

ผู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด

INBORN INFANT TEMPERATURE CONTROLLED SYSTEM



โดย

นาย บุญสร้าง จงรัก

นาย สายัณห์ รักบรรจง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

62125

3 1 ก.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด

INBORN INFANT TEMPERATURE CONTROLLED SYSTEM

โดย

นาย บุญสร้าง จงรัก รหัส 45015238

นาย สายัณห์ รักบรรจง รหัส 45015299

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุพันธ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผู้ควบคุมอุณหภูมิตำหรับเด็กแรกเกิด

ผู้จัดทำ

นาย บุญสร้าง จงรัก เลขประจำตัว 45015238

นาย สายัณห์ รักบรรจง เลขประจำตัว 45015299



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด	
ผู้จัดทำ	นาย บุญสร้าง จงรัก	รหัส 45015238
	นาย สายัณห์ รักบรรจง	รหัส 45015299
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมัน	

บทคัดย่อ

โครงการของปริญญานิพนธ์เรื่อง ตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด(Inborn Infant Temperature Controlled System) เป็นการศึกษาและพัฒนาการปรับสภาพอุณหภูมิให้เหมาะสมกับเด็กแรกเกิดที่ร่างกายไม่สมบูรณ์แข็งแรง

โดยในการจัดทำโครงการนี้ ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และใช้อัลกอริทึมระบบควบคุมแบบ PID ส่วนการตรวจจับอุณหภูมิเราจะใช้ LM35 เป็นตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งผลการทดลองการใช้งานเป็นที่น่าพอใจ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ โดยที่มีค่าผิดพลาดเพียง 0.25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	INBORN INFANT TEMPERATURE CONTROLLED SYSTEM	
Student	Mr. Boonsang Chongruk	Student ID 45015238
	Mr. Sayan Rakbanjong	Student ID 45015299
Programme	Electronics Engineering	
Year	2004	
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Supan Tungjitkusolmun	

ABSTRACT

This thesis studies about the Inborn Infant Temperature Controlled System, which is used for a newborn whose frail health is caused by premature birth. However, infant warmer is expensive and must be imported into Thailand. Therefore, this project has been conducted and developed in order to decrease importation and to be able to invent infant warmer which meets the international standard in this thesis.

We design the Inborn Infant Temperature Controlled System. LM35 was used as the temperature sensor, while Microcontroller MCS-51 was employed control our system. The control system features a PID-type automatic control system. Our system has a satisfactory performance with the temperature accuracy of ± 0.25 °C.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ยุทธนา คิดใจเดียว และ อาจารย์ ชินภัทร นันทจิรากรชัย ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบ PID ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำที่คิดตลอดมา รวมถึงเพื่อนร่วมห้องตลอดจนบุคคลที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่ไม่สามารถกล่าวได้หมดในที่นี้ หากไม่มีบุคคลเหล่านี้แล้วการทำโครงการนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

บุญสร้าง จงรัก
สายัณห์ รักบรรจง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.2 ขอบเขตของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	5
2.1 ทารกแรกเกิด	5
2.1.1 การจำแนกประเภทของทารกแรกเกิด	5
2.1.1.1 การจำแนกโดยน้ำหนักตัว โดยใช้น้ำหนักตัวเป็นเครื่องแยก	5
2.1.1.2 การจำแนกโดยอายุครรภ์	5
2.1.1.3 การจำแนกประเภทโดยใช้น้ำหนักเปรียบเทียบกับอายุครรภ์	6
2.1.2 ความผิดปกติของทารกแรกเกิด	7
2.1.2.1 ทารกแรกเกิดน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ	7
2.1.2.2 ทารกคลอดก่อนกำหนด (Prematurity)	8
2.2 หลักการควบคุมอัตโนมัติ	12
2.2.1 กิริยาการควบคุมของตัวควบคุมอัตโนมัติ	12
2.2.1.1 กิริยาการควบคุมแบบสองตำแหน่งหรือแบบ on-off	13
2.2.1.2 กิริยาการควบคุมแบบ proportional	14
2.2.1.3 กิริยาการควบคุมแบบ Integral	14
2.2.1.4 กิริยาการควบคุมแบบ proportional+integral หรือ PI	15
2.2.1.5 กิริยาการควบคุมแบบ proportional+derivative หรือ PD	17
2.2.1.6 กิริยาการควบคุมแบบ proportional + integral + derivative	18
2.2.1.7 สมการการควบคุมแบบ PID ในทาง discrete time	20
2.2.2 การปรับค่าตัวควบคุม	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 ส่วนประกอบและการทำงานของวงจร	25
3.1 ส่วนประกอบของวงจร	25
3.1.1 ส่วนประมวลผล	25
3.1.2 ส่วนวัดอุณหภูมิ	27
3.1.3 ส่วนปรับ Volt referent ของ ADC	28
3.1.4 ส่วนควบคุมเวลาและเก็บข้อมูลใน Ram	29
3.1.5 ส่วน Switch เซตค่า	29
3.1.6 ส่วนของการแสดงผล	30
3.1.7 ส่วนให้ความร้อน	31
3.1.8 ส่วนแสดงสัญญาณ Alarm	33
3.1.9 ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง	33
3.2 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรม	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	40
4.1 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้ P control, PI control, และ PID control	40
4.2 การทดลองหาค่า Parameter (Kp, Ki, Kd) ของการควบคุมแบบ PID	43
4.2.1 การทดลองปรับหาค่า Kp ที่เหมาะสม	44
4.2.2 การทดลองปรับหาค่า Ki ₂ ที่เหมาะสม	46
4.2.3 การทดลองปรับหาค่า Kd ที่เหมาะสม	48
4.2.4 ผลการทดลองเมื่อได้ค่า Parameter ที่เหมาะสม	49
4.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิ	50
4.4 ความถูกต้องในการวัดอุณหภูมิ	51
4.5 การกระจายความร้อนรอบบริเวณที่ใช้งาน	52
4.6 ผลการควบคุมเวลา	53
4.7 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater	53
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกโดยอายุครรภ์ของ 2 กลุ่ม	5
ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิภายในตู้อบสำหรับทารกน้ำหนักตัวต่างๆกัน ในระยะ 24 ชั่วโมง แรก	10
ตารางที่ 2.3 ความต้องการอุณหภูมิในตู้อบสำหรับทารกขนาดต่างๆกันเมื่ออายุมากขึ้น(°C)	10
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบความถูกต้องของอุณหภูมิระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน	51
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการกระจายความร้อน ณ จุดต่างๆ	52



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการนี้	2
รูปที่ 1.2 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด	4
รูปที่ 1.3 แสดงหน้าปัดตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด	4
รูปที่ 2.1 เส้นกราฟแสดงการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์	6
รูปที่ 2.2 Block diagram ของตัวควบคุมอัตโนมัติที่ต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดสัญญาณ	12
รูปที่ 2.3 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ on-off	13
รูปที่ 2.4 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional	14
รูปที่ 2.5 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ integral	15
รูปที่ 2.6(ก) Block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional+integral	16
(ข) อินพุตของตัวควบคุมซึ่งเป็นแบบ unit step	
(ค) เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PI เมื่ออินพุทเป็น unit step	
รูปที่ 2.7(ก) Block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional+ derivative	17
(ข) อินพุตของตัวควบคุมซึ่งเป็นแบบ unit ramp	
(ค) เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PD	
รูปที่ 2.8(ก) Block diagram ของตัวควบคุมแบบPID	19
(ข) สัญญาณอินพุทเป็น unit ramp	
(ค) สัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุม	
รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองของระบบที่มีอัตราการเลื่อม 1/4	21
รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองของระบบ closed-loop เพื่อใช้หาค่าของ K_u และ P_u	24
รูปที่ 3.1 การจัดขาสัญญาณและ Block Diagram ของ AT89C51AC2	26
รูปที่ 3.2 การต่อใช้งาน LM35	27
รูปที่ 3.3 วงจรปรับ Volt referent ของ ADC	28
รูปที่ 3.4 วงจรส่วนควบคุมเวลาและเก็บข้อมูลใน Ram	29
รูปที่ 3.5 วงจรส่วน Switch เซตค่า	29
รูปที่ 3.6 วงจรส่วนของการแสดงผล	30
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างภายในของ อินฟราเรด เซรามิก ฮีทเตอร์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมการ On-Off ของฮีตเตอร์โดยใช้หลักการของวงจร Zero-Cross	31
รูปที่ 3.9 การสับสวิตซ์ตรงตรงจุดแรงดันตัดข้ามศูนย์	32
รูปที่ 3.10 วงจรส่วนแสดงสัญญาณ Alarm	33
รูปที่ 3.11 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 5 V	33
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับทารกแรกเกิด	33
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ P control	41
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ PI control	41
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ PID control	42
รูปที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาของการใช้ค่า K_i ที่ต่างกัน	43
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_p = 30$	44
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_p = 20$	45
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_i = 1/20$	46
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_i = 1/5$	47
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_d = 50$	48
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อได้ค่า Parameter ที่เหมาะสม	49
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าต่างๆกัน	50
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อทดลองนอกห้องทดลอง	51
รูปที่ 4.13 การทดสอบการกระจายความร้อน	52
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงแรก	53
รูปที่ 4.15 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก SP	54
รูปที่ 4.16 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater ในขณะที่อุณหภูมิลดลงจาก SP	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้มีการนำเอาความรู้ใหม่ๆ มาใช้ในการดูแลรักษาทารกแรกเกิดอย่างมีประสิทธิภาพทำให้อัตราการเจ็บป่วยและอัตราการตายของเด็กทารกเหล่านี้ลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่นประเทศไทย โรงพยาบาล ที่จะให้บริการทางด้านนี้อย่างเต็มที่ยังมีจำนวนน้อยจึงทำให้อัตราการเจ็บป่วยและอัตราการตายในทารกแรกเกิดยังคงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทารกที่น้ำหนักตัวน้อย ส่วนหนึ่งคงจะเกิดจากการขาดแคลนบุคลากร เช่นแพทย์ พยาบาล อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญมากคือ ปริมาณและประสิทธิภาพทางด้านเครื่องมือต่างๆ การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือต่างๆจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษามากยิ่งขึ้น

เครื่องให้ความร้อนแก่ทารกแรกเกิด (Infant Warmer) เป็นเครื่องมือที่เกิดจากการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือในการรักษาทารกแรกเกิดที่มีความผิดปกติ ให้มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น โดยเครื่องให้ความร้อนแก่ทารกแรกเกิด (Infant Warmer) เป็นเครื่องมือที่ให้ความร้อนเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของทารกคลอดก่อนกำหนดซึ่งเกิดภาวะตัวเย็นให้อุณหภูมิในตัวทารกอยู่ในระดับมาตรฐานที่ 36.5 องศาเซลเซียสแล้วจึงทำการรักษาขั้นตอนต่อไป

ด้วยการใช้ความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่สามารถใช้ในระบควบคุมการทำงานต่างๆตั้งแต่ระบบเล็กๆ จนถึงระดับอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี ผสมกับหลักการควบคุมอัตโนมัติแบบ PID control ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงการนี้จึงได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51AC2 เข้ามาทำงานร่วมกับหลักการควบคุมอัตโนมัติแบบ PID control

โครงการนี้ควบคุมความร้อนสำหรับทารกแรกเกิดประกอบด้วยการทำงาน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนกำเนิดความร้อน ใช้แท่งอินฟราเรด เซรามิก ฮีทเตอร์ (Infrared Ceramic Heater) ในการแผ่ความร้อนและสามารถกำหนดอุณหภูมิตามต้องการ

2. ส่วนตรวจวัดอุณหภูมิ ใช้ไอซีวัดอุณหภูมิ เบอร์ LM35DZ ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ให้เอาต์พุตเป็นแรงดัน โดยไอซีดังกล่าวจะให้แรงดันเอาต์พุตออกมาแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิอย่างเชิงเส้นในอัตรา 10 mV/°C เครื่องให้ความร้อนแก่ทารกแรกเกิดนี้สามารถวัดอุณหภูมิโดยมีความละเอียด 0.25 องศาเซลเซียสและสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0-40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนแก่เด็กทารกแรกเกิดที่ใช้หลักการควบคุมอัตโนมัติแบบ PID control ให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่ใช้ในการรักษาคือ $29.2-35.5^{\circ}\text{C}$ ได้
- สามารถปรับความละเอียดได้ 0.25°C
- สามารถตั้งเวลาในการใช้งานตามต้องการมากที่สุด 99 ชม. 59 นาที
- มีระบบการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและเวลาในการทำงานเพื่อให้สามารถทำงานต่อได้ในกรณีไฟดับหรือระบบเกิดการ Reset แล้วไม่มีการ Set ค่าใหม่

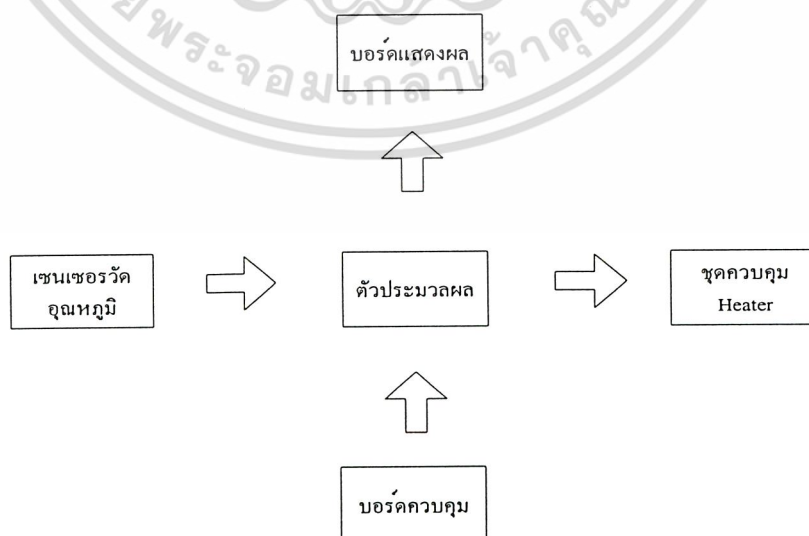
1.2 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้ได้มีการออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก่เด็กแรกเกิดซึ่งสามารถให้ความร้อนแก่ทารกแรกเกิดและกำหนดเวลาในการใช้งานตามต้องการ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เนื่องจากปัจจุบันเครื่องให้ความร้อนแก่เด็กแรกเกิด ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง โครงการนี้จึงสามารถใช้เป็นรูปแบบในการพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแก่ทารกแรกเกิดได้
2. สามารถใช้งาน Microcontroller และอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
3. เข้าใจและสามารถนำหลักการควบคุมอัตโนมัติแบบ PID ไปประยุกต์ใช้งานได้

1.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานโดยสังเขป



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ทำหน้าที่แปลงค่าอุณหภูมิให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเช่น ไอซีเบอร์ LM35 จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็น 10 mV ต่อ °C แล้วส่งไปให้ตัวประมวลผลแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการประมวลผลต่อไป

- บอร์ดควบคุม

ทำหน้าที่รองรับการตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาจากผู้ใช้และทำการส่งไปให้ตัวประมวลผล

- บอร์ดแสดงผล

ทำหน้าที่แสดงผลอุณหภูมิและเวลาในการทำงานที่เหลือทั้งหมด อีกทั้งยังมีไฟแสดงสถานะต่างๆของเครื่องคือ Alarm และสถานะการทำงานของ Heater ว่าเป็น 100% หรือ 0%

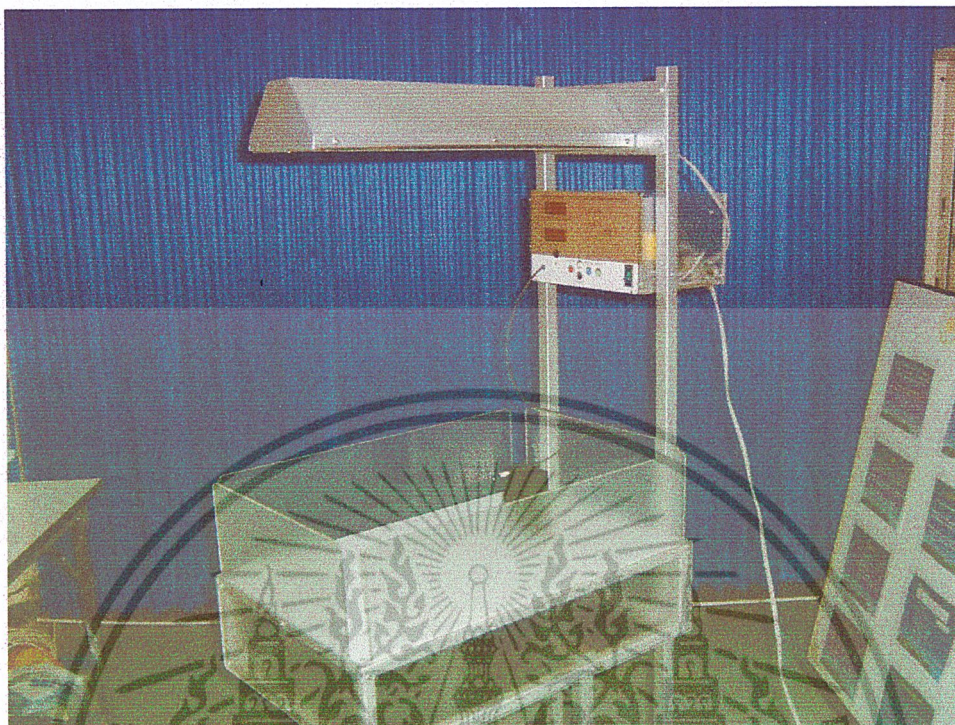
- ชุดควบคุม Heater

ทำหน้าที่นำสัญญาณ Pulse ควบคุมที่มาจากตัวประมวลผลซึ่งเป็นสัญญาณ Square wave ความถี่ 1 Hz ที่มีค่าเปลี่ยนค่า % Duty cycle ตามเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการให้ Heater ทำงาน ไปควบคุมการทำงานของ Heater โดยใช้วงจร Zero-cross เป็นวงจรควบคุมการ On-Off ของ Heater

- ตัวประมวลผล

- รับค่าอุณหภูมิและเวลาที่ผู้ใช้ต้องการไปทำการเก็บไว้เพื่อประมวลผล
- รับค่าสัญญาณไฟฟ้าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วประมวลผลร่วมกับค่าอุณหภูมิที่ต้องการตามหลักการ PID Control เพื่อนำค่าที่ได้ส่งให้วงจรควบคุม Heater อีกที
- นำค่าอุณหภูมิและเวลาที่อ่านได้ส่งไปให้บอร์ดแสดงผลทำการแสดงค่าต่างๆ
- ทำการคำนวณค่าเวลาในการทำงานที่เหลือและนำค่าอุณหภูมิและเวลาเก็บในหน่วยความจำ เพื่อนำกลับมาใช้ในกรณีไฟดับหรือระบบเกิดการ Reset แล้วไม่มีการ Set ค่าใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด



รูปที่ 1.3 แสดงหน้าปัดตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ทารกแรกเกิด

สิ่งจำเป็นในการรักษาดูแลทารกแรกเกิด คือการจำแนกประเภททารกแรกเกิด ทั้งนี้เนื่องจากทารกที่คลอดมามีขนาดอายุครรภ์ต่างๆกัน การปรับตัวต่อสภาพภายนอกครรภ์จึงแตกต่างกันตามอายุครรภ์ที่ต่างกันทำให้เกิดการเจ็บป่วยได้ง่าย การจำแนกประเภททารกแรกเกิด ทำให้การวินิจฉัยโรค การดูแลรักษาและพยากรณ์โรค ได้ดีขึ้น

2.1.1 การจำแนกประเภทของทารกแรกเกิด ที่ใช้กันเสมอมี 3 แบบ

2.1.1.1 การจำแนกโดยน้ำหนักตัว โดยใช้น้ำหนักตัวเป็นเครื่องแยก

- Low Birth Weight คือทารกที่คลอดมามีน้ำหนักเท่ากับ 2500 กรัมหรือน้อยกว่า
- Very Low Birth Weight คือทารกที่มีน้ำหนักตัวแรกคลอดน้อยกว่า 1500 กรัม
- Very Very Low Birth Weight คือทารกน้ำหนักแรกคลอดน้อยกว่า 1000 กรัม
- Full Birth Weight คือทารกที่มีน้ำหนักคลอดมากกว่า 2500 กรัม

2.1.1.2 การจำแนกโดยอายุครรภ์ โดยใช้อายุครรภ์เป็นเครื่องแยก ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 พวก ได้แก่

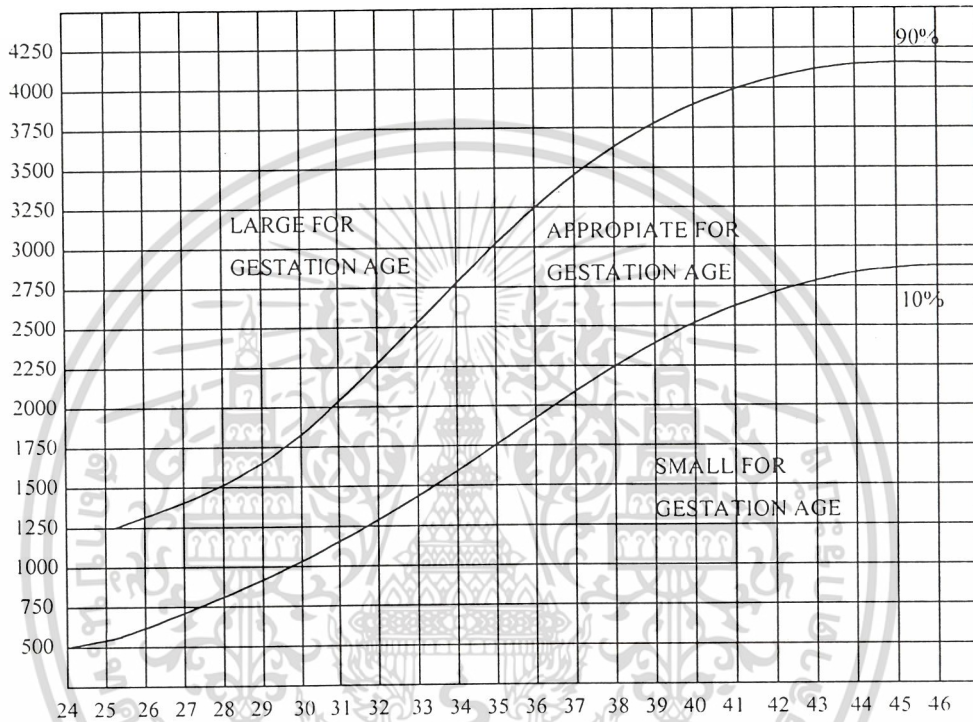
	คำจำกัดความ	
	WHO and European pediatric groups	American academy of Pediatrics Committee on Fetus and Newborn
1. ทารกคลอดก่อนกำหนด (Pre Term)	ทารกคลอดก่อนอายุครรภ์ 37 อาทิตย์	ทารกคลอดก่อนอายุครรภ์ 38 อาทิตย์
2. ทารกคลอดครบกำหนด (Term)	ทารกคลอดระหว่างอายุครรภ์ 37 – 41 อาทิตย์	ทารกคลอดระหว่างอายุครรภ์ 38 – 41 อาทิตย์
3. ทารกคลอดเกินกำหนด (Post Term)	ทารกคลอดก่อนอายุครรภ์ 42 อาทิตย์ หรือมากกว่า	ทารกคลอดก่อนอายุครรภ์ 42 อาทิตย์หรือมากกว่า

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกโดยอายุครรภ์ของ 2 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 การจำแนกประเภทโดยใช้น้ำหนักเปรียบเทียบอายุครรภ์

ในกรณีนี้ต้องใช้เส้นกราฟแสดงการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ (Intrauterine growth curve)



รูปที่ 2.1 เส้นกราฟแสดงการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์

การจำแนกทารกจะได้ทารก 3 กลุ่มใหญ่ โดยใช้น้ำหนักที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 (10th percentile) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 (90th percentile) เป็นตัวแบ่งและในแต่ละกลุ่มก็แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีกกลุ่มละ 3 กลุ่มย่อย ดังรูป

SGA : Small for Gestational Age คือ ทารกที่มีน้ำหนักน้อยกว่าอายุครรภ์ที่ควรจะเป็น บางคนใช้น้ำหนักที่น้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 บางคนใช้น้ำหนักที่น้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 3 บางคนใช้น้ำหนักที่น้อยกว่า 2 Standard deviation จากค่าเฉลี่ย (mean)

LGA : Large for Gestational Age คือ ทารกที่มีน้ำหนักมากกว่าอายุครรภ์ที่ควรจะเป็น ใช้น้ำหนักที่มากกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ความผิดปกติของทารกแรกเกิด

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงการแยกประเภททารกแรกเกิด จะพบว่าทารกที่มีความผิดปกติ คือ

- ทารกที่มีน้ำหนักตัว (Birth Weight) น้อยกว่า 2500 กรัม หรือมากกว่า 4000 กรัม
- ทารกที่คลอดก่อน (Birth before) 37 สัปดาห์ หรือคลอดหลัง 42 สัปดาห์
- SGA, LGA
- การเจ็บป่วย เช่น หายใจหอบ ภาวะตัวเหลือง เยี่ยว ฯลฯ

ซึ่งเราจะศึกษาเฉพาะความผิดปกติที่สามารถใช้เครื่องให้ความร้อนแก่เด็กแรกเกิดในการรักษา เท่านั้น นั่นคือ

2.1.2.1 ทารกแรกเกิดน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ

2.1.2.2 ทารกแรกเกิดคลอดก่อนกำหนด

2.1.2.1 ทารกแรกเกิดน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ

คำจำกัดความ คือ ทารกแรกเกิดที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2500 กรัม ซึ่งอาจจะแบ่งเป็น

- ทารกน้ำหนักตัวน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของอายุครรภ์ (SGA : Small for Gestational Age) ซึ่งหมายถึง เด็กที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 ดังรูปที่ 2.1
- ทารกขาดการส่งผ่านสารอาหารจากรก (Dysmaturity)
- อื่นๆ เช่น ทารกตัวเล็กโดยไม่ทราบสาเหตุ (Constitution Small Baby) ทารกตัวเล็กอายุครรภ์เกินกำหนด (Postmaturity) ทารกแคระ (Dwarf) ทารกพิการแต่กำเนิด (Congenital Anomaly) เช่น อวัยวะบางส่วนหายไป หรือไม่พัฒนาขึ้นระหว่างตั้งครรภ์

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทารกแรกเกิดน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติซึ่งเป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยของอายุครรภ์น้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 (SGA) เท่านั้น

ทารกน้ำหนักตัวน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของอายุครรภ์ (SGA)

คือ ทารกที่เกิดมามีน้ำหนักตัวต่ำกว่าที่คาดว่าควรจะหนัก โดยไม่จำกัดอายุการตั้งครรภ์ และเมื่อนำน้ำหนักตัวทารกมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักเฉลี่ยจากการทดลอง จะมีน้ำหนักตัวต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 ทารกประเภทนี้จะปรากฏอาการของการเจริญเติบโตมากกว่าน้ำหนักตัว และจะทราบอายุครรภ์โดยการตรวจร่างกายหาอายุครรภ์มากกว่าการเชื่อประวัติ และน้ำหนักตัวเด็ก ไขมนั้ได้ผิวหนังจะ

มีน้อย ไขที่หุ้มตัวจะมีน้อยหรือไม่มีเลยในทารกที่มีอายุครรภ์เกินกำหนด และการเจริญเติบโตในระยะหนึ่งหรือสองสัปดาห์จะมากกว่าทารกคลอดก่อนกำหนด

การดูแลรักษา

1. พยายามป้องกันอุณหภูมिर่างกายต่ำ โดยการรักษาสีงแวดล้อมให้อบอุ่นพอที่จะทำให้ อุณหภูมิของผิวหนังเท่ากับ 26°C และอุณหภูมิทางทวารหนักเท่ากับ 37°C ทารกพวกนี้จะ อุณหภูมิต่ำได้ง่ายเนื่องจากไขมันใต้ผิวหนังมีน้อย
2. ป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ เพราะทารกพวกนี้มีการสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้น้อยกว่าปกติ ช่วยป้องกันได้โดยเจาะ Dextrostix เมื่อแรกเกิดและเป็นระยะเท่าที่จำเป็น
3. พยายามป้องกันภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ เพราะทารกพวกนี้จะเสี่ยงต่อภาวะนี้มากจึงต้อง สังเกตอาการสั่นหรือกระตุก ถ้ามีอาการหรือสงสัยให้รีบเจาะเลือดส่งตรวจ
4. พยายามป้องกันสภาวะเลือดต่ำ โดยเฉพาะทารกที่มีการเปลี่ยนแปลงการเต้นของหัวใจ ตั้งแต่ในครรภ์ ต้องพยายามดูทางช่องหลอดคอออกให้แน่ใจว่าหมด
5. ให้วิตามิน K_1 มิลลิกรัม ฉีดเข้ากล้ามเนื้อ เมื่อแรกคลอดเพื่อป้องกันภาวะเลือดออก
6. หาค่าฮีมาโตคริต เพื่อตรวจค้นภาวะเลือดข้น ถ้าพบต้องรีบให้การรักษา
7. ต้องพยายามสังเกตอาการของการติดเชื้อตั้งแต่ในครรภ์มารดา
8. ให้ทารกได้รับนมครบตามความต้องการของร่างกายและอาหารตามจำนวนที่ควร
9. ชั่งน้ำหนักทุกวันและจดบันทึกลงในแผ่นชั่งน้ำหนัก

2.1.2.2 ทารกคลอดก่อนกำหนด (Prematurity)

คำจำกัดความ หมายถึง ทารกที่คลอดเมื่ออายุครรภ์ต่ำกว่า 37 สัปดาห์ จากการตรวจหาอายุครรภ์โดยไม่จำกัดน้ำหนัก

สาเหตุ ส่วนใหญ่ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด แต่มักจะเกิดจากมารดามากกว่าทารก

การดูแลทารกคลอดก่อนกำหนด

1. การควบคุมความร้อนของร่างกาย

ทารกมีศูนย์ควบคุมความร้อนอยู่ที่ Hypothalamus เมื่ออยู่ในครรภ์มารดา ทารกจะมีอุณหภูมิของร่างกายประมาณ 37.7 องศาเซลเซียส พอคลอดออกมาอุณหภูมิจะลดลงเป็น 21.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของทารกคลอดใหม่จะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามสิ่งแวดล้อม เนื่องจากศูนย์ควบคุมการทำงานยังทำงานไม่สมบูรณ์ ใน 2-3 วันแรกคลอดอุณหภูมิของทารกอาจสูงประมาณ 37.7-40 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส เนื่องจากร่างกายเสียน้ำ หรือในวันที่มีอากาศร้อน หรือห่อทาร์กด้วยผ้าหนาๆ ก็อาจทำให้ อุณหภูมิร่างกายของทารกสูงได้เช่นกัน

ทารกแรกเกิดสร้างความร้อนโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Thermogenesis) เนื่องจาก ยังไม่มีการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ หรือทำอาหารสันเพื่อสร้างความร้อนอย่างผู้ใหญ่ได้ ทารกจึงต้องใช้พลังงานและออกซิเจนมากขึ้น ในการทำความร้อนนี้มีการใช้ไขมันสีน้ำตาล(Brown Fat) ที่อยู่ที่ บริเวณทรวงอก คอและรอบๆไต เพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไขมันใช้เป็นพลังงานในการสร้างความร้อน ทารกเกิดก่อนกำหนดจึงมีปัญหาในการสร้างความร้อนที่จะควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย นอกจากนี้ โอกาสที่จะเสียความร้อนมีมากกว่าทารกที่คลอดครบกำหนด เนื่องจากผิวหนังบางและมีพื้นที่ผิวมาก เมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว จึงมีความจำเป็นที่ต้องให้ความร้อนจากภายนอก ได้แก่ตู้อบต่างๆที่จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนและทำให้อุณหภูมิคงที่

ทารกที่มีอุณหภูมิกายต่ำจะมีอันตรายได้สูงกว่าทารกที่มีอุณหภูมิกายปกติหลายเท่า ทั้งนี้ เนื่องจากผลเสียของภาวะตัวเย็น(Hypothermia) จะทำให้มีปัญหาต่างๆ เช่น

- มีหลอดเลือดบีบตัว ทำให้เลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆน้อยลง มีภาวะเผาผลาญแบบอนาแอโรบิก (Anaerobic Metabolism) สูงขึ้น เกิดภาวะกรดเกิน(Acidosis) ในร่างกาย
- การควบคุมกลูโคสและกรดไขมันเสียไป เกิดภาวะน้ำตาลต่ำในเลือดได้ง่าย
- มีปัสสาวะออกเพิ่มขึ้นจากแคทีโคลามีนที่หลั่งเพิ่มขึ้น มีผลปัสสาวะมากขึ้น ทำให้เกิด

ภาวะขาดน้ำ

- น้ำหนักตัวลด เพราะต้องเสียพลังงานต่างๆ ไปในการสร้างความร้อนแทนที่จะนำมาใช้ในการเจริญเติบโตของร่างกาย

- ทำให้ปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เลือดแข็งตัวเสียไป อาจเกิดภาวะเลือดออกได้ง่าย

ตัวอย่างอุณหภูมิของตู้อบที่ใช้เพื่อให้ทารกอยู่ในภาวะแวดล้อมที่เป็นกลาง (Neutral Environment) คือให้มีอุณหภูมिर่างกายระหว่าง 36°-37° เซลเซียส ใน 24 ชั่วโมงแรก (ตารางที่ 2.2) และเมื่ออายุมากขึ้น(ตารางที่ 2.3)

น้ำหนักตัว (กรัม)	อุณหภูมิตู้อบ (°C)
500	35.5 ±0.5
1000	34.9 ±0.5
1500	34.0 ±0.5
2000	33.5 ±0.5
2500	33.2 ±0.8
3000	33.0 ±1.0
3500	32.8 ±1.2

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิภายในตู้อบสำหรับทารกน้ำหนักตัวต่างๆกัน ในระยะ 24 ชั่วโมง แรก

อายุหลังเกิด	น้ำหนักตัวแรกเกิด		
	ต่ำกว่า 1,500 กรัม	1,500 - 2,000 กรัม	เกิน 2,500 กรัม
1 วัน	34.3	33.4	33.0
2 วัน	33.7	32.7	32.4
3 วัน	33.5	32.4	31.9
5 วัน	33.5	32.2	31.2
7 วัน	33.5	32.1	30.8
2 สัปดาห์	33.4	32.1	29.2
4 สัปดาห์	32.9	31.7	-
6 สัปดาห์	31.8	30.6	-

ตารางที่ 2.3 ความต้องการอุณหภูมิในตู้อบสำหรับทารกขนาดต่างๆกันเมื่ออายุมากขึ้น(°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะเล็งทารกคลอดก่อนกำหนดไว้ในอุณหภูมิขั้นต่ำของ Neutral Temperature เชื่อว่าจะเป็นตัวกระตุ้นทารกทำให้ไม่หยุดหายใจง่าย และทำให้มีการเจริญเติบโตดีกว่าทารกที่อยู่ในอุณหภูมิขั้นสูงของ Neutral Temperature อย่างไรก็ตามควรระมัดระวังและเฝ้าดูแลอย่างใกล้ชิด เนื่องจากอุณหภูมิอาจลดต่ำกว่าอุณหภูมิที่เป็นกลางจนเกิดผลเสียได้

2. การสังเกตและป้องกันความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ ถ้าพบเด็กหยุดหายใจต้องนับจำนวนครั้งว่าบ่อยแค่ไหน ระยะเวลาสั้นเท่าไร และเมื่อหยุดหายใจจำนวนครั้งของการหายใจเปลี่ยนแปลงหรือไม่

3. การป้องกันการติดเชื้อ ทารกคลอดก่อนกำหนดมีความต้านทานโรคต่ำ การล้างมือสำคัญที่สุด ต้องล้างมือทั้งก่อนและหลังจับตัวทารกทุกครั้ง

4. ให้ทารกได้รับจำนวนนมหรือน้ำเกลือทางหลอดเลือดดำครบตามกำหนด

6. การพยายามทั่วไป

- เตรียมทารกเข้าเครื่อง Radiant Warmer และเครื่องที่จำเป็นทุกอย่าง
- ฉีดวิตามิน K₁ 1 มิลลิกรัม เข้ากล้ามเนื้อทันทีเมื่อรับทารกคลอดก่อนกำหนด
- ดูแลเรื่องความสะอาดของร่างกาย
- ชั่งน้ำหนักของทารกทุกวัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการควบคุมอัตโนมัติ

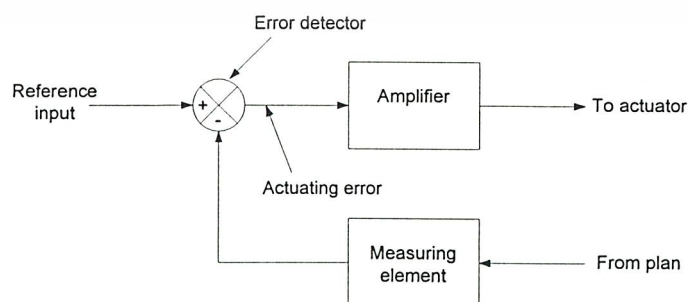
ชนิดต่างๆของตัวควบคุมอัตโนมัติ

1. ตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง(two-position)หรือ on-off
2. ตัวควบคุมแบบ proportional
3. ตัวควบคุมแบบ integral
4. ตัวควบคุมแบบ proportional+integral หรือ PI
5. ตัวควบคุมแบบ proportional+derivative หรือ PD
6. ตัวควบคุมแบบ proportional+ integral+derivativeหรือ PID

ในการที่จะเลือกว่าจะใช้ตัวควบคุมแบบไหนต้องพิจารณาจากธรรมชาติของระบบ สภาพการทำงาน ความปลอดภัย ความเที่ยงตรง ความไวใจได้ ราคา ขนาดน้ำหนัก และอื่นๆ

2.2.1 กิริยาการควบคุมของตัวควบคุมอัตโนมัติ

ตัวควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณความคลาดเคลื่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสัญญาณที่มีระดับต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการแอมพลิฟายเพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณความคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงเพียงพอแล้วจึงส่งไปยังส่วนทำงาน สำหรับอุปกรณ์วัดสัญญาณความคลาดเคลื่อนนั้นเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงตัวแปรเอาต์พุตไปเป็นตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้เปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตอ้างอิงได้ ซึ่งอุปกรณ์นี้จะอยู่ใน feedback path ของระบบ closed-loop ส่วนค่าที่กำหนด(set-point) ของตัวควบคุมนั้นจะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอินพุตอ้างอิงที่มีหน่วยเดียวกันกับสัญญาณป้อนกลับและจะทำการส่งสัญญาณคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณป้อนกลับส่งไปยังแอมพลิฟายแล้วส่งไปตัวกระทำ(นอกจากแอมพลิฟายแล้วในบางครั้งอาจมีวงจรรวม integrator และ/หรือวงจรรวม differentiator ต่อร่วมเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่ดีขึ้น)



รูปที่ 2.2 Block diagram ของตัวควบคุมอัตโนมัติที่ต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 กิจการควบคุมแบบสองตำแหน่งหรือแบบ on-off

ในระบบควบคุมแบบสองตำแหน่งนั้น ตัวกระทำจะทำงานในตำแหน่งที่คงที่เพียงสองตำแหน่งเท่านั้น ในบางครั้งจึงเรียกว่าการควบคุมแบบ on และ off การควบคุมแบบ on-off นี้จะเป็นการควบคุมแบบง่ายและราคาไม่แพง กำหนดให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น $m(t)$ และสัญญาณคลาดเคลื่อนเป็น $e(t)$ สัญญาณ $m(t)$ มีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวกหรือลบนั้นคือ

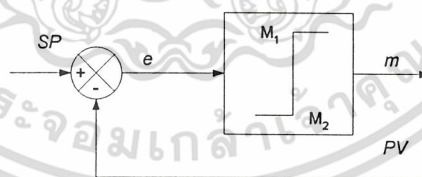
$$m(t) = M_1 \text{ สำหรับ } e(t) > 0$$

$$= M_2 \text{ สำหรับ } e(t) < 0$$

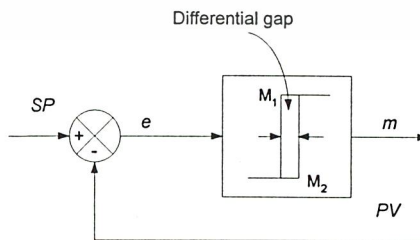
โดยที่ M_1 และ M_2 เป็นค่าคงที่

ค่าที่น้อยที่สุดของ M_2 นั้นโดยทั่วไปมีค่าเป็นศูนย์หรือมีค่าเท่ากับ $-M_1$ สำหรับตัวควบคุมแบบนิวแมติกส์แบบ proportional ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับตัวควบคุมนิวแมติกส์แบบสองตำแหน่ง

รูปที่ 2.3 แสดงถึง block diagram ของตัวควบคุมแบบสองตำแหน่งและสำหรับช่วงที่สัญญาณความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปก่อนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของการควบคุมจะเรียกว่า differential gap ดังรูปที่ 2.3(ข) ช่วง differential gap นี้เอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะยังคงรักษาค่าเดิมอยู่ จนกระทั่งสัญญาณความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจากค่าศูนย์ในบางกรณี differential gap นั้นเป็นผลจากการเสียดทานที่ไม่ได้คาดคิดไว้ก่อนแต่บางครั้งต้องทำให้มีช่วง differential gap เพื่อป้องกันการ on-off บ่อยเกินไป



(น)



(ข)

รูปที่ 2.3 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ on-off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 กิริยาการควบคุมแบบ proportional

สำหรับการควบคุมที่มีกิริยาการควบคุมแบบ proportional นั้น ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม $m(t)$ และสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

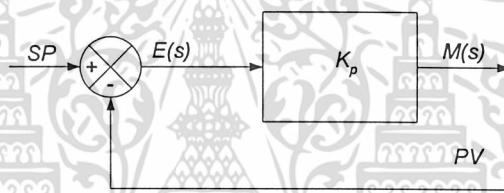
$$m(t) = K_p e(t)$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p$$

โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของ proportional sensitivity หรือ gain

ตัวควบคุมแบบ proportional จึงต้องเป็นแอมพลิฟายที่สามารถปรับค่าของ gain ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional

2.2.1.3 กิริยาการควบคุมแบบ Integral

ในตัวควบคุมแบบ integral นั้นค่าของเอาท์พุทของตัวควบคุม $m(t)$ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t)$$

หรือ

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

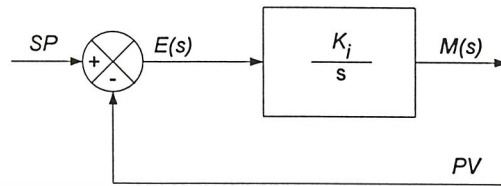
โดยที่ K_i เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

Transfer function ของตัวควบคุมแบบ integral คือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

กิริยาการควบคุมแบบนี้บางครั้งเรียกว่า reset control ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 Block diagram ของตัวควบคุมแบบ integral

2.2.1.4 กิริยาการควบคุมแบบ proportional+integral หรือ PI

กิริยาการควบคุมของตัวควบคุมแบบ proportional+integral นั้นสามารถจะแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

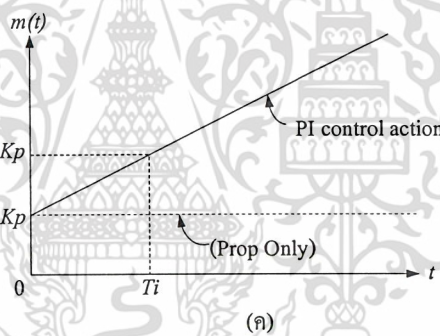
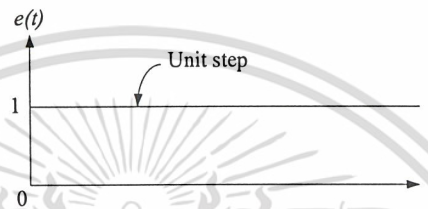
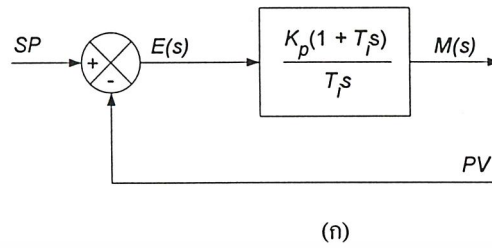
หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ proportional sensitivity หรือ gain

T_i เป็นค่าของ integral time

ทั้ง K_p และ T_i เป็นค่าที่ปรับได้โดยที่การปรับ T_i นั้นจะเป็นการปรับกิริยาการควบคุมแบบ integral ส่วนการปรับ K_p นั้นจะมีผลต่อส่วน proportional ค่าของส่วนกลับของ T_i นั้นจะเรียกว่า reset rate ดังรูป 2.6(ก) แสดงถึง block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional+integral ถ้าสัญญาณคลาดเคลื่อน $e(t)$ เป็นแบบ unit step ดังรูป 2.6(ข) แล้ว สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PI จะแสดงได้ดังรูป 2.6(ค)



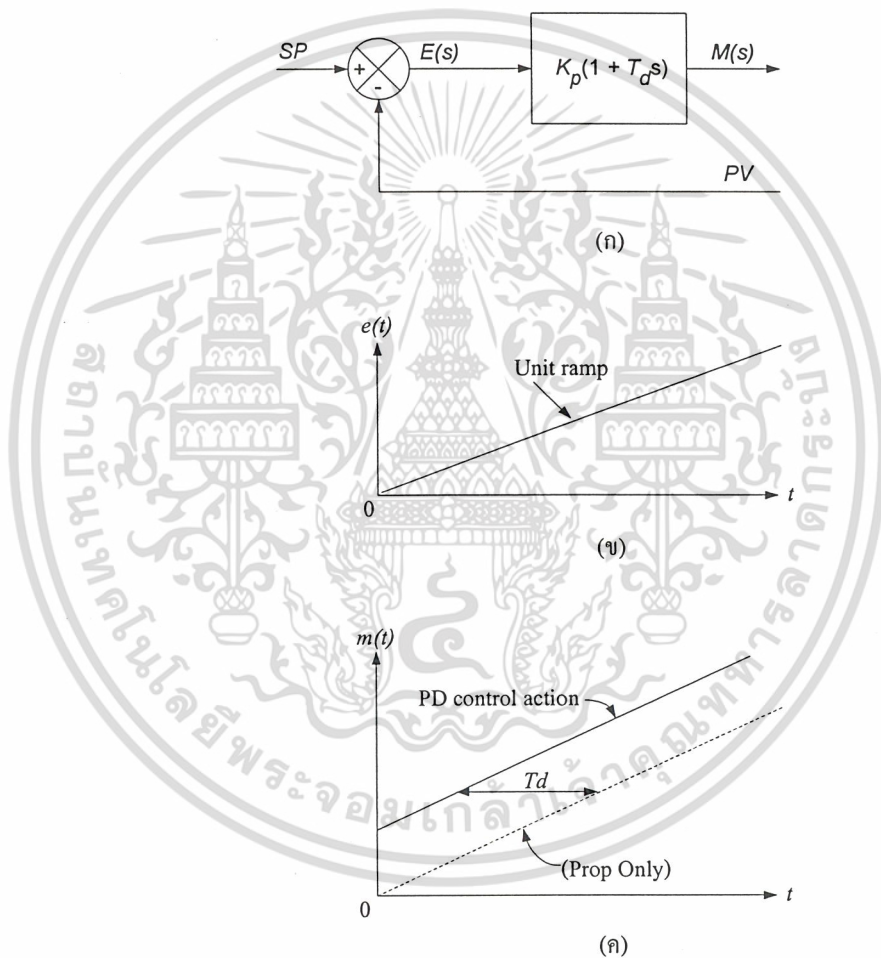
รูปที่ 2.6 (ก) Block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional+integral
 (ข) อินพุทของตัวควบคุมซึ่งเป็นแบบ unit step
 (ค) เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PI เมื่ออินพุทเป็น unit step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.5 กิริยาการควบคุมแบบ proportional+derivative หรือ PD

กิริยาการควบคุมของตัวควบคุมแบบ proportional+derivative นั้นสามารถจะแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$



รูปที่ 2.7 (ก) Block diagram ของตัวควบคุมแบบ proportional+ derivative

(ข) อินพุทของตัวควบคุมซึ่งเป็นแบบ unit ramp

(ค) เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ PD

62125

Transfer function คือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ proportional sensitivity หรือ gain

T_d เป็นค่าของ derivative time

ค่าของ K_p และ T_d นั้นจะเป็นค่าที่สามารถปรับได้ และในบางครั้งจะเรียกการควบคุมแบบ derivative ว่า rate control ทั้งนี้เพราะว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 2.7(ก) ถ้าสัญญาณคลาดเคลื่อนเป็น unit ramp ดังรูปที่ 2.7(ข) แล้ว สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม PD จะเป็นดังรูป 2.7(ค) จะเห็นว่าปฏิกิริยาการควบคุมแบบ derivative มีคุณลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้าโดยที่ T_d จะเป็นช่วงเวลาซึ่งปฏิกิริยาการควบคุมแบบ derivative ล้ำหน้าปฏิกิริยาการควบคุมแบบ proportional แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาการควบคุมแบบ derivative จะคาดการณ์ล่วงหน้าไม่ได้ถ้าการกระทำนั้นยังไม่เกิดขึ้น

2.2.1.6 ปฏิกิริยาการควบคุมแบบ proportional + integral + derivative หรือ PID

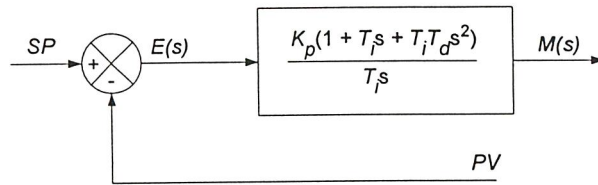
ปฏิกิริยาการควบคุมแบบ proportional + integral + derivative นั้นสามารถจะแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

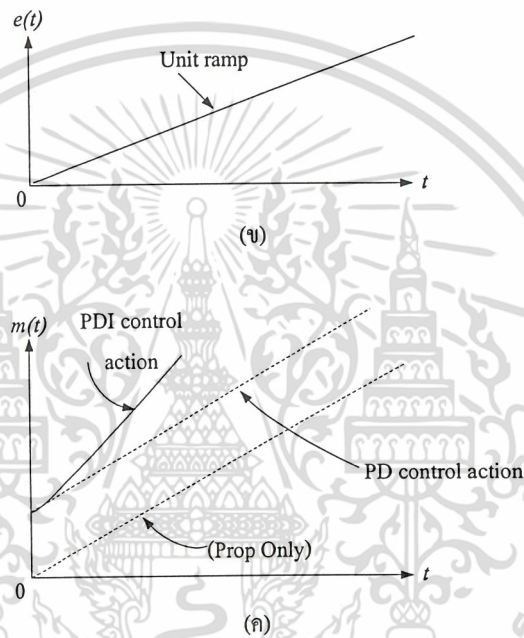
Transfer function คือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Block diagram ตลอดจนอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PID ดังแสดงในรูปที่ 2.8



(ก)



รูปที่ 2.8 (ก) Block diagram ของตัวควบคุมแบบPID

(ข) สัญญาณอินพุตเป็น unit ramp

(ค) สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.7 สมการการควบคุมแบบ PID ในทาง discrete time

$$M_n = K_p * e_n + K_i \sum_{i=1}^n e_i - K_d(e_n - e_{n-1}) + M_0$$

หรือ

$$M_n = K_p * e_n + K_i \sum_{i=1}^n e_i - K_d(PV_{n-1} - PV_n) + M_0$$

T_s = Sample rate

K_p = Proportional gain

$K_i = K_p * (T_s / T_i)$ = Coefficient of the integral term

$K_d = K_p * (T_d / T_s)$ = Coefficient of the derivative term

T_i = Reset or integral time

T_d = Derivative time or rate

SP = Setpoint

PV_n = Process Variable (temperature) at n^{th} sample

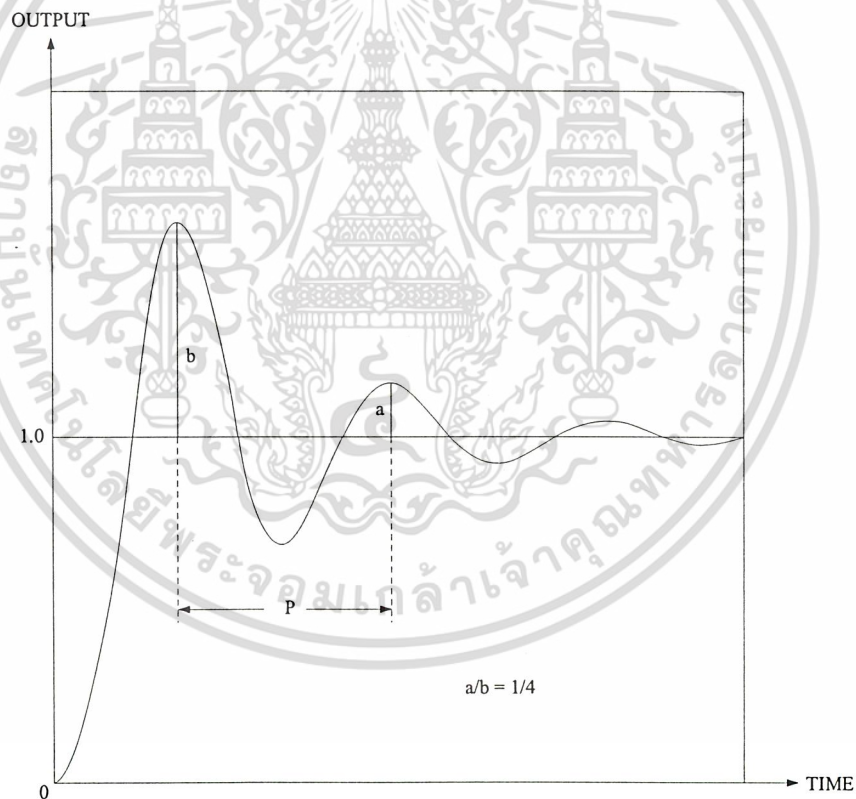
$e_n = SP - PV_n$ = Error at n^{th} sample

M_n = Controller output at n^{th} sample

2.2.2 การปรับค่าตัวควบคุม

การปรับค่าตัวควบคุมเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการควบคุม ซึ่งวิธีการปรับค่าตัวควบคุมนั้นมีหลายวิธี แต่ไม่มีวิธีไหนที่เป็นที่ยอมรับกันว่าดีที่สุด กล่าวคือบางวิธีจะต้องพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยประสบการณ์ในการปรับค่าตัวควบคุม ในขณะที่บางวิธีจะต้องพิจารณาโดยอาศัยคณิตศาสตร์ โดยทั่วไปแล้วการปรับค่าของตัวควบคุมจะพิจารณาเงื่อนไขในโดเมนเวลามากกว่าโดเมนความถี่ซึ่งอยู่ในรูปของ gain margin และ phase margin เงื่อนไขในโดเมนเวลาที่นิยมใช้เพื่อปรับค่าตัวควบคุมคือ อัตราการเสื่อม 1/4 (quarter decay) กล่าวคือ peak overshoot อันที่สองต่อ overshoot อันแรก(maximum overshoot)ของผลตอบสนองของระบบที่มีการ oscillate จะต้องมามีค่าเท่ากับ 1/4 ดังรูปที่

2.9



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองของระบบที่มีอัตราการเสื่อม 1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการของผลตอบสนองของระบบแบบ Closed-loop

เทคนิคในการปรับค่าของตัวควบคุมนั้นสามารถทำได้สองรูปแบบ แบบแรกจะเป็นการปรับค่าของตัวควบคุมโดยพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบแบบ closed-loop ซึ่งมีวิธีการปรับอยู่สองสามวิธี แบบที่สองจะเป็นการปรับค่าตัวควบคุมโดยพิจารณาจาก curve ของผลตอบสนองของระบบ open-loop ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า process reaction curve วิธีการปรับค่าของตัวควบคุมโดยพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ closed-loop นั้นตัวควบคุมจะถูกใส่ในระบบตั้งแต่ตอนแรกสำหรับระบบซึ่งต่างจาก process reaction curve ตัวควบคุมจะถูกใส่ในระบบหลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะ การปรับค่าของตัวควบคุมโดยพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ closed-loop

การปรับค่าของตัวควบคุมโดยพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ closed-loop มีอยู่สองวิธี ultimate method และ damped oscillation method

1. Ultimate Method

วิธีการปรับค่าของตัวควบคุมแบบ ultimate method นั้นคิดค้นโดย Ziegler และ Nichols ในปี 1942 เรียกว่า ultimate เพราะว่าวิธีนี้ใช้ ultimate gain ซึ่งเป็นค่า gain สูงสุดก่อนที่ระบบจะไม่เสถียร และ ultimate period ซึ่งเป็นคาบเวลาสุดท้ายของผลตอบสนองของระบบก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะไม่เสถียรมาใช้ในการหาค่าต่างๆของตัวควบคุมดังรูปที่ 2.10 แสดงถึงผลตอบสนองของระบบ closed-loop ที่มีการควบคุมแบบ proportional โดยที่ค่า K_u คือค่า ultimate gain ที่ทำให้เกิด curve B และ P_u คือ ultimate period ในการหาค่า K_p และ P_u นั้นจะทำได้โดยการปรับค่า gain K_p ของตัวควบคุม PID (โดยให้ค่าของ T_i เป็นอินฟินิตี้และ T_d เป็นศูนย์ซึ่งทำให้ระบบอยู่ภายใต้การควบคุมแบบ proportional เท่านั้น)จนทำให้ผลการตอบสนองของระบบ closed-loop เกิดการ oscillate ต่อเนื่องกันไปนั่นก็คือค่า gain K_p และคาบเวลาของการ oscillate ก็คือ P_u

Ziegler และ Nichols ได้กำหนดความสัมพันธ์ในการปรับค่าต่างๆของตัวควบคุมดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ proportional (P)

$$K_p = 0.5 K_u$$

2. ตัวควบคุมแบบ proportional+integral (PI)

$$K_p = 0.45 K_u$$

$$T_i = P_u / 1.2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวควบคุมแบบ proportional+derivative (PD)

$$K_p = 0.6 K_u$$

$$T_d = P_u / 8$$

4. ตัวควบคุมแบบ proportional+integral +derivative (PID)

$$K_p = 0.6 K_u$$

$$T_i = 0.5 P_u$$

$$T_d = P_u / 8$$

ค่าต่างๆของตัวควบคุมแต่ละแบบนี้จะทำให้ผลตอบสนองของระบบอยู่ภายใต้อัตราการเสื่อม 1/4

2. Damped Oscillation Method

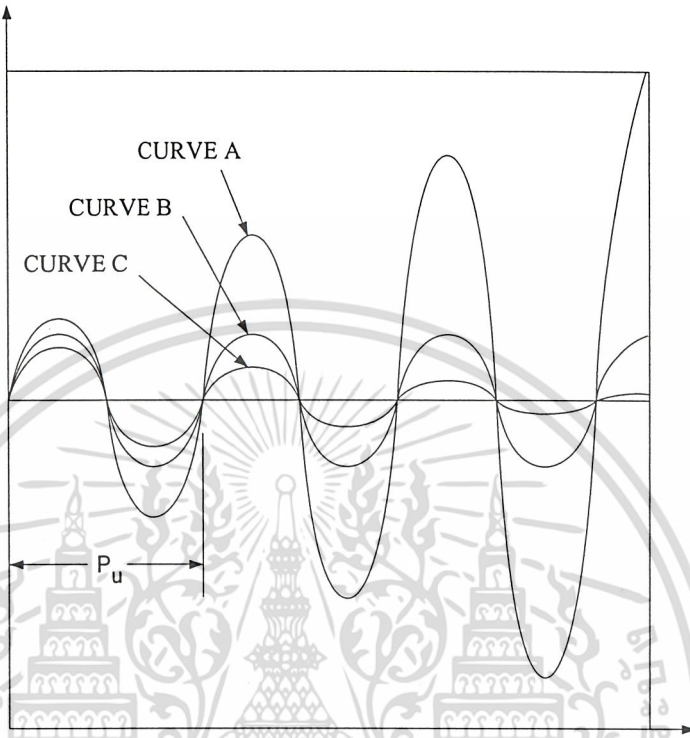
วิธี Damped Oscillation นั้นได้ปรับปรุงแก้ไขมาจากแบบ ultimate method โดย Harriott กล่าวคือในกรณีของระบบแม้ว่าจะปรับค่าของ gain ไปอย่างไรก็ตามก็ไม่ทำให้ผลตอบสนองเกิดการ oscillate นั้นไม่สามารถที่จะใช้วิธีของ ultimate method ดังนั้น Harriott จึงได้คิดค้นวิธี damped oscillation โดยวิธีนี้จะปรับค่า gain K_p ของระบบ closed-loop จนมีอัตราการเสื่อม 1/4 แล้ววัดช่วงของ P ดังรูปที่ 2.9 ทำให้สามารถหาค่าของ T_i และ T_d ได้ดังนี้

$$T_i = P/1.5$$

$$T_d = P/6$$

เมื่อได้ค่าของ T_i และ T_d แล้วจะต้องทำการปรับค่า gain K_p ของระบบที่มีตัวควบคุมแบบ PID ใหม่จนกระทั่งผลตอบสนองของระบบได้อัตราการเสื่อม 1/4

ข้อเสียของวิธีการของระบบ closed-loop ทั้งสองวิธีที่กล่าวมานี้มองเห็นได้ชัดคือเป็นการลองผิดลองถูก(trial and error) ซึ่งต้องใช้เวลามากพอสมควรในการหาค่า K_u ที่ทำให้ผลตอบสนองของระบบเกิดการ oscillate ต่อเนื่องกันไปหรือค่าของ gain ที่ทำให้ผลตอบสนองของระบบมีอัตราการเสื่อม 1/4 อนึ่งอินพุทที่ป้อนให้กับระบบเป็น unit step



รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองของระบบ closed-loop เพื่อใช้หาค่าของ K_u และ P_u โดยที่

Curve A นั้นระบบจะไม่เสถียร

Curve B ผลตอบสนองของระบบเกิดการ oscillate ต่อเนื่อง

Curve C ผลตอบสนองของระบบที่เสถียร

บทที่ 3

ส่วนประกอบและการทำงานของวงจร

3.1 ส่วนประกอบของวงจร

เครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่ทำงานร่วมกันดังต่อไปนี้

1. ส่วนประมวลผล
2. ส่วนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
3. ส่วนปรับ Volt referent ของ ADC
4. ส่วนควบคุมเวลาและเก็บข้อมูลใน Ram
5. ส่วน Switch เซตค่า
6. ส่วนแสดงผล
7. ส่วนให้ความร้อน
8. ส่วนแสดงสัญญาณ Alarm
9. ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง

3.1.1 ส่วนประมวลผล

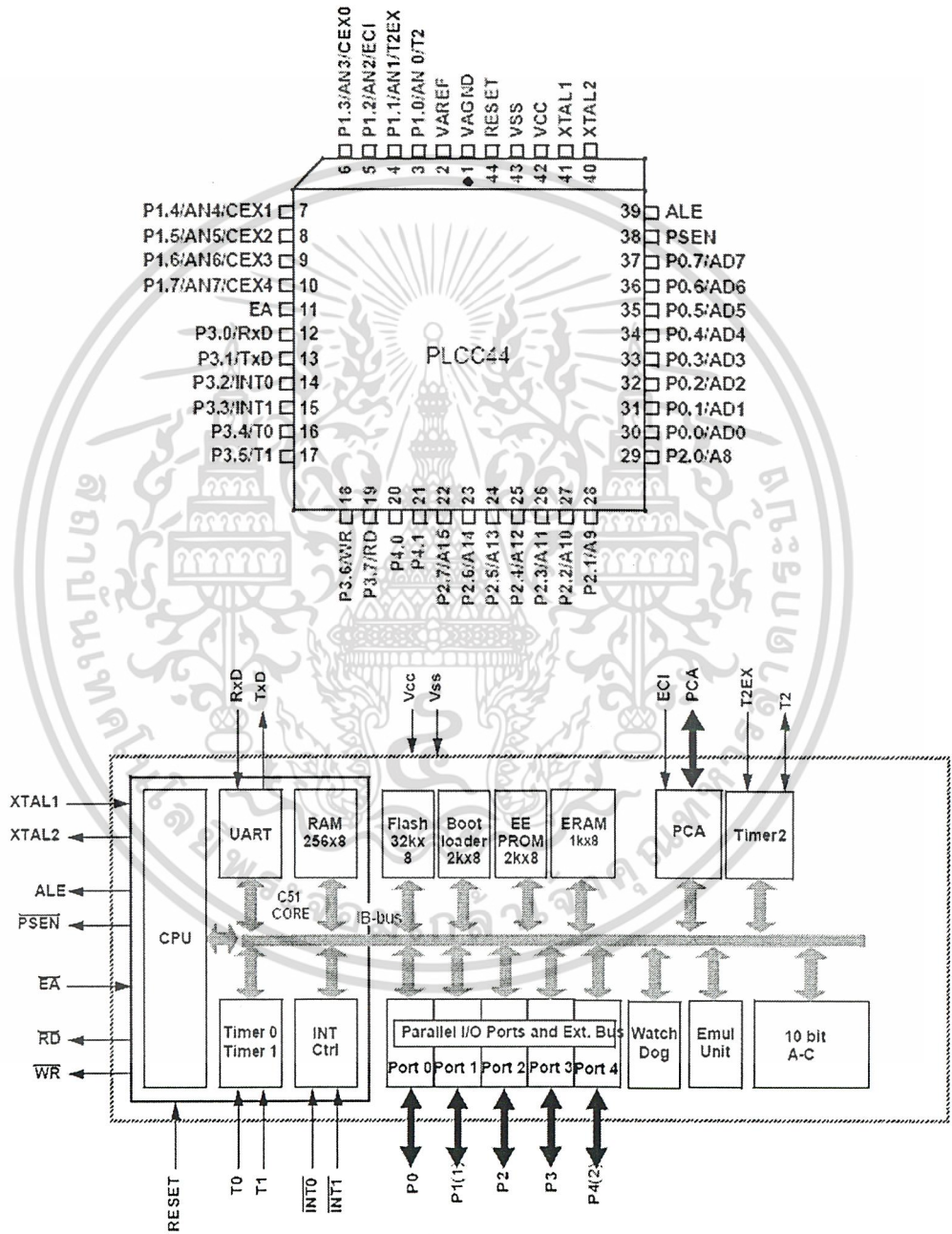
ในส่วนของการประมวลผลของเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิดเราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51AC2

คุณสมบัติเบื้องต้นของ Microcontroller ในตระกูล MCS-51 จะมีดังนี้

- มี Core CPU ที่เป็น 8-Bit และชุดคำสั่งที่เหมาะสมในงานควบคุม และสามารถประมวลผลทาง Logic กับข้อมูลในระดับ BIT ได้
- 32K BYTE โปรแกรมแบบ FLASH สำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูล
- 2K BYTE EEPROM
- มีหน่วยความจำ ข้อมูล (RAM) 256 Bytes ภายใน และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำข้อมูล ได้ ถึง 64K,ERAM (Expanded Ram) ขยายเพิ่มอีก 1024 Byte โดยใช้คำสั่ง MOVX
- มี Port ที่เป็นได้ทั้ง I / O ทั้งหมด 5 port และสามารถใช้งานได้ในระดับ BIT
- มีส่วน Timer / Counter ขนาด 16 Bit 3 ชุด สำหรับใช้ในการจับเวลา หรือนับจำนวน
- A TO D ขนาด 10 BIT 8 CHANNEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความถี่ CRYTAL สูงสุด 40 MHz คือ ความถี่ CRYTAL 20 MHz x2 MODE
- PWM ขนาด 8 bit



รูปที่ 3.1 การจัดขาสัญญาณและ Block Diagram ของ AT89C51AC2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วนวัดอุณหภูมิ

ในการออกแบบส่วนตรวจวัดอุณหภูมิ จะใช้ตัวตรวจจับเบอร์ LM 35 การทำงานของ LM 35 จะทำการตรวจจับอุณหภูมิแล้วจะทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่วัดได้มาเป็นค่าของแรงดันในระดับหน่วยมิลลิโวลต์ และส่งระดับแรงดันนี้ไปยัง Port 1.0 ที่ Microcontroller เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งไอซีเบอร์ LM 35 มีข้อมูลที่น่าสนใจดังนี้

- ตอบสนองต่ออุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส
- มีความเป็นเชิงเส้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงแรงดัน 10mV ต่อ องศาเซลเซียส
- ตอบสนองอุณหภูมิในช่วง -55 องศาเซลเซียส ถึง 150 องศาเซลเซียส
- ทำงานในช่วงแรงดันไปเลี้ยง 4-30 โวลต์
- การใช้งานมีอุปกรณ์ต่อรวมน้อยมาก

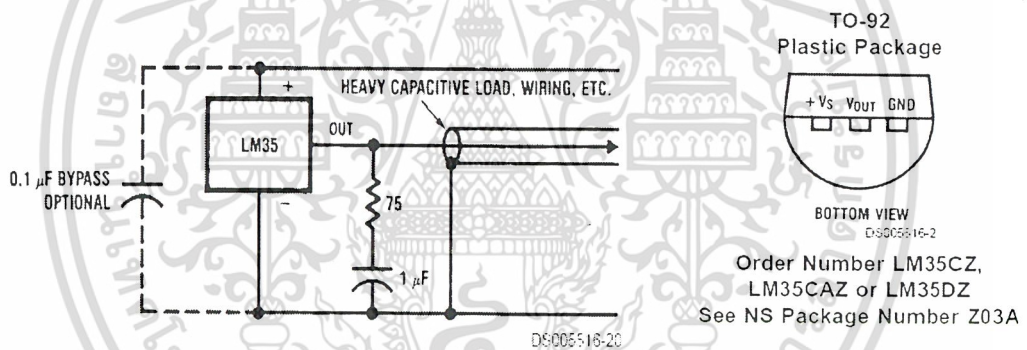


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

รูปที่ 3.2 การต่อใช้งาน LM35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

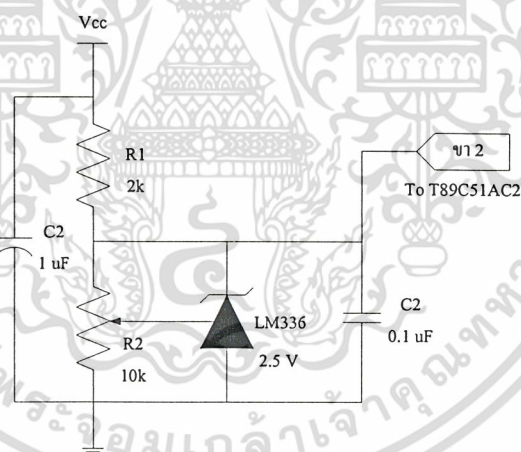
3.1.3 ส่วนปรับ Volt referent ของ ADC

ส่วนปรับ Volt referent ของ ADC นั้นเราใช้ไอซี LM336 ต่อเป็นวงจรดังรูปที่ 3.3 โดยมีหลักการปรับ Volt referent ดังนี้

$$V_{REF} = (2^{\text{จำนวนbit ของADC}}) * (\text{ค่า Volt ใน 1 step})$$

ในโครงการนี้ - ใช้ ADC ขนาด 10 bit
 - ต้องการความละเอียดในการวัดอุณหภูมิ 0.25°C ต่อ 1 step ซึ่ง LM336 มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน 10 mV ต่อ 1°C ดังนั้น 1 step ก็คือ 2.5 mV ได้

$$V_{REF} = (2^{10}) * (2.5 \times 10^{-3}) = 2.56\text{ V}$$

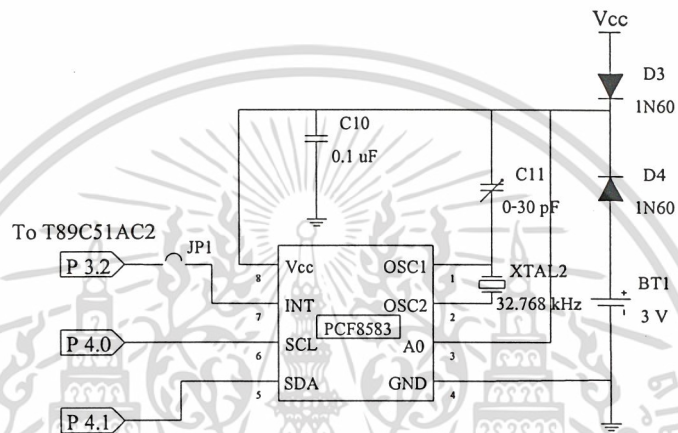


รูปที่ 3.3 วงจรปรับ Volt referent ของ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ส่วนควบคุมเวลาและเก็บข้อมูลใน Ram

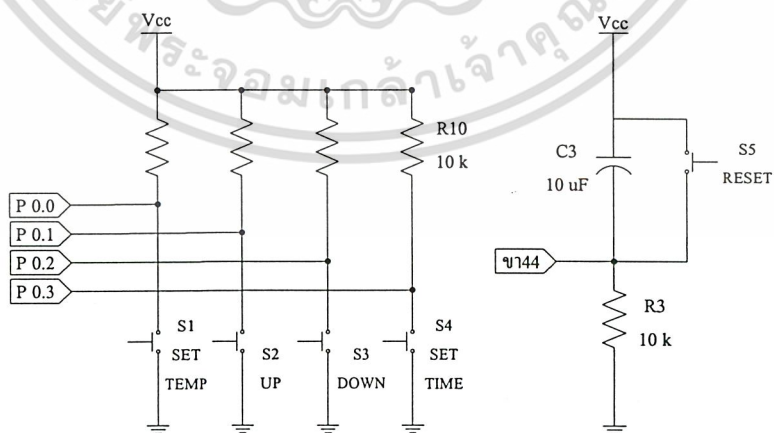
ในส่วนของเวลาจะใช้ไอซี Real Time เบอร์ PCF 8583 ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารโดยใช้มาตรฐาน I²C โดยไอซีรีลไทม์คล็อก ให้ข้อมูลตั้งแต่วันที่จนถึงปี รวมถึงปรับวันในปีอธิกสุรทินด้วย มีหน่วยความจำแรม 240 ไบต์ 8 บิต สามารถรักษาข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง รายละเอียดสามารถดูได้จากภาคผนวก



รูปที่ 3.4 วงจรส่วนควบคุมเวลาและเก็บข้อมูลใน Ram

3.1.5 ส่วน Switch เซตค่า

ส่วน Switch เซตค่าจะต่อกับ พอร์ต 0 เนื่องจาก มีตัวต้านทาน Pull-up ทำให้สถานะพอร์ตเป็น 1 ตลอด เมื่อกด Switch ก็จะเป็นค่า 0 จึงสามารถเขียน โปรแกรมให้รับค่า Low ได้



รูปที่ 3.5 วงจรส่วน Switch เซตค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

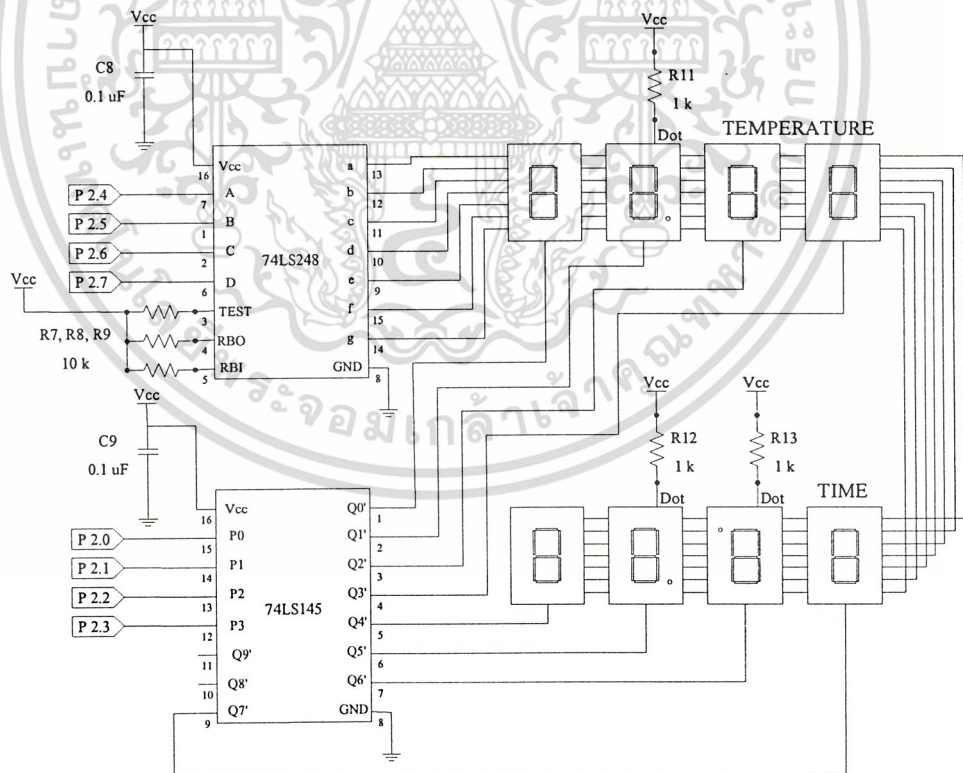
3.1.6 ส่วนของการแสดงผล

ในส่วนของการแสดงผลนั้นจะแสดงทั้งอุณหภูมิและเวลา ออกทาง 7 segment จำนวน 8 ตัว ซึ่งเป็นส่วนของการแสดงผลอุณหภูมิ 4 ตัว และแสดง เวลาอีก 4 ตัว โดยใช้ไอซีสำหรับขับ 7 segment จำนวน 2 ตัวต่อรวมกันคือ

IC เบอร์ 74LS248 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่ แปลง จาก BCD to 7 segment และ

IC เบอร์ 74LS145 ซึ่งเป็น ไอซี Decoder/Driver Open Collector สามารถต่อกับ 7 segment แบบ Common cathode ได้ถึง 10 ตัว

โดยไอซีทั้ง 2 ตัว จะรับข้อมูลจาก พอร์ต 2.0 – 2.7 โดย พอร์ต 2.0 – 2.3 นั้นจะต่อกับขา P0 – P3 ของ ไอซีเบอร์ 74LS145 เพื่อนำค่าลอจิกทั้ง 4 มาเป็นตัวเลือกให้ 7 segment แต่ละตัวให้ทำงาน ส่วน พอร์ต 2.4 – 2.7 นั้นจะต่อกับ ไอซีเบอร์ 74LS248 เพื่อนำมาแปลงเป็นตัวเลขออกทาง 7 segment แต่ละตัวในเวลาเดียวกับที่ 7 segment ตัวนั้นถูกเลือกให้ทำงาน โดย ไอซี 74LS145 ซึ่งลักษณะการต่อวงจร จะเป็นดังรูปที่ 3.6

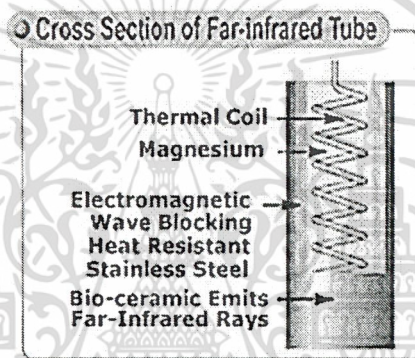


รูปที่ 3.6 วงจรส่วนของการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

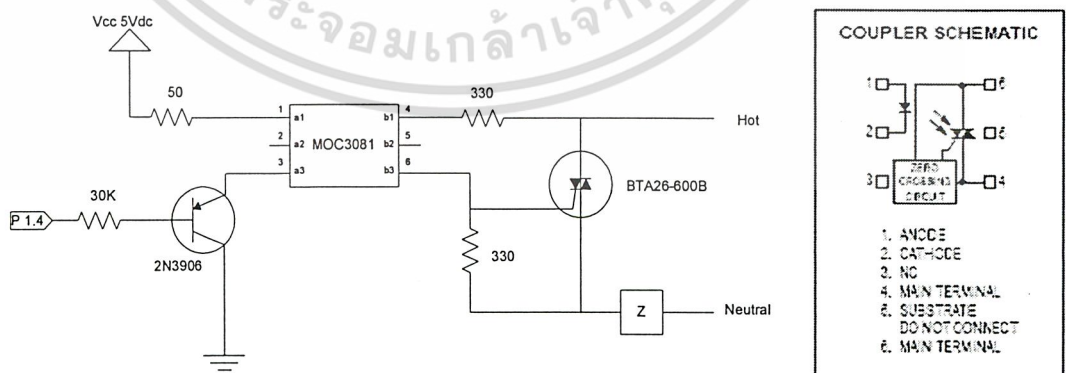
3.1.7 ส่วนให้ความร้อน

ในส่วนให้ความร้อนแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้คือ แท่งอินฟราเรด เซรามิก ฮีตเตอร์ (Infrared Ceramic Heater) เป็นแท่งเซรามิกทำความร้อนที่กระจายรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว พลังงานที่แผ่ออกมานี้สามารถทะลุผ่านเข้าไปทำให้โมเลกุลของวัตถุนั้นๆ เกิดการสั่นสะเทือนมากกว่าปกติเป็นผลให้วัตถุนั้นร้อนเร็วมากเป็นพิเศษ นอกจากนั้นพลังงานที่แผ่ออกมาอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้นๆ ต้องเสียไปเป็นอันตราย นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดไฟฟ้าถึง 30 – 50 เปอร์เซ็นต์อีกด้วย ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างภายในของ อินฟราเรด เซรามิก ฮีตเตอร์

วงจรที่ใช้ในการควบคุมฮีตเตอร์เป็นวงจรที่ใช้หลักการของวงจร Zero-Cross โดยการใช้ไอซี Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output เบอร์ MOC3081 เป็นตัวควบคุมการทำงานของ Triac เบอร์ BTA26-600B ซึ่งจะไปเป็นตัวควบคุมการ On-Off ของ อินฟราเรด เซรามิก ฮีตเตอร์ อีกที

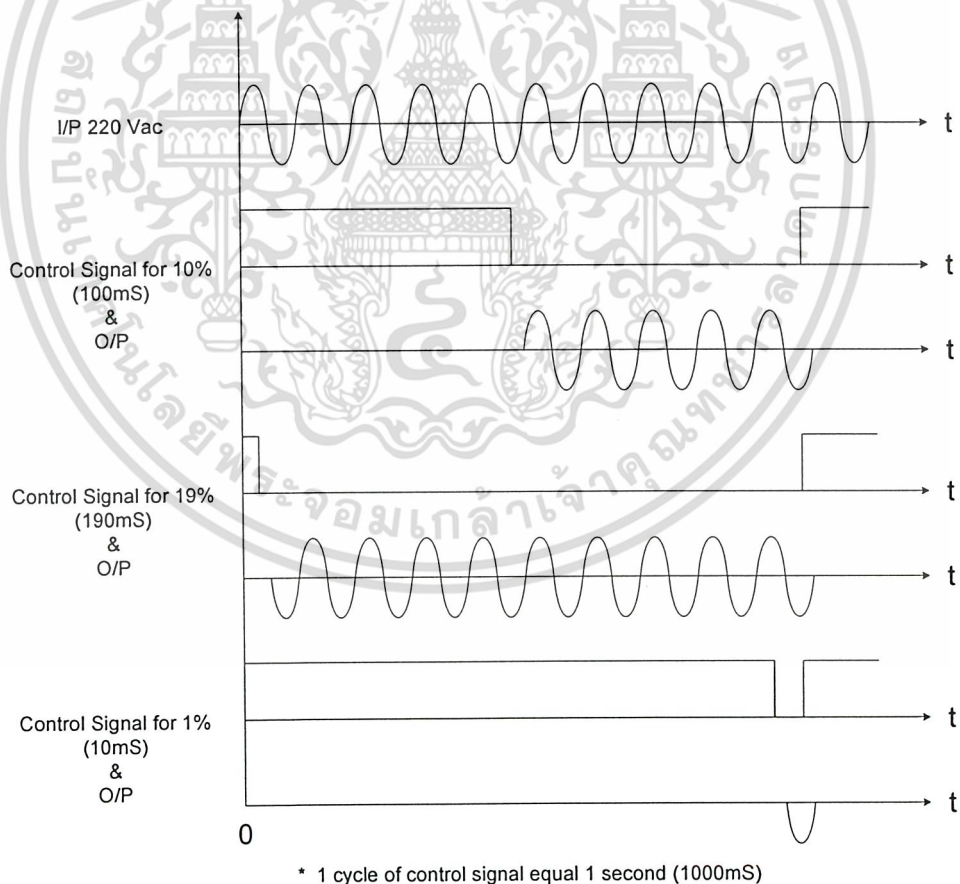


รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมการ On-Off ของฮีตเตอร์โดยใช้หลักการของวงจร Zero-Cross

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่นำไปควบคุม Heater จะเป็นหลักการแบบ PWM(Pulse Width Modulation) โดยสร้างสัญญาณความถี่ 1 Hz และเปลี่ยนแปลง duty cycle ครั้งละ 10 mS (1/2 Cycle ของไฟบ้าน 50 Hz) ตามที่ PID control กำหนดค่ามาได้ ซึ่งใน 1 Hz จะแบ่งได้เป็น 100 ส่วนพอดี ทำให้ง่ายในการคำนวณค่าของ PID control

หลักการทำงานของวงจร Zero-Cross คือวงจรจะทำงานเมื่อเราจ่ายลอจิก Low ให้กับขา B ของ Q1(2N3906) ทำให้ Q1 On เป็นเวลานานกว่าเวลา 1/2 ไซเคิลของไฟบ้าน (10 mS) (ซึ่งไฟบ้านนี้จะต่ออนุกรมกับโหลด) จึงจะทำให้วงจร Zero-Cross ภายในไอซี MOC3081 ทำงานและปล่อยให้กระแสไหลผ่าน Triac ภายในไอซีไปที่ขา gate ของ BTA26-600B ทำให้ BTA26-600B นำกระแส โหลดจึงทำงาน ถ้าเราต้องการให้กระแสไหลผ่านโหลดมากกว่า 1 ไซเคิล(ของไฟบ้าน) ก็ต้องจ่ายลอจิก Low มากกว่า 20 mS เป็นจำนวนเท่าของเวลา 1 ไซเคิล(ของไฟบ้าน) ดังแสดงในรูปที่ 3.9

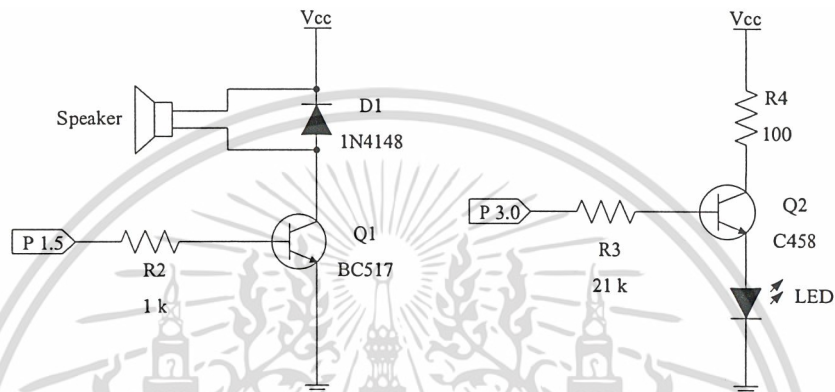


รูปที่ 3.9 การสับสวิตซ์ลงตรงจุดแรงดันตัดข้ามศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 ส่วนแสดงสัญญาณ Alarm

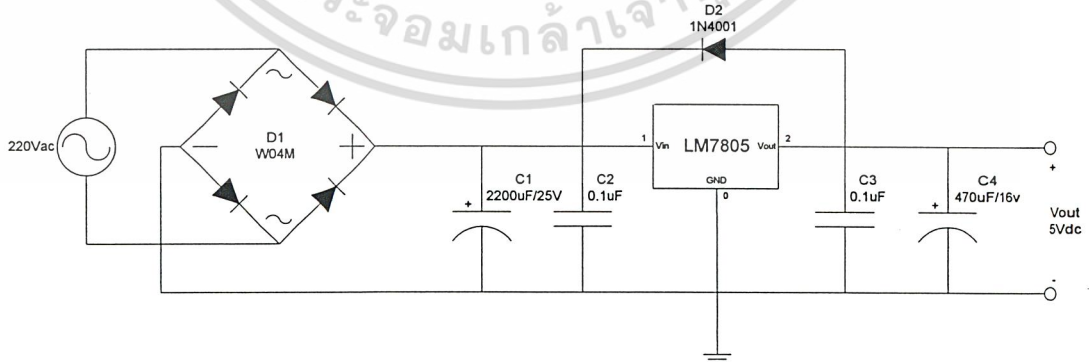
- สัญญาณเสียงและไฟสีแดงจะเตือนเมื่ออุณหภูมิที่อ่านได้ต่างจาก set point เท่ากับ 0.75°C
- สัญญาณเสียงจะเตือนเมื่อทำงานเสร็จสิ้น



รูปที่ 3.10 วงจรส่วนแสดงสัญญาณ Alarm

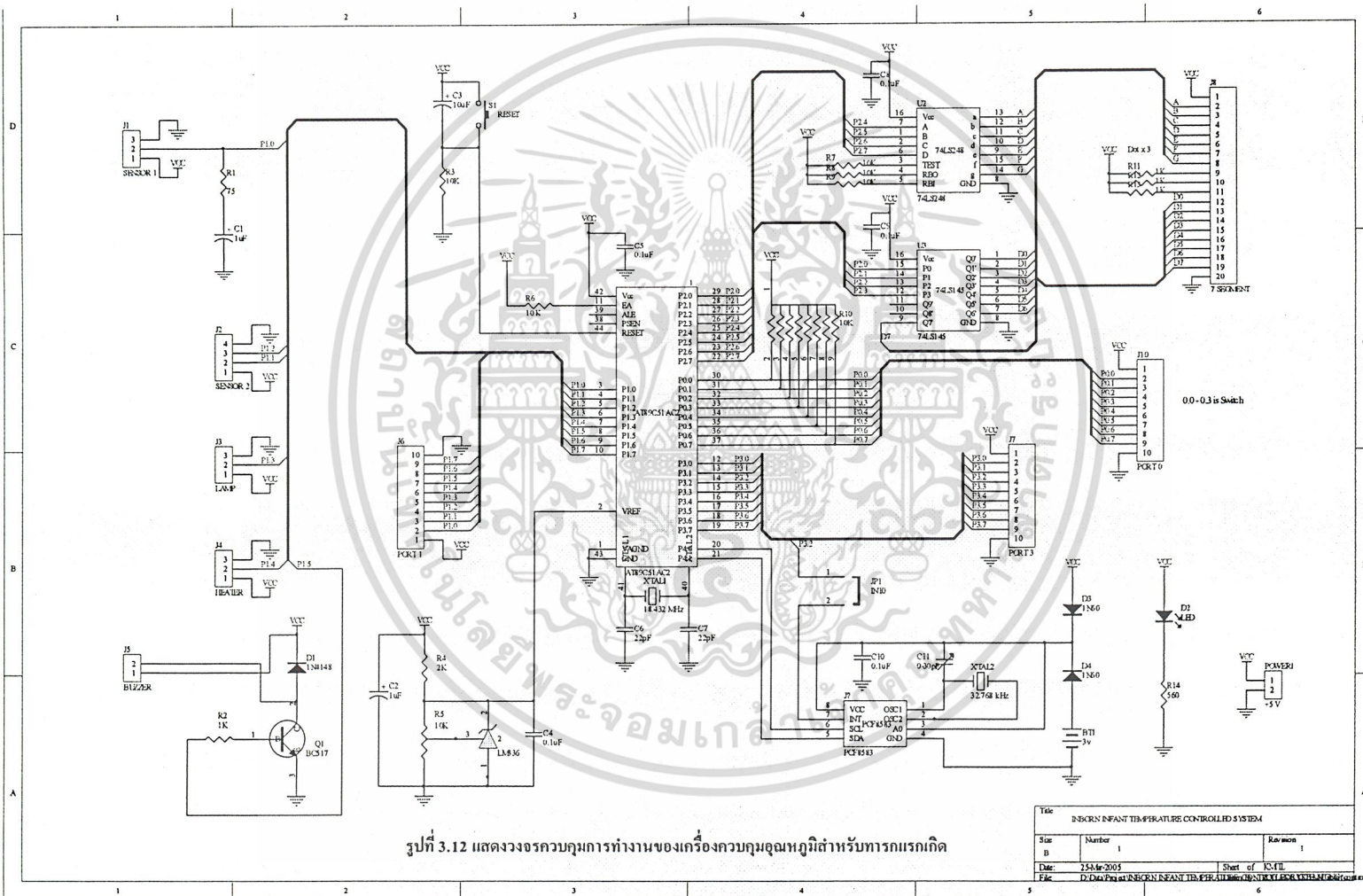
3.1.9 ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง

ส่วนจ่ายไฟเลี้ยงจะใช้ไฟเลี้ยงขนาด 5 V จำนวน 1 ชุด โดยใช้ไอซีเรกกูเรเตอร์เบอร์ 7805 ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงดังรูป



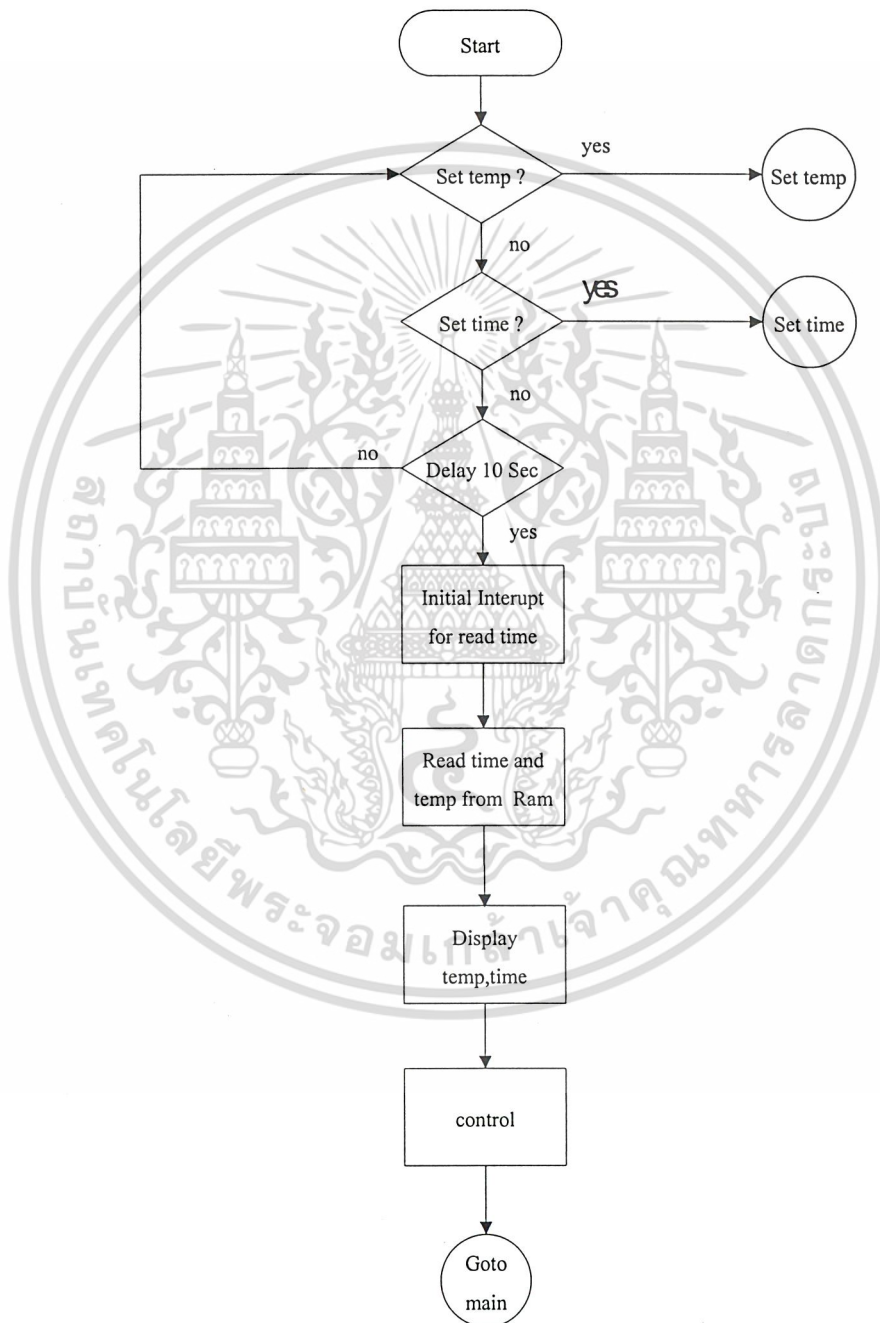
รูปที่ 3.11 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.2 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรม

Main Program



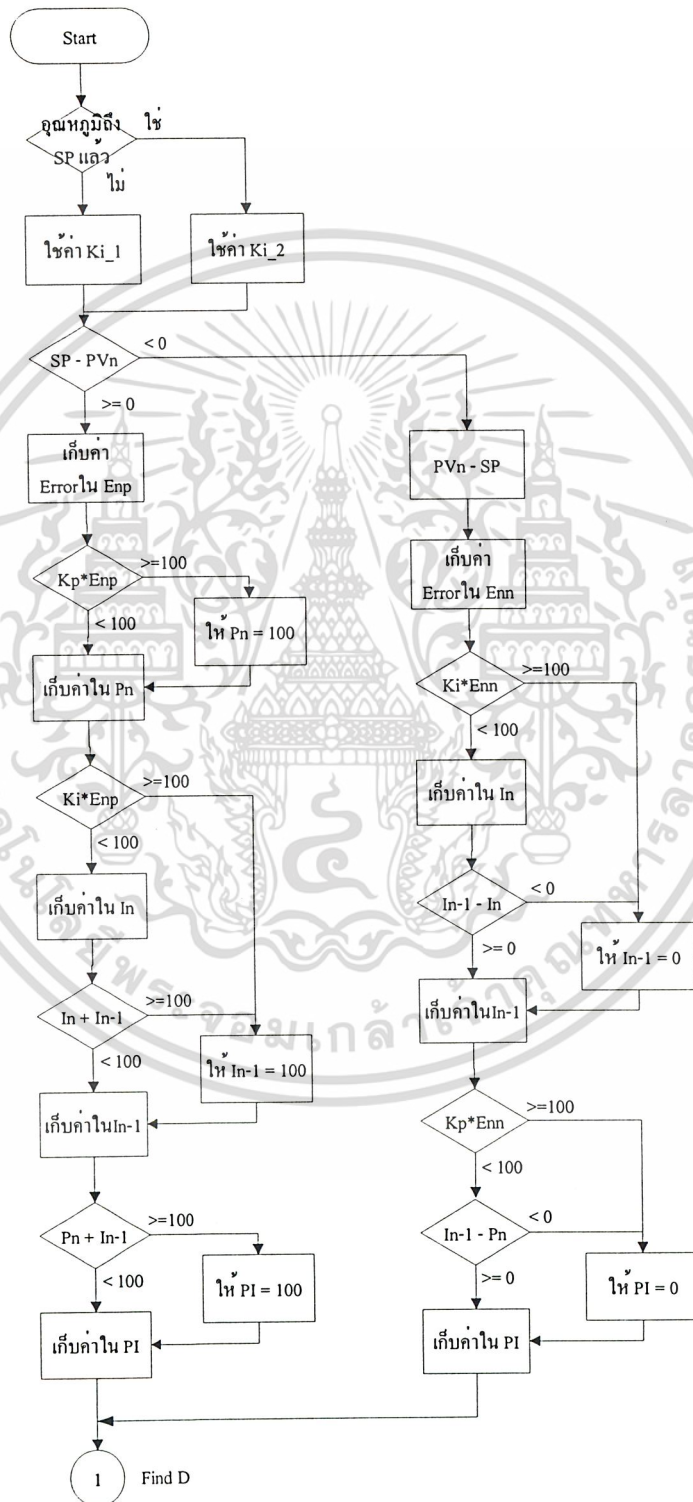
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบาย Main Program

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง โปรแกรมจะวนลูปรอรับค่าอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการให้เครื่องทำงานเป็นเวลา 10 วินาที ถ้ามีการเซตค่าก็จะทำการเก็บค่าที่เซตไว้ในหน่วยความจำแล้วทำการวนลูปใหม่เป็นเวลา 10 วินาที ถ้าไม่มีการเซตค่าใดๆอีก เมื่อครบ 10 วินาที จึงเข้าสู่โปรแกรมหลักเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้และเวลาของการทำงานที่เหลือออกไปแสดงผล จากนั้นนำค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในขณะนั้นมาประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ในตอนแรกตามหลักควบคุมอัตโนมัติแบบ PID เพื่อนำค่าที่ได้ไปควบคุมการทำงานของ Heater และทุกๆ 10 นาที จะมีการบันทึกค่าเวลาการทำที่เหลือไว้ในหน่วยความจำเพื่อให้เครื่องสามารถทำงานต่อได้ในกรณีที่ไฟฟ้าดับหรือเกิดการรีเซต แล้วไม่มีการเซตค่าใหม่



Program ส่วนควบคุม Heater



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบาย Program ส่วนควบคุม Heater

ในส่วนการควบคุมอุณหภูมิจะเขียนโปรแกรมตามสมการควบคุมแบบ PID โดยมีการคำนวณค่า P ก่อน คือนำค่า Error ที่วัดได้มาคูณกับค่า Gain ของ P ส่วนการคำนวณค่าสัญญาณควบคุมของ I ก็เช่นกันแต่ค่าของ I จะถูกสะสมขึ้นเรื่อยๆ โดยในโครงงานนี้จะใช้สัญญาณควบคุมแบบ PWM(Pulse Width Modulation)ซึ่งใช้ความถี่ 1 Hz แล้วเปลี่ยน Duty Cycle ที่ละ 10 ms ดังนั้นเราจึงเขียนโปรแกรมให้มีสัญญาณควบคุมระหว่าง 0-100 นั่นคือสัญญาณที่เก็บสะสมจึงมีค่าไม่เกิน 100 ส่วนกรณีที่ค่าอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด ค่าของสัญญาณควบคุม I และค่าของสัญญาณควบคุม P จะนำไปเสริมกับ ค่าของ I ที่สะสมก่อนหน้า เพื่อให้อุณหภูมิเร่งเข้าสู่จุดที่ต้องการ แต่กรณีที่ค่า อุณหภูมิมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด ค่าของสัญญาณควบคุม I และค่าของสัญญาณควบคุม P จะนำไปหักล้างกับค่าของ I ที่สะสมก่อนหน้า เพื่อให้อุณหภูมิลดลงเข้าสู่จุดที่ต้องการ ส่วนสัญญาณควบคุมของ D นั้นจะนำค่า Error ครั้งปัจจุบันลบกับครั้งที่แล้วเพื่อคณวโน้มของค่าอุณหภูมิเพื่อที่จะนำไปหักล้างหรือเสริมกับค่าของ PI เพื่อจะได้เป็นการหน่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งนี้เพื่อต้องการให้ค่าอุณหภูมิกลับมาสู่ค่าที่ต้องการได้เร็วขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดลองนั้นเราแบ่งการทดลองออกเป็นหลายการทดลองด้วยกัน เพื่อจุดประสงค์ดังต่อไปนี้

- ทดสอบให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติที่เลือกใช้ในงานนี้ คือระบบการควบคุมแบบ PID เทียบกับระบบการควบคุมแบบอื่นๆ
- ทดสอบให้เห็นถึงผลของค่า Parameter ต่างๆ ของระบบการควบคุมแบบ PID ว่ามีผลต่อเสถียรภาพของระบบอย่างไรเมื่อให้ค่า Parameter ที่แตกต่างกัน
- ทดสอบให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ ของเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด
- ทดสอบให้เห็นถึงความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- ทดสอบให้เห็นถึงลักษณะการกระจายความร้อนบนเตียงของเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด

จากจุดประสงค์ดังกล่าวเราสามารถทำการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้ P control, PI control, และ PID control

ในการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้ระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เมื่อเทียบกับการใช้ระบบการควบคุมแบบ P และ PI

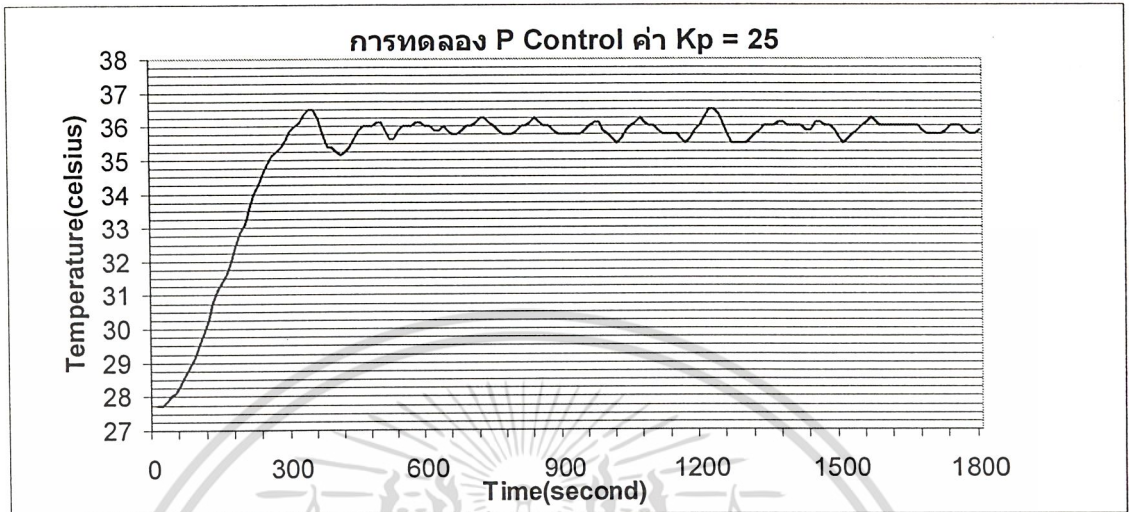
โดยในแต่ละการทดลองนั้นจะทำการทดลองภายในห้องที่มีอุณหภูมิปกติ โดยจะอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทุกๆ 10 วินาที ตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่องที่อุณหภูมิห้องปกติจนอุณหภูมิถึงจุด set point เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟ ซึ่งจะแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองเมื่อใช้ P Control

Sample rate = 2 วินาที

Kp = 25

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส



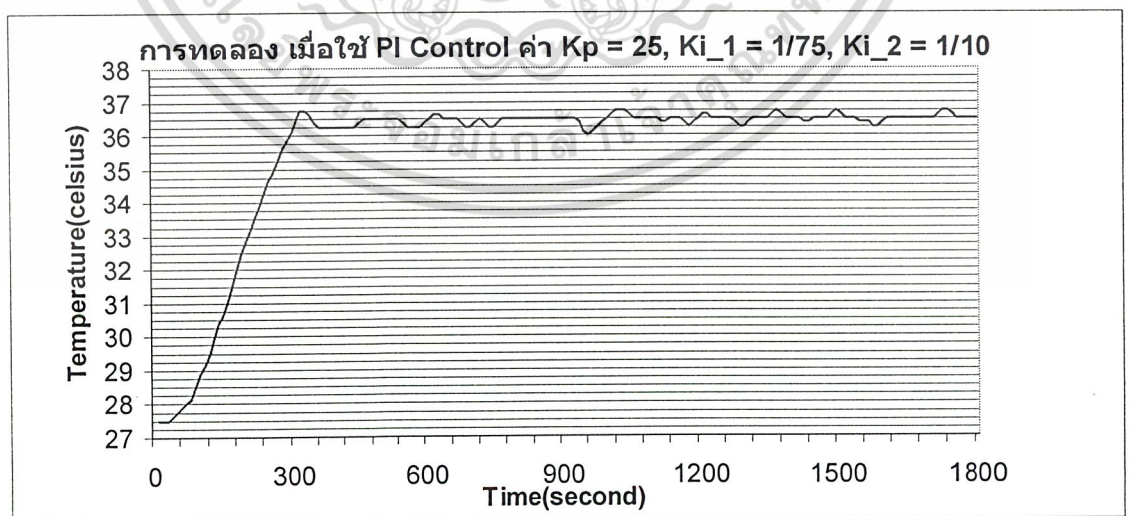
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ P control

การทดลองเมื่อใช้ PI Control

Sample rate = 2 วินาที

$K_p = 25$, $K_{i_1} = 1/75$, $K_{i_2} = 1/10$

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ PI control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเมื่อใช้ PID Control

Sample rate = 2 วินาที

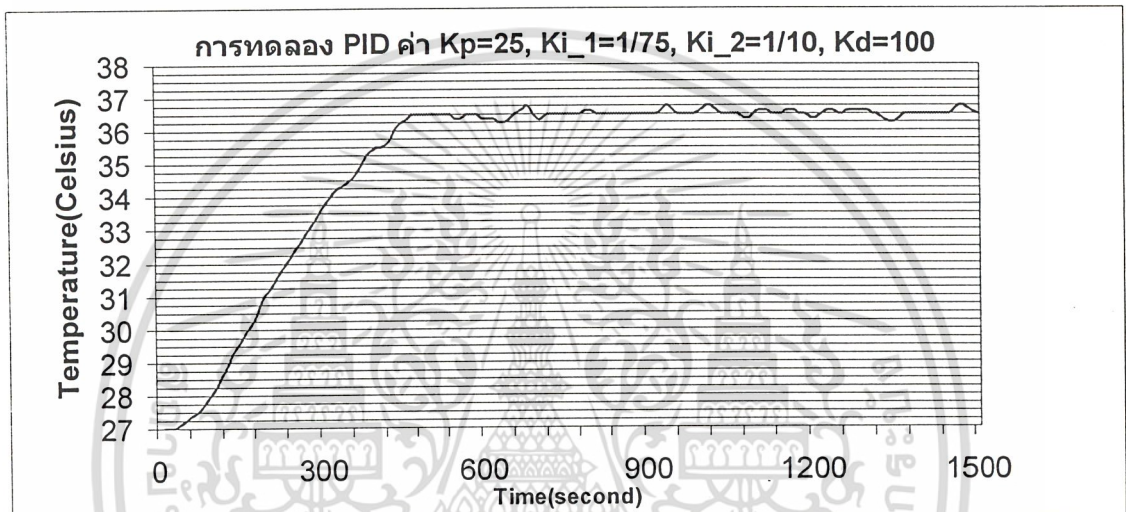
$K_p = 25,$

$K_{i1} = 1/75,$

$K_{i2} = 1/10,$

$K_d = 100$

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ PID control

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการใช้ระบบควบคุมที่แตกต่างกันดังนี้

- ระบบการควบคุมแบบ P จะเกิดการแกว่งของอุณหภูมิที่ควบคุมอย่างมากเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิถึงค่า SP แล้ว Heater จะ off (Error = 0) ทำให้อุณหภูมิลดจากค่า SP แล้ว Heater จึงทำงานใหม่ตามอัตราส่วน(proportional) เพื่อให้อุณหภูมิขึ้นถึง SP อีกครั้ง

- ระบบการควบคุมแบบ PI จะเกิดการ Overshoot เล็กน้อยในตอนแรกเนื่องจากไม่มี D (derivative) มาช่วยลดการทำงานของ Heater และเมื่อถึงสภาวะคงตัวแล้วถ้าอุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงจะใช้เวลาในการปรับให้อุณหภูมิกลับมาถึง SP นานกว่าแบบ PID เนื่องจากไม่มี D (derivative) มาช่วยเร่งให้อุณหภูมิเข้าสู่ SP เร็วขึ้น

- ระบบการควบคุมแบบ PID ให้ผลการควบคุมอุณหภูมิตีที่สุด เห็นได้ว่าแทบจะไม่มี Overshoot ในตอนแรก และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระบบจะปรับเข้าสู่ SP ได้อย่างรวดเร็ว

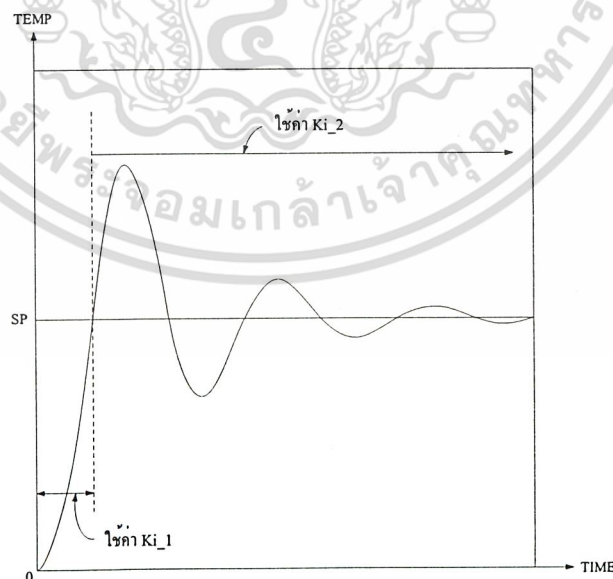
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองหาค่า Parameter (Kp, Ki, Kd) ของการควบคุมแบบ PID

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าวิธีการปรับค่าตัวควบคุมนั้นมีหลายวิธี แต่ไม่มีวิธีไหนที่เป็นที่ยอมรับกันว่าดีที่สุด กล่าวคือบางวิธีจะต้องพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยประสบการณ์ในการปรับค่าตัวควบคุม ในขณะที่บางวิธีจะต้องพิจารณาโดยอาศัยคณิตศาสตร์ จากการที่ได้ทดลองใช้วิธีการปรับค่าตัวควบคุมทั้งแบบ ultimate method และ damped oscillation method นั้น ผลปรากฏว่าไม่มีวิธีไหนที่สามารถให้ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ดีได้เลย และเป็นการยากมากที่จะทำให้ระบบเกิดการ oscillate อย่างต่อเนื่องตามวิธีของ ultimate method หรือทำให้เกิดอัตราเสื่อมเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ตามวิธี damped oscillation method สุดท้ายแล้วก็ต้องปรับค่าตัวควบคุมโดย “พิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ” ซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงแนวทางการปรับค่าตัวควบคุม โดย พิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ

ในการทดลองเราใช้ค่า Sample rate (T_s) = 2 วินาทีและเปลี่ยนแปลงค่า Parameter ต่างๆ โดยค่า K_i นั้นจะใช้ 2 ค่าตามช่วงของอุณหภูมิ คือ

- K_{i_1} ใช้ในช่วงเวลาตั้งแต่เปิดเครื่องจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) ในครั้งแรกเนื่องจากช่วงแรกใช้เวลานานกว่าอุณหภูมิจะขึ้นถึง SP และในช่วงนี้ค่า Error มีค่าสูง ค่า K_{i_1} จึงควรมีค่าน้อยโดยใช้ $K_{i_1} = 1/75$ ถ้า K_{i_1} มีค่ามากจะทำให้เกิด Overshoot มาก
- K_{i_2} ใช้ในช่วงเวลาหลังจากอุณหภูมิขึ้นถึงจุด SP ในครั้งแรก ซึ่งในการทดลองหาค่า K_i จะแสดงเฉพาะการหาค่า K_{i_2} เท่านั้น



รูปที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาของการใช้ค่า K_i ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในแต่ละการทดลองนั้นจะทำการทดลองภายในห้องที่มีอุณหภูมิปกติ โดยจะอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทุกๆ 10 วินาที ตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่องที่อุณหภูมิห้องปกติจนอุณหภูมิถึงจุด set point เป็นเวลา 25 นาที แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟ ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.2.1 การทดลองปรับหาค่า K_p ที่เหมาะสม

การทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่า ระบบจะเป็นอย่างไรเมื่อค่า K_p มีค่ามากเกินไปโดยให้ $K_p = 30$ และเมื่อค่า K_p มีค่าน้อยเกินไปโดยให้ $K_p = 20$ (ค่าที่ดีที่สุดอยู่ที่ $K_p = 25$) เพื่อให้เห็นแนวทางการปรับค่า K_p เมื่อระบบไม่เสถียรหรือยังไม่อยู่ในลักษณะที่ต้องการ โดยให้ค่า Parameter อื่นๆมีค่าดังนี้

Sample rate = 2 วินาที

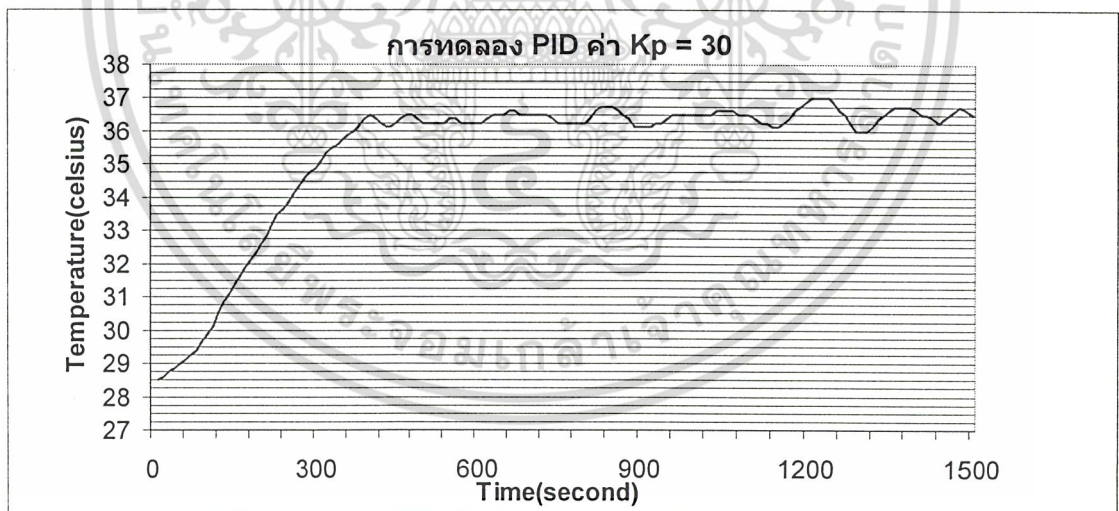
$K_i_1 = 1/75$

$K_i_2 = 1/10$

$K_d = 100$

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส

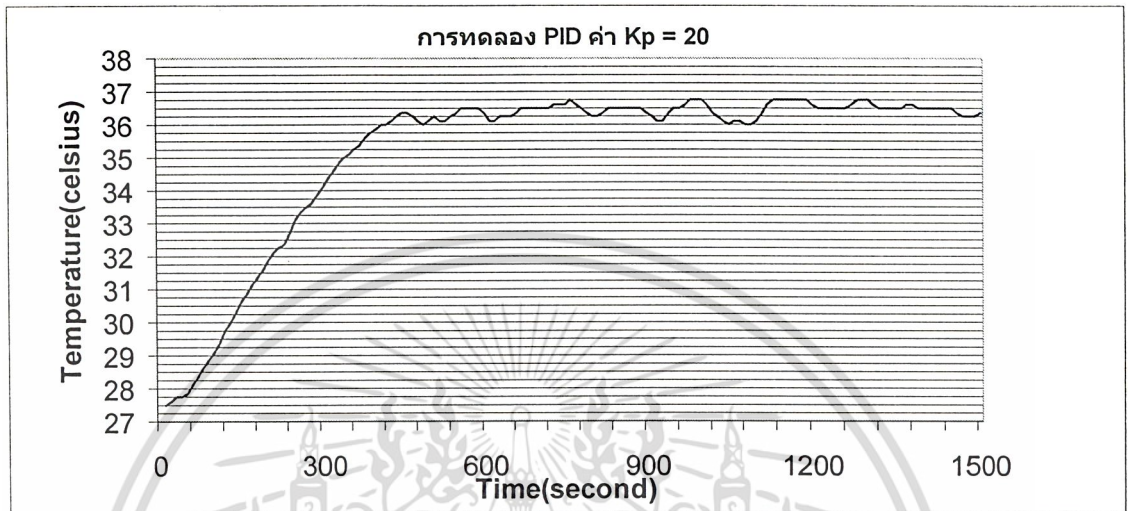
การทดลองเมื่อใช้ค่า $K_p = 30$



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_p = 30$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเมื่อใช้ค่า $K_p = 20$



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_p = 20$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสังเกตลักษณะการตอบสนองของระบบ ได้ดังนี้

- เมื่อค่า K_p มีค่ามากเกินไป (เท่ากับ 30) จะสังเกตได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากค่า set point ไปจะทำให้เกิดความไม่เสถียรภาพขึ้นเช่น ในกรณีที่อุณหภูมิเกิดต่ำกว่า set point จะทำให้ output ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมมากเนื่องจาก K_p มีค่ามาก แต่อุณหภูมิจะยังไม่เพิ่มขึ้นทันทีเนื่องจาก heater มีการตอบสนองช้าจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นใน heater เมื่อ heater คายความร้อนออกมาจึงทำให้เกิดการ overshoot ขึ้นจากนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า set point จะทำให้ output ของระบบมีค่าลดลงจากเดิมมากเนื่องจากค่า P (proportional) มีค่าเป็นลบ อุณหภูมิจึงตกลงมายัง set point อีกครั้งและเมื่ออุณหภูมิตกลงก็จะลดลงต่ำกว่า set point อีกเนื่องจาก heater มีการตอบสนองช้า จึงสรุปได้ว่าถ้า K_p มีค่ามากระบบจะรักษาอุณหภูมิให้คงที่อยู่ที่ set point ได้ค่อนข้างยาก

- เมื่อค่า K_p มีค่าน้อยเกินไป (เท่ากับ 20) จะสังเกตได้ว่าเมื่ออุณหภูมิตกลงต่ำกว่า set point จะใช้เวลานานในการทำให้อุณหภูมิเพิ่มกลับมายัง set point อีกครั้งเนื่องจาก output มีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากจึงเร่งให้อุณหภูมิลบมาได้ช้า และสังเกตได้ว่าอุณหภูมิจะมีโอกาสเกิด overshoot น้อยกว่าในกรณีที่ K_p มีค่ามากเนื่องจากเกิดความร้อนสะสมน้อยกว่า

4.2.2 การทดลองปรับค่า K_i_2 ที่เหมาะสม

การทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่า ระบบจะเป็นอย่างไรเมื่อค่า K_i_2 มีค่ามากเกินไปโดยให้ $K_i_2 = 1/5$ และเมื่อค่า K_i_2 มีค่าน้อยเกินไปโดยให้ $K_i_2 = 1/20$ (ค่าที่ดีที่สุดอยู่ที่ $K_i_2 = 1/10$) เพื่อให้เห็นแนวทางการปรับค่า K_i_2 เมื่อระบบไม่เสถียรหรือยังไม่อยู่ในลักษณะที่ต้องการ โดยให้ค่า Parameter อื่นๆมีค่าดังนี้

Sample rate = 2 วินาที

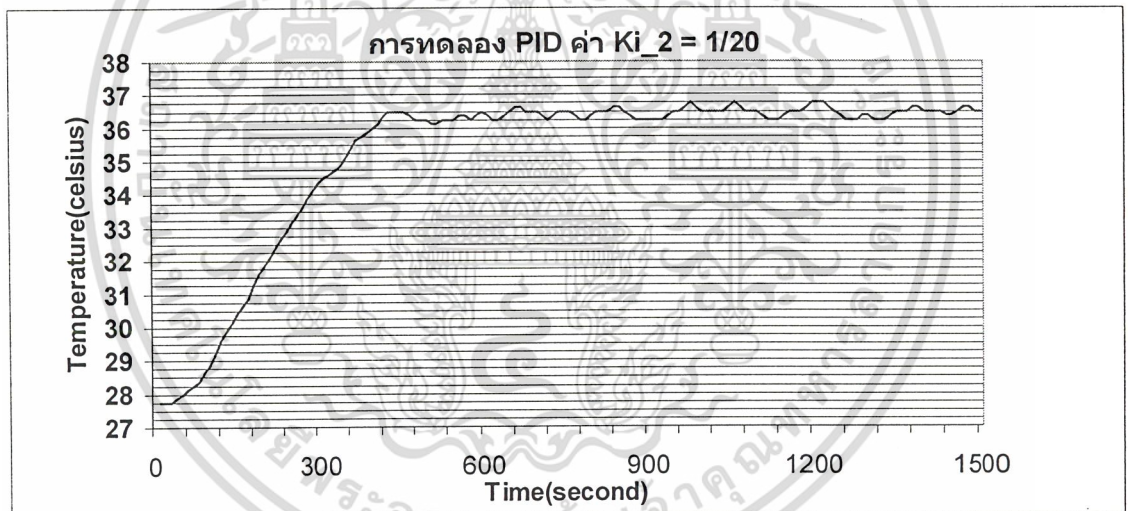
$K_p = 25$

$K_i_1 = 1/75$

$K_d = 100$

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส

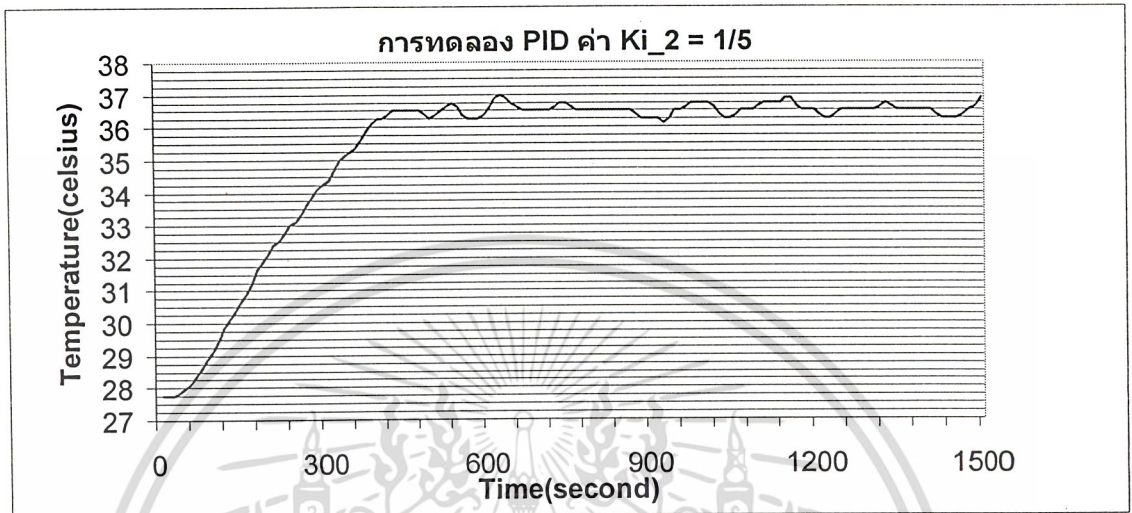
การทดลองเมื่อใช้ค่า $K_i_2 = 1/20$



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_i_2 = 1/20$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเมื่อใช้ค่า $Ki_2 = 1/5$



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $Ki_2 = 1/5$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสังเกตลักษณะการตอบสนองของระบบ ได้ดังนี้

- เมื่อค่า Ki_2 มีค่าน้อยเกินไป (เท่ากับ $1/20$) จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานเนื่องจากค่า output ที่เกิดจาก I(Integral) มีการสะสมครั้งละน้อยๆ
- เมื่อค่า Ki_2 มีค่ามากเกินไป (เท่ากับ $1/5$) จะสังเกตได้ว่าเมื่ออุณหภูมิแกว่งออกไปจากค่า set point แล้วจะทำให้เกิดลักษณะคล้ายๆกับการ Oscillate แน่นอนถ้าค่า Ki_2 มีค่ามากขึ้นกว่านี้อีกก็จะทำให้ระบบเกิดการ Oscillate อย่างแน่นอน

4.2.3 การทดลองปรับค่า K_d ที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าระบบเป็นอย่างไรเมื่อ ค่า K_d มีค่าน้อยกว่าค่าที่เหมาะสม ซึ่งค่า K_d ที่ดีมีค่าอยู่ที่ประมาณ 100

Sample rate = 2 วินาที

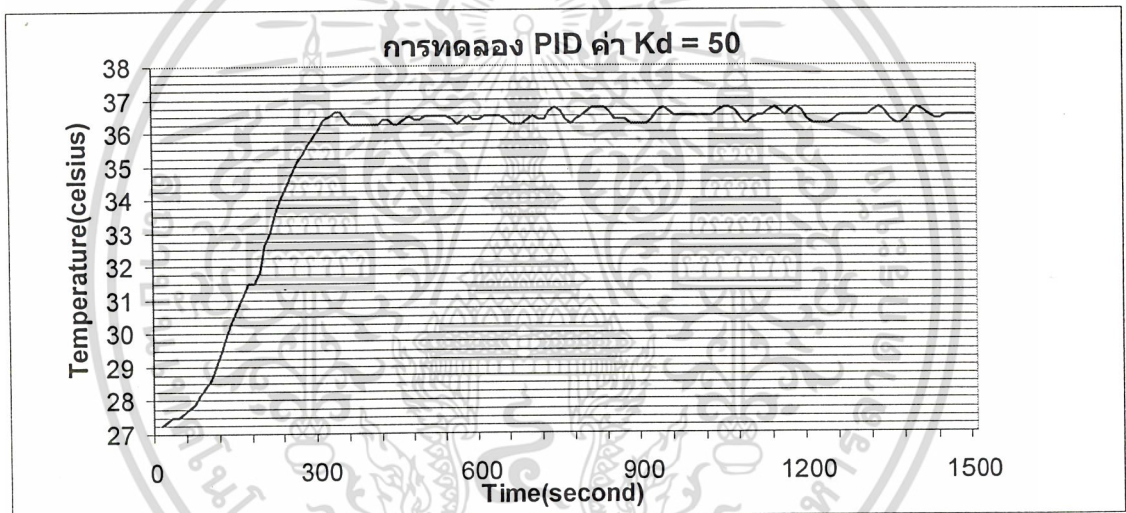
$K_p = 25$

$K_i = 1/75$

$K_d = 1/10$

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส

การทดลองเมื่อใช้ค่า $K_d = 50$



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อใช้ ค่า $K_d = 50$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิแกว่งออกจากค่า set point จะใช้เวลาในการทำให้ อุณหภูมิกลับสู่ set point มากกว่าตอนที่ให้ $K_d = 100$ (รูปที่ 4.10)

4.2.4 ผลการทดลองเมื่อได้ค่า Parameter ที่เหมาะสม

Sample rate = 2 วินาที

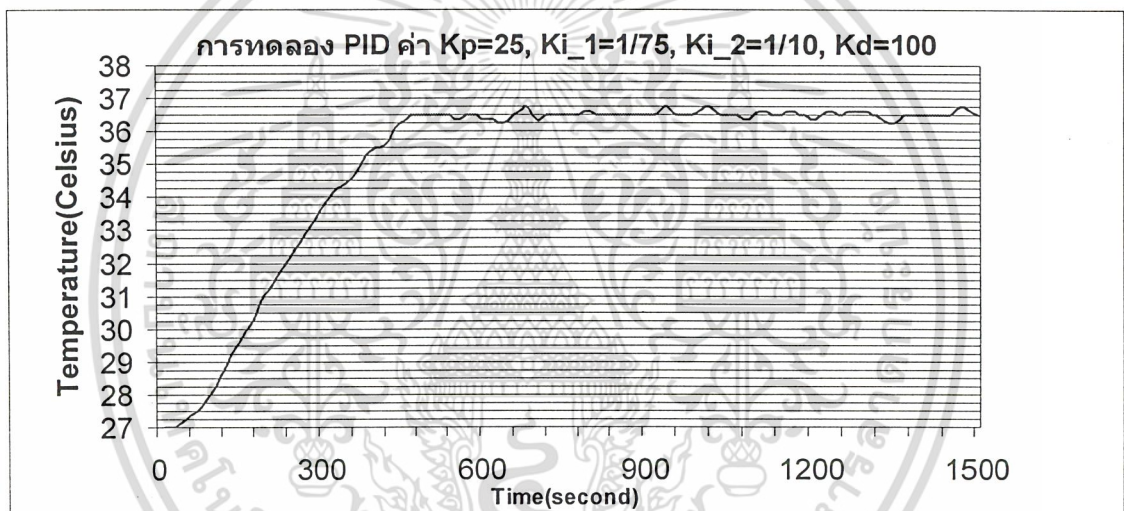
$K_p = 25$

$K_{i_1} = 1/75$

$K_{i_2} = 1/10$

$K_d = 100$

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (SP) = 36.50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อได้ค่า Parameter ที่เหมาะสม

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าระบบสามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในค่า set point ได้ค่อนข้างดีเมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบจะสามารถกลับมาสู่ set point ได้อย่างรวดเร็ว

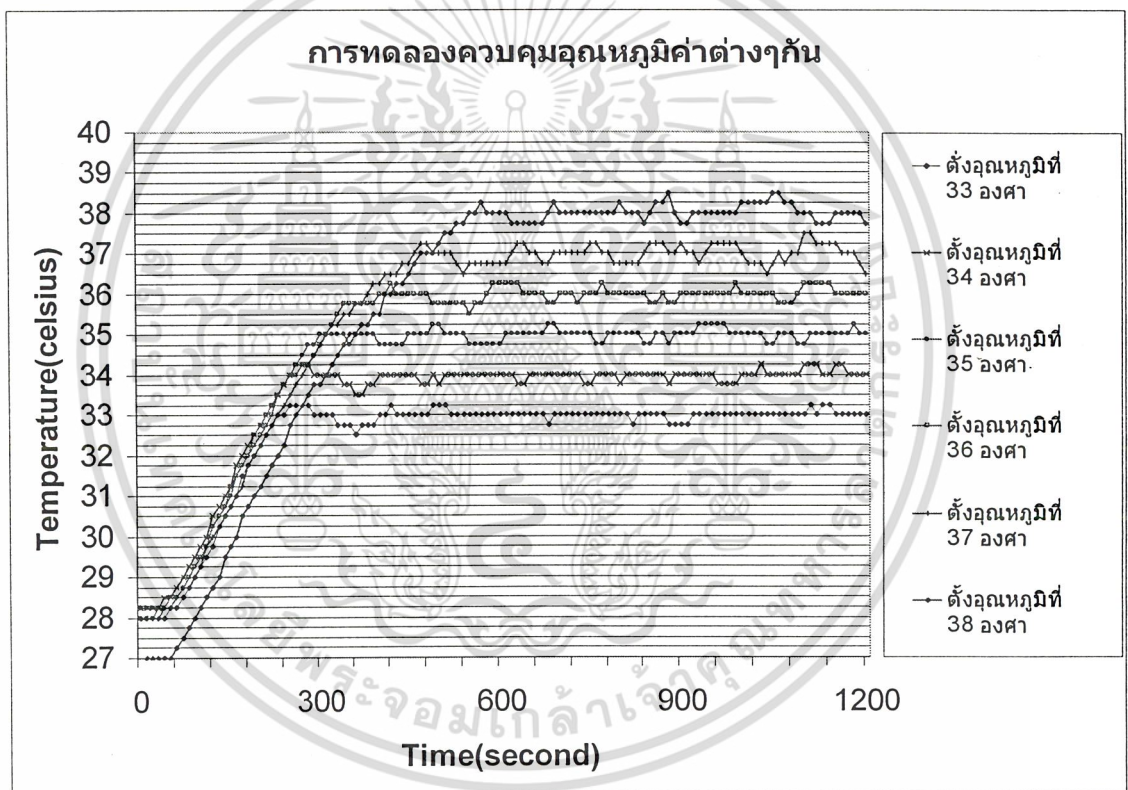
ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงค่า Parameter ใดๆ อาจจะมีผลต่อ Parameter อื่นๆด้วย ดังนั้นในการปรับค่า Parameter บางครั้งเมื่อเปลี่ยนค่า Parameter ตัวใดตัวหนึ่งแล้วอาจต้องปรับเปลี่ยนค่า Parameter ตัวอื่นๆ ตามมาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิ

ในการตรวจสอบผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิดนั้นเราจะทำการทดลองในสองสภาวะคือ

1. ทำการทดลองภายในห้องที่อุณหภูมิปกติ โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ค่าต่างๆ ตามที่นำไปใช้งานจริง คือตั้งแต่ 33.00 – 38.00 องศาเซลเซียส แล้วจะทำการบันทึกค่าของอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาที ตั้งแต่เครื่องเริ่มทำงานปรับความร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปเรื่อยๆ เป็นเวลา 20 นาที



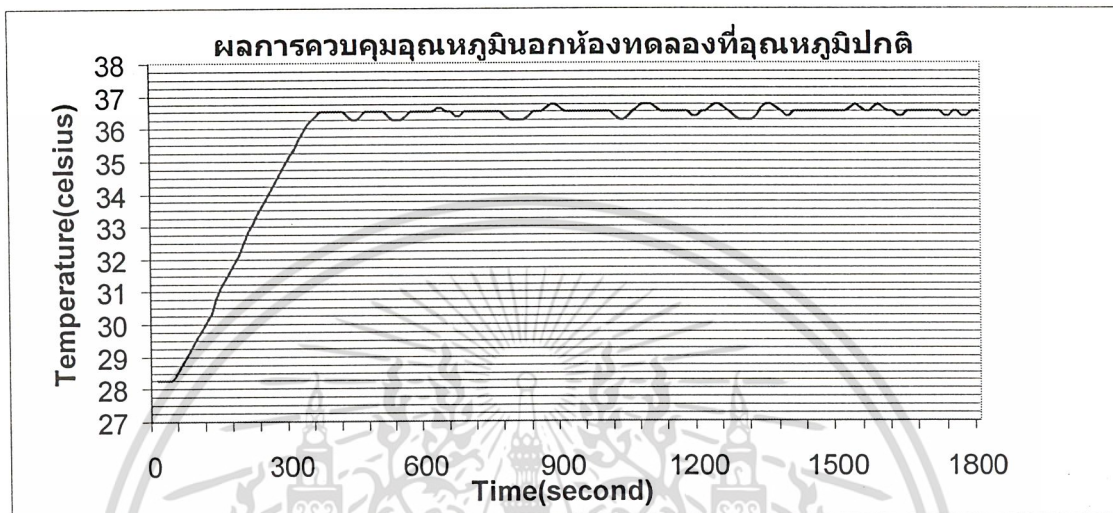
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าต่างๆกัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิดนั้นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำๆ และเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นอุณหภูมิก็เริ่มมีการแกว่งมากขึ้นซึ่งอาจเกิดจาก Power ของ Heater มีน้อยเกินไปแต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิก็แกว่งเกิน 0.25°C นานๆครั้งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการทดลองนอกห้องทดลองที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก โดยตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 36.50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อทดลองนอกห้องทดลอง

4.4 ความถูกต้องในการวัดอุณหภูมิ

ในการทดสอบความถูกต้องในการวัดอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิดนั้นเราใช้เทอร์โมมิเตอร์ปรอท Brannan ของ UK มาใช้เป็นอุณหภูมิอ้างอิง โดยการนำเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองแบบไปวัดอุณหภูมิพร้อมกัน โดยจะทำการวัดเฉพาะย่านที่ใช้งานเท่านั้นดังตารางที่ 4.1

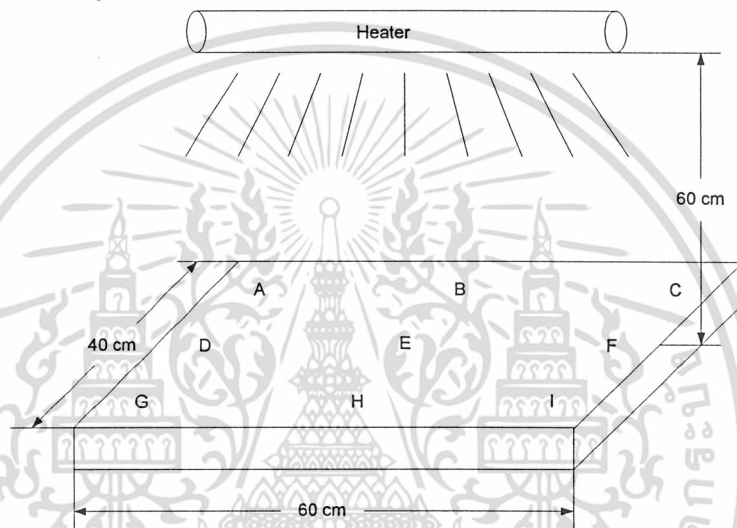
อุณหภูมิที่ตั้ง	อุณหภูมิที่วัดจาก เครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด	อุณหภูมิที่วัดจาก เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน
30.00	30.00	30.10
31.00	31.00	31.10
32.00	32.00	32.00
33.00	33.00	33.00
34.00	34.00	34.00
35.00	35.00	34.90
36.00	36.00	35.90

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบความถูกต้องของอุณหภูมิระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การกระจายความร้อนรอบบริเวณที่ใช้งาน

สำหรับผลการกระจายความร้อนที่ได้จากตัวฮีตเตอร์นั้น เราทำการทดสอบโดยการปรับฮีตเตอร์ไว้ที่อุณหภูมิคงที่ระดับหนึ่ง แล้วปล่อยให้ฮีตเตอร์แผ่ความร้อนออกมาอย่างคงที่โดยการวาง Sensor บริเวณจุด F ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้วางเซนเซอร์เมื่อใช้งานจริง จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ รอบๆ พื้นที่การใช้งานดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การทดสอบการกระจายความร้อน

จุดที่วัด	ครั้งที่ 1 (SP=32.0°C)	ครั้งที่ 2 (SP=34.0°C)	ครั้งที่ 3 (SP=36.0°C)
A	30.20	31.00	30.50
B	31.00	32.00	33.50
C	30.50	31.20	31.20
D	32.00	33.50	35.50
E	32.50	34.25	36.10
F	32.00	34.00	36.00
G	30.20	31.00	30.50
H	31.00	32.00	33.50
I	30.50	31.20	31.20

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการกระจายความร้อน ณ จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าบริเวณมุมของเตียง(จุด A, C, G, I) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้มากเนื่องจากอยู่ไกลจากระยะการแผ่ของรังสีความร้อน ส่วนบริเวณ B และ H จะมีอุณหภูมิเท่ากัน เพราะระยะการแผ่รังสีเท่ากันและอุณหภูมิของทั้งสองจุดต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ประมาณ 2 องศาเซลเซียส ส่วนจุด E ซึ่งอยู่ตรงกลางจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุด F และ D

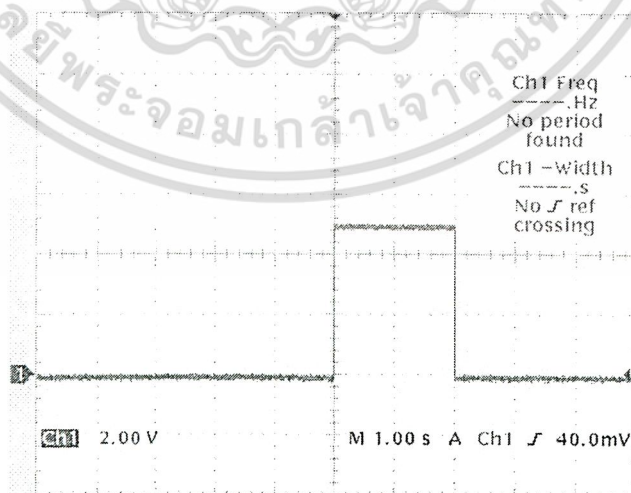
4.6 ผลการควบคุมเวลา

สำหรับการตั้งเวลานั้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง เพราะใช้ไอซีเรียลไทม์ในการควบคุมเวลาการทำงานของเครื่อง

4.7 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater

จากรูปที่ 4.14, 4.15, และ 4.16 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ออกจาก Microcontroller เพื่อไปควบคุมการทำงานของวงจร Zero-cross โดยการเปลี่ยนแปลง Duty Cycle ของสัญญาณควบคุม ความถี่ 1 Hz ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.1.5 ในบทที่ 3

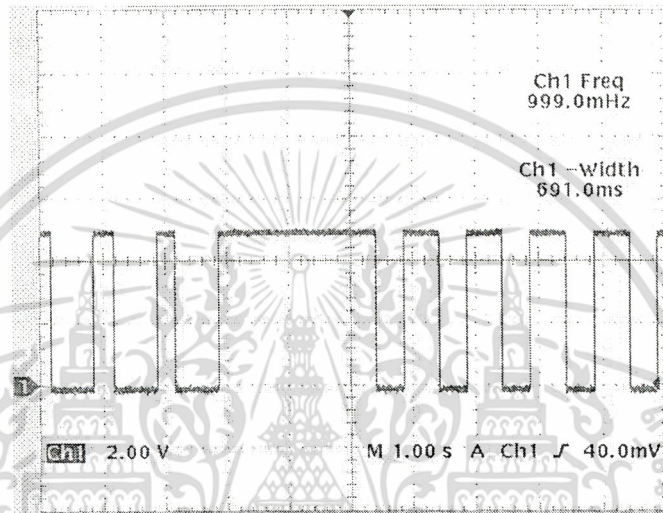
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณควบคุมวงจร Zero-cross ในตอนแรกที่เริ่มเปิดเครื่องจะเห็นว่า Output ของตัวควบคุมมีค่า 100 % (วงจร Zero-cross ทำงาน Active Low) คือ Heater ทำงานเต็มที่เนื่องจาก Error มีค่าสูง และเมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น Output ระบบจะเป็น 0 ช่วงตาม Sampling time เนื่องจากผลของค่า D (Derivative)



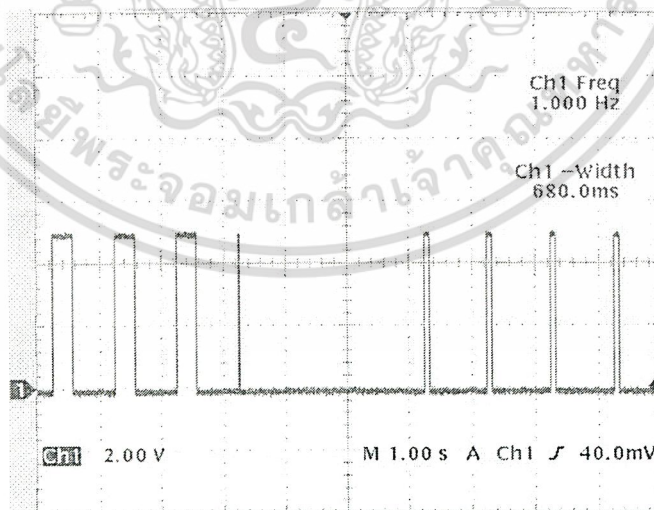
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงลักษณะของสัญญาณควบคุมในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก SP และ ลดลงจาก SP ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าค่าของ D (Derivative) จะมีผลต่อการควบคุมในช่วงที่อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงและหลังจากนั้นจะเป็นผลของค่า P (Proportional) และค่า I(Integral) ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับ ค่า Error ตามสมการ PID



รูปที่ 4.15 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก SP



รูปที่ 4.16 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Heater ในขณะที่อุณหภูมิลดลงจาก SP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลของโครงการ

โครงการนี้เป็นการออกแบบตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับเด็กแรกเกิด โดยการนำ Microcontroller ตระกูล MCS-51 เข้ามาใช้ในการประมวลผลและใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบ PID เข้ามาเป็นระบบที่ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 37 องศาเซลเซียสได้ดี โดยจะมีความผิดพลาดของอุณหภูมิตั้งที่ ± 0.25 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับความละเอียดในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง
2. สิ่งที่สำคัญในการทำให้ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ PID control ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับ การปรับแต่งค่า Parameter ต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับระบบที่เราเข้าไปควบคุม ซึ่งการปรับแต่งนั้นใช้เวลาค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องทดลองหลายครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ปรับแต่งด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่พบในโครงการ สามารถเสนอแนะแนวทางได้ดังนี้

1. ควรใช้ Sensor วัดอุณหภูมิที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงๆ กว่าไอซี Sensor LM35DZ
2. ในการหาค่า Parameter ของระบบควบคุม PID ควรทำตามวิธีทางทฤษฎีก่อนคือ ใช้วิธี Ultimate Method หรือ Damped Oscillation Method ถ้าไม่ได้ต้องการแล้วจึงปรับค่าใหม่โดยพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบร่วมด้วย
3. ในการควบคุมอุณหภูมิต่อระบบเปิดสภาวะแวดล้อมภายนอกก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จึงควรทดลองและใช้วานในห้องที่มีอุณหภูมิตั้งที่

บรรณานุกรม

1. ชีรวัดน์ ประกอบผล. “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์” พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
2. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, อินโนเวทีฟ เอ็ดจูเคชัน กรุงเทพมหานคร , 2542.
3. ประพุทธ ศิริบุญย์, อรุณ นฤประจบ . “ทารกแรกเกิด”, กรุงเทพมหานคร : โครงการตำรา-ศิริราช คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล 2533
4. รศ.ดร. กิตติ ศิริเศรษฐ. “พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม”, แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์, 2545
5. Motorola. “Optoelectronics Device Data” หน้าที่ 5-92 ถึง 5-95.
6. <http://www.atmel.com>
7. <http://www.national.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

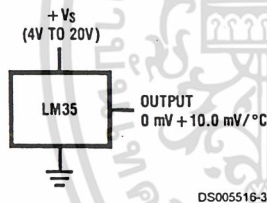
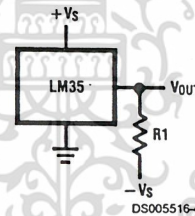


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



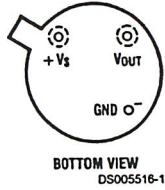
Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

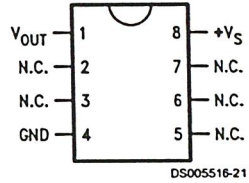
**TO-46
Metal Can Package***



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

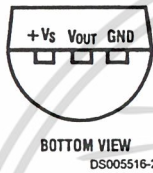
**SO-8
Small Outline Molded Package**



N.C. = No Connection

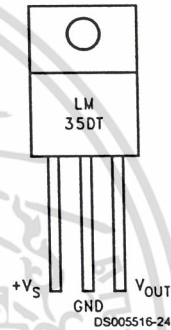
Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

**TO-92
Plastic Package**



Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

**TO-220
Plastic Package***



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W , junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

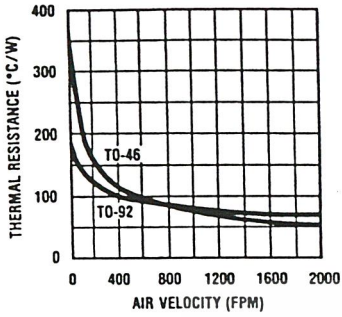
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

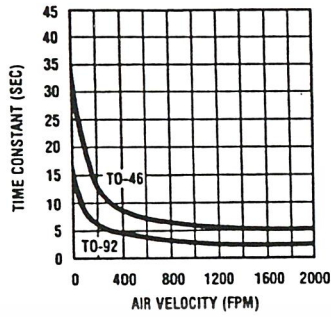
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance Junction to Air



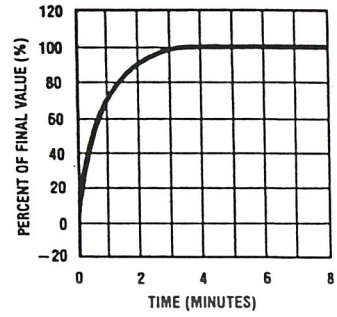
DS005516-25

Thermal Time Constant



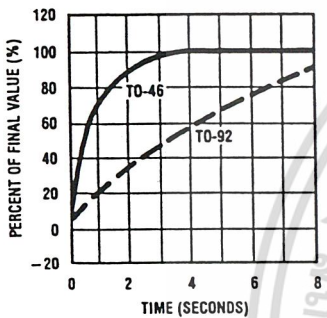
DS005516-26

Thermal Response in Still Air



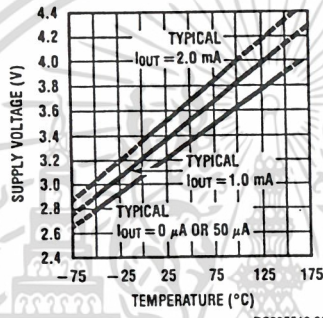
DS005516-27

Thermal Response in Stirred Oil Bath



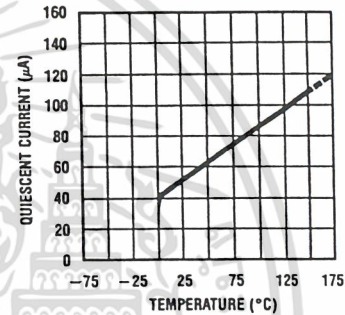
DS005516-28

Minimum Supply Voltage vs. Temperature



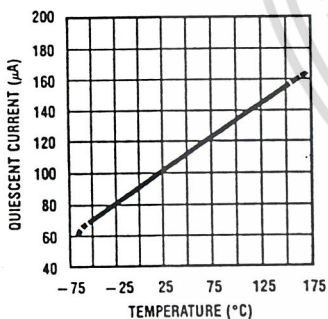
DS005516-29

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



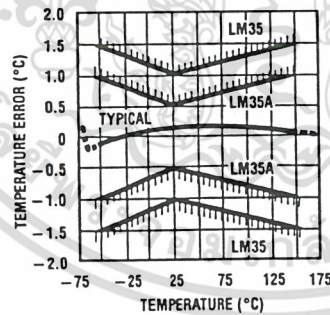
DS005516-30

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



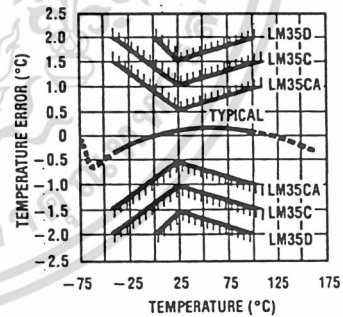
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-32

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)

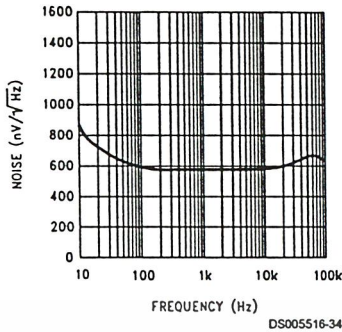


DS005516-33

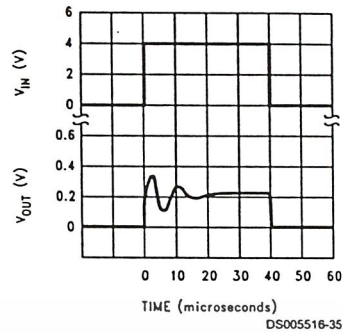
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

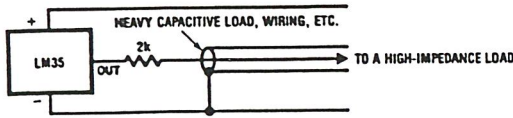
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8** small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)			(55°C/W)		

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

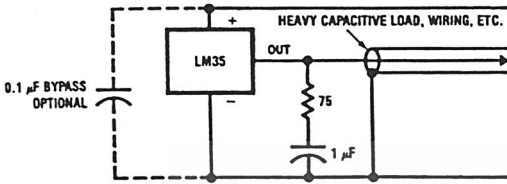
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications



DS005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



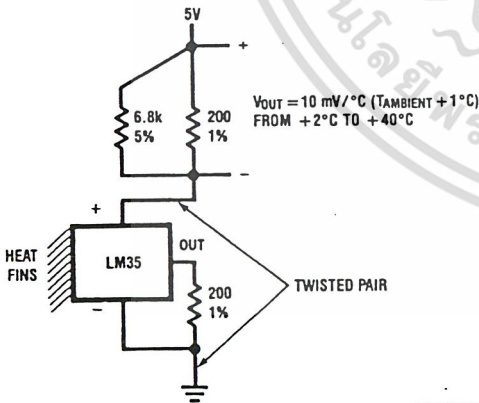
DS005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

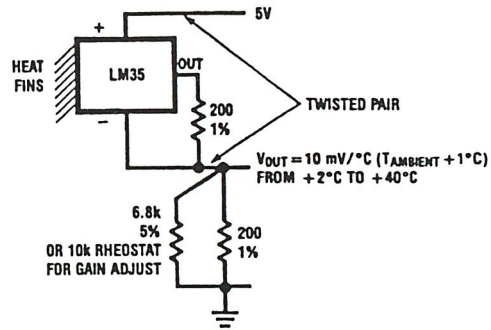
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see *Figure 3*. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see *Figure 4*.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in *Figure 5*, *Figure 6* or *Figure 8* it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in *Figure 13*, *Figure 14*, and *Figure 16*.



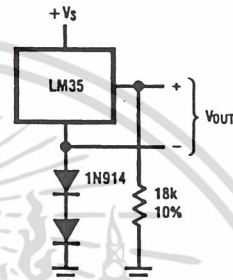
DS005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



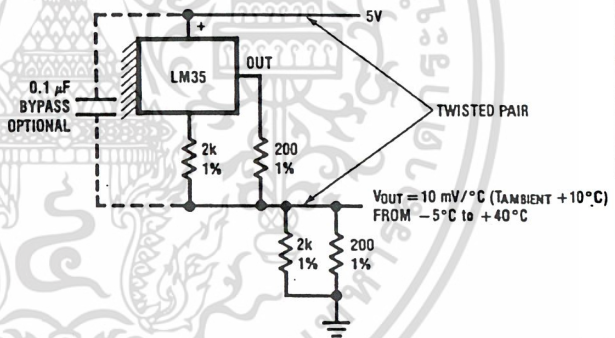
DS005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



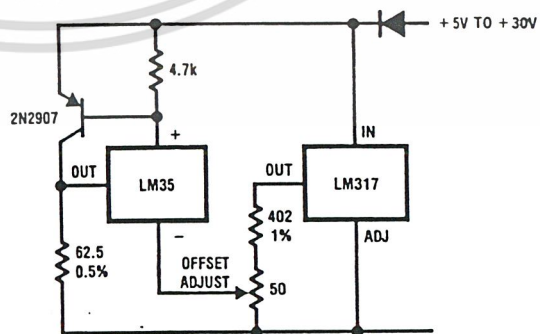
DS005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55°C to +150°C



DS005516-8

FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



DS005516-9

FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



PCF8583

Clock/calendar with 240 × 8-bit
RAM

Product specification
Supersedes data of 1997 Mar 28
File under Integrated Circuits, IC12

1997 Jul 15

Clock/calendar with 240 × 8-bit RAM

PCF8583

CONTENTS	10	LIMITING VALUES	
1	FEATURES	11	HANDLING
2	GENERAL DESCRIPTION	12	DC CHARACTERISTICS
3	QUICK REFERENCE DATA	13	AC CHARACTERISTICS
4	ORDERING INFORMATION	14	APPLICATION INFORMATION
5	BLOCK DIAGRAM	14.1	Quartz frequency adjustment
6	PINNING	14.1.1	Method 1: fixed osci capacitor
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION	14.1.2	Method 2: OSC1 Trimmer
7.1	Counter function modes	14.1.3	Method 3:
7.2	Alarm function modes	15	PACKAGE OUTLINES
7.3	Control/status register	16	SOLDERING
7.4	Counter registers	16.1	Introduction
7.5	Alarm control register	16.2	DIP
7.6	Alarm registers	16.2.1	Soldering by dipping or by wave
7.7	Timer	16.2.2	Repairing soldered joints
7.8	Event counter mode	16.3	SO
7.9	Interrupt output	16.3.1	Reflow soldering
7.10	Oscillator and divider	16.3.2	Wave soldering
7.11	Initialization	16.3.3	Repairing soldered joints
8	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS	17	DEFINITIONS
8.1	Bit transfer	18	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
8.2	Start and stop conditions	19	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS
8.3	System configuration		
8.4	Acknowledge		
9	I ² C-BUS PROTOCOL		
9.1	Addressing		
9.2	Clock/calendar READ/WRITE cycles		



Clock/calendar with 240 × 8-bit RAM

PCF8583

1 FEATURES

- I²C-bus interface operating supply voltage: 2.5 V to 6 V
- Clock operating supply voltage (0 to +70 °C): 1.0 V to 6.0 V
- 240 × 8-bit low-voltage RAM
- Data retention voltage: 1.0 V to 6 V
- Operating current (at f_{SCL} = 0 Hz): max. 50 µA
- Clock function with four year calendar
- Universal timer with alarm and overflow indication
- 24 or 12 hour format
- 32.768 kHz or 50 Hz time base
- Serial input/output bus (I²C)
- Automatic word address incrementing
- Programmable alarm, timer and interrupt function
- Slave address:
 - READ: A1 or A3
 - WRITE: A0 or A2.

2 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8583 is a clock/calendar circuit based on a 2048-bit static CMOS RAM organized as 256 words by 8 bits. Addresses and data are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus. The built-in word address register is incremented automatically after each written or read data byte. Address pin A0 is used for programming the hardware address, allowing the connection of two devices to the bus without additional hardware.

The built-in 32.768 kHz oscillator circuit and the first 8 bytes of the RAM are used for the clock/calendar and counter functions. The next 8 bytes may be programmed as alarm registers or used as free RAM space. The remaining 240 bytes are free RAM locations.

3 QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V _{DD}	supply voltage operating mode	I ² C-bus active	2.5	–	6.0	V
		I ² C-bus inactive	1.0	–	6.0	V
I _{DD}	supply current operating mode	f _{SCL} = 100 kHz	–	–	200	µA
I _{DDO}	supply current clock mode	f _{SCL} = 0 Hz; V _{DD} = 5 V	–	10	50	µA
		f _{SCL} = 0 Hz; V _{DD} = 1 V	–	2	10	µA
T _{amb}	operating ambient temperature range		–40	–	+85	°C
T _{stg}	storage temperature range		–65	–	+150	°C

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCF8583P	DIP8	plastic dual in-line package; 8 leads (300 mil)	SOT97-1
PCF8583T	SO8	plastic small outline package; 8 leads; body width 7.5 mm	SOT176-1

Clock/calendar with 240 × 8-bit RAM

PCF8583

5 BLOCK DIAGRAM

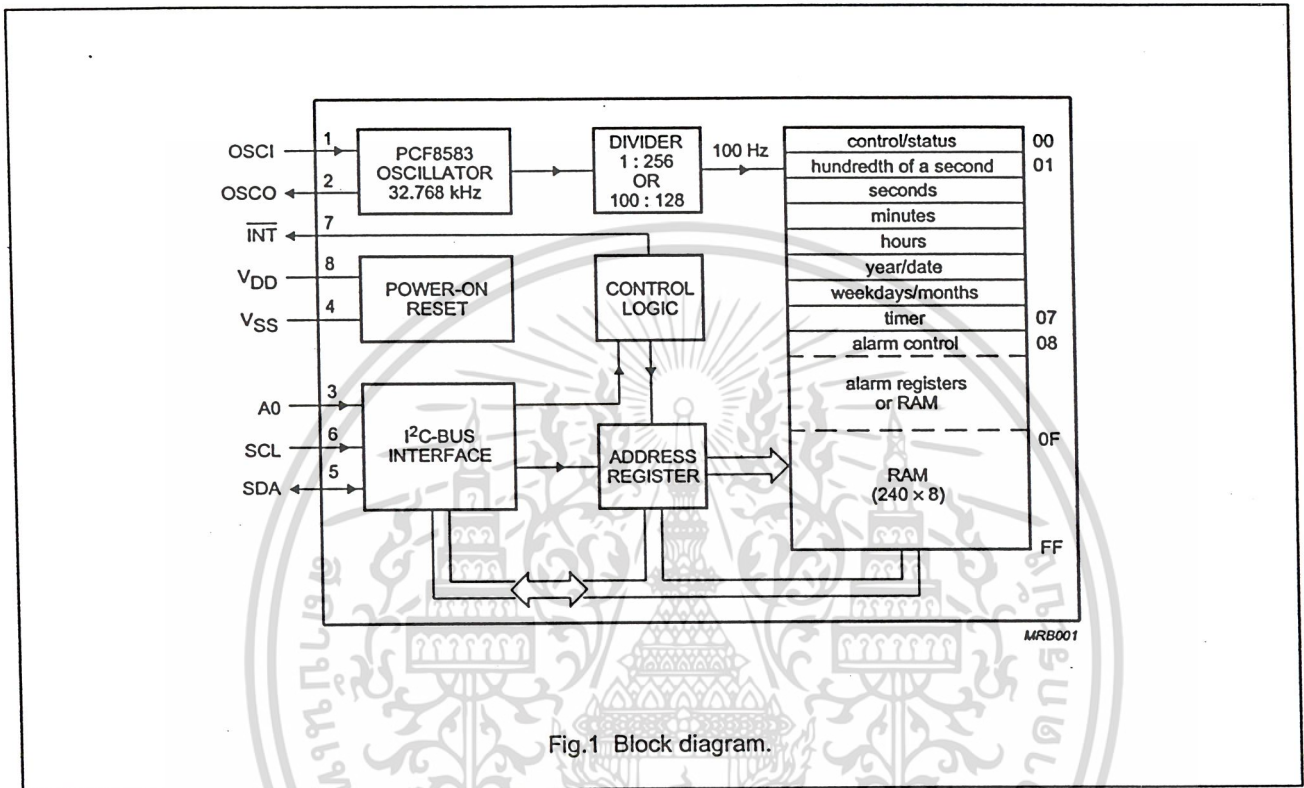


Fig.1 Block diagram.

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
OSCI	1	oscillator input, 50 Hz or event-pulse input
OSCO	2	oscillator output
A0	3	address input
V _{SS}	4	negative supply
SDA	5	serial data line
SCL	6	serial clock line
INT	7	open drain interrupt output (active LOW)
V _{DD}	8	positive supply

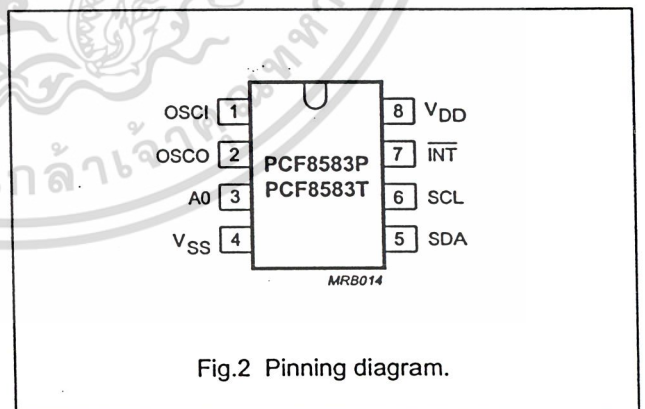


Fig.2 Pinning diagram.

Clock/calendar with 240 × 8-bit RAM

PCF8583

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The PCF8583 contains a 256 by 8-bit RAM with an 8-bit auto-increment address register, an on-chip 32.768 kHz oscillator circuit, a frequency divider, a serial two-line bidirectional I²C-bus interface and a power-on reset circuit.

The first 16 bytes of the RAM (memory addresses 00 to 0F) are designed as addressable 8-bit parallel special function registers. The first register (memory address 00) is used as a control/status register.

The memory addresses 01 to 07 are used as counters for the clock function. The memory addresses 08 to 0F may be programmed as alarm registers or used as free RAM locations, when the alarm is disabled.

7.1 Counter function modes

When the control/status register is programmed, a 32.768 kHz clock mode, a 50 Hz clock mode or an event-counter mode can be selected.

In the clock modes the hundredths of a second, seconds, minutes, hours, date, month (four year calendar) and weekday are stored in a BCD format. The timer register stores up to 99 days. The event counter mode is used to count pulses applied to the oscillator input (OSCO left open-circuit). The event counter stores up to 6 digits of data.

When one of the counters is read (memory locations 01 to 07), the contents of all counters are strobed into capture latches at the beginning of a read cycle. Therefore, faulty reading of the count during a carry condition is prevented.

When a counter is written, other counters are not affected.

7.2 Alarm function modes

By setting the alarm enable bit of the control/status register the alarm control register (address 08) is activated.

By setting the alarm control register a dated alarm, a daily alarm, a weekday alarm or a timer alarm may be programmed. In the clock modes, the timer register (address 07) may be programmed to count hundredths of a second, seconds, minutes, hours or days. Days are counted when an alarm is not programmed.

Whenever an alarm event occurs the alarm flag of the control/status register is set. A timer alarm event will set the alarm flag and an overflow condition of the timer will set the timer flag. The open drain interrupt output is switched on (active LOW) when the alarm or timer flag is set (enabled). The flags remain set until directly reset by a write operation.

When the alarm is disabled (Bit 2 of control/status register = 0) the alarm registers at addresses 08 to 0F may be used as free RAM.

7.3 Control/status register

The control/status register is defined as the memory location 00 with free access for reading and writing via the I²C-bus. All functions and options are controlled by the contents of the control/status register (see Fig.3).

7.4 Counter registers

In the clock modes 24 h or 12 h format can be selected by setting the most significant bit of the hours counter register. The format of the hours counter is shown in Fig.5.

The year and date are packed into memory location 05 (see Fig.6). The weekdays and months are packed into memory location 06 (see Fig.7). When reading these memory locations the year and weekdays are masked out when the mask flag of the control/status register is set. This allows the user to read the date and month count directly.

In the event-counter mode events are stored in BCD format. D5 is the most significant and D0 the least significant digit. The divider is by-passed.

In the different modes the counter registers are programmed and arranged as shown in Fig.4. Counter cycles are listed in Table 1.

Clock/calendar with 240 × 8-bit RAM

PCF8583

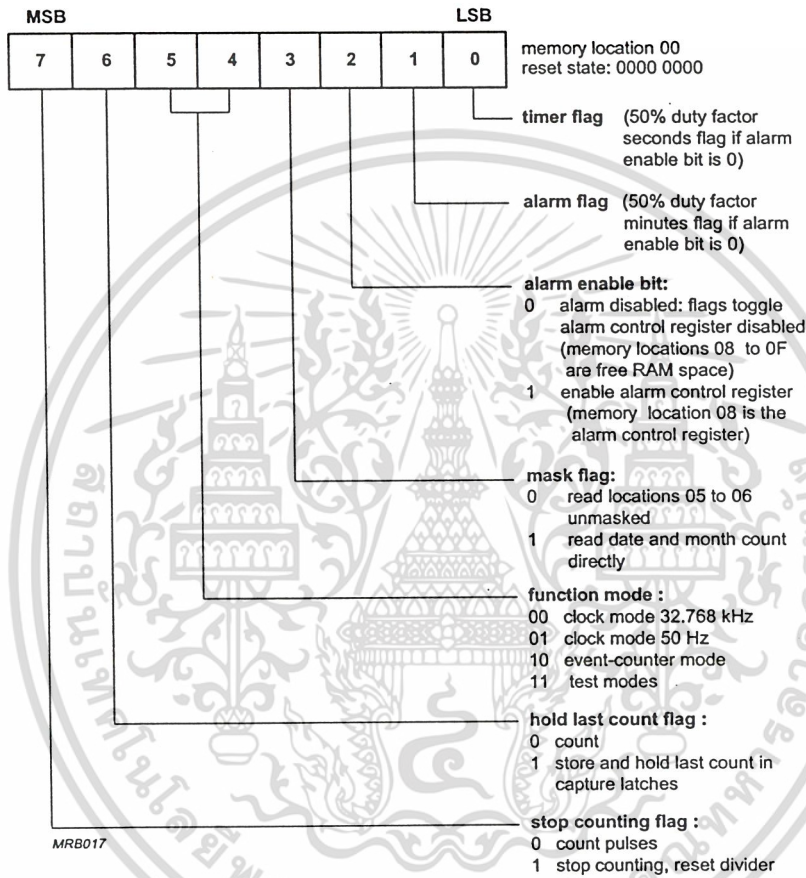


Fig.3 Control/status register.

Clock/calendar with 240 × 8-bit RAM

PCF8583

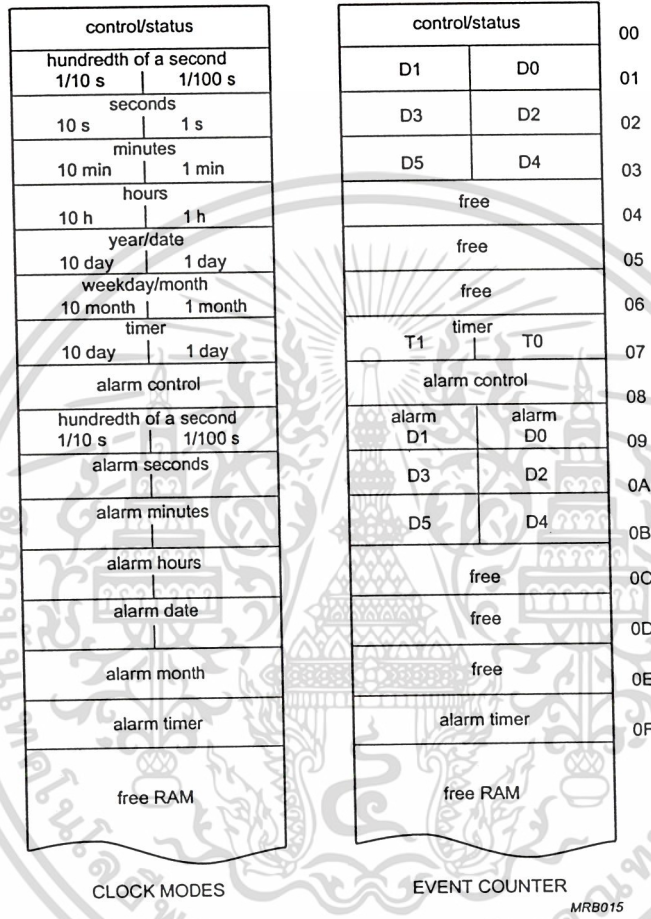


Fig.4 Register arrangement.