

คู่มือทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ELECTRONIC DEVICE TESTER



นายชรินทร์ ตุมประธาน
นายโสธร ลอยวิรัตน์
นายอาทิตย์ สีวัฒนชัย

264
421367
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50250
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

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

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2545
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRONIC DEVICE TESTER



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

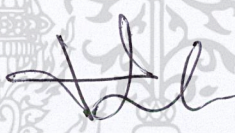
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 2002 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท คู่มือทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ELECTRONIC DEVICE TESTER

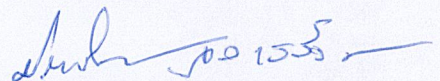
นักศึกษาผู้จัดทำ นายชรินทร์ ตุมประธาน รหัสประจำตัว 43015559
 นายโสธร ลอยวิรัตน์ รหัสประจำตัว 43015597
 นายอาทิตย์ ถือวัฒน์ชัย รหัสประจำตัว 43015602

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ. สักริยา ชิตวงศ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2546
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ. ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คู่มือทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ELECTRONIC DEVICE TESTER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชรินทร์ ตุมประธาน
 นายโสธร ลอยวิรัตน์
 นายอาทิตย์ สือวัฒนชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สักกริยา ชิตวงศ์

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในการดำเนินชีวิตประจำวัน และในภาคอุตสาหกรรม ในมหาวิทยาลัยมีการเรียนการสอนเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้คุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนแปลง เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบเครื่องทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ที่จะแสดงให้เห็นถึงต้นเหตุที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Electronic Device Tester
Authors	Mr. Charin Tumpratarn Mr. Sotom Loywirat Mr. Artid Suewattanachai
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sakreeya Chitwong
Year	2002

ABSTRACT

Nowadays, electronic devices have been widely utilized in daily living and industrial sectors as well as in universities, where curriculum relating to different kinds of electronic devices, which have different properties. Temperature is one of the important factors that change the properties of the electronic devices owing to use electronic devices in environmental having different temperature. This thesis, therefore, presents the design of electronic device inspection to use as equipment for displaying a changing properties of electronic devices when temperature have been changed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ศักดิ์รียา ชิตวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณ
เป็นอย่างสูง

ขอบคุณเพื่อนและทุกคนที่ให้คำแนะนำอันเป็นประ โยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้
และที่ลืมเสียมิได้คือ พ่อและแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นเหตุแห่งแรงบันดาลใจ
ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประ โยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้นั้น ผู้วิจัยขอบอบแต่ผู้มีพระคุณ
ทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีและหลักการของระบบควบคุม	3
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการควบคุมกระบวนการและการคำนวณ	3
2.1.2 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม (Controller and Control Action)	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบ	16
2.2.1 ทรานซิสเตอร์	16
2.2.2 ซิลิกอนเรกติไฟเออร์ไดโอด	25
บทที่ 3 หลักการทำงานของระบบควบคุม และระบบแสดงผล	26
3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุม	26
3.1.1 การออกแบบระบบควบคุม	26
3.1.2 หลักการทำงานของระบบควบคุม	27
3.1.3 PID Controller สำหรับ Digital Signal	27
3.2 หลักการทำงานของระบบแสดงผล	29

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของบัส IC

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 หลักการของบัส I ² C	30
3.2.3 สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I ² C	31
3.2.4 การทำงานบนบัส I ² C	32
3.2.5 วงจรแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I ² C	33
บทที่ 4 การออกแบบวงจร	35
4.1 การเชื่อมต่อกับคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริกซ์	35
4.2 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD module)	37
4.3 การเชื่อมต่อกับไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820	38
4.4 การใช้งานไอซี ADC/DAC (PCF8591)	39
4.5 วงจรเรกติไฟเออร์	41
4.6 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริก	42
4.7 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน	43
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	44
5.1 กล่าวนำ	44
5.2 การทดลองและผลการทดลอง	44
5.2.1 การทดลองที่ 1	44
5.2.2 การทดลองที่ 1	47
5.2.3 การแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์	49
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
6.1 บทสรุป	50
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการแก้ไข	51
6.3 แนวทางการพัฒนา	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม.....	หน้า 53
ภาคผนวก.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ระบบการควบคุมแบบปิด.....	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	4
2.3 โครงสร้างภายในตัวควบคุม.....	4
2.4 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ P.....	5
2.5 ผลตอบสนองของ Proportion Action.....	6
2.6 Proportional Band.....	6
2.7 Show Off Set.....	8
2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ Integral.....	9
2.9 ผลตอบสนองของ Reset Action.....	9
2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ PI.....	10
2.11 ผลตอบสนองของ PI Action.....	11
2.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ D.....	12
2.13 ผลตอบสนองของ Derivative Action.....	12
2.14 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ PD.....	13
2.15 ผลตอบสนองของ PD Action.....	14
2.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ PID.....	15
2.17 ผลตอบสนองของ PID Action.....	15
2.18 สัญลักษณ์และเครื่องหมายของการต่ออิมิตเตอร์ร่วม.....	16
2.19 แสดงการไหลของกระแส ICEO.....	17
2.20 ย่านการทำงานสำหรับการขยาย.....	18
2.21 คุณลักษณะทางเอาต์พุต.....	19
2.22 กราฟคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลง.....	19
2.23 แสดงการทำงาน ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	20
2.24 คุณลักษณะอัตราขยายไฟตรง.....	20
2.25 คุณลักษณะของกระแสจุดตัดที่คอลเลกเตอร์.....	20
2.26 คุณลักษณะอัตราขยายสัญญาณ.....	21
2.27 คุณลักษณะทางเอาต์พุตของ RCA 2N2711.....	21
2.28 แสดงตำแหน่งจุดการทำงานของวงจรเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ย้ำทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.29 วงจรอิมิตเตอร์ไบแอส.....	24
2.30 วงจรสมมูลเทวินิน.....	24
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	26
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $e(t)$ กับ t	28
3.3 โครงสร้างวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อนระบบบัส I ² C.....	30
3.4 แบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์บนระบบบัส I ² C.....	32
3.5 วงจรสร้างสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I ² C ของพอร์ตอนุกรม.....	34
4.1 แสดงวงจรของสวิทช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด.....	35
4.2 แสดงวงจรเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	36
4.3 แสดงรูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักษร.....	37
4.4 แสดงวงจรเชื่อมต่อโมดูล LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด.....	38
4.5 แสดงการเชื่อมต่อ DS1820 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	39
4.6 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591.....	40
4.7 วงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นใช้แท็ปกลาง.....	41
4.8 แบบใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ 3 ขา ชนิดไฟบวก.....	41
4.9 วงจรสร้างสัญญาณพัลซ์ทริก.....	42
4.10 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน.....	43
5.1 กราฟ การทดลอง PID Control $K_p=2$ $K_i=0.25$ $K_d=3$ Setpoint 60°C	45
5.2 กราฟ การทดลอง PID Control $K_p=2$ $K_i=0.5$ $K_d=3$ Setpoint 60°C	45
5.3 กราฟการทดลอง PID Control $K_p=3$ $K_i=1$ $K_d=3$ Setpoint 60°C	46
5.4 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม เบอร์ 2N3055 ในการทดสอบ.....	47
5.5 กราฟผลการทดสอบ ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N3055.....	48
5.6 กราฟผลการทดสอบ ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC 547.....	48
5.7 การแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ หรือในกระบวนการทางอุตสาหกรรมก็ได้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบของวงจร เพราะฉะนั้นในระบบการศึกษาจึงจัดให้มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิด

อุณหภูมิเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้คุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนแปลง เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน อุณหภูมิแวดล้อมก็แตกต่างกัน แต่การเรียนการสอนยังขาดอุปกรณ์ที่จะทำให้นักศึกษาได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ปริญญานิพนธ์นี้จึงศึกษาการนำกระบวนการควบคุมแบบ PID มาควบคุมอุณหภูมิตู้อบเพื่อทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าทางจอกอมพิวเตอร์

1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึง การออกแบบตู้อบทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการแสดงผลบนจอกอมพิวเตอร์ ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญของตู้อบทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ การควบคุมอุณหภูมิให้ตรงกับค่า Set Point โดยการป้อนค่า Set Point ทาง Keyboard และค่า Set Point ของอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30 - 70 องศาเซลเซียส ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าอุณหภูมิจากไอซี DS1820 แล้วนำมาคำนวณตามสมการ PID เพื่อส่ง Output Signal เพื่อควบคุมความร้อนของ Heater เพื่อให้อุณหภูมิของ Plant มีค่าเข้าใกล้กับค่า Set Point

การแสดงผลบนจอกอมพิวเตอร์จะทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ที่ได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่นำมาทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันเพื่อไปแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันเพื่อแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นั้น มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของตัวควบคุม PID และกริยาการควบคุมต่าง ๆ ของตัวควบคุม เช่น กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P) , กริยาการควบคุมแบบ Proportional Integral (PI) เป็นต้น จากนั้นศึกษาและออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ เช่น วงจรตรวจจับอุณหภูมิ , วงจรส่งสัญญาณควบคุมเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าของ Heater , วงจรเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์กับ LCD และ Keyboard ต่อจากนั้นศึกษาการเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ และโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของตู้อบให้มีค่าตรงกับ Set Point ที่ต้องการ แล้วจึงศึกษาวงจรและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำตู้อบต้นแบบที่สร้างขึ้นไปทดลอง ทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการทดสอบ เพื่อหาข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขรวมถึงแนวทางในการพัฒนาต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์

สามารถนำตู้อบทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิของตู้อบได้ตั้งแต่ 30 - 70 องศาเซลเซียส และสามารถแสดงผลการทดลองบนจอคอมพิวเตอร์ เพื่อสามารถให้ผู้สนใจได้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 2

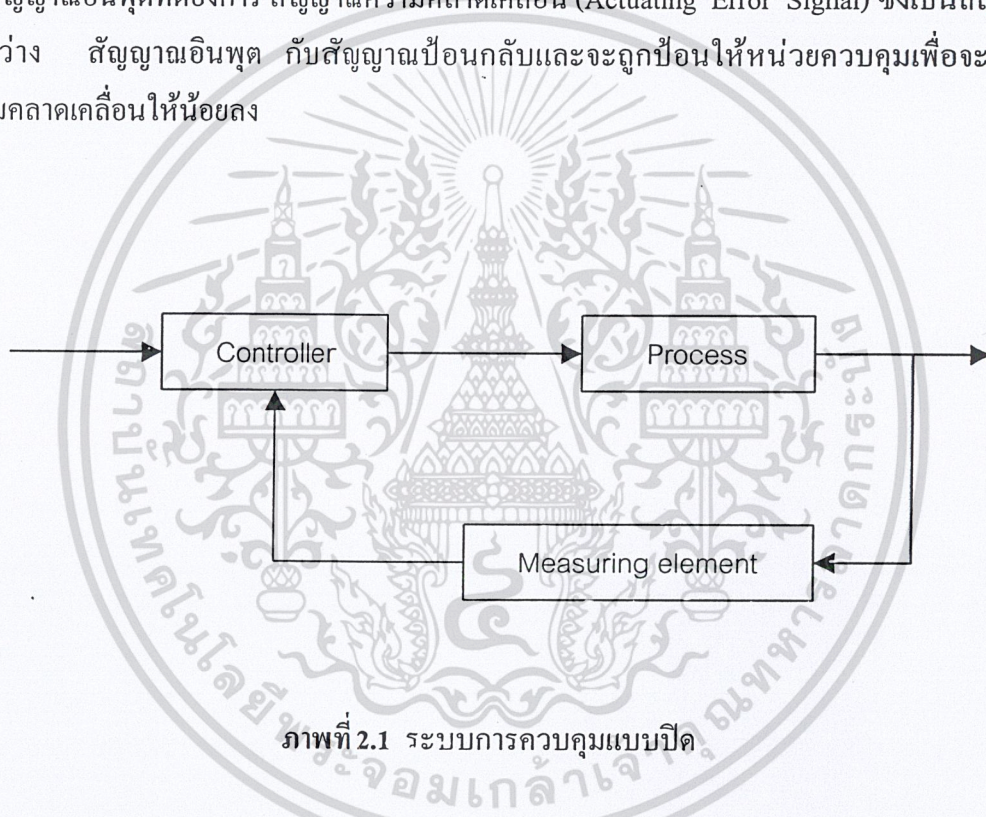
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการของระบบควบคุม

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการควบคุมกระบวนการและการคำนวณ

ก) ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

เป็นระบบควบคุมที่นำเอาสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับ (Feedback Out Put) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ต้องการ สัญญาณความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณระหว่าง สัญญาณอินพุต กับสัญญาณป้อนกลับและจะถูกป้อนให้หน่วยควบคุมเพื่อจะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง

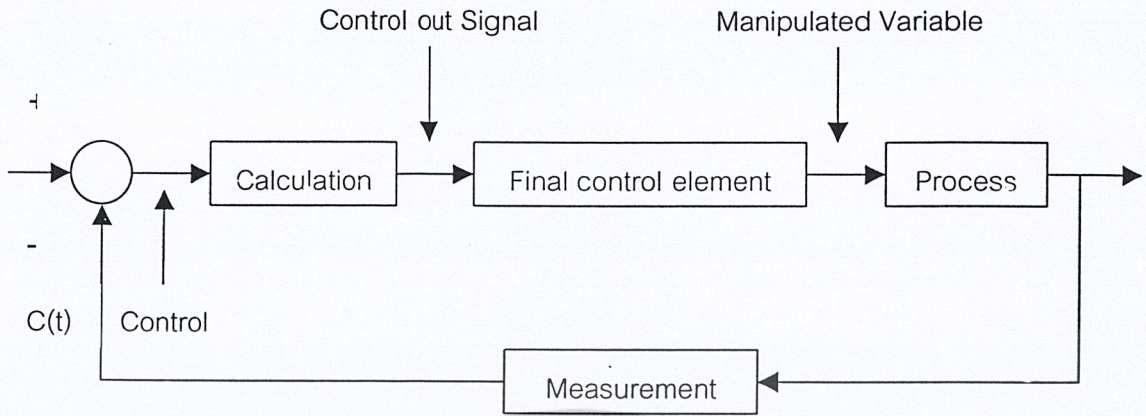


ภาพที่ 2.1 ระบบการควบคุมแบบปิด

ข) ชนิดของระบบควบคุม

ระบบควบคุมอัตโนมัติ คือ การใช้ตัวควบคุมวิ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบตัดสินใจและปรับแทนมนุษย์นั่นเองการทำงานของระบบอัตโนมัติเป็นกานนำค่าเป้าหมายกับค่าของการตรวจวัดในโปรเซส การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมเพื่อส่งสัญญาณควบคุมออกไปควบคุมโปรเซสให้มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่ตลอดเวลาแบบของการควบคุมมีอยู่หลายแบบเช่น ON-OFF

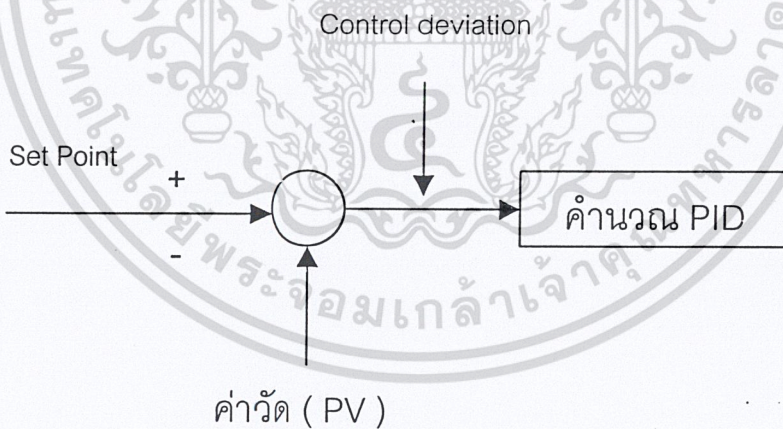
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.1.2 ตัวควบคุมและแบบการควบคุม (Controller and Control Action)

ตัวควบคุมจะรับสัญญาณเข้าจากการวัด เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย หรือ Set point ผลต่างของค่าทั้งสองจะถูกส่งให้ภาคคำนวณ เพื่อผลิตสัญญาณควบคุมขาออกซึ่งจะถูกส่งออกไปให้ส่วนขับเคลื่อนอีกทีหนึ่ง โครงสร้างภายในตัวควบคุม แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างภายในตัวควบคุม

ความสัมพันธ์ของผลต่างนี้กับสัญญาณควบคุมขาออก ถูกกำหนดได้โดย ภาคคำนวณ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า Control Action แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

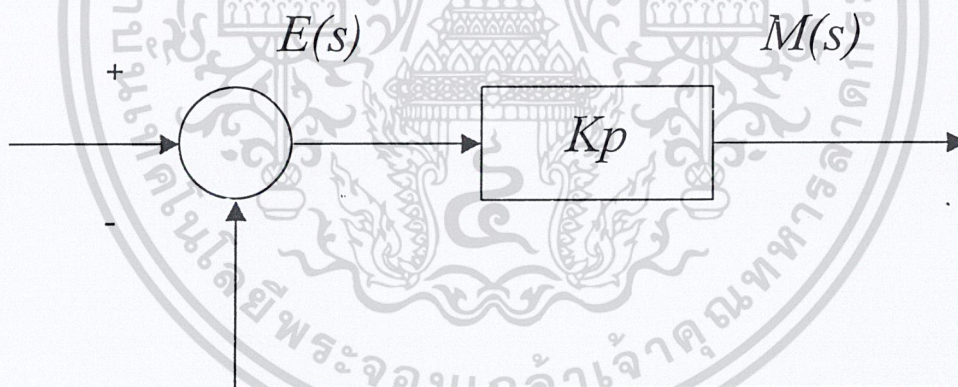
- 1) ON-OFF Action
- 2) Proportional Action (P-Action)
- 3) Integral or Reset Action (I-Action)
- 4) Derivative Action (D-Action)

การควบคุมจะใช้ Action แต่ละชนิด หรือ หลายชนิดผสมกันเช่น ON-OFF, P,PI ,PID การควบคุมด้วยมือนั้นถ้าคนงานมีความชำนาญการปรับจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Control Action เหล่านี้ Proportional Action คือ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม หรือเอาต์พุต ของหน่วยควบคุม กับสัญญาณคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

$$m(t) = K_P * e(t) \quad (1)$$

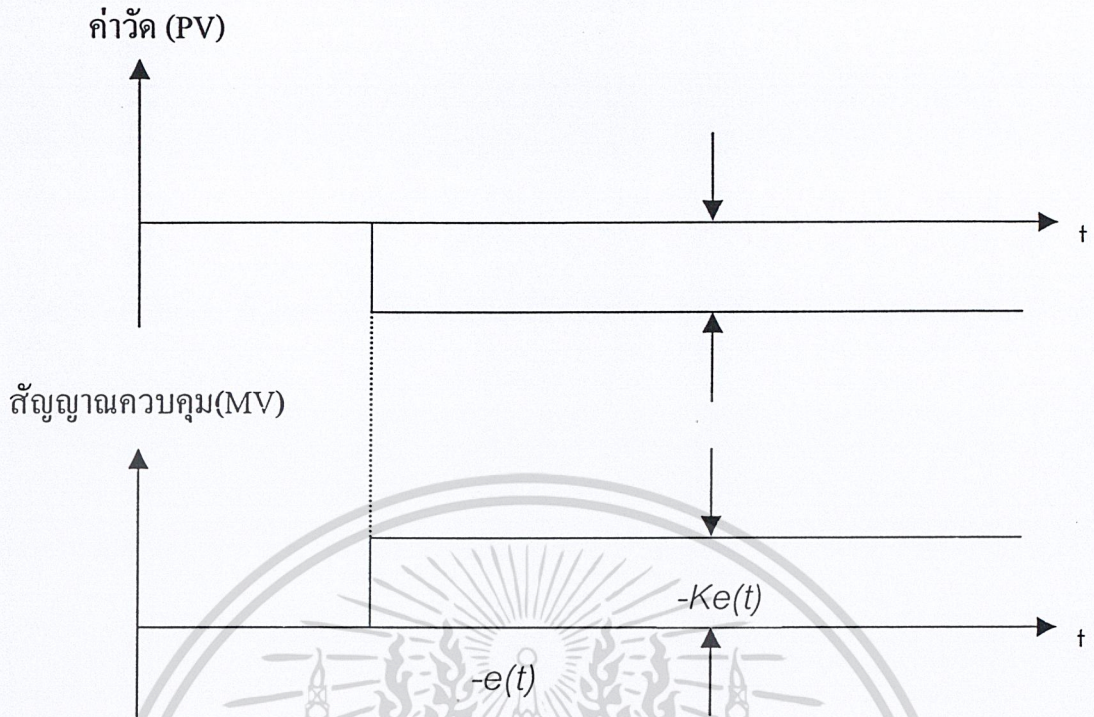
$$\text{หรือ } M(s)/E(s) = K_P \quad (2)$$

โดย K_P จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือ Gain หน่วยควบคุมแบบ Proportional จึงเป็น Amplifier ที่สามารถปรับค่าของ Gain ดังภาพที่ 2.4 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรม ของหน่วยควบคุมแบบ Proportional ที่กล่าวมานี้



ภาพที่ 2.4 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ P

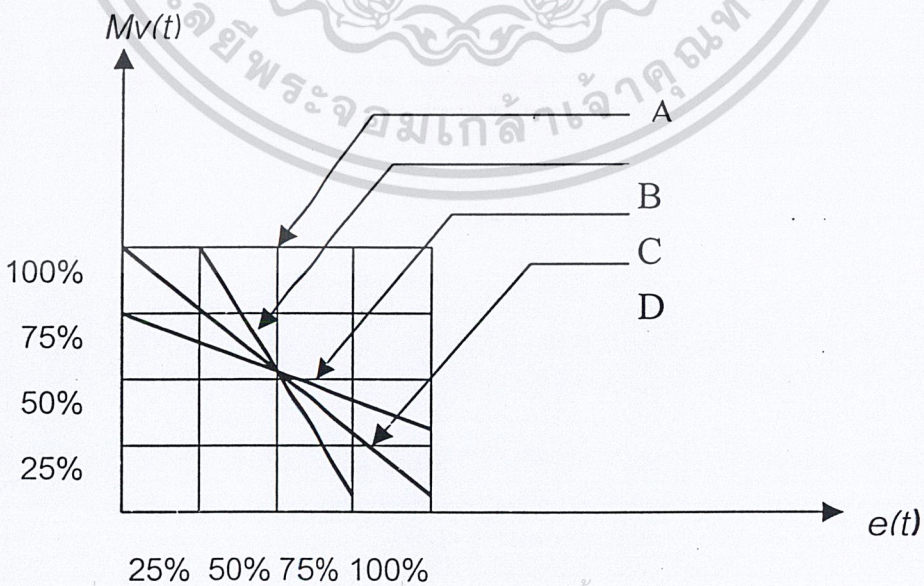
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ผลตอบสนองของ Proportion Action

การควบคุมแบบนี้มักแสดงในรูป Proportional Band (% PB) ค่า PB คือ ค่าสัญญาณ Error ที่ทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไป 100% เมื่อ PB = 50% หมายถึงสัญญาณ Error เกิดขึ้น 50% สัญญาณควบคุมที่เปลี่ยนไป 100% ดังภาพที่ 2.6

$$PB = \frac{1}{k_p} * 100 \quad (3)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 2.6 Proportional Band
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะสิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A ;	PB = 0%	,	KP = (100/0)
B ;	PB = 50%	,	KP = (100/50)
C ;	PB = 100%	,	KP = (100/100)
D ;	PB = 200%	,	KP = (100/200)

จากภาพที่ 2.6 แสดงว่าค่า PB เป็นตัวบอกความไวของการแก้ความผิดพลาดจึงอาจเรียกได้ว่า KP เป็นความไวของ Proportional Control

คุณสมบัติของ Proportional Action

เมื่อลด PB ลงไปจะทำให้ตัวอินทรีย์ขยายสูงขึ้น การควบคุมจะไวขึ้นทำให้โปรเซสเกิดการแกว่งขึ้นได้

เมื่อเพิ่ม PB อัตราขยายจะลดลง จะทำให้ค่าวัดกับค่าเป้าหมายแตกต่างกันมากขึ้นเราเรียกว่าเกิด Off Set

เมื่อโหลดของโปรเซส สภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป ซึ่งเราเรียกว่า Disturbance Off Set ได้ง่าย

Off Set

Off Set เป็นชื่อใช้เรียกปรากฏการณ์ที่ตัวโปรเซสหรือวัดมีค่าไม่เท่ากับค่าเป้าหมายทำให้ค่าควบคุมไม่เป็นไปตามต้องการ ภาพที่ 2.7 แสดงความหมายของ Off Set ในระบบการควบคุมแบบป้อนกลับนั้นเมื่อดูอย่างผิวเผิน Off Set ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้เพราะตัวแปรโปรเซสถูกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตาม Off Set มักจะเกิดขึ้นกับระบบควบคุมที่ใช้ Proportional Control ที่มีค่า PB ใหญ่และขณะที่เกิด Disturbance ในโปรเซสซึ่งได้แก่การเปลี่ยนแปลงของโหลดสภาพแวดล้อม เป็นต้น

วิธีการแก้ Off Set ที่เกิดขึ้นใน Process

ให้ลด PB ให้เล็กลง

เปลี่ยน BIAS ของการควบคุมด้วยมือ

เปลี่ยนค่าเป้าหมายใหม่

ใช้การควบคุมที่มี Reset Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 Show Off Set

Integral Action (Reset Action)

Integral Action คือ ค่าของเอาต์พุตของหน่วยควบคุม $m(t)$ จะมีความสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้

$$\frac{dm(t)}{dt} = \frac{1}{T_i} * e(t) \quad (4)$$

$$dm(t) = \frac{1}{T_i} * e(t)dt \quad (5)$$

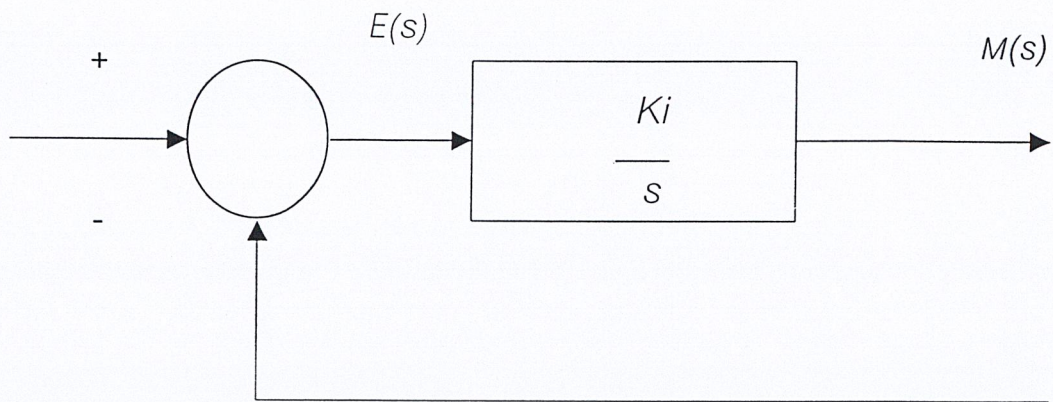
$$m(t) = \frac{1}{T_i} * \int e(t)dt \quad (6)$$

โดยที่ T_i เป็นค่า Integral Time ที่สามารถปรับค่าได้ Transfer Function ของหน่วยควบคุมแบบ Integral คือ

$$\begin{aligned} M(s)/E(s) &= \frac{1}{T_i} * S \\ &= \frac{K_i}{S} \end{aligned} \quad (7)$$

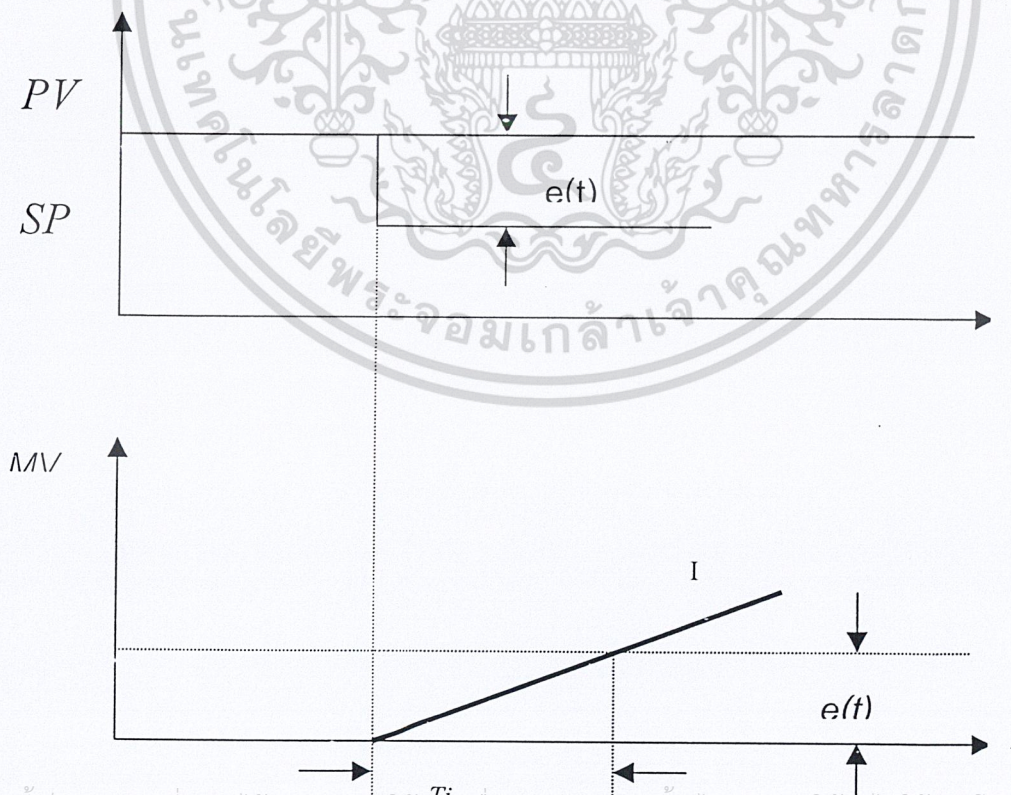
$$\text{โดยที่ } K_i = \frac{1}{T_i}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 บล็อกไคอะแกรมของระบบควบคุมแบบ Integral

กริยาการควบคุมแบบ Integral นี้บางครั้งเราเรียกว่า Reset Control การควบคุมแบบนี้ สัญญาณควบคุมจะแปรตามค่าอินทิเกรตต่อเวลาของผลต่าง เมื่อผลต่างเปลี่ยนไป Step สัญญาณ ควบคุมจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามค่าเวลา ดังภาพที่ 2.9 ตามภาพความหมายของ Integral time (Ti) คือ เวลาที่ใช้เพิ่มค่าของสัญญาณควบคุมจะมีขนาดเท่ากับผลต่าง e(t) ที่เปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อ Ti มีค่าไยผลของ Integral Action จะมากกว่าเมื่อ Ti มีค่ามาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ภาพที่ 2.9 ีผลตอบสนองของ Reset Action หารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proportional – Integral (PI)

การควบคุมของหน่วยควบคุม PI นั้นสามารถจะแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$m(t) = K_p * [e(t) + 1/T_i \int e(t)dt] \quad (8)$$

หรือ

$$M(s)/E(s) = K_p * [1 + 1/T_i * S]$$

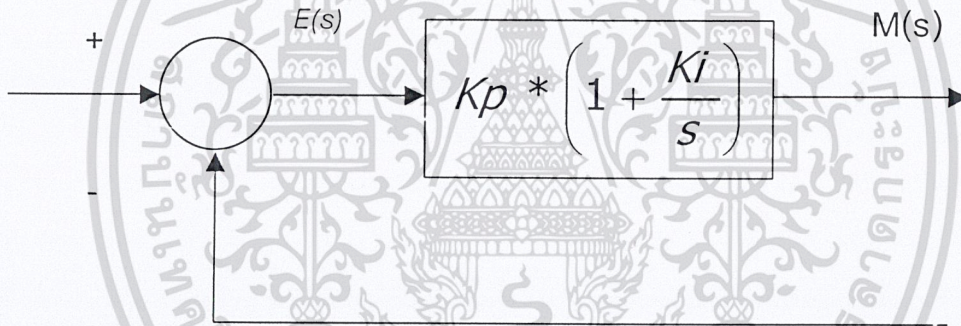
$$= K_p * [1 + K_i/S] \quad (9)$$

โดยที่

K_p เป็นค่าของ Gain

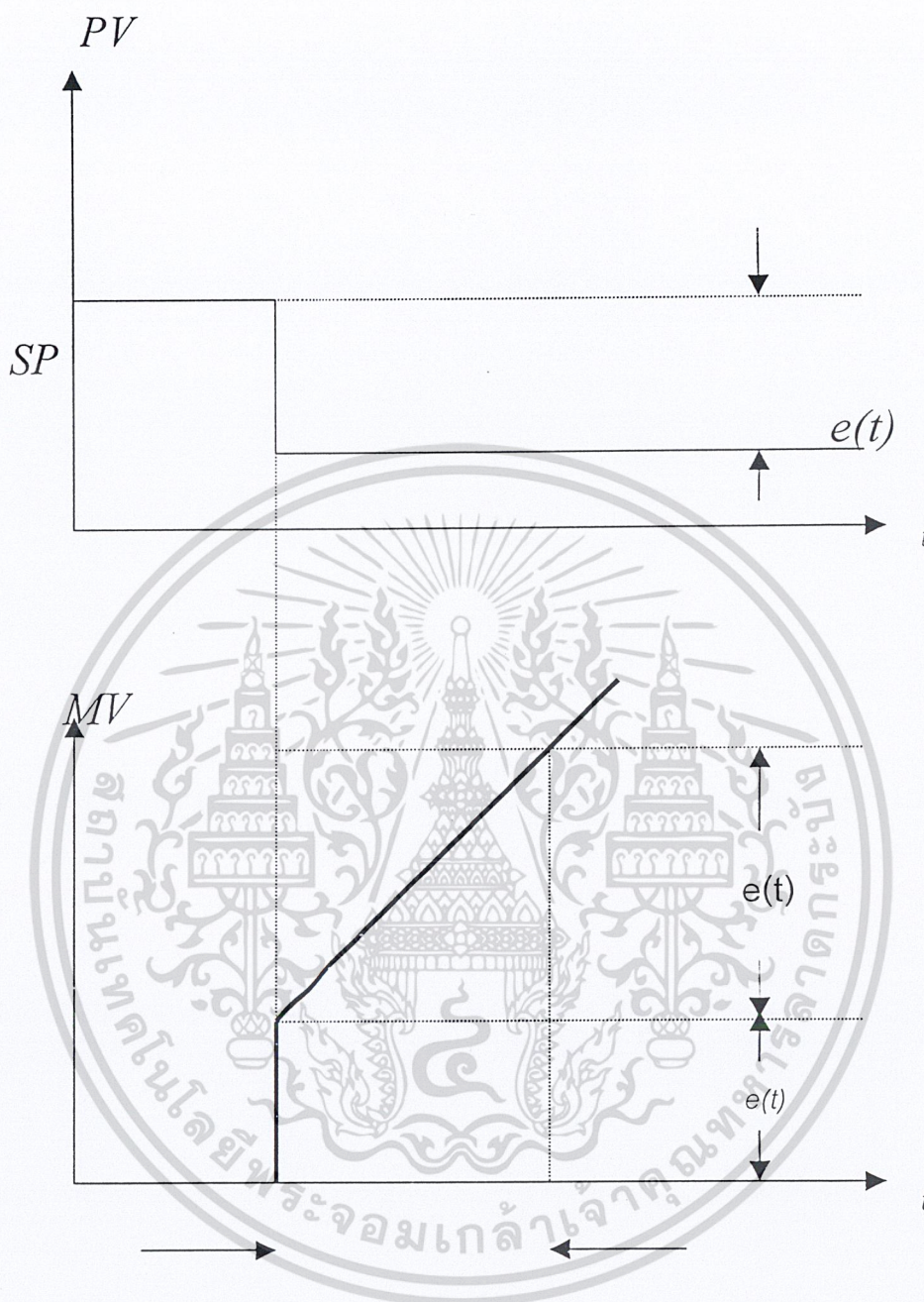
T_i เป็นค่าของ Integral Time

ทั้งนี้ K_p และ T_i เป็นค่าที่ปรับ T_i นั้นจะเป็นการปรับกริยาการควบคุมแบบ Integral นั้นจะมีผลต่อส่วน Proportional ภาพที่ 2.10 แสดงถึง Block Diagram ของหน่วยควบคุม PI และผลตอบสนองของ PI Action



ภาพที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 ผลตอบสนองของ PI Action

คุณสมบัติของ Integral Action

Off set ที่เกิดจาก P Action จะถูก Integral Action แก้จนหมดไปเมื่อ T_i มีค่าน้อยลง ผลของ Integral Action จะมาก ทำให้เกิดการแกว่งขึ้นได้ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพ Derivative Action (Rate Action)

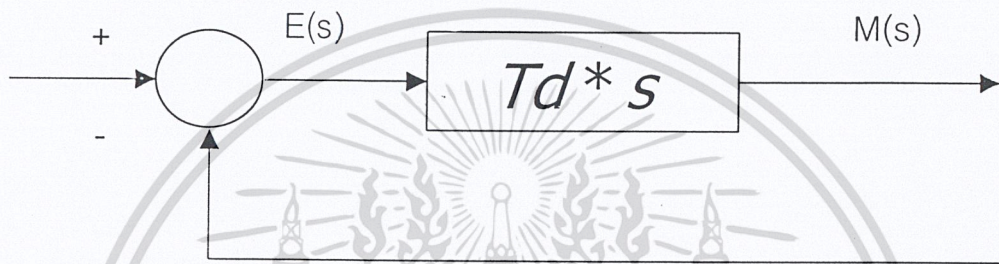
การควบคุมแบบเหมาะกับขบวนการที่มี Time Lag มาก ๆ เพราะสามารถแก้ไขข้อผิดพลาด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต โดย การกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะสัญญาควบคุมจะแปรตาม ไม่มีการคิดค่า ฟังก์ชัน ยี่ห้อ ไม่มีเหตุผลเบื้องหลังเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Error และบางครั้งจะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า Rate Action การควบคุมแบบ Derivative Action นี้ไม่สามารถนำไปใช้ตามลำพังได้ เพราะว่า Error เป็น 0 หรือมีค่าคงที่ ค่าควบคุมจะไม่ให้ค่าเอาต์พุตเลย ดังนั้น Derivative Action จึงใช้รวมกับการควบคุม Proportional

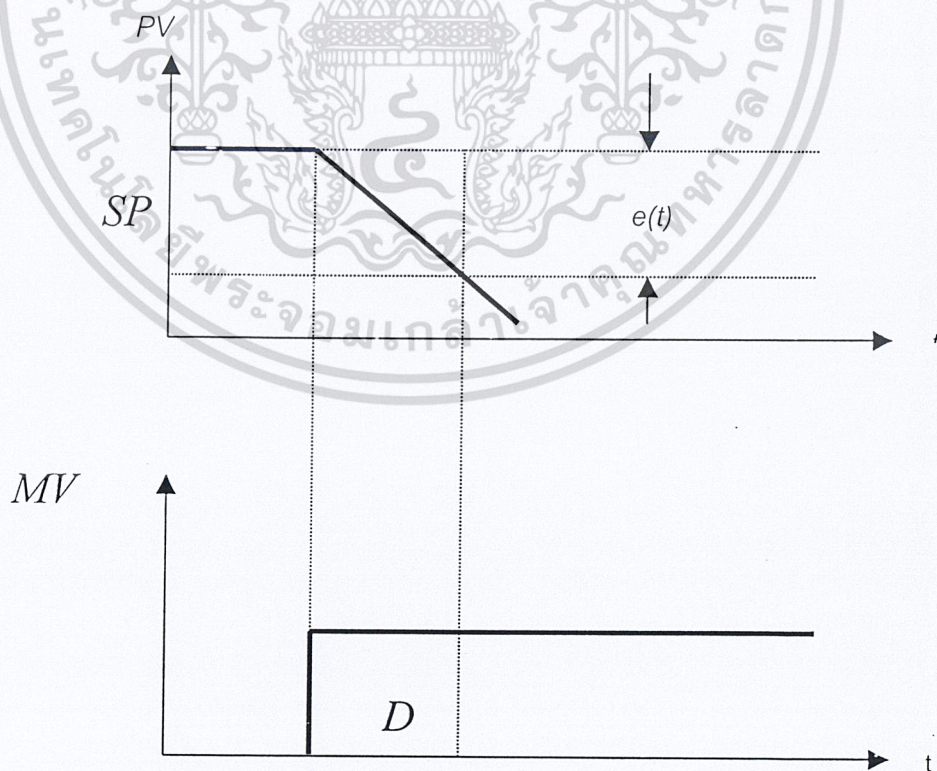
$$m(t) = T_d * de(t)/dt \quad (10)$$

$$\text{หรือ} \quad M(s)/E(s) = T_d * S \quad (11)$$

โดยที่ T_d เป็นค่าของ Derivative Time



ภาพที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 2.13 ผลตอบสนองของ Derivative Action
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเห็นว่า T_d จะเท่ากับช่วงเวลาที่ผลต่าง $e(t)$ แปรเปลี่ยนไปจนมีค่าเท่ากับค่าความชันของค่าการเปลี่ยนนี้ ถ้า T_d มากจะทำให้ผลของ D Action มาก

คุณสมบัติของ D Action

เหมาะสำหรับโปรเซสที่มี Time Lag มาก ๆ จะทำให้การควบคุมถึงจุดที่ต้องการเร็วขึ้น ถ้า T_d มากไปผลของ D จะมากทำให้ระบบทั้งระบบไวขึ้น ขาดเสถียรภาพ

ไม่เหมาะสำหรับโปรเซสที่มี Time Lag น้อย ๆ และตัวแปรโปรเซสเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหล ความดัน เป็นต้น

Proportional – Derivative Action (PD)

การควบคุมของหน่วยควบคุมแบบ (PD) นี้จะอยู่ในรูปของสมการ

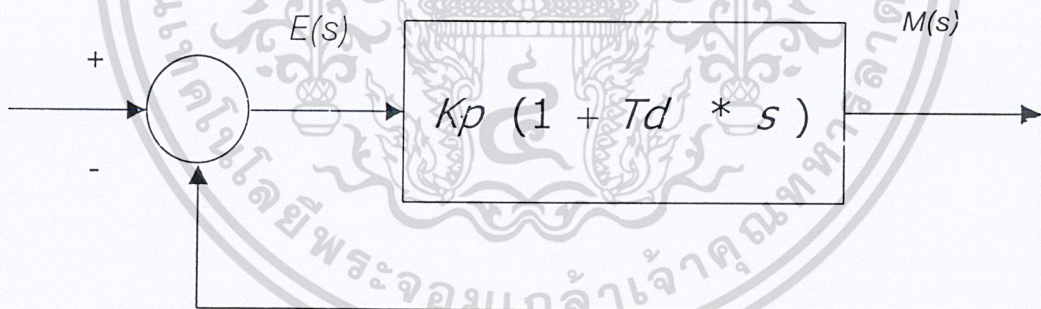
$$m(t) = K_p[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (12)$$

หรือ $M(s)/E(s) = K_p[1 + T_d * S] \quad (13)$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Gain

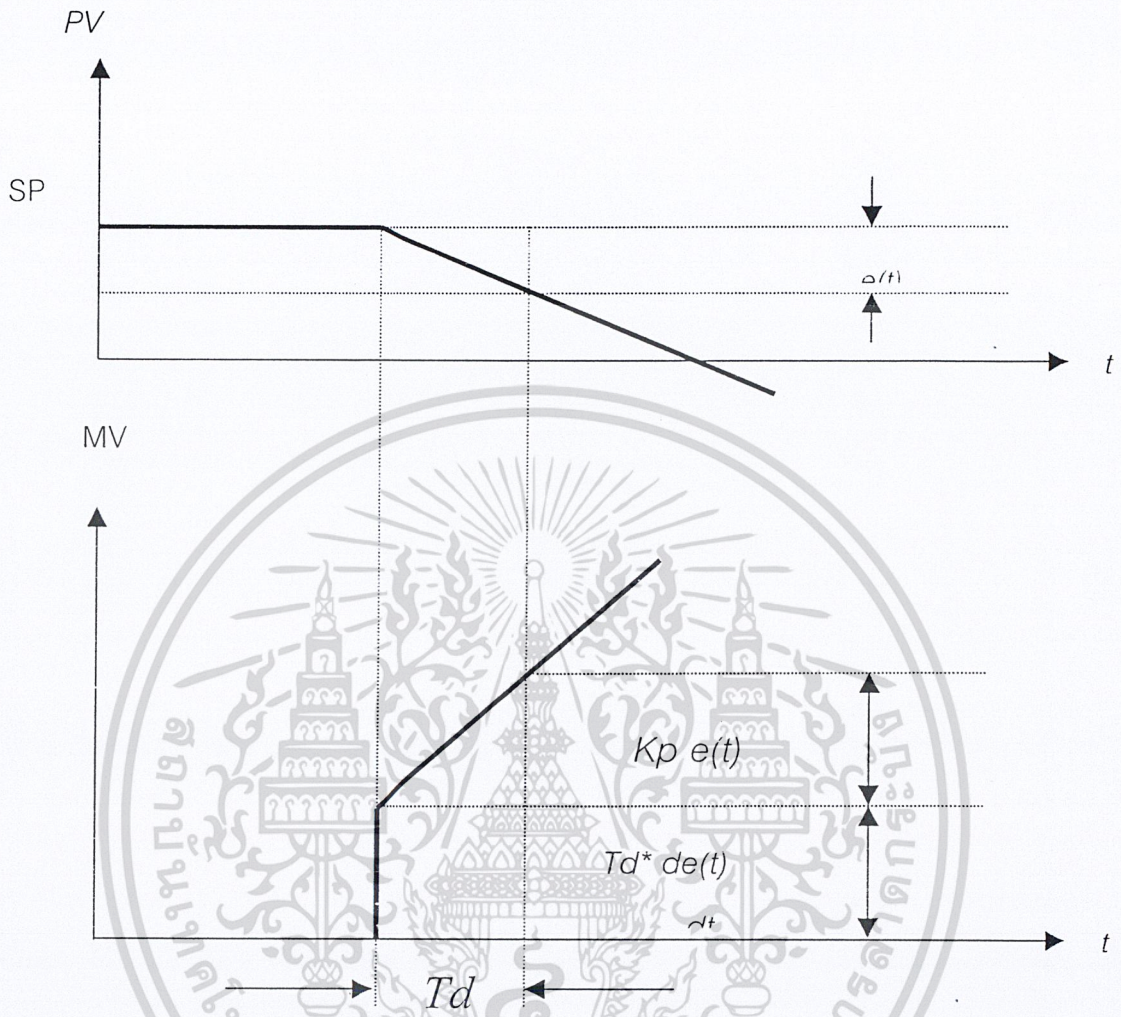
T_d เป็นค่าของ Derivative Time

ค่าของ K_p และ T_d นั้นจะเป็นค่าที่สามารถปรับได้



ภาพที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 ผลตอบสนองของ PD Action

Proportional – integral – Derivative (PID)

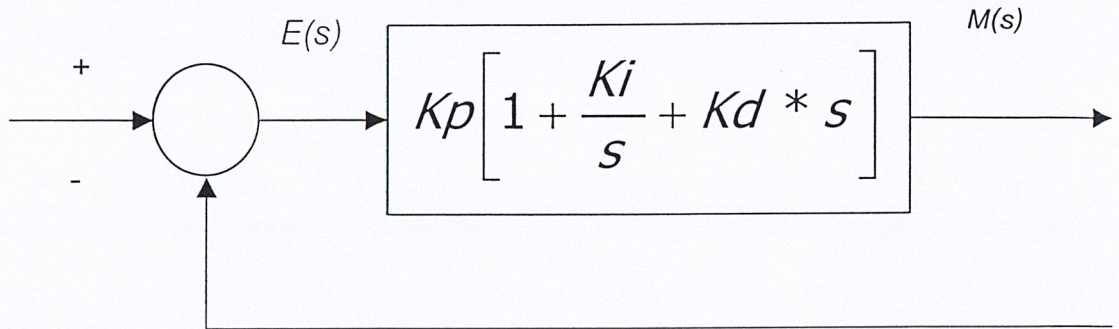
การควบคุมแบบ PID นั้นได้จากการรวมเอากริยาควบคุมแบบ Proportional ซึ่งอัตราขยายกริยาควบคุมแบบ Integral สามารถแก้ค่า Off Set และ Overshoot ที่จะทำให้เกิดการ Oscillate และกริยาการควบคุมแบบ Derivative จะทำให้เกิดผลตอบสนองได้อย่างรวดเร็วสมการของ PID มีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$m(t) = Kp[e(t)+1/Ti \int e(t)dt+Td \frac{de(t)}{dt}] \quad (14)$$

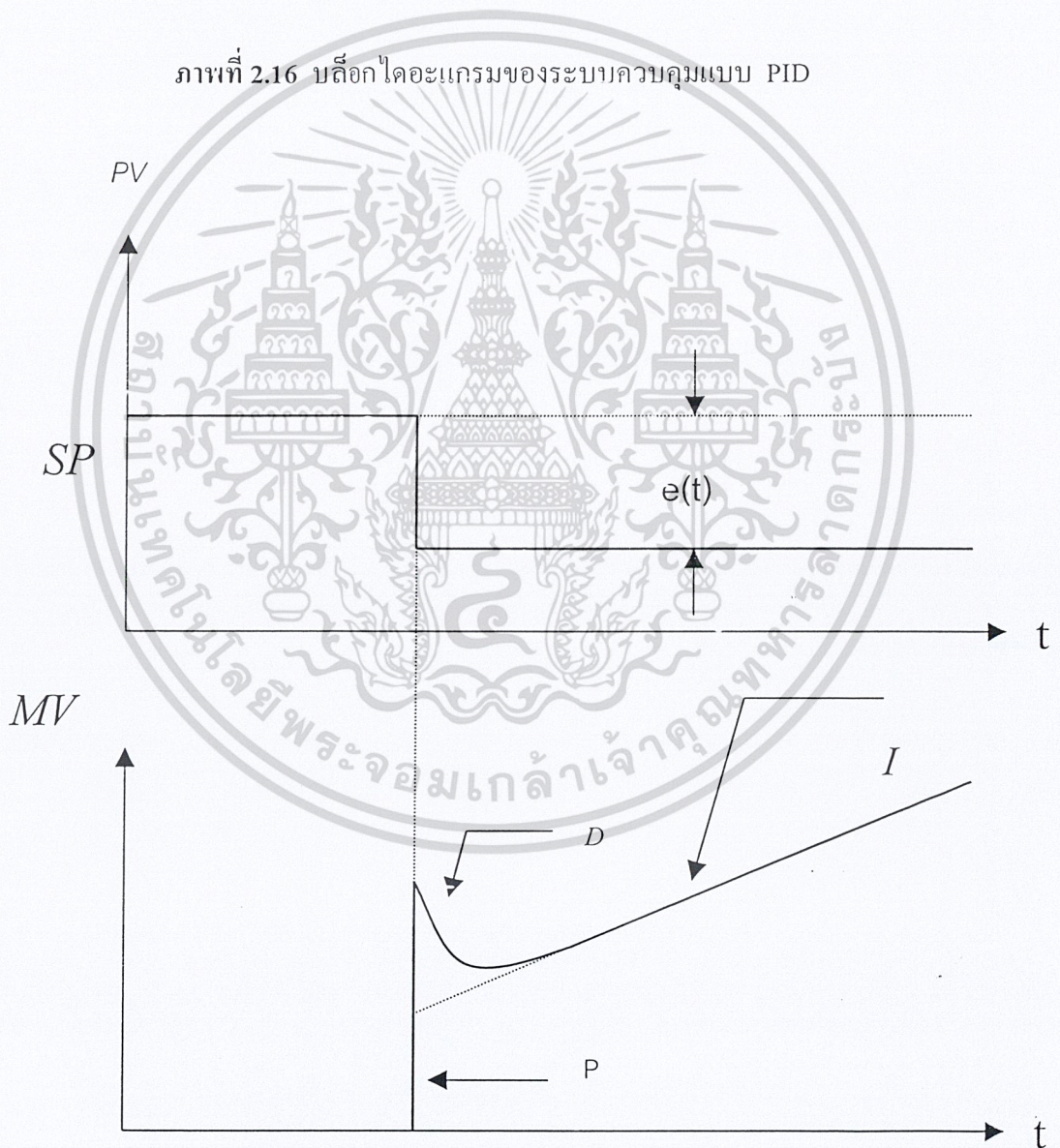
Transfer function คือ

$$\frac{m(t)/e(t)}{= \frac{Kp[1+1/Ti *S+Td *S]}{Kp[1+Ki/S+Kd *S]} \quad (15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ PID



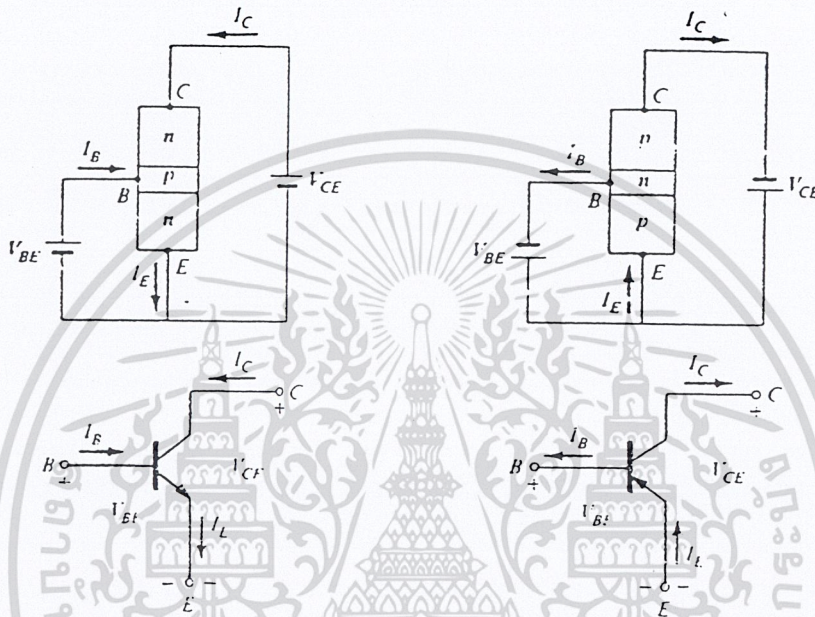
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาพที่ 2.17 ผลตอบสนองของ PID Action ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาทดสอบ

2.2.1 ทรานซิสเตอร์

ก) การต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม (Common - Emitter)

การต่อทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมเรามักจะพบเห็นกันอยู่เสมอ ๆ ลักษณะของการต่อดังในภาพ 2.18 มีทั้ง PNP และ NPN ทรานซิสเตอร์ ซึ่งขาอิมิตเตอร์เป็นขาร่วมระหว่างเบสกับคอลเลกเตอร์คุณสมบัติทางอินพุต และ เอาต์พุตได้แสดงดังในภาพ



ภาพที่ 2.18 สัญลักษณ์และเครื่องหมายของการต่ออิมิตเตอร์ร่วม

จากสมการ $I_C = \alpha I_E + I_{CO}$
 เพราะว่ $I_E = I_C + I_B$
 แทนค่า $I_C = \alpha(I_C + I_B) + I_{CO}$
 $I_C = \alpha I_C + \alpha I_B + I_{CO}$

$I_C(1 - \alpha) = \alpha I_B + I_{CO}$
 ดังนั้น $I_C = [\alpha I_B / 1 - \alpha] + [I_{CO} / 1 - \alpha]$

จากภาพที่ 2.18 เมื่อ $I_B = 0$ (Open I/P)

ดังนั้น $I_C = I_{CO} / 1 - \alpha$ เมื่อ $I_B = 0$ และ $\alpha = 0.996$

ดังนั้น $I_C = I_{CO} / 1 - 0.996 = I_{CO} / 0.004$
 $= 250 I_{CO}$ เมื่อ $I_B = 0$

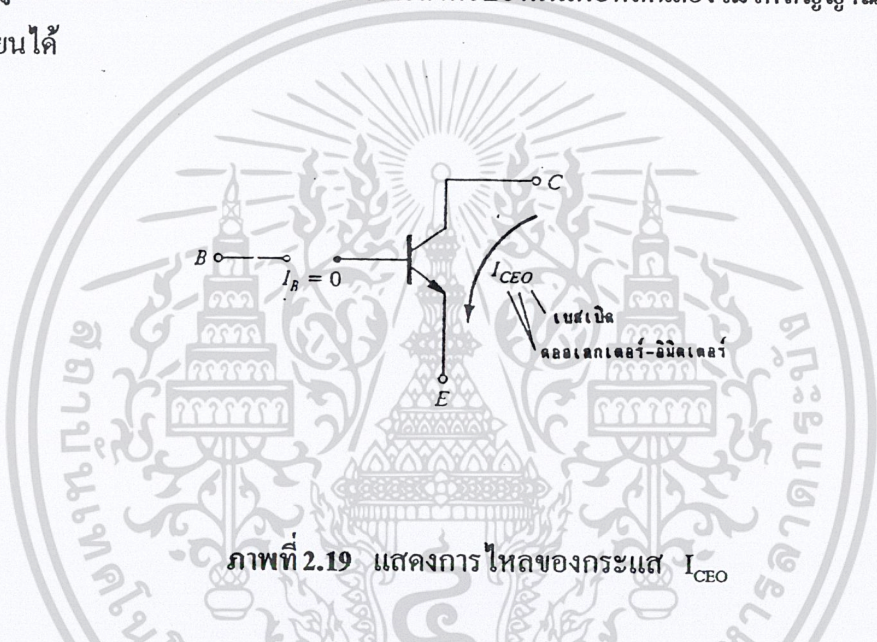
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า I_C เมื่อ $I_B = 0$ ก็คือค่าระหว่างแกน V_{CE} กับเส้นกราฟ $I_B = 0$ การหาค่า I_C ที่ $I_B = 0$ โดยแทนค่า $I_C = I_{CEO}$ ดังนี้

$$I_{CEO} = I_{CO} / 1 - \alpha \text{ เมื่อ } I_B = 0$$

จากภาพที่ 2.19 เป็นการแสดงทิศทางของ I_{CEO} ซึ่งได้จากการทดลอง ขนาดของ I_{CEO} สำหรับซิลิคอนจะมีค่าน้อยกว่าของ เยอรมันเนียม โดยซิลิคอนมีค่าเป็น ไมโครแอมแปร์แต่ เยอรมันเนียมมีค่าเป็นร้อยไมโครแอมแปร์

จุดประสงค์ของการขยายแบบเชิงเส้น (Linear) เพื่อต้องการให้ได้สัญญาณทางเอาต์พุต เหมือนกับทางอินพุต ซึ่งในคู่มือทรานซิสเตอร์จะกำหนด I_C ที่มีค่าเท่ากับ I_{CEO} นั่นก็คือย่านที่ I_B ต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งเราไม่ได้ใช้งานในวงจรขยายสำหรับย่านนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้สัญญาณเอาต์พุต เกิดการเพี้ยนได้



ภาพที่ 2.19 แสดงการไหลของกระแส I_{CEO}

ข) อัตราสูงสุดของทรานซิสเตอร์ (Transistor Maximum Ratings)

ใน Data sheet ของทรานซิสเตอร์มาตรฐานจะบอกอัตราสูงสุดอย่างน้อยสามอย่าง คือ แรงดันคอลเลกเตอร์ กระแสอิมิตเตอร์ และการสูญเสียของคอลเลกเตอร์ สำหรับคุณสมบัติ ทรานซิสเตอร์จะแทนด้วยภาพที่ 2.20 โดยที่อัตราสูงสุดจะบอกมาให้ตามนี้

$$P_{C \max} = 30 \text{ mW}$$

$$I_{C \max} = 6 \text{ mA}$$

$$V_{CE \max} = 20 \text{ V}$$

อัตราการสูญเสีย หรือกำลังไฟฟ้าจะเกิดจากแรงดันและกระแสคอลเลกเตอร์ในกรณีที่ต้องแบบอิมิตเตอร์ร่วม

$$P_C \max = V_{CE} * I_C$$

ในภาพที่ 2.20 กราฟที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) นั้นจะถูกกำหนดจากสมการ โดยการเลือกค่าต่าง ๆ ของ V_{CE} หรือ I_C เช่นที่ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ ไม่วากันแต่ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหามีเหตุแต่สิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

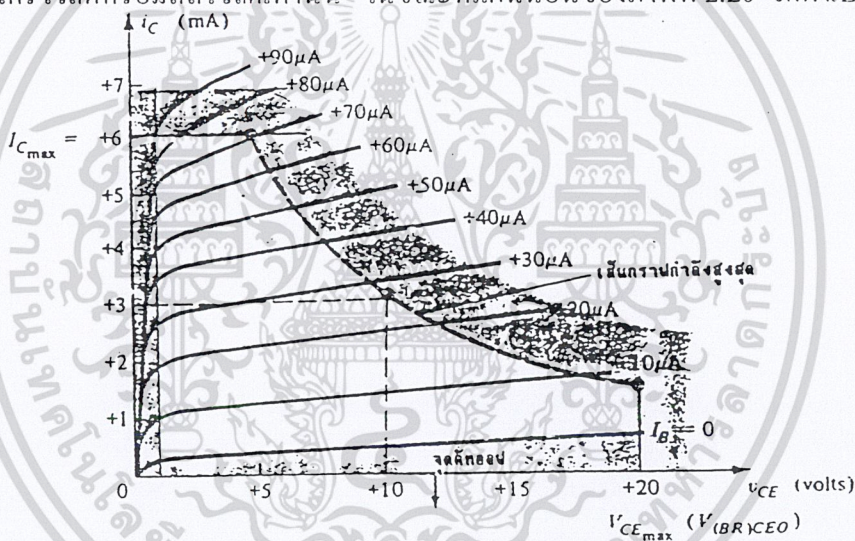
$$I_C = P_{C \max} / V_{CE} = 30 \cdot 10^{-3} / 10 = 3 \text{ mA.}$$

ในการออกแบบจะต้องหลีกเลี่ยงย่านที่อยู่เหนือกว่ากราฟที่ไม่เป็นเชิงเส้นนี้ เพราะจะทำให้อัตรากำลังไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์สูงกว่าค่าสูงสุด ซึ่งแรงดันคอลเลกเตอร์สูงสุดในภาพนี้จะอยู่ในแกนนอน และกระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดจะอยู่ในแกนตั้งของกราฟ

สำหรับการออกแบบเบสร่วม แรงดันคอลเลกเตอร์สูงสุดจะเป็น V_{CB} และการสูญเสียของคอลเลกเตอร์ จะถูกกำหนดโดยสมการ

$$P_{C \max} = V_{CB} I_C$$

สำหรับการออกแบบเพื่อให้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขยายต้องพยายามหลีกเลี่ยงคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นของย่านอิมิตัว และย่านคัทออฟโดยที่ย่านอิมิตัวจะแสดงให้เห็นในแนวตั้งที่ $V_{CE \max}$ และย่านคัทออฟจะอยู่ที่ $I_B = 0$ ดังในภาพที่ 2.20 ส่วนย่านที่เหลืออยู่จะเป็นย่านที่ใช้งานในการขยาย ถึงแม้ว่าพื้นที่ที่จะใช้งานลดลงไปมากก็ตาม แต่เราจะต้องคิดถึงว่า สัญญาณส่วนใหญ่จะมีค่าเป็นไมโครโวลต์หรือมิลลิโวลต์เท่านั้น ในขณะที่แกนนอนของภาพที่ 2.20 วัตถุประสงค์



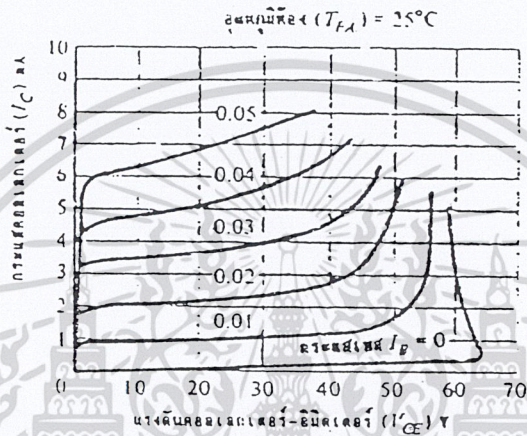
ภาพ 2.20 ย่านการทำงานสำหรับการขยาย

ค) รายละเอียดพิเศษเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์

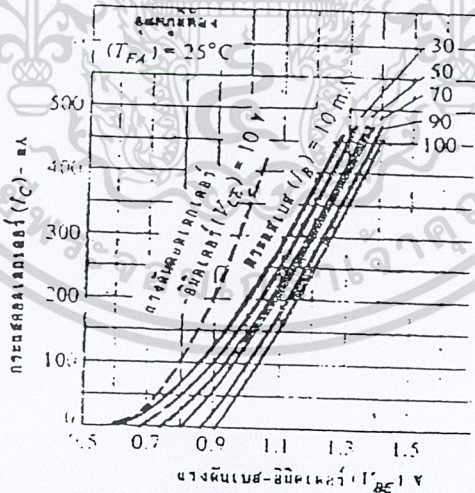
จะบอกกล่าวรายละเอียดและข้อมูลของทรานซิสเตอร์ 2N1711 เป็นทรานซิสเตอร์กำลังของ RCA. ข้อมูลดังกล่าวได้แสดงดังภาพที่ 2.21 ถึง 2.26 ตัวอักษร 0 ที่อยู่ท้ายตัวพารามิเตอร์จะบอกให้เราได้ว่า เป็นค่าที่ได้จากการเปิดวงจรของขาทรานซิสเตอร์ เช่น ICBO แสดงว่าเป็นค่าที่ขาอิมิตเตอร์เปิดวงจร จากภาพที่ 2.21 เท่ากับ $0.01 \mu\text{A}$ ที่ 25°C แต่จะเท่ากับ $10 \mu\text{A}$ ที่ 150°C สำหรับขนาดของ dc forward - current transfer ratio นั้นมีความหมายเหมือนกับ $\beta_{dc} = I_C / I_B$ มีค่าต่ำสุดคือ 20 ที่อุณหภูมิ 25°C ซึ่งในที่นี้จะไม่บอกกล่าวรายละเอียดทั้งหมด

ในภาพที่ 2.21 เนื่องจากว่า $V_{CE \max}$ ระดับคาปาซิเตอร์ และความต้านทานความร้อนนั้น เป็นที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รู้จักกันคืออยู่แล้ว ไม่ว่าจะใครๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเอาต์พุตได้แสดงในภาพที่ 2.21 ที่ระดับแรงดัน และกระแสสูงๆ จะทำให้คุณสมบัติเสียรูปไป ซึ่งย่านนี้จะเป็นย่านที่ควรหลีกเลี่ยงในการทำงานที่เป็นเชิงเส้นลักษณะของการทำงานที่เป็นเชิงเส้นก็คือ ลักษณะสัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุต จะต้องมรูปร่างเหมือนกับทางอินพุต แต่อาจจะมีขนาดเปลี่ยนไปที่รูปร่างลักษณะยังคงเหมือนเดิมอยู่ รูปร่างทางเอาต์พุตต้องไม่มีการทำให้เสียหรือ เปลี่ยนรูปไป อันเนื่องมาจากการที่ใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการไบแอสเพื่อการขยายสัญญาณ



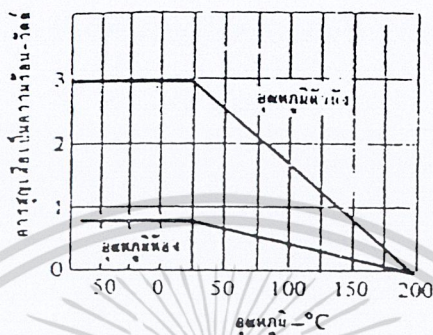
ภาพที่ 2.21 คุณลักษณะทางเอาต์พุต



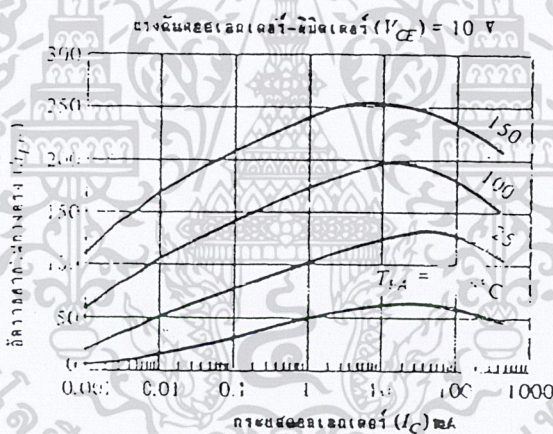
ภาพที่ 2.22 กราฟคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงของกราฟ V_{BE} กับ I_C เป็นการเพิ่มกระแสเบสพิจารณา I_B มีค่าเป็น มิลลิแอมป์แปร เราจะเห็นได้ว่า V_{BE} ที่มีค่าเป็น $V_0 = 0.7 V$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมในการทำงาน ดังนั้นกระแสเบสจึงมีค่าไม่เกิน 25 mA ตามภาพที่ 2.22 เดี๋ยวนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

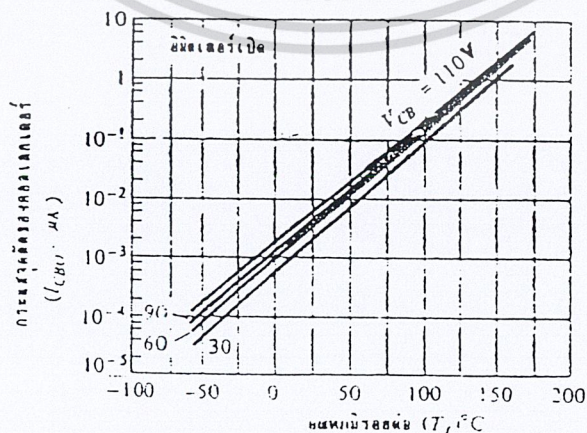
ภาพที่ 2.23 จะเป็นกราฟแสดงการลดลงของกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ ซึ่งมีอากาศถ่ายเทอิสระและจากเส้นกราฟที่การเปลี่ยนแปลงของ h_{fe} จะมีความสัมพันธ์กับ I_C ซึ่งขึ้นอยู่กับย่านอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปดังในภาพที่ 2.24



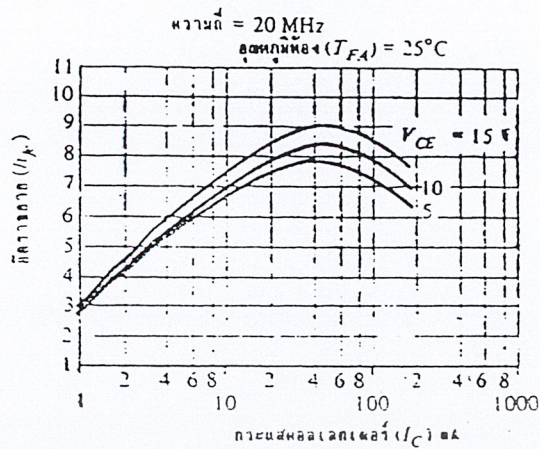
ภาพที่ 2.23 แสดงการทำงาน ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.24 คุณลักษณะอัตรขยายไฟตรง



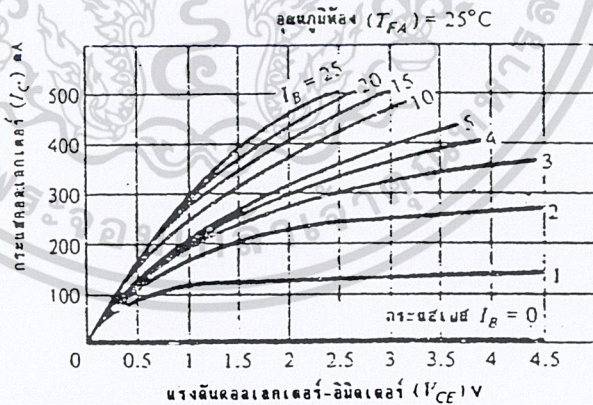
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 2.25 คุณลักษณะของกระแสขั้วเบส-เอมิเตอร์-คอลเลกเตอร์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งนี้ ไม่มีเหตุใด แต่สิ่งนี้เองก็ยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในการนำไปใช้



ภาพที่ 2.26 คุณลักษณะอัตรขยายสัญญาณ

ในภาพที่ 2.25 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง I_{CBO} กับอุณหภูมิที่รอยต่อที่แรงดันของ ขาคอลเลกเตอร์กับเบสต่างๆ กันจะพบว่าค่าของ I_{CBO} จะไม่ถึง 1 mA ถ้าอุณหภูมิรอยต่อไม่ถึง 135°C สำหรับสัญญาณเล็ก ๆ จากภาพที่ 2.26 ที่อยู่ทางซ้ายอินพุตมีการถ่ายเทด้วยอัตราส่วน h_{fe} ก็คือการวัดอัตรขยายทางเอซีของอุปกรณ์ขยายซึ่งมีค่า V_{CE} ต่าง ๆ กัน (ระดับสัญญาณ sine wave จะเปลี่ยนแปลง)

ในภาพที่ 2.27 เป็นการทดลองเปลี่ยนคุณสมบัติของคอลเลกเตอร์ที่ระดับกระแสสูง ๆ โดยการเพิ่มกระแสไปตามช่วงที่เป็นเชิงเส้นซึ่งแสดงจากเส้นกราฟของกระแส I_B ดังภาพ



ภาพที่ 2.27 คุณลักษณะทางเอาต์พุตของ RCA 2N1711

ง) เสถียรภาพการไบแอส

โดยทั่ว ๆ ไปการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลต่อการทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งทำให้คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) สูงขึ้น ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระในผลึกเพิ่มตามขึ้นไปด้วย จะทำให้กระแสคอลเลกเตอร์เพิ่มมากขึ้น การเพิ่มของกระแสคอลเลกเตอร์

นี้ไม่ได้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสอิมิตเตอร์ หรือกระแสเบส และเราเรียกกระแสคอลเลกเตอร์ที่เกิดนี้ว่า กระแสรั่ว (leakage current) โดยปกติแล้วในทรานซิสเตอร์จะมีกระแสรั่วระหว่างเบสและคอลเลกเตอร์อยู่แล้วแต่น้อยมาก จากการที่ขาคอลเลกเตอร์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสรั่วไหลมากขึ้น

จ) การเพิ่มหนี้อุณหภูมิ (Thermal Runaway)

เป็นการเปลี่ยนแปลงค่ากระแส I_C เป็นผลให้บริเวณรอยต่อระหว่างเบสและคอลเลกเตอร์ร้อนขึ้นเป็นผลให้เกิดกระแสรั่ว (I_{CO}) เพิ่มขึ้น

เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ I_C เพิ่มขึ้นอีก I_{CO} ก็จะเพิ่มตามขึ้นด้วย และเมื่อ I_C เพิ่มขึ้น ทรานซิสเตอร์ก็จะร้อนขึ้นเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ

ถ้าหากปล่อยให้ I_{CO} ไหลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ร้อนมากขึ้น และ ในที่สุดจะเกิดการเสียหายได้ เพื่อป้องกันการเสียหายแก่ทรานซิสเตอร์เนื่องจากความร้อน ทางบริษัทผู้ผลิตจึงกำหนดขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของทรานซิสเตอร์มาให้ ซึ่งแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งาน

ซิลิคอนทรานซิสเตอร์จะใช้งานที่อุณหภูมิได้สูงกว่าเยอรมันเนียมทรานซิสเตอร์ เมื่อเป็นทรานซิสเตอร์ขนาดเดียวกัน

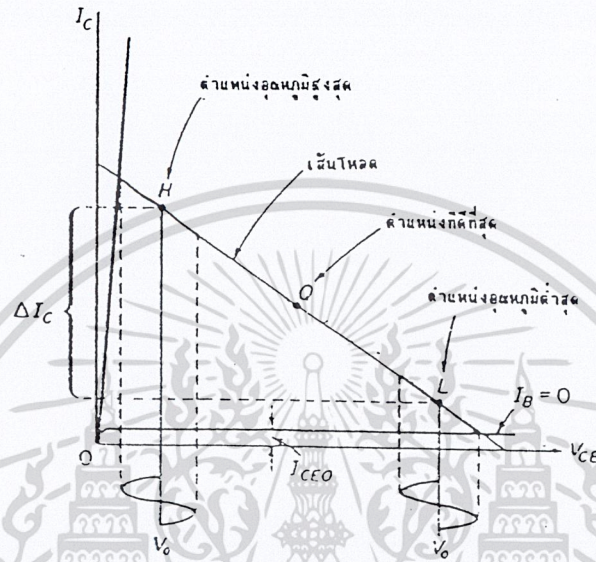
ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor) โดยมากจะติดตั้งไว้บนแผ่นระบายความร้อน เพื่อให้แผ่นระบายความร้อนเป็นตัวระบายความร้อนออกจากทรานซิสเตอร์ เป็นการป้องกันไม่ให้ความร้อนที่ตัวทรานซิสเตอร์ร้อนมากขึ้นขณะใช้งาน โดยทั่ว ๆ ไปทรานซิสเตอร์กำลังมักจะใช้ผนังของตัวเองเป็นขาคอลเลกเตอร์ เพื่อช่วยให้การระบายความร้อนได้มากขึ้น เพราะว่ากระแสในตัวทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงได้มีการนำเอาความต้านทานซึ่งเปลี่ยนค่าตามความร้อน ซึ่งเรียกว่า เทอร์มิสเตอร์ นำมาใช้งานในวงจรของอิมิตเตอร์ไบแอส เพื่อเป็นตัวกำหนดกระแสในระดับที่จะไม่ทำให้ทรานซิสเตอร์เกิดการเสียหาย ตัวเทอร์มิสเตอร์นี้ความต้านทานจะต่ำลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ฉ) เสถียรภาพต่ออุณหภูมิ (Thermal Stability)

จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่กล่าวมาแล้วนั้น การพิจารณาผลของวงจรส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับวงจรอิมิตเตอร์ร่วม กระแสไบแอสที่ไหลที่ขาคอลเลกเตอร์เพิ่มขึ้น หรือลดลงโดยตรงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับ เพื่อที่จะให้เข้าใจว่ากระแสคอลเลกเตอร์เปลี่ยนแปลงไปเท่าไร

เราพิจารณาจากค่าของแรงดันเอาต์พุต ดังในภาพ 2.28 V_o เป็นแรงดันทางเอาต์พุตที่ค่าไว้สูงสุด จุด L เป็นจุดทำงานที่ยอมให้ต่ำที่สุด และจุด H เป็นจุดทำงานที่ยอมให้สูงที่สุด

ถ้าจุดทำงานเคลื่อนที่ไปเหนือจุดคอนปลายซึ่งอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าจุดคอนปลายที่เป็นอุณหภูมิต่ำ จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนอย่างมากของสัญญาณเนื่องจากว่าเป็นจุดอิมิตัว และจุดตัด ตามลำดับ ซึ่งจุด Q เป็นตำแหน่งของจุดทำงานที่อุณหภูมิตรงกลางดีที่สุด และเราจะออกแนวจรไบแอสเพื่อที่จะจำกัดการเคลื่อนที่ของจุดทำงานเนื่องจากอุณหภูมิไม่ให้มากกว่าช่วงการเปลี่ยนแปลงของ I_C



ภาพที่ 2.28 แสดงตำแหน่งจุดการทำงานของวงจรเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากผลของกระแสที่ไหลบนขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์สามารถเขียนได้เป็นสมการ กระแสคอลเล็กเตอร์ร่วมกับกระแสรั่ว ได้ดังนี้

$$I_C = I_{C_{major}} + I_{CO}$$

$$= \alpha I_E + I_{CO}$$

เพราะว่า $I_E = I_C + I_B$

ดังนั้น $I_C = \alpha I_C + \alpha I_B + I_{CO}$

$$(1-\alpha)I_C = \alpha I_B + I_{CO}$$

$$I_C = \alpha I_B / (1-\alpha) + I_{CO} / (1-\alpha)$$

เพราะว่า $\beta = \alpha / (1-\alpha)$ และ $\beta + 1 = 1 / (1-\alpha)$

ดังนั้น $I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}$

จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส I_C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

(เพราะว่า I_C ไม่มีผลต่ออุณหภูมิโดยตรง) มีดังนี้

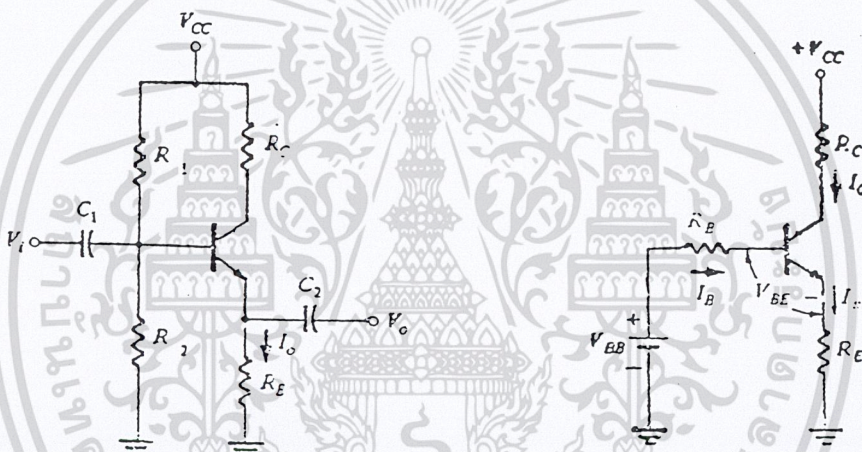
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า β ซึ่งมีผลเป็นอย่างมาก เราควบคุมได้ยากเพราะว่าแม้ในเบอร์เดียวกันค่า β ยังคงแตกต่างกันและที่อุณหภูมิต่างกันค่า β จะต่างกันด้วย

- เมื่อให้กระแส I_B คงที่ค่า V_{BE} จะลดลงประมาณ 2.5 mV ต่อทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส นั่นคือที่ V_{BE} คงที่ กระแส I_B จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ซึ่งเป็นผลของ V_{BE} ที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

ข) เสถียรภาพจากผลกรเปลี่ยนแปลงของ V_{BE} และ β .

เท่าที่กล่าวมาแล้วเราพูดถึงพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์คือ I_{CO} ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยค่า I_C เปลี่ยนแปลง แต่ในขณะที่เดียวกันก็ยังมีพารามิเตอร์อื่นอีกคือ V_{BE} จะลดลงในอัตรา 2.5 mV ต่อองศาเซลเซียส และ β จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.29 วงจรอิมิตเตอร์ไบแอส

ภาพที่ 2.30 วงจรสมมูลเทวินิน

วงจรทางอินพุต

จาก
$$V_{BB} = V_{BE} + I_C R_E + (R_E + R_B) I_B$$

แต่
$$I_B = \frac{I_C}{\beta} - \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_{CO}$$

แทนค่า I_B ในสมการ

$$\begin{aligned} V_{BB} &= (R_E + R_B) \left[\frac{I_C}{\beta} - \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_{CO} \right] + V_{BE} + I_C R_E \\ &= \left[\left(\frac{R_E + R_B}{\beta}\right) + R_E \right] I_C - (R_E + R_B) \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_{CO} + V_{BE} \end{aligned}$$

ให้
$$V' = (R_E + R_B) \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_{CO}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แทนค่า
$$V_{BB} = \left(\frac{R_E + R_B + \beta R_E}{\beta}\right) I_C - V' + V_{BE}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_C = \left[\frac{V_{BB} + V' - V_{BE}}{(\beta + 1)R_E + R_B} \right]^\beta$$

ดังนั้น

$$\Delta I_C = \Delta \left[\frac{V_{BB} + V' + V_{BE}}{(\beta + 1)R_E + R_B} \right]^\beta$$

2.2.2 ซิลิกอนเรกติไฟเออร์ไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่เรารู้จักและคุ้นเคยเป็นอย่างดี ขนาดของไดโอดที่ใช้งานมีตั้งแต่ไดโอดที่เป็นตัวเรกติไฟสัญญาณจนกระทั่งถึงไดโอดที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง สำหรับหัวข้อนี้เราจะเน้นเฉพาะส่วนของไดโอดที่ทำหน้าที่เป็นตัวเรกติไฟในระบบไฟฟ้ากำลัง

ไดโอดชนิดกำลัง (power diode) ก็มีคุณสมบัติเหมือนกับไดโอดทั่วไป แต่ในขณะที่เราไบแอสตรงแรงดันมีตกคร่อมตัวมันมักจะมีค่ามากกว่า 0.6 โวลต์ ซึ่งอาจอยู่ในราว 1-1.2 โวลต์ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดกระแสที่ำลังใช้งาน ถ้าหากว่าใช้กระแสสูงมาก แรงดันตกคร่อมตัวมันก็ยังมีค่ามาก ในขณะที่เราไบแอสกลับให้ไดโอด ไดโอดจะไม่นำกระแส แต่อย่างไรก็ตามถ้าให้แรงดันไบแอสกลับมีค่ามากถึงค่า ๆ หนึ่งจะเกิดการไหลของกระแสทะลุข้ามรอยต่อไปสถานะที่แรงดันนี้เรียกว่าแรงดันพัง (Breakdown voltage) ลักษณะคุณสมบัติของไดโอดนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีกระแสรั่วไหล ๆ ขณะที่ไบแอสกลับมากยิ่งขึ้นคุณสมบัติและขอบเขตการใช้งานของไดโอดกำลัง

แรงดันไบแอสกลับสูงสุด ค่าแรงดันนี้บอกถึงขอบเขตการใช้งานกับแรงดันได้สูงสุดคือหากใช้งานที่แรงดันสูงเกินกว่าค่านี้ก็จะเป็นการเสี่ยงต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับไดโอด

กระแสไบแอสตรงสูงสุด ในไดโอดกำลังนั้นเราต้องคำนึงถึงขีดจำกัดข้อนี้ด้วย ค่าที่บอกในรายละเอียดของข้อมูลที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดให้มิได้หลายแบบ เช่น เป็นค่ากระแสเฉลี่ย (I_{AV}) กระแสสูงสุด (I_M) และกระแสอาร์เอ็มเอส (I_{RMS}) ค่าความสัมพัทธ์ของกระแสเหล่านี้จะเป็นดังนี้

$$I_M = \pi I_{AV}$$

$$I_{RMS} = I_M / \sqrt{2}$$

กระแสไบแอสตรงสูงสุดนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้งานด้วย หากที่อุณหภูมิสูงค่าพิคกระแสสูงสุดจะมีขนาดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

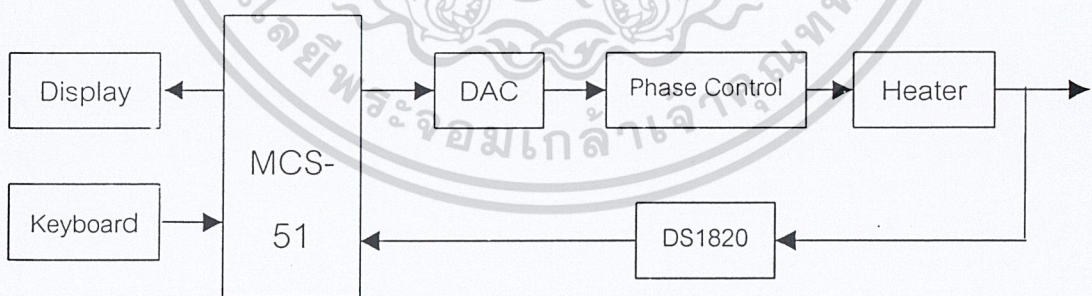
บทที่ 3

หลักการการทำงานของระบบควบคุม และระบบแสดงผล

3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุม

3.1.1 การออกแบบระบบควบคุม

ระบบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นระบบที่มีความเฉื่อยจัดอยู่ในประเภท โพรแกรมช้า (Slow Process) เพราะมีการรับและคายพลังงานความร้อนช้า ในการควบคุมอุณหภูมิ จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบ 3 โหมด คือ Proportional mode, Integral mode และ Derivative mode (PID mode) ในการทำโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวเขียนแบบ ตัวควบคุมแบบ PID ไปควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อนในระบบโดยมีการรับรู้โดยใช้ ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820 ส่งเป็นสัญญาณดิจิทัลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ และคำนวณตามสมการ PID โดยติดต่อผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น อนุาลอก แล้วนำข้อมูลที่คำนวณได้ไปผ่านวงจรเฟสคอนโทรลเพื่อไปกระตุ้นไทรแอก (TRIAC) จ่ายพลังงานแก่ขดลวดความร้อนที่จ่ายพลังงานความร้อนให้แก่ระบบ มากหรือน้อยตามข้อมูลจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอันครบกระบวนการในแต่ละรอบของการควบคุม ดังบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 หลักการทำงานของระบบควบคุม

- 1) ไอซี DS1820 เป็นตัวรับรู้ (Sensor) จะรับรู้อุณหภูมิของโปรเซสแล้วติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้การติดต่อแบบระบบบัสหนึ่งสาย ซึ่งไอซี DS1820 มีย่านวัดอุณหภูมิ -55 ถึง +125 องศาเซลเซียส
- 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ใช้ตระกูล MCS-51 ขนาด 8 บิต) โดยใช้เบอร์ AT89C52 ซึ่งใช้ภาษาแอสเซมบลีเขียนโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับเอาค่าสัญญาณจาก DS1820 มาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set Point) และคำนวณตามสมการ PID ที่โปรแกรมเอาไว้
- 3) สัญญาณดิจิทัลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณแล้วจะผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาล็อกซึ่งจะกลับเป็นค่าศักดาไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่งเรียกว่า สัญญาณควบคุม
- 4) สัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณพัลส์ด้วยวงจรเฟสคอนโทรล และส่งไปกระตุ้นไทรแอกเพื่อทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อน วงจรนี้เรียกว่าแอกทูเอเตอร์ (Actuator)
- 5) ขดลวดความร้อนจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนสู่โปรเซสเป็นขั้นตอนสุดท้าย ก็อระบบทั้งหมดจะทำงานตามขั้นตอนเริ่มตั้งแต่ข้อ 1) ถึง 5) หลาครอบงวนกระทั่งได้อุณหภูมิของโปรเซสคงที่ตามที่ต้องการ ซึ่งได้ถูกโปรแกรมไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.3 PID CONTROLLER สำหรับ DIGITAL SIGNAL

เนื่องจากสัญญาณที่ Controller นำมาคำนวณนี้เป็นสัญญาณ Digital ดังนั้น สมการในการคำนวณ PID เดิม ที่ใช้สำหรับสัญญาณอะนาล็อก จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง จึงสามารถพิจารณาได้ดังนี้

สัญญาณควบคุม (Control Signal) จาก PID Controller สามารถคำนวณได้จาก

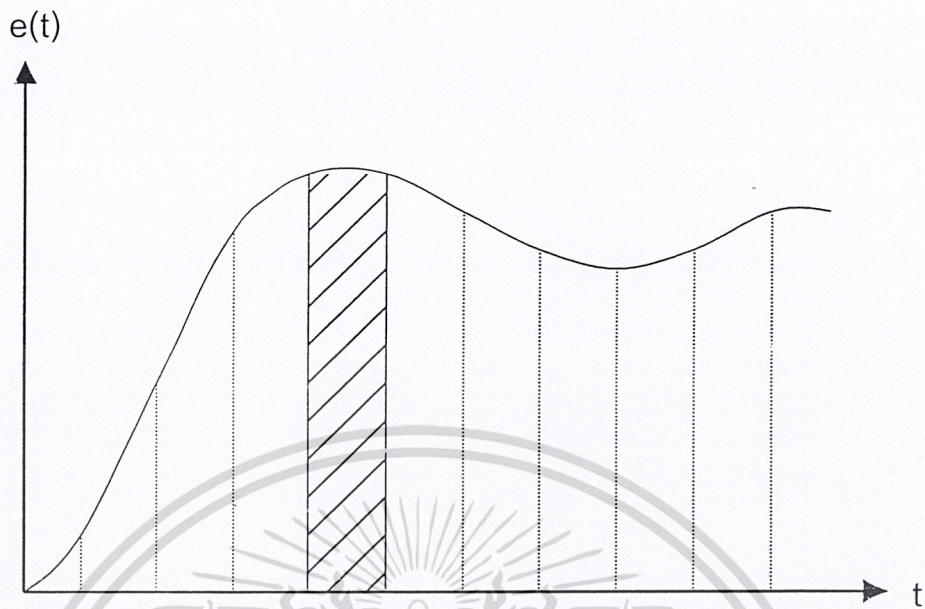
$$Me(t) = K_p * e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d * (de(t)/dt)$$

โดย $e(t) = SP - PV(t)$

พิจารณาเป็น 3 ส่วน คือ

$$M(t) = Mp(t) + Mi(t) + Md(t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



t1 t2
T

e(t) = Error Value

T = Sampling period

ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง e(t) กับ t

เมื่อพิจารณาตามภาพที่ 3.2 จะเห็นว่าค่าในส่วนของ Proportion Controller จะคงเดิม คือ $M_p(t_2) = K_p * e(t_2)$

ค่าของ Integral Controller โดยพิจารณาตามรูป จะเห็นว่าค่าในส่วนของ $\int e(t)dt$ ก็คือพื้นที่ใต้กราฟนั่นเอง เมื่อกำหนด T เป็นคาบในการ Sampling มีค่าน้อยมากๆ แล้ว จะคิดพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้ นั่นก็คือ

$$M_i(t_2) = K_i * e(t_2) * T + M_i(t_1)$$

ค่าของ Derivative Controller จากรูป ค่าในส่วนของ $de(t)/dt$ ก็คือความชัน (Slope) ของกราฟนั่นเอง เพราะฉะนั้น

$$M_d(t_2) = K_d * [e(t_2) - e(t_1)] / T$$

เมื่อรวมเข้าด้วยกันจะได้ว่าสัญญาณควบคุมที่เป็น Digital Signal สามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $M(t) = K_p * e(t) + K_i * e(t) * T + K_d * [e(t_2) - e(t_1)] / T + M_i(t_1)$ ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้จึงจะอยู่ในส่วนของ โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหา Manipulated Value จากค่า Error โดยมีความสัมพันธ์ของคาบเข้ามาเกี่ยวข้อง นั้นแสดงว่า ในการทำงานจริงคาบที่ใช้ในการคำนวณของ Controller จะต้องเท่ากับคาบในการนำสัญญาณ Input เข้ามาของ A/D จริงๆ มิฉะนั้น ค่าที่คำนวณออกมาจะผิด และอาจทำให้ระบบไม่เสถียรได้ เช่น ถ้ากำหนดคาบในการคำนวณเป็น 0.1 วินาที แต่คาบในการส่งสัญญาณจริงจะสั้นทุกๆ 0.01 วินาที นั้นแสดงว่าค่าที่คำนวณได้ในส่วนของ Integral จะมากกว่าความเป็นจริง แต่ในส่วนของ Derivative จะน้อยกว่าความเป็นจริงตลอดทุกๆ คาบ ซึ่งจะส่งผลทำให้ระบบ Unstable ได้

3.2 หลักการทำงานของระบบแสดงผล

การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม ระบบบัส I²C .

I²C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดย บัส I²C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถที่จะติดต่อสั่งงาน และควบคุมภายใต้สัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมากขึ้น เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดค่าแอดแдресหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสถานะลอจิก ที่ขาแอดแдресของอุปกรณ์แต่ละตัว

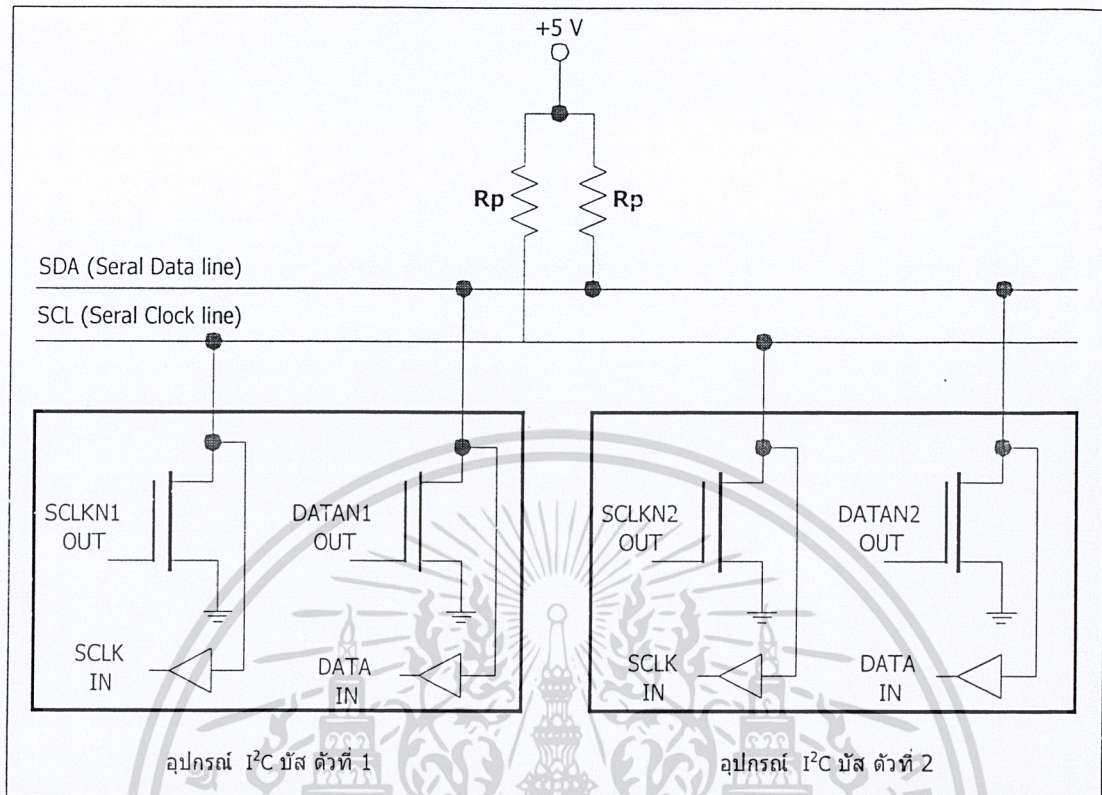
สายข้อมูลบนบัส I²C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data Line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock Line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDA และ SCL

อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อด้วยบัส I²C มีหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O Expander), ไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก (DAC), ไอซีรีลไทม์ล็อก (RTC), ไอซีขับโมดูล LCD, หน่วยความจำอีพรอมและไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของบัส I²C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (BI-directional) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังที่ช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสองวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรทรานซิสเตอร์เปิด (open-drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open-collector) ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทเอกชนที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อบนระบบบัส I²C

อัตราการถ่ายทอข้อมูลบนบัส I²C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL นั้นไม่เกิน 400 pf การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C ให้ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่า คือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

3.2.2 หลักการของบัส I²C

บัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โพรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่และอุปกรณ์ใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามอุปกรณ์ที่ต่อบนบัส I²C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I²C ต่อไป

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า (transmitter)

อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (receiver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทางผู้รับบริการใช้จนเมื่อเรียนจบแล้วนั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการทำงานหรือการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่า (master)

อุปกรณ์ที่ควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

- 1) การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
- 2) ในการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

3.2.3 สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C

มีด้วยกัน 5 สถานะดังนี้

1) บัสว่าง (Bus not busy) สถานะที่เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สถานะเริ่มต้น (START)

3) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (Data valid) สถานะนี้เกิดขึ้นถัดจากสถานะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูงขณะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสถานะหยุดหรือสถานะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายตอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

4) รับรู้ข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (Acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่ถูกต้องอิงถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้น ก็จะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หยุดการถ่ายทอข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

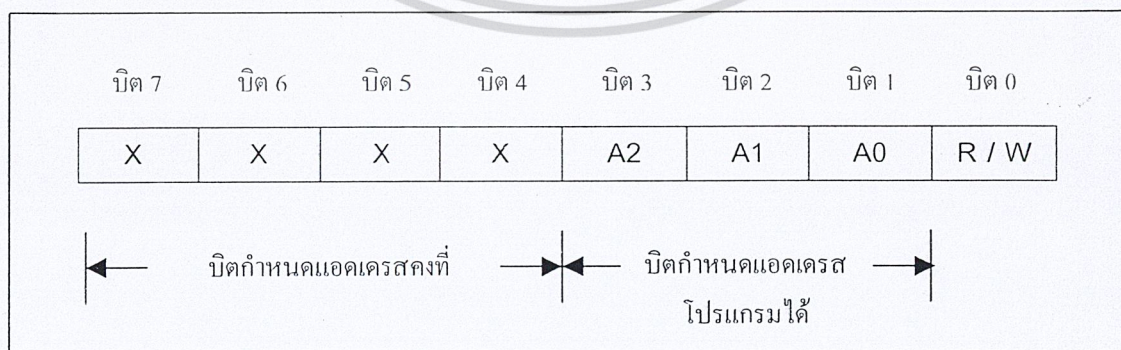
3.2.4 การทำงานบนบัส I²C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างอิงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการอ้างอิงถึงอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นจะมีการอ้างอิงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิตก็พอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องมีการอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูลกันต่อไป

ดังนั้นหัวใจสำคัญอันดับแรกในการทำงานของบัส I²C คือการอ้างอิงอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งในที่นี้จะอธิบายในรายละเอียดของการอ้างอิงทั้ง 2 รูปแบบ

1) การอ้างอิงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ โดยมีรูปแบบแสดงในภาพที่ 3.4 ใน 7 บิต บนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (Fix addressing) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้น ๆ หากบิต LSB เป็น "0" หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารภาพที่ 3.4 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงอุปกรณ์บนระบบบัส I²C ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (Control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนด ข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใด เป็นอินพุตบิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (Data)

หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์แล้วนั้น อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้อง ส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้

2) การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต (10-bit addressing)

ในการอ้างอิงแบบนี้ยังคงใช้ข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิตหากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติม ขึ้นมาเล็กน้อย โดยใช้ข้อมูลแรกหลังเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูล ไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อ ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วยข้อมูลไบต์ถัดไป จึงเป็นข้อมูลไบต์ควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นจึงเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

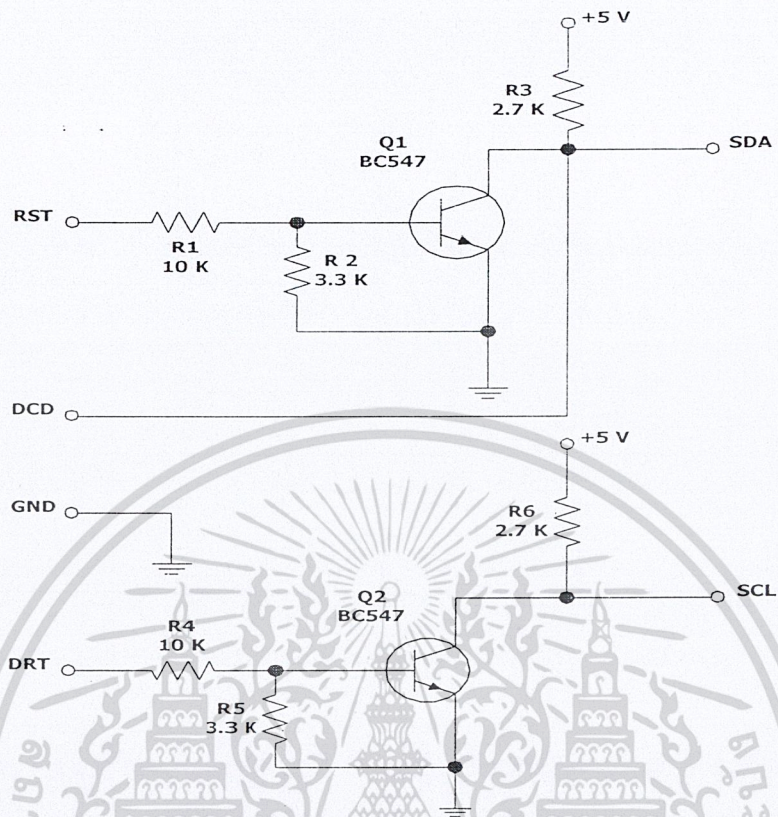
เช่นเดียวกับการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต หลังการถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสถานะ รับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้การถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินไปได้

3.2.5 วงจรแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I²C

เพื่อให้สัญญาณของพอร์ตอนุกรมจากคอมพิวเตอร์ สามารถที่จะติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ต้องมีวงจรเพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณ SDA และ SCL ขึ้น จากสัญญาณของพอร์ตอนุกรม ดังมีตัวอย่างวงจรตามภาพที่ 3.5 โดยในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ เข้าสู่บัส I²C นี้ต้องกำหนดให้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์มาสเตอร์เท่านั้น

ทรานซิสเตอร์ Q₁ และ Q₂ ได้รับการจัดให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเล็กเตอร์ เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาต์พุตของบัส I²C โดย Q₁ ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสาย SDA ในขณะที่ Q₂ ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณของสาย SCL ไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5V จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นเบอร์มาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ที่สามารถตอบสนองความถี่สูงได้ถึง 100 kHz ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะถ่ายทอดสู่สาย SDA ของบัส I²C ผ่านทางขา RTS และรับรู้ข้อมูลเข้าทางขา DCD ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาที่ออกจากพอร์ตอนุกรมจะถูกส่งมาทาง ขา DTR เพื่อใช้เป็นสาย SCL สำหรับบัส I²C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I²C ของพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

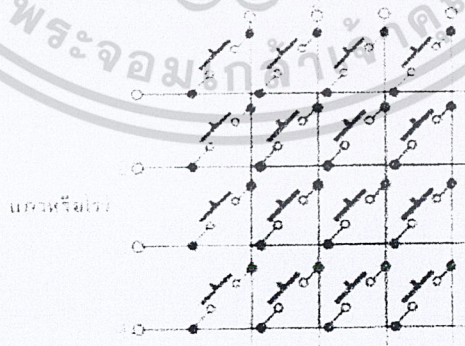
บทที่ 4

การออกแบบวงจร

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีใน โครงสร้างของการวิจัยในด้านของตัววงจร วิธีการต่อวงจร เชื่อมส่วนต่าง ๆ เข้ากับตัว IC MCS-51 และตลอดจนการต่อวงจรอีกมากมายที่ใช้ในการวิจัย

4.1 การเชื่อมต่อกับคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริกซ์

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกงานหนึ่งที่ไม่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องสามารถ รองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมด้วยได้ วงจรของสวิตช์มีด้วยกันสองลักษณะใหญ่ ๆ คือ การต่อ เข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง วงจรของสวิตช์อีกลักษณะหนึ่งคือ การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ ดังในภาพที่ 4.1 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวตั้งและแนวนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่า แถวหรือโรว์ ดังนั้นค่าของสวิตช์จะประกอบไปด้วย ตำแหน่ง ในแนวหลักและแถว กระบวนการที่จะทำให้ได้มาซึ่งค่าของสวิตช์มีขั้นตอนซับซ้อนพอสมควร แต่ วงจรของสวิตช์แบบนี้มีข้อดีคือสามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวก เพียงเพิ่มเติม จำนวนสวิตช์และแก้ไขซอฟต์แวร์อีกเล็กน้อย ทำให้วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์เป็นที่นิยมใช้มาก ในระบบควบคุมอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไป จะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า คีย์แพด (keypad)

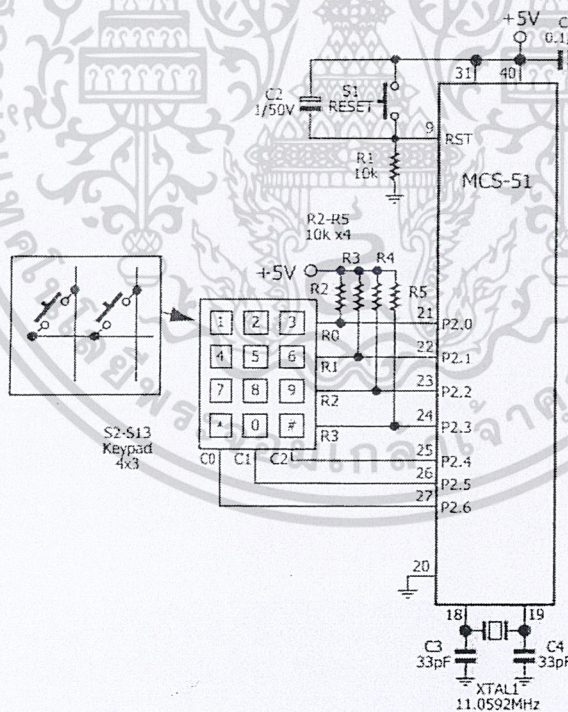


ภาพที่ 4.1 แสดงวงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

มีตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4.2 จะใช้พอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเข้ากับคีย์แพดทั้ง 7 เส้นคือ สายของคอลัมน์ 3 สาย C0-C2 และสายทางโรว์หรือแถวอีก 4 สายคือ R0-R3 โดยเฉพาะที่ขาพอร์ต P2.0-P2.3 จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้เพื่อกำหนดสถานะเริ่มต้นที่ไม่มีการกดคีย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูล “0” ไปยัง P2.6, P2.5 และ P2.4 ตามลำดับ ในทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลไปยังสายคอลัมน์ของคีย์แพดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าที่ P2.0-P2.3 เข้ามาด้วย หากไม่มีการกด ค่าของ P2.0-P2.3 ก็จะเป็น “1” ทั้งหมด ถ้าหากไม่มีการกดคีย์ ค่าของ P2.0-P2.3 ก็จะไม่เป็น 1111 อีกต่อไป เป็นการแจ้งให้ทราบว่ามีการกดคีย์แพดขึ้นแล้ว จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการค้นหาตำแหน่งต่อไป โดยการค้นหาตำแหน่งสิ่งที่จะได้มาอย่างแรกคือ ค่าตำแหน่งของคีย์นั้น จากนั้นก็จะนำค่าตำแหน่งนั้นไปเปิดตารางข้อมูลเพื่อจะได้หมายเลขของคีย์ที่กดอย่างแท้จริง ตัวอย่างจากวงจรในภาพที่ 4.2 หากคีย์ 0 ถูกกด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้ตำแหน่งของคีย์ 0 เป็น 0BH จากนั้นนำค่า 0BH นี้ไปเปิดตารางก็จะได้ข้อมูลเป็น 0 ซึ่งกระบวนการหลังจากนี้จะเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์



ภาพที่ 4.2 แสดงวงจรเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD module)

โมดูล LCD ขนาด 16 x 2 มีขาต่อใช้งานจริงทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขา ดังภาพที่ 4.3 สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

Vss (ขา1) : ต่อกราวด์

Vdd (ขา2) : ต่อไฟเลี้ยง + 5 โวลต์

Vo (ขา3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา4) : เป็นขาชนิดที่ใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผล ในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลของรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

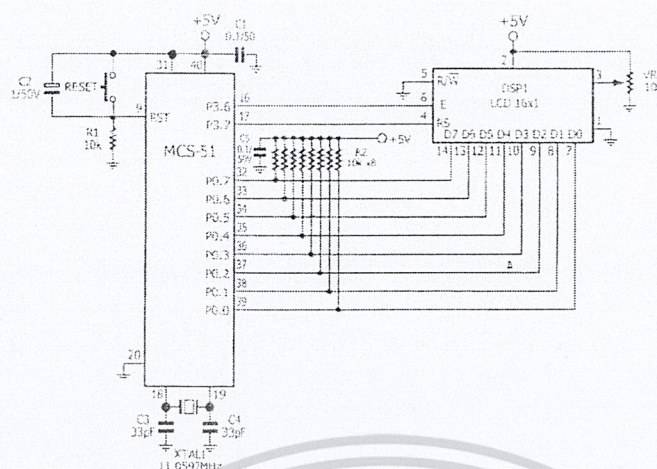
E (ขา6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา7-14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก ขนาด 8 บิต



ภาพที่ 4.3 แสดงรูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



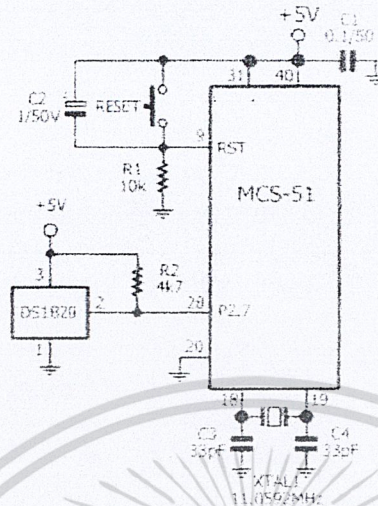
ภาพที่ 4.4 แสดงวงจรเชื่อมต่อไมโคร LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

4.3 การเชื่อมต่อกับไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820 เป็นไอซีตรวจจับอุณหภูมิที่ใช้ในการติดต่อแบบระบบบัสหนึ่งสายมีขาต่อใช้งานเพียงสามขา คือ DQ ซึ่งเป็นขาเชื่อมต่อกับระบบบัส ขาต่อไฟเลี้ยงภายนอกและขากราวด์

หัวใจสำคัญของ DS1820 อยู่ที่ตัวตรวจจับอุณหภูมิและหน่วยความจำความเร็วสูงที่เรียกว่าสแตตซ์แพด ซึ่งมีขนาด 9 ไบต์ มีการจัดสรรหน่วยความจำ เมื่อวัดอุณหภูมิได้ก็จะนำค่าที่วัดได้มาเก็บไว้ในสแตตซ์แพดที่ไบต์ 0 และ 1 ทั้งนี้เนื่องจากขาไอซี DS1820 สามารถให้ข้อมูลของอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 16 บิต เมื่อนำมาแปลงข้อมูลเลขฐานสิบจึงสามารถแสดงความละเอียดของค่าอุณหภูมิได้ถึง 0.5 องศาเซลเซียส และ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ โดยมีย่านวัดอุณหภูมิ -55 ถึง +125 องศาเซลเซียส หรือ -67 ถึง +257 องศาฟาเรนไฮต์ โดยค่าขององศาฟาเรนไฮต์ต้องใช้การแปลงหน่วยเข้ามาช่วย ระยะเวลาในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็น ข้อมูลดิจิทัลประมาณ 200 มิลลิวินาที สามารถกำหนดขอบเขตของอุณหภูมิที่ทำการวัดได้ และให้แจ้งเตือนเมื่อค่าของอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดต่ำลงถึงค่าที่กำหนด โดยค่าอุณหภูมิที่กำหนดนี้จะเก็บไว้ในที่สแตตซ์แพดในไบต์ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อ DS1820 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

4.4 การใช้งานไอซี ADC/DAC (PCF8591)

ในการทดลองจะใช้ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องจากในตัวมันมีวงจร ADC แบบซิกเซสซิฟแอมป์ร็อกซิเมชันขนาด 8 บิต สูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่องด้วย ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5 V ถึง 6 V
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนด์บายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C
- เลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงถึง 8 ตัว

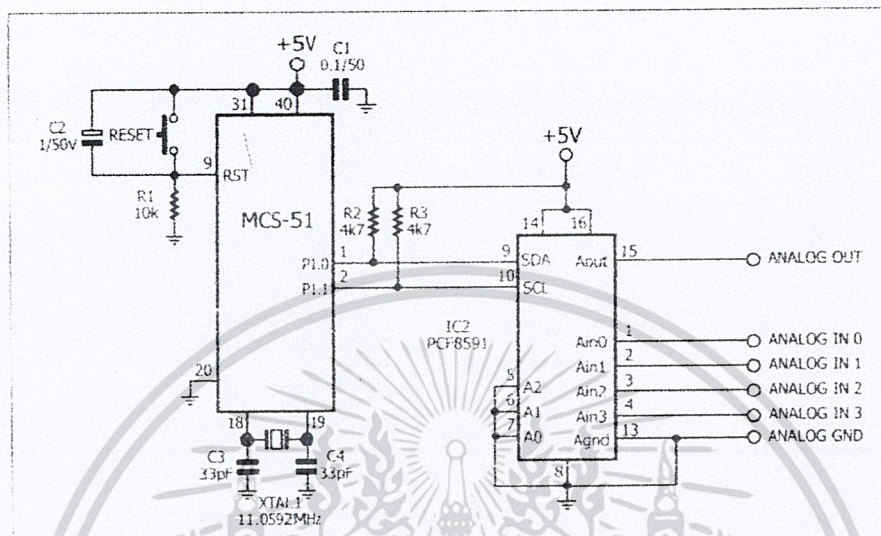
ถึง 8 ตัว

- อัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล สามารถรับสัญญาณอะนาลอกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าจะทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นแบบซีกเซตซีฟแอฟพรีอิกซิเมชัน 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกขนาด 8 บิต 1 ช่อง



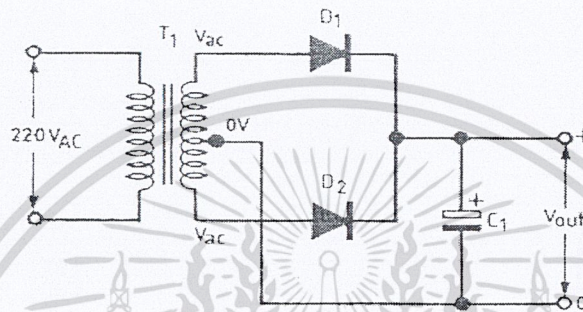
ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591

PCF8591สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I²C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2

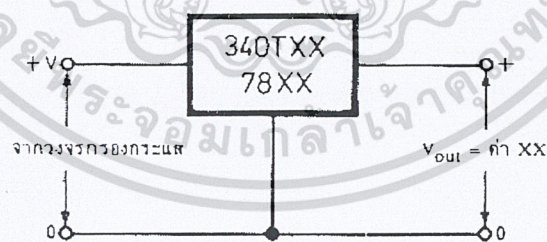
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจรเรกติไฟเออร์

แบบเต็มคลื่นใช้แท่งกลาง (Full-wave center tap rectifier) แบบนี้ต้องใช้หม้อแปลงที่มีแท่งกลาง (Center tap) ด้วย เพื่อผลของการจ่ายกระแสสูง ๆ มีอัตราการกระเพื่อมน้อยกว่าแบบครึ่งคลื่นเพราะใช้แรงดันไฟสลับ ทั้งซีกบวกและลบ ทำให้ใช้ตัวเก็บประจุกรองไฟที่มีค่าไม่สูงนักได้ลักษณะการต่อวงจรนี้ในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 วงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นใช้แท่งกลาง

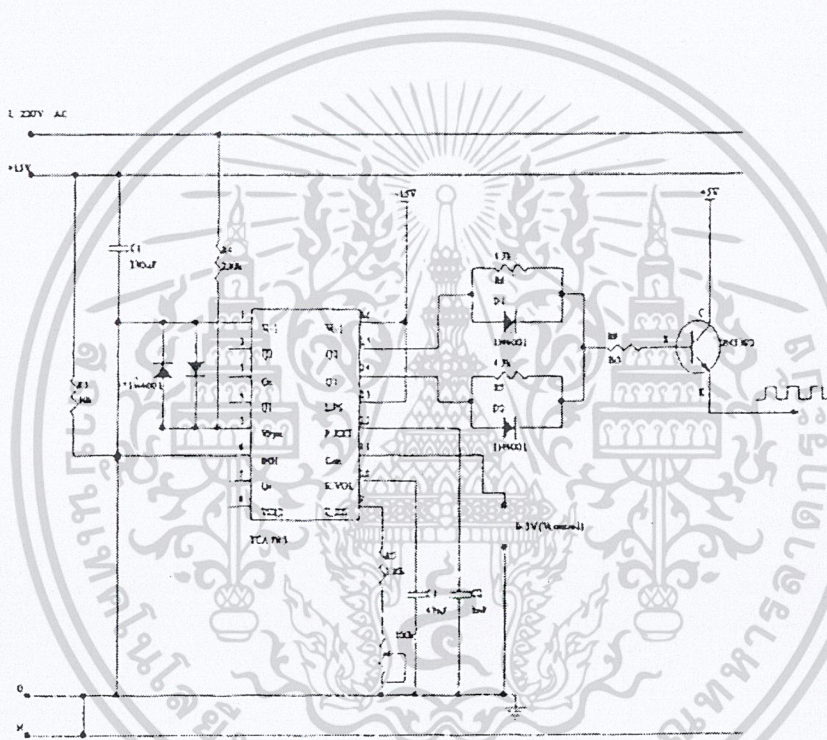


ภาพที่ 4.8 แบบใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ 3 ขา ชนิดไฟบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริก

วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริกนี้จะใช้ไอซีเบอร์ TCA785 ซึ่งวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริก จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมซึ่งเป็นสัญญาณไฟดิซี ซึ่งมีระดับสัญญาณหลายระดับคือ เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 – 5 โวลต์ ให้เป็นสัญญาณพัลส์ เพื่อส่งไปกระตุ้นที่ขาเกตของไทรแอก เพื่อควบคุมกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ ขดลวดความร้อน ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ TCA785 จะใช้สัญญาณอ้างอิงจากเอซีไลน์ มาสร้างพัลส์ทริกพร้อมกับสัญญาณที่ได้จากพัลส์วิดมอดดูเลชัน ระหว่าง Vcontrol กับสัญญาณแรมพ์ที่มีความถี่ที่และแอมปริจูดคงที่ โดยสัญญาณ Vcontrol จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับการควบคุม

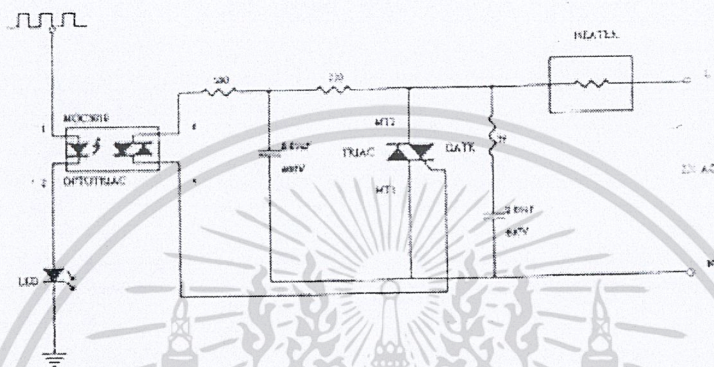


ภาพที่ 4.9 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน

ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน ในปริิณญาณินพนธ์นี้ จะขอใช้ ไตรแอกในการควบคุม ซึ่งกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อนจะขึ้นอยู่กับมุมจุดชนวนที่ ขาเกตของไตรแอก ซึ่งถูกส่งมาจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริกนั้นเอง และเราจะใช้อุปโต ไอโซเลเตอร์เพื่อแยกกราวด์ของสัญญาณควบคุมกับสัญญาณทางด้านวงจรกำลัง



ภาพที่ 4.10 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

สำหรับในบทนี้คือนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการทดสอบมาให้ความร้อนตามอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วนำแรงดันที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์โดยผ่านระบบบัส I²C โดยใช้โปรแกรม Visual Basic เป็นตัวควบคุมในการเก็บค่าแรงดันที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิแต่ละค่าในการทดสอบได้ใช้การควบคุมแบบ PID โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล

5.2 การทดลองและผลการทดลอง

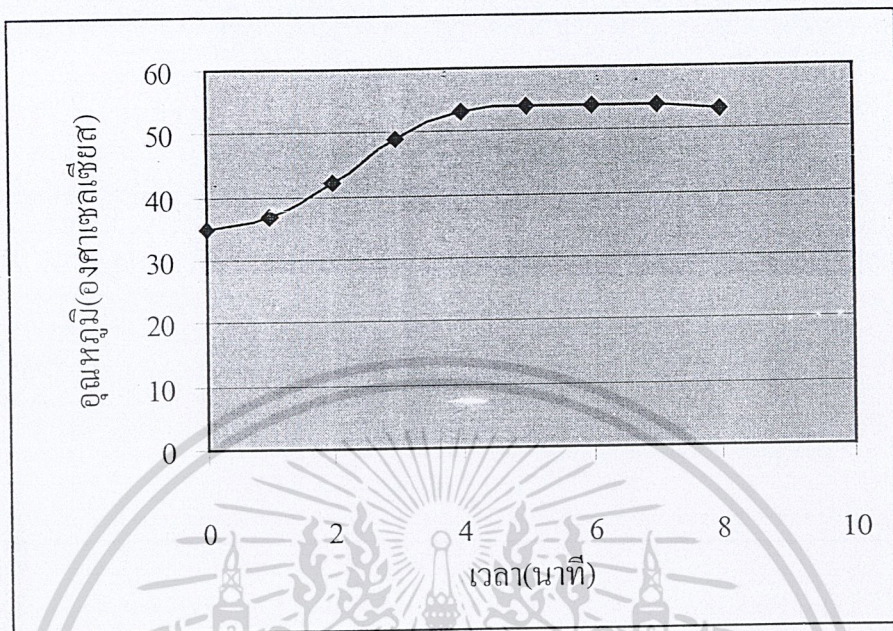
5.2.1 การทดลองที่ 1

เป็นการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i , K_d ที่เหมาะสมเพื่อให้ผลตอบสนองดีที่สุด ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการควบคุม คืออุณหภูมิของลมร้อน ซึ่งพัดผ่านมาทางฮีตเตอร์ที่เป็นตัวให้ความร้อนนั่นเอง ซึ่งในการทดลองนี้จะทดลองปรับเพิ่ม และลดค่าพารามิเตอร์ทั้งสามในแต่ละครั้งเพื่อดูปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปของกราฟผลตอบสนอง เมื่อได้ผลตอบสนองดีที่สุดแล้วก็จะนำค่าพารามิเตอร์ทั้งสามไปใช้ในการควบคุมจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

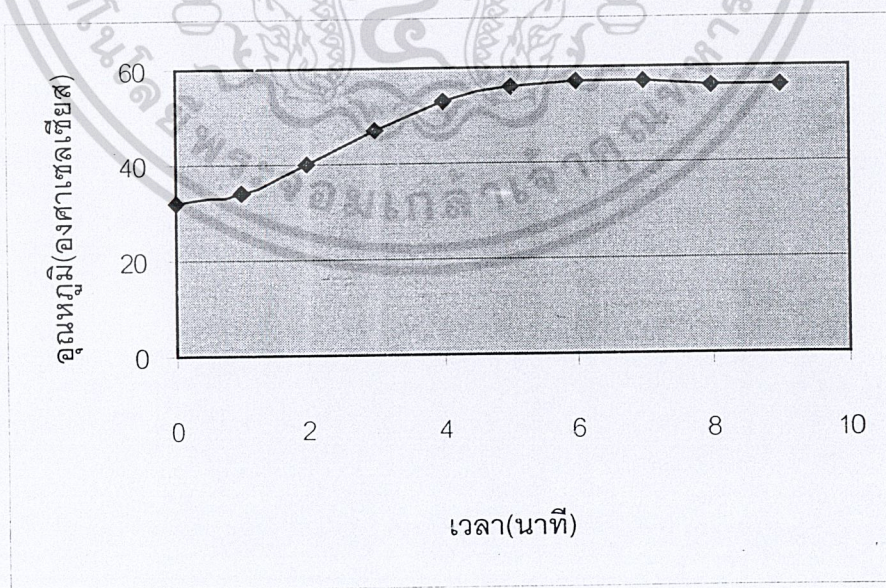
กราฟผลตอบสนองที่ได้จากการทดลอง

การทดลองที่ 1 ให้ค่า $K_p=2$ $K_i=0.25$ $K_d=3$ โดยตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายไว้ที่ 60°C



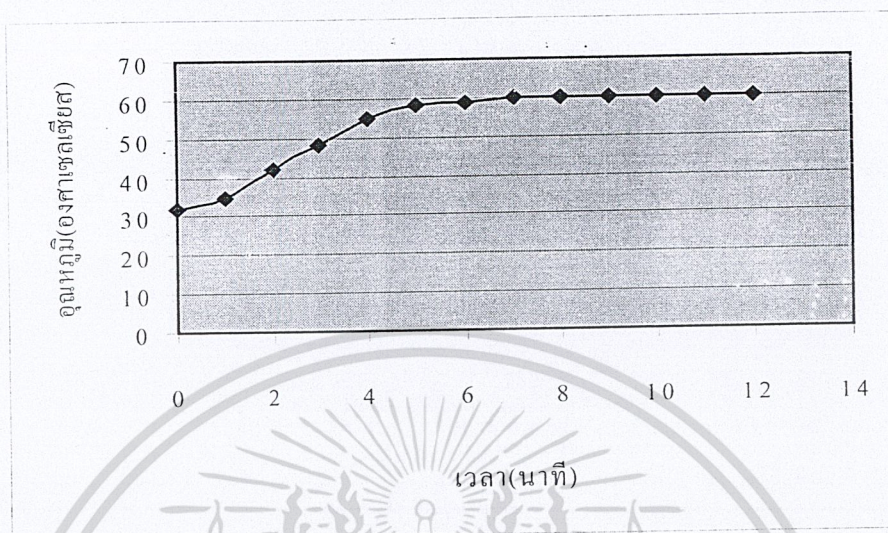
ภาพที่ 5.1 กราฟ การทดลอง PID Control $K_p=2$ $K_i=0.25$ $K_d=3$ Setpoint 60°C

จากกราฟเห็นว่าผลตอบสนองที่ได้ในช่วงเวลา rise time มากซึ่งหมายถึงระบบจะมีการตอบสนองช้า ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 2 จึงเพื่อค่า $K_i = 0.5$ โดยที่ค่า K_p , K_d และค่าเป้าหมายยังคงเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนไข้โรงพยาบาลที่ออกสิทธิ์เฉพาะนี้ ไม่สามารถนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยได้
 ภาพที่ 5.2 กราฟ การทดลอง PID Control $K_p=2$ $K_i=0.5$ $K_d=3$ Setpoint 60°C ค่า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองครั้งที่ 2 มีผลตอบสนองที่ช้าลง และมีค่าออฟเซตมาก ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 3 จึงเพื่อกำ $K_p=3$ $K_i=1$ $K_d=3$, และค่าเป้าหมายยังคงเดิม



ภาพที่ 5.3 กราฟการทดลอง PID Control $K_p=3$ $K_i=1$ $K_d=3$ Setpoint 60°C

สรุปผลการทดลอง

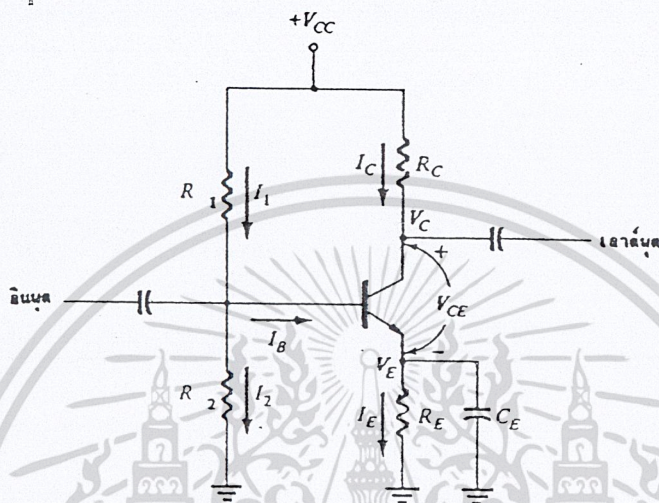
ผลจากการทดลองที่ได้สรุปได้ว่า

- การเพิ่ม K_p ทำให้ผลตอบสนองต่อเวลาไวขึ้น แต่ถ้าเพิ่มค่า K_p มากเกินไปจะทำให้เกิดโอเวอร์ชูตและออฟเซต
- การลดค่า K_i จะสามารถกำจัดโอเวอร์ชูตและออฟเซตได้ แต่การลดค่า K_p จะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ช้าลง
- การเพิ่มค่า K_d ช่วยให้ได้ผลตอบสนองได้ไวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การทดลองที่ 2

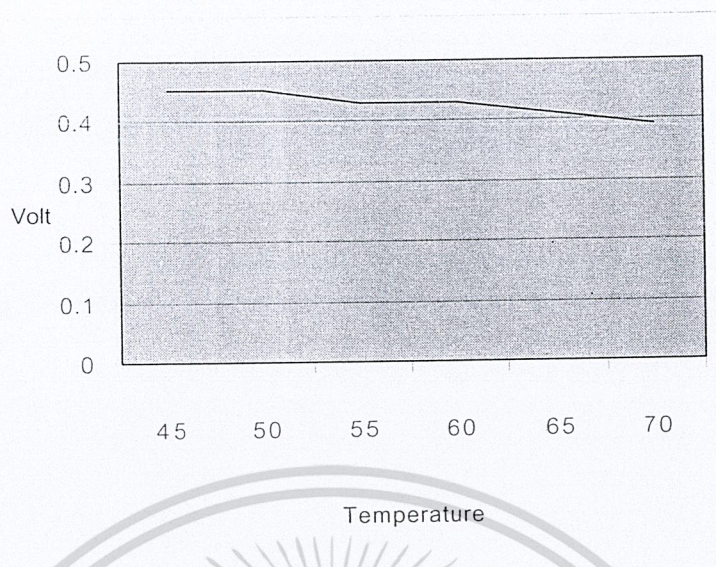
วงจรอิมิตเตอร์ร่วม ไบแอสแบบแบ่งแรงดัน เพื่อจะวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของ V_{BE} เมื่อกระแส I_B คงที่ เพื่อทดสอบผลของ V_{BE} ที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปตามทฤษฎีที่เกี่ยวกับ Thermal Runaway



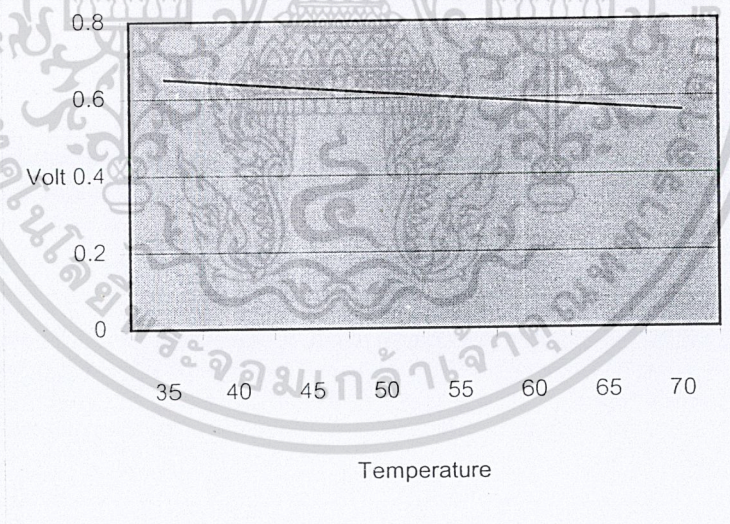
ภาพที่ 5.4 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม เบอร์ 2N3055 ในการทดสอบ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูงขึ้นตลอดเวลา จะมีผลต่อการทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้ อุณหภูมิของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) สูงขึ้น ดังนั้นจะให้ค่า V_{BE} จะลงประมาณ 12 mV ต่อทุก ๆ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งจากกราฟเป็นผลจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



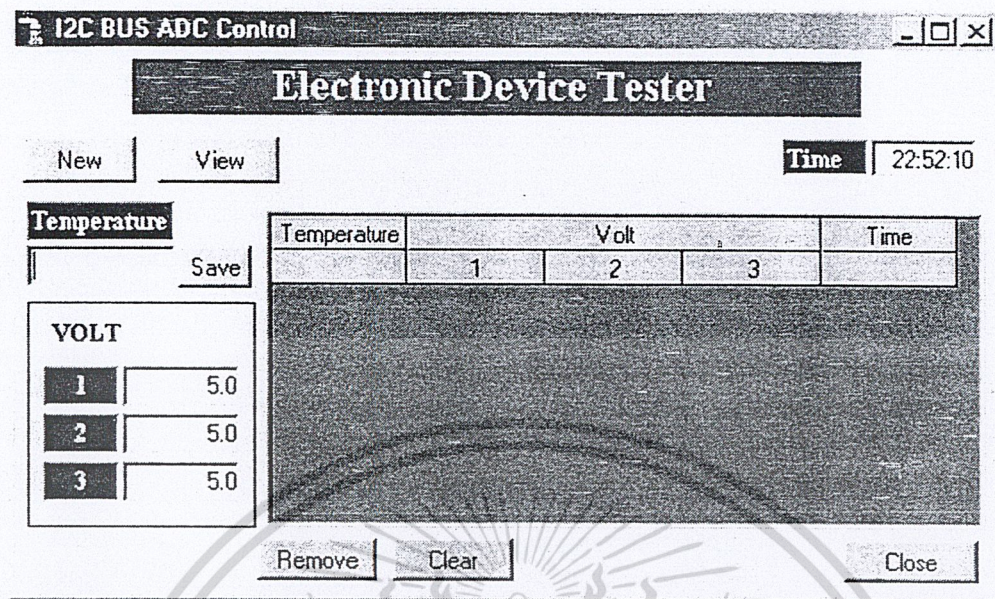
ภาพที่ 5.5 กราฟผลการทดสอบ ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N3055



ภาพที่ 5.6 กราฟผลการทดสอบ ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC 547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 5.6 การแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

- VOLT 1 ช่องสำหรับระดับสัญญาณ 0 – 5 โวลต์ ดีซี เป็นสัญญาณทางเข้าช่องที่ 1
- VOLT 2 ช่องสำหรับระดับสัญญาณ 0 – 5 โวลต์ ดีซี เป็นสัญญาณทางเข้าช่องที่ 2
- VOLT 3 ช่องสำหรับระดับสัญญาณ 0 – 5 โวลต์ ดีซี เป็นสัญญาณทางเข้าช่องที่ 3
- ปุ่ม SAVE เมื่อเราต้องการเซตค่าอุณหภูมิ ทางคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ และเราต้องกดปุ่ม SAVE เพื่อเก็บค่าไว้ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่ออุณหภูมิภายในตู้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ
- ปุ่ม VIEW เป็นปุ่มที่แสดงผลเป็นเส้นกราฟตามที่เราเซตค่าที่ปุ่ม SAVE ไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ในการดำเนินงานตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา สามารถสรุปงานการทำงานทั้งหมดได้ดังนี้

1. ส่วนรับ Input

- ศึกษาการทำงานและชนิดของ Temperature Sensor Device ได้แก่ IC DS1820
- ศึกษาการออกแบบวงจร สร้างสัญญาณพัลส์ทริก และวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน

- ศึกษาออกแบบการทำงานของวงจร ADC (Analog to Digital Converter) แบบต่าง ๆ และวงจร DAC (Digital to Analog Converter) เพื่อนำสู่การประกอบวงจรต่าง ๆ อย่างเหมาะสม

- ศึกษากระบวนการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม²C (INTER-IC COMMUNICATION)

- ศึกษาออกแบบ วงจรเรกติไฟเออร์ แบบเต็มคลื่นใช้แท่งกลาง รวมถึงการเลือก ใช้ ไอซีเรกูเลเตอร์ 3 ขาชนิดไฟบวก เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ ของวงจรให้พอเพียง

2. ส่วน Program

- ศึกษาและเลือกใช้ Microcontroller เบอร์ AT 89C52 ใช้ภาษาแอสเซมบลี เป็นส่วนประมวลผล

- ศึกษาการคำนวณ PID Controller สำหรับ Digital Signal ว่ามีความแตกต่างกับสมการที่ใช้กับ Analog Signal อย่างไร รวมทั้งคิดสมการที่จะต้องใช้ในการเขียน Program ด้วย

- เขียน Program ในการรับค่า Set Point จากทางคีย์บอร์ดและส่ง Output DAC เป็นสัญญาณควบคุมออกไปยังวงจรควบคุมสัญญาณพัลส์ทริก

- เขียน Program คำนวณหาสัญญาณควบคุมด้วยหลักการของ PID Controller สำหรับ Digital Signal โดยออกแบบและ การชดเชยให้ Error มีค่าน้อยที่สุด

- ศึกษาและเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อแสดงผล Output ต่างๆ ที่ต้องการทดสอบลงที่เครื่องคอมพิวเตอร์

3. ส่วน Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารการทำงานของ DAC (Digital to Analog Converter) แบบต่าง ๆ และได้เลือกใช้ IC ราคาไม่แพง PCF8591 ขนาด 8 บิต

สงวนลิขสิทธิ์ © 2558 โดยเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาการทำงานของ Transistor 2N3055 กับวงจรอิมิตอร์ร่วม ไปอัสแบบแบ่งแรงดัน เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของ V_{BE} เมื่อกระแส I_B คงที่

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการแก้ไข

1. ส่วนรับ Input

ปัญหาที่เกิดขึ้น และพบบ่อยที่สุดคือค่า Error ที่เกิดจากค่าความผิดพลาด ของตัว DAC และ ADC เมื่อการเปลี่ยนแปลงไม่ได้ตามความต้องการจึงให้ค่าความถูกต้องไม่มากเท่าที่ควร นอกจากนี้ในส่วนของตัวรับ Input จาก IC DS1820 นั้นยังมีจุดที่ยังทำให้การใช้งานจริงยังไม่สมบูรณ์

2. ส่วน Program

เนื่องจากในส่วนของการคำนวณ PID Controller ที่จะต้องเกี่ยวข้องกับ เลขทศนิยม หลายตำแหน่ง ทำให้เกิดขึ้นในการเขียน Program ด้วย Software ภาษา Assembly เพราะ การเปรียบเทียบมากกว่า-น้อยกว่า, ลักษณะการเก็บข้อมูลเป็น Byte รวมทั้งการคิดเครื่องหมายบวก และลบในภาษา Assembly ก่อนข้างยุ่งยาก ทำให้การเก็บและคำนวณข้อมูลทั้งตัวเลขจำนวนเต็ม จำนวนมาก ๆ และตัวเลขทศนิยมหลายตำแหน่ง เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ซึ่งการคำนวณ PID Controller ให้มีประสิทธิภาพที่สุดนั้น ต้องสามารถเก็บค่า Error ที่ Process ได้ด้วยความละเอียดสูง ดังนั้น ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในภาษา Assembly นี้จึงยังไม่สมบูรณ์ โดยจะมี Error จากการเก็บ และคำนวณข้อมูล อยู่ด้วยเสมอ ซึ่งต้องทำการชดเชยให้ Error เหล่านี้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

3. ส่วน Out put

ปัญหาที่ไม่พบต่อจากส่วนของ Input มากนัก คือ ส่วน ADC เมื่อเรารับ Input เป็น Analog Signal จากภายนอกเมื่อเราต้องการไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผ่านวงจร ADC (Analog to Digital Converter) ส่วนปัญหาคือ การเกิดสัญญาณรบกวนช่องที่เราไม่ต้องการ จึงเป็นเรื่องอยากพอสมควร ในการเขียนโปรแกรม Visual Basic

4. ส่วน การทดลอง

ปัญหาที่พบในการทดลองส่วนแรกคือ การควบให้อุณหภูมิในตู้คงที่ ตามสมการที่ได้เขียนไว้ในโปรแกรม จะมีการไหลขึ้นตลอด เมื่อเรา Set ค่าที่ต้องการไว้อุณหภูมิในตู้เข้าใกล้ค่า Set Point แต่ยังไม่หยุดเป็นปัญหามาจากส่วน โปรแกรมที่เขียนขึ้น ไม่สมมาตรกับส่วนรับ Input เอกสของวังจรสร้างสัญญาณพัลซ์ทริกนั้นเองงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานแบบ PID Controller ที่เขียนด้วย Software ภาษา Assembly ในปริณิญาณิพนธ์ ELECTRONIC DEVICE TESTER นี้ ก็ยังไม่สมบูรณ์ตามลักษณะของ PID Controller ทั้งหมด อันมีผลมาจากการที่ไม่สามารถเก็บ Error ได้ครบสมบูรณ์ จึงเป็นส่วนที่ต้องได้รับการพัฒนาต่อไป

6.3 แนวทางการพัฒนา

สำหรับการทำให้ ELECTRONIC DEVICE TESTER สมบูรณ์ได้นั้น นอกจากจะต้องแก้ไข ในส่วนที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ “ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการแก้ไข” แล้วยังมีส่วนที่ต้องได้รับการพัฒนาอีก ได้แก่ การตั้งค่า Set point จากคีย์บอร์ดจะต้อง Set ค่าจาก คอมพิวเตอร์ ได้ด้วย และการเพิ่มขีดความสามารถ การเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิได้กว้างกว่านี้ คือ น่าจะได้ถึง 100-150 °C เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้อีกอย่างมากมาย นอกจากนี้ น่าจะมีการเพิ่มในส่วนของการแสดงผล ในส่วนโปรแกรม Visual Basic ให้มีความหลากหลายมากกว่านี้ รวมทั้งการรับรู้ค่า Set Point แบบ Auto จากการคำนวณของ PID Controller โดยคอมพิวเตอร์ จึงจะมีความสลับซับซ้อน เพิ่มขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

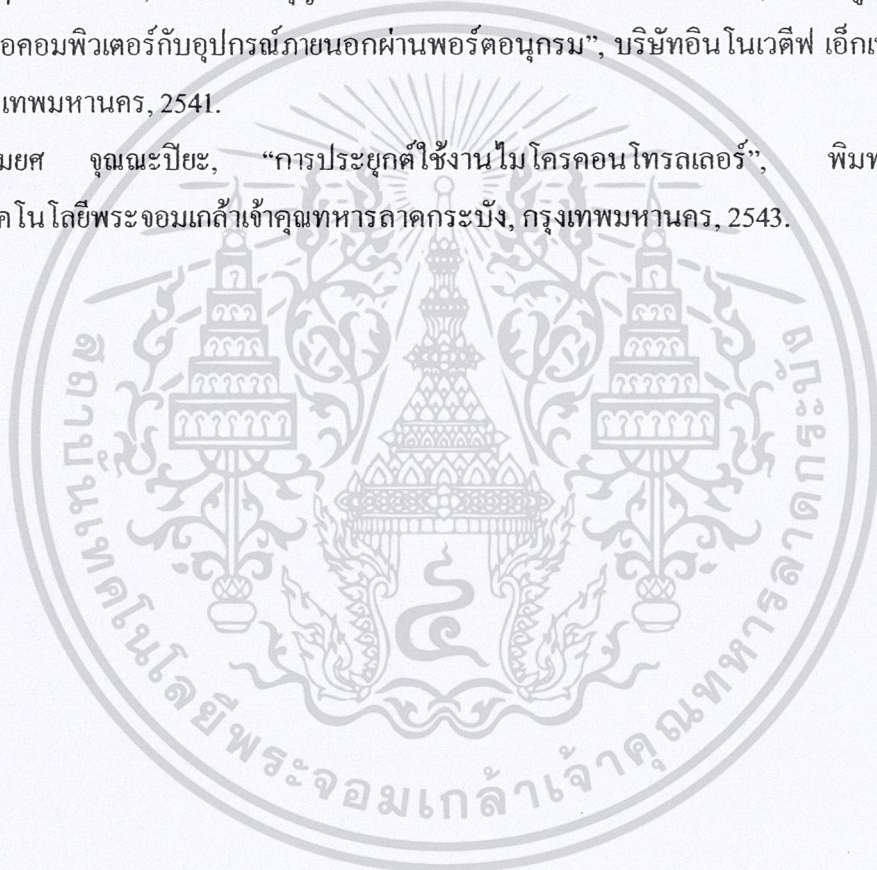
บรรณานุกรม

สุเชียร เกียรติสุนทร, “พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม เล่ม 3”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, 2540.

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช”, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2542.

กฤษฎา ใจเย็น, อรรถพล บุญยะโกคา และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม”, บริษัทอินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2541.

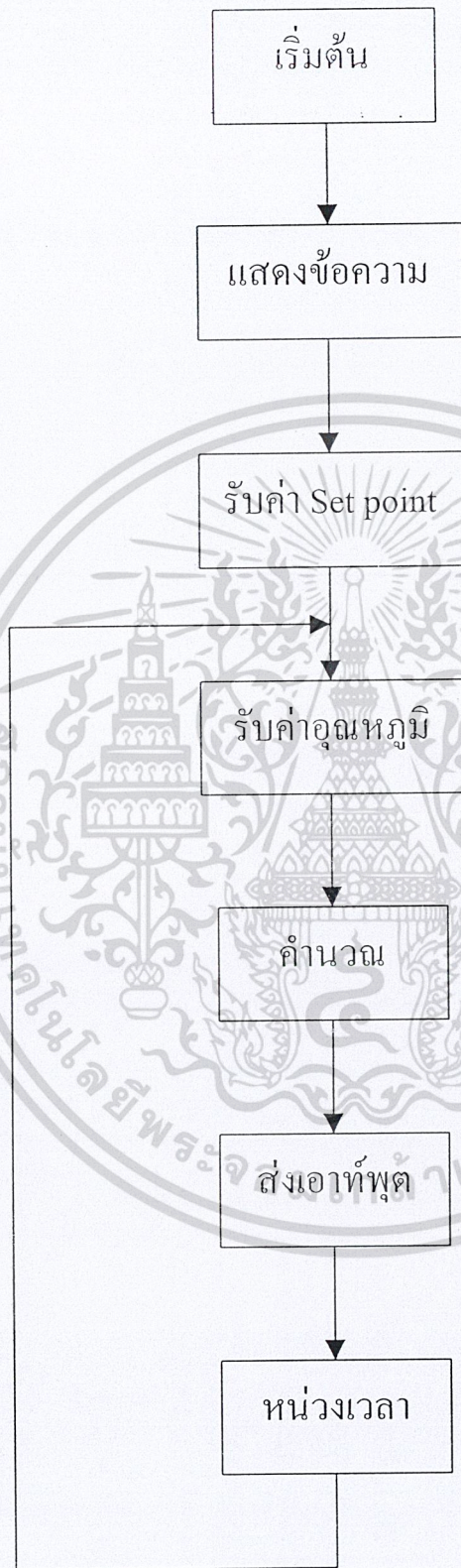
สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”, พิมพ์ครั้งที่ 3, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2543.



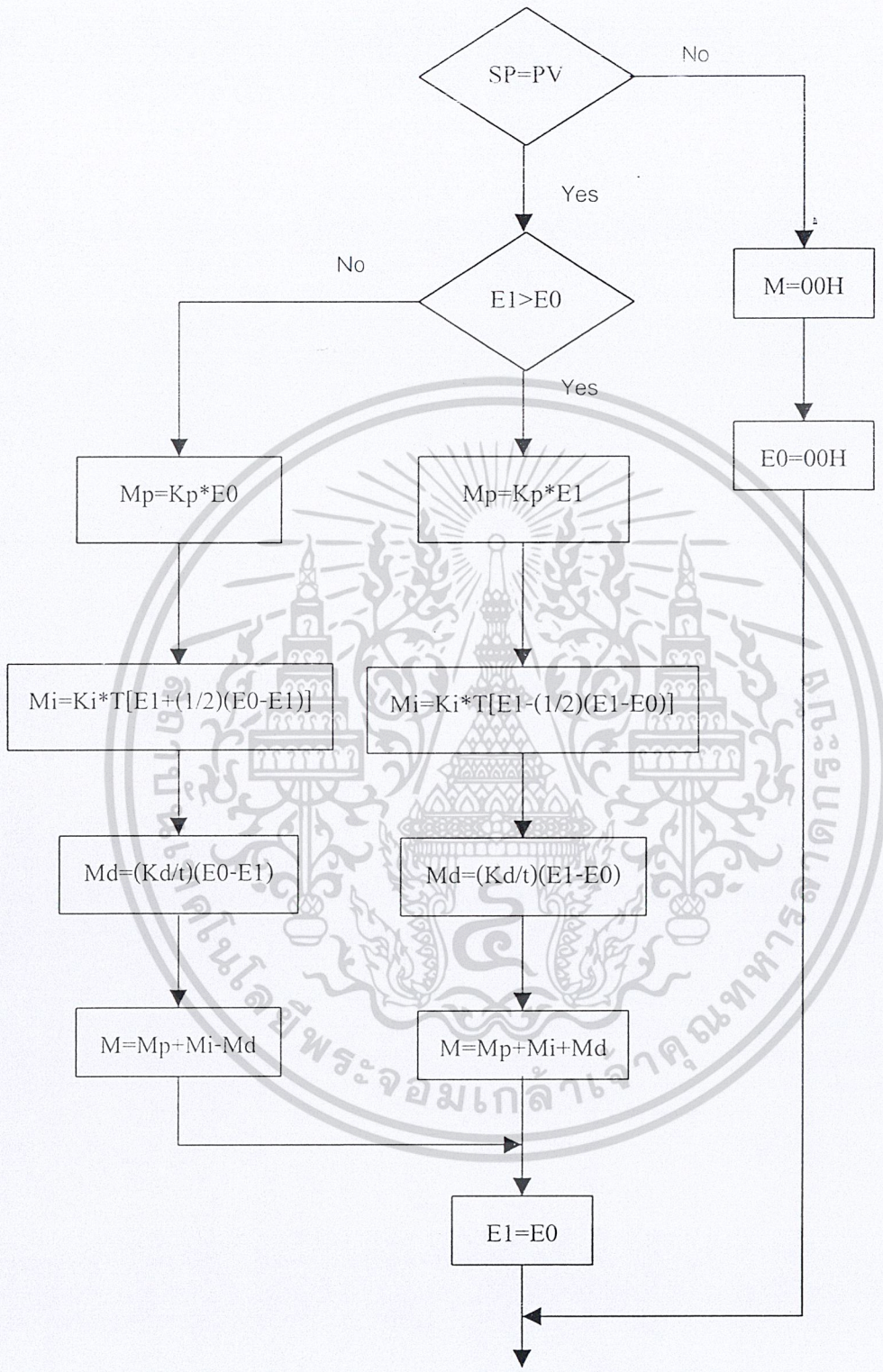
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

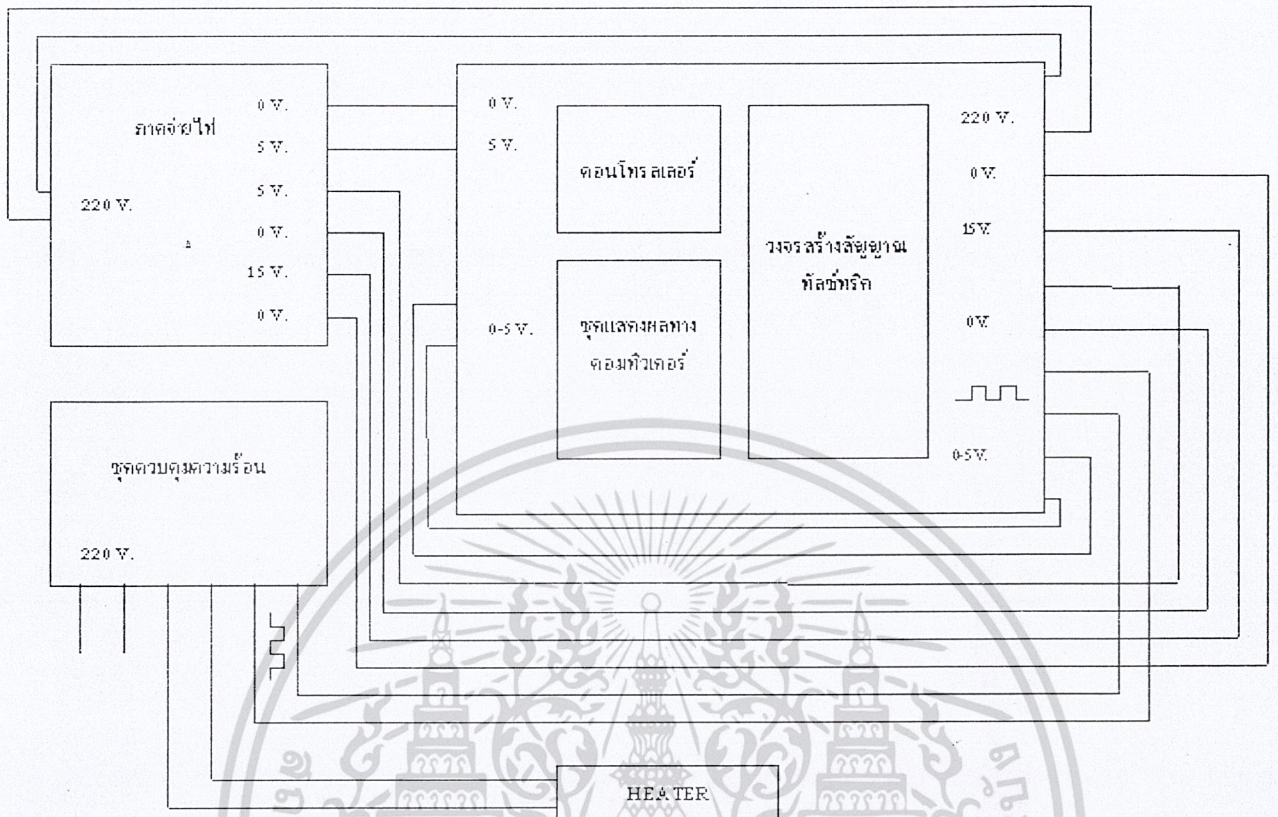


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Flowchart แสดง Main Program
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

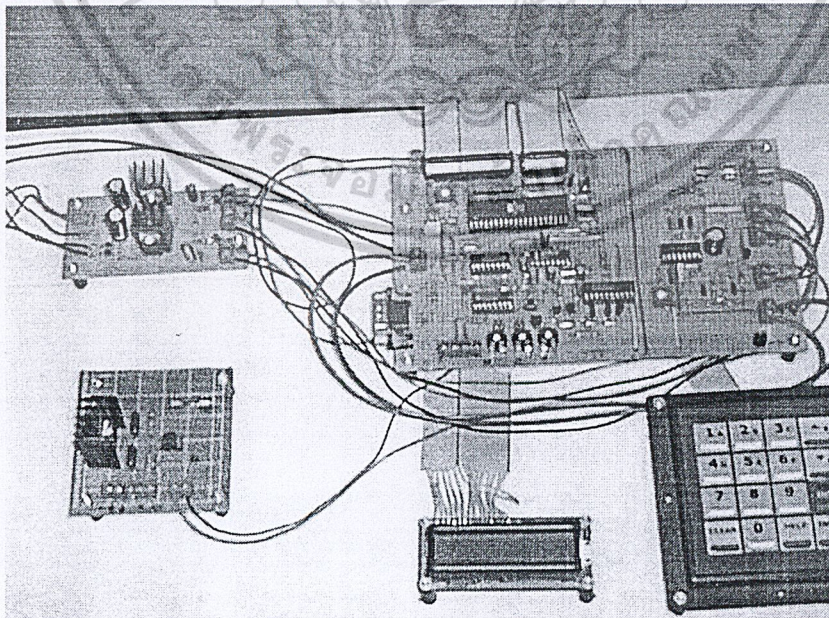


Flowchart แสดง Process value และ PID Controller

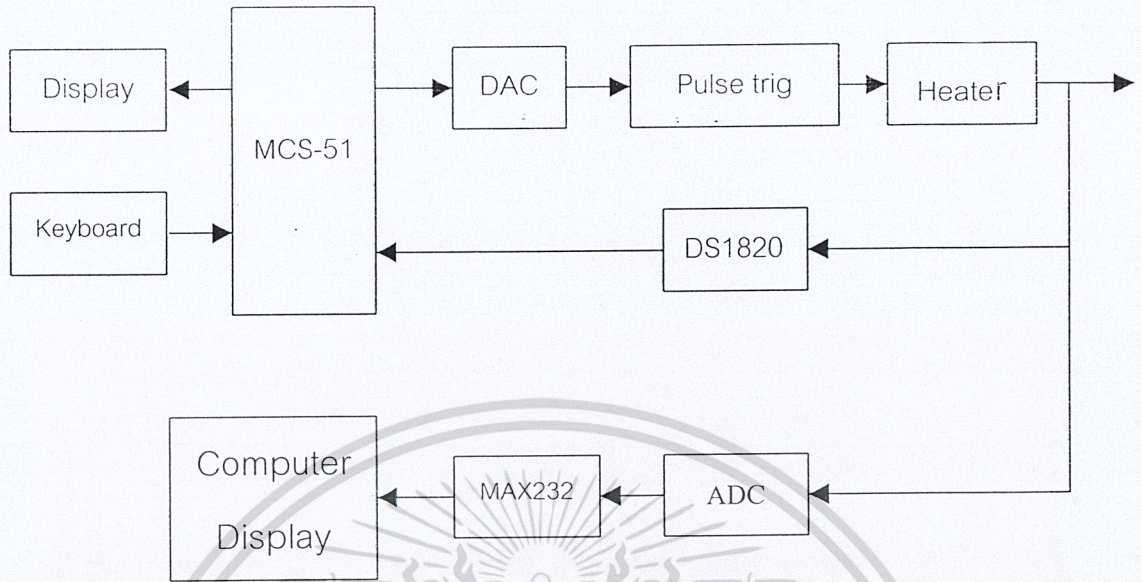
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



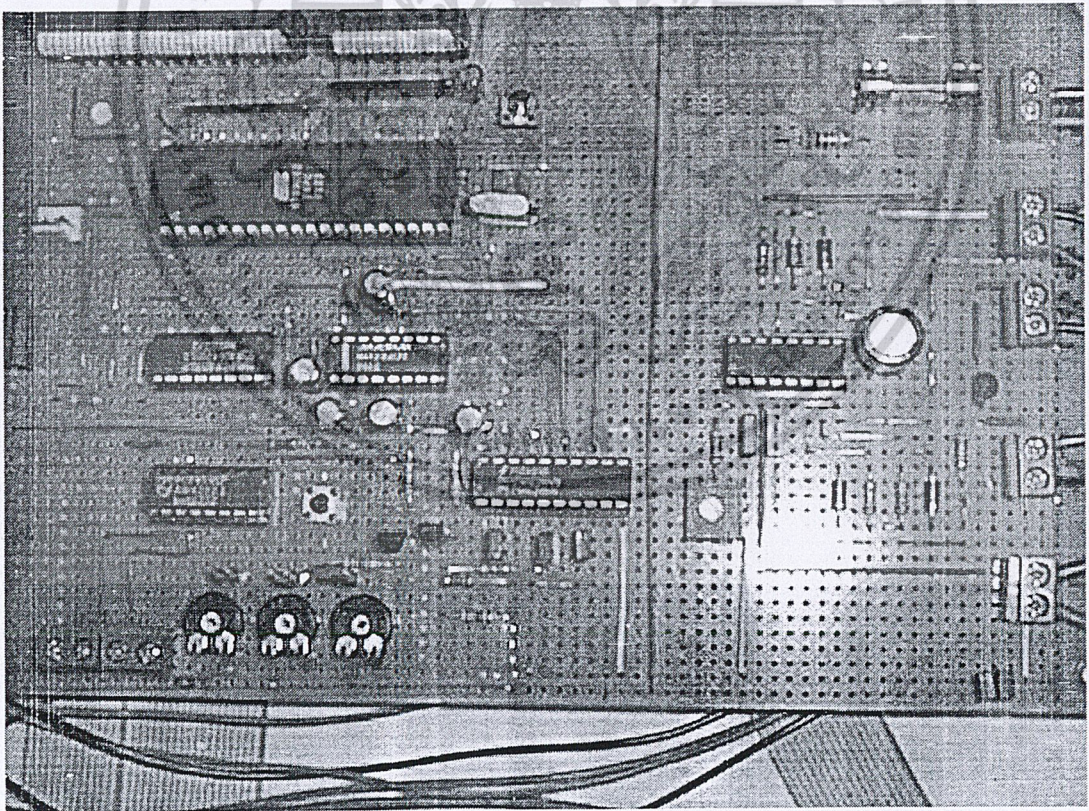
รูปแสดงการต่อวงจรของโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

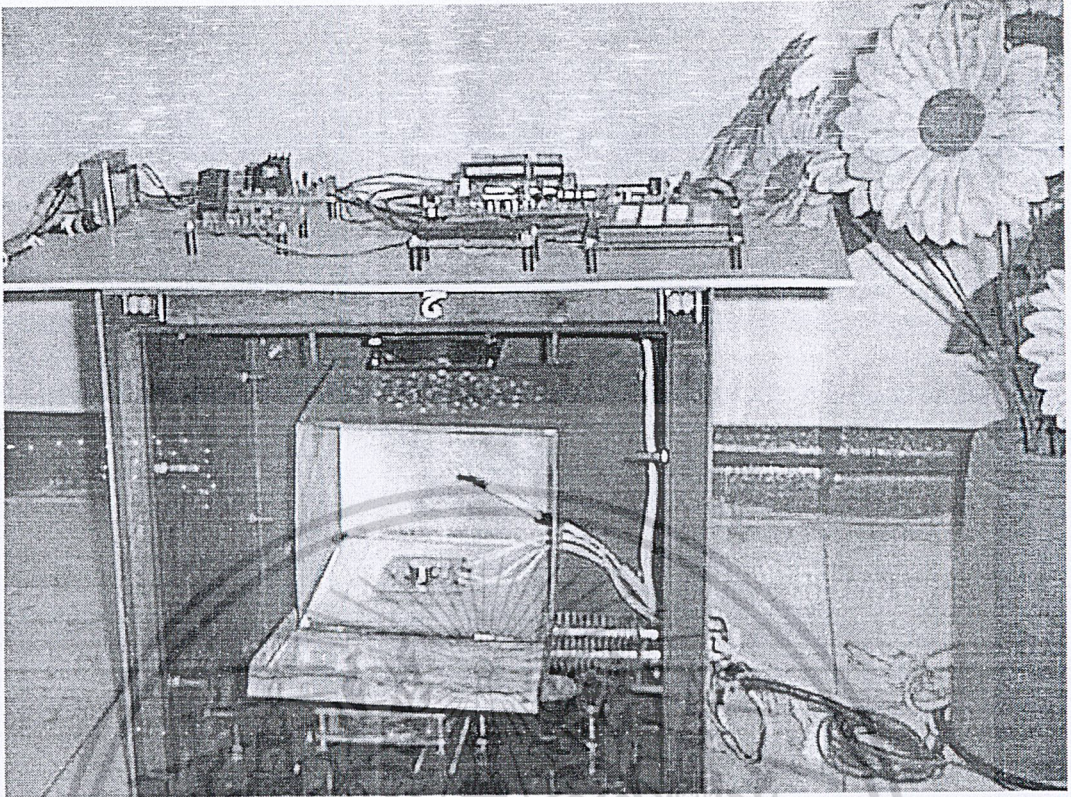


บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

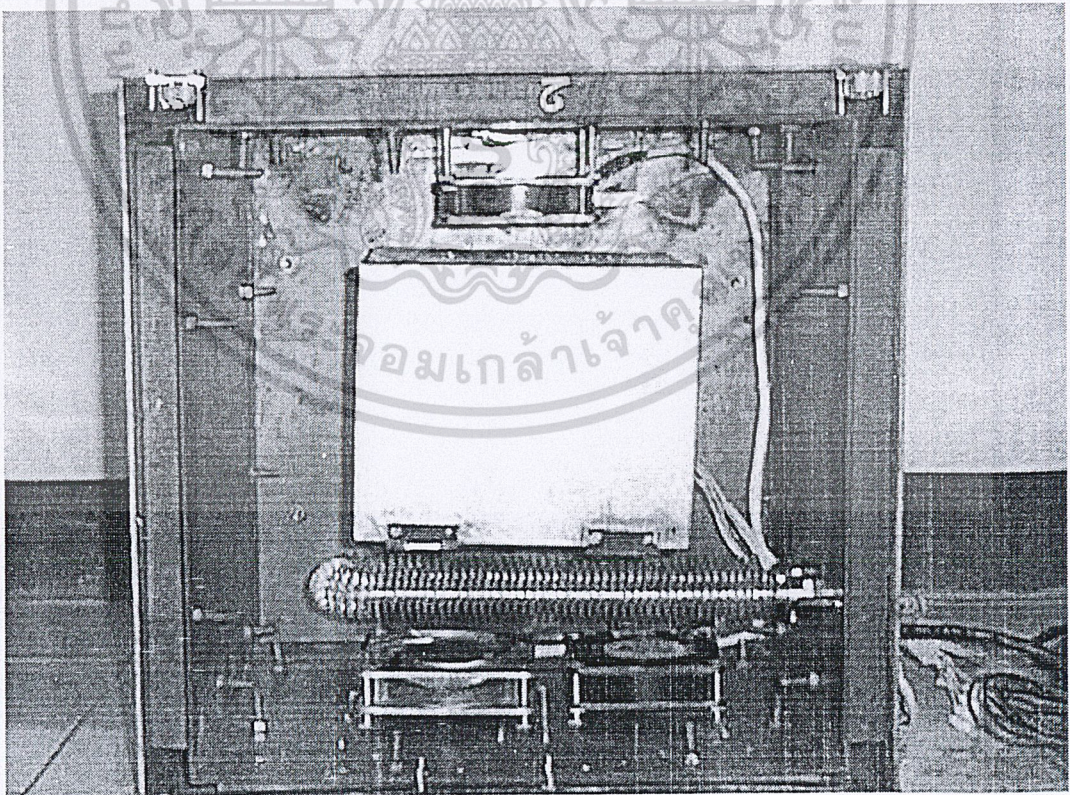


รูปแสดงการต่อแผ่นวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงรูปผู้ควบคุมความร้อน และต้องส่งมอบคืนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

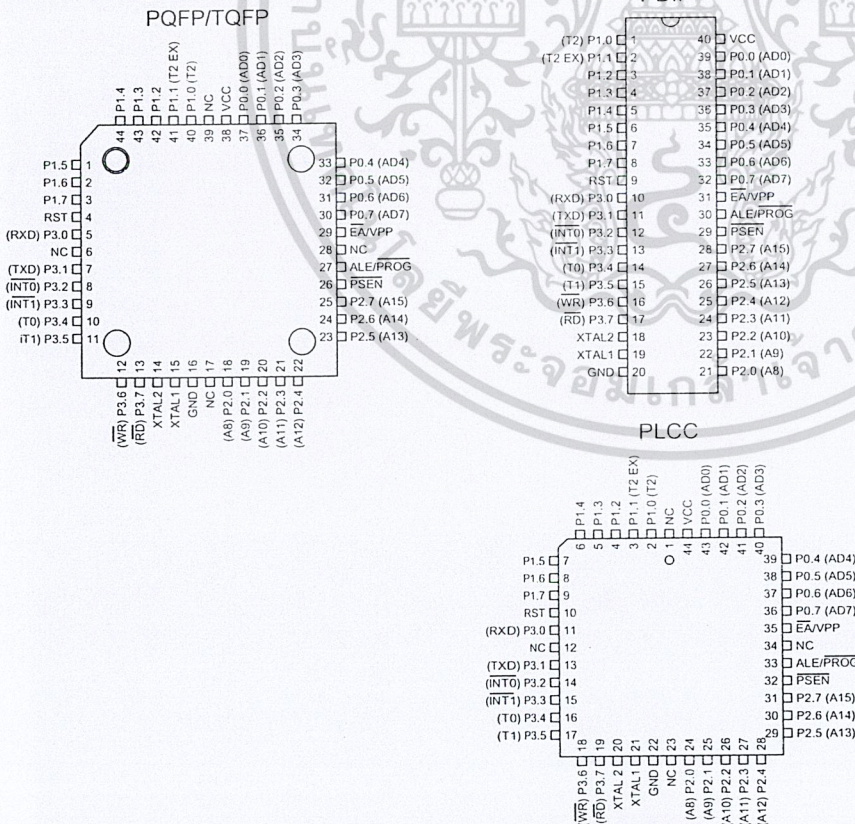
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

(continued)

Pin Configurations



8-bit
Microcontroller
with 8K Bytes
Flash

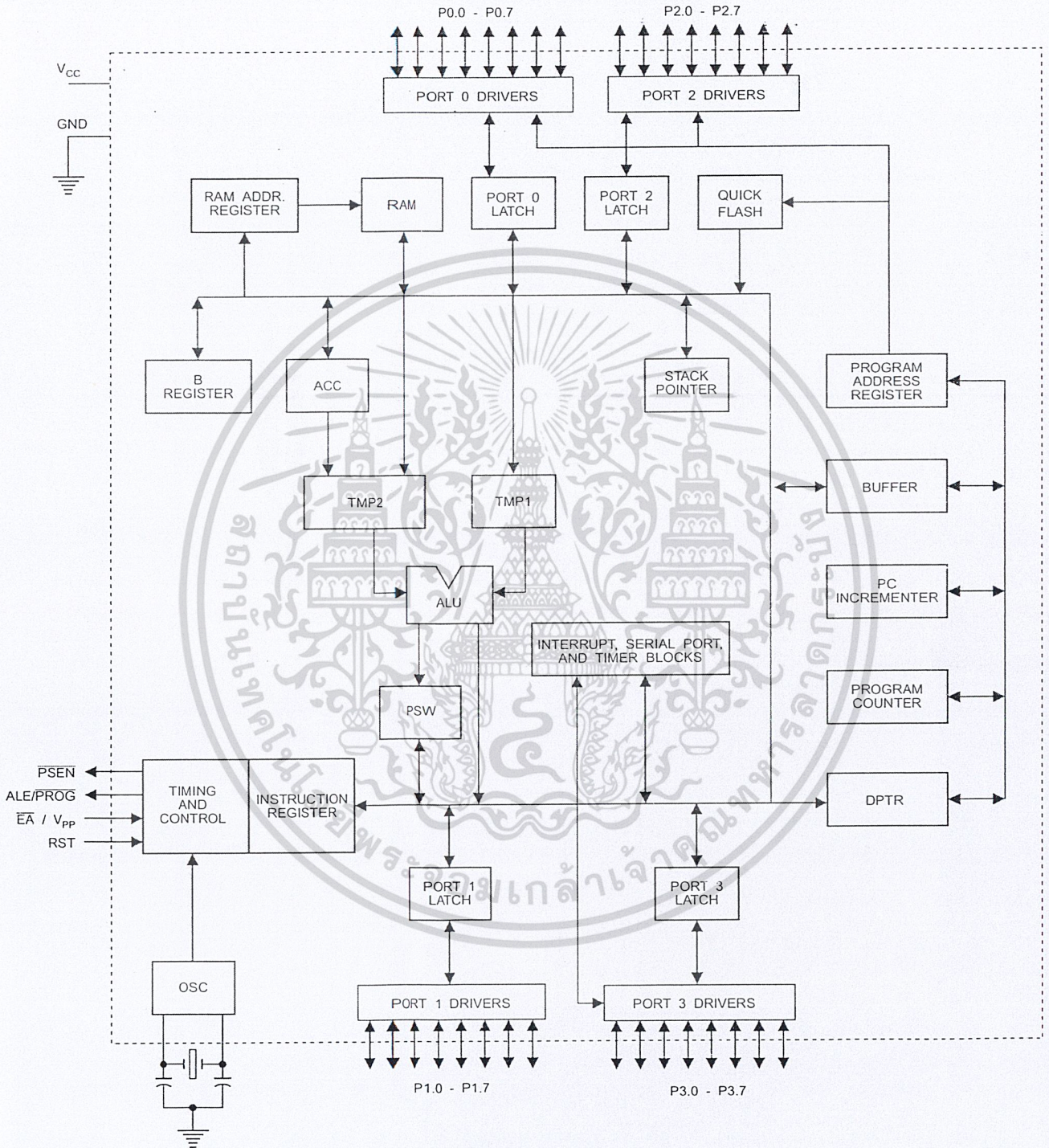
AT89C52

Rev. 0313G-04/99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram



The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 0
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

RST

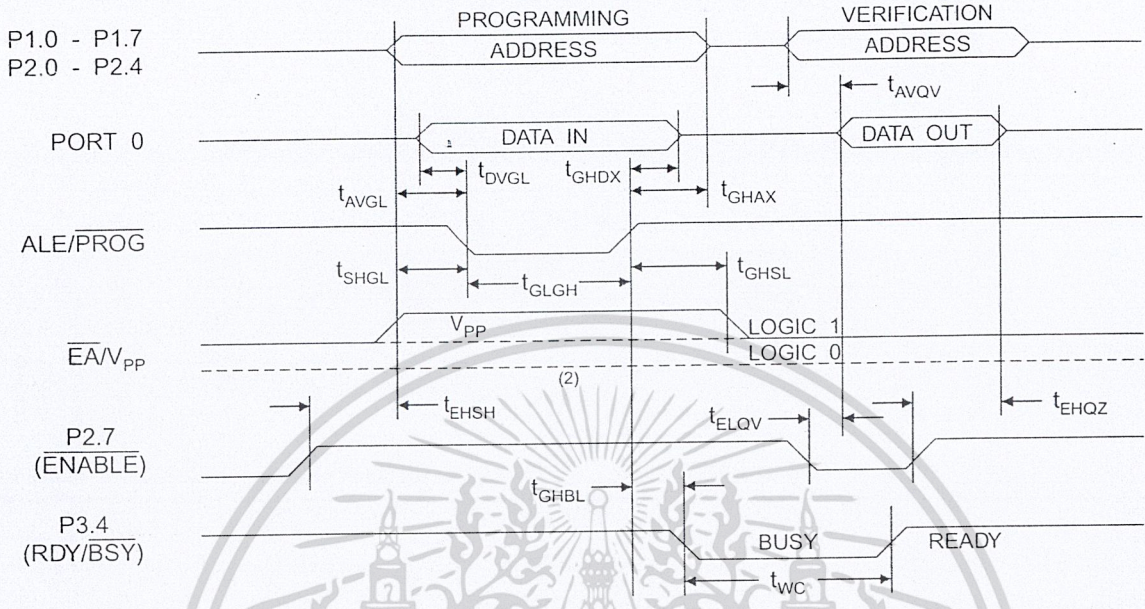
Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

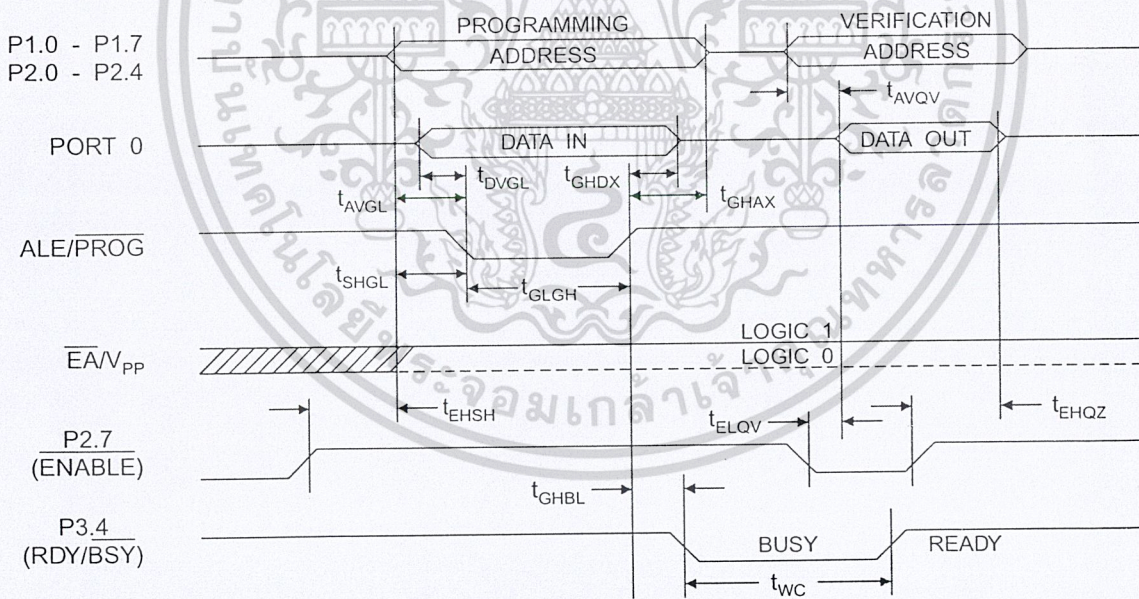
Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE

Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode ($V_{PP}=12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode ($V_{PP}=5V$)





Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

The values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$, unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low Voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power Down Mode ⁽¹⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA

Maximum I_{OL} per 8-bit port:

Port 0: 26 mA Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.

AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

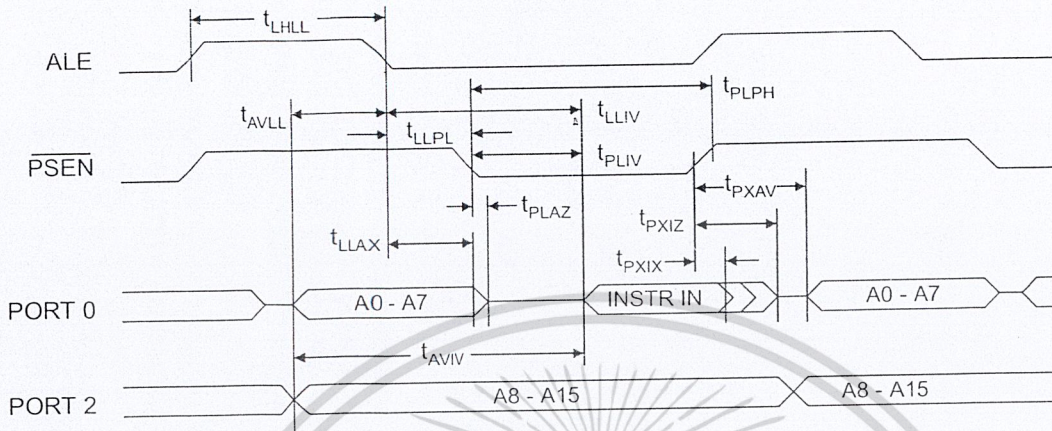
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t _{LHLL}	ALE Pulse Width	127		2t _{CLCL} -40		ns
t _{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		t _{CLCL} -13		ns
t _{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		t _{CLCL} -20		ns
t _{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		4t _{CLCL} -65	ns
t _{LLPL}	ALE Low to PSEN Low	43		t _{CLCL} -13		ns
t _{PLPH}	PSEN Pulse Width	205		3t _{CLCL} -20		ns
t _{PLIV}	PSEN Low to Valid Instruction In		145		3t _{CLCL} -45	ns
t _{PXIX}	Input Instruction Hold After PSEN	0		0		ns
t _{PXIZ}	Input Instruction Float After PSEN		59		t _{CLCL} -10	ns
t _{PXAV}	PSEN to Address Valid	75		t _{CLCL} -8		ns
t _{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		5t _{CLCL} -55	ns
t _{PLAZ}	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
t _{RLRH}	RD Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
t _{WLWH}	WR Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
t _{RLDV}	RD Low to Valid Data In		252		5t _{CLCL} -90	ns
t _{RHDX}	Data Hold After RD	0		0		ns
t _{RHDZ}	Data Float After RD		97		2t _{CLCL} -28	ns
t _{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		8t _{CLCL} -150	ns
t _{AVDV}	Address to Valid Data In		585		9t _{CLCL} -165	ns
t _{LLWL}	ALE Low to RD or WR Low	200	300	3t _{CLCL} -50	3t _{CLCL} +50	ns
t _{AVWL}	Address to RD or WR Low	203		4t _{CLCL} -75		ns
t _{QVWX}	Data Valid to WR Transition	23		t _{CLCL} -20		ns
t _{QVWH}	Data Valid to WR High	433		7t _{CLCL} -120		ns
t _{WHQX}	Data Hold After WR	33		t _{CLCL} -20		ns
t _{RLAZ}	RD Low to Address Float		0		0	ns
t _{WHLH}	RD or WR High to ALE High	43	123	t _{CLCL} -20	t _{CLCL} +25	ns

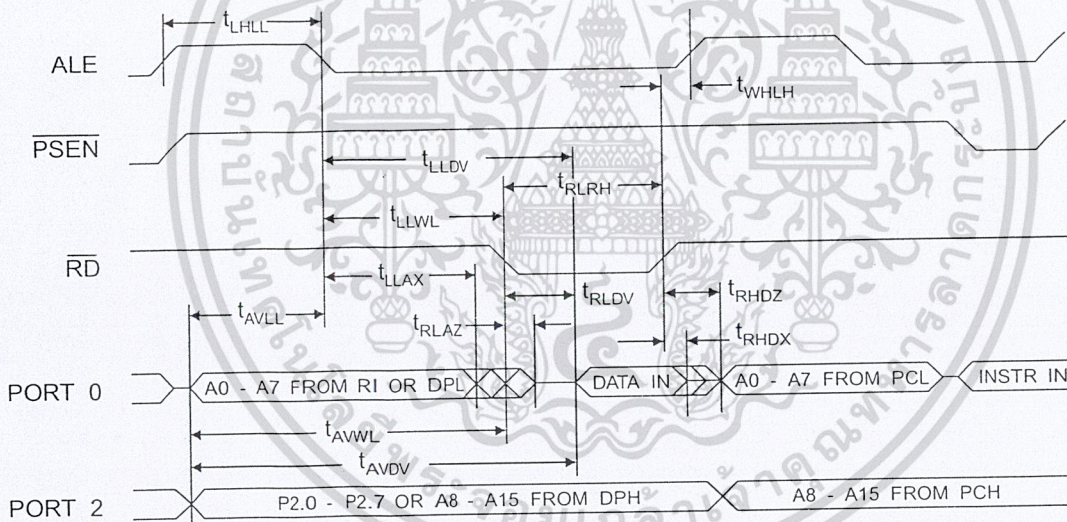




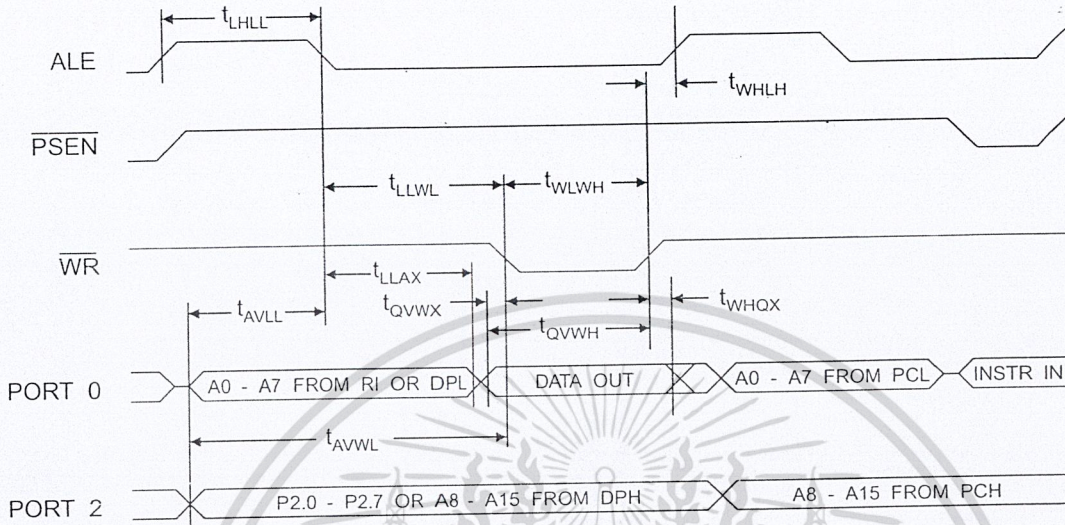
External Program Memory Read Cycle



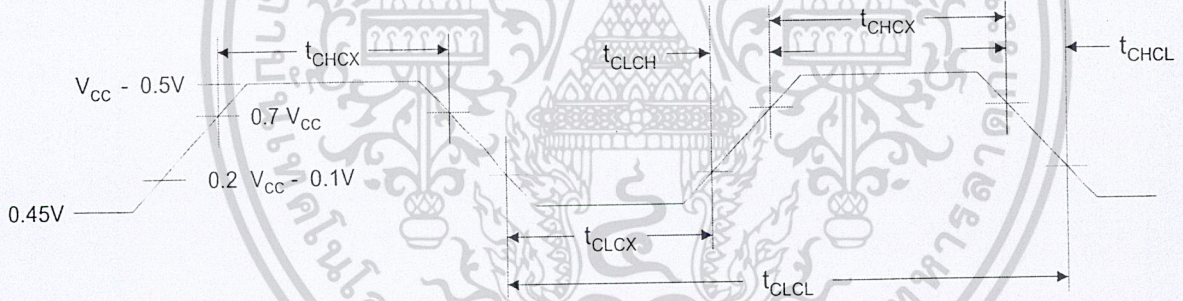
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns



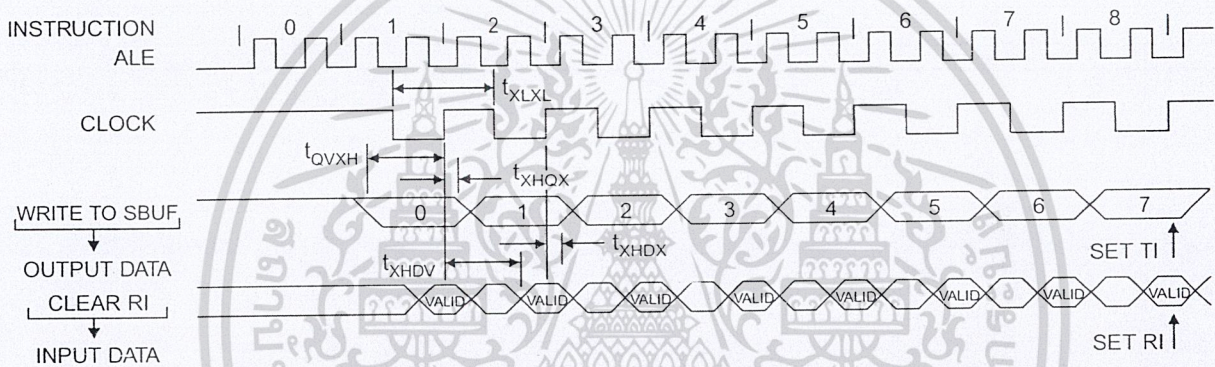


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

The values in this table are valid for $V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$ and Load Capacitance = 80 pF.

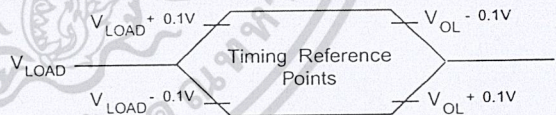
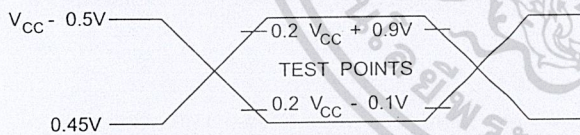
Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾

Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

December 1993

Features

- Meets All RS-232C Specifications
- Requires Only Single +5V Power Supply
- Onboard Voltage Doubler/Inverter
- Low Power Consumption
- 2 Drivers
 - $\pm 9V$ Output Swing for +5V Input
 - 300Ω Power-off Source Impedance
 - Output Current Limiting
 - TTL/CMOS Compatible
 - $30V/\mu s$ Maximum Slew Rate
- 2 Receivers
 - $\pm 30V$ Input Voltage Range
 - $3k\Omega$ to $7k\Omega$ Input Impedance
 - $0.5V$ Hysteresis to Improve Noise Rejection
- All Critical Parameters are Guaranteed Over the Entire Commercial, Industrial and Military Temperature Ranges

Applications

- Any System Requiring RS-232 Communications Port
 - Computer - Portable and Mainframe
 - Peripheral - Printers and Terminals
 - Portable Instrumentation
 - Modems
 - Dataloggers

Description

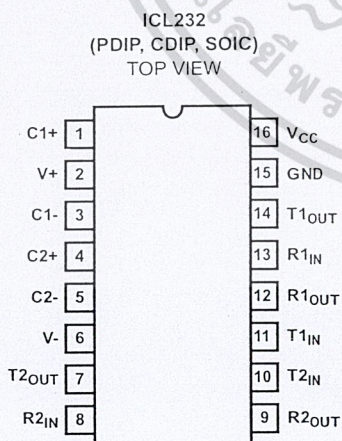
The ICL232 is a dual RS-232 transmitter/receiver interface circuit that meets all EIA RS-232C specifications. It requires a single +5V power supply, and features two onboard charge pump voltage converters which generate +10V and -10V supplies from the 5V supply.

The drivers feature true TTL/CMOS input compatibility, slew-rate-limited output, and 300Ω power-off source impedance. The receivers can handle up to +30V, and have a $3k\Omega$ to $7k\Omega$ input impedance. The receivers also have hysteresis to improve noise rejection.

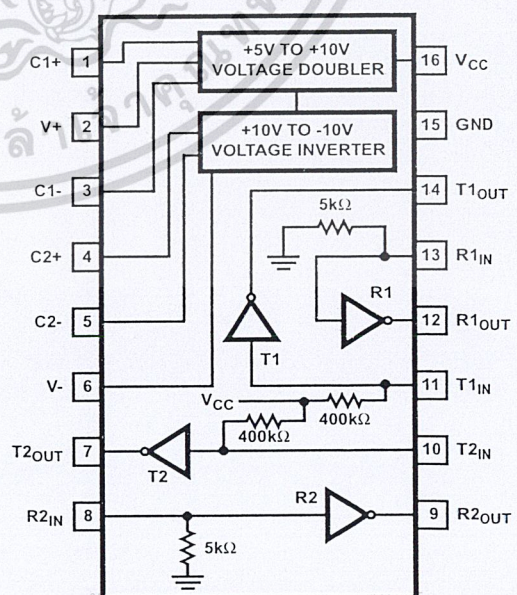
Ordering Information

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL232CPE	$0^\circ C$ to $+70^\circ C$	16 Lead Plastic DIP
ICL232CJE	$0^\circ C$ to $+70^\circ C$	16 Lead Ceramic DIP
ICL232CBE	$0^\circ C$ to $+70^\circ C$	16 Lead SOIC (W)
ICL232IPE	$-40^\circ C$ to $+85^\circ C$	16 Lead Plastic DIP
ICL232IJE	$-40^\circ C$ to $+85^\circ C$	16 Lead Ceramic DIP
ICL232IBE	$-40^\circ C$ to $+85^\circ C$	16 Lead SOIC (W)
ICL232MJE	$-55^\circ C$ to $+125^\circ C$	16 Lead Ceramic DIP

Pinouts



Functional Diagram



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper I.C. Handling Procedures.

File Number 3020.2

Copyright © Harris Corporation 1993

Specifications ICL232

Absolute Maximum Ratings

V_{CC} to Ground	$(GND - 0.3V) < V_{CC} < 6V$
$V+$ to Ground	$(V_{CC} - 0.3V) < V+ < 12V$
$V-$ to Ground	$-12V < V- < (GND + 0.3V)$
Input Voltages	
$T1_{IN}, T2_{IN}$	$(V- - 0.3V) < V_{IN} < (V+ + 0.3V)$
$R1_{IN}, R2_{IN}$	$\pm 30V$
Output Voltages	
$T1_{OUT}, T2_{OUT}$	$(V- - 0.3V) < V_{TXOUT} < (V+ + 0.3V)$
$R1_{OUT}, R2_{OUT}$	$(GND - 0.3V) < V_{RXOUT} < (V_{CC} + 0.3V)$
Short Circuit Duration	
$T1_{OUT}, T2_{OUT}$	Continuous
$R1_{OUT}, R2_{OUT}$	Continuous
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering 10s)	$+300^{\circ}C$

Thermal Information

Thermal Resistance	θ_{JA}	θ_{JC}
Ceramic DIP Package	80°C/W	24°C/W
Plastic DIP Package	100°C/W	-
SOIC Package	100°C/W	-
Maximum Power Dissipation	250mW	
Operating Temperature Range		
ICL232C	0°C to +70°C	
ICL232I	-40°C to +85°C	
ICL232M	-55°C to +125°C	

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

Electrical Specifications Test Conditions: $V_{CC} = +5V \pm 10\%$, $T_A =$ Operating Temperature Range. Test Circuit as in Figure 8 Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Transmitter Output Voltage Swing, T_{OUT}	$T1_{OUT}$ and $T2_{OUT}$ loaded with 3k Ω to Ground	± 5	± 9	± 10	V
Power Supply Current, I_{CC}	Outputs Unloaded, $T_A = +25^{\circ}C$	-	5	10	mA
T_{IN} , Input Logic Low, V_{IL}		-	-	0.8	V
T_{IN} , Input Logic High, V_{IH}		2.0	-	-	V
Logic Pullup Current, I_P	$T1_{IN}, T2_{IN} = 0V$	-	15	200	μA
RS-232 Input Voltage Range, V_{IN}		-30	-	+30	V
Receiver Input Impedance, R_{IN}	$V_{IN} = \pm 3V$	3.0	5.0	7.0	k Ω
Receiver Input Low Threshold, V_{IN} (H-L)	$V_{CC} = 5.0V$, $T_A = +25^{\circ}C$	0.8	1.2	-	V
Receiver Input High Threshold, V_{IN} (L-H)	$V_{CC} = 5.0V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	1.7	2.4	V
Receiver Input Hysteresis, V_{HYST}		0.2	0.5	1.0	V
TTL/CMOS Receiver Output Voltage Low, V_{OL}	$I_{OUT} = 3.2mA$	-	0.1	0.4	V
TTL/CMOS Receiver Output Voltage High, V_{OH}	$I_{OUT} = -1.0mA$	3.5	4.6	-	V
Propagation Delay, t_{PD}	RS-232 to TTL	-	0.5	-	μs
Instantaneous Slew Rate, SR	$C_L = 10pF$, $R_L = 3k\Omega$, $T_A = +25^{\circ}C$ (Notes 1, 2)	-	-	30	V/ μs
Transition Region Slew Rate, SR_T	$R_L = 3k\Omega$, $C_L = 2500pF$ Measured from +3V to -3V or -3V to +3V	-	3	-	V/ μs
Output Resistance, R_{OUT}	$V_{CC} = V+ = V- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$	300	-	-	Ω
RS-232 Output Short Circuit Current, I_{SC}	$T1_{OUT}$ or $T2_{OUT}$ shorted to GND	-	± 10	-	mA

NOTES:

1. Guaranteed by design.
2. See Figure 4 for definition.

ICL232

Typical Performance Curves

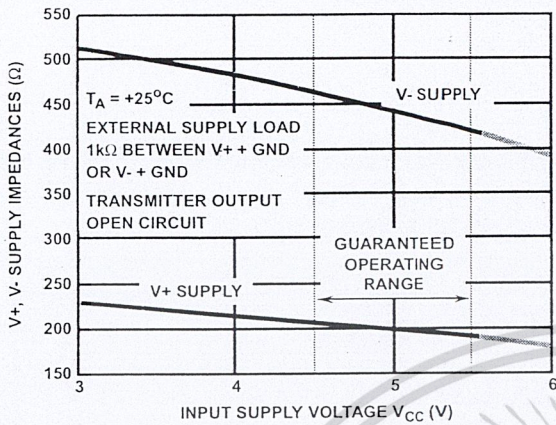


FIGURE 1. V+, V- OUTPUT IMPEDANCES vs V_{CC}

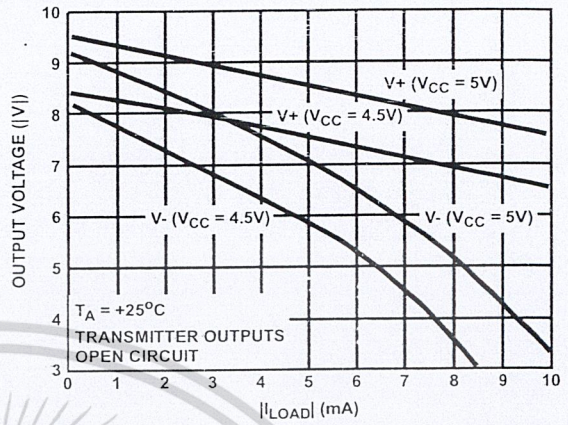


FIGURE 2. V+, V- OUTPUT VOLTAGES vs LOAD CURRENT

Pin Descriptions

PLASTIC DIP, CERAMIC DIP	SOIC	PIN NAME	DESCRIPTION
1	1	C1+	External capacitor "+" for internal voltage doubler.
2	2	V+	Internally generated +10V (typical) supply.
3	3	C1-	External capacitor "-" for internal voltage doubler.
4	4	C2+	External capacitor "+" internal voltage inverter.
5	5	C2-	External capacitor "-" internal voltage inverter.
6	6	V-	Internally generated -10V (typical) supply.
7	7	T2 _{OUT}	RS-232 Transmitter 2 output ±10V (typical).
8	8	R2 _{IN}	RS-232 Receiver 2 input, with internal 5K pull-down resistor to GND.
9	9	R2 _{OUT}	Receiver 2 TTL/CMOS output.
10	10	T2 _{IN}	Transmitter 2 TTL/CMOS input, with internal 400K pull-up resistor to V _{CC} .
11	11	T1 _{IN}	Transmitter 1 TTL/CMOS input, with internal 400K pull-up resistor to V _{CC} .
12	12	R1 _{OUT}	Receiver 1 TTL/CMOS output.
13	13	R1 _{IN}	RS-232 Receiver 1 input, with internal 5K pull-down resistor to GND.
14	14	T1 _{OUT}	RS-232 Transmitter 1 output ±10V (typical).
15	15	GND	Supply Ground.
16	16	VCC	Positive Power Supply +5V ±10%

Detailed Description

The ICL232 is a dual RS-232 transmitter/receiver powered by a single +5V power supply which meets all EIA RS232C specifications and features low power consumption. The functional diagram illustrates the major elements of the ICL232. The circuit is divided into three sections: a voltage doubler/inverter, dual transmitters, and dual receivers.

Voltage Converter

An equivalent circuit of the dual charge pump is illustrated in Figure 3.

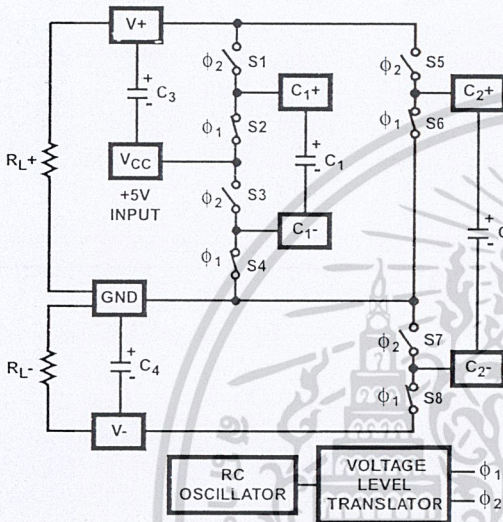


FIGURE 3. DUAL CHARGE PUMP

The voltage quadrupler contains two charge pumps which use two phases of an internally generated clock to generate +10V and -10V. The nominal clock frequency is 16kHz. During phase one of the clock, capacitor C1 is charged to V_{CC}. During phase two, the voltage on C1 is added to V_{CC}, producing a signal across C2 equal to twice V_{CC}. At the same time, C3 is also charged to 2V_{CC}, and then during phase one, it is inverted with respect to ground to produce a signal across C4 equal to -2V_{CC}. The voltage converter accepts input voltages up to 5.5V. The output impedance of the doubler (V+) is approximately 200Ω, and the output impedance of the inverter (V-) is approximately 450Ω. Typical graphs are presented which show the voltage converters output vs input voltage and output voltages vs load characteristics. The test circuit (Figure 8) uses 1μF capacitors for C1-C4, however, the value is not critical. Increasing the values of C1 and C2 will lower the output impedance of the voltage doubler and inverter, and increasing the values of the reservoir capacitors, C3 and C4, lowers the ripple on the V+ and V- supplies.

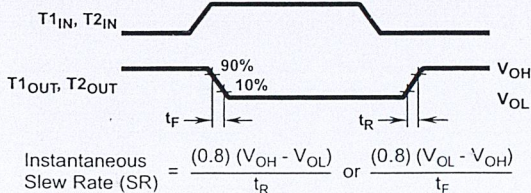


FIGURE 4. SLEW RATE DEFINITION

Transmitters

The transmitters are TTL/CMOS compatible inverters which translate the inputs to RS-232 outputs. The input logic threshold is about 26% of V_{CC}, or 1.3V for V_{CC} = 5V. A logic 1 at the input results in a voltage of between -5V and V- at the output, and a logic 0 results in a voltage between +5V and (V+ - 0.6V). Each transmitter input has an internal 400kΩ pullup resistor so any unused input can be left unconnected and its output remains in its low state. The output voltage swing meets the RS-232C specification of ±5V minimum with the worst case conditions of: both transmitters driving 3kΩ minimum load impedance, V_{CC} = 4.5V, and maximum allowable operating temperature. The transmitters have an internally limited output slew rate which is less than 30V/μs. The outputs are short circuit protected and can be shorted to ground indefinitely. The powered down output impedance is a minimum of 300Ω with ±2V applied to the outputs and V_{CC} = 0V.

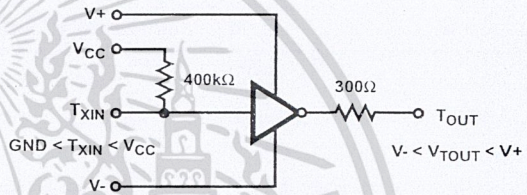


FIGURE 5. TRANSMITTER

Receivers

The receiver inputs accept up to ±30V while presenting the required 3kΩ to 7kΩ input impedance even if the power is off (V_{CC} = 0V). The receivers have a typical input threshold of 1.3V which is within the ±3V limits, known as the transition region, of the RS-232 specification. The receiver output is 0V to V_{CC}. The output will be low whenever the input is greater than 2.4V and high whenever the input is floating or driven between +0.8V and -30V. The receivers feature 0.5V hysteresis to improve noise rejection.

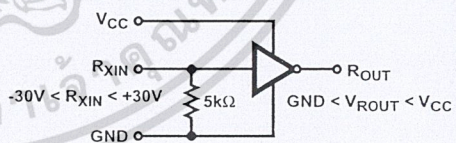


FIGURE 6. RECEIVER

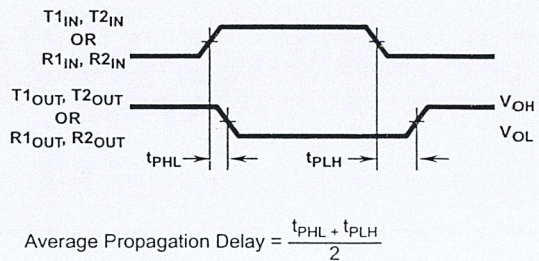


FIGURE 7. PROPAGATION DELAY DEFINITION

Test Circuits

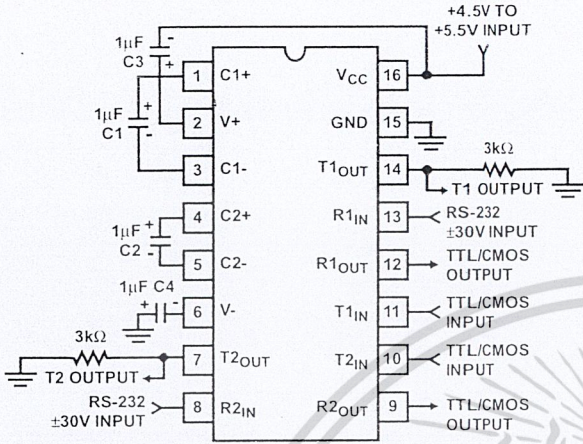


FIGURE 8. GENERAL TEST CIRCUIT

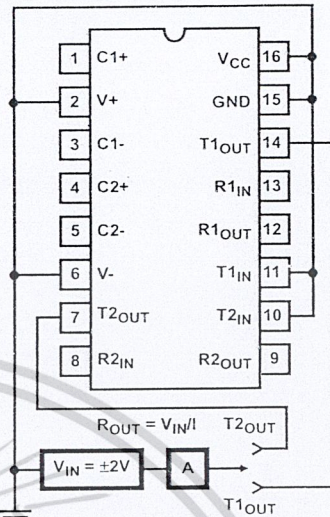


FIGURE 9. POWER-OFF SOURCE RESISTANCE CONFIGURATION

Applications

The ICL232 may be used for all RS-232 data terminal and communication links. It is particularly useful in applications where ±12V power supplies are not available for conventional RS-232 interface circuits. The applications presented represent typical interface configurations.

A simple duplex RS-232 port with CTS/RTS handshaking is illustrated in Figure 10. Fixed output signals such as DTR (data terminal ready) and DSRs (data signaling rate select) is generated by driving them through a 5kΩ resistor connected to V+.

capacitors (C3 and C4). The benefit of sharing common reservoir capacitors is the elimination of two capacitors and the reduction of the charge pump source impedance which effectively increases the output swing of the transmitters.

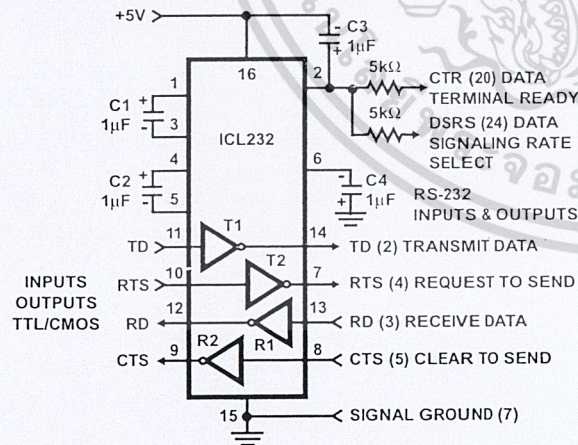


FIGURE 10. SIMPLE DUPLEX RS-232 PORT WITH CTS/RTS HANDSHAKING

In applications requiring four RS-232 inputs and outputs (Figure 11), note that each circuit requires two charge pump capacitors (C1 and C2) but can share common reservoir

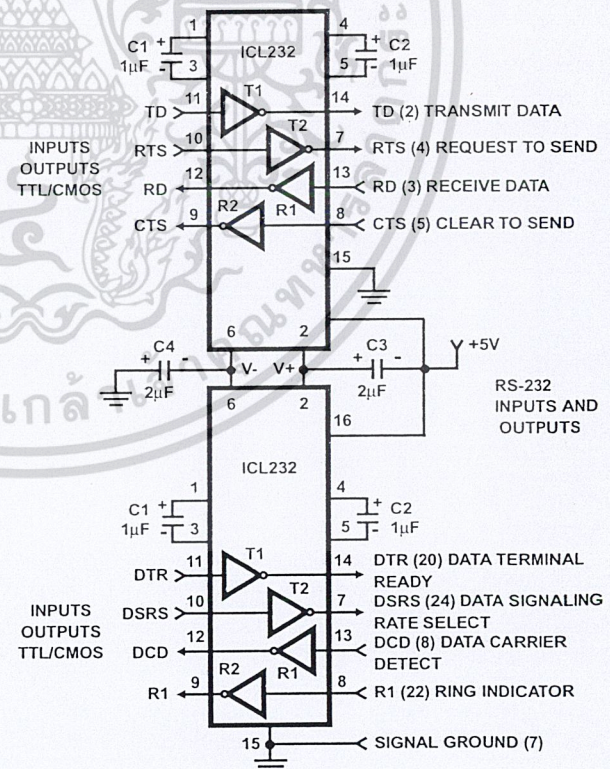


FIGURE 11. COMBINING TWO ICL232s FOR 4 PAIRS OF RS-232 INPUTS AND OUTPUTS

DATA SHEET



PCF8591 8-bit A/D and D/A converter

1998 Jul 02

Product specification
Supersedes data of 1997 Apr 02
File under Integrated Circuits, IC12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารฉบับนี้ทุกครั้ง

Philips
Semiconductors



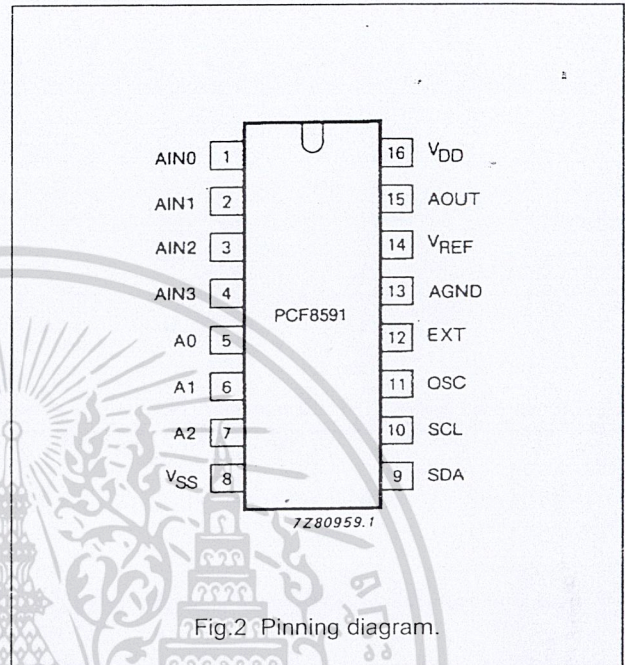
PHILIPS

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

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



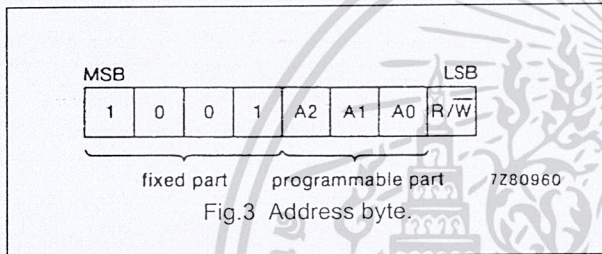
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated.

Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0.

The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

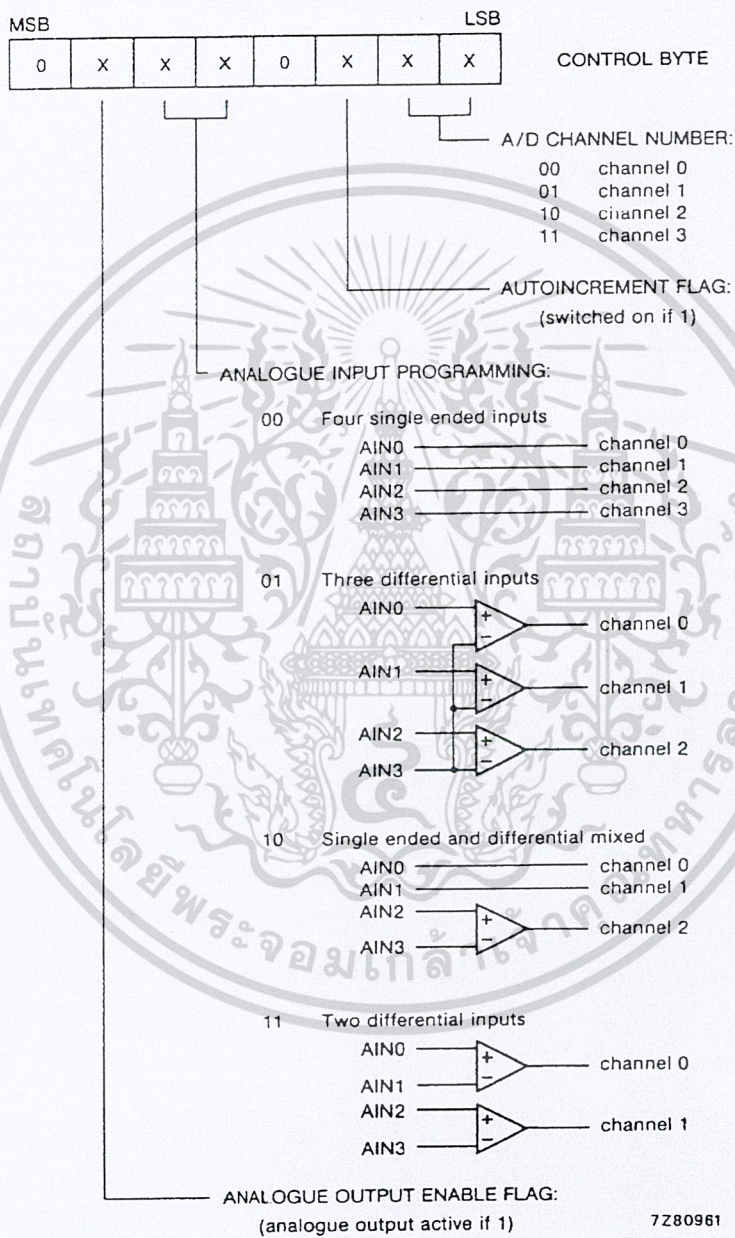


Fig.4 Control byte.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7.

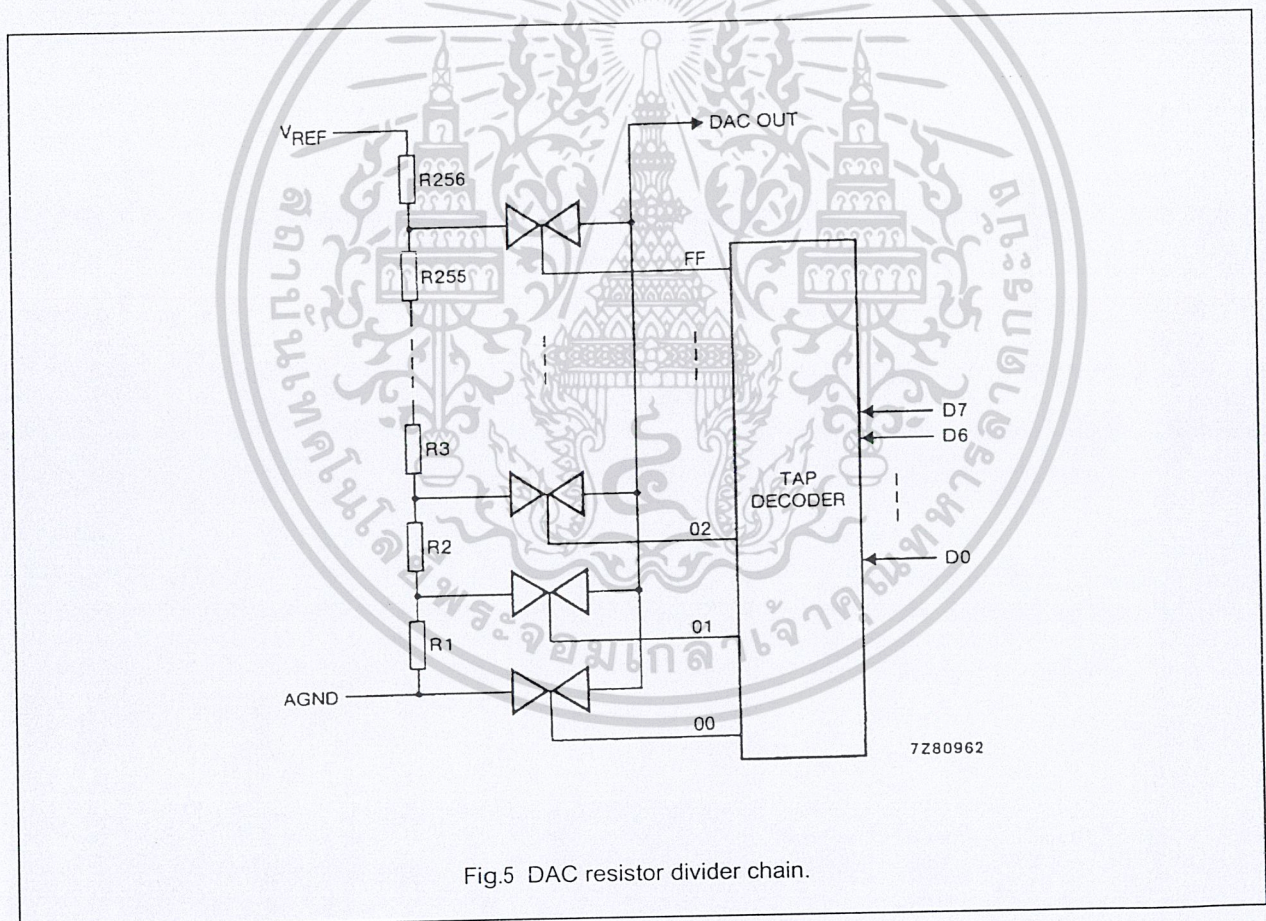


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

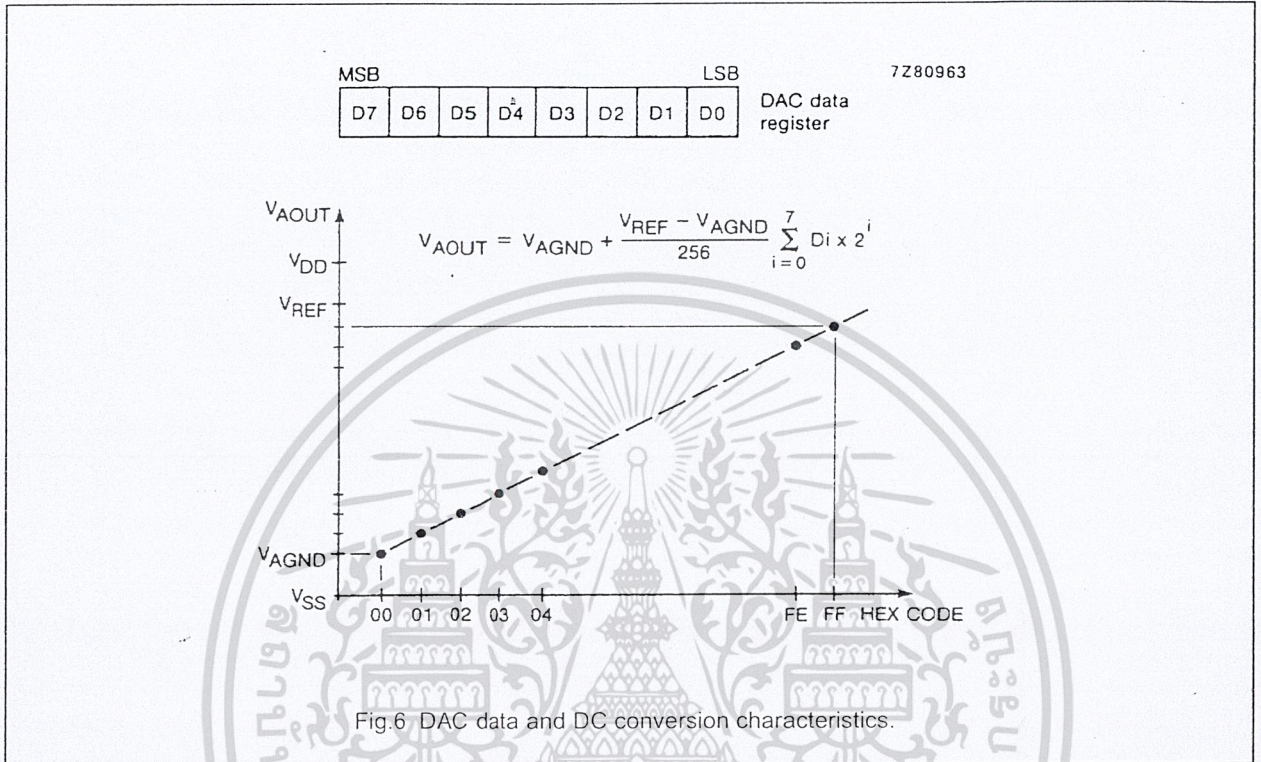


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

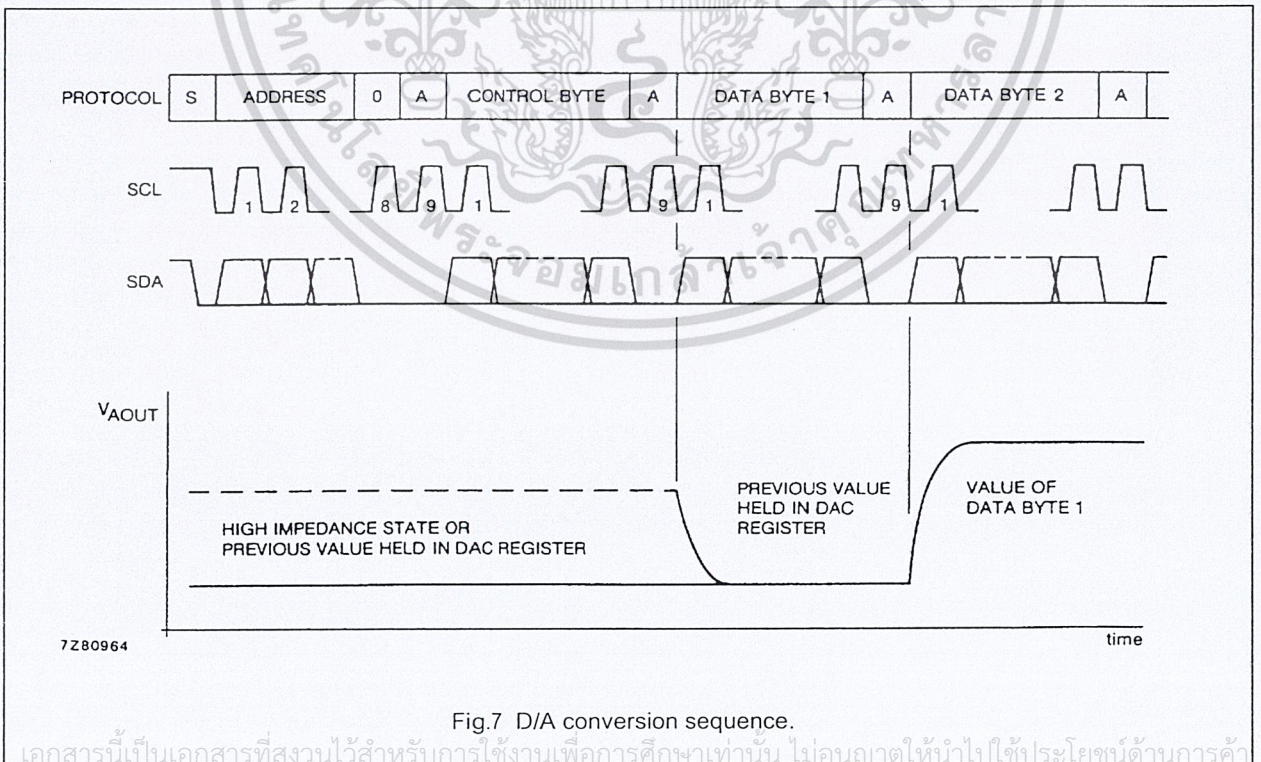


Fig.7 D/A conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I²C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I²C-bus.

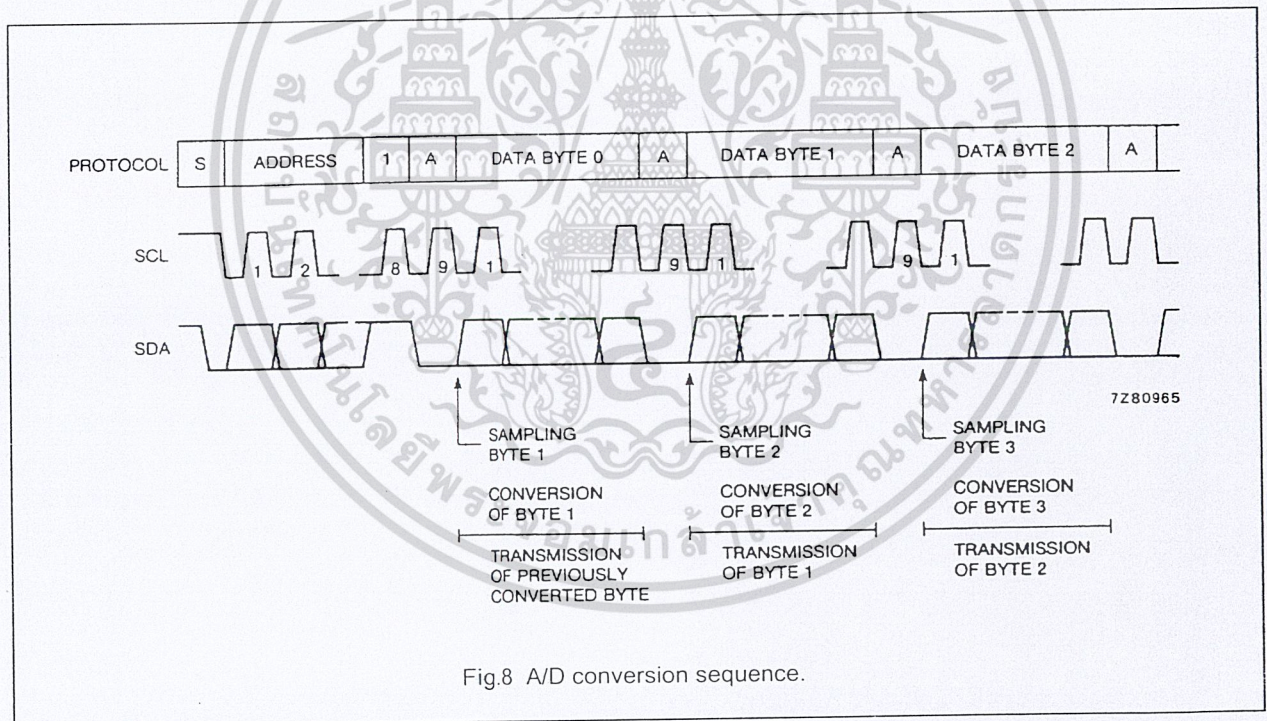
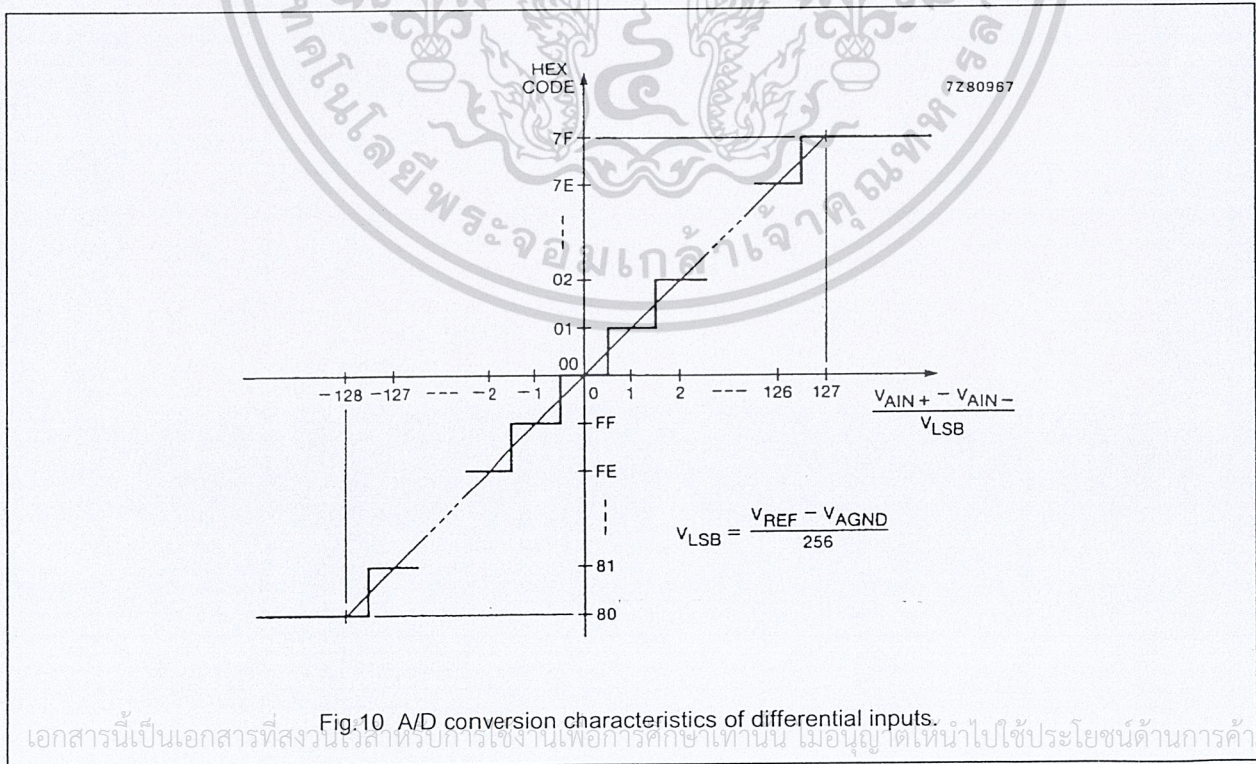
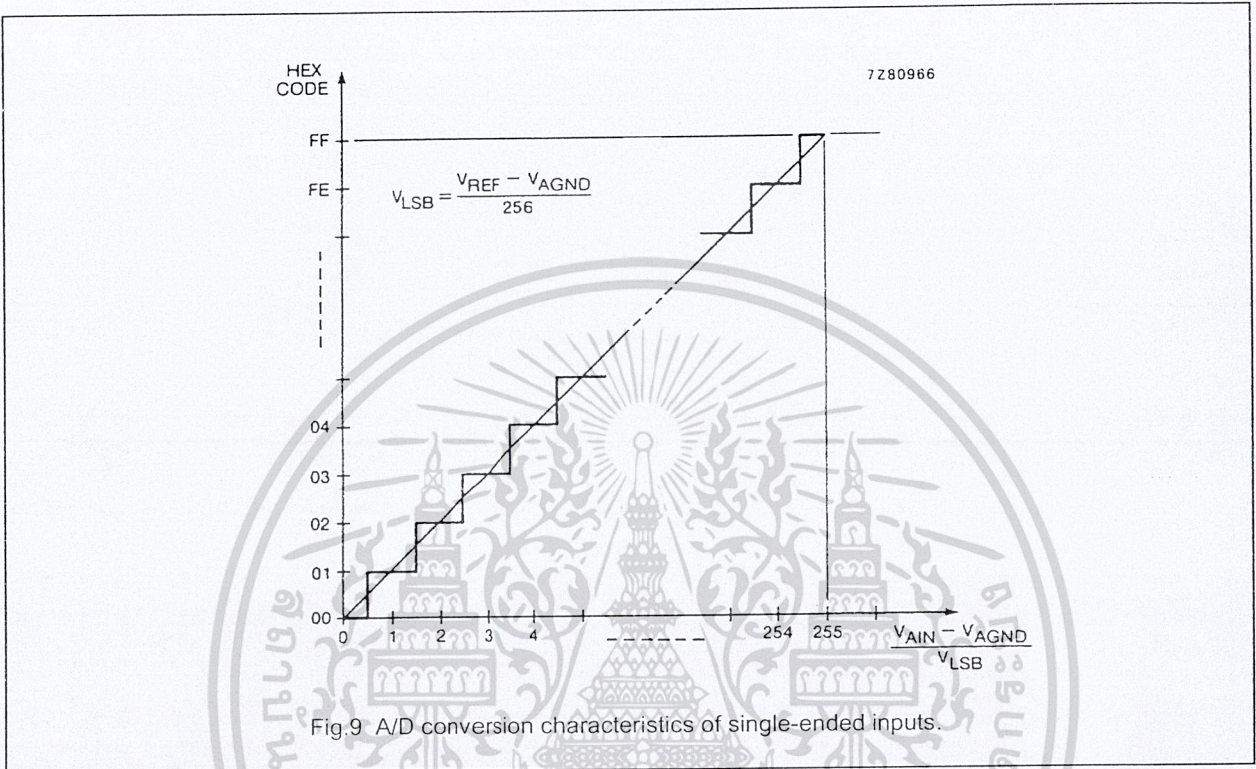


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1998 Jul 02 11

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

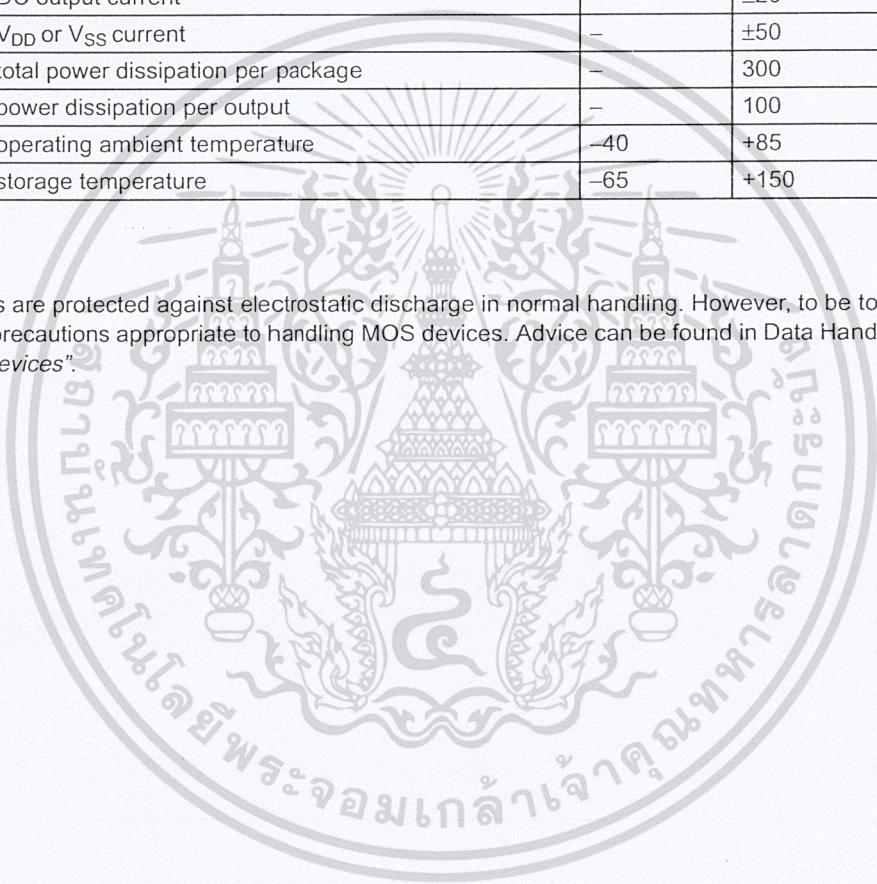
9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V _{DD}	supply voltage (pin 16)	-0.5	+8.0	V
V _I	input voltage (any input)	-0.5	V _{DD} + 0.5	V
I _I	DC input current	-	±10	mA
I _O	DC output current	-	±20	mA
I _{DD} , I _{SS}	V _{DD} or V _{SS} current	-	±50	mA
P _{tot}	total power dissipation per package	-	300	mW
P _O	power dissipation per output	-	100	mW
T _{amb}	operating ambient temperature	-40	+85	°C
T _{stg}	storage temperature	-65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under "Handling MOS Devices".



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

11 DC CHARACTERISTICS

 $V_{DD} = 2.5\text{ V to }6\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C to }+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{DD}	supply voltage (operating)		2.5	–	6.0	V
I_{DD}	supply current					
	standby	$V_I = V_{SS}$ or V_{DD} ; no load	–	1	15	μA
	operating, AOUT off	$f_{SCL} = 100\text{ kHz}$	–	125	250	μA
	operating, AOUT active	$f_{SCL} = 100\text{ kHz}$	–	0.45	1.0	mA
V_{POR}	Power-on reset level	note 1	0.8	–	2.0	V
Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	–	V_{DD}	V
I_L	leakage current					
	A0, A1, A2	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	–250	–	+250	nA
	SCL, SDA	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	–1	–	+1	μA
C_i	input capacitance		–	–	5	pF
I_{OL}	LOW level SDA output current	$V_{OL} = 0.4\text{ V}$	3.0	–	–	mA
Reference voltage inputs						
V_{REF}	reference voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	$V_{SS} + 1.6$	–	V_{DD}	V
V_{AGND}	analog ground voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS}	–	$V_{DD} - 0.8$	V
I_{LI}	input leakage current		–250	–	+250	nA
R_{REF}	input resistance	pins V_{REF} and AGND	–	100	–	$\text{k}\Omega$
Oscillator: OSC, EXT						
I_{LI}	input leakage current		–	–	250	nA
f_{OSC}	oscillator frequency		0.75	–	1.25	MHz

Notes

- The power on reset circuit resets the I²C-bus logic when V_{DD} is less than V_{POR} .
- A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8\text{ V}, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4\text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

12 D/A CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 100\text{ pF}$; $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog output						
V_{OA}	output voltage	no resistive load	V_{SS}	–	V_{DD}	V
		$R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{SS}	–	$0.9 \times V_{DD}$	V
I_{LO}	output leakage current	AOUT disabled	–	–	250	nA
Accuracy						
OS_e	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	50	mV
L_e	linearity error		–	–	± 1.5	LSB
G_e	gain error	no resistive load	–	–	1	%
t_{DAC}	settling time	to $\frac{1}{2}$ LSB full scale step	–	–	90	μs
f_{DAC}	conversion rate		–	–	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	–	40	–	dB

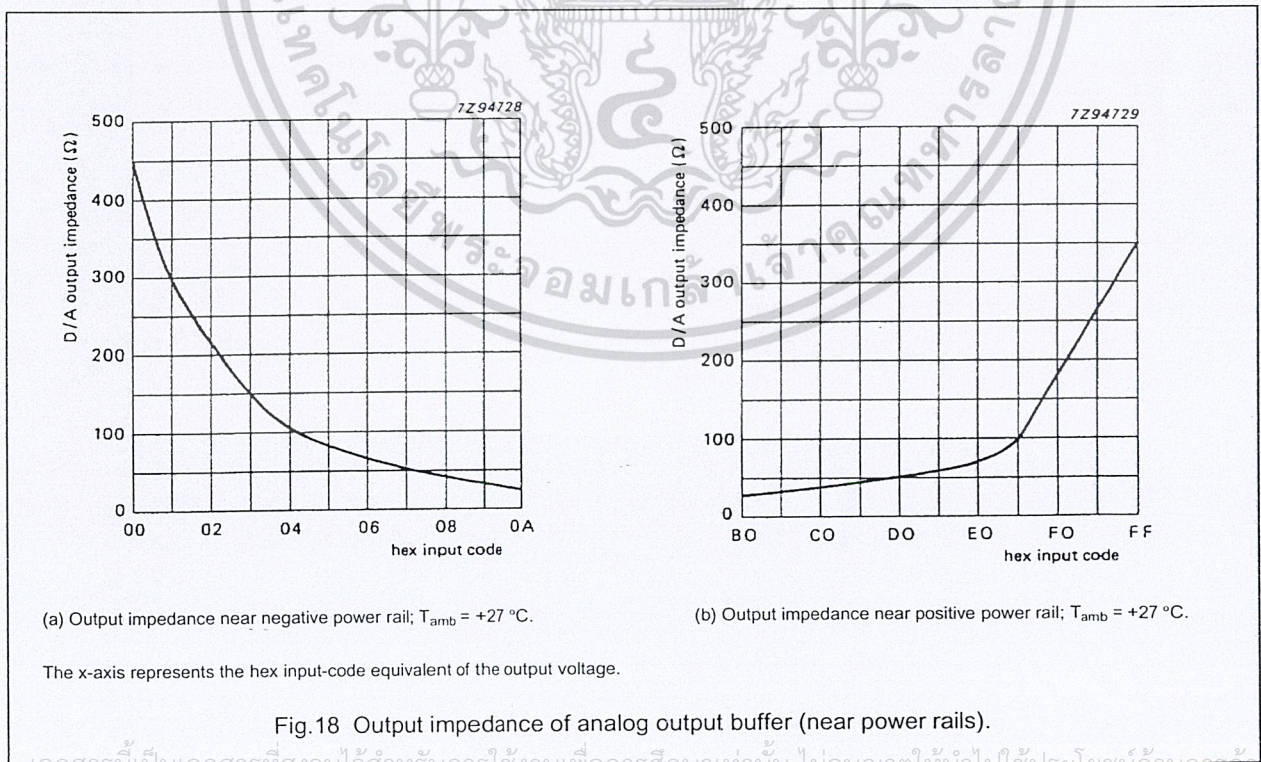
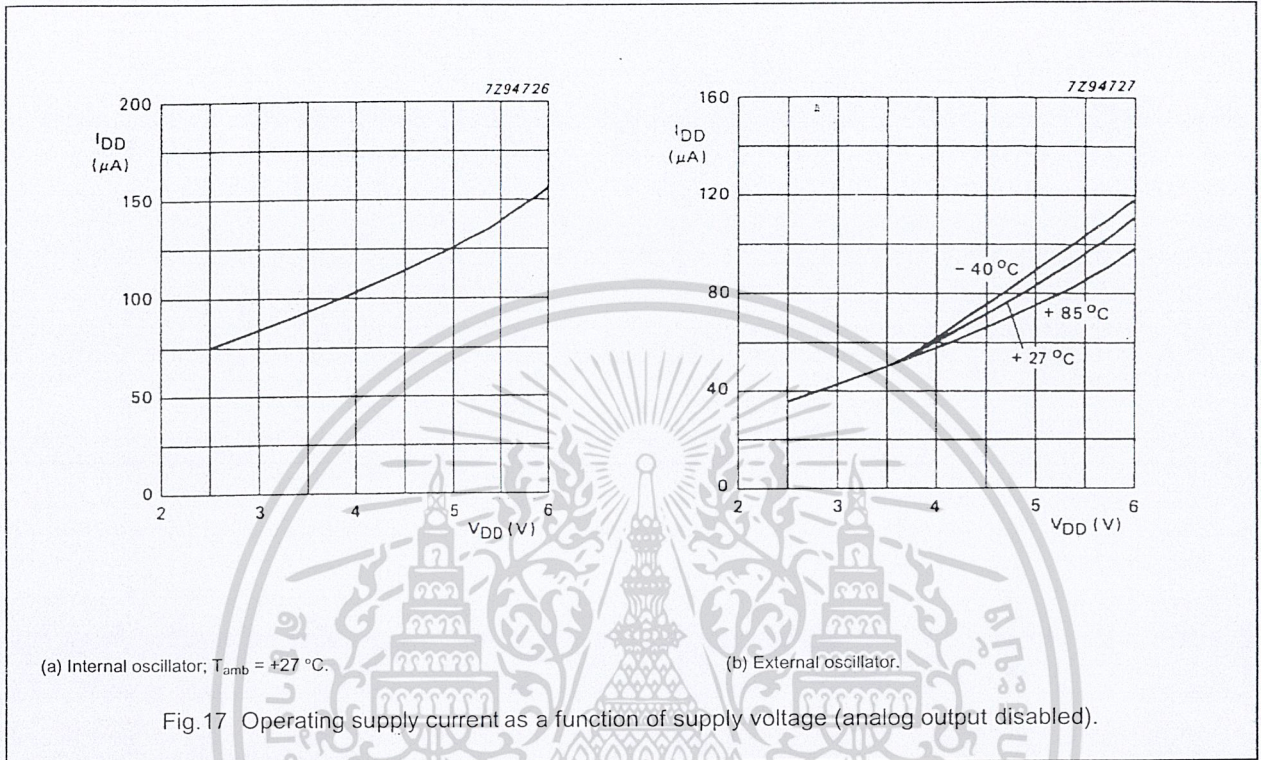
13 A/D CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_S = 10\text{ k}\Omega$; $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog inputs						
V_{IA}	analog input voltage		V_{SS}	–	V_{DD}	V
I_{LIA}	analog input leakage current		–	–	100	nA
C_{IA}	analog input capacitance		–	10	–	pF
C_{ID}	differential input capacitance		–	10	–	pF
V_{IS}	single-ended voltage	measuring range	V_{AGND}	–	V_{REF}	V
V_{ID}	differential voltage	measuring range; $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$-\frac{V_{FS}}{2}$	–	$+\frac{V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
OS_e	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	20	mV
L_e	linearity error		–	–	± 1.5	LSB
G_e	gain error		–	–	1	%
GS_e	small-signal gain error	$\Delta V_i = 16\text{ LSB}$	–	–	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		–	60	–	dB
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	–	40	–	dB
t_{ADC}	conversion time		–	–	90	μs
f_{ADC}	sampling/conversion rate		–	–	11.1	kHz

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to V_{IL} and V_{IH} with an input voltage swing of V_{SS} to V_{DD} .

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I²C-bus timing (see Fig.19; note 1)					
f_{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t_{SP}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t_{BUF}	bus free time	4.7	–	–	μ s
$t_{SU;STA}$	START condition set-up time	4.7	–	–	μ s
$t_{HD;STA}$	START condition hold time	4.0	–	–	μ s
t_{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	μ s
t_{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	μ s
t_r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	μ s
t_f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	μ s
$t_{SU;DAT}$	data set-up time	250	–	–	ns
$t_{HD;DAT}$	data hold time	0	–	–	ns
$t_{VD;DAT}$	SCL LOW-to-data out valid	–	–	3.4	μ s
$t_{SU;STO}$	STOP condition set-up time	4.0	–	–	μ s

Note

1. A detailed description of the I²C-bus specification, with applications, is given in brochure "The I²C-bus and how to use it". This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.

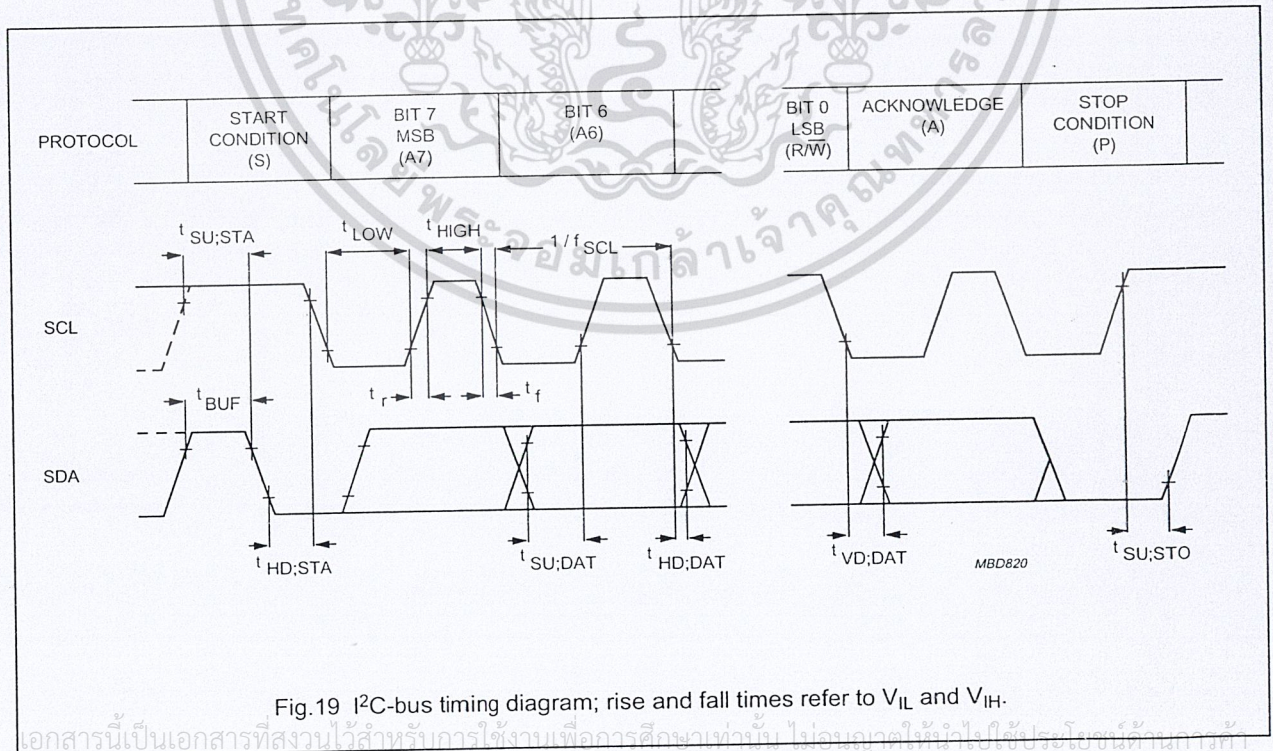


Fig.19 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH} .

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

15 APPLICATION INFORMATION

Inputs must be connected to V_{SS} or V_{DD} when not in use. Analog inputs may also be connected to AGND or V_{REF} .

In order to prevent excessive ground and supply noise and to minimize cross-talk of the digital to analog signal paths the user has to design the printed-circuit board layout very carefully. Supply lines common to a PCF8591 device and noisy digital circuits and ground loops should be avoided. Decoupling capacitors ($>10 \mu\text{F}$) are recommended for power supply and reference voltage inputs.

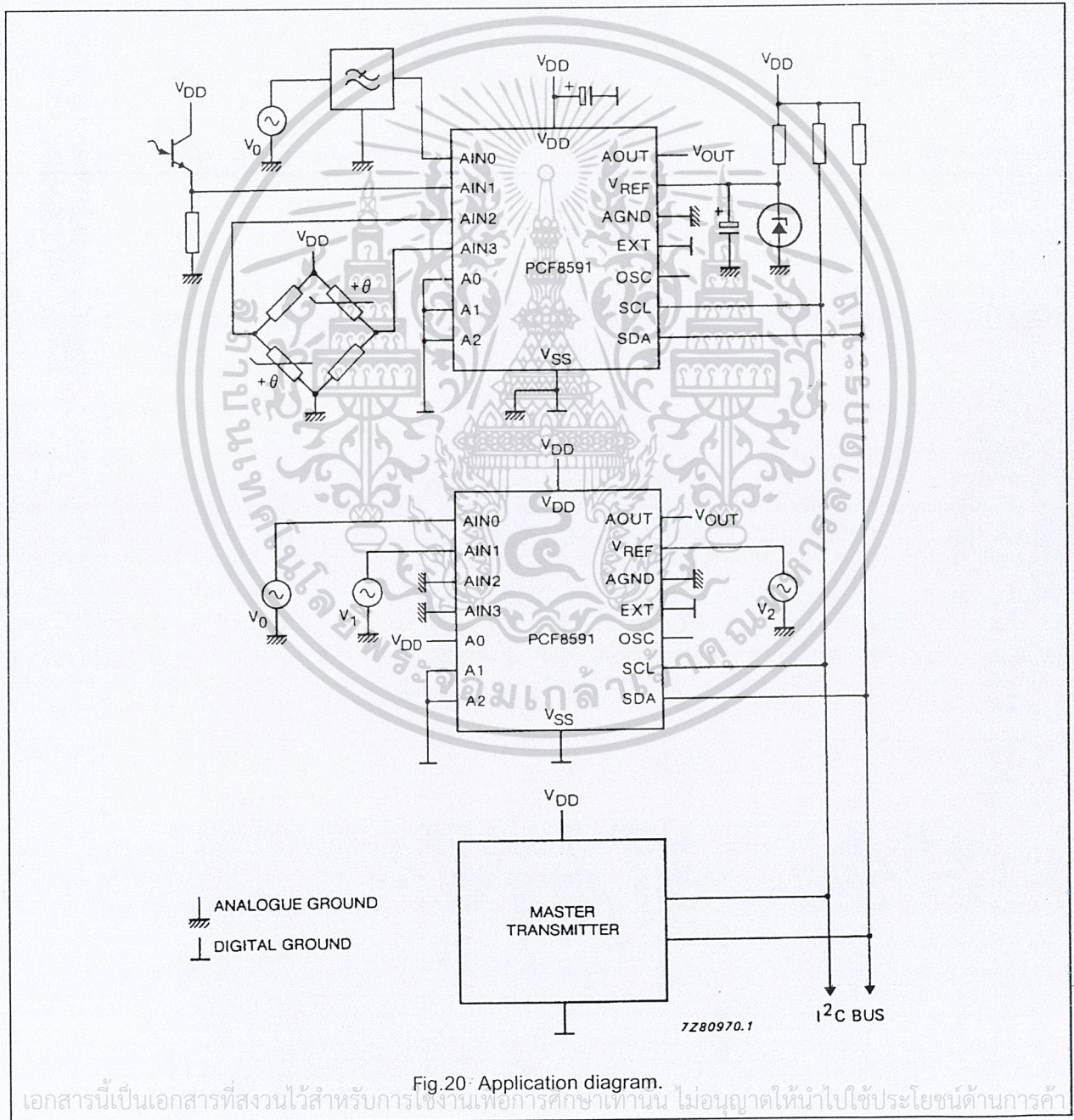


Fig.20: Application diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

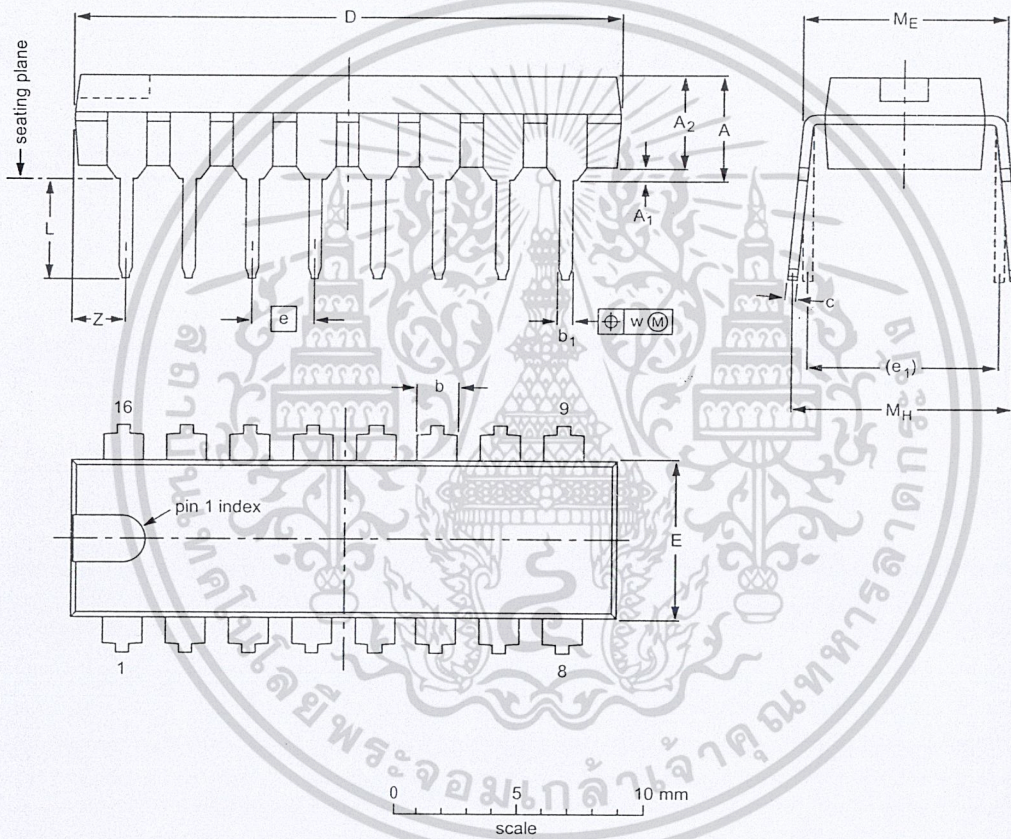
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

16 PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body

SOT38-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	2.2
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.045	0.021 0.015	0.013 0.009	0.86 0.84	0.26 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

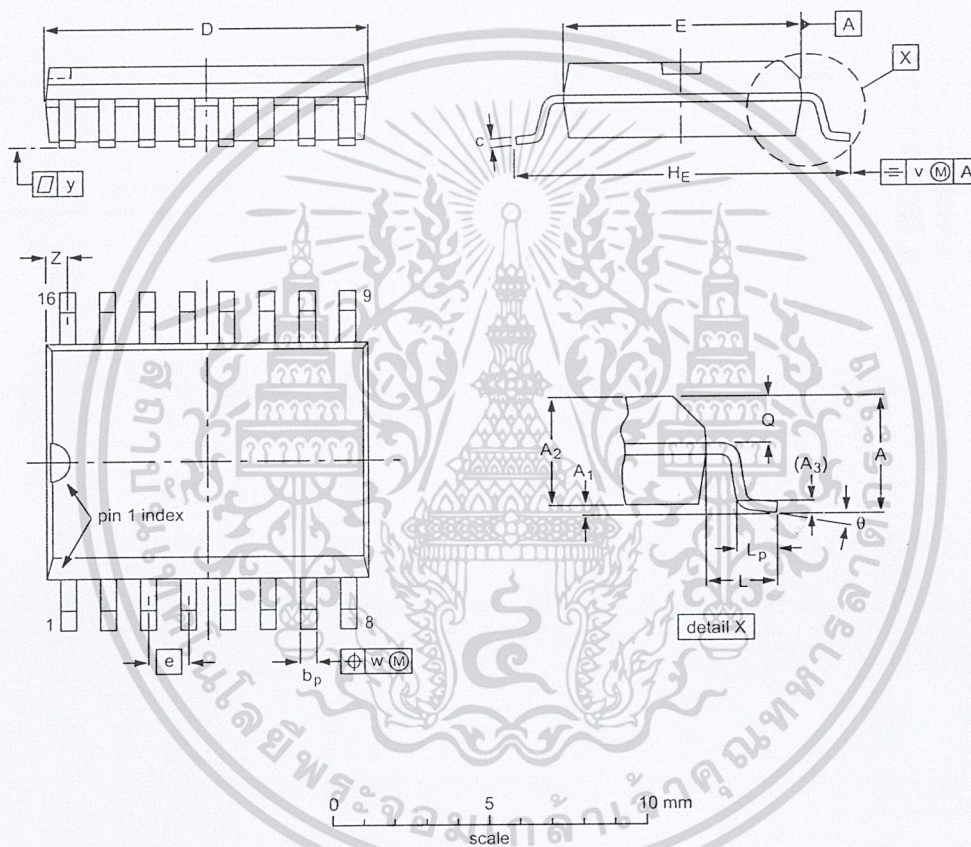
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT38-1	050G09	MO-001AE			92-10-02 95-01-19

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm

SOT162-1



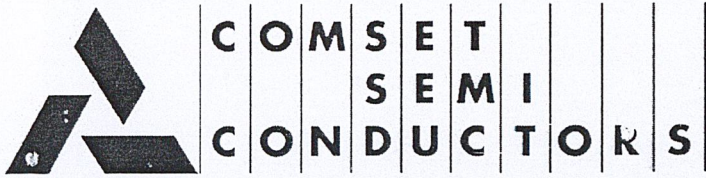
DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	z ⁽¹⁾	θ
mm	2.65	0.30 0.10	2.45 2.25	0.25	0.49 0.36	0.32 0.23	10.5 10.1	7.6 7.4	1.27	10.65 10.00	1.4	1.1 0.4	1.1 1.0	0.25	0.25	0.1	0.9 0.4	8° 0°
inches	0.10	0.012 0.004	0.096 0.089	0.01	0.019 0.014	0.013 0.009	0.41 0.40	0.30 0.29	0.050	0.419 0.394	0.055	0.043 0.016	0.043 0.039	0.01	0.01	0.004	0.035 0.016	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT162-1	075E03	MS-013AA				95-01-24 97-05-22



2N3055

POWER LINEAR AND SWITCHING APPLICATIONS

The 2N3055 is a silicon epitaxial-base NPN transistor in JEDEC TO-3 metal case. It is intended for power switching circuits, series and shunt regulators, output stages and high fidelity amplifiers.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Ratings	Value	Unit	
V_{CBO}	Collector to Base Voltage	100	V	
V_{CEO}	#Collector-Emitter Voltage	60	V	
V_{CER}	Collector-Emitter Voltage	70	V	
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	7	V	
I_C	Collector Current – Continuous	15	Adc	
I_B	Base Current – Continuous	7	Adc	
P_D	Total Device Dissipation	@ $T_C = 25^\circ$	115	Watts
		Derate above 25°	0.657	W/°C
T_J	Junction Temperature	200	°C	
T_S	Storage Temperature	-65 to +200	°C	

THERMAL CHARACTERISTICS

Symbol	Ratings	Value	Unit
R_{thJC}	Thermal Resistance, Junction to Case	1.52	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3055

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

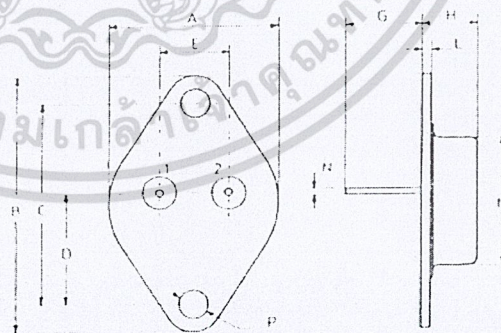
$T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Ratings	Test Condition(s)	Min	Typ	Mx	Unit
$V_{CEO(SUS)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage (1)	$I_C=200\text{ mA dc}, I_B=0$	60	-	-	Vdc
BV_{CER}	Collector-Emitter Breakdown Voltage (1)	$I_C=200\text{ mA dc}, R_{BE}=100\Omega$	70	-	-	Vdc
I_{CEO}	Collector-Emitter Current	$V_{CE}=30\text{ Vdc}, I_B=0$	-	-	0.7	mA dc
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE}=100\text{ Vdc}, V_{EB(off)}=1.5\text{ Vdc}$	-	-	5.0	mA dc
		$V_{CE}=100\text{ Vdc}, V_{EB(off)}=1.5\text{ Vdc}, T_C=150^\circ\text{C}$	-	-	30	
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current	$V_{BE}=7.0\text{ Vdc}, I_C=0$	-	-	5.0	mA dc
h_{FE}	DC Current Gain	$I_C=4.0\text{ A dc}, V_{CE}=4.0\text{ Vdc}$	20	-	70	
		$I_C=10\text{ A dc}, V_{CE}=4.0\text{ Vdc}$	5.0	-	-	
$V_{CE(SAT)}$	Collector-Emitter saturation Voltage	$I_C=4.0\text{ A dc}, I_B=0.4\text{ A dc}$	-	-	1.1	Vdc
		$I_C=10\text{ A dc}, I_B=3.3\text{ A dc}$	-	-	8.0	
V_{BE}	Base-Emitter Voltage	$I_C=4.0\text{ A dc}, V_{CE}=4.0\text{ Vdc}$	-	1.8	-	Vdc
h_{fe}	Small Signal Current Gain	$V_{CE}=4.0\text{ Vdc}, I_C=1.0\text{ A dc}, f=1.0\text{ kHz}$	15	-	120	-
$f_{\alpha e}$	Small Signal Current Gain Cutoff Frequency	$V_{CE}=4.0\text{ Vdc}, I_C=1.0\text{ A dc}, f=1.0\text{ kHz}$	10	-	-	kHz
$I_{s/b}$	Second Breakdown Collector Current	$t=1\text{ S (non repetitive)}, V_{CE}=60\text{ Vdc}$	1.95	-	-	A

In accordance with JEDEC Registration Data
 (1) Pulse Width $\approx 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $< 2.0\%$

MECHANICAL CHARACTERISTICS CASE-TO-3

DIMENSIONS		
	mm	inches
A	25,51	1,004
B	38,93	1,53
C	30,12	1,18
D	17,25	0,68
E	10,89	0,43
G	11,62	0,46
H	8,54	0,34
L	1,55	0,6
M	19,47	0,77
N	1	0,04
P	4,06	0,16



Pin 1 :	Base
Pin 2 :	Emitter
Case :	Collector

เอกสารนี้เป็น Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, CS assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for errors that could appear. ข้อมูลนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นและไม่มีผลผูกพันผู้ขายในกรณีที่มีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ขาย. Data are subject to change without notice.

Complementary Silicon Power Transistors

... designed for general-purpose switching and amplifier applications.

- DC Current Gain — $h_{FE} = 20-70$ @ $I_C = 4 \text{ Adc}$
- Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 1.1 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 4 \text{ Adc}$
- Excellent Safe Operating Area

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	7	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	115 0.657	Watts $\text{W}/^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

THE RMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C}/\text{W}$

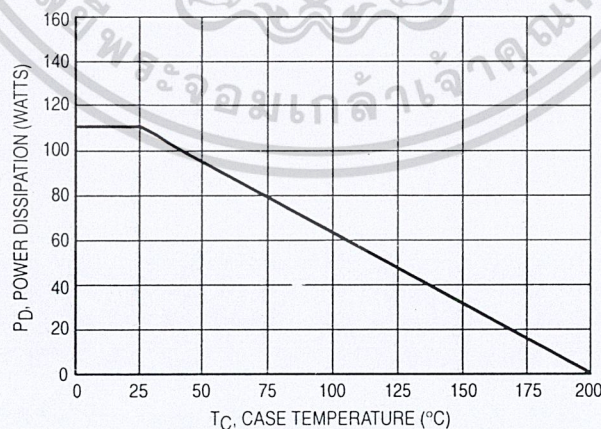
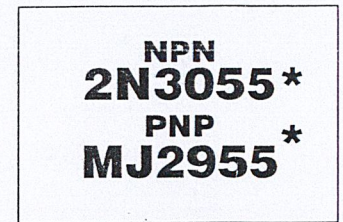


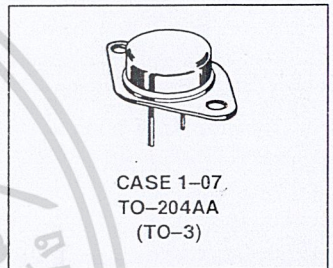
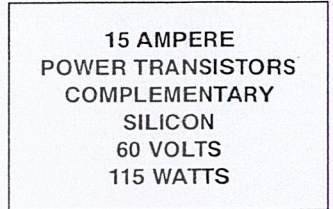
Figure 1. Power Derating

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
© Motorola, Inc. 1995 ทุกสิ่งทุกอย่างที่พิมพ์ไว้ที่นี่อาจเปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า



*Motorola Preferred Device



2N3055 MJ2955

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
*OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CEO(sus)}$	60	—	Vdc
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $R_{BE} = 100\text{ Ohms}$)	$V_{CER(sus)}$	70	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	—	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$) ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$)	I_{CEX}	—	1.0 5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 7.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	—	5.0	mAdc

*ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	20 5.0	70 —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $I_B = 400\text{ mAdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $I_B = 3.3\text{ Adc}$)	$V_{CE(sat)}$	—	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	—	1.5	Vdc

SECOND BREAKDOWN

Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $t = 1.0\text{ s}$, Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	2.87	—	Adc
---	-----------	------	---	-----

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current Gain — Bandwidth Product ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	f_T	2.5	—	MHz
*Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	15	120	—
*Small-Signal Current Gain Cutoff Frequency ($V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $I_C = 1.0\text{ Adc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	f_{hfe}	10	—	kHz

* Indicates Within JEDEC Registration. (2N3055)

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

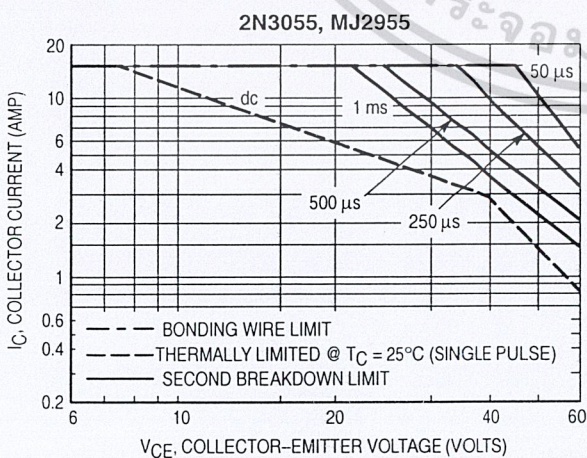


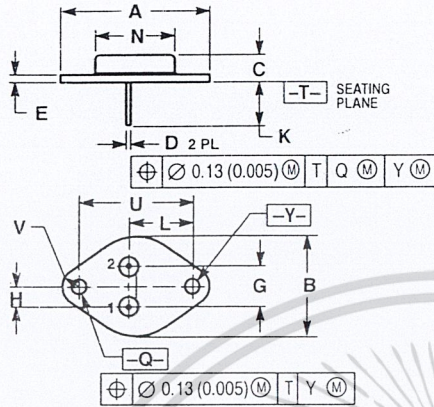
Figure 2. Active Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on $T_C = 25^\circ\text{C}$; $T_{J(pk)}$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature according to Figure 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
 1 DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
 2 CONTROLLING DIMENSION: INCH
 3 ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH REFERENCED TO-204AA OUTLINE SHALL APPLY

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.550 REF		39.37 REF	
B	—	1.050	—	26.67
C	0.250	0.335	6.35	8.51
D	0.038	0.043	0.97	1.09
E	0.055	0.070	1.40	1.77
G	0.430 BSC		10.92 BSC	
H	0.215 BSC		5.46 BSC	
K	0.440	0.480	11.18	12.19
L	0.665 BSC		16.89 BSC	
N	—	0.830	—	21.08
Q	0.151	0.185	3.84	4.19
U	1.187 BSC		30.15 BSC	
V	0.131	0.188	3.33	4.77

STYLE 1:
 PIN 1: BASE
 2: EMITTER
 CASE: COLLECTOR

CASE 1-07
 TO-204AA (TO-3)
 ISSUE Z

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
 F. J. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
 INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Motorola

2N3055/D

