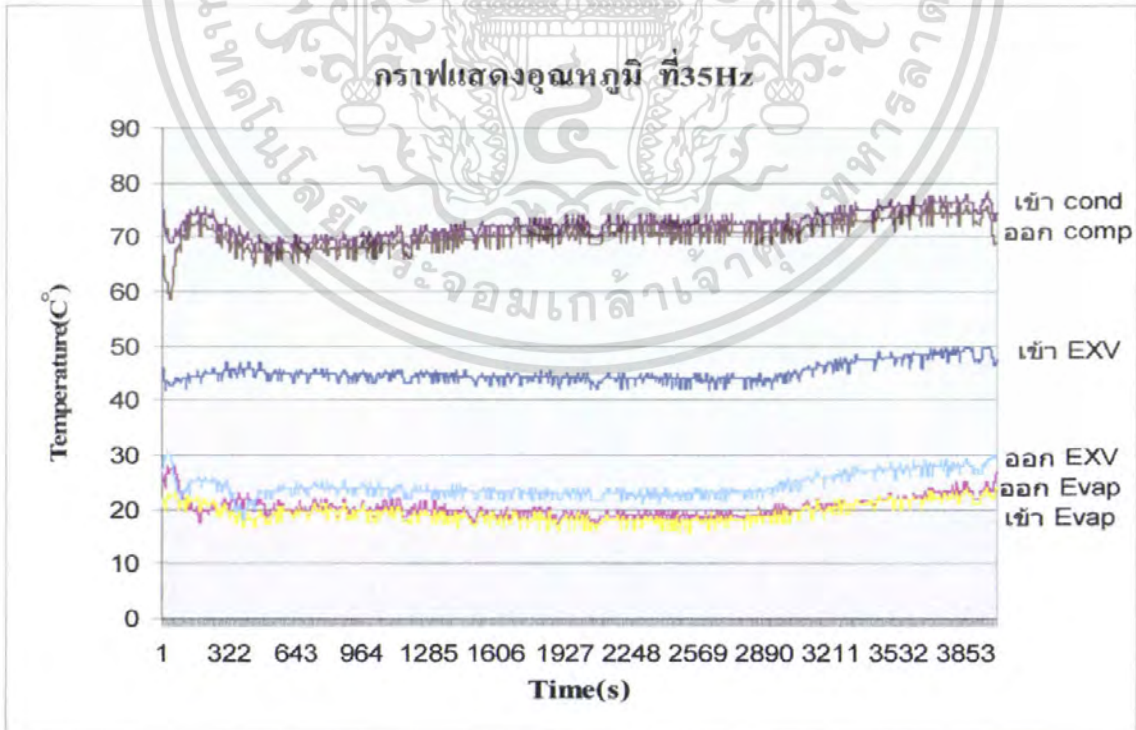
1. เปิดโปรแกรมควบคุม EXV กดปุ่ม Save โปรแกรมจะเก็บข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับอุณหภูมิและความดันไว้ใน Microsoft office Excel เพื่อจะนำไปเขียนกราฟ
2. เปิดเครื่องปรับอากาศ กดสวิตช์ Start ที่ตัวปรับด้วยมือของอินเวอร์เตอร์ ให้มอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ทำงาน ปรับความถี่ไฟฟ้าที่ 35 Hz
3. กดปุ่ม Auto ที่โปรแกรมควบคุมในส่วนของ Control Valve โปรแกรมจะเซ็ทสเต็ปมอเตอร์ให้เปิดวาล์วที่ 120 สเต็ป
4. ปรับสภาวะห้องมาตรฐานให้ได้ตามสภาวะทดสอบ ตามตารางที่ 6.1
5. รอให้สภาวะของระบบคงที่ จากนั้นทำการวัดพลังงานที่จ่ายให้กับระบบและภาระที่ให้กับระบบ โดยใช้เครื่องวัด Power meter รุ่น GWM-039 การทดลองจะต้องดำเนินภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที
6. ทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ต้น แต่เปลี่ยนค่าความถี่ไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เป็น 40 Hz, 45Hz, 50Hz, 60Hz, และ 70Hz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 กราฟแสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ต่าง ๆ

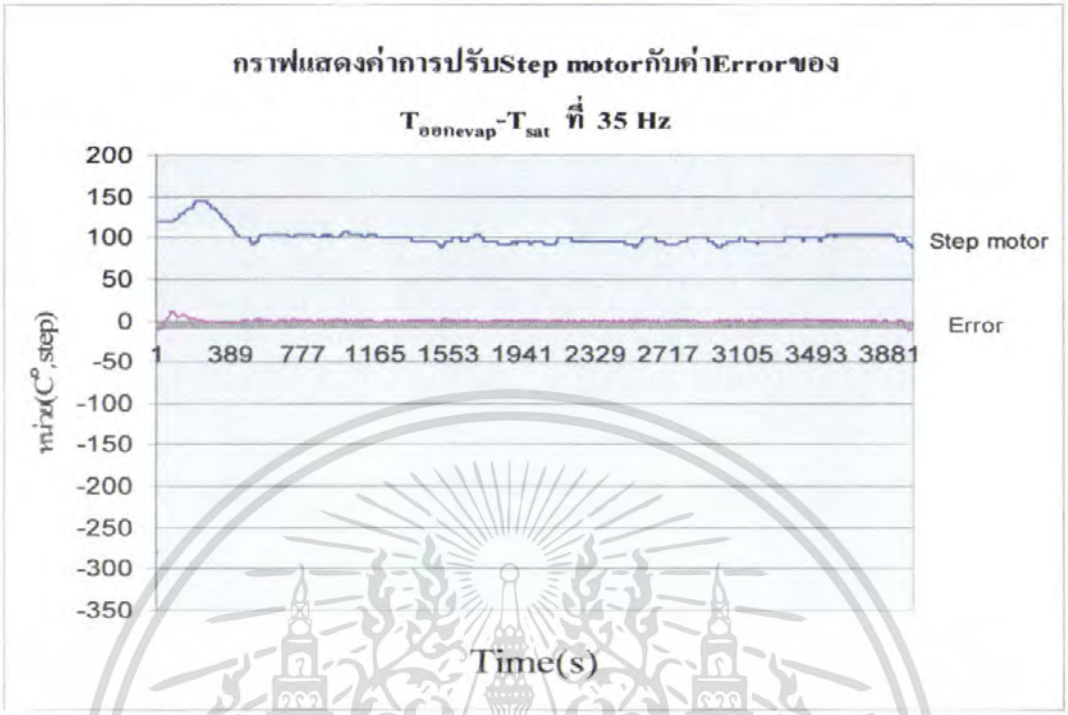


กราฟที่ 6.1แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่ 35 Hz



กราฟที่ 6.2 แสดงอุณหภูมิที่ 35 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

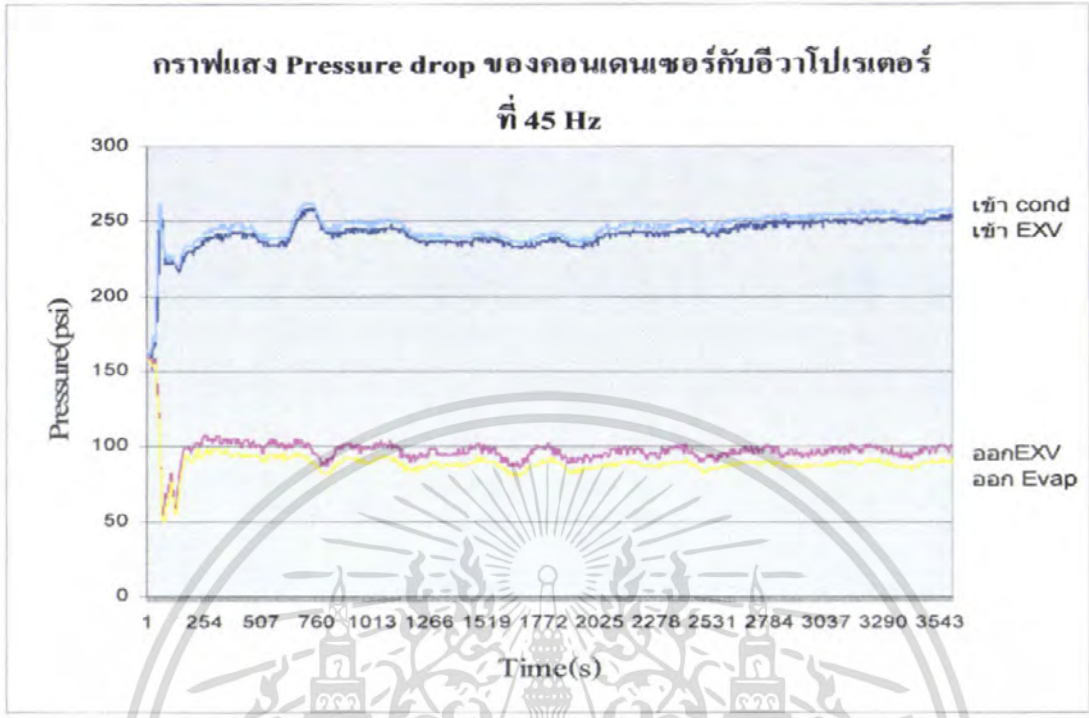


กราฟที่ 6.3 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap}$ – T_{sat} ที่ 35 Hz

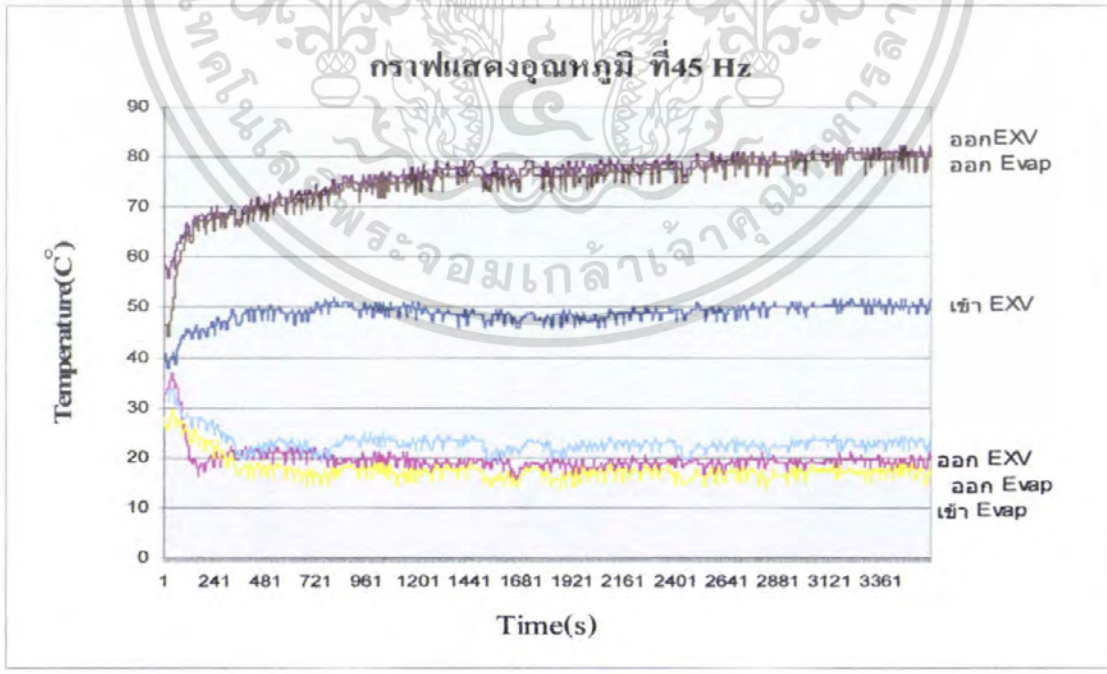
Item	เวลา(นาที)						Average
	10	20	30	40	50	60	
Capacity(Kw)	4.057	4.10	4.105	3.961	3.972	4.139	4070
Power input (Kw)	0.965	0.961	0.976	0.964	0.960	0.975	0.996
C.O.P.	4.204	4.266	4.206	4.109	4.137	4.245	4.195
EER	14.34	14.55	14.35	14.02	14.12	14.48	14.31

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่35 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ที่ 6.4 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่ 45 Hz



กราฟที่ 6.5 แสดงอุณหภูมิที่ 45 Hz

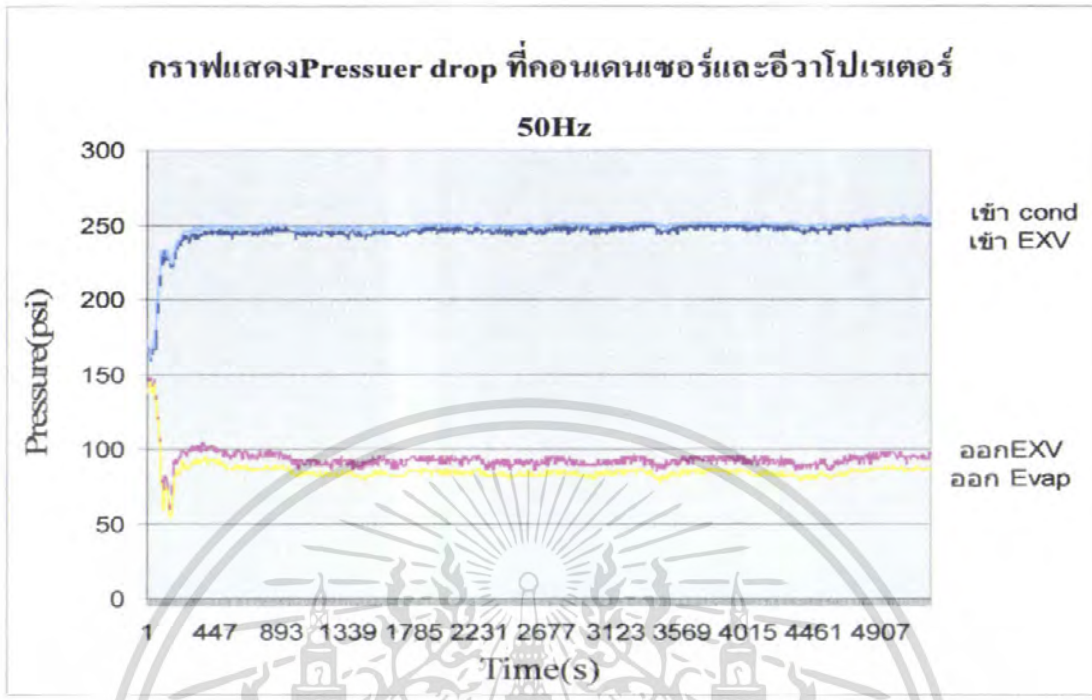
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 6.6 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 45 Hz

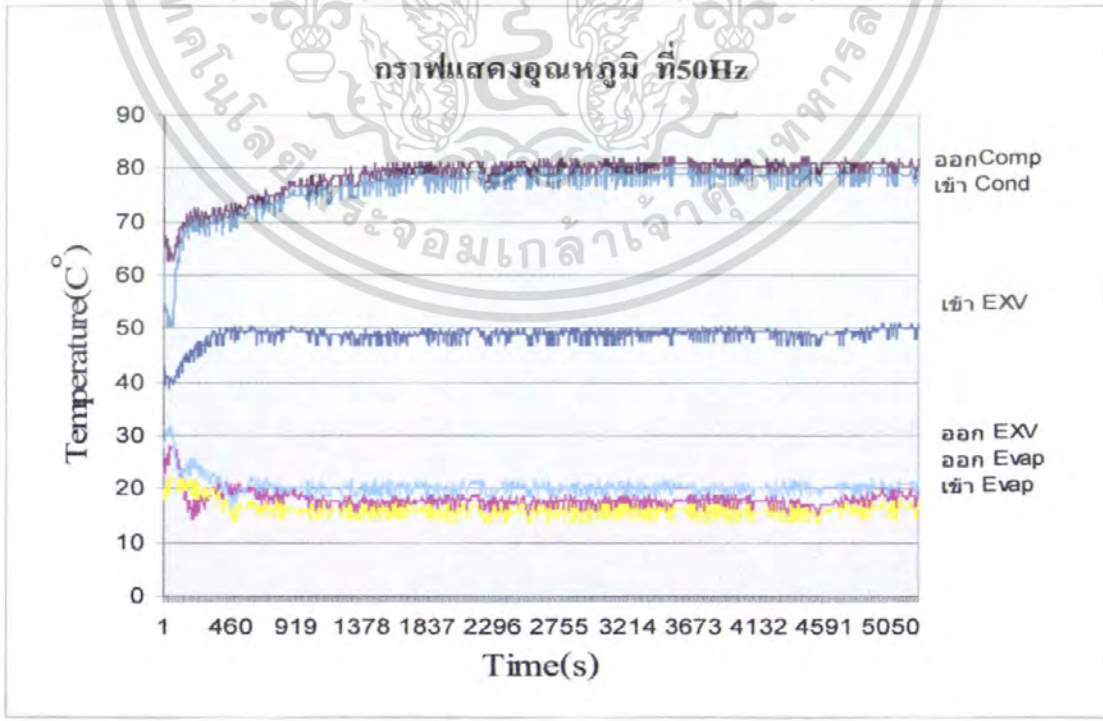
Item	เวลา(นาที)						Average
	10	20	30	40	50	60	
Capacity(Kw)	4.659	4.860	4.871	4.789	4.851	4.795	4.803
Power input (Kw)	1.221	1.219	1.232	1.227	1.215	1.211	1.214
C.O.P.	3.818	3.987	3.954	3.903	3.993	3.959	3.935
EER	13.020	13.603	13.409	13.317	13.623	13.510	13.427

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่ 45 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

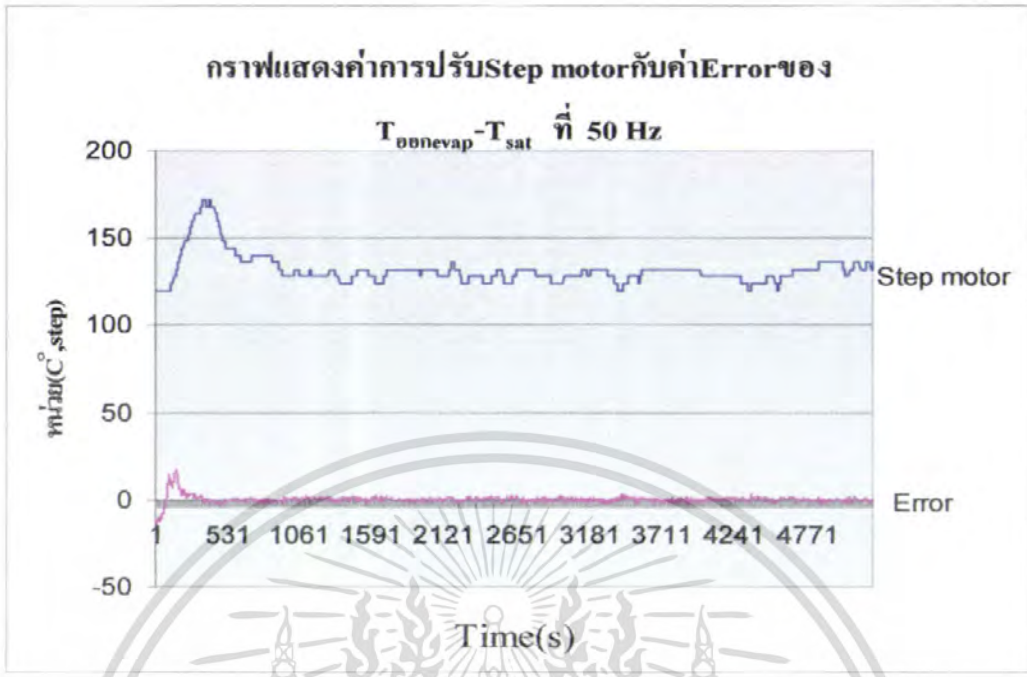


กราฟ ที่ 6.7 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่50 Hz



กราฟที่ 6.8 แสดงอุณหภูมิที่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

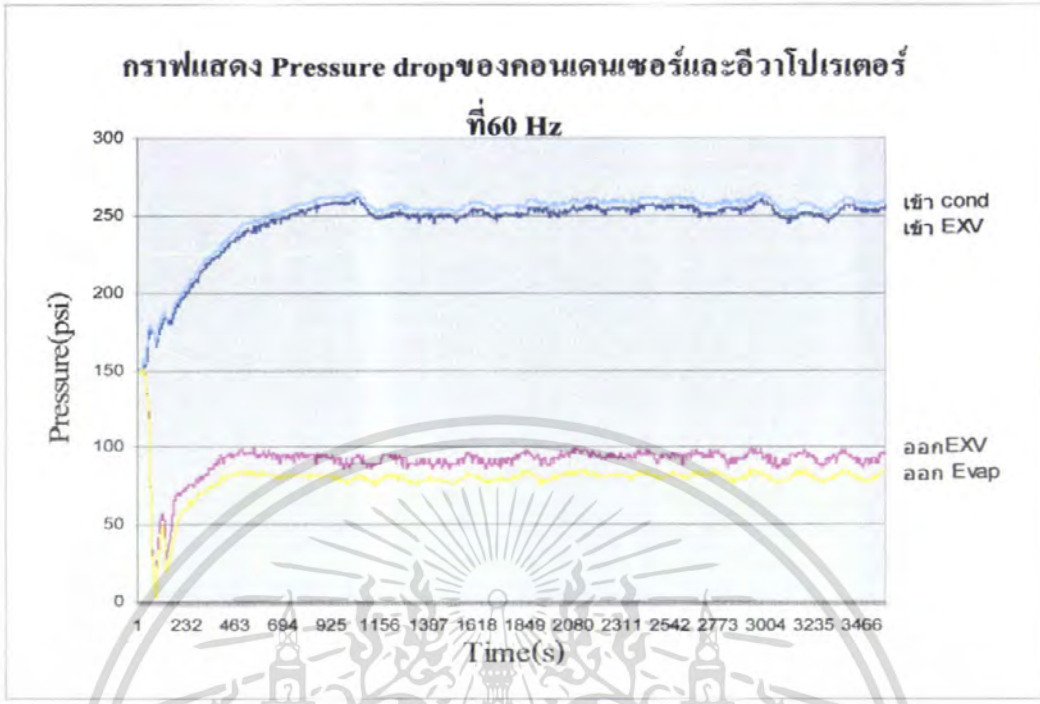


กราฟที่ 6.9 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 50 Hz

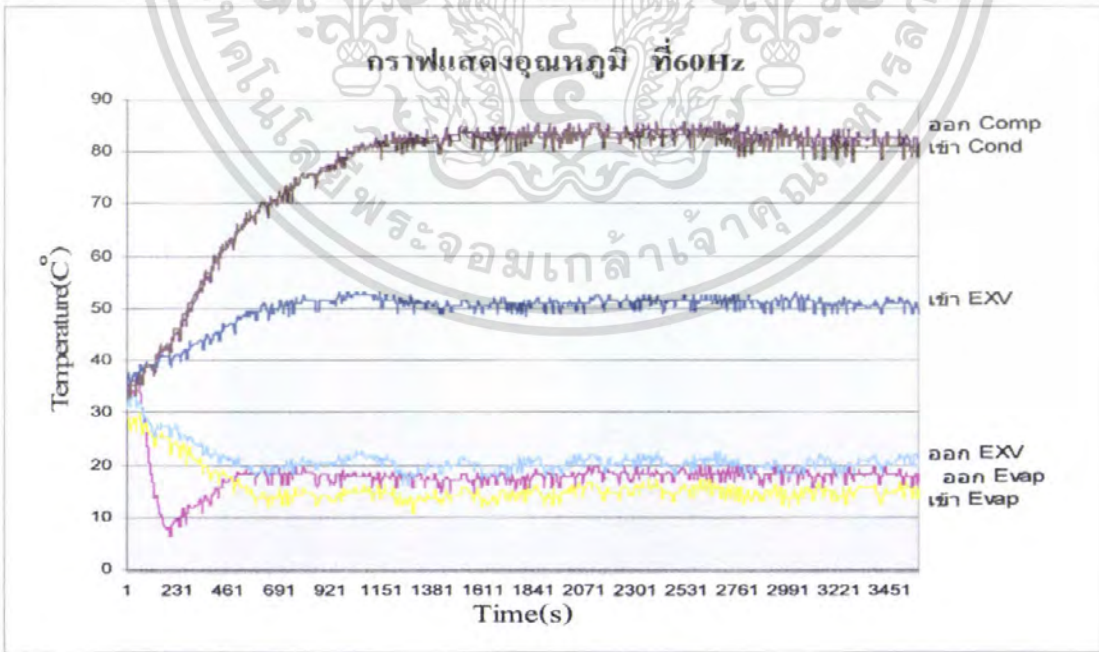
Item	เวลา(นาที)						Average
	10	20	30	40	50	60	
Capacity(Kw)	5.275	5.349	5.280	5.241	5.252	5.292	5.281
Power input (Kw)	1.381	1.399	1.374	1.392	1.370	1.351	1.377
C.O.P.	3.820	3.823	3.843	3.765	3.834	3.917	3.834
EER	13.033	13.046	13.112	12.846	13.080	13.365	13.080

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ ที่ 6.10 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่60 Hz



กราฟที่ 6.11 แสดงอุณหภูมิที่ 60 Hz

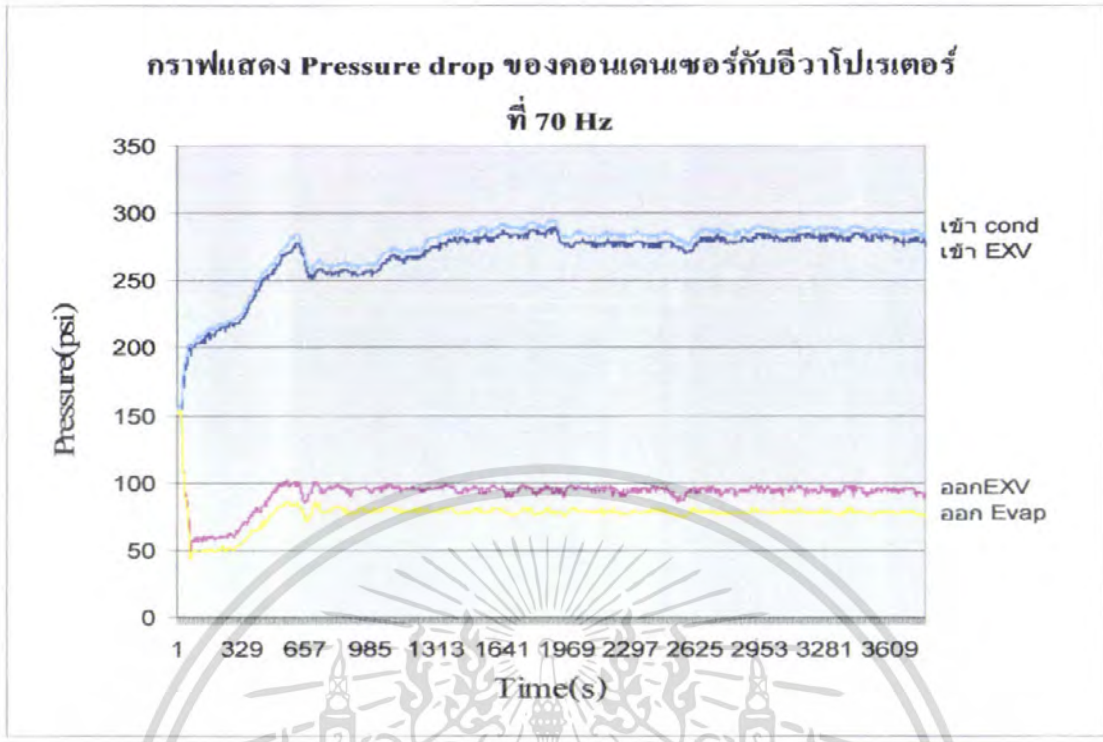
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 6.12 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 60 Hz

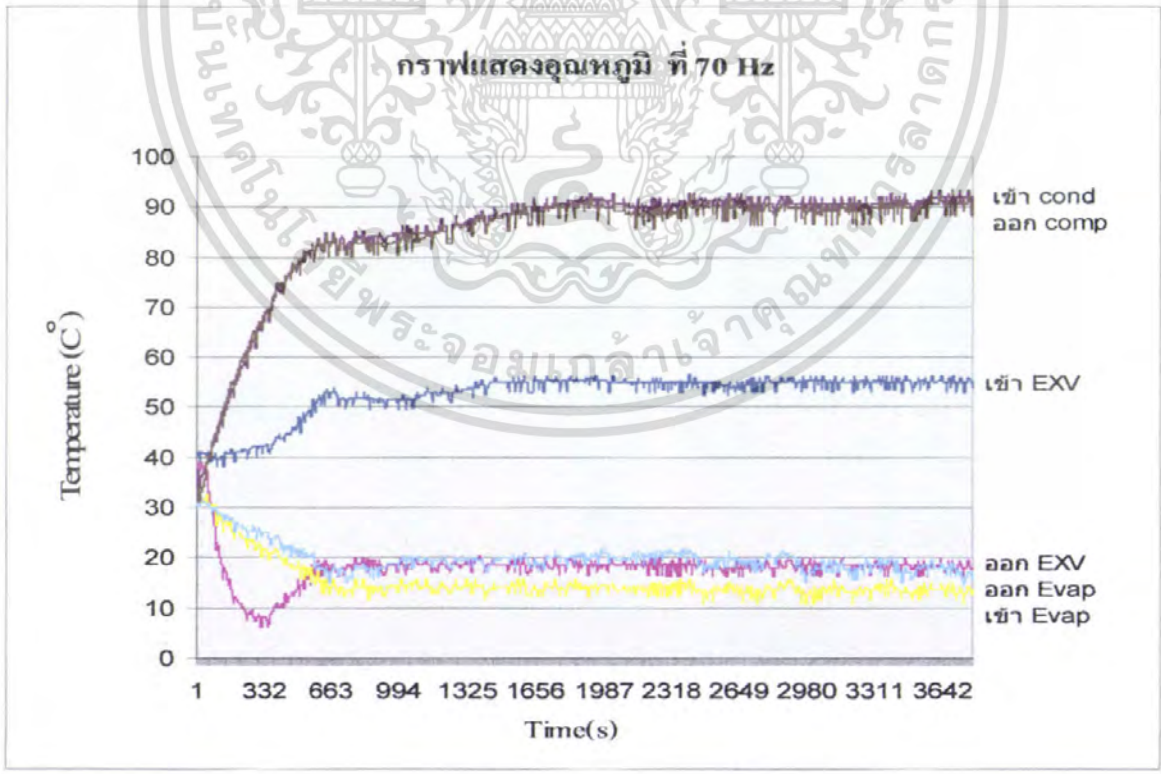
Item	เวลา(นาที)						Average
	10	20	30	40	50	60	
Capacity(Kw)	5.300	5.361	5.340	5.374	5.371	5.406	5.358
Power input (Kw)	1.710	1.792	1.821	1.792	1.783	1.764	1.777
C.O.P.	3.099	2.992	2.932	2.999	3.012	3.065	3.017
EER	10.575	10.207	10.005	10.232	10.278	10.456	10.292

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่ 60 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

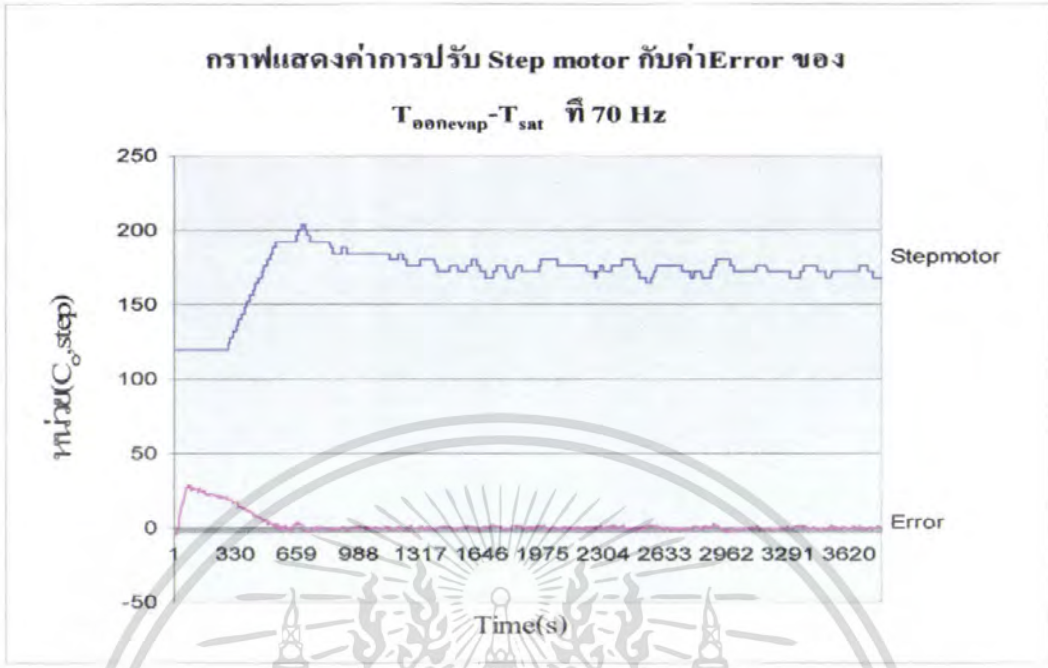


กราฟ ที่ 6.13 แสดง Pressure drop ของคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์ที่70 Hz



กราฟที่ 6.14 แสดงอุณหภูมิที่ 70 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6.15 แสดง ค่าการปรับ Step motor กับค่า Error ของ $T_{ออกevap} - T_{sat}$ ที่ 70 Hz

Item	เวลา(นาที)						Average
	10	20	30	40	50	60	
Capacity(Kw)	5.530	5.491	5.594	5.552	5.492	5.503	5.527
Power input (Kw)	1.869	1.981	2.008	1.991	1.989	1.919	1.959
C.O.P.	2.959	2.772	2.786	2.788	2.761	2.868	2.822
EER	10.095	9.457	9.505	9.514	9.421	9.784	9.629

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน5151-1994 ปรับความที่กระแสไฟฟ้าที่ 70 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 เงื่อนไข คือแบ่งการควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์โดยมีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวสั่งการ คือ ความถี่ที่ 70 Hz 60Hz 50Hz 45Hz 35Hz โดยทุก ๆ การทำงานทดลองที่อุณหภูมิ มาตรฐาน 27 DB 19WB (สำหรับ Indoor) และ 35 DB 24WB (สำหรับ Outdoor) ผลการทดลองเป็นดังนี้

7.1.1 การควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์ที่ 35 Hz

สามารถทำความเย็นได้ 13,889 BTU/hr และมี EER 14.319 โดยมี Capacity มีค่าเท่ากับ 4.07(Kw) และ Power input มีค่าเท่ากับ 0.966 (Kw) จะเห็นได้ว่ามีค่า EER สูงจริงแต่การทำความเย็นน้อยมาก (น้อยที่สุดของการทดลอง) เมื่อเทียบกับการทำเย็นเต็มประสิทธิภาพ 18,000 BTU/hr

7.1.2 การควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์ที่ 45 Hz

สามารถทำความเย็นได้ 16,387 BTU/hr และมี EER 13.493 โดยมี Capacity มีค่าเท่ากับ 4.803(Kw) และ Power input มีค่าเท่ากับ 1.241 (Kw) จะเห็นได้ว่ามีค่า EER น้อยลงเพราะมีการกินกำลังงานมากขึ้นแต่สามารถทำความเย็นที่มากขึ้นกว่าเดิมเมื่อเทียบกับการทำเย็นเต็มประสิทธิภาพ 18,000 BTU/hr

7.1.3 การควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์ที่ 50 Hz

ที่จุดนี้เป็นสภาวะการทำงานที่มาตรฐาน สำหรับการทดลองในครั้งนี้เป็นเพราะว่า มีการทำความเย็นได้ 18,018 BTU/hr และมี EER 13.081 โดยเต็มความสามารถของเครื่องทำความเย็นที่ 18,000 BTU/hr และมีอัตราการกินไฟที่ 1.377 (Kw) โดยมี Capacity มีค่าเท่ากับ 5.281(Kw) เป็นอัตราส่วนการทำความเย็นที่สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบ

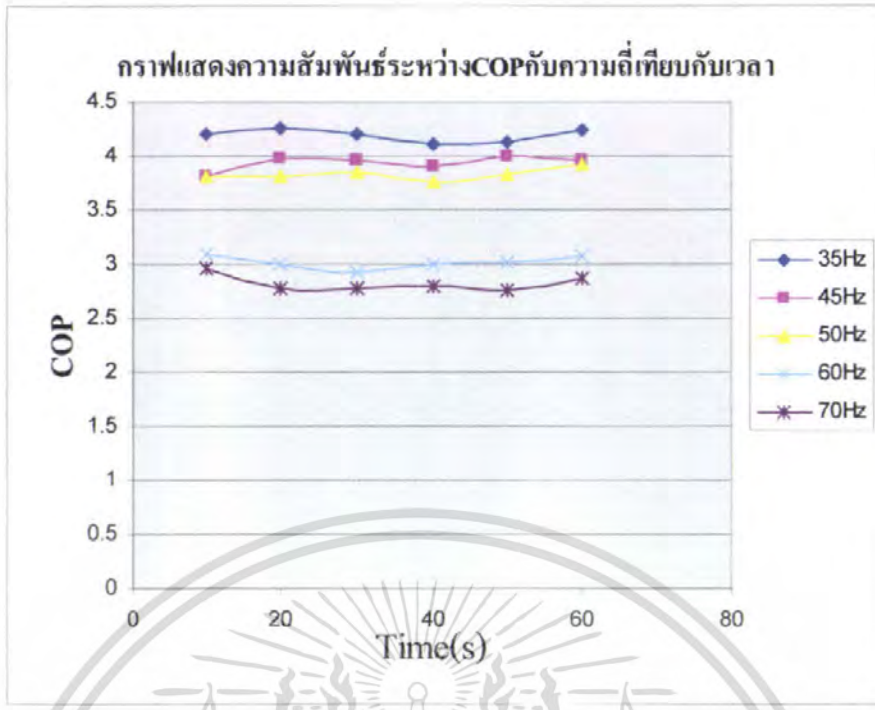
7.1.4 การควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์ที่ 60 Hz

สามารถทำความเย็นได้ 18,283 BTU/hr และมี EER 10.29 โดยมี Capacity มีค่าเท่ากับ5.281 (Kw) และ Power input มีค่าเท่ากับ 1.777(Kw) จะเห็นได้ว่ายิ่งความถี่ในการขับคอมเพรสเซอร์เร็วมากขึ้นเท่าใดการทำความเย็นก็จะมากขึ้นตาม แต่การกินพลังงานก็มากตามทำให้ประสิทธิภาพน้อยลง

7.1.5 การควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์ที่ 70 Hz

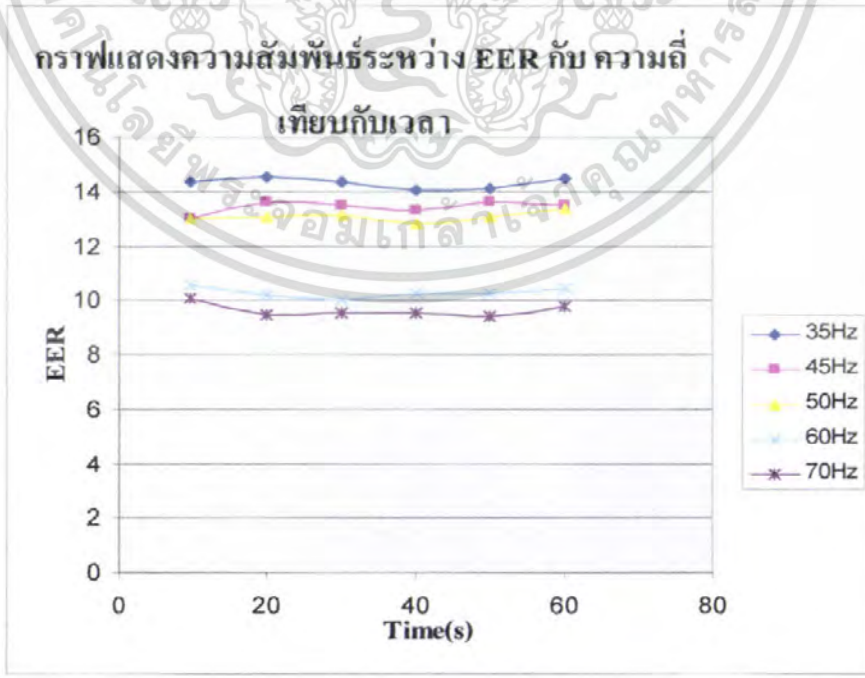
มีการทำความเย็นมากที่สุดของการทำการทดลองคือ สามารถทำความเย็นได้ 18,858 BTU/hr และมี EER 9.629 โดยมี Capacity มีค่าเท่ากับ 5.527 (Kw) และ Power input มีค่าเท่ากับ 1.959 (Kw) เป็นการยืนยันได้ว่ายิ่งทำการควบคุมความถี่ให้มากขึ้นเท่าใด จะสามารถทำความเย็นได้มากเท่านั้น แต่ก็จะกินพลังงานมากตามเช่นกัน ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C.O.P. กับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เทียบกับเวลา

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความถี่ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่าสูงขึ้น ค่า C.O.P. จะต่ำ แต่การทำความเย็นสามารถทำได้มากและถ้าหากความถี่ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่าต่ำ ค่า C.O.P.จะมาก แต่การทำความเย็นที่ได้มีค่าน้อยลง ดังแสดงในกราฟที่ 7.1



กราฟที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง EER กับความถี่ของคอมเพรสเซอร์ เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 สรุปการทำงานของโปรแกรมควบคุม

1. ผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางออกอีวาโปเรเตอร์กับอุณหภูมิไออิ่มตัวในตารางข้อมูล จะมีผลต่อการเปิดปิดของอิเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว

2. การควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วมีความสัมพันธ์กับความดันที่ทางออกอิเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและความดันทางออกอีวาโปเรเตอร์ ถ้าเปิดวาล์วมากความดันจะเพิ่ม ถ้าเปิดวาล์วน้อยความดันจะลดลง

3. จากการทำงานของโปรแกรมเมื่อนำมาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าการเข้าสู่สภาวะคงที่ และการระเหยเดือดเป็นไอพอดีใช้เวลาในช่วง 10-15 นาที

4. การควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วเมื่อทำการควบคุมแบบอัตโนมัติ ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางออกอีวาโปเรเตอร์กับอุณหภูมิไออิ่มตัวในตารางข้อมูล มีค่า error น้อยมาก

5. ในส่วนการบันทึกข้อมูลสามารถนำไปเปิดใน MS Excel เพื่อทำการเขียนกราฟต่าง ๆ ได้

7.3 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้ามีการศึกษาเพิ่มเติมควรจะทำการศึกษาระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้เป็นระบบอัตโนมัติแทนการปรับด้วยมือ อาจใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมก็ได้

2.บอร์ดปรับปรุงสัญญาณของความดันและอุณหภูมิ สามารถปรับปรุงและแก้ไขให้มีขนานกระทัดรัดมากกว่านี้เพื่อความสะดวกในการติดตั้ง

3. การติดต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ควรพัฒนาการติดต่อให้ทันสมัยมากขึ้นโดยติดต่อผ่านทางพอร์ต USB หรือพอร์ตอนุกรมเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สุธิกานต์ วงษ์เสถียร.2548. **เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ.** ปทุมธานี : สิงหาคม 2548.

[2] อัครเดช สินธุภัค. 2544. **การทำความเย็น.** กรุงเทพ: ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. 2548. **การทำความเย็นและการปรับอากาศ.**กรุงเทพฯ: พฤศจิกายน 2548.

[4] กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,"**เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน**", บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

[5] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร2548."**คู่มือเขียนโปรแกรม Visual Basic6**",กรุงเทพ:กันยายน 2548.บริษัท ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด

[6] ผศ.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์.2545."**ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก**"กรุงเทพ,บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง Source Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public pwrite As Integer
Public t, c As Double
Public m, r As Integer
Public n As Integer
Public step As Integer
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Option Explicit
Dim rsData As New ADODB.Recordset
Dim Sql As String
Dim Data1, File1 As String
Dim count1 As Integer
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub CmdAuto_Click()
Timer4.Enabled = True
CmdAuto.Enabled = False
CmdManual.Enabled = True
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub cmdCal_Click()
'Call Search
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub CmdCleare_Click()
txtT.Text = ""
txtP.Text = ""
lblT.Caption = ""
lblVf.Caption = ""
lblHf.Caption = ""
lblSg.Caption = ""
lblP.Caption = ""
lblVg.Caption = ""
lblHg.Caption = ""
lblSf.Caption = ""
'lblErr.Caption = ""
'lblD.Caption = ""
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub CmdCCount_Click()
Text19.Text = ""
c = 0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub CmdClearLis_Click()
List1.Clear
Timer6.Enabled = False
'CmdSave.Enabled = True
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub CmdClose_Click()
   step = Text18.Text
   Label30.Caption = "step = " & step
   c = c - Text18.Text
    Text19.Text = c
   r = step
   Do
      DoEvents
      If r < 1 Then GoTo 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Out pwrite, 2 ^ n
      Delay (t)
      r = r - 1
      Label31.Caption = "step = " & r
      n = n - 1
      If n < 0 Then n = 3
   Loop
2:
   Out pwrite, 2 ^ m
   m = 0
   n = 3
End Sub

Private Sub CmdManual_Click()
CmdManual.Enabled = False
CmdAuto.Enabled = True
Timer4.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub CmdOpen_Click()
 step = Text18.Text
   Label30.Caption = "step = " & step
   c = c + Text18.Text
    Text19.Text = c
   r = step
   Do
      DoEvents
      If r < 1 Then GoTo 2
      Out pwrite, 2 ^ m
      Delay (t)
      r = r - 1
      Label31.Caption = "step = " & r
      m = m + 1
      If m > 3 Then m = 0
   Loop
2:
   Out pwrite, 2 ^ m
   n = 3
   m = 0
End Sub
```

```
Private Sub CmdReset_Click()
Text18.Text = ""
End Sub
```

```
Private Sub CmdStop_Click()
Timer6.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
Text18.Text = 280
Delay (1)
Call CmdClose_Click
Delay (0.5)
Call CmdCCount_Click
Delay (0.5)
Call CmdReset_Click
Delay (0.5)
Text18.Text = 120
Delay (1)
Call CmdOpen_Click
Delay (0.5)
Call CmdReset_Click
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Delay (0.5)
Text18.Text = VScroll2.Value
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
---------
Private Sub Command2_Click()
MsgBox "¤Ø³µéÍ§¡ÒÃÍÍ¡¨Ò¡ÃÐº¨ÐèÊÃ×ÍâÁè.", vbYesNo + vbExclamation, "Exit"
pwrite = &H0
Unload Me
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
----------
Private Sub Command3_Click()
Text18.Text = ""
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
----------
Private Sub Form_Activate()
'Dim a As Integer
'a = Text19.Text
'ProgressBar1.Max = Text19.Text
Timer6.Enabled = False
Timer4.Enabled = False
Text18.Text = 280
Delay (1)
Call CmdClose_Click
Delay (0.5)
Call CmdCCount_Click
Delay (0.5)
Call CmdReset_Click
Delay (0.5)
Text18.Text = 120
Delay (1)
Call CmdOpen_Click
Delay (0.5)
Call CmdReset_Click
Delay (0.5)
Text18.Text = VScroll2.Value
Text1.SetFocus
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
----------
Private Sub Form_Load()
'Data1 = "Time,  " & " à¢éÒEXV, " & "ÍÍ¡EXV," & "ÍÍ¡Evap," & "airÍÍ¡Evap," & "à¢éÒComp," & "ÍÍ¡ Comp," &
"à¢éÒCond," & "ÍÍ¡Cond," & "DB," & "WB," & "P.à¢éÒEXV," & "P.ÍÍ¡EXV," & "P.ÍÍ¡Evap," & "P.à¢éÒCond,"
& "P.data," & "Hf," & "Hg," & "Step,"
'List1.AddItem Data1
txtSec.Text = (VScroll1.Value) & "  Sec"
Timer4.Enabled = False
Timer3.Enabled = True
n = 3
m = 0
pwrite = &H378
'Dim ch1, ch2, ch3, ch4, ch5, ch6, ch7, ch8, ch9, ch10, ch11, ch12, ch13, ch14, ch15, ch16 As Integer
Move (Screen.Width = 0), (Screen.Height = 0)
Con
With rsData
   If .State = adStateOpen Then .Close
      .ActiveConnection = conn
      .CursorLocation = adUseClient
      .CursorType = adOpenStatic
      .LockType = adLockOptimistic
      .Open "select * from T_datasatr22"
End With
lblT.Caption = ""
lblVf.Caption = ""
lblHf.Caption = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lblSg.Caption = ""
lblP.Caption = ""
lblVg.Caption = ""
lblHg.Caption = ""
lblSf.Caption = ""
'lblErr.Caption = ""
'lblD.Caption = ""
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub Timer1_Timer()
Dim ch1, ch2, ch3, ch4, ch5, ch6, ch7, ch8, ch9, ch10, ch11, ch12, ch13, ch14, ch15, ch16, P1, P2, P3, P4 As
Integer
   Call I2CStart
   Call Send8BIT(&H90)
   Call Ack
   Call Send8BIT(&H45)
   Call Ack
   Call I2CStop
   Call I2CStart
   Call Send8BIT(&H91)
   Call Ack
   ch1 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text1.Text = Format(((((ch1 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   Call MAck
   ch2 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text2.Text = Format(((((ch2 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   Call MAck
   ch3 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text3.Text = Format(((((ch3 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   txtT.Text = Text3.Text
  Text15.Text = Text3.Text
   Call MAck
   ch4 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text4.Text = Format(((((ch4 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   Call Ack
   Call I2CStop

   Call I2CStart
   Call Send8BIT(&H92)
   Call Ack
   Call Send8BIT(&H45)
   Call Ack
   Call I2CStop
   Call I2CStart
   Call Send8BIT(&H93)
   Call Ack
   ch5 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text5.Text = Format(((((ch5 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   'Text15.Text = Text5.Text
   Call MAck
   ch6 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text6.Text = Format(((((ch6 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   Call MAck
   ch7 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text7.Text = Format(((((ch7 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   Call MAck
   ch8 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text8.Text = Format(((((ch8 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
   Call Ack
   Call I2CStop

   Call I2CStart
   Call Send8BIT(&H94)
   Call Ack
   Call Send8BIT(&H45)
   Call Ack
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Call I2CStop
    Call I2CStart
    Call Send8BIT(&H95)
    Call Ack
    ch13 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
    Text11.Text = Format(((((ch13) * 255 / 5) * 1.441176471) - 14.7), "##0")
    P1 = Format((Text11.Text / 14.7) * 100, "####0")
    Call MAck
    ch14 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text12.Text = Format(((((ch14) * 255 / 5) * 1.441176471) - 14.7), "##0")
     P2 = Format((Text12.Text / 14.7) * 100, "####0")
    Call MAck
    ch15 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
    Text13.Text = Format(((((ch15) * 255 / 5) * 1.441176471) - 14.7), "##0")
    P3 = Format(((Text13.Text + 14.7) / 14.7) * 100, "####0")
    txtP.Text = P3
    Call MAck
    ch16 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
   Text14.Text = Format(((((ch16) * 255 / 5) * 1.441176471) - 14.7), "##0")
   P4 = Format((Text13.Text / 14.7) * 100, "####0")
    Call Ack
    Call I2CStop

    Call I2CStart
    Call Send8BIT(&H96)
    Call Ack
    Call Send8BIT(&H45)
    Call Ack
    Call I2CStop
    Call I2CStart
    Call Send8BIT(&H97)
    Call Ack
    ch9 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
    'Text29.Text = Format((((Text13.Text * 255) / 5) - 132.09) * 2.27998176), "##0.00##")
    Call MAck
    ch10 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
    'Text30.Text = Format((((Text14.Text * 255) / 5) - 132.09) * 2.27998176), "##0.00##")
    Call MAck
    ch11 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
    Text9.Text = Format(((((ch11 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
     'Text9.Text = Format((116.2790698 * ch11) - 301.1627907, "##0.#")
    'Text29.Text = Format((((Text15.Text * 255) / 5) - 132.09) * 2.27998176), "##0.#")
    Call MAck
    ch12 = Format((Read8Bit * 5) / 255, "#0.##")
    Text10.Text = Format((((ch12 * 255) / 5) * 0.49) - 25), "##0.0")
    'Text10.Text = Format((((ch12 * 255) / 5) - 132.09) * 2.27998176), "##0.#")
    Call MAck
    Call I2CStop
    Call Search
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
---------
Private Sub Timer2_Timer()
t = HScroll1.Value / 1000
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
----------
Private Sub Timer3_Timer()
'Text18.Text = 300
'Call CmdClose_Click
'Call cmdClear_Click
'Call CmdReset_Click
'Text18.Text = 100
'Call CmdOpen_Click
'Call CmdReset_Click
'Text18.Text = 5
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
---------- 
Private Sub Timer4_Timer()
'If 70 < Text13.Text And Text13.Text < 80 Then
   If 0 < Text19.Text And Text19.Text < 260 Then
        If txtErr > 0 Then
          If txtErr >= 1 Then
             Call CmdOpen_Click
         End If
        ElseIf txtErr < 0 Then
                  If txtErr <= (-1) Then
                   Call CmdClose_Click
                 End If
          End If
     End If
   'ElseIf Text13.Text < 70 Then
          ' Call CmdOpen_Click
       '  End If
    'ElseIf Text13.Text > 80 Then
          '  Call CmdClose_Click
      'End If
'End If
End Sub
---------- 
Private Sub Timer5_Timer()
lblTime = Format(Time, "h:mm:ss AMPM    ")
End Sub
---------- 
Private Sub Timer6_Timer()
Data1 = Format(Time, "h:mm:ss AMPM    ") & "," & Format(Text1, "00.00  ") & "," & Format(Text2, "00.00  ")
& "," & Format(Text3, "00.00  ") & "," & Format(Text4, "00.00  ") & "," & Format(Text5, "00.00  ") & "," &
Format(Text6, "00.00  ") & "," & Format(Text7, "00.00  ") & "," & Format(Text8, "00.00  ") & "," &
Format(Text9, "00.00  ") & "," & Format(Text10, "00.00  ") & "," & Format(Text11, "00.00  ") & "," &
Format(Text12, "00.00  ") & "," & Format(Text13, "00.00  ") & "," & Format(Text14, "00.00  ") & "," &
Format(Text23, "00.00  ") & "," & Format(Text17, "00.00  ") & "," & Format(Text21, "00.00  ") & "," &
Format(Text25, "00.00  ") & "," & Format(Text19, "00.00  ") & "," & Format(txtErr, "00.00")
List1.AddItem Data1
List1.ListIndex = List1.ListCount - 1
count1 = count1 + 1
Print #1, List1.List(List1.ListCount - 1)
End Sub
---------- 
Private Sub txtP_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then cmdCal.SetFocus
'ÃÑ°¢éÍÁÙÀà©%ÒÐµÑÇàÀ¢
If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 13 Or KeyAscii = 46 Or KeyAscii = 8) Then
   KeyAscii = 0
End If
End Sub
---------- 
Private Sub Display() 'áÊ´§¢éÍÁÙÀ¨Ò¡ Dbase
lblT.Caption = rsData!t
Text17.Text = lblT.Caption
Text16.Text = lblT.Caption + 6
txtErr.Text = Format(Text15.Text - Text16.Text, , "0.00")
lblVf.Caption = rsData!Vf
Text20.Text = lblVf.Caption
lblHf.Caption = rsData!Hf
Text21.Text = lblHf.Caption
lblSg.Caption = rsData!Sg
Text22.Text = lblSg.Caption
lblP.Caption = rsData!P
Text23.Text = lblP.Caption
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lblVg.Caption = rsData!Vg
Text24.Text = lblVg.Caption
lblHg.Caption = rsData!Hg
Text25.Text = lblHg.Caption
lblSf.Caption = rsData!Sf
Text26.Text = lblSf.Caption
'lblErr.Caption = Val(txtT.Text) - Val(lblT.Caption)
'If Val(lblErr.Caption) = 0 Then lblD.Caption = "="
'If Val(lblErr.Caption) > 0 Then lblD.Caption = "+"
'If Val(lblErr.Caption) < 0 Then lblD.Caption = "-"
End Sub
--------------------------------------------------------------------------------

----------
Private Sub Search()
Dim StrCal As String
'à¡ç°¤èÒäÇéä¹·Õè¡ÃÍ»Ã
StrCal = txtP.Text
Sql = "SELECT T_datasatr22.P, T_datasatr22.T, T_datasatr22.Vf, T_datasatr22.Hf, T_datasatr22.Sg,
T_datasatr22.P, T_datasatr22.Vg, T_datasatr22.Hg, T_datasatr22.Sf" & _
      " From T_datasatr22 GROUP BY T_datasatr22.P, T_datasatr22.T, T_datasatr22.Vf, T_datasatr22.Hf,
T_datasatr22.Sg, T_datasatr22.P, T_datasatr22.Vg, T_datasatr22.Hg, T_datasatr22.Sf" & _
      " HAVING (((T_datasatr22.P)='" & StrCal & "'));"
With rsData
  If .State = adStateOpen Then .Close
    .Open Sql, conn, adOpenStatic, adLockPessimistic, adCmdText
    If .RecordCount = 0 Then
      'MsgBox "äÁè¾º¢éÍÁÙÅ", , "ÃÒÂ§Ò¹..."
      txtP.Text = ""
      txtT.Text = ""
      txtT.SetFocus
      Exit Sub
   Else
     Call Display
     'lblErr.Caption = Val(txtT.Text) - Val(lblT.Caption)
  End If
End With
End Sub
--------------------------------------------------------------------------------

----------
Private Sub txtT_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtP.SetFocus
'ÃÑº¢éÍÁÙÀà©¾ÒÐµÑÇàÁ¢
If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 13 Or KeyAscii = 46 Or KeyAscii = 8) Then
  KeyAscii = 0
End If
End Sub
--------------------------------------------------------------------------------

----------
Sub Delay(WaitSeconds As Single)
Dim StartTime As Single

StartTime = Timer
Do While Timer < StartTime + WaitSeconds
  DoEvents
Loop
End Sub
--------------------------------------------------------------------------------

----------
Private Sub CmdSave_Click()

CommonDialog1.ShowSave
File1 = CommonDialog1.FileName
If File1 = "" Then
Exit Sub
End If
Timer6.Enabled = True
Open File1 For Output As #1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CmdSave.Enabled = False
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
-----------
Private Sub VScroll1_Change()
txtSec.Text = (VScroll1.Value) & "Sec"
Timer4.Interval = (VScroll1.Value * 1000)
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
-----------
ในส่วนของModule
ที่ใช้ติดต่อกับDataBase
'Attribute VB_Name = "modConnection"
Option Explicit
'??????????????????
Global conn As ADODB.Connection ' ??????????????????????????????????????????????
Global strDBName As String ' ??????????????????????
Global cClose As Byte ' ??????????????????? (????????)
Public Sub Con()
On Error GoTo DBNotFound

strDBName = App.Path ' ????????????????????????????????????

  ' ?????????????????????????????????????????????????????? \ ???????
  If Right$(strDBName, 1) <> "\" Then strDBName = strDBName & "\" ' ????????????????????????
  strDBName = strDBName & "AMD.mdb" ' ?????????????????????
  Set conn = New ADODB.Connection ' ??????????????????????

  '?????????????????????????????????????????????????????
    With conn
        ' ????????????????????????????????????????????????
        If .State = adStateOpen Then .Close ' ????????????????????????????????????????????
        ' ?????????????????????????????????????????
        .ConnectionString = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;" & _
                            "Data Source=" & strDBName & ";" & _
                            "Persist Security Info = False"
        .ConnectionTimeout = 90 ' ??????????????????????????
        .CursorLocation = adUseClient ' ?????????????????????????? Client
        .Open ' ?????????????
    End With

DBNotFound: ' ????????????????????????????????
    If Err.Number = -2147467259 Then ' -2147467259 = Could not find file... ????????????????????
    Dim strErr As String ' ????????????????????????????
        ' ????????????????????????????????????
        strErr = App.Path
        ' ?????????????????????????????????????????????????????????????? \ ???????
        If Right$(strErr, 1) <> "\" Then strErr = strErr & "\"
        ' ??????????????????????????
        strErr = strErr & "db"
        ' ????????????????????

        MsgBox "???????????????????? Project.mdb (" & Err.Number & ")" & _
            vbCrLf & "?????????????????????????? " & _
            strErr & " ????????????????????? Project.mdb ???????????" & vbCrLf & _
            "????????????? ?????????????????????????", vbCritical, "????????"
        End
    End If
End Sub
Sub ErrByOpenDatabase()
    MsgBox "?????????????????????????????????????????????????????????????????" & _
            "????????????????????????????????????? ? " & vbCrLf & _
            "???????????? ?????????????????????????? Project.mdb ?????????????? " & _
            "?????????????????????????????????????????????????????????????????????" & _
            "?????????????? ?????????????????????????", , "??????????????"
    End
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Sub CloseAll()
Dim iForm As Integer ' ??????????
Dim i As Integer ' ?????
' ????????????????????????????????????????
On Error Resume Next
' ????????????????????????????????
    If cClose = 1 Then
        iForm = Forms.Count - 1
            ' ??????????? (??????????? MDI)
            For i = iForm To 1 Step -1
                Unload Forms(i)
                ' ??????????????????????????
                Set Forms(i) = Nothing
            Next i
    End If
End Sub
```

ที่ใช้กับการติดต่อ ระบบ I2C

```
Option Explicit
Public Declare Sub Out Lib "io.dll" Alias "PortOut" (ByVal Addr As Integer, ByVal Data As Byte)
Public Declare Function Inp Lib "io.dll" Alias "PortIn" (ByVal Addr As Integer) As Byte

Public Sub I2CStart()
  SDA_H
  SCL_H
  SDA_L
  SCL_L
End Sub

Public Sub I2CStop()
  SDA_L
  SCL_H
  SDA_H
End Sub

Public Sub Send0()
  SDA_L
  SCL_H
  SCL_L
End Sub

Public Sub Send1()
  SDA_H
  SCL_H
  SCL_L
End Sub

Public Function Ack() As Boolean
  Ack = Not Rd_SDA
  SCL_H
  SCL_L
End Function
Public Sub MAck()
  SDA_L
  SCL_H
  SCL_L
End Sub

Public Sub MNAck()
  SCL_H
  SCL_L
End Sub

Public Function Read8Bit() As Byte
Dim Dat1 As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim i As Integer
  For i = 7 To 0 Step -1
    If Rd_SDA Then    'Read SDA
      Dat1 = (2 ^ i) Or Dat1
    End If
    SCL_H
    SCL_L
  Next i
  Read8Bit = Dat1                    'Data 8 Bit
End Function

Public Sub Send8BIT(Data As Byte)
Dim i As Integer
  For i = 7 To 0 Step -1             ' Loop 7 Cycle
    If (Data And 2 ^ i) = 2 ^ i Then   'Test Bit 0 OR 1
      Call Send1
    Else
      Call Send0
    End If
  Next i
End Sub
Private Sub SDA_L()
  Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE    'SDA=0
End Sub

Private Sub SDA_H()
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1     'SDA=1
End Sub

Private Sub SCL_L()
  Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD   'SCL=0
End Sub

Private Sub SCL_H()
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2    'SCL=1
End Sub

Private Function Rd_SDA() As Boolean
  SDA_H
  Rd_SDA = (Inp(&H379) And &H80) <> &H80
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure Sensors QBE2001-P...

for refrigerants

- **Piezo-resistive measuring system**
- **DC 0...10 V output signal**
- **Integral cast encapsulated**
- **Measurement unaffected by changes in temperature**
- **High temperature stability**
- **No mechanical aging or creepage**
- **Internal thread 7/16-20 UNF**
- **Excellent EMC characteristics**
- **For use with all media, included ammonia**

Use

The QBE2001-P... pressure sensors are suitable for the measurement of static and dynamic positive pressures in HVAC plant, particularly in hydraulic and refrigeration systems using liquid or gaseous media.

Technical design

The QBE2001-P... pressure sensors operate on the piezo-resistive measuring principle. The ceramics diaphragm (thick-film hybrid technology) acquires the pressure through direct contact with the medium. The measurement is converted electronically into a linear output signal of DC 0...10 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type summary

Type reference	*Pressure range*		
QBE2001-P10U	−1...+9 bar	−100... +900 kPa	−14.5 . +130.0 psi
QBE2001-P25U	−1...+24 bar	−100...+2400 kPa	−14.5... +348.0 psi

Ordering

When ordering, please give name and type reference, e.g.:
Pressure sensor **QBE2001-P10U**
Any accessories required must be ordered separately.

Equipment combinations

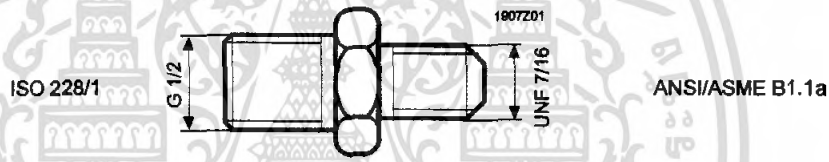
The QBE2001-P... pressure sensors can be combined with all devices or systems capable of processing the DC 0 ...10 V output signal from the pressure sensor.

Mechanical design

The QBE2001-P... pressure sensors are compact units and cannot be dismantled. No changes or adjustments are possible.

Accessories

FT-PZ1 The FT-PZ1 thread adapter kit is available for connection to gas or hydraulic systems with G½" threads. The kit comprises 1 stainless steel (1.4306) reducing coupling and 2 copper sealing washers.

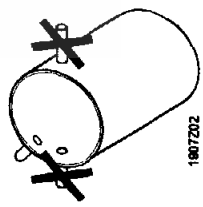


Fitting notes

Mounting Instructions are enclosed with the sensor.
The FT-PZ1 thread adapter (reducing coupling and copper sealing washer) should be used for connections to systems with G½" threads (refer to "Accessories").
To provide for test measurements without leakage of the medium, it is strongly recommended that an appropriate test adapter and shutoff device should be fitted. The pin on the inside of the screwed fitting of the sensor is designed to ensure that any Schrader-type fitting will be opened (or closed) when the sensor is installed or removed.
To ensure tight fitting without leakage, a copper sealing washer (not supplied) should be fitted to the flange seat.

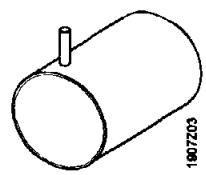
Pressure measurement with liquids

The tapping point should be at the side, near the bottom of the pipe Do not measure the pressure from the top of the pipe (where it may be affected by airlocks) or the bottom (where it may be affected by dirt).
Always evacuate the system.



Pressure measurement with condensing gases

The tapping point should be at the top so that no condensate reaches the sensor.



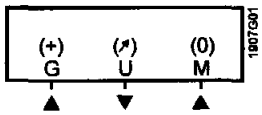
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical data

Electrical interface	Power supply	with extra-low voltage only (SELV, PELV)
	Supply voltage	AC 24 V, 50...60 Hz or DC 16...33 V
	Max. voltage tolerance	±15 % at AC 24 V
	Current consumption	<4 mA
	Output signal	DC 0 ...10 V, R_{Load} > 10 kΩ (not galvanically separated, 3-wire connection, short-circuit proof and protected against polarity reversal)
Functional data	Application range	
	QBE2001-P10U	−1...+9 bar
	QBE2001-P25U	−1 ..+24 bar
	Accuracy:	(FS = Full Scale)
	Total of linearity, hysteresis and reproducibility	<±0.5 % FS
	Zero point offset voltage	<30 mV
	Temperature drift:	
	TC zero point	<±0 03 % FS/K (typically)
	TC sensitivity	<±0.015 % FS/K (typically)
	Response time	<2 ms
	Nominal pressure	relative pressure as in "Type summary" (measurement of difference from ambient pressure)
	Max. admissible pressure	
	QBE2001-P10U	30 bar
	QBE2001-P25U	75 bar
	Rupture pressure	6 x scale end value of measuring range (FS)
	Media	for use with all media, included ammonia
	Admissible temperature of medium	−40 . +125 °C
	Maintenance	maintenance-free
	Mounting position	optional
Protection	Protection standard	IP 67 to EN 60 529
Connections	Connecting cable	PVC, length 1.5 m, 3 x 0 25 mm² stranded wires
	Screwed fitting	internal thread 7/16-20 UNF
Environmental conditions	Operation to	IEC 721-3-3
	Climatic conditions	class 3K7
	Temperature	−40.. +85 °C
	Humidity	<95 % r h
	Storage/transport	
	Climatic conditions	
	Temperature	−40 . +85 °C
	Humidity	<95 % r h
Standards	Electromagnetic compatibility	
	Immunity to	EN 61 000-6-2, EN 61 326-1
	Emissions to	EN 61 000-6-3, EN 55 022, EN 61 326-1
	CE conformity to	
	EMC directive	89/336/EEC
	✓ conformity to	
	Australian EMC Framework	Radio Communication Act 1992
	Radio Interference Emission Standard	AS/NZS 3548
Materials	Base	stainless steel (1.4305)
	Measuring element	ceramics diaphragm
	Cover	stainless steel (1.4305)
	Sealant	metallically welded
	FT-PZ1 coupling	stainless steel (1.4305)
	Flat-faced seal for FT-PZ1	copper
Weight	Including packaging	0.172 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

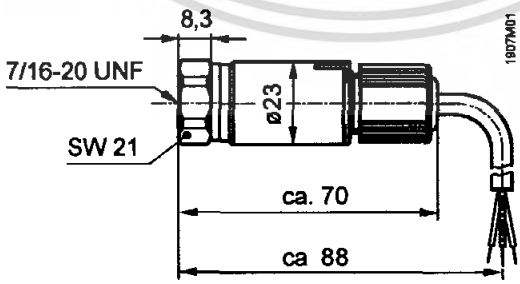
Internal diagram



Legend

SBT terminal marking	*Color of core*	*Meaning*
G (+)	Brown	Supply voltage AC 24 V or DC 16 . 33 V
U (↗)	Green	Output signal DC 0...10 V (signal ground GND)
M (0)	White	GND

Dimensions



Dimensions in mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ITEMS	UNIT	COOLING	HEATING
POWER SOURCE	V / Ph /Hz	220 Va.c. 50 Hz	-
CAPACITY C/H	Btu/h	18,952.64	-
POWER INPUT C/H	W	1,668.80	-
AMPERES C/H	A.	7.9	-
POWER FACTOR	%	96	-
REFRIGERANT	gm.	1,700	-
E.E.R. C/H	BTU / W-h	11.36	-
R.P.M. INDOOR	RPM	1300 / 1150 / 900 / 750	-
R.P.M. OUTDOOR	RPM	780	-
COLOR BRAND NAME	PANTONE	15-30°C , Step 0.5°C	-
TEMPERATURE CONTROL	C	-	-
NOISE I/O	dB(A.)	31 / 47	-

INDOOR SPECIFICATION

ITEMS	SPECIFICATION	CODE NUMBER	MAKER	QTY
CONTROL				
WIRING DIAGRAM	WI - C2004SHW-A			
MAIN PCB	MNWNN1E or MNWNN1H (WN108)			
DISPLAY	DYNWN1A or DYNWN1B			
REMOTE	LCD5 (Ver 2) 2EE502AREM007			
SENSOR	Thermister	502AT	-	1
CONNECTOR	6P	-	AMP	1
EQUIPMENT				
FAN TYPE	Cross Flow Fan			
FAN DIMENSION	ϕ100 mm X L920 mm (Randpm Pitch) 4GN431G-00014			
FAN MOTOR	220 Va.c. 50 Hz	4GN511A - 00038 01	NEW MOTECH	1
FAN MOTOR CAP.	1.8 µF 400 - 440 Va.c.			1
A.P.S.	YES			1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWING MOTOR	12 V d.c. 300 - 550 Ω	-สายยาว 45 ซม.	-	1
WATER PUMP	-			
DRAIN HOSE	2AS423A-00001 (ยาว 50 ซม.)			1
FILTER	Plastic & Washable (Catalytic Filter)			2 (1)

COIL

FIN TYPE	Slit Fin
FIN PER INCH	21
FACE AREA	3.69 Sq.ft
COIL TUBE	7 mm
TYPE OF TUBE	Inner Grooved Tube
NUMBER OF CIRCUITS	4

CASING

CASE TYPE	M
CASE COLOR	White
UNIT SIZE	328 x 1188 x 218 mm
PACKAGE SIZE	398 x 1280 x 289 mm
NET WEIGHT	17.0
GROSS WEIGHT	21.0

SPECIFICATION ON HEAT EXCHANGER

INDOOR

Distributor

Tube ϕ Tube 7 mm.

1 = 25

cm

2 = 30

cm Coil ยาว = 912 mm.

3 = 20

cm Coil กว้าง = 252 + 125 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 = 27

cm

Fin / inch =

21

Liquid = 3 /

8"

Suction = 1 / 2"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTDOOR
SPECIFICATION

ITEMS	SPECIFICATION	CODE NUMBER	MAKER	QTY
CONTROL				
WIRING DIAGRAM	WO-2002-1R-1			
MAGNETIC	220 Vac 50Hz	G7L-2A-TUB	OMRON	1
TERMINAL	3P x 1,6P x 1	-	LSP	2
SUPPRESSER	-			
HIGH PRESSURE SW.	-			
LOW PRESSURE SW.	-			
FAN SPEED CONTROL	-			
SENSOR	-			
EQUIPMENT				
FAN TYPE	Propeller 18"			1
FAN SPEED CONTROL	-			
FAN MOTOR	220 Va.c. 50 Hz	4GN511A-00020 01	FASCO	1
FAN MOTOR CAP.	5.0 µF , 400 - 440 Va.c.			1
OVER LOAD	-			
DRAIN PLUG	-			
COIL				
FIN TYPE	Corrugate Fin			
FIN PER INCH	16			
FACE AREA	5.71 Sq.ft			
COIL TUBE	9.525 mm			
TYPE OF TUBE	Plain Tube			
NUMBER OF CIRCUITS	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIPING SYSTEM				
LIQUID TUBE	3/8" x 4 m.			1
SUCTION TUBE	1/2" x 4 m.			1
DRIER	GRAND D.K. 3/8" 30 g			1
COOL CAP. TUBE	075 x 29"			1
HEAT CAP. TUBE	-			
4-WAY VALVE	-			
OIL SEPARATOR	-			
COMPRESSOR				
COMPRESSOR TYPE	Rotary	PH31VNET	SCI	1
COMP. RUNNING CAP.				
COMP. STARTING CAP.	45 µF 370 Va.c.			1
CASING				
CASE TYPE	M1			
CASE COLOR	White			
UNIT SIZE	643 x 997 x 345 mm			
PACKAGE SIZE	680 x 1080 x 425 mm			
NET WEIGHT	58.0			
GROSS WEIGHT	67.0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTDOOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริญญานิพนธ์ได้ที่
www.kmitl.info

P202.2550

บทความประกอบวิชา 01054025 Project2 ภาคเรียนที่ 2/2550 วันจันทร์ที่ 17 มีนาคม 2551

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเล็คทรอนิคเอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก

Programming control Electronic Expansion Valve (EXV) and Inverter for small Air-conditioner[1]

กฤษณ์ วัฒนพันธุ์[2], อนุสรณ์ สิงหเสนี[2], เอกพล รำเพยพล[2], ธวัชชัย นาคพิพัฒน์[3]

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาระบบทำความเย็นโดยนำเสนอการควบคุมปริมาณการจ่ายน้ำยาสารทำความเย็นเข้าอีวาโปเรเตอร์ (evaparator) โดยให้น้ำยาสารทำความเย็นระเหยหมดกลายเป็นไออิ่มตัวพอดีด้วยอุปกรณ์ควบคุมแบบ EXV(Electronic Expension Valve) และใช้ระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมอัตราการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการที่ EXV การควบคุมทั้งหมดนี้จะใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic ติดต่อผ่านคอมพิวเตอร์ เพื่อรับค่าอุณหภูมิและความดันจากตัวตรวจจับ(sensor) และส่งสัญญาณผ่านทางพอร์ตขนาน ไปควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ให้เปิด-ปิดวาล์วของอุปกรณ์ควบคุมแบบ EXV โดยการควบคุมจะใช้ค่าความร้อนยิ่งยวดของไอ(Superheat vapor) และค่าการเป็นของเหลวเย็นยิ่ง (Liquid Subcooling) มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นด้วย เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผลการทดลองสรุปว่า เครื่องทำความเย็นขนาด 18,000 BTU/hr เมื่อทำการควบคุมปริมาณการจ่ายสารทำความเย็นโดย EXV(Electronic Expension Valve) เพื่อทำให้เกิด saturated ตลอดเวลาที่ทางออก Evaporator ที่อุณหภูมิมาตรฐานสามารถทำความเย็นได้ EER = 13.021

Abstract

The study of refrigeration system is control on the refrigerant flow at evaporator. The optimum of refrigerant flow is controlled by Electronics Expansion Valve and Inverter system to be saturated vapor from evaporator outlet. An operation of EXV was controlled by Microsoft Visual Basic on computer. Feedback of Temperature and Pressure from sensors was used to measure data at several states. All data was analyzed and control by step motor via parallel port. Electronics Expansion Valve was done by step motor for control at state of the superheat and sub cooling as the set value of the refrigeration system for bester efficiency. . Conclusion. The air conditioner 18,000 BTU/hr when the refrigerant flow is controlled by EXV to be saturated vapor from evaporator outlet at temperature standard every time. The system can be energy efficiency ratio is 13.021.
© 2006 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

Keywords: Electronics Expansion Valve; Inverter; superheat; sub cooling; temperature sensor; pressure sensor; step motor

1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการทำงานของมนุษย์เราเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนมีการขยายตัวของอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กซึ่งมักจะพบเห็นว่ามีการติดตั้งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่นตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัย, สำนักงานทั่วไป ฯลฯ สิ่งที่ผู้ใช้งานเครื่องปรับอากาศทุกคนต้องการก็คือ อากาศที่มีอุณหภูมิพอเหมาะ,ความชื้นในอากาศที่เหมาะสม,อากาศมีความสะอาดและมีปริมาณการระบายหมุนเวียนเพียงพอ แต่ในบางครั้งพบว่า ผู้ใช้ประสบกับปัญหาของการมีอากาศภายในห้องที่ไม่ดีนัก เช่น มีอากาศหนาวเนื่องมาจากอากาศภายในห้องเย็นเกินไป หรือมีอาการอึดอัดเนื่องจากอากาศภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลงร้อนและหนาว ฯลฯ

[1] ชื่ออังกฤษ "Programming control Electronics Expansion Valve and Inverter for small Air-conditioner"

[2] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q รหัส, 48015369, 48015409 และ 48015454ตามลำดับ

[3] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0 2326 4197, อีเมล *kssayam@kmitl.ac.th*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การจะปรับสภาพอากาศภายในห้องให้มีค่าอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลานั้นเป็นเรื่องที่ยากมาก สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบเทอร์โมสตัท (Thermostat) ซึ่งทำหน้าที่ ตัดและต่อ การทำงานของคอมเพรสเซอร์ จากการตัดและต่อการทำงานนั้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องไม่คงที่และทำให้อายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง อีกทั้งการทำงานของเทอร์โมสเตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (TXV) จะทำให้สถานะของน้ำยาที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์มีค่าการเป็นซูปเปอร์ฮีตซึ่งมีผลต่อการทำความเย็นของระบบ ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีการเปลี่ยนอุปกรณ์จากเทอร์โมสเตติกเอ็กซ์แปนชั่นวาล์(TXV) เป็นอิเล็คทรอนิคส์เอกซ์แปนชั่นวาล์ว (EXV) โดยควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมการในการสั่งจ่ายน้ำยาสารทำความเย็นจากการเปลี่ยนอุปกรณ์มีผลทำให้สามารถควบคุมสถานะของสารทำความเย็นให้สถานะสุดท้ายที่ออกจากอีวาโปเรตอร์มีค่าเป็น Saturated พอดี

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 ศึกษาระบบทำความเย็นและระบบควบคุม โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (Electronic Expansion Valve) และอินเวอร์เตอร์ให้สัมพันธ์กับการกลายเป็นไออิ่มตัว ที่ทางออกอีวาโปเรเตอร์

1.1.2 ออกแบบโปรแกรมควบคุม EXVและอินเวอร์เตอร์

1.1.3 พัฒนาประสิทธิภาพของระบบเครื่องปรับอากาศให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้จะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับอุณหภูมิและความดันตามตำแหน่งต่างๆ ที่ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอของชุดทดลอง เพื่อส่งค่าที่ได้ไปประมวลผลในซอฟต์แวร์จากโปรแกรมVisual Basic ที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อให้ซอฟต์แวร์ทำการควบคุมEXVให้จ่ายน้ำยาสารทำความเย็นและให้ระเหยหมดเป็นไอพอดีที่ทางออกอีวาโปเรเตอร์ และควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอย่างเหมาะสมกับสภาวะ

1.3 การดำเนินงาน

1.3.1 ทำการศึกษาระบบการทำความเย็นและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมElectronic Expansion Valve (EXV) รวมถึงศึกษาโปรแกรม Visual Basic

1.3.2 จัดหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการติดตั้งชุดทดลอง เมื่อทำการติดตั้งชุดทดลองระบบการทำความเย็นเสร็จ ก็ต้องมีการทำสุญญากาศระบบเพื่อดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบ หลังจากนั้นก็จะทำการชาร์จน้ำยาเข้าระบบและทำการเดินระบบ โดยใช้การปรับวาล์วควบคุม EXVด้วยวิธีแมนนวล

1.3.3 สร้างชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับอุณหภูมิและความดันโดยผ่านทางพอร์ตขนาน

1.3.4 ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับอุณหภูมิและความดันกับอุปกรณ์สอบเทียบมาตรฐานที่ภาควิชาวิศวกรรมวัดคุม พร้อมทั้งปรับค่าเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และทำการทดลอง

1.3.5 ส่วนสุดท้ายนี้จะนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานครั้งนี้ ข้อเสนอแนะในการนำโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้ รวมทั้งการปรับปรุง แก้ไขเพิ่มเติมอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น

2.หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 การทำงานของระบบทำความเย็นอย่างง่าย

แสดงความดันสารทำความเย็น (Bar) และความจุความร้อน (kJ/kg) วัฏจักรทำความเย็นสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้จากรูปที่ 1

ที่ตำแหน่ง (1 → 2) สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวที่มีความดันต่ำในอีวาโปเรเตอร์จะดูดซับความร้อนจากบริเวณโดยรอบซึ่งตามปกติคืออากาศ น้ำ หรือของเหลว ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ในระหว่างกระบวนการดังกล่าว สารทำความเย็น จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ และที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์ สารทำความเย็นจะมีสภาพเป็นไอร้อนยวดยิ่งเล็กน้อย
ดังนั้น ค่าการทำความเย็นที่อีวาโปเรเตอร์หาได้จาก

$$R.E. = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1)$$

ที่ตำแหน่ง (2 → 3) ไอยวดยิ่งจะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์เพื่ออัดเพิ่มความดันให้สูงขึ้นในขณะเดียวกันอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลังงานที่ ป้อนเข้าไปในกระบวนการอัดจะถูกเก็บสะสมอยู่ในสารทำความเย็น
ดังนั้น กำลังที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์สามารถหาได้จาก

$$W_c = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (2)$$

ที่ตำแหน่ง (3 → 4) ไอร้อนยวดยิ่งของสารทำความเย็นจะถูกส่งต่อจากทางออกของคอมเพรสเซอร์ไปสู่คอนเดนเซอร์ ในช่วงแรกของกระบวนการระบายความร้อน จาก (3 → 3a) เป็นการลดสภาพไอร้อนยวดยิ่ง จากนั้นในช่วงถัดไป จาก (3a → 3b) จะเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอไปเป็นของเหลว การระบายความร้อนในกระบวนการนี้ มักจะใช้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

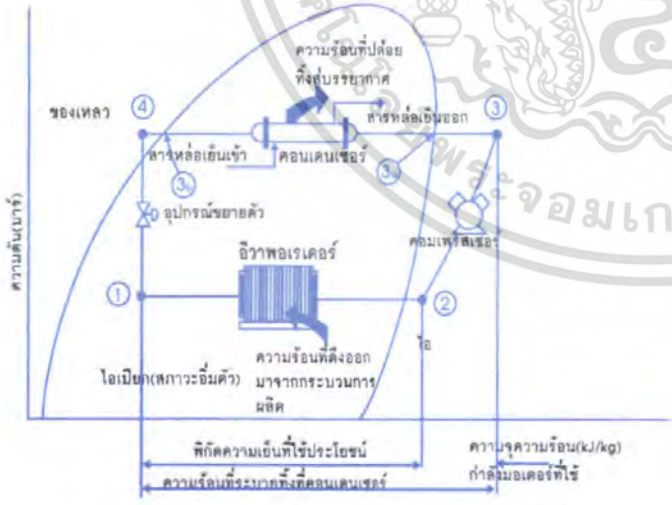
สัญลักษณ์

W_c	กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/hr	m	ปริมาณสารความเย็นที่ไหล มีหน่วยเป็น lb/hr
h_2	เอนทาลปี้ก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb	$R.E.$	ค่าการทำความเย็นที่มีหน่วยเป็น Btu/hr
h_3	เอนทาลปี้ที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb	COP.	ประสิทธิภาพในการทำความเย็น
h_4	เอนทาลปี้ที่ออกจากคอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb	EER	อัตราการกินพลังงาน (Energy Efficiency Ratio)
h_1	เอนทาลปี้ที่ก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb	q_c	ปริมาณความร้อนที่ออกที่คอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/hr

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกที่คอนเดนเซอร์หาได้จาก

$$q_c = \dot{m}(h_3 - h_4) \qquad (3)$$

ที่ตำแหน่ง (4 → 1) ของเหลวเย็นยิ่งความดันสูงจะไหลผ่านอุปกรณ์ขยายตัวซึ่งทำหน้าที่ทั้งลดความดันและควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์จะเห็นได้ว่า คอนเดนเซอร์จะต้องมีความสามารถ ในการระบายความร้อนรวมทั้งจากเครื่องระเหยและคอมเพรสเซอร์ กล่าวคือ พลังงานในช่วง (1 → 2) + (2 → 3) จะต้องเท่ากับช่วง (3 → 4) เมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อนหรือรับความร้อนที่อุปกรณ์ขยายตัว (Expansion value)



รูปที่ 1 แผนภาพP-h Diagramแสดงการทำงานของระบบทำความเย็น

ประสิทธิภาพ ของการทำความเย็น

$$C.O.P = R.E./W_c \qquad (4)$$

อัตราการกินพลังงาน (Energy Efficiency Ratio)

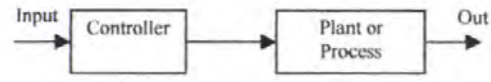
$$EER = \frac{R.E.(Btu/hr)}{W_c(Watt)} = C.O.P \times 3.41 \quad (Btu/Watt) \qquad (5)$$

3.ทฤษฎีในการออกแบบโปรแกรม

3.1 ระบบควบคุม

3.1.1 แบบ Open-loopเป็นระบบควบคุมที่เอาท์พุทของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบ Open-loop นั้น เอาท์พุทของระบบจะไม่ถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

อินพุท แสดงดังรูปที่ 2 เป็น Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทของระบบควบคุมแบบ Open-loop



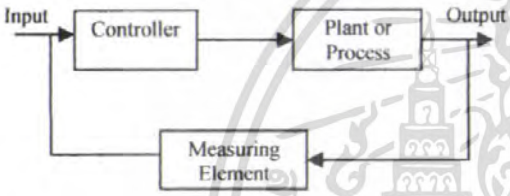
รูปที่ 2 ระบบควบคุมแบบ Open-loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 คุมแบบ Close-loop

เป็นระบบควบคุมที่เอาท์พุทจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Close-loop ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง โดยสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาท์พุทที่ป้อนกลับ(Feedback Signal) จะถูกป้อนให้กลับตัวควบคุม(Controller)

เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาท์พุทของระบบมีค่าตามที่ต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาท์พุทโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันหรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาท์พุทก็ได้ แสดงดังรูปที่ 3 เป็น Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทของระบบควบคุมแบบ Close-loop

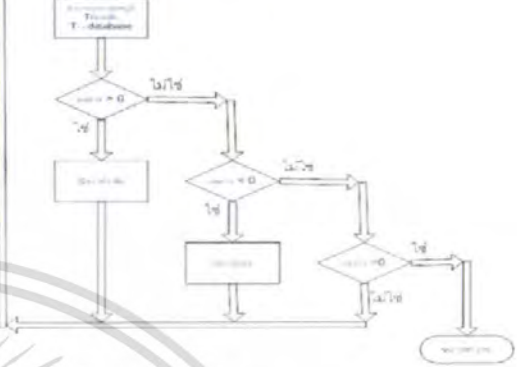


รูปที่ 3 ระบบควบคุมแบบ Close- loop

3.2 ระบบควบคุมการทำงานของโปรแกรม

แสดงรูปแบบโปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ทดลองให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยวิธีการควบคุม EXV สามารถควบคุมได้ 2 อย่างโดยควบคุมแบบAuto และ Manual ดังแสดงในรูปที่ 4

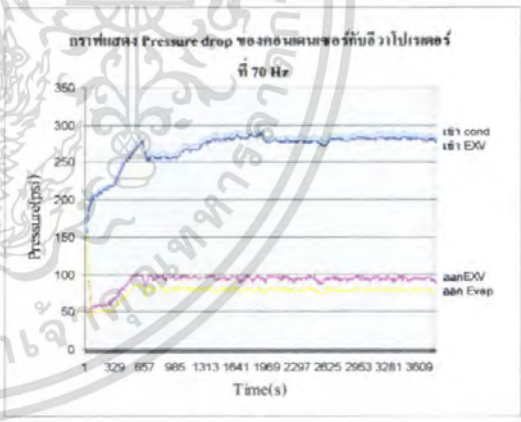
รูปที่ 4. รูปแบบโปรแกรมการควบคุม

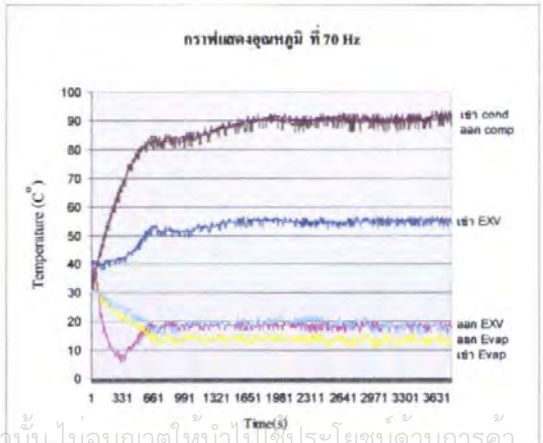


รูปที่ 5 แสดงโฟล์วชาร์ทการทำงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมวาล์วอีเล็กซ์วี

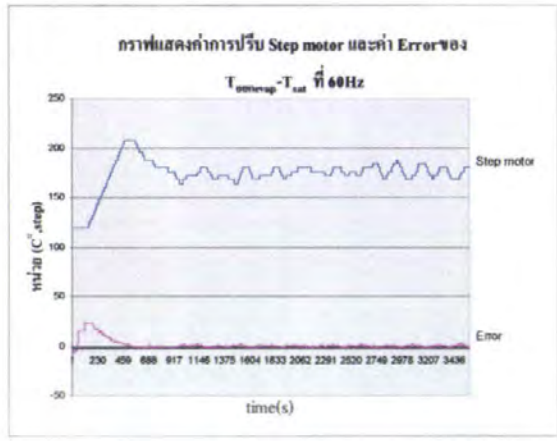
4.ผลการทดลอง

การควบคุมความถี่ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ 70 Hz





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

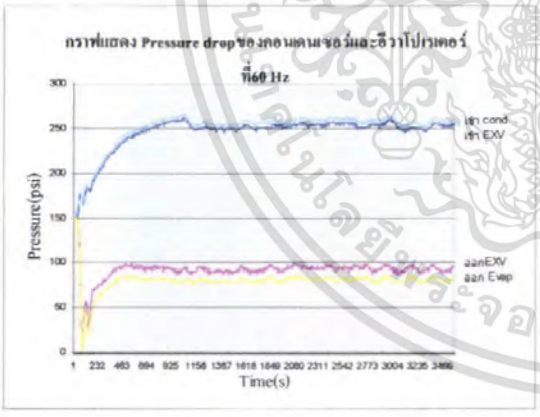


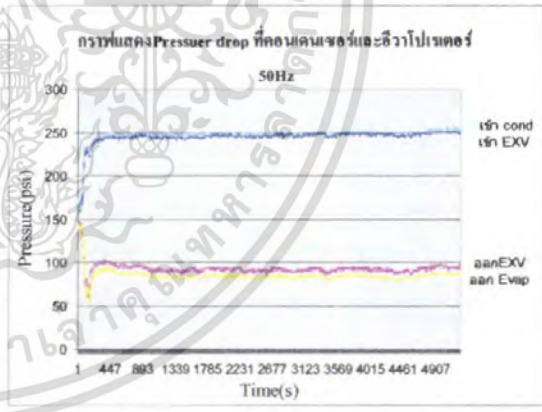
Item	Average
Capacity(Kw)	5.527
Power input (Kw)	1.959
C.O.P.	2.822
EER	9.629

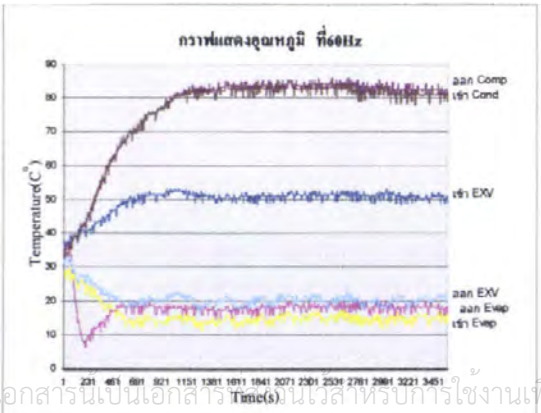
Item	Average
Capacity(Kw)	5.358
Power input (Kw)	1.777
C.O.P.	3.016
EER	10.291

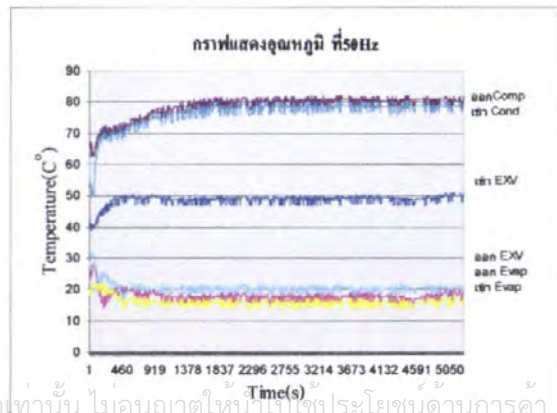
การควบคุมความถี่ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ 60 Hz

การควบคุมความถี่ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ 50Hz

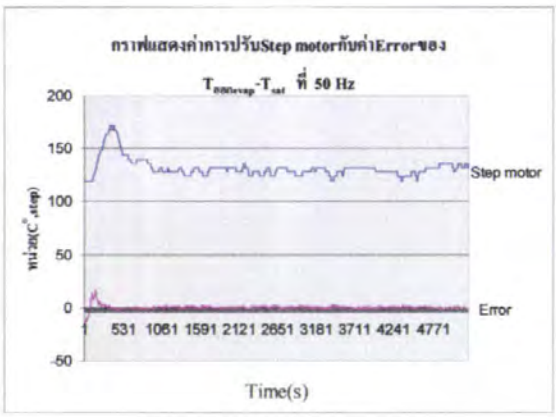


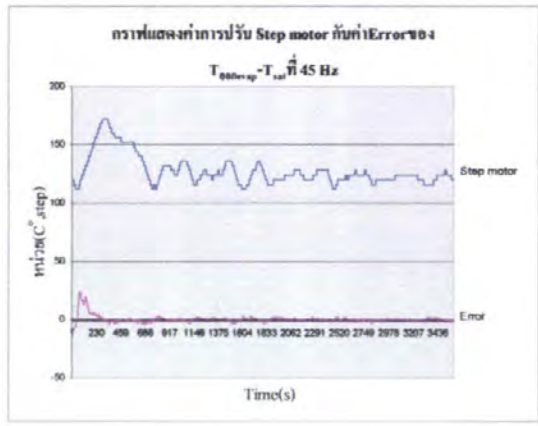






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



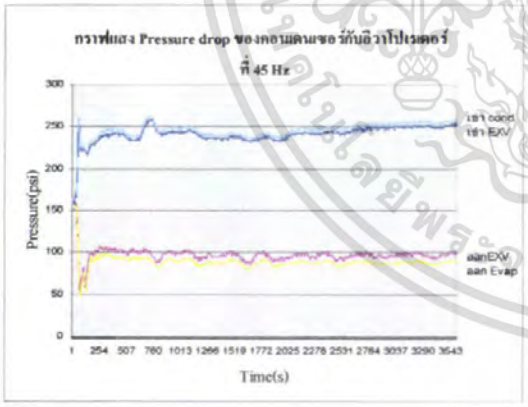


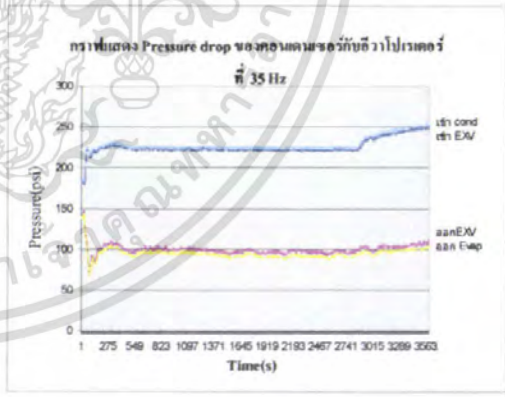
Item	Average
Capacity(Kw)	5.281
Power input (Kw)	1.377
C.O.P.	3.834
EER	13.081

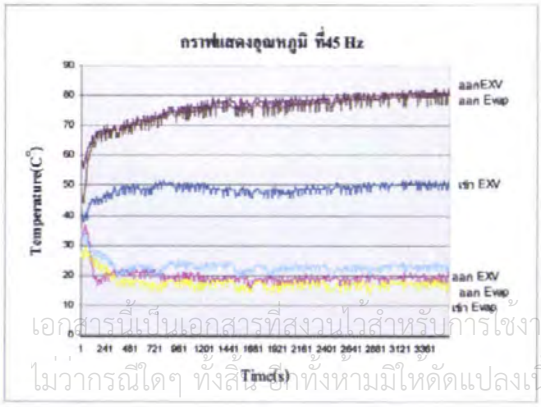
Item	Average
Capacity(Kw)	4070
Power input (Kw)	0.996
C.O.P.	4.241
EER	14.31

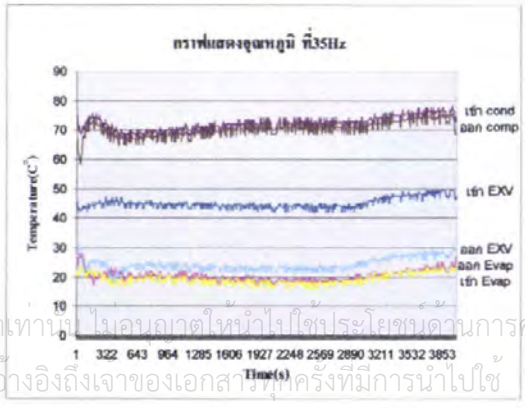
การควบคุมความถี่ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ 45 Hz

การควบคุมความถี่ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ 35Hz

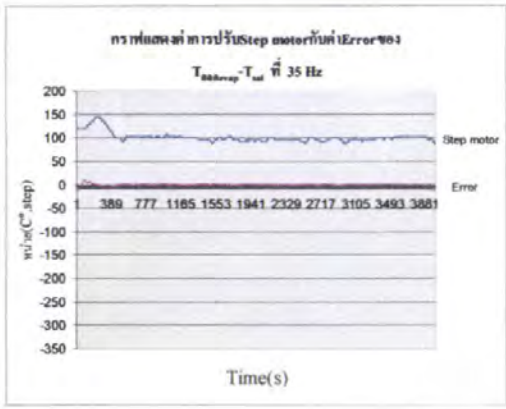


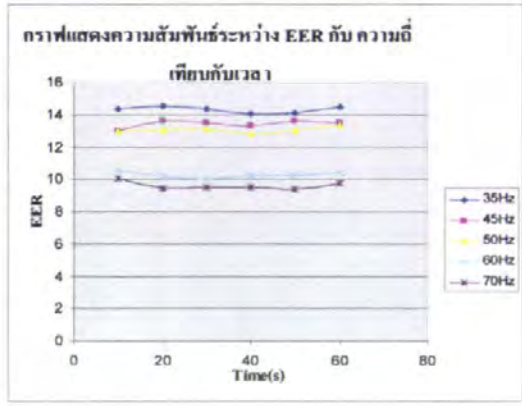






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





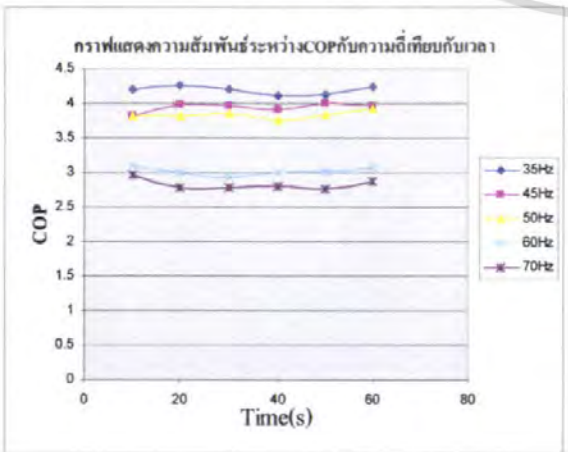
Item	Average
Capacity(Kw)	4.803
Power input (Kw)	1.214
C.O.P.	3.954
EER	13.493

5.สรุป

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความถี่ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่าสูงขึ้น ค่า C.O.P.จะต่ำ แต่การทำความเย็นสามารถทำได้มากและถ้าหากความถี่ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่าต่ำ ค่า C.O.P.จะมากแต่การทำความเย็นจะทำได้น้อยลง ดังแสดงในกราฟที่ 5.1

เมื่อทำการควบคุม EXV และ Inverter โดย EXV จะทำการควบคุมปริมาณการจ่ายน้ำยาให้พอดีกับการเกิด Saturated vapor ที่ทางออก Evaporator และ Inverter ควบคุมความถี่ของคอมเพรสเซอร์ ผลที่ได้คือ

1. มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. ทราบพฤติกรรมของระบบการทำความเย็น
3. ความสัมพันธ์ที่ได้คือ เมื่อความเร็วรอบในการควบคุมคอมเพรสเซอร์มีจำนวนมากจะสามารถทำความเย็นได้มาก แต่ประสิทธิภาพของระบบน้อยและความสัมพันธ์อีกประการคือ ที่ความเร็วรอบต่ำในการควบคุม คอมเพรสเซอร์ ความสามารถทำความเย็นได้น้อย แต่อัตราการกินพลังงานจะน้อยทำให้มีประสิทธิภาพของระบบมากขึ้น



กราฟที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุธิกานต์ วงษ์เสถียร.2548.**เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ.**ปทุมธานี: สิงหาคม 2548.

[2] อัครเดช สินธุภัคร.2544.**การทำความเย็น.**กรุงเทพฯ: ตำรา ชุดวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา.2548.**การทำความเย็นและการปรับอากาศ.**กรุงเทพฯ:พฤศจิกายน 2548

[4] กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,"**เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน**", บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

[5] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร2548."**คู่มือเขียนโปรแกรม Visual Basic6**", กรุงเทพ: กันยายน 2548.บริษัท ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด

[6] ผศ.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์.2545."**ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก**"กรุงเทพ, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้