สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบระบบควบคุมและแสดงผลของเตาอบแบบใช้ลมร้อน ที่ใช้การเฉลี่ยอุณหภูมิแบบหลายจุด

โดย

นางสาวจารุณี ไชยปัญโญ

นายเจษฎา อาดัมภ์

นายธีระสิงห์ นาคะ

นายวรรนิวัฒน์ ม่วงทองคำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72286.....
วัน,เดือน,ปี.....13 มี.ย. 2550.....

.b.....11726700.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCONTROLLER DESIGN AND DISPLAY OF HEAT-WIND USING MULTI-POINT SENSORS AVERAGEMENT

By

Miss JARUNEE CHAIPUNYO

Mr. JEDSADA ARDUM

Mr. THEERASING NAKA

Mr. WANNIWAT MUNGTONGKUM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบเสนอปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบระบบควบคุมและแสดงผลของเตาอบแบบใช้ลมร้อนที่ใช้การเฉลี่ยอุณหภูมิแบบหลายจุด
TITLE	A CONTROLLER DESIGN AND DISPLAY OF HEAT WIND USING MULTI TEMPERATURE SENSORS AVERAGE
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2549

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบระบบควบคุมและแสดงผลของเตาอบแบบใช้ลมร้อนที่ใช้การเฉลี่ยอุณหภูมิแบบหลายจุด			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจารุณี	ไชยปัญโญ	รหัสนักศึกษา	47015563
	นายเจษฎา	อาดัมภ์	รหัสนักศึกษา	47015829
	นายธีระสิงห์	นาคะ	รหัสนักศึกษา	47015838
	นายวรรนิวัฒน์	ม่วงทองคำ	รหัสนักศึกษา	47015851
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล			
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ			
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ			
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบ, การสร้างระบบควบคุมและระบบแสดงผลของเตาอบแบบใช้ลมร้อนโดยใช้การเฉลี่ยค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์หลายจุด ซึ่งในระบบนี้ใช้การควบคุมป้อนกลับแบบ PID เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการควบคุมความร้อนในแพลนท์โดยใช้การคอนโทรลอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG โดยกระบวนของระบบควบคุมสร้างบน Microcontroller MB89202 ซึ่งจะนำค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์หลายจุดที่ติดตั้งกระจายอยู่ในแพลนท์ ภายในเตาอบทั้งหมด 4 ตัวนำมาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าเฉลี่ยนี้มาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบ เพื่อช่วยลดความซับซ้อนในการควบคุมอุณภูมิภายในเตาอบให้คงที่และสามารถกำหนดค่าอุณหภูมิล่วงหน้าได้โดยการโปรแกรมค่าผ่านแผงควบคุม ซึ่งระบบนี้ออกแบบมาเพื่อแก้ไขระบบเดิมที่เป็นระบบควบคุมแบบเปิดไม่อัตโนมัติ และขาดประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิง โดยระบบที่ออกแบบนี้สามารถช่วยผู้ผลิตลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A CONTROLLER DESIGN AND DISPLAY OF HEAT WIND USING MULTI TEMPERATURE SENSORS AVERAGE		
Student	Miss. JARUNEE	CHAIPUNYO	ID. 47015563
	Mr. JEDSADA	ARDUM	ID. 47015829
	Mr. THEERASING	NAKA	ID. 47015838
	Mr. WANNIWAT	MUNGTONGKUM	ID. 47015851
Advisor	Asst. Prof. Dolchai Sookcharoenphol		
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering		
Department	Information Engineering		
Academic Year	2549		

Abstract

This project is about A Controller Design And Display Of Heat Wind Using Multi Temperature Sensors Average for decrease LPG payment and easily to control temperature. Microcontroller MB89202 is the controlling with PID-control system. Microeontroller is receive input from 4 sensors in oven to average and use that to control LPG.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นจนเป็นผลสำเร็จ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณท่านบูรพาคณาจารย์ทั้งหลาย ผู้เขียนเอกสารและตำราอ้างอิงต่างๆ โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดลชัย สุขเจริญผล เป็นอย่างสูง ที่ช่วยถ่ายทอดความรู้และให้ข้อคิดข้อแนะนำ ทั้งยังให้โอกาสในการพัฒนาปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งขอบคุณพี่ เจตน์ ออสวัสดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาในทุกๆด้าน และขอขอบคุณเพื่อน โอ ที่ให้คำแนะนำทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำได้เข้ามาศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

ท้ายสุดคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงแนวความคิดและแนวการปฏิบัติให้แก่คณะผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้บรรลุผลตามเป้าหมาย

คุณความดีใดๆ ที่เกิดจากการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ บิดา มารดา บูรพาคณาจารย์ทั้งหลาย ที่ได้ประสิทธิ์วิชาความรู้ตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัยย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ	3
2.2 อุปกรณ์ควบคุม	7
2.3 Micro Controller MB89N202	19
2.4 DC Motor	26
2.5 Smart Temperature Sensor : SMT160	34
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบโครงงาน	36
3.2 ระบบการจ่ายแก๊ส	36
3.3 Controller	39
3.4 การแสดงผล	40
3.5 ผังแสดงการทำงานของระบบ	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การแสดงอุณหภูมิผ่านทาง 7 Segment	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปการพัฒนาโครงการ	
5.1 สรุปการพัฒนาโครงงาน	45
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น	45
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพและคำอธิบาย	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบการทำงาน	2
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ	3
รูปที่ 2.2 แผนผังของระบบควบคุมแบบวงเปิด	4
รูปที่ 2.3 แผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการใช้ตะเกียบคีบลูกชิ้นเข้าปาก	5
รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่กำหนด	5
รูปที่ 2.5 แผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	6
รูปที่ 2.6 บล๊อคไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุม	7
รูปที่ 2.7 การตรวจจับสัญญาณผิดพลาด	8
รูปที่ 2.8 วงจรดิฟเฟอเรนเชียล	9
รูปที่ 2.9 Block diagram ที่ประกอบด้วย PID Control	10
รูปที่ 2.10 วงจรออปแอมป์	12
รูปที่ 2.11 การควบคุม DC Motor โดยใช้ PID Control	15
รูปที่ 2.12 Step Response ที่ใช้ Proportional Controller gain 100	16
รูปที่ 2.13 Step Response ที่ใช้ PID Control	18
รูปที่ 2.14 Step Response ที่ใช้ PID Control	18
รูปที่ 2.15 Step Response ที่ใช้ PID Control	19
รูปที่ 2.16 การจัดสรรหน่วยความจำและพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MB89N202	23
รูปที่ 2.17 การเก็บข้อมูลขนาด 16 บิตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MB89N202	25
รูปที่ 2.18 DC Motor	26
รูปที่ 2.19 DC Motor Circuit	28
รูปที่ 2.20 แผนภาพบล็อกของ Armature Control Motor	29
รูปที่ 2.21 แผนภาพบล็อกของ Field Control Motor	30
รูปที่ 2.22 แนวแรง F และระยะทาง r ไม่ตั้งฉากกัน	31
รูปที่ 2.23 วงจร H - Bridge	32
รูปที่ 2.24 PWM signals of varying duty cycles	33
รูปที่ 2.25 การวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์	34
รูปที่ 2.26 SMT160	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

ภาพและคำอธิบาย	หน้า
รูปที่ 2.27 การต่ออุปกรณ์ก่อนนำไปใช้งาน	35
รูปที่ 3.1 Block Diagram การออกแบบโครงงาน	36
รูปที่ 3.2 Block Diagram ระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG	37
รูปที่ 3.3 ภาพด้านหน้าระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG	37
รูปที่ 3.4 ภาพด้านหลังระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG	37
รูปที่ 3.5 ภาพด้านข้างระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG	38
รูปที่ 3.6 ภาพด้านข้างระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG	38
รูปที่ 3.7 ภาพการติดตั้งระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG	38
รูปที่ 3.8 Block Diagram การทำงานของ Controller	39
รูปที่ 3.9 Board Controller	39
รูปที่ 3.10 Broad Drive Motor	39
รูปที่ 3.11 Block Diagram การทำงานของ Display	40
รูปที่ 3.12 Broad Drive Display	40
รูปที่ 3.13 Board Display	40
รูปที่ 3.14 ผังแสดงการทำงานของระบบ	41
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 1	45
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 2	45
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 3	46
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 4	46
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิจากการนำอุณหภูมิทั้ง 4 ตัวรวมกัน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

คำอธิบาย	หน้า
ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติเตาอบแบบเดิมและเอาอบจากการทดลอง	2
ตารางที่ 2.1 หน้าที่และการจัดขาของ MB89N202	21
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ SMT160-130	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก๊าซหุงต้ม (LPG : Liquefied Petroleum Gas) เป็นพลังงานเชื้อเพลิงอีกชนิดหนึ่งที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่มีราคาเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเทียบกับในอดีต และยิ่งไปกว่านั้นก๊าซหุงต้มยังถือว่าเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งสำหรับเกษตรกรไทยเพื่อนำไปใช้ในการอบผลผลิตทางการเกษตร อย่างเช่นลำไยและทุกๆช่วงฤดูกาลลำไยเกษตรกรมักจะประสบปัญหาการขาดแคลนก๊าซหุงต้ม หรือก๊าซหุงต้มมีราคาเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาถึงวิธีการที่จะช่วยประหยัดพลังงานก๊าซหุงต้มให้แก่เกษตรกร โดยประยุกต์ใช้กับเตาอบที่เกษตรกรใช้อยู่ทั่วไป โครงงานนี้ได้นำเอา PID มาช่วยควบคุมเรื่องอุณหภูมิภายในเตาอบให้คงที่สม่ำเสมอ เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าอุณหภูมิที่กำหนดจะทำการลดปริมาณการจ่ายก๊าซหุงต้มลงเพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ แต่หากอุณหภูมิลดลงเกินกว่าค่าที่กำหนดก็จะทำการปรับเพิ่มปริมาณการจ่ายก๊าซหุงต้มเพิ่มขึ้นอีกเช่นกัน ทำให้ผลผลิตถูกอบในอุณหภูมิที่คงที่สม่ำเสมอสุกอย่างทั่วถึง เกิดของเสียจากการไหม้ของผลผลิตเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไปลดลง อีกทั้งยังจะช่วยลดการใช้ก๊าซหุงต้มลง เมื่ออุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษา, ออกแบบและสร้างระบบควบคุมร่วมกับระบบส่งข้อมูล

2.2 เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายในการจ้างคนงาน

2.3 ช่วยเพิ่มผลผลิต จากการลดโอกาสที่เกิดจากการตั้งอุณหภูมิที่สูงเกินไปจากระบบดั้งเดิม

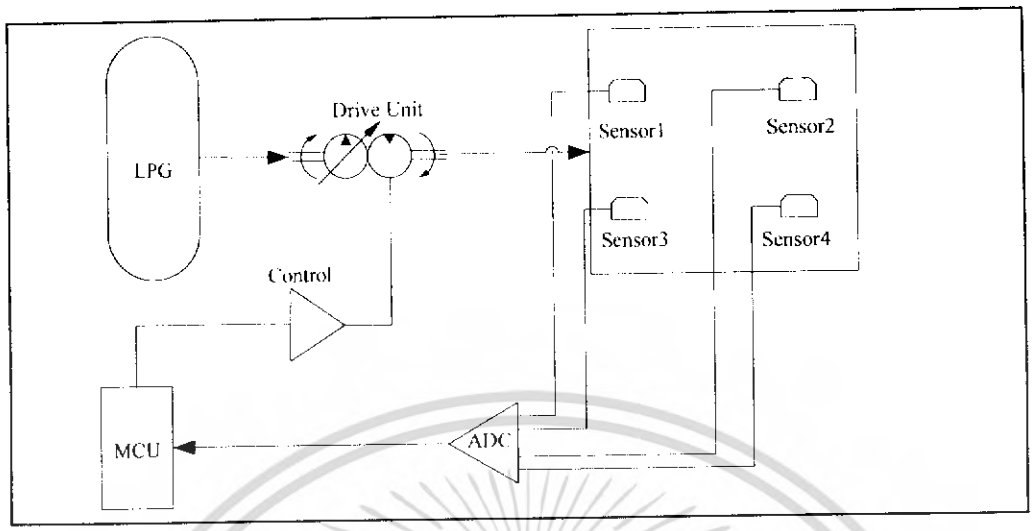
1.3 ขอบเขตโครงงาน

3.1 ทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมรวมทั้งระบบวัดอุณหภูมิแบบหลายจุด

3.2 สามารถตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาอบได้ล่วงหน้า

3.3 ออกแบบและสร้าง PID Control System และตัวควบคุมระบบจ่ายก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ระบบการทำงาน

การทำงาน	เตาอบแบบเดิม	เตาอบจากการทดลอง
การวัดอุณหภูมิ	วัดอุณหภูมิเพียง 1 จุดด้วยแอนาลอกเซนเซอร์	วัดอุณหภูมิจากเซนเซอร์ดิจิตอลที่วางต่างกัน 4 จุด
การแสดงผล	แสดงค่าอุณหภูมิภายในเตาที่ขาดความแม่นยำ	- แสดงค่าอุณหภูมิภายในเตาที่แม่นยำกว่า - แสดงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ล่วงหน้า - แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอบ
การควบคุมอุณหภูมิ	ผู้ใช้งานเป็นผู้ควบคุมแบบแมนนวล โดยอ่านค่าจากเซนเซอร์โดยตรง	แบบอัตโนมัติ
การจ่ายก๊าซ LPG	ผู้ใช้งานเป็นผู้ควบคุมแบบแมนนวล	แบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติเตาอบแบบเดิมและเตาอบจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีต่างๆเกี่ยวกับการทำงานของ

4.1 PID Controller System

4.2 D.C. Motor

4.3 Microcontroller ตระกูล Fujishu เบอร์ MB89N202

4.4 Smart Temperature Sensor : SMT160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

ในปัจจุบันนี้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมากมาย ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในชีวิตประจำวันได้แก่ระบบควบคุมในเครื่องปรับอากาศซึ่งจะคอยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ ในอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบควบคุมอัตโนมัติไปใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์, ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร และอื่นๆ อีกมากมาย เทคโนโลยีทางด้านอวกาศและการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์ก็ได้มีการนำระบบควบคุมไปใช้ในระบบนำวิถี, ระบบควบคุมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เป็นต้น

รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

โดยผลลัพธ์ที่ออกทางเอาท์พุท (แทนโดยตัวแปร c) จะถูกควบคุมโดยสัญญาณกระตุ้น e ผ่านทางองค์ประกอบต่างๆซึ่งอยู่ภายใน controlled process

ในการควบคุมพวงมาลัยของรถยนต์ สัญญาณกระตุ้น e ได้แก่ ตำแหน่งของพวงมาลัย ส่วนตัวแปรเอาท์พุท c ได้แก่ ทิศทางของล้อหน้า ในส่วนของ controlled process จะประกอบด้วยกลไกต่างๆของพวงมาลัย เช่น การทดเฟือง และรวมถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของล้อด้วย

2.1.1 ระบบควบคุมแบบวงจรเปิดหรือระบบควบคุมแบบไม่ป้อนกลับ (Open-loop Control Systems, Nonfeedback Control Systems)

ในระบบควบคุมแบบวงจรเปิด การควบคุมส่วนใหญ่ต้องอาศัยการคาดคะเนและการตัดสินใจของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องโดยเตาผิง ถ้าเตาผิงที่ใช้มีเพียงอุปกรณ์ตั้งเวลาเปิด-ปิดเท่านั้น ผู้ใช้หรือผู้ควบคุมจะต้องคาดคะเนและตั้งเวลาในการเปิดเตาผิงที่นานพอเหมาะเพื่อให้อุณหภูมิห้องอยู่ในระดับที่ต้องการ แต่การควบคุมโดยมนุษย์เช่นนี้ดูจะไม่แม่นยำและน่าเชื่อถือนัก เนื่องจากผู้ควบคุมไม่สามารถรู้ถึงคุณสมบัติเฉพาะในการสร้างความร้อนของเตาผิงนี้ อีกทั้งยังมีปัจจัยต่างๆจากภายนอก เช่น อุณหภูมิภายนอกห้องที่มีผลต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้อง จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมแบบวงจรเปิดไม่สามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของระบบอันเนื่องมาจากปัจจัยจากภายนอกได้

เครื่องซักผ้าอัตโนมัติเป็นระบบที่มีการควบคุมแบบวงจรเปิดเนื่องจากผู้ควบคุมที่เป็นมนุษย์จะเป็นผู้กำหนดเวลาที่ใช้ในการซักผ้า ซึ่งจริงๆแล้วเครื่องซักผ้าอัตโนมัติที่แท้จริงควรจะมีระบบตรวจสอบความสะอาดของผ้าตลอดเวลาที่ซัก เมื่อผ้ามีความสะอาดถึงระดับที่ต้องการแล้วเครื่องซักผ้าก็ควรจะหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ

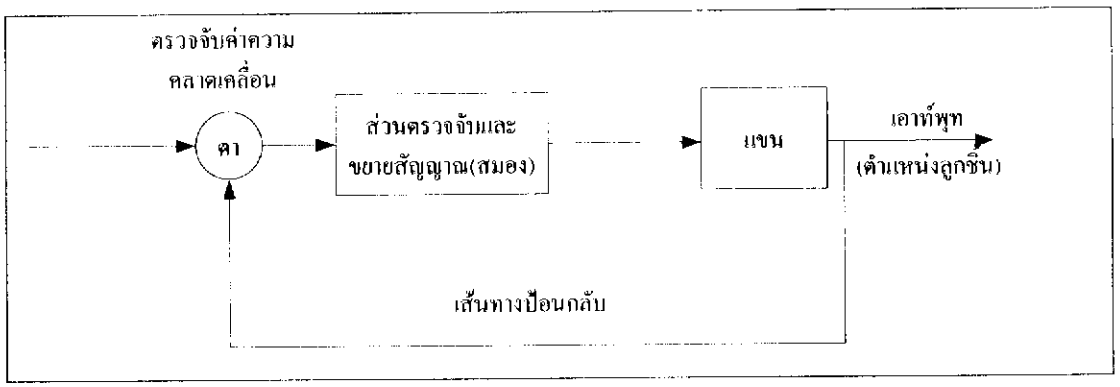
รูปที่ 2.2 แผนผังของระบบควบคุมแบบวงจรเปิด

แผนผังของระบบควบคุมแบบวงจรเปิดสามารถเขียนได้อีกแบบหนึ่งดังรูปที่ 2.2 โดยสัญญาณอินพุทหรือสัญญาณสั่งการ r ส่งผ่าน controller ออกมาเป็นสัญญาณกระตุ้น e เพื่อสั่งให้ controlled process ขับเอาท์พุท c ที่ต้องการออกมา

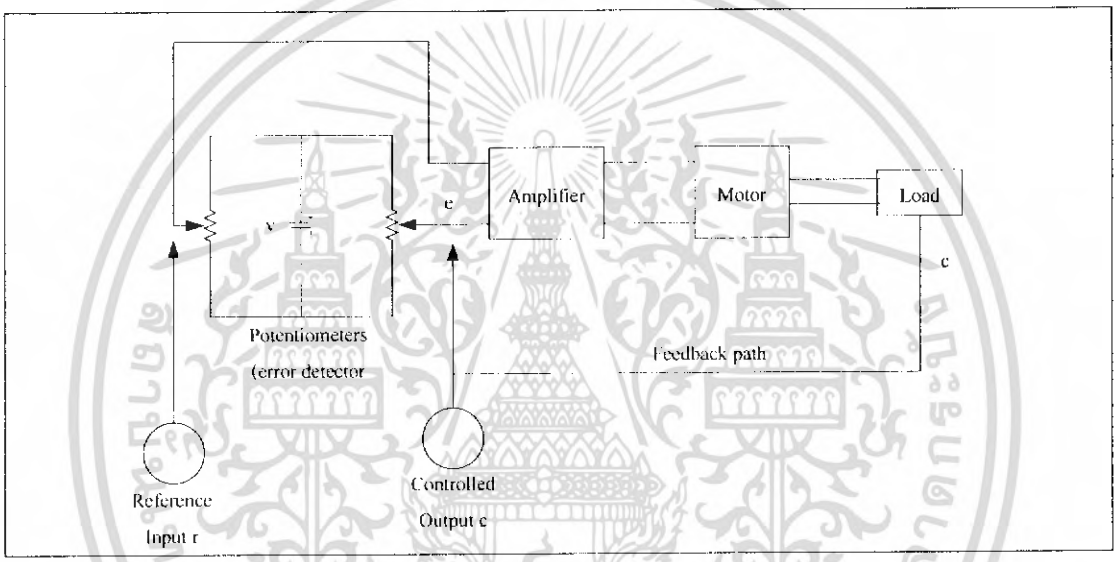
2.1.2 ระบบควบคุมแบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-loop Control Systems, Feedback Control Systems)

เมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามามีอิทธิพลต่อระบบจะทำให้ผู้ควบคุมไม่สามารถควบคุมเอาท์พุทให้เป็นไปตามต้องการได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการส่งสัญญาณเอาท์พุท c(t) ป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสั่งการหรือสัญญาณอ้างอิง r จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณเอาท์พุท กับสัญญาณอ้างอิงทางด้านอินพุทเพื่อนำไปสร้างสัญญาณกระตุ้น e และส่งต่อไปแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของเอาท์พุทให้น้อยลง ระบบที่กล่าวมานี้เรียกว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับ กิจกรรมส่วนใหญ่ที่มนุษย์ปฏิบัติในชีวิตประจำวันนั้นเป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ซับซ้อน เช่น ในการใช้ตะเกียบคีบลูกชิ้นเข้าปาก สมองของมนุษย์จะสั่งการให้แขนข้างที่ถือตะเกียบนำลูกชิ้นเข้าปาก ตำแหน่งของลูกชิ้นที่เป็นเอาท์พุทจะถูกป้อนกลับมายังตาของมนุษย์เพื่อเปรียบเทียบระยะทางระหว่างลูกชิ้นกับปาก ในที่นี้สัญญาณอ้างอิง r คือตำแหน่งของปาก ส่วนสัญญาณเอาท์พุท c คือตำแหน่งของลูกชิ้น ถ้าระยะทางยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่สมองก็จะยังคงสั่งให้แขนเคลื่อนที่ต่อไปเพื่อให้ลูกชิ้นเข้าใกล้ปากมากยิ่งขึ้น จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ก็จะสั่งให้แขนหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการใช้ตะเกียบคีบลูกชิ้นเข้าปาก



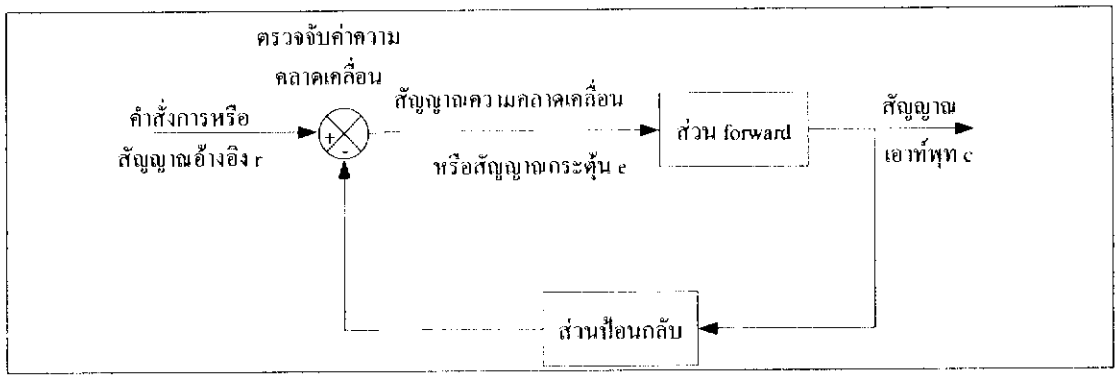
รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่กำหนด

ในระบบนี้จะใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งของมอเตอร์จริงๆที่เป็นเอาท์พุท และตำแหน่งของมอเตอร์ที่กำหนดโดยผู้ควบคุมซึ่งเป็นสัญญาณอินพุทอ้างอิง ค่าความคลาดเคลื่อนจะเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า e(t) แล้วนำไปขยายแรงดันเพื่อขับมอเตอร์ให้หมุนไปยังทิศทางที่ทำให้ตำแหน่งของมอเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง

2.1.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

จากหลักการพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถกล่าวได้ว่า ระบบควบคุมแบบป้อนกลับประกอบด้วยเส้นทาง หรือวงรอบของสัญญาณป้อนกลับซึ่งเป็นสัญญาณเอาท์พุท c ตั้งแต่หนึ่งวงรอบขึ้นไป แล้วนำสัญญาณป้อนกลับนี้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสั่งการหรือสัญญาณอ้างอิง r จะได้ผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองเป็น e – r - c เพื่อนำไปควบคุมสัญญาณเอาท์พุท c ให้มีค่าตามที่กำหนดโดยสัญญาณอ้างอิง r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมนี้ประกอบด้วยส่วน forward (forward path), ส่วนป้อนกลับ (feedback path) และส่วนตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อน (error-sensing device) ส่วนตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อนนี้จะเปรียบเทียบค่าสัญญาณอินพุทอ้างอิง กับค่าสัญญาณเอาท์พุทจริงๆหรือค่าที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาท์พุท แล้วส่งสัญญาณที่เกิดจากผลต่างของสัญญาณทั้งสองนี้ออกไป

2.1.4 ชนิดของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ถ้าพิจารณาในแง่วิธีการในการวิเคราะห์และออกแบบระบบแล้ว ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ ระบบควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้น และระบบควบคุมป้อนกลับแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัติแล้วระบบที่เป็นเชิงเส้นจะไม่มีอยู่จริงเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของระบบทุกระบบจะเป็นเชิงเส้นในขอบเขตหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นระบบแบบเชิงเส้นจึงเป็นเพียงระบบที่สมมุติขึ้นมาเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และออกแบบเท่านั้น ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะมีขอบเขตการทำงานที่เป็นเชิงเส้นของระดับสัญญาณกระตุ้น e ซึ่งสามารถนำมาใช้ในแบบจำลองแบบเชิงเส้นได้ เมื่อระดับสัญญาณกระตุ้น e อยู่นอกขอบเขตที่เป็นเชิงเส้นนี้ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับก็จะเข้าสู่สภาวะที่ไม่เป็นเชิงเส้น

แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของลักษณะสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในระบบ ก็จะสามารถแบ่งชนิดของระบบควบคุมแบบป้อนกลับได้เป็น ระบบที่มีสัญญาณต่อเนื่อง (continuous-data system) และ ระบบที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (discrete-data system) หรือระบบที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ (sampled-data system)

2.1.6 การวิเคราะห์โดเมนของเวลาในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยปกติแล้วการวิเคราะห์การตอบสนองของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่มีต่ออินพุทมักจะวิเคราะห์ในโดเมนของเวลา เพื่อเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของสัญญาณระหว่างสัญญาณอินพุทอ้างอิงและสัญญาณเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติจะแบ่งฟังก์ชันของ time response ออกเป็น 2 ส่วนคือ transient response และ steady-state response ดังสมการต่อไปนี้

$$c(t) = c_t(t) + c_{ss}(t) \qquad (2.1.1)$$

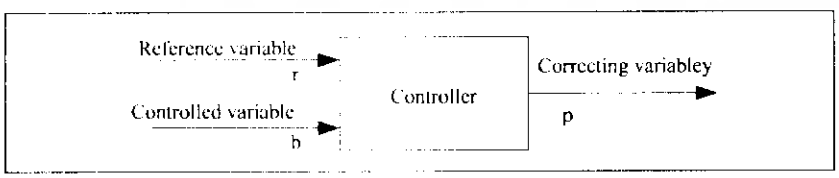
โดยที่ c(t) คือ time response $c_t(t)$ คือ transient response และ $c_{ss}(t)$ คือ steady-state response

steady-state response ก็คือฟังก์ชันของการตอบสนองเมื่อเวลาเข้าสู่ infinity ดังนั้นเมื่อเวลาเข้าใกล้ infinity จะได้ว่า transient response เข้าใกล้ศูนย์ ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั้น transient response มักจะเกิดจากความเฉื่อยหรือความเสียดทานของระบบ steady-state response จะบอกถึงความเที่ยงตรงในการตอบสนองของระบบ ถ้า steady-state response มีค่าไม่ตรงกับอินพุทของระบบจะเรียกว่าระบบนั้นมี steady-state error

2.2 อุปกรณ์ควบคุม

2.2.1 หลักการของอุปกรณ์ควบคุม

การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) หรือบางครั้งเราอาจเรียกได้ว่าเป็นการควบคุมแบบวงจรปิดหรือป้อนกลับ (Closed Loop or Feedback Control) ซึ่งระบบการควบคุมดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบพลศาสตร์ (รวมทั้งระบบไฮดรอลิกส์และนิวเมติกส์) ระบบการควบคุมอัตโนมัติจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดค่าจากตัวแปรของระบบที่ถูกควบคุมจริง (Controlled Variable ; b) ด้วยเซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการพิจารณาหรือค่าอ้างอิง (Reference Variable ; r) หลังจากนั้นก็จะสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมทางด้านเอาต์พุต (Correcting Variable ; p or y) ซึ่งจะสามารถลดความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นลงไปได้ ให้มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นค่าที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การกระทำของระบบควบคุมอัตโนมัติที่สร้างสัญญาณควบคุมนี้เราจะเรียนกว่า กิริยาควบคุม (Control Action) จากหลักการของการควบคุมดังกล่าวเราสามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของบล๊อคไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 บล๊อคไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมจะถูกออกแบบไว้ เพื่อให้สร้างสัญญาณควบคุมไปควบคุมกระบวนการเมื่อมีสัญญาณผิดพลาด (Error Signal) เกิดขึ้นหรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า หน้าที่ของอุปกรณ์ควบคุมก็คือการ พยายามควบคุมตัวแปรของระบบ (System Variable) ให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่เราต้องการ (Desired Value) มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งอาจแสดงอยู่ในรูปของปัจจัยต่อไปนี้

2.2.1.1 ลดค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Minimize the steady state error)

2.2.1.2 ลดเวลาเข้าที่ (Minimize the setting time)

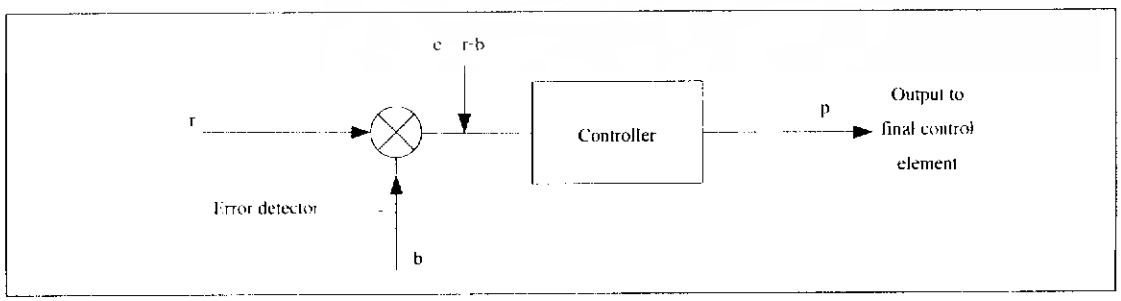
2.2.1.3 เพื่อให้การตอบสนอง (Transient response) มีลักษณะตามที่กำหนด

หากจะกล่าวไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ถ้าหากเราแบ่งตามลักษณะของสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของอุปกรณ์ควบคุมก็สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ด้วยกัน คือ อุปกรณ์ควบคุมแบบไม่เป็นพลวัต (Non-dynamic Controller) กับอุปกรณ์ควบคุมแบบพลวัต (Dynamic COntroller) หรือพูดง่ายๆ ก็คือ อุปกรณ์ที่ให้สัญญาณเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (หรือทำงานแบบเปิด/ปิด) กับอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณต่อเนื่องนั่นเอง

ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ควบคุมไม่ว่าจะเป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ตามในที่นี้จะใช้สัญญาณ อนาลอกแสดงค่าตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยที่สัญญาณอนาลอกเหล่านั้นจะอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า และลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมจะเหมือนกับคอมพิวเตอร์แบบอนาลอก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากต้องปรับแก้สมการในการควบคุมอยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น สามารถกระทำการบวก ลบ คูณ หาร อินทิเกรต รวมทั้งหาอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือการอนุพันธ์ได้ด้วย

2.2.2 การตรวจจับสัญญาณผิดพลาด (Error Detective)

ก่อนที่จะกล่าวถึงการควบคุมในลักษณะต่างๆ นั้นอย่างที่เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าอุปกรณ์ควบคุม จะถูกออกแบบไว้เพื่อให้สัญญาณควบคุมไปควบคุมระบบกระบวนการเมื่อมีสัญญาณผิดพลาดเกิดขึ้น ถามว่าแล้วสัญญาณผิดพลาดที่ส่งให้อุปกรณ์ควบคุมก็คือการเอาค่าตัวแปรที่ได้จากการวัดไปลบออกจากค่าเป้าหมายหรือค่าอ้างอิงดังแสดงด้วยรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.7 การตรวจจับสัญญาณผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ e = ค่าผิดพลาด

b = ค่าความเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการวัด

r = ค่าเป้าหมายที่ต้องการหรือค่าอ้างอิง

ดังนั้น

$$e = r - b \qquad (2.2.1)$$

ซึ่งในระบบการควบคุมจริงๆ แล้วค่าความผิดพลาดนิยมวัดออกมาเป็นเปอร์เซรต์ของช่วงหรือย่านการวัด (Percent of span) ดังนั้นจากสมการที่ผ่านมาจึงเขียนใหม่ได้ว่า

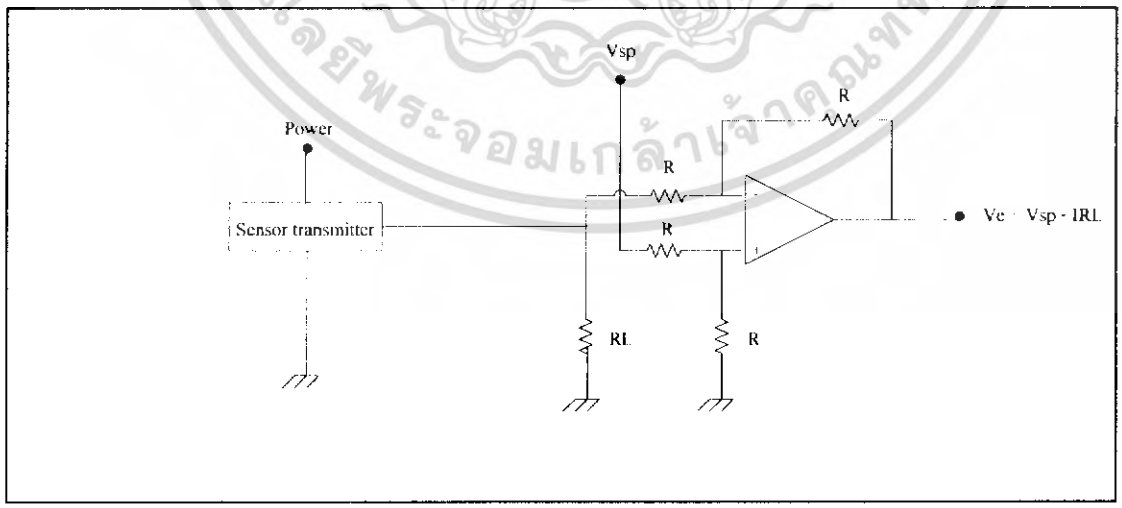
$$e_P = \frac{r - b}{b_{max} - b_{min}} * 100 \qquad (2.2.2)$$

เมื่อ e_p = ค่าความผิดพลาดในรูปเปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัด

b_{max} = ค่าสูงสุดของย่านวัด

b_{min} = ค่าต่ำสุดของย่านวัด

การตรวจจับสัญญาณผิดพลาดของอุปกรณ์ควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกันโดยในที่นี้จะขอยกตัวอย่างสักตัวอย่างหนึ่งที่นิยมนำมาใช้กันก็คือ การใช้วงจรเปรียบเทียบหรือวงจรดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งอาศัยออฟแอมป์เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงานและออกแบบ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรดิฟเฟอเรนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 กระแสที่ได้จากเซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์จะไหลผ่าน R_L สลกราวด์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_L ดังนั้นแรงดับผิดพลาด (V_E) ที่เกิดขึ้นจึงมีค่าเท่ากันแรงดันที่ตั้งไว้ (V_{sp}) ลบด้วยแรงดันตกคร่อม R_1 หรือ ($V_E - V_{sp} - IR_1$) นั่นเอง

2.2.3 รูปแบบการควบคุม

2.2.3.1 การควบคุมแบบสองตำแหน่ง (Two-Position Control)

2.2.3.2 การควบคุมเชิงสัดส่วน (Proportional Control : P)

2.2.3.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control : I)

2.2.3.4 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control : D)

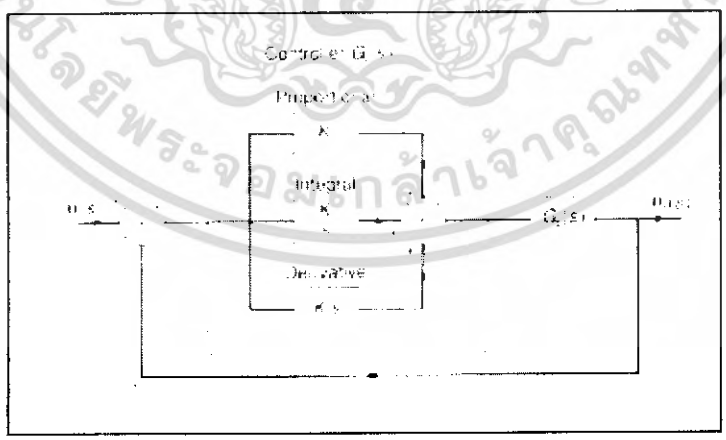
2.2.3.6 การควบคุมเชิงสัดส่วนกับอินทิกรัล (Proportional - Integral Control : PI)

2.2.3.7 การควบคุมเชิงสัดส่วนกับอนุพันธ์ (Proportional - Derivative Control : PD)

2.2.3.8 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional – Integral – Derivative Control : PID)

2.2.4 PID control

การควบคุมแบบนี้เป็นการรวมเอาคุณสมบัติของการควบคุมแบบ P, I และ D เข้าด้วยกันจึงนิยมเรียกการควบคุมแบบนี้อย่างสั้นๆ ว่า การควบคุมแบบ PID ซึ่งเป็นการควบคุมที่สมบูรณ์แบบมากที่สุดกล่าวคือ ความเร็วและความแม่นยำในการตอบสนองต่อสัญญาณผิดพลาดจะสูง



รูปที่ 2.9 Block diagram ที่ประกอบด้วย PID Control [www.sut.ac.th]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมโดยใช้แบบสัดส่วนรวมกับแบบปริพันธ์ และรวมกับแบบอนุพันธ์ (PID control) หรือ ที่เรียก การควบคุมแบบ 3 เทอม (Tree-Term Control) ระบบจะมีลักษณะตามรูปที่ 2.12 จะทำให้เอาท์พุตของคอนโทรลเลอร์เมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด e ดังนี้

$$\text{Output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt} \qquad (2.2.3)$$

โดยที่ K_P – เกนของตัวควบคุมเชิงสัดส่วน

K_i = เกนของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

K_D = เกนของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์ จะเป็น

$$G_c(s) = K_p + \frac{Ki}{s} + k_d s \qquad (2.2.4)$$

ซึ่งเราสามารถจัดรูปได้เป็น

$$G_c(s) = K_p \left[1 + \frac{Ki}{K_p s} + \frac{K_d s}{K_p} \right]$$

หรือ $$G_c(s) = K_p (1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \qquad (2.2.5)$$

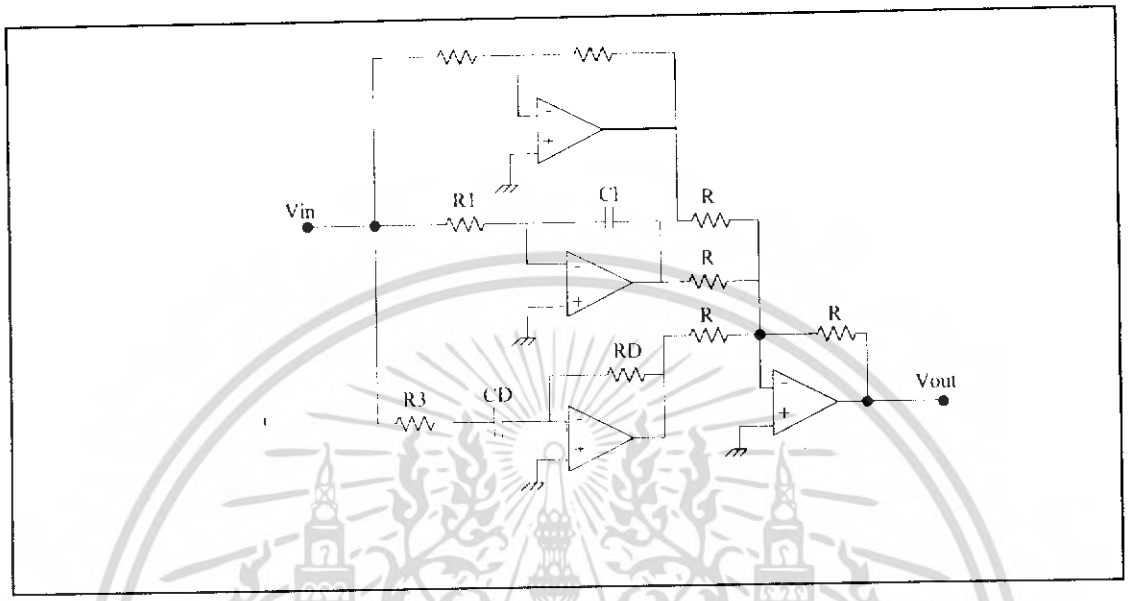
ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดของระบบที่แสดงในรูปที่ 6.12 จะเป็น

$$G_0(s) = G_c(s) G_p(s) = K_p (1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s) G_p(s)$$

หรือ $$G_0(s) = \frac{K_p (\tau_i s + 1 + \tau_i \tau_d s^2) G_p(s)}{\tau_i s} \qquad (2.2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการควบคุมแบบ PID Controller จะเพิ่มจำนวน 0 ให้กับระบบเท่ากับ 2 และเพิ่มจำนวนโพล 1 โพล และทำให้ชนิด type ระบบเพิ่มขึ้น 1การควบคุมแบบ PID สามารถสร้างขึ้นได้โดยออปแอมป์ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรออปแอมป์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 2.10 สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1}V_e + \frac{1}{R_I C_I}\int V_e dt + R_D C_D \frac{dV_e}{dt} \qquad (2.2.7)$$

โดยที่ $G_p = R_2/R_1$, $G_I = 1/R_I C_I$, $G_D = R_D C_D$

2.2.5 การเลือกและการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุม (Selecting & Tuning Controller)

การเลือกและปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุมควรใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกและตัดสินใจอย่างไร จึงจะทราบว่าระบบการควบคุมให้ผลการควบคุมที่ดีและเหมาะสมกับกระบวนการมากที่สุด (Optimum Control) หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและปรับแต่งตัวแปรของอุปกรณ์ควบคุมมีอยู่หลายวิธีโดยทั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและออกแบบตัวอย่างเช่น ต้องการลดค่าการตอบสนองสูงสุดของระบบควบคุมให้มีค่าน้อยที่สุด ต้องการลดช่วงเวลาเข้าสู่สมดุลหรือเสถียรภาพให้สั้นที่สุด ต้องการลดค่าความคลาดเคลื่อนรวมในการควบคุมให้มีค่าน้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งแน่นอนว่าการใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกและตัดสินใจที่แตกต่างกันย่อมจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมได้ผลของการควบคุมที่แตกต่างกันออกไป การเลือกอุปกรณ์ควบคุมเพื่อลดความยุ่งยากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และเหมาะสมกับการออกแบบระบบควบคุมสามารถทำได้โดยพิจารณาการตอบสนองของกระบวนการจากผลการควบคุมแบบ P , I , D , PI และ PID ดังนี้

2.2.5.1 การควบคุมแบบ P

2.2.5.1.1 ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อตัวแปรเข้าเร็วขึ้น

2.2.5.1.2 ทำให้ระบบควบคุมรวม มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นเสมอภายหลังการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายการควบคุมหรือภาระการควบคุม

2.2.5.1.3 ถ้าการควบคุมกระบวนการนั้นไม่จำเป็นต้องได้ผลการควบคุมที่แม่นยำนัก โดยปรับค่า K_p ของอุปกรณ์ควบคุมให้มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นในช่วงที่ยอมรับได้

2.2.5.2 การควบคุมแบบ I

2.2.5.2.1 ทำให้ระบบควบคุมรวมไม่มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุม แต่มีค่าการตอบสนองสูงสุดเกิดขึ้น ทำให้ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมของกระบวนการในช่วงแรกมากกว่ากระบวนการเดิม

2.2.5.2.2 ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อตัวแปรเข้าภายนอกช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิมและผลการตอบสนองจะมีการแกว่งเกิดขึ้นเสมอ

2.2.5.2.3 การปรับค่า K_p เพิ่มขึ้นในการควบคุมแบบ I จะทำให้กระบวนการตอบสนองเร็วขึ้นแต่มีการแกว่งเพิ่มขึ้นทำให้เสถียรภาพของระบบรวมลดลง

2.2.5.3 การควบคุมแบบ D

2.2.5.3.1 การควบคุมแบบนี้จะส่งสัญญาณควบคุม เพื่อปรับสภาพกระบวนการก่อนความคลาดเคลื่อนจริง จะเกิดขึ้นกับกระบวนการทำให้การควบคุมมีผลดีกว่าการควบคุมแบบอื่น

2.2.5.3.2 การควบคุมแบบนี้ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการให้ดีขึ้น

2.2.5.4 การควบคุมแบบ PI ถ้าเราไม่สามารถที่จะใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ P ได้ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมไม่ต้องการให้มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นเลย

2.2.5.5 การควบคุมแบบ PID ถ้าไม่สามารถที่จะใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ PI ได้ทั้งนี้เนื่องจากว่าการควบคุมแบบ PI นั้นแม้ว่าไม่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมได้ก็จริงแต่การดอบสนองของกระบวนการจะช้าลง ซึ่งการเพิ่มความเร็วในการตอบสนองของกระบวนการโดยกรปรับค่า K_p เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลการตอบสนองของระบบรวมมีการแกว่งเพิ่มขึ้นและเสถียรภาพลดลง ดังนั้นการใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ PID จะทำให้ผลของการควบคุมไม่มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมเกิดขึ้นเราสามารถปรับค่า K_p เพื่อให้กระบวรการดอบสนองเร็วขึ้นโดยเสถียรภาพของระบบยังคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 การปรับอุปกรณ์ควบคุมโดยการหาผลแกว่งของระบบปิด

การปรับอุปกรณ์ควบคุมโดยวิธีหาผลแกว่งของระบบวงจรปิด (Closed loop cycling method) ต่างจากวิธีการหาเส้นโค้งแสดงการตอบสนองของกระบวนการ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเราไม่จำเป็นที่จะต้องเปิดวงจรควบคุมออกทำให้สามารถทดสอบและปรับอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการได้โดยตรง การปรับตัวแปรของอุปกรณ์ควบคุมด้วยวิธีนี้มีขั้นตอนที่สำคัญจะกล่าวถึงในลำดับต่อไปนี้

2.2.6.1 ปรับอุปกรณ์ควบคุมให้ระบบรวมอยู่ในสภาพสมดุลไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรกระบวนการและสัญญาณควบคุม

2.2.6.2 ปรับตัวแปรให้อุปกรณ์ควบคุมเหลือการควบคุมแบบ P อย่างเดียวโดยปรับค่า T_I ให้มีค่ามากสุด และปรับค่า T_d ให้มีค่าน้อยที่สุด

2.2.6.3 เปลี่ยนค่าเป้าหมาย (r) การควบคุมและสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการจากค่าที่ตรวจวัด

2.2.6.4 ปรับอุปกรณ์ควบคุมโดยเพิ่มค่า K_p จนค่าของตัวแปรกระบวนการแกว่งด้วยความถี่และขนาดคงที่

2.2.6.5 บันทึกค่าอัตราการควบคุมแบบ P ที่ทำให้ระบบมีการแกว่งโดยมีขนาดคงที่ (K_c) และคาบเวลาการแกว่งของตัวแปรกระบวนการ (T_c)

ซีกเลอร์ (Ziegler) และ นิโคลส์ (Nichols) ได้ทดลองหาสูตรการปรับตัวแปรของอุปกรณ์ควบคุมโดยวัดคุณสมบัติของกระบวนการจากผลการแกว่งของระบบปิดได้ดังนี้

อุปกรณ์ควบคุมแบบ P

$$K_p = 0.5K_c \qquad (2.2.8)$$

อุปกรณ์ควบคุมแบบ PI

$$K_p = 0.45K_c \qquad (2.2.9)$$

$$T_I = T_c/1.2$$

อุปกรณ์ควบคุมแบบ PID

$$K_p = 0.6K_c \qquad (2.2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_i = T_c/2.0$

$T_d = T_c/8$

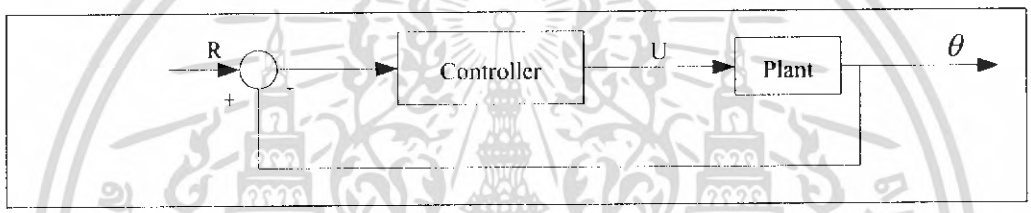
2.2.7 การควบคุม DC Motor โดยใช้ PID Control ด้วยโปรแกรม Matlab

จาก รูปแบบปัญหาการทำงานของมอเตอร์ สมการมีลักษณะดังนี้

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}\dot{\theta}\\ i\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\frac{b}{J} & \frac{K}{J}\\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{\theta}\\ i\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ \frac{1}{L}\end{bmatrix}V$$

$$\dot{\theta}=\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{\theta}\\ i\end{bmatrix}$$

และมีรูปแบบของระบบคือ



รูปที่ 2.11 การควบคุม DC Motor โดยใช้ PID Control

ข้อกำหนดในการควบคุมครั้งนี้คือ ด้วยอัตราขั้นละ 1 rad/sec

- settling time น้อยกว่า 2 วินาที
- overshoot น้อยกว่า 5 %
- steady-stage error น้อยกว่า 1 %

ขั้นแรก สร้าง m-file สำหรับโปรแกรม Matlab ด้วยคำสั่งต่อไปนี้ ซึ่งมีที่มาจากปัญหาที่กล่าวมาแล้ว

```
J=0.01;
b=0.1;
K=0.01;
R=1;
L=0.5;
A=[-b/J   K/J
-K/L   -R/L];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

```
B=[0
1/I.];
C=[1   0];
D=0;
[num,den]=ss2tf(A, B, C, D);
num=num(3);
```

2.2.7.1 Proportional control เราลองใช้ proportional controller ด้วย gain 100 โดยเพิ่มคำสั่งต่อไปนี้ใน m-file

```
Kp=100;
numa=Kp*num;
dena=den;
```

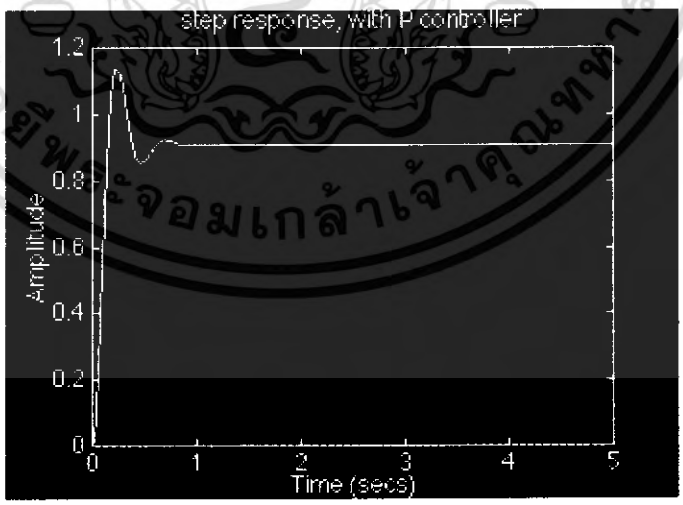
และเพื่อกำหนด closed-loop transfer function ใช้คำสั่ง cloop ดังต่อไปนี้

```
[numac,denac]=cloop(numa,dena);
```

เพื่อดูผลว่า step response เป็นอย่างไร เพิ่มคำสั่งต่อไปนี้และสั่ง run

```
t=0:0.01:5;
step(numac,denac,t)
```

จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 2.12 Step Response ที่ใช้ Proportional Controller gain 100[www.sut.ac.th]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72286

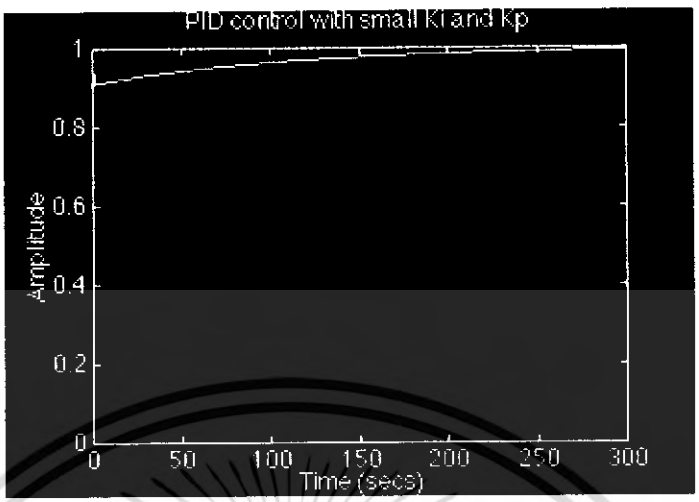
จากกราฟจะเห็นว่า steady-state error และ overshoot มีค่าสูงเกินไป การเพิ่มส่วนที่เป็น integral จะกำจัด steady-state error และส่วนของ derivative จะลดค่าของ overshoot ทดลองใช้ PID controller ด้วย Ki และ Kd ที่มีค่าน้อยๆ โดยการเปลี่ยน m-file เป็นดังนี้

```
J=0.01;
b=0.1;
K=0.01;
R=1;
L=0.5;
A=[-b/J   K/J
-K/L   -R/L];
B=[0
1/L];
C=[1   0];
D=0;
[num,den]=ss2tf(A, B, C, D);
num=num(3);

Kp=100;
Ki=1;
Kd=1;
numc=[Kd, Kp, Ki];
denc=[1 0];
numa=conv(num,numc);
dena=conv(den,denc);
[numac,denac]=cloop(numa,dena);
step(numac,denac)
```

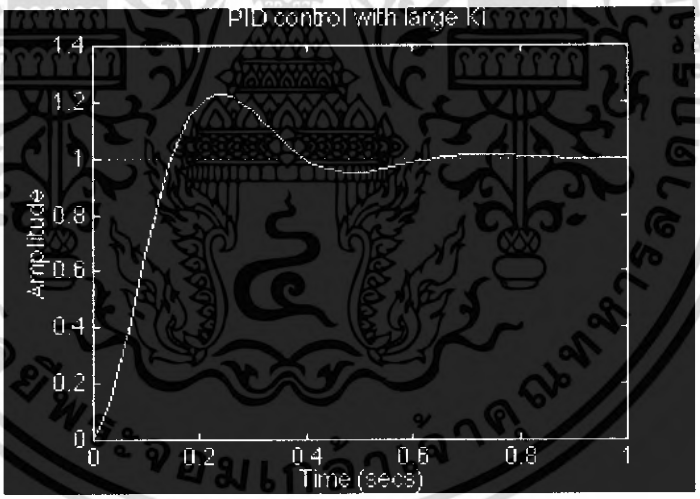
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 2.13 Step Response ที่ใช้ PID Control [www.sut.ac.th]

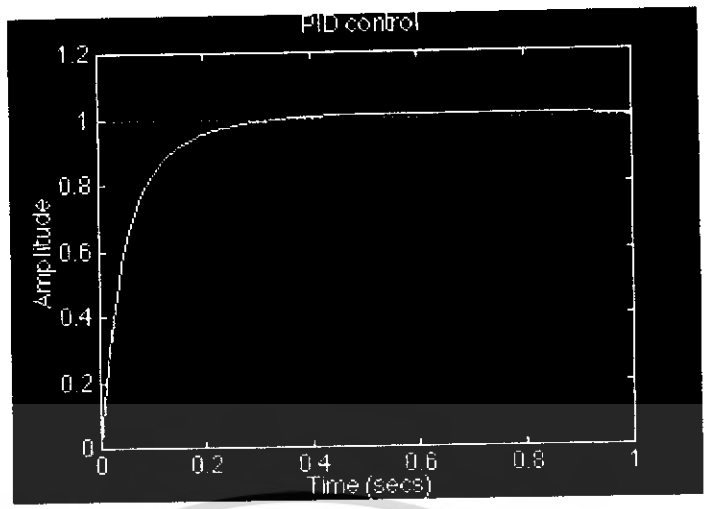
จากกราฟจะเห็นว่า settling time มีค่ามากเกินไป เพิ่มค่า Ki เป็น 200 จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 2.14 Step Response ที่ใช้ PID Control [www.sut.ac.th]

ตอนนี้สังเกตได้ว่าการตอบสนองเร็วขึ้นกว่าเดิมมาก แต่ค่า Ki ที่มากมีผลต่อ transient response (overshoot มาก) ดังนั้นควรเพิ่มค่า Kd ให้มากขึ้น ลองแก้ m-file ให้ Kd มีค่าเป็น 10 จะได้กราฟดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 Step Response ที่ใช้ PID Control [www.sut.ac.th]

ดังนั้นเราควรใช้ PID controller ที่มีค่า Kp=100 , Ki=200 , Kd=10 ก็สามารถออกแบบการควบคุมมอเตอร์ตามเงื่อนไขที่ให้มาได้

2.3 Micro Controller MB89N202

MB89N202 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงตัวหนึ่ง เป็นผลงานของ Fugishu หนึ่งในผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รายใหญ่ของญี่ปุ่น Fugishu ได้มีการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์มาอย่างต่อเนื่องและยาวนานแล้ว มีการใช้งานอย่างมากมายในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ หากแต่การเผยแพร่ข้อมูลออกมาสำหรับงานด้านการศึกษามีไม่มากนัก จนกระทั่ง Fugishu ได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบเฟลชออกมา นั่นคือไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น $F^2MX^{TM}8L$ ในอนุกรม MB89N20x/MB89F20x พร้อมกับเผยแพร่เครื่องมือสำหรับพัฒนาระบบออกมา ทั้งชุดซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมทั้งภาษาแอสแซมบลีและ C รวมทั้งซอฟต์แวร์สำหรับการโปรแกรมข้อมูลลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่น่าสนใจของ MB89N202

2.3.1.1 ใช้ CPU ในอนุกรม MB89N202 ของ Fujishu

2.3.1.2 มีการจัดโครงสร้างหน่วยความจำ และพอร์ตอินพุท เอาท์พุท เป็นแบบฟาน-นิวแมน นั่นคือ ทั้งหน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล และพอร์ตได้รับการจัดสรรแอดเดรสสำหรับการติดต่อไว้ในพื้นที่เดียวกันในย่าน 64 กิโลไบต์ ทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและเรียกใช้งาน

2.3.1.3 หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 16 กิโลไบต์ ลบ-เขียนได้ถึง 1000 ครั้ง สามารถโปรแกรมในวงจรได้ผ่านทางโมดูลสื่อสาร UART

2.3.1.4 หน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.5 มีขาพอร์ตให้ใช้งานสูงสุด 26 ขา มีการจัดวงจรที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2.3.1.6 มี Timer ฐานเวลาขนาด 21 บิต

2.3.1.7 Timer สำหรับ PWM ขนาด 8 บิต

2.3.1.8 วงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ความละเอียด 10 บิต รวม 8 ช่อง

2.3.1.9 Timer Counter สำหรับ Capture มีขนาด 8 บิต และ 16 บิต

2.3.1.10 มี UART สำหรับสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม รองรับความยาวของข้อมูลตั้งแต่ 6 ถึง 8 บิต

2.3.1.11 มีวงจรรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมขนาด 8 บิต รองรับการติดต่อกับอุปกรณ์ในแบบ SPI

2.3.1.12 รองรับการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกได้มากถึง 11 ช่องสัญญาณ

2.3.1.13 มีโมดูลกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโปรแกรมได้ความละเอียดสูง 12 บิต

2.3.1.14 มีวงจรเอาต์พุตขับ Buzzer โดยเฉพาะ ช่วยให้การสร้างสัญญาณเสียงทำได้สะดวกขึ้นอย่างมาก

2.3.1.15 ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกาได้ในย่าน 1 ถึง 12.5 MHz

2.3.1.16 ใช้ไฟเลี้ยง +3.5 ถึง +5.5V กระแสไฟฟ้าขณะทำงานปกติ 6 ถึง 15mA, ในโหมด Sleep3 ถึง 6mA และในโหมด Stop ต้องการเพียง 10uA

2.3.1.17 ตัวถังมี 2 แบบคือ แบบ SHDIP 32 ขา และ SSOP 34 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หน้าที่และการจัดขาของ MB89N202

หมายเลขขา		ชื่อขา	รูปแบบการจัดวงจรที่ขาพอร์ต	การทำงาน
SHDIP32	SS0P34			
ขาพอร์ต 0 (P00 ถึง P07)				
28	30	P00/$\overline{INT20}$ /AN4	G	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P00) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 0 (INT20) - เป็นขาอินพุตสัญญาณอะนาลอกช่อง 4 (AN4)
29	31	P01/$\overline{INT21}$ /AN5	G	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P01) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 1 (INT21) - เป็นขาอินพุตสัญญาณอะนาลอกช่อง 5 (AN5)
30	32	P02/$\overline{INT22}$ /AN6	G	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P02) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 2 (INT22) - เป็นขาอินพุตสัญญาณอะนาลอกช่อง 6 (AN6)
31	33	P03/$\overline{INT23}$ /AN7	G	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P03) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 3 (INT23) - เป็นขาอินพุตสัญญาณอะนาลอกช่อง 7 (AN7)
1	1	P04/$\overline{INT24}$	D	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P04) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 4 (INT24)
2	2	P05/$\overline{INT25}$	D	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P05) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 4 (INT25)
3	3	P06/$\overline{INT26}$	D	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P06) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 4 (INT26)
4	4	P07/$\overline{INT27}$	D	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P07) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 2 ช่อง 4 (INT27)
ขาพอร์ต 3 (P30 ถึง P37)				
19	20	P30/UCK/SCK	B	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P30) - เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการรับส่งข้อมูลอนุกรมและUART
18	19	P31/U0/S0	E	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P31) - เป็นขาส่งข้อมูลเอาต์พุตแบบอนุกรมสำหรับวงจรรับส่งข้อมูลอนุกรมและ UART
17	18	P32/UI/SI	B	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P32) - เป็นขารับข้อมูลอินพุตแบบอนุกรมสำหรับวงจรรับส่งข้อมูลอนุกรมและUART
15	15	P33/EC	B	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P33) - เป็นขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสำหรับไทเมอร์/คาวน์เตอร์/แคปเจอร์
14	14	P34/T0/INT10	B	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P34) - เป็นขาเอาต์พุตของไทเมอร์/คาวน์เตอร์/แคปเจอร์ - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 1 ช่อง 0 (INT10)
13	13	P35/INT11	B	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P35) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 1 ช่อง 1 (INT11)
12	12	P36/INT12	B	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P37) - เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกชุดที่ 1 ช่อง 2 (INT12)
11	11	P37/BZ/PPG	E	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P37) - เป็นขาเอาต์พุตขับสัญญาณบัซเซอร์ (BZ) - เป็นขาเอาต์พุตของโมดูลกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโปรแกรมได้ 0 (PPG)

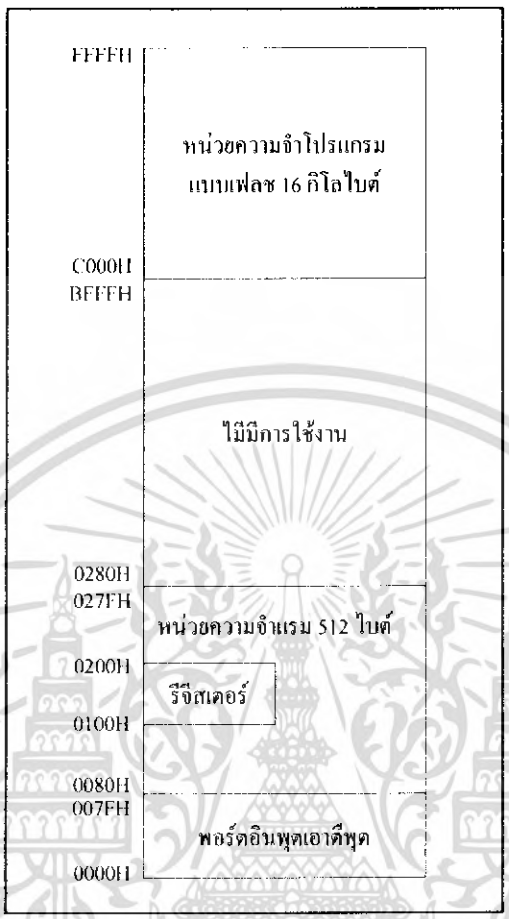
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขขา		ชื่อขา	รูปแบบการจัดวงจรที่ขาพอร์ต	การทำงาน
SHDIP32	SS0P34			
ขาพอร์ต 4 (P40 ถึง P43)				
24	26	P40/AN0	F	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P40) ใช้เฟตแบบ N แชนเนล มีวงจรเป็นแบบเดรนเปิด - เป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอกช่อง 0 (AN0)
25	27	P41/AN1	F	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P41) ใช้เฟตแบบ N แชนเนล มีวงจรเป็นแบบเดรนเปิด - เป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอกช่อง 1 (AN1)
26	28	P42/AN2	F	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P42) ใช้เฟตแบบ N แชนเนล มีวงจรเป็นแบบเดรนเปิด - เป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอกช่อง 2 (AN2)
27	29	P43/AN3	F	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P43) ใช้เฟตแบบ N แชนเนล มีวงจรเป็นแบบเดรนเปิด - เป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอกช่อง 3 (AN3)
ขาพอร์ต 5 (P50)				
20	21	P50/PWM	E	- เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (P50) - เป็นขาเอาต์พุตสัญญาณ PWM
ขาพอร์ต 5 (P6)				
5	5	P60	H/E	เป็นขาพอร์ตอินพุต
6	6	P61	H/E	เป็นขาพอร์ตอินพุต
ขาพอร์ต 7 (P70 ถึง P72)				
21	26	P70	E	เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป
22	24	P71	E	เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป
23	25	P72	E	เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป
กลุ่มขาไฟเลี้ยง สัญญาณนาฬิกา และขาควบคุม				
32	34	Vcc		เป็นขารับไฟเลี้ยง +3.5 ถึง +5.5V
10	10	Vss		เป็นขาต่อกราวด์
16	17	C		เป็นขาต่อตัวเก็บประจุค่า 0.1 μF สำหรับช่วยชดเชยไฟเลี้ยง
8	8	X0	A	เป็นขาต่อคริสตอลสำหรับสร้างสัญญาณนาฬิกาหลัก กรณีใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอก ให้ป้อนสัญญาณ clock เข้าที่ X0 เท่านั้น
9	9	X1		
7	7	RST	C	เป็นขารับสัญญาณรีเซต จากภายนอก

ตารางที่ 2.1 หน้าที่และการจัดขาของ MB89N202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การจัดสรรหน่วยความจำและพอร์ตใน MB89N202



รูปที่ 2.16 การจัดสรรหน่วยความจำและพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MB89N202

ไมโครคอลโทรลเลอร์ MB89N202 มีการจัดสรรพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล และรีจิสเตอร์พอร์ตอินพุต รวมทั้งสิ้น 64 กิโลไบต์ โดยได้รับการจัดสรรแอดเดรสสำหรับการติดต่อไว้ในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งอาจจะแตกต่างไปจากไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ที่มักจะจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล และพอร์ตแยกจากกัน

2.3.4 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำ

รีจิสเตอร์พอร์ตอินพุตมีแอดเดรสในช่วง 0000H ถึง 007FH บรรจุรีจิสเตอร์ควบคุมและรีจิสเตอร์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั้งหมด ทั้งในการทำงานเป็นพอร์ตปกติ หรือเป็นพอร์ตของโมดูลเพอริเฟอรัลต่างๆ สามารถเข้าถึงได้เหมือนกับการเข้าถึงหน่วยความจำปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ของหน่วยความจำแรมความจุ 512 ไบต์ ได้กรับการจัดสรรในย่าน 0080H ถึง 027FH ใช้สำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปในขณะทำงาน สามารเข้าถึงได้แบบโดยตรงความเร็วสูงในช่วงแอดเดรส 0080H ถึง 00FFH ในขณะที่ช่วงแอดเดรส 0100H ถึง 01FFH ใช้สำหรับเก็บข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้เหมือนกับพื้นที่หน่วยความจำปกติ ถ้าหากเกิดการรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์ในขณะที่กำลังเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำแรม ข้อมูลที่ถูกเขียนไปแล้วนั่นจะไม่สามารถรับรองความถูกต้องได้

พื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมแบบเฟลช 16 กิโลไบต์ ได้รับการจัดสรรในย่าน 0280H ถึง FFFFH ใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของ MB89N202 อย่างไรก็ตาม ในช่วงแอดเดรส FFC0H ถึง FFFFH ได้รับการจัดสรรไว้สำหรับเก็บตารางเวกเตอร์ (vector table) ซึ่งมีด้วยกันทั้งสิ้นถึง 26 เวกเตอร์

2.3.5 ตารางเวกเตอร์

เป็นพื้นที่สำหรับเก็บค่าแอดเดรสของเวกเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีด้วยกันถึง 26 เวกเตอร์ โยได้รับกรจัดสรรไว้ในช่วงแอดเดรส FFC0H ถึง FFFFH แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

2.3.5.1 เวกเตอร์ของคำสั่ง CALL มี 8 เวกเตอร์คือ CALLV #0 ถึง CALLV #7

CALLV #0	ใช้แอดเดรส FFC0H และ FFC1H
CALLV #1	ใช้แอดเดรส FFC2H และ FFC3H
CALLV #2	ใช้แอดเดรส FFC4H และ FFC5H
CALLV #3	ใช้แอดเดรส FFC6H และ FFC7H
CALLV #4	ใช้แอดเดรส FFC8H และ FFC9H
CALLV #5	ใช้แอดเดรส FFCAH และ FFCBH
CALLV #6	ใช้แอดเดรส FFCCH และ FFCDH
CALLV #7	ใช้แอดเดรส FFCEH และ FFCFH

2.3.5.2 เวกเตอร์ของการอินเตอร์รัปต์ มี 16 เวกเตอร์คือ IRQ0 ถึง IRFF

IRQF	ใช้แอดเดรส FFDCH และ FFDDH
IRQE	ใช้แอดเดรส FFDEH และ FFDFH
IRQD	ใช้แอดเดรส FFE0H และ FFE1H
IRQC	ใช้แอดเดรส FFE2H และ FFE3H
IRQB	ใช้แอดเดรส FFE4H และ FFE5H
IRQA	ใช้แอดเดรส FFE6H และ FFE7H
IRQ9	ใช้แอดเดรส FFE8H และ FFE9H
IRQ8	ใช้แอดเดรส FFEAH และ FFEBH
IRQ7	ใช้แอดเดรส FFECH และ FFEDH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRQ6	ใช้แอดเดรส FFEEH และ FFEFH
IRQ5	ใช้แอดเดรส FFF0H และ FFF1H
IRQ4	ใช้แอดเดรส FFF2H และ FFF3H
IRQ3	ใช้แอดเดรส FFF4H และ FFF5H
IRQ2	ใช้แอดเดรส FFF6H และ FFF7H
IRQ1	ใช้แอดเดรส FFF8H และ FFF9H
IRQ0	ใช้แอดเดรส FFFAH และ FFFBH

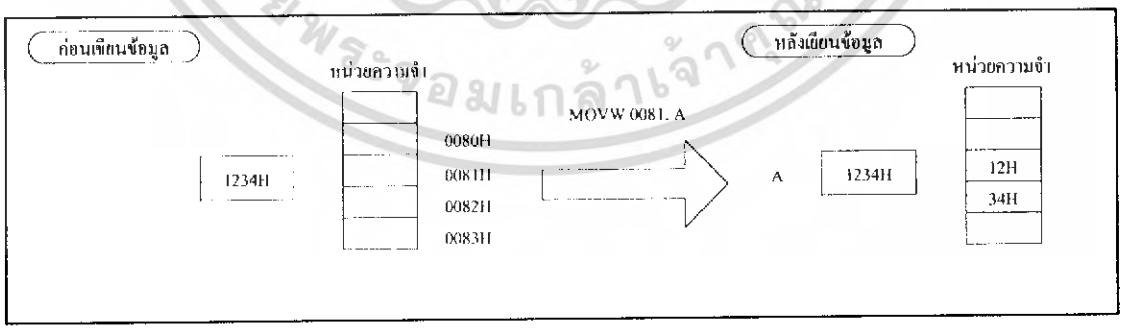
2.3.5.3 เวกเตอร์ของการกำหนดโหมดข้อมูล มี 1 เวกเตอร์ ที่แอดเดรส FFCH และ FFFDH โดยในแอดเดรส FFFCH ให้เขียนค่า 01H ลงในแอดเดรสนี้เพื่อเลือกการป้องกันการอ่านข้อมูล แต่ถ้าหากไม่ต้องการให้เขียนค่า 0FFH มาที่แอดเดรสนี้แทน

2.5.5.4 เวกเตอร์ของการรีเซต มี 1 เวกเตอร์ ใช้แอดเดรส FFFEH และ FFFFH

2.3.6 การเก็บข้อมูลขนาด 16 บิต ของหน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์

การอ่านและการเขียนข้อมูลขนาด 16 บิตกับหน่วยความจำแรมและรีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MB89N202 นั้นจะมีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 8 บิตเพื่อจดเก็บลงในแอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลแรม โดยข้อมูล 8 บิตบนหรือไบต์สูงจะถูกเก็บลงในแอดเดรสที่ต่ำกว่า ส่วนข้อมูล 8 บิตล่างหรือไบต์ต่ำจะถูกเก็บลงในแอดเดรสที่สูงกว่าที่อยู่ติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.20

จากรูปเป็นการเขียนข้อมูล 1234H ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ A เก็บลงในแอดเดรส 0081H ดังนั้นค่าไบต์บนคือ 12H จะถูกเก็บลงในแอดเดรส 0081H ส่วนค่า 34H ถูกเขียนลงในแอดเดรส 0082H ตามลำดับ

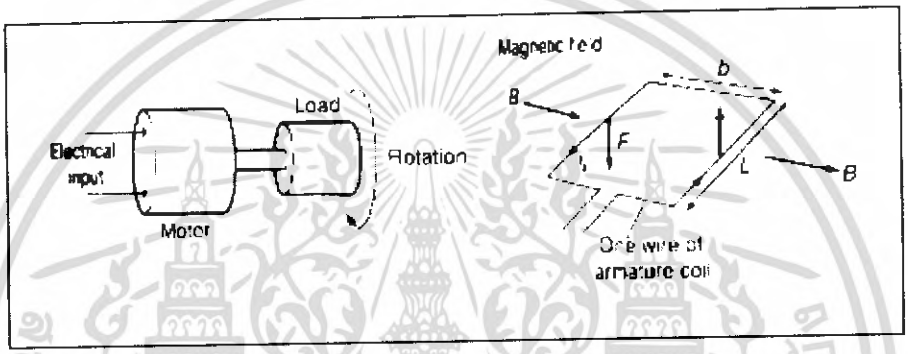


รูปที่ 2.17 การเก็บข้อมูลขนาด 16 บิตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MB89N202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 DC Motor

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current, D.C. Motor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หรือจะกล่าวว่าเป็นระบบที่มีสัญญาณไฟฟ้าเป็นอินพุท และมีเอาท์พุทเป็นพลังงานกลก็ได้ โดยทั่วไปมอเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดที่ส่วนหมุน หรือ Armature coils ซึ่งสามารถที่จะหมุนไปได้อย่างอิสระ ขดลวดนี้จะวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเป็นแม่เหล็กถาวร หรือส่วนมากจะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างจากกระแสไฟฟ้าผ่าน Field coils เมื่อมีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่าน Armature coils ซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงผลักทำให้ Armature นี้เกิดการหมุน ตามที่แสดงในรูป 2.22



รูป 2.18 DC Motor [www.cpe.ku.ac.th]

แรงกระทำ F ที่กระทำบนขดลวดความยาว L ที่มีกระแส i_a ไหลผ่าน และวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ที่มีความเข้มสนามแม่เหล็ก B แรง F ที่กระทำเป็นมุมฉากกับ B จะมีค่าเป็น

$$F = Bi_aL \qquad (2.4.1)$$

ถ้ามีขดลวดจำนวน N เส้นจะได้

$$F = NBi_aL \qquad (2.4.2)$$

แรงกระทำ F นี้จะยังผลให้เกิดแรงบิด T เมื่อ $T = Fb$ โดย b คือความกว้างของขดลวด

$$T = NBi_aLb \qquad (2.4.3)$$

เราจะเห็นว่า แรงบิด T นี้จะเป็นสัดส่วนกับ Bi_a ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ จะคงที่สำหรับมอเตอร์หนึ่ง ๆ ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$T = k_1Bi_a \qquad (2.4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $k_1 = NLb$

2.4.1 ชนิดของมอเตอร์ดีซีแบ่งตามตัวแปรที่ควบคุม

2.4.1.1 Armature Controlled Motor

เนื่องจาก Armature เป็นขดลวดที่หมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก จึงเกิดการการเหนี่ยวนำและทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ จะตรงกันข้ามกับทิศทางของความต่างศักย์ที่ทำให้เกิดการหมุน ดังนั้นเราจึงเรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำนี้ว่า Back emf โดย Back emf นี้ จะเป็นอัตราส่วนกับอัตราการหมุนของ Armature และสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวด ทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็ก B มีค่าเป็น

$$V_b = k_2 B\omega \qquad (2.4.5)$$

เมื่อ ω คือความเร็วรอบของเพลาและ k_2 เป็นค่าคงที่

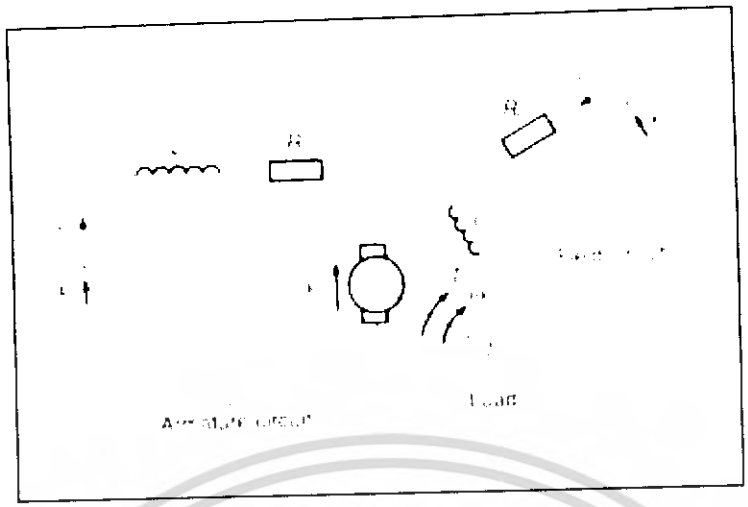
Armature Controlled Motor เป็นมอเตอร์ที่กำหนดให้กระแสไฟฟ้าให้ Field coils นั้นมีค่าคงที่ และความเร็วรอบของมอเตอร์จะปรับโดยปรับเปลี่ยนความต่างศักย์ V_a ที่ให้กับ Armature การที่กระแสไฟใน Field coils มีค่าคงที่ก็แสดงว่าความเข้มสนามแม่เหล็ก B มีค่าคงที่ ทำให้เราได้

$$V_b = k_3\omega \qquad (2.4.6)$$

เมื่อ k_3 คือค่าคงที่ ในวงจรของ Armature นั้นจะประกอบด้วยความต้านทาน R_a และ Inductance L_a ตามรูปที่ 2.12 ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิด Back emf V_b ขึ้น ดังนั้น ถ้าหากว่าเราให้ ความต่างศักย์ V_a กับวงจร Armature เราจะได้

$$V_a - V_b = La\frac{di_a}{dt} + R_a i_a \qquad (2.4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 D.C. Motor Circuit [www.cpe.ku.ac.th]

เมื่อเราพิจารณาสมการนี้ในรูปของ Block diagram ดังที่แสดงในรูปที่ 2.13 เราจะเห็นว่าค่าที่เราให้กับระบบเป็น v_a แต่จะถูกลดลงด้วย Back emf v_b ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณความผิดพลาด $(v-v_b)$ สัญญาณความผิดพลาดที่ได้นี้จะเข้าสู่ขดลวด Armature ดังนั้นสมการ (2.3.7)นี้จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณความผิดพลาด และค่ากระแสที่ได้ใน Armature coils i_a แทนค่า v_b ลงในสมการ (2.3.7) จะได้

$$V_a - k_3\omega = La\frac{di_a}{dt} + R_a i_a \qquad (2.4.8)$$

กระแส i_a ในขดลวด Armature จะทำให้เกิดแรงบิด T ซึ่งมีค่าตามสมการ (2.3.4) เป็น

$$T = k_1 B i_a = k_4 i_a \qquad (2.4.9)$$

เมื่อ k_4 เป็นค่าคงที่ จากนั้นแรงบิดจะกลายเป็นอินพุทให้กับระบบภาระกรรม ซึ่งในที่นี้คือเอาชนะความเฉื่อยของระบบเวลาและส่วนหมุนทั้งหมด ดังนั้นจากระบบเชิงกล

$$\text{Net torque} = \text{T} - \text{damping torque} \qquad (2.4.10)$$

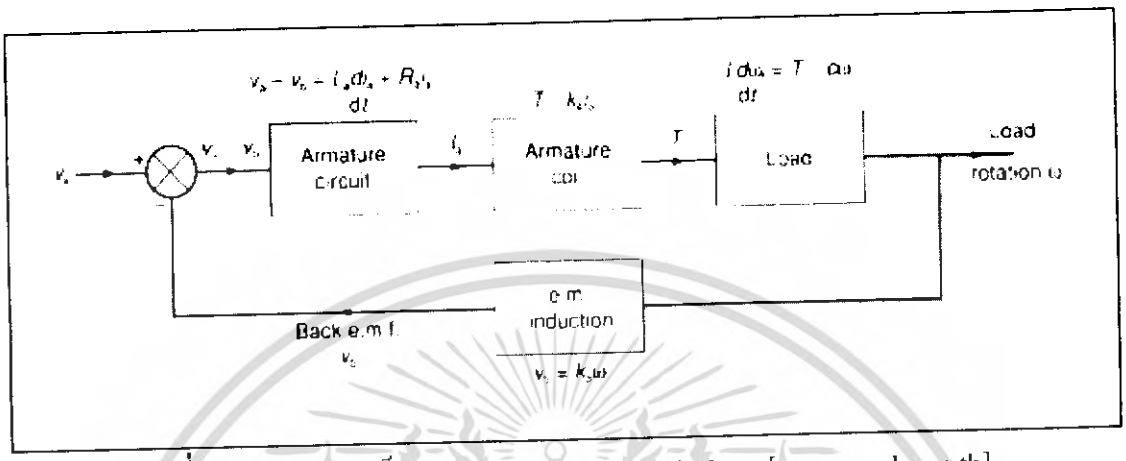
โดย damping torque มีค่าเท่ากับ $c\omega$ เป็นความหน่วง และ c เป็นค่าคงที่ ถ้าหากเราพิจารณาว่าเพลาไม่มีความยืดหยุ่นเชิงมุม หรือเพลาเป็นวัตถุเกร็งเราจะได้

$$\text{Net torque} = k_4 i_a - c\omega \qquad (2.4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากกฎข้อที่ 2 เราจะได้

$$I\frac{d\omega}{dt} = k_4 i_a - c\omega \qquad (2.4.12)$$



รูปที่ 2.20 แผนภาพบล็อกของ Armature Control Motor [www.cpe.ku.ac.th]

2.4.1.2 Field Controlled Motor

การควบคุมมอเตอร์แบบ Field Controlled Motor จะทำโดยกำหนดให้กระแสที่ไหลเข้าสู่ Armature มีค่าคงที่ แล้วปรับภาระกรรมโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ของ Field circuit ซึ่งวงจร Field circuit นี้จะประกอบด้วย Inductance ต่ออนุกรมกับ Resistant, R_f ดังนั้นในวงจรนี้

$$V_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \qquad (2.4.13)$$

เราสามารถพิจารณาการทำงานของ Field Controlled Motor ในรูปแบบของ Block Diagram ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 เราจะมีอินพุทเข้าระบบใน V_f จากนั้นจะทำให้เกิดกระแส i_f ขึ้นใน Field circuit ความสัมพันธ์ของกระแสและความต่างศักย์เป็นไปตามสมการข้างบนนี้ กระแสที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเข้มสนามแม่เหล็กและเกิดเป็นแรงบิดที่เหนี่ยวนำ armature แต่เนื่องจากความเข้มสนามแม่เหล็ก B นี้เป็นสัดส่วนกับกระแส i_f ในขณะที่ i_a มีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ (2.3.13) สามารถเขียนได้เป็น

$$T = k_1 B i_a = k_5 i_f \qquad (2.4.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ k_s เป็นค่าคงที่ จากนั้นแรงบิดจะเปลี่ยนเป็นการเอาชนะภาระกรรม คือระบบเพลาให้เกิดการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ซึ่งจากระบบเชิงกลเราได้

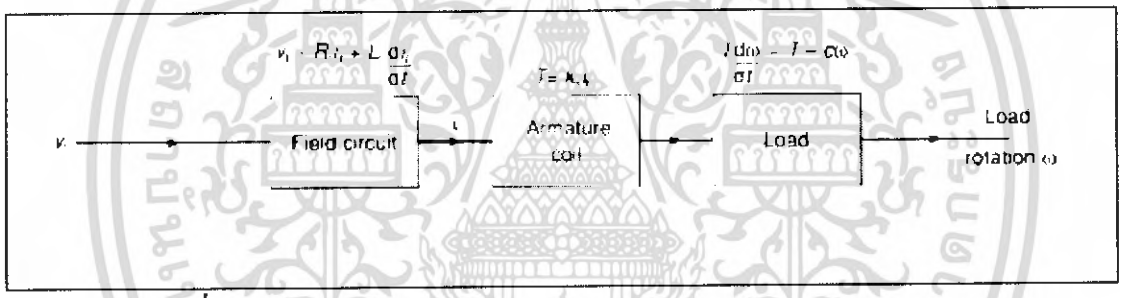
$$\text{Net torque} = \text{T} - \text{damping torque} \qquad (2.4.15)$$

โดย damping torque มีค่าเท่ากับ เมื่อ เป็นค่าคงที่ หากเราไม่พิจารณาความยืดหยุ่นของเพลาเราจะได้

$$\text{Net torque} = k_s i_f - c\omega \qquad (2.4.16)$$

และจากกฎของนิวตันเราจะได้

$$I\frac{d\omega}{dt} = k_s i_f - c\omega \qquad (2.4.17)$$



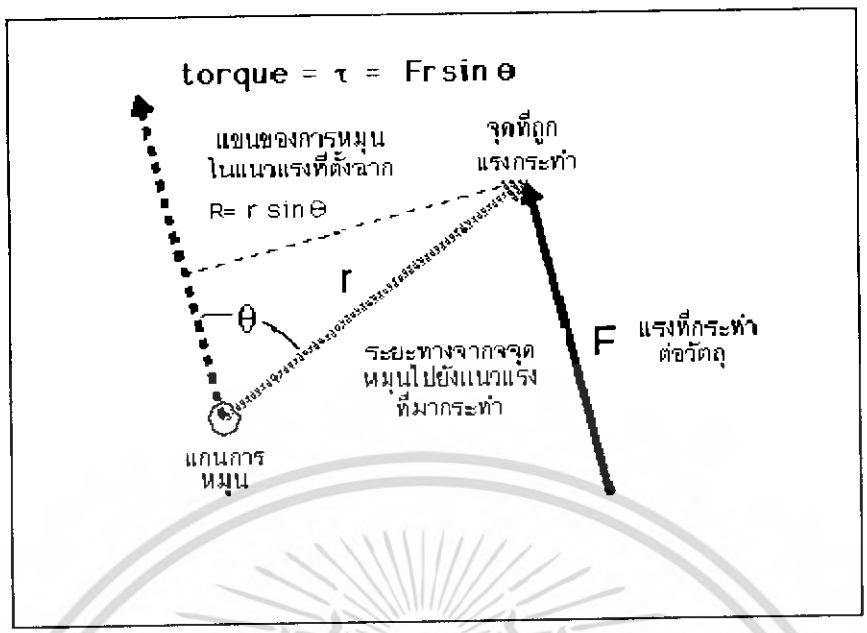
รูปที่ 2.21 แผนภาพบล็อกของ Field Control Motor [www.cpe.ku.ac.th]

ทอร์ค (Torque) คือ โมเมนต์ของแรงรอบจุดใด ๆ มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างขนาดของ แรง กับระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนมายังแนวแรง

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{r}$$

ในกรณีที่แนวแรง (F) และ ระยะทาง (R)ไม่ตั้งฉากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แนวแรง F และระยะทาง r ไม่ตั้งฉากกัน{www.cpe.ku.ac.th}

2.4.2 ชนิดของมอเตอร์ดีซีแบ่งตามลักษณะการกระตุ้น

2.4.2.1 มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยก

2.4.2.2 มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นตัวเอง

2.4.2.3 มอเตอร์ดีซีแบบชันต์

2.4.2.4 มอเตอร์ดีซีแบบซีรี

2.4.2.5 มอเตอร์ดีซีแบบคอมปาวด์

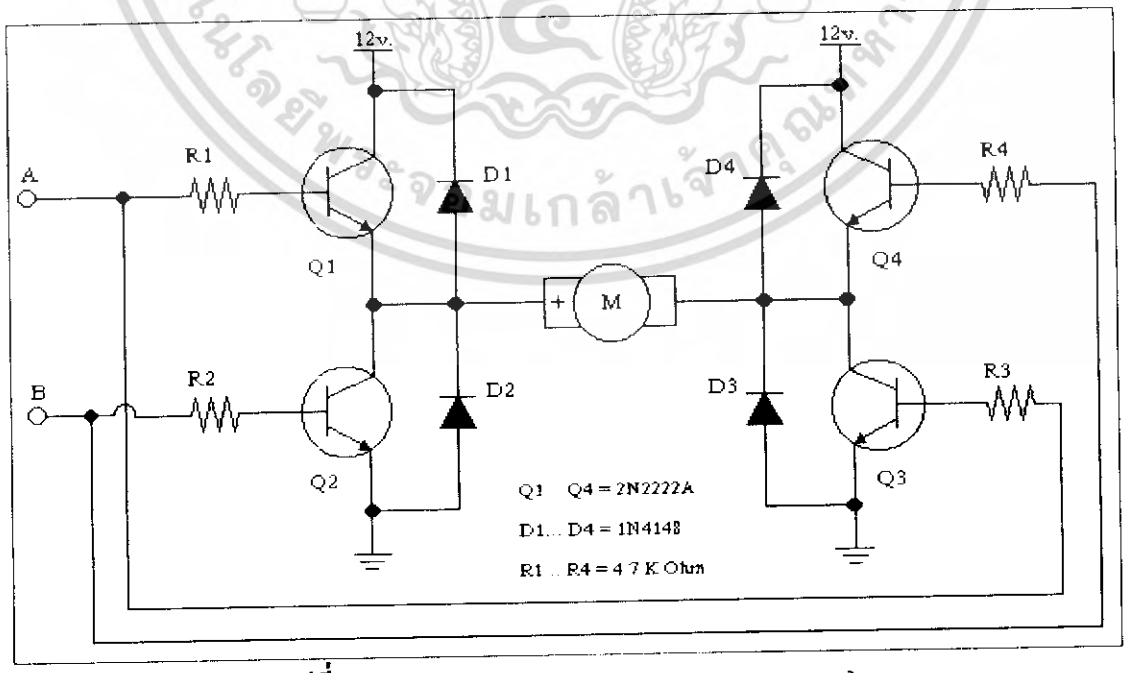
มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยกนั้น กระแสที่ป้อนให้ชุดขดลวดสนามและขดอาร์มาเจอร์จะมาจากแหล่งจ่ายไฟดีซีซึ่งแยกชุดกัน ส่วนแบบกระตุ้นตัวเองนั้นจะมาจากแหล่งจ่ายไฟดีซีชุดเดียวกัน กรณีที่ต้องการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซี โดยการปรับแรงดันที่ป้อน ให้กับมอเตอร์ จะใช้มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยกเป็นกรณีพิเศษเท่านั้น แต่โดยทั่วไปจะใช้แบบกระตุ้นตัวเองเป็นส่วนมาก สำหรับลักษณะการต่อวงจรของมอเตอร์ดีซีแบบซีรี และแบบชันต์จะเหมือนกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซี

สำหรับการต่อวงจรภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซี แบบคอมปาวด์นั้น จะมี 2 ลักษณะด้วยกัน คือ ต่อในลักษณะที่ให้แอมแปร์เทอร์นจากขดลวดสนามแบบชันต์เสริมหรือหักล้างกับขดลวดสนามแบบซีรี มอเตอร์ซึ่งต่อในลักษณะแรกนี้เรียกว่า มอเตอร์คอมปาวด์แบบคิวมูเลทีฟ และแบบหลังเรียกว่าแบบดิฟเฟอเรนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้ โดยการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการกลับขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วของมอเตอร์ โดยการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้านั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า H- Bridgeเข้ากับมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.1มีหลักการทำงานพื้นฐานดังนี้ เมื่อมีการจ่ายไบอัสเข้าที่จุด A ทำให้มีกระแสไหลผ่านR1 เข้าสู่ขา base ของ Q1 และมีกระแสไหลผ่าน R3 เข้าสู่ขา base ของ Q3 ทำให้ Q1 และ Q3 ทำงาน (ON)เปรียบเสมือนสวิทช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย 12 V ผ่านขา Collector และ Emitter ของQ1 ผ่านเข้าสู่ขาบวกของมอเตอร์ผ่านไปยัง Collector และ Emitter ของ Q3 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวกและครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Forward ได้ ส่วนกรณี Reward คือ เมื่อมีการจ่ายไบอัสเข้าที่จุด B ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R2 เข้าสู่ขา base ของ Q2 และมีกระแสไหลผ่าน R4 เข้าสู่ขา base ของ Q4 ทำให้ Q2 และ Q4 ทำงาน (ON) เปรียบเสมือนสวิทช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย 12 V ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q4 ผ่านเข้าสู่ขาลบของมอเตอร์ผ่านไปยัง Collector และ Emitter ของ Q2 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร ข้อควรระวังก็คืออย่าให้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานพร้อมกันเด็ดขาดเพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรถึงแม้ว่าการสร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor นั้นจะไม่มีปัญหารบกวนจากอำนาจสนามแม่เหล็กและยังตอบสนองการทำงานได้เร็วมาก แต่ก็ยังมีอุปกรณ์หลายตัว ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ จึงมีวงจร H-Bridge Switching ในรูปของ IC ที่สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และสะดวกกว่า คือ (DUAL FULLBRIDGE DRIVER) L298

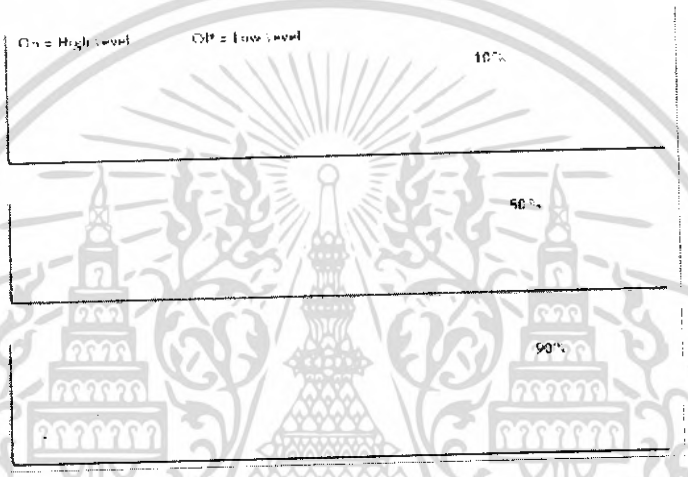


รูปที่ 2.23 วงจร H – Bridge [digital.lib.kmutt.ac.th]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

เนื่องจากส่วนของ Stator เป็นแม่เหล็กถาวร การควบคุมความเร็วจึงทำได้โดยการเปลี่ยนค่า armature voltage ซึ่งค่าความต่างศักย์นี้จะแปรผันตรงกับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ วิธีที่จะเปลี่ยนระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า จะใช้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการเปิดและปิดแหล่งจ่ายได้ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของแรงดัน เรียกว่า Pulse Width Modulation ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม %duty cycle ของ Pulse Width ถ้า %duty cycle มาก ก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดันมากหรือทำให้มอเตอร์หมุนเร็ว หรือถ้า %duty cycle น้อย ก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดันน้อยหรือทำให้มอเตอร์หมุนช้า



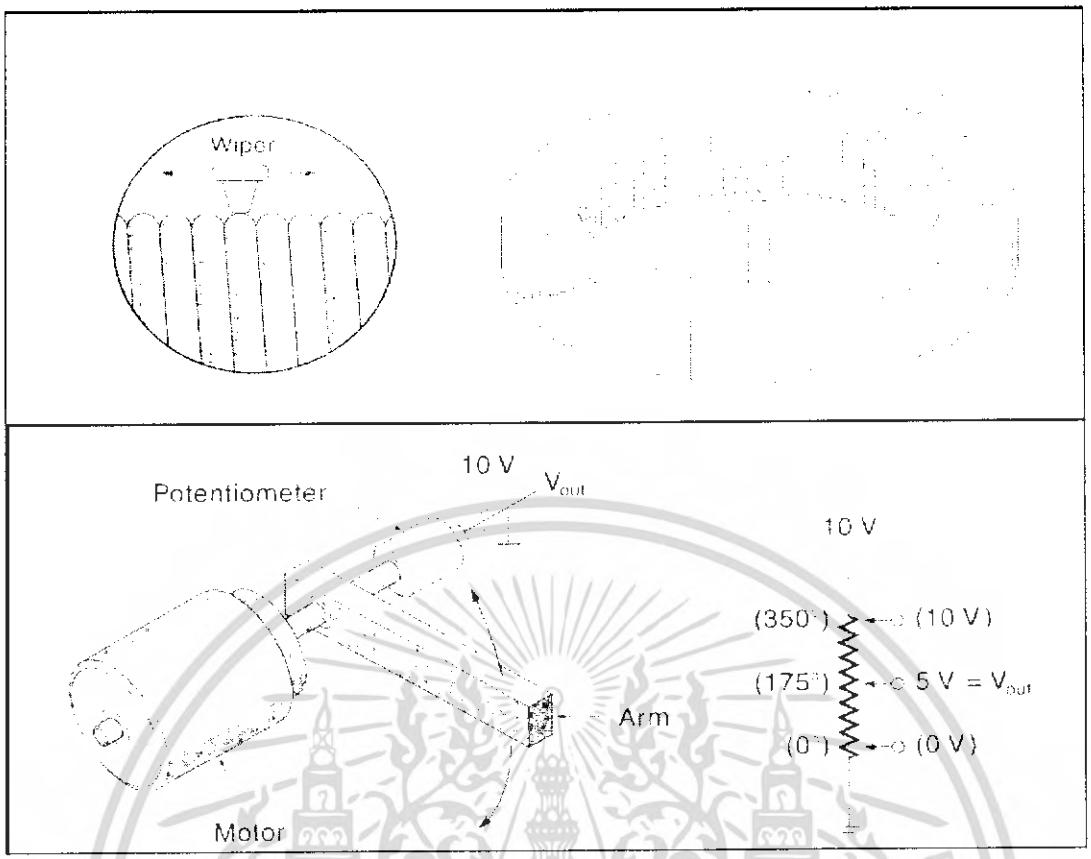
รูปที่ 2.24 PWM signals of varying duty cycles [digital.lib.kmutt.ac.th]

2.4.5 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (Position Control) มีหลักการคือจะทำการเปลี่ยนจากตำแหน่งการหมุนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หลักการของการแบ่งแรงดัน (Voltage divider) มีชื่อเรียกว่า Potentiometer (Pot)โดยที่ตัว Pot จะต่อกับเพลาของมอเตอร์ และตัวถังจะยึดอยู่กับที่ เมื่อมีการหมุนก็คือเปลี่ยนค่าความต้านทานเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันที่ได้นี้จะนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยผ่านวงจร (Analog Digital Converter) ซึ่งข้อมูลดิจิตอลที่ได้จะเรียกว่าข้อมูลตำแหน่ง Data position และจะนำไปประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

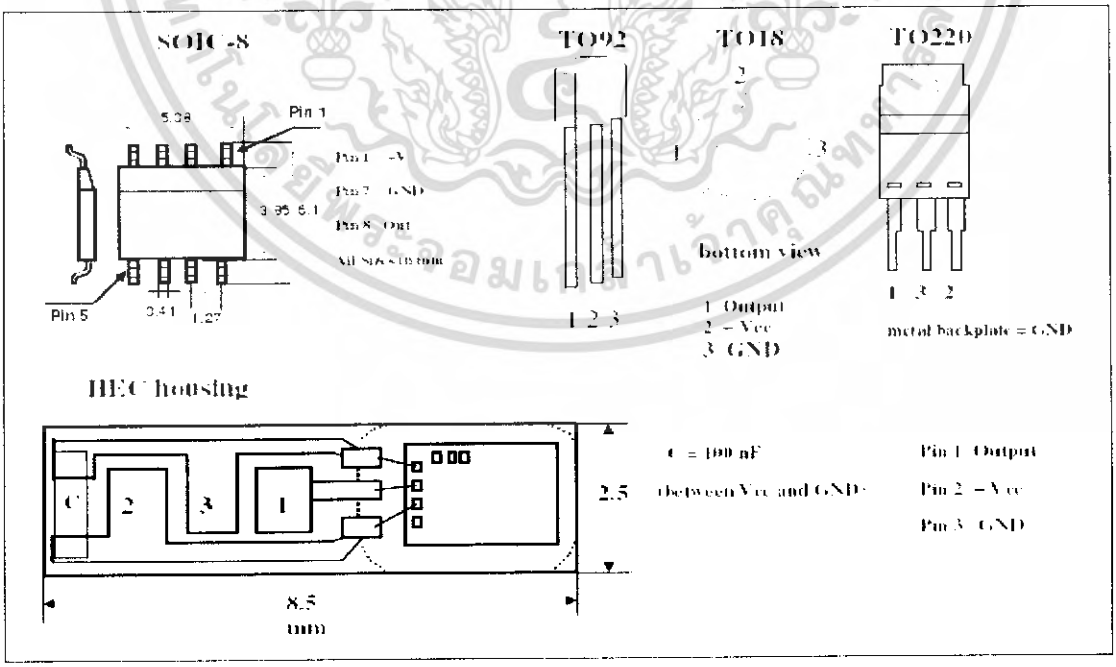
ตัว Pot จะใช้เป็นชนิด Wire-wound potentiometer ดังรูปที่ 2.3 เพราะมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นเชิงเส้น และมีขอบเขตการหมุน 350 องศา เนื่องจากโครงสร้างตัวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ [digital.lib.kmutt.ac.th]

2.5 Smart Temperature Sensor : SMT160



รูปที่ 2.26 SMT160 [www.smartec.nl]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 Specifications

Parameters	TO18			TO92	TO220	HEC	SOIC-8	Unit
	Min	typ	Max	Max[1]	Max	Max	Max	
Supply voltage[2]	-4.75	5	7					V
Supply current	160		200					μA
Temperature range[3]	-45		130					C
Total accuracy[4]	-30+100 C		0.7	1.2	1.7	1.5	1	C
	-45+130 C		1.2	2	1.7	1.5	1.5	C
Non-linearity[5]			0.2	0.4	0.5	1.0	1.0	C
Supply voltage sensitivity			0.1	*	*	*	*	C/V
Repeatability			0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	C
Long term drift			0.05	-	-	-	0.05	C
Frequency	1	-	4	*		*		KHz
Noise			0.005	*		*		C
Impedance			200	*		*		Ohm

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ SMT160-130 [www.smartec.nl]

2.5.2 Output Signal

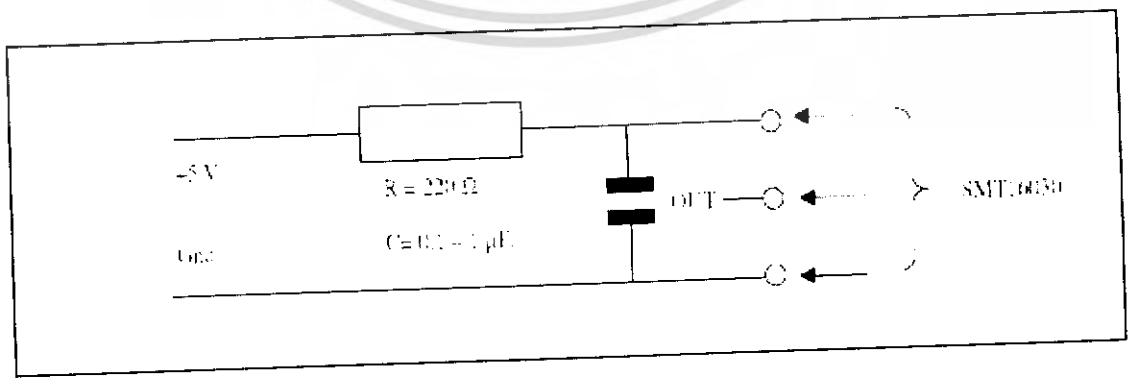
ในการนำไปใช้งานจะต้องผ่านการคำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$D.C. = 0.320 + 0.00470 * t$$

โดยที่

D.C. = duty cycle

t = Temperature หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



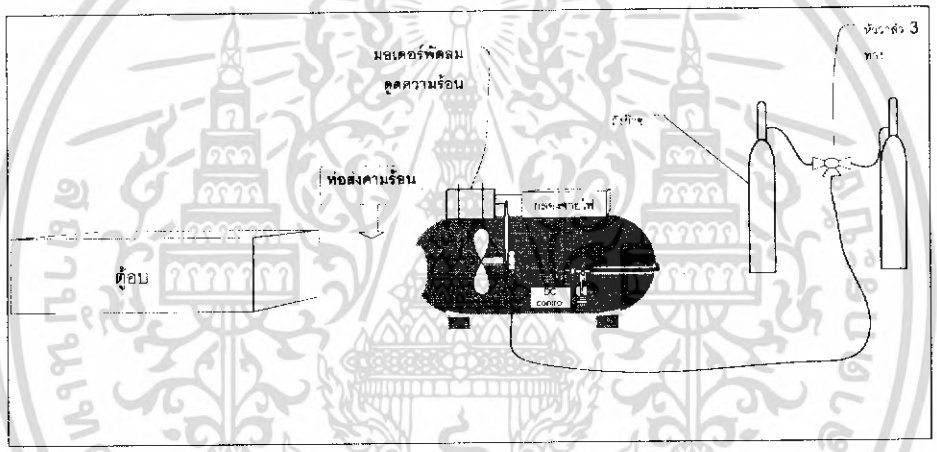
รูปที่ 2.27 การต่ออุปกรณ์ก่อนนำไปใช้งาน [www.smartec.nl]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบโครงงาน

จากจุดประสงค์ของโครงงานที่ต้องการประหยัดก๊าซหุงต้ม ที่ใช้ในการอบผลผลิตทางการเกษตร และลดความยุ่งยากซับซ้อนในการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบให้คงที่ เราจึงทำการวัดอุณหภูมิภายในเตาอบ โดยวางเซ็นเซอร์ไว้ภายในเตาจำนวน 4 จุด จากนั้นนำเอาอุณหภูมิจาก Sensor ทั้ง 4 จุดนี้มาหาค่าเฉลี่ย นำไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ แล้วจึงนำค่าความต่างที่ได้ไปควบคุมการจ่ายแก๊สเข้าสู่ภายในเตาอบ

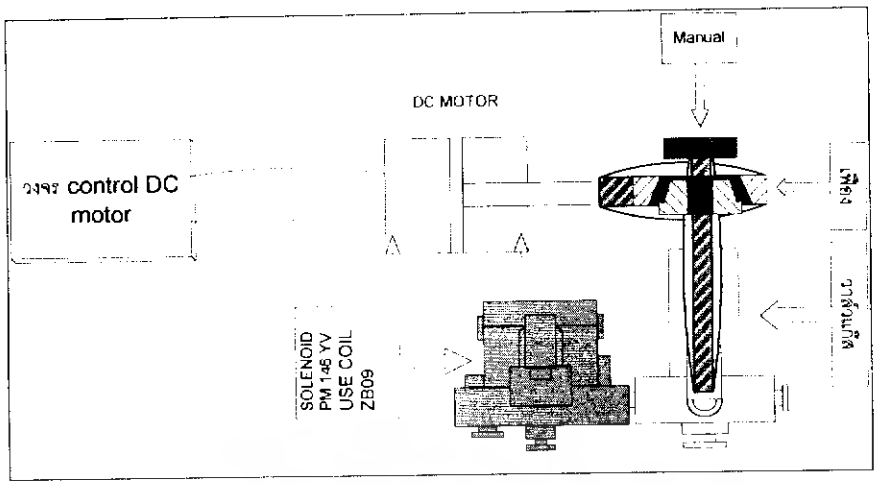


รูปที่ 3.1 Block Diagram การออกแบบโครงงาน

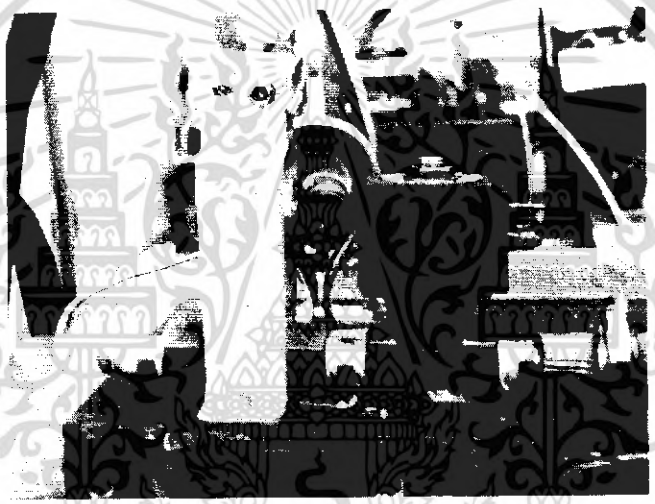
3.2 ระบบการจ่ายแก๊ส

ระบบการจ่ายแก๊สจะใช้มอเตอร์ในการควบคุมการเปิดปิดของวาวล์แก๊ส ซึ่งทิศทางการหมุนของวาวล์แก๊สนั้น Controller จะเป็นตัวกำหนดทิศทางการหมุนเพื่อปล่อยแก๊สในปริมาณที่เหมาะสมกับอุณหภูมิภายในเตาขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



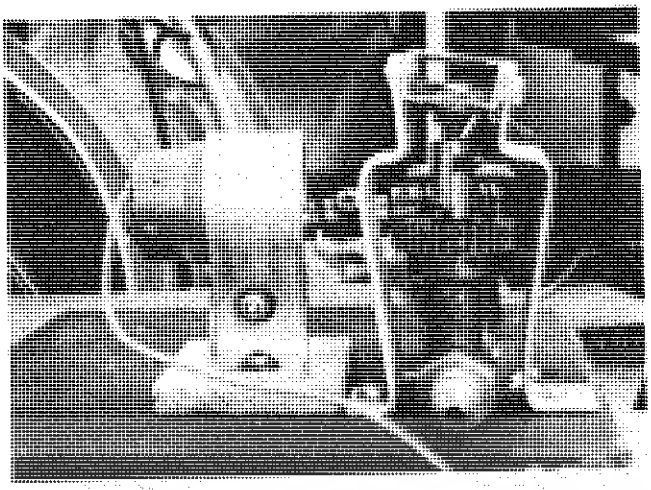
รูปที่ 3.2 Block Diagram ระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG



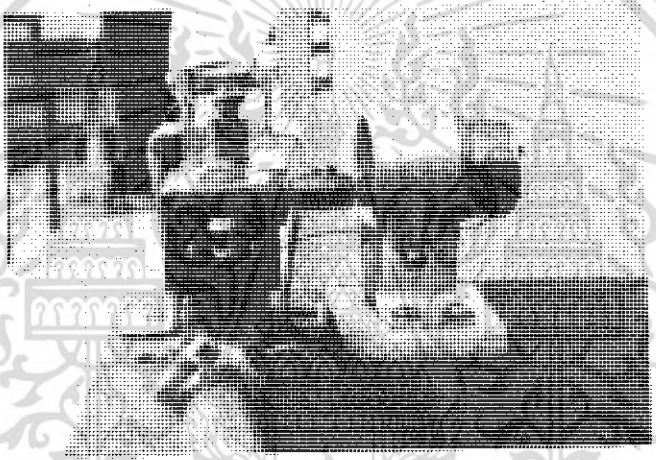
รูปที่ 3.3 ภาพด้านหน้าระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG

รูปที่ 3.4 ภาพด้านหลังระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ภาพด้านข้างระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG



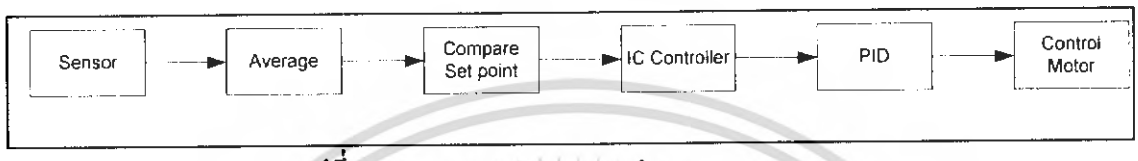
รูปที่ 3.6 ภาพด้านข้างระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG

รูปที่ 3.7 ภาพการติดตั้งระบบควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG

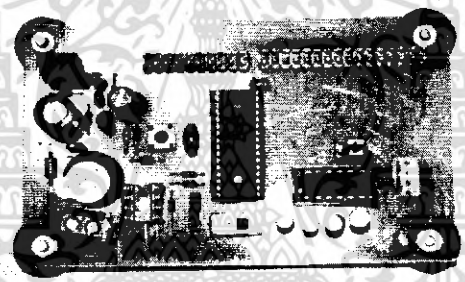
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Controller

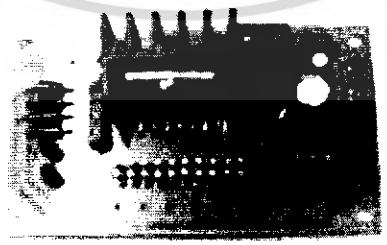
Controller จะรับอุณหภูมิมาจาก Sensor ทั้ง 4 ตัวภายในเตาอบนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ หากอุณหภูมิภายในเตาอบสูงกว่าหรือว่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ Controller จะควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่ควบคุมวาวล์แก๊ส ปรับเปลี่ยนทิศทางการปล่อยแก๊สให้เหมาะสม เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาอบคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้



รูปที่ 3.8 Block Diagram การทำงานของ Controller



รูปที่ 3.9 Board Controller

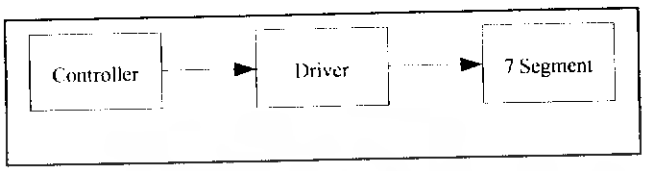


รูปที่ 3.10 Broad Drive Motor

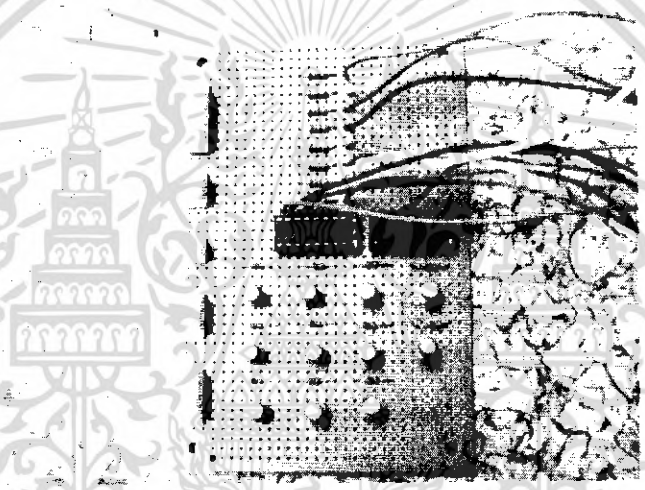
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การแสดงผล

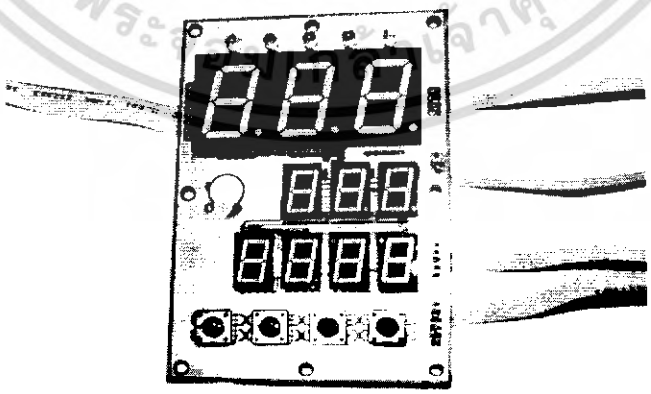
ในส่วนของการแสดงผลนั้น Display จะรับอุณหภูมิมาจาก Controller รวมทั้งหมด 5 ค่า คือ ค่าอุณหภูมิแต่ละจุดภายในเตาอบจาก Sensor ทั้ง 4 ตัวภายในเตาอบ และค่าเฉลี่ยที่จะนำไปใช้ในการควบคุมการจ่ายแก๊ส โดยจะแสดงผลผ่าน 7 Segment



รูปที่ 3.11 Block Diagram การทำงานของ Display

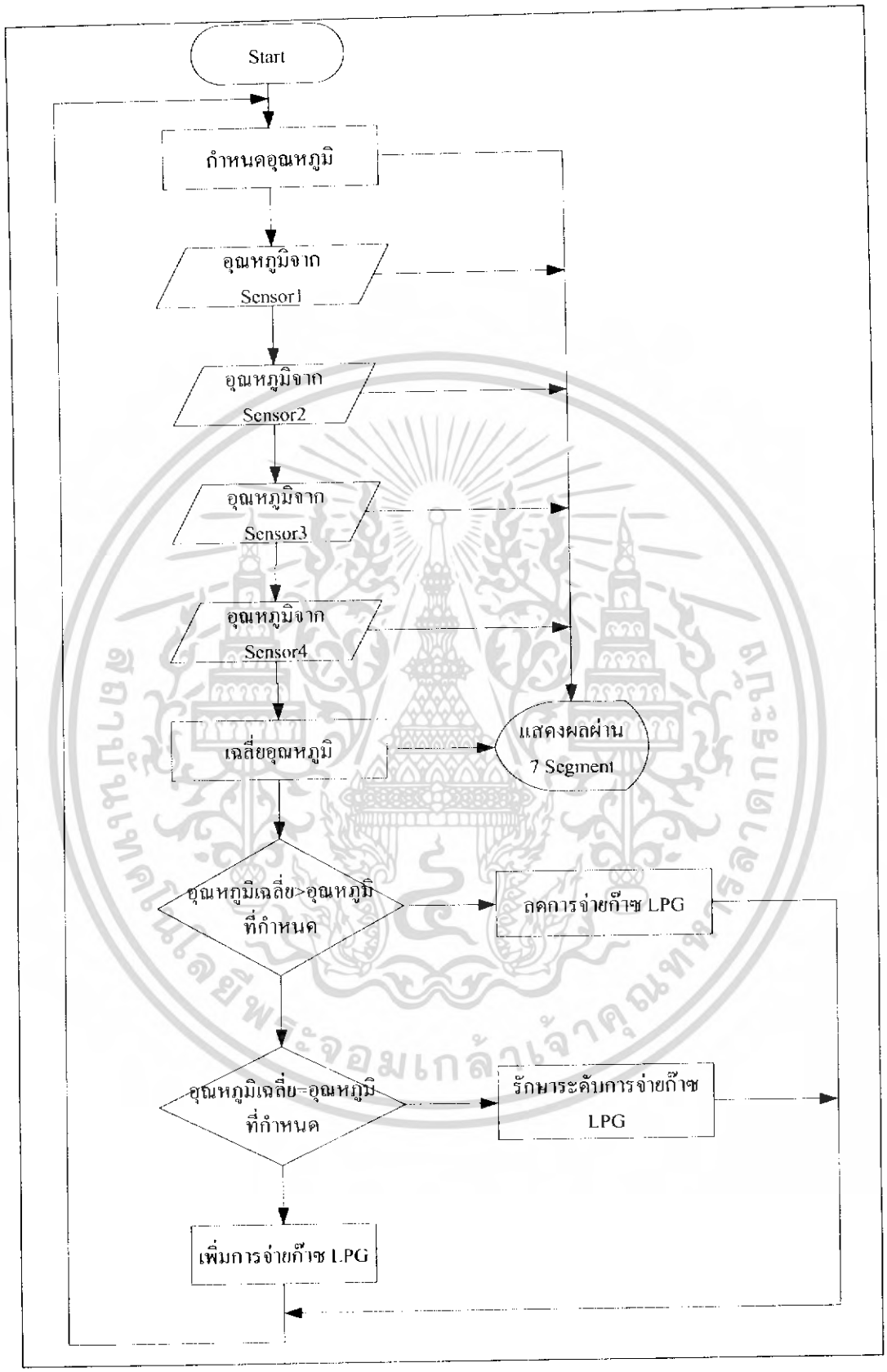


รูปที่ 3.12 Broad Drive Display



รูปที่ 3.13 Board Display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ผังแสดงการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การแสดงอุณหภูมิผ่านทาง 7 Segment

แบ่งการแสดงผลออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

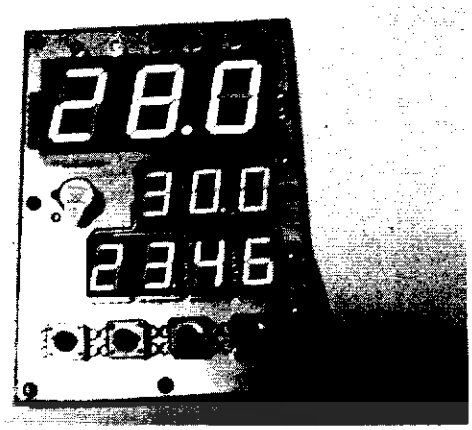
4.1.1 การแสดงอุณหภูมิจาก Sensor แต่ละตัวและอุณหภูมิที่ได้จากการเฉลี่ย ซึ่ง LED แต่ละดวงแสดงถึงตำแหน่งอุณหภูมิจาก Sensor แต่ละตัวและ LED ตัวที่ 5 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการนำอุณหภูมิทั้ง จาก Sensor ทั้ง 4 ตัวมาทำการหาค่าเฉลี่ย

4.1.2 การแสดงผลในแถวที่ 2 คือ ค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้เพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิภายในเตาอบให้คงที่โดยการควบคุม จะนำอุณหภูมิที่ได้จากการเฉลี่ย ทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่กำหนด

4.1.3 การแสดงเวลาที่ใช้ไปตั้งแต่เตาอบเริ่มทำงาน

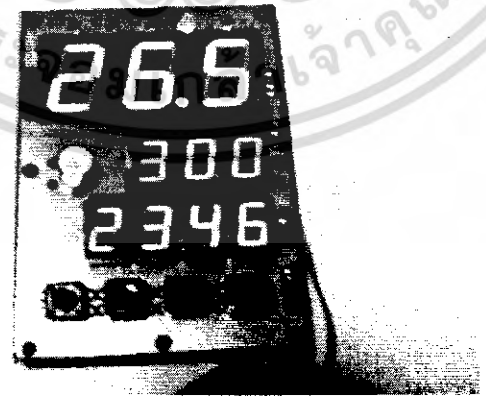
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



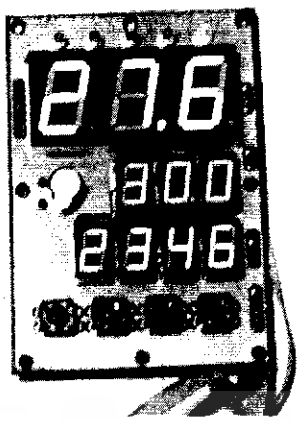
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 2

รูปที่ 4.3 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 3



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

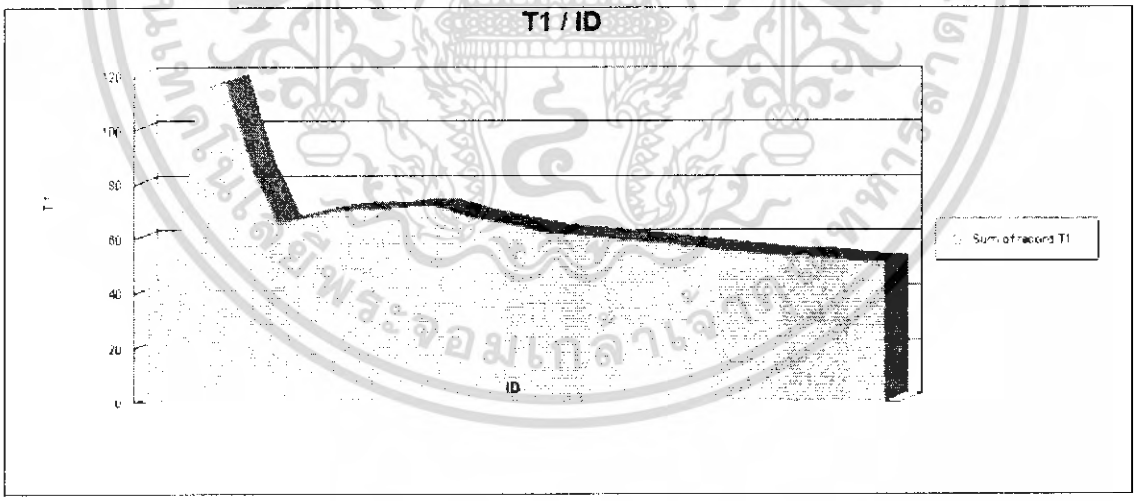


รูปที่ 4.5 อุณหภูมิจากการนำอุณหภูมิทั้ง 4 ตัวรวมกัน

4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิแต่ละจุด

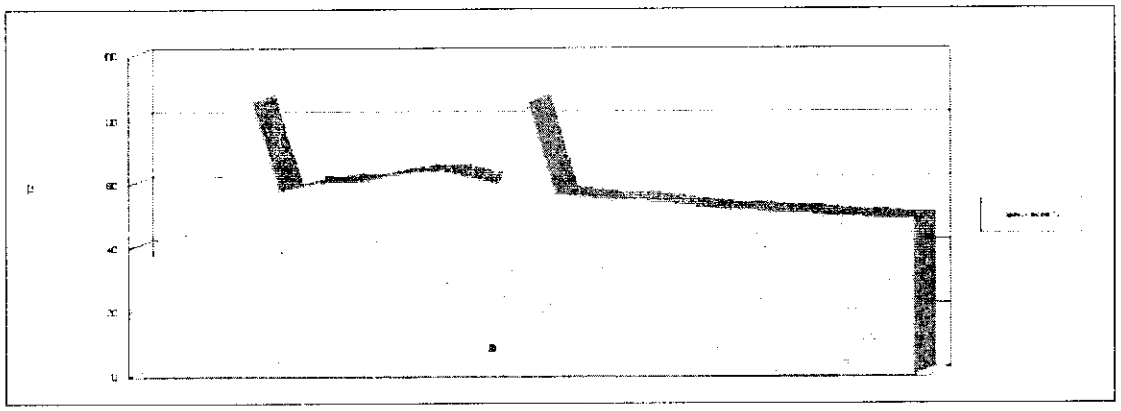
4.2.1 จากกราฟแสดงอุณหภูมิแต่ละจุด แกน X หมายถึง ค่าเวลา และแกน Y หมายถึง อุณหภูมิ

4.2.2 จากกราฟแสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบกับแรงดัน แกน X หมายถึง ค่าอุณหภูมิ และแกน Y หมายถึงค่าแรงดันที่ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

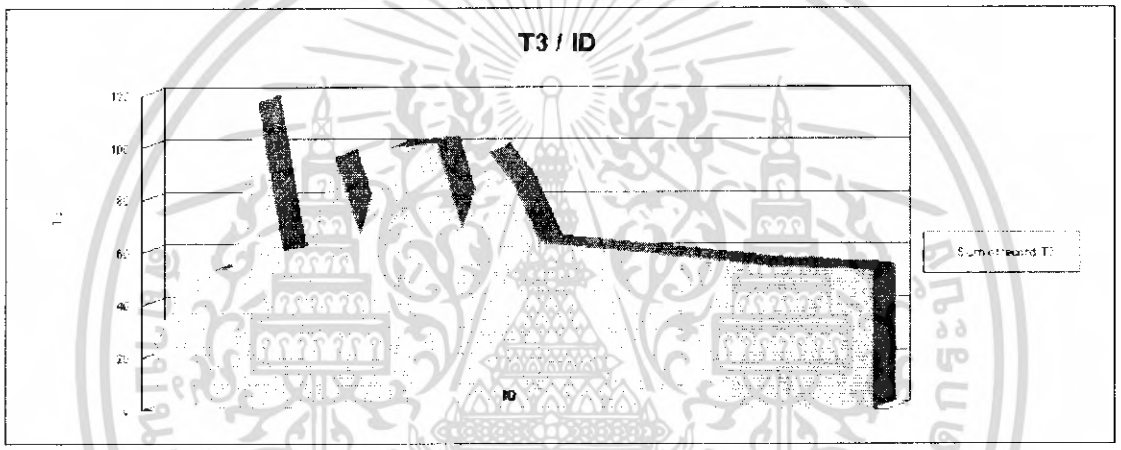


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 1

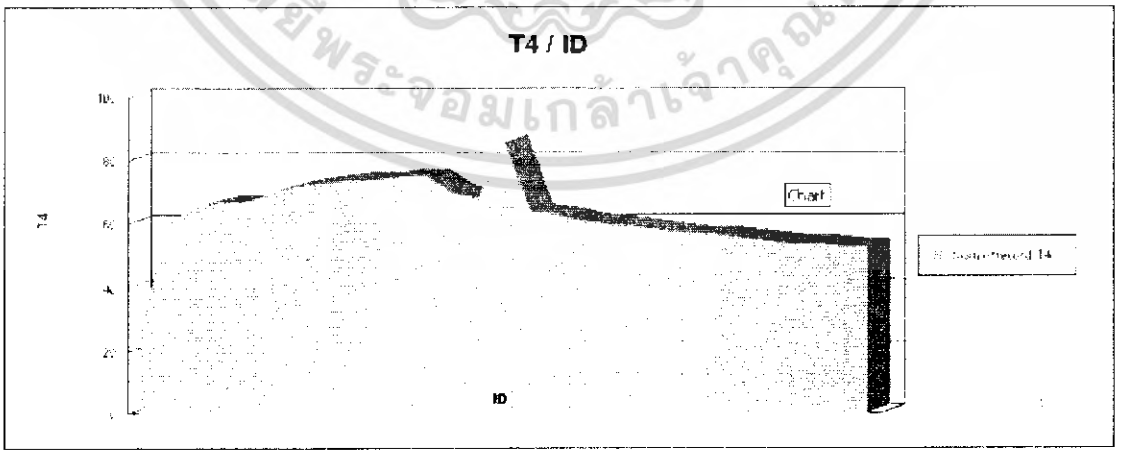
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 2

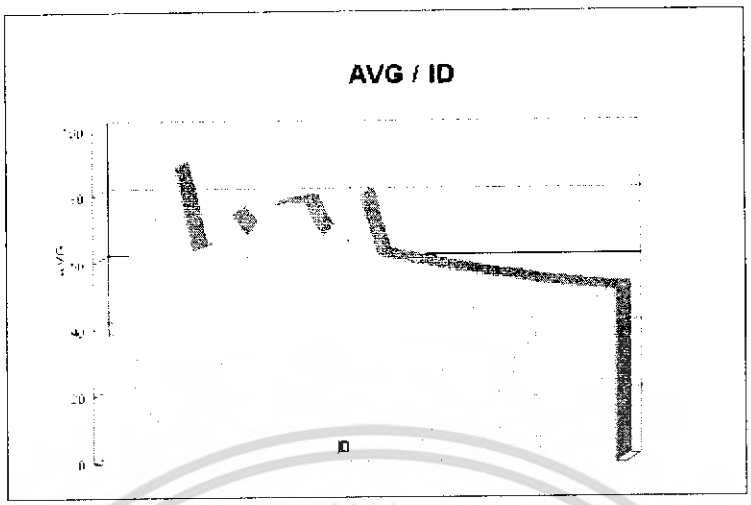


รูปที่ 4.8 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 3

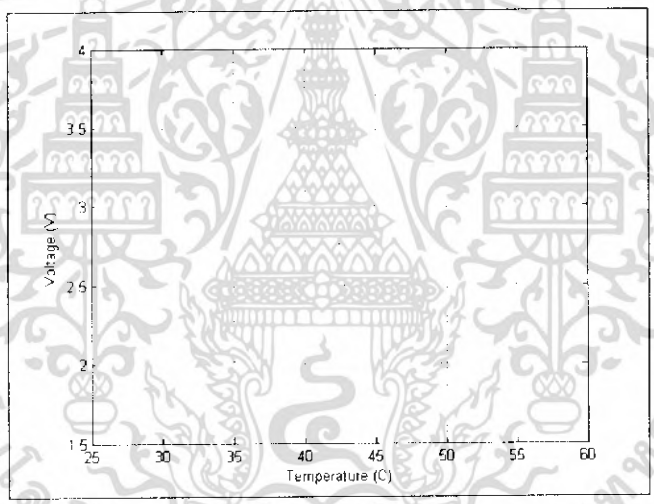


รูปที่ 4.9 อุณหภูมิจาก Sensor ตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิจากการหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอุณหภูมิและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปการพัฒนาโครงงาน

5.1 สรุปการพัฒนาโครงงาน

ระบบที่นำมาใช้มีการออกแบบอย่างมีแบบแผน เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน และมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานได้หลายรูปแบบ ไม่เจาะจงเฉพาะเตาอบแบบใช้ลมร้อนเท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยละเอียดตามความต้องการของผู้ใช้งาน

5.1.2 สามารถเลือกจุดวัดอุณหภูมิได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

5.1.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่แล้วได้ทันที

5.1.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแปรรูปผลไม้อบแห้ง เช่น ลำไย, กล้วย, ขนุน ฯลฯ

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

5.2.1 การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ที่ต้องการแรงดันในการควบคุมที่แม่นยำ

5.2.3 การหาตำแหน่งของวาวล์ ในการจุดเชื้อเพลิง

5.2.4 การรับ-ส่งข้อมูลระหว่าง Controller และ Broad Display เช่น การแสดงผลกิตความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก Micro Controller มีภาระงานเป็นจำนวนมาก

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้การเฉลี่ยแบบหลายจุดนี้ ได้ทดลองใช้กับเตาอบลำไยแบบใช้ลมร้อนเท่านั้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิอื่นๆได้ เช่นการปรับอากาศภายในอาคาร หรือการควบคุมอุณหภูมิภายในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องการการควบคุมอุณหภูมิในบริเวณกว้าง อย่างเช่นที่ได้ทดลองมา คือการนำอุณหภูมิจากหลายๆจุดมาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปควบคุมการจ่ายก๊าซ LPG เข้าไปภายในเตาอบแบบใช้ลมร้อน เพื่อให้อุณหภูมิคงที่และได้ผลผลิตที่ผ่านการอบที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน เพิ่มคุณภาพทางการผลิตและประหยัดต้นทุนในเรื่องของพลังงานที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, นคร ภักดีชาติ และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. 2547 . **ทดลองและใช้งาน MB89202.** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์

http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/automatic/chapter216.html

http://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue2/articles/energy/index.html

http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/control/stability/

http://www.smartec.nl/pdf/DSSMT16030.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

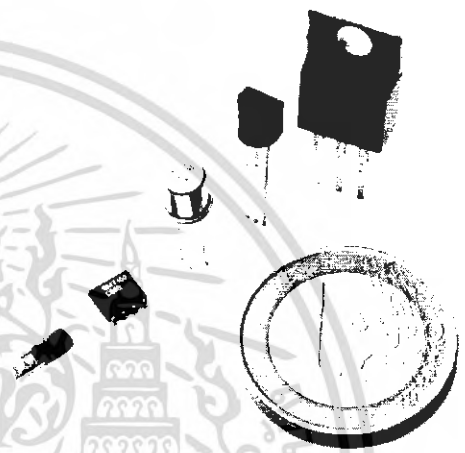
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMT16030 DIGITAL TEMPERATURE SENSOR

Features

Absolute accuracy ± 0.7 °C
Linear output within 0.2 °C
Resolution better then 0.005 °C
Duty Cycle output
Calibrated on chip
TTL, CMOS compatible
Temperature range 175 °C (-45 to +130 °C)
Directly connectable to data input of microproeessor
Easy multiplexing of multiple sensors



Typical applications

Heater systems
Measuring instruments
Washing machines
Overheating protection
Appliances

Introduction

The Smartec temperature sensor is a sophisticated full silicon temperature sensor with a digital output. The one wire output (duty-cycle modulated) can be directly connected to all kinds of micro-controllers without the need of A/D conversion. The temperature range is –45 °C to 150 °C. The high resolution (< 0.005 °C) makes the sensor useful for high precision applications. The sensor is available in various housings like T018, T092, T0220 and for high volume production in SOIC. Special housing can be manufactured on request.

Product highlights

The SMART TEMPERATURE SENSOR features a duty-cycle modulated square wave output voltage with linear response to temperatures in tbe -45 °C to +130 °C range. The absolute accuracy is better than 1.2 °C. In the range from -30 to +100 °C absolute accuracy is better than 0.7 °C, while the linearity is better than 0.2 °C (Model TO18).

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The SMART TEMPERATURE SENSOR is calibrated during test and burn-in of the chip. The integrated modulator ensures the sensor unit can communicate effectively with low-cost microcontrollers without the need of (onboard) A/D converters or an Xtal controlled oscillator.

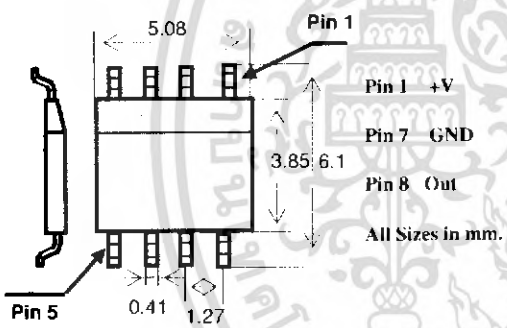
The SMART TEMPERATURE SENSOR combines digital output and on-chip calibration to ensure major cost reductions and performance-related advantages.

In applications where multiple sensors are used, easy multiplexing can be obtained by using a corresponding number of microprocessor inputs or by using low cost digital multiplexers.

Since the sensor requires no subsequent calibration, optimal cost savings are recorded both during manufacturing and in the course of after-sales servicing.

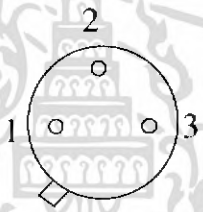
Pin-out and housing.

SOIC-8



TO92

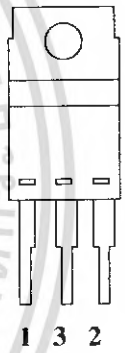
TO18



bottom view

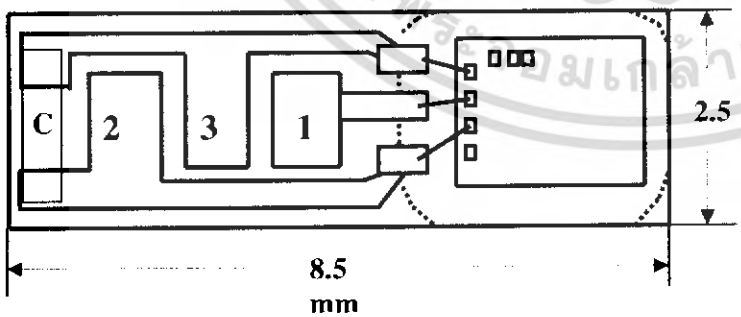
1 Output
2 + Vcc
3 GND

TO220



metal backplate = GND

HEC housing



C = 100 nF
(between Vcc and GND)

Pin 1 Output
Pin 2 + Vcc
Pin 3 GND

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Parameters	TO18 min	TO18 typ	TO18 max	TO92 max [1]	TO220 Max	HEC max	SOIC-8 max	Units
Supply voltage[2]	4.75	5	7.2	*	*	*	*	V.
Supply current	160		200	*	*	*	*	µA.
temperature range[3]	-45	-	130	*	*	*	*	°C
Total accuracy[4]	-30 + 100 °C		0.7	1.2	1.7	1.5	1	°C
	-45 + 130 °C		1.2	2	1.7	1.5	1.5	°C
Non linearity[5]			0.2	0.4	0.5	1.0	1.0	°C
Supply voltage sensitivity			0.1	*	*	*	*	°C/V
Repeatability			0.1	0.2	0.2	0.2	0.05	°C
Long term Drift			0.05	-	-	-	0.05	°C
Operating temperature	-45		130	*	*	*	*	°C
Storage temperature	-50		150	*	*	*	*	°C

Output

- duty cycle	=0.320+0.00470*t (t=temperature in C)							
- frequency	1	-	4	*	*	*	*	Khz
- noise			0.005	*	*	*	*	°C
- impedance			200	*	*	*	*	Ohm
- short circuit	infinite maximum current applied 40 mA							

1 * All not mentioned specifications are the same as for TO18
2 Case connected to ground
3 The SMT 30-160-18 can be used from -65 to +160 °C for a short period without physical damage to the device. The specified accuracy applies only to the rated performance temperature range.
4 Total accuracy includes all errors.
5 Applicable from -30 to +100 °C

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product description

The SMT160-30 is a three terminal integrated temperature sensor, with a duty-cycle output. Two terminals are used for the power supply of 5 Volts and the third terminal carries the output signal. A duty cycle modulated output is used because this output is interpretable by a micro-processor without A-D converter, while the analogue information is still available. The SMT160-30 (TO18 model) has an overall accuracy of 0.7 °C in the range from -30 C to +100 °C and an accuracy of 1.2 °C from -45 to +130 °C. This makes the sensor especially useful in all applications where "human" (climate control, food processing etc.) conditions are to be controlled. Due to its very high resolution (< 0.005K) this sensor is especially suited for applications where very accurate measurements are needed.

The CMOS output of the sensor can handle cable length up to 20 meters. This makes the SMT160-30 very useful in remote sensing and control applications.

Understanding the specifications.

It is important to understand the meaning of the various specifications and their effects on accuracy. The SMT160-30 is basically a bipolar temperature sensor, with accurate electronics to convert the sensor signal into a duty cycle. During production the devices are calibrated.

The output signal

The output is a square wave with a well-defined temperature-dependent duty cycle. The duty cycle of the output signal is linearly related to the temperature according to tbe equation:

$$D.C. = 0.320+0.00470*t$$

D.C. = duty cycle
t = Temperature in °C

A simple calculation shows that - for instance- at 0 °C:

D.C.= 0.320 or 32.0 % and at 130 °C

D.C.= 0.931 or 93.1 %

In the output frequency of the sensor there is no temperature information, only the duty cycle contains temperature information in accordance to the formula given above. The output signal may show low frequency jitter or drift. Therefore most oscilloscopes and counters are not suited for verifying the accuracy of these sensors. The temperature information contained in the duty-cycle value, however, is guaranteed to be accurate within the values specified for each model (housing).

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Total accuracy

The mentioned equation is the nominal one. The maximum deviation from the nominal equation is defined as total accuracy. With temperatures above 100 °C the accuracy decreases.

Non linearity

Non-linearity as it applies to the SMT160-30 is the deviation from the best-fit straight line over the whole temperature range. For the temperature range of -30 °C to +100 °C the non-linearity is less than 0.2 °C (TO18).

Long-term drift

This drift strongly depends on the operating condition. At room temperature the drift is very low (< 0.05 °C). However at higher temperatures the drift will be worse, mainly because of changes in mechanical stress. This drift is partly irreversible and causes non-ideal repeatability and long-term effects. At temperatures above 100 °C (but in the operating range) a long-term drift better than 0.1 °C is to be expected.

Noise

The resolution is better than 0.005 °C. The standard deviation of the noise level (measured over a 20 ms. period) is below this 0.005 °C.

Time constants

The time constant of the sensor is measured under different circumstances.

To compare this with other types of sensors the same kind of measurements were done. The time constant is defined as the time required to reach 63% of an instantaneous temperature change.

The figures mentioned below are difficult to measure; an accuracy of around 5 % is a reasonable estimation. These figures only apply to the sensor built in a TO-18 housing and not the TO-92, the TO220 nor the naked chip. The values found only depend on the physical parameters of the measurement setup.

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condition	timeconstant (s) (TO18)
mounted in an alu block of a certain temperature (mean value of different measurements)	0.6
in a bath filled with oil that was stirred (mean value of different measurements)	1.4
Moving air with a speed of about 3 m/s	
- without heatsink	13.5
- with heatsink	5
Non moving air	
-without heatsink	60
-with heatsink	100

Overview of time constants in different conditions

General operation

A simple way of measuring a duty cycle is to use a microcontroller. The sensor output can be directly connected to a microcontroller input. The microcontroller can determine the duty-cycle value by sampling the sensor output. If the microcontroller is not fast enough to determine the temperature accurately enough within one sensor output cycle, the sampling can be extended over multiple periods. This method has the advantage to filter out noise. From the theory of signal processing it can be derived that there is a fixed ratio between the sensors signal frequency, the sampling rate and the sampling noise. This sampling noise limits the accuracy and amounts to:

$$T_{error} = 200 * t_s / sqrt(6 * t_m * t_p)$$

T_{error} = measurement error (= standard deviation of the sampling noise)
t_s = microcontrollers sampling rate
t_m = total measurement time
t_p = output signal periodicity of the sensor

Microcontrollers can sample at a high frequency so with a simple program it is possible to measure the sensor's duty cycle within 50 ms and a resolution of .01 °C.

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

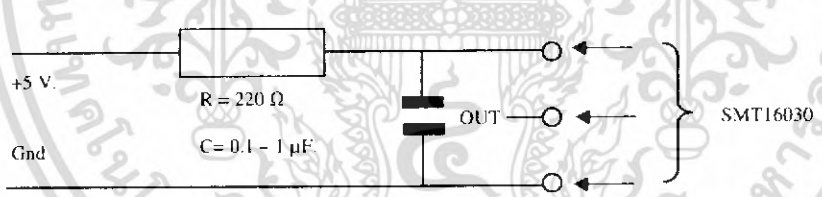
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTE:

The above mentioned error is NOT related to the intrinsic accuracy of the sensor. It just tells us what happens to the accuracy (standard deviation) of the measurement of a digital signal, when that signal is being sampled by a microcontroller.

About noise protection and how to prevent damage caused by a wrong power supply polarity.

The Smartec SMT16030 is based on a free running oscillator. Periodic spikes on the power supply line may make the oscillator synchronise, resulting in a false temperature reading. To overcome this problem it is advised to put a filter in the power supply line of the sensor. It is suggested to use a low pass RC filter as given below. An additional advantage also is the power supply polarity protection of the sensor. The resistor of 220 Ohm limits the current through the sensor to about 25 mA. At this current the sensor will survive a possible wrong power supply polarity. The software can detect the presence of the output signal and therefore a proper connection of the sensor. See below for a suggested diagram.



Power line noise filtering and polarity damage protection

For more information about how to measure duty cycles by means of a microcontroller, please refer to our application notes, available for download at our website WWW.SMARTEC.NL.

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงาน การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิตหม้อน้ำรถยนต์

พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร

ภาควิชาวิศวกรรมระบบวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

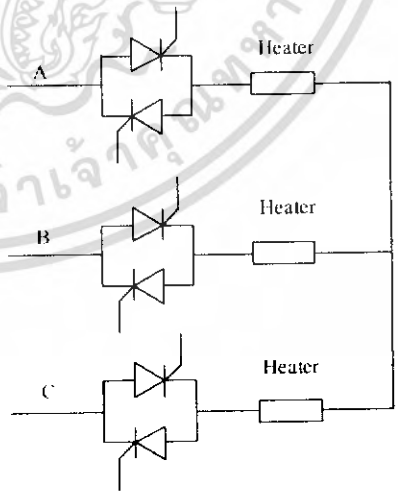
Email : pisit@mut.ac.th

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิตหม้อน้ำรถยนต์โดยการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการโดยวงจรภาคกำลังจะเป็นวงจรเอซีซอปเปอร์ซึ่งในโครงงานนี้ได้ออกแบบเอซีซอปเปอร์ที่สามารถขับโหลดที่เป็นฮีตเตอร์ได้กำลังสูงสุดถึง 50 KVA โดยในขณะนี้เป็นขั้นตอนในการนำต้นแบบที่ได้จากโครงงานไปทดสอบการทำงานกับระบบจริงในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเก็บข้อมูลที่จะใช้ในการปรับปรุงและแก้ไขการออกแบบเอซีซอปเปอร์นี้ให้มีความทนทานต่อสภาวะการทำงานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

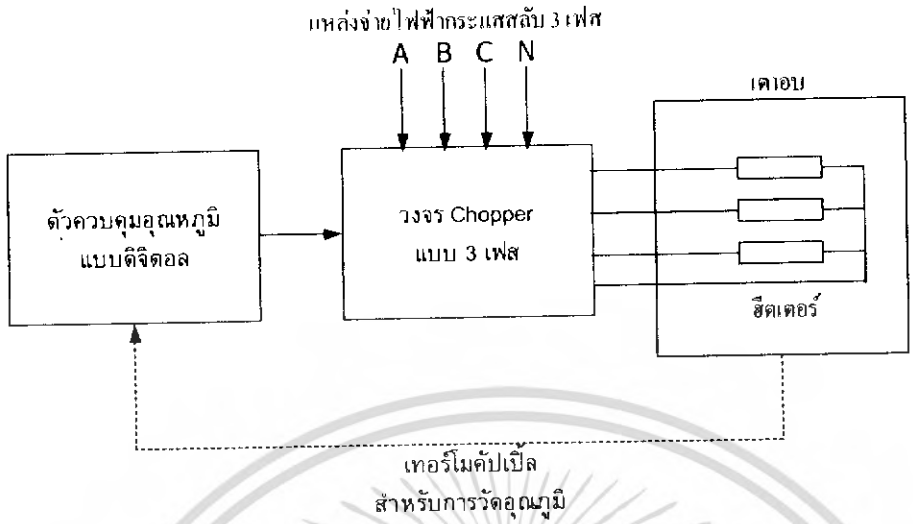
1. บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตหม้อน้ำรถยนต์ได้มีการลดสารตะกั่วที่ใช้ในการบัดกรีส่วนประกอบต่างๆของหม้อน้ำรถยนต์ด้วยการใช้ความร้อนสูงประมาณ 700-800 องศาเซลเซียสในการหลอมชิ้นส่วนให้เชื่อมประสานกันและในขั้นตอนนี้เองจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในเตาให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับฮีตเตอร์ที่อาศัยหลักการของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เรียกว่า เอซี-ซอปเปอร์โดยปกติแล้ววงจรเอซีซอปเปอร์ที่มีกำลังสูงๆนั้นมักจะเป็นวงจรชนิด 3เฟส [Rashid] ซึ่งมีลักษณะวงจรดังในรูปที่ 1 แต่จากคำแนะนำของวิศวกรที่ทำหน้าที่ซ่อมบำรุงและดูแลระบบดังกล่าวของบริษัทที่ร่วมโครงการนี้ได้พบปัญหาว่าเอซีซอปเปอร์ที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้นถ้าเป็นชนิด 3เฟสมักจะเกิดปัญหาในกรณีที่แรงดันเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าในโรงงานนั้นขาดหายไปหรือมีระดับแรงดันไม่ปกติก็อาจจะส่งผลให้การทำงานของเอซีซอปเปอร์นั้นต้องหยุดชงักเนื่องจากการทำงานของระบบป้องกันภายในของเอซีซอปเปอร์ทำให้ระบบไม่สามารถทำงานต่อได้อาจจะส่งผลเสียกับชิ้นงานที่อยู่ในเตาให้ความร้อนในขณะนั้นดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้ทำการออกแบบเอซีซอปเปอร์ในลักษณะที่ทำงานอิสระจากกันในแต่ละเฟสเพื่อลดปัญหาดังกล่าวและได้ทำการแยกวงจรส่วนควบคุมอุณหภูมิออกจากวงจรควบคุมกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ออกจากกันเพื่อที่อุปกรณ์ใหม่ที่เราสร้างขึ้นในโครงงานนี้จะสามารถทดแทนบางส่วนในระบบเก่าโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ทั้งระบบ



รูปที่ 1 เอซีซอปเปอร์ 3 เฟสที่ไม่ต่อสายนิวตรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบ

2. หลักการทำงานของระบบที่ทำการออกแบบ

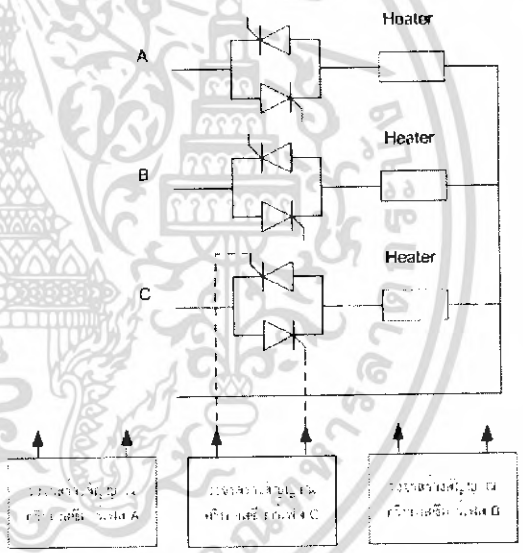
จากรูปที่ 2 เป็นโครงสร้างโดยรวมของระบบที่ทำการออกแบบในโครงการนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆที่สำคัญได้แก่

- วงจรภาคกำลังและสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์
- วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ

ซึ่งจะได้อธิบายการทำงานในแต่ละส่วนดังนี้

2.1 วงจรภาคกำลังและสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์

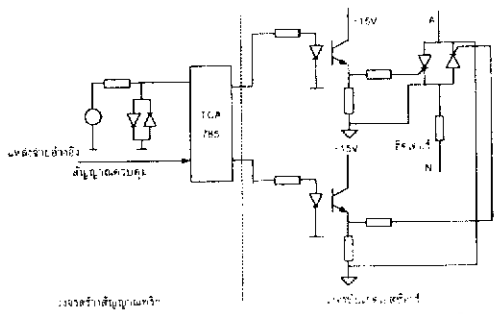
วงจรในภาคกำลังจะประกอบด้วยเอสซีอาร์ที่ต่อเป็นแบบเอซีซอปเปอร์ดังรูปที่ 3 โดยมีส่วนของวงจรสร้างสัญญาณทริกและขับเอสซีอาร์รวมอยู่ด้วยวงจรสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์นั้นในที่นี้จะใช้ไอซีเบอร์ TCA785 ของบริษัทซีเมนส์เพื่อควบคุมตำแหน่งมุมที่ทำให้เอสซีอาร์เริ่มทำงานในแต่ละเฟสและด้วยที่ต้องการให้แต่ละเฟสนั้นอิสระจากกันสัญญาณที่สร้างสำหรับการควบคุมเอสซีอาร์แต่ละเฟสก็จะทำงานอิสระต่อกันด้วย สำหรับโครงสร้างของวงจรสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์ในแต่ละเฟสนั้นจะแสดงดังในรูปที่ 4 และสัญญาณที่ควบคุมมุมทริกเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแสนี้จะเป็นค่าแรงดัน



รูปที่ 3 โครงสร้างวงจรภาคกำลัง

อยู่ในช่วง 5 ถึง 0 โวลต์โดยเมื่อแรงดันควบคุมนี้มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์จะเป็นการสั่งงานให้เอสซีอาร์นั้นเริ่มนำกระแสที่มุมศูนย์องศาซึ่งนั่นย่อมหมายถึงว่าจะเกิดแรงดันเต็มลูกคลื่นไซน์ที่ฮีตเตอร์และในทางตรงกันข้ามหากแรงดันควบคุมที่ป้อนให้กับTCA785 มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์เอสซีอาร์จะเริ่มนำกระแสที่มุม 180องศานั่นก็คือไม่มีแรงดันที่ฮีตเตอร์

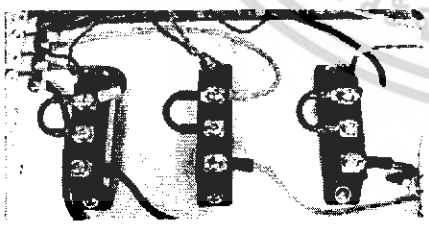
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 วงจรสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์

นอกจากในส่วนของการสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์แล้วก็จะเป็นส่วนของวงจรขับเกตของเอสซีอาร์ซึ่งในที่นี้จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าออปโต้คัปเปิ้ล (Opto couple) ในการแยกสัญญาณควบคุมเอสซีอาร์ออกจากวงจรภาคกำลังที่เป็นเอสซีอาร์เพื่อลดความเสียหายของวงจรควบคุมในกรณีที่ภาคกำลังเกิดชำรุดหรือลัดวงจร รูปที่ 5 จะเป็นรูปชิ้นงานในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์ทั้งสามเฟส

รูปที่ 5 วงจรสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์



รูปที่ 6 ภาคกำลังที่เป็นเอสซีอาร์โมดูล

สำหรับวงจรภาคกำลังซึ่งก็คือเอสซีอาร์นั้นในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ชนิดที่เป็นโมดูลโดยในหนึ่งโมดูลจะประกอบด้วยเอสซีอาร์สองตัวต่อกลับขั้วคาโทดและอาโนดกันอยู่ซึ่งจะใช้เอสซีอาร์โมดูลทั้งหมดจำนวน 3 ตัวด้วยกันทั้งสามโมดูลนี้จะถูกติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมเพื่อระบายความร้อนดังในรูปที่ 6

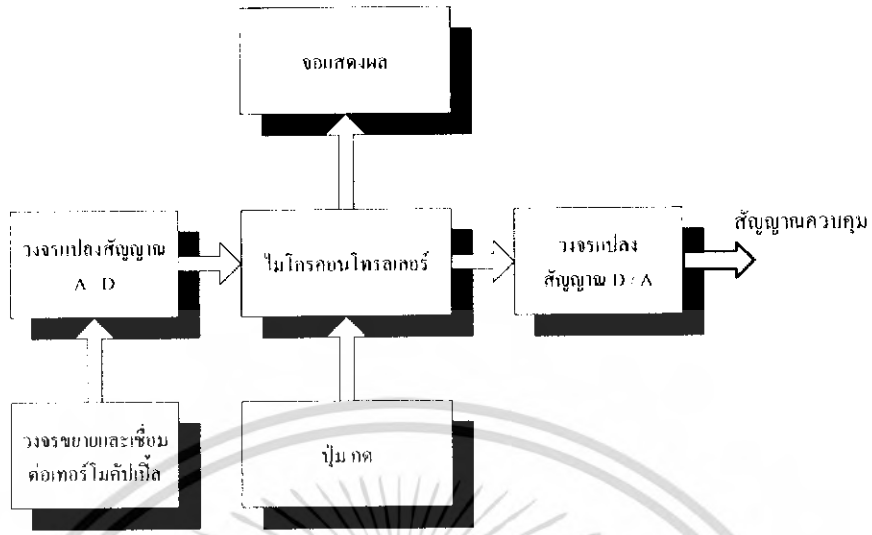
2.2 วงจรชุดควบคุมอุณหภูมิ

วงจรในส่วนนี้จะออกแบบโดยใช้มโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตในตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C51RD2 ซึ่งมีหน่วยความจำที่โปรแกรมได้แบบแฟลชขนาด 64 กิโลไบต์ซึ่งเพียงพอสำหรับการพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบด้วยภาษาซีและเหตุผลในการใช้ภาษาซีในการพัฒนานั้นเนื่องด้วยต้องการเขียนโปรแกรมสร้างตัวควบคุมแบบพีไอดีที่สามารถแก้ไขโปรแกรมได้ง่ายกว่าการใช้ภาษาแอสเซ็มบลี้รวมถึงกระบวนการควบคุมอุณหภูมินั้นเป็นกระบวนการที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วทำให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบนั้นทำงานได้ดีแม้อัตราการสุ่มสัญญาณในการควบคุมไม่สูงนัก โดยไดอะแกรมของตัวควบคุมอุณหภูมิที่ออกแบบนั้นแสดงดังในรูปที่ 7 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
- วงจรแปลงสัญญาณ A/D
- วงจรแปลงสัญญาณ D/A
- ปุ่มกดและจอแสดงผล
- วงจรขยายและเชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิ้ล

โดยในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะถูกโปรแกรมการทำงานไว้ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ก็คือสามารถรับค่าคำสั่งอุณหภูมิที่ต้องการจากปุ่มกดซึ่งออกแบบให้ทำงานในลักษณะของเมนูเลือกเช่นเดียวกับอุปกรณ์ที่ผู้ใช้ในโรงงานงานคุ้นเคยส่วนวงจรขยายและเชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิ้ลนั้นจะเป็นส่วนขยายสัญญาณและสร้างแรงดันอ้างอิงที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิเพื่อใช้ชดเชยแรงดันที่จุดต่อของเทอร์-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

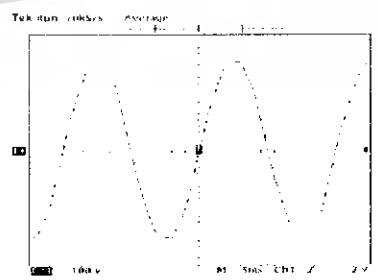


รูปที่ 7 โครงสร้างของชุดควบคุมอุณหภูมิ

โมคัปเปิ้ล (Reference Junction) และสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณนี้จะถูกนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 12 บิต สำหรับการสั่งงานจากตัวควบคุมอุณหภูมิไปยังวงจรเอซีซอปเปอร์จะอาศัยวงจรแปลงคำสั่งสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอกขนาด 0 ถึง 10 โวลต์ สำหรับอัลกอริทึมของตัวควบคุมจะถูกสร้างเป็นโปรแกรมควบคุมที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์โดยในที่นี้ได้ออกแบบโดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอดี[Franklin] สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมนี้ได้โดยการใช้ปุ่มกดเป็นเมนูเลือกในการทำงาน ดังนั้นผู้ใช้งานจะสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมให้เหมาะสมกับระบบของตนเองได้ซึ่งในอนาคตจะเพิ่มฟังก์ชันในการปรับจูนตัวเองของตัวควบคุมซึ่งจะทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น

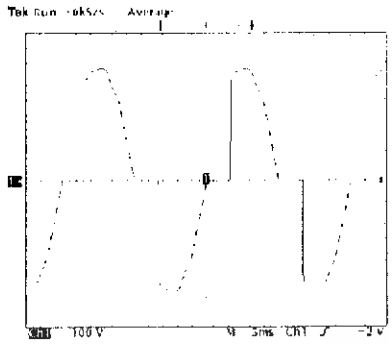
3. การทดลอง

สำหรับการทดสอบระบบได้ทดลองการทำงานของวงจรในส่วนที่เป็นเอซีซอปเปอร์ก่อนโดยทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อดูการทำงานโดยดูรูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมฮีตเตอร์ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนคำสั่งควบคุมแล้วรูปคลื่นแรงดันนั้นเปลี่ยนตามที่เราออกแบบไว้หรือไม่ตัวอย่างของรูปคลื่นแรงดันที่คำสั่งต่างๆแสดงดังในรูปที่ 8 ถึง10 ซึ่งเป็นแรงดันที่มุมทริก 0,60 และ 120 องศา ตามลำดับ ส่วนการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิในขั้นต้นนี้ทำการทดลองโดยสร้างแบบจำลองของตู้ขนาดเล็กเพื่อสามารถทดลองได้โดยง่ายและเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ก่อนที่จะนำไปทดสอบกับระบบจริงในโรงงานอุตสาหกรรมที่ร่วมโครงการ ดังนั้นการทดสอบในตู้จำลองในขั้นตอนนี้จึงทดสอบที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักเนื่องจากการทนความร้อนของตู้จำลองที่ใช้ทดสอบนั้นไม่ได้มีค่าสูงมากโดยในรูปที่ 11 เป็นผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิที่คำสั่งอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 70 องศาเซลเซียสโดยผลที่ได้จะเห็นว่าอุณหภูมิจะเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลาประมาณ 4 นาที 34 วินาที (ไม่มีโหลด)

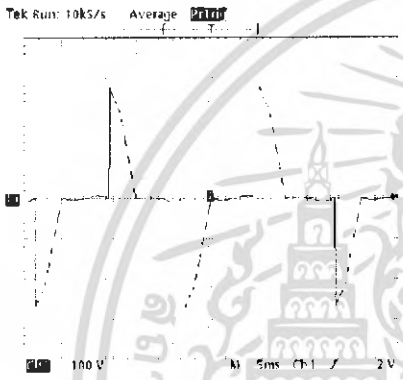


รูปที่ 8 แรงดันที่ฮีตเตอร์เฟส A ที่มุมทริก 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



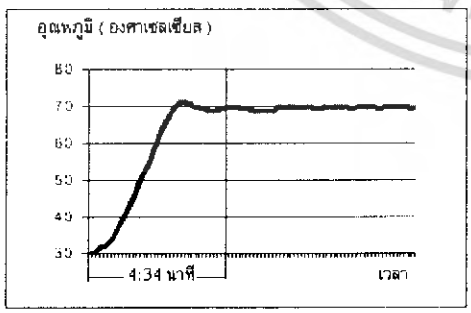
รูปที่ 9 แรงดันที่ฮีตเตอร์เฟส A ที่มุมทริก 60 องศา



รูปที่ 10 แรงดันที่ฮีตเตอร์เฟส A มุมทริก 120องศา

4. สรุป

จากการออกแบบสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและได้ทดสอบการทำงานในเบื้องต้นพบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีแต่ขณะนี้ยังขาดการทดสอบกับระบบงานจริงซึ่งจากที่ได้เปรียบเทียบกับเครื่องในระบบเดิมที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้นก็ให้ผลการทำงาน



รูปที่ 11 ผลตอบสนองการควบคุมที่ค่าสั่ง 70 องศา

ที่เหมือนกันแต่ในสิ่งที่ขาดไปในโครงงานนี้และยังไม่สมบูรณ์ก็คือการออกแบบกล่องบรรจุชิ้นงานซึ่งอาจจะมีปัญหาในเรื่องของความร้อนตามมาได้หากออกแบบระบบระบายความร้อนไม่ดีพอเพราะตัวเครื่องและระบบนั้นมีการแสผ่านวงจรค่อนข้างสูง (หากทำงานที่เต็มพิกัด) และความร้อนที่เกิดขึ้นในวงจรก็จะมากตามไปด้วย ดังนั้นในขั้นตอนของการออกแบบเพื่อใช้ในระบบงานจริงจะต้องทำการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสมก่อนบรรจุลงกล่องและมีการระบายความร้อนที่ดีก่อนที่จะติดตั้งใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีประจำปี 2546 และขอขอบคุณบริษัทเรดิคอนจำกัดที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับระบบงานจริงและคำปรึกษาจากวิศวกรของบริษัทอันเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบในโครงงานนี้

เอกสารอ้างอิง

Gene F. Franklin. Digital Control of Dynamic Systems , John Wiley & Son,1990.

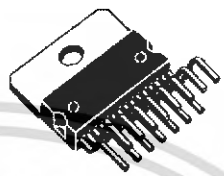
Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook , Academic Press,1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

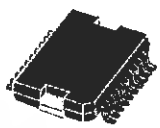
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)



Multiwatt15



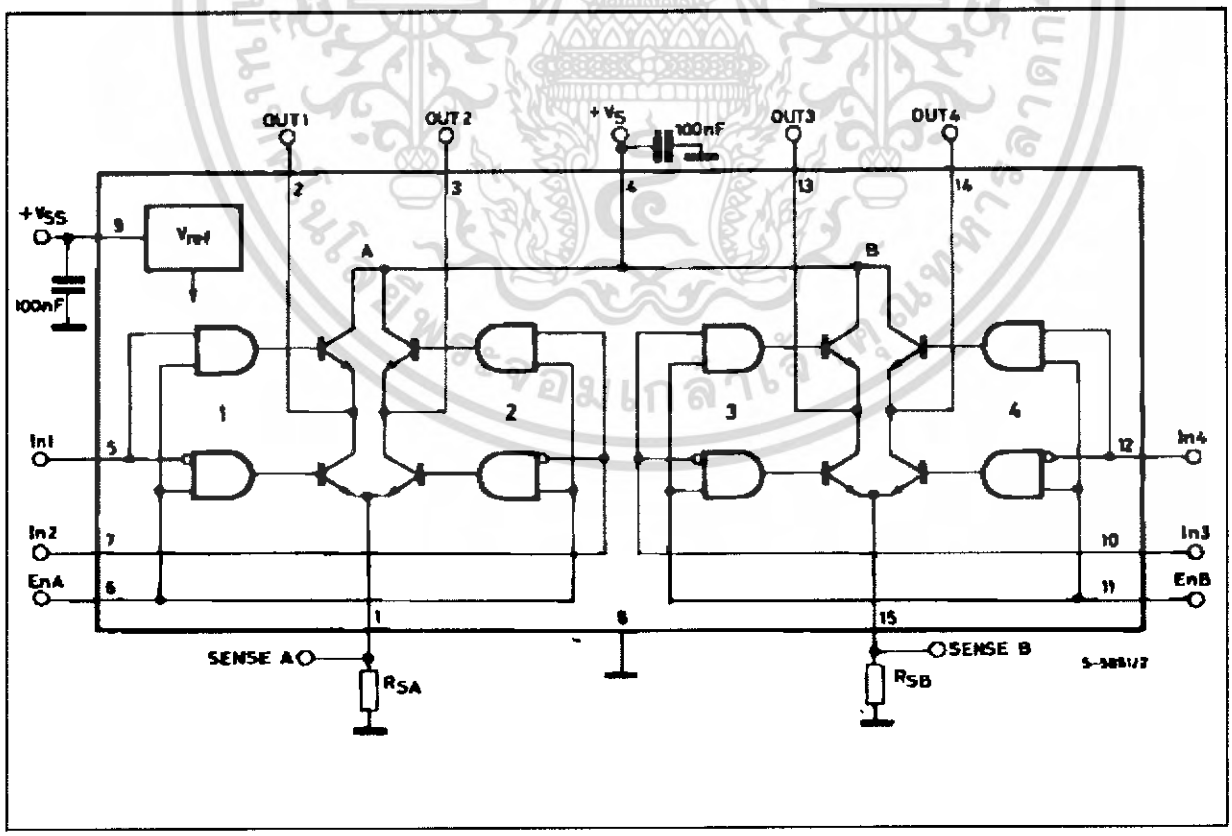
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

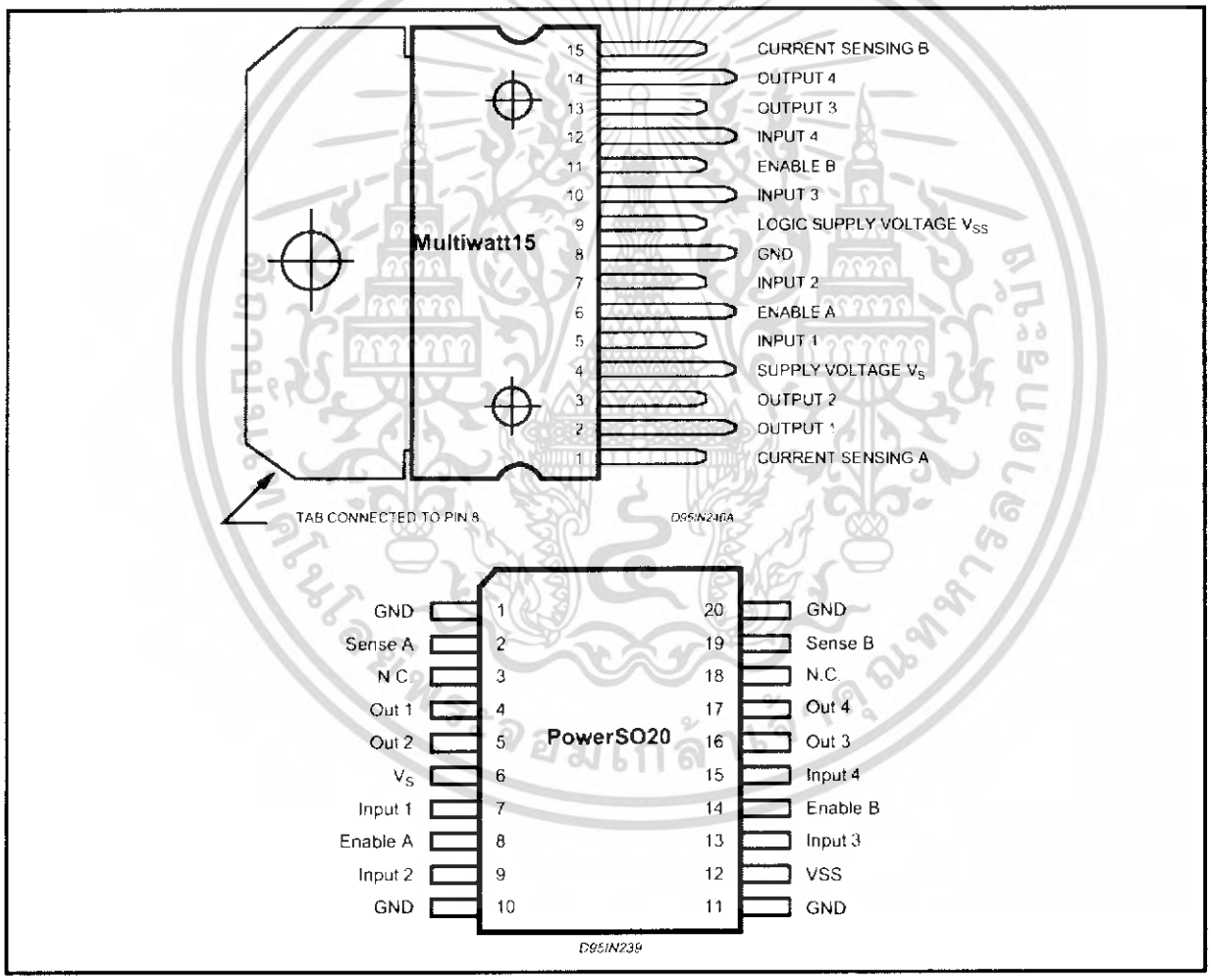


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i,V_{en}	Input and Enable Voltage	–0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) – Non Repetitive (t = 100μs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) --DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	–	3	°C/W
$R_{th\ j\text{-}amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V_S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Conditon		V_{IH} +2.5		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)			4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V_{en} = H; I_L = 0	V_i = L V_i = H		13 50	22 70	mA mA
		V_{en} = L	V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0	V_i = L V_i = H		24 7	36 12	mA mA
		V_{en} = L	V_i = X			6	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)			–0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)			2.3		VSS	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L				–10	µA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	Vi = H ≤ V_{SS} –0.6V			30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)			–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)			2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L				–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V			30	100	µA
$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A I_L = 2A		0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)		0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)		1.80		3.2 4.9	V V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)			–1 (1)		2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V_i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
T_2 (V_i)	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
T_3 (V_i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
T_4 (V_i)	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
T_5 (V_i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
T_6 (V_i)	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_7 (V_i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
T_8 (V_i)	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (V_i)	Commutation Frequency	I_L = 2A		25	40	KHz
T_1 (V_{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (2); (4)		3		µs
T_2 (V_{en})	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		1		µs
T_3 (V_{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.1 I_L (2); (4)		0.3		µs
T_4 (V_{en})	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.4		µs
T_5 (V_{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		2.2		µs
T_6 (V_{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.35		µs
T_7 (V_{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_8 (V_{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.1		µs

1) 1)Sensing voltage can be –1 V for t < 50 µsec; in steady state V_{sens} min ≥ –0.5 V.
2) See fig. 2.
3) See fig. 4.
4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

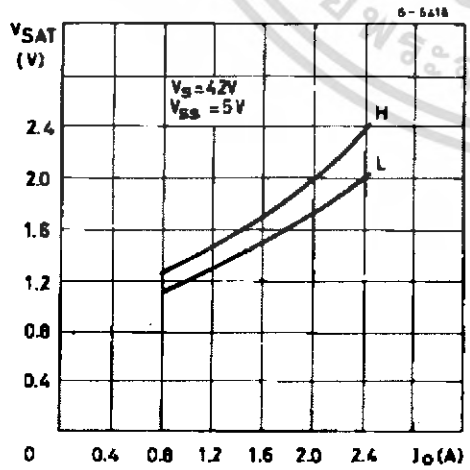
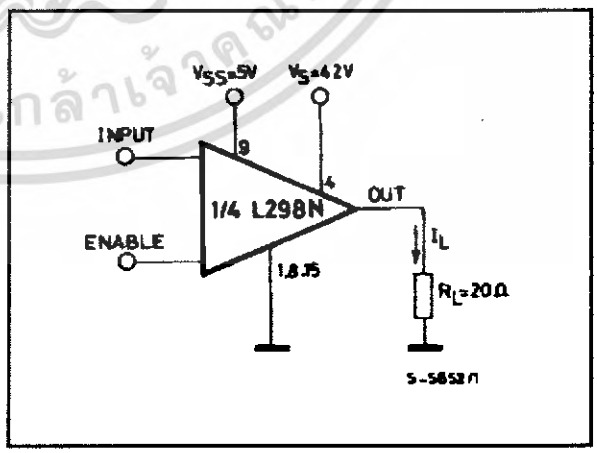


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

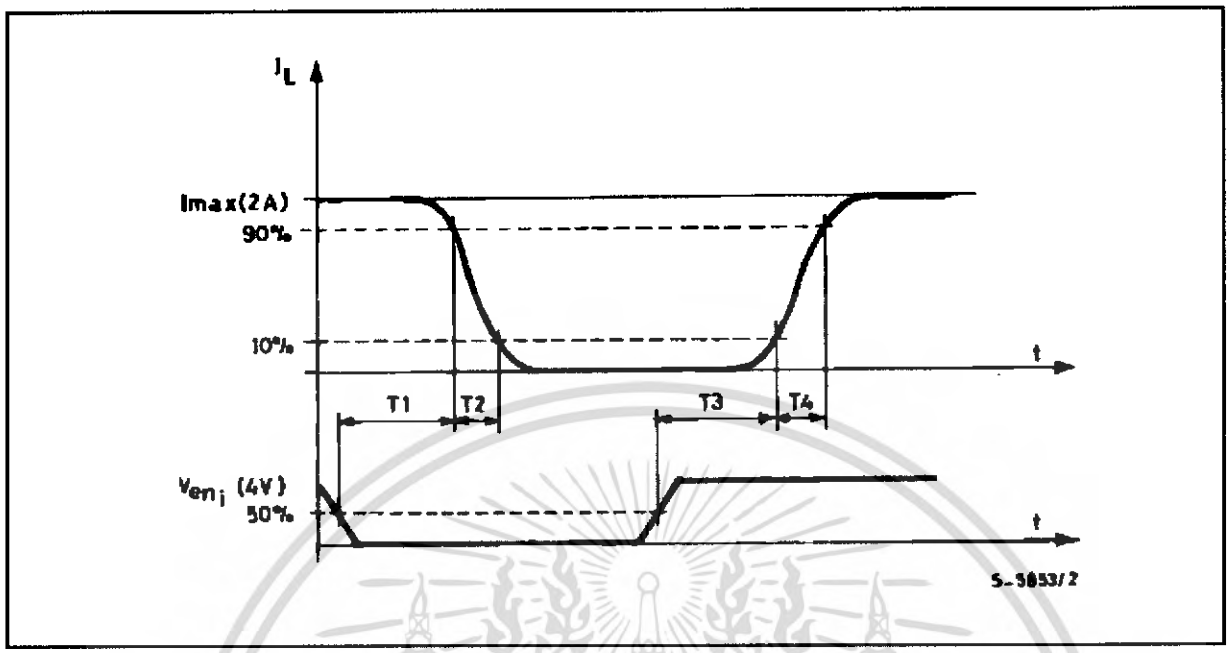
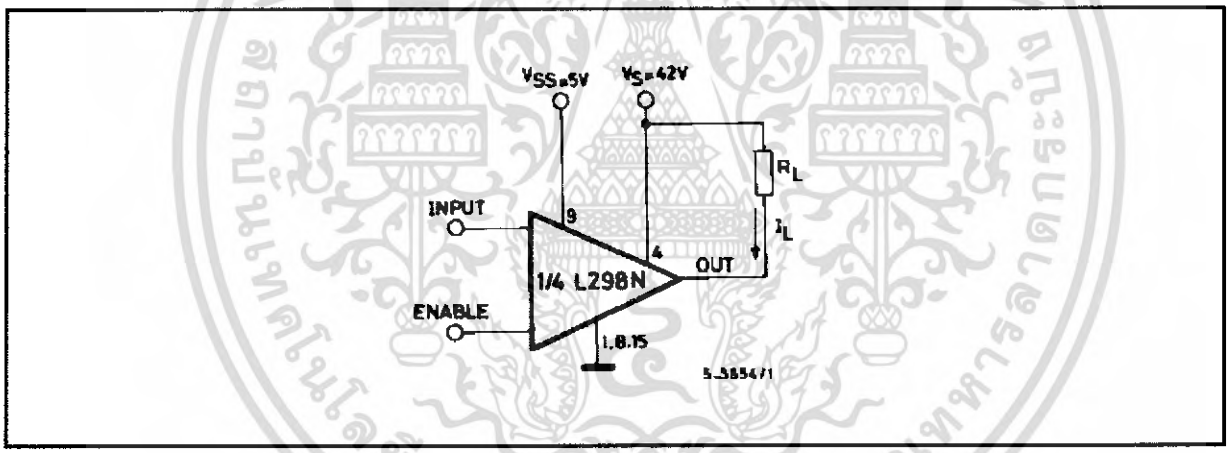


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

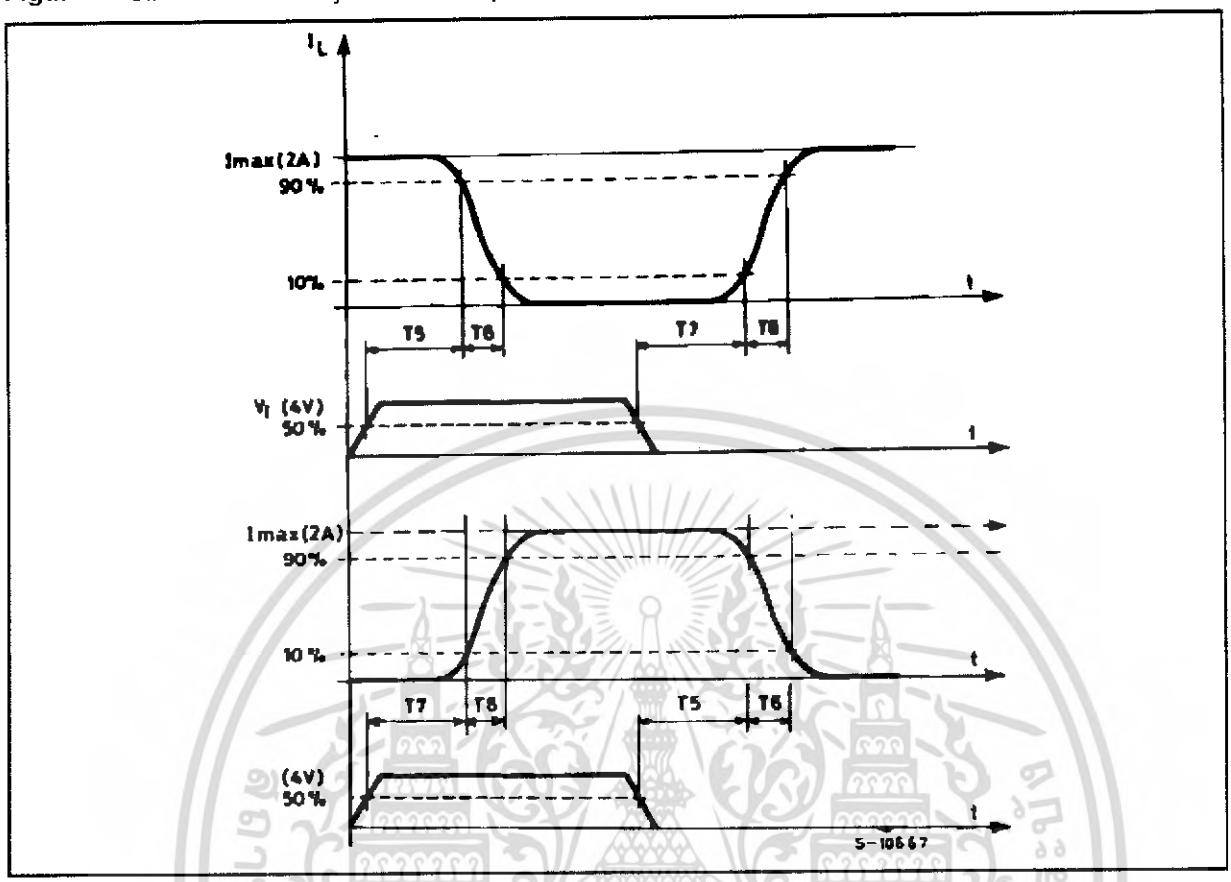
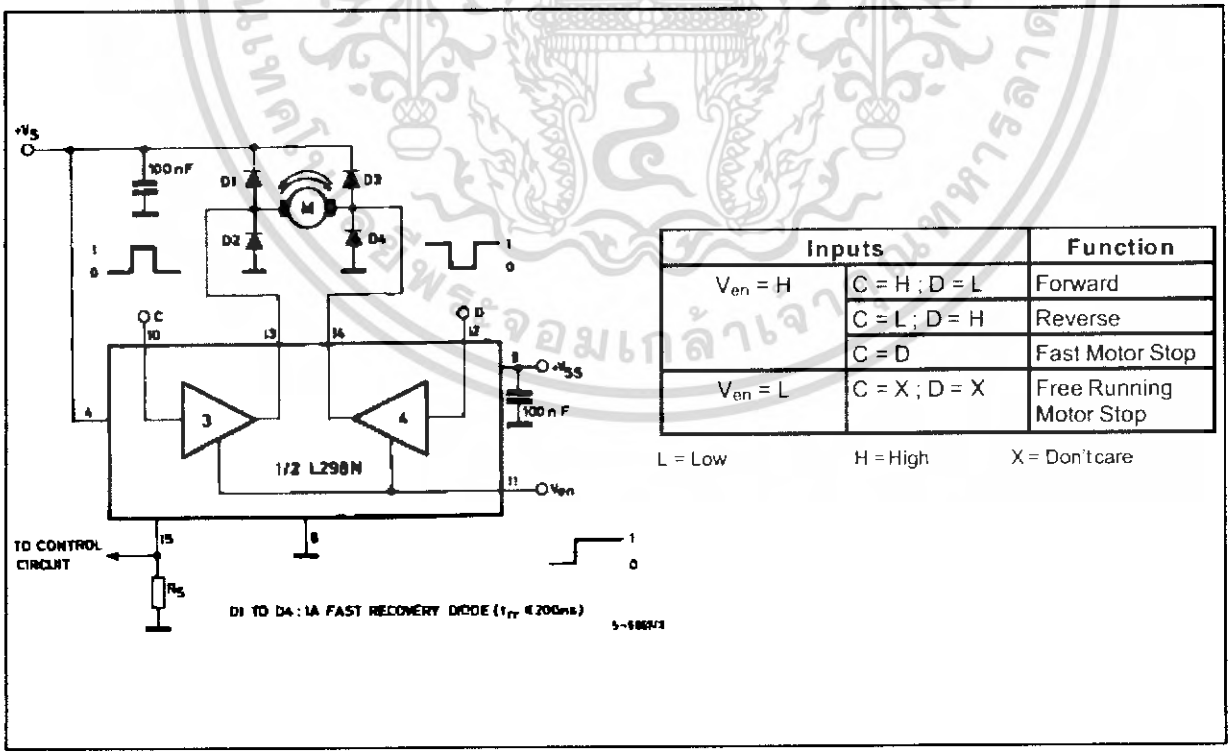


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

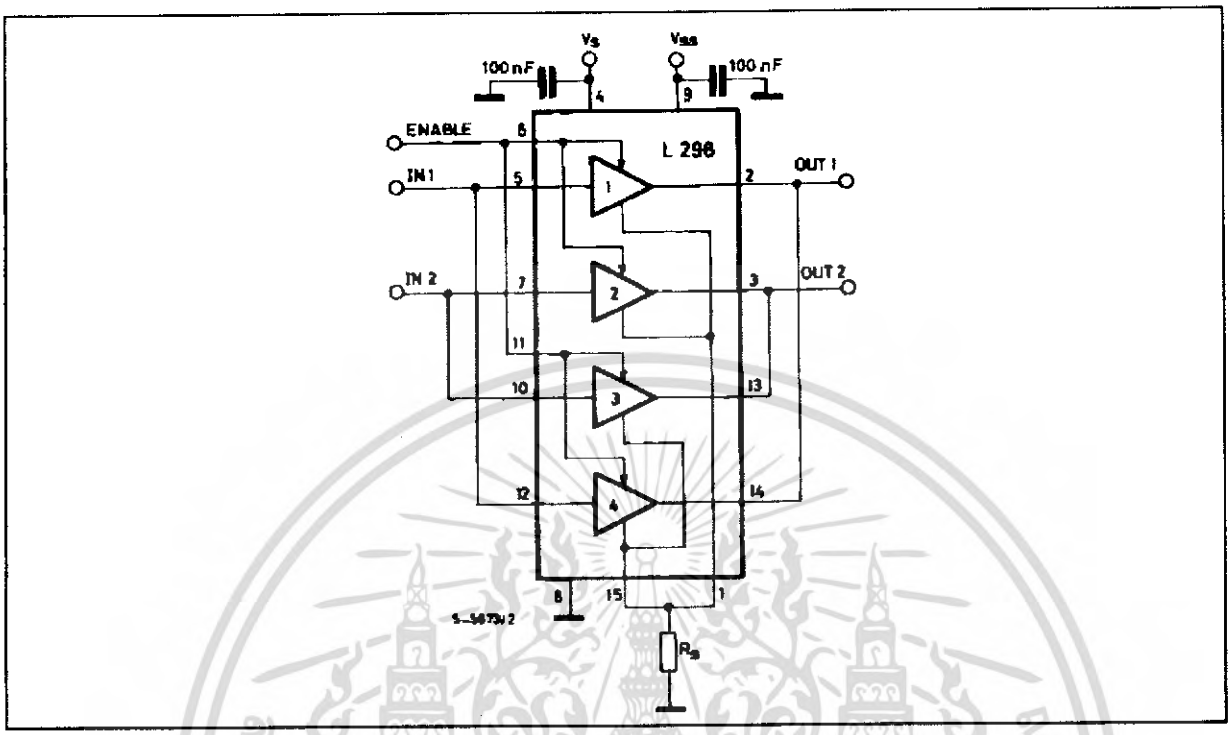


Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differenzial mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}.) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both Vs and Vss, to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of Vs that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Shottky diodes would be preferred.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

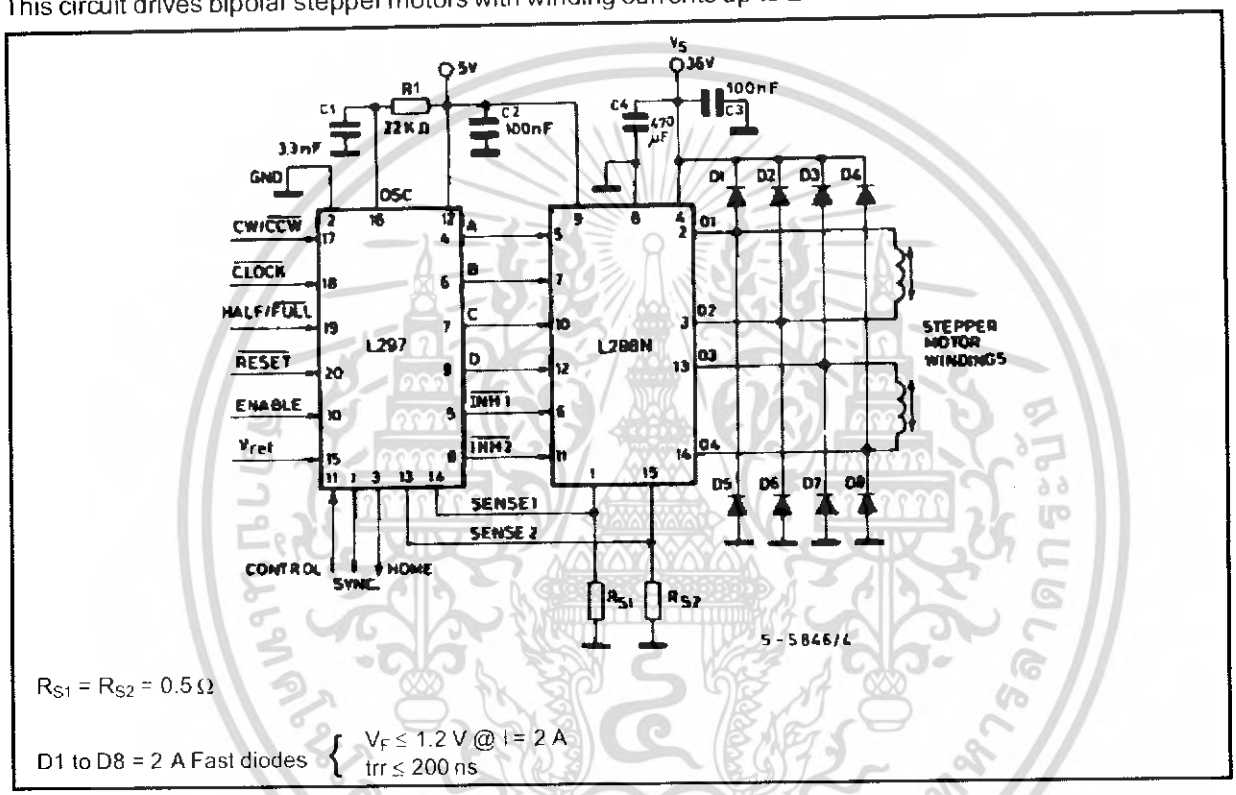
On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.



$R_{S1} = R_{S2} = 0.5\,\Omega$

D1 to D8 = 2 A Fast diodes { $V_F \leq 1.2$ V @ I = 2 A ; trr ≤ 200 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

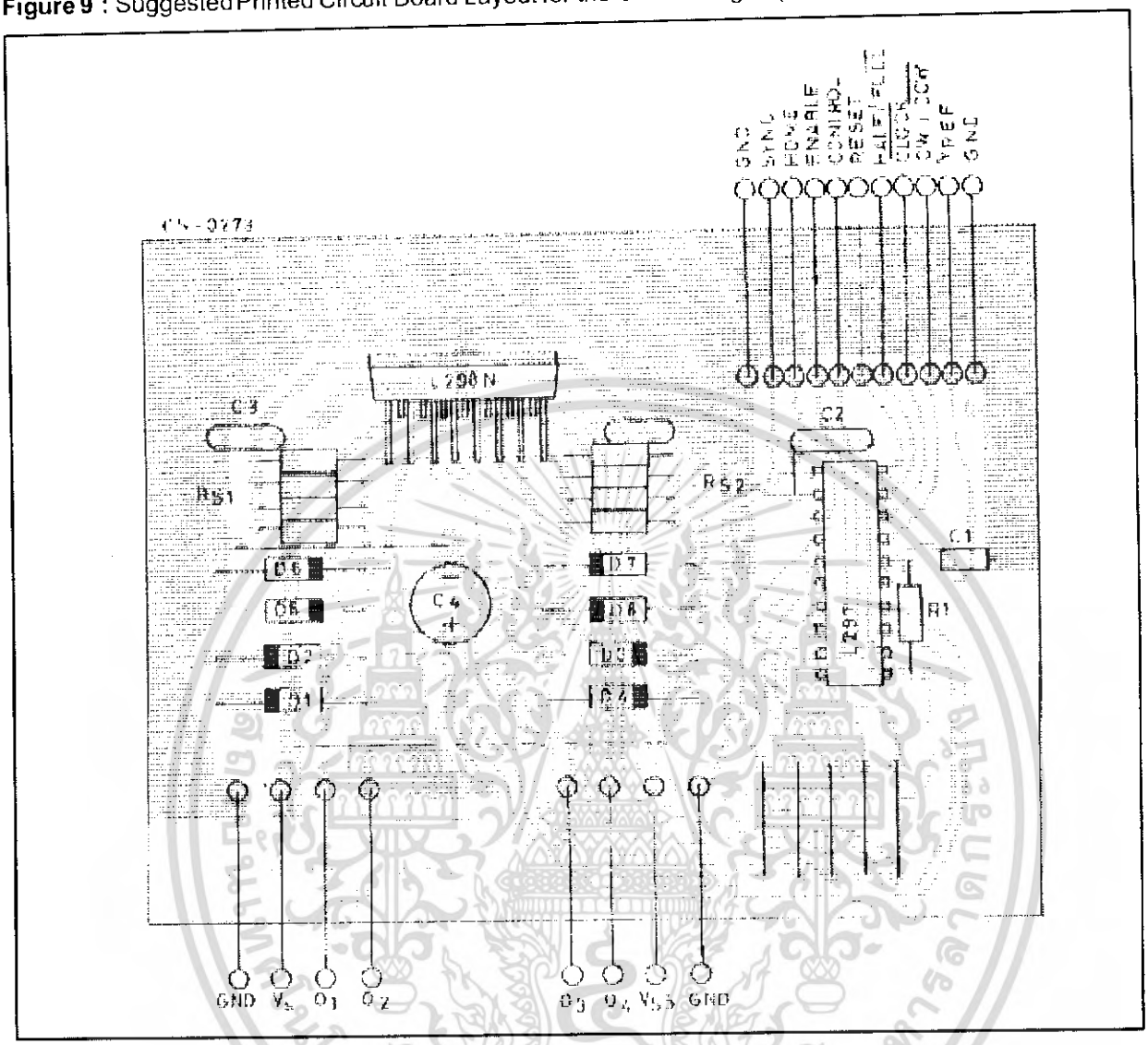
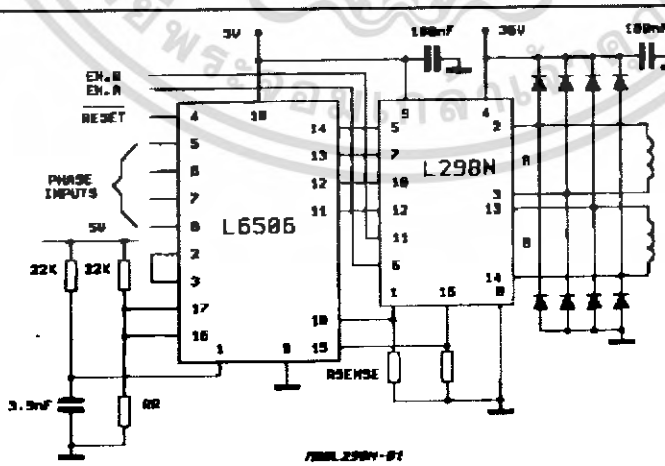


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

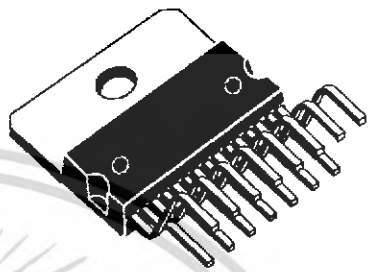


R_R and R_{sense} depend from the load current

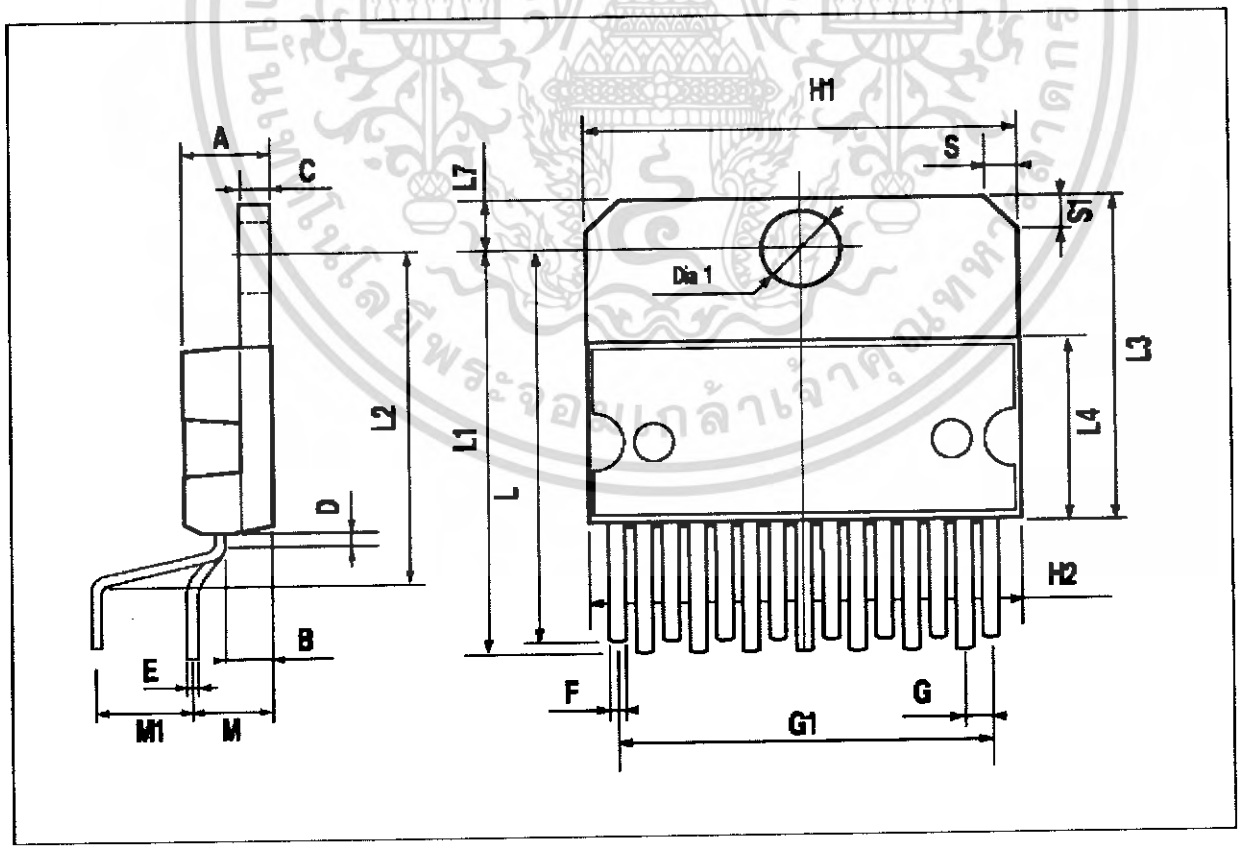
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



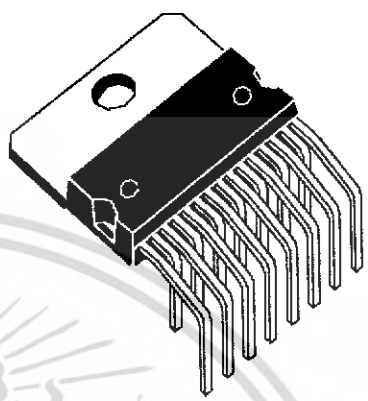
Multiwatt15 V



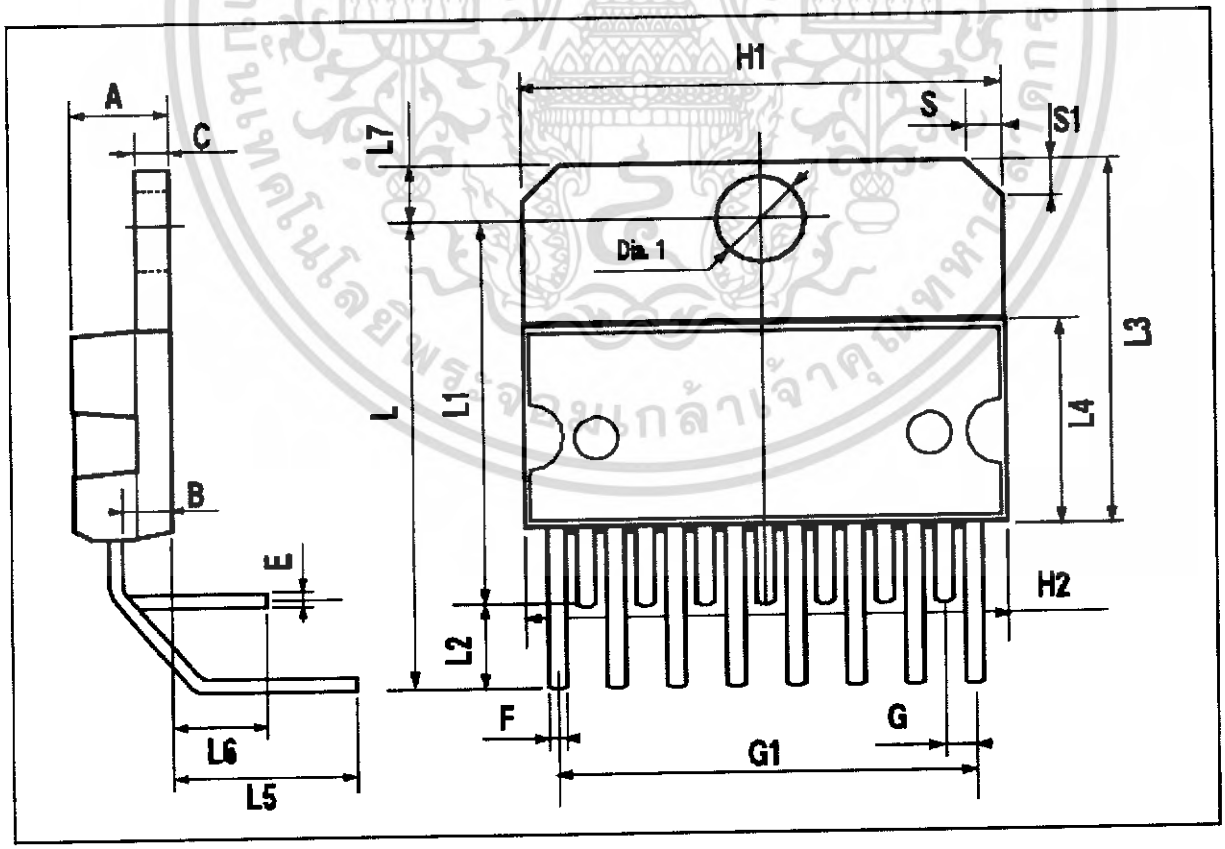
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H

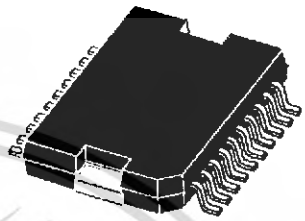


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

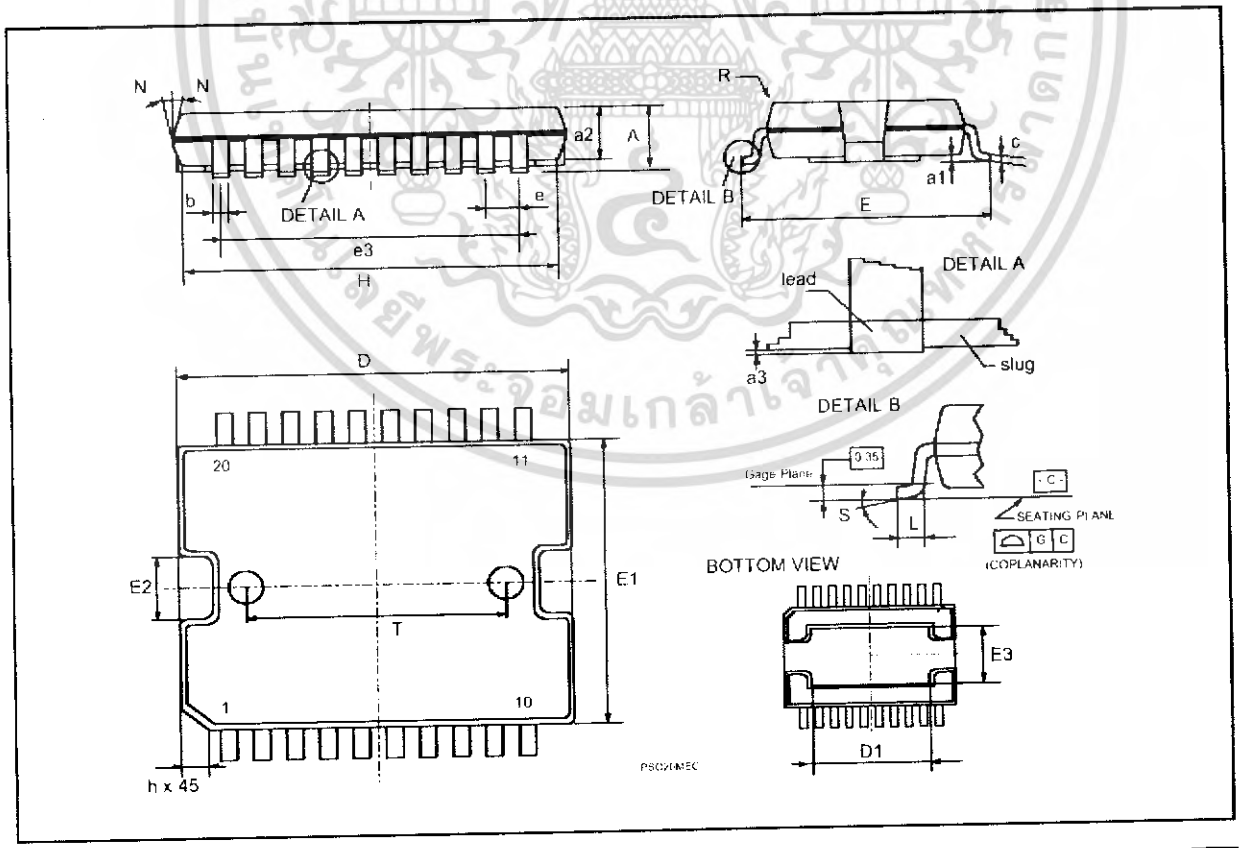
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้