

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

Temperature Control Experimental Set



ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เลขที่.....
เลขทะเบียน.....55656.....
วัน,เดือน,ปี.....24 พ.ค. 2548.....

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

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

ผู้จัดทำ

1. นายวรินทร์ ค้างเปรม รหัสประจำตัว 44015299
2. นายวัลลภ หัตถชาติ รหัสประจำตัว 44015301



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.วันชัย ธีรรัฐจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

นายวรพันธ์ ค้วงเปรม

นายวัลลภ หัตถชาติ

รศ.ดร.วันชัย ธีรรัฐจา , อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นพัฒนาชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อการศึกษา โดยสร้างชุดจำลองการควบคุมกระบวนการหม้อนภายในท่อ โดยวัดอุณหภูมิภายในท่อค่าที่ได้จะส่งให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณในโปรแกรมเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย โดยใช้การควบคุมแบบพี ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณควบคุมให้วงจรแปลงจากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกให้วงจรควบคุมขดลวดความร้อนทำงานและเราสามารถปรับอัตราขยาย (Kp) ได้และใส่สัญญาณรบกวนเพื่อทดสอบระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยแนวทางการทำงาน คำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ท่าน รศ.ดร. วันชัย ธีรรัฐจา ผู้ทำปริญญาบัตรรู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้ กำลังใจ กำลังทรัพย์มาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณ

ขอขอบเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือเมื่อต้องการ ซึ่งทำหน้าที่เพื่อน ได้ดีมาก

ด้วยคำแนะนำและให้คำปรึกษาจากทุกคนทำให้ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลุล่วง คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



นายวรพันธ์ คำวงเปรม
นายวัลลภ หัตถชาติ

Temperature Control Experimental Set

Mr. Worapan Doungprem

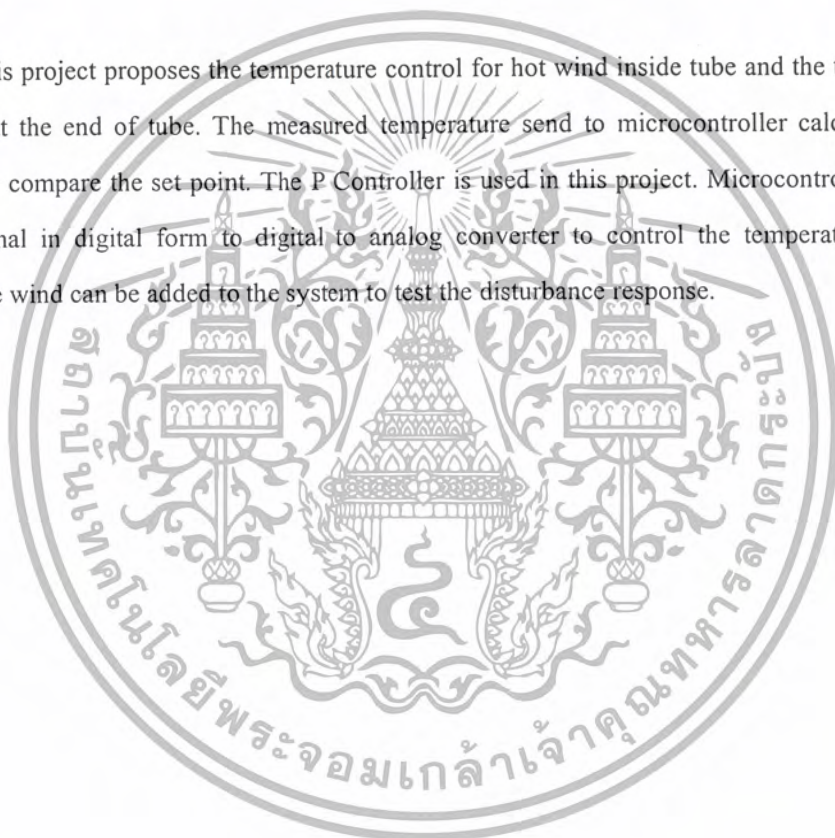
Mr. Wanlop Huttachat

Associate Professor Vanchai Riewruja , Advisor

2003

Abstract

This project proposes the temperature control for hot wind inside tube and the temperature is measured at the end of tube. The measured temperature send to microcontroller calculates formal program by compare the set point. The P Controller is used in this project. Microcontroller sends the control signal in digital form to digital to analog converter to control the temperature. The low temperature wind can be added to the system to test the disturbance response.



สารบัญ

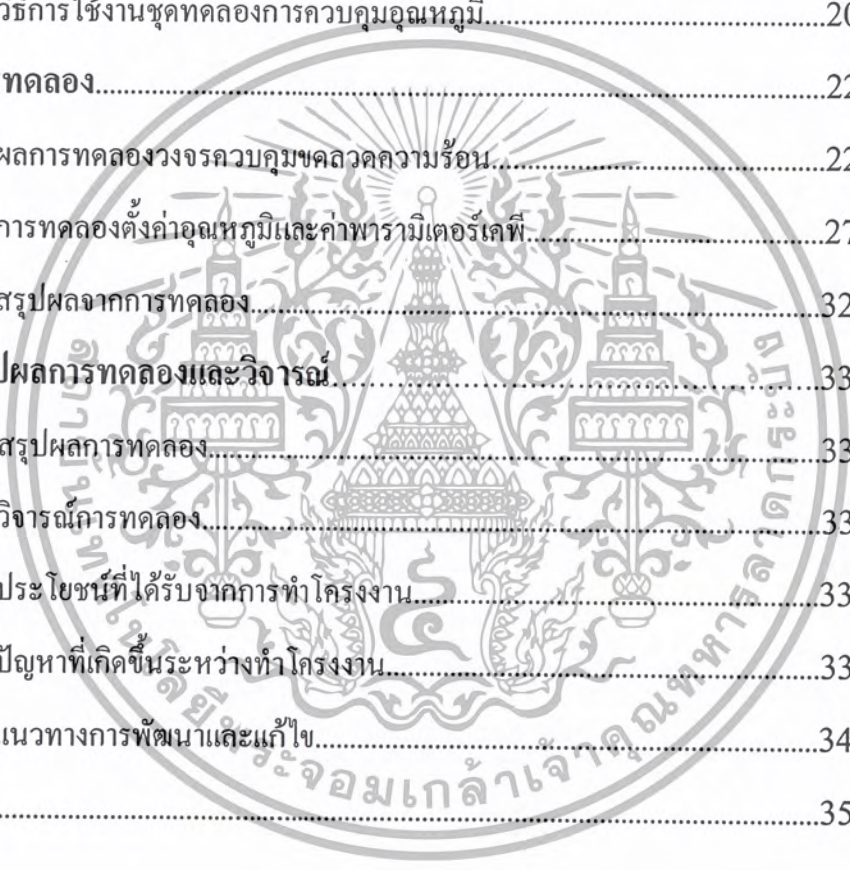
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการสร้าง.....	1
1.3 ความเป็นมาของโครงการ.....	2
1.4 รายละเอียดของปฏิญาณนิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	3
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	3
2.2 ชนิดของระบบควบคุม.....	5
2.2.1 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด.....	5
2.2.2 ระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	6
2.3 การควบคุมแบบพี.....	6
2.4 การเขียนโปรแกรมการคำนวณ.....	9
2.4.1 แบบการควบคุมแบบพี.....	10
2.4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของระบบควบคุมแบบพี.....	10
2.5 การปรับค่าตัวควบคุม.....	11
บทที่ 3 ส่วนประกอบของระบบและวงจรการใช้งาน.....	14
3.1 หลักการของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2 วงจรวัดควบคุมแสดงผลอุณหภูมิ.....	16
3.3 วงจรควบคุมขดลวดความร้อน.....	17
3.4 วงจรกำเนิดแรงดัน 12 V & 5 V.....	18
3.5 ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในโครงการ.....	17
3.6 วิธีการใช้งานชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ.....	20
บทที่ 4 การทดลอง.....	22
4.1 ผลการทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อน.....	22
4.2 การทดลองตั้งค่าอุณหภูมิและค่าพารามิเตอร์เคพี.....	27
4.3 สรุปผลจากการทดลอง.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์.....	33
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.2 วิจารณ์การทดลอง.....	33
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ.....	33
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงการ.....	33
5.5 แนวทางการพัฒนาและแก้ไข.....	34
ภาคผนวก.....	35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	3
2.2 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด.....	5
2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	6
2.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุมแบบพี.....	7
2.5 ช่วงการควบคุมแบบพี.....	7
2.6 ผลตอบสนองของระบบพีคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุทแบบยูนิตสเตป.....	8
2.7 บล็อกไดอะแกรมการคำนวณพี.....	10
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานโดยรวมของโครงการ.....	14
3.2 วงจรรวม.....	16
3.3 วงจรควบคุมขดลวดความร้อน.....	17
3.4 วงจรกำเนิดแรงดัน 12 V.....	18
3.5 วงจรกำเนิดแรงดัน 5 V.....	19
3.6 รูปด้านหน้าของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ.....	20
3.7 รูปด้านหลังของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ.....	21
3.8 รูปด้านข้างของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ.....	21
4.1 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 8 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785.....	24
4.2 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 5 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785.....	25
4.3 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 4 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785.....	25
4.4 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 3 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785.....	26
4.5 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 1 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785.....	26
4.6 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 1.....	27
4.7 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 2.....	28
4.8 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 3.....	29

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงกราฟผลตอบแทนต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 4.....	30
4.10 แสดงกราฟผลตอบแทนต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 5.....	31



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุม โดยใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากผลการทดลองของ กระบวนการชนิดต่างๆ	12
2.2 ผลการทดลองของกระบวนการชนิดต่างๆ.....	13
4.1 แสดงผลของอุณหภูมิเมื่อปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ขา 11 ของไอซี TCA 785 ลดลงเรื่อยๆ	23
4.2 แสดงผลของอุณหภูมิเมื่อปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ขา 11 ของไอซี TCA 785 เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ	23



บทที่ 1

บทนำ

การควบคุมอัตโนมัติมีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราเพิ่มขึ้นทุกวัน นับตั้งแต่การควบคุมอย่างง่ายของเครื่องปรับอากาศ ไปจนถึงระบบควบคุมที่ยุ่งยากที่ใช้ในกิจการเกี่ยวกับการบิน ด้วยเหตุนี้วิศวกรส่วนมากจะมีโอกาสทำงานกับระบบควบคุมไม่ทางใดก็ทางหนึ่งเสมอ ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมอัตโนมัติจึงมีความจำเป็นแก่การปฏิบัติงาน ระบบควบคุมอัตโนมัติคือระบบทางพลศาสตร์ ฉะนั้น ความรู้ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติของการควบคุมจึงเป็นรากฐานในการช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบทางพลศาสตร์อื่นๆ ด้วย เช่น ปัญหาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน เป็นต้น จะเห็นได้ว่าทฤษฎีการควบคุมอัตโนมัติก็คือส่วนหนึ่งของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของระบบทางพลศาสตร์ทั้งหมดนั่นเอง การศึกษาระบบควบคุมอัตโนมัติจึงให้ประโยชน์ในความสามารถที่จะนำความรู้จากสาขาต่างๆ มารวมกันขึ้นเป็นระบบควบคุมที่ใช้งานได้

ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ย่อมมีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ด้วยเสมอไม่ว่าจะมีการควบคุมอุณหภูมิใดๆ เช่น ตู้แช่อาหารสดที่ต้องการความเย็นเพื่อให้อาหารสดอยู่ตลอดเวลา หรือการควบคุมอุณหภูมิสูงๆ ดังเช่น การกลั่นน้ำมันที่ต้องการอาศัยการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำเพื่อให้ได้คุณภาพ ดังนั้นในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวกับอุณหภูมิจำเป็นต้องใช้ระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน

1.1 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์การตรวจวัดอุณหภูมิ
2. ศึกษาการประมวลผลโดยใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51
3. ศึกษาการควบคุมแบบพี (Proportional Control)
4. ศึกษาการใช้คีย์แพด (Key Pad) การแสดงผลออก โดยใช้ตัวแสดงผลแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display) การแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก
5. ศึกษาการใช้งานที่ได้จากการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการสร้าง

ในปัจจุบันการควบคุมอุณหภูมิ มีเครื่องมือและวิธีการหลากหลายแบบแต่ละวิธีการก็เหมาะสมกับระบบแต่ละระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาการควบคุม อุณหภูมิ ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ เพื่อสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบที่เราต้องการได้

1.3 ความเป็นมาของโครงการ

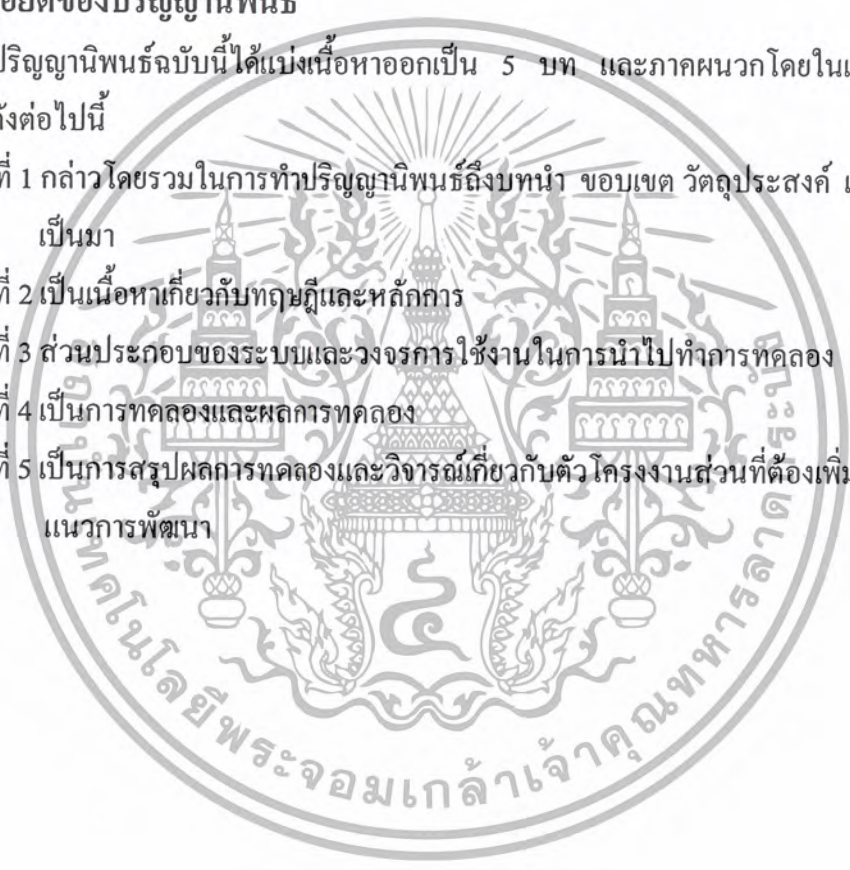
การควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมอุณหภูมิอย่างง่ายจนถึงการควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง ย่อมมีหลักการออกแบบที่มาจากพื้นฐานเดียวกันทั้งสิ้น เราจึงจำเป็นต้องศึกษาการควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่พื้นฐานโดยละเอียด

โครงการนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาเกี่ยวกับ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และศึกษาการแสดงผลโดยใช้จอ LCD ศึกษาการแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก และการใช้งานคีย์แพด ที่นำมาใช้ในโครงการนี้

1.4 รายละเอียดของปริิญญาานิพนธ์

ในปริิญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท และภาคผนวกโดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 กล่าวโดยรวมในการทำปริิญญาานิพนธ์ถึงบทนำ ขอบเขต วัตถุประสงค์ และความ เป็นมา
- บทที่ 2 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการ
- บทที่ 3 ส่วนประกอบของระบบและวงจรการใช้งานในการนำไปทำการทดลอง
- บทที่ 4 เป็นการทดลองและผลการทดลอง
- บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการทดลองและวิจารณ์เกี่ยวกับตัวโครงการส่วนที่ต้องเพิ่ม และ แนวการพัฒนา



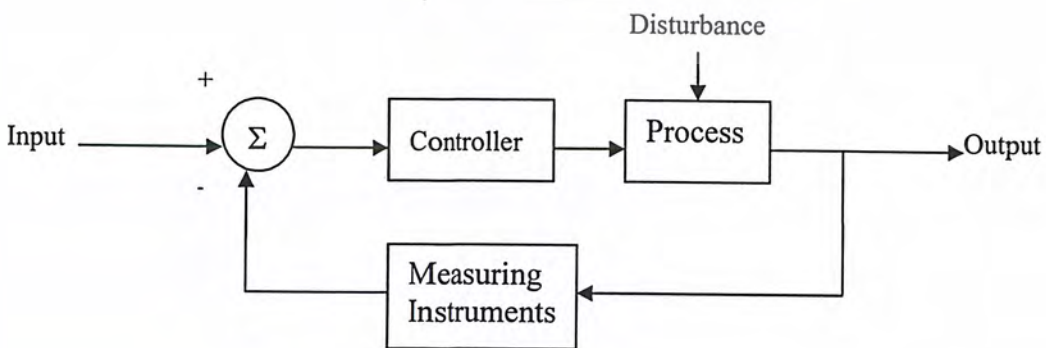
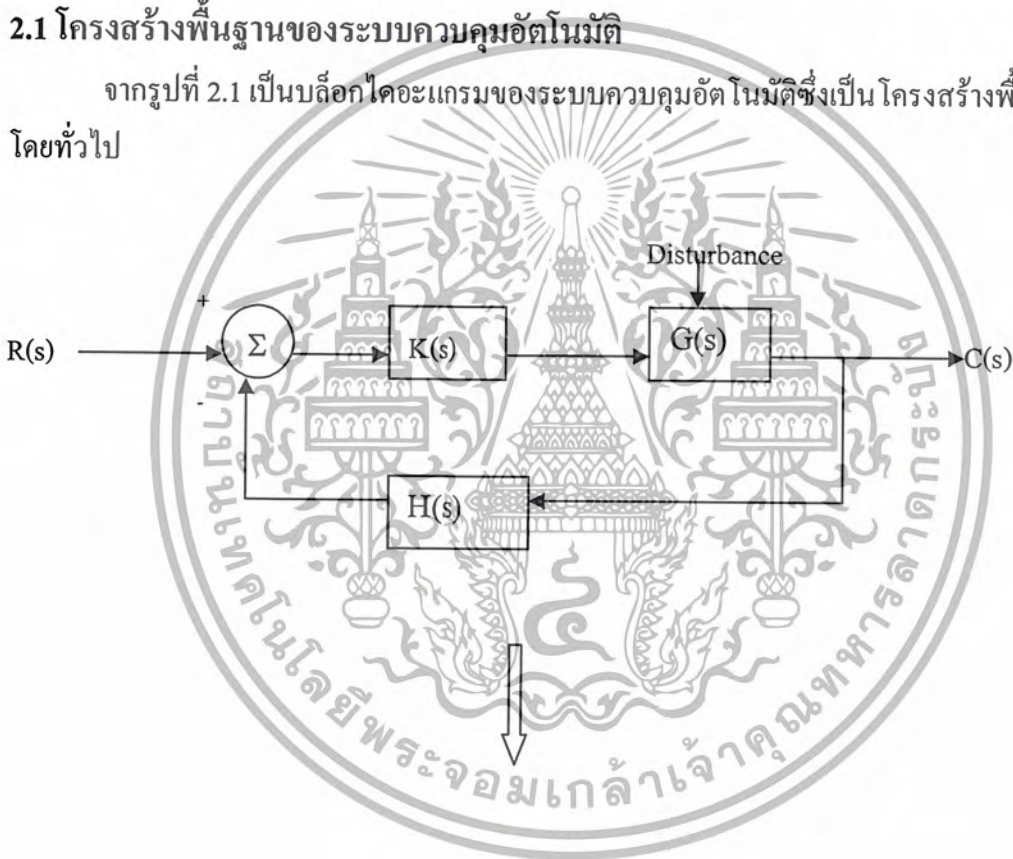
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ลักษณะระบบควบคุมที่ออกแบบอย่างดี ย่อมขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละระบบไม่จำเป็นต้องเหมือนกันทุกระบบ แต่ระบบควบคุมหลายๆ ระบบมักจะมีโครงสร้างพื้นฐานที่คล้ายๆ กันเสมอ ดังนั้นเราต้องเรียนรู้ถึงพื้นฐานของระบบควบคุมให้เข้าใจเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ถูกต้อง

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไป



รูปที่ 2.1 รูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำจำกัดความ

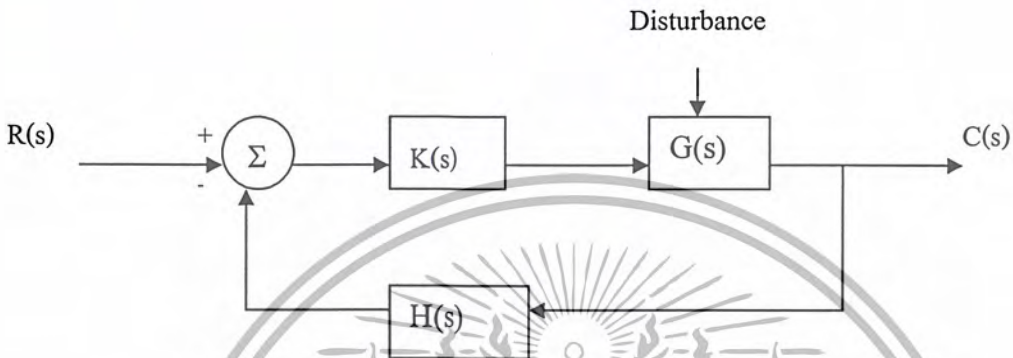
1. อินพุต (Input) คือ ค่าที่ตั้งไว้ (Set Point) หมายถึง ค่าหรือผลตอบสนองที่ต้องการของระบบที่ต้องการควบคุมที่กำหนดไว้
2. ตัวควบคุม (Controller) หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุม มีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองตามต้องการ
3. กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึง ระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุม หรืออาจจะเป็นวัตถุทางกายภาพที่ถูกควบคุมก็ได้
4. เอาต์พุต (Output) หมายถึง ผลตอบสนองของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องการจะควบคุมให้อาต์พุตมีค่าตามอินพุตที่กำหนด (หรือตามค่าของอินพุตที่เปลี่ยนแปลงไป) หรือมีค่าคงเดิมได้เมื่อมีการรบกวนทั้งภายในและภายนอกมากระทำต่อระบบที่ถูกควบคุม
5. การรบกวน (Disturbance) หมายถึง สัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในระบบถูกควบคุม สัญญาณรบกวนนี้อาจเกิดขึ้นที่จุดใดๆ ในระบบก็ได้ การรบกวนนี้แบ่งเป็นสองลักษณะ
 - การรบกวนภายใน (Internal Disturbance) ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ
 - การรบกวนจากภายนอก (External Disturbance) เป็นการรบกวนที่เกิดขึ้นจาก ภายนอก ระบบ แต่มีผลต่อระบบที่กำลังควบคุมอยู่ โดยทั่วไปจะถือว่าการรบกวนจากภายนอกเป็นอินพุตหนึ่ง (ที่ไม่พึงประสงค์) ของระบบควบคุม
6. อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึง อุปกรณ์ที่จะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลงหรือวัดสัญญาณอื่นๆ ที่ทำหน้าที่วัดค่าของเอาต์พุตของระบบที่ถูกควบคุม แล้วป้อนกลับ ไปเพื่อทำการเปรียบ เทียบกับอินพุตของระบบ
7. ระบบ (System) หมายถึง การนำเอาอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถทำงานร่วมกัน ได้มารวมรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่ต้องการ
8. ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System) หมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้อาต์พุตหรือผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต ซึ่งการป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต ส่งต่อไปยังส่วนสร้างสัญญาณของตัวควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะทำให้อาต์พุตของระบบที่ถูกควบคุมมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมป้อนกลับนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมลูปปิด หรือระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดของระบบควบคุม

การจำแนกชนิดของระบบควบคุมทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบ ลักษณะของสัญญาณ ลักษณะการวิเคราะห์และศึกษาระบบเป็นต้น

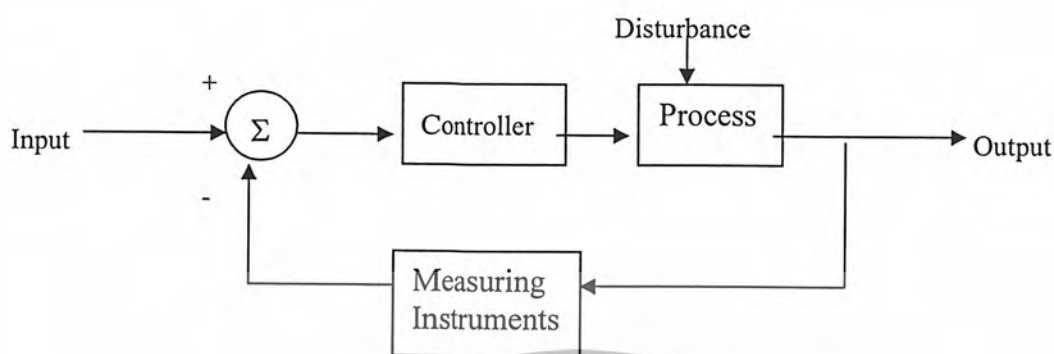
2.2.1 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด (Open Loop)



รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด

- ไม่มีการนำเอาที่พหุมาเปรียบเทียบกับอินพุท (ไม่มีการป้อนกลับ)
- เอาที่พหุไม่มีผลโดยตรงต่อการควบคุม
- ไม่สามารถควบคุมเอาที่พหุหรือผลตอบสนองของระบบให้เป็นไปตามต้องการได้ตลอดเวลา หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- ไม่สามารถจัดผลของการรบกวนได้ แต่ต้องใช้วิธีปรับอินพุท (ถ้าทำได้)
- ความเที่ยงตรงของเอาที่พหุขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ และการปรับเทียบ(Calibrate)
- ใช้งานง่าย ไม่ต้องกังวลเรื่องเสถียรภาพเพราะจะทราบได้ทันที
- ระบบควบคุมแบบลูปเปิด จะใช้กับระบบที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงและใช้งานง่าย ๆ เช่น พัดลม เตาไรต์ เครื่องซักผ้า ระบบควบคุมไฟจราจรแบบเดิม ระบบที่มีการทำงานตามเวลาล่วงหน้าที่กำหนดไว้เป็นส่วนใหญ่

2.2.2 ระบบควบคุมแบบรูปปิด (Closed Loop)

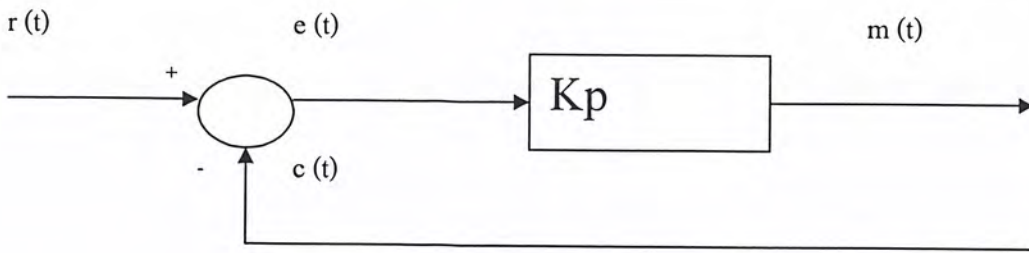


รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบรูปปิด

- มีการนำเอาที่พหุมาเปรียบเทียบกับอินพุต(การป้อนกลับ)ดังนั้นเอาที่พหุจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม
- สามารถควบคุมเอาที่พหุหรือผลตอบสนองของระบบควบคุม เป็นไปตามต้องการได้ตลอดเวลา หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- สามารถจัดหรือลดผลของการรบกวนได้ ไม่ว่าจะเป็นการรบกวนจากภายใน หรือการรบกวนนอก ทั้งนี้เพราะมีการป้อนกลับ
- อุปกรณ์ที่ใช้ไม่มีความจำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงสูง
- ต้องระวังปัญหาเรื่องเสถียรภาพอันเกิดจากผลการป้อนกลับ
- ระบบควบคุมแบบรูปปิด จะใช้กับระบบที่มีความเที่ยงตรงสูง และใช้งานทั่วไป หรืองานควบคุมอุตสาหกรรม เช่น การควบคุมอุณหภูมิห้อง การควบคุมอุณหภูมิของผู้เย็น ระบบควบคุมเชิงกล ระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.3 การควบคุมแบบพี (Proportional Control)

การควบคุมแบบพีจะให้สัญญาณควบคุม $m(t)$ ที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุม เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ของกระบวนการ ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ การควบคุมแบบพีดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของ การควบคุมแบบพี

สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + m(0) \quad (2.1)$$

โดย $m(t)$ คือ สัญญาณควบคุม

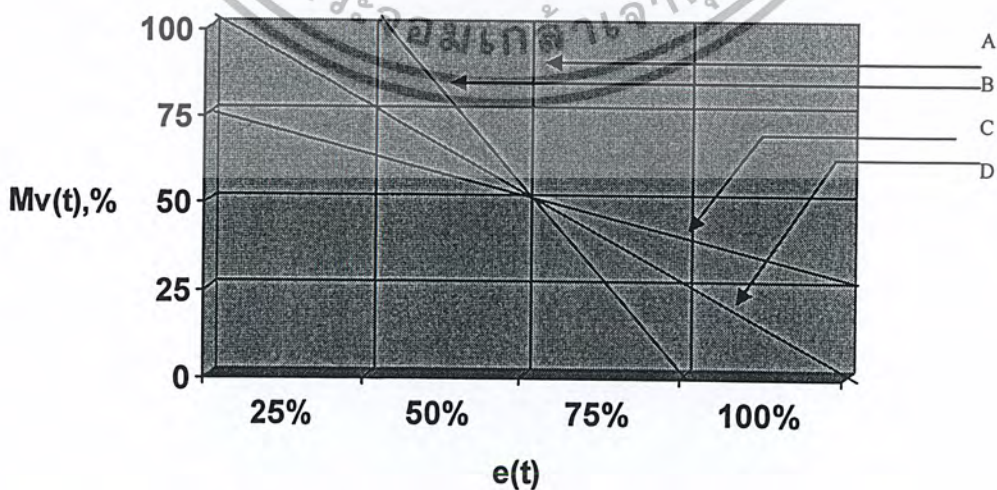
$e(t)$ คือ สัญญาณคลาดเคลื่อน

$m(0)$ คือ เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์เมื่อเออร์เรอร์เป็นศูนย์

K_p คือ อัตราขยายของตัวควบคุม โดย K_p จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือ Gain หน่วยควบคุมแบบพีจึงเป็นภาคขยายที่สามารถปรับค่าของ Gain ได้

การควบคุมแบบพีแสดงในรูปช่วงการควบคุมแบบพี (Proportional Band) (%PB) ค่า PB คือ ค่าสัญญาณ Error ที่ทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไป 100 % เมื่อ $PB = 50\%$ หมายถึง ถ้าสัญญาณ Error เกิดขึ้น 50 % สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไป 100 % ดังในรูปที่ 2.5

$$PB = \frac{1}{K_p} * 100 \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.5 ช่วงการควบคุมแบบพี (Proportional Band)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

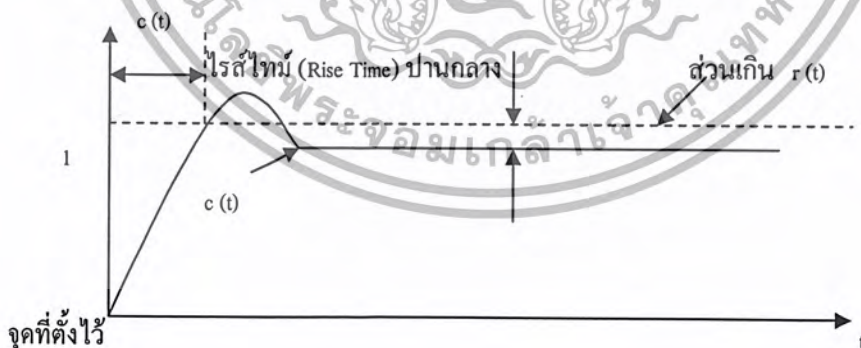
A;	PB	=	0%	,	Kp	=	100/0
B;	PB	=	50%	,	Kp	=	100/50
C;	PB	=	100%	,	Kp	=	100/100
D;	PB	=	200%	,	Kp	=	100/200

จากรูปที่ 2.5 แสดงว่าค่า PB เป็นตัวบอกความไวของการแก้ความผิดพลาดจึงอาจเรียกได้ว่า Kp เป็นความไวของ Proportional Control

คุณสมบัติของ Proportional Action

1. เมื่อลด PB ลงไปจะทำให้อัตราขยายสูงขึ้น การควบคุมจะไวขึ้นทำให้กระบวนการเกิดการแกว่งขึ้นได้
2. เมื่อเพิ่ม PB อัตราขยายจะลดลง จะทำให้ค่าวัดกับค่าเป้าหมายแตกต่างกันมากขึ้นเราเรียกว่าส่วนเกิน (Off Set)
3. เมื่อโหลดของกระบวนการสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป ซึ่งเราเรียกว่ามีสัญญาณรบกวนก็เกิดส่วนเกินได้ง่าย

ข้อเสียของการควบคุมแบบพี คือ กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลง โหลดจะเกิดส่วนเกินของสัญญาณกระบวนการ (c) ที่สถานะคงที่ โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีไทม์แล็ก (ระบบที่มีกระบวนการที่ช้า) มากๆ การแก้ไขด้วยการลดค่า PB แต่ก็ไม่สามารถจำกัดค่าได้หมด เพราะถ้าค่า Kp สูงเกินไปการควบคุมจะเกิดการออสซิลเลท



รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองของระบบพีคอนโทรลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุตแบบยูนิตสเตป

พีคอนโทรลจะใช้งานได้เฉพาะในระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดมากนัก หรือระบบที่มีการรบกวนที่มีไทม์แล็กน้อยๆ หมายถึงระบบจะต้องมี PB น้อย (Kp มีค่ามาก) ซึ่งจะทำให้ค่าส่วนเกินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเขียนโปรแกรมการคำนวณ

การควบคุมเนื่องจากสัญญาณความเบี่ยงเบน (Error) การควบคุมที่เกิดขึ้นด้วยความแตกต่างของสัญญาณที่วัดได้จากกระบวนการ (DV digital input variable) กับค่าที่ต้องการ (DSP digital set point) เนื่องจากค่าที่วัดได้เป็นสัญญาณอนาลอก ถ้าต้องการนำมาใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงต้องมีการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อน โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น 8 bit จึงมีค่าตั้งแต่ 0 – FFH ค่า 0 จะมีความหมายถึงที่ 0 % ของสัญญาณที่วัดได้จากกระบวนการ และที่ FFH จะหมายถึงที่ 100 % ของสัญญาณที่วัดได้จากกระบวนการ

ตัวอย่างที่ 40 % ก็จะมีค่าในการคำนวณเท่ากับ $(40 / 100) * 255$

การควบคุมเนื่องจากสัญญาณความเบี่ยงเบน (Error) เราสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} DE &= DV - DSP \\ DE &= \text{CONTROLLER VARIABLE ERROR} \\ DV &= \text{DIGITAL INPUT FROM THE} \\ &\quad \text{CONTROLLER VARIABLE} \\ DSP &= \text{DIGITAL SET POINT} \end{aligned}$$

2.4.1 แบบการควบคุมแบบพี (PROPORTIONAL MODE)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } P &= K_p * e_p + p(0) & (2.3) \\ \text{ซึ่ง } K_p &= \text{Proportional Gain} \\ e_p &= \text{Error} \\ p(0) &= \text{Controller Output with no error} \end{aligned}$$

เราสามารถเขียนเป็นสมการที่นำไปใช้ได้ดังนี้

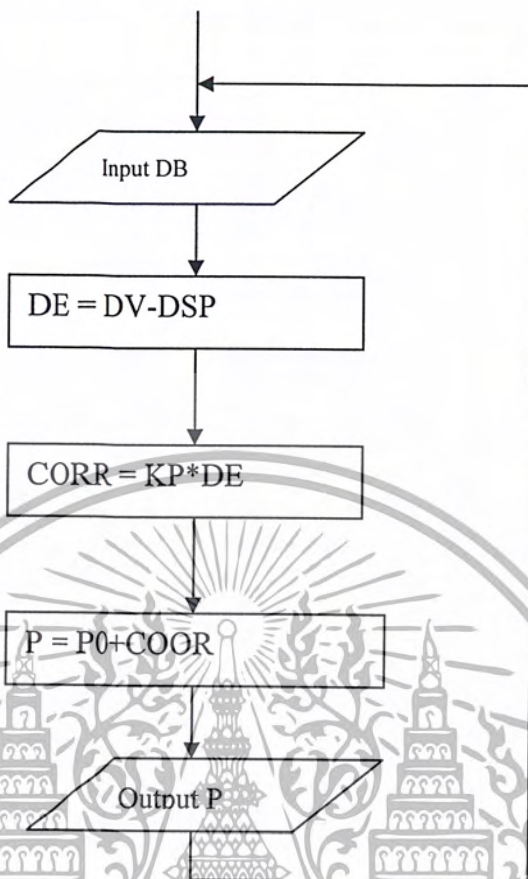
$$P = P_0 + K_P * DE \quad (2.4)$$

$$P_{OUT} = P * R_{OUT} \quad (2.5)$$

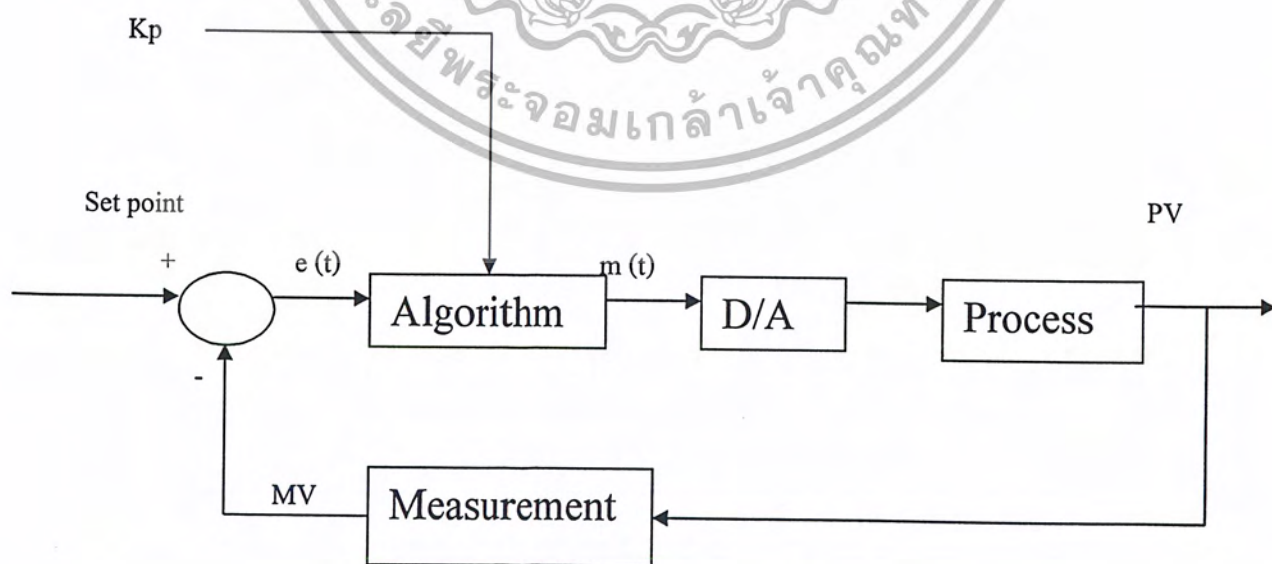
ซึ่ง

$$\begin{aligned} P_0 &= \text{fraction output with no error} \\ K_P &= \text{Proportional gain (\% / \%)} \\ P &= \text{function of output with no error} \\ R_{OUT} &= \text{maximum output} \\ P_{OUT} &= \text{output} \end{aligned}$$

จากสมการเราสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังต่อไปนี้



2.4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของระบบควบคุมแบบพี



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการคำนวณพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การปรับค่าตัวควบคุม

การปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมที่ดีที่สุด ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมพีเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

การออกแบบระบบควบคุมเมื่อสามารถเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบระบบควบคุม คือ การเลือกค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการหรือการปรับตัวควบคุมให้สามารถควบคุมกระบวนการได้ดีและมีประสิทธิภาพ วิธีการปรับตัวควบคุมแบบป้อนกลับในกระบวนการอุตสาหกรรมมี 4 วิธี คือ

1. **ปรับตัวควบคุม** โดยกำหนดหลักเกณฑ์การควบคุมจากผลตอบสนองของกระบวนการ เฉพาะจุด เช่น ลดการตอบสนองสูงสุดให้มีค่าน้อยที่สุด ปรับการตอบสนองของกระบวนการให้มีค่าอัตราการลดทอน $1/4$ ลดเวลาสู่สมดุลของกระบวนการให้สั้นที่สุด ซึ่งการปรับตัวควบคุมโดยวิธีนี้มักทำให้ได้ค่าตัวแปรควบคุมหลายชุด
2. **ปรับตัวควบคุม** โดยใช้หลักเกณฑ์การอินทิเกรตค่าเวลาความคลาดเคลื่อนแบบต่างๆ เช่น ไอเอสอี ไออีเอ หรือไอทีเออี การปรับตัวควบคุมโดยวิธีนี้ ต้องใช้การคำนวณค่อนข้างมาก ทำให้เสียเวลาและมักไม่สามารถใช้กับกระบวนการได้จริง
3. **การปรับตัวควบคุมโดยใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากการทดลอง** ในการปรับตัวควบคุมแบบป้อนกลับ โดยใช้สูตรสำเร็จที่นักคณิตศาสตร์คิดวิธีที่จะหาทางตั้งค่าพีไอดีเพื่อให้ได้การควบคุมที่มีเสถียรภาพดีที่สุด โดยมีสูตรสำเร็จดังตัวอย่างที่แสดง ในตารางที่ 2.1 แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติก็ยังไม่มียุติวิธีใดที่ดีพอที่จะสามารถนำไปใช้ในทุกระบบได้
4. **การปรับตัวควบคุมวิธีทดลองผิดทดลองถูก** การปรับตัวควบคุมโดยใช้สูตรสำเร็จจากการทดลองต่างๆ บางครั้งไม่สามารถทำให้การควบคุมกระบวนการได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ในการทดลองหาสูตรสำหรับปรับตัวควบคุม มีคุณสมบัติบางอย่างต่างจากกระบวนการจริงที่ต้องการควบคุม ค่าตัวแปรที่ได้จากใช้สูตรสำเร็จเพียงสามารถใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการปรับตัวควบคุม ไม่ทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพและทดลองปรับตัวควบคุมโดยสังเกตผลการควบคุมจากการพิจารณาค่าวัดของตัวแปรกระบวนการตามขั้นตอนดังนี้

- (1) ปรับตัวควบคุมให้ระบบรวมอยู่ในสภาพสมดุลไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร กระบวนการและสัญญาณควบคุม
- (2) เปลี่ยนเป้าหมายการควบคุม และสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการจากค่าวัด
- (3) ปรับอัตราการควบคุมแบบพี K_p ของตัวควบคุมจนได้ผลการตอบสนองของ

กระบวนการได้ผลการควบคุมดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุม โดยใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากผลการทดลองของ
กระบวนการชนิดต่างๆ

Name	แบบ	แบบการควบคุม	Control Action PB (%)	Control Action Ti (min)	Control Action Td (min)	Gain
Zieg-ler	A.B	P	2PB μ	-	-	25%
		PI	2.2PB μ	0.83P μ	-	damp-ratio
		PID	1.7PB μ	.5P μ	0.125P μ	
Zieg-ler	A.B	P	100kpL/T	-	-	25%
		PI	110kpL/T	33L	-	damp-ratio
		PID	83kpL/T	2L	0.5L	
Taka-hashi	A	P	110kpL/T	-	-	Minimum
		PI	110kpL/T	3.3L	-	
		PID	77kpL/T	2.2L	0.45L	
Chien Hrones Rewick	A	P	333kpL/T	-	-	No overshoot
		PI	286kpL/T	1.2L	-	
		PID	167kpL/T	T	0.5L	
Chien Hrones Rewick	B	P	143kpL/T	-	-	20% overshoot
		PI	167kpL/T	T	-	
		PID	105kpL/T	0.5P μ	0.125P μ	
Chien Hrones Rewick	B	P	333kpL/T	-	-	No overshoot
		PI	167kpL/T	4L	-	
		PID	105kpL/T	2.4L	0.4L	
Chien	B	P	143kpL/T	-	-	20% overshoot
		PI	143kpL/T	2.3L	-	
		PID	83kpL/T	2L	0.42L	
Fuji Yoshi-kawa	A	P	100kpL/T	-	-	minimum control area
		PI L/T = 1	167kpL/T	T+L	-	
		L/T = 1	250kpL/T	2L	-	
		PID L/T = 1	133kpL/T	0.5*(T+L)	0.125*(T+L)	
		L/T = 1	200kpL/T	0.25L	0.25L	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองของกระบวนการชนิดต่างๆ

	TEMPERATURE	FLOW	PRESSURE	LEVELS
characteristic	2 nd order ขึ้นไป	แปรผัน โดยตรง	1 st order	1 st order
Response	ช้า, ปานกลาง	เร็วมาก	ปานกลาง, เร็ว	ปานกลาง
Time Constant	ใหญ่, ปานกลาง	เล็ก	เล็กมาก	เล็ก, ปานกลาง
Dead Time	เล็ก, ปานกลาง	เล็ก	เล็ก	เล็ก
Controller	on-off,P,PI,PID	P,PI	on-off,P,PI	on-off,P,PI



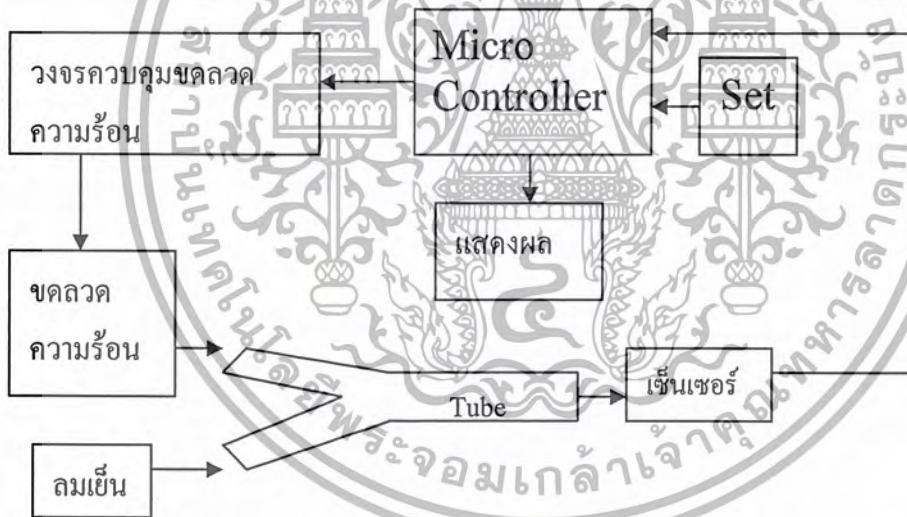
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ส่วนประกอบของระบบและวงจรการใช้งาน

ในการควบคุมกระบวนการประสิทธิภาพของระบบที่ดีคือให้ผลตอบสนองที่ถูกต้องแม่นยำ ตัวควบคุมแบบพีเป็นตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพที่ตอบสนองต่อระบบดี ลดค่าความผิดพลาดต่างๆ และเป็นที่ยอมรับใช้ในการควบคุม กระบวนการของโครงการนี้คือ ควบคุมอุณหภูมิความร้อนภายในท่อโดยใช้ลมเย็นเป็นสัญญาณรบกวน (Disturbance) โครงการนี้ใช้ตัวควบคุมแบบพีอยู่ในรูปของซอฟต์แวร์ (Software) ประมวลผลโดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะของโครงการนี้คือ กำหนดอุณหภูมิที่ต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ชุดวงจรควบคุมขดลวดความร้อนเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้ได้ค่าตามที่ได้ตั้งเอาไว้ และชุดวงจรวัดอุณหภูมิจะวัดค่าอุณหภูมิส่งค่ากลับไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เราได้ตั้งไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะแสดงผลอุณหภูมิที่ตั้งไว้และอุณหภูมิขณะปัจจุบันด้วย

3.1 หลักการของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน โดยรวมของโครงการ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 4

ส่วนหลักๆ คือ

1. ส่วนวงจรวัด ควบคุม และแสดงผลอุณหภูมิ
2. ส่วนวงจรควบคุมขดลวดความร้อน
3. ส่วนวงจรกำเนิดแรงดัน 12 V และ 5 V
4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการทำงานของระบบโดยรวมจากส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 3.1 จะมีลักษณะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด และขั้นตอนการทำงานโดยรวมมีดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนควบคุมส่วนต่างๆ ทั้งหมด ทั้งรับค่าอินพุตมาจากคีย์แพด (Keypad) และแสดงผลออกทาง LCD ส่งสัญญาณควบคุมออกมาควบคุมขดลวดความร้อน โดยจะต้องแปลงสัญญาณควบคุมที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เป็นสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกเสียก่อน แล้วสัญญาณควบคุมที่ได้จึงถูกส่งให้กับชุดควบคุมขดลวดความร้อนใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และรับค่ามาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ โดยคำนวณในส่วนของสมการพีเพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมที่ต้องการไปควบคุมระบบต่อไป สมการ พี ที่ใช้ในการคำนวณในโครงการนี้คือ

$$m(t) = K_p \times e(t) \quad (3.1)$$

โดย $m(t)$ คือ สัญญาณควบคุม

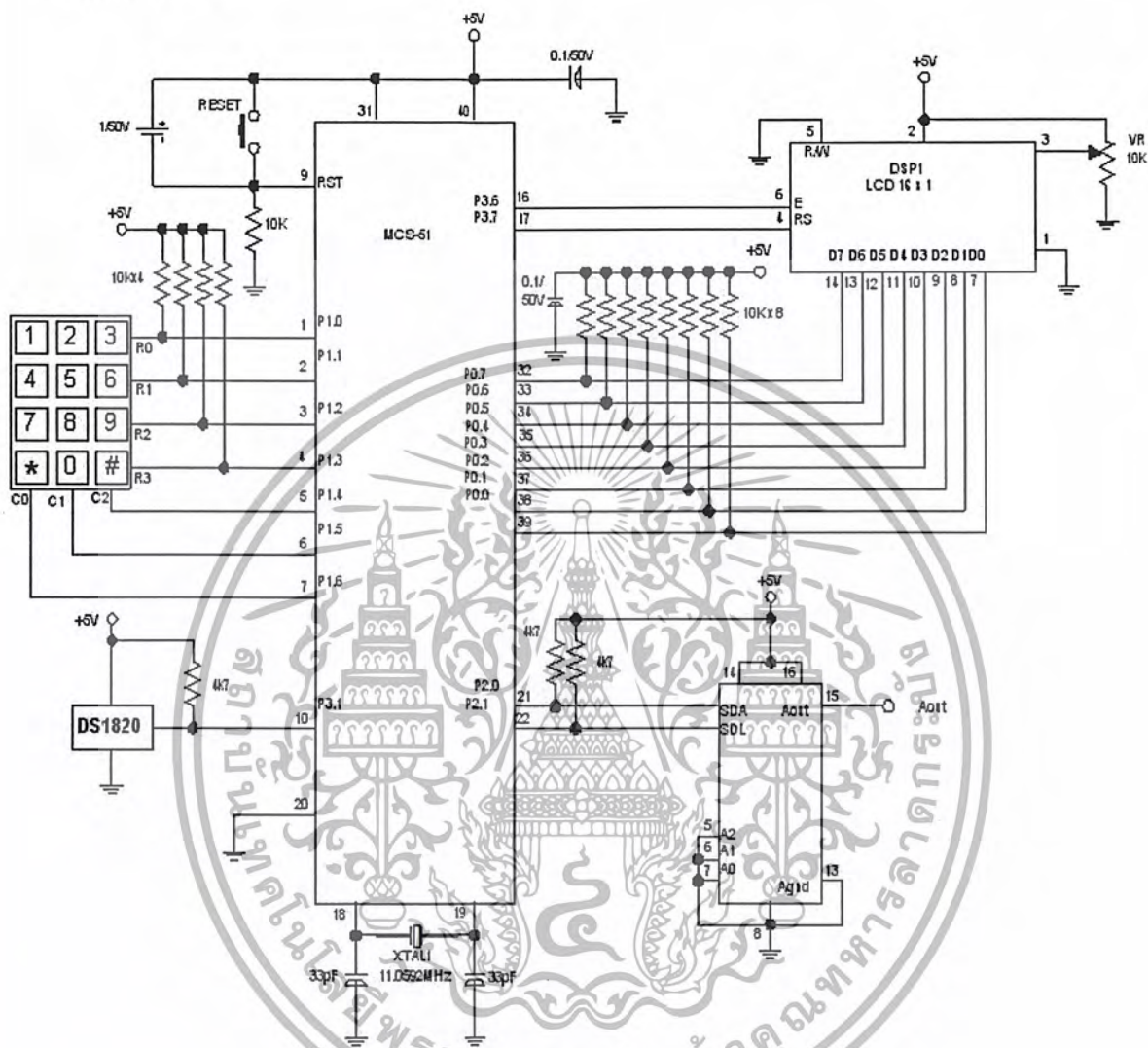
$e(t)$ คือ สัญญาณคลาดเคลื่อน

K_p คือ อัตราขยายของตัวควบคุม โดย K_p จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือ Gain หน่วยควบคุมแบบพี จึงเป็นภาคขยายที่สามารถปรับค่าของ Gain ได้



3.2 วงจรวัดควบคุมแสดงผลอุณหภูมิ

จากรูปวงจรประกอบด้วยส่วนการวัดอุณหภูมิ การตั้งค่า การแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก และการแสดงผล



รูปที่ 3.2 วงจรรวม

-ส่วนวงจรวัดอุณหภูมิ

ใช้ไอซี DS18B20 วัดอุณหภูมิที่ใช้การติดต่อแบบระบบหนึ่งสาย ส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DS18B20 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงหนึ่งสายเท่านั้น ข้อดีของ DS18B20 คือสามารถให้ข้อมูลของอุณหภูมิละเอียดถึง 16 บิตเมื่อแปลงเป็นเลขฐานสิบแสดงค่าความละเอียดของค่าอุณหภูมิได้ถึง 0.5 °C และ 0.9 °F มีช่วงการวัด -55 to +125 °C & -67 to +257 °F ซึ่งติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง Port P3.1

-ส่วนวงจรตั้งค่า

ในที่นี้ใช้ซีพีด 4x3 เป็นตัวเซตค่าที่ใช้ในการทดลอง ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทาง Port P1.0 - P1.6

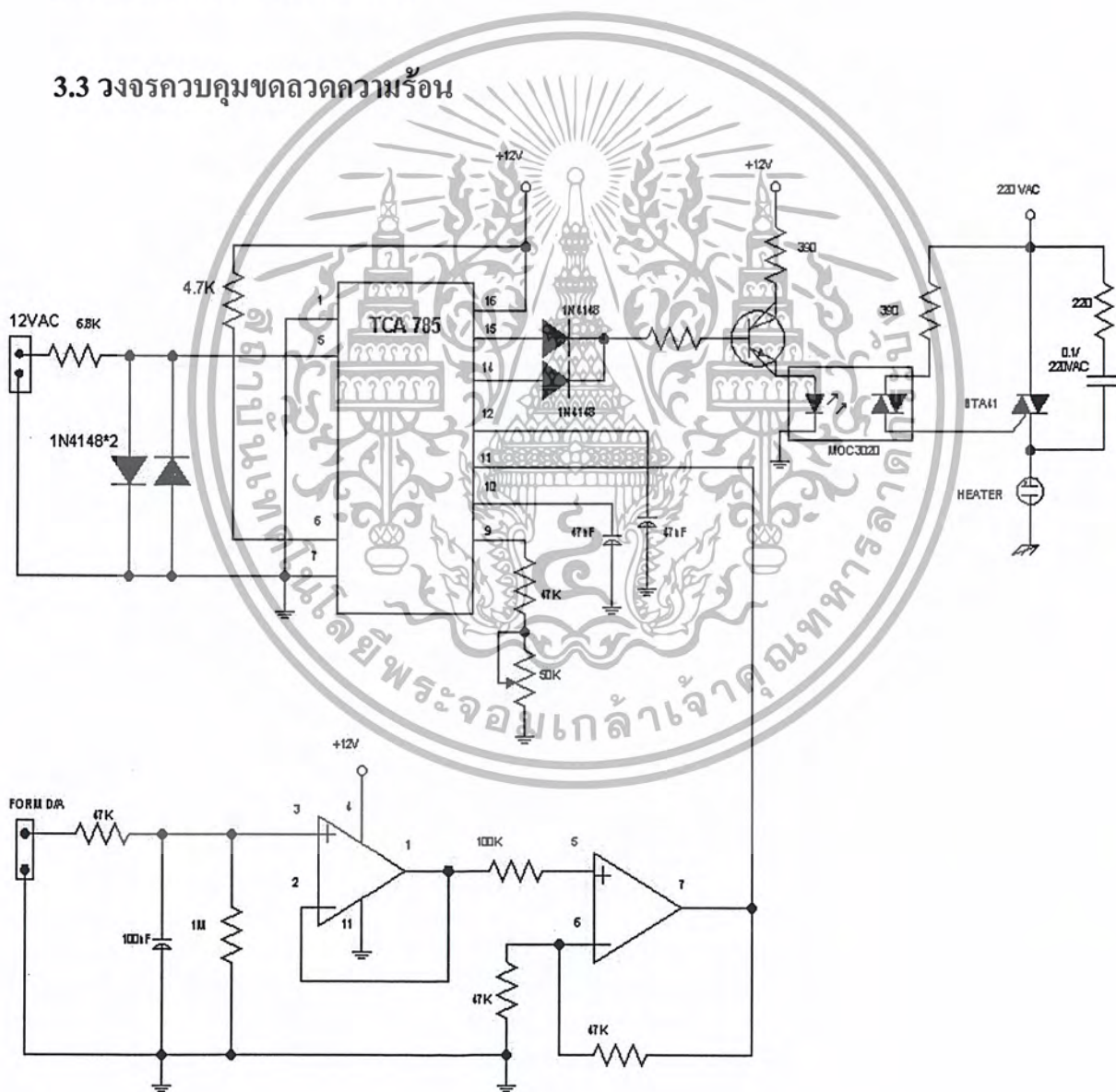
-ส่วนการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก

ในที่นี้เราใช้ไอซี PCF8591 เป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกซึ่งติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C ทาง Port P2.0 - 2.1

-ส่วนการแสดงผล

เราใช้ LCD 16x2 บรรทัดเป็นตัวแสดงผลทั้งหมดของระบบ ซึ่งติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง Port P0.0 - P0.7

3.3 วงจรควบคุมขดลวดความร้อน



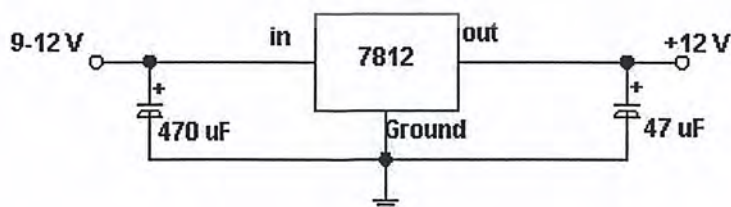
รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ ที่จะไปกระตุ้นไทรสเตอร์(ไทรแอก)ใช้ไอซี TCA 785 (Phase Control Ics) ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณกระตุ้นนี้มีหลักการดังนี้ นำสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลง 12 VAC จะป้อนเข้ามาที่ขา 5 เพื่อที่จะให้ไอซีนำสัญญาณนี้มาสร้างสัญญาณแร่มพ์ (Ramp Signal) สัญญาณนี้จะแสดงออกมาที่ขา 10 ซึ่งสัญญาณที่ได้ออกมานี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับศักดาไฟฟ้ากระแสตรงที่ขา 11 ซึ่งศักดาไฟฟ้านี้เรียกว่า ศักดาไฟฟ้าควบคุม (Control Voltage) และจุดศักดาไฟฟ้าควบคุมับสัญญาณแร่มพ์ตัดกันจะทำให้เกิดสัญญาณกระตุ้นออกมาที่ขา 14 และ 15 โดยขา 15 นั้นสัญญาณกระตุ้นจะมีเฟสเดียวกับศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่ 15 และขา 14 จะมีเฟสเลื่อนไปล่าหลัง 180 องศา ศักดาไฟฟ้าควบคุมที่เข้าขา 11 นั้นมีขนาด 0 - 5 V ที่ได้มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแปลงจากดิจิตอลเป็นอนาลอก เราสามารถปรับสัญญาณแร่มพ์ โดยปรับค่าความต้านทานที่ขา 9 เนื่องจากการควบคุมขดลวดความร้อนนี้เราใช้ไอซี TCA 785 ในการสร้างสัญญาณกระตุ้น ทำให้เมื่อต่อกับอุปกรณ์ไทรสเตอร์โดยตรงอาจทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับระบบกราวด์ร่วมกันของวงจรแรงดันต่ำกับแรงดันสูง ซึ่งอาจทำให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเกิดความเสียหายได้เราจึงใช้วิธีแยกกราวด์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) กับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ออกจากกัน โดยใช้ Optoisolator/Photo-Triac เบอร์ MOC3020 แต่เนื่องจากเมื่อเราใช้วิธีแยกกราวด์แบบนี้จึงทำให้สัญญาณเอาท์พุทจากไอซี TCA 785 นั้นไม่สามารถที่จะขับ Optoisolator/Photo-Triac ได้เพียงพอ ดังนั้นเราจึงใช้ทรานซิสเตอร์ทำการขยายสัญญาณ เพื่อที่จะไปขับ Optoisolator/Photo-Triac ให้ทำงาน

ด้านการควบคุมโหลดทางเอาท์พุท เราใช้ไทรแอกในการควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อนโดยที่ไทรแอกที่อยู่ภายในไอซี MOC3020 นั้นจะเป็นตัวกระตุ้นกระแสให้ไทรแอกทำงาน โดยมี R9 และ R10 เป็นตัวกำหนดกระแสร่วมกับไทรแอก ส่วน R11 และ C4 จะทำหน้าที่เป็นวงจรมินิเปอร์ซึ่งจะช่วยให้ไทรแอกเกิดการ ทำงาน ได้อย่างเหมาะสมดังรูปที่ 3.3

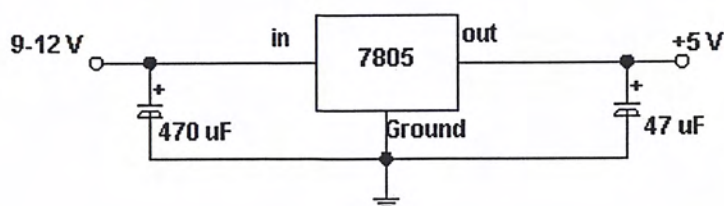
3.4 วงจรกำเนิดแรงดัน 12 V & 5 V



รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดแรงดัน 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้งานใช้แหล่งจ่ายไฟ 12 VDC เพื่อจ่ายให้วงจรควบคุมขดลวดความร้อนโดยใช้ IC regulator 7812 เป็นตัวควบคุมแรงดันให้คงค่าไว้ที่ 12 V



รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดแรงดัน 5 V

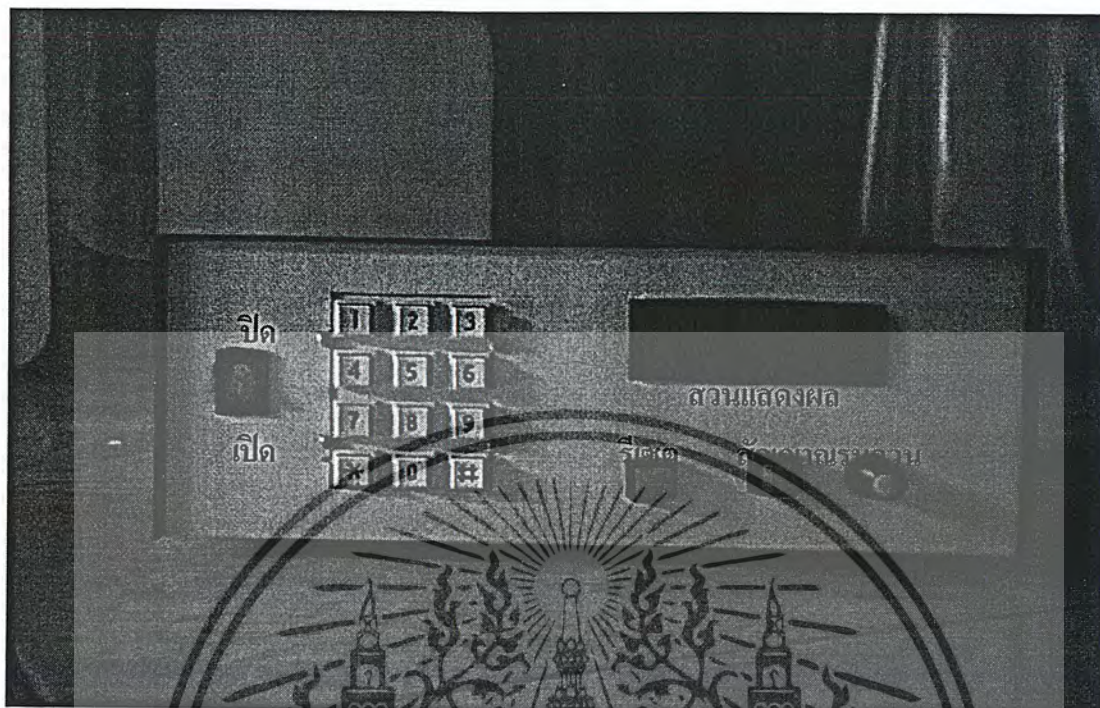
วงจรที่ใช้งานใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 VDC เพื่อจ่ายให้วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ IC regulator 7805 เป็นตัวควบคุมแรงดันให้คงค่าไว้ที่ 5 VDC

3.5 ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในโครงงาน

- ขดลวดความร้อน ขดลวดความร้อนที่ใช้ในโครงงานนี้ ได้นำโคเป่ามขนาด 250 VAC / 1000W มาใช้เป็นตัวสร้างความร้อน
- ท่อ PVC ที่ใช้มีขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 6 นิ้ว



3.6 วิธีการใช้งานชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.6 รูปด้านหน้าของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

1. จากรูปที่ 3.5 กดสวิทช์ทางด้านซ้ายมือเพื่อเปิดเครื่อง ส่วนแสดงผลจะแสดงค่าอุณหภูมิปัจจุบัน
2. กด * ที่คีย์แพนเมื่อต้องการตั้งค่าอุณหภูมิและค่า Kp ส่วนแสดงผลจะแสดงสองตัวเลข
 - ตัวเลขที่หนึ่งเมื่อกดหมายเลข 1 จะเข้าสู่ขั้นตอนการตั้งค่าอุณหภูมิ กดตัวเลขที่ต้องการตั้งค่าอุณหภูมิในช่วง 40 - 80 องศาเซลเซียส ส่วนแสดงผลจะกลับเข้าสู่ขั้นตอนการเลือกตัวเลขที่หนึ่งถึงสอง
 - ตัวเลขที่สองเมื่อกดหมายเลข 2 จะเข้าสู่ขั้นตอนการตั้งค่า Kp กดตัวเลขที่ต้องการในช่วง 1 - 9 เมื่อกดแล้วส่วนแสดงผลจะกลับเข้าสู่ขั้นตอนการเลือกตัวเลขที่หนึ่งถึงสอง
3. กด * อีกครั้งระบบจะเริ่มทำงาน

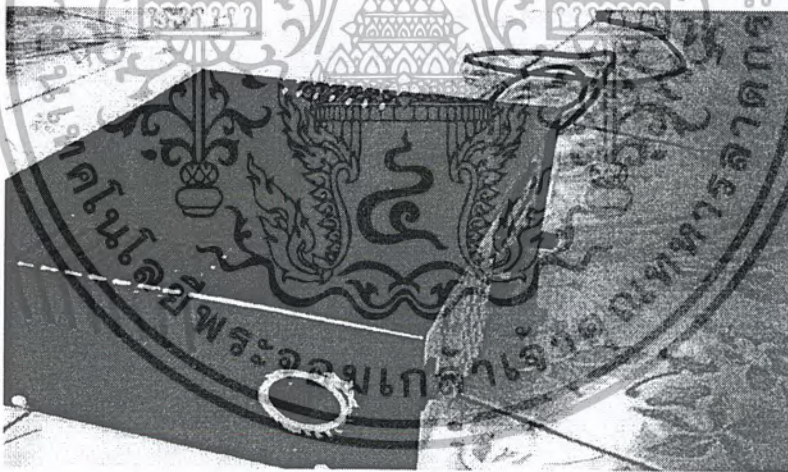
หลังจากที่เราได้ตั้งค่าอุณหภูมิใหม่ให้กับระบบ ส่วนแสดงผลก็จะแสดงค่าอุณหภูมิปัจจุบัน ค่าเกณฑ์ ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และเรายังสามารถจ่ายลมเย็นหรือสัญญาณรบกวนให้แก่ระบบเพื่อดูผลตอบสนองของระบบว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง
4. เราสามารถกดปุ่มรีเซ็ตเพื่อเริ่มการทำงานใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปด้านหลังของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 3.7 เป็นช่องทางลมเข้าสู่กระบวนการทำให้เป็นลมร้อน และเมื่อเป็นลมร้อนจะถูกส่งไปตามท่อ PVC ขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ไปสุดที่ปลายท่อซึ่งออกทางด้านข้างของกล่อง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปด้านข้างของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

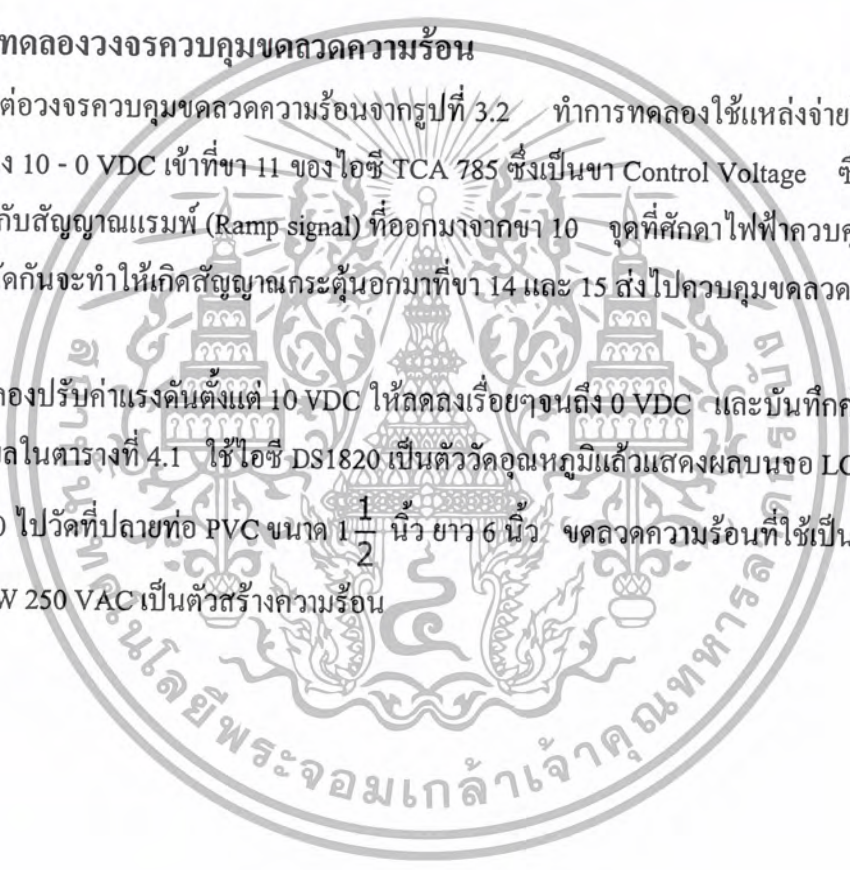
การทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทดลอง 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่หนึ่งทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อน ได้ทดลองจ่ายแรงดันไฟตรงเพื่อควบคุมวงจรให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด และส่วนที่สองทดลองการทำงานของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ ได้ทดลองตั้งค่าอุณหภูมิและค่าพารามิเตอร์ K_p เพื่อดูกราฟผลตอบที่ได้จากการทดลอง

4.1 ผลการทดลองวงจรควบคุมขดลวดความร้อน

เมื่อต่อวงจรควบคุมขดลวดความร้อนจากรูปที่ 3.2 ทำการทดลองใช้แหล่งจ่ายไฟปรับค่าได้จ่ายไฟตรง 10 - 0 VDC เข้าที่ขา 11 ของ ไอซี TCA 785 ซึ่งเป็นขา Control Voltage ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณแรมพ์ (Ramp signal) ที่ออกมาจากขา 10 จุดที่ศักดาไฟฟ้าควบคุมและสัญญาณแรมพ์ตัดกันจะทำให้เกิดสัญญาณกระตุ้นออกมาที่ขา 14 และ 15 ส่งไปควบคุมขดลวดความร้อนต่อไป

ทดลองปรับค่าแรงดันตั้งแต่ 10 VDC ให้ลดลงเรื่อยๆจนถึง 0 VDC และบันทึกค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้ผลในตารางที่ 4.1 ใช้ ไอซี DS1820 เป็นตัววัดอุณหภูมิแล้วแสดงผลบนจอ LCD โดยใช้ ไอซี DS1820 ไปวัดที่ปลายท่อ PVC ขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ขดลวดความร้อนที่ใช้เป็นไคเป่าผม ขนาด 1000 W 250 VAC เป็นตัวสร้างความร้อน



ตารางที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิเมื่อปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ขา 11 ของไอซี TCA 785 ลดลงเรื่อยๆ

จ่ายไฟ 10 - 0 V (ขา 11 TCA 785)	Temperature (° C)
10	31
9	35.5
8	41.5
7	52
6	57.5
5	65
4	70
3	74.5
2	77.5
1	79.5
0	82

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิเมื่อปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ขา 11 ของไอซี TCA 785 เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

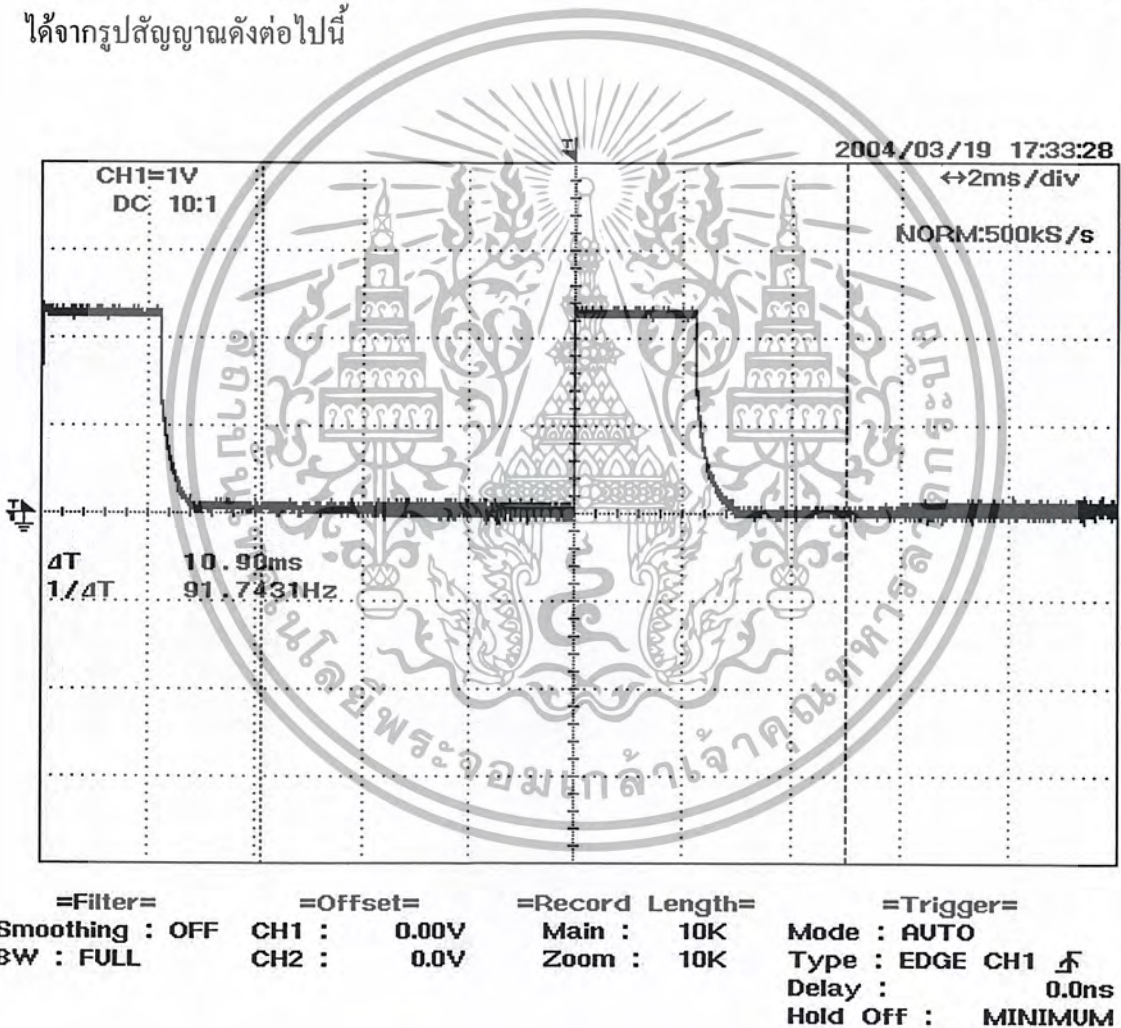
จ่ายไฟ 0-10 V (ขา 11 TCA 785)	Temperature (° C)
0	82.5
1	80.5
2	78.5
3	75
4	70.5
5	67
6	59.5
7	56
8	43.5
9	38
10	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดลองปรับแรงดันตั้งแต่ 0 VDC ให้เพิ่มขึ้นจนถึง 10 VDC และบันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 4.1 กับตารางที่ 4.2 การจ่ายแรงดันที่มีค่าเท่ากัน อุณหภูมิของตารางที่ 4.2 จะสูงกว่าตารางที่ 4.1 เป็นเช่นนี้เพราะขดลวดความร้อนจะกินสภาพได้ซ้ำมีการสะสมความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงกว่า

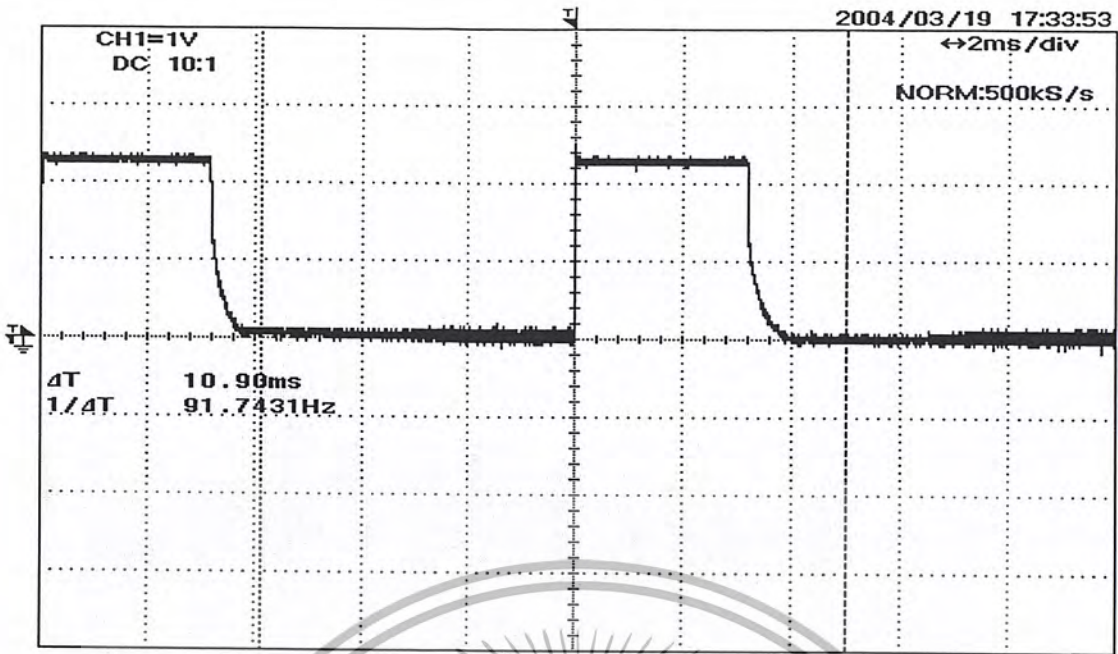
เมื่อทดลองจ่ายแรงดัน 8 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785 และใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณที่ขา E ของทรานซิสเตอร์ C458 สัญญาณกระตุ้นที่วัดได้ แสดงดังรูปที่ 4.1

ทดลองลดแรงดันที่ 5 VDC, 4 VDC, 3 VDC, 1 VDC และใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณที่ขา E จุดเดิมจะได้สัญญาณกระตุ้นดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.1 - 4.5 เราจะเห็นว่าความถี่ของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันที่เราป้อนให้ขา 11 ของไอซี TCA 785 ดูได้จากรูปสัญญาณดังต่อไปนี้



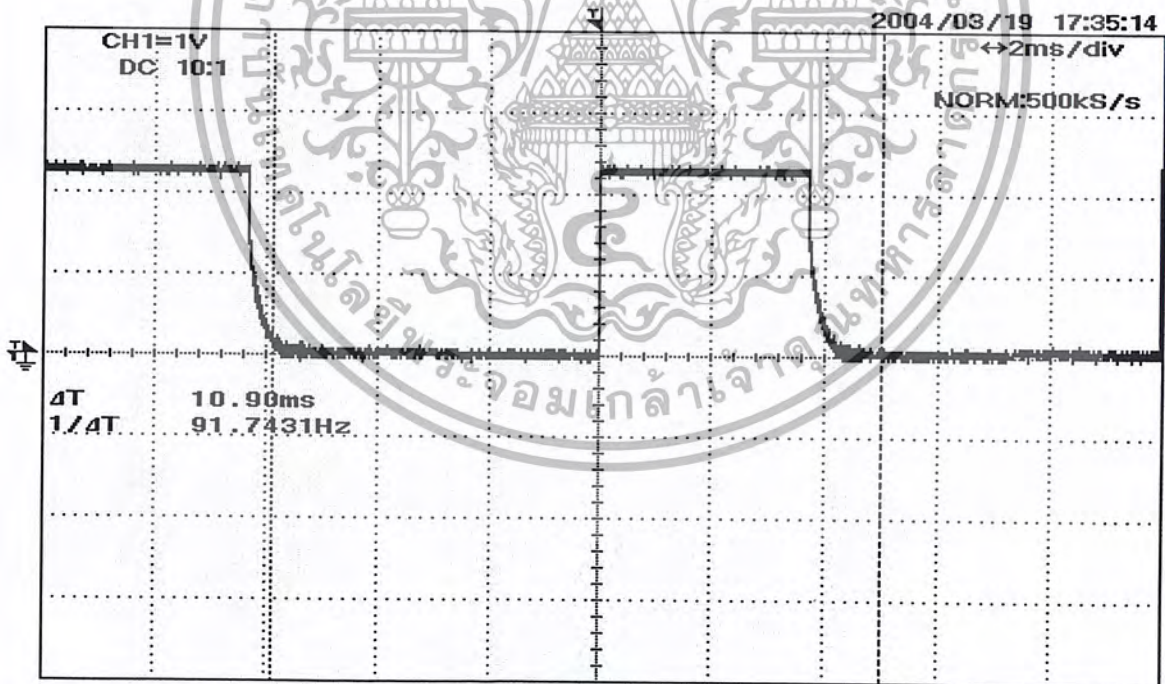
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณมวมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 8 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 \uparrow Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

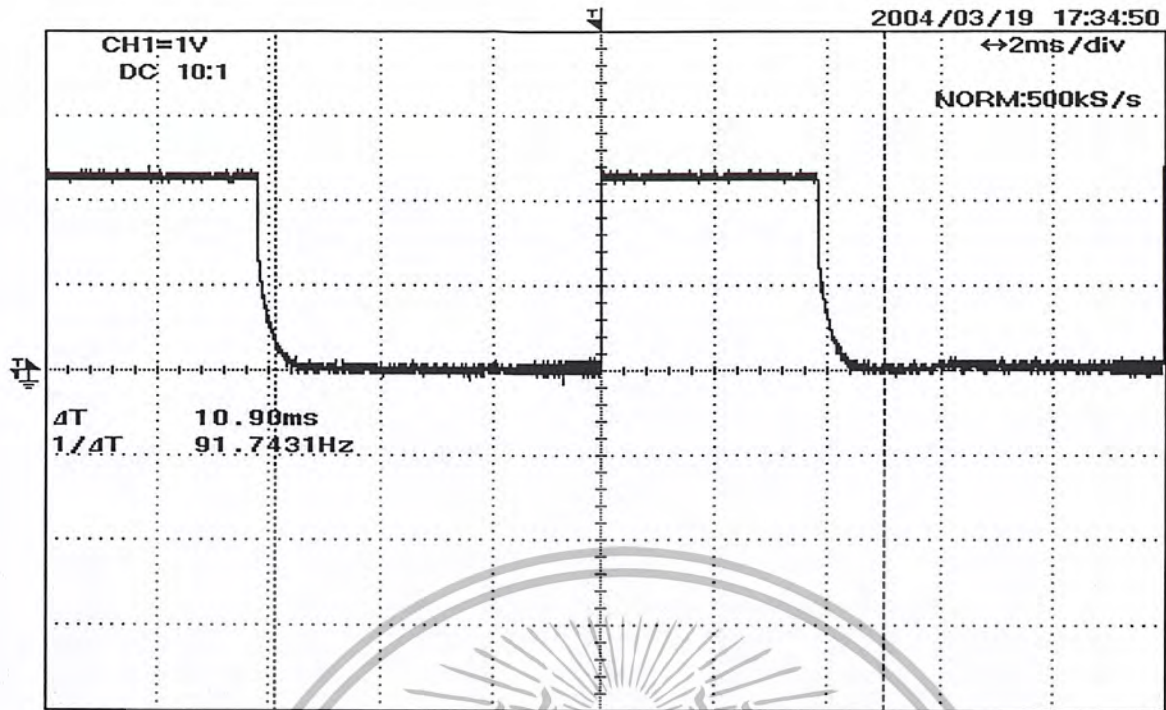
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณมวมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 5 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 \uparrow Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

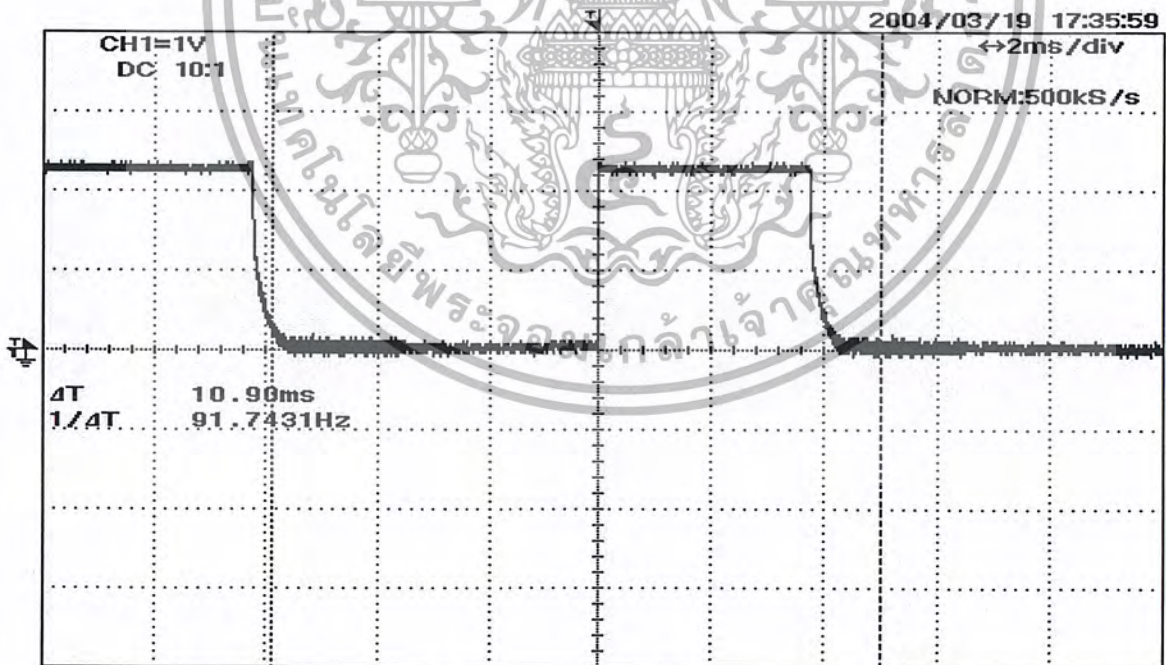
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณมวมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 4 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 3 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785



=Filter= Smoothing : OFF BW : FULL
 =Offset= CH1 : 0.00V CH2 : 0.0V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดจากป้อนไฟ 1 VDC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

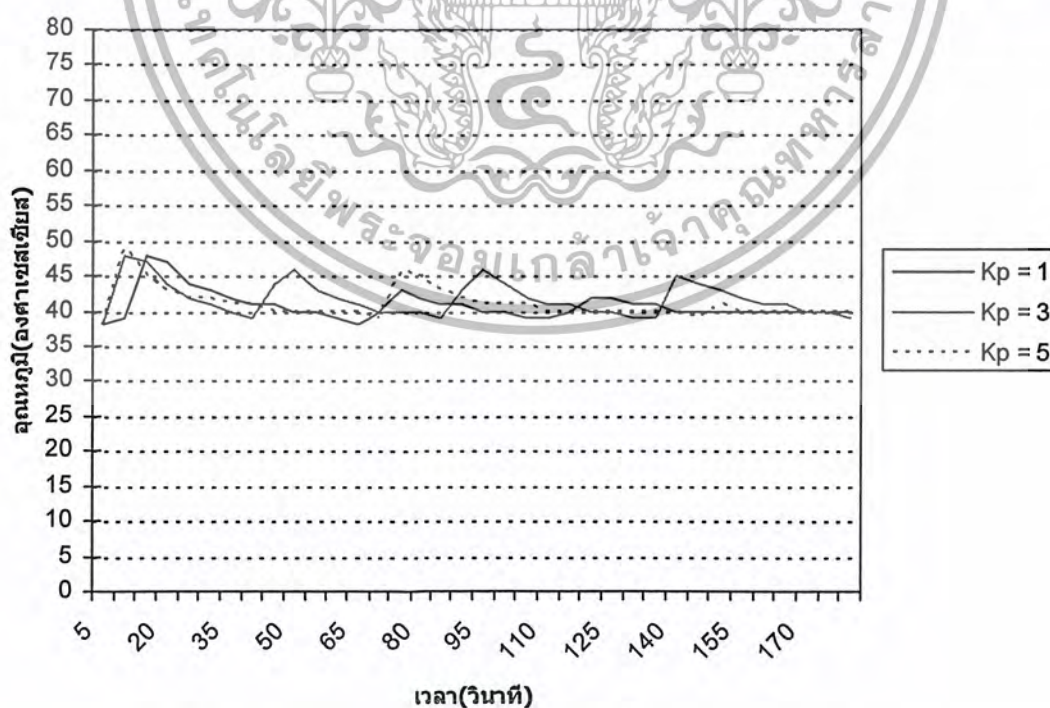
จากรูปสัญญาณมุมทริกที่เกิดขึ้นเนื่องจากป้อนไฟ DC เข้าที่ขา 11 ของไอซี TCA 785 ได้กราฟสัญญาณดังรูปที่ 4.1 – 4.5 จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าความถี่ของสัญญาณนั้นลดลงมีผลทำให้สัญญาณพัลส์ที่จะไปกระตุ้น ไทริสเตอร์ (ไทรแอก) มีมุมทริกที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ไทริสเตอร์ทำงานตามสัญญาณมุมทริกที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ได้แรงดันเอาท์พุทที่จะจ่ายให้กับขดลวดความร้อนเพิ่มขึ้น และรูปที่ 4.3 – 4.5 ความถี่ของสัญญาณจะน้อยลงตามแรงดันไฟ DC ที่ป้อนให้

4.2 การทดลองตั้งค่าอูณหภูมิและค่าพารามิเตอร์เกพี (Kp)

ในการทดลองครั้งนี้จะเป็นการทดลองตั้งค่าอูณหภูมิและค่าพารามิเตอร์ Kp โดยทดลองตั้งค่าอูณหภูมิและค่า Kp เพื่อดูผลตอบสนองของระบบซึ่งกระบวนการที่ต้องการควบคุม คือ อูณหภูมิของลมร้อนซึ่งพัดผ่านออกมาจากไคเป้ผมที่เป็นตัวให้ความร้อน ในการทดลองแต่ละครั้งต้องการทดลองเพื่อดูปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปของกราฟผลตอบสนอง

การทดลองกราฟผลตอบสนอง

การทดลองครั้งที่ 1 ตั้งค่าอูณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เปลี่ยนค่า Kp ทุกครั้ง และตั้งค่าอูณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยให้ Kp แต่ละครั้งเท่ากับ 1, 3 และ 5 โดยใช้เวลาในการบันทึกผลของอูณหภูมิทุกๆ 5 วินาที ที่แสดงออกทางส่วนของการแสดงผลและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

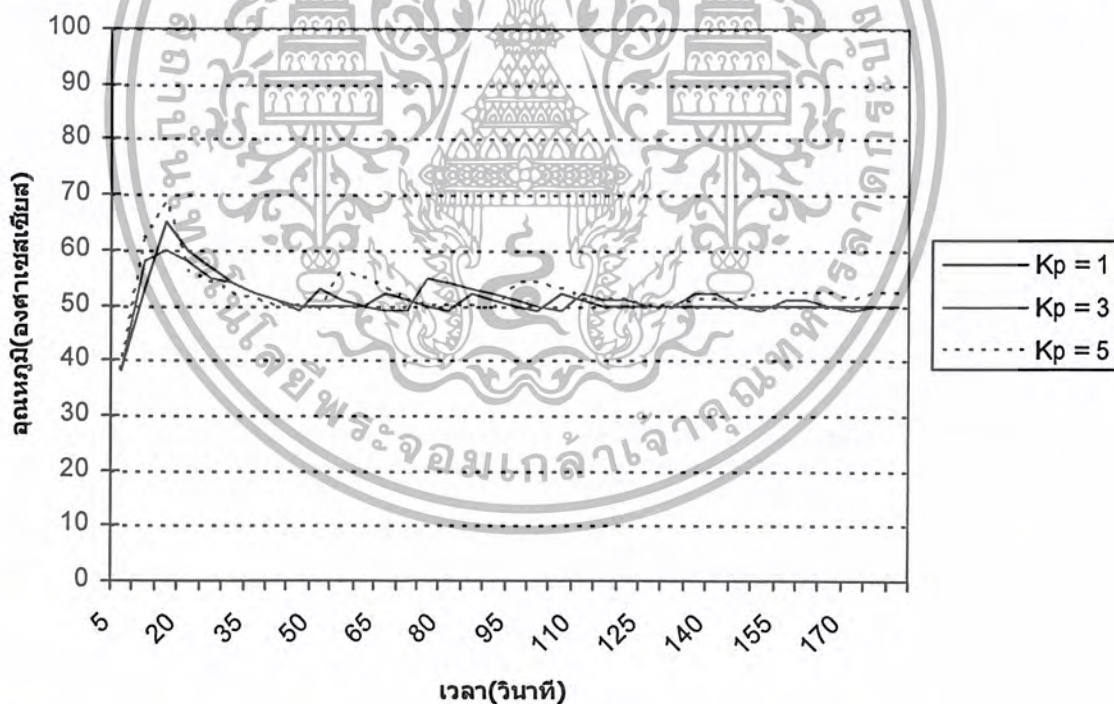
จากกราฟผลตอบสนองต่อเวลาที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 โดยเลือกค่า K_p ไล่ไปในการทดลอง 3 ครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของระบบเดียวกันใช้ตัวควบคุมแบบพีเหมือนกัน ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายเหมือนกัน กำหนดค่า K_p ต่างกัน (เราสามารถกำหนดค่า K_p ได้ตั้งแต่ 1 - 9)

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 1$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้มีช่วงเวลา Rise Time มาก ซึ่งหมายถึงระบบมีผลตอบสนองช้าแต่มีส่วนเกินน้อยและระบบสามารถเข้าสู่เป้าหมายได้

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 3$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยลง แต่เกิดโอเวอร์ชูตมาก (Over Shoot) และเกิดการแกว่งของอุณหภูมิรอบค่าเป้าหมาย

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 5$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยลง แต่เกิดโอเวอร์ชูตมาก (Over Shoot) แต่การแกว่งของอุณหภูมิน้อยลง

การทดลองครั้งที่ 2 ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส แล้วให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เปลี่ยนค่า K_p ทุกครั้ง และตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส โดยให้ K_p แต่ละครั้งเท่ากับ 1, 3 และ 5 โดยใช้เวลาในการบันทึกผลของอุณหภูมิทุกๆ 5 วินาที ที่แสดงออกทางส่วนของการแสดงผลและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 2

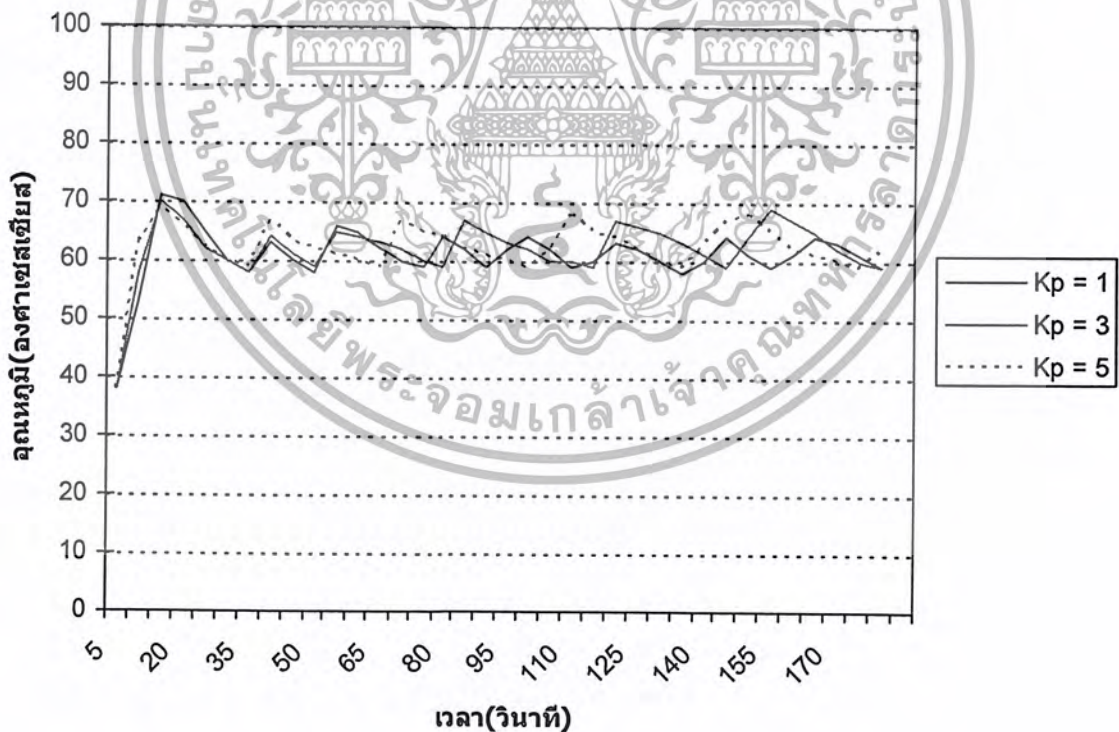
จากกราฟผลตอบสนองต่อเวลาที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 โดยเลือกค่า K_p ใ้ไปในการทดลอง 3 ครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของระบบเดียวกันใช้ตัวควบคุมแบบพีเหมือนกัน ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายเหมือนกัน กำหนดค่า K_p ต่างกัน

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 1$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้มีช่วงเวลา Rise Time มาก ซึ่งหมายถึงระบบมีผลตอบสนองช้าแต่มีส่วนเกินน้อยและระบบสามารถเข้าสู่เป้าหมายได้

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 3$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยและเกิดการแกว่งของอุณหภูมิรอบค่าเป้าหมายน้อยลง

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 5$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยลงแต่เกิด โอเวอร์ชูตมาก (Over Shoot) แต่การแกว่งของอุณหภูมิ

การทดลองครั้งที่ 3 ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เปลี่ยนค่า K_p ทุกครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส โดยให้ K_p แต่ละครั้งเท่ากับ 1, 3 และ 5 โดยใช้เวลาในการบันทึกผลของอุณหภูมิทุกๆ 5 วินาที ที่แสดงออกทางส่วนของการแสดงผลและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

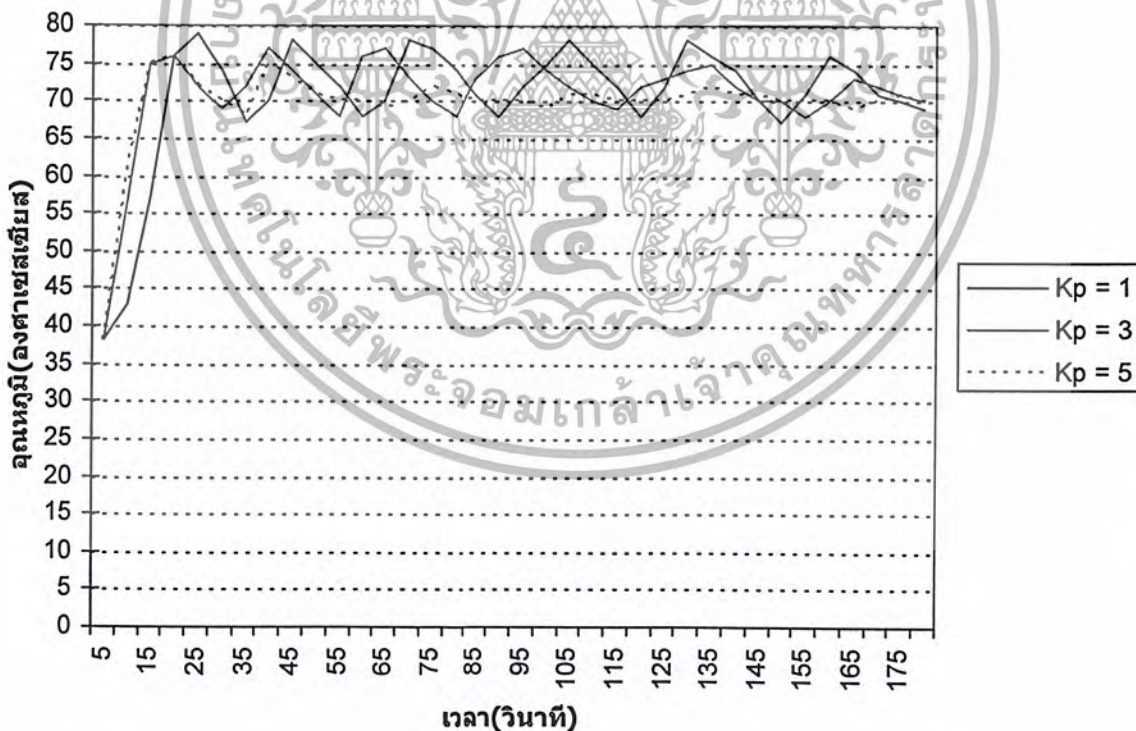
จากกราฟผลตอบสนองต่อเวลาที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 โดยเลือกค่า K_p ใ้ไปใน การทดลอง 3 ครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกราฟผล ตอบสนองของระบบเดียวกันใช้ตัวควบคุมแบบพีเหมือนกัน ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายเหมือนกัน กำหนดค่า K_p ต่างกัน

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 1$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้มีช่วงเวลา Rise Time น้อยกว่าการ ทดลองครั้งที่ 1 ระบบสามารถเข้าสู่เป้าหมายได้

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 3$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้เกิดโอเวอร์ชูตมาก (Over Shoot) และ เกิดการแกว่งของอุณหภูมิรอบค่าเป้าหมาย

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 5$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ แต่เกิดโอเวอร์ชูตมาก (Over Shoot) แต่การแกว่งของอุณหภูมิรอบค่าเป้าหมาย

การทดลองครั้งที่ 4 ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส แล้วให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เปลี่ยนค่า K_p ทุกครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส โดยให้ K_p แต่ละครั้งเท่ากับ 1, 3 และ 5 โดยใช้เวลาในการบันทึกผลของอุณหภูมิทุกๆ 5 วินาที ที่ แสดงออกทางส่วนของการแสดงผลและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 4

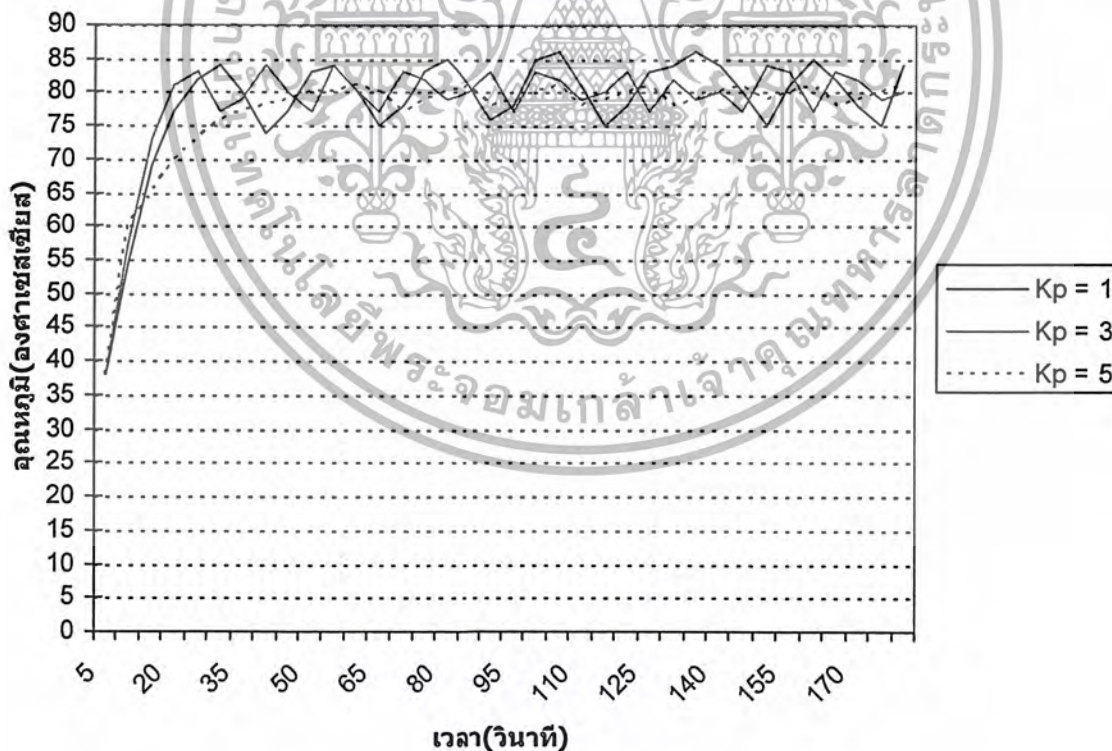
จากกราฟผลตอบสนองต่อเวลาที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 โดยเลือกค่า K_p ใ้ไปใน การทดลอง 3 ครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกราฟผล ตอบสนองของระบบเดียวกันใช้ตัวควบคุมแบบพีเหมือนกัน ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายเหมือนกัน กั หนดค่า K_p ต่างกัน

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 1$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้มีช่วงเวลา Rise Time มาก เกิดโอเวอร์ ชูตมาก (Over Shoot) ระบบไม่สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 3$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยลง แต่เกิดโอเวอร์ชูตมาก (Over Shoot) และเกิดการแกว่งของอุณหภูมิรอบค่าเป้าหมาย ระบบใช้เวลา มากในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 5$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยลง ระบบสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้

การทดลองครั้งที่ 5 ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เปลี่ยนค่า K_p ทุกครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส โดยให้ K_p แต่ละครั้งเท่ากับ 1, 3 และ 5 โดยใช้เวลาในการบันทึกผลของอุณหภูมิทุกๆ 5 วินาที ที่ แสดงออกทางส่วนของการแสดงผลและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลตอบสนองต่อเวลาจากการทดลองครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟผลตอบสนองต่อเวลาที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 โดยเลือกค่า K_p ไล่ไปในการทดลอง 3 ครั้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกราฟผลตอบสนองของระบบเดียวกันใช้ตัวควบคุมแบบพีเหมือนกัน ตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายเหมือนกัน กำหนดค่า K_p ต่างกัน

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 1$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้มีช่วงเวลา Rise Time มาก เกิดการแกว่งของสัญญาณมาก และระบบไม่สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 3$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time น้อยลง เกิดการแกว่งของอุณหภูมิลดลง

-เมื่อกำหนดให้ $K_p = 5$ จากกราฟผลตอบสนองที่ได้ไวขึ้นมีช่วงเวลา Rise Time มากขึ้น แต่ระบบสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้

4.3 สรุปผลจากการทดลอง

-ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ที่ช่วงอุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส คือ $K_p = 1$ ผลตอบสนองที่ได้ระบบสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้

-ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ที่ช่วงอุณหภูมิ 60 – 80 องศาเซลเซียส คือ $K_p = 5$ ผลตอบสนองที่ได้ระบบสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้

จากการเพิ่มค่า K_p ทำให้ผลตอบสนองของระบบดีขึ้น ทั้งในภาวะชั่วคราวและในภาวะอยู่ตัวนี้เป็นไปได้ว่า กระบวนการมีผลตอบสนองช้า อาจทำให้ผลตอบสนองเร็วขึ้นอย่างที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ ซึ่งไม่อาจเพิ่มค่า K_p ตามต้องการได้ การใช้อัตราขยายมากเกินไปทำให้เกิดการอิ่มตัว (Saturation) ที่ค่าสูงสุดของระบบทำงานในช่วงไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้ผลตอบสนองไม่เป็นไปตามทฤษฎีเชิงเส้นที่คำนวณไว้ ส่วนค่าพารามิเตอร์ K_p ที่ใช้ในการทดลองมีค่าที่เหมาะสมเป็นค่าที่สุ่มมาเพื่อการทดลอง ถ้าทำการทดลองหลายๆ ครั้งปรับค่าต่างๆ อย่างละเอียดเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม อาจใช้เวลาทดลองนานมาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองตั้งค่าอุณหภูมิจากค่าต่ำไปค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ระบบจะเข้าไปสู่เป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว แต่ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิมีค่าสูงแล้วตั้งให้ต่ำลงระบบจะเข้าสู่เป้าหมายได้ช้ากว่า เนื่องจากขดลวดความร้อนของระบบตอบสนองได้ช้ามาก และยังขึ้นอยู่กับค่าเกณฑ์ที่เราให้ระบบแต่ละครั้ง เพราะต้องทดลองตั้งจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสม การเพิ่ม KP จะทำให้ผลตอบสนองต่อเวลาเร็วขึ้น แต่ถ้าเพิ่ม Kp มากเกินไปจะทำให้เกิดโอเวอร์ชูตและส่วนเกิน ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ทดลองเหล่านี้ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดเสมอไป อาจจะมีค่าที่ทำให้ได้ผลตอบสนองที่ดีกว่าค่าที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง ถ้าทำการทดลองหลายๆ ปรับค่าอย่างละเอียดซึ่งอาจใช้เวลาในการทดลองนานมาก

5.2 วิจารณ์การทดลอง

การทำโครงการนี้ต้องทำการศึกษาความรู้พื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรม, การแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก, การตรวจวัดอุณหภูมิ, การควบคุมขดลวดความร้อน, ทฤษฎีของการควบคุมแบบพี ซึ่งสามารถประยุกต์กับระบบควบคุมแบบอื่นๆ และสามารถนำไปประยุกต์ในสาขาที่เกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

ได้นำความรู้ที่เรียนมาใช้ เพราะได้นำทฤษฎีทางระบบควบคุมมาใช้โดยตรงทั้งความรู้เกี่ยวกับวงจรในภาคต่างๆ ได้ฝึกการแก้ปัญหาที่เกิดจากการทำงานและปัญหาที่เกิดจากปัจจัยภายนอกทำให้ได้ฝึกการวางแผนอย่างแนวระบบ และมีวิธีคิดแก้ปัญหาดีขึ้น

5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงการ

เนื่องจากขดลวดความร้อนเมื่อร้อนจัดต้องใช้เวลาในการคืนสภาพนาน และไอซีที่ใช้วัดอุณหภูมิเมื่อนำมาวัดลมร้อน มักจะเกิดการสะสมความร้อนทำให้ได้ค่าคลาดเคลื่อนและใช้เวลาในการคืนสภาพค่อนข้างช้าเช่นเดียวกัน และเมื่อทำการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิสูงๆ เกิดความร้อนสะสมมากทำให้ขดลวดความร้อนตัดการทำงาน เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวขดลวดความร้อน

5.5 แนวทางการพัฒนาและแก้ไข

ในการทำโครงการนี้ยังขาดความสมบูรณ์และมีข้อบกพร่องอยู่พอสมควร เราสามารถเพิ่มตัวควบคุมจากพีไปเป็น พีไอ และพีไอดี ได้ในส่วนของเขียนโปรแกรมและออกแบบส่วนแสดงผล ส่วนของการเซตค่าให้ทำทางคอมพิวเตอร์ได้อีกทั้งเราสามารถนำไปควบคุมระบบอื่นๆได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

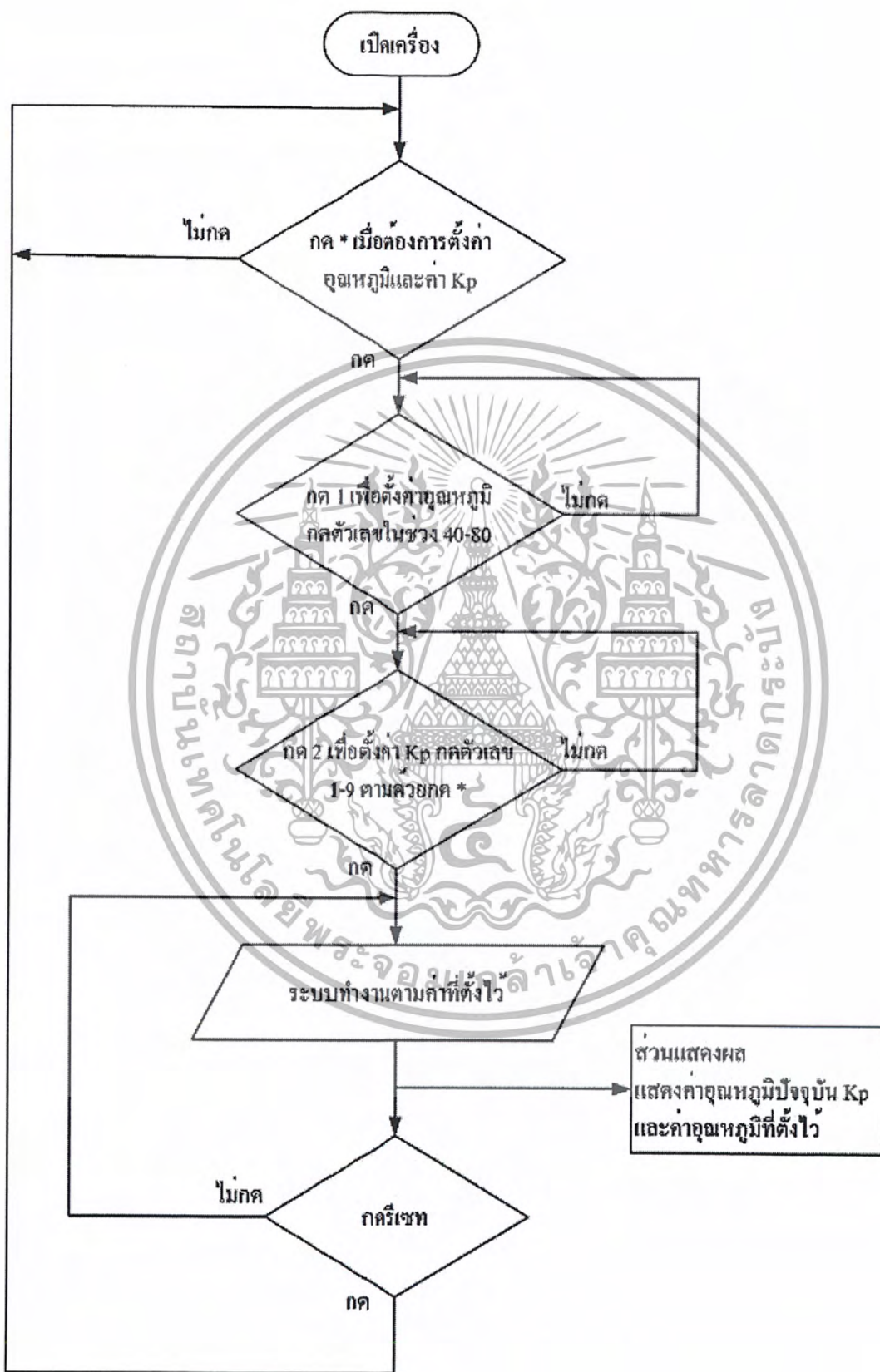


ภาคผนวก

ทบวงเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

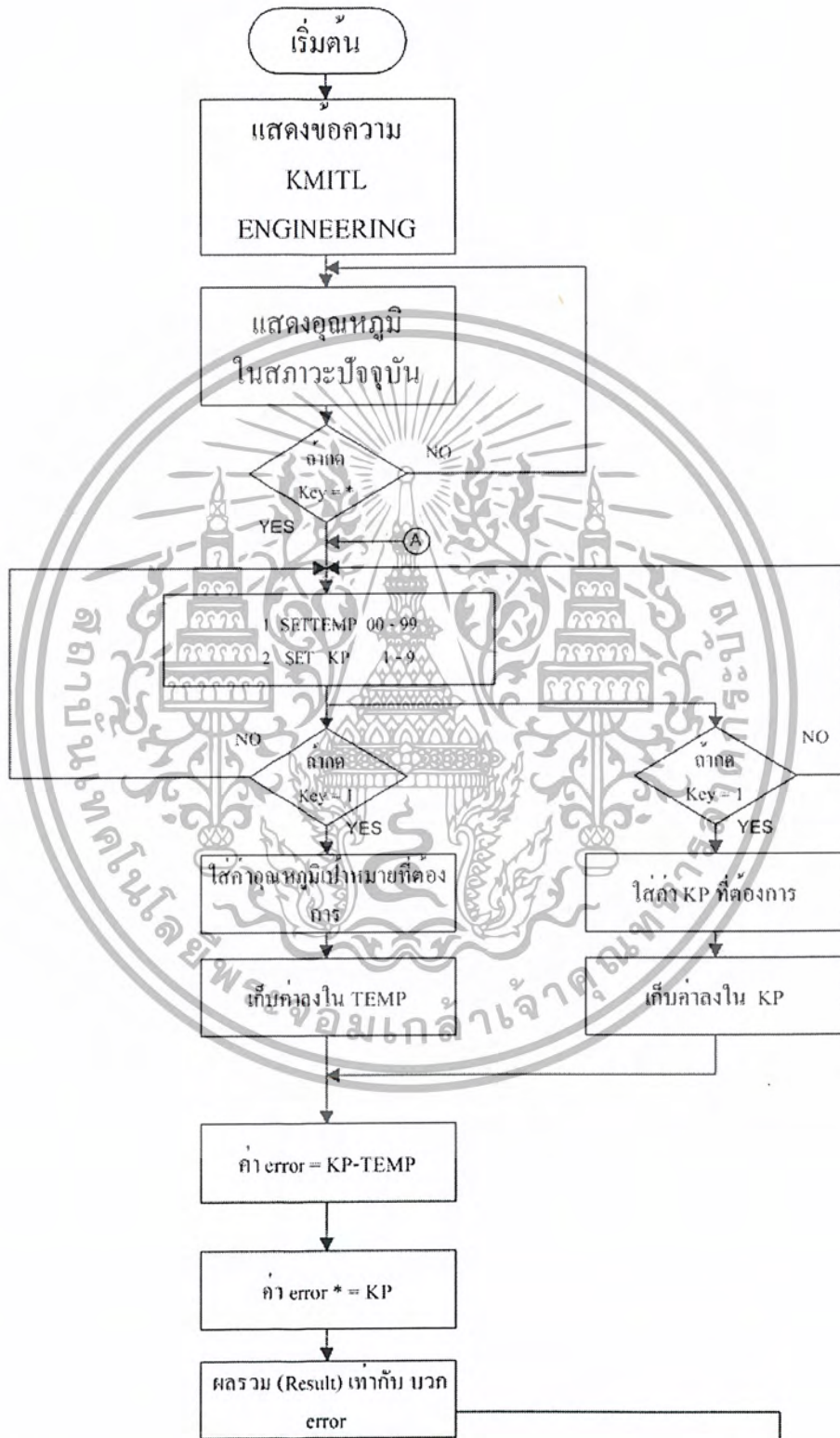
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟล์ชาร์ตการทำงานของเครื่องมือ



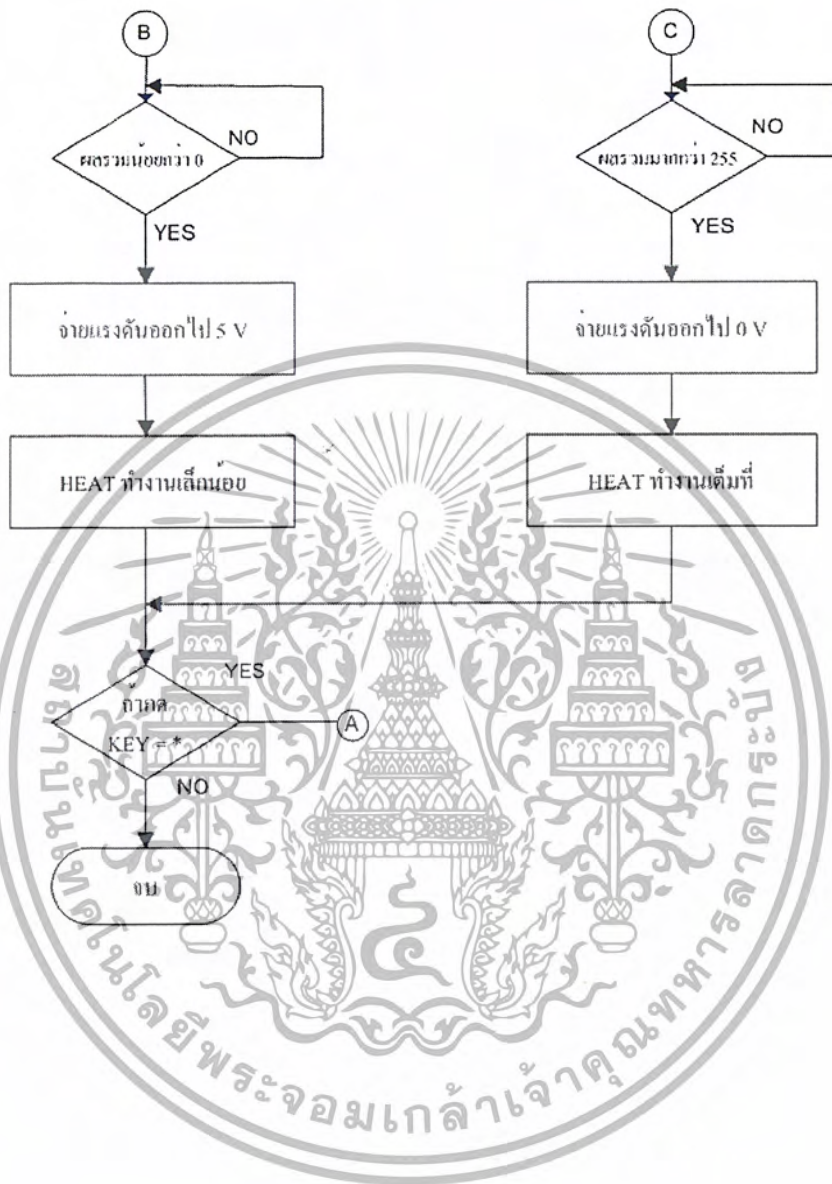
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟล์ชาร์ตโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <at89x52.h>
#include <stdio.h>
#include <absacc.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>
#include <intrins.h>
#include <string.h>

#define BUFSIZE 16 /* ASCII buffer size */
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#define LF 10 /* line feed chr */
#define CR 13 /* return chr */

#define PCFADD 0x90 /* A/D PCF8591 */

#define k_cancel 10
#define k_ent 11

sbit SCL = P2^1; /* I2c SCL bit */
sbit SDA = P2^0; /* I2c SDA bit */

sbit lcdrs = P3^7;
sbit lcdrw = P3^5;
sbit lcden = P3^6;

sbit TMDAT = P3^0;
unsigned char TEMBUF[2];

char readKbd (void);

/* Gobal variable */
char data timeout, TempTime;
char data a, b, c, d, k_a, k_b, TimeMin, TimeHour;
char data ASCBUF[BUFSIZE];
unsigned char dat;
float data setp, tmp, kp, error, result;
char code scankey[]={0xbf, 0xdf, 0xef};
char code keycode[]={1, 4, 7, 10, 2, 5, 8, 0, 3, 6, 9, 11};
char code tb11[]={0x01, 0x02, 0x04, 0x08, 0x10, 0x20, 0x40, 0x80};
bit data TimeFlag, TempFlag;

/*
Bit delay
*/

void Bitdl (void)
{
_nop_(); /* Delay time */
_nop_();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

/*
Clear(L) SCL line
*/

void Clrscl (void)
{
    SCL = 0;    /* clear line */
    Bitdl();
}

/*
Set(H) SCL line
*/

void Setscl (void)
{
    SCL = 1;    /* set line */
    while(!SCL);
    Bitdl();
}

/*
Pulse gen for SCL line
*/

void Plscl (void)
{
    Setscl();
    Clrscl();
}

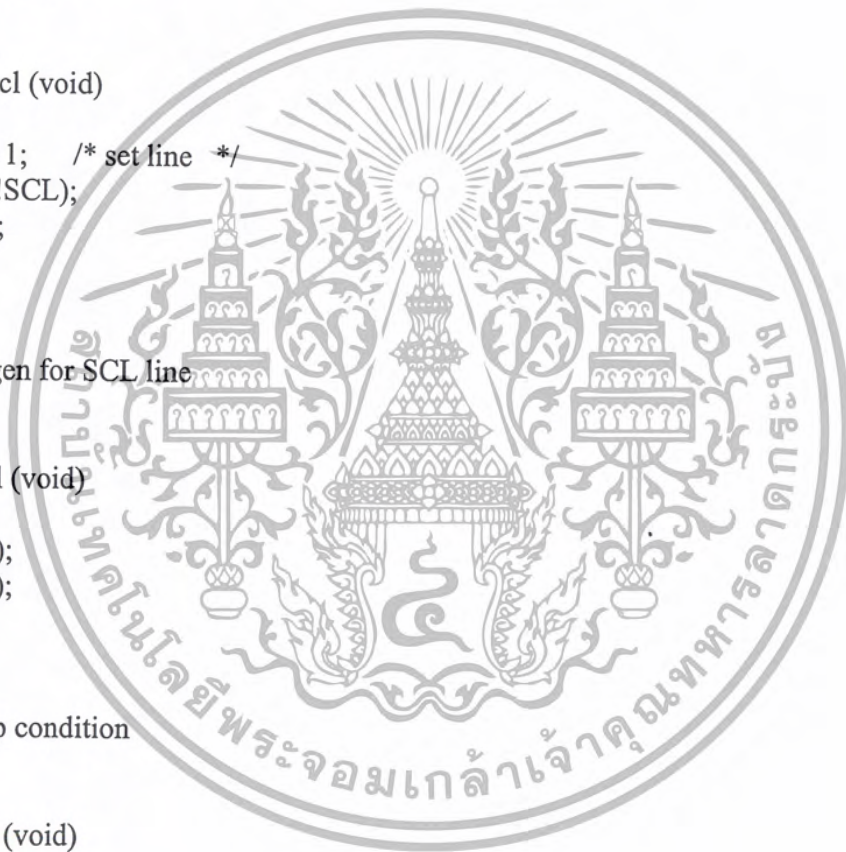
/*
Set stop condition
*/

void Stop (void)
{
    SDA = 0;Setscl();
    SDA = 1;Bitdl();
}

/*
Set start condition
*/

void Start (void)
{
    SDA = 1;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Setscl();
SDA = 0;
Bitdl();
Clrscl();
}

/*
Receive data(byte) from I2C bus
*/

char Rxbyte (void)
{
    unsigned char tmp, dat;

    dat = 0;
    for(tmp=1; tmp<=8; tmp++) /* Send 1 byte to EEPROM */
    {
        dat <<= 1;Setscl();
        dat |= SDA;Clrscl();
    }
    return(dat);
}

/*
Transmit data(byte) to I2C bus
*/

bit Txbyte (unsigned com)
{
    bit erflag;

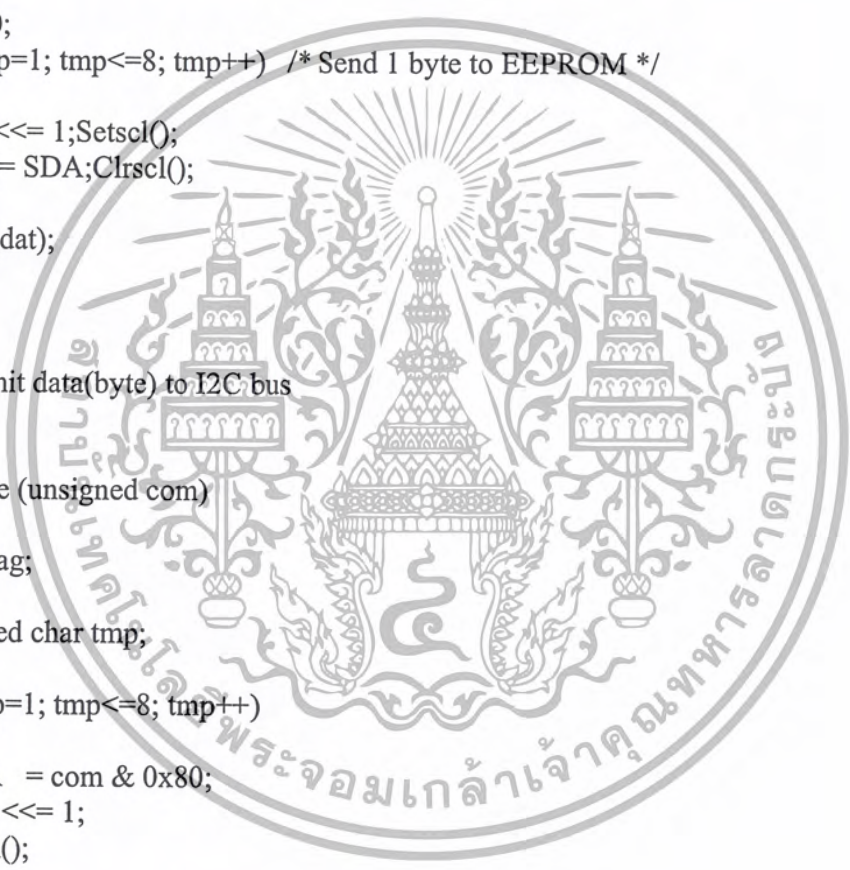
    unsigned char tmp;

    for(tmp=1; tmp<=8; tmp++)
    {
        SDA = com & 0x80;
        com <<= 1;
        Plscl();
    }

    SDA = 1;
    Setscl();
    if(SDA) erflag = 1;
    else erflag = 0;
    Clrscl();
    return(erflag);
}

/* Get data from any register */
/* in --> address(addr) */

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* in -->> register(reg) */
/* out <<-- data(*dat) */
/* err <<-- 0 = no error,1 = error */

bit Getreg (char addr,char reg,char *dat)
{
    EA=0;
    if((SCL==0) || (SDA==0))
    {
        /* check line first */
        EA=1;
        return(1);
    }

    Start();
    if(Txbyte(addr))
    {
        /* Xmit register address */
        Stop();
        EA=1;
        return(1);
    }

    if(Txbyte(reg))
    {
        /* Xmit register command */
        Stop();
        EA=1;
        return(1);
    }
    Start();
    /* Set start condition */

    if(Txbyte(addr|0x01))
    {
        /* Xmit register address + receive command */
        Stop();
        EA=1;
        return(1);
    }

    *dat = Rxbyte();
    /* Recv data byte */
    SDA = 1;
    Plscl();
    Stop();
    EA=1;
    return(0);
    /* return data to caller */
}

/* Put data to any register */
/* in -->> address(addr) */
/* in -->> register(reg) */
/* in -->> data(dat) */
/* err <<-- 0 = no error,1 = error */

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bit Putreg(char addr,char reg,char dat)
{
    EA=0;
    if((SCL==0) || (SDA==0))
    {
        /* Ckeck line first */
        EA=1;
        return(1);      /* line is busy return 1 */
    }

    Start();          /* Set Start condition */
    if(Txbyte(addr))
    {
        /* Xmit register address */
        Stop();
        EA=1;
        return(1);
    }

    if(Txbyte(reg))
    {
        /* Xmit register command */
        Stop();
        EA=1;
        return(1);
    }

    Txbyte(dat);     /* Xmit data */
    Stop();          /* Set stop condition */
    EA=1;
    return(0);
}

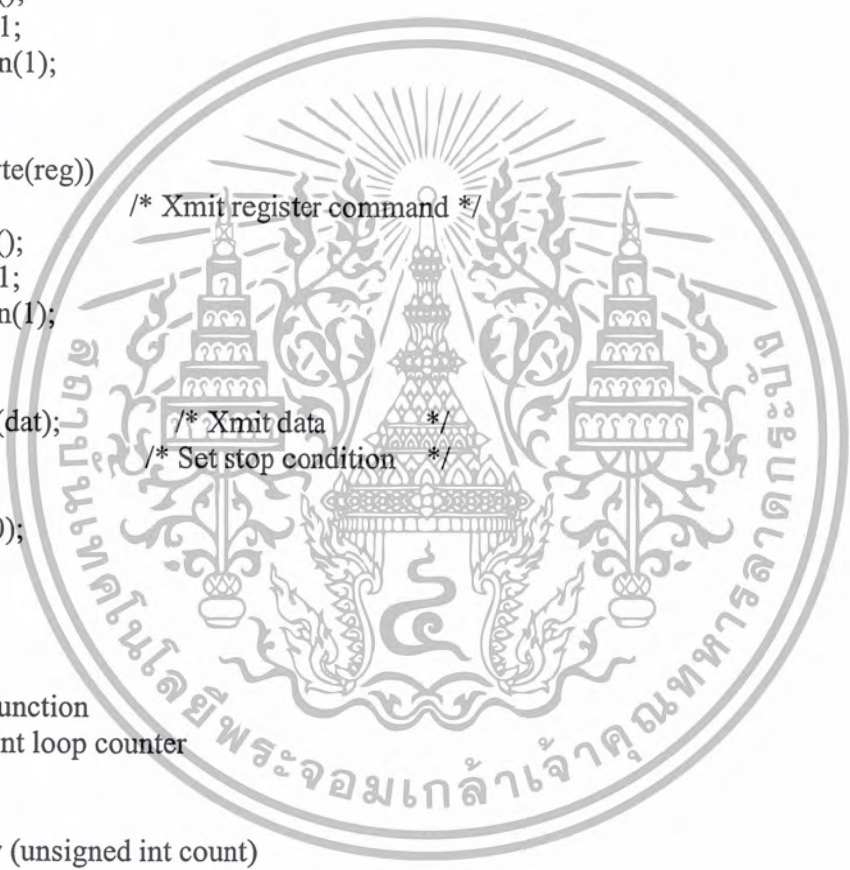
/*
Delay function
input : int loop counter
*/

void delay (unsigned int count)

{
    for (; count; count--) /* Loop Delay */
    {
        if (RI==1) /* Check Serial port recieve bit */
            break;
    }
}

/*
Check Keyboard hit
*/
bit kbhit (void)

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    P1=0x0f;
    if ((P1&0x0f)!=0x0f) /* Key hit return true */
        return (TRUE);
    else
        return (FALSE); /* Non return false */
}
/*
Read keyboard
*/

char readKbd (void)
{
    while (1)
    {
        for (k_a=0; k_a<3; k_a++) /* Loop scan 4 bit */
        {
            P1=scankey[k_a]; /* Check key press */

            k_b=P1&0x0f;
            if (k_b==0x0f)
                continue;
            else
            {
                delay (3000); /* Key debouce */
                k_b=P1&0x0f;
                if (k_b==0x0f)
                    continue;

                if (k_b==0x0e) /* bit 1 */
                    k_b=0;
                if (k_b==0x0d) /* bit 2 */
                    k_b=1;
                if (k_b==0x0b) /* bit 3 */
                    k_b=2;
                if (k_b==0x07) /* bit 4 */
                    k_b=3;

                k_a*=4;
                k_b+=k_a;

                k_b=keycode[k_b]; /* Key encode */

                while ((P1&0x0f)!=0x0f); /* Loop while depress */
                return (k_b); /* return key */
            }
        }
    }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/* **** */
/* Write Instruction */
/* **** */
```

```
void lcdwi (char cmd)
```

```
{
  P0=cmd;
  lcdrs=0;
  lcdrw=0;
  lcden=0;
  lcden=1;
  _nop_ ();
  _nop_ ();
  lcden=0;
  delay (128);
}
```

```
/* **** */
/* Write Data */
/* **** */
```

```
void lcdwd (char dta)
```

```
{
  P0=dta;
  lcdrs=1;
  lcdrw=0;
  lcden=0;
  _nop_ ();
  _nop_ ();
  lcden=1;
  lcden=0;
  delay (128);
}
```

```
/* **** */
/* Initial LCD */
/* **** */
```

```
void initlcd (void)
```

```
{
  lcdwi (0x38);
  lcdwi (0x0c);
  lcdwi (1);
  lcdwi (0x80);
}
```



```

/*****/
/* Outtext to LCD */
/*****/
void text (char *msg)
{
    while (*msg!=0L)
    {
        lcdwd (*msg);
        msg++;
    }
}
/***** TEMPERATER *****/

void dmsec (unsigned int count) { // mSec Delay 11.0592 Mhz
    unsigned int i; // Keil v5.2
    while (count) {
        i = 115; while (i>0) i--;
        count--;
    }
}

void tmreset (void) { // Reset TX
    unsigned int i;
    TMDAT = 0;
    i = 103; while (i>0) i--; // Approx 900 uS
    TMDAT = 1;
    i = 4; while (i>0) i--;
}

void tmpre (void) { // Wait for Presence RX
    unsigned int i;
    while (TMDAT);
    while (~TMDAT);
    i = 4; while (i>0) i--;
}

bit tmrbit (void) { // read one bit
    unsigned int i;
    bit dat;
    TMDAT = 0; i++;
    TMDAT = 1; i++; i++;
    dat = TMDAT;
    i = 8; while (i>0) i--; // Approx 65 uS
    return (dat);
}

unsigned char tmrbyte (void) { // read one byte
    unsigned char i,j,dat;
    dat = 0;
    for (i=1;i<=8;i++) {

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

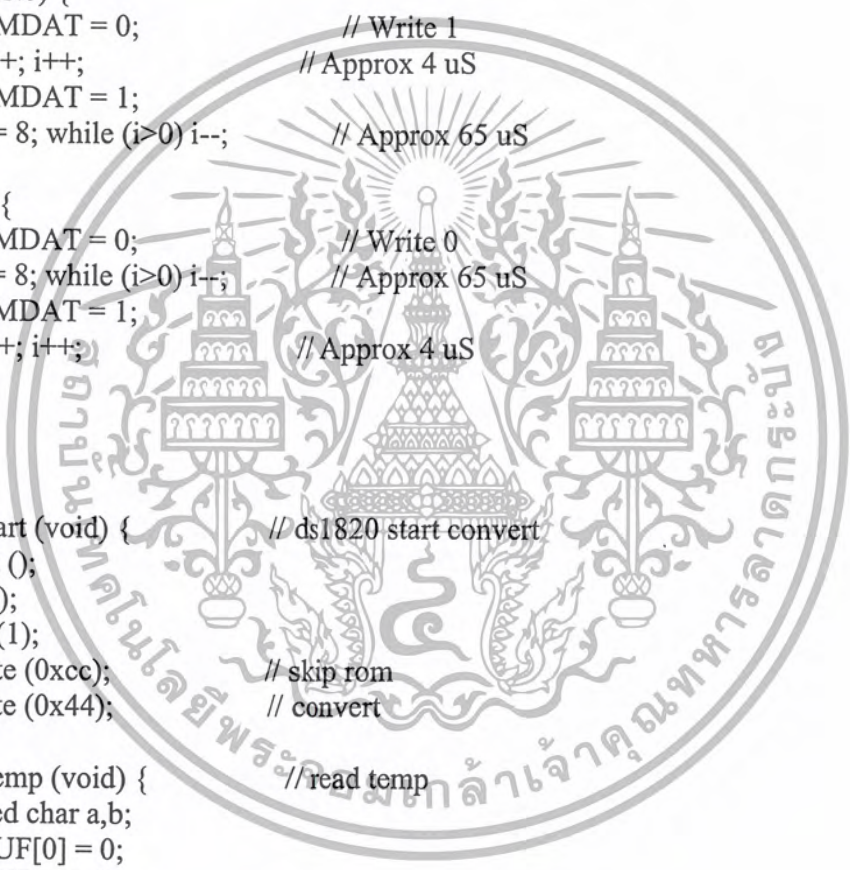
    j = tmrbit ();
    dat = (j << 7) | (dat >> 1);
}
return (dat);
}

void tmwbyte (unsigned char dat) {           // write one byte
    unsigned int i;
    unsigned char j;
    bit testb;
    for (j=1;j<=8;j++) {
        testb = dat & 0x01;
        dat = dat >> 1;
        if (testb) {
            TMDAT = 0;           // Write 1
            i++; i++;           // Approx 4 uS
            TMDAT = 1;
            i = 8; while (i>0) i--; // Approx 65 uS
        }
        else {
            TMDAT = 0;           // Write 0
            i = 8; while (i>0) i--; // Approx 65 uS
            TMDAT = 1;
            i++; i++;           // Approx 4 uS
        }
    }
}

void tmstart (void) { // ds1820 start convert
    tmreset ();
    tmpre ();
    dmsec (1);
    tmwbyte (0xcc); // skip rom
    tmwbyte (0x44); // convert
}

void tmrtemp (void) { // read temp
    unsigned char a,b;
    TEMBUF[0] = 0;
    TEMBUF[1] = 0;
    tmreset ();
    tmpre ();
    dmsec (1);
    tmwbyte (0xcc); // skip rom
    tmwbyte (0xbe); // convert
    a = tmrbyte (); // LSB
    b = tmrbyte (); // MSB
    if (b==1) return; // don't care negative temp
    TEMBUF[1] = a & 0x1; // 0=x.0 1=x.5
    a = a >> 1;
    TEMBUF[0] = a + 1; // adjust for thailand
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
/*
  SetTEMP function
*/

void SetTEMP (void)
{
  initlcd ();
  text ("PUSH TEMP = __");
  lcdwi (0xc0);
  lcdwi (0x8c);

  b=0;
  while (1)
  {
    a=readKbd ();
    if (a==k_cancel)
      break;

    if ((a>=0) && (a<=9))
    {
      a+=0x30;
      ASCBUF[b]=a;
      b++;
      ASCBUF[b]=0;
      lcdwd (a);

      if (b==2)
      {
        setp=atof (ASCBUF);
        return;
      }
    }
  }
}

```

```

/*
  SetKP function
*/

```

```

void SetKP (void)

```

```

{
  initlcd ();
  text (" PUSH KP = _");
  lcdwi (0xc0);
  lcdwi (0x8c);

```

```

  b=0;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while (1)
{
    a=readKbd ();
    if (a==k_cancel)
        break;

    if ((a>=0) && (a<=9))
    {
        a+=0x30;
        ASCBUF[b]=a;
        b++;
        ASCBUF[b]=0;
        lcdwd (a);

        if (b==1)
        {
            kp=atof (ASCBUF);
            return;
        }
    }
}
/*
CSetTEMP&KP function
*/
void CSet (void)
{
    while (1)
    {
        initlcd ();
        text ("1.SETTEMP00'-99'");
        lcdwi (0xc0);
        text ("2.SETKP 1-9");

        a=readKbd ();
        switch (a)
        {
            case 1:
                SetTEMP ();
                break;

            case 2:
                SetKP ();
                break;

            case k_cancel:
                initlcd ();

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        return;
    }
}
}

/*
main program
*/

void main (void)
{
    lcdrs=lcdrw=lcden=0;    /* LCD set */
    SCL  = 0;              /* Excite I2C line */
    SDA  = 0;
    delay (256);
    SCL  = 1;
    SDA  = 1;
    delay (256);

    initlcd ();
    text (" KMITL. ");
    lcdwi (0xc0);
    text (" ENGINEERING.");
    delay (60000);
    delay (60000);
    while(1)
    {
        P1=0;
        lcdwi (0x80);
        tmp=(float)TEMBUF[0];
        sprintf (ASCBUF, "%0.1f--%0.1f", tmp, kp);
        text (ASCBUF);
        sprintf (ASCBUF, "--%0.1f", setp);
        text (ASCBUF);
        lcdwi(0xc0);
        error=setp-tmp;
        error*=kp;
        result+=error;
        if (result<0)
            result=0;
        if (result>255)
            result=255;

        dat=255-(unsigned char)result;
        Putreg (PCFADD, 0x40, dat); /* Set speed motor */

        lcdwi (0xc0);
        sprintf (ASCBUF, "Result=%03d", (int)dat);
        text (ASCBUF);
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (kbhit()==TRUE) /* If key press */
{
    initlcd();
    a=readKbd (); /* Get keyboard */
    if (a==10)
        CSet ();
}

if (!TempTime)
{
    TempFlag^=1;
    if (TempFlag)
        tmstart (); /* ds1820 start convert
    else
    {
        tmrtemp (); /* read temperature
    }
}
}
}

```

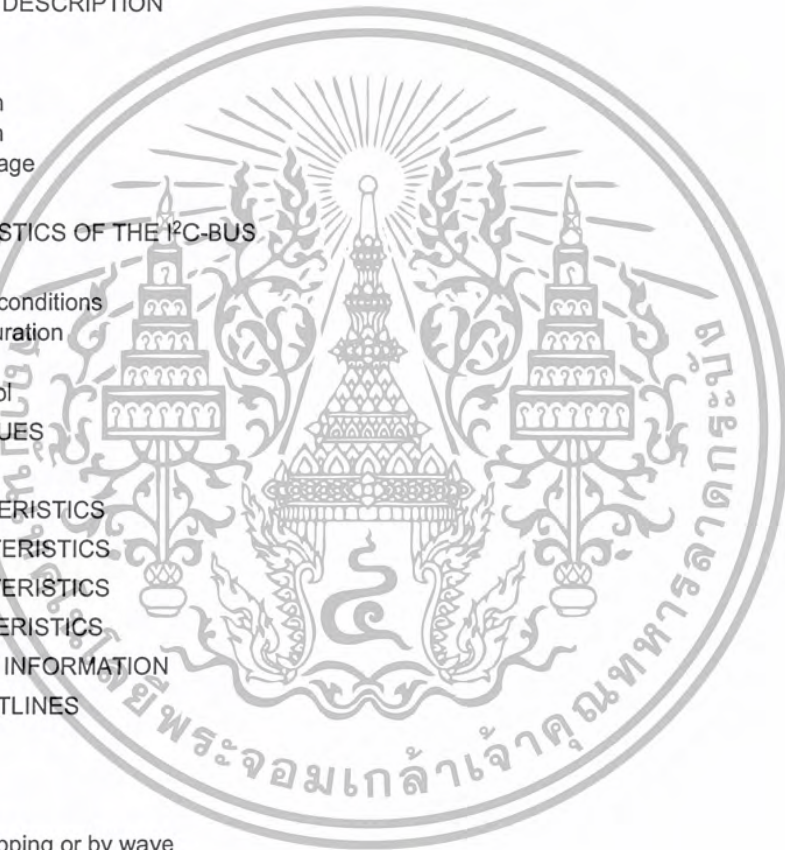


8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

CONTENTS

1	FEATURES
2	APPLICATIONS
3	GENERAL DESCRIPTION
4	ORDERING INFORMATION
5	BLOCK DIAGRAM
6	PINNING
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1	Addressing
7.2	Control byte
7.3	D/A conversion
7.4	A/D conversion
7.5	Reference voltage
7.6	Oscillator
8	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
8.1	Bit transfer
8.2	Start and stop conditions
8.3	System configuration
8.4	Acknowledge
8.5	I ² C-bus protocol
9	LIMITING VALUES
10	HANDLING
11	DC CHARACTERISTICS
12	D/A CHARACTERISTICS
13	A/D CHARACTERISTICS
14	AC CHARACTERISTICS
15	APPLICATION INFORMATION
16	PACKAGE OUTLINES
17	SOLDERING
17.1	Introduction
17.2	DIP
17.2.1	Soldering by dipping or by wave
17.2.2	Repairing soldered joints
17.3	SO
17.3.1	Reflow soldering
17.3.2	Wave soldering
17.3.3	Repairing soldered joints
18	DEFINITIONS
19	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
20	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCA8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
PCA8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1



3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

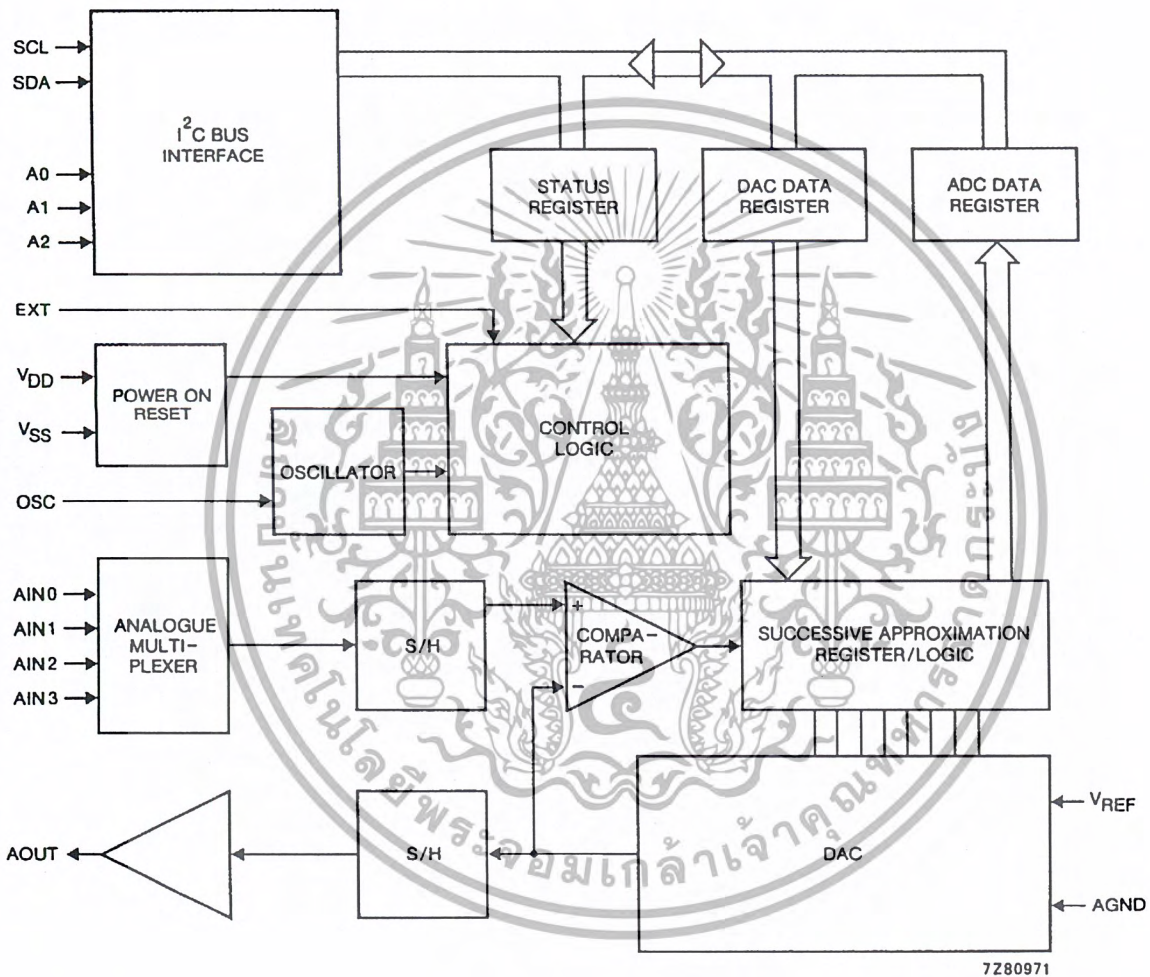


Fig.1 Block diagram.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V _{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I ² C-bus data input/output
SCL	10	I ² C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V _{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V _{DD}	16	positive supply voltage

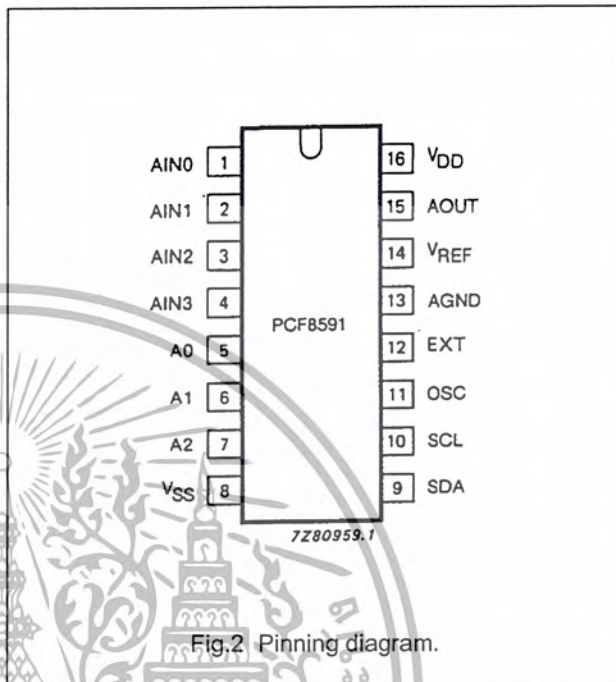


Fig.2 Pinning diagram.

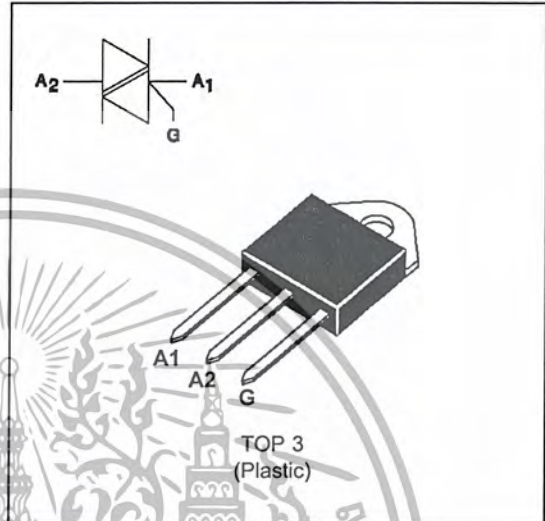
STANDARD TRIACS

FEATURES

- HIGH SURGE CURRENT CAPABILITY
- COMMUTATION : $(dV/dt)_c > 10V/\mu s$
- BTA Family :
INSULATING VOLTAGE = 2500V(RMS)
(UL RECOGNIZED : E81734)

DESCRIPTION

The BTA41 A/B / BTB41 B triac family are high performance glass passivated PNP devices. These parts are suitable for general purpose applications where high surge current capability is required. Application such as phase control and static switching on inductive or resistive load.



ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter	Value	Unit	
IT(RMS)	RMS on-state current (360° conduction angle)	BTA Tc = 75 °C	40	A
		BTB Tc = 85 °C	45	
ITSM	Non repetitive surge peak on-state current (Tj initial = 25°C)	tp = 8.3 ms	315	A
		tp = 10 ms	300	
I2t	I2t value	tp = 10 ms	450	A2s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current Gate supply : IG = 500mA / diG/dt = 1A/μs	Repetitive F = 50 Hz	10	A/μs
		Non Repetitive	50	
Tstg Tj	Storage and operating junction temperature range		- 40 to + 150	°C
			- 40 to + 125	°C
TI	Maximum lead temperature for soldering during 10 s at 4.5 mm from case		260	°C

Symbol	Parameter	BTA41...A/B / BTB41... B				Unit
		400	600	700	800	
VDRM VRRM	Repetitive peak off-state voltage Tj = 125 °C	400	600	700	800	V

BTA41 A/B / BTB41 B

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit
Rth (j-a)	Junction to ambient		50	°C/W
Rth (j-c) DC	Junction to case for DC	BTA	1.2	°C/W
		BTB	0.8	
Rth (j-c) AC	Junction to case for 360° conduction angle (F = 50 Hz)	BTA	0.9	°C/W
		BTB	0.6	

GATE CHARACTERISTICS (maximum values)

$P_G (AV) = 1W$ $P_{GM} = 40W$ ($t_p = 20 \mu s$) $I_{GM} = 8A$ ($t_p = 20 \mu s$) $V_{GM} = 16V$ ($t_p = 20 \mu s$).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions	Quadrant	Suffix		Unit		
			A	B			
I _{GT}	V _D =12V (DC) R _L =33Ω	T _j =25°C	I-I-III	MAX	100	50	mA
			IV	MAX	150	100	
V _{GT}	V _D =12V (DC) R _L =33Ω	T _j =25°C	I-II-III-IV	MAX	1.5		V
V _{GD}	V _D =V _{DRM} R _L =3.3kΩ	T _j =125°C	I-II-III-IV	MIN	0.2		V
t _{gt}	V _D =V _{DRM} I _G = 500mA dI _G /dt = 3A/μs	T _j =25°C	I-II-III-IV	TYP	2.5		μs
I _L	I _G =1.2 I _{GT}	T _j =25°C	I-III-IV	TYP	70	60	mA
					200	180	
I _H *	I _T = 500mA gate open	T _j =25°C		MAX	100	80	mA
V _{TM} *	I _{TM} = 60A t _p = 380μs	T _j =25°C		MAX	1.8		V
I _{DRM} I _{RRM}	V _{DRM} Rated V _{RRM} Rated	T _j =25°C		MAX	0.01		mA
		T _j =125°C		MAX	6		
dV/dt *	Linear slope up to V _D =67%V _{DRM} gate open	T _j =125°C		MIN	250	250	V/μs
(dV/dt) _c *	(dI/dt) _c = 18A/ms BTA (dI/dt) _c = 20A/ms BTB	T _j =125°C		MIN	10		V/μs

* For either polarity of electrode A2 voltage with reference to electrode A1.

ORDERING INFORMATION

Package	$I_T(RMS)$	V_{DRM} / V_{RRM}	Sensitivity Specification	
	A	V	A	B
BTA (Insulated)	41	400	X	X
		600	X	X
		700	X	X
		800	X	X
BTB (Uninsulated)	45	400		X
		600		X
		700		X
		800		X

Fig.1 : Maximum RMS power dissipation versus RMS on-state current (F=50Hz).
(Curves are cut off by (di/dt)c limitation) (BTA)

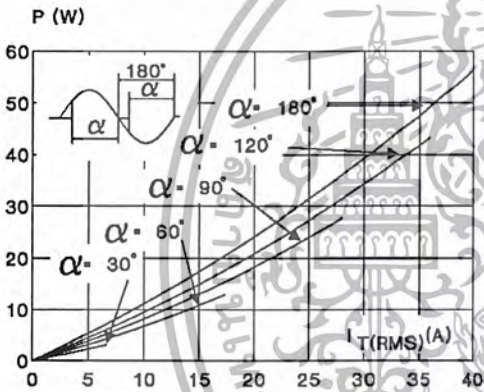


Fig.3 : Maximum RMS power dissipation versus RMS on-state current (F=50Hz).
(Curves are cut off by (di/dt)c limitation) (BTB)

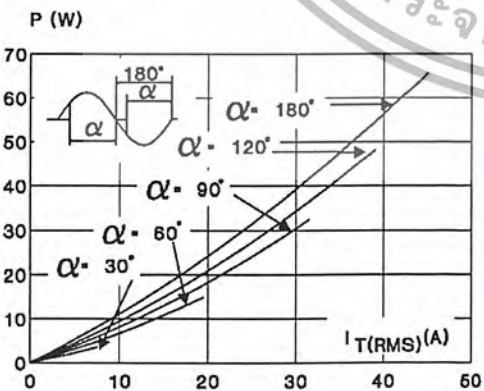


Fig.2 : Correlation between maximum RMS power dissipation and maximum allowable temperatures (T_{amb} and T_{case}) for different thermal resistances heatsink + contact (BTA).

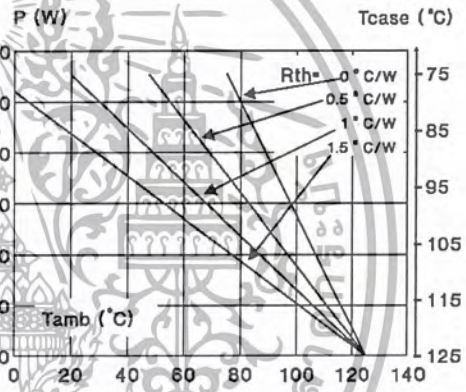
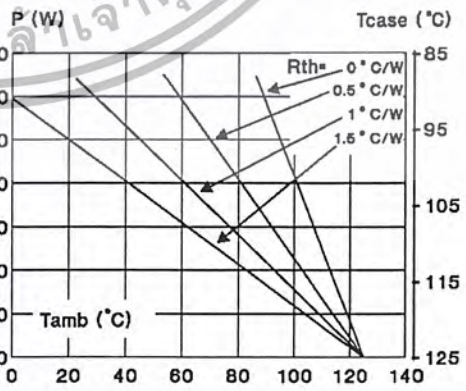


Fig.4 : Correlation between maximum RMS power dissipation and maximum allowable temperatures (T_{amb} and T_{case}) for different thermal resistances heatsink + contact (BTB).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA41 A/B / BTB41 B

Fig.5 : RMS on-state current versus case temperature. (BTA)

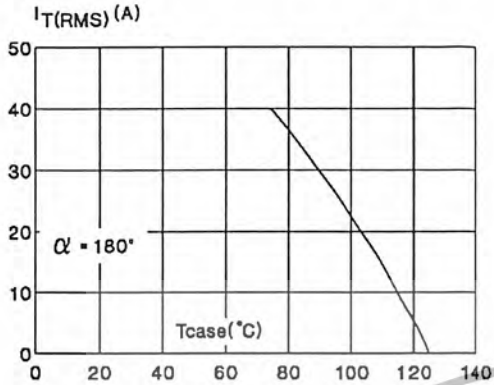


Fig.6 : RMS on-state current versus case temperature. (BTB)

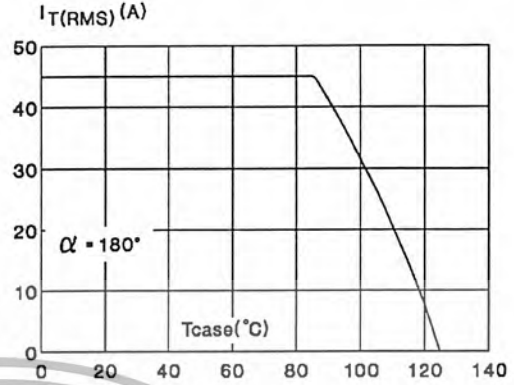


Fig.7 : Relative variation of thermal transient impedance pulse duration.

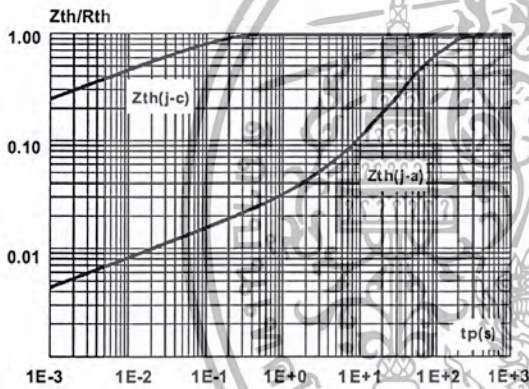


Fig.8 : Relative variation of gate trigger current and holding current versus junction temperature.

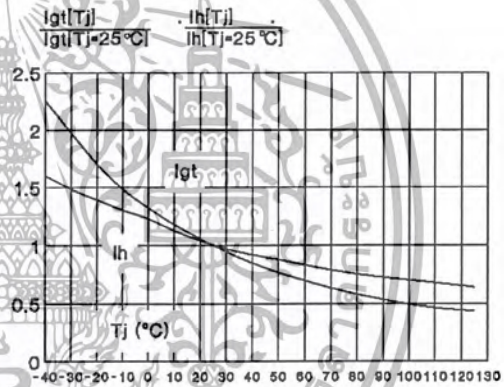


Fig.9 : Non Repetitive surge peak on-state current versus number of cycles.

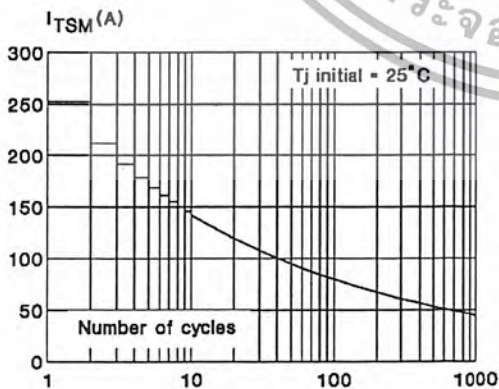


Fig.10 : Non repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width : $t \leq 10\text{ms}$, and corresponding value of I^2t .

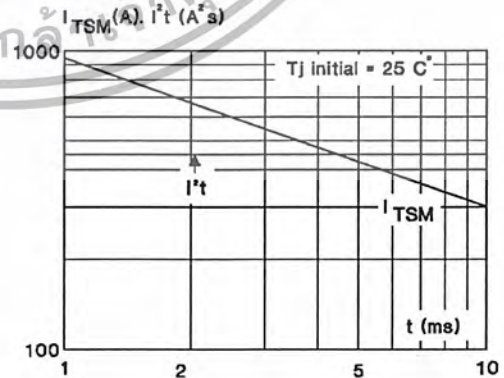
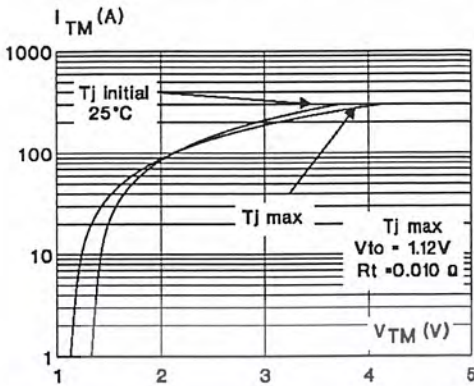
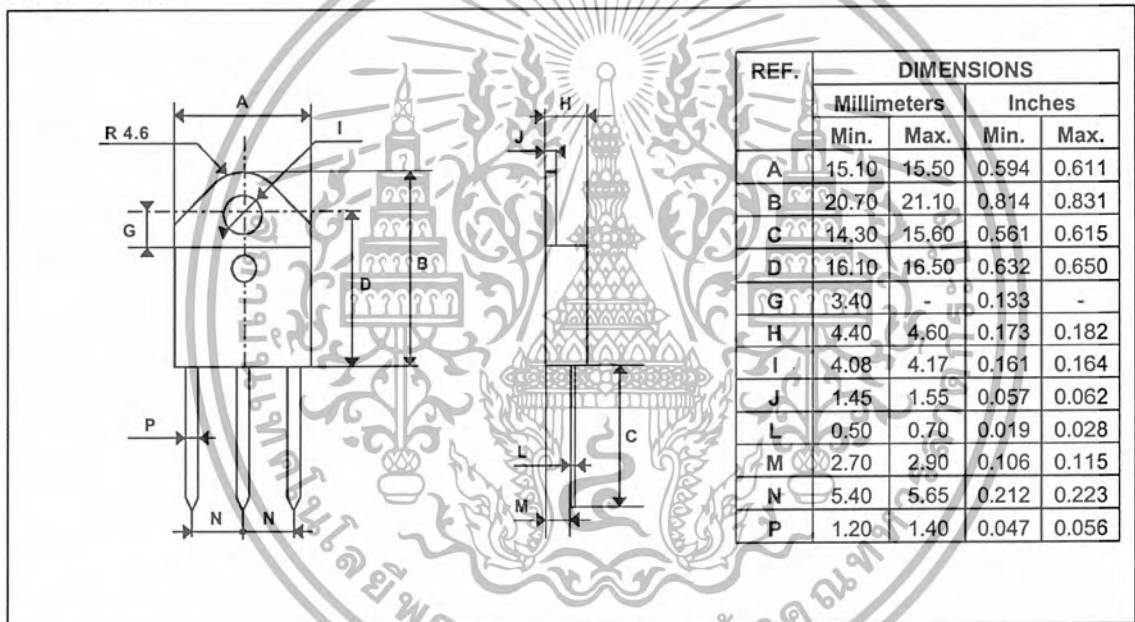


Fig.11 : On-state characteristics (maximum values).



PACKAGE MECHANICAL DATA

TOP 3 Plastic



Cooling method : C
 Marking : type number
 Weight : 4.7 g

Recommended torque value : 0.8 m.N.
 Maximum torqu value : 1 m.N.

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied.

SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1995 SGS-THOMSON Microelectronics - Printed in Italy - All rights reserved.

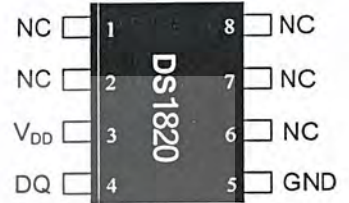
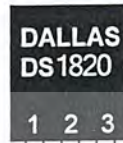
SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

FEATURES

- Unique 1-Wire® interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C
- 9-bit thermometer resolution
- Converts temperature in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



8-Pin 150mil SO (DS18S20Z)



(BOTTOM VIEW)
 TO-92 (DS18S20)

PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V_{DD} - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18S20 Digital Thermometer provides 9-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18S20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to +125°C and is accurate to ±0.5°C over the range of -10°C to +85°C. In addition, the DS18S20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18S20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18S20s to function on the same 1-Wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18S20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1

8-PIN SOIC*	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	1	GND	Ground.
4	2	DQ	Data Input/Output Pin. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see "Parasite Power" section.)
3	3	V _{DD}	Optional V_{DD} Pin. V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.

*All pins not specified in this table are "No Connect" pins.

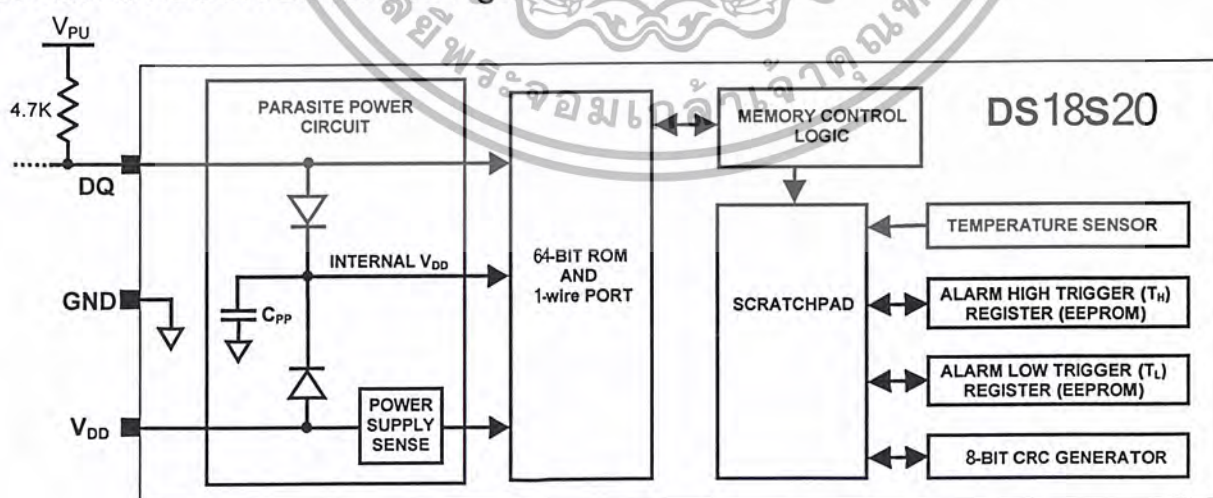
OVERVIEW

Figure 1 shows a block diagram of the DS18S20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_H and T_L). The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18S20 uses Dallas' exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18S20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

Another feature of the DS18S20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{PP}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18S20 may also be powered by an external supply on V_{DD}.

DS18S20 BLOCK DIAGRAM Figure 1



OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18S20 is its direct-to-digital temperature sensor. The temperature sensor output has 9-bit resolution, which corresponds to 0.5°C steps. The DS18S20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its idle state. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue “read-time slots” (see the *1-WIRE BUS SYSTEM* section) after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18S20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *POWERING THE DS18S20* section of this datasheet.

The DS18S20 output data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers $S = 0$ and for negative numbers $S = 1$. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading.

Resolutions greater than 9 bits can be calculated using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers in the scratchpad. Note that the COUNT PER °C register is hard-wired to 16 (10h). After reading the scratchpad, the TEMP_READ value is obtained by truncating the 0.5°C bit (bit 0) from the temperature data (see Figure 2). The extended resolution temperature can then be calculated using the following equation:

$$TEMPERATURE = TEMP_READ - 0.25 + \frac{COUNT_PER_C - COUNT_REMAIN}{COUNT_PER_C}$$

TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	S	S	S

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+85.0°C*	0000 0000 1010 1010	00AAh
+25.0°C	0000 0000 0011 0010	0032h
+0.5°C	0000 0000 0000 0001	0001h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1111	FFFFh
-25.0°C	1111 1111 1100 1110	FFCEh
-55.0°C	1111 1111 1001 0010	FF92h

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C

DS18S20 OPERATION EXAMPLE 1

In this example there are multiple DS18S20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18S20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
TX	44h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{conv}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

DS18S20 OPERATION EXAMPLE 2

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the T_H and T_L registers in the DS18S20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
TX	2 data bytes	Master sends two data bytes to scratchpad (T_H and T_L)
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

DS18S20 OPERATION EXAMPLE 3

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion then reads the DS18S20 scratchpad and calculates a higher resolution result using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
TR	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	44h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{conv}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated. The master also calculates the TEMP_READ value and stores the contents of the COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
-	-	CPU calculates extended resolution temperature using the equation in the <i>OPERATION -- MEASURING TEMPERATURE</i> section of this datasheet.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Solder Temperature	See IPC/JEDEC J-STD-020A
Reflow Oven Temperature	+220°C

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{DD}	Local Power	+3.0		+5.5	V	1
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite Power	+3.0		+5.5	V	1, 2
		Local Power	+3.0		V_{DD}		
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C	3
		-55°C to +125°C			±2		
Input Logic Low	V_{IL}		-0.3		+0.8	V	1, 4, 5
Input Logic High	V_{IH}	Local Power	+2.2		The lower of 5.5	V	1, 6
		Parasite Power	+3.0		or $V_{DD} + 0.3$		
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA	1
Standby Current	I_{DDS}			750	1000	nA	7, 8
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$		1	1.5	mA	9
DQ Input Current	I_{DQ}			5		μA	10
Drift				±0.2		°C	11

NOTES:

- All voltages are referenced to ground.
- The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18S20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.
- See typical performance curve in Figure 16
- Logic low voltages are specified at a sink current of 4mA.
- To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.
- Logic high voltages are specified at a source current of 1mA.
- Standby current specified up to 70°C. Standby current typically is 3μA at 125°C.
- To minimize I_{DDS} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.
- Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
- DQ line is high ("hi-Z" state).
- Drift data is based on a 1000 hour stress test at 125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: NV MEMORY(-55°C to +100°C; $V_{DD} = 3.0V$ to 5.5V)

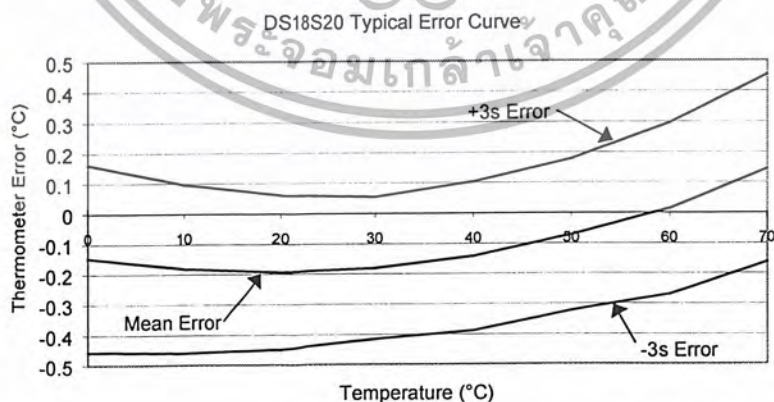
PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t_{wr}			2	10	ms
EEPROM Writes	N_{EEWR}	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t_{EDR}	-55°C to +55°C	10			years

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}				750	ms	1
Time to Strong Pullup On	t_{SPON}	Start Convert T Command Issued			10	μs	
Time Slot	t_{SLOT}		60		120	μs	1
Recovery Time	t_{REC}		1			μs	1
Write 0 Low Time	t_{LOW0}		60		120	μs	1
Write 1 Low Time	t_{LOW1}		1		15	μs	1
Read Data Valid	t_{RDV}				15	μs	1
Reset Time High	t_{RSTH}		480			μs	1
Reset Time Low	t_{RSTL}		480			μs	1, 2
Presence Detect High	t_{PDHIGH}		15		60	μs	1
Presence Detect Low	t_{PDLLOW}		60		240	μs	1
Capacitance	$C_{IN/OUT}$				25	pF	

NOTES:

- 1) Refer to timing diagrams in Figure 17.
- 2) Under parasite power, if $t_{RSTL} > 960\mu s$, a power on reset may occur.

TYPICAL PERFORMANCE CURVE Figure 16

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

DESCRIPTION

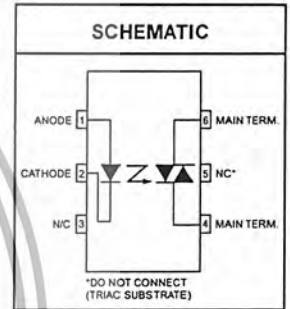
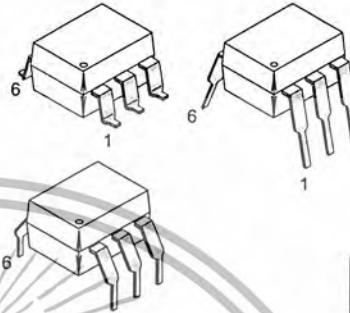
The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a AlGaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115/240 VAC operations.

FEATURES

- Excellent I_{FT} stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
-250V-MOC301XM
-400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
-Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- European applications for
- Triac driver
- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T_{STG}	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V_{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$	P_D	All	330	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
EMITTER				
Continuous Forward Current	I_F	All	60	mA
Reverse Voltage	V_R	All	3	V
Total Power Dissipation 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	P_D	All	100	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	MOC3010M/1M/2M MOC3020M/1M/2M/3M	250 400	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	All	1	V
Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	P_D	All	300	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			4	mW/ $^\circ\text{C}$

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทาง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 3\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	I_R	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated $V_{DRM}, I_F = 0$ (note 1)	I_{DRM}	All		10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}, I_F = 0$	V_{TM}	All		1.8	3	V
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (figure 5, note2)	dv/dt	All		10		V/ μs

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Voltage = 3V (note 3)	I_{FT}	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M			10	
			MOC3011M			5	
			MOC3022M				
			MOC3012M				
Holding Current, Either Direction		I_H	MOC3023M		100		μA
			All				

- Note
1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
 2. This is static dv/dt. See Figure 5 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
 3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_F (60 mA).

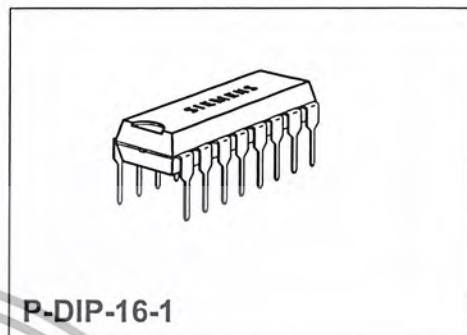
Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

Features

- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



P-DIP-16-1

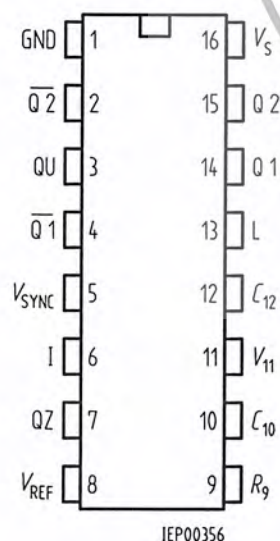
Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.

Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q2}$	Output 2 inverted
3	\overline{QU}	Output U
4	\overline{QZ}	Output 1 inverted
5	V_{SYNC}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q Z	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V_S	Supply voltage



Pin Configuration

(top view)

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_s). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor C_{10} of which is charged by a constant current (determined by R_9). If the ramp voltage V_{10} exceeds the control voltage V_{11} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180° .

For every half wave, a positive pulse of approx. $30 \mu s$ duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor C_{12} . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

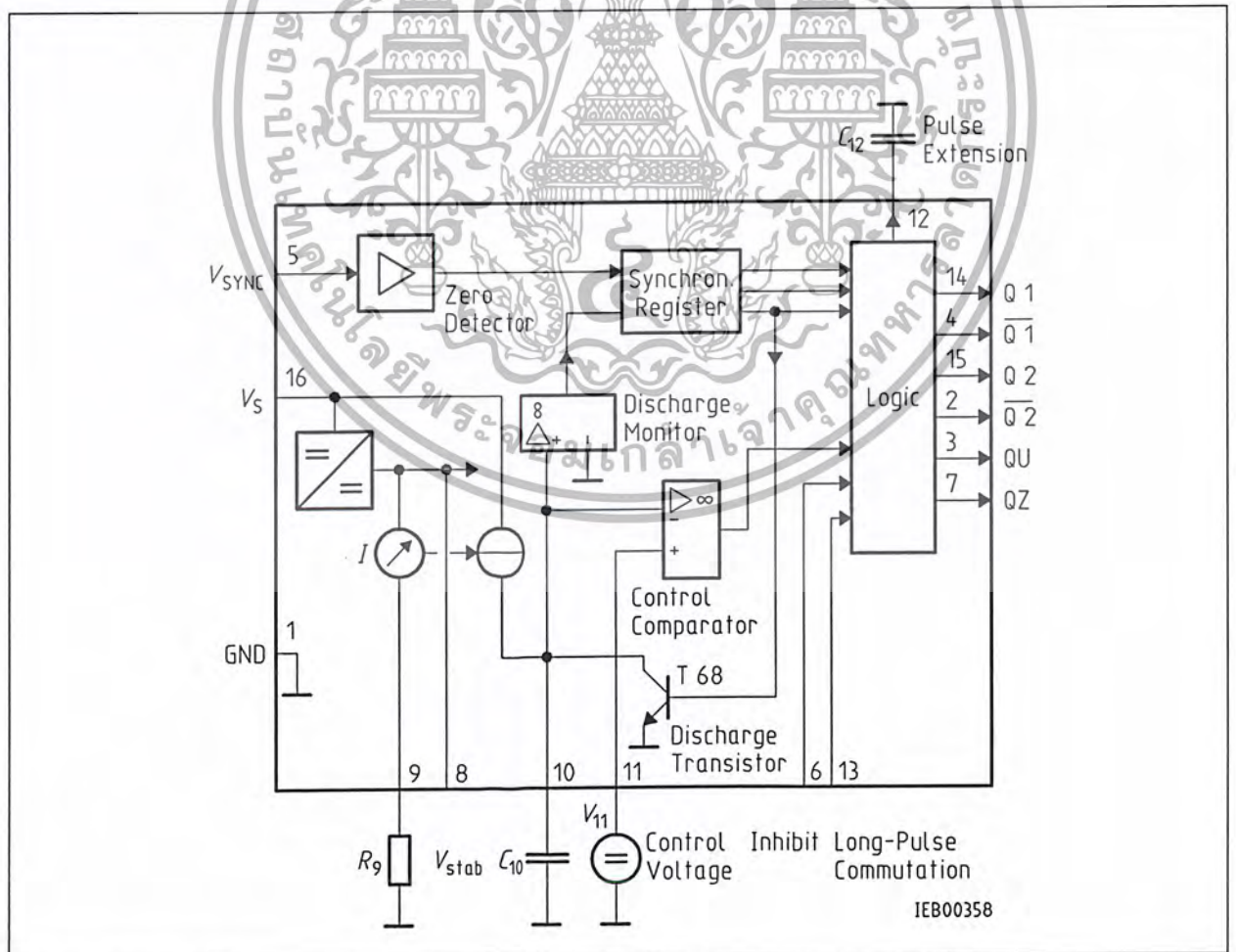
Outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

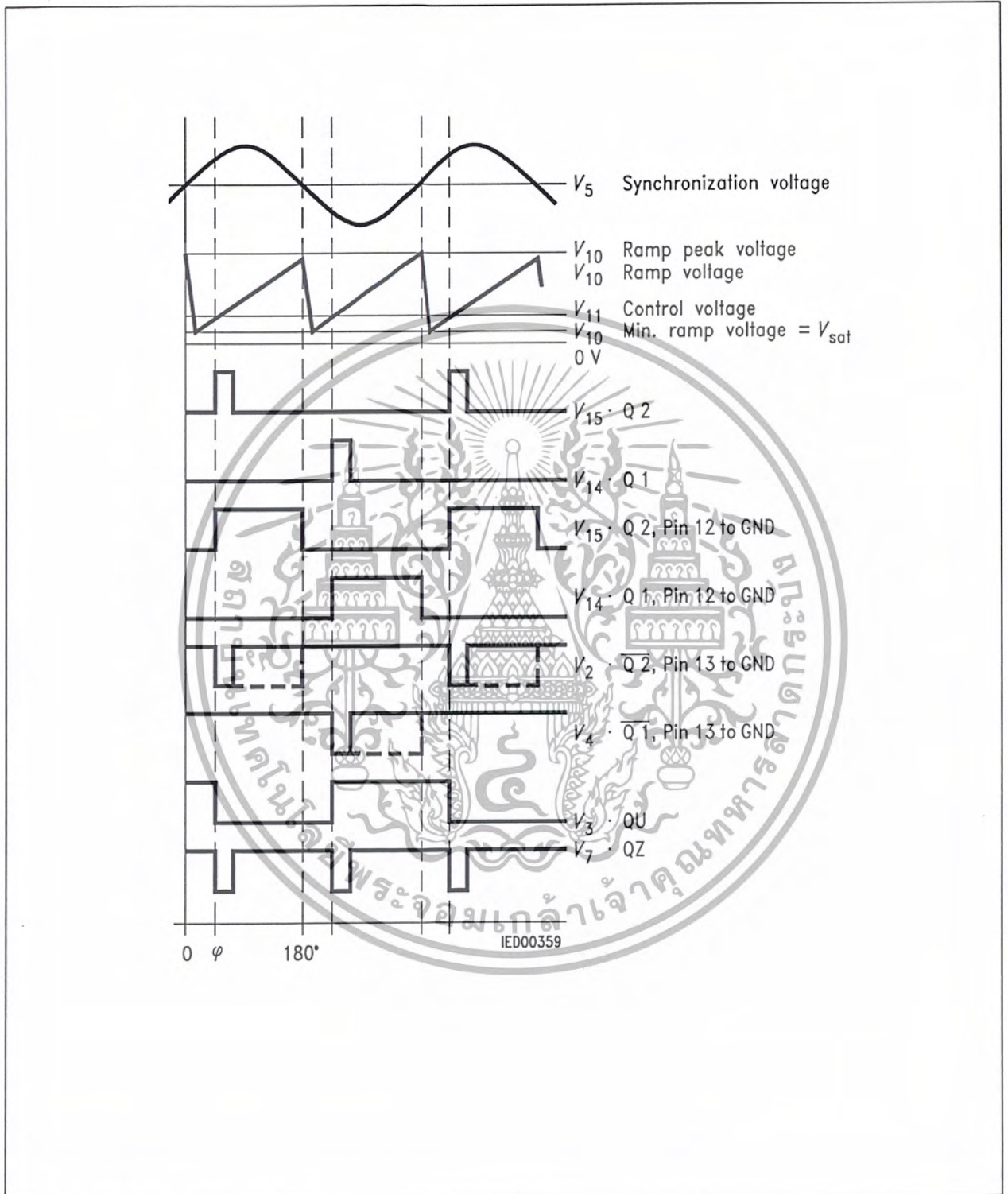
The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q}1$, $\overline{Q}2$.

Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ to full pulse length ($180^\circ - \varphi$).



Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถดัดแปลงแก้ไขหรือมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pulse Diagram

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	V_s	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_Q	- 10	400	mA
Inhibit voltage	V_6	- 0.5	V_s	V
Control voltage	V_{11}	- 0.5	V_s	V
Voltage short-pulse circuit	V_{13}	- 0.5	V_s	V
Synchronization input current	I_5	- 200	± 200	μA
Output voltage at pin 14, 15	V_Q		V_s	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_Q		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_Q		V_s	V
Junction temperature	T_j		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{stg}	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

Operating Range

Supply voltage	V_s	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	- 25	85	$^{\circ}C$

Characteristics

$8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^{\circ}C \leq T_A \leq 85 \text{ }^{\circ}C; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_9 = 100 \text{ k}\Omega$	I_s	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current	$I_{5 \text{ rms}}$	30		200	μA	1
Offset voltage	ΔV_5		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	V_{11}	0.2		$V_{10 \text{ peak}}$	V	1
Input resistance	R_{11}		15		k Ω	5

Characteristics (cont'd)

$8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	I_{10}	10		1000	μA	
Max. ramp voltage	V_{10}			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	V_{10}	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	R_9	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	t_f		80		μs	1
Inhibit pin 6						
switch-over of pin 7						
Outputs disabled	V_{6L}		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	V_{6H}	4	3.3		V	1
Signal transition time	t_r	1		5	μs	1
Input current	I_{6H}		500	800	μA	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	μA	1
$V_6 = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-5		5	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-20		20	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		± 1		%	
Long pulse switch-over pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	V_{13H}	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	V_{13L}		2.5	2	V	1
Input current	I_{13H}			10	μA	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CEO}			10	μA	2.6
$V_Q = V_s$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2 \text{ mA}$						

Characteristics (cont'd)

$8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage $-I_Q = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15H}$	$V_s - 3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_Q = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	t_p	20	30	40	μs	1
Pulse width (short pulse) with C_{12}	t_p	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control Reference voltage	V_{REF}	2.8	3.1	3.4	V	1
Parallel connection of 10 ICs possible TC of reference voltage	α_{REF}		2×10^{-4}	5×10^{-4}	1/K	1



หนังสืออ้างอิง

Curtis D.Sohnson,

Microprocess-Based, Process Control. New Jersey,
1984

สุวลัย กลั่นความดี,

ระบบควบคุม, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2539

ผศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล,

การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี, สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)

รศ.กิตติ ตีระเศรษฐ

วิศวกรรมระบบควบคุมและระบบควบคุมป้อนกลับ

รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้