

ระบบควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า



นายรัชชัย หล่อนจำปา
ว่าที่ ร.ต.อมรเทพ ดอกไม้

412
2557

เลขหมู่.....**76217**.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**20 พ.ย. 2550**.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

b.....11557151.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL SYSTEM OF AN ELECTRIC OVEN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

ระบบควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า

CONTROL SYSTEM OF AN ELECTRIC OVEN

นักศึกษา

นายรัชชัย หล่อนจำปา

รหัสประจำตัว

45015897

ว่าที่ ร.ต.อมรเทพ ดอกไม้

รหัสประจำตัว

45015924

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช)



(อาจารย์รัชชัย โชติปราชญ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า
นักศึกษา	นายรัชชัย หล่อนจำปา ว่าที่ ร.ต.อมรเทพ ดอกไม้
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช อาจารย์พลชัย โชติปราชญกุล

บทคัดย่อ

เตาอบโลหะไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างมากและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เพื่อเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะนั้นให้เหมาะสมกับสภาพที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งในโรงงานนี้เตาอบโลหะไฟฟ้าจะควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยมีเทอร์โมคัปเปิล เป็นตัวตรวจจับวัดอุณหภูมิแล้วส่งสัญญาณผ่านวงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านทางพอร์ตขนานเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ และจะส่งสัญญาณมาขั้วรับรีเลย์ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเปิด - ปิด แมกเนติกคอนแทกเตอร์ และคอยควบคุมการเปิด - ปิด ฮีทเตอร์ ส่วนของโปรแกรมควบคุม โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก ในการเขียนโปรแกรมควบคุมและแสดงผล โดยรับค่าอุณหภูมิจากผู้ใช้งานและสามารถเลือกรูปแบบการควบคุมได้ คือ แบบธรรมดา และ แบบพีไอดี และแสดงผลอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงในเตาอบโลหะและแสดงกราฟลักษณะเวลาจริง (Real Time) ของอุณหภูมิกับเวลา เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Control System of an Electric Oven
Student Mr.Thawatchai Lonchampa
Sub.Lt.Amontap Dokmai
Degree Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2004
Thesis Advisor Associate Professor Pomsak Attavanich
Mr.Pholchai Chotipraynakul

ABSTRACT

Electric oven is very important and to be widely used in industry . It is used for changing and proving the quality of the metal to be correspond with condition of working . In this thesis computer program will control the electric oven that separate to 2 parts . One is the circuit for temperature control by use thermocouple to be the sensor for temperature control and send the signal via signal amplifier . The other one is the circuit to converse analog signal to digital signal by it pass parallel port to the computer and send the signal to drive relay which will control on – off for magnetic contractor , in addition to it will be control on – off for heater . The part of control program , it uses Visual Basic program for writing , controlling and display , by receive temperature value from user and it can select control type , normal type or PID type , and display temperature value in electric oven and real time graph that show the relation between temperature with time . It can investigate the result of changing temperature and the utility for analytical data .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ระบบควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า ฉบับนี้สำเร็จได้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช และ อาจารย์พลชัย โชติปราชญ์กุล อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ที่คอย ให้คำชี้แนะและปรึกษาปัญหาต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้ และ ดร.สิทธิพร พิมพัสกุล ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านการเบิกค่าใช้จ่ายของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มอบความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีที่มีคุณค่า สำนักหอสมุดกลาง และห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งในการค้นคว้าศึกษาหาข้อมูลและยืมหนังสือ ในการทำโครงการและปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ และ พี่ๆ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และ คอยให้กำลังใจที่ดี ตลอดมาในการทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้ที่ลืมไม่ได้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงกับบิดามารดา และทุกๆคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จนี้ ที่คอยสนับสนุนด้านการศึกษาและคอยให้กำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

นายรัชชัย หล่อนจำปา

ว่าที่ ร.ต.อมรเทพ ดอกไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างพื้นฐาน.....	2
2.1.1 กระบวนการควบคุม.....	2
2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของเคาอบ โลหะไฟฟ้า.....	3
2.2 เทอร์โมคัปเปิล.....	4
2.3 พอร์ตขนาน.....	6
2.3.1 สัญญาณข้อมูล.....	6
2.3.2 สัญญาณสถานะ.....	7
2.3.3 สัญญาณควบคุม.....	8
2.4 ตัวควบคุม.....	8
2.4.1 การควบคุมแบบเปิด - ปิด.....	8
2.4.2 การควบคุมแบบสัดส่วน.....	9
2.4.3 การควบคุมแบบรวม.....	10
2.4.4 การควบคุมแบบอัตรา.....	10
2.4.5 การควบคุมแบบพีไอดี.....	11
2.4.6 การตอบสนองต่ออินพุตที่เป็นยูนิตสเต็ปของระบบอันดับที่ 1.....	13
2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	14
2.6 การขยายสัญญาณ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2.3 ผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C	
Kp = 100 Ki = 100 Kd = 100.....	41
4.3 หาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของอุณหภูมิ.....	42
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	43
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	43
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข.....	44
5.4 แนวทางการพัฒนา.....	44
บรรณานุกรม.....	45
ภาคผนวก ก.....	ผก 1
ก1. ไอซีเบอร์ ULN 2003.....	ผก 2
ก2. ไอซีเบอร์ LM 741.....	ผก 3
ก3. ไอซีเบอร์ LTC 1298.....	ผก 4
ภาคผนวก ข.....	ผข 1
ข1. ซอร์สโค้ดโปรแกรม.....	ผข 2
ภาคผนวก ค.....	ผค 1
ค1. ตารางมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค.....	ผค 2

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานกับย่านอุณหภูมิที่ใช้งานและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้.....	5
ตารางที่ 2.2	แสดงรายละเอียดและการทำงานของกุ่มสัญญาณข้อมูล.....	7
ตารางที่ 2.3	แสดงรายละเอียดการทำงานของกุ่มสถานะ.....	7
ตารางที่ 2.4	แสดงรายละเอียดและการทำงานของกุ่มสัญญาณควบคุม.....	8
ตารางที่ 3.1	แสดงสัญญาณและจุดเชื่อมต่อที่ขาต่างๆของคอนเนกเตอร์ K2 ชนิด DB 25 Pin ตัวเมีย.....	27
ตารางที่ 4.1	แสดงอุณหภูมิอ้างอิงกับอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง.....	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุม.....	3
รูปที่ 2.2	โครงสร้างพื้นฐานของเตาอบโลหะไฟฟ้า.....	3
รูปที่ 2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อน ไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค.....	5
รูปที่ 2.4	สายสัญญาณในพอร์ตขนาน.....	6
รูปที่ 2.5	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง.....	9
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของการควบคุมแบบสัดส่วน.....	9
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของการควบคุมแบบรวม.....	10
รูปที่ 2.8	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีไอดี.....	12
รูปที่ 2.9	แสดงโครงสร้างของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี.....	12
รูปที่ 2.10	การตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....	12
รูปที่ 2.11	แสดงตอบสนองต่ออินพุตที่เป็นยูนิตสเต็ปของระบบอันดับที่ 1.....	14
รูปที่ 2.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล.....	15
รูปที่ 2.13	วงจรพื้นฐานของแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซิกเซตซีฟแอปพริอิกซิเมชัน.....	16
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างความสัมพันธ์ของสัญญาณอนาลอกเอาต์พุต v_{out} จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกกับสัญญาณอนาลอกอินพุต v_{in}	17
รูปที่ 2.15	แสดงการเข้าของสัญญาณอินพุตและผลของสัญญาณออกเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	18
รูปที่ 2.16	ของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	19
รูปที่ 2.17	แสดงการเข้าของสัญญาณอินพุตและผลของสัญญาณออกเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	20
รูปที่ 2.18	วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	20
รูปที่ 2.19	วงจรออปแอมป์ต่ออนุกรมกัน 3 วงจร.....	21
รูปที่ 3.1	แสดงถึงวิธีการดำเนินงาน.....	22
รูปที่ 3.2	แสดงการจัดขาของ ไอซีเบอร์ ULN2003.....	23
รูปที่ 3.3	สัญลักษณ์ของรีเลย์.....	24
รูปที่ 3.4	วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ไอซี ULN 2003.....	24
รูปที่ 3.5	แสดงหน้าที่ของขาต่างๆในตัวไอซีเบอร์ 741.....	25
รูปที่ 3.6	แสดงการต่อวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสโดยนำ 2 วงจรมาต่ออนุกรมกัน.....	25
รูปที่ 3.7	แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกและลบให้กับวงจรขยายสัญญาณ.....	26
รูปที่ 3.8	วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	28
รูปที่ 3.9	แสดงเริ่มต้นการเขียน โปรแกรม.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.10 โพลีชาร์ตแสดงหลักการทำงานของโปรแกรม.....	31
รูปที่ 3.11 แสดงการวางคอนโทรลของโปรแกรม.....	32
รูปที่ 3.12 แสดงการเรียกใช้ไฟล์ติดตั้งโปรแกรม.....	33
รูปที่ 3.13 แสดงการเข้าสู่การติดตั้งโปรแกรม.....	33
รูปที่ 3.14 แสดงการกำหนดพื้นที่ในการติดตั้งลงสู่ฮาร์ดดิสก์.....	34
รูปที่ 3.15 แสดงการกำหนดตำแหน่งเพื่อเรียกใช้งานในสตาร์ทเมนู.....	34
รูปที่ 3.16 แสดงการสิ้นสุดการติดตั้งโปรแกรม.....	35
รูปที่ 3.17 แสดงการเรียกใช้โปรแกรม.....	35
รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของวงจรควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า.....	36
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า.....	37
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 500 °C.....	38
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 700 °C.....	39
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 1000 °C.....	39
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C Kp = 30 Ki = 30 Kd = 30.....	40
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 3000 °C Kp = 60 Ki = 60 Kd = 60.....	40
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 3000 °C Kp = 100 Ki = 100 Kd = 100.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว อุตสาหกรรมจะมีขบวนการในการผลิตและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกัน แต่อุตสาหกรรมทุกชนิดต้องการระบบควบคุมที่แน่นอนและแม่นยำ โดยทั่วไปตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตก็คือ ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative) โดยในโครงการนี้นำมาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้า เพื่อทำความร้อนไปใช้ในการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะ อย่าง ความแข็งแรง ความแข็งแกร่ง โครงสร้างจุลภาค ให้เหมาะสมกับสภาพที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นเตาอบโลหะไฟฟ้าจึงมีความสำคัญต่องานในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการอบชุบโลหะ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและสร้างวงจรควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาและเขียน โปรแกรมวิซวลเบสิก ในการติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ผ่านทางพอร์ตขนาน
3. เพื่อปรับปรุงเตาอบโลหะไฟฟ้าควบคุมด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

เตาอบโลหะไฟฟ้าควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยมีเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัววัดอุณหภูมิ แล้วส่งสัญญาณผ่าน วงจรขยายสัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล และมีรีเลย์ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด - ปิด แมกเนติกคอนแทกเตอร์ซึ่งคอยควบคุมการเปิด - ปิด ขดลวดความร้อน ส่วนของโปรแกรมควบคุมโดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) เขียนโปรแกรมรับค่าอุณหภูมิจากผู้ใช้งานและสามารถเลือกรูปแบบการควบคุมได้ คือ แบบธรรมดา และ แบบพีไอดี แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมรีเลย์ผ่านทางพอร์ตขนาน และรับสัญญาณดิจิตอลไปประมวลผล และแสดงอุณหภูมิจริงกับเวลาในรูปกราฟ (Real Time) เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ปรับปรุงเตาอบโลหะไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น
2. ใช้ในการอบชุบโลหะเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีทางความร้อน
3. ใช้ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของโลหะที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น
4. ได้เตาอบโลหะไฟฟ้าควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ไว้ใช้ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

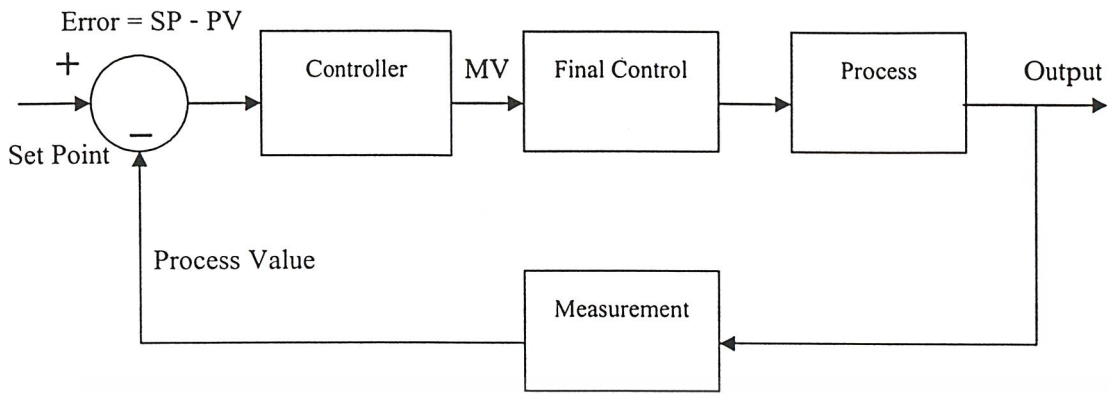
2.1 โครงสร้างพื้นฐาน

โครงสร้างพื้นฐานของเตาอบโลหะ ประกอบไปด้วย ชุดควบคุม และ ตัวเตาความร้อน โดยมีรายละเอียดเชิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือ

2.1.1 กระบวนการควบคุม

กระบวนการทางด้านอุตสาหกรรมส่วนใหญ่สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตได้โดยอัตโนมัติ กระบวนการของตัวแปรได้แก่ ตำแหน่ง ความเร็ว อุณหภูมิ ความดัน แรง ความหนา น้ำหนัก หรือ ปริมาณ และกระบวนการเป็นตัวแปรอะไรก็ตาม ใช้หลักการพื้นฐานของการควบคุมเหมือนกัน โดย ในรูปที่ 2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมและทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณ รูปนี้แสดงกระบวนการควบคุมโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นระบบปิด (Closed – Loop System) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้ (วิทยา ทิพย์สุวรรณ พร, 2546)

1. ส่วนการตรวจวัด (Measurement) ได้แก่ เซ็นเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่นๆในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ใช้เป็นตัวแปรควบคุม
2. ชุดควบคุม (Controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม ทำหน้าที่ให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ อย่างเช่นตัวควบคุมแบบพีไอ ดี
3. อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์สุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น
4. กระบวนการ (Process) หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุม อุณหภูมิ เป็นต้น

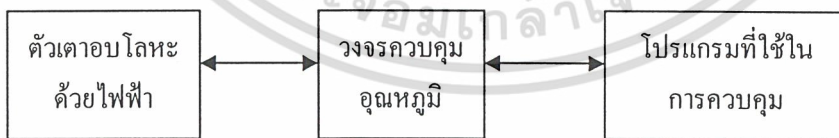


รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุม

ส่วนของการตรวจวัด (Measurement Element) ทำหน้าที่ตรวจสอบและวัดค่าของกระบวนการ (Process) และส่งค่าที่วัดได้ในลักษณะของสัญญาณเอาต์พุต (Process Value) ต่อจากนั้นเครื่องควบคุม (Controller) จะรับค่าสัญญาณดังกล่าวแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set Point) แล้วพยายามควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่สภาวะที่ต้องการ โดยสร้างสัญญาณควบคุม (Control Signal) สัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องควบคุมจะถูกส่งให้ส่วนควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) เข้าสู่ในสภาวะที่ต้องการจะกล่าวได้ว่า ในการควบคุมตามค่าสภาวะที่ต้องการนั้น ค่าสถานะของกระบวนการ (Process Value) จะมีค่าเท่ากับค่าที่ต้องการ (Set Point) หรือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) = 0 นั่นเอง

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของเตาอบโลหะไฟฟ้า

โดยในส่วนนี้จะแสดงรายละเอียดของโครงสร้างพื้นฐานของเตาอบโลหะไฟฟ้า เพื่อให้เห็นโครงสร้างพื้นฐานของเตาอบโลหะไฟฟ้าว่าแต่ละส่วนประกอบด้วยอะไรบ้างและจะอธิบายรายละเอียดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของเตาอบโลหะไฟฟ้า

- เต้าเผาโลหะด้วยไฟฟ้า (Electric Oven) ประกอบด้วย

- ขดลวดความร้อน (Coil Heater) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งทำมาจาก

โลหะผสมทั้งสแตน สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 1400 °C

- วงจรควบคุมอุณหภูมิ (Control Circuit) ประกอบด้วย

- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) จะทำหน้าที่ในการวัดอุณหภูมิ โดยเปลี่ยนผลต่างของอุณหภูมิของโลหะสองขั้วไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าระหว่าง -6.458 ถึง 54.875 มิลลิโวลต์ (Millivoltage) ซึ่งแบบเค สามารถนำไปใช้ใน ช่วงอุณหภูมิ -270 °C ถึง 1372 °C

- วงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier) เนื่องจากสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำมาก คือ มีค่า 0-50 มิลลิโวลต์ (Millivoltage) ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ (Voltage)

- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) จากสัญญาณอนาลอกที่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาจากวงจรขยายสัญญาณก็จะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้

- วงจรควบคุมรีเลย์ (Control Relay) วงจรนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมรีเลย์ ซึ่งตัวรีเลย์นี้จะไปควบคุมแมกเนติก คอนแทกเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนภายในเตาอบ

- โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม (Computer Program) ประกอบด้วย

- ซอฟต์แวร์ใช้งาน (Application Software) โดยจะใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก เขียนควบคุมการทำงาน โดยติดต่อกับทางพอร์ตขนาน

2.2 เทอร์โมคัปเปิล

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการทางไฟฟ้า โดยมีหลักการของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ดังต่อไปนี้ (สมศักดิ์ ธีรวิวัฒน์, 2542)

2.2.1 กฎการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน

- กฎของวงจร โลหะชนิดเดียว ในวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกัน จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ปลายจุดต่อทั้งสอง กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้น ในกรณีที่ลวดทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกันเท่านั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

- กฎของโลหะแทรก ในวงจรเทอร์โมคัปเปิลถ้ามีโลหะแทรกอยู่ในส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจร หากจุดต่อของปลายโลหะแทรกทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันแล้ว โลหะแทรกนี้จะไม่มีส่วนต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติมีอยู่เสมอ เช่น ข้อต่อหรือสายทองแดงที่ใช้ต่อเข้ามิเตอร์

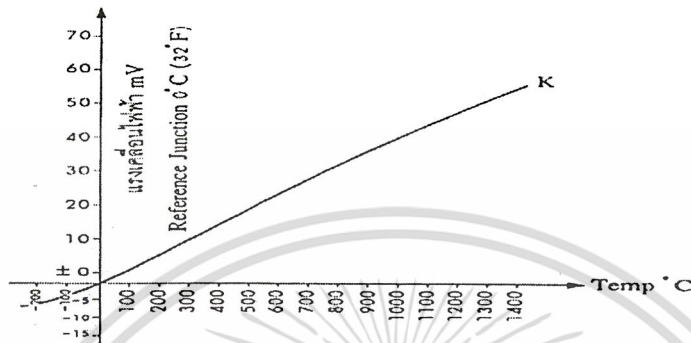
- กฎของอุณหภูมิแทรก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยเทอร์โมคัปเปิลชุดใด ๆ ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกัน จะมีค่าเท่ากับผลบวกพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชุดนั้น

2.2.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค

เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบเจ และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90% + โครเมียม 10% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิกอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐานแบบเค เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สามารถใช้กับสภาวะงานที่ทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับออกซิเจน (Oxidizing หรือ Inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 °C (2300° F) และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 °C (-420° F) ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเค ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกันและคุณสมบัติที่เด่นมากของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค คือให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทสูงชันดังแสดงในรูปที่ 2.3 (สมศักดิ์ กิริตวิฒิเศรษฐ์, 2542)



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานกับย่านอุณหภูมิที่ใช้งานและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ (mV)
		°C	°F	
B	แพลทินัม – 30% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
	แพลทินัม – 6% โรเดียม			
R	แพลทินัม – 13% โรเดียม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-02.26 ถึง 21.108
	แพลทินัม			
S	แพลทินัม – 13% โรเดียม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
	แพลทินัม			
J	เหล็ก / คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล / อะลูเมล	-210 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง / คอนสแตนแตน	-210 ถึง 400	-450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมล / คอนสแตนแตน	-210 ถึง 1000	-450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ				

ที่มา : สมศักดิ์ กิริตวิฒิเศรษฐ์ (2542)

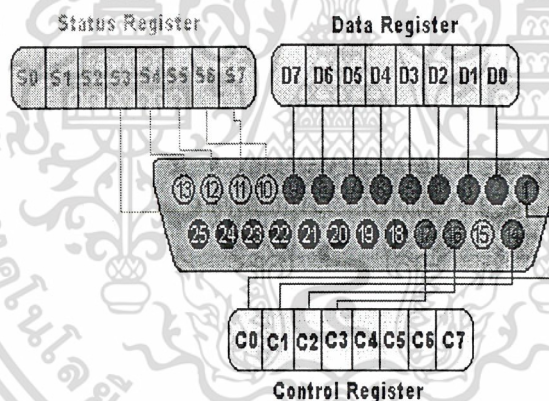
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พอร์ตขนาน

พอร์ตขนาน (Parallel Port) นั้นเดิมเรียกว่า พอร์ตพริ้นเตอร์ (Printer Port) เพราะการใช้งานส่วนใหญ่กับพริ้นเตอร์เป็นการใช้งาน โดยต่อกับพริ้นเตอร์เป็นหลัก โดยที่พอร์ตขนานนั้นสามารถให้ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลได้รวดเร็วกว่าพอร์ตอนุกรมราว 8 – 10 เท่า ซึ่งสามารถส่งข้อมูลขนาน 8 บิตได้เลย

ลักษณะหัวต่อของพอร์ตขนานจะเป็นแบบดีบี 25 พิน (DB 25 Pin) ตัวเมีย อยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ปกติแล้วจะใช้ในการติดต่อกับเครื่องพริ้นเตอร์ และยังสามารถใช้ในงานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ชนิดอื่น ๆ ได้อีก ซึ่งการใช้พอร์ตขนานในการเชื่อมต่อนั้นถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาก ทั้งนี้เพราะสามารถรับและส่งข้อมูลในลักษณะขนานได้ ทำให้นำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งแรงดันที่จ่ายออกมาก็เป็นที่ทีแอล (TTL) โดยสัญญาณลอจิก “1” จะเท่ากับ 5 โวลต์และลอจิก “0” จะเท่ากับ 0 โวลต์ ทำให้ง่ายในการออกแบบวงจรและประยุกต์ใช้งาน พอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยสัญญาณทั้งหมด 25 เส้นสัญญาณ แต่ใช้งานจริง ๆ 17 เส้นสัญญาณ โดยสัญญาณจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะหน้าที่ของสัญญาณประกอบด้วย (อภิชาติ ภูพลับ, 2546)

1. สัญญาณข้อมูล (Data Port) จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
2. สัญญาณสถานะ (Status Port) จำนวน 5 เส้นสัญญาณ
3. สัญญาณควบคุม (Control Port) จำนวน 4 เส้นสัญญาณ



รูปที่ 2.4 สายสัญญาณในพอร์ตขนาน

2.3.1 สัญญาณข้อมูล

มีขนาด 8 บิตเป็นรีจิสเตอร์เอาต์พุตขนาด 8 บิตซึ่งมีตำแหน่งพอร์ตในการติดต่อคือ 0378H (LPT1) หรือ 0278 (LPT2) เราสามารถส่งค่าข้อมูลออกได้โดยใช้คำสั่งเอาต์ (Out) ซึ่งเมื่อเขียนข้อมูลออกไปที่พอร์ตนี้จะทำให้สัญญาณมีค่าเหมือนกับข้อมูลที่เขียนออกไปเช่นเมื่อเขียนข้อมูลเป็น “1” ออกไปที่บิตใดของพอร์ตนี้จะทำให้ขาสัญญาณของบิตนั้นเป็น “1” ตามไปด้วยซึ่งพอร์ตนี้สามารถอ่านค่าของข้อมูลที่เรเขียนออกไปแล้วกลับเข้ามาเพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณที่ถูกส่งออกไปนั้นมีการถูกเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ภายนอกหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดและการทำงานของกลุ่มสัญญาณข้อมูล (บริษัท อีทีที จำกัด, 2547)

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดและการทำงานของกรุปสัญญาณข้อมูล

บิตสัญญาณข้อมูลที่ อ่าน/เขียน	สัญญาณที่พอร์ต เมื่อถูกเขียนด้วย ลอจิก “1”	สัญญาณจากพอร์ต เมื่ออ่านได้เป็น ลอจิก “1”	ขาสัญญาณของ DB 25
0	HIGH	HIGH	2
1	HIGH	HIGH	3
2	HIGH	HIGH	4
3	HIGH	HIGH	5
4	HIGH	HIGH	6
5	HIGH	HIGH	7
6	HIGH	HIGH	8
7	HIGH	HIGH	9

ที่มา : บริษัท อีทีที จำกัด (2547)

2.3.2 สัญญาณสถานะ

มีขนาด 5 บิต พอร์ตนี้มีตำแหน่งในการติดต่ออยู่ที่ 0379H (LPT1) หรือ 0279H (LPT2) ซึ่งสัญญาณข้อมูลจากพอร์ตนี้ใช้สำหรับ อ่านสถานะของสัญญาณอินพุตแบบ (Real Time) จากภายนอกเพื่อส่งค่าไปประมวลผล (บริษัท อีทีที จำกัด, 2547)

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดการทำงานของกรุปสถานะ

บิตสัญญาณข้อมูลที่ อ่าน / เขียน	สัญญาณจากพอร์ต เมื่ออ่านได้เป็น ลอจิก “1”	ขาสัญญาณของ DB25
0	-	-
1	-	-
2	-	-
3	HIGH	15
4	HIGH	13
5	HIGH	12
6	HIGH	10
7	LOW	11

ที่มา : บริษัท อีทีที จำกัด (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สัญญาณควบคุม

มีขนาด 4 บิต โดยมีตำแหน่งพอร์ตในการติดต่ออยู่ที่ 037AH (LPT1) หรือ 270AH (LPT2) เราสามารถเขียนและอ่านข้อมูลจากพอร์ตนี้ได้ ซึ่งสัญญาณของบิต 0 1 และ 3 จะถูกกลับสถานะเป็นตรงกันข้ามจากค่าของข้อมูลที่เขียนอ่านคือถ้าเขียนข้อมูลเป็น 1 ออกไปที่บิตเหล่านี้จะทำให้สัญญาณกลับเป็น 0 หรือถ้าสัญญาณที่คอนเนกเตอร์มีค่าเป็น 0 อยู่เมื่ออ่านค่าเข้ามาจะได้ค่าเป็น 1 (บริษัท อีทีที จำกัด, 2547)

ตารางที่ 2.4 แสดงรายละเอียดและการทำงานของกลุ่มนสัญญาณควบคุม

บิตสัญญาณข้อมูลที่อ่าน / เขียน	สัญญาณที่พอร์ตเมื่อถูกเขียนด้วยลอจิก "1"	สัญญาณจากพอร์ตเมื่ออ่านได้เป็นลอจิก "1"	ขาสัญญาณของ DB 25
0	LOW	LOW	1
1	LOW	LOW	14
2	HIGH	HIGH	16
3	LOW	LOW	17
4	ENABLE IRQ7	ENABLE IRQ7 BIT	-
5-7	-	-	-

ที่มา : บริษัท อีทีที จำกัด (2547)

2.4 ชุดควบคุม

ชุดควบคุม (Controller) อัตโนมัตินี้ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิด ซึ่งในปริญญาโทฉบับนี้จะศึกษารายละเอียดเฉพาะชุดควบคุมที่เกี่ยวข้องคือ การควบคุมแบบเปิด - ปิด (On - Off) และ การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)

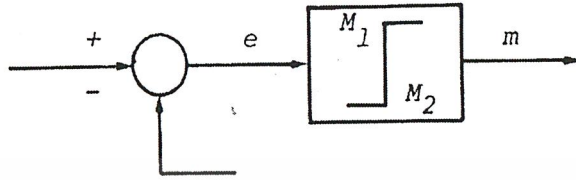
2.4.1 การควบคุมแบบเปิด - ปิด

ในระบบการควบคุมแบบเปิด - ปิด (On - Off) จะทำงานในตำแหน่งที่คงที่เพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น ในบางครั้งอาจเรียกว่า การควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง จะเป็นการควบคุมแบบง่ายๆ และราคาไม่แพง ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานควบคุมทางอุตสาหกรรม และในกรณีที่เกิดจากการแกว่ง (Oscillate) ขึ้นลงนั้นเป็นที่ยอมรับได้ กำหนดให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น $m(t)$ และสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนเป็น $e(t)$ ฉะนั้นในการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่งนั้น สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น $m(t)$ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ มีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบ (ซวพงษ์ สิงห์แพทย และคณะ, 2531)

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

$$m(t) = M_2 \quad \text{สำหรับ } e(t) < 0$$

โดยที่ M_1 และ M_2 เป็นค่าคงที่



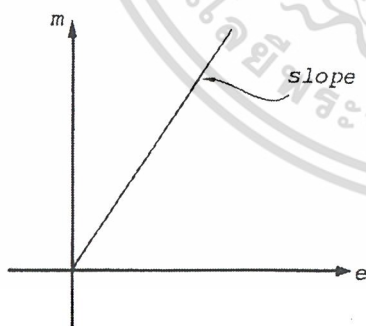
รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง

2.4.2 การควบคุมแบบสัดส่วน

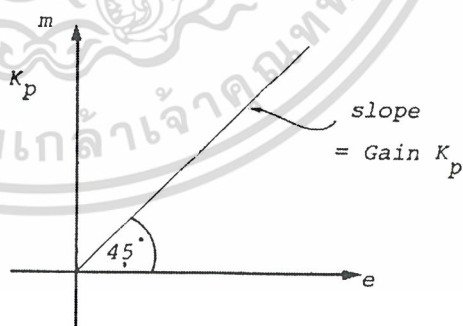
ในกรณีที่ชนิดของการควบคุมเป็นแบบสัดส่วน การทำงานของตัวควบคุม (Controller) จะเป็นไปตามลักษณะของสัดส่วน คือ ค่าสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะมีค่ามากน้อยตามความมากน้อยของค่าความคลาดเคลื่อน (Error) กล่าวคือ (ชาวพงษ์ สิงห์แพทย์ และคณะ, 2531)

$$m(t) = K_p \cdot e(t) \tag{2.1}$$

โดยที่ $m(t)$ = สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม
 K_p = อัตราการขยาย (Gain) ของตัวควบคุมแบบสัดส่วน
 $e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน (Error)



ก) Gain $K_p > 1$



ข) Gain $K_p = 1$

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของการควบคุมแบบสัดส่วน

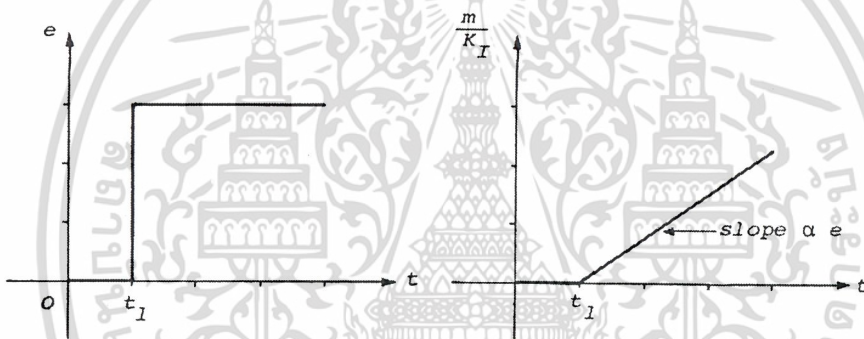
คุณสมบัติที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วนนี้ก็คือ ถ้าหากอินพุตของตัวควบคุมคือมีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) มากและเอาต์พุตของตัวควบคุมซึ่ง $m(t)$ ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ในทางปฏิบัติก็คือ มีผลทำให้ระบบมีผลตอบสนองได้เร็ว

2.4.3 การควบคุมแบบรวม

การควบคุมมีลักษณะการทำงานเป็นแบบรวม เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ และค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้ (ซวงพงษ์ สิงหแพทย์ และคณะ, 2531)

$$m(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.2)$$

โดยที่ K_I = อัตราการขยาย (Gain) ของตัวควบคุมแบบรวม



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของการควบคุมแบบรวม

ในการควบคุมแบบรวม (Integral Control) นั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ดังนั้น ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งได้เกิดขึ้น ทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไปจากค่าที่ต้องการ แล้วอุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับค่าความคลาดเคลื่อนโดยเร็ว เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้ว อุปกรณ์ควบคุมส่วนสุดท้าย (Final Element Control) จะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบอยู่ในสถานะที่คงที่แล้วนั่นเอง

2.4.4 การควบคุมแบบอัตรา

การควบคุมแบบอัตรา (Derivative Control) ซึ่งมีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนของระบบในลักษณะที่เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อน (Error) กล่าวคือ (ซวงพงษ์ สิงหแพทย์ และคณะ, 2531)

$$m(t) = K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K_c = อัตราการขยาย (Gain) ของตัวควบคุมแบบอัตรา

ซึ่งจะเห็นว่า การควบคุมชนิดนี้จะให้ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ ทันทีที่ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) มีการเปลี่ยนแปลงผิดกับการควบคุมชนิดอื่นๆ ซึ่งจะทำให้การแก้ไขความคลาดเคลื่อน จากปริมาณของความคลาดเคลื่อน (Error) การควบคุมแบบอัตราจึงมีประโยชน์มาก เพราะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเฝ้าความคลาดเคลื่อน ไหวของค่าความคลาดเคลื่อน (Error) โดยจะให้การแก้ไขทันที ที่สภาพของค่าความคลาดเคลื่อน (Error) เปลี่ยนไป จึงเท่ากับเป็นการแก้ความคลาดเคลื่อนของระบบล่วงหน้า แทนที่จะให้การแก้ไขหลังจาก มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นแล้ว เหมือนการควบคุมแบบสัดส่วน และแบบรวม ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.4.5 การควบคุมแบบพีไอดี

เครื่องควบคุมหรือตัวควบคุมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยทำหน้าที่สั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ให้มีผลตอบสนองให้เป็นไปตามต้องการ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎและรูปแบบของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกและกำหนดไว้ล่วงหน้า โดยสัญญาณควบคุมจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของการควบคุม (ค่าแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายและตัวแปรกระบวนการ) โดยเครื่องควบคุมที่ถูกนำมาใช้และรู้จักกันดีมากที่สุดมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรมการผลิตก็คือ ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งตัวควบคุมแบบนี้มีฟังก์ชันถ่ายโอน คือ (พิทยา ปานนิล, 2546)

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.4)$$

โดยที่ K_c = อัตราขยายของตัวควบคุม
 T_i = ค่า Integral or Reset Time
 T_d = ค่า Derivative or Rate Time

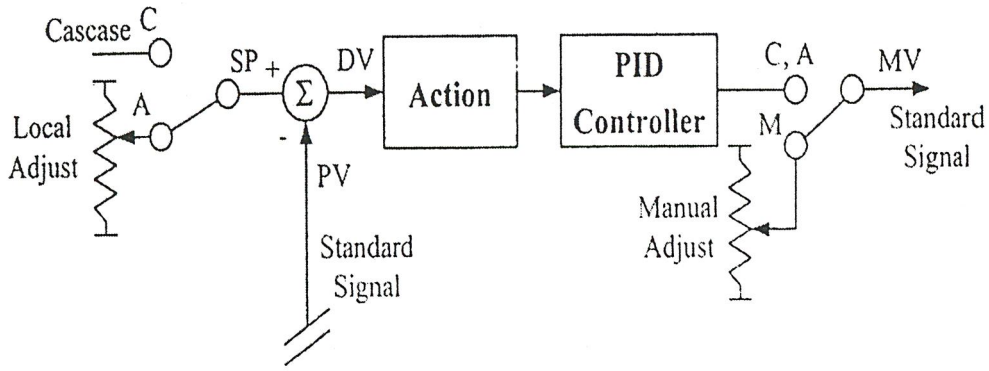
ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ทั้ง 3 ค่านี้ จะใช้สำหรับค่าให้กับตัวควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการที่ต้องการให้มีผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สัญญาณควบคุมหรือตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Value : MV) ที่ได้จากตัวควบคุมพีไอดี จะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าตัวควบคุมหรือตัวแปรกระบวนการ (Process Value) กับสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (Set Point) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้ปรับแต่งไว้ล่วงหน้า (คือ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ K_c , T_i และ T_d ของตัวควบคุมพีไอดี) ดังนั้นสัญญาณของตัวควบคุมพีไอดีคือ

$$MV = \frac{100}{PB} \left[(SP - PV) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (SP - PV) dt + T_d \cdot \frac{d(SP - PV)}{dt} \right] + b \quad (2.5)$$

$$\text{หรือ } MV = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right] + b \quad (2.6)$$

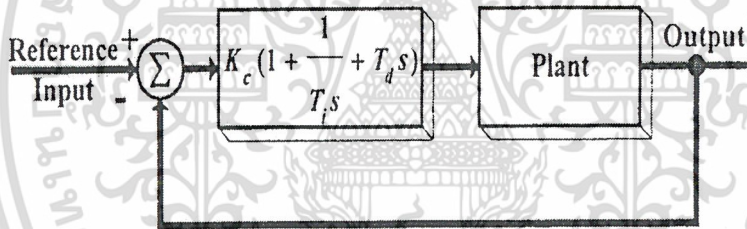
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

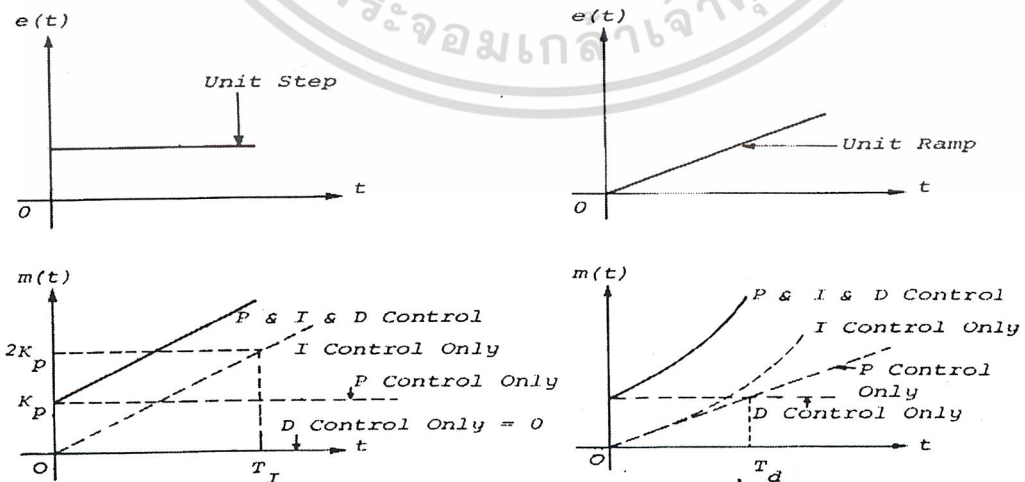


รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีไอดี

ค่าสัญญาณจากเครื่องมือวัด (Process Variable Value : PV) ค่าเป้าหมาย (Set Point : SP)
 ค่าเป้าหมาย (Deviation : DV หรือ Error) ตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Value : MV)
 เคสเคด (Cascade : C หรือ Remote Set Mode) อัตโนมติ (Automatic Mode : A)
 ธรรมดา (Manual Mode : M)



รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี



รูปที่ 2.10 การตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี สามารถหาได้ทั้งทางคณิตศาสตร์และทางปฏิบัติ แต่ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมจะนิยมใช้วิธีทางปฏิบัติมากกว่า ซึ่งทางปฏิบัติที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

- วิธีโพรเซสรีแอคชันเคิร์ฟ (Process Reaction Curve ของ Ziegler-Nichols (Open Loop Method))
- วิธีอัลทิเมต (Ultimate Method ของ Ziegler-Nichols (Closed Loop))
- วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error)

ซึ่งในปริณญาณิพนธ์นี้ จะทำการปรับค่าของตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยจะใช้วิธี การลองผิดลองถูก (Trial and Error) ซึ่งถ้าต้องการให้ผลตอบสนองของการควบคุม เป็นไปตามต้องการอย่างแท้จริง ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่งด้วยวิธีการลองผิดลองถูก

2.4.6 การตอบสนองต่ออินพุตที่เป็นยูนิตสเต็ปของระบบอันดับที่ 1

โดยทั่วไปฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของระบบอันดับที่ 1 (First Order System) คือ (Hargreaves, M., 1996)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{1 + \tau s} \quad (2.7)$$

โดยที่ τ = ค่าคงที่ของกระบวนการ (Process Time Constant)

และ

$$C(s) = \frac{K}{1 + \tau s} R(s) \quad (2.8)$$

เมื่อ อินพุต $R(s)$ เป็นยูนิตสเต็ป (Unit Step Input) คือ $\frac{1}{s}$

$$C(s) = \frac{K}{s(1 + \tau s)} \quad (2.9)$$

แสดงในรูปเศษส่วนย่อย (Partial Fraction) คือ

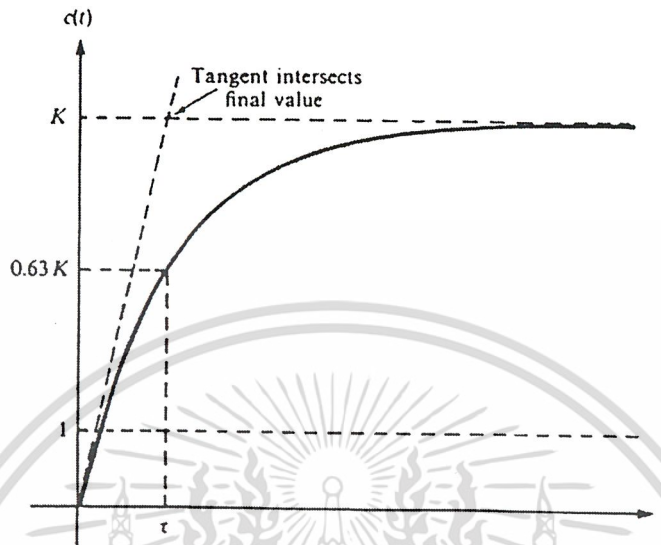
$$C(s) = \frac{K}{s(1 + \tau s)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{1 + \tau s} \quad (2.10)$$

ดังนั้น

$$C(s) = \frac{K}{s} - \frac{K\tau}{1 + \tau s} \quad (2.11)$$

โดยแปลงรูปลาปลาซกลับคือ (Inverse Laplace's Transform) ให้อยู่ในรูปของ โดเมนเวลา (Time Domain)

$$C(t) = K(1 - e^{-t/\tau}) \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.11 แสดงคอบสนองต่ออินพุตที่เป็นยูนิตส텝ของระบบอันดับที่ 1

2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) จะทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นขั้น โดยจำนวนขั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งจำนวนขั้นจะเท่ากับ 2^n ขั้น เมื่อ n คือ จำนวนบิตที่ต้องการ ส่วนความละเอียดของแต่ละขั้น จะมีค่าดังนี้ (วิศรุต ศรีรัตนะ และคณะ, 2546)

$$\Delta V = V_{ref} 2^{-n} \quad (2.13)$$

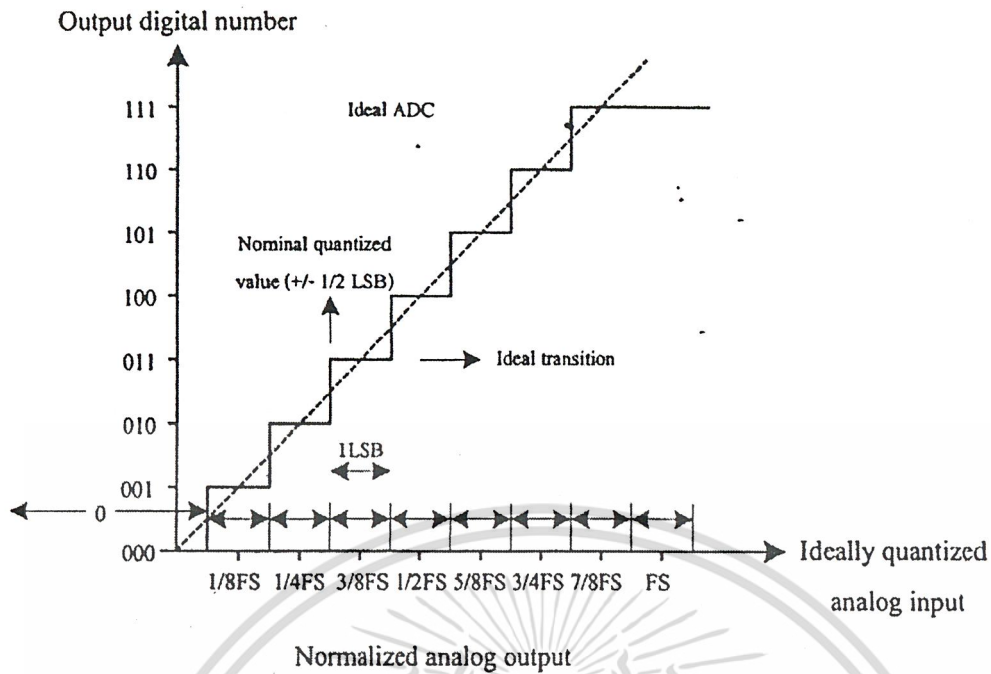
เมื่อ ΔV คือ ค่าแรงดันในแต่ละขั้น

V_{ref} คือ ค่าแรงดันอ้างอิง

n คือ จำนวนบิต

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาลอก กับสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณดิจิทัลของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.12 (วิศรุต ศรีรัตนะ และคณะ, 2546) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัลของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขนาด 3 บิต โดยมีจำนวนขั้นเท่ากับ 2^3 หรือ 8 ขั้น เมื่อ FS คือ ค่าเต็มสเกล (Full Scale) ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ideal input-output characteristics for a 3-bit ADC

รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล

สำหรับรายละเอียดและหลักการในการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล แต่ละประเภทนั้นจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยทั่วไปประเภทของวงจรจะแบ่งตามความเร็วในการแปลงสัญญาณ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

1. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลความเร็วต่ำ

เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีขนาดเล็ก ลักษณะการทำงานของวงจรไม่ซับซ้อน เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับค่าระดับสัญญาณอนาลอกที่ป้อนเข้าสู่วงจร ขนาดของวงจรไม่ขึ้นกับจำนวนบิตที่ต้องการ สามารถแปลงสัญญาณที่มีความละเอียดสูงได้ดี คือ จำนวนบิตมาก วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซิงเกิลสโลป (Single Slope) และ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลความเร็วแบบดูอัลสโลป (Dual Slope)

2. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลความเร็วปานกลาง

เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีการทำงานเป็นแบบอนุกรม คือ ในการแปลงสัญญาณหนึ่งครั้งจะได้สัญญาณดิจิทัลหนึ่งบิต เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลความเร็วต่ำ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลประเภทนี้จะมีความซับซ้อนมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณไม่ขึ้นอยู่กับค่าระดับสัญญาณอนาลอกที่ป้อนเข้าสู่วงจร แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ต้องการ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซัคเซสซิฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation) และ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอัลกอริทึม (Algorithmic)

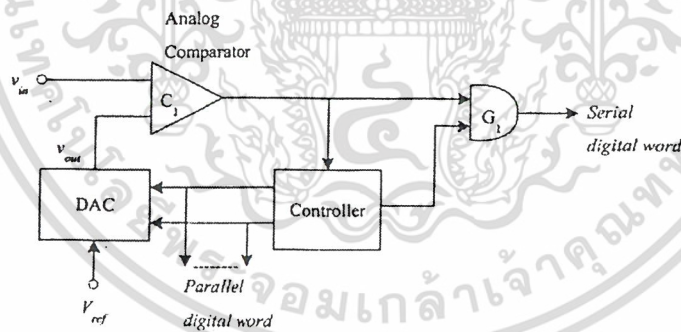
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลความเร็วสูง

เป็นวงจรที่ทำการแปลงสัญญาณที่ทำการแปลงสัญญาณโดยใช้เวลาน้อยกว่า N รอบสัญญาณนาฬิกา โดยที่ N เป็นจำนวนบิตที่ต้องการ แต่วงจรจะมีความซับซ้อนมาก และขนาดของวงจรจะแปรตามจำนวนบิตที่ต้องการ ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ กินพื้นที่มาก วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ที่จัดอยู่ในประเภทนี้ ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบขนาน (Parallel)

ซึ่งในปริณยานิพนธ์นี้จะศึกษารายละเอียดในการแปลงสัญญาณเฉพาะแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation)

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation) วงจรนี้มีหลักการพื้นฐานคือ วงจรจะทำการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลทีละหนึ่งบิตเริ่มต้นจากบิตสูงสุดหรือบิตสูงสุดหรือบิตซ้ายสุด (MSB) ไปยังบิตต่ำสุด (LSB) นั่นคือ สัญญาณอนาลอกอินพุทจะทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณเปรียบเทียบค่าหนึ่ง ๆ โดยในแต่ละรอบการเปรียบเทียบสัญญาณที่เข้าทำการเปรียบเทียบจะมีค่าแตกต่างกัน ในรอบแรกค่าสัญญาณเปรียบเทียบจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของสัญญาณเต็มสเกลที่วงจรสามารถยอมรับได้ ในกรณีที่สัญญาณอนาลอกอินพุทมากกว่าสัญญาณเปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลบิตสูงสุดจะมีค่าเป็น “1” แต่ถ้าสัญญาณอนาลอกอินพุทมีค่าน้อยกว่าสัญญาณเปรียบเทียบ สัญญาณดิจิทัลบิตสูงสุดจะมีค่าเป็น “0” หลังจากนั้นวงจรจะทำการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าสัญญาณดิจิทัลบิตถัดไป โดยการเพิ่มหรือลดค่าสัญญาณเปรียบเทียบจากค่าเดิมอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบมีค่าเป็นอะไร ถ้าสัญญาณมีค่าเป็น “1” วงจรจะเพิ่มค่าสัญญาณเปรียบเทียบ แต่ถ้าสัญญาณนั้นมีค่าเป็น “0” วงจรจะลดค่าสัญญาณเปรียบเทียบลง การทำงานของวงจรสำหรับบิตถัดไปก็จะปฏิบัติตามขั้นตอนตามที่กล่าวมาข้างต้นจนกว่าจะครบตามจำนวนบิตที่ต้องการ



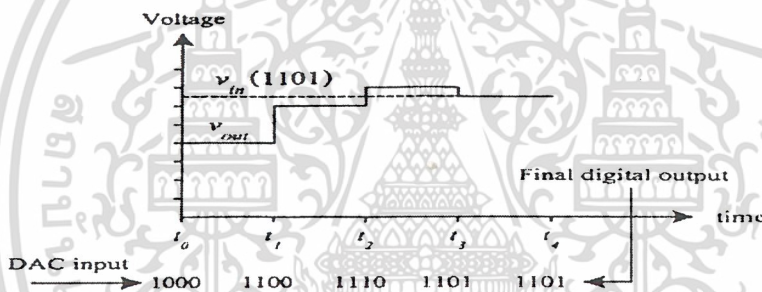
รูปที่ 2.13 วงจรพื้นฐานของแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชัน

ในรูปที่ 2.13 (วิศรุต ศรีรัตนะ และคณะ, 2546) แสดงวงจรพื้นฐานของแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชันซึ่งประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Analog Computer) C₁ วงจรเกท G₁ วงจรควบคุมการทำงาน (Controller) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (DAC) และแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ เมื่อสัญญาณอนาลอกอินพุท v_{in} ป้อนเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ C₁ วงจรควบคุมการทำงานจะกำหนดค่าเริ่มต้นของสัญญาณอินพุทสูงสุดของวงจรแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (DAC) ให้เป็น “1” และค่าบิตอื่นให้เป็น “0” วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (DAC) จะทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณอนาล็อก v_{out} ซึ่งต่อเข้าไปยังวงจรเปรียบเทียบ C_1 เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอนาล็อกอินพุต v_{in} ถ้าสัญญาณ $v_{in} > v_{out}$ จะได้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ C_1 หรือสัญญาณดิจิทัลบิต สูงสุดจะมีค่าเป็น “1” แต่ถ้า $v_{in} < v_{out}$ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ C_1 จะมีค่าเป็น “0” ค่าสัญญาณเอาต์พุตจากวงจร C_1 นี้จะส่งไปยังวงจรควบคุมการทำงาน เพื่อที่จะนำไปใช้ในการกำหนดสัญญาณเปรียบเทียบในครั้งต่อไป และสำหรับสัญญาณดิจิทัลของบิตนั้นจะส่งไปยังวงจรถัดไปผ่านทางวงจรเกท G_1 ซึ่งการทำงานของเกท G_1 จะถูกควบคุมโดยจังหวะสัญญาณนาฬิกา (Clock Period) หลังจากนั้นวงจรจะเริ่มค้นหาบิตถัดไปตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น โดยวงจรควบคุมการทำงานจะกำหนดบิตที่จะถูกพิจารณาต่อไปให้มีค่าเป็น “1” สำหรับบิตที่เปรียบเทียบไปแล้วจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (DAC) วงจรจะสิ้นสุดการทำงานในการแปลงสัญญาณอนาล็อกหนึ่งค่า เมื่อวงจรได้ทำการแปลงสัญญาณจรครบตามจำนวนบิตที่ต้องการ ตัวอย่างความสัมพันธ์ของสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุต v_{out} จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (DAC) กับสัญญาณอนาล็อกอินพุต v_{in} แสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 2.14 (วิศรุต ศรีรัตนะ และคณะ, 2546)



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุต v_{out} จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก กับสัญญาณอนาล็อกอินพุต v_{in}

จากรูปที่ 2.14 เป็นตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาดบิต 4 บิต โดยสมมุติให้สัญญาณอนาล็อกอินพุต v_{in} เมื่อคิดสัญญาณดิจิทัลแล้วมีค่าเท่ากับ 1101 การทำงานของวงจรแบบซีกเซตซีฟแอปพร็อกซิเมชัน สามารถอธิบายได้ดังนี้ การแปลงสัญญาณจะเริ่มค้นที่เวลา t_0 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (DAC) จะกำหนดสัญญาณเปรียบเทียบ v_{out} ให้มีค่าเท่ากับ 1000 ในช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 จะทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ v_{in} (1101) กับ v_{out} (1000) ซึ่งจะเห็นว่า $v_{in} > v_{out}$ ดังนั้นบิตสูงสุดจะยังคงค่า “1” เอาไว้ แล้วใส่บิต “1” ในบิตนัยสำคัญของลงไป ดังนั้นที่เวลา t_1 จะได้สัญญาณเปรียบเทียบ v_{out} มีค่าเท่ากับ 1100 ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ v_{in} (1101) กับ v_{out} (1100) จะเห็นว่า $v_{in} > v_{out}$ ดังนั้นบิตที่ 2 จะยังคงค่า “1” เอาไว้ แล้วใส่ค่า “1” ในบิตที่ 3 ดังนั้นที่เวลา t_2 จะได้สัญญาณเปรียบเทียบ v_{out} มีค่าเท่ากับ 1110 ในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 จะทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ v_{in} (1101) กับ v_{out} (1110) จะได้ว่าสัญญาณ $v_{in} < v_{out}$ ดังนั้นบิตที่ 3 จะให้ค่า “0” แทน “1” แล้วใส่ค่า “1” ในบิตที่ 4 ดังนั้นที่เวลา t_3 จะได้สัญญาณ v_{out} มีค่าเท่ากับ 1101 ในช่วงเวลา t_3 ถึง t_4 จะทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ v_{in}

(1101) กับ v_{out} (1100) จะเห็นว่า $v_{in} = v_{out}$ ดังนั้นที่เวลา t , ก็เป็นการสิ้นสุดการแปลงสัญญาณ ซึ่งจะเสียเวลาในการแปลงสัญญาณไปทั้งหมดเท่ากับ 4 เท่าของสัญญาณนาฬิกา

ข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ชนิดนี้คือใช้ขั้นตอนการแปลงสัญญาณเพียง N ขั้นตอนเท่านั้น โดยที่ N เป็น จำนวนบิตที่ต้องการ เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณไม่ขึ้นกับระดับสัญญาณอนาล็อกที่ป้อนเข้าตัววงจร แต่ขึ้นกับจำนวนบิตที่ต้องการ แต่ความเที่ยงตรงและแม่นยำของวงจรขึ้นอยู่กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ที่ใช้ในวงจร ซึ่งจะต้องมีค่าความผิดพลาดในการทำงานไม่เกิน $1/2$ LSB มิฉะนั้นจะทำให้สัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล มีความผิดพลาดมากขึ้น ตัวอย่างของไอซีสำเร็จรูปที่เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบซิกเซสซีฟแอสซิมเมตริก เช่น ADC0801 ADC0802 ADC0803 และ LTC1298 ซึ่งใช้ในปริยญาณิพนธ์นี้ เป็นต้น

2.6 การขยายสัญญาณ

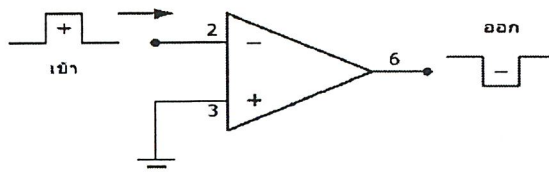
อุปกรณ์เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เกือบทุกตัวจะต้องมี การขยายสัญญาณหรือปรับสภาพสัญญาณ ก่อนที่จะส่งไปยังสเตจอื่น ๆ ในการขยายสัญญาณทางไฟฟ้า ทำได้หลาย ๆ วิธี เช่น ใช้ไอซีขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น (Linear Op - Amp) ตระกูล 741 ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการใช้งานและแก้ปัญหา ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กัน ออกไป แอมป์ เป็นอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มี การทำงานเป็นแบบ Voltage Controlled Voltage Source ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับสัญญาณได้ดังนี้

1. รวมสัญญาณ (Sum Signal)
2. อนุพันธ์สัญญาณ (Differentiate Signal)
3. อินทิเกรตสัญญาณ (Integrate Signal)
4. ขยายสัญญาณ (Amplify Signal)

ซึ่งในที่นี้เราจะใช้อุปกรณ์ในการขยายสัญญาณ (Amplify Signal) โดยมีทฤษฎีของวงจรขยายสัญญาณ (Amplify Signal) ที่เกี่ยวข้องและเราสามารถหาสมการของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตได้จากทฤษฎีของ Kirchhoff's Current Laws (KCL) มาช่วยในการคำนวณหาสมการความสัมพันธ์นั้นซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้ (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า, 2546)

2.6.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

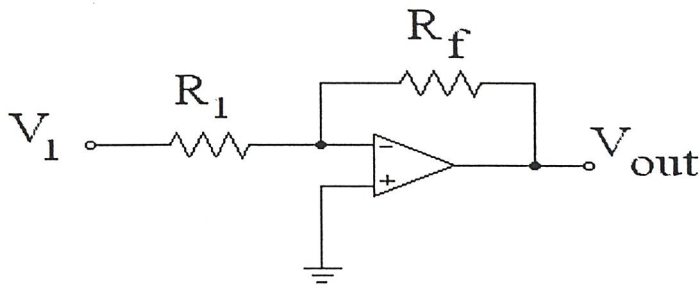
วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) คือ วงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิมในรูปแบบที่ 2.15 (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า, 2546)



รูปที่ 2.15 แสดงการเข้าของสัญญาณอินพุตและผลของสัญญาณออกเอาต์พุต

ของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

พิจารณาจากรูปที่ 2.16 (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า, 2546) เราจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุต คือ

$$V_{(+)} = 0 = V_{(-)} \quad (2.14)$$

(จั่วบวกของออปแอมป์ต่อลงกราวด์แรงดันที่ขั้วมันจึงมีค่าเท่ากับศูนย์)

พิจารณาที่โหนด $V_{(-)}$ จาก KCL;
$$\frac{V_{(-)} - V_i}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.15)$$

เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = 0$ ในสมการข้างต้นจะได้สมการความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{-V_i}{R_1} - \frac{V_o}{R_f} = 0 \quad (2.16)$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i \quad (2.17)$$

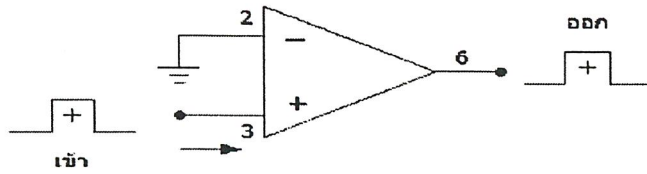
ซึ่ง $-\frac{R_f}{R_1}$ คือ ค่า อัตราการขยายแรงดัน (Voltage Gain)

จะเห็นว่า ค่าอัตราการขยายแรงดัน (Voltage Gain) มีค่าติดลบ ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงวงจรดังกล่าวทำหน้าที่กลับสัญญาณ

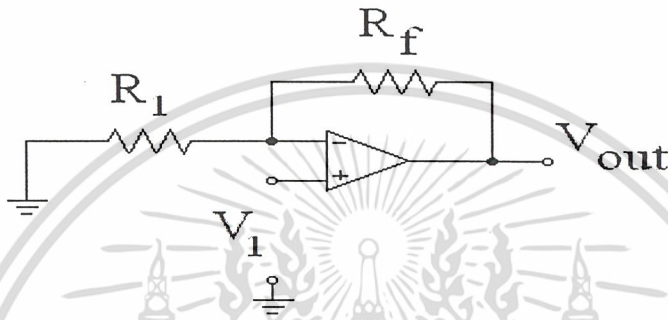
2.6.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ อัตราการขยายแรงดัน (Voltage Gain) มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาต์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิมดังแสดงในรูปที่ 2.17 (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการเข้าของสัญญาณอินพุตและผลของสัญญาณออกเอาท์พุต
ของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)



รูปที่ 2.18 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

พิจารณาจากรูปที่ 2.18 (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า, 2546) จะได้

$$V_{(+)} = V_i = V_{(-)} \quad (2.18)$$

(ขั้วบวกของ Op amp ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ ขั้วบวกจึงมีค่า เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น)

พิจารณาที่ โหนด $V_{(-)}$ จาก KCL; $\frac{V_{(-)}}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0$ (2.19)

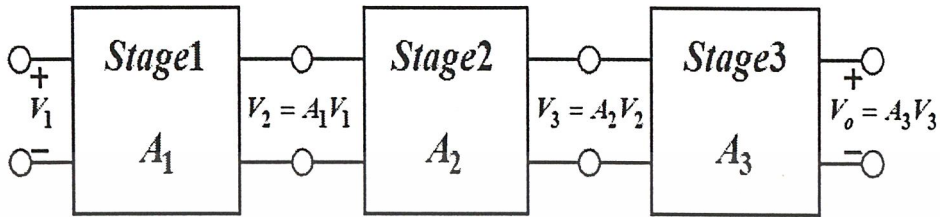
เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = V_i$ ในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.20)$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_i \quad (2.21)$$

2.6.3 การต่อวงจรออปแอมป์แบบแคสเคด

การต่อแบบแคสเคด (Cascaded Op Amp Circuit) จะเป็นการต่ออนุกรมออปแอมป์ตั้งแต่ 2 วงจรขึ้นไป โดยค่าเอาต์พุตจะเป็นค่าอินพุตของอีกวงจรหนึ่งต่อไปเรื่อยๆ (เอาต์พุตของวงจรออปแอมป์ตัวแรกจะเป็นอินพุตของออปแอมป์วงจรที่สอง) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน, 2546)



รูปที่ 2.19 วงจรออปแอมป์ต่ออนุกรมกัน 3 วงจร

เมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการขยายแรงดัน (Voltage Gain) ของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$A = A_1 A_2 A_3 \quad (2.22)$$

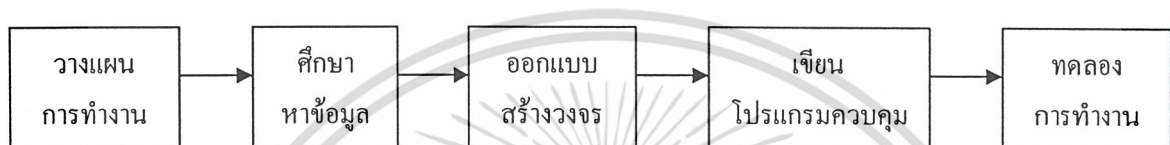
โดยที่ A_1, A_2, A_3 คือ อัตราการขยาย (Gain) ของวงจรออปแอมป์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 วิธีการดำเนินงาน

ในวิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้ คือ



รูปที่ 3.1 แสดงถึงวิธีการดำเนินงาน

1. วางแผนการทำงาน

จัดลำดับการทำงานของแต่ละวงจร ว่าควรจะทำวงจรไหนก่อนแล้วจะทำวงจรอะไรต่อและเพื่อบริหารเวลาให้โครงการนี้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งมีลำดับดังนี้

- วงจรควบคุมรีเลย์
- วงจรขยายสัญญาณและวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกและลบให้กับวงจรขยายสัญญาณ
- วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล
- เขียนโปรแกรมควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า
- ทดลองการทำงาน

2. ศึกษาหาข้อมูล

ซึ่งในการสร้างวงจรแต่ละวงจรมัน ไม่สามารถคิดขึ้นมาเองได้ จึงจำเป็นต้องหาข้อมูลไม่ว่าจะเป็นหนังสือ ปรินต์เอาท์ทางอินเทอร์เน็ต หรือแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เพื่อให้รู้ถึงหน้าที่และหลักการทำงานของแต่ละวงจร

3. ออกแบบและสร้างวงจร

นำข้อมูลที่ได้อศึกษามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า

4. เขียนโปรแกรมควบคุม

เริ่มต้นที่เขียนโปรแกรมแสดงหลักการทำงานของโปรแกรม เพราะจะทำให้เราเข้าใจระบบการเขียนโปรแกรมควบคุมมากขึ้น

5. ทดลองการทำงาน

เมื่อออกแบบสร้างวงจรและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเตาอบโลหะไฟฟ้าเสร็จแล้วจากนั้นจะทดลองการทำงานโดยตั้งอุณหภูมิที่ระดับต่างๆและสรุปวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

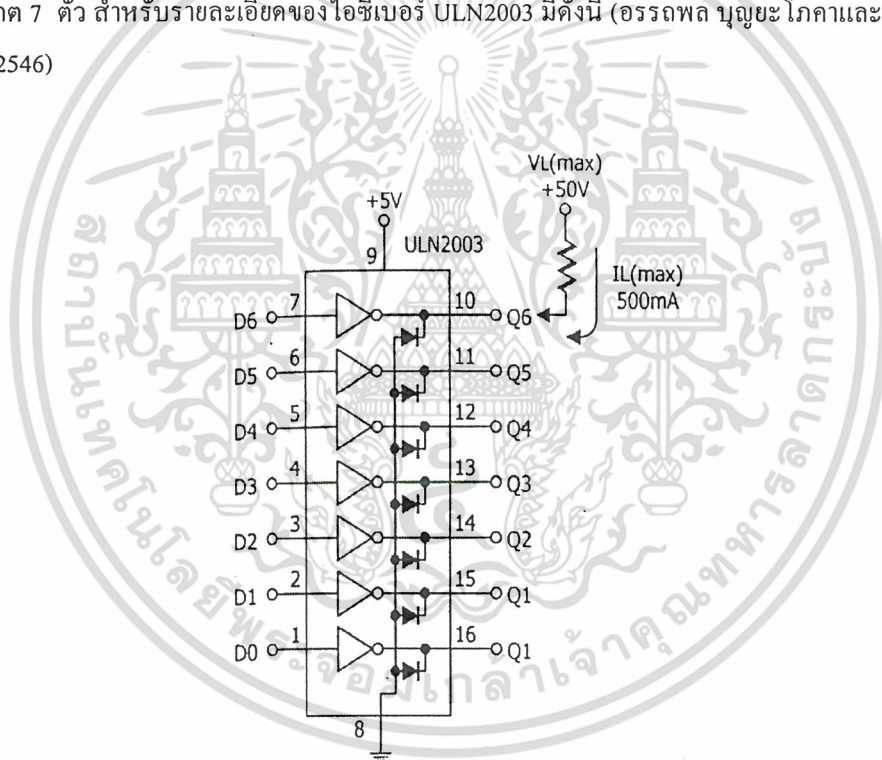
3.2 การออกแบบวงจรและสร้างวงจร

ในวงจรควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ โลหะไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 3 วงจรหลักๆ ดังต่อไปนี้คือ

3.2.1 วงจรควบคุมรีเลย์

โดยความสามารถพื้นฐานของพอร์ตขนาน แล้วไม่สามารถนำไปขับอุปกรณ์เอาต์พุตโดยตรงได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความสามารถในการจ่ายกระแส ดังนั้นถ้าต้องการนำเอาพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ไปขับอุปกรณ์ภายนอก จะต้องมียังวงจรบัฟเฟอร์ทำหน้าที่จ่ายกระแสให้เพียงพอแก่ความต้องการของอุปกรณ์ของอุปกรณ์เอาต์พุตนั้น อย่างไรก็ตามในส่วนของวงจรบัฟเฟอร์นั้นก็ยังมีขีดความสามารถในการจ่ายกระแสได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น กรณีที่ต้องการจ่ายพลังงานสูงจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสสูงโดยเฉพาะเรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า อุปกรณ์ขับ หรือ ไดรเวอร์ (Driver) ซึ่งในที่นี้ใช้ไอซีขับ

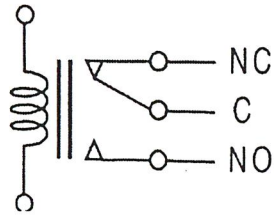
ไอซีที่ใช้ในการขับโหลดกระแสสูงมักจะมีวงจรทางเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ทำให้สามารถใช้กับแรงดันสูง สำหรับไอซีขับหรือไอซีไดรเวอร์ที่ยกมาอธิบายคือเบอร์ ULN2003 เป็นไอซีที่อยู่ในบรรจุอินเวอร์เตอร์เกต 7 ตัว สำหรับรายละเอียดของไอซีเบอร์ ULN2003 มีดังนี้ (อรรรถพล บุญยยะ โภคาและชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, 2546)



รูปที่ 3.2 แสดงการจัดขาของไอซีเบอร์ ULN2003

ไอซีเบอร์ ULN2003 มีรูปแบบการจัดขาและวงจรภายในแสดงในรูปที่ 3.2 ภายในไอซีเบอร์ ULN2003 บรรจุอินเวอร์เตอร์เกตแบบคอลเล็กเตอร์เปิด 7 ตัว ใช้กับแรงดันได้สูงสุด + 50 โวลต์ กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 มิลลิแอมป์ (Milliamp) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟด้วย นอกจากนี้ยังต่อไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับจากอุปกรณ์เอาต์พุตที่มีโครงสร้างเป็นขอลวดไว้ที่ทุกขาเอาต์พุต ทำให้สามารถขับโหลดที่เป็นขดลวด อาทิ รีเลย์ หรือมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

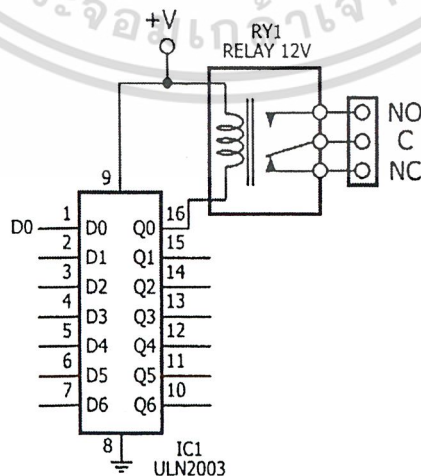


รูปที่ 3.3 สัญลักษณ์ของรีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการตัดต่อวงจร มีสัญลักษณ์แสดงตามรูปที่ 3.3 เมื่อขดลวดรีเลย์ไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้หน้าสัมผัสโลหะที่ปกติเปิดวงจรแยกจากกันอยู่ ถูกดูดติดกัน เกิดการต่อวงจรขึ้น ส่วนหน้าสัมผัสที่ปกติต่อวงจรอยู่ก็จะแยกออกจากกัน เกิดการเปิดวงจรขึ้นแทน

รีเลย์โดยทั่วไปจะมีหน้าสัมผัสทางเอาต์พุต 2 แบบที่มีความเกี่ยวข้องกันคือ หน้าสัมผัสปกติต่อวงจรหรือ (Normally Closed : NC) และหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจรหรือ (Normally Opened : NO) ในกรณีของหน้าสัมผัสปกติต่อวงจร เมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะแยกจากกัน กลายเป็นเปิดวงจร หน้าสัมผัสชุดนี้จะใช้ก็ต่อเมื่อมีจุดประสงค์ให้รีเลย์ทำการตัดวงจรเมื่อทำงาน ส่วนหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจรเมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะต่อกัน กลายเป็นปิดวงจร ดังนั้นจึงใช้หน้าสัมผัสชุดนี้ก็ต่อเมื่อต้องการให้รีเลย์ต่อวงจรเมื่อทำงาน ดังนั้นหน้าสัมผัสรีเลย์ 1 ชุดจึงเหมือนกับสวิตช์ 2 ทางหรือ (Double Pole Single Throw : DPST)

แสดงวงจรในรูปที่ 3.4 ต่อขาพอร์ตส่งข้อมูล บิตใดบิตหนึ่งมาเข้าที่ขาอินพุตของ ULN2003 ซึ่งจากวงจรต่อขา D0 ส่วนที่เอาต์พุตของ ULN2003 ให้ต่อเข้ากับขดลวดของรีเลย์ขาใดขาหนึ่ง ส่วนอีกขาที่เหลือให้ต่อกับไฟเลี้ยงขดลวดรีเลย์ เหตุผลที่ต้องต่อแบบนี้เนื่องจากหากต้องการขับรีเลย์ให้ทำงานโดยไม่สร้างภาระให้แก่วงจรจ่ายไฟเลี้ยงของพอร์ตขานานควรต่อแหล่งจ่ายไฟสำหรับรีเลย์แยกต่างหาก เมื่อเป็นเช่นนี้จึงต้องกำหนดให้ ULN2003 จ่ายกระแสในลักษณะกระแสซิงค์ (Sink Current) กอปรกับภายใน ULN2003 เป็นอินเวอร์เตอร์หรือนอกเกต เมื่อต้องการสั่งให้รีเลย์ทำงานต้องส่งข้อมูล “1” มาที่อินพุตของ ULN2003 ที่เอาต์พุตจะเกิดการกลับเป็น “0” ทำให้เกิดการครบวงจร มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายไฟของรีเลย์มาครบวงจรที่เอาต์พุตของ ULN2003 ซึ่งในขณะนี้เป็นลอจิก “0” สามารถเทียบเป็นกราวด์ได้ รีเลย์ก็จะทำงาน



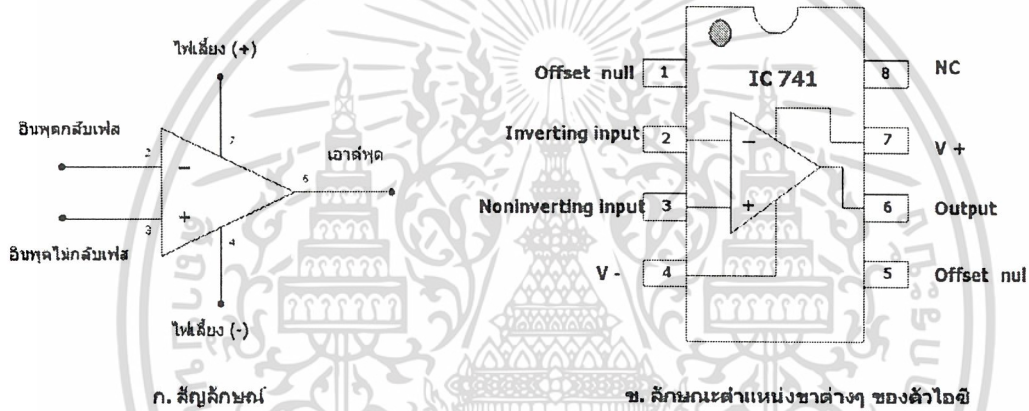
รูปที่ 3.4 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ไอซี ULN 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

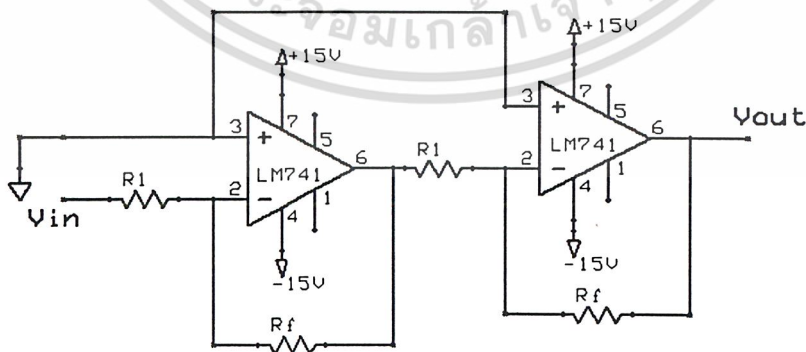
3.3.2 วงจรขยายสัญญาณ

เป็นวงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล โดยเทอร์โมคัปเปิลจะปล่อยแรงดัน มีค่าระหว่าง -6.45 ถึง 54.87 มิลลิโวลต์ (Millivoltage) ตามคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type K) โดยวงจรขยายสัญญาณจะทำการขยายสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล ให้อยู่ในช่วง 0 – 5 โวลต์ (Voltage) เพื่อให้ตัววงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลรับสัญญาณได้

ในรูปที่ 3.5 (เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น, 2546) จะแสดงหน้าที่ของขาต่างๆในตัวไอซีออปแอมป์เบอร์ 741 และนำไอซีออปแอมป์เบอร์ 741 มาต่อเพื่อทำการขยายสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสโดยนำ 2 วงจรมาต่ออนุกรมกัน เพื่อให้ได้อัตราการขยายตามที่ต้องการ โดยจะต้องคำนวณหาค่า R_1 และค่า R_f เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่ต้องการ และเหมาะสมในการใช้งานในวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะแสดงการคำนวณหาอัตราขยาย ต่อจากรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ในตัวไอซีเบอร์ 741



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสโดยนำ 2 วงจรมาต่ออนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการคำนวณหาอัตราขยาย

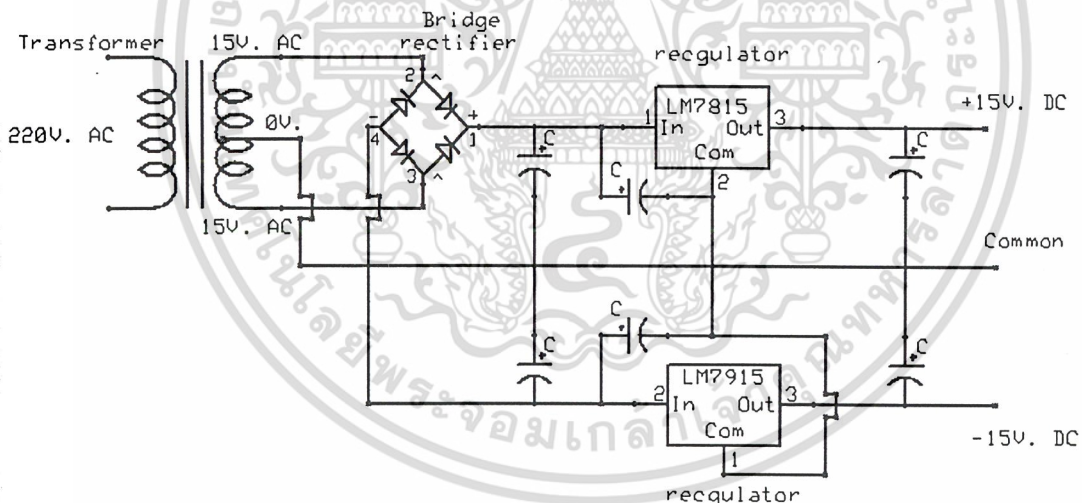
$$\text{อัตราขยาย (Gain)} = \text{ความชัน (Slope)} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{5V.}{50mV.}$$

$$= 100 \text{ เท่า หรือ } 10 \times 10 \text{ เท่า}$$

จากสูตร
$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i$$

กำหนดให้ $R_i = 1 \text{ K } \Omega$ จะได้ $R_f = 100 \text{ K } \Omega$

ในรูปที่ 3.7 (<http://www.thaiio.com>) แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกและลบให้กับวงจรขยายสัญญาณ โดยเริ่มต้นที่หม้อแปลงจะทำการลดแรงดันจาก 220 โวลต์กระแสสลับ (AC) เหลือ 15 โวลต์ กระแสสลับ (AC) และเข้าวงจรบริดจ์ (Bridge) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันกระแสสลับให้เป็นแรงดันกระแสตรง (DC) และเข้าไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7815 ทำหน้าที่ในการลดแรงดันบวกคงที่ และ เบอร์ 7915 ทำหน้าที่ในการลดแรงดันลบคงที่ และมีวงจรกรองแรงดันมักจะประกอบไปด้วย ไดโอดหรือตัวเก็บประจุ เพื่อให้แรงดันกระแสตรงเรียบขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกและลบให้กับวงจรขยายสัญญาณ

3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

การผสมผสานระหว่างระบบควบคุมแบบดิจิทัล กับวงจรรายนอกที่ทำงานแบบอนาลอก เป็นเรื่องที่น่าสนใจได้ยาก ในปัจจุบันเพราะวงจร อิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 แบบนี้ยังคงมีความเกี่ยวพันกัน และยังจำเป็นจะต้องมีองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้ ทำงานร่วมกันอยู่เสมอๆ การนำระบบคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือเครื่องพีซีที่มีใช้ตามบ้านหรือในออฟฟิศมาใช้ควบคุมหรือประมวลผลร่วมกับวงจรรายนอก จึงเป็นหนทางหนึ่งที่เราเริ่มมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่การเชื่อมต่อระหว่างสัญญาณอนาลอกจากวงจรรายนอกเข้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับพีซีโดยตรงนั้นเป็นสิ่งที่ทำไม่ได้ เนื่องจากระบบสัญญาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล เป็นตัวอินเตอร์เฟสระหว่างพีซี และวงจรมอนิเตอร์

อีที-เอดี 12 (ET-AD12) เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณทางดิจิทัล ตัวเครื่องถูกออกแบบให้เป็นบอร์ดขนาดเล็กใช้เชื่อมต่อ ตัวเครื่องถูกออกแบบให้เป็นบอร์ดขนาดเล็กใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องพีซีผ่านพอร์ตขนาน ทำให้การเชื่อมต่อทำได้โดยง่ายเพราะไม่ต้องเปิดฝาครอบเครื่อง คอมพิวเตอร์ เพื่อติดตั้งอุปกรณ์แต่อย่างใด ส่วนทางด้านการพัฒนา โปรแกรมสำหรับใช้งานก็สามารถทำได้ง่ายเช่นกัน โดยสามารถเขียนโปรแกรมบนเครื่องพีซีได้มากมาย หลายภาษาตามแต่ความถนัดของผู้ใช้เช่นภาษาซี, ภาษาปาสคาล, ภาษาเบสิกและภาษาแอสเซมบลีหรือภาษาอื่น ๆ ที่มีคำสั่งสนับสนุนการส่งการพอร์ตเครื่องพิมพ์ได้คือมี คำสั่งสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ต และเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตได้

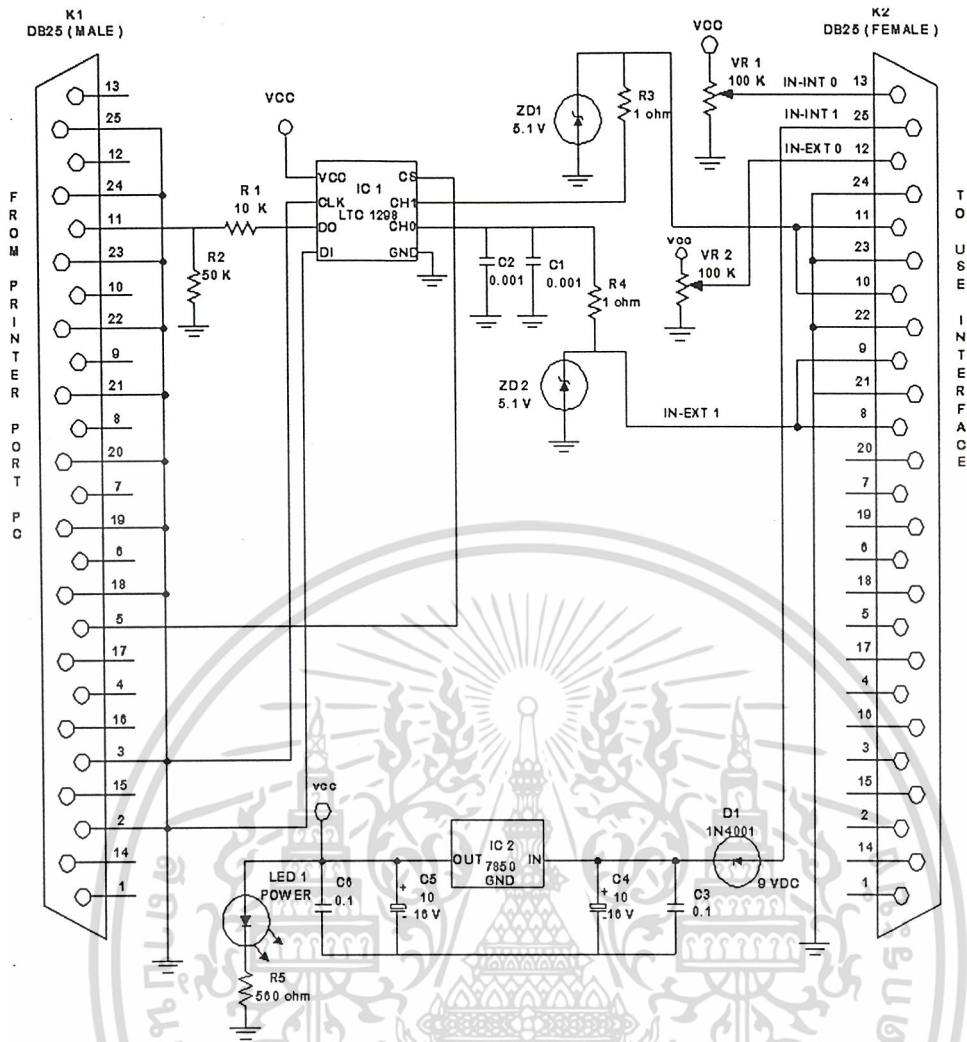
วงจรมอนิเตอร์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับพีซีแสดงดังในรูปที่ 3.8 (บริษัท อีทีที จำกัด, 2547) อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในการทำงานของวงจรทั้งหมดอยู่ในไอซี เบอร์ LTC1298 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต สัญญาณควบคุมและข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาล็อก จะถูกส่งออกผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ ส่วนทางด้านขาอินพุตรับสัญญาณ อนาล็อก จะมี C1- C2 และ ZD1 - ZD2 จะทำหน้าที่จำกัดแรงดันและกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นจึงเชื่อมต่อไปยัง คอนเนกเตอร์ K2 สำหรับสัญญาณอนาล็อกจากภายนอก ขาที่ 11 (Channel 0) และที่ขา 9 (Channel 1) สำหรับ VR1 และ VR2 ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงปรับค่าได้ภายใน(เป็นอุปกรณ์เสริม)สำหรับการป้อนแรงดันทางอินพุต ให้กับ IC1 เป็นการจำลองการทำงานขณะที่ยังไม่ได้คือสัญญาณอนาล็อกจากภายนอกอาจจริง โดยต้องทำการลัดวงจรที่ขา 13 และ 10 เข้าด้วยกัน (Channel 0) และที่ขา 12 และ 8 เข้าด้วยกัน (Channel 1) สำหรับการต่อใช้งานที่ขาต่างๆของ คอนเนกเตอร์ K2 สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 1 สำหรับวงจรภาคจ่ายไฟใช้ไอซีเบอร์ 7805 ทำหน้าที่เรกูเรตแรงดันไฟเลี้ยง 15 โวลต์ให้เหลือ 5 โวลต์สำหรับใช้เป็นไฟเลี้ยงวงจร โดยมี D1 ทำหน้าที่ป้องกัน การต่อแรงดันผิดขั้ว และ C3 - C6 ทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์หลังจากทราบหลักการการทำงาน โดยทั่วไปของวงจรกันแล้วต่อไปมาศึกษา รายละเอียดเบื้องต้นของ IC1 ซึ่งเพื่อจะได้สร้างเสริมความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้นและสามารถนำไปประกอบในการเขียนโปรแกรมควบคุมได้อย่างถูกต้อง (บริษัท อีทีที จำกัด, 2547)

ตารางที่ 3.1 แสดงสัญญาณและจุดเชื่อมต่อที่ขาต่างๆของคอนเนกเตอร์ K2 ชนิด DB 25 Pin ตัวเมีย

ชื่อสัญญาณของบอร์ด อีที-เอดี 12 (ET-AD12)	ตำแหน่งคอนเนกเตอร์ DB25Pin ตัวเมีย
สัญญาณอนาล็อกอินพุตแชนเนล 0	ขา 11 ของคอนเนกเตอร์ DB 25 Pin ตัวเมีย
สัญญาณอนาล็อกอินพุตแชนเนล 1	ขา 9 ของคอนเนกเตอร์ DB 25 Pin ตัวเมีย
ไฟเลี้ยงวงจร (+ VCC = + 9 VDC)	ขา 25 ของคอนเนกเตอร์ DB 25 Pin ตัวเมีย
กราวด์	ขา 21, 22 , 23 , 24 ของคอนเนกเตอร์ DB 25 Pin ตัวเมีย

ที่มา : บริษัท อีทีที จำกัด (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

- หน้าทีของขาต่างๆในตัวไอซีเบอร์ LTC1298

ขาที่ 1 (CS/SHDN) เป็นขาสัญญาณเลือกชิป (Chip Select) อินพุตใช้ควบคุมการทำงานของไอซีทำงานที่ลอจิก 0 เมื่อขานี้ได้รับ ลอจิก 0 จะเป็นการเลือก การทำงาน (Enable) และเมื่อขานี้ได้รับลอจิก 1 จะทำให้ไอซีหยุดทำงานและอยู่ในโหมด Shut Down

ขาที่ 2 (Ch0) เป็นขาสัญญาณอนาลอกอินพุตของแชนแนล 0

ขาที่ 3 (Ch1) เป็นขาสัญญาณอนาลอกอินพุตของแชนแนล 1

ขาที่ 4 (GND) เป็นขากราวด์ของไอซี ซึ่งควรต่อโดยตรงกับกราวด์เพรอนเพื่อลดสัญญาณรบกวน

ขาที่ 5 (Din) เป็นขาสัญญาณรับข้อมูลดิจิทัลอินพุตแบบอนุกรมเพื่อ ใช้กำหนดแชนแนลและรูปแบบ (Format) ของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่ากลับออกมาทางขาสัญญาณ (Dout)

ขาที่ 6 (Dout) เป็นขาสัญญาณส่งข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุตแบบอนุกรมซึ่งค่าของข้อมูลที่อ่านได้จากขานี้คือผลลัพธ์จากการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลของ ไอซี

ขาที่ 7 (CLK) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาอินพุตใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไอซี LTC1298 โดยจะทำการอ่านและเขียนข้อมูลกับไอซีในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาเสมอ

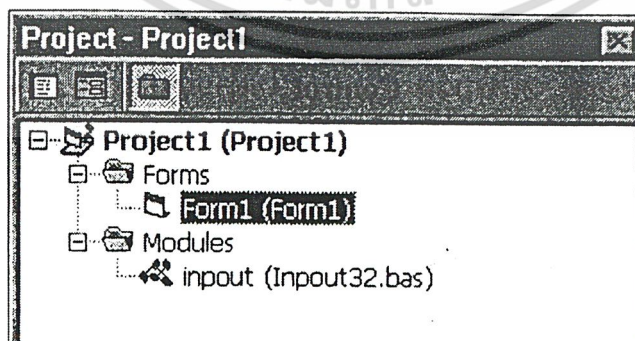
ขาที่ 8 (Vcc / Vref) เป็นขารับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซีซึ่งขานี้จะใช้เป็นแรงดันขาอ้างอิงในการแปลงค่าจากสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัลด้วย

3.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมผ่านทางพอร์ตขนานด้วยวิซวลเบสิก

การเขียนโปรแกรมด้วยวิซวลเบสิก ชุดคำสั่งส่วนใหญ่จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับคิวเบสิก (QBASIC) แต่วิซวลเบสิก (Visual Basic) จะไม่มีคำสั่งสำหรับการติดต่อพอร์ตขนานโดยตรงคือ คำสั่ง Inp และคำสั่ง Out เหมือนกับคิวเบสิก (QBASIC) ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปจะอยู่ในรูปของดีแอลแอล (Dynamic Linked Library : DLL) ไฟล์ดีแอลแอลที่นำมาใช้คือ io.dll หรือ Inpout32.dll โดยสามารถใช้กับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิต ซึ่งก็คือวินโดวส์ (Windows) 95 / 98 / ME / 2000 / NT / XP สำหรับตำแหน่งที่ใช้เก็บไฟล์ io.dll หรือ Inpout32.dll นั้นจะต้องเก็บไว้ในโฟลเดอร์ System ของระบบวินโดวส์ (Windows)

3.3.1 เริ่มต้นการเขียนโปรแกรม

มากล่าวถึงในโปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) อันดับแรกให้คุณสร้างโปรเจกต์ขึ้นมาใหม่ (New Project) ซึ่งเลือกใช้แบบสแตนด์ออล อีเอ็กซ์อี (Standard EXE) ตัวโปรแกรมวิซวลเบสิก จะสร้างฟอร์ม (Form) ว่างๆมาหนึ่งฟอร์ม (Form) ต่อจากนั้นให้เลื่อนเมาส์ไปคลิกที่เมนู Project --> Add Module เพื่อสร้างโมดูล (Module) ขึ้นมา 1 ไฟล์ ซึ่งมีนามสกุล .BAS เพื่อที่จะประกาศฟังก์ชันในวินโดวส์เอพีไอ (Windows API Function) ของดีแอลแอล (Dynamic Linked Library : DLL) ที่ต้องใช้ประกาศไว้ในโมดูล (Module) ของโปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) เพื่อสำหรับการเขียนโปรแกรมที่ใช้หลายๆฟอร์มในโปรเจกต์ (Project) นั้น และเพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งาน ก็กับการเขียนโปรแกรมอื่นๆต่อไป แต่ถ้าหากจะใช้เพียงแค่ฟอร์มเดียวก็ไม่ต้องสร้างไฟล์โมดูลสามารถประกาศไว้ภายในฟอร์มได้เลย รูปแบบประโยคที่ใช้ประกาศในโมดูล (Module) มีดังนี้ (<http://www.thaiio.com>)



รูปที่ 3.9 แสดงเริ่มต้นการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบประโยคที่ใช้ประกาศโมดูล (Module) มีดังนี้

- ในส่วนของเอาต์พุตพอร์ต (Output Port)

```
Public Declare Sub Out Lib "DllPort.dll" Alias "Out32"(ByVal PortAddress As Integer,ByVal Value_
As Integer)
```

- ในส่วนของอินพุตพอร์ต (Input Port)

```
Public Declare Function Inp Lib "DllPort.dll" Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As_
Integer
```

แต่ถ้าหากเขียนโปรแกรมใช้เพียงแค่ฟอร์มเดียวก็จำเป็นต้องใช้โมดูลก็ได้โดยเพียงแค่เปลี่ยนจากคำว่า Public ไปเป็น Private รูปแบบเป็นดังนี้

- เอาต์พุตพอร์ต (Output Port) ประกาศแบบ Private

```
Private Declare Sub Out Lib "DllPort.dll" Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer,ByVal_
Value As Integer)
```

- อินพุตพอร์ต (Input Port) ประกาศแบบ Private

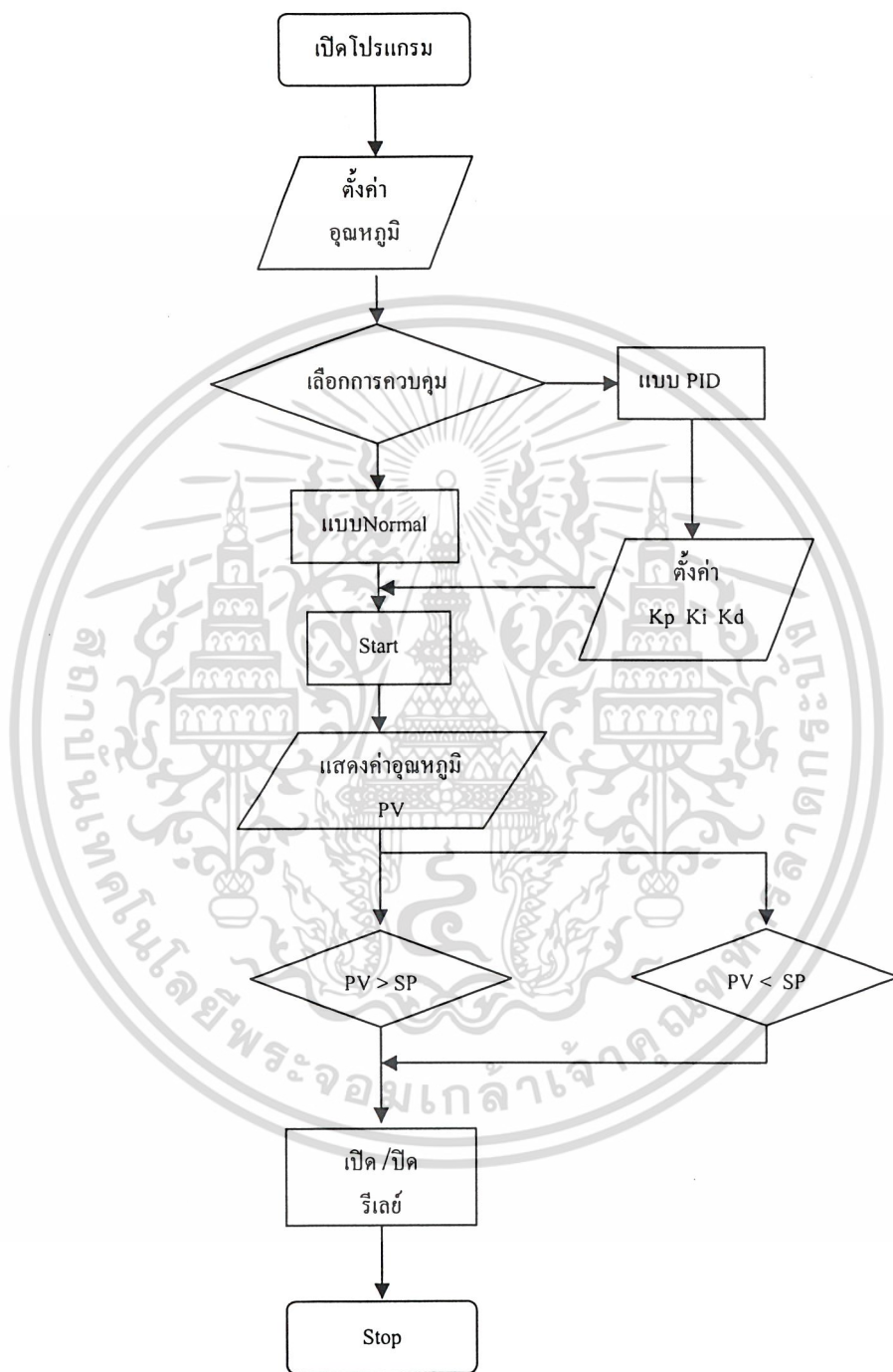
```
Private Declare Function Inp Lib "DllPort.dll" Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As_
Integer
```

ทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาควรเขียนให้เป็นบรรทัดเดียวกัน แต่ถ้าหากจะเลื่อนบรรทัดลงต้องเว้นวรรคบรรทัดบนก่อนแล้วใส่เครื่องหมายขีด_ ต่อจากนั้นจึงมาเขียนที่บรรทัดด้านล่างต่อได้



3.3.2 หลักการทำงานของโปรแกรม

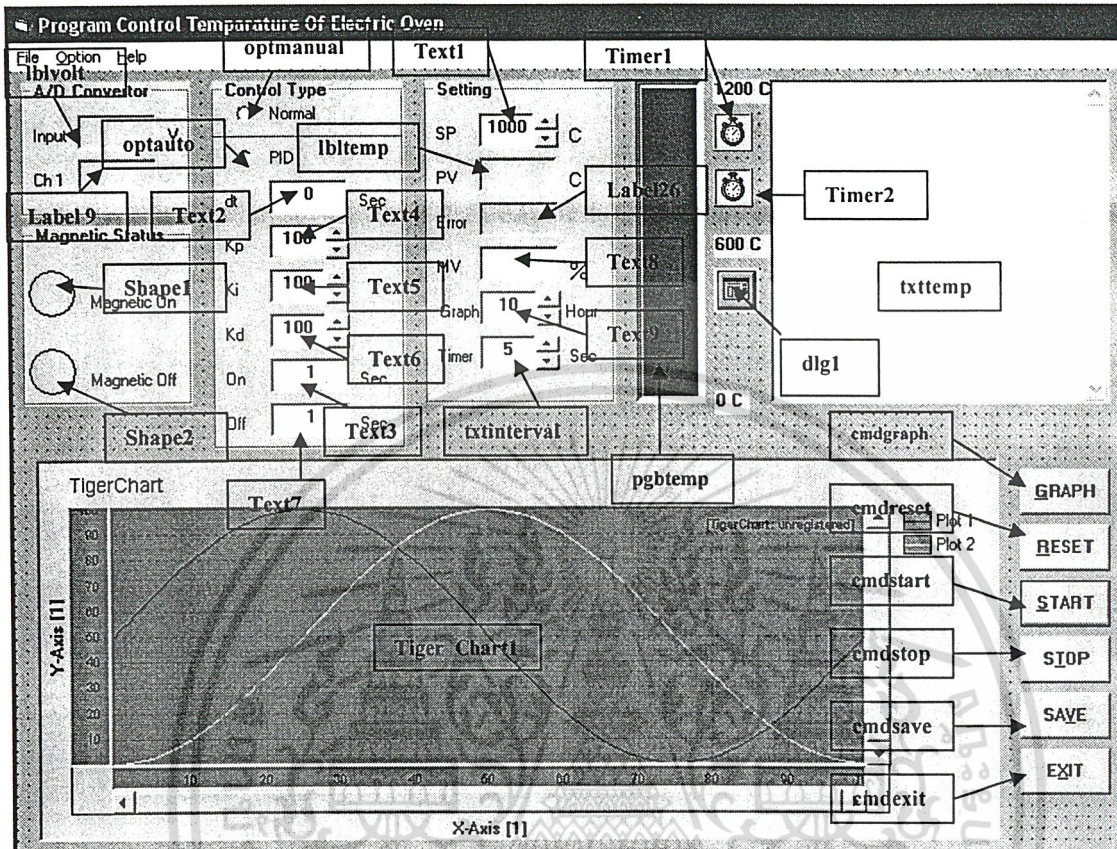
หลักการทำงานของโปรแกรมสามารถแสดงได้ด้วยโฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ดังรูปที่ 3.9 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรม (Source Code) สามารถอ้างอิงได้จากภาคผนวก ข และในแผ่น โปรแกรม



รูปที่ 3.10 โฟลว์ชาร์ตแสดงหลักการทำงานของโปรแกรม

3.3.3 การวางคอนโทรลของโปรแกรมควบคุม

โดยแสดงในรูปที่ 3.11 แสดงการวางคอนโทรลของโปรแกรม



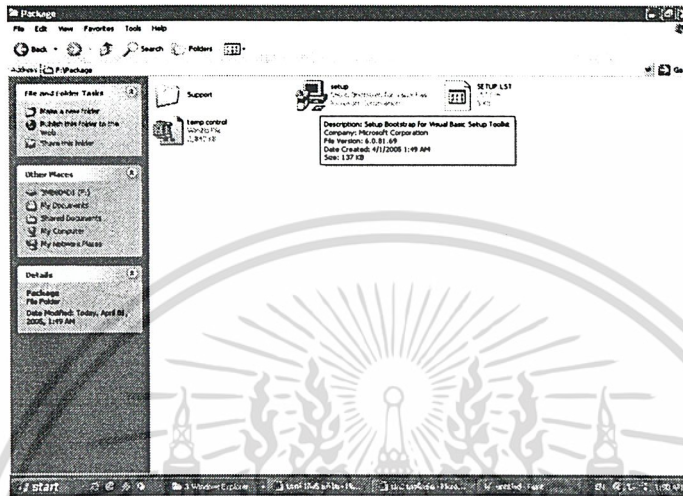
รูปที่ 3.11 แสดงการวางคอนโทรลของโปรแกรม

ส่วนการเขียนโค้ด (Source Code) ควบคุมการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าสามารถดูได้ที่ ภาคผนวก ข

3.3.4 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้า

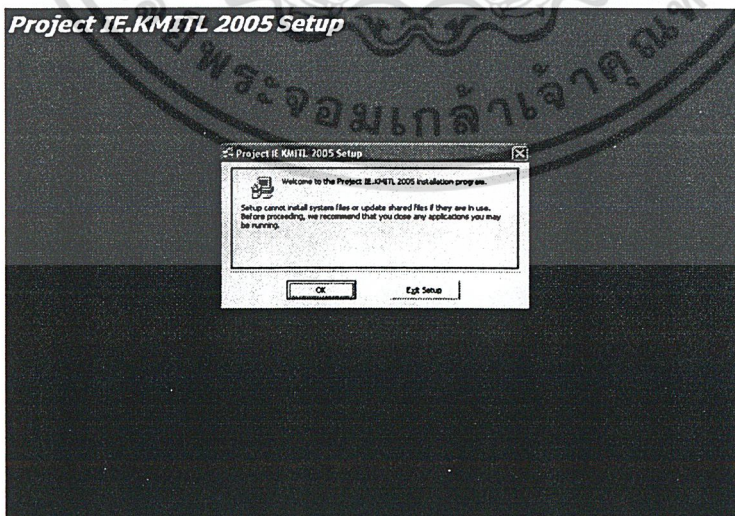
โดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1. การติดตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าลงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานสามารถติดตั้งได้จากไฟล์ที่อยู่ในซีดีรอม โดยเริ่มจากการเรียกไฟล์ชื่อ Setup.exe ซึ่งอยู่ในไดเรกทอรีย่อยชื่อ Package ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการเรียกใช้ไฟล์ติดตั้งโปรแกรม

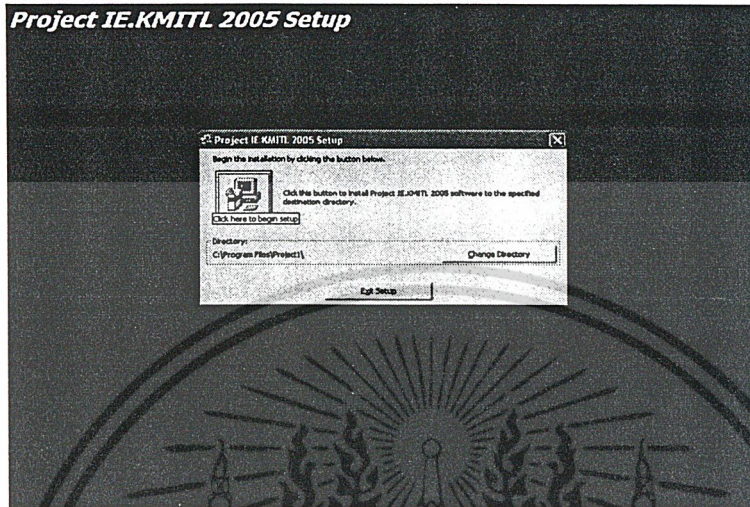
2. หลังจากนั้นจะเป็นการเข้าสู่ขั้นตอนการติดตั้ง โดยโปรแกรมจะเตือนให้ผู้ติดตั้งยกเลิกการใช้งานของโปรแกรมต่าง ๆ ในขณะที่ติดตั้งโปรแกรมนี้ เพื่อป้องกันการเกิดข้อขัดแย้งที่เกี่ยวกับระบบปฏิบัติการซึ่งอาจเกิดขึ้นกับโปรแกรมต่าง ๆ ในระหว่างการติดตั้งโปรแกรม ถ้าหากมั่นใจว่าได้ปิดการใช้โปรแกรมต่าง ๆ หมดแล้ว ให้กดปุ่ม “OK” เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการเข้าสู่การติดตั้งโปรแกรม

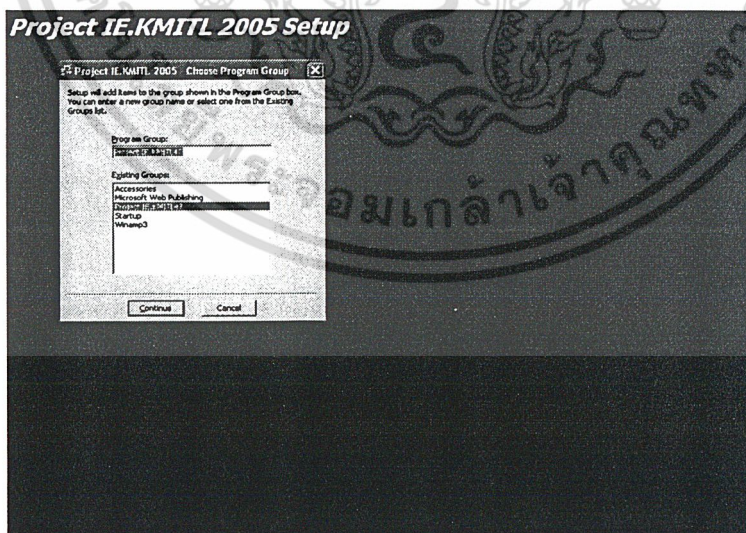
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการกำหนดพื้นที่ในฮาร์ดดิสก์ ในการติดตั้งว่าจะติดตั้งโปรแกรมที่ใดแรกทอรีย่อยใด ซึ่งในขั้นตอนนี้คอมพิวเตอร์จะกำหนดพื้นที่ให้โดยอัตโนมัติแล้วแต่ผู้ทำการติดตั้งสามารถเปลี่ยนเพื่อเลือกติดตั้งเข้าสู่พื้นที่ที่ต้องการได้ เมื่อเลือกพื้นที่แล้วให้กดปุ่มที่มีรูปเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการกำหนดพื้นที่ในการติดตั้งลงฮาร์ดดิสก์

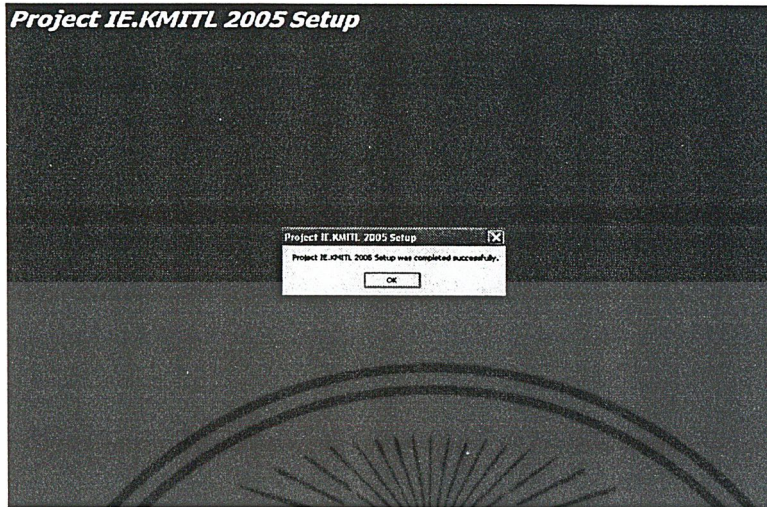
4. กำหนดตำแหน่งที่จะเรียกใช้งานใน Start Menu โดยกำหนด Project IE.KMITL47 ลงใน Program Group หรือเลือก Project IE.KMITL47 จาก Existing Groups List ดังแสดงในรูปที่ 3.15 แล้วกดปุ่ม “Continue” เพื่อทำขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.15 แสดงการกำหนดตำแหน่งเพื่อเรียกใช้งานในสตาร์ทเมนู

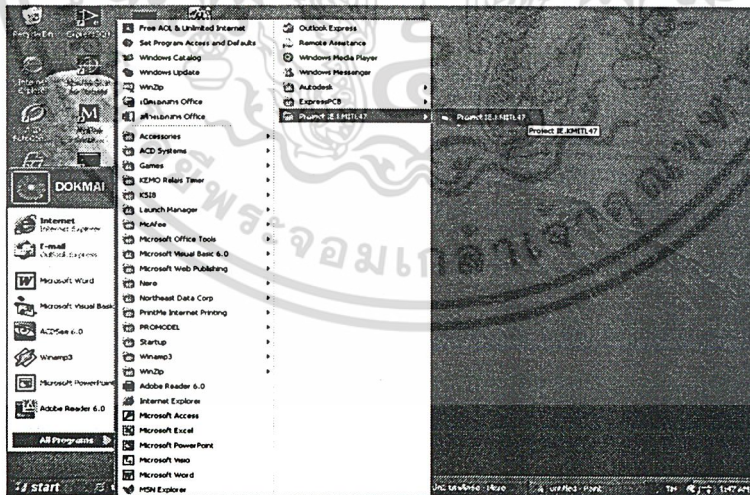
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อการติดตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ทำการติดตั้งกดปุ่ม “OK” เพื่อเป็นการสิ้นสุดการติดตั้งโปรแกรมการควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการสิ้นสุดการติดตั้งโปรแกรม

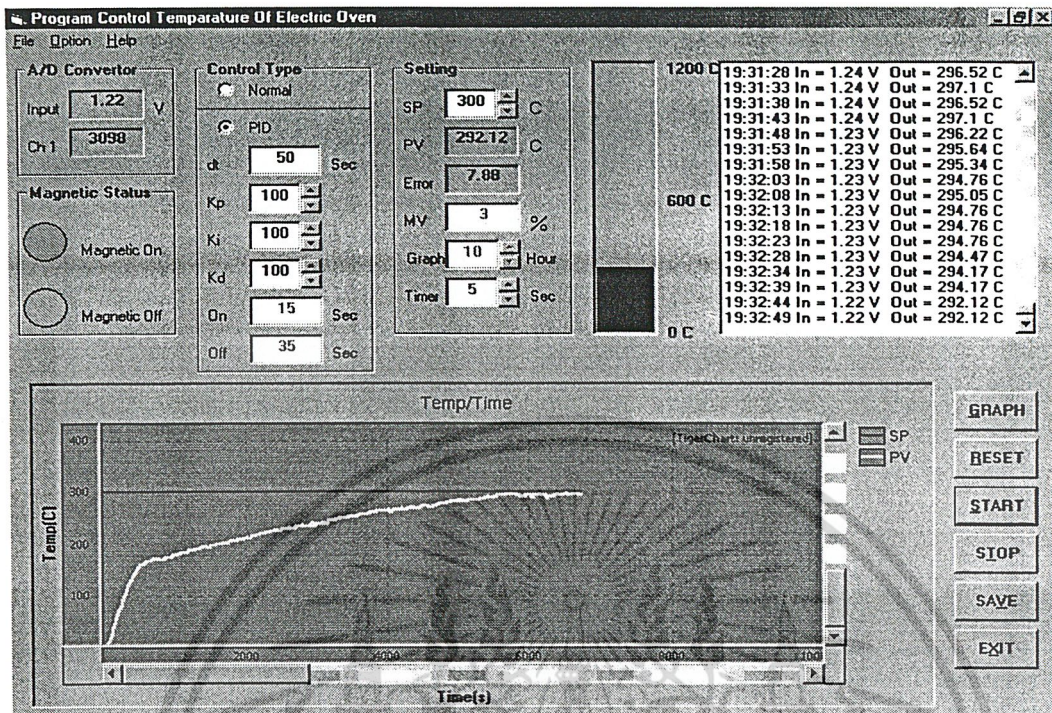
6. เมื่อสิ้นสุดการติดตั้งโปรแกรมแล้ว ผู้ทำการติดตั้งสามารถเรียกใช้โปรแกรมที่ได้ติดตั้งลงไป จาก Start Menu จากตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.17 เมื่อทำการเรียกใช้โปรแกรมแล้วจะปรากฏหน้าต่างหลักของโปรแกรมควบคุมดังแสดงในผลการดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมควบคุมในบทที่ 4



รูปที่ 3.17 แสดงการเรียกใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเตาอบโลหะไฟฟ้า

อธิบายส่วนประกอบต่างๆในโปรแกรม

- เอชดี คอนเวอร์เตอร์ (A / D Converter) จะแสดงสถานะของสัญญาณอินพุตที่ได้ขยายสัญญาณแล้วมีหน่วยเป็นโวลต์ และแสดงสถานะของระดับสัญญาณที่แปลงได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
- แมกเนติก สเตตัส (Magnetic Status) จะแสดงสถานะของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ว่าอยู่ในสถานะที่กำลังทำงาน คือ จ่ายไฟให้กับขดลวดความร้อน หรือ ไม่ทำงาน คือ หยุดจ่ายไฟให้กับขดลวดความร้อน
- คอนโทรลไทป์ (Control Type) เลือกรูปแบบของการควบคุม โดยมี 2 รูปแบบ คือ แบบธรรมดา (Normal) จะมีลักษณะการทำงาน คือ แมกเนติกคอนแทคเตอร์จะจ่ายไฟให้กับขดลวดความร้อนตลอดเวลา จนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้จึงหยุดจ่ายไฟให้กับขดลวดความร้อน ส่วนแบบพีไอดีจะต้องใส่ค่า Kp Ki Kd แล้ว โปรแกรมจะคำนวณตามหลักการควบคุมแบบพีไอดี ค่า Kp จะเป็นอัตราขยาย ค่า Ki จะมีคุณสมบัติคล้าย ๆ Kp คือจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ส่วนค่า Kd จะทำหน้าที่เป็นตัวคอยหน่วงเวลา
- เซตติง (Setting) จะเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการและแสดงค่าประกอบด้วย ค่าเอสพี (SP) เป็นค่าที่ใช้กำหนดอุณหภูมิเป้าหมายระหว่าง 0 – 1200 °C ตามที่ต้องการ ส่วนค่าพีวี (PV) คือค่าที่รับสัญญาณจากเครื่องมือวัดจะแสดงออกมาเป็นค่าปัจจุบันที่เวลานั้น ๆ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) คือผลต่างระหว่างค่าเอสพี (SP) กับค่าพีวี (PV) จะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิจริงที่เวลานั้นต่างจากอุณหภูมิเป้าหมายเท่าไร ค่าเอ็มวี (MV) เป็นค่าที่แปลงจากค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งถ้าค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก ค่าเอ็มวี (MV) ก็ยิ่งมากตามไปด้วย ส่วนกราฟ (Graph) เป็นการกำหนดระยะเวลาในการพล็อตกราฟได้ก็ ชั่วโมงและไทมเมอร์ (Timer) จะกำหนดการอ่านค่าทุก ๆ กี่วินาที

- โพรเกรสบาร์ (Progress Bar) จะแสดงระดับของอุณหภูมิ โดยมีค่าอุณหภูมิต่ำสุด = 0°C และมีค่าอุณหภูมิสูงสุด = 1200°C

- เทกบ็อกซ์ (Text Box) จะแสดงเวลาที่ใช้งานอยู่ ถัดมาจะแสดงค่าอินพุต (แรงดัน) ที่เข้าวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและสุดท้ายจะแสดงค่าเอาต์พุตที่เป็นอุณหภูมิ

- กราฟไทเกอร์ชาร์ต (Tiger Chart Graph) จะพล็อตกราฟแบบลักษณะเวลาจริง (Real Time) ของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP) กับค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในเตาอบโลหะไฟฟ้า (PV)

- ปุ่มควบคุมการทำงานต่างๆ (Command Button) ซึ่งประกอบไปด้วย ดูกราฟ (Graph) รีเซ็ต (Reset) เริ่มต้นการทำงาน (Start) หยุดการทำงาน (Stop) บันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ (Save) และออกจากโปรแกรม (Exit)

4.2 ผลการทดลอง

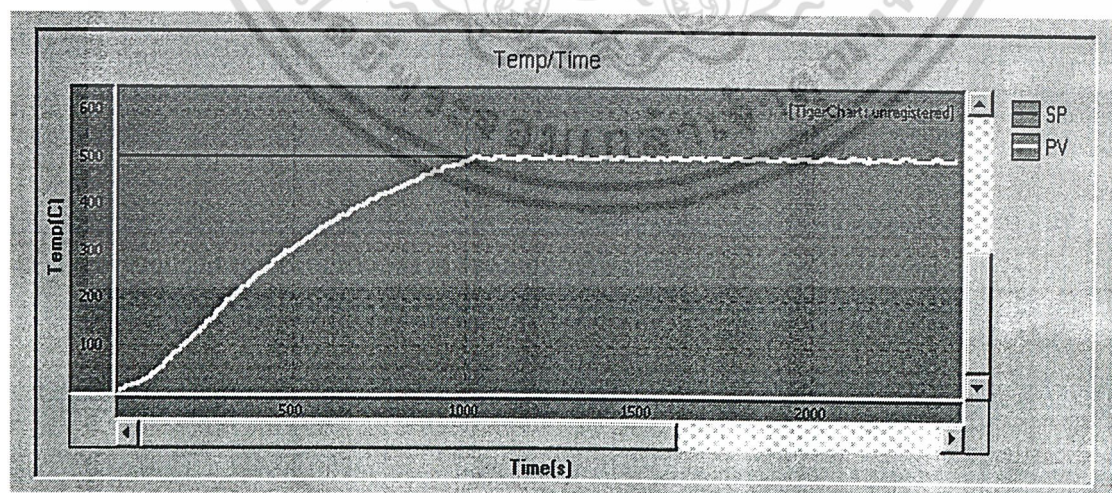
สามารถแบ่งการทดลองการทำงานของ โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าเป็น 2 รูปแบบการควบคุม คือ การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าแบบธรรมดา (Normal) และการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative)

4.1.1 การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าแบบธรรมดา

การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าแบบธรรมดา (Normal) แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1.1.1 ผลการทดลองแบบธรรมดา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 500°C

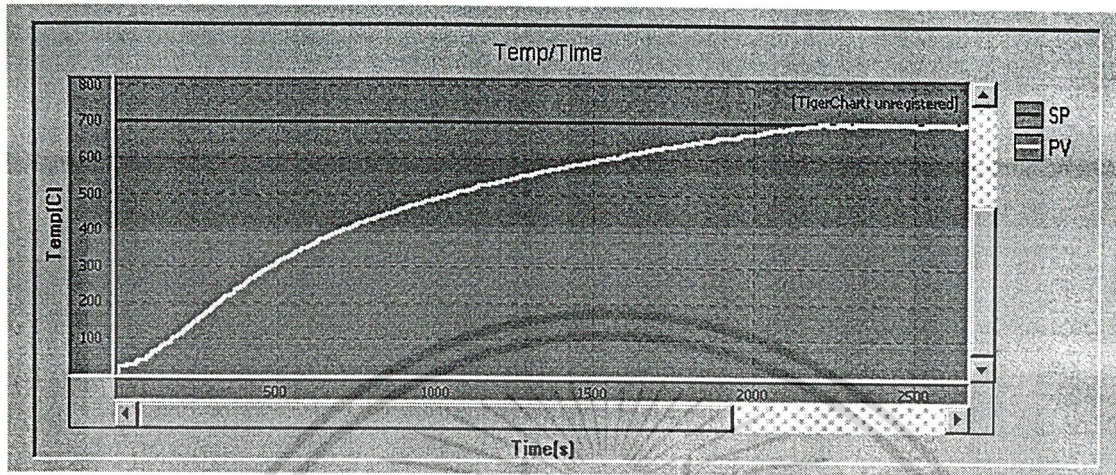
โดยผลการทดลองแบบธรรมดา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 500°C ใช้เวลาเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย = 17.5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 500°C

4.2.1.2 ผลการทดลองแบบธรรมดา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 700 °C

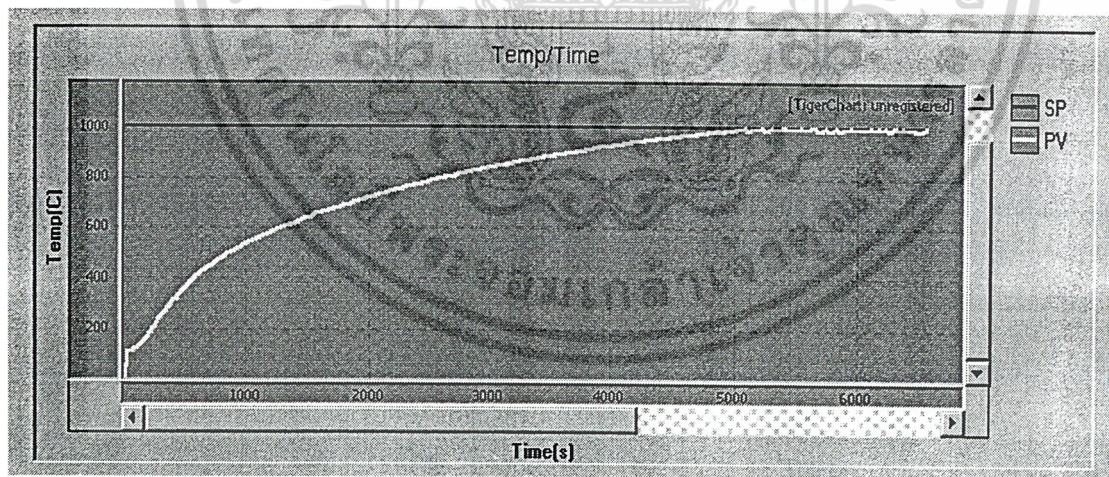
โดยผลการทดลองแบบธรรมดา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 700 °C ใช้เวลาเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย = 36.6 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 700 °C

4.2.1.3 ผลการทดลองแบบธรรมดา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 1000 °C

โดยผลการทดลองแบบธรรมดา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 1000 °C ใช้เวลาเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย = 84.2 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 1000 °C

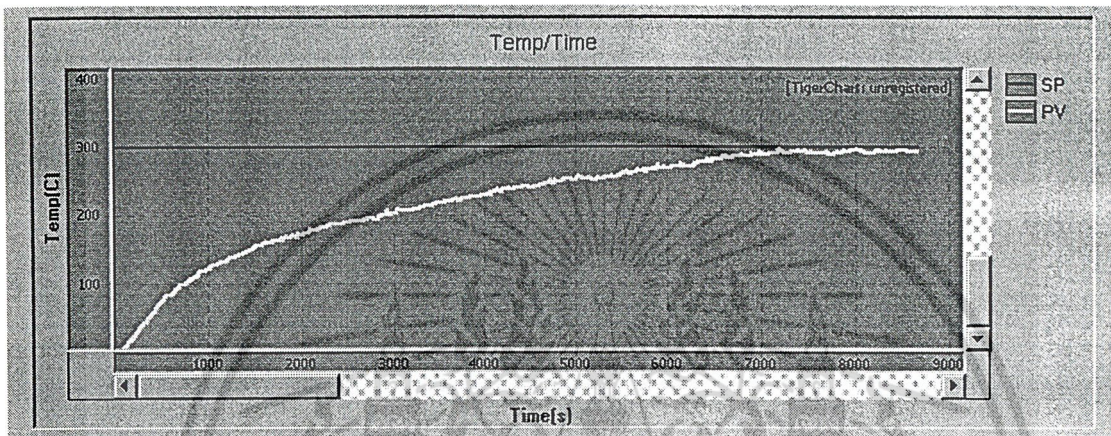
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าแบบพีไอดี

การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative) แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C Kp = 30 Ki = 30 Kd = 30

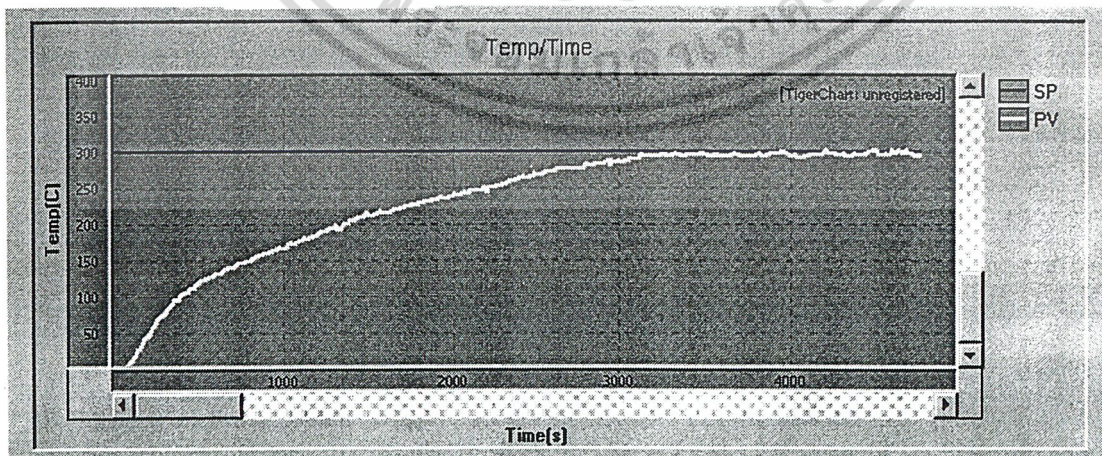
โดยผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C และปรับค่า Kp = 30 Ki = 30 Kd = 30 ใช้เวลาเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย = 118.3 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C
Kp = 30 Ki = 30 Kd = 30

4.2.2.2 ผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C Kp = 60 Ki = 60 Kd = 60

โดยผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C และปรับค่า Kp = 60 Ki = 60 Kd = 60 ใช้เวลาเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย = 53.4 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.7

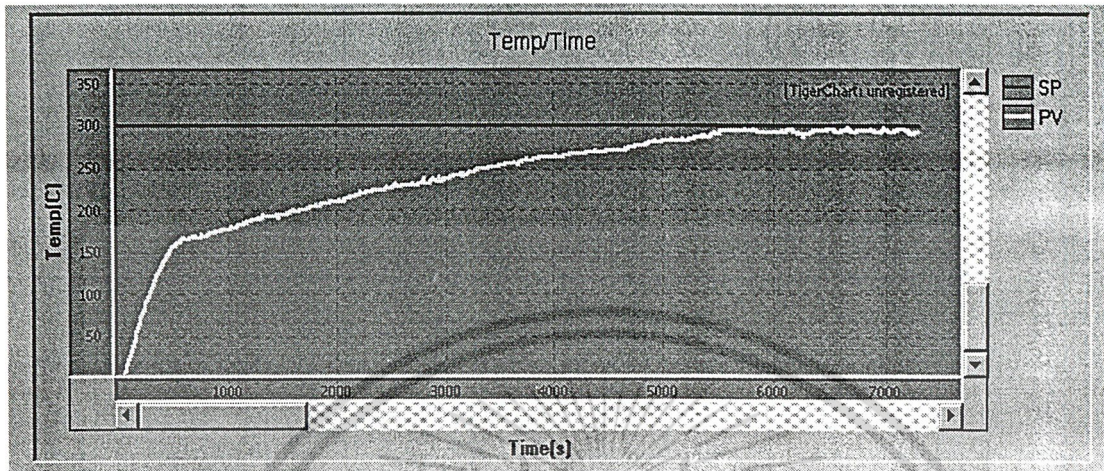


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C
Kp = 60 Ki = 60 Kd = 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 ผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C $K_p = 100$ $K_i = 100$ $K_d = 100$

โดยผลการทดลองแบบพีไอดี ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C และ ปรับค่า $K_p = 100$ $K_i = 100$ $K_d = 100$ ใช้เวลาเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย = 91.6 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลา ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set Point) = 300 °C
 $K_p = 100$ $K_i = 100$ $K_d = 100$

4.3 หาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของอุณหภูมิ

หาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของอุณหภูมิหาได้โดยนำอุณหภูมิและแรงดันมาตรฐานซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวก ค เทียบกับอุณหภูมิที่แสดงผลในการทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาด

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิอ้างอิงกับอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง

อุณหภูมิ อ้างอิง (°C)	อินพุตอ้างอิง คุณสมบัติการขยาย = 100 (V)	อุณหภูมิ ที่วัดได้ (°C)	ค่าความผิดพลาด ของอุณหภูมิ (°C)
0	0	0	0
50	0.2023	45.65	4.35
100	0.4096	104.30	4.30
150	0.6138	145.87	4.13
200	0.8138	203.31	3.31
250	1.0153	247.12	2.88
300	1.2209	304.90	4.90
350	1.4293	345.63	4.37
400	1.6397	404.10	3.60
450	1.8516	446.85	3.15
500	2.0644	503.60	3.60
550	2.2776	553.54	3.54
600	2.4059	596.50	4.50
650	2.7025	654.20	4.20
700	2.9129	695.57	4.43
750	3.1213	754.12	4.12
800	3.3275	803.90	3.90
850	3.5313	844.65	5.33
900	3.7326	903.80	3.80
950	3.9314	954.11	4.11
1000	4.1276	1004.65	4.65
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของอุณหภูมิ			3.87

ที่มา : จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา สามารถสรุปการทำงานแบ่งเป็น 2 ข้อ ดังนี้

1. ส่วนฮาร์ดแวร์

- ศึกษาการทำงานของวงจรควบคุมอุณหภูมิ
- ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมรีเลย์
- ออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณและวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกลบ
- ออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้บอร์ดอีที - เอ็ด 12

2. ส่วนซอฟต์แวร์

- ศึกษาการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิกควบคุมฮาร์ดแวร์ผ่านทางพอร์ตขนาน
- เขียนโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้า

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เราสามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิแบบธรรมดา (Normal) และ แบบพีไอดี (PID) และสรุปผลการทดลอง แบ่งได้ 7 ข้อ ดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบแรงดันและอุณหภูมิมาตรฐานของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค (Type K) กับแรงดันและอุณหภูมิจากการทดลอง ซึ่งพบว่ามีค่าผิดพลาดเพียงเล็กน้อย คือ ไม่เกิน $\pm 5^{\circ}\text{C}$
2. จากการทดลองลักษณะของกราฟอุณหภูมิกับเวลาจะไม่เกิดกราฟโอเวอร์ชูท (Overshoot) ซึ่งเป็นการตอบสนองทั่วไปของระบบอันดับที่หนึ่งและเป็นไปตามหลักการของการควบคุมอุณหภูมิ
3. วงจรควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นการควบคุมแบบเปิด - ปิด ขดลวดความร้อนและใช้หลักการของการควบคุมแบบพีไอดี (PID) เข้ามาช่วย ทำให้การควบคุมอุณหภูมินั้นแกว่งขึ้นลงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลกระทบในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของโลหะด้วยวิธีทางความร้อน
4. การควบคุมแบบธรรมดา (Normal) เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP) ต่างกันจะเห็นว่าที่อุณหภูมิเท่ากันของแต่ละค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP) จะใช้เวลาเท่ากัน
5. การควบคุมแบบธรรมดา (Normal) จากกราฟจะพบว่าค่าอุณหภูมิที่ควบคุมเมื่อเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP) แล้ว จะแกว่งขึ้นลงรอบค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP)
6. การควบคุมแบบพีไอดี (PID) เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP) เท่ากัน แต่ปรับค่า K_p K_i K_d ต่างกัน จะเห็นว่าที่อุณหภูมิเท่ากันจะใช้เวลาแตกต่างกัน
7. การควบคุมแบบพีไอดี (PID) จากกราฟจะพบว่าค่าอุณหภูมิที่ควบคุมเมื่อเข้าสู่ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP) แล้ว จะอยู่ต่ำกว่าและขนานค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (SP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

สามารถแบ่งปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขได้เป็นข้อใหญ่ๆ 3 ข้อ ดังนี้

1. ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักจะเกิดจากความไม่เที่ยงตรง (Linearity) ของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ตัวต้านทานและออปแอมป์ ซึ่งมีความละเอียดไม่เพียงพอในการวัดสัญญาณที่ออกจากเทอร์โมคัปเปิล และปัญหาที่เกิดจากวงจรขยายสัญญาณมักจะเกิดจากปัญหาของออปแอมป์ที่มีค่าออฟเซต ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไปจากค่าคำนวณตามทฤษฎี

แนวทางแก้ไขสามารถแก้ไขได้โดยการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไอซีที่มีความเป็นเชิงเส้นหรือเลือกใช้ไอซีอินสตรูเมนต์ออปแอมป์ หรือออกแบบวงจรขยายสัญญาณใหม่ให้เป็นวงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrumentation Amplifiers) ซึ่งจะช่วยกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ได้

2. มีสัญญาณรบกวนจากผนังภายนอกของตัวของเรา โลหะไฟฟ้าที่มีสัญญาณกระแสไฟฟ้าผ่านเข้ามาทางเทอร์โมคัปเปิล วงจรขยายสัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไม่ถูกต้องและกราฟจะมีลักษณะแกว่งขึ้นลง

แนวทางแก้ไขสามารถแก้ไขได้โดยนำปลอกฉนวนทนความร้อนมาสวมใส่ที่ครอบโลหะป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล เพื่อไม่ให้ครอบโลหะป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล สัมผัสโดยตรงกับผนังภายนอกของตัวของเรา โลหะไฟฟ้า

3. วงจรควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นการควบคุมแบบเปิด - ปิด ควบคุมความร้อน ทำให้การควบคุมอุณหภูมินั้นแกว่งขึ้นลงเล็กน้อย

แนวทางแก้ไขสามารถแก้ไขได้โดยเปลี่ยนการควบคุมแบบเปิด - ปิด ควบคุมความร้อน เป็นวงจรควบคุมแบบปรับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน ซึ่งจะทำให้การควบคุมอุณหภูมิเที่ยงตรงขึ้น

5.4 แนวทางการพัฒนา

ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโลหะไฟฟ้าที่ได้จัดทำไปนี้ สามารถทำงานได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ตามขอบเขตของปริญญาณิพนธ์ที่กำหนด แนวทางในการพัฒนาในส่วนของฮาร์ดแวร์สามารถทำได้โดยเพิ่มวงจรปรับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน โดยค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน จะต้องแปรผันตามสัญญาณควบคุมหรือตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Value: MV) ที่คำนวณได้จากการควบคุมแบบพีไอดี (PID) เพื่อให้การควบคุมแบบพีไอดี (PID) มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น หรือใช้พีแอลซี (PLC) มาเป็นชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งภายในพีแอลซี (PLC) จะมีฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการควบคุมแบบพีไอดี (PID) โดยเฉพาะ

ในส่วนของซอฟต์แวร์โปรแกรมสามารถทำงานได้แต่ยังไม่เป็นอัตโนมัติทุกกระบวนการทำงานของการควบคุม ซึ่งสามารถพัฒนาโปรแกรมต่อไปอีกได้ เช่น สามารถตั้งเวลาปิดเครื่องได้เมื่อถึงอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการหรืออาจจะตั้งค่าอุณหภูมิได้มากกว่าหนึ่งค่าและทำงานอัตโนมัติตามที่ผู้ใช้งานกำหนด และสามารถใส่โปรแกรมวิซวลเบสิกควบคุมการทำงานของพีแอลซี (PLC) และใช้พีแอลซี (PLC) ควบคุมกระบวนการได้

บรรณานุกรม

- ชวพงษ์ สิงห์แพทย์, เป็รื่องบุญ จักกะพาก, วุฒิชัย กบิลกาญจน์, 2531. การควบคุมอัตโนมัติ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- บริษัท อีทีที จำกัด, 2547. ET-AD12 USERJ'S MANUAL. กรุงเทพฯ : บริษัท อีทีที จำกัด.
- พงนาฏ สุวรรณณิ, 2545. เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์. 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- พิทยา ปานนิล, 2546. เอกสารประกอบการคำสอนวิชา01213015 INDUSTRIAL ENGINEERING LABORATORIES 2. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธีรบูลย์ หล่อวิเชียรรุ่ง, อรรถพล บุญยะโกคา, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, 2546. เรียนรู้และปฏิบัติการระบบคาล์วแอกควิซิชันอย่างง่าย. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.
- วิทยา ทิพย์สุวรรณพร, 2546. เอกสารประกอบการบรรยายวิชาเครื่องมื่อวัดและการวัดทางไฟฟ้า. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิศรุต ศรีรัตน์นะ, อัมพวัน ใจกล้า, พิทยา ปานนิล, 2546. ปฏิบัติการวิศวกรรมวัดคุม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมศักดิ์ กิรติวุฒิเศรษฐ์, 2542. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 14. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- อภิชาติ ภู่พลับ, 2547. รวมคอนโทรลพีรึสำหรับ (VB 6). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ด้านสุทธาการพิมพ์.
- อภิชาติ ภู่พลับ, 2546. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ด้านสุทธาการพิมพ์.
- อรรถพล บุญยะโกคา, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, 2546. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.
- เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า.
- เอกสารประกอบการสอนรายวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า.
- Hargreaves, M., 1996. Engineering Systems Modelling and Control. First Edition. Malaysia : Longman.
- <http://www.thaiio.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

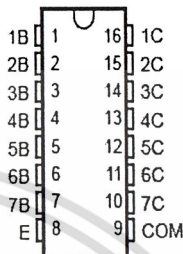
ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

SLRS027 - DECEMBER 1976 - REVISED APRIL 1993

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

- 500-mA Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs . . . 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay Driver Applications
- Designed to Be Interchangeable With Sprague ULN2001A Series

D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)

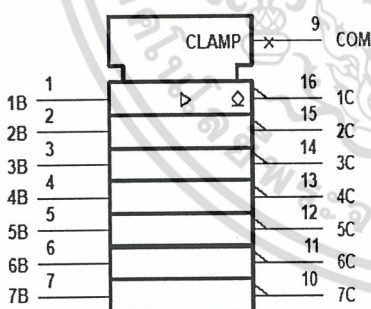


description

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, and ULN2004A are monolithic high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs may be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions, see the SN75465 through SN75469.

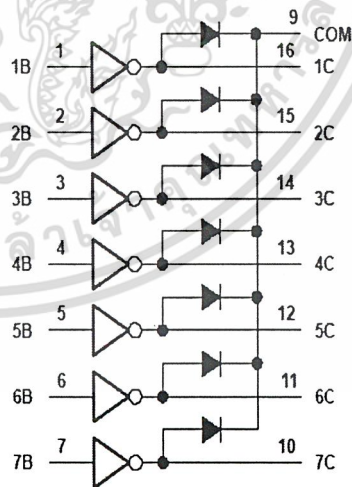
The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is specifically designed for use with 14- to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A has a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices. The ULN2004A has a 10.5-k Ω series base resistor to allow its operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 to 15 V. The required input current of the ULN2004A is below that of the ULN2003A, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A.

logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

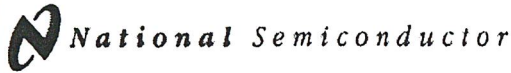
logic diagram



PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1993, Texas Instruments Incorporated



May 1998

LM741 Operational Amplifier

LM741 Operational Amplifier

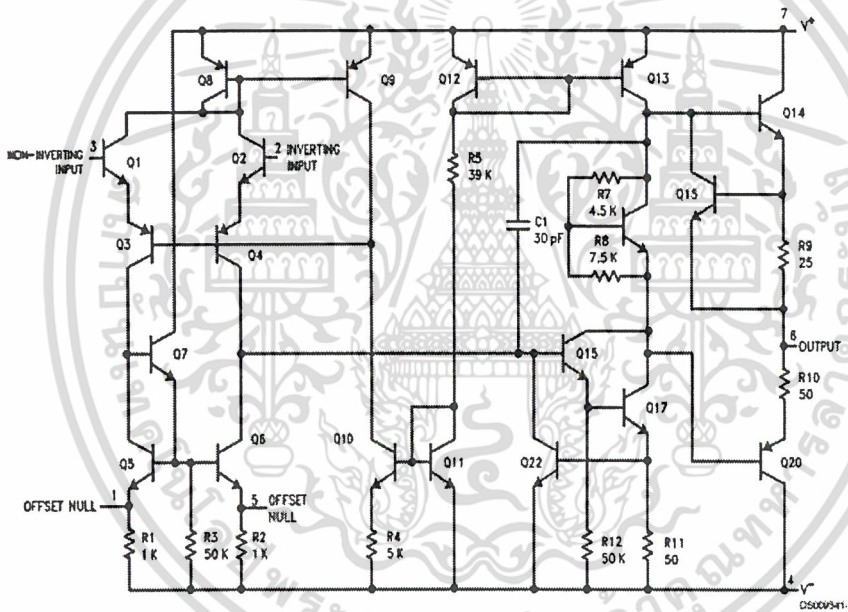
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

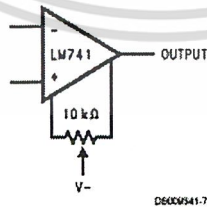
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit





LTC1286/LTC1298

Micropower Sampling
12-Bit A/D Converters In
SO-8 Packages

FEATURES

- 12-Bit Resolution
- 8-Pin SOIC Plastic Package
- Low Cost
- Low Supply Current: 250µA Typ.
- Auto Shutdown to 1nA Typ.
- Guaranteed ±3/4LSB Max DNL
- Single Supply 5V to 9V Operation
- On-Chip Sample-and-Hold
- 60µs Conversion Time
- Sampling Rates:
 - 12.5 ksps (LTC1286)
 - 11.1 ksps (LTC1298)
- I/O Compatible with SPI, Microwire, etc.
- Differential Inputs (LTC1286)
- 2-Channel MUX (LTC1298)
- 3V Versions Available: LTC1285/LTC1288

APPLICATIONS

- Battery-Operated Systems
- Remote Data Acquisition
- Battery Monitoring
- Handheld Terminal Interface
- Temperature Measurement
- Isolated Data Acquisition

DESCRIPTION

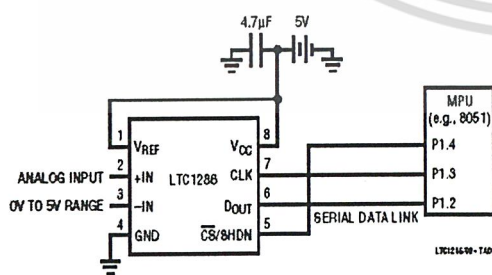
The LTC1286/LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. They typically draw only 250µA of supply current when converting and automatically power down to a typical supply current of 1nA whenever they are not performing conversions. They are packaged in 8-pin SO packages and operate on 5V to 9V supplies. These 12-bit, switched-capacitor, successive approximation ADCs include sample-and-holds. The LTC1286 has a single differential analog input. The LTC1298 offers a software selectable 2-channel MUX.

On-chip serial ports allow efficient data transfer to a wide range of microprocessors and microcontrollers over three wires. This, coupled with micropower consumption, makes remote location possible and facilitates transmitting data through isolation barriers.

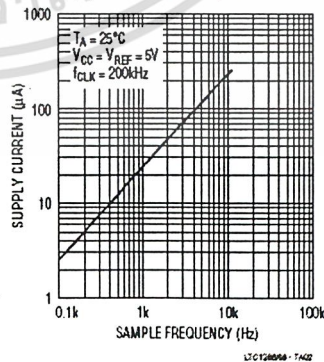
These circuits can be used in ratiometric applications or with an external reference. The high impedance analog inputs and the ability to operate with reduced spans (to 1.5V full scale) allow direct connection to sensors and transducers in many applications, eliminating the need for gain stages.

TYPICAL APPLICATIONS

25µW, SO-8 Package, 12-Bit ADC
Samples at 200Hz and Runs Off a 5V Supply



Supply Current vs Sample Rate





ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอร์สโค้ดโปรแกรม

.....ประกาศการใช้งานการรับและส่งข้อมูลทางพอร์ตขนานในโมดูล.....

#If Win32 Then

Public Declare Sub Out Lib "io.dll" Alias "PortOut" (ByVal Port As Integer, ByVal Data As Byte)

Public Declare Function Inp Lib "io.dll" Alias "PortIn" (ByVal Port As Integer) As Byte

#Else

Declare Function Inp Lib "InpOut.DLL" (ByVal Port As Integer) As Byte

Declare Sub Out Lib "InpOut.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Value As Byte)

#End If

Public check_memory As Integer

Public n1 As Double

Public n2 As Double

Public n3 As Double

Public n4 As Double

Public t As Double

Public interval As Double

Public time_count As Double

.....ประกาศตัวแปร.....

Public pwrite As Integer

Public pread As Integer

Public temp As Integer

Public volt As Single

Public ch1buff As Integer

Public ad1buff As Integer

Public tmp As Integer

Public SP As Double

Public PV As Double

Public mv As Double

Public Error As Double

Public kp As Double

Public ki As Double

Public kd As Double

Public errtemp As Double

Public errprop As Double

Public errinte As Double

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public errdiff As Double
Public outval As Double
Public dt As Double
Public timex As Double
Public j As Integer
Public i As Integer
Public xx As Double
Public z As Double
Public N, mode As Integer
Dim MD As Long
Dim mag As Integer
```

```
Private Sub cmdexit_Click()
```

```
    If MsgBox("Do you want to Exit?", 68, "Please confirm") = 6 Then
    End
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdsave_Click()
```

```
    On Error Resume Next
    Dim Path As String
    dlg1.Flags = cdlOFNHideReadOnly
    dlg1.Filter = "All Files (*.*)|*.*|Text Files" & _
    "(*.txt)|*.txt|Batch Files (*.bat)|*.bat"
    dlg1.FilterIndex = 2
    dlg1.ShowSave
    MsgBox dlg1.FileName
    Path = dlg1.FileName
    Open Path For Output As #1
    Print #1, txttemp.Text
    Close #1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdstart_Click()
```

```
    i = 56
    Timer1.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Form1.Refresh
Timer1.Interval = Val(txtinterval.Text) * 1000
interval = Val(txtinterval.Text) * 1000
If Optauto.Value = True Then
Timer2.Enabled = True
UpDown5.Enabled = False
End If
'graph.Show
If Optmanual.Value = True Then
mag = &H20
Shape1.FillStyle = 0
Shape2.FillStyle = 1
End If
If cmdstart.Value = True Then
UpDown5.Enabled = False
End If

```

End Sub

Private Sub cmdstop_Click()

```

pwrite = &H378
Out pwrite, &HB + &H0
Timer1.Enabled = False
Timer2.Enabled = False

```

End Sub

Private Sub cmdreset_Click()

```

Unload Me
Load Me
Me.Show

```

End Sub

Private Sub cmdgraph_Click()

```

graph.Show

```

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub mnuaboutprogram_Click()

aboutprogram.Show

End Sub

Private Sub MNUAuto_Click()

If MNUAuto.Enabled = True Then

Optauto.Value = True

End If

End Sub

Private Sub mnuExit_Click()

If MsgBox("Do you want to Exit?", 68, "Please confirm") = 6 Then

End

End If

End Sub

Private Sub mnugraph_Click()

graph.Show

End Sub

Private Sub mnumanual_Click()

If mnumanual.Enabled = True Then

Optmanual.Value = True

End If

End Sub

Private Sub mnuReset_Click()

Unload Me

Load Me

Me.Show

End Sub

Private Sub mnuSave_Click()

On Error Resume Next

Dim Path As String

dlg1.Flags = cdlOFNHideReadOnly ' Set filters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dlg1.Filter = "All Files (*.*)|*.txt|Text Files" & _
"(*.txt)|*.txt|Batch Files (*.bat)|*.bat" ' Specify default filter
dlg1.FilterIndex = 2 ' Display the Open dialog box
dlg1.ShowSave
MsgBox dlg1.FileName
Path = dlg1.FileName
Open Path For Output As #1
Print #1, txttemp.Text
Close #1

```

End Sub

.....
Private Sub mnuStart_Click()

```

i = 56
Timer1.Enabled = True
Form1.Refresh
Timer1.interval = Val(txtinterval.Text) * 1000
interval = Val(txtinterval.Text) * 1000
If Optauto.Value = True Then
Timer2.Enabled = True
UpDown5.Enabled = False
End If
'graph.Show
If Optmanual.Value = True Then
pwrite = &H378
Out pwrite, &HB + &H20
Shape1.FillStyle = 0
Shape2.FillStyle = 1
End If
If cmdstart.Value = True Then
UpDown5.Enabled = False
UpDown6.Enabled = False
End If

```

End Sub

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub MNUSTOP_Click()

```
pwrite = &H378  
Out pwrite, &HB + &H0  
Timer1.Enabled = False  
Timer2.Enabled = False
```

End Sub

Private Sub Optauto_Click()

```
If Optauto.Value = True Then  
Text2.Enabled = False  
Text4.Enabled = True  
Text5.Enabled = True  
Text6.Enabled = True  
UpDown1.Enabled = True  
UpDown2.Enabled = True  
UpDown3.Enabled = True  
Optmanual.Value = False  
End If
```

End Sub

Private Sub Optmanual_Click()

```
If Optmanual.Value = True Then  
Optauto.Value = False  
Text2.Enabled = False  
Text4.Enabled = False  
Text5.Enabled = False  
Text6.Enabled = False  
UpDown1.Enabled = False  
UpDown2.Enabled = False  
UpDown3.Enabled = False  
End If
```

End Sub

Private Sub Form_Load()

```
check_memory = 0  
Timer1.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Timer2.Enabled = False
If Optauto.Value = True Then
Optmanual.Value = False
End If
If Optmanual.Value = True Then
Optauto.Value = False
End If
Optauto.Value = True
Optmanual.Value = False
ScaleMode = 3
DrawWidth = 2
pwrite = &H378
pread = &H379
Out pwrite, &HB + &H0
i = 56
Timer1.interval = Val(txtinterval.Text) * 1000
xx = Val((Text9) * 3600 + 500)
Timer1.Enabled = False
TigerChart1.Title = "Temp/Time"
TigerChart1.XAxisLabel = "Time(s)"
TigerChart1.YAxisLabel = "Temp(C)"
TigerChart1.MaxCountOfPlots = 2
Call TigerChart1.SetPlotAspects(1, "SP", , , 2, , True)
Call TigerChart1.SetPlotAspects(2, "PV", , , 2, , True)
Call TigerChart1.SetGlobalBorders(0.1, xx, 5, 1350, 0, 0)
Call TigerChart1.ClearAllPlotData
Call TigerChart1.Refresh
Text1.Alignment = 2
lbltemp.Alignment = 2
z = Timer

```

End Sub

Private Sub Text9_Change()

```

Timer1.interval = Val(txtinterval.Text) * 1000
xx = Val((Text9) * 3600 + 500)
Timer1.Enabled = False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TigerChart1.Title = "                               Temp/Time"
TigerChart1.XAxisLabel = " Time(s)"
TigerChart1.YAxisLabel = "Temp(C)"
TigerChart1.MaxCountOfPlots = 2
Call TigerChart1.SetPlotAspects(1, "SP", , , , 2, , , True)
Call TigerChart1.SetPlotAspects(2, "PV", , , , 2, , , True)
Call TigerChart1.SetGlobalBorders(0.1, xx, 5, 1350, 0, 0)
Call TigerChart1.ClearAllPlotData
Call TigerChart1.Refresh

```

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

```

t = Timer - z
time_count = t
n1 = CDBl(Text1)
n2 = Val(lbltemp)
n3 = Val(lblvolt)
n4 = Val(Label26)
Call TigerChart1.AddNewDataPoint(1, t, n1)
Call TigerChart1.AddNewDataPoint(2, t, n2)
Call TigerChart1.Refresh

```

A / D

```

If PV <= (SP * 0.995) Then
Out pwrite, &HB + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H0 + mag
Out pwrite, &H2 + mag
chlbuff = 0
Out pwrite, &H1 + mag
For readcount = 1 To 12

```

```

Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Next readcount
For readcount = 1 To 12
ad1buff = (Inp(pread) And &H80) / (2 ^ 7)
ch1buff = ch1buff Or (ad1buff * (2 ^ (readcount - 1)))
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Next readcount
Out pwrite, &HB + mag
Label9.Caption = ch1buff
t = 248 - CInt(ch1buff / 20.38)
End If
If PV > (SP * 0.995) Then
Out pwrite, &HB + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H0 + mag
Out pwrite, &H2 + mag
ch1buff = 0
Out pwrite, &H1 + mag
For readcount = 1 To 12
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Next readcount
For readcount = 1 To 12
ad1buff = (Inp(pread) And &H80) / (2 ^ 7)
ch1buff = ch1buff Or (ad1buff * (2 ^ (readcount - 1)))
Out pwrite, &H3 + mag
Out pwrite, &H1 + mag
Next readcount

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

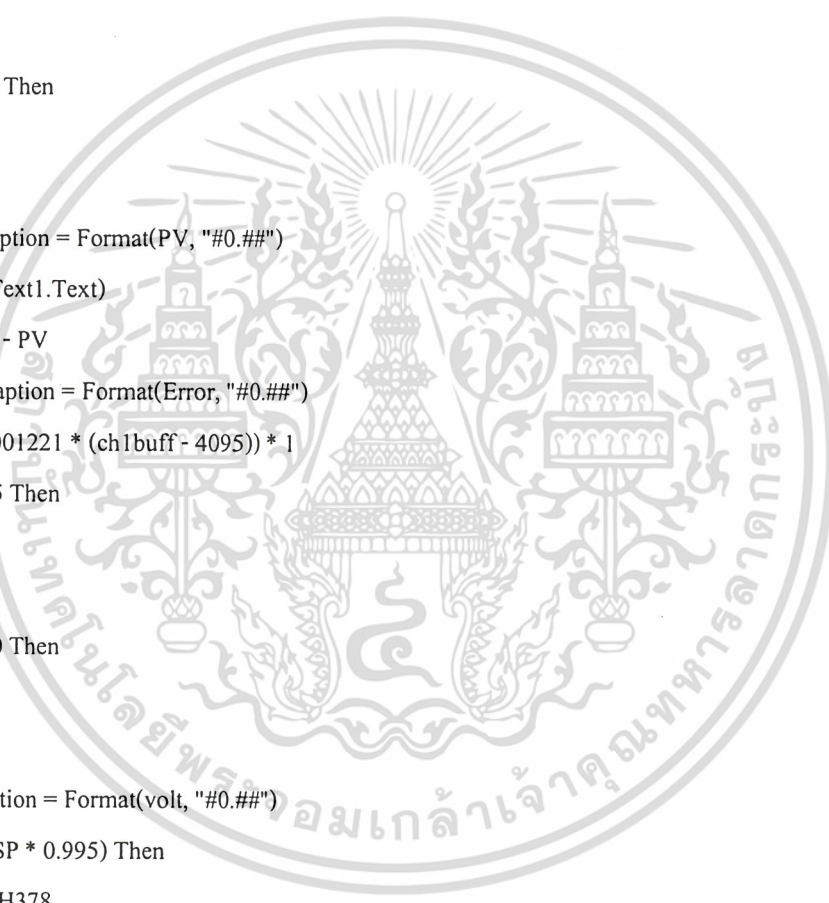
```

Out pwrite, &HB + mag
Label9.Caption = ch1buff
t = 248 - CInt(ch1buff / 20.38)
End If

.....

lbltemp.Caption = PV
pgbtemp.Value = PV
PV = (-0.293 * (ch1buff - 4095)) * 1
If PV >= 1200 Then
PV = 1200
End If
If PV <= 0 Then
PV = 0
End If
lbltemp.Caption = Format(PV, "#0.##")
SP = Val(Text1.Text)
Error = SP - PV
Label26.Caption = Format(Error, "#0.##")
volt = (-0.001221 * (ch1buff - 4095)) * 1
If volt >= 5 Then
volt = 5
End If
If volt <= 0 Then
volt = 0
End If
lblvolt.Caption = Format(volt, "#0.##")
If PV >= (SP * 0.995) Then
pwrite = &H378
Out pwrite, &HB + mag
End If
If PV <= (SP * 0.995) Then
pwrite = &H378
Out pwrite, &HB + mag
End If
check_memory = check_memory + 1

```



```

txttemp.Text = txttemp.Text & vbCrLf & Time & " In = " & Format(lblvolt, "#0.##") & " V " & " Out
= " & Format(PV, "#0.##") & " C "
txttemp.SelLength = Len(txttemp.Text)
If check_memory = 500 Then
On Error Resume Next
Dim Path As String
dlg1.Flags = cdIOFNHideReadOnly
dlg1.Filter = "All Files (*.*)|*.*|Text Files" & _
"(*.txt)*.txt|Batch Files (*.bat)*.bat"
dlg1.FilterIndex = 2
dlg1.ShowSave
MsgBox dlg1.FileName
Path = dlg1.FileName
Open Path For Output As #1
Print #1, txttemp.Text
Close #1
End If
If check_memory = 501 Then
check_memory = 0
txttemp.Text = ""
End If
.....PID Controller.....
If Optauto.Value = True Then
dt = 1
timex = timex + dt
kp = CDb1(Text4)
ki = CDb1(Text5)
kd = CDb1(Text6)
thermo = CDb1(lbltemp)
setpoint = CDb1(Text1)
errtemp = CDb1(Text1) - PV
errprop = kp * errtemp
errinte = (ki * (errtempp + errtemp) * dt)
errdiff = ((kd * (errtempp - errtemp)) / dt) + errtemp
errtempp = errtemp
outval = errprop + errinte + errdiff

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mv = outval / CDb1(Text1)
```

```
Text8.Text = mv
```

```
Text8.Text = Format(mv, "#0")
```

```
If Text8.Text > 100 Then
```

```
Text8.Text = 100
```

```
End If
```

```
If Text8.Text = 100 Then
```

```
pwrite = &H378
```

```
Out pwrite, &HB + mag
```

```
Timer2.Enabled = True
```

```
End If
```

```
If Text8.Text < 0 Then
```

```
Text8.Text = 0
```

```
End If
```

```
Text2.Text = txtinterval.Text * 10
```

```
Text3.Text = (Text8.Text / 100) * Val(Text2.Text)
```

```
If Text3.Text < 0 Then
```

```
Text3.Text = 0
```

```
End If
```

```
N = Text3.Text
```

```
Text7.Text = Val(Text2.Text) - N
```

```
If Text7.Text > Val(Text2.Text) / 2 Then
```

```
Text7.Text = (Val(Text2.Text) / 2) + 10
```

```
Text3.Text = Val(Text2.Text) - Val(Text7.Text)
```

```
End If
```

```
If Text8.Text <= 0 Then
```

```
Text7.Text = Val(Text2.Text)
```

```
Text3.Text = Val(Text2.Text) - Text7.Text
```

```
Shape1.FillStyle = 1
```

```
Shape2.FillStyle = 0
```

```
End If
```

```
If Text7.Text < 0 Then
```

```
Text7.Text = 0
```

```
End If
```

```
Text3.Text = Format(Text3.Text, "#0")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text7.Text = Format(Text7.Text, "#0")
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Timer()
```

```
MD = MD + 1
```

```
If MD < Text3.Text Then
```

```
mag = &H20
```

```
Shape1.FillStyle = 0
```

```
Shape2.FillStyle = 1
```

```
End If
```

```
If MD > Text3.Text And MD < Text2.Text Then
```

```
mag = &H0
```

```
Shape1.FillStyle = 1
```

```
Shape2.FillStyle = 0
```

```
End If
```

```
If MD >= Text2.Text Then MD = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub txttemp_Click()
```

```
txttemp.Text = Format(txttemp, "#0.##")
```

```
End Sub
```



ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดัน
ของเทอร์โมคัปเปิลแบบเค

ISE, Inc.

ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C)

<http://iseinc.com>

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Thermoelectric Voltage in mV											
-270	-6.458										
-260	-6.441	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891
-180	-5.550	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243
-70	-2.587	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920
-60	-2.243	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392
°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10

K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Thermoelectric Voltage in mV

0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.399	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516

K

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.875	31.917	31.958	32.000	32.041
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819
1370	54.819	54.852	54.886								

K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้