เตาอบควบคุมอุณหภูมิ

Temperature Controlled Oven

นางสาวสุปราณี ลมปลิว

Supranee Lompiew

นายปกณสรรค์ โรจนากาศ

Paponsan Rojanakat

นายอาคเนย์ ปัดกอง

Akane Patkong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

เตาอบควบคุมอุณหภูมิ

Temperature Controlled Oven

โดย

นางสาวสุปราณี ลมปลิว รหัสนักศึกษา 53011753

นายปภณสรรค์ โรจนากาศ รหัสนักศึกษา 53011804

นายอาคเนย์ ปัดกอง รหัสนักศึกษา 53011923

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ.2556

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เตาอบควบคุมอุณหภูมิ**

Temperature Controlled Oven

ผู้จัดทำ นางสาวสุปราณี ลมปลิว รหัส 53011753

นายปภณสรรค์ โรจนากาศ รหัส 53011804

นายอาคเนย์ ปัดกอง รหัส 53011923

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เตาอบควบคุมอุณหภูมิ
นักศึกษา นางสาวสุปราณี ลมปลิว รหัส 53011753
นายปภณสรรค์ โรจนากาศ รหัส 53011804
นายอาคเนย์ ปัดกอง รหัส 53011923
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2556
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา

บทคัดย่อ

โครงงานเตาอบควบคุมอุณหภูมิ ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการอบ โดยควบคุมอุณหภูมิและเวลาในเตาอบซึ่งอาศัยหลักการของระบบควบคุมสำหรับโครงงานนี้ได้ประยุกต์ใช้การทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ ร่วมกับเซนเซอร์ ในการวัดอุณหภูมิ เพื่อนำมาประมวลผล และควบคุมเตาอบ โดยแสดงผลผ่านทางหน้าจอแอลซีดีโมดูลและป้อนค่าอุณหภูมิผ่านคีย์ ส่วนของโครงงานจะแบ่งออกเป็น ตัวเตาอบ ส่วนวงจรวัด และส่วนของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Temperature Controlled Oven
Student	Miss. Supranee Lompiew ID 53011753 Mr. Paponsan Rojanakat ID 53011804 Mr. akane Patkong ID 53011923
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Mr.Chalermpun Wungwiwattana

ABSTRACT

Temperature Controlled Oven project is designed and used for Controlled temperature and time of oven based on the principles of control systems. This project applied microcontroller with temperature sensor to measure the temperature to be the same result and control devices through the oven by the LCD module and the temperature over the keypad. This project divided three main are, oven, temperature sensor, and software.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานเรื่อง เตาอบควบคุมอุณหภูมิ ทำให้ได้เรียนรู้ถึงวิธีการคิด ได้เรียนรู้ขั้นตอนการทำงาน การทำงานของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดนมีอาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในโครงงานชิ้นนี้ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและแนวทางในการทำโครงงานทำให้โครงงานนี้มีความคืบหน้าในการทำงาน จึงขอขอบคุณอาจารเฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนาเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณเพื่อนๆที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ในระดับหนึ่ง

นางสาวสุปราณี ลมปลิว

นายปภณสรรค์ โรจนากาศ

นายอาคเนย์ ปัดกอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 ฮีทเตอร์ (Heater)	3
2.2 การตรวจวัดความร้อน (Thermal Sensors)	5
2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)	7
2.4 ระบบควบคุม	9
2.5 ไตรแอค (Triac)	11
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	15
2.7 PIC16F877A	17
2.8 7-Segment	20
2.9 สวิตช์เมตริกซ์ (matrix switch)หรือคีย์แพด (keypad)	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น การอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 หลักการและการออกแบบ 26

3.1 องค์ประกอบหลัก 26

3.2 แผนภาพแสดงการทำงาน 26

3.3 กระบวนการควบคุม (PROCESS CONTROL) 27

3.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 30

3.5 การใช้โมดูล CCP1 และ TIMER2 กำเนิดสัญญาณ (Pulse Generate) 31

3.6 โฟล์วชาตการทำงานของเตาอบควบคุมอุณหภูมิ 34

3.7 วงจรส่วนประกอบของเตาอบควบคุมอุณหภูมิ 35

3.8 รูปส่วนประกอบของวงจรจับเวลา 35

3.9 รูปส่วนประกอบของวงจรไดร์ฟพัดลม 36

3.10 รูปส่วนประกอบของวงจรไดร์ฟฮีทเตอร์ 36

บทที่ 4 ผลการทดลอง 37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 42

ภาคผนวก 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.3.1 Thermocouple	7
รูปที่ 2.3.2 Thermistor Circuit and output	8
รูปที่ 2.4.1 กราฟ ระบบควบคุม	10
รูปที่ 2.5.1 วงจรแบบพื้นฐานที่สุดในการใช้งานไตรแอก	12
รูปที่ 2.5.2 การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์	13
รูปที่ 2.5.3 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด	13
รูปที่ 2.5.4 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอค	14
รูปที่ 2.6.1 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์	16
รูปที่ 2.7.1 PIC16F877A	17
รูปที่ 2.7.2 โครงสร้างภายในชิพ	19
รูปที่ 2.8.1 โครงสร้างและขาของหลอดแสดงผล LED 7-Segment	20
รูปที่ 2.8.2 โครงสร้างการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segment	21
รูปที่ 2.8.3 การเชื่อมต่อ PIC กับหลอดแสดงผล LED 7-Segment	22
รูปที่ 2.8.6 Switch แบบ Matrix	24
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงาน	26
รูปที่ 3.2 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	27
รูปที่ 3.3 LM 35	30
รูปที่ 3.4 การทำงานของโมดูล CCP1/TIMER2 ในการกำเนิดสัญญาณ	31
รูปที่ 3.5 การกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ CCPR1L:CCP1CON<5:4>	32
รูปที่ 3.6 Flow chart การทำงานของเตาอบควบคุมอุณหภูมิ	34
รูปที่ 3.7 รูปภาพเตาอบควบคุมอุณหภูมิ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.5.1 คุณสมบัติของไตรแอกที่นิยมใช้ 12

ตารางที่ 2.8.4 แสดงข้อมูลที่ส่งออกพอร์ตของหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบต่อแอโนดร่วม (Common Anode) 22

ตารางที่ 2.8.5 แสดงข้อมูลที่ส่งออกพอร์ตของหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบต่อแคโทดร่วม (Common Cathode) 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบัน เตาอบไฟฟ้าเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสิ่งที่สะดวกและใช้งานง่าย โดยเตาอบไฟฟ้านี้ได้ถูกนำมาใช้แทนที่เตาอบแบบสมัยก่อน ซึ่งจะใช้เชื้อเพลิงแตกต่างกันไป จึงมีแนวความคิดที่ว่าเราจะสามารถควบคุมเตาอบนี้ได้อย่างไร วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์จึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบเตาอบไฟฟ้าขึ้นมา ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของเตาอบได้ หลักการทำงาน คือการทำให้อาหารสุก การอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืช หรือการอบผลผลิตต่างๆ โดยหลักการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนและใช้วิธีแผ่รังสีความร้อนที่เกิดจากขดลวดความร้อนให้กับโหลดหรืออาหาร โดยองค์ประกอบที่จะทำให้อาหารร้อนเร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับชนิด รูปร่าง และปริมาณ ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนโดยใช้หลักการง่ายๆ คือ วัสดุที่ทำจะเป็นตัวต้านทานทางไฟฟ้า รูปแบบมักจะเป็นขดลวดความร้อนหรือแท่งฉนวนหุ้มปิดด้วยวัสดุพาความร้อน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะเกิดความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาเกี่ยวกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ
- เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อศึกษาระบบการควบคุมและการประยุกต์ใช้งานกับเตาอบควบคุมอุณหภูมิ
- เพื่อเป็นการเรียนรู้และศึกษาโปรแกรมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ

1.3 ขอบเขต

- ศึกษาเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ชนิดของเซนเซอร์และทดลองวัดและอ่านค่าเทียบกับค่าจากเทอร์โมมิเตอร์
  แล้วนำมาพิจารณาถึงความแม่นยำของตัวเซนเซอร์ เพื่อส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
- ออกแบบระบบและสร้างเตาอบ โดยมีส่วนของฮีทเตอร์เป็นตัวกำเนิดความร้อน
- เขียนคำสั่งให้ชุดคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ทำงานควบคุมระบบกำเนิดความร้อนตามที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้เกี่ยวกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เพื่อนำไปพัฒนาเป็นวงจรวัดอุณหภูมิต่อไปได้
2. สามารถเขียนคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
3. ทำให้เข้าใจระบบและสามารถออกแบบการให้ความร้อนของเตาอบได้
4. เพื่อเป็นการเพิ่มทักษะและความสามารถในการทำงานภายใต้แรงกดดันและการทำงานเป็นหมู่คณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
หลักการและทฤษฎี

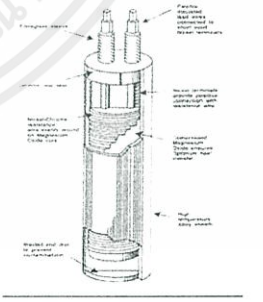
2.1 ฮีทเตอร์ (Heater)

เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม และเป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามบ้านเรือนโดยมีหลักทำงานพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อนขึ้น ทำให้เกิดความร้อน

2.1.1 ฮีตเตอร์แท่ง(Cartridge Heater)

ลักษณะการใช้งานทั่วไปของ Cartridge Heater คือ ใส่ไว้ในช่องบนวัตถุ ความร้อนจะถูกส่งผ่านจากฮีตเตอร์ ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน ตัวอย่างงาน เช่น ให้ความร้อนแม่พิมพ์ของเครื่องบรรจุหีบห่อ Cartridge Heater แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- High Density
- Low Density



2.1.2 ฮีทเตอร์ครีบ (Stainless Fin Coiled Heater)

คุณลักษณะ

ใช้หลักการให้ความร้อนโดยการพาความร้อน เป็นฮีทเตอร์ที่เหมาะสำหรับงานให้ความร้อนกับอากาศ เป็นฮีทเตอร์ที่ให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมอ

- มีหลากหลายขนาดความยาว และวัตต์ให้เลือกตาม ความเหมาะสมในการใช้งาน เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม และงานอบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

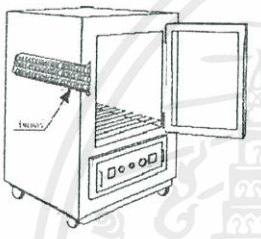
ประโยชน์การใช้งาน

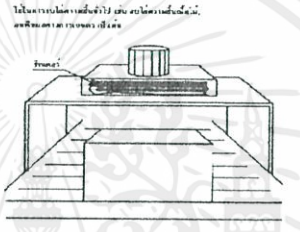
- ใช้สำหรับงานที่ต้องให้ความร้อนกับอากาศ เช่น อบสี, อบชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์, อบไล่ความชื้น, อบใยผ้า, อบแม่พิมพ์, อบไม้, อบพลาสติก, อบอาหาร เป็นต้น

- ใช้สำหรับห้องควบคุมความชื้น เช่นใช้ในการลดความชื้นในระบบทำความเย็น เป็นต้น

- ใช้เป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องใช้ลมร้อนในการใช้งาน เช่น ตู้อบขนม, ตู้อบอาหาร,อบชิ้นส่วนต่าง ๆ เป็นต้น

ตัวอย่างการนำไปใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า





2.1.3 ฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater)

ประโยชน์การใช้งาน

• ให้ความร้อนโดยตรงในตู้อบ และในงานอุตสาหกรรมต่างๆ

• ในกรณีที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ไม่หมุนเวียนควรเลือก วัสดุเป็นอินโคลอย เนื่องจากถ่ายเทความร้อนได้ดีและทนอุณหภูมิได้สูง

ข้อควรระวังในการใช้งาน

• เป็นฮีตเตอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ให้ความร้อนสูง

• การเลือกใช้งาน ควรเลือกขนาด W/CM2 ให้เหมาะกับงานเพื่ออายุการใช้งานของฮีตเตอร์จะได้ยาวนาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การตรวจวัดความร้อน (Thermal Sensors)

นิยามของอุณหภูมิ (Definition of Temperature)

1. **พลังงานความร้อน (Thermal Energy)**

ในวัสดุที่เป็นของแข็ง แต่ละอะตอมหรือแต่ละโมเลกุลจะยึดเกาะหรือมีพันธะต่อกันอย่างแข็งแรงสภาวะดังกล่าวนี้เรียกว่า "ตำแหน่งสมดุล" (equilibrium position) อย่างไรก็ตามแต่ละอะตอมยังคง สามารถสั่นสะเทือนรอบตำแหน่งที่มันตั้งอยู่ได้ แต่ถ้าของแข็งที่ไม่มีการสั่นสะเทือนของโมเลกุล แสดงว่าพลังงานความร้อนภายในอะตอมเป็นศูนย์หรือ $W_{TH} = 0$ ตอนนี้หากเราเพิ่มพลังงานให้กับวัตถุดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนรอบ ๆ ตำแหน่งสมดุลของมันจึงกล่าวได้ว่าขณะนี้มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นหรือ $W_{TH} > 0$ หากเราเพิ่มพลังงานเข้าไปในวัตถุนี้อีก การสั่นสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้น สุดท้ายสภาวะในการยึดเกาะก็จะน้อยลงและแตกออกในที่สุด แสดงว่าวัตถุดังกล่าวนี้เกิดการหลอมละลายและกำลังจะกลายเป็นของเหลว

ในกรณีของแก๊ส หากเพิ่มพลังงานความร้อนในวัตถุที่เป็นของเหลวให้มากขึ้นต่อไปอีก ความเร็วของโมเลกุลก็จะเพิ่มขึ้นจนอยู่ในสภาวะสุดท้ายทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแต่ละโมเลกุลเต็มที่ หากถึงขั้นโมเลกุลไม่สัมผัสกันและเคลื่อนที่อย่างสุ่ม ๆ (random) ในภาชนะ วัตถุดังกล่าวก็จะกลายเป็นแก๊สไปในที่สุดมีผลทำให้โมเลกุลชนกระแทกกับโมเลกุลอื่น ๆ รวมถึงผนังของภาชนะ

ในงานจริง วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดความร้อน อุปกรณ์วัดความร้อนของวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน

2. **อุณหภูมิ (Temperature)**

หน่วยของการวัดพลังงานที่เหมาะสมก็คือ "จูล" (Joule) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ SI ค่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ เพราะมันจะเป็นตัวบอกปริมาณในการเก็บความร้อน ส่วนการวัดพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อโมเลกุลก็มีหน่วยเป็นจูลเช่นเดียวกัน

การวัดอุณหภูมิ (Measurement of Temperature)

1. วิธีการวัดที่ไม่ใช่วิธีทางไฟฟ้า (*Non-Electrical Methods*)

วิธีที่ไม่ใช่การวัดอุณหภูมิทางไฟฟ้า อาจจะอยู่บนวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

1.1 การเปลี่ยนแปลงสถานะทางฟิสิกส์
1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี และ
1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปวิธีการแสดงผลของอุณหภูมิ

1. เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งโลหะ (Solid Rod thermometer)

หลักการของเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งโลหะนี้ อยู่บนหลักการของการขยายตัวเชิงเส้นของโลหะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2. เทอร์โมมิเตอร์แบบไบเมทัล (Bimetallic Thermometer)
เทอร์โมมิเตอร์นี้ใช้หลักการขยายตัวของของแข็ง

3. เทอร์โมมิเตอร์แบบเติมของเหลวในหลอดแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometer)
เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้ใช้วัดอุณหภูมิซึ่งใช้ความแตกต่างของการขยายตัวนี้เป็นตัวบอกระดับอุณหภูมิ

4. เทอร์โมมิเตอร์แบบความดัน (Pressure Thermometer)
ทำงานบนพื้นฐานการขยายตัวของของไหล อันเนื่องมาจากการเพิ่มความดันของปริมาตรที่ใช้วัดอุณหภูมิ
เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการวัดอุณหภูมิทางอุตสาหกรรม

5. เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทที่อยู่ในโลหะ (Mercury-in-steel Thermometer)
เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้มีสเกลเป็นเชิงเส้น และมีกำลังเพียงพอที่จะใช้งานกับปากกาบันทึกได้

6. เทอร์โมมิเตอร์แบบปริมาตรคงที่ (Constant Volume Thermometer)
เทอร์โมมิเตอร์แบบดังกล่าวนี้ใช้แก๊สเฉื่อย (ปกติจะเป็นไนโตรเจน) เป็นตัวทำงานแทนที่ปรอท หลักการทำงาน คือ อาศัยการเพิ่มความดันของแก๊สเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ณ จุดที่ซึ่งปริมาตรคงที่

7. เทอร์โมมิเตอร์แบบความดันไอ (Vapor Pressure Thermometer)
เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้สเกลไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

การตรวจวัดอุณหภูมิใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อกไปสู่สัญญาณดิจิตอล โดยสัมพันธ์กับอุณภูมิ มีรูปแบบใหญ่ ๆ ของ เซนเซอร์ อยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ

1. Thermocouple

คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า "จุดอุณหภูมิ" ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่า "จุดอ้างอิง" หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจร Thermocouple

รูปที่ 2.3.1 Thermocouple

2. Resistance Temperature Detector (RTD)

คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก” นิยมนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง -270 to 850 °C. วัสดุที่นำมาใช้จะเป็นโลหะที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ เช่น แพลทินัม, ทังสเตน และ นิกเกิล

3. Thermistor

เป็นอุปกรณ์ความต้านทานชนิดที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อได้รับความร้อน โดยที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น กับอุณหภูมิ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

Positive Temperature Comitial (PTC)

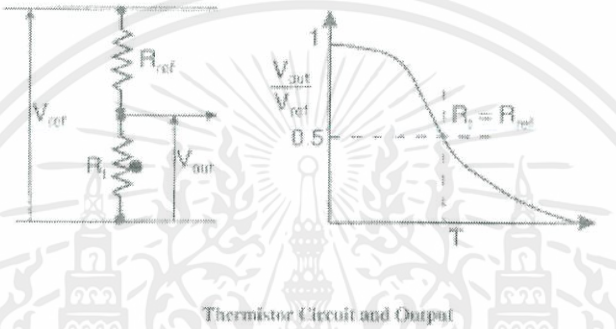
เป็นชนิดที่ปกติจะมีค่าความต้านทานต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีค่าความต้านทานสูงขึ้นตามลำดับอุณหภูมิ นำไปใช้ตรวจสอบระดับความร้อน หรือทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด เช่น วงจรล้างสนามแม่เหล็กอัตโนมัติของเครื่องรับโทรทัศน์สี (Degaussing coil) เป็นต้น

Negative Temperature Comitial (NTC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นชนิดที่ปกติจะมีความต้านทานสูงเมื่อได้รับความร้อน ค่าความต้านทานจะต่ำลง ใช้งานด้านการตรวจสอบความร้อนเพื่อควบคุมระดับการทำงาน เช่น ในวงจรขยายเสียงที่ดีใช้ตรวจจับความร้อนที่เกิดจากการทำงานแล้วป้อนกลับไปลดการทำงานของวงจรให้น้อยลง เพื่ออุปกรณ์หลักจะไม่เกิดความร้อนมากจนเกินไป

ค่าความต้านทานภายในมีความไวต่อการวัดอุณหภูมิอย่างมาก ซึ่งข้อดีของ thermistor คือ สัญญาณ
กว้าง ไม่ต้องการการอ้างอิง แต่ข้อเสียคือค่าที่ได้ไม่ถูกต้องหรือแน่นอน ซึ่งค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานคือ $1/T = A + B\ln(R) + C(\ln(R))^3$ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น โดยจะเพิ่ม thermistor ลงไปในวงจรดังรูป



Thermistor Circuit and Output

รูปที่ 2.3.2 Thermistor Circuit and output

จากวงจรดังรูป การวัดจะได้ผลที่ดี ถ้า Rt มีค่าอยู่ในย่านใกล้เคียงกับ Rref และจะค่อยๆ แย่ลง
สำหรับ R ที่มีค่าห่างออกไป ดังนั้นโดยปกติใน การใช้งาน จึงมักจะเซตให้วงจร มีการตอบสนองค่า ที่อยู่ในช่วงกลางๆ การหาค่าที่แท้จริงที่วัดได้ ซึ่งต้องแปลงมาจากปริมาณทางไฟฟ้า เป็นเรื่องที่ยุ่งยากเพราะต้อง มีการวัด และเปรียบเทียบมากมาย เพื่อการหา table look-up โดยทั่วไป เทอร์มิสเตอร์มักจะไม่ได้ถูกออกแบบมา เพื่อให้สเปคสามารถแทนกันได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นในการใช้งาน เทอร์มิสเตอร์แต่ละตัวจึงต้องทำการวัดเพื่อหาตารางเปรียบเทียบค่าตัวต่อตัว อย่างไรก็ตาม ยังมีเทอร์มิสเตอร์เฉพาะบางแบบ ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถแทนกันได้ ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นมาก

4. เทมเพอเรเจอร์เซนเซอร์โมดูล (ไอซีเซนเซอร์อุณหภูมิ Integrated circuit Temperature Sensors)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับอุณหภูมิเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความเที่ยงตรงสูง เช่น ไอซี อุณหภูมิเซนเซอร์แบบนี้จะให้ความเที่ยงตรงของค่าที่อ่านจากเทอมิสเตอร์ ไอซีตระกูล 335 เช่น
LM135/LM235/LM335 มีความไวทางด้านเอาท์พุทเป็น 10 mV/K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบควบคุม

การควบคุมแบบ PID control ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมในระบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-loop Control Systems, Feedback Control Systems) โดย การควบคุมแบบ PID จะประกอบไปด้วยส่วนการควบคุมที่สำคัญด้วยกันคือ

Proportinal control action (P - Action)

Integral control action (I-Action)

Derivative control action (D-Action)

P Action

เป็นการกำหนดการทำงานของ ouput ให้เป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นกับค่า error หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้

Output = (error X 100) / Pb ; error=(ค่าset point) - (ค่าที่วัดได้)

ในทางปฏิบัติ P Action จะเข้าใกล้ค่าหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่ค่า set point จริง ซึ่งเรียกว่าค่า offset

I Action

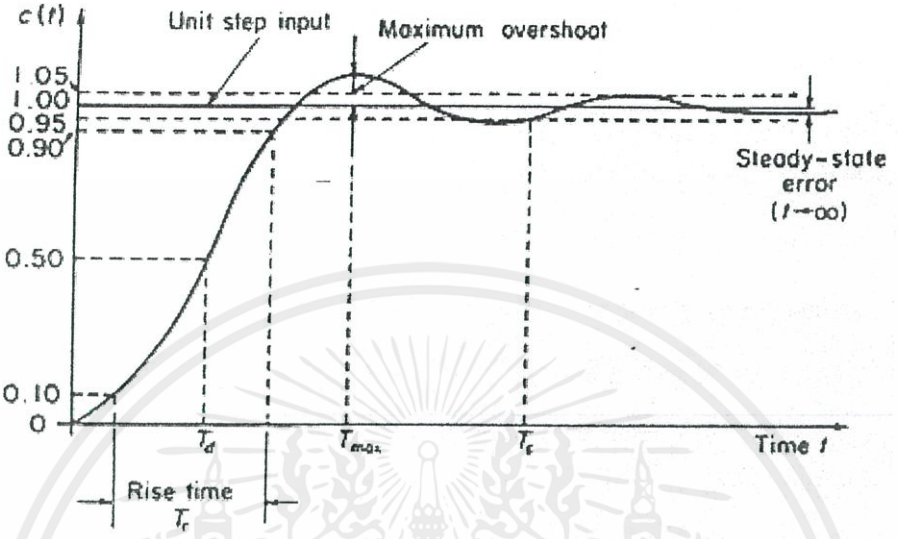
จะใช้ในการแก้ปัญหา offset ระบบควบคุม I Action จะเข้าไปช่วยกำจัดค่า offset ที่ยังคงมีอยู่ให้ระบบเข้าสู่ set point โดยค่า output ที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับ Integral Time ที่กำหนดขึ้นมาตั้งแต่ต้น หากกำหนดให้ integral time น้อย ระบบจะเข้าสู่ set point ได้อย่างรวดเร็วแต่จะเกิดการกระเพื่อม hunting ของ process มากด้วย และหากกำหนดให้ Integral time มากจะเกิด hunting น้อย แต่จะใช้เวลานานกว่าระบบจะเข้าสู่ set point

D Action

ในกรณีที่มีการรบกวนระบบจากภายนอก disturbance เป็นผลให้ process ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันที่ทันใด เราควรจะใช้การควบคุมแบบ D Action Derivative ซึ่งจะมีการตอบสนองที่รวดเร็ว เป็นผลให้ระบบเข้าสู่ set point ได้รวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ FeedBack เราจะใช้สัญญาณอินพุทแบบ Unit Step ใส่เข้าไปในระบบเพื่อใช้วิเคราะห์ transient ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยสามารถตรวจจากลักษณะดังรูปนี้

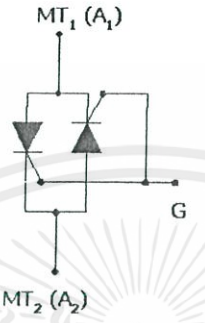


รูปที่ 2.4.1 กราฟ ระบบควบคุม

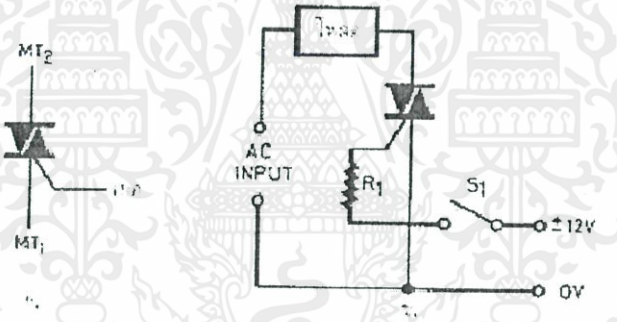
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ไตรแอค (Triac)

ลักษณะโครงสร้างของไตรแอกนี้เหมือนกับการนำเอาเอสซีอาร์ 2 ตัวมาต่อขนานกันในลักษณะกลับขั้ว ส่วนขาเกตต่อร่วมเข้าด้วยกัน ดังนั้นไตรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ระบบไฟได้ทั้งแบบไฟตรง และไฟสลับ นั้นคือความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทริกที่เกตนั้นก็สามารถกระทำได้ทั้งสองทิศทาง เช่นกัน รูแสดงการใช้ เอส.ซี.อาร์ 2 ตัวต่อเป็นไตรแอค



การทำงานของไตรแอก



คุณสมบัติเป็นข้อของไตรแอก

1. โดยปกติ ถ้าไม่มีสัญญาณทริกที่เกต ไตรแอกจะไม่ทำงานโดย จะมีลักษณะเหมือนกับสวิตช์ที่ถูกเปิดวงจร

2. ถ้าในกรณีที่ MT2 และ MT1 ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับไตรแอกจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้น ๆ ที่เกตของมัน โดยจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมัน มีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์ เท่านั้น และก็เช่นกันคือเมื่อไตรแอกเริ่มทำงานแล้ว ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อย ๆ ตราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง

3. หลังจากที่ไตรแอกคงสภาพการทำงานอยู่นั้น ทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลง ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งของมัน ในกรณีที่ใช้ไตรแอกในการจ่ายกระแส AC การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ เมื่อแรงดันของไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้นทุก ๆ ครึ่งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์

4. ไตรแอกถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ MT1 และ MT2

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

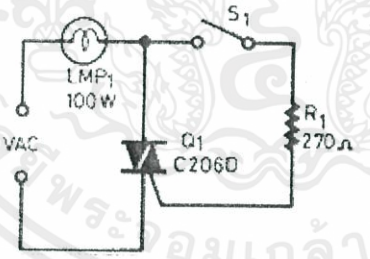
5. ไตรแอกสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่นโดยปกติสำหรับไตรแอกที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ (rms) สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่ง คาบเวลาของไฟ 60 เฮิรตซ์ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น

ตารางคุณสมบัติของไตรแอกที่นิยมใช้

เบอร์	PIV	กระแส rms	V_{GT}(สูงสุด)	I_{GT} (สูงสุด)	I_H (สูงสุด)
C206D	400V	3A	2V	5mA	30mA
2N6073	400V	4A	2.5V	30mA	70mA
C226D	400V	8A	2.5V	50mA	60mA
5C146D	400V	10A	2.5V	50mA	75mA
TIC246D	400V	15A	2.5V	50mA	50mA

ตาราง 2.5.1 คุณสมบัติของไตรแอกที่นิยมใช้

ตัวอย่างการใช้งานพื้นฐานของไตรแอก



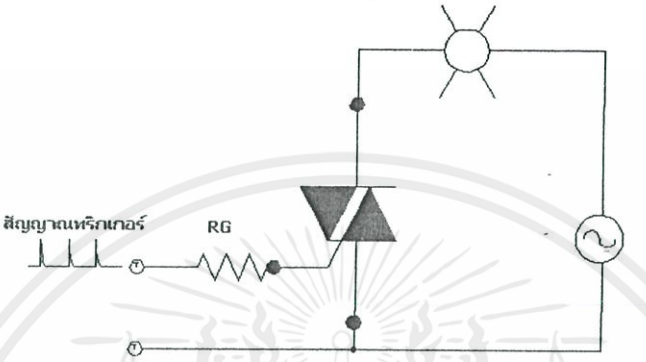
รูปที่ 2.5.1 วงจรแบบพื้นฐานที่สุดในการใช้งานไตรแอก

ในรูปแสดงถึงการที่ไตรแอกสามารถทำงานเป็นสวิตช์ ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสโหลดแบบที่ง่ายที่สุด โดยเมื่อสวิตช์ S1 เปิดวงจรอยู่ ไตรแอกและโหลดจะไม่ทำงาน แต่เมื่อ S1 ถูกปิดวงจรลง ที่จุดเริ่มต้นของทุก ๆ ครึ่งตามของสัญญาณไฟสลับที่ให้นั้นไตรแอกจะยังไม่นำกระแส แต่หลังจากนั้นเพียงเล็กน้อยแรงดันที่ขาเกต ก็มีค่าสูงพอที่จะทำให้ไตรแอกเริ่มนำกระแสได้ ดั้งนั้น หลอดไฟจะติดสว่าง และไตรแอกจะหยุดทำงานลงอีก เมื่อแรงดันของสัญญาณไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์อีกครั้ง แล้วก็จะเริ่มทำงานใหม่เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

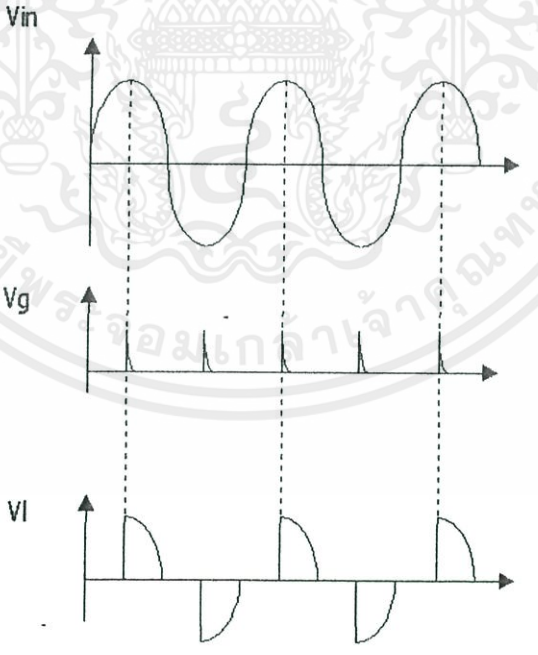
การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์

จากตัวอย่างของการใช้งาน ไตรแอค ที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นนี้เป็นการใช้งานในลักษณะเป็นสวิตช์ เปิด / ปิด การจ่ายไฟให้แก่โหลดต่าง ๆ แต่ความจริงแล้วการใช้งานสามารถขยายออกไปได้อีกมาก เช่น ใช้เป็นวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟ หรือเป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้นซึ่งก็ล้วนแล้วแต่เป็นการใช้งานควบคุมกำลังไฟ ที่จะจ่ายให้แก่โหลดในระบบที่เรียกว่าเฟส - ทริกเกอร์



รูปที่ 2.5.2 การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์

แสดงวงจรการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับวงจรหรี่ความสว่างของหลอดไฟโดยการปรับมุมของสัญญาณทริกเกอร์

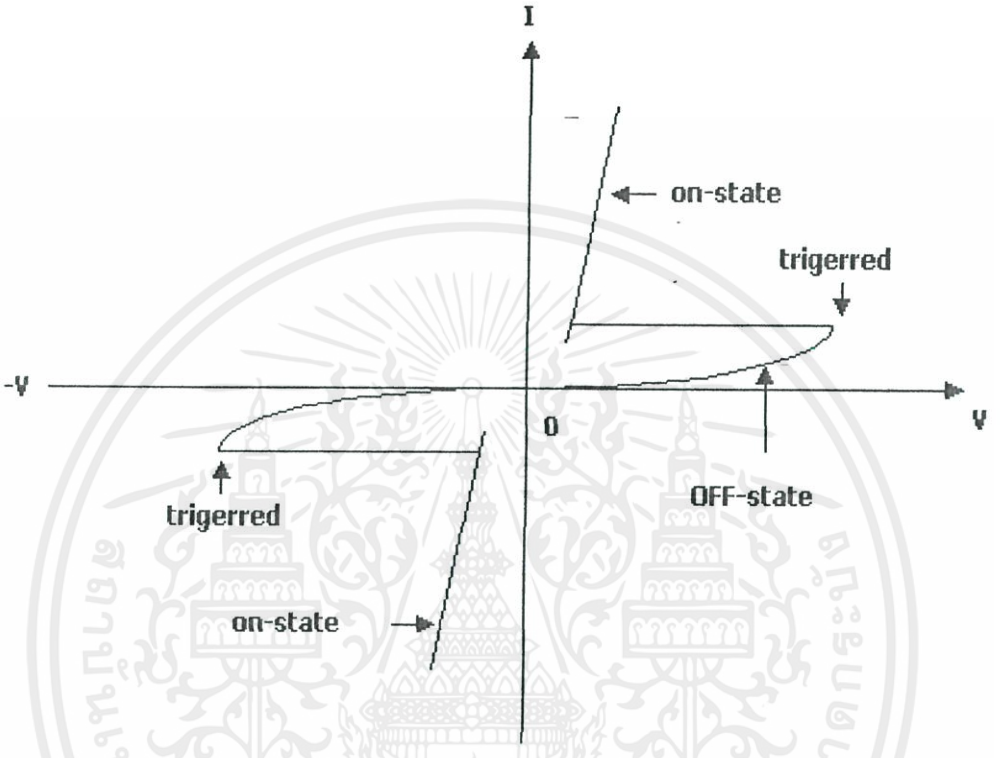


รูป 2.5.3 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด

โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไตรแอค

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอค



รูปที่ 2.5.4 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

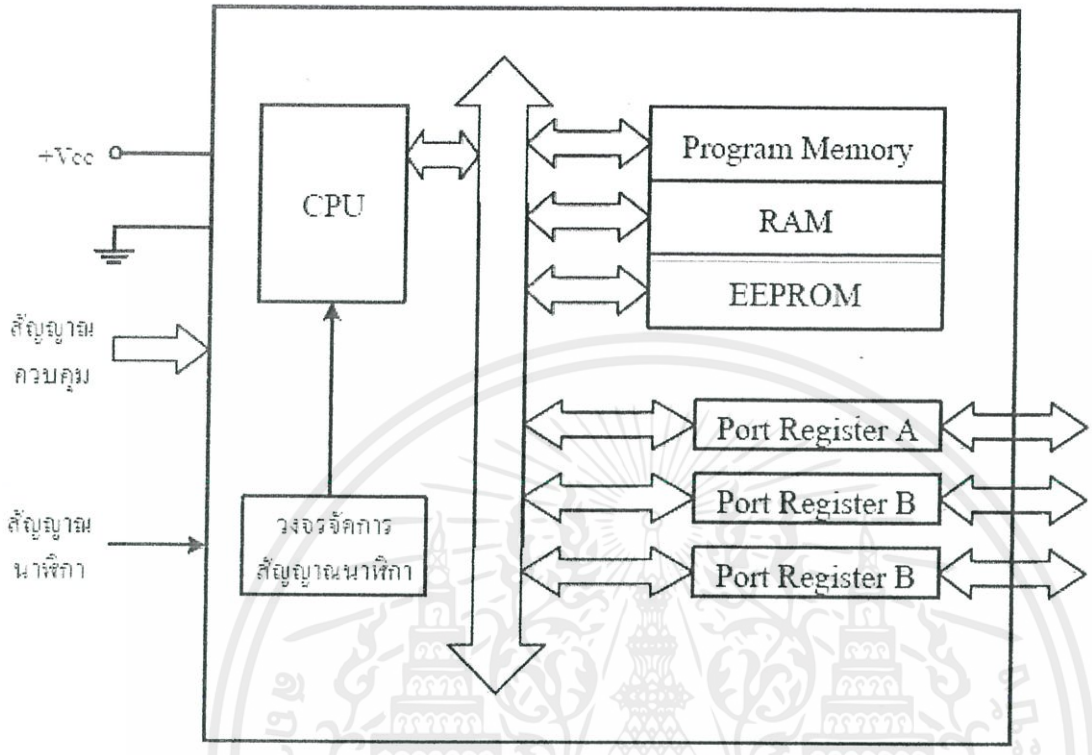
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างทั่วไป

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Mempry) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.6.1 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 PIC16F877A

1. คุณสมบัติทางเทคนิค

1.1. รองรับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ขนาด 28 ขา และ 40 ขา (PDIP-28/40)

_ รุ่น PIC16Fxxx , PDIP-40 ขา : 874, 874A, 877, 877A, 887

_ รุ่น PIC18Fxxx , PDIP-40 ขา : 448, 458, 4220, 4320, 4331, 4431, 4550

1.2. วงจรออสซิลเลเตอร์ XTAL 20.0MHz ภายในโมดูล หรือเลือกใช้งานออสซิลเลเตอร์จากบอร์ดเป้าหมายทีEต้องการพัฒนาได้

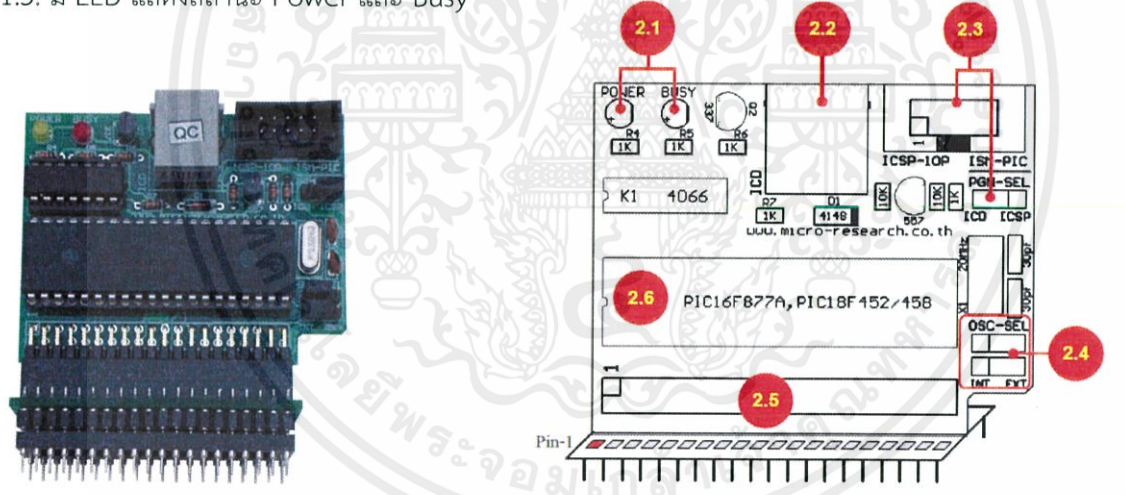
1.3. มีวงจรควบคุมขาสัญญาณสำหรับดาวโหลดโปรแกรมผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์แบบอัตโนมัติ (Auto Electronic Switch) จึงไม่จำเป็นต้องปรับสวิทช์เพื;อเปลี;ยนโหมดการทำงานให้ยุ่งยาก

1.4. การดาวโปรแกรมลงชิพด้วยแรงดันสูง (High Voltage Programming) จึงสามารถใช้งานขาพอร์ตต่างได้อย่างครบถ้วน

1.2. พอร์ตสำหรับการโปรแกรม MRT-ICSP 10P และ ICD-6Pin สามารถใช้ร่วมกับชุดโปรแกรมต่าง ๆ ดังนีZ

- MRT-PIC LOADER : สำหรับการโปรแกรมผ่านพอร์ตขนาน
- PIC-PK2 : สำหรับการโปรแกรมผ่านพอร์ต USB (สินค้าแนะนำ)
- ICD2 : ชุดโปรแกรมและดีบัก รุ่น ICD2 จาก Microchip

1.5. มี LED แสดงสถานะ Power และ Busy



รูปที่ 2.7.1 PIC16F877A

2. **โครงสร้างและส่วนประกอบ**

2.1 **Ststus LED** หลอด LED แสดงสถานะการทำงานของบอร์ด มีดังนี้

• PWR แสดงสถานะไฟเลี้ยงบอร์ด โดยจะติดสว่างเมื่อมีไฟเลี้ยง จ่ายให้บอร์ด

• PROG&ICD แสดงสถานะการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอิเล็กทรอนิกสวิทช์ โดยจะติดสว่างในขณะทีEดาว
โหลดโปรแกรมลงชิพผ่านพอร์ต ICSP-10P (กำหนด
จัมเปอร์ PGM-SEL=PROG) และจะติดสว่าตลอดเวลา
เมื่อใช้ร่วมกับชุด ICD (กำหนดจัมเปอร์ PGMSEL=ICD)

2.2 **ICD PORT** พอร์ตสำหรับการดาวโหลดและดีบักโปรแกรมด้วยชุด ICD2 โดยการใช้งานพอร์ต ดังกล่าวนีZจะต้องกำหนดเลือกจัมก เปอร์ PGM-SEL ไว้ที่ตำแหน่ง ICD และการใช้งานในโหมดนี้จะสงวนขาสัญญาณ PGC และ PGD ไว้ใช้สำหรับการโปรแกรมและดีบักตลอดเวลา ไม่สามารถใช้งานขาสัญญาณดังกล่าวนี้เป็น I/O ตามปกติได้

2.3 **ICSP-10P** พอร์ตสำหรับการโปรแกรมชิพทีEสามารถควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ได้อย่างอัตโนมัติ
ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องโปรแกรมได้ดังนี้

_ MRT-PIC- Loader : ใช้งานผ่านพอร์ตขนาน PC parallel interface

_ PIC-PK2 : ใช้งานผ่านพอร์ต USB interface

การโปรแกรมในโหมดนี้จะต้องกำหนดเลือกจัมเปอร์ PGM-SEL ไว้ที่ตำแหน่ง PROG ด้วยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จึงทำให้สามารถใช้งานขาสัญญาณ PGC และ PGD ได้ปกติ

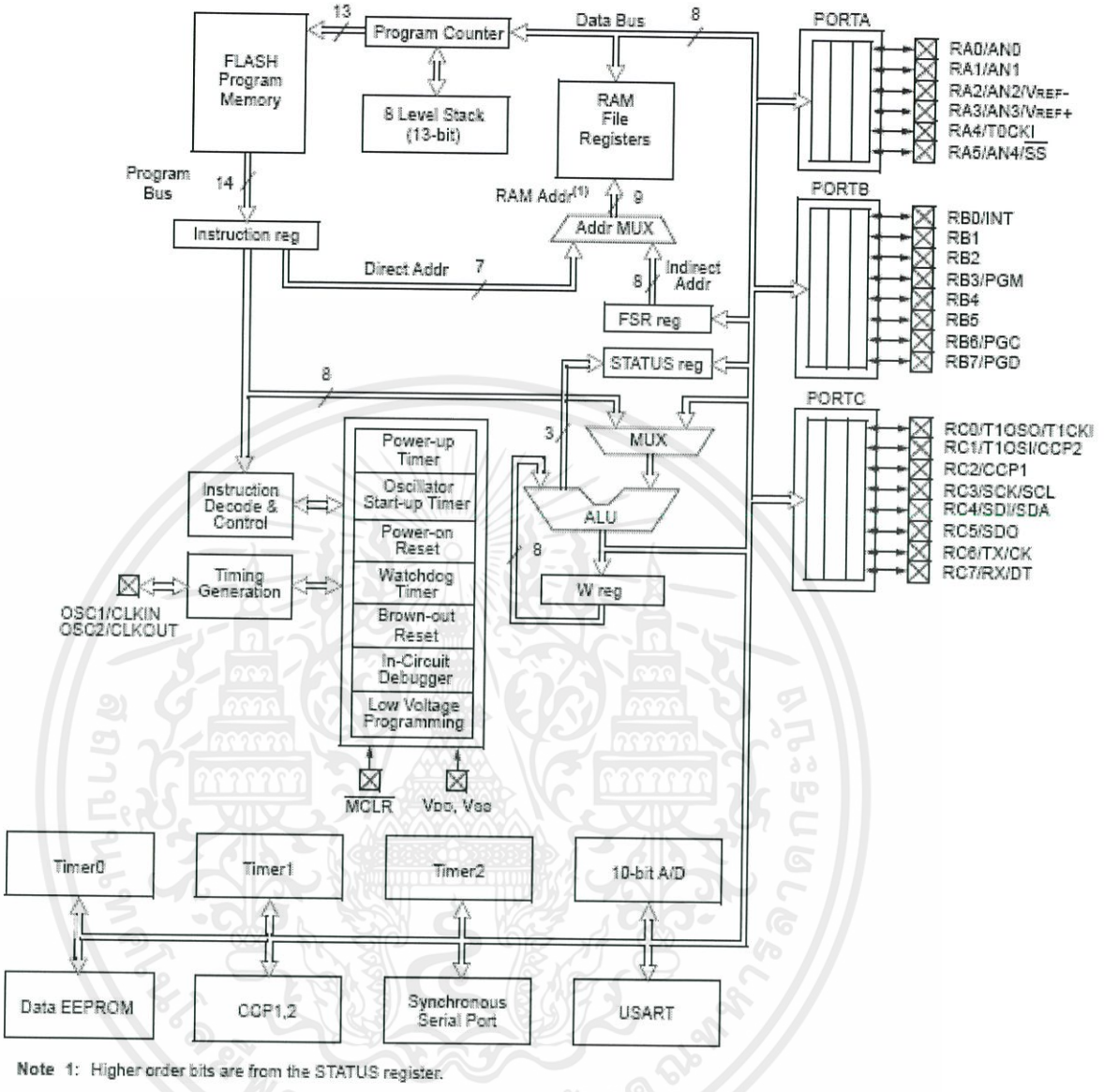
2.4 **OSC-SEL** จัมเปอร์เลือกใช้ XTAL ซึ่งสามารถเลือกได้ดังนี้
INT เมื่อต้องการใช้ XTAL ภายในโมดูล ISM-PIC-40P (20.0 MHz)
ENT เมื่อต้องการใช้ XTAL ภายนอกโมดูล ISM-PIC-40P ผ่านขา OSC1 (Pin 13) และ OSC2 (Pin 14)

2.5 MCU Pin ขาสัญญาณต่างๆ จากไมโครคอนโทรลเลอร์จัดตำแหน่งในแบบ PDIP-40 จึงสามารถเสียบลงซ็อกเก็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาด 40 ขา บนบอร์ดเป้าหมายทีEต้องการพัฒนาได้ทันที

2.6 MCU ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด PDIP-40 สามารถใช้งานได้ทั้งรุ่น PIC16Fxxx และ PIC18Fxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในชิพ



รูปที่ 2.7.2 โครงสร้างภายในชิพ

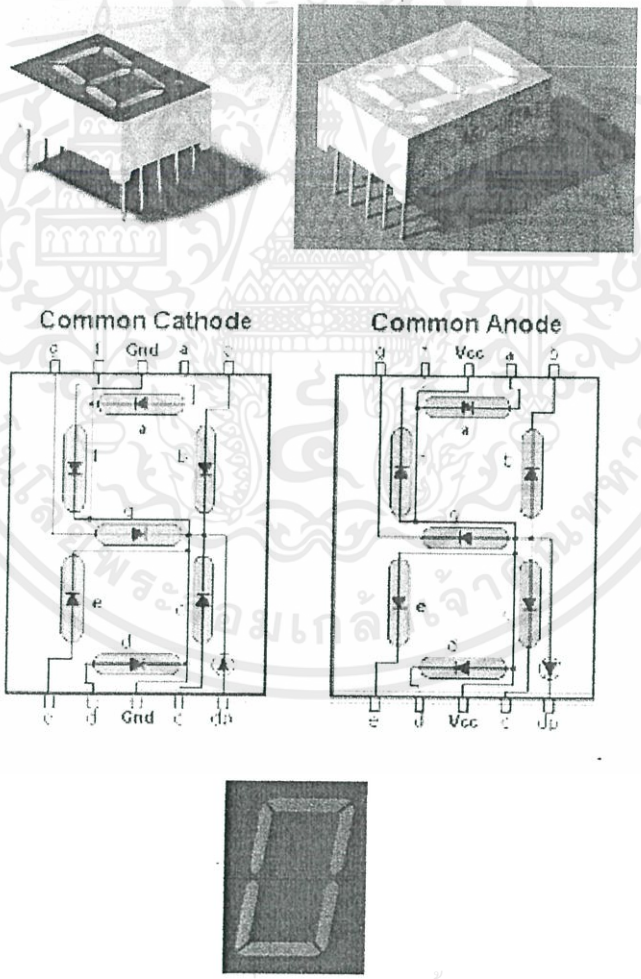
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 7-Segment

หลอดแสดงผล LED 7-Segment เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแสดงผลเช่นเดียวกับหลอดแสดงผล LED ทั่วไป แต่ต่างตรงที่หลอดแสดงผล LED 7 ส่วน เป็นการนำเอาหลอดแสดงผล LED จำนวน 7 ตัวมาต่อกันเป็นรูปตัวเลข เพื่อนำมาแสดงผลเป็นตัวเลข 0 ถึง 9 โดยในบทความนี้จะพูดถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหลอดแสดงผล LED 7 ส่วน และ การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ควบคุมการทำงานของหลอดแสดงผล LED 7 ส่วน

1. โครงสร้างและการทำงานของหลอดแสดงผล LED 7 ส่วน

หลอดแสดงผล LED 7 ส่วน เป็นการนำเอาหลอด แสดงผล LED จำนวน 7 ตัวมาต่อกันเป็นรูปตัวเลขโดยมีชื่อเรียกแต่ละส่วน คือ a,b,c,d,e,f,g และ dp แสดงดังรูป



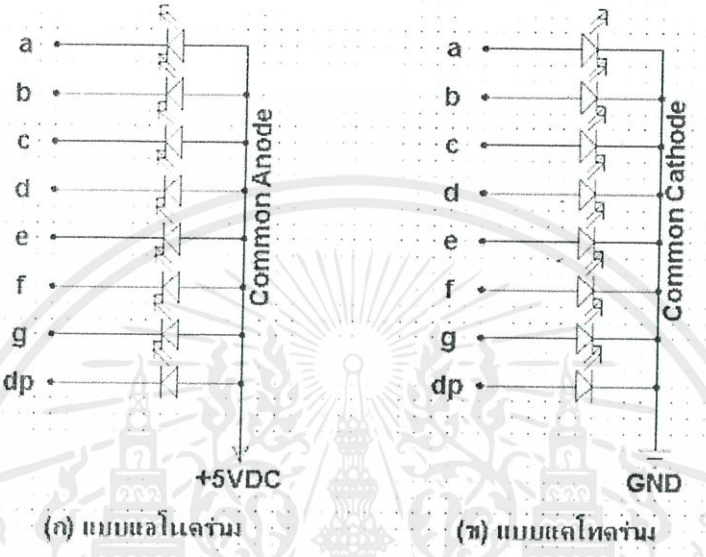
รูปที่ 2.8.1 โครงสร้างและขาของหลอดแสดงผล LED 7-Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดแสดงผล LED 7-Segment สามารถแบ่งตามลักษณะการต่อหลอดแสดงผล LED ทั้ง 7 หลอดได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. ชนิดต่อแบบแอโนดร่วม หรือ คอมมอนแอโนด (Common Anode)
2. ชนิดต่อแบบแคโทดร่วม หรือ คอมมอนแคโทด (Common Cathode)

โดยโครงสร้างการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segment ทั้ง 2 ชนิด ดังรูป



รูปที่ 2.8.2 โครงสร้างการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segment

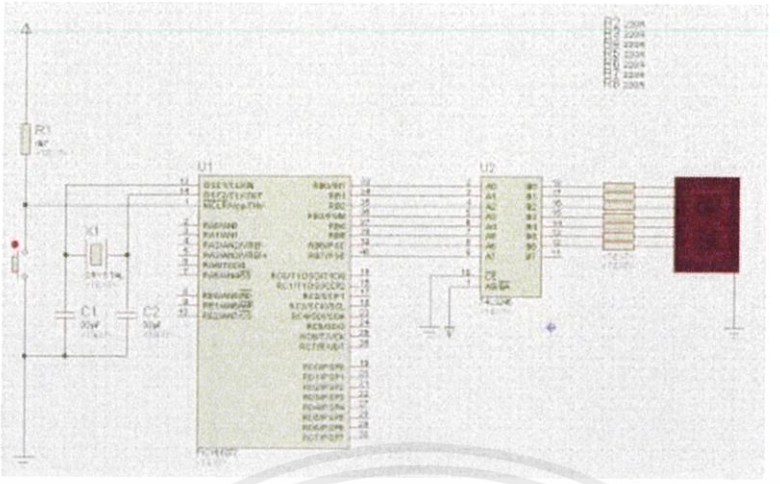
รูปที่ 1.2(ก) เป็นการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบแอโนดร่วม โดยต้องป้อนไฟบวกที่ขาร่วมที่หรือขาคอมมอน (Common) และถ้าต้องการให้หลอดแสดงผล LED 7-Segment แสดงผลหรือให้สว่าง ต้องป้อนไฟลบหรือส่งลอจิก "0" มาที่ขาแคโทด

ส่วนรูปที่ 1.2(ข) เป็นการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบแคโทดร่วม โดยต้องป้อนไฟลบหรือกราวด์ที่ขาร่วมหรือขาคอมมอน และถ้าต้องการให้หลอดแสดงผล LED 7-Segment แสดงผลหรือสว่างต้องป้อนไฟบวกหรือส่งลอจิก "1" มาที่ขาแอโนด

2. การเชื่อต่อ PIC กับหลอดแสดงผล LED 7-Segment

สำหรับการต่อ PIC ร่วมกับหลอดแสดงผล LED 7-Segment ควรต่อไอซีบัฟเฟอร์ร่วมด้วย เพื่อขยายกระแสให้หลอดแสดงผล LED 7-Segment สว่างเท่ากันทุกหลอด และป้องกันการลัดวงจรของหลอดแสดงผล LED 7-Segment ซึ่งมีผลทำให้ Micro controller PIC เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8.3 การเชื่อมต่อ PIC กับหลอดแสดงผล LED 7-Segment

รูปที่ 2.1 เป็นการต่อหลอดแสดงผล LED 7-Segment เข้ากับพอร์ต B ของ PIC เบอร์ 16F877 ซึ่งระหว่างหลอดแสดงผล LED 7-Segment กับพอร์ต B นั้นก็จะมีไอซีบัฟเฟอร์ต่อร่วมอยู่ด้วย ซึ่งไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74LS245 นอกจากจะทำหน้าที่ขยายกระแสเพื่อให้หลอดแสดงผล LED 7-Segment สว่างเท่ากันทั้ง 7 ตัวแล้ว ยังทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายให้กับ PIC ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรในส่วนหลอดแสดงผล LED 7-Segment ด้วย

การต่อ PIC ร่วมกับหลอดแสดงผล LED 7-Segment เพื่อให้แสดงผลออกมาเป็นตัวเลขต่างๆ จะต้องมีการส่งข้อมูลออกพอร์ตของ PIC ที่ต่อร่วมอยู่กับหลอดแสดงผล LED 7-Segment และข้อมูลที่จะส่งออกพอร์ตนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดแสดงผล LED 7-Segment ซึ่งข้อมูลที่จะส่งออกพอร์ตของหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบต่อแอโนดร่วมและต่อแคโทดร่วม แสดงดังตาราง

ค่าข้อมูล(เลขฐานสอง)							ค่าข้อมูลส่งออกพอร์ต (เลขฐานสิบหก)	แสดงผลตัวเลข
g	f	e	d	c	b	a		
1	0	0	0	0	0	0	0x40	0
1	1	1	1	0	0	1	0x79	1
0	1	0	0	1	0	0	0x24	2
0	1	1	0	0	0	0	0x30	3
0	0	1	1	0	0	1	0x19	4
0	0	1	0	0	1	0	0x12	5
0	0	0	0	0	1	0	0x02	6
1	1	1	1	0	0	0	0x78	7
0	0	0	0	0	0	0	0x00	8
0	0	1	0	0	0	0	0x10	9

ตารางที่ 2.8.4 แสดงข้อมูลที่ส่งออกพอร์ตของหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบต่อแอโนดร่วม (Common Anode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าข้อมูล(เลขฐานสอง)							ค่าข้อมูลส่งออกพอร์ต (เลขฐานสิบหก)	แสดงผลตัวเลข
g	f	e	d	c	b	a		
0	1	1	1	1	1	1	0x3I	0
0	0	0	0	1	1	0	0X06	1
1	0	1	1	0	1	1	0X5B	2
1	0	0	1	1	1	1	0X4F	3
1	1	0	0	1	1	0	0X66	4
1	1	0	1	1	0	1	0X6D	5
1	1	1	1	1	0	1	0X7D	6
0	0	0	0	1	1	1	0X07	7
1	1	1	1	1	1	1	0X7F	8
1	1	0	1	1	1	1	0X6F	9

ตารางที่ 2.8.5 แสดงข้อมูลที่ส่งออกพอร์ตของหลอดแสดงผล LED 7-Segment แบบต่อแคโทดร่วม (Common Cathode)

3. การส่งข้อมูลออกหลอดแสดงผล LED 7-Segment

การส่งข้อมูลออกพอร์ต เพื่อส่งออกหลอดแสดงผล LED 7-Segment จะเหมือนกับการส่งข้อมูลออกหลอดแสดงผล LED ทั่วไป แต่การแสดงผลออกหลอดแสดงผล LED 7-Segment จะเป็นลักษณะของตัวเลข ดังนั้นข้อมูลที่ส่งออกพอร์ตจึงเป็นเลขฐานสิบหกของตัว

รูปแบบ output_พอร์ต(ข้อมูลเลขฐานสิบหกของตัวเลขที่ต้องการแสดง);
ตัวอย่าง output_B(0x3F);

หมายถึง ส่งค่าข้อมูล 0x3F หรือส่ง 00111111B ออกที่พอร์ต B เพื่อให้หลอดแสดงผล LED 7-Segment แสดงผลเป็นตัวเลข 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

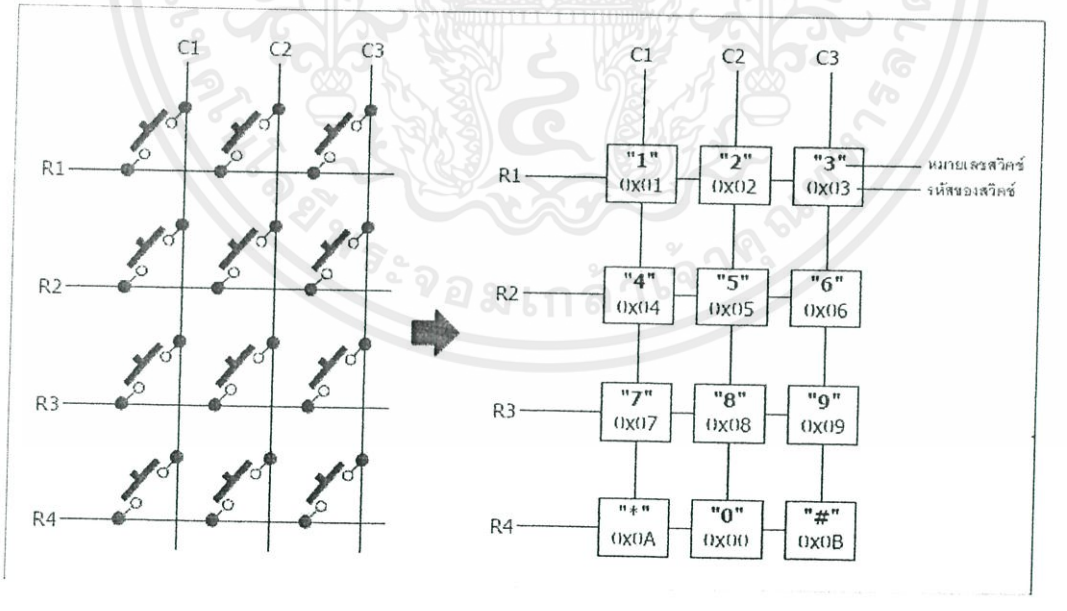
2.9 สวิตช์เมตริกซ์ (matrix switch)หรือคีย์แพด (keypad)

สวิตช์เมตริกซ์ (matrix switch)หรือคีย์แพด (keypad) ถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการป้อนข้อมูลให้กับงาน

ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์นอกเหนือจากสวิตช์กดติดปล่อยดับแบบธรรมดา (push button switch) โดยเฉพาะกั บงานที่ต้องมีการป้อนข้อมูลทั้งตัวอักษรและตัวเลขและมีสวิตช์จำนวนมากแล้ว สวิตช์แบบเมตริกซ์จะเป็นตัวที่ถูกเลือกใช้งานเสมอสวิตช์ในรูปแบบเมตริกซ์ ที่เห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น คีย์กดตัวเลขของระบบโทรศัพท์ เป็นต้น การต่อใช้งานสวิตช์ แบบเมตริกซ์ เป็นการนำสวิตช์ธรรมดามาต่อกันในแบบ

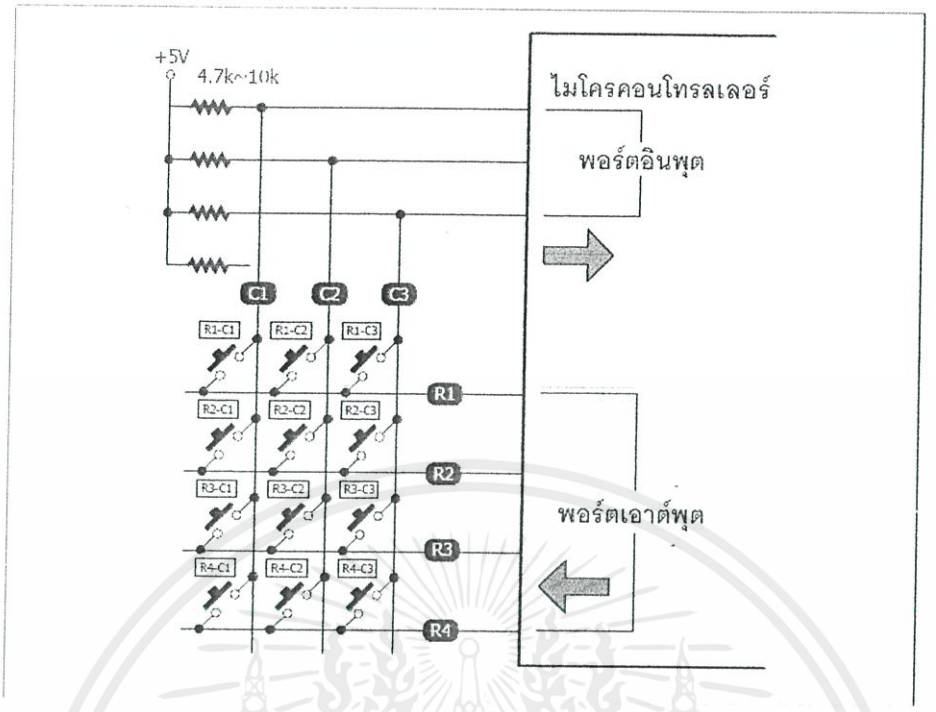
การต่อวงจร Switch แบบ Matrix โดยวิธีการนี้เหมาะกับระบบที่มีความจาเป็นต้องใช้งาน Switch มากๆ เช่น วงจรแป้นพิมพ์ Keyboard ที่ใช้สาหรับป้อนค่าตัวเลข ตัวอักษร และข้อความต่างๆ ซึ่งจะเกิดความไม่สะดวกสาหรับผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก ถ้าออกแบบให้มีจานวน Switch Keyboard น้อยๆ เพราะจะยากแก่การค้นหาตาแหน่งของตัวเลข ตัวอักษรที่อยู่ซ้อนกันอยู่ในคีย์เดียวหลายๆ ชั้น โดยวิธีการนี้จะต้องใช้พอร์ต 2 ส่วน คือ พอร์ตสาหรับอ่านค่าสถานะของ Key-Switch จากทางแถว (Row) และพอร์ตสาหรับทาหน้าที่ส่งค่าออกไป Scankey ในแต่ละหลัก (Column) ของวงจร โดยจานวนของ Switch จะขึ้นอยู่กับขนาดของแถวและหลักที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นขนาด 4x4 ก็จะได้ทั้งหมด 16 ตาแหน่ง เป็นต้น

เมตริกซ์คือ ขาด้านหนึ่งจะต่อในแนวหลัก (column) และขาอีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่ ในแนวแถว (row) แสดงดังรูป



รูปที่ 2.8.6 Switch แบบ Matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ซึ่งวิธีการ Scankey แบบ Matrix นี้จะทาทีละหลัก (Column) โดยเริ่มจากหลักแรกไปหาหลักสุดท้าย ตามลาดับ สาหรับลักษณะของการต่อวงจรโดยทั่วไปของวิธีการนี้จะนิยมคงสถานะของสัญญาณด้านที่เป็น Input ให้มีค่าเป็น “1” รอไว้ก่อนเสมอโดยการต่อตัวต้านทาน Pull-Up เข้ากับ Port-Input รอไว้ก่อน โดยในการ Scankey จะทาทางด้านหลัก (Column) โดยส่งค่าออกไปทางด้าน Port-Input ให้มีค่าเป็น “0” ครั้งละ 1 บิต แล้วก็อ่านค่าจาก Port-Input เข้ามาตรวจสอบว่าทุกบิตยังคงเป็น “1” อยู่หรือไม่ ซึ่งถ้าพบว่ามีบิตใดเป็น “0” (Column Active = “0”) ก็สามารถทราบได้ทันทีว่ามีการกดคีย์ขึ้นที่ตาแหน่ง Row และ Column นั้นๆ แต่ถ้าทุกบิตยังคงมีค่าเป็น “1” ก็ให้เปลี่ยนการ Scan ไปยัง Column ถัดไปอีกโดยทาเหมือนกันกับ Column แรกจนครบทุก Column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

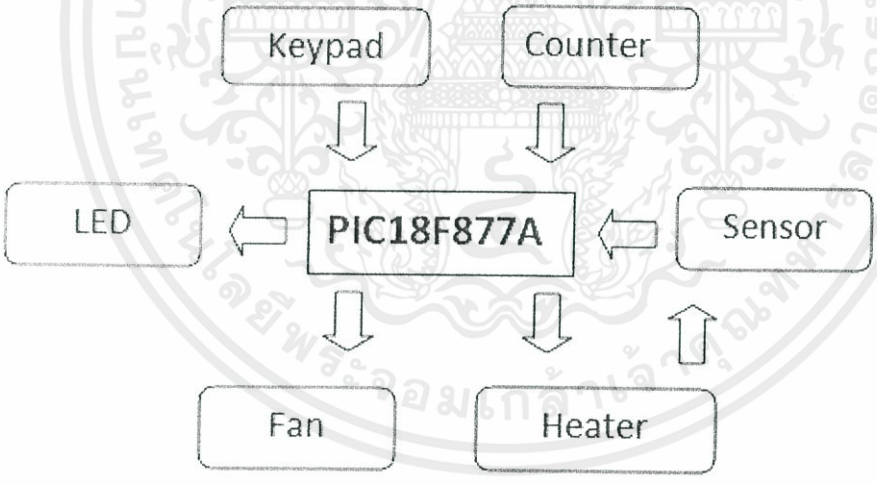
บทที่ 3

หลักการและการออกแบบ

3.1 องค์ประกอบหลัก

- เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ
- ส่วนรับค่าและส่วนแสดงผล
- ส่วนกำเนิดความร้อน (ฮีทเตอร์)
- ส่วนวงจรควบคุม

3.2 แผนภาพแสดงการทำงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงาน

จากแผนภาพ ส่วนประกอบหลักคือ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการรับค่าข้อมูลจากการตั้งค่าอุณหภูมิ และเวลาจากคีย์แพดและเคาท์เตอร์ โดยตัวเซนเซอร์จะทำการส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ค่าตัวเลขจะแสดงผลออกทางหน้าจอ แอลซีดีโมดูล แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้ฮีทเตอร์ทำงาน เมื่อถึงค่าอุณหภูมิที่กำหนดฮีทเตอร์จะหยุดการทำงาน โดยพัดลมจะเริ่มทำงานแทนที่ จนเข้าสู่ค่าคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการควบคุม (PROCESS CONTROL)

วิธีการควบคุมแบบ PID control ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมในระบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-loop Control Systems, Feedback Control Systems) โดย การควบคุมแบบ PID จะประกอบไปด้วยส่วนการควบคุมที่สำคัญด้วยกันคือ

Proportinal control action (P - Action)

Integral control action (I-Action)

Derivative control action (D-Action)

P Action

เป็นการกำหนดการทำงานของ ouput ให้เป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นกับค่า error หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้

Output = (error X 100) / Pb ; error=(ค่าset point) - (ค่าที่วัดได้)

ในทางปฏิบัติ P Action จะเข้าใกล้ค่าหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่ค่า set point จริง ซึ่งเรียกว่าค่า offset

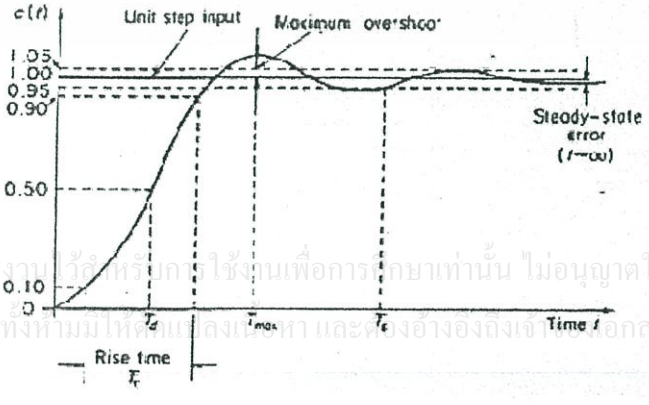
I Action

จะใช้ในการแก้ปัญหา offset ระบบควบคุม I Action จะเข้าไปช่วยกำจัดค่า offset ที่ยังคงมีอยู่ให้ระบบเข้าสู่ set point โดยค่า output ที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับ Integral Time ที่กำหนดขึ้นมาตั้งแต่ต้น หากกำหนดให้ integral time น้อย ระบบจะเข้าสู่ set point ได้อย่างรวดเร็วแต่จะเกิดการกระเพื่อม hunting ของ process มากด้วย และหากกำหนดให้ Integral time มากจะเกิด hunting น้อย แต่จะใช้เวลานานกว่าระบบจะเข้าสู่ set point

D Action

ในกรณีที่มีการรบกวนระบบจากภายนอก disturbance เป็นผลให้ process ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด เราควรจะใช้การควบคุมแบบ D Action Derivative ซึ่งจะมีการตอบสนองที่รวดเร็ว เป็นผลให้ระบบเข้าสู่ set point ได้รวดเร็วขึ้น

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ FeedBack เราจะใช้สัญญาณอินพุทแบบ Unit Step ใส่เข้าไปในระบบเพื่อใช้วิเคราะห์ transient ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยสามารถตรวจจากลักษณะดังรูปนี้



รูปที่ 3.2 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Steady State Performance

ค่านี้จะได้จากการหาค่า steady-state error ของการตอบสนองต่อฟังก์ชันอินพุทพื้นฐานที่กล่าวมาแล้ว

2. Transient Performance

ค่านี้จะวิเคราะห์โดยการใส่ unit-step function เป็นอินพุทอ้างอิงและจะได้ผลตอบสนองดังรูป ลักษณะที่สำคัญของผลตอบสนองนี้ได้แก่

· Overshoot

เป็นค่า error ที่มากที่สุดระหว่างอินพุทและเอาท์พุท ค่านี้จะใช้ในการประมาณความเสถียรของระบบ ค่า overshoot จะวัดเป็นสัดส่วนเทียบกับค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุทอ้างอิงดังนี้

Percent overshoot = Maximum overshoot / Final desired value x 100

Time delay

ค่า time delay td เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเอาท์พุทมีค่าเป็น 50 % ของค่าอินพุทอ้างอิง

Rise time

ค่า rise time tr เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เอาท์พุทมีค่าเป็น 10 % จนถึง 90 % ของค่าอินพุทอ้างอิง

Setting time

ค่า setting time ts เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของเอาท์พุทลดลงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด โดยปกติแล้วขอบเขตนี้จะอยู่ในช่วง 5 % ของอินพุทอ้างอิง นอกจากนี้ยังมีลักษณะที่สำคัญอื่นๆอีก เช่น damping ratio, damping factor และ undamped natural frequency ซึ่งไม่ได้แสดงในรูป

1. Process definition

คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพทาง physics หรือทางเคมีของสสารหรือการเปลี่ยนรูปของพลังงาน เช่น

- ขบวนการทำความเย็น
- ขบวนการกลั่นน้ำมัน
- ขบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2. Instrument

เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้เพื่อวัดค่าของ Process เพื่อให้รับรู้ถึงสภาพของ Process โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับแต่งควบคุม (Control) ให้ Process เป็นไปตามที่ต้องการ (Set Point)ในการวัดและการควบคุม เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการมี ตัวแปร ที่เกี่ยวข้องที่ต้องการวัดค่า เช่น

- อุณหภูมิ (Temperature)
- ความดัน (Pressure)
- ระดับ (Level)
- ปริมาณการไหล (Flow Rate)
- น้ำหนัก (Weight)
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)

เป็นต้น

- ความหนืด (Viscosity)
- ความเร็ว (Velocity or Speed)
- ความชื้น (Moisture)
- ความต้านทาน (Resistance)
- อัตราเร่ง (Acceleration)
- การสั่นสะเทือน (Vibration)
- ค่า pH

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 รูปแบบของ Instrument ที่นำมาใช้งานมีหลายแบบ ตามลักษณะความต้องการใช้งาน ได้แก่

- Indicator เพื่อแสดงค่าของตัวแปร ไม่สามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าได้ เช่น pressure indicator
- Transmitter (Tx) เพื่อแสดงค่าของตัวแปร โดยสามารถส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ด้วย มีทั้ง Analog และ Digital Signal เช่น pressure transmitter
- Switch เพื่อแสดงค่าของตัวแปร โดยส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ด้วย เป็นแบบ On-Off (Digital Signal) เช่น pressure switch
- Recorder Device เพื่อเก็บบันทึกของตัวแปร ปัจจุบันนิยมใช้ในรูปแบบของ Electronic Format เช่น เก็บไว้ใน Hard Disk
- Controller เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมขบวนการ เป็นลักษณะของการ programming เช่น PLC , PID control
- Alarm Device เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้เพื่อเตือนค่าของตัวแปรที่อาจเป็นอันตรายต่อระบบหรือ Process
- Interlocking Device เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันอันตรายของระบบหรือ process โดยมีรูปแบบต่าง เช่น ต้องมีสัญญาณของการจ่ายน้ำ (Flow Rate) เกิดขึ้นก่อนจึงจะสามารถจ่ายสารเคมีบางส่วนได้
- Transducer มีคุณสมบัติคล้าย ๆ กับ Transmitter แต่ไม่ได้ Generate สัญญาณไฟฟ้ามาตรฐานออกมา (Standard Signal : 4 -20 mA ,1-5 V)

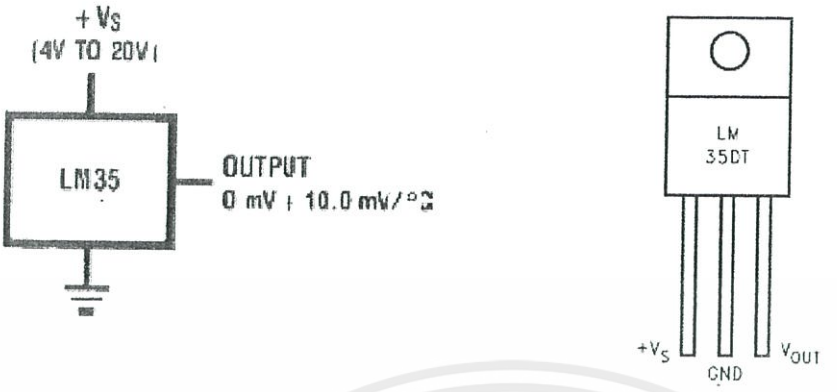
3. Control Function

หน้าที่หลักของการควบคุมสามารถจำแนกได้ 3 ประการ คือ

- Gathering Information เป็นการรับรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่เราต้องการควบคุมและเกี่ยวข้อง
- Decision ประมวลผลและตัดสินใจในข้อมูลที่รับเข้ามาในขั้นตอน Gathering
- Take Action ส่งค่า Output ออกไปสั่งการ Final Drive จากผลของ Decision

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.3 LM 35

การตรวจวัดอุณหภูมิใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันทางไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อกไปสู่สัญญาณดิจิตอล โดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ อ้างอิงเบอร์ LM35

LM35 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ซึ่งมีความสามารถวัดเทียบได้อย่างแม่นยำถึง 1 °c ในย่านอุณหภูมิ -55 ถึง +150 °c ตัวเซนเซอร์จะพบในรูปแบบที่แตกต่างกันไป แต่ที่พบบ่อยคือ ตัวถัง TO-92 ในลักษณะขาเท่ากับทรานซิสเตอร์ทั่วไป มีสามขาคือ Vcc-Vout-GND ซึ่งขา Vout จะให้ค่าออกมาเป็นสัดส่วนของอุณหภูมิ ตัว LM35 ทำงานตั้งแต่แรงดัน 4 ถึง 30 V เราสามารถเชื่อมต่อตัว LM35 กับตัวแปลง A/D ในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการอ่านค่าเป็นรูปแบบดิจิตอล

ซึ่งไอซีเบอร์ LM35 นี้ให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ °c พบว่า LM35 มีข้อได้เปรียบเหนือตัวเซนเซอร์อุณหภูมิแบบเชิงเส้นที่สอบเทียบกับอุณหภูมิองศาเคลวินคือ

- ไม่ต้องสอบเทียบหรือปรับค่าใดๆจากภายนอก แต่ยังคงให้ค่าความไม่แน่นอนได้ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ -55 ถึง +150 °c
- อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำให้เอาต์พุตเป็นเชิงเส้น และให้ความเที่ยงตรงต่อการสอบเทียบทำให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อ่านค่าหรือต่อกับวงจรควบคุมได้ดี
- สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายแบบปลายเดี่ยว หรือแหล่งจ่ายกำลังที่มีขั้วบวกและลบได้ กินกระแสที่ประมาณ 60 uA จากแหล่งจ่ายความร้อนที่เกิดจากตัวมันเองมีค่าต่ำประมาณ 0.1°c ในอากาศนิ่ง

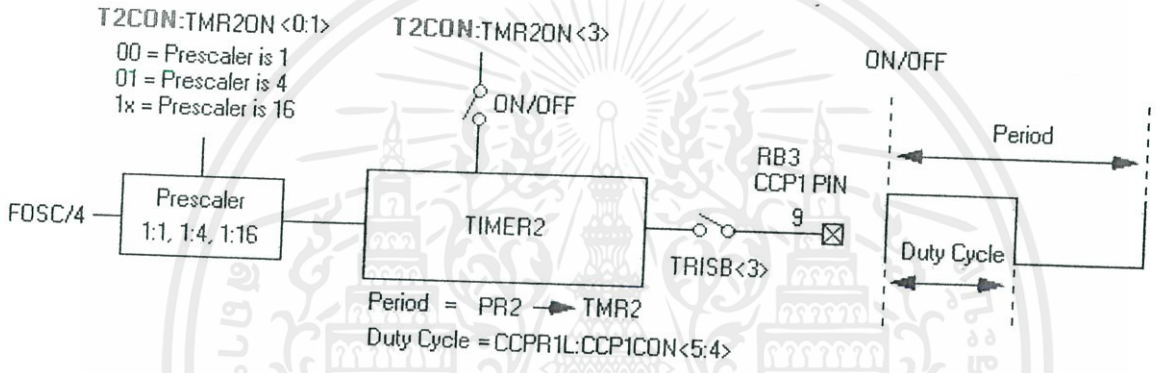
มีย่านใช้งานช่วง -55 ถึง +150 °c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การใช้โมดูล CCP1 และ TIMER2 กำเนิดสัญญาณ (Pulse Generate)

โมดูล CCP(Capture/Compare/PWM) สามารถใช้กำเนิดสัญญาณ และมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ความละเอียดขนาด 10 บิท PWM (Pulse Width Modulator) ซึ่งจะทำงานร่วมกันกับ TIMER2

CCP1 เป็นโมดูลที่ เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นในการทำงานให้แล้ว โมดูลนี้จะทำงานต่อไปได้เองโดยอิสระ ทำให้ MCU ไม่ต้องเสียเวลา วนลูปในการ จัดการ กับเอาต์พุต ในขณะที่โมดูล นี้ทำงาน MCU สามารถที่จะควบคุมการเปิด-ปิดสัญญาณ ผ่านทาง รีจิสเตอร์ควบคุมได้ จึงทำให้สามารถใช้งานในการกำเนิดสัญญาณ อย่างเช่น การสร้างความถี่ 40KHz เพื่อเป็นความถี่พาหะ(CARRIER FREQUENCY) ของ Infrared Remote control (IR)



รูปที่ 3.4 การทำงานของโมดูล CCP1/TIMER2 ในการกำเนิดสัญญาณ

- ส่วนกำเนิดสัญญาณ TIMER2 ได้รับสัญญาณนาฬิกา FOSC/4 จากระบบ โดยกำหนดตัวหารความถี่ (Prescaler) ได้จาก T2CON
  รีจิสเตอร์ PR2 เป็นตัวกำหนดคาบเวลา
- CCPR1 มีขนาด 16 บิทใช้ในการควบคุม duty cycle ประกอบด้วย CCPR1H และ CCPR1L
- รีจิสเตอรควบคุมคือ CCP1CON CCP1CON<3:0>จะต้องกำหนดเป็น 11xx = PWM mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งาน CCP1 กำเนิดสัญญาณ

1). หาคาบเวลาของ PWM (PWM PERIOD) เพื่อกำหนดค่าให้กับ PR2

1.1). กำหนดความถี่ (จะได้คาบเวลาของพัลส์ช=1/f) และ ดิวตี้ไซเคิลของพัลส์

1.2).คำณวนหาค่ารีจิสเตอร์ PR2 เพื่อกำหนดคาบเวลาของ TIMER2 เพื่อใช้ผลิตความถี่ หาได้จากสูตร

$$PR2 = \frac{T}{4 \times T_{osc} \times P} - 1$$

เมื่อ T = คาบเวลา (1/f) ของพัลส์ , Tosc = คาบเวลา (1/f) ของ XTal , P = ค่าของ ปรีเสกลเลอร์ 1,4,16 โดยที่ค่า PR2 เป็นเลขจำนวนเต็มและมีค่าน้อยกว่า 256

2).หาดิวตี้ไซเคิลของ PWM (PWM DUTY CYCLE) เพื่อกำหนดค่าให้กับ CCPR1(CCPR1L:CCP1CON<5:4>)

2.1). หาดิวตี้ไซเคิลของ PWM

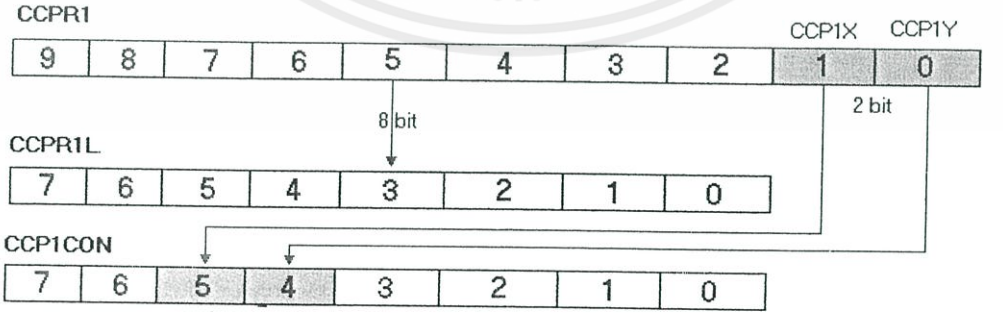
$$D_{PWM} = \frac{d \times T}{100}$$

d= percent-duty cycle , T = คาบเวลาของพัลส์

2.2).หาค่าที่จะโปรแกรมลงในรีจิสเตอร์ CCPR1L:CCP1CON<5:4> จาก

$$(CCPR1L:CCP1CON<5:4>) = \frac{D_{PWM}}{T_{osc} \times P}$$

2.3) ค่าที่คำนวนได้ CCPR1L:CCP1CON<5:4> ซึ่งมีขนาด 10 บิท โดยจะต้องเก็บไว้ใน CCPR1L= 8 บิท และ CCP1X: CCP1Y 2 บิทขวาสุดจะอยู่ในรีจิสเตอร์ CCP1CON<5:4> (บิทที่ 5 และ4 ตามลำดับ)



รูปที่ 3.5 การกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ CCPR1L:CCP1CON<5:4>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

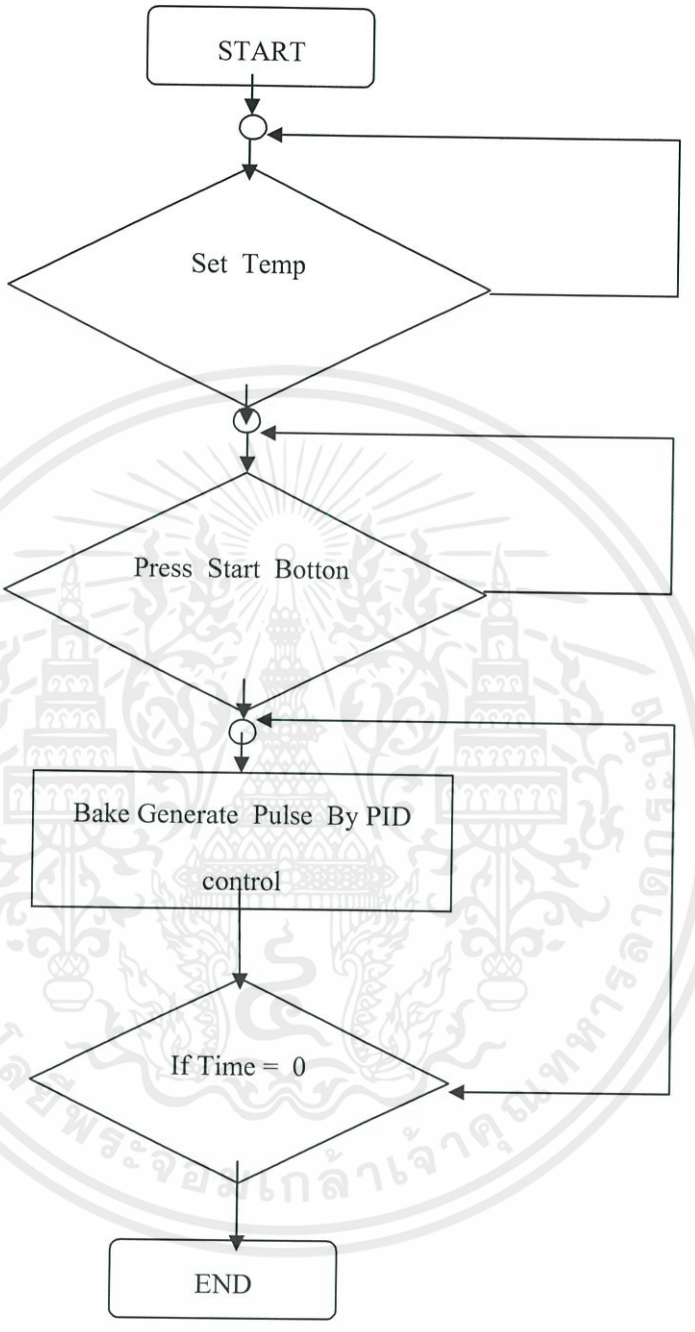
3) กำหนดค่าให้กับ T2CON

- TMR2 = 0 ,Clear ค่า TMR2
- T2CON<7> ไม่ใช้ ให้กำหนดค่า=0
- T2CON<6:3> เป็นการกำหนดค่า POSTScaler ไม่มีผลกำหนดให้เป็น 1111
- T2CON<2> = On/Off Timer2
- T2CON<0:1> กำนด Prescaler

จากข้อ 3 หาก T2CON<2> =1 Timer2 ก็จะเริ่มต้นทำงานทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

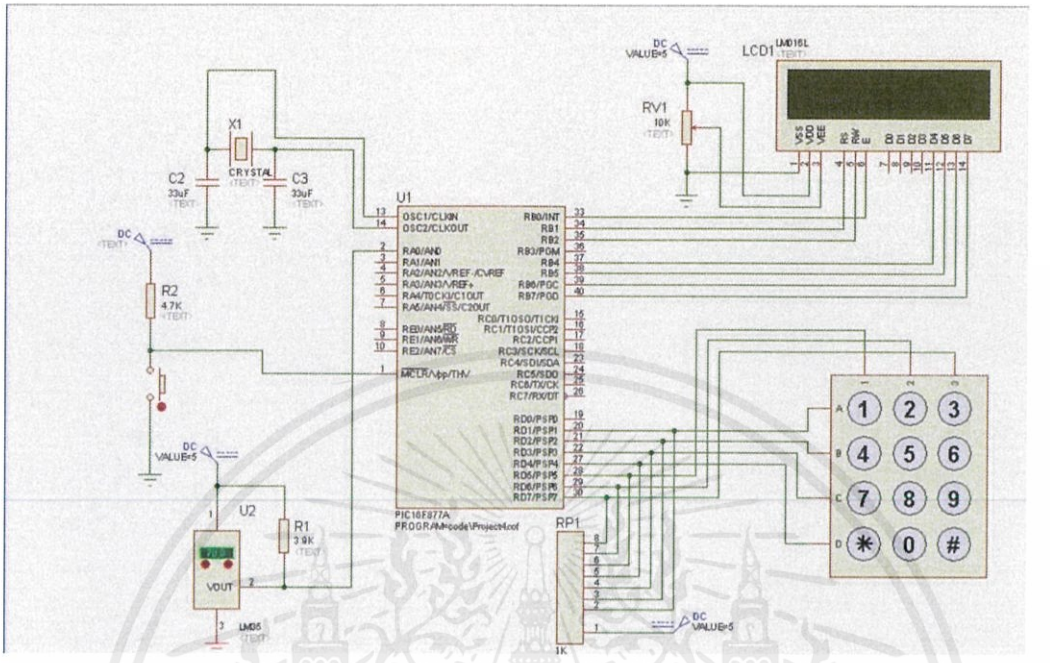
3.6 โฟล์วชาตการทำงานของเตาอบควบคุมอุณหภูมิ



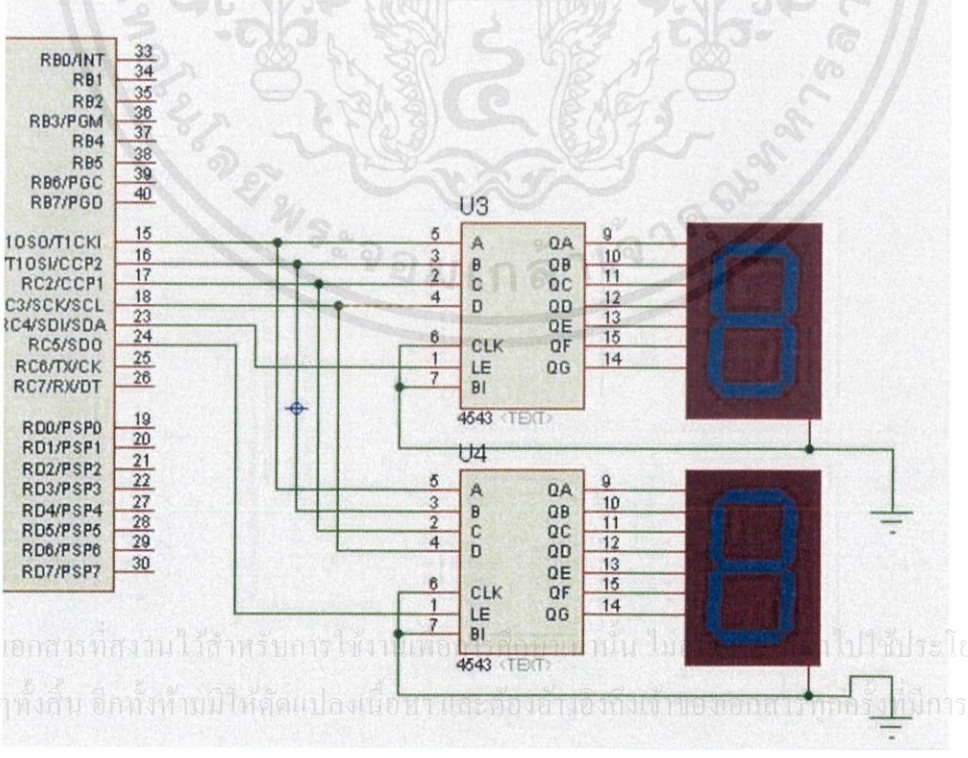
รูปที่ 3.6 Flow chart การทำงานของเตาอบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรส่วนประกอบของเตาอบควบคุมอุณหภูมิ

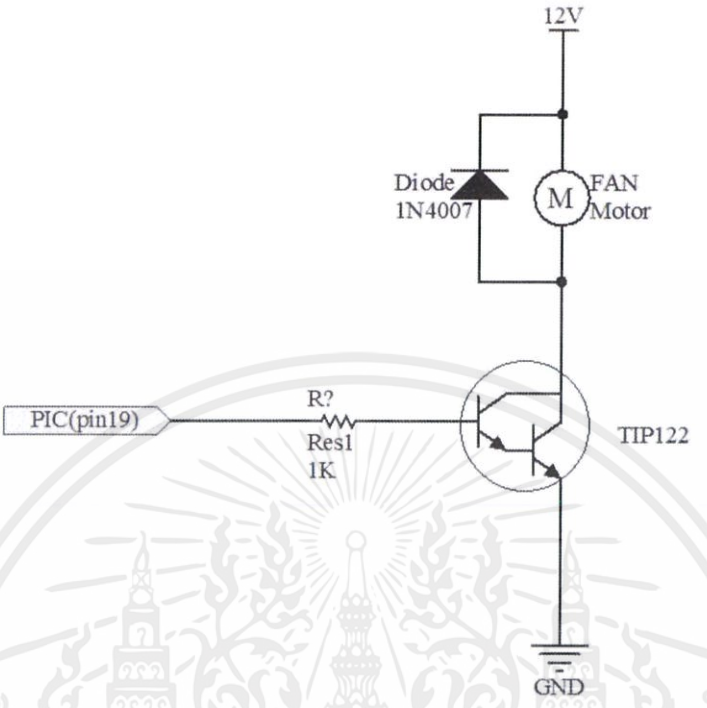


3.8 รูปส่วนประกอบของวงจรจับเวลา

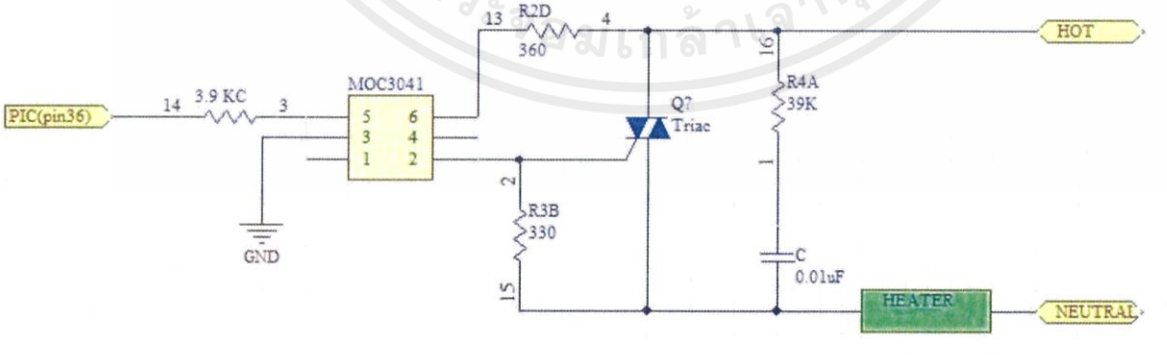


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 รูปส่วนประกอบของวงจรไดร์ฟพัดลม



3.10 รูปส่วนประกอบของวงจรไดร์ฟฮีทเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

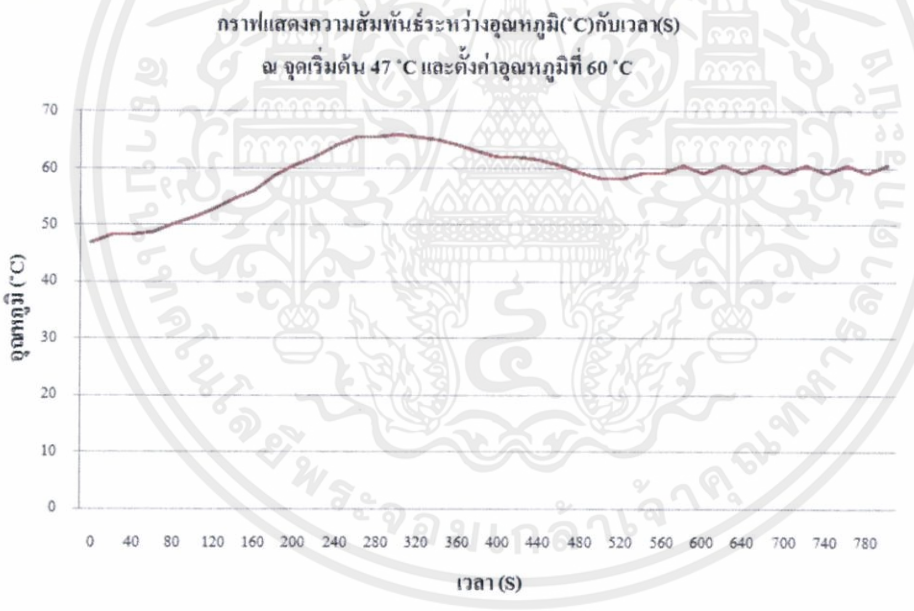
ผลการทดลองวัดเทียบอุณหภูมิกับเวลา ณ ค่ากำหนดอุณหภูมิต่างกัน

ตารางผลการทดลอง ที่จุดเซตค่าที่ $60\,^{\circ}C$ อุณหภูมิเริ่ม $47\,^{\circ}C$

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
0	47.0
20	48.3
40	48.3
60	48.8
80	50.3
100	51.3
120	52.7
140	54.7
160	56.2
180	58.6
200	60.6
220	62.0
240	64.0
260	65.5
280	65.4
300	65.9
320	65.4
340	65.0
360	64.0
380	63.0
400	62.0
420	62.0
440	61.5
460	60.6
480	59.1
500	58.1
520	58.1
540	59.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

560	59.1
580	60.6
600	59.1
620	60.6
640	59.1
680	60.6
700	59.1
720	60.6
740	59.1
760	60.6
780	59.1
800	60.6



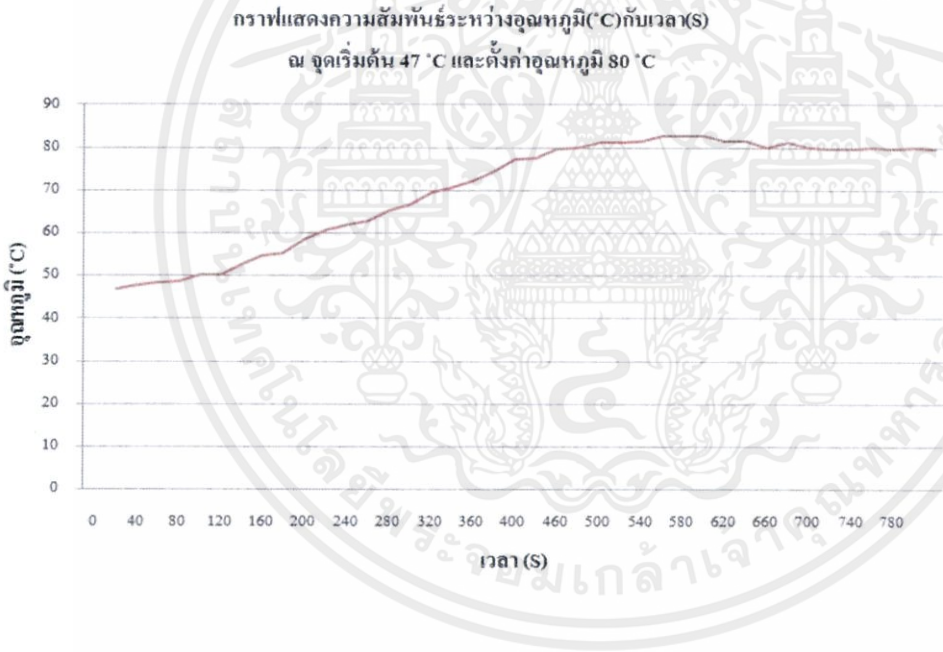
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง ที่จุดเซตค่าที่ 80 °C อุณหภูมิเริ่ม 47 °C

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	47.0
20	47.8
40	48.3
60	48.8
80	50.3
100	50.3
120	52.7
140	54.7
160	55.2
180	58.6
200	60.6
220	62.0
240	63.0
260	65.4
280	66.9
300	69.4
320	70.8
340	72.3
360	74.2
380	77.2
400	77.7
420	79.6
460	80.0
480	81.1
500	81.1
520	81.6
540	82.6
560	82.6
580	82.6
600	81.6
620	81.6
640	80.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

660	81.1
680	80.1
700	79.6
720	79.6
740	80.1
760	79.6
780	80.1
800	79.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพเตาอบควบคุมอุณหภูมิ

รูปภาพ 3.7 ภาพการทดลองเตาอบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำเตาอบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งได้ทำการจัดทำวงจรควบคุมในส่วนของเซนเซอร์ (Sensor) วงจรควบคุมฮีทเตอร์และการแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD ที่ได้จากการวัดอุณหภูมิ รวมไปถึงวงจรควบคุมพัดลม ซึ่งจากการทดลองวงจรทั้งหมดสามารถใช้งานได้ โดยฮีทเตอร์เมื่อต่อเข้ากับวงจรไดร์ฟฮีทเตอร์ พบว่ามีความร้อน ส่วนวงจรไดร์ฟพัดลมก็เช่นกันพัดลมสามารถทำงานได้ และตัวโค้ดเขียนโปรแกรมสามารถสั่งงานและรับค่าได้ตามที่ออกแบบไว้ ในส่วนนี้จะใช้ระบบ PID คอนโทรล เขียนโค้ดควบคุมวงจร ที่ใช้ในการควบคุมวงจรต่างๆของระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเนื่องจากเป็นระบบปิด จึงมีการสะสมความร้อนในระบบได้ดี หากอุณหภูมิในระบบสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จะต้องใช้เวลานานในการลดอุณหภูมิเพื่อให้เข้าสู่ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้และจะทำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ดังนั้นจึงได้ทำการติดตั้งพัดลมบริเวณด้านหน้าของเตาอบเพื่อใช้ระบายความร้อน และลดอุณหภูมิภายในเตาอบให้เข้าสู่ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ได้เร็วยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<16F877.H>
#device adc=10
#fuses HS,NOWDT,NOPUT,NOPROTECT
#use delay(clock=20000000)
#define PWM_PIN PIN_B3
#define FAN_PIN PIN_D0
#define LOOPCNT 1000
#define pid pid1
#include<lcd420.c>
#define use_portb_lcd
#ifndef TOUCH_PIN
#define TOUCH_PIN PIN_A0
#endif
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#bit row1 = 0x08.1
#bit row2 = 0x08.2
#bit row3 = 0x08.3
#bit row4 = 0x08.4
#bit col1 = 0x08.5
#bit col2 = 0x08.6
#bit col3 = 0x08.7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลง ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-----------------------------------------------------------Variable-----------------------------------------------------
-//


signedint digit0,digit1,min=0;

longint loop =LOOPCNT,pulse,width;

float LM35_temp,LM35_temp_old,x;

floaterror,old_error,sumerror;

floatkp = 20.0,          //PID parameter 20.9,30

ki = 10.0,                    //Characteristic of
pidparameteris[pid=kp*error+ki*sumerror]0.37,8.0

kd = 0;

floatd_error;

floatpid_max =1000,

pid_min=5;

floatpid,ki_error,oldki_error;

longintaaa;

intsp;

int16 overflow=0;

voidchkdigit();

void show7seg();

int data;

longint j=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-----------------------------------------------SCANKEYPAD- ----------------------------------------------//
```

```
voidkbd_init()   //scan column
{
output_low(pin_d5);
output_low(pin_d6);
output_low(pin_d7);
}
intkbd_getc()    //get paramiter from keypad
  {
output_high(pin_d5);
   if(input(pin_d1)){while(input(pin_d1));output_low(pin_d5); return('1');}
   if(input(pin_d2)){while(input(pin_d2));output_low(pin_d5); return('4');}
   if(input(pin_d3)){while(input(pin_d3));output_low(pin_d5); return('7');}
   if(input(pin_d4)){while(input(pin_d4));output_low(pin_d5); return('*');}
output_low(pin_d5);
output_high(pin_d6);
   if(input(pin_d1)){while(input(pin_d1));output_low(pin_d6); return('2');}
   if(input(pin_d2)){while(input(pin_d2));output_low(pin_d6); return('5');}
   if(input(pin_d3)){while(input(pin_d3));output_low(pin_d6); return('8');}
   if(input(pin_d4)){while(input(pin_d4));output_low(pin_d6); return('0');}
output_low(pin_d6);
output_high(pin_d7);
   if(input(pin_d1)){while(input(pin_d1));output_low(pin_d7); return('3');}
   if(input(pin_d2)){while(input(pin_d2));output_low(pin_d7); return('6');}
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if(input(pin_d3)){while(input(pin_d3));output_low(pin_d7); return('9');}
    if(input(pin_d4)){while(input(pin_d4));output_low(pin_d7); return('#');}
 output_low(pin_d7);
 return(0);
 }
 //-----------------------------------SHOW TEMPERATURE SET VALUE- ----------------------------------------
 //
 voidShowTempSet()
 {
 int data;
 lcd_send_byte(0,0xc0);
 lcd_putc("Temp set:");
 lcd_send_byte(0,0xcb);
 data=read_eeprom(0);
 printf(lcd_putc,"%d%cC",data,0xDF);
 sp=data;
 }
 //-----------------------------------MODE SETTING TEMPERATURE ----------------------------------------//
 voidset_temp()
 {
 unsigned char addres,key,temp_num[5];
 int A;
 unsigned int16 delay;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcd_send_byte(0,0xc0);
lcd_putc("SET-->");
A=0;
addres=0xcb;
delay=1000;
do
{
key=kbd_getc();
if((key!='*')&(key!=0))
{
//temp_ds();
lcd_send_byte(0,0xc0);
temp_num[A]=key;
lcd_send_byte(0,addres);
lcd_putc(key);
addres++;
A++;
delay--;
delay_ms(10);
delay=1000;
}
delay_ms(10);
delay--;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
while((key!='#')&(A<4)&(delay!=0));
lcd_send_byte(0,0xcb);
if((key=='#')&(A,5))
{
switch(A)
{
case 2: temp_num[3]=temp_num[0]&0x0f;
break;
case 3: temp_num[0]=(temp_num[0]&0x0f)*10;
temp_num[1]=temp_num[1]&0x0f;
temp_num[3]=temp_num[0]+temp_num[1];
break;
case 4:temp_num[0]=(temp_num[0]&0x0f)*100;
temp_num[1]=(temp_num[1]&0x0f)*10;
temp_num[2]=temp_num[2]&0x0f;
temp_num[3]=temp_num[0]+temp_num[1]+temp_num[2];
break;
}
if(temp_num[3]<=125)
{
write_eeprom(0,temp_num[3]);
lcd_putc("save");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay_ms(2000);
}
else
{
lcd_putc("ERROR");
delay_ms(2000);
}
}
else
{
lcd_putc("OUT");
delay_ms(2000);
}
lcd_send_byte(0,0xc0);
lcd_putc(" ");
lcd_send_byte(0,0xc0);
//temp_ds();
}
//-----------------------------------------------FAN-----------------------------------------------//

void fan()
{if(LM35_temp<=LM35_temp_old+3&&LM35_temp>=LM35_temp_old-3)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(sp<LM35_temp)
{
output_high(FAN_PIN);
}
else
{
output_low(FAN_PIN);
}
}
}
//-----------------------------------------Define Digit-----------------------------------------//

voidchkdigit()
{
digit0=min%10;
digit1=min/10;
}
//-----------------------------------------Show7-seg -----------------------------------------
//

void show7seg()
{
output_c(0x00+digit0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
output_high(PIN_C5);
output_low(PIN_C5);
output_c(0x10+digit1);
output_high(PIN_C4);
output_low(PIN_C4);
}
//-----------------------------------------------PID Calculartr -----------------------------------------------//

voidpid_cal()
{
error=sp-LM35_temp;  //Start the calculate pid control
ki_error=ki*error+oldki_error;

pid=kp*error+ki_error;
if(pid>pid_max)
  {
ki_error=oldki_error;
pid=pid_max;
  }
else if(pid<pid_min)
  {
ki_error=oldki_error;
pid=pid_min;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   }
oldki_error=ki_error;
error=old_error;
}
//-----------------------------------------------TIMER_PWM ----------------------------------------------//

#INT_TIMER1
void IntTMR1_isr()   //SET over flow 1 state =1 ms
{
overflow++;
}
#INT_TIMER2
void isr_timer2()    //SET over flow 4000 state,time total 1 process = 4 sec
{aaa=pid;
if(--loop==0)
  {
loop=LOOPCNT;
pulse =width;
output_high(PWM_PIN);
width=aaa;
  }
if(--pulse==0)      //SET parameter of PWM from PID parameter
  {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
output_low(PWM_PIN);
   }
}
//-----------------------------------------------MAIN PROGRAM -----------------------------------------------//

void main()
{
float x,LM_35_temp;
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_8);
setup_adc_ports(AN0);
set_adc_channel(0);
lcd_init();                          //initialize lcd
intkeypad,i;
disable_interrupts(INT_timer2);      //enable_interrupts(INT_AD);
enable_interrupts(GLOBAL);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,125,10); //when use clock ose = 20MHZ
disable_interrupts(INT_TIMER1);
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_4);
set_timer1(3036);
SET_TRIS_C(0x00);
SET_TRIS_D(0x1F);
SET_TRIS_E(0xFF);
kbd_init();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำออกจำหน่าย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcd_init();
ShowTempSet();
for(i=0;i<10;i++)
//temp_ds();
start:
SET_TRIS_A(0b000111);
output_low(PWM_PIN);

while(true)
  {
  x=read_adc();
  LM35_temp=(5*x*100)/1023;
lcd_putc('\f');
lcd_send_byte(0,0x80);    //start 1st line
printf(lcd_putc,"Temp:%3.1f%cC",LM35_temp,0xDF);
delay_ms(500);
keypad=kbd_getc();
if(keypad=='*')
    {
set_temp();
    }
  LM35_temp_old=LM35_temp;
ShowTempSet();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    //temp_ds();
  chkdigit();
  show7seg();
  //-----------------------------------------------------Press Tendigits----- ----------------------------------------//

  if(!input(pin_E0))
    {
  min=min+10;
  if(min>=99)
       {
  min=0;
       }
    }
  //Press Figure
  if(!input(pin_E1))
    {
  min=min+1;
  if(min>=99)
       {
  min=0;
       }
    }
  //-------------------------------------------------Press Start----------------------------------------------------//
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(min!=0&&!input(pin_E2))
   {
enable_interrupts(INT_TIMER1);
enable_interrupts(INT_TIMER2);
output_high(PIN_A2);       //Set LED when put the start buttom
while(min>=0)
      {
      x=read_adc();
      LM35_temp=(5*x*100)/1023;
      //lcd_putc('\f');
lcd_send_byte(0,0x80);     //start 1st line
printf(lcd_putc,"Temp:%3.1f%cC",LM35_temp,0xDF);
delay_ms(500);
keypad=kbd_getc();
if(keypad=='*')
         {
set_temp();
         }
      LM35_temp_old = LM35_temp;
ShowTempSet();
chkdigit();
show7seg();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(j%5==0)     //Delay to caculate PID
      {
if(LM35_temp<=LM35_temp_old+3&&LM35_temp>=LM35_temp_old-3)
         {
pid_cal();
printf("%3.1f\r\n",LM35_temp);
         LM35_temp_old=LM35_temp;
         }
      }
j++;
      //temp_ds();
ShowTempSet();
keypad=kbd_getc();
fan();
if(keypad=='*')
      {
set_temp();
      }
//-------------------------------------------------End Process ------------------------------------------------
--//
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
chkdigit();
```

```
show7seg();
if(overflow>1200)
      {
min--;
overflow=0;
if(min==0)
         {
disable_interrupts(INT_timer2);
output_low(PWM_PIN);
chkdigit();
show7seg();
output_low(PIN_A2);
output_high(PIN_A1);
delay_ms(3000);
overflow=0;
goto start;
         }
      }
      }
   }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้