

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์วัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์

RELATIVE HUMIDITY OF HYDRAULIC OILS MEASUREMENT



นายกิตติ นวมเมือง
นายธีระยุทธ ทิพย์วรรณ
นายนิติวัฒน์ มุสศรีแก้ว

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61953
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

๖.....
๑.....

RELATIVE HUMIDITY OF HYDRAULIC OILS MEASUREMENT



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

2004

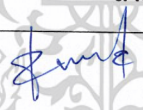
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท อุปกรณ์วัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์
RELATIVE HUMIDITY OF HYDRAULIC OILS MEASUREMENT

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกิตติ นวมเมือง รหัสประจำตัว 45015589
นายธีระยุทธ ทิพย์วรธรรม รหัสประจำตัว 45015601
นายนิติวัฒน์ มุลศรีแก้ว รหัสประจำตัว 45015604

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ. เชื้อ นกอยู่	
ผศ. ทรงชัย วีระทวีมาศ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2548
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท อนุกรมวัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์
RELATIVE HUMIDITY OF HYDRAULIC OILS MEASUREMENT
นักศึกษผู้จัดทำ นายกิตติ นวมเมือง
นายธีระยุทธ ทิพย์วรรณ
นายนิติวัฒน์ มุลศรีแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.เชื้อ นกอยู่
ผศ.ทรงชัย วีระทวีมาศ
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องต้นแบบอนุกรมวัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยพิจารณาคุณค่าความเหมาะสมของอุณหภูมิ และค่าความชื้นในน้ำมันไฮดรอลิกส์ในขณะที่น้ำมันไฮดรอลิกส์กำลังถูกใช้งาน ซึ่งในการตรวจสอบ จะใช้เซนเซอร์ชนิด การเปลี่ยนแปลงค่าความจุในการตรวจสอบ โดยดูการเปลี่ยนแปลงค่าไดอิเล็กทริกที่อยู่ในน้ำมันไฮดรอลิกส์ และมีไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวรับค่าเพื่อประมวลผลและตรวจสอบค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์แล้วนำค่ามาแสดงผล เพื่อตรวจสอบค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิกส์ในระบบตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Relative Humidity of Hydraulic Oils Measurement	
Authors	Mr. Kitti	Nuammuang
	Mr. Theerayut	Thipworathum
	Mr. Nitiwat	Moonsreekeaw
Thesis Advisor	Asst. Prof. Chau	Nokyoo
	Asst. Prof. Songchai	Veerathaveemas
Year	2004	

ABSTRACT

This project presents a Relative Humidity of Hydraulic Oils Measurement prototype. Which consideration are suitable value of temperature and relative humidity in hydraulic oils while hydraulic oil is working. There are test by capacitive sensors. Observe change dielectric value in hydraulic oils. There is microcontroller receiving value for processing and checking value from sensors then display value. Which used checking relative humidity of hydraulic oils in system every time.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผศ. เชื้อ นกอยู่ และ ผศ. ทรงชัย วีระทวีมาศ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ส่วนประกอบต่างๆของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 น้ำมันไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Oils)	3
2.1.1 หน้าที่หลักของน้ำมันไฮดรอลิกส์	3
2.1.2 คุณภาพที่ต้องการในน้ำมันไฮดรอลิกส์ (Quality requirement)	3
2.1.3 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไฮดรอลิกส์ (Chemical properties)	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	5
2.2.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51	5
2.2.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	8
2.2.3 การใช้งานของขาต่าง ๆ พอกกล่าวคร่าว ๆ ในขั้นต้นได้ดังนี้	8
2.2.4 สัญญาณนาฬิกาของ MCS-51	10
2.2.5 โครงสร้างหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	11
2.2.6 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	15
2.2.7 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD	17
2.2.8 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD	17
2.2.9 โมดูล LCD ขนาด 16 อักขร 1 บรรทัด (LCD 16×1)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.10 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD	19
2.2.11 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD	22
2.2.12 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล	22
2.3 ตัวประจุ (Capacitor)	23
2.3.1 การประจุ (Capacitance)	23
2.3.2 ตัวประจุ (Capacitor)	23
2.3.3 วัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric Materials)	24
2.3.4 อิทธิพลของตัวประกอบที่มีต่อค่าของการประจุ (Factors Affecting the Value of Capacitance)	25
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	26
3.1 หลักการออกแบบ	26
3.2 การออกแบบเซนเซอร์ตัวเก็บประจุ	26
3.2.1 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน (Parallel plates)	26
3.2.2 ตัวเก็บประจุแบบ Concentric cylinders	27
3.2.3 ตัวเก็บประจุแบบ Parallel cylinder	28
3.3 หลักการพื้นฐานของเทอร์มิสเตอร์ (Thermistors)	29
3.4 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ใช้ ไอซี Timer 555	30
3.4.1 การใช้เคาน์เตอร์ในการทำงาน	31
3.5 การขยายสัญญาณ	32
3.6 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	33
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	34
การทดลองที่ 4.1 วัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิกส์	36
การทดลองที่ 4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากอินสตรูเมนต์เอมปี	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	40
5.1 บทสรุป	40
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	40
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก. รายละเอียดของวงจร	43
ภาคผนวก ข. ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์วัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์	44



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS-51	6
2.2 Dielectric Constant ของของเหลวต่าง ๆ	25
4.1 ค่าความชื้นกับปริมาณน้ำที่ผสมในน้ำมันไฮดรอลิกส์คำนวณได้จากกราฟ	35
4.2 ผลการทดลองวัดค่าความชื้นกับปริมาณน้ำที่ผสมในน้ำมันไฮดรอลิกส์	36
4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันเอาต์พุต ที่ได้จากอินสตรูเมนต์เอมพี	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	7
2.2 แสดงรูปร่างและการจัดวางขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	10
2.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	10
2.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาภายนอก	11
2.5 แสดงการใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม	12
2.6 แสดงการจัดพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก	13
2.7 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	13
2.8 แสดงการจัดหน่วยความจำข้อมูล	14
2.9 แสดงการต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ไอซี	15
2.10 แสดงการเลือกใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ในแต่ละกลุ่ม	16
2.11 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบ อักษร	18
3.1 แสดงโครงสร้างการทำงาน	26
3.2 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน	27
3.3 ตัวเก็บประจุแบบ Concentric cylinders	28
3.4 ตัวเก็บประจุแบบ Parallel cylinder	28
3.5 ลักษณะภายนอกและวงจรภายในของไอซี 555	30
3.6 50% Duty Cycle Oscillator	31
3.7 โครงสร้างภายในของอินสตรูเมนต์แอมป์เบอร์ INA 101	32
3.8 แสดงลักษณะที่ได้จากการส่งค่าเข้า A/D	33
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การผสมของน้ำในน้ำมันไฮดรอลิกส์กับค่าความชื้น (%RH)	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจ

ในระบบไฮดรอลิกส์ น้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบ ถ้าคุณภาพของน้ำมันไม่เหมาะสม ระบบก็ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ หรืออาจเกิดการขัดข้องได้ น้ำมันไฮดรอลิกส์จึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพตลอดอายุการใช้งาน ในการตรวจสอบจึงได้ทำการตรวจสอบคุณภาพโดยการ ควบคุมอุณหภูมิและค่าความชื้นในน้ำมันให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม การตรวจสอบจึงได้นำ Capacitive Sensors มาเป็นตัวตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่า ไดอิเล็กทริก (dielectric) ที่อยู่ระหว่างอุปกรณ์การวัดแต่ละชนิด เพื่อให้ทราบความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเท่าใด จากค่าเดิม และสามารถใช้งานได้หรือไม่ เพื่อระบบจะไม่เกิดปัญหาและสามารถทำงานได้เต็มที่

ดังนั้น จึงเป็นเหตุจูงใจของการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์วัดคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยการพิจารณาค่าความเหมาะสมของอุณหภูมิและค่าความชื้นในน้ำมันไฮดรอลิกส์ ซึ่งจะมีมาตรฐานของแต่ละชนิด ในขณะที่น้ำมันไฮดรอลิกส์กำลังถูกใช้งาน ซึ่งในการตรวจสอบ จะใช้เซนเซอร์ชนิด การเปลี่ยนแปลงค่าความจุในการตรวจสอบ โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่า ไดอิเล็กทริกที่อยู่ในน้ำมันไฮดรอลิกส์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาเป็นตัวรับค่า เพื่อประมวลผลและตรวจสอบค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ แล้วนำค่ามาแสดงผล

1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญญาานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหน้าที่รวมถึงคุณภาพที่ต้องการในน้ำมันไฮดรอลิกส์และสาเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไป
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและค่าอุณหภูมิในน้ำมันไฮดรอลิกส์
3. เพื่อศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ชนิด การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ
4. เพื่อศึกษาและนำเอาเซนเซอร์ ชนิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ไปประยุกต์ใช้งาน
5. เพื่อศึกษาวิธีการเขียน โปรแกรมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

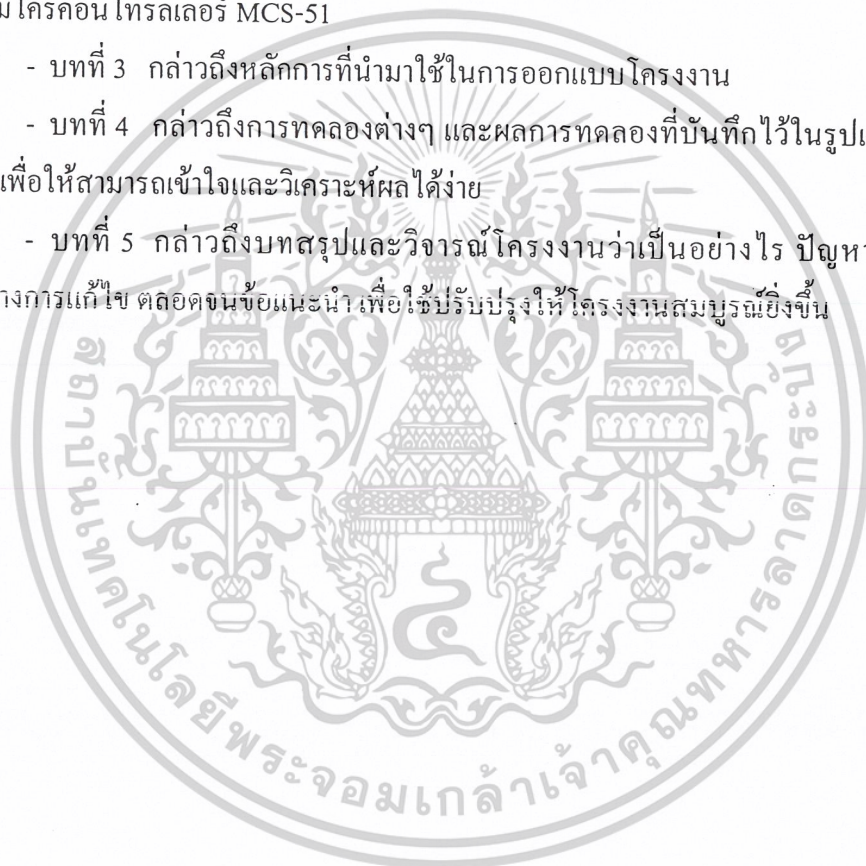
1.3 ขอบเขตของปฏิญญานิพนธ์

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงค่าความจุ
2. ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การประมวลผลที่สามารถวัดค่าความชื้นและค่าอุณหภูมิของ น้ำมันไฮดรอลิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลง แล้วนำค่ามาแสดงผลได้

1.4 ส่วนประกอบต่างๆของปฏิญญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปฏิญญานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย

- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของ น้ำมันไฮดรอลิกส์ คาปาซิทีฟเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
- บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการที่นำมาใช้ในการออกแบบโครงงาน
- บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองต่างๆ และผลการทดลองที่บันทึกไว้ในรูปแบบตารางและกราฟ เพื่อให้สามารถเข้าใจและวิเคราะห์ผลได้ง่าย
- บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปและวิจารณ์โครงงานว่าเป็นอย่างไร ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข ตลอดจนข้อแนะนำ เพื่อใช้ปรับปรุงให้โครงงานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 น้ำมันไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Oils)

2.1.1 หน้าที่หลักของน้ำมันไฮดรอลิกส์ มี 4 ประการ คือ

- การส่งผ่านกำลัง (Power transmission) น้ำมันไฮดรอลิกส์มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งในระบบเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล โดยต้องมีการไหลอย่างรวดเร็วผ่านตามวาล์วต่างๆ

- การหล่อลื่น (Lubrication) น้ำมันไฮดรอลิกส์จะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ เช่น ชิ้นส่วนของปั๊ม มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ลูกสูบ กระจับอกสูบ แกนวาล์ว และส่วนประกอบต่างๆ ที่มีการเคลื่อนที่ น้ำมันไฮดรอลิกส์จะทำหน้าที่เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ กั้นระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นส่วนในการเคลื่อนที่ที่เสียดสีกันในระบบการทำงาน และหยุดนิ่ง

- การซีล (Sealing) น้ำมันไฮดรอลิกส์จะทำหน้าที่เป็นซีลด้วยเพื่อให้มีการรั่วซึมน้อยที่สุดภายในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ระบบไฮดรอลิกส์ที่มีความดันเกิดขึ้น การซีลนี้จะขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกส์แต่ละชนิด

- การระบายความร้อน (Cooling) การไหลเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกส์ในระบบขณะการทำงาน จะช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานในระบบ ความร้อนก็จะถูกพาไปโดยน้ำมันไฮดรอลิกส์และไหลลงสู่ถังพัก แล้วแผ่กระจายความร้อนผ่านผนังของถังพักได้

2.1.2 คุณภาพที่ต้องการในน้ำมันไฮดรอลิกส์ (Quality requirement)

ของไหลที่สามารถจะให้กำลังในอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ได้ดี ได้แก่ น้ำ แต่เนื่องจากน้ำไม่มีคุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดสนิมและป้องกันการสึกหรอในอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ได้ ดังนั้นต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติของน้ำมันไฮดรอลิกส์

- มีความหนืดสูง
- มีค่าทำให้เกิดการสึกหรอของอุปกรณ์ต่ำ
- คุณภาพของน้ำมันจะต้องไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิการทำงานจะสูง
- หล่อลื่นได้ดี
- ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านทานการเกิดสนิม
- ป้องกันการสึกหรอของโลหะ
- สามารถเข้ากับยาง ซีล ปะเก็น และสีได้เป็นอย่างดี
- ด้านทานการเกิดฟอง
- สามารถแยกตัวจากน้ำได้ดี
- ทนไฟ
- มีความสามารถในการอัดตัวต่ำ คือต้องไม่ยุบตัวตามความดันเมื่อถูกอัดตัว
- ไม่จับตัวเป็นก้อนยางหรือเหนียว

2.1.3 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไฮดรอลิกส์ (Chemical properties)

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินคุณภาพและอายุการใช้งาน คุณสมบัติที่ดีที่สุดที่สุดคือ ความต้านทานการเกิดสนิม (Oxidation resistance) การเกิดสนิมของน้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันกับอากาศ ทำให้น้ำมันเป็นสีเขียวเข้มขึ้นและเหนียวขึ้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะในระบบได้

การที่น้ำมันในระบบเกิดสนิมมากขึ้น เนื่องจากสาเหตุหลายประการ คือ

- อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่สูงเกินอัตราที่กำหนดเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณของสนิมเพิ่มมากขึ้น โดยปกติอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกส์ในระบบจะทำงานอยู่ประมาณ 135 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 18-20 องศา จะทำให้เกิดสนิมมากขึ้น แล้วอายุการใช้งานก็จะลดลงครึ่งหนึ่ง และถ้าระบบทำงานที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนไฮต์ อายุการใช้งานก็จะลดลงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าอุณหภูมิไม่เกิน 135 องศาฟาเรนไฮต์ ก็จะเกิดสนิมในน้ำมันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

- ปริมาณอากาศ (Amount of air) ในระบบจะมีอากาศปะปนอยู่ทั่วไป ซึ่งจะทำให้เกิดสนิม เพราะเมื่อเครื่องจักรหยุดทำงาน อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะแยกตัวออกไปและไปทำปฏิกิริยากับผิวโลหะ ที่เป็นเช่นนี้เพราะ เมื่อในสภาวะที่ความดันเพิ่มขึ้นน้ำมันก็จะยิ่งดูดอากาศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นควรใช้วิธีการแก้คือใช้ตะแกรงหรือกระบังกันไว้ในท่อทางน้ำมันไหลกลับ

- ปริมาณสิ่งสกปรกและฝุ่นผง (Contaminants) ที่ปะปนอยู่ในระบบ สิ่งสกปรกต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง จารบี น้ำและเศษโลหะ ที่เกิดจากการสึกหรอเนื่องจากการทำงาน โดยเฉพาะพวกเศษทองแดงและทองเหลือง สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นเสมือนตั้งเร่งที่ทำให้เกิดสนิมและความสกปรกอย่างมาก

- น้ำ (Water) สามารถเข้าไปอยู่ในระบบในรูปแบบน้ำ ซึ่งอยู่ในอากาศที่ละลายในน้ำมันไฮดรอลิกส์ ดังนั้นน้ำจึงผสมในน้ำมันไฮดรอลิกส์ เมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวว่าน้ำมันไฮดรอลิกส์จะมี

สภาพไม่บริสุทธิ์ เป็นผลที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานในระบบเพิ่มขึ้นทำให้อายุการใช้งานสั้นลง และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่ปะปนอยู่จะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำ เนื่องจากน้ำได้รับความร้อนสูง จึงเกิดการเดือดและเกิดแรงอัดเช่นเดียวกับแก๊ส แต่อย่างไรก็ตามไอน้ำชนิดนี้จะระเหยไปเองจึงไม่เป็นอันตรายต่อระบบ

- การเกิดฟอง เมื่อเกิดฟองในน้ำมันไฮดรอลิกส์ ทำได้โดยการเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดฟองลดลง สารเคมีชนิดนี้ไม่ใช่ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดฟอง แต่เป็นการลดฟองอากาศ คือช่วยให้ฟองอากาศลอยขึ้นและแพร่กระจายออกไป

- การสุกก่อนและการเกิดสนิม การสุกก่อนจะเกิดจากกรดที่เป็นผลมาจากการเกิดสนิม สนิมเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างผิวโลหะกับออกซิเจนในอากาศที่มีความชื้นอยู่ ส่วนสนิมเกิดจากฟองอากาศฟองอากาศที่อยู่ในน้ำมันซึ่งจะทำปฏิกิริยาที่ผิวโลหะที่มีความชื้น ซึ่งทำให้เกิดการไหลผิดปกติไปทั้งระบบได้

วิธีการป้องกันและลดการสุกก่อนการเกิดสนิมที่ดีที่สุดคือ การให้ระบบทำงานในอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมในสภาพที่เหมาะสม สำหรับน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดี และเมื่อใช้ครบอายุการใช้งานแล้วก็ต้องเปลี่ยน บางครั้งอาจใช้วิธีการเติมสารเคมีประเภทต้านทานการสุกก่อน ดังนั้นจึงควรใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์ที่มีการยับยั้งการสุกก่อนและป้องกันสนิม

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.2.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตที่มี อุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ในหลายอย่าง ได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากโครงสร้างของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ในตัวเอง ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับตัวไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป นอกจากนี้หากเราต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับการ์ดอื่นเพิ่มเติม เช่น ไอซี 8255 หรือหน่วยความจำภายนอกเรายังสามารถนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อีกด้วย ลักษณะทั่ว ๆ ไปมีดังต่อไปนี้

- ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 V เพียง แหล่งเดียว
- ซีพียูมีขนาด 8 บิต
- มีวงจรรอสซิทิลเลเตอร์ และวงจรรนาฬิกาบนชิป
- ชุดแบงก์ (BANK) รีจิสเตอร์ที่ 4 ชุด แต่ละชุด มีรีจิสเตอร์ 8 ตัว ทำงานเช่นเดียวกับ MCS - 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

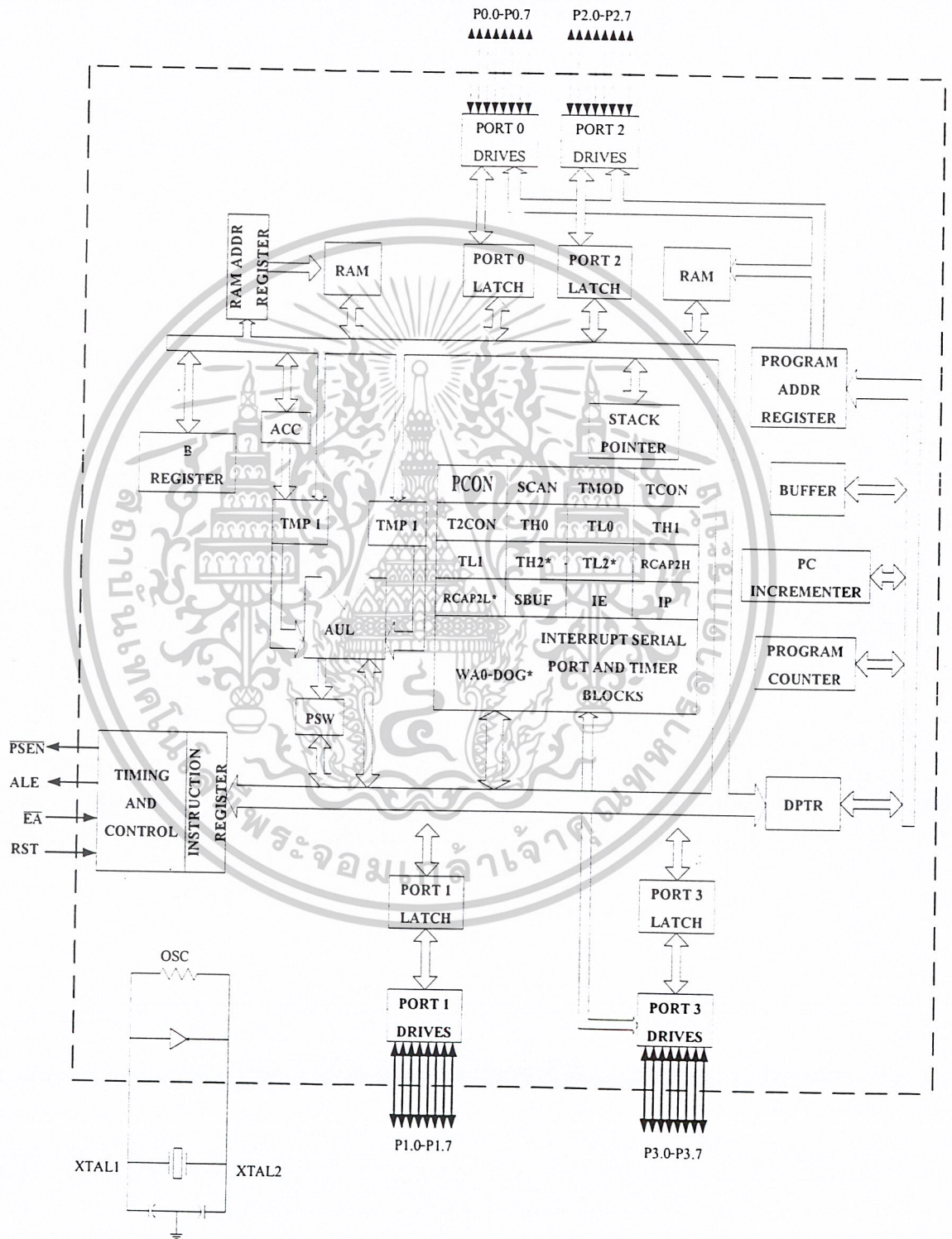
- มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต
 - มีพอร์ต I/O แบบขนาน 2 ทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิตรวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่เหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้นจะใช้ในการเข้าถึงแอดเดรส และ ข้อมูล
 - พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมรับส่งแบบ Full Duplex ที่มีความเร็วสูง
 - 1 machine cycle จะกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสตัล 12 MHz
 - แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
 - แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
 - สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาน ไบต์หรือบิตได้โดยตรง
 - มีซอฟต์แวร์บิตเฟลคสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
 - โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่ง และ 5 แหล่ง สำหรับ 8022/ 8052 พร้อม ด้วยการจัดไพรออริตี้ (Priority) ได้ 3 ระดับ
 - ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ กับการใช้งานกับกระบวนการ งานควบคุม
 - มีคำสั่งคูณและหารทางฮาร์ดแวร์ ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
 - ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งระบบไบนารีและเดซิมีล
 - การใช้พื้นที่สแตกสำหรับโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ทำได้กว้างกว่า MCS-48
 - ชุดคำสั่งของ MCS-51 มีความสามารถสูงกว่าคำสั่งของ MCS-48
- ตระกูล MCS-51 จะมีทั้งแบบ ROM ในตัว หรือไม่มี ROM หรือมี EPROM บนชิปเดียวกัน และจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกับตารางที่ 2.1 แสดงถึงตารางรายละเอียดของเบอร์ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS-51

เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตัวจับเวลา/ ตัวนับจำนวน	อินเตอร์รัพต์
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052 AH	8K X 8 ROM	256 X 8 RAM	3 X 16 BIT	6
8051 AH	4K X 8 ROM	128 X 8 RAM	2 X 16 BIT	5
8051	4K X8 ROM	128 X 8 RAM	2 X 16 BIT	5
8032 AH	NO RAM	256 X 8 RAM	3 X 16 BIT	6
8031 AH	NO RAM	128 X 8 RAM	2 X 16 BIT	5
8031	NO RAM	128 X 8 RAM	2 X 16 BIT	5
8751 H	4K X 8 EPROM	128 X 8 RAM	2 X 16 BIT	5
8752 H	8K X 8 EPROM	256 X 8 RAM	3 X 16 BIT	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8751 H อยู่ในกลุ่มรุ่นเดียวกับ 8051 H ที่เราสามารถโปรแกรมได้ด้วยระบบไฟสามารถ
 ลบโปรแกรมออกได้ด้วยแสงอุลตราไวโอเลต นอกเหนือจากไอซีที่แสดงในตารางข้างบนที่ใช้
 เทคโนโลยี HMOS แล้วยังมีตระกูลอื่นที่ใช้เทคโนโลยี CHMOS ที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่า
 4 เท่าของ HMOS ที่มีจำหน่ายขณะนี้คือ เบอร์ SOC 51 , SOC 31 , และ 87C51



ภาพที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในของ MCS-51 จะเป็นดังภาพที่ 2.1 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญหลัก ๆ ดังนี้

- ซีพียู ขนาด 8 บิต ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ A accumulator และรีจิสเตอร์ B
- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) และดาต้าพอยน์เตอร์ (data pointer; DPTA) ขนาด 16 บิต
- โปรแกรมสแตตัสเวิร์ด (Program status word; PSW) ขนาด 8 บิต
- สแตคพอยน์เตอร์ (Stack pointer; SP) ขนาด 8 บิต
- หน่วยความจำรอม (ROM) หรืออีพรอม (EPROM เฉพาะ 8751) ขนาด 0 กิโลไบต์ (8031) ถึง 4 กิโลไบต์ (8051)
- หน่วยความจำแรมภายในขนาด 128 ไบต์ ประกอบด้วย
 1. รีจิสเตอร์แบงก์ 4 แบงก์ แต่ละแบงก์ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวน 8 รีจิสเตอร์ (R0-R7)
 2. หน่วยความจำ จำนวน 16 ไบต์ที่สามารถอ้างแอดเดรสเพื่อควบคุมการทำงานในระดับบิตได้
 3. มีหน่วยความจำ สำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์
- ขารับสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต 32 ขาแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8 บิต ได้ 4 กลุ่มคือ P0, P1, P2, P3
- พอร์ตอนุกรมที่ใช้รับส่งสัญญาณแบบฟูลดูเพลกซ์ (full duplex) เรียกว่า SBUF
- รีจิสเตอร์ควบคุมได้แก่ TCON, TMOD, SCON, PCON, IP และ IE
- สามารถทำการอินเทอร์รัพต์ได้ทั้งภายในและภายนอก การอินเทอร์รัพต์ภายในได้มาจากแหล่ง กำเนิดการอินเทอร์รัพต์สามแหล่ง การอินเทอร์รัพต์ภายนอกได้มาจากแหล่งกำเนิดการอินเทอร์รัพต์จากภายนอกสองแหล่ง

2.2.3 การใช้งานของขาต่างๆ พอกล่าวคร่าว ๆ ในขั้นต้นได้ดังนี้

พอร์ต 0 (ขา 32~39) เป็นพอร์ตที่ใช้งานสองหน้าที่ด้วยกัน หน้าที่แรกใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ต ส่วนอีกหน้าที่หนึ่งนั้นใช้ควบคุมหน่วยความจำภายนอก เมื่อต้องการขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นโดยจะให้สัญญาณที่มัลติเพล็กซ์ระหว่างบัสแอดเดรสกับบัสข้อมูลออกมา (AD7~AD0)

พอร์ต 1 (ขา 1~8) ใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุตอย่างเดี่ยว ใช้สัญญาณเรียงกันเป็น P1.0, P1.1 จนถึง P1.7 พอร์ตนี้ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหน้าที่เดียวเท่านั้น ยกเว้น 8032/8052 ที่ใช้ P1.0 และ P1.1 เป็นอินพุต/เอาต์พุต หรืออินพุตภายนอกของไทมเมอร์ชุดที่สาม

พอร์ต 2 (ขา 21~28) เป็นพอร์ตที่ใช้งานสองหน้าที่ด้วยกัน หน้าที่แรกเป็นอินพุต/เอาต์พุตหน้าที่ที่สองใช้ควบคุมหน่วยความจำภายนอก โดยให้สัญญาณแอดเดรสไบต์สูง (A15-A8) ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นฉบับนี้จะมีราคาไม่ต่ำกว่า ๑๐ บาท หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต 3 (ขา 10~17) เป็นพอร์ตที่ใช้งานสองหน้าที่ด้วยกัน หน้าที่แรกเป็นอินพุต/เอาต์พุต หน้าที่ที่สองแยกออกได้หลายฟังก์ชันดังนี้

P3.0	RXD	รับข้อมูลสำหรับพอร์ตอนุกรมย่อย
P3.1	TXD	ส่งข้อมูลสำหรับพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	อินเตอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT1	อินเตอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 (อินพุตจากภายนอก)
P3.5	T1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (อินพุตจากภายนอก)
P3.6	WR	สัญญาณเขียนใช้อ่านต่อกับหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านใช้อ่านต่อกับหน่วยความจำภายนอก

PSEN (program store enable) (ขา 29) เป็นสัญญาณเอาต์พุต ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอินทิเนต (Enable) หน่วยความจำที่ใช้เก็บรหัสที่ตั้งอยู่ภายนอก (external program (code) memory) โดยทั่วไปจะต่อกับขาเอาต์พุตอินทิเนต (Output enable; OE) ของอีพรอม PSEN จะใช้พัลส์ต่ำในขณะที่อยู่ในขั้นตอนเฟลชคำสั่งจากอีพรอม ข้อมูลจะถูกวางลงในบัสข้อมูลและถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์คำสั่งภายในตัว 8051 เพื่อรอรับการถอดรหัสต่อไป เมื่อทำการรับโปรแกรมจากรอมภายในตัว (8051/8052) PSEN จะมีระดับสัญญาณเป็น 1 ตลอด

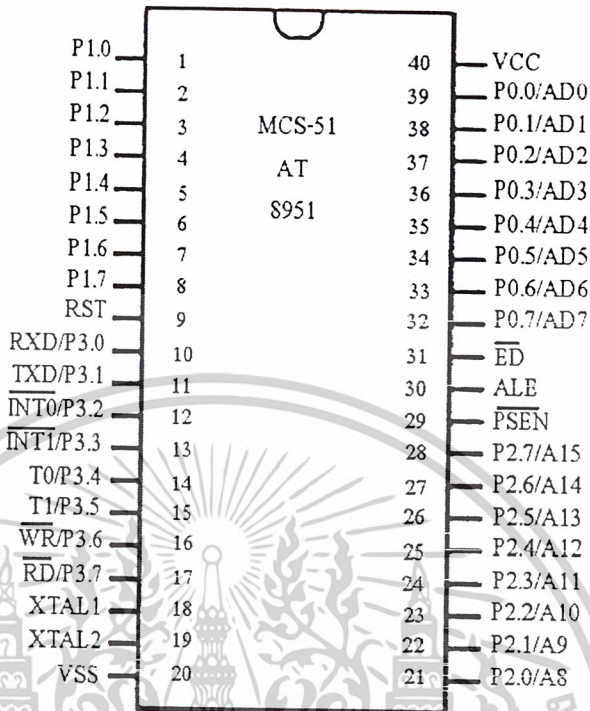
ALE (address Latch enable) (ขา 30) เป็นสัญญาณเอาต์พุต ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการแลตช์ (Latch) สัญญาณแอดเดรสที่ออกมาจากพอร์ต 0 เมื่อพอร์ต 0 ถูกใช้งานในหน้าที่ที่สอง (เป็นสัญญาณแอดเดรสและข้อมูลมัลติเพล็กซ์ออกมา) ความถี่ของ ALE จะมีค่าเป็น 1/6 เท่าของความถี่ที่เกิดขึ้นภายในชิป เช่นถ้าใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกกะเฮิร์ตซ์ ALE จะมีความถี่เป็น 2 เมกกะเฮิร์ตซ์ ยกเว้นการทำคำสั่ง MOVX

EA (external access) (ขา 31) ขา EA เป็นขาอินพุตเพื่อใช้ต่อกับ VCC หรือกราวด์ ถ้าต่อกับ Vcc 8051/8052 จะรันโปรแกรมจากรอมภายในก่อนในช่วงหน่วยความจำ 4K/8K แรก จากนั้นจึงออกมารันที่หน่วยความจำภายนอก ถ้าต่อกับกราวด์ 8051/8052 จะรับโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ถ้าใช้ 8031/8032 ขา EA จะต้องต่อลงกราวด์ เนื่องจากตัวมันไม่มีหน่วยความจำรอมภายใน

RST (Reset) (ขา 9) เป็นขาอินพุตที่ใช้รีเซ็ต 8051 เมื่อสัญญาณที่ขา RST เป็นลอจิก 1 (อย่างน้อย 2 วงรอบเมกซ์ซิน) ทำให้ 8051 ทำการรีเซ็ตระบบภายในของมันทั้งหมด

ออสซิลเลเตอร์อินพุต (Oscillator input) (ขา 18-19) เนื่องจาก 8051 ในวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ภายใน โดยเชื่อมต่อกับขาคริสตอลผ่านทางขา 18 และ 19 ในตระกูล MCS-51 สามารถใช้คริสตอลที่มีความถี่สูงถึง 12 เมกกะเฮิร์ตซ์ บางเบอร์ เช่น 80C31 BH-1 สามารถใช้คริสตอลที่มีความถี่สูงถึง 16 เมกกะเฮิร์ตซ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

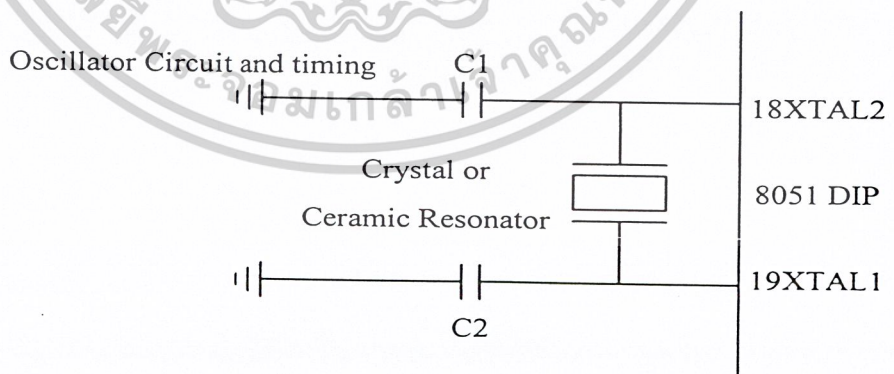
แหล่งจ่ายไฟ (ขา 40 และ 20) 8051 ใช้แหล่งจ่ายไฟแหล่งเดียวขนาด +5 โวลต์ โดย VCC ต่อกับขา 40 และกราวด์ต่อกับขา 20 จากนั้นจะแยกกล่าวออกเป็นส่วนๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.2 แสดงรูปร่างและการจัดวางขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.2.4 สัญญาณนาฬิกาของ MCS-51

เนื่องจาก MCS-51 มีวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายใน เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับระบบ ทำให้ระบบการทำงานสอดคล้องกันทั้งหมด ผู้ใช้เพียงแค่ต่อคริสตัลและตัวเก็บประจุเข้าไป ดังภาพที่ 2.3

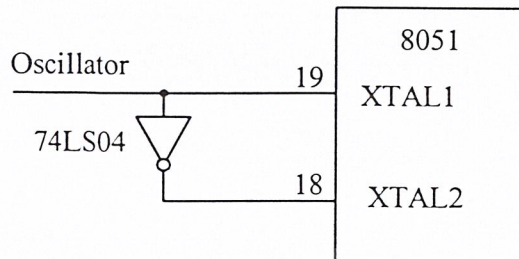


ภาพที่ 2.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

ทางโรงงานผู้ผลิตได้ออกแบบให้ MCS-51 ทำงานได้ในช่วงความถี่ 1~16 เมกะเฮิรตซ์ ถ้าใช้ความถี่สูงกว่านี้หรือต่ำ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผู้ใช้ไม่ได้คริสตอลดังกล่าวข้างต้น แต่จะใช้ TTL ออสซิลเลเตอร์ หรือออสซิลเลเตอร์จากแหล่งอื่นต้องทำการดัดแปลงเล็กน้อย ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาภายนอก

โดยมากแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มักจะมีรูปร่างของไอซีเป็นแบบขนาด 40 ขา ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ชื่อย่อที่กำกับในแต่ละขา อย่างไรก็ตามจะมีบางขาสัญญาณที่อาจจะมีหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งอย่าง (ซึ่งเขียนกำกับไว้ว่า ALTERNATE FUNCTION ในภาพที่ 2.2) ซึ่งจะไม่สามารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้ ตัวอย่างเช่นขาสัญญาณบิต 0 ของพอร์ต 3 (ใช้ตัวย่อเป็น P3.0) อาจจะใช้เป็นขาสัญญาณเอาต์พุต หรืออินพุตตาม ปกติ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งประกอบด้วยหน่วยการทำงานต่างๆ ภายในไอซี MCS-51 จำนวนมาก โดยแต่ละบล็อกซึ่งเป็นวงจรควบคุมรีจิสเตอร์ (REGISTER) หรือหน่วยความจำภายในของไอซี MCS-51 จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันผ่านทางเส้นสัญญาณที่เรียกว่าบัสข้อมูลภายใน รีจิสเตอร์และหน่วยความจำเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ระหว่างการประมวลผลคำสั่ง หน้าที่ของโปรแกรมที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมาก็เป็นการควบคุมการรับหรือส่งข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์เหล่านี้ ซึ่งอาจจะมี การดำเนินการร่วมกับหน่วยการดำเนินงานประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก หรือเรียกว่า ARITHMETIC AND LOGIC UNIT :ALU

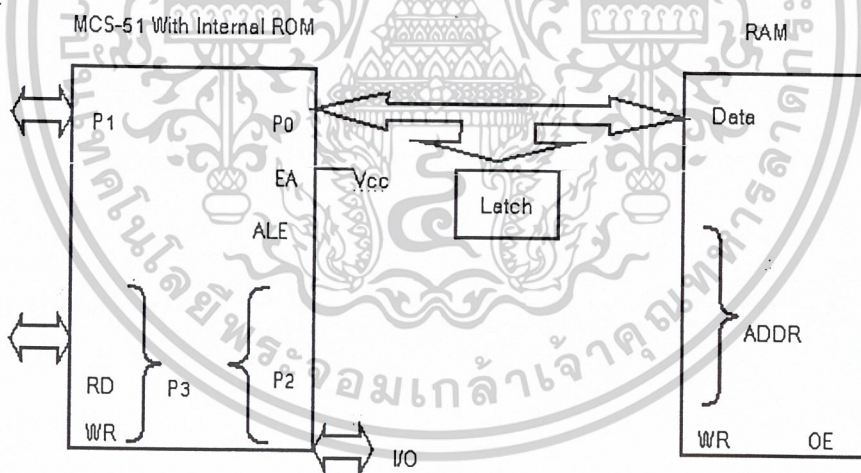
2.2.5 โครงสร้างหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แยกการจัดการหน่วยความจำออกเป็นสองส่วนอย่างชัดเจน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (PROGRAM MEMORY) และหน่วยความจำข้อมูล (DATA MEMORY) หน่วยความจำทั้งสองนี้ มีหน้าที่แตกต่างกัน และใช้วิธีการอ้างแอดเดรสสัญญาณการติดต่อแยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

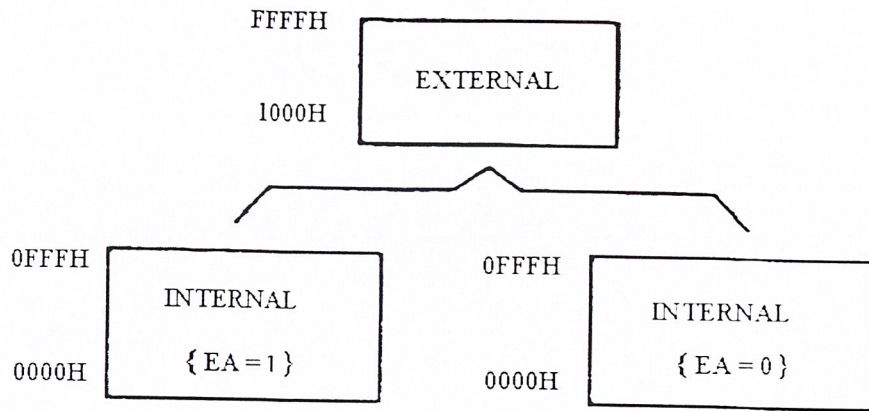
- หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นบริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่างๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหายโครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรม มีลักษณะเช่นเดียวกับหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของหน่วยความจำ ประเภทต่างๆ เช่น หน่วยความจำแบบรอม (READ ONLY MEMORY) หรืออีพรอม(ERASABLE PROGRAMABLE READ ONLY MEMORY) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้นคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (INTERNAL PROGRAM MEMORY) ซึ่งเป็นหน่วยความจำรอม หรือ อีพรอม ที่อยู่ภายในตัวไอซีของไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (EXTERNAL PROGRAM MEMORY) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำมาทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำโปรแกรมของระบบ



ภาพที่ 2.5 แสดงการใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

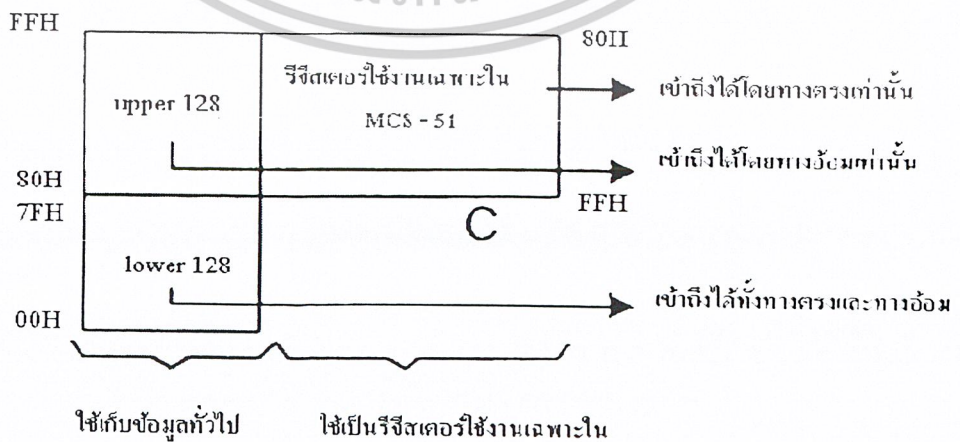
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แสดงการจัดพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ของตระกูล 8051 นี้ สามารถขยายให้ใช้งานในหน่วยความจำ ภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยกรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้น จะต้องทำการควบคุมระดับสต็อกของสัญญาณในขณะนั้นด้วย ขนาดหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ภายในตระกูล 8051 จะแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานลักษณะต่างๆ

- 8051 และ 8052 มีหน่วยความจำแบบรวม 4 และ 8 กิโลไบต์
- 8751 มีหน่วยความจำแบบอีพรอมขนาด 4 กิโลไบต์ข้อมูลที่จัดเก็บภายในนี้ ซึ่งสามารถใช้แสงอัลตราไวโอเลตลบ และนำกลับไปบรรจุโปรแกรมใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง
- 8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ภายในตัวไอซี ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเสมอ

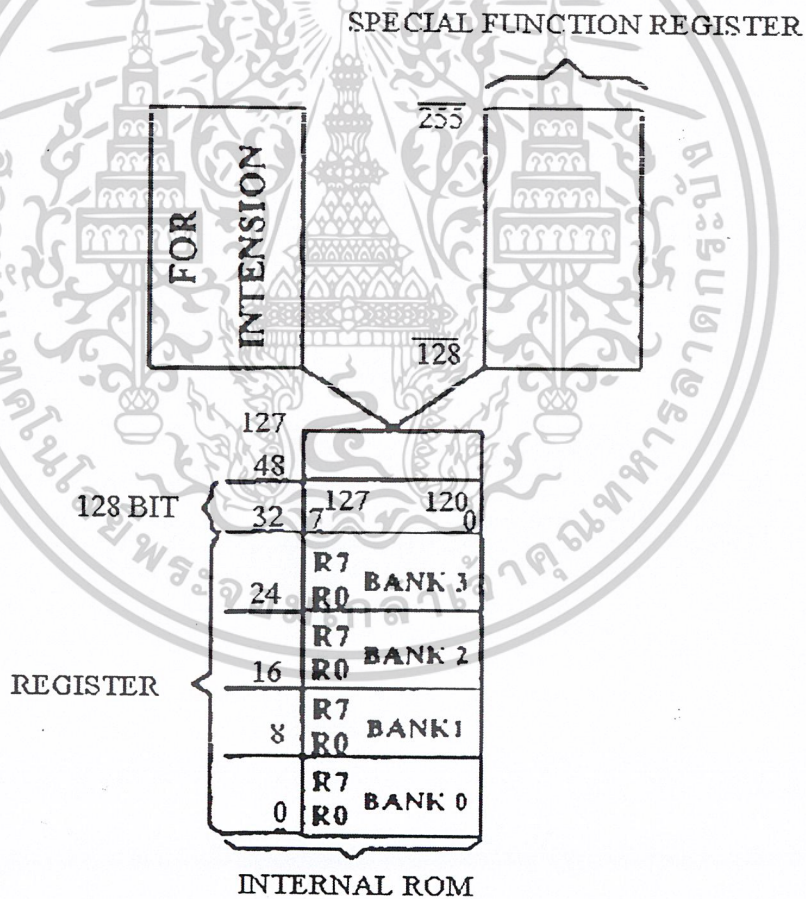


ภาพที่ 2.7 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำข้อมูล

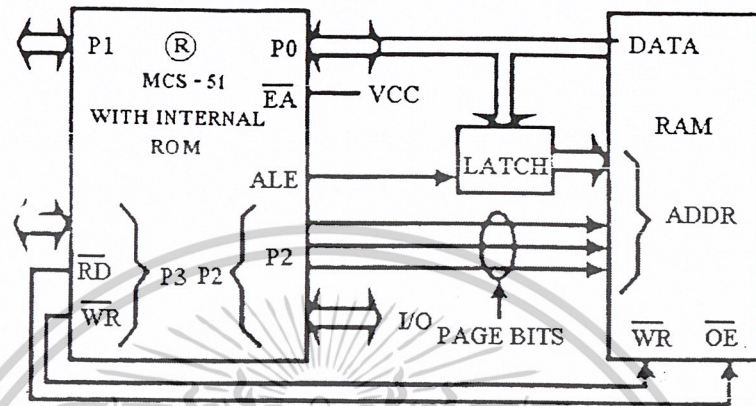
หน่วยความจำข้อมูล (DATA MEMORY) ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วเป็นหน่วยความจำแรมสามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลได้ (READ OR WRITE MEMORY) ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผลโปรแกรมไว้เป็นการชั่วคราว ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วหน่วยความจำข้อมูลจัดเป็นหน่วยความจำแรมแบบสแตติก ดังนั้นเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบก็จะมีผลทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำนี้สูญไป พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทออกเป็นสองลักษณะตามตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยความจำนั้น ตามลักษณะของหน่วยความจำโปรแกรมภายใน ซึ่งก็เป็นแรมที่อยู่ภายในตัวไอซีในตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ และหน่วยความจำข้อมูลภายนอกซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำแรมมาเพิ่ม เต็มเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับ การนำไอซีอีพรอมมาใช้งานเป็นหน่วยความจำโปรแกรมนั่นเอง



ภาพที่ 2.8 แสดงการจัดหน่วยความจำข้อมูล

โดยที่หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนที่เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในไอซี และหน่วยความจำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเก็บข้อมูลภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกๆ เบอร์จะมีหน่วยความจำเก็บข้อมูล
 ทั่วๆไปภายในไอซีอย่างน้อยคือ 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของไอซี
 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในไอซีในบริเวณ 128 ไบต์เรียกว่า LOWER 128 และในบริเวณ
 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า UPPER

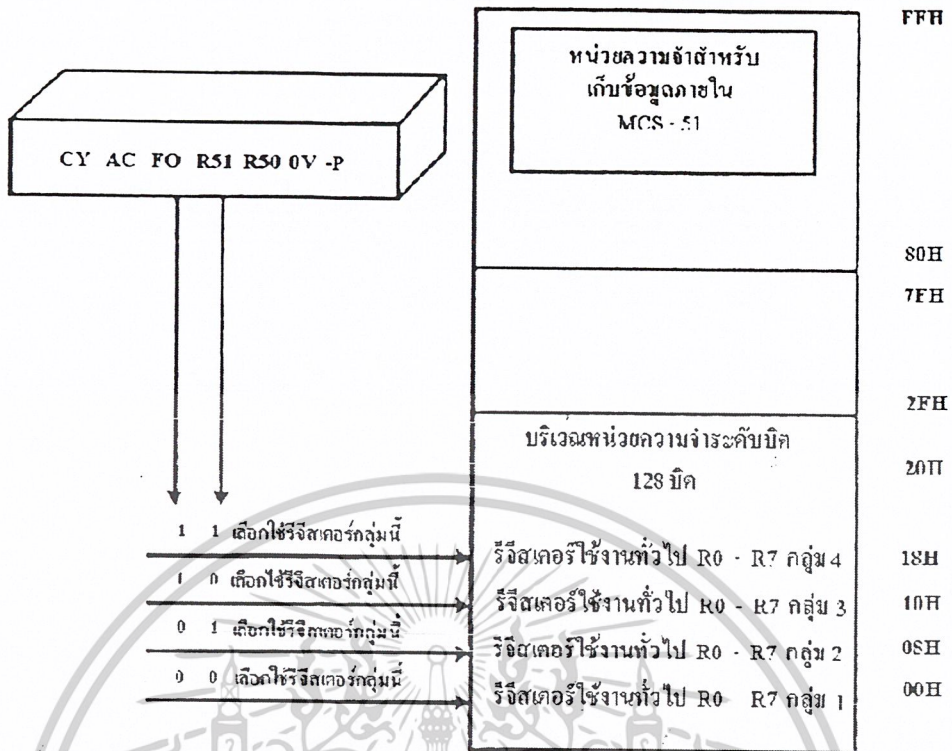


ภาพที่ 2.9 แสดงการต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกไอซี

2.2.6 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ในกลุ่มนี้ จะเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ใช้งาน เพื่อเก็บข้อมูลของตัว
 แอดเดรสเป็นสำคัญโดยค่าที่อยู่ภายในแอดเดรสนี้จะนำไปเป็นค่าของข้อมูลที่ส่งออกไปทางบัส
 แอดเดรส ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อบอกตำแหน่งที่ต้องการติดต่อ รีจิสเตอร์ที่จัดใน
 กลุ่มนี้ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (GENERAL-PURPOSE REGISTERS) รีจิสเตอร์
 ในกลุ่มนี้จัดเป็นพื้นที่หน่วยความจำที่ใช้ในการสนับสนุนในการประมวลผล การทำงานจากหน่วย
 ประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU) เพื่อให้สามารถจัดการข้อมูลให้เร็วที่สุด นอกจากนี้
 โปรแกรมที่ไม่ได้ใช้คำสั่งเหล่านี้ก็ยังสามารถเก็บข้อมูลตัวแปรภายในโปรแกรม จะเห็นได้ว่าชื่อ
 ของรีจิสเตอร์ไม่ว่าจะอยู่ในรีจิสเตอร์แบงก์ใด ก็จะมีชื่อว่า R0 ถึง R7 เหมือนกันทั้งสิ้น ดังนั้นใน
 การใช้งานผู้ใช้จะต้องให้ความระมัดระวังว่า ต้องการรีจิสเตอร์นั้นๆ จากแบงก์ใดๆ ซึ่งการกำหนด
 เลือกแต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ก็ทำได้ง่าย เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในแฟล็ก (PSW)
 เท่านั้นอย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปก็มักจะมีการใช้งานรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น
 ดังนั้นพื้นที่ของแบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วย ความจำแรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 แสดงการเลือกใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ในแต่ละกลุ่ม

- รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการควบคุมหน้าที่ และการทำงานของอุปกรณ์หรือพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทั้งหมด ตำแหน่งของรีจิสเตอร์เหล่านี้จะจัดอยู่ในบริเวณแอดเดรส 80H-FFH การใช้งานรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้สามารถทำได้ทั้งการระบุชื่อของรีจิสเตอร์ หรือตำแหน่งแอดเดรส ที่เป็นของรีจิสเตอร์นั้นก็ได้ การจัดพื้นที่หน่วย ความจำสำหรับรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้ โดยมีข้อสังเกตว่า รีจิสเตอร์ที่อยู่ในตำแหน่งแอดเดรสที่มีจำนวนเป็นทวีคูณของค่า 8 จะสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้ด้วย (นั่นคือแอดเดรส 80H 88H 90H A0H A8H B0H B8H D0H E0H และ F0H)

- แอควิวมูลเตอร์ (ACCUMULATOR) หรือ ACC เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่จะส่งให้กับหน่วยทำงานภายในหน่วยประมวลผลกลาง และเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานเท่านั้น การทำงานของรีจิสเตอร์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตัวแอควิวมูลเตอร์ของโปรเซสเซอร์ทั่วไป การใช้งานในโปรแกรมซึ่งใช้เรียกเป็น รีจิสเตอร์ A

2.2.7 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ดังนี้

ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุม โดยเฉพาะชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน

HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลที่กำหนดชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

2.2.8 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งาน โมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุม บล็อกไดอะแกรมภายในของชิปควบคุม LCD เบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ในโมดูล LCD แบบอักษรประกอบด้วย

บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมตัวแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register: IS) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM: DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รวมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM: CGROM) เป็นหน่วยความจำรวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงได้ มีขนาด 7,200 บิต โดยถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูล DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM: CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บอักษรที่มีการสร้างเพิ่มขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

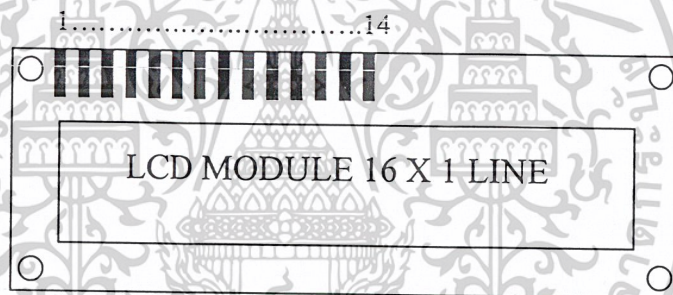
เขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟลค BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณ์ทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลค

2.2.9 โมดูล LCD ขนาด 16 อักขร 1 บรรทัด (LCD 16×1)

สำหรับโมดูล LCD ที่นำมาใช้งานเป็นขนาด 16 อักขร 1 บรรทัด เนื่องจากราคาถูก ง่าย และเป็นโมดูล LCD ที่มีโครงสร้างเป็นมาตรฐาน มีผู้ผลิตหลายราย และมีการระบุเบอร์แตกต่างกันออกไปตามผู้ผลิต อาทิ LMO20L ของฮิตาชิ, DMC-16117A ของคอปเท็กซ์ (Optrex) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือเบอร์เดียวกันนั้นคือเบอร์ HD44750 ของฮิตาชิ

โมดูล LCD ขนาด 16×1 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขาตั้งในรูปที่ 2.2 สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้



ภาพที่ 2.11 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบ อักขระ

V_{SS} (ขา 1): ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา 2): ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์

V_O (ขา 3): เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4): เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/\bar{w} (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” เป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6): เป็นขาอินาเบิล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา 7-14): เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้ขนาด 8 บิตที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่แน่นอนว่าต้องกำหนดให้ขา RS และ R/\bar{w} เป็น “0” แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 10 คำสั่งดังนี้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิกิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น “1”

2. คำสั่ง Return home

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น “1” เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลงนั่นคือ ข้อมูลสำคัญของคำสั่งนี้เป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode Set)

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “1” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกลบไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น “0” แอดเดรสจะลดลง

ดังนั้น ข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H-07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) และที่ใช้บ่อยคือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ และแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงผลเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์หรือไม่แสดงผลเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น “1” เคอร์เซอร์จะกระพริบคั้งนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นคำสั่งที่เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์ และสั่งให้เคอร์เซอร์กระพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1CH-1FH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7	บิต6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็กำหนดบิต N นี้ให้เป็น “1”

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5×7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็นแบบ 5×10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5×7 จุด

จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ 00H และ 40H

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิต ที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

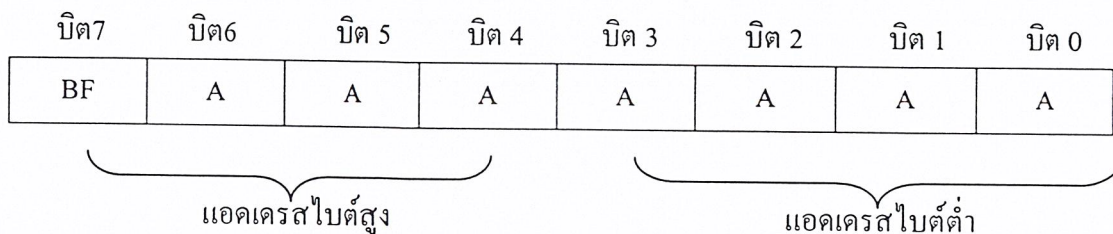
8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น “1” และข้อมูลอีก 7 บิต ที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-0FFH ทั้งนี้จำแอดเดรสยังขึ้นกับการกำหนดสถานะที่บิต N ด้วย หากบิต N เป็น “0” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H-0CFH และถ้าบิต N เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะมี 2 ช่วงคือ 8CH-87H และ 0C0H-0C7H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. คำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้



เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟล็ก BUSY (BF) โดยแฟล็กนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่า ขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมรับข้อมูลหรือยัง เมื่อต้องการอ่านแฟล็กต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ด้วย แต่สัญญาณ RS ยังต้องเป็น “0” อยู่เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง นอกจากนี้ยังใช้คำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0 บิต 6 เป็นค่าข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

2.2.11 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โมดูล LCD แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอจิก “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่งในทางตรงข้าม หากขา RS ได้รับลอจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็ปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้เป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอจิก “1” ให้ขา RS แล้ว แล้วต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อยู่บนบัสของข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอกลงใน DDRAM ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.12 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูลเนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งานโมดูล LCD ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล (initial) หลังจากนั้นก็จะกำหนดลอจิกให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาที เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ใน LCD โมดูลแปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่า ข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่ออินาเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไปโดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ของขา นั้น จากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

ทั้งหมดที่กล่าวมาคือขั้นตอนและจังหวะในการทำงาน 1 รอบของโมดูล LCD จะเห็นได้ว่า มีโปรแกรมน้อยที่สำคัญอยู่ 3 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรมอินิเชียล LCD, โปรแกรมหน่วงเวลา และโปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่ออินาเบิลโมดูล LCD

2.3 ตัวประจุ (Capacitor)

2.3.1 การประจุ (Capacitance)

การประจุ (Capacitance) เป็นคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าอย่างหนึ่ง ซึ่งมันพยายามต่อต้านหรือขัดขวางต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจร นั่นคือ ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้มันเพิ่มขึ้น การประจุจะขัดขวางต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ และพยายามหน่วงเหนี่ยวการเพิ่มของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรให้เป็น ไปอย่างช้า ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้มันลดลง การประจุจะพยายามรักษาค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มันได้รับในตอนสุดท้ายเอาไว้ ดังนั้น จึงทำให้การลดเป็นไปอย่างช้า ๆ ตามที่กล่าวมานี้ ผลที่ปรากฏอย่างชัดเจนของการประจุในวงจร คือวงจรไฟฟ้าที่มีการประจุแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรที่จะสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็ว เหมือนกับในวงจรที่มีการประจุ (Non capacitive circuit) การประจุ ได้กำหนดให้คุณสมบัติของวงจรที่สามารถเก็บพลังงานเอาไว้ในรูปของสนามไฟฟ้า (Electric field)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ตัวประจุ (Capacitor)

ตัวประจุ (Capacitor) ประกอบด้วยแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้าสองแผ่น วางแยกกัน โดยมีแผ่นฉนวนบาง ๆ เป็นชั้น ๆ กันอยู่ตรงกลาง เมื่อนำแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้าทั้งสองต่อเข้ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งกำเนิด (Battery) ดังรูป แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะออกแรงดันให้ electron ไปอยู่ในแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้าแผ่นหนึ่ง ซึ่งจะทำให้แผ่นนี้เป็นลบและดึงเอา electron ออกจากแผ่นโลหะตัวนำอีกแผ่นหนึ่งซึ่งจะทำแผ่นอันหลังเป็นบวก electron ไม่สามารถไหลผ่านฉนวนไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า “Dielectric” ไปได้ เนื่องจากปริมาณของ electron จำนวนหนึ่งได้บรรจุหรือได้รับการประจุไฟฟ้าเข้าไปในตัว Capacitor ตัวหนึ่ง จึงกล่าวได้ว่ามันมี Capacity คุณสมบัติอันนี้หมายถึง Capacitance ของมัน

2.3.3 วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric Materials)

วัสดุต่าง ๆ ที่มีความสามารถแตกต่างกันต่อการรับสนามไฟฟ้า หรือใช้เป็น Dielectric สำหรับ capacitor ปรากฏการณ์เช่นนี้ค่อนข้างจะคล้ายกับการแทรกซึมในวงจรมแม่เหล็ก วัสดุ dielectric หรือตัวฉนวน เป็นอัตราความสามารถของมันต่อการรับสนามไฟฟ้าได้ในเทอมของตัวเลขซึ่งเรียกว่า Dielectric (Constant dielectric) ที่มีค่าคงที่สูง ๆ จะเป็น dielectric ที่ดี

Dry air เป็น dielectric มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 ค่าคงที่ของ dielectric ของวัสดุ dielectric อย่างหนึ่งได้จากอัตราส่วนของค่า capacitance ของ capacitor ซึ่งใช้วัสดุชนิดพิเศษเป็น dielectric ต่อค่า capacitance ของ capacitor ตัวเดียวกัน เมื่อใช้อากาศเป็น dielectric โดยวิธีของการเปรียบเทียบค่าคงที่ของ dielectric ของน้ำบริสุทธิ์เป็น 81 แก้วอย่างดีผสมตะกั่ว (Fling glass) เป็น 9.9 กระดาษขุ่นไข (Paraffin Paper) เป็น 3.5

ขอบเขตของค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (Dielectric) มีขอบเขตจำกัดมากกว่าความแทรกซึมค่าเฉลี่ยของค่าคงที่ (Dielectric) สำหรับวัสดุธรรมชาติบางชนิด กำหนดให้ดังตารางที่ 2.2

2.3.4 อิทธิพลของตัวประกอบที่มีต่อค่าของการประจุ (Factors Affecting the Value of Capacitance)

การประจุของตัวประจุจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบทั้ง 3 ดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ของแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้า
2. ระยะห่างระหว่างแผ่น
3. ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ใช้ระหว่างแผ่น

ซึ่งค่าของการประจุที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้ง 3 ตัวนี้ ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณจะกล่าวในบทที่ 3 หลักการออกแบบ

ตารางที่ 2.2 Dielectric Constant ของของเหลวต่างๆ

สาร (Material)	อุณหภูมิ (Temp °F)	ค่า dielectric Constant
อะซีโตน	71	21.4
แอม โมเนีย	-30	22.0
แอม โมเนีย	68	15.5
เบนซิน	68	2.3
โบรมีน	68	3.1
บิวเทน	30	1.4
คาร์บอนไดออกไซด์	32	1.6
ครอลีน	32	2.0
เอทานอล	77	24.3
ฟริออน - 12	70	2.4
ไฮดรเจนเปอร์ออกไซด์	82	4.6
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	48	5.8
เมทิลแอลกอฮอล์	32	37.5
เมทิลแอลกอฮอล์	68	33.1
เมทิลอีเธอร์	78	5.0
เนพทาลิน	68	2.5
ออกเทน	68	1.96
น้ำมันหม้อแปลง	68	2.2
เพนเทน	68	1.8
ฟีนอล	118	9.9
ฟีนอล	104	15.0
ฟอสฟอรัส	93	4.1
โพรเทน	32	1.6
กำมะถัน	752	3.4
กรดกำมะถัน	68	84.0
น้ำปัสสาวะ	71	3.5
น้ำ	32	88.0
น้ำ	68	80.0
น้ำ	212	48.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

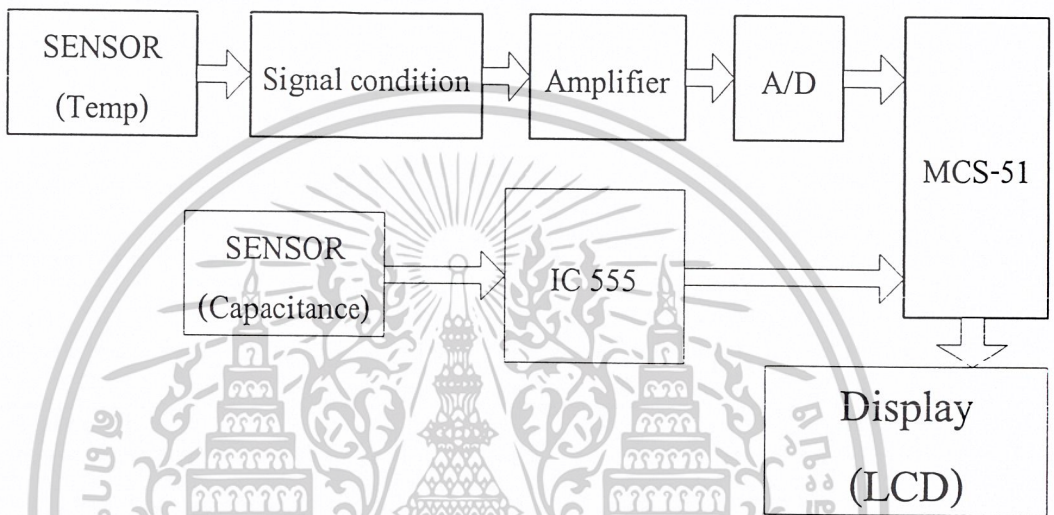
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

3.1 หลักการออกแบบ

โครงสร้างหลัก ๆ ของอุปกรณ์วัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์ แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างการทำงาน

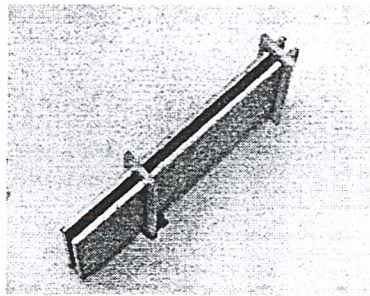
3.2 การออกแบบเซนเซอร์ตัวเก็บประจุ

คาปาซิเตอร์มีอยู่หลายชนิดหลายแบบ ซึ่งในแต่ละแบบมีลักษณะ โครงสร้างที่แตกต่างกัน และให้ค่าความจุที่ไม่เท่ากันด้วย การคำนวณหาค่าความจุของแต่ละแบบก็แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างและตัวแปรที่สัมพันธ์กับลักษณะ โครงสร้างของแต่ละแบบ และค่าคงที่ของตัวกลาง (Dielectric constant, ϵ) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงคาปาซิเตอร์ 3 แบบ คือ ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน (Parallel plates), ตัวเก็บประจุแบบ Concentric cylinders และตัวเก็บประจุแบบ Parallel cylinder

3.2.1 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน (Parallel plates)

ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน (Parallel plates) ซึ่งค่าความจุ C ที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่ (S), ค่าระยะห่างระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง (d) และค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) ที่ใช้เป็นตัวกลางที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุ C ซึ่งในที่นี้ถ้ากำหนดค่าหรือรู้ค่า S และ d แล้ว จากสมการจะเห็นได้ว่าค่าความจุ C จะขึ้นอยู่กับค่า ϵ_r เพียงตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน
จะได้สมการ

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = 8.854 \times 10^{-12} \times \frac{\epsilon_r S}{d} \dots\dots\dots (3.1)$$

- เมื่อ
- C = capacitance, farads
 - $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$
 - ϵ_r = relative dielectric constant, 1 for vacuum
 - S = area, square meters
 - d = spacing, meter

จากสมการ (3.1) จะได้

$$C = K \epsilon_r$$

เมื่อ

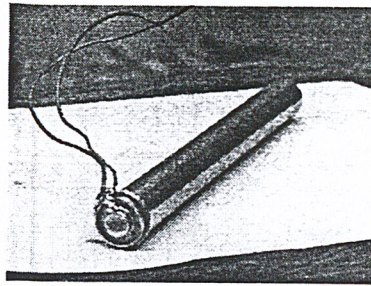
$$K = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ C กับค่า ϵ_r คือ

$$C \propto \epsilon_r$$

3.2.2 ตัวเก็บประจุแบบ Concentric cylinders

ค่าความจุ C ที่ได้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ คือ ϵ_r , ความยาว (L), รัศมีวงนอก (b), รัศมีวงใน (a) ซึ่งในที่นี้ถ้ากำหนดค่าหรือรู้ค่าความยาว (L), รัศมีวงนอก (b), รัศมีวงใน (a) แล้วค่าความจุ C ที่ได้จากสมการก็จะขึ้นอยู่กับค่า ϵ_r เพียงตัวเดียว



ภาพที่ 3.3 ตัวเก็บประจุแบบ Concentric cylinders

จะได้สมการ

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln(b/a)} \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ

$$K = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$$

จากสมการ (3.2) จะได้

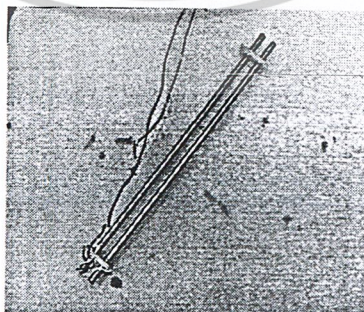
$$C = K \epsilon_r$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C กับค่า ϵ_r คือ

$$C \propto \epsilon_r$$

3.2.3 ตัวเก็บประจุแบบ Parallel cylinder

จะเห็นว่าถ้าระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่งทั้งสอง (b) มีค่ามากกว่าค่ารัศมี (a) มากๆ ค่าความจุ C ที่ได้จะใช้สมการข้างล่าง ซึ่งในที่นี้ถ้ากำหนดค่าหรือรู้ค่าความยาว (L), ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่งทั้งสอง (b), รัศมี (a) แล้ว จากสมการจะเห็นได้ว่าค่าความจุ C จะขึ้นอยู่กับค่า ϵ_r เพียงตัวเดียว



ภาพที่ 3.4 ตัวเก็บประจุแบบ Parallel cylinder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการ

$$C = \frac{\pi \epsilon_o \epsilon_r L}{\ln \left[\frac{b + \sqrt{(b^2 - 4a^2)}}{2a} \right]}$$

If $b \gg a$;

$$C \cong \frac{\pi \epsilon_o \epsilon_r L}{\ln(b/a)} \dots\dots\dots(3.3)$$

เมื่อ

$$K = \frac{\pi \epsilon_o L}{\ln(b/a)}$$

จากสมการ (3.3) จะได้

$$C = K \epsilon_r$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C กับค่า ϵ_r คือ

$$C \propto \epsilon_r$$

จะเห็นว่าค่าปารามิเตอร์ทั้ง 3 แบบ ค่าความจุ C ที่ได้จะแปรผันตรงตามค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) ในที่นี้ใช้ตัวกลางเป็นน้ำมันไฮดรอลิกส์ ซึ่งค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) ของน้ำมันไฮดรอลิกส์จะเปลี่ยนแปลงหรือแปรตามค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น (%RH) ที่ปนอยู่ในน้ำมัน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความจุ C เปลี่ยนแปลง

3.3 หลักการพื้นฐานของเทอร์มิสเตอร์ (Thermistors)

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเหมือนอาร์ทีดีแต่เทอร์มิสเตอร์ใช้คาร์บอน และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น พวกออกไซด์ของโลหะ เช่น นิเกิล, โคบอลต์, แมงกานีส, เหล็ก, ทองแดง, เจอร์เมเนียมแมกนีเซียม และไทเทเนียม โดยปกติทำจากออกไซด์ของแมกนีเซียมกับทองแดง และออกไซด์ของนิเกิลกับทองแดง ที่ให้สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูง เช่น เทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156 Ω เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 1 °C แต่การเปลี่ยนค่าความต้านทานจะกลับกับแบบอาร์ทีดี คือ จะลดค่าความต้านทานลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Negative Temperature Coefficient) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

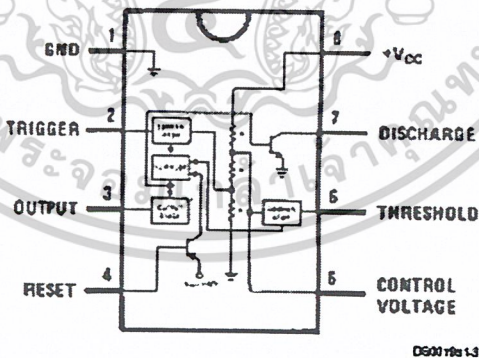
การที่เทอร์มิสเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูงทำให้ช่วงการวัดอุณหภูมิแคบโดยทั่วไปจะวัดอยู่ย่านต่ำกว่า 100 °C แต่ก็ยังมีบางแบบที่สามารถวัดได้ถึง 450 °C

โดยเฉพาะในย่าน อุณหภูมิต่ำๆ เทอร์มิสเตอร์ก็สามารถใช้งานได้ดี เช่น ในย่านอุณหภูมิต่ำกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100K ข้อสำคัญ คือ เทอร์มิสเตอร์มีความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่ออุณหภูมิไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinearity) ทำให้ต้องเลือกใช้งานในบางช่วงที่ความสัมพันธ์อันนี้ค่อนข้างเป็นเส้นตรง จึงทำให้ Calibration Curve ของเทอร์มิสเตอร์ไม่มีมาตรฐานเหมือนอาร์ทีดี หรือเทอร์โมคัปเปิล ต้องใช้ตามคู่มือที่ทางบริษัทให้มา กับเทอร์มิสเตอร์ตัวนั้น และต้องสอบเทียบค่าวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ให้ทำงานได้ถูกต้องตลอด แม้ว่าอุณหภูมิบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ในวงจร Reference สำหรับเทอร์โมคัปเปิลแบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งคุณสมบัติโดยทั่วไปของเทอร์มิสเตอร์มีดังนี้

Repeatability	0.2 °F ถึง 2 °F
เสถียรภาพการใช้งานที่อาจเปลี่ยนแปลงได้	0.2 °F ถึง 5 °F ภายใน 1 ปี
ความไวในการวัด	100 ถึง 1000 Ω / °C
Interchangeability	\pm 0.5%
ช่วงอุณหภูมิการวัด	-150 °F ถึง 550 °F
สัญญาณเอาต์พุต	1 ถึง 3V
Power (สำหรับ Load 100 Ω)	8×10^{-1} Watt
ลักษณะขั้ว	ไม่ดี
ลักษณะทั่วไป	มีความไวในการวัดสูงสุด

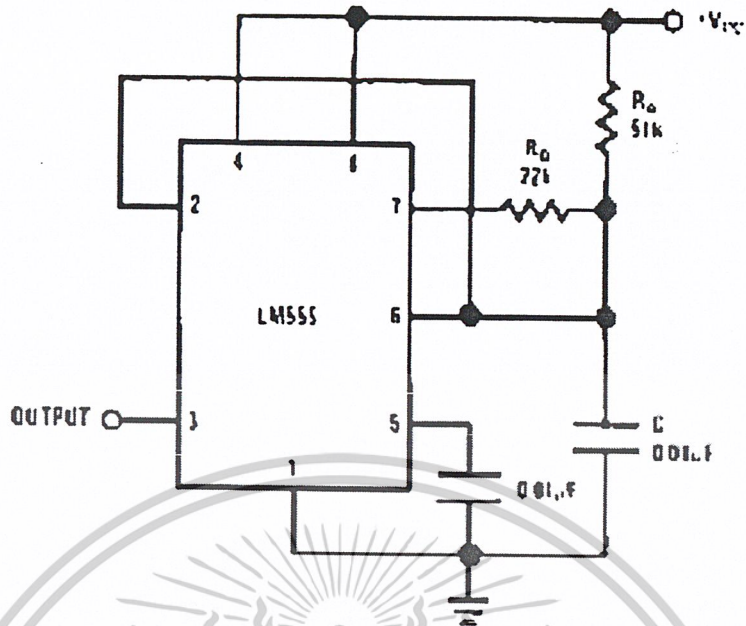
3.4 วงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ใช้ ไอซี Timer 555



ภาพที่ 3.5 ลักษณะภายนอกและวงจรภายในของไอซี 555

ไอซีเวลา 555 สามารถนำมาใช้ในวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งมีลักษณะง่าย ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อย และมีสูตรการคำนวณที่ง่าย ลักษณะวงจรพื้นฐานแสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 50% Duty Cycle Oscillator

จากภาพที่ 3.6 ตัวต้านทานกำหนดเวลาจะถูกแบ่งออกเป็น Ra และ Rb วงจรออสซิลเลเตอร์จะทริกตัวมันเอง ความถี่ที่ผลิตได้จะมีรูปคลื่นเป็นสี่เหลี่ยม ค่าความถี่จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของตัวต้านทาน Ra และ Rb ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตหาได้จากสมการ

$$f = \frac{1.43}{[(Ra + 2Rb)C]}$$

3.4.1 การใช้เคาน์เตอร์ในการทำงาน

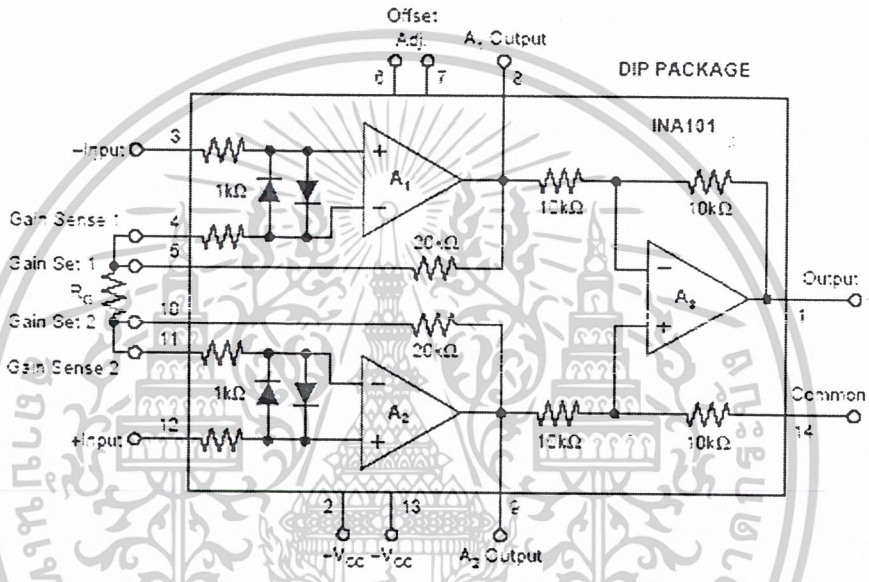
ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ มี Timer/Counter อยู่ภายในเราสามารถใช่เคาน์เตอร์ในการนับความถี่สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากภาคผลิตความถี่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่น้ำมันได้ โดยตั้งช่วงเวลาในการนับเป็นเวลา 1 วินาที โดยการเซตบิต TO ในรีจิสเตอร์ TCON แล้วทำการวนลูปเป็นเวลา 1 วินาที จากนั้นทำการปิดเกทนับ การนับสัญญาณจะกำหนดให้ปิด TO ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "0" เคาน์เตอร์จะทำการนับที่ขอบล่างของสัญญาณ เมื่อนับความถี่ได้แล้วจะทำการนำความถี่ที่ได้ไปประมวลผลหาค่าความถี่ที่ได้ตามสูตรของไอซี Timer 555 โดยจะกำหนดค่า Ra และ Rb ไว้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{1.43}{[(Ra + 2Rb)f]}$$

3.5 การขยายสัญญาณ

สัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์จะมีระดับของสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจำเป็นต้องถูกยกระดับสัญญาณให้มากขึ้น ด้วยไอซีเบอร์ INA 101 เป็นไอซีอินสตรูเมนต์แอมป์ซึ่งมีอัตราขยายของสัญญาณได้สูงสุดถึง 1000 เท่า ซึ่งอัตราขยายนี้เพียงพอกับวงจรที่ได้ออกแบบ



ภาพที่ 3.7 โครงสร้างภายในของอินสตรูเมนต์แอมป์เบอร์ INA 101

สามารถคำนวณหาอัตราขยายของอินสตรูเมนต์แอมป์เบอร์ INA 101 ได้จากสมการดังต่อไปนี้

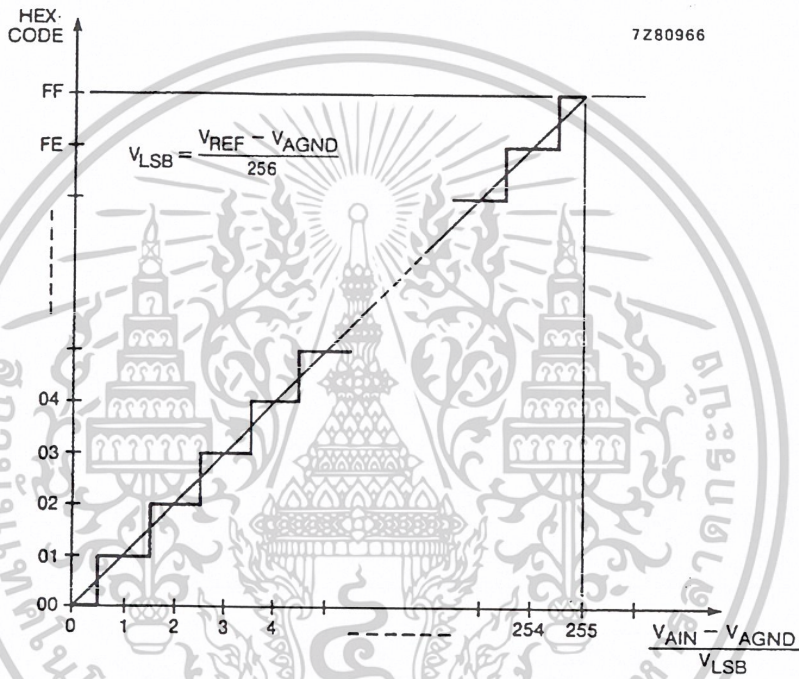
$$G = 1 + \frac{40K}{R_G}$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าอัตราขยายจะขึ้นอยู่กับค่าตัวต้านทาน R_G เพียงตัวเดียว ดังนั้นถ้าหากต้องการขยายเท่าไร ก็เพียงแต่ปรับค่าความต้านทาน R_G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในการออกแบบจะใช้ไอซีเบอร์ PCF8951 เป็นตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสัญญาณอะนาล็อกจะได้รับจากขา 1 ของไอซีเบอร์ INA 101ซึ่งเป็นไอซีอินสตรูเมนต์แอมป์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรบริดจ์ มาขยายสัญญาณแรงดันให้ได้ค่าแรงดันประมาณ 5 V เมื่อสัญญาณอะนาล็อกได้ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ก็จะได้สัญญาณดิจิทัลออกจากขา SDA ซึ่งเป็นขา 9 ของไอซีเบอร์ PCF8951 เป็นขาที่จะส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจะประมวลผลต่อไป



ภาพที่ 3.8 แสดงลักษณะที่ได้จากการส่งค่าเข้า A/D

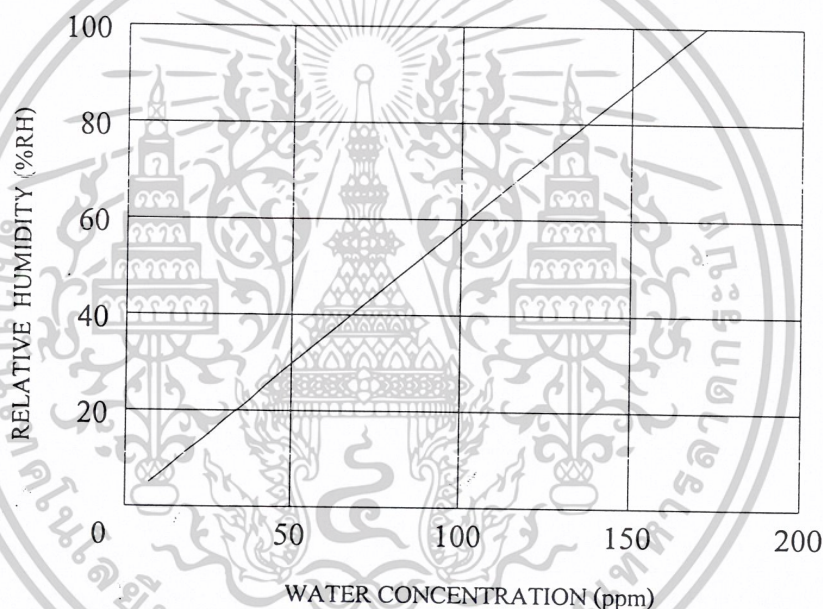
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

บทนี้เป็นการทดลองหาค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิก ซึ่งจะใช้หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นค่าไดอิเล็กทริก เมื่อมีการผสมกับน้ำในสัดส่วนต่างๆ โดยเปรียบเทียบน้ำมัน 1 ลิตร แล้วทำการผสมให้เข้ากันและบันทึกค่าความจุที่เปลี่ยนไป และการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้เทอร์มิสเตอร์กับแรงดันที่ได้จากอินสตรูเมนต์เอมพี โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นตัวสอบเทียบ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำ กับ %(RH)



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การผสมของน้ำในน้ำมันไฮดรอลิกกับค่าความชื้น (%RH)

ที่มา: หนังสือ Hydraulic Fluids ของ Peter Kieth Brian Hodges, Bsc.

จากกราฟความสัมพันธ์ % ค่าความชื้น(Relative Humidity) กับ ปริมาณน้ำที่ผสมลงในน้ำมันไฮดรอลิก มีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงดังนี้

เมื่อกำหนดให้

$$Y = \% RH$$

$$X = \text{ปริมาณน้ำ}$$

จากสมการเส้นตรง

$$Y = mX + C \quad \dots\dots\dots (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าจากกราฟ

$$\text{ที่ } X_1 = 50 \quad \text{ได้ } Y_1 = 30$$

$$X_2 = 100 \quad \text{ได้ } Y_2 = 56$$

ฉะนั้น จะได้ค่าความชัน;

$$Y_2 - Y_1 = 26$$

$$X_2 - X_1 = 50$$

$$m = \frac{26}{50} = 0.52$$

หาค่า C ได้จากสมการ (1) จะได้

$$Y = mX + C$$

$$30 = (0.52)(50) + C$$

ดังนั้น $C = 30 - 26$

$$C = 4$$

เพราะฉะนั้นจะได้สมการเส้นตรงจากกราฟ ดังนี้

$$Y = (0.52)(X) + 4$$

ตารางที่ 4.1 ค่าความชื้นกับปริมาณน้ำที่ผสมในน้ำมันไฮดรอลิกส์คำนวณได้จากกราฟ

ปริมาณของน้ำ มิลลิลิตร(ml)	ค่าความชื้น(% RH)
10	9.2
20	14.4
30	19.6
40	24.8
50	30.0
60	35.2
70	40.4
80	45.6
90	50.8
100	56.0
110	61.2
120	66.4
130	71.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

140	76.8
150	82.0
160	87.2
170	92.4
180	97.6
184.62	100

การทดลองที่ 4.1 วัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิกส์ เมื่อมีน้ำเป็นส่วนผสม เพื่อ จำลองสถานการณ์ว่าน้ำมันไฮดรอลิกส์มีความชื้นเกิดขึ้น

จุดประสงค์ เพื่อหาค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ว่าจะมีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ที่ออกแบบมาอย่างไร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ที่สามารถวัดค่าความจุไฟฟ้าได้
2. เครื่องมือวัดค่าความชื้น
3. น้ำมันไฮดรอลิกส์ 1 ลิตร
4. น้ำ

วิธีการทดลอง

1. วัดค่าความจุไฟฟ้าและวัดค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ก่อนที่จะทำการผสมน้ำเพื่อจำลองว่าน้ำมันมีความชื้นเกิดขึ้น บันทึกค่าลงในตาราง
 2. ทำการเติมน้ำผสมกับน้ำมันไฮดรอลิกส์ ให้เข้ากันตามสัดส่วน บันทึกค่าลงในตาราง
- ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่าความชื้นกับปริมาณน้ำที่ผสมในน้ำมันไฮดรอลิกส์

ปริมาณของน้ำ มิลลิลิตร(ml)	ค่าความชื้น(% RH)
0	0
20	14.4
40	24.8
60	35.2
80	45.6
100	56.0
120	66.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

140	76.8
160	87.2
180	97.6

ดังนั้นจากผลการทดลอง จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การผสมของน้ำในน้ำมันไฮดรอลิกส์ ปริมาณ 1 ลิตร (L) กับค่าความชื้น (%RH)

สรุปผลการทดลอง

เมื่อมีน้ำผสมเข้ากับน้ำมันไฮดรอลิกส์ ก็จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ตามสัดส่วนของการผสมของน้ำ ซึ่งค่าความจุที่เปลี่ยนแปลงก็จะนำไปเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นของน้ำมันไฮดรอลิกส์

การทดลองที่ 4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากอินสตรูเมนต์แอมป์ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นตัวสอบเทียบ

จุดประสงค์ เพื่อหาความสัมพันธ์อุณหภูมิที่ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวรับค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากอินสตรูเมนต์แอมป์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์
2. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง

วัดค่าอุณหภูมิห้อง โดยที่ยังไม่จุ่มเทอร์มิสเตอร์ลงในน้ำ ก่อนที่จะทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำ โดยการต้มน้ำเพื่อจำลองสถานการณ์ว่าน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากนั้นก็สังเกตและบันทึกค่า

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันที่ได้จากอินสตรูเมนต์แอมป์

ค่าอุณหภูมิ (°C)	แรงดันที่ได้จากอินสตรูเมนต์แอมป์(V)
29	0.22
30	0.28
31	0.35
32	0.38
33	0.45
34	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35	0.66
36	0.74
37	0.77
38	0.91
39	0.98
40	1.03
41	1.13
42	1.18
43	1.31
44	1.40
45	1.48
46	1.55
47	1.61
48	1.67
49	1.73
50	1.82
51	1.83
52	1.85
53	1.90
54	2.09
55	2.26
56	2.33
57	2.42
58	2.48
59	2.54
60	2.62
61	2.69
62	2.76
63	2.83
64	2.91
65	2.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากอินสตรูเมนต์แอมป์ ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปเป็นอินพุทให้กับตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งค่าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและแสดงค่า

จากการทดลองจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากอินสตรูเมนต์แอมป์ ก็เพื่อจะแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมันในขณะทำการวัดค่าความชื้นเท่านั้น เนื่องจากผลจากการทดลองในขณะที่เพิ่มค่าอุณหภูมิของน้ำมัน ค่าความจุที่ได้จากตัวเซนเซอร์มีค่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ๆ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อค่าความจุน้อยมาก แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับเบอร์ ของน้ำมันด้วย ซึ่งเบอร์ที่มีค่าความหนืดมากขึ้น อุณหภูมิก็อาจจะส่งผลต่อค่าความจุมากตามไปด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าค่อนข้างตรงตามเงื่อนไข แต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่ เนื่องมาจากความถี่จากภายนอกเข้ามารบกวนความถี่ที่สร้างขึ้น จึงทำให้ค่าที่วัดได้ไม่นิ่งเท่าที่ควร ค่าที่แสดงผลออกมานั้นจึงไม่ละเอียดมากนัก

ในการทำการทดลอง ค่าที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการวัดค่านั้น เป็นค่าที่ได้มาจากการทดลองหาค่าเองเกือบทั้งหมด ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดลองจึงอาจจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นอาจมาจากวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาทดลองอาจไม่ค่อยได้มาตรฐานมากนัก รวมถึงความผิดพลาดที่เกิดจากตัวบุคคลที่ทำการทดลองเองด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ในการทำการทดลองวัดค่านั้น ควรใช้อุปกรณ์การวัดที่พร้อมมีมาตรฐานในการวัดค่าและตัวผู้ทดลองควรมีความรู้ที่แน่นอน ในการทำการทดลองเพื่อป้องกันการเกิดค่าที่ผิดพลาดในการทดลองและลดสิ่งรบกวนของวัสดุในการทดลอง

แนวทางในการพัฒนาชิ้นงานนี้ คือ ค่าที่วัดได้และนำมาแสดงผล ควรมีความละเอียดมากกว่านี้เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำไม่เพียงพอ และควรมีการป้องกันการรบกวนจากความถี่ภายนอกได้ดีกว่านี้

บรรณานุกรม

1. PETER KEITH, BRIAN HODGES, HYDRAULIC FLUIDS, F.INST.PET, PETROLEUM CONSULTANT, NORWAY 1996
2. LARRY K. BAXTER, CAPACITIVE SENSORS DESIGN AND APPLICATIONS, IEEE PRESS SERIES ON ELECTRONICS TECHNOLOGY, USA, SERIES EDITOR
3. รศ. สมยศ จุณณะปิยะ, การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
4. ทีมวิชาการ โรงเรียนแสงทองอิเล็กทรอนิกส์, การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยโปรแกรม Protel 99 se, โรงเรียน แสงทองอิเล็กทรอนิกส์, กรุงเทพมหานคร, 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

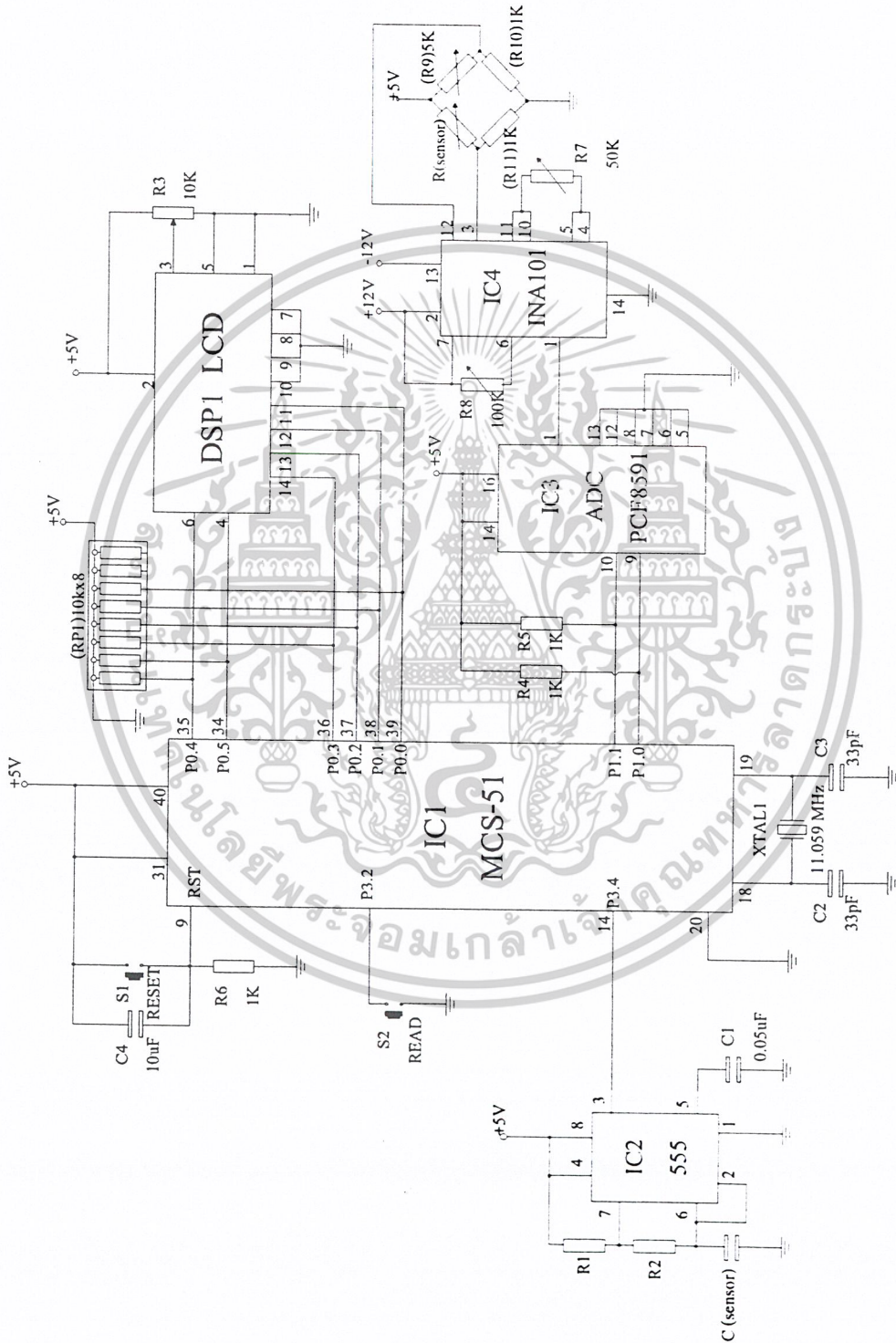


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

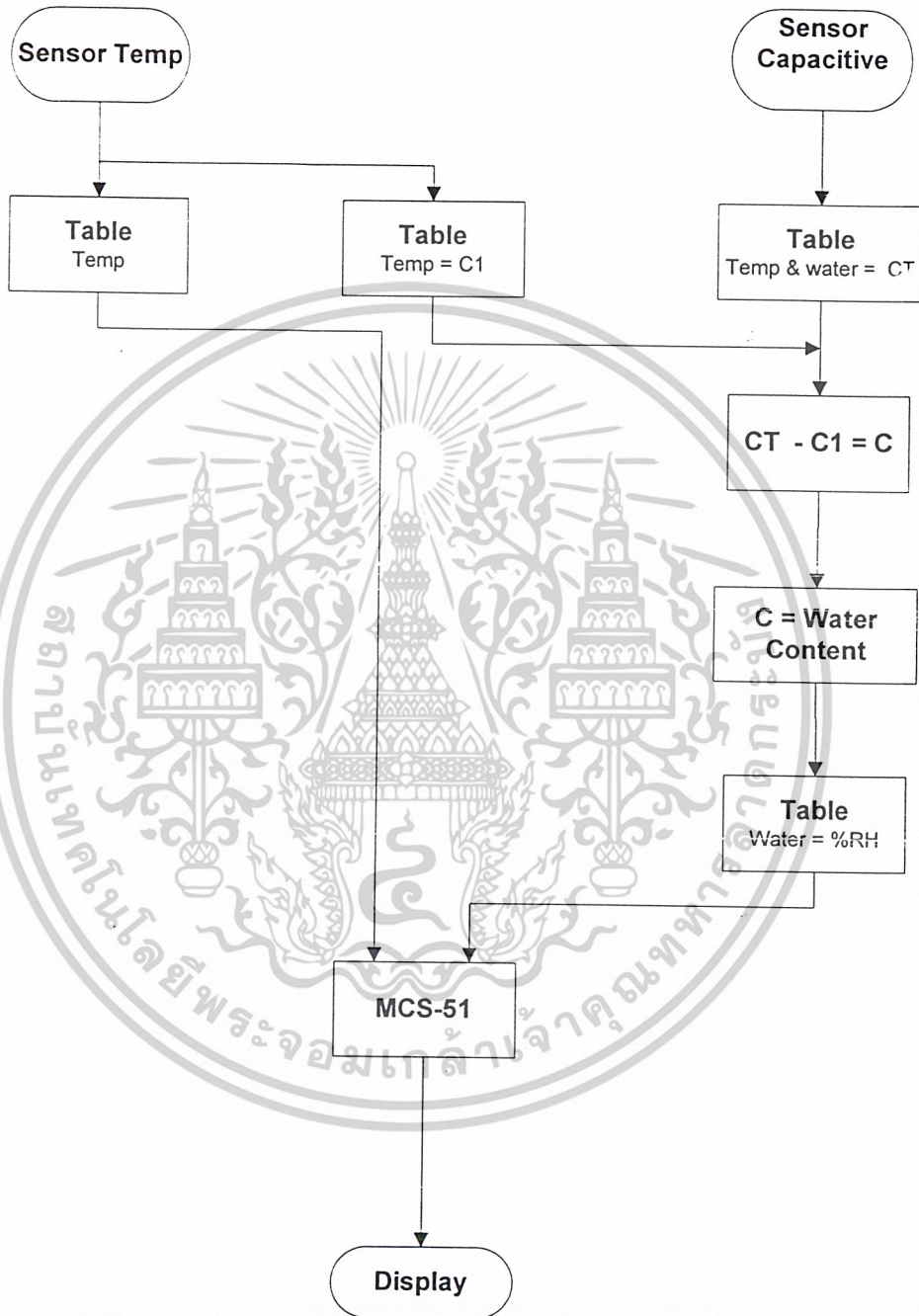
รายละเอียดของวงจร



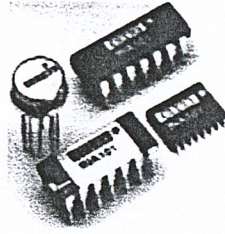
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์วัดค่าความชื้นน้ำมันไฮดรอลิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INA101

High Accuracy INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- LOW DRIFT: $0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ max
- LOW OFFSET VOLTAGE: $25\mu\text{V}$ max
- LOW NONLINEARITY: 0.002%
- LOW NOISE: $13\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- HIGH CMR: 106dB AT 60Hz
- HIGH INPUT IMPEDANCE: $10^{10}\Omega$
- 14-PIN PLASTIC, CERAMIC DIP, SOL-16, AND TO-100 PACKAGES

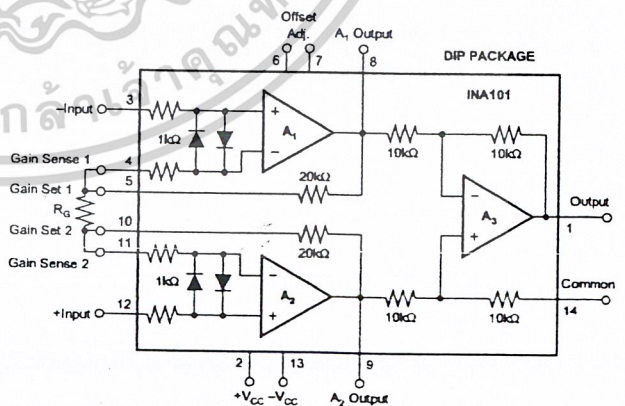
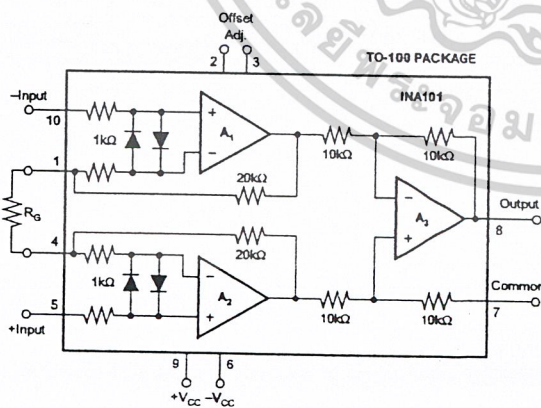
APPLICATIONS

- STRAIN GAGES
- THERMOCOUPLES
- RTDs
- REMOTE TRANSDUCERS
- LOW-LEVEL SIGNALS
- MEDICAL INSTRUMENTATION

DESCRIPTION

The INA101 is a high accuracy instrumentation amplifier designed for low-level signal amplification and general purpose data acquisition. Three precision op amps and laser-trimmed metal film resistors are integrated on a single monolithic integrated circuit.

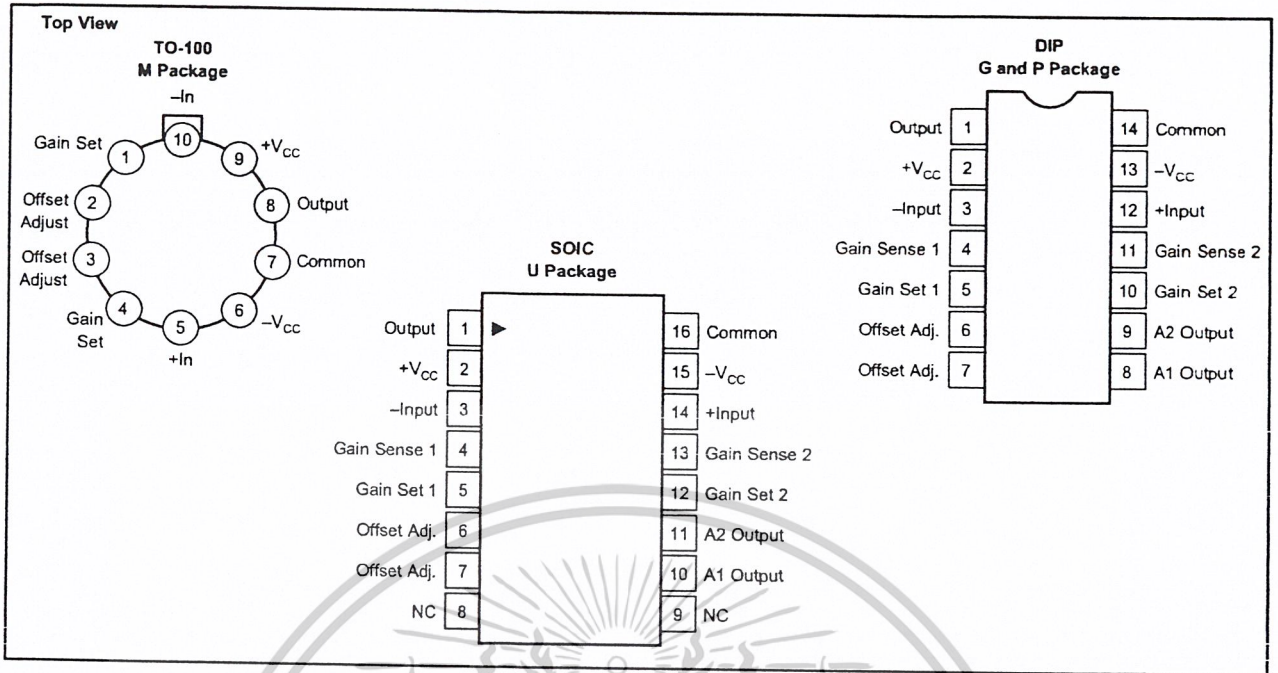
The INA101 is packaged in TO-100 metal, 14-pin plastic and ceramic DIP, and SOL-16 surface-mount packages. Commercial, industrial and military temperature range models are available.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXline: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
©1981 Burr-Brown Corporation PDS-454K Printed in U.S.A. July, 1998
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONFIGURATIONS



ORDERING INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	TEMPERATURE RANGE
INA101AM	10-Pin Metal TO-100	-25°C to +85°C
INA101CM	10-Pin Metal TO-100	-25°C to +85°C
INA101AG	14-Pin Ceramic DIP	-25°C to +85°C
INA101CG	14-Pin Ceramic DIP	-25°C to +85°C
INA101HP	14-Pin Plastic DIP	0°C to +70°C
INA101KU	SOL-16 Surface-Mount	0°C to +70°C
INA101SG	14-Pin Ceramic DIP	-55°C to +125°C
INA101SM	10-Pin Metal TO-100	-55°C to +125°C

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	120V
Power Dissipation	600mW
Input Voltage Range	±V _{CC}
Output Short Circuit (to ground)	Continuous
Operating Temperature M, G Package	-55°C to +125°C
P, U Package	-25°C to +85°C
Storage Temperature M, G Package	-65°C to +150°C
P, U Package	-40°C to +85°C
Lead Temperature (soldering, 10s) M, G, P Package	+300°C
Lead Temperature (wave soldering, 3s) U Package	+260°C

PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER ⁽¹⁾
INA101AM	10-Pin Metal TO-100	007
INA101CM	10-Pin Metal TO-100	007
INA101AG	14-Pin Ceramic DIP	169
INA101CG	14-Pin Ceramic DIP	169
INA101HP	14-Pin Plastic DIP	010
INA101KU	SOL-16 Surface-Mount	211
INA101SG	14-Pin Ceramic DIP	169
INA101SM	10-Pin Metal TO-100	007

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix D of Burr-Brown IC Data Book.




ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

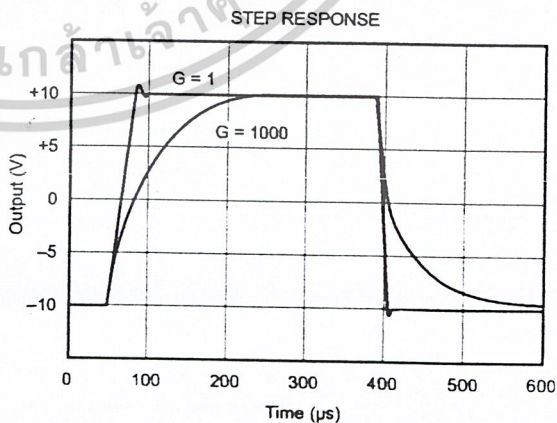
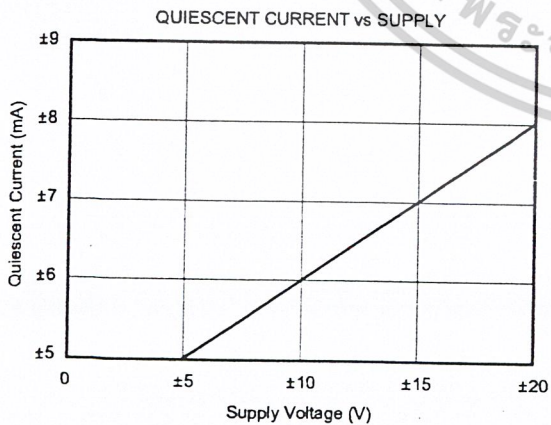
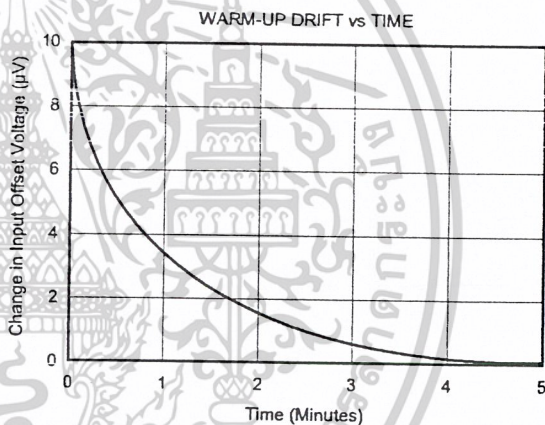
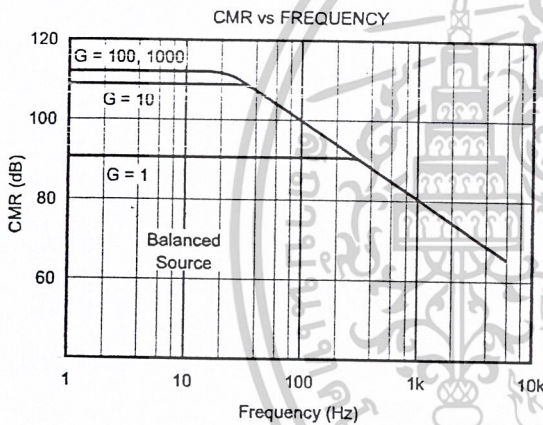
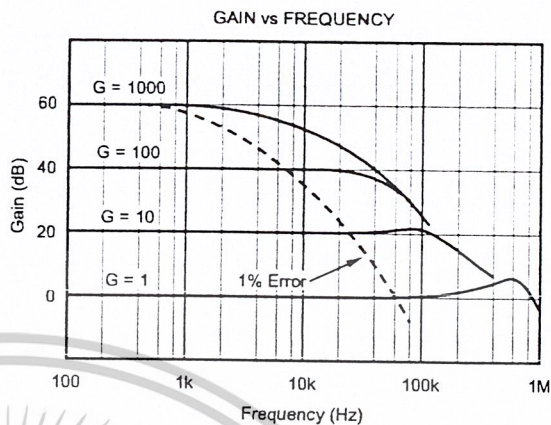
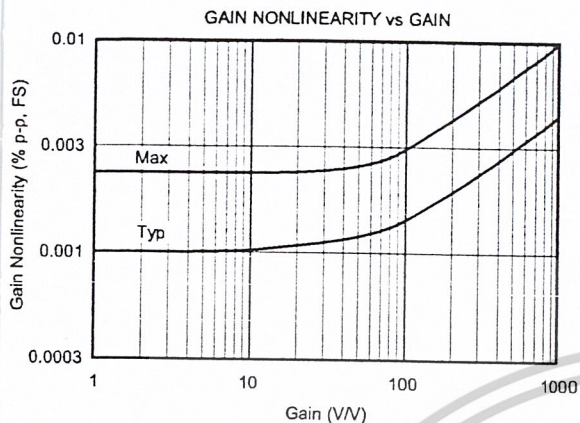
The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ **INA101** 

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At +25°C, $V_{CC} = \pm 15V$ unless otherwise noted.

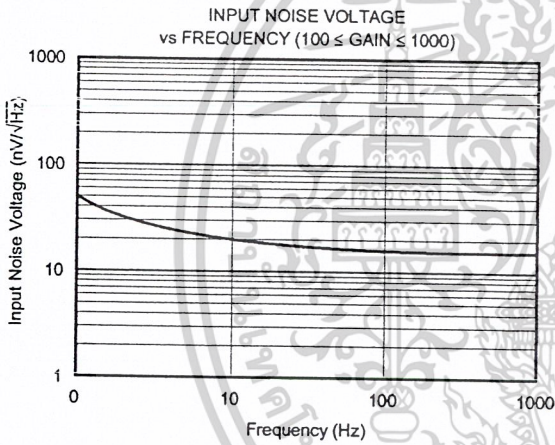
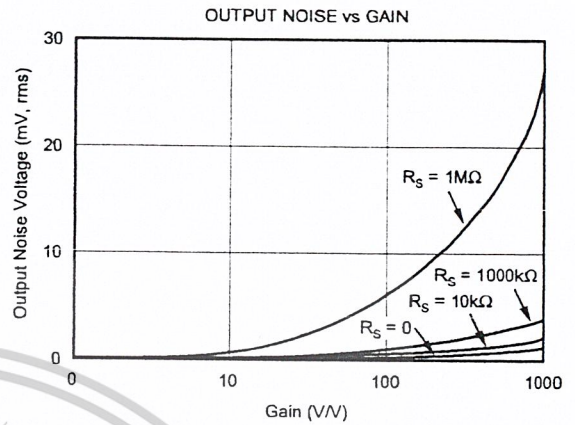
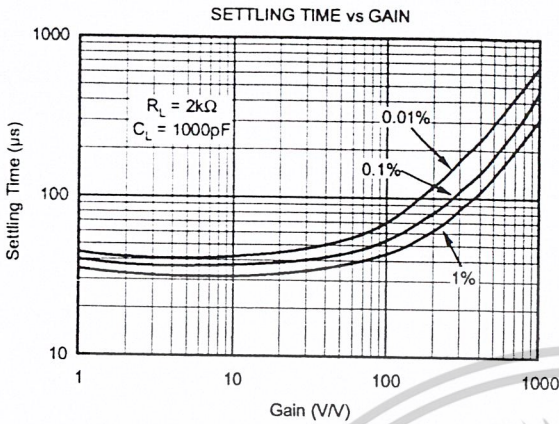


INA101 สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At +25°C. $V_{CC} = \pm 15V$ unless otherwise noted.



APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA101. (Pin numbers shown are for the TO-100 metal package.) Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output Common terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance greater than 0.1Ω in series with the Common pin will cause common-mode rejection to fall below 106dB.

SETTING THE GAIN

Gain of the INA101 is set by connecting a single external resistor, R_G :

$$G = 1 + \frac{40k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

The $40k\Omega$ term in equation (1) comes from the sum of the two internal feedback resistors. These are on-chip metal film resistors which are laser trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA101.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R_G , also affects gain. R_G 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater. The gain sense connections on the DIP and SOL-16 packages (see Figure 2) reduce the gain error produced by wiring or socket resistance.

OFFSET TRIMMING

The INA101 is laser trimmed for low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows connection of an optional potentiometer connected to the Offset Adjust pins for trimming the input offset voltage. (Pin numbers shown are for the DIP package.) Use this adjustment to null the offset voltage in high gain ($G \geq 100$) with both inputs connected to ground. Do not use this adjustment to null offset produced by the source or other system offset since this will increase the offset voltage drift by $0.3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per $100\mu\text{V}$ of adjusted offset.

Offset of the output amplifier usually dominates when the INA101 is used in unity gain ($G = 1$). The output offset

voltage can be adjusted with the optional trim circuit connected to the Common pin as shown in Figure 2. The voltage applied to Common terminal is summed with the output. Low impedance must be maintained at this node to assure good common-mode rejection. The op amp connected as a buffer provides low impedance.

THERMAL EFFECTS ON OFFSET VOLTAGE

To achieve lowest offset voltage and drift, prevent air currents from circulating near the INA101. Rapid changes in temperature will produce a thermocouple effect on the package leads that will degrade offset voltage and drift. A shield or cover that prevents air currents from flowing near the INA101 will assure best performance.

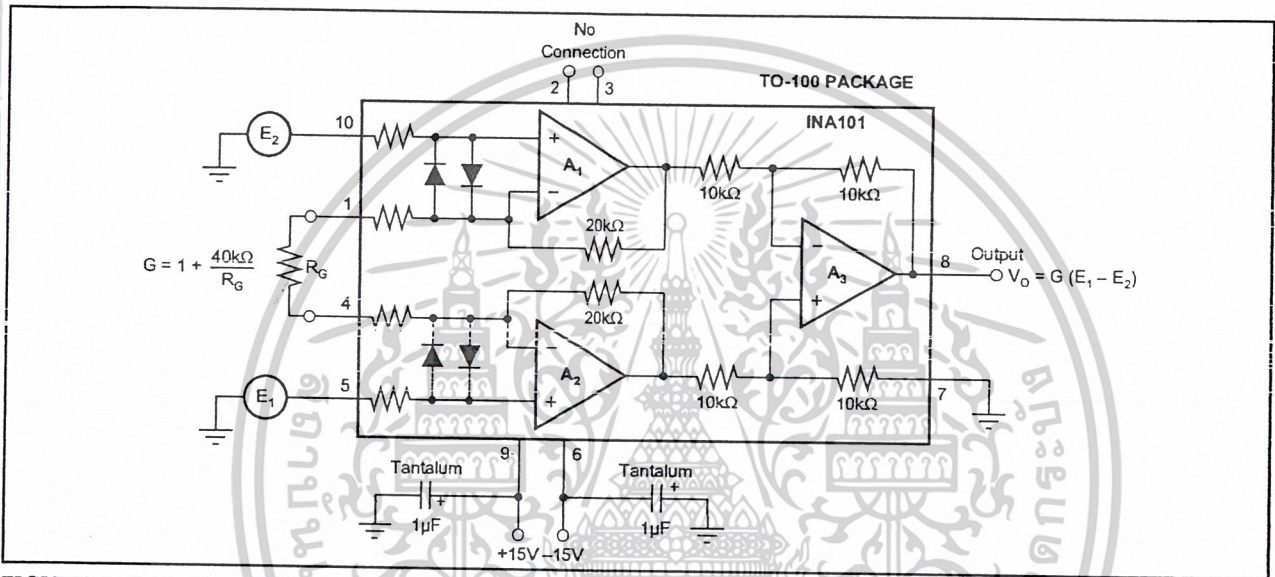


FIGURE 1. Basic Connections.

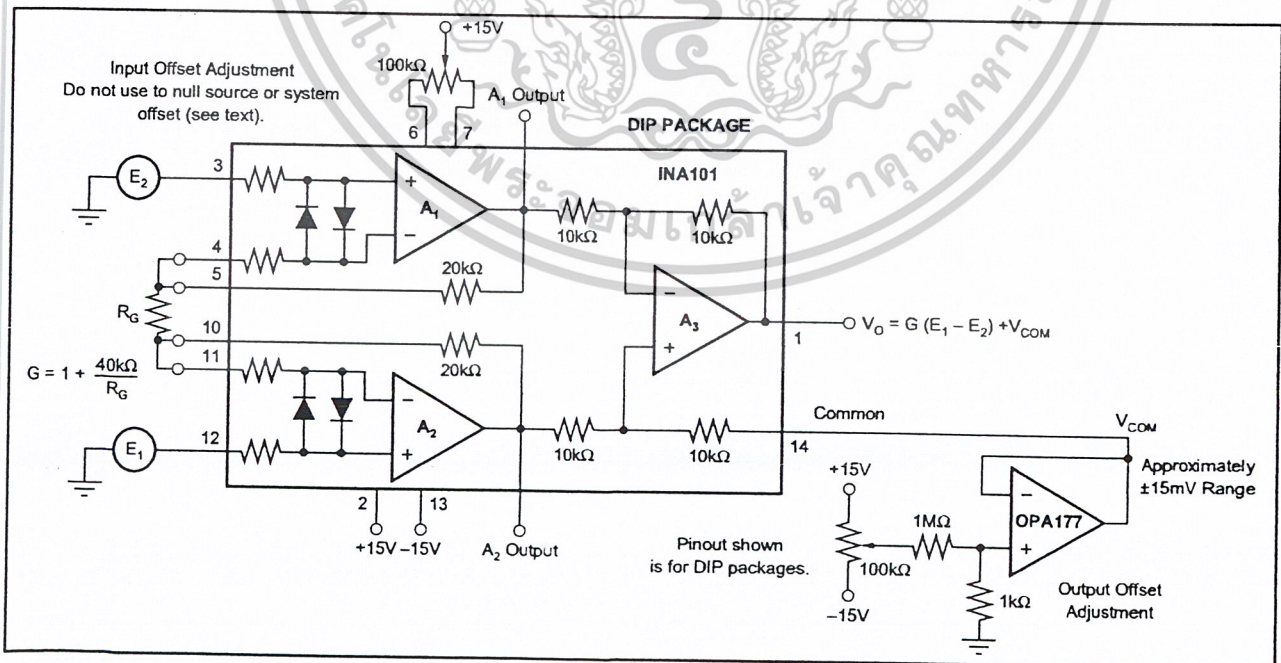
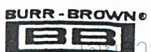


FIGURE 2. Optional Trimming of Input and Output Offset Voltage.



INA101 สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

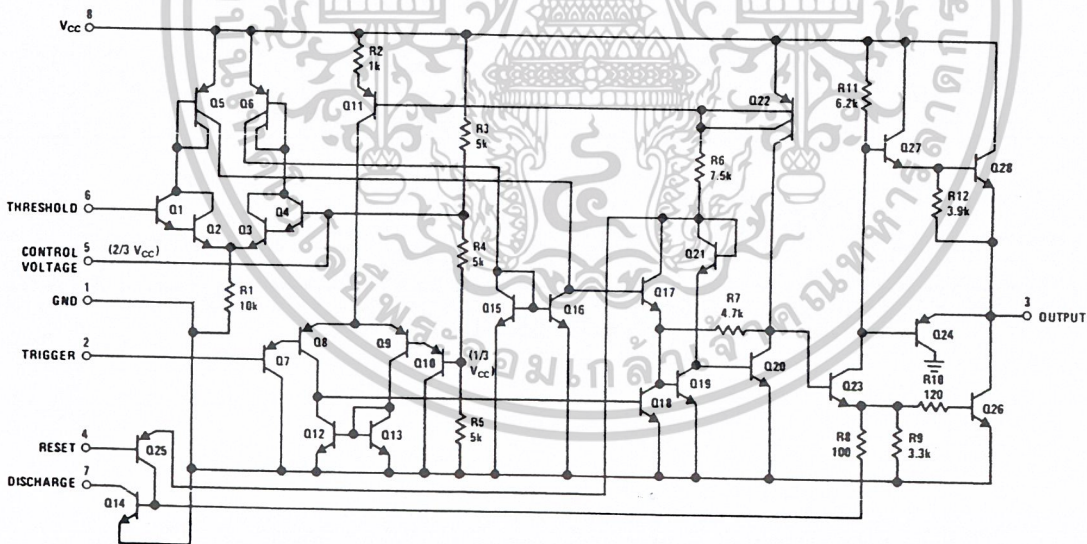
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

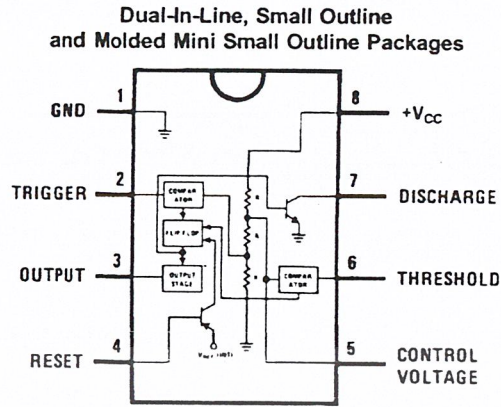
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



DS007851-1

Connection Diagram



Top View

Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_7 = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_7 = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$				
	$I_{SINK} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{SINK} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{SINK} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{SINK} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$				
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 200\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5		V
	$I_{SOURCE} = 100\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

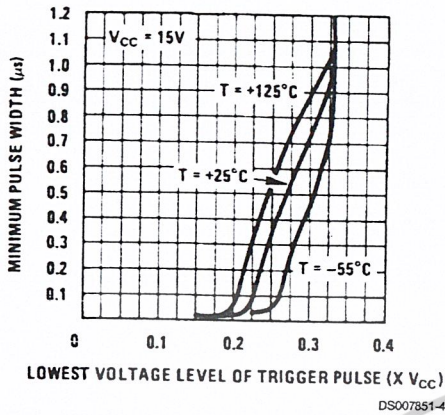
Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

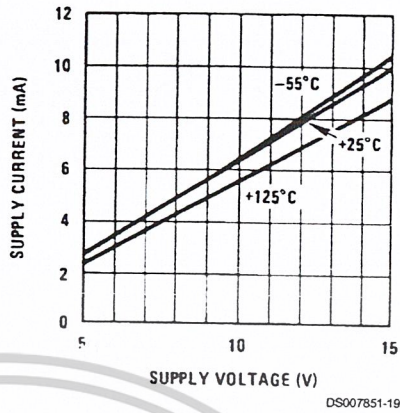
Note 8: Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Typical Performance Characteristics

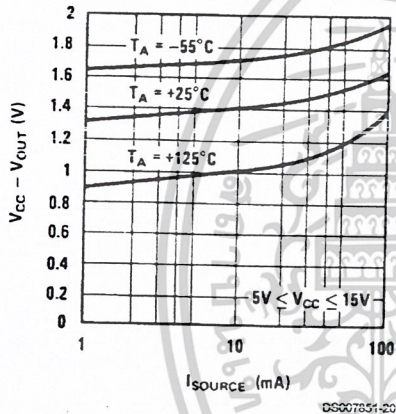
Minimum Pulse Width Required for Triggering



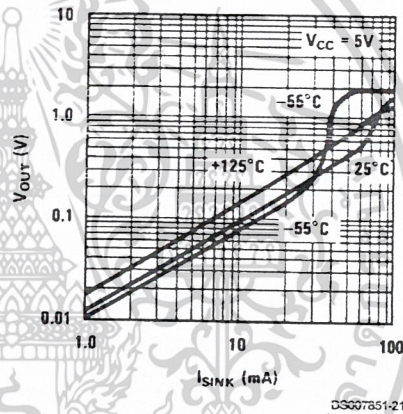
Supply Current vs. Supply Voltage



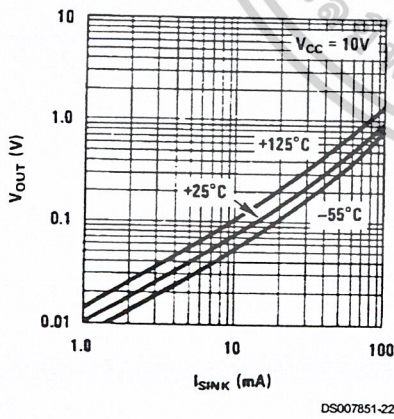
High Output Voltage vs. Output Source Current



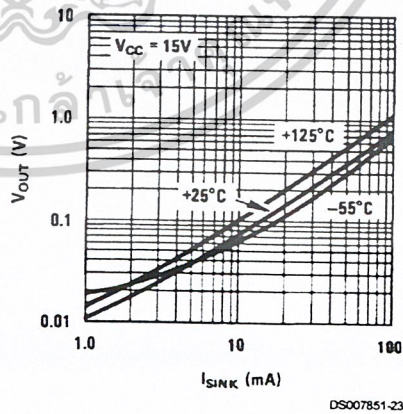
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current



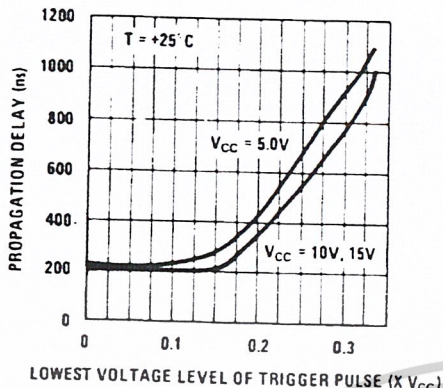
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



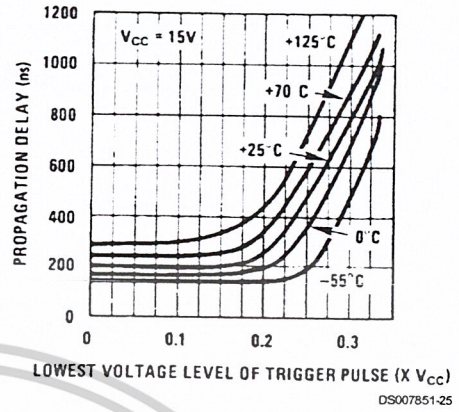
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

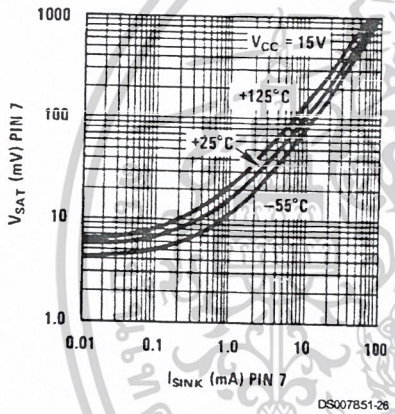
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



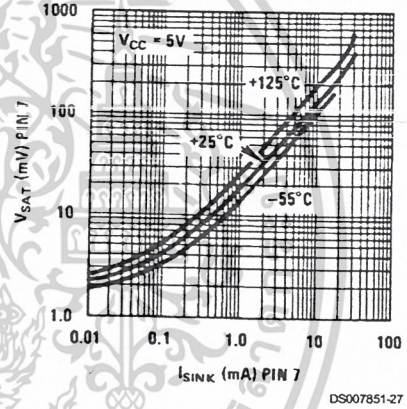
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

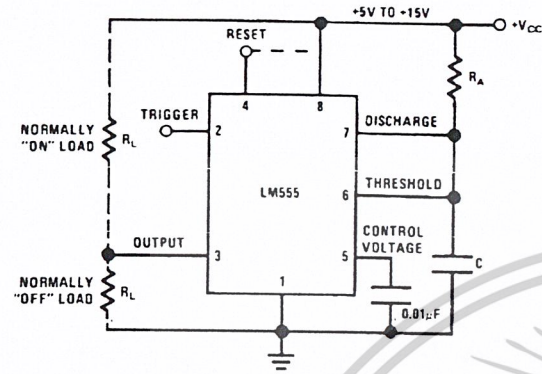
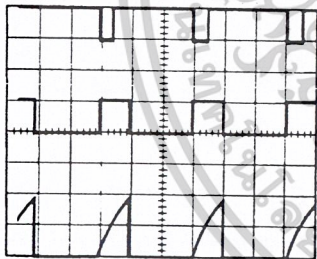


FIGURE 1. Monostable

DS007851-5

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



DS007851-6

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

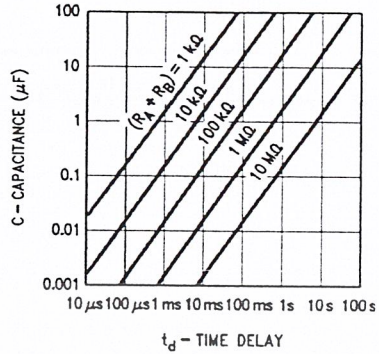
FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

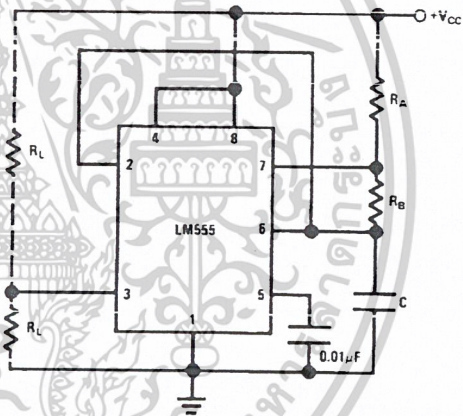


DS007851-7

FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.



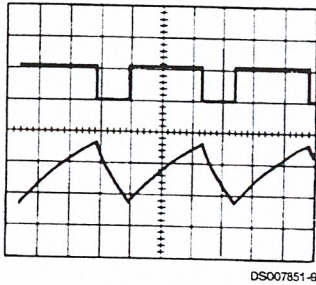
DS007851-8

FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



DS007851-9
 $V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μs /DIV. Top Trace: Output 5V/Div.
 $R_A = 3.9k\Omega$ Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

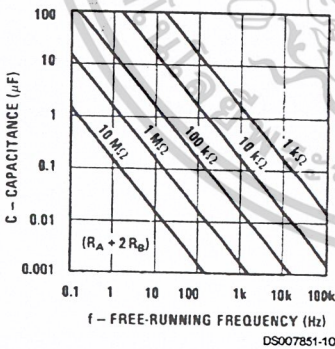
The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

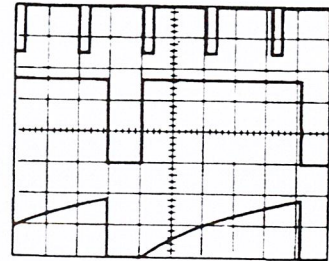
$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$



DS007851-10
FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.

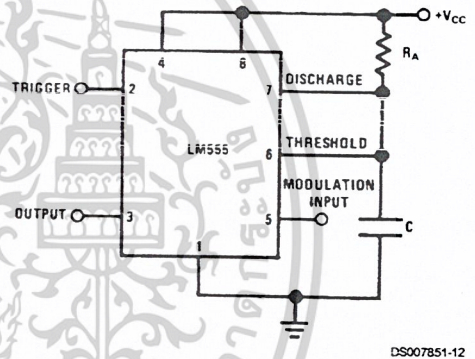


DS007851-11
 $V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μs /DIV. Top Trace: Input 4V/Div.
 $R_A = 9.1k\Omega$ Middle Trace: Output 2V/Div.
 $C = 0.01\mu F$ Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

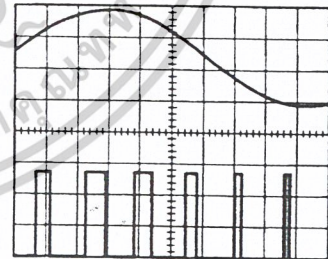
FIGURE 7. Frequency Divider

PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.



DS007851-12
FIGURE 8. Pulse Width Modulator



DS007851-13
 $V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.2 ms/DIV. Top Trace: Modulation 1V/Div.
 $R_A = 9.1k\Omega$ Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

Applications Information (Continued)

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

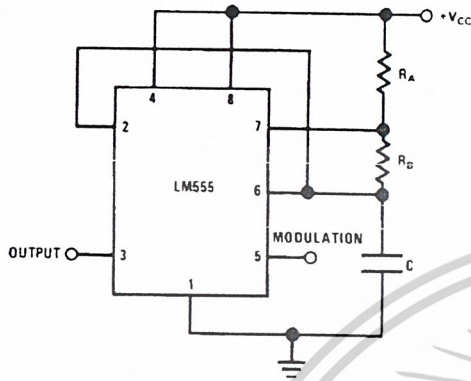
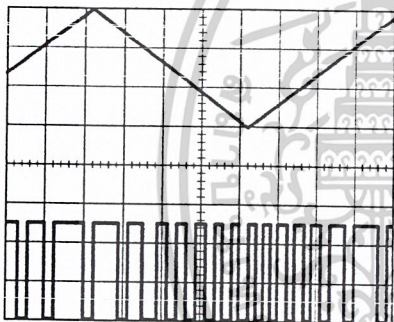


FIGURE 10. Pulse Position Modulator

DS007851-14



DS007851-15

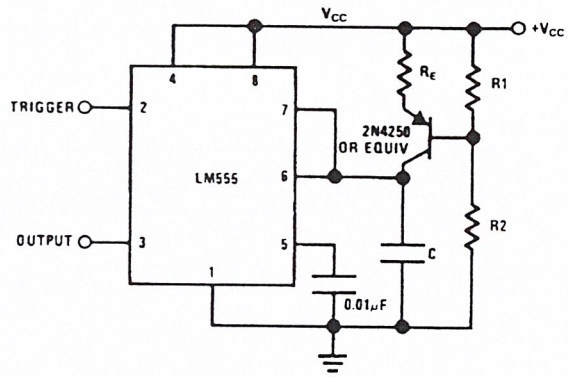
$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 3.9k\Omega$
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Modulation Input 1V/Div.
 Bottom Trace: Output 2V/Div.

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.



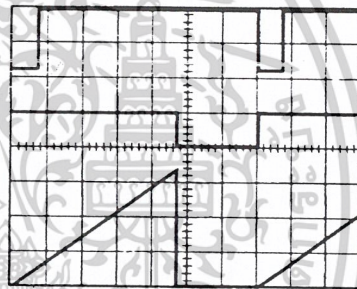
DS007851-16

FIGURE 12.

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$V_{BE} \approx 0.6V$
 $V_{BE} \approx 0.6V$



DS007851-17

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20µs/DIV.
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_E = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 3V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

Applications Information (Continued)

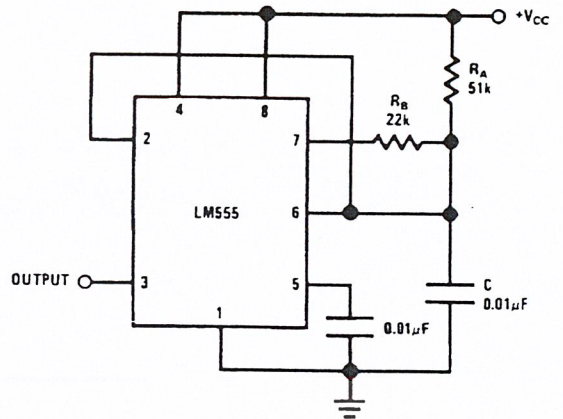
50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in *Figure 14*. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



DS007851-18

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

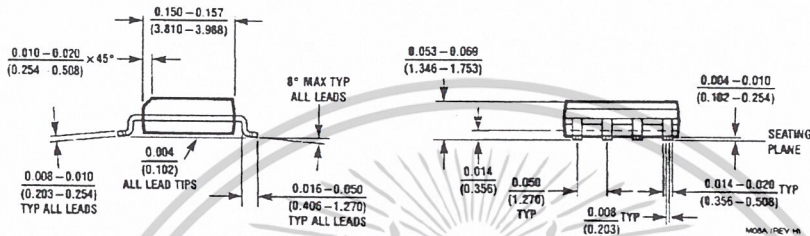
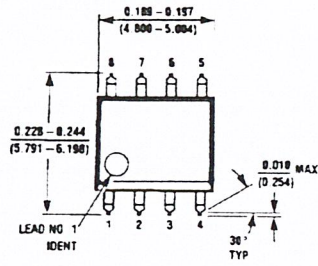
Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu\text{F}$ in parallel with $1\mu\text{F}$ electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as $10\mu\text{s}$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10\mu\text{s}$ minimum.

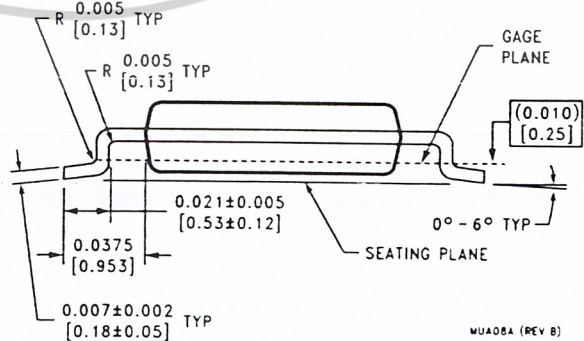
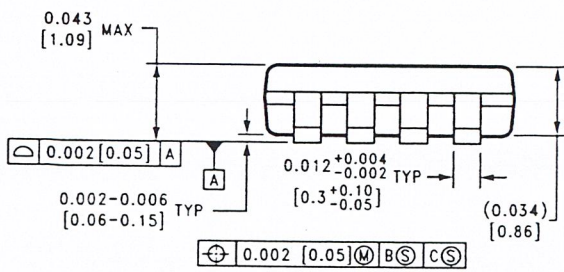
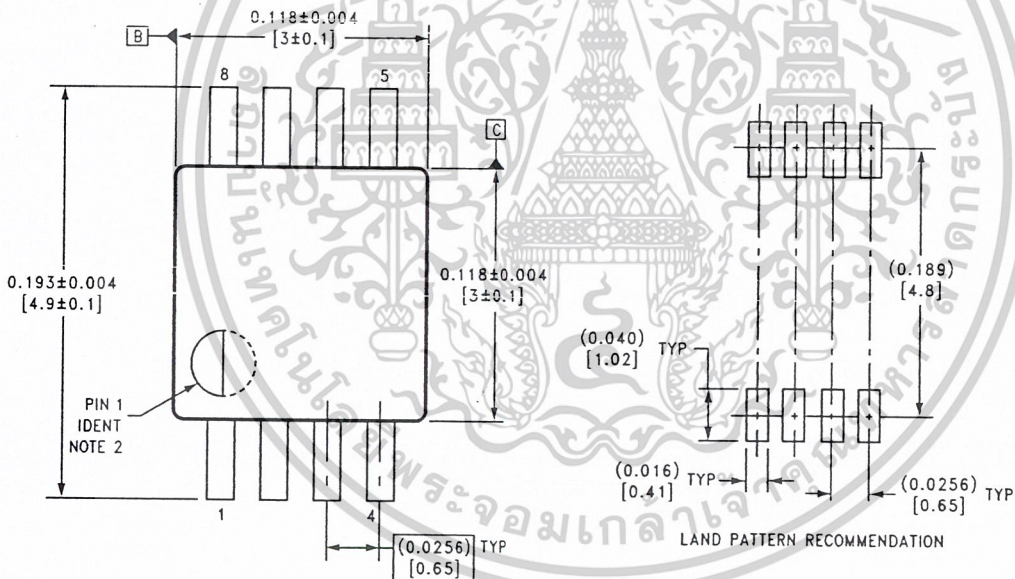
Delay time reset to output is $0.47\mu\text{s}$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3\mu\text{s}$, typical.

Pin 7 current switches within 30ns of the output (pin 3) voltage.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A

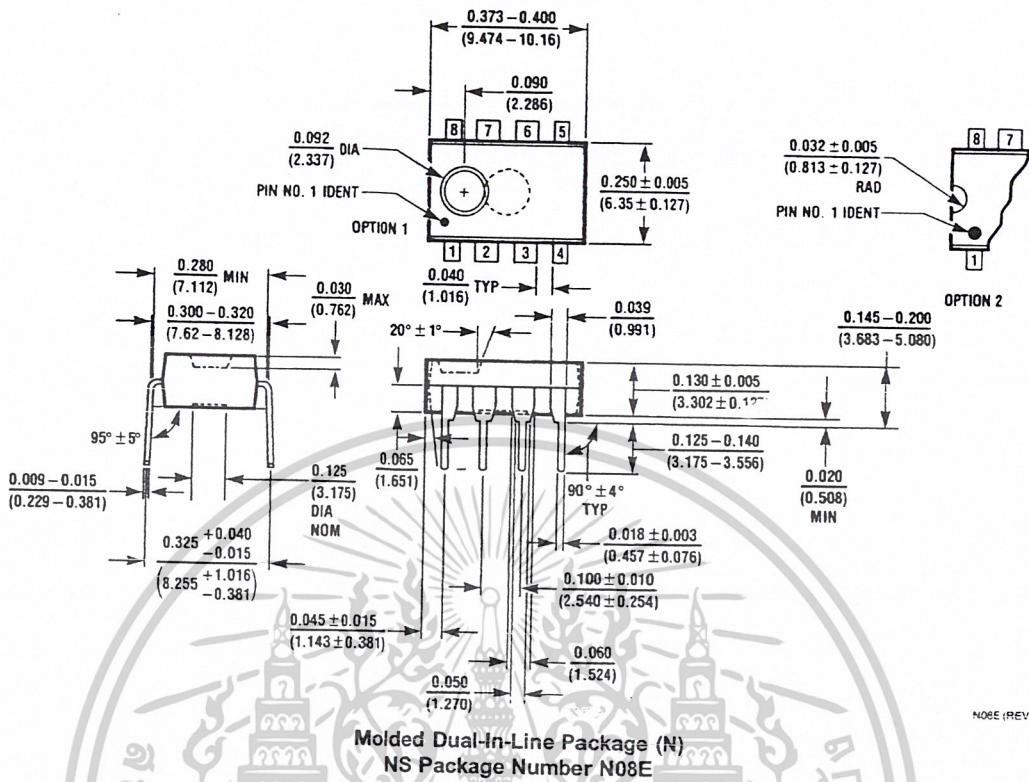


8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A

MUA08A (REV B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



NO8E (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



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

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

1998 Jul 02

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

CONTENTS

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

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

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

2 APPLICATIONS

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

4 ORDERING INFORMATION

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



3 GENERAL DESCRIPTION

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

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

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

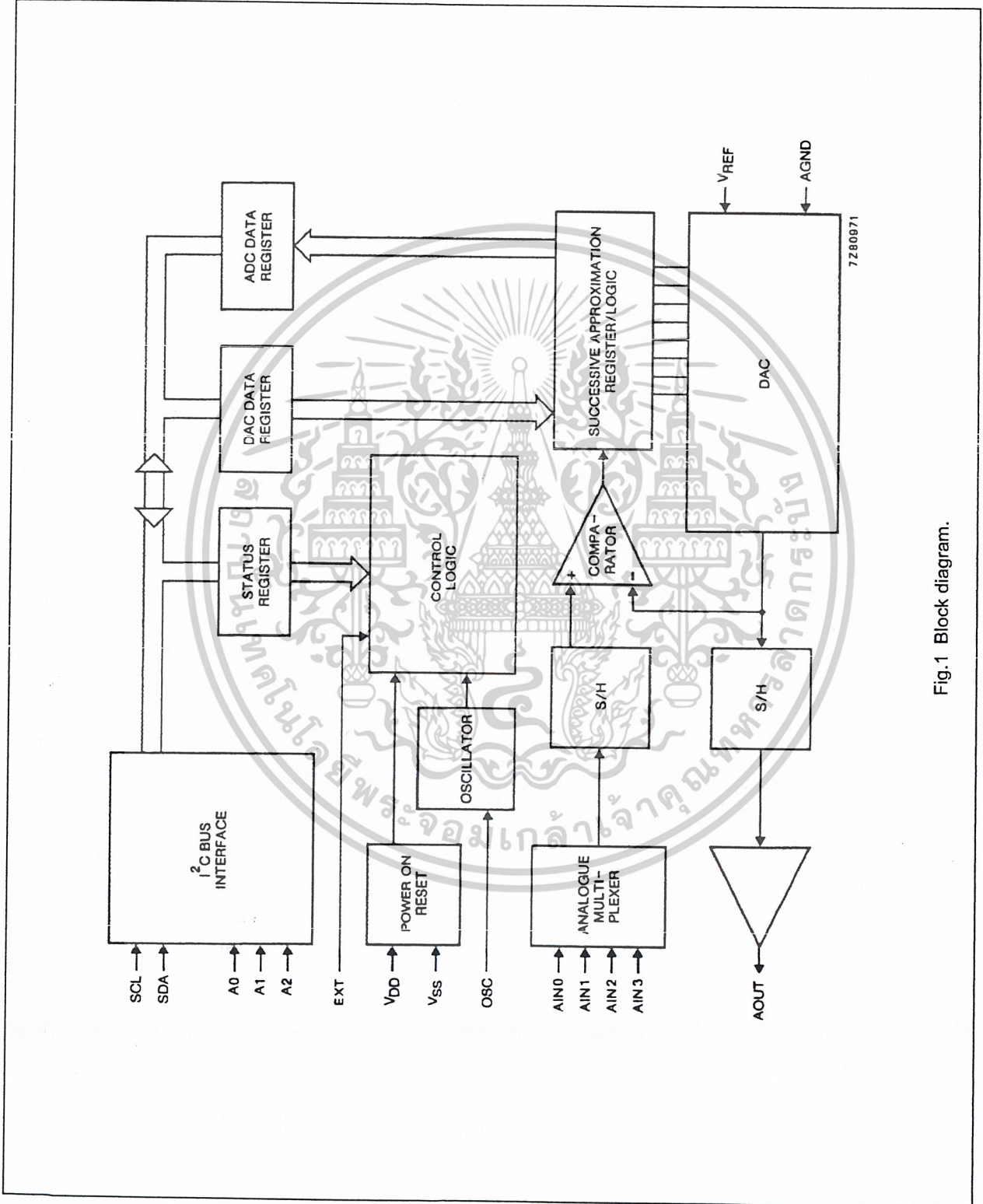


Fig.1 Block diagram.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

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

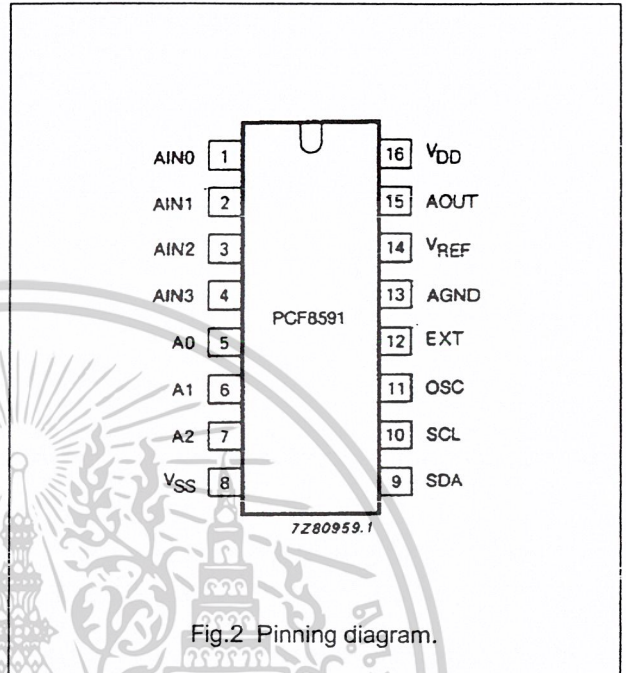


Fig.2 Pinning diagram.

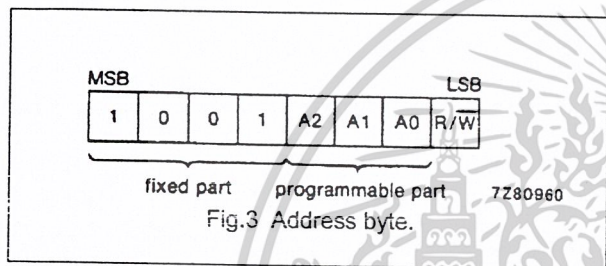
8-bit A/D and D/A converter

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

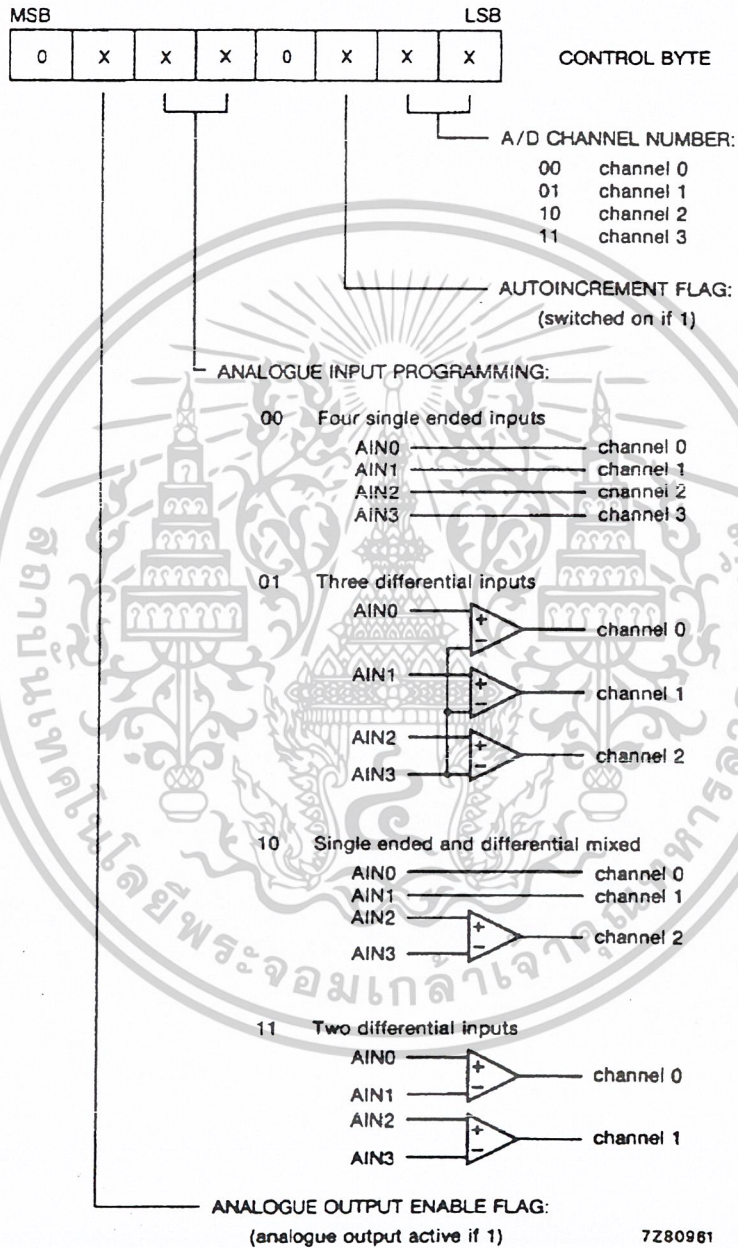


Fig.4 Control byte.

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 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.

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.

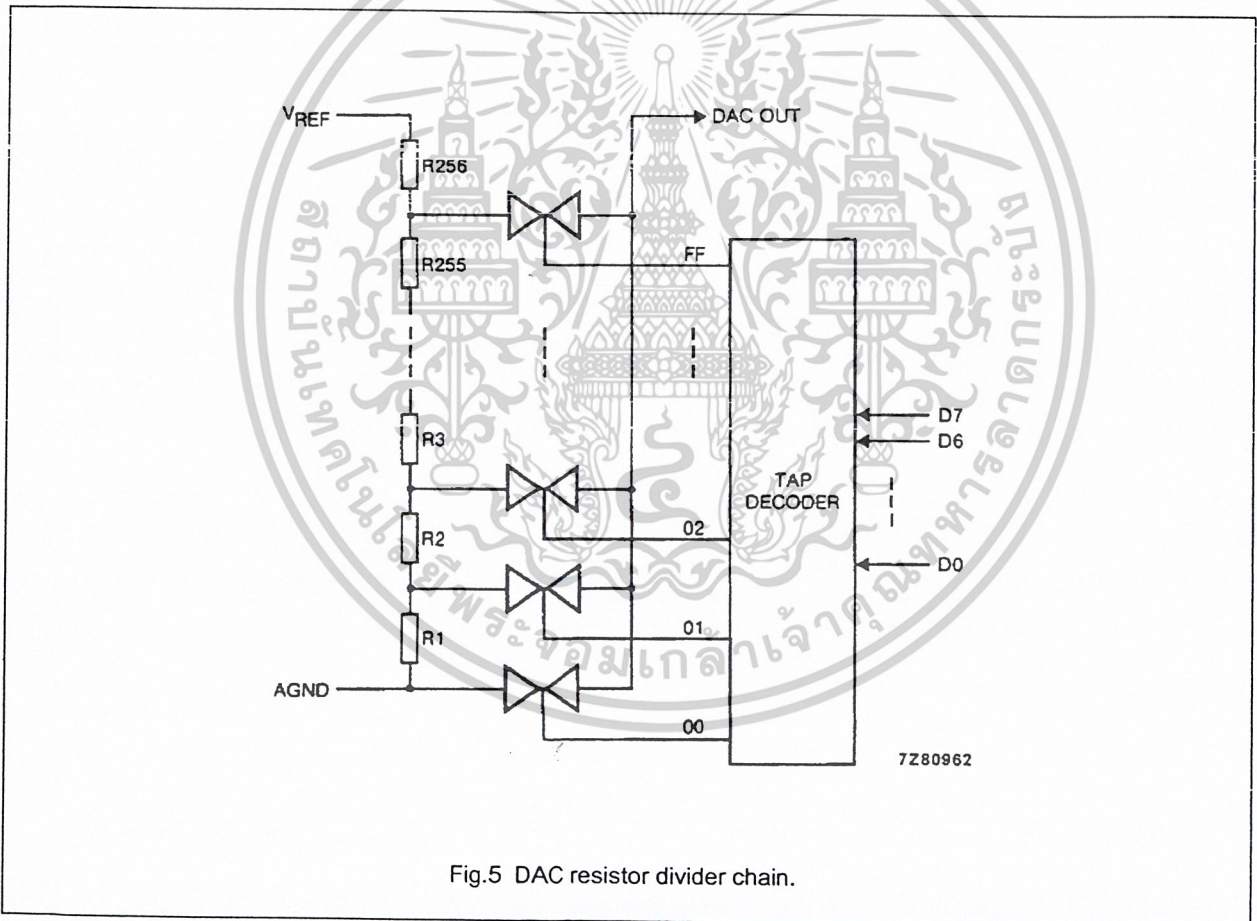
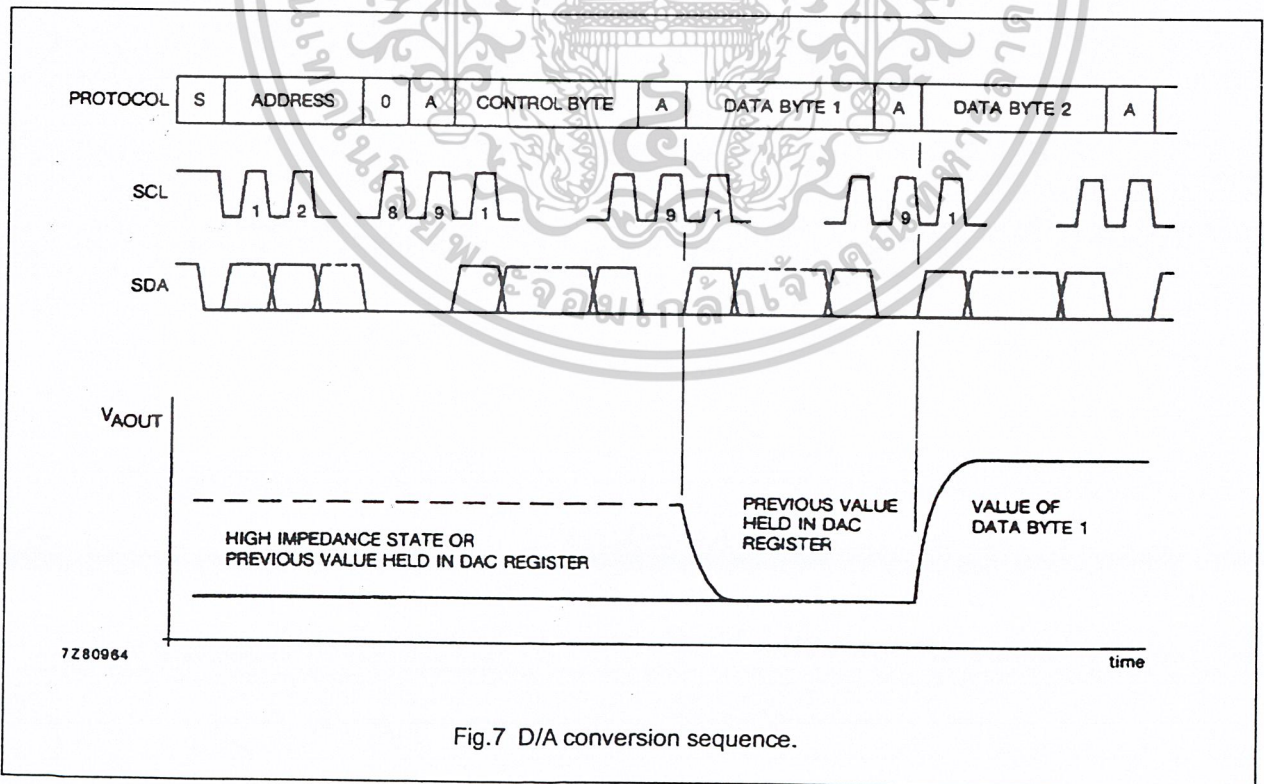
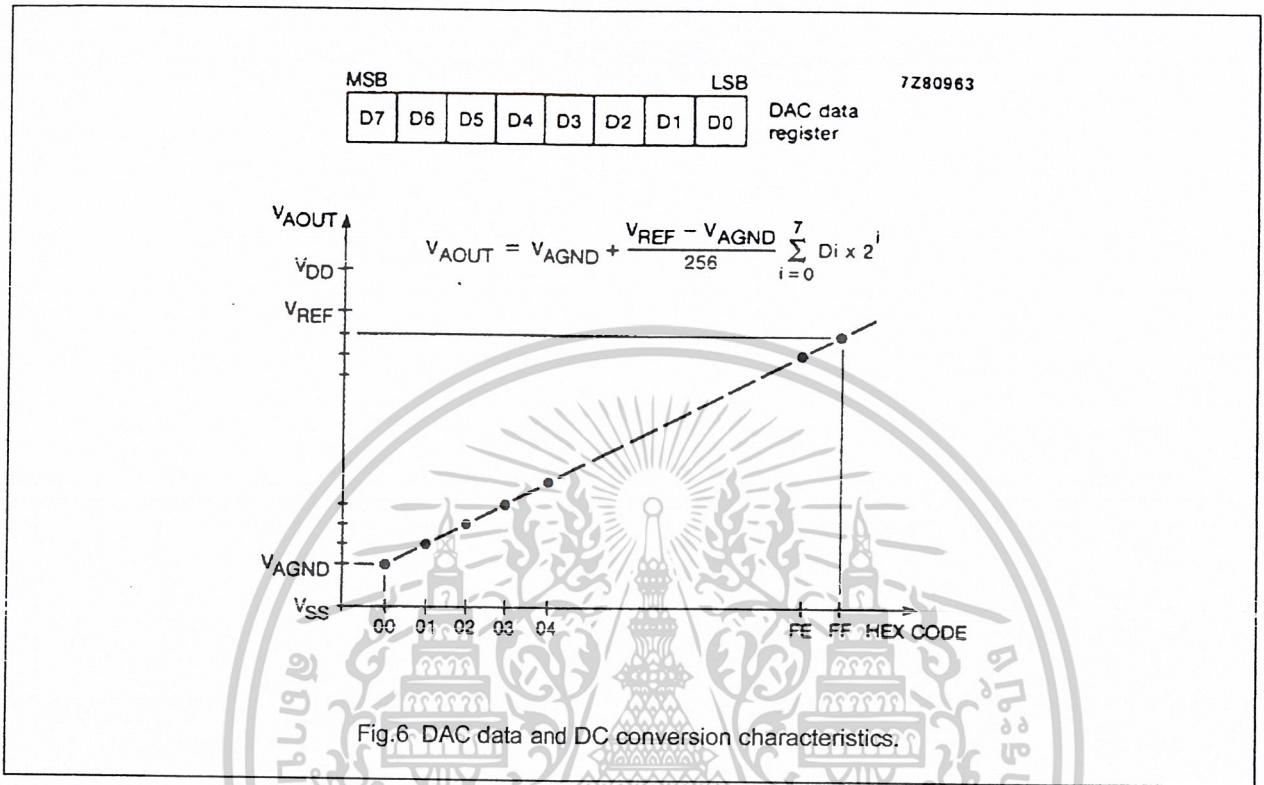


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



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.

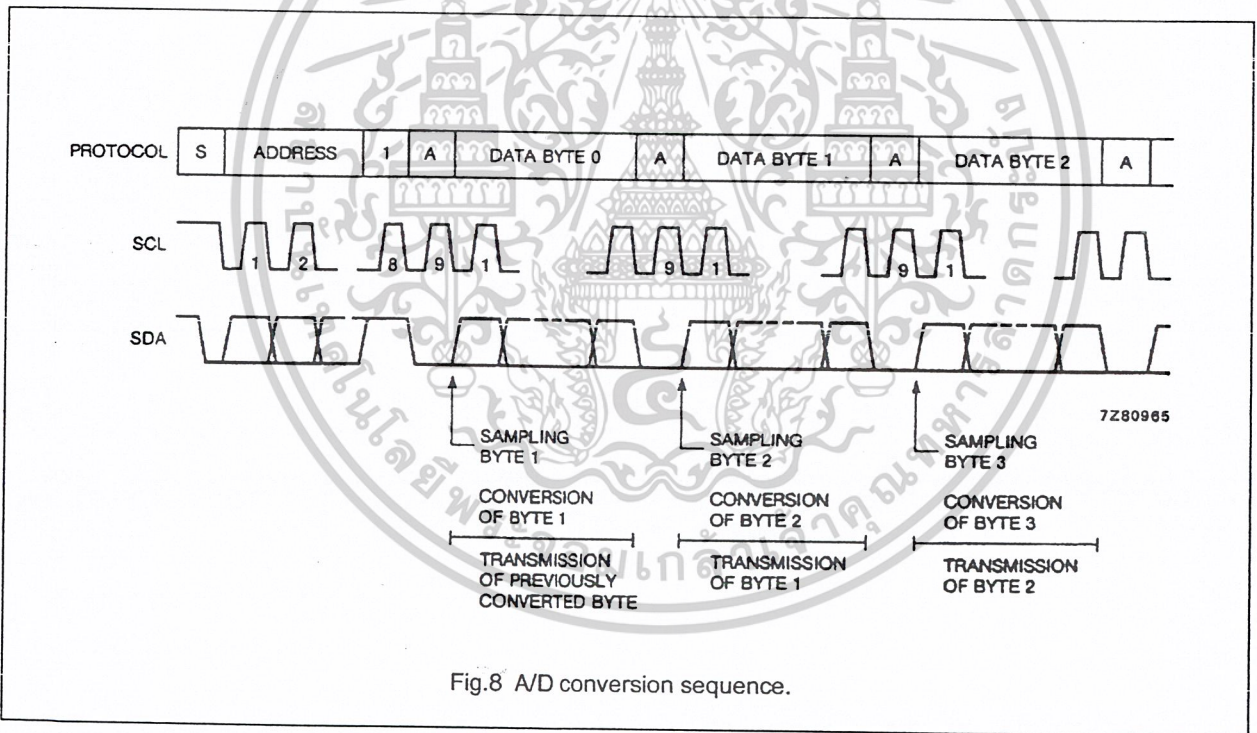


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

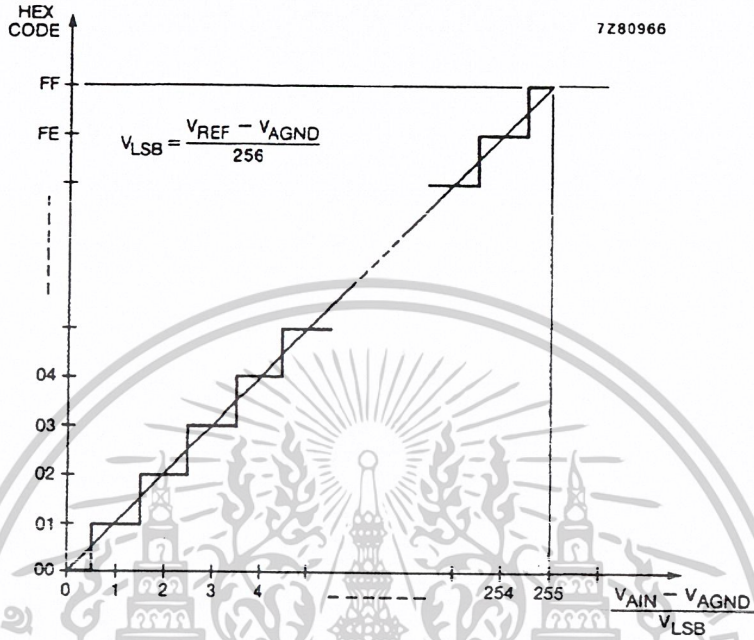


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

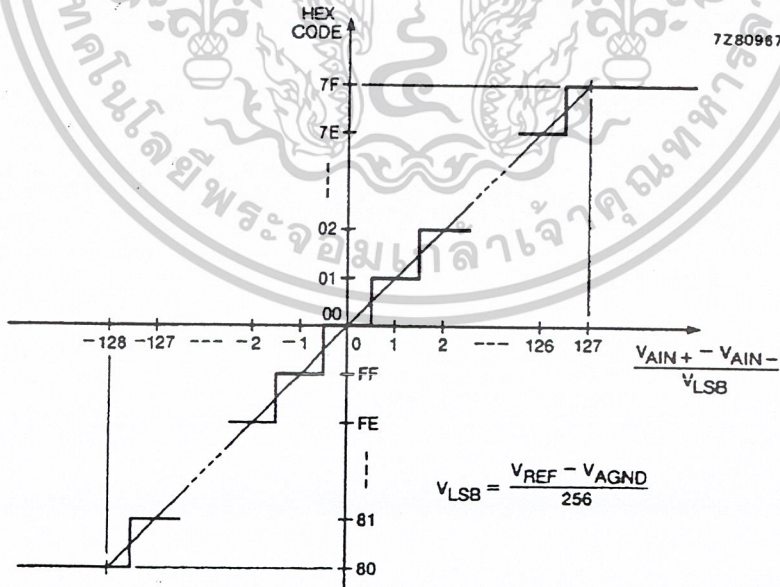


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS} .

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS} . At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

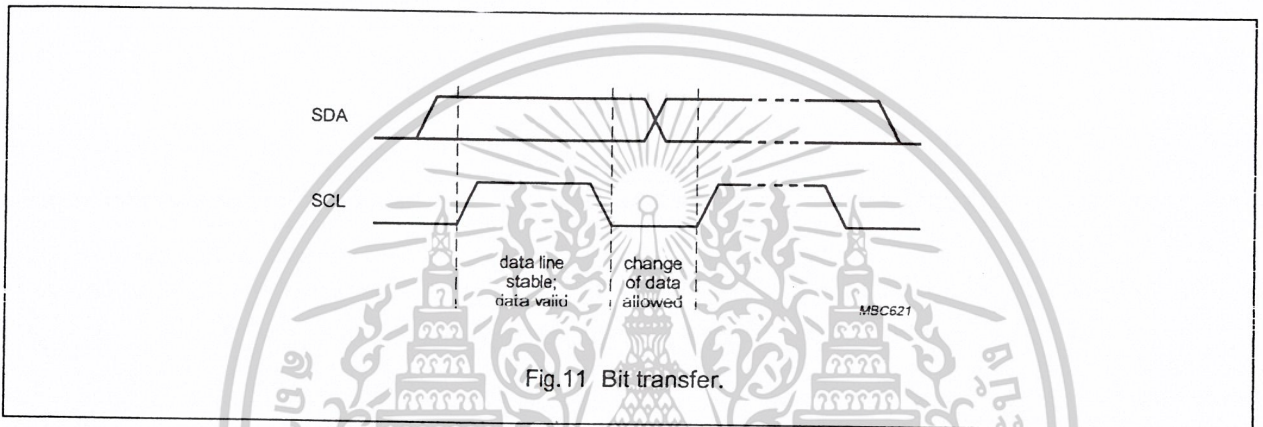


Fig.11 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

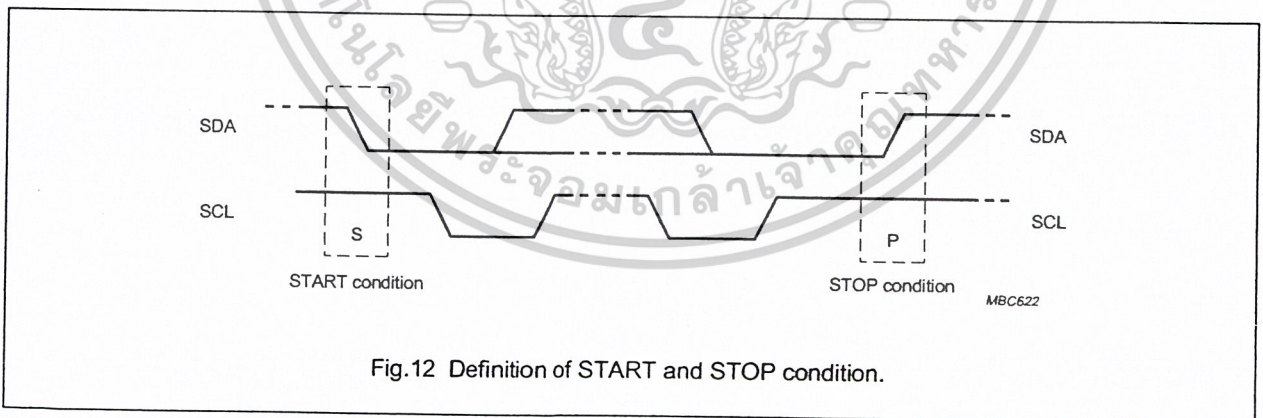


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

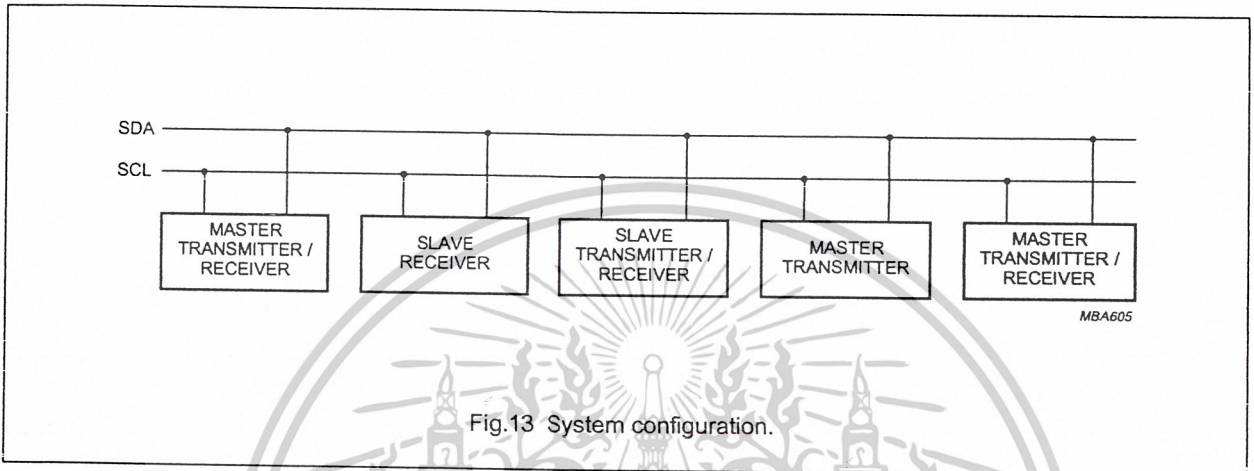


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

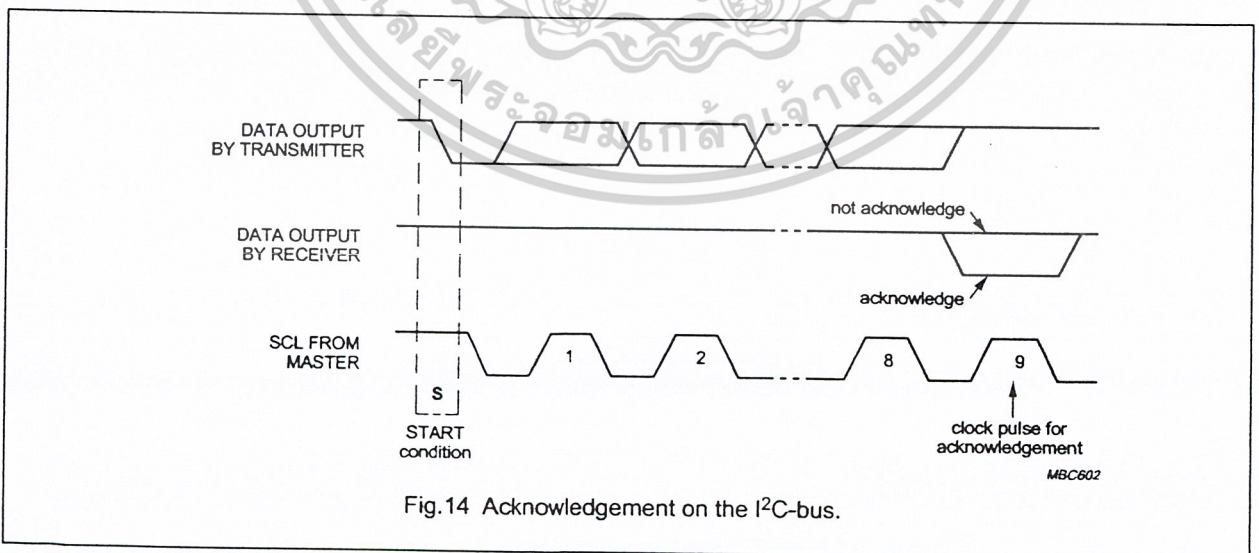


Fig.14 Acknowledgement on the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.5 I²C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I²C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.

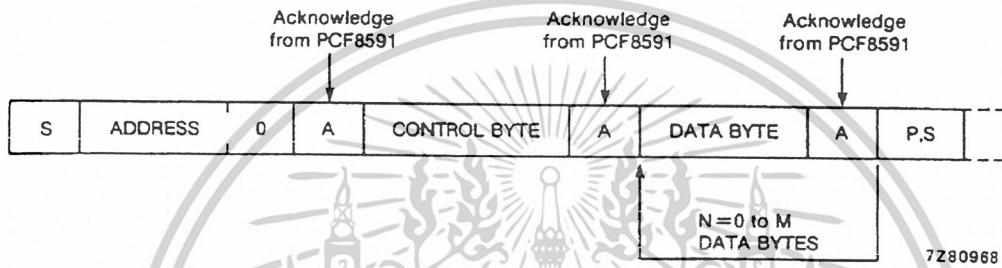


Fig.15 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

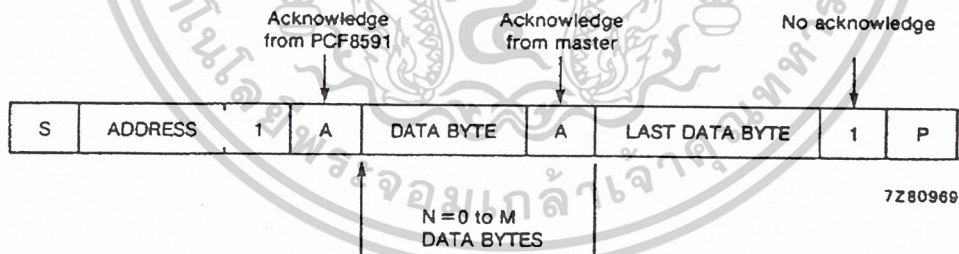


Fig.16 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

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	$V_I = V_{SS} \text{ or } V_{DD}$; 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	$V_I = V_{SS} \text{ to } V_{DD}$	–250	–	+250	nA
	SCL, SDA	$V_I = V_{SS} \text{ to } V_{DD}$	–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	–	k Ω
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:

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

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

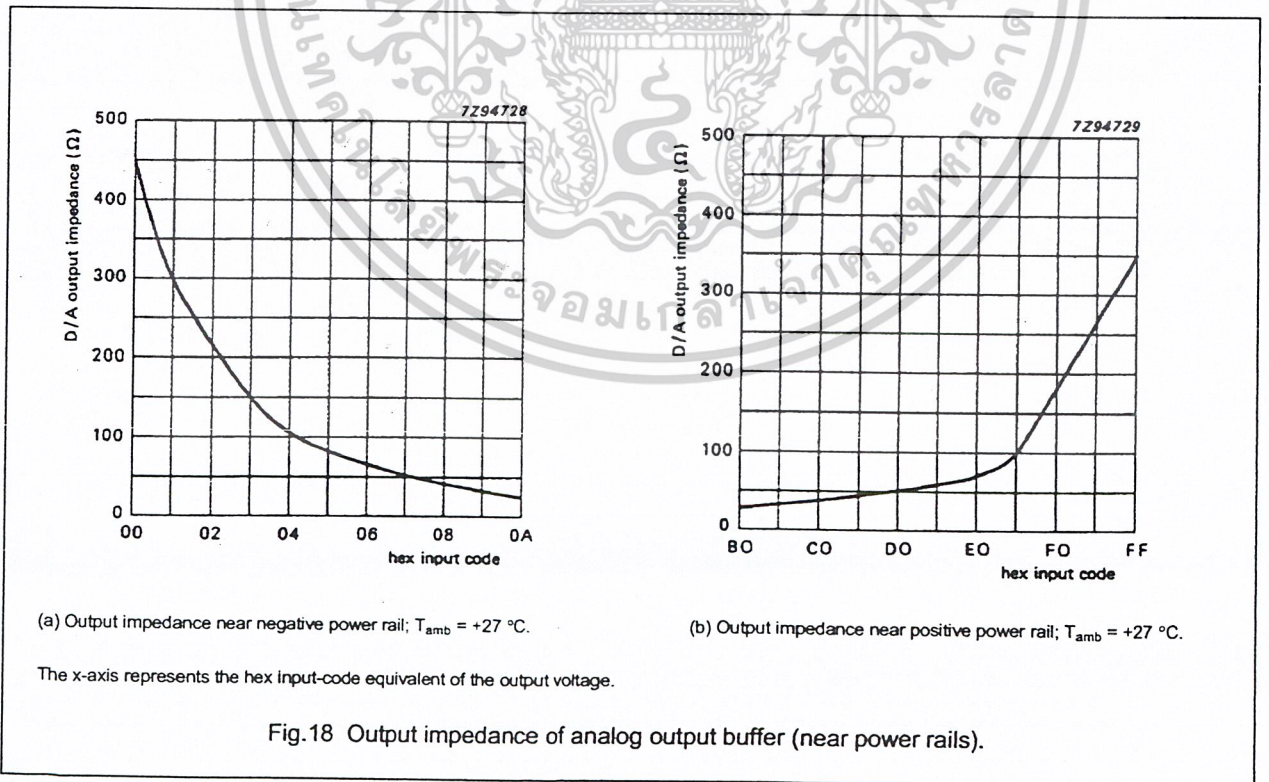
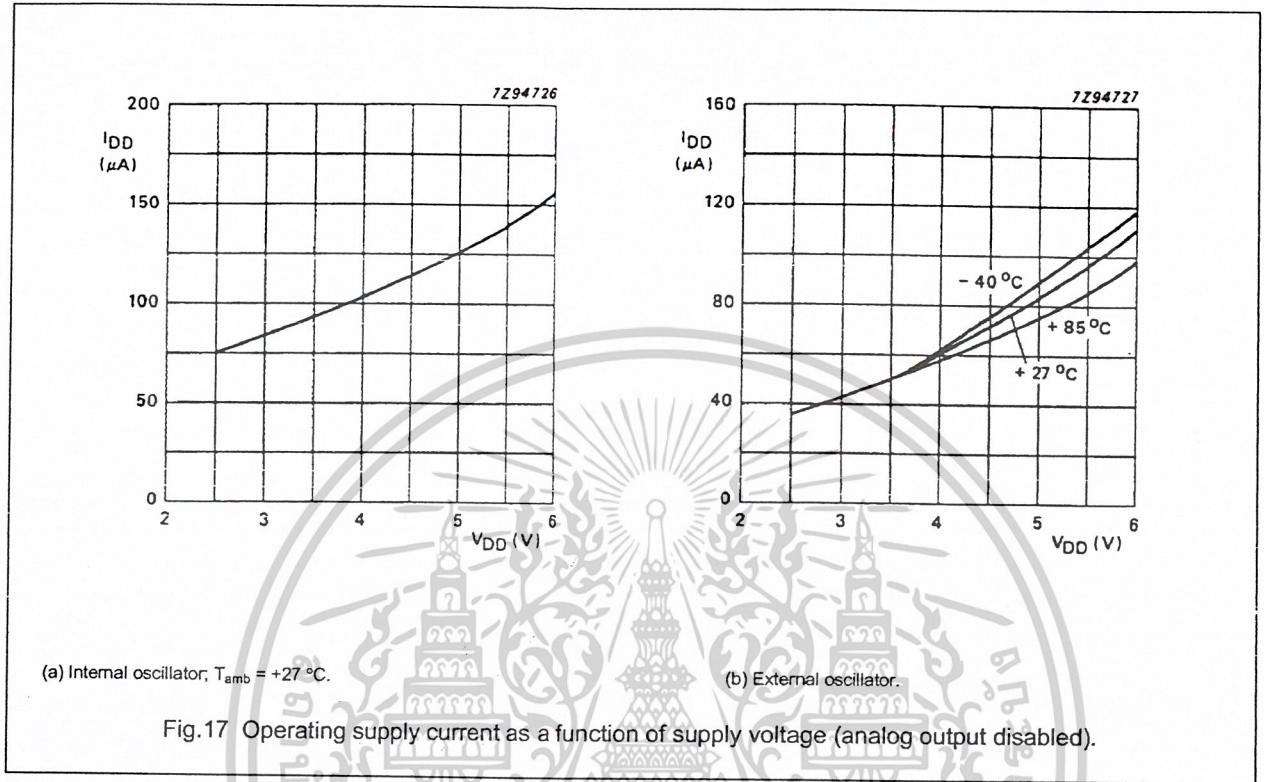
13 A/D CHARACTERISTICS

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

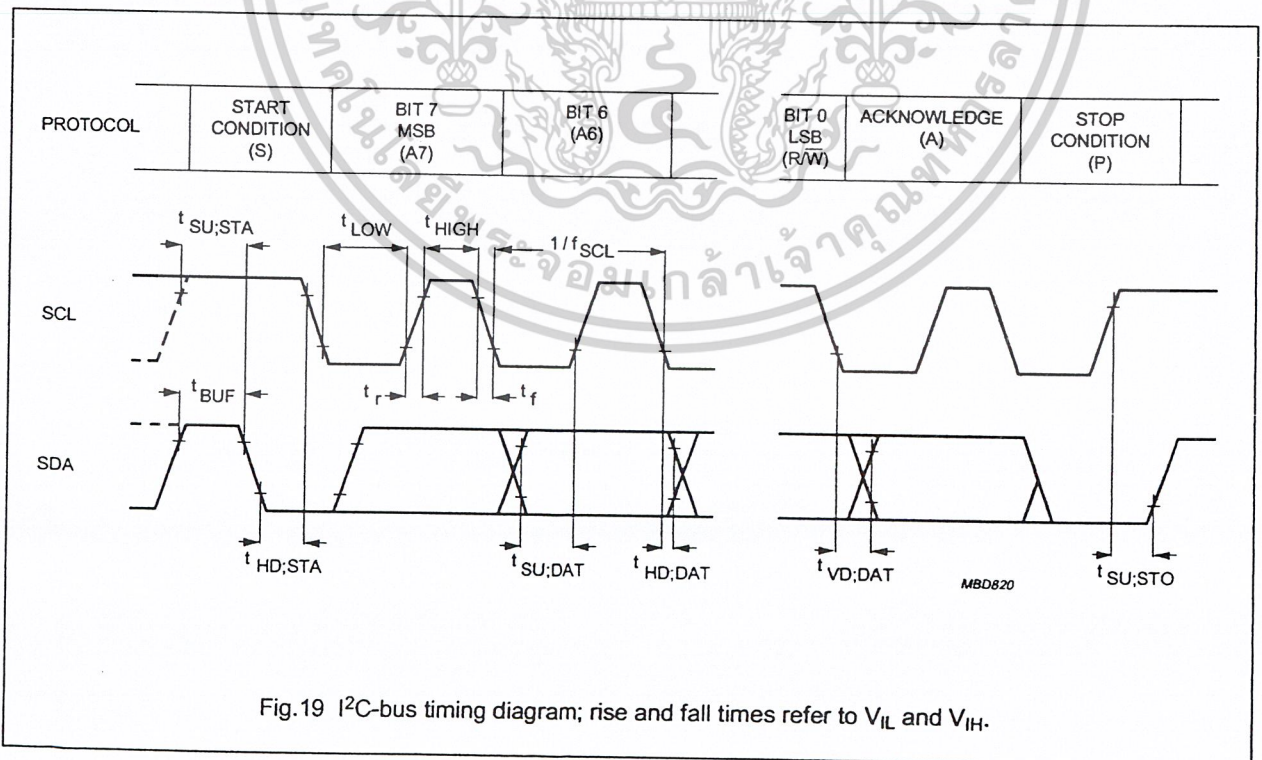


Fig.19 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH} .

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.

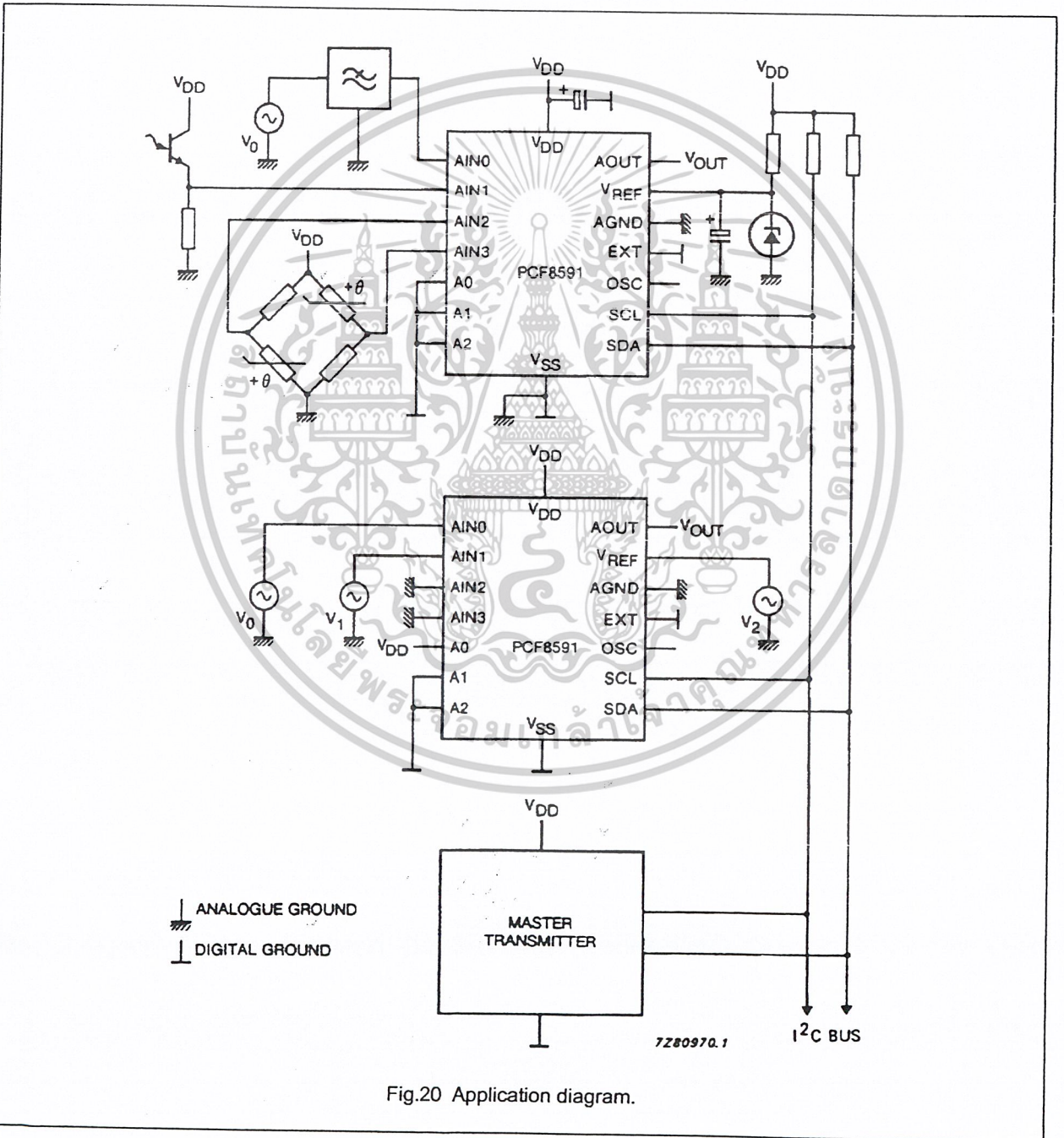


Fig.20 Application diagram.

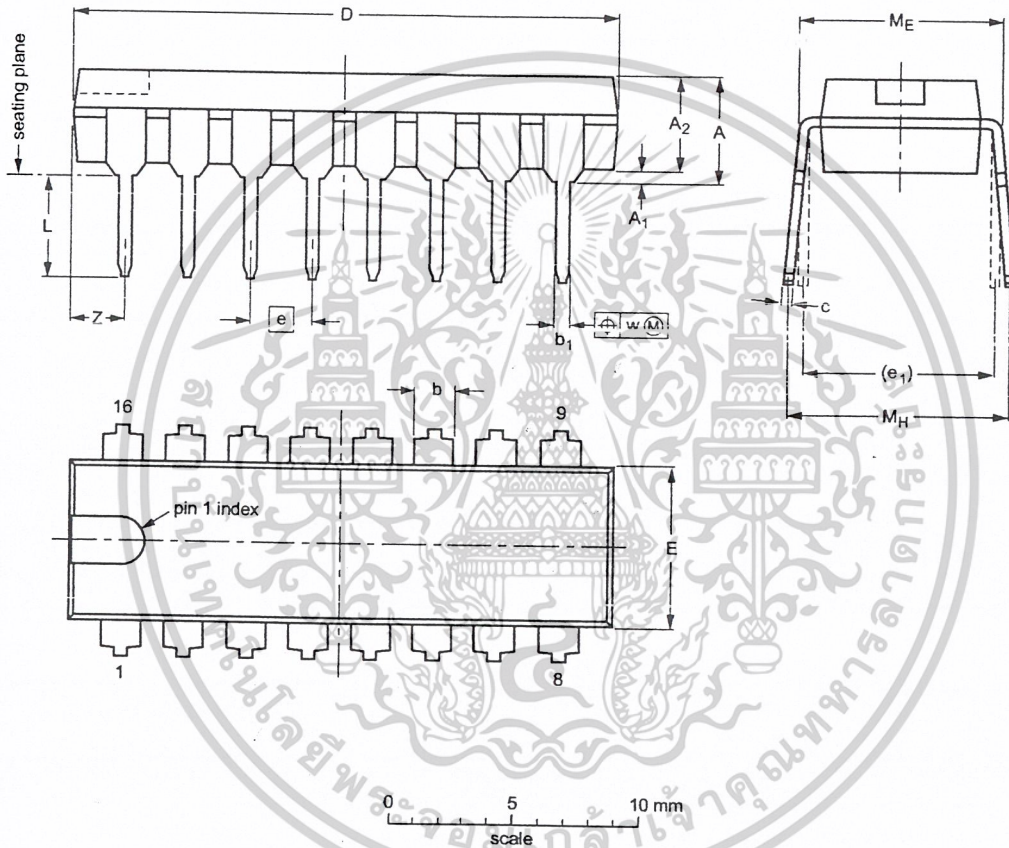
8-bit A/D and D/A converter

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.

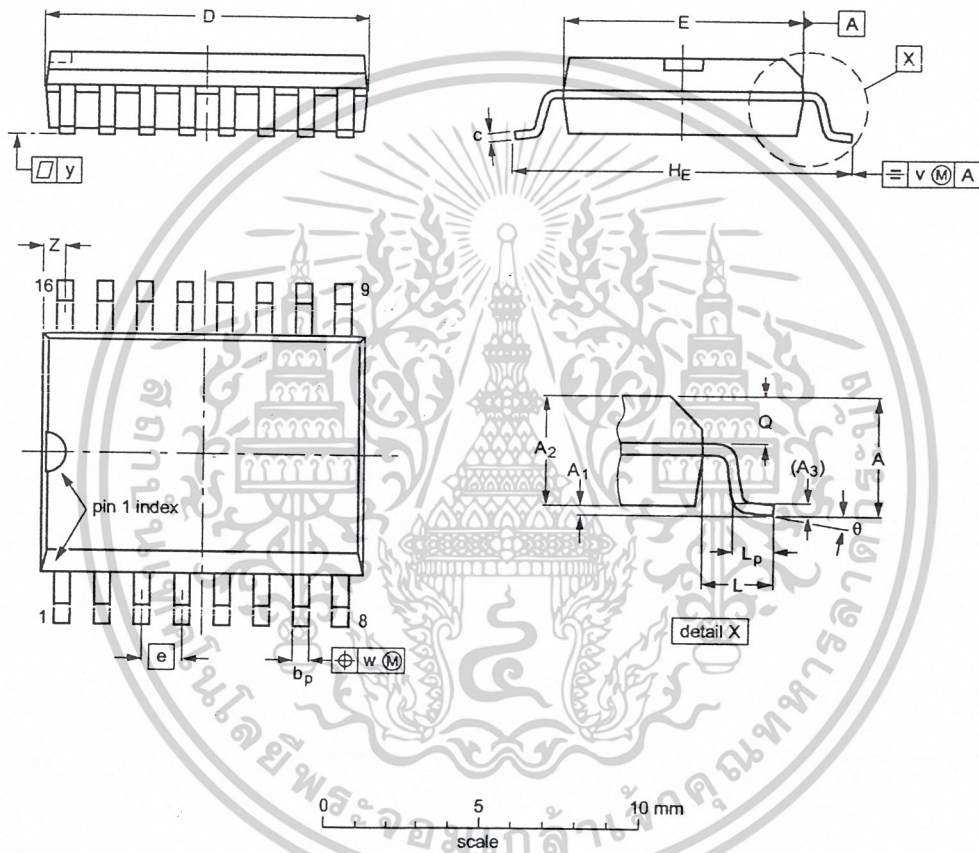
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT38-1	050G09	MO-001AE			92-10-02 95-01-19

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

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

17 SOLDERING**17.1 Introduction**

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages" (order code 9398 652 90011).

17.2 DIP**17.2.1 SOLDERING BY DIPPING OR BY WAVE**

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{stg\ max}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

17.2.2 REPAIRING SOLDERED JOINTS

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

17.3 SO**17.3.1 REFLOW SOLDERING**

Reflow soldering techniques are suitable for all SO packages.

Reflow soldering requires solder paste (a suspension of fine solder particles, flux and binding agent) to be applied to the printed-circuit board by screen printing, stencilling or pressure-syringe dispensing before package placement.

Several techniques exist for reflowing; for example, thermal conduction by heated belt. Dwell times vary between 50 and 300 seconds depending on heating method. Typical reflow temperatures range from 215 to 250 °C.

Preheating is necessary to dry the paste and evaporate the binding agent. Preheating duration: 45 minutes at 45 °C.

17.3.2 WAVE SOLDERING

Wave soldering techniques can be used for all SO packages if the following conditions are observed:

- A double-wave (a turbulent wave with high upward pressure followed by a smooth laminar wave) soldering technique should be used.
- The longitudinal axis of the package footprint must be parallel to the solder flow.
- The package footprint must incorporate solder thieves at the downstream end.

During placement and before soldering, the package must be fixed with a droplet of adhesive. The adhesive can be applied by screen printing, pin transfer or syringe dispensing. The package can be soldered after the adhesive is cured.

Maximum permissible solder temperature is 260 °C, and maximum duration of package immersion in solder is 10 seconds, if cooled to less than 150 °C within 6 seconds. Typical dwell time is 4 seconds at 250 °C.

A mildly-activated flux will eliminate the need for removal of corrosive residues in most applications.

17.3.3 REPAIRING SOLDERED JOINTS

Fix the component by first soldering two diagonally-opposite end leads. Use only a low voltage soldering iron (less than 24 V) applied to the flat part of the lead. Contact time must be limited to 10 seconds at up to 300 °C. When using a dedicated tool, all other leads can be soldered in one operation within 2 to 5 seconds between 270 and 320 °C.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

18 DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

Purchase of Philips I²C components conveys a license under the Philips' I²C patent to use the components in the I²C system provided the system conforms to the I²C specification defined by Philips. This specification can be ordered using the code 9398 393 40011.