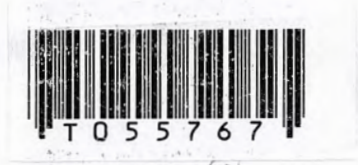


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบันทึกและแสดงผลระดับสัญญาณ

MULTI CHANNELS DATA STORE AND RETRIEVAL SYSTEM



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55767

วัน,เดือน,ปี 25 พ.ค. 2548

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

MULTI CHANNELS DATA STORE AND RETRIEVAL SYSTEM



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

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องบันทึกระดับสัญญาและแสดงผล

ชื่อนักศึกษา นายกัมพล ปัญจนวพร รหัสประจำตัว 43010021

นายคณ จรรย์เรืองธีรกุล รหัสประจำตัว 43010140

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรลภ แสงอรุณ

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2546

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(รศ.อรลภ แสงอรุณ)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้านการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องบันทึกระดับสัญญาณและแสดงผล	
ชื่อนักศึกษา	นายกัมพล ปัญจนวพร	รหัสประจำตัว 43010021
	นายคด จรรย์เรืองธีรกุล	รหัสประจำตัว 43010140
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อรลภก แสงอรุณ	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2546	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอการพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกระดับสัญญาณแบบดิจิทัล โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วย ส่วนรับสัญญาณ ส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อเก็บบันทึก และส่วนแสดงผลสัญญาณ โดยส่วนรับสัญญาณสามารถรับสัญญาณและเก็บบันทึกในเวลาเดียวกันได้ 4 ช่องสัญญาณ ส่วนประมวลผลสามารถเลือกเก็บบันทึกเฉพาะระดับความแรงของสัญญาณที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยจะเก็บในระบบฐานข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลทางสถิติ ที่สามารถนำออกมาตรวจสอบ และวิเคราะห์ได้ตลอดเวลา ตัวอย่างสัญญาณที่ทำการวัด คือ สัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C - Band และ KU - Band ระดับอุณหภูมิ และความแรงของแสงอาทิตย์ โดยวัดและบันทึกพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Multi Channels Data Store and Retrieval System
Student Mr. Kampon Panchanawaporn ID. 43010021
Mr. Dol Charanruangtheerakul ID. 43010140
Advisor
Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering
Department Information Engineering
Academic Year 2000

ABSTRACT

This project described the development of instrument devices to detect level of signal and recorder by digital store in the form of database and display. It has four channels for received signal from sensors which will detect the level of signal that has to be stored such as level of signal satellite in C - Band and KU - Band, intensity of light and temperature. Form that it can be select the strength of signal in the period of time and send these signals to the computer that will have software for store data signals and software for display in graphic or digital values. The data is in database can be use for analysis and verify the statistic of signal all the period of time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากการสนับสนุน รศ.อรลภก แสงอรุณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยให้คำปรึกษาในเรื่องฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการทำโครงงานชิ้นนี้ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาในทุก ๆ เรื่องที่ต้องการคำปรึกษา

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา และสุดท้ายขอบคุณที่สำคัญที่สุด ที่มีส่วนในการทำโครงงานนี้คือ คุณพ่อและคุณแม่ที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์เพื่อการศึกษาและทำโครงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ระบบคุณสมบัติ	2
1.5 หลักการทำงานของระบบ	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 ขั้นตอนในการทำโครงการ	3

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเซ็นเซอร์	4
2.1.1 ความสำคัญของการวัดและการควบคุม	4
2.1.2 การแบ่งหน้าที่การทำงานของระบบการวัดค่า	5
2.1.3 นิยามอุปกรณ์รอบข้างและคุณลักษณะที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์	6
2.1.4 ตัวแปรในการปฏิบัติงานของระบบ	8
2.1.5 การเลือกเครื่องมือวัด	10
2.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	11
2.2.1 เทอร์โมคัปเปิล	11
2.2.2 เทอร์โมมิเตอร์แบบใช้ความต้านทาน	12
2.2.3 เทอร์มิสเตอร์	13
2.2.4 ไอซีเซ็นเซอร์อุณหภูมิ	14
2.3 การคำนวณเชิงเส้น	14
2.4 เซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสงแอลดีอา	15
2.5 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์	15
2.5.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	17
2.5.2 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.3	ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	19
2.6	การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับกับระบบบัส I ² C	20
2.6.1	คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I ² C	20
2.6.2	หลักการของบัส I ² C	22
2.6.3	สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I ² C	23
2.6.4	การทำงานบนบัส I ² C	24
2.6.5	วงจรแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับบัส I ² C	26
2.7	การเชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อกกับพอร์ตอนุกรมผ่านระบบบัส I ² C	27
2.7.1	การแปลงสัญญาณแอนะล็อกดิจิทัลแบบซิกเซสซีฟแอมป์ พรีอักษิเมชัน	27
2.8	ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591	30
2.8.1	รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591	31
2.9	ภาษาที่เลือกใช้ในการเขียนซอฟต์แวร์	34
2.10	ฐานข้อมูลที่เลือกใช้	34
บทที่ 3	การออกแบบ	
3.1	การออกแบบและการทำงานของระบบ	35
3.2	วงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	35
3.3	วงจรอินเตอร์เฟส	35
3.4	วงจรขยายระดับสัญญาณ	36
3.5	วงจรเซ็นเซอร์วัดระดับอุณหภูมิ	37
3.6	วงจรเซ็นเซอร์วัดระดับความเข้มแสง	38
3.7	การออกแบบลายปริ้นวงจรรวม	40
3.8	ส่วนของโปรแกรมที่ติดต่อกับ วงจรภายนอก	40
3.9	ส่วนของฐานข้อมูล	42
3.10	การออกแบบคุณสมบัติของเขตข้อมูลใน Microsoft Access	43
3.11	ส่วนของโปรแกรมสร้างกราฟที่ทำการติดต่อกับฐานข้อมูล	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดลอง	46
4.2 ผลการทดลอง	48
4.2.1 ผลทดลองเมื่อวันที่ 21/3/2547	48
4.2.2 ผลการทดลองเมื่อวันที่ 22/3/2547	50
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	52
บรรณานุกรม	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 - 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ	2
รูปที่ 2 - 1 แสดงการต่อวงจรเพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบบริดจ์	12
รูปที่ 2 - 2 แสดงการต่อวงจรของเทอร์มิสเตอร์และค่าแรงดันอ้างอิงเอาต์พุต	13
รูปที่ 2 - 3 แสดงการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์	16
รูปที่ 2 - 4 แสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม	18
รูปที่ 2 - 5 โครงสร้างวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อบนระบบบัส I ² C	21
รูปที่ 2 - 6 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนระบบบัส I ² C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน	21
รูปที่ 2 - 7 การต่อตัวต้านทานเพื่อป้องกันแรงดันกระชากที่อาจปะปนเข้ามาในไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ในระบบบัส I ² C	22
รูปที่ 2 - 8 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนระบบบัส I ² C	24
รูปที่ 2 - 9 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์บนระบบบัส I ² C	25
รูปที่ 2 - 10 รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I ² C แบบ 10 บิต	26
รูปที่ 2 - 11 วงจรสร้างสายสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I ² C ของพอร์ตอนุกรม	26
รูปที่ 2 - 12 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซิกซ์ฟแอปพริอ็อกซิเมชัน	27
รูปที่ 2 - 13 ไดอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของ ADC แบบซิกซ์ฟแอปพริอ็อกซิเมชัน	29
รูปที่ 2 - 14 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591	31
รูปที่ 2 - 15 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591	33
รูปที่ 3 - 1 แสดงการต่อวงจรไฟเลี้ยงและขาแอดเดรสของไอซี PCF8591	35
รูปที่ 3 - 2 แสดงการต่อวงจรส่วนอินเตอร์เฟส	36
รูปที่ 3 - 3 แสดงการต่อวงจรขยายระดับสัญญาณด้วยไอซีเบอร์ 741	36
รูปที่ 3 - 4 แสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิโดยใช้ไอซีเบอร์ LM335	37
รูปที่ 3 - 5 แสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์วัดระดับสัญญาณแสงโดยใช้ LDR	38
รูปที่ 3 - 6 แสดงการนำวงจรทุกส่วนมาต่อเข้ารวมกัน	39
รูปที่ 3 - 7 ลายปริ้นของวงจรรวม	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3 - 8 แสดงโฟลว์ชาร์ท (Flow Chart) ของการเก็บข้อมูล	41
รูปที่ 3 - 9 แสดง user - interface ของโปรแกรมที่รับค่าสัญญาณมาจากพอร์ตอนุกรม	41
รูปที่ 3 - 10 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล	42
รูปที่ 3 - 11 การออกแบบคุณสมบัติของฐานข้อมูลใน Microsoft Access	43
รูปที่ 3 - 12 แสดงโฟลว์ชาร์ทของการสร้างกราฟ	44
รูปที่ 3 - 13 แสดง user - interface ของโปรแกรมที่ทำการสร้างกราฟ	45
รูปที่ 4 - 1 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	46
รูปที่ 4 - 2 แสดง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	47
รูปที่ 4 - 3 แสดงเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสง	47
รูปที่ 4 - 4 แสดงข้อมูลที่ทำกรเก็บเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย	48
รูปที่ 4 - 5 แสดงกราฟอุณหภูมิเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย	49
รูปที่ 4 - 6 แสดงกราฟความเข้มของแสงเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย	49
รูปที่ 4 - 7 แสดงกราฟสัญญาณดาวเทียมเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย	49
รูปที่ 4 - 8 แสดงข้อมูลที่ทำกรเก็บเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามืด	50
รูปที่ 4 - 9 แสดงกราฟอุณหภูมิเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามืด	51
รูปที่ 4 - 10 แสดงกราฟความเข้มของแสงเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามืด	51
รูปที่ 4 - 11 แสดงกราฟสัญญาณดาวเทียมเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามืด	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงย่านวัดอุณภูมิของ LM135/ LM235/ LM335

14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายเข้ามามีบทบาทอย่างมากไม่ว่าจะเป็นจะเป็นเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย หรือการถ่ายทอดสดผ่านดาวเทียมซึ่งในการส่งข้อมูลข่าวสารของระบบสื่อสารวิทยุเคลื่อนที่เหล่านี้จะมีการใช้คลื่นแม่เหล็กเป็นพาหะในการส่ง ซึ่งในการส่งข้อมูลข่าวสารก็อาจจะได้รับผลกระทบที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ ความล่าช้าของข้อมูลข่าวสาร หรืออาจจะทำให้ไม่สามารถรับส่งข่าวสารข้อมูลเลยก็ได้ ตัวแปรที่ทำให้เกิดปัญหาเหล่านี้เกิดจากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ ความชื้น หรือความเข้มของแสงเหล่านี้เป็นต้น ซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้ แต่ถ้าเราสามารถเก็บข้อมูลของตัวแปรเหล่านี้ว่ามีผลต่อระดับสัญญาณอย่างไรเราก็จะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์เพื่อช่วยในการพัฒนาระบบการส่งของสัญญาณให้ดียิ่งขึ้นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สามารถทำการเก็บข้อมูลของ อุณหภูมิ ความเข้มของแสง และระดับของสัญญาณลง ฐานข้อมูลของคอมพิวเตอร์ได้
2. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจการทำงานของเซ็นเซอร์
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมในการสร้าง กราฟและความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จาก อุณหภูมิ ความเข้มของแสง และระดับของสัญญาณ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ระบบที่สร้างขึ้นจะมีการนำ เซ็นเซอร์ 3 ตัวมาทำการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม ของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยจะประกอบไปด้วย

1. ทำการสร้างเซ็นเซอร์ 3 ตัวซึ่งประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ เซ็นเซอร์ตรวจจับความเข้มของแสง และเซ็นเซอร์ตรวจจับระดับของสัญญาณ
2. สร้างโปรแกรมที่ทำการควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวที่ติดต่อกับ พอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์
3. สร้างโปรแกรมที่จะนำค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์มาทำการเก็บในฐานข้อมูล
4. สร้างฐานข้อมูล
5. สร้างโปรแกรมที่จะนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลในรูปของกราฟ

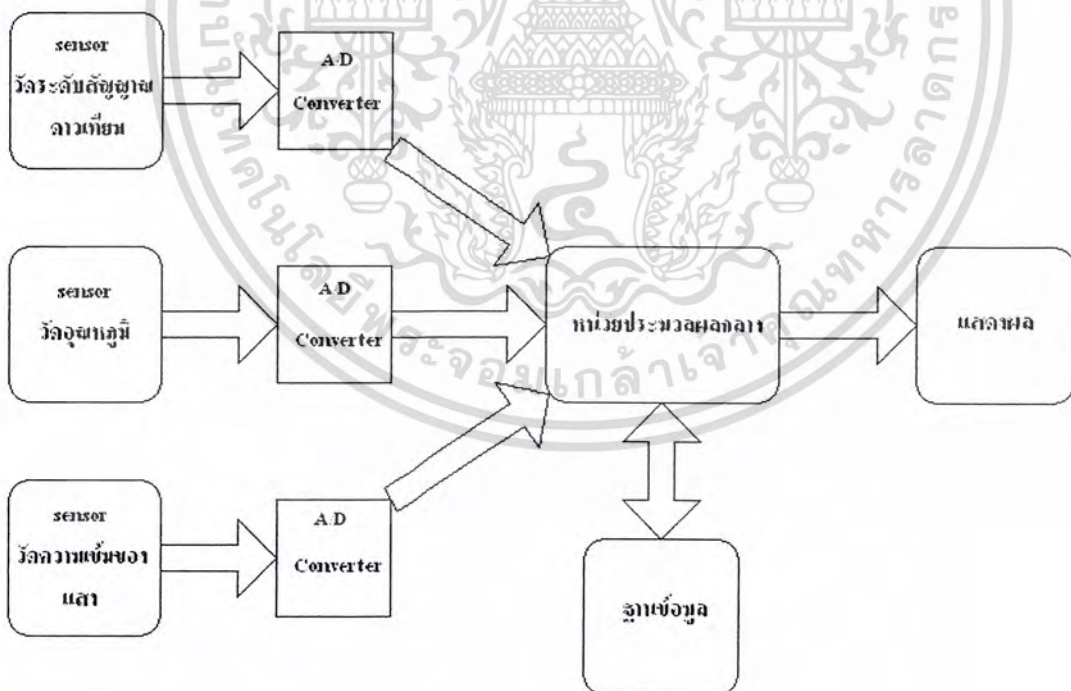
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระบบมีคุณสมบัติมีดังนี้

1. สามารถทำการเก็บค่าที่วัดได้จาก เซ็นเซอร์ลงในฐานข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
2. สามารถแสดงผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของเซ็นเซอร์ในรูปแบบของกราฟได้

1.5 หลักการทำงานของระบบ

เมื่อเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวทำการตรวจจับสัญญาณซึ่งประกอบไปด้วย ความแรงของระดับสัญญาณ ความถี่ และ ความความเข้มของแสงแล้วก็จะมีการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกให้กลายเป็น ดิจิตอล ส่งไปที่ พอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยจะมีโปรแกรมที่ทำการควบคุมการเชื่อมต่อและจะทำการนำข้อมูลที่ได้นำไปทำการจัดเก็บลงในฐานข้อมูลที่ได้ทำการสร้างไว้ โดยจะจัดเก็บลงฐานข้อมูลเฉพาะสัญญาณที่มีความแรงเกินกว่าค่าระดับของ สัญญาณที่เรากำหนดไว้เท่านั้น ในส่วนของการสร้างกราฟนั้นก็จะมีการ ที่จะทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลโดยนำข้อมูลในฐานข้อมูลมาทำการสร้างกราฟโดยผู้ใช้ สามารถทำการเลือกวัน เวลา ชนิดของข้อมูลที่จะทำการดูได้



รูปที่ 1 – 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงโดยนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาการส่งสัญญาณให้ดียิ่งขึ้น
2. ข้อมูลที่ทำการเก็บลงในฐานข้อมูลสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์อากาศได้
3. เรียนรู้เทคโนโลยีต่างๆ ที่นำมาพัฒนาระบบและสามารถนำมาใช้กับงานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
4. เข้าใจขั้นตอนของการพัฒนาระบบตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการ ออกแบบ และแก้ไข ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น

1.7 ขั้นตอนในการทำโครงการ

1. ศึกษาระบบการทำงานของเซ็นเซอร์การเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก และการเขียนโปรแกรมต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับโครงการ
2. ศึกษาวงจรภายในของ เซ็นเซอร์
3. ศึกษาความต้องการของระบบและกำหนดขอบเขตของโครงการ
4. ออกแบบระบบ และสร้างวงจร
5. ออกแบบฐานข้อมูล
6. เขียนโปรแกรมเชื่อมต่อในส่วนต่างๆ
7. ทดสอบและแก้ไขปรับปรุงระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีและหลักการของเซ็นเซอร์

2.1.1 ความสำคัญของการวัดและการควบคุม

วัตถุประสงค์ของการวัดและการควบคุม มีความสำคัญดังต่อไปนี้

1. การวัดเป็นการแสดงตัวแปรซึ่งเป็นรายละเอียดของระบบ หน้าที่ที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบการวัด คือ การแสดงตัวแปร (parameter) หรือรายละเอียด (information) ของระบบ อาจอยู่ในรูปของการบอกค่าที่แสดงให้เห็น เก็บค่าเอาไว้ บันทึกค่า หรือแสดงค่าแล้วส่งเป็นสัญญาณที่เหมาะสมไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการในระบบ ในความเป็นจริงค่าในสถานะของระบบพื้นฐาน (condition-base system) ของการปฏิบัติงานจะมีใช้กันอย่างกว้างขวาง

2. เพื่อควบคุมความแน่นอนในการปฏิบัติงานหรือกระบวนการ หลักการของการวัดคือเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่ต้องการจะปฏิบัติงาน เราพบว่าความแน่นอนในการวัดตัวแปรทางกายภาพใด ๆ ในกระบวนการ จะเกี่ยวข้องกับระบบของการวัดและอุปกรณ์วัดค่าโดยตรง เช่น เทอร์โมสแตตที่อยู่ในตู้เย็นจัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่เราต้องการ ความแน่นอนของอุณหภูมิที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแน่นอนของเทอร์โมสแตตที่ทำการวัด

3. การจำลองสภาพของระบบ ในบางครั้งจำเป็นต้องทำการจำลองระบบการทดลอง เนื่องจากการทดลองโดยใช้ของจริงนั้นอาจมีความยุ่งยากและสลับซับซ้อน ในการหาสภาพที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของระบบจริงภายใต้การครอบคลุมสภาพที่เกิดขึ้นจริงซึ่งโดยทั่วไปเราจะใช้โมเดลแทนสเกลของจริง

4. เพื่อควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม ทุกวันนี้การควบคุมจะมีการทดสอบผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง หลักการนี้จัดเป็นการควบคุมผลิตภัณฑ์รวม (mass product) ที่สามารถจะตรวจสอบความบกพร่องของการผลิตทั้งหมดได้ หากพบว่ามีส่วนประกอบใดที่ไม่สมบูรณ์ก็จะส่งคืนลำดับการผลิตที่ผ่านมาจากลำดับแรก ๆ การแก้ไขดังกล่าวจัดเป็นการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิต

5. เพื่อควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม ทุกวันนี้การควบคุมจะมีการทดสอบผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง หลักการนี้จัดเป็นการควบคุมผลิตภัณฑ์รวม (mass product) ที่สามารถจะตรวจสอบความบกพร่องของการผลิตทั้งหมดได้ หากพบว่ามีส่วนประกอบใดที่ไม่สมบูรณ์ก็จะส่งคืนลำดับการผลิตที่ผ่านมาจากลำดับแรก ๆ การแก้ไขดังกล่าวจัดเป็นการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิต

2.1.2 การแบ่งหน้าที่การทำงานของระบบการวัดค่า (Functional Elements of Measurement System)

โดยทั่วไประบบการวัดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่พื้นฐาน

เป็นอุปกรณ์หลัก ๆ ในระบบทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์พื้นฐานของระบบการวัดค่าทั้งหมด อันประกอบไปด้วย

1. **ทรานสดิวเซอร์** ทำหน้าที่เปลี่ยนตัวแปรอินพุตที่ต้องการให้ไปอยู่ในรูปของสัญญาณอื่นที่ใช้งานได้สะดวกกว่า เช่น เปลี่ยนจากอุณหภูมิเป็นค่าความต้านทาน จากความเป็น กรด - ด่าง ให้กลายเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เป็นต้น

2. **ตัวปรับสภาพสัญญาณ หรือ อุปกรณ์ปรับแต่งตัวกลาง** ใช้สำหรับการปรับสภาพสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ ให้ไปอยู่ในรูปของสัญญาณอื่นที่เหมาะสม อาจจะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณมาตรฐานสำหรับระบบการควบคุมอัตโนมัติ เช่น ทำให้สัญญาณใหญ่ขึ้น เล็กลง เป็นต้น

3. **อุปกรณ์แสดงข้อมูลของสัญญาณ** ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดของตัวแปรที่จะวัดค่าให้อยู่ในรูปของจำนวนที่เข้าใจ เช่น ลิตร/ นาที มิลลิแอมป์ เป็นต้น

อุปกรณ์เสริม

อยู่ร่วมกับระบบการวัดค่าที่สร้างขึ้น โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดงาน ธรรมชาติของเทคนิคในการวัด เป็นต้น โดยหลัก ๆ จะประกอบไปด้วย

1. **อุปกรณ์สอบเทียบ** เพื่อทำการสอบเทียบอุปกรณ์ให้ทำงานถูกต้องเสมอ

2. **แหล่งจ่ายกำลังงานภายนอก** เพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ เช่น จ่ายให้กับทรานสดิวเซอร์ ตัวปรับสภาพสัญญาณ อุปกรณ์ประมวลสัญญาณ หรือ อุปกรณ์ป้อนกลับ

3. **อุปกรณ์ป้อนกลับ** ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงจำนวนทางกายภาพที่วัดได้ โดยอุปกรณ์นี้อาจเป็นโพเทนชิโอมิเตอร์ที่ปรับสมดุลด้วยตัวเอง หรือวงจรวีรสโตเนบริดจ์เพื่อทำให้มันปรับสภาพตัวเองโดยอัตโนมัติ

2.1.3 นิยามอุปกรณ์รอบข้างและคุณลักษณะที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์ (Definition and Specification of Transducer)

1. เซ็นเซอร์ (Sensor)

เซ็นเซอร์คือส่วนที่รับสัญญาณจากระบบการในตอนแรก หรืออาจจะเรียกได้ว่า “ อินพุต ทรานสดิวเซอร์ ”

2. ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

ทรานสดิวเซอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ รับความรู้สึกตัวแปรทางกายภาพตัวใดตัวหนึ่งแล้ว เปลี่ยนค่าทางด้านเอาต์พุตให้เป็นตัวแปรทางกายภาพตัวอื่น

3. คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการ

หากอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับสัญญาณไม่มีคุณภาพที่ดีแล้วระบบก็จะไม่สามารถทำงานเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ออกมาดีได้ ดังนั้นจึงต้องมีขอบเขตของทรานสดิวเซอร์ที่ดีเพื่อใช้ในทางปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. มีความสามารถในการรับสัญญาณและตรวจจับพร้อมทั้งรับความรู้สึกค่าสัญญาณอินพุตที่ต้องการและต้องไม่มีความไวกับสัญญาณอื่น ๆ (ที่ไม่ต้องการ) ขณะที่ทำการวัด ตัวอย่างเช่น ทรานสดิวเซอร์ที่วัดความเร็วจะต้องรับความเร็วอย่างทันทีทันใดนั้น และต้องไม่รับเอาตัวแปร (ความรู้สึก) ของแรงเคลื่อนหรืออุณหภูมิที่อยู่บริเวณนั้น

2. ไม่ดัดแปลงหรือแก้ไขค่านัยสำคัญที่จะวัด

3. มีความสามารถต่อการดัดแปลงระบบ (amenable) นั่นคือให้ง่ายต่อการปรับปรุงระบบโดยใช้ อุปกรณ์ที่อยู่ภายในระบบเดิม ๆ ได้เช่น รูปสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ที่มักจะทำให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเพราะจะทำให้ง่ายต่อการจัดเก็บและได้เปรียบในการต่อเข้ากับอุปกรณ์คำนวณหรือ อุปกรณ์แสดงค่าสมัยใหม่ เพื่อแสดงรายละเอียดของสัญญาณดังกล่าว

4. ต้องมีความแน่นอน (accuracy)

5. ต้องมีความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility) ที่ดี (เช่น ความเที่ยงตรง)

6. ต้องมีขนาด (amplitude) ที่เป็นเชิงเส้น

7. ต้องมีผลตอบสนองต่อความถี่ที่เพียงพอ (เช่น มีผลตอบสนองทางพลวัตที่ดี)

8. ต้องไม่สร้างหรือกำเนิดการรบกวนเฟสต่อกัน (เช่น ไม่มี time lag ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์)

9. ต้องมีความสามารถในการต่อต้านสิ่งรบกวนจากสิ่งแวดล้อม โดยไม่ทำลายความถูกต้องของระบบ และรักษาความแน่นอนภายในขีดที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ต้องมีผลตอบสนองและความน่าเชื่อถือที่ดี

4. อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ

โดยปรกติ สัญญาณของทรานสดิวเซอร์จะมีขนาดเล็กเกินไปที่บอกบันทึกหรือนำไปใช้งาน ได้จริง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสัญญาณให้มีค่าเหมาะสมตามอุปกรณ์ที่จะมาต่อร่วม

5. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณ หมายถึงอุปกรณ์ที่เพิ่มขนาดสัญญาณ แต่ในลักษณะที่กลับกันจะเรียกว่า “ การลดทอนสัญญาณ ” (attenuation) ปกติอุปกรณ์ขยายสัญญาณดังกล่าวนี้จะอยู่ร่วมกับอุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ โดยอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะเปลี่ยนตามชนิดของสัญญาณที่ทรานสดิวเซอร์ใช้ เช่น อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางไฟฟ้า ไขว้จทรานซิสเตอร์ ไอซี เป็นต้น

การขยายแรงเคลื่อน = แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต/แรงเคลื่อนทางด้านอินพุต

การขยายกระแส = กระแสทางด้านเอาต์พุต/กระแสทางด้านอินพุต

อัตราขยาย = กำลังทางด้านเอาต์พุต/กำลังทางด้านอินพุต

V_o/V_i
 I_o/I_i
 V_oI_o/V_iI_i

6. อุปกรณ์การกรองสัญญาณ

อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่นำสัญญาณที่ไม่ต้องการออก การกรองสัญญาณจะแปรไปตามความเหมาะสมของชนิดสัญญาณ ธรรมชาติของสัญญาณ เป็นต้น

อุปกรณ์กรองทางไฟฟ้า เพื่อกำจัดการค้างของสัญญาณ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น วงจร R - C อย่างง่าย หรือวงจรกรองไฟฟ้าใด ๆ ที่มีความเหมาะสม

7. อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณทางไฟฟ้า

1. อุปกรณ์ชดเชยทางเวลา หรือ อุปกรณ์ให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น
2. อุปกรณ์คิฟเฟอเรนเชียล หรือ อินทิเกรชัน
3. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ จากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
4. อุปกรณ์สี่สัญญาณ หรืออุปกรณ์สุ่มสัญญาณ เป็นต้น

8. อุปกรณ์แสดงผล

เป็นอุปกรณ์รักษาค่าทางเอาต์พุต และทำหน้าที่แสดงค่าที่มีขนาดเดียวกันนี้ให้สามารถเห็นได้อย่างแน่นอน ชัดเจน ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มีผลตอบสนองเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
2. หากว่าเป็นไปได้ต้องให้ความผิดพลาดของระบบน้อยที่สุด
3. มีค่าความเฉื่อย ความฝืด ความตึง หรือค่าอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกันนี้น้อย ๆ

2.1.4 ตัวแปรในการปฏิบัติงานของระบบ (Static Performance Parameters)

เราสามารถแยกตัวแปรสถิติออกได้ดังต่อไปนี้

1. ความแน่นอน (Accuracy)

ความแน่นอนกำหนดเป็นการที่เครื่องมือวัดแสดงค่าเข้าใกล้ค่าทางด้านเอาต์พุต ซึ่งเป็นค่าจริงของจำนวนที่วัดมากที่สุด หรือเป็นค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ได้จากอุปกรณ์นั่นเอง และโดยความเป็นจริงความแน่นอนที่บอกจากเครื่องมือวัดจะเป็นตัวแสดงความไม่แน่นอน (inaccuracy) ของเครื่องมือวัดนั่นเอง ตัวอย่างเช่น เครื่องมือวัดตัวหนึ่งบอกความแน่นอนเท่ากับ 0.1 อีกตัวบอกค่าความแน่นอนเป็น 0.05 นั้นยอมแสดงว่าเครื่องมือวัดที่บอกตัวเลขความแน่นอน 0.05 ย่อมวัดได้ใกล้เคียงกับค่าแท้จริงที่สุด[หรือค่า error น้อยที่สุด]

ค่าความไม่แน่นอนสามารถแบ่งได้ตามลักษณะต่อไปนี้

แบ่งตามตัวแปรที่วัดได้ (Measures Variable) ความแน่นอนค่า $\pm 2^{\circ} \text{C}$ ซึ่งปรากฏในการวัดอุณหภูมิบางตัว นั้นหมายความว่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) เป็น $\pm 2^{\circ} \text{C}$ ในการวัดค่าอุณหภูมิจริงใด ๆ

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เต็มสเกลต่อการอ่านค่าของเครื่องมือวัด (Percentage of the Instrument Full-scale Reading) ดังนั้น ความแน่นอนของ $\pm 5\% \text{ FS}$ ของย่านมิเตอร์ที่เป็น 5 โวลต์เต็มสเกล จะหมายถึงความไม่แน่นอน (inaccuracy หรือ uncertainty) ในการวัดค่าใด ๆ เป็น ± 0.25 โวลต์

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด (Span) ของเครื่องมือวัด (Percentage of instrument span) เป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้ของย่านในการอ่านค่าจากการวัดที่สามารถวัดได้ ดังนั้นอุปกรณ์ที่วัดค่าได้ $\pm 3\%$ ของ span สำหรับแรงเคลื่อนที่อยู่ในย่าน 20 – 50 psi จะมีความแน่นอนเป็น $(\pm 0.3) (50-20) = + 0.9 \text{ psi}$

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าที่อ่านได้จริง (Percentage of the Actual Reading) ดังนั้นสำหรับค่า $\pm 0.2\%$ ของการอ่านค่าจริงจากโวลต์มิเตอร์ จะมีความไม่แน่นอนในการอ่านเป็น 2 โวลต์

2. ความเที่ยงตรง (Precision)

ความเที่ยงตรงกำหนดเป็นความสามารถของเครื่องมือวัดที่จะผลิตสร้างชุดในการอ่านค่าที่จะผลิตหรือสร้างชุดในการอ่านค่าที่แน่นอนภายใต้ความแน่นอน (accuracy) ที่กำหนดให้ ตัวอย่างเช่น ถ้าทรานสดิวเซอร์ตัวหนึ่งกำหนดค่าความแน่นอนทางด้านอินพุตที่ทราบค่ามาแล้วนำการอ่านค่าเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวที่อยู่ภายในค่า $\pm 1\%$ ซ้ำเราก็จะได้ค่าความเที่ยงตรงหรือกล่าวได้อีกว่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดดังกล่าวมีค่าเป็น $\pm 1\%$ ดังนั้น เครื่องมือวัดที่มีค่าความเที่ยงตรงสูง จะต้องมียละเอียดของค่าทางด้านเอาต์พุตที่เหมือนกันทุกครั้ง เมื่อป้อนอินพุตค่าเดียวกัน ในความเป็นจริงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำซ้ำ (repeatability) ซึ่งกำหนดความสามารถของเครื่องมือวัดจะสร้างกลุ่มการวัดที่มีค่าเหมือน ๆ กัน โดยใช้เครื่องมือวัดตัวเดียวกัน ภายใต้สภาวะเดียวกัน ค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดสามารถหาได้จากกราฟวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3. ความละเอียด (Resolution หรือ Discrimination)

ความละเอียดกำหนดเป็นการเพิ่มค่าเล็กน้อยที่สุดในการวัดตัวแปรใด ๆ ซึ่งสามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอนโดยเครื่องมือวัด ค่าการนับหรือการวัดซึ่งได้น้อยที่สุดของเครื่องมือวัดใด ๆ เป็นความละเอียดของเครื่องมือวัดนั้น

4. เธรสโฮลด์ (Threshold)

เธรสโฮลด์เป็นกรณีหนึ่งที่บ่งชี้ความละเอียด กำหนดให้เป็นค่าที่น้อยที่สุดทางด้านอินพุตซึ่งไม่สามารถตรวจจับค่าทางด้านเอาต์พุตได้ ค่าดังกล่าวนี้เป็นส่วนที่นำเข้าสู่ค่าความละเอียด (resolution) ทั้งค่าเธรสโฮลด์และค่าความละเอียด กำหนดให้เป็นจำนวนสัมบูรณ์ในเทอมของหน่วยทางด้านอินพุต หรือเป็นเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนเต็มสเกลก็ได้ เราจะพบว่าทั้งค่าเธรสโฮลด์และความละเอียดจะไม่มีโอกาสเป็นศูนย์ เหตุผลจากปัจจัยหลาย ๆ อย่าง

5. ความไวเชิงสถิติ (Static Sensitivity)

ความไวเชิงสถิติ (บางครั้งเรียกว่าสเกลแฟกเตอร์ หรืออัตราขยาย) ของเครื่องมือวัด กำหนดได้จากผลของการสอบเทียบในเชิงสถิติ คุณสมบัติเชิงสถิตินั้นจะเป็นสัดส่วนกับขนาดของผลตอบสนอง (ของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต) กับขนาดของจำนวนที่จะวัด (สัญญาณทางด้านอินพุต) กำหนดได้จาก

$$\text{static sensitivity} = \frac{\text{change of output signal}}{\text{change in input signal}}$$

6. ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

ความเป็นเชิงเส้น เป็นตัวบอกลักษณะสเกลเครื่องมือวัดมีค่า ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องมือวัด จึงต้องผลิตเครื่องมือวัดที่ค่าทางดาร์เอาต์พุตเป็นค่าเชิงเส้นกับค่าทางด้านอินพุต ในความเป็นจริงเราไม่สามารถทำให้เป็นเชิงเส้นได้อย่างสมบูรณ์นั่นคือจะบ่ยเบียง (ผิดพลาด) ไปจากค่าในทางอุดมคติ ในอุปกรณ์สำหรับ

งานเครื่องมือวัดทางด้านอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักจะมีค่าความเป็นเชิงเส้น (linearity) กำกับไว้โดยที่ค่านี้จะเป็นตัวบอกความไม่แน่นอนสมมูลของเครื่องมือวัดนั่นเอง

7. เดดแบนด์ (Dead Band)

เดดแบนด์กำหนดได้จากการเปลี่ยนแปลงค่ามากที่สุดในการวัดที่ซึ่งเครื่องมือวัดไม่สามารถตอบสนองได้

8. ดริฟต์ (Drift)

ดริฟต์ เป็นการกำหนด การเปลี่ยนแปลงค่าทางด้านเอาต์พุตสำหรับอินพุตที่ป้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความไวของเครื่องมือวัด ที่เข้ามามีผลจากค่าด้านอินพุตที่แน่นอน เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความไม่มีเสถียรภาพของส่วนประกอบ เป็นต้น

2.1.5 การเลือกเครื่องมือวัด (Selection of the Instrument)

การเลือกเครื่องมือวัดใด ๆ ที่ให้เป็นไปตามความต้องการหรือตอบสนองได้เต็มที่ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการปฏิบัติงานของเครื่องมือวัดแต่ละชนิดรวมไปถึงราคา แต่โดยทั่วไปการเลือกอุปกรณ์นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของ “ อัตราส่วนของการใช้จ่าย ” ราคาช่วงวัดที่ใช้สอย/ ราคาช่วงวัดที่จำเป็น

คุณภาพของเครื่องมือวัด เกณฑ์ของราคา

1. คุณสมบัติของความแน่นอน ความเที่ยงตรง และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ความไว ความเป็นเชิงเส้น เป็นต้น
2. ธรรมชาติและชนิดของความสามารถทางด้านข้อมูล เช่น แบบแอนะล็อก แบบดิจิทัล แบบต่อเนื่อง หรือแบบสุ่ม
3. ธรรมชาติและชนิดของการอ่านค่าออก เช่น ตัวบันทึกค่า หรือตัวบอกค่า เป็นต้น
4. คุณสมบัติการรบกวนสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ และความมั่นคงของระบบ เมื่อมีการขยายสัญญาณแล้วส่ง ออกไป หรือการเปลี่ยนข้อมูลไปอยู่ในรูปอื่น
5. คุณสมบัติของผลการตอบสนองทางพลวัต ถ้าสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
6. ความรู้สึกไวต่อการรบกวนของสิ่งแวดล้อมที่รบกวน

การพิจารณาในแง่ความสะดวก เกณฑ์ความเหมาะสม

1. มีความเหมาะสม สำหรับงานที่จะใช้งาน
2. ความสามารถในการดัดแปลง เมื่อใช้กับค่าทางอินพุตหลาย ๆ ค่าที่แตกต่างกัน เช่น การขยายสเกล การเปลี่ยนย่าน เป็นต้น
3. ง่ายต่อการปรับแต่ง เมื่อจำเป็น
4. ง่ายและสะดวกต่อการวิเคราะห์ของเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต้องมีความทนทานของวัสดุที่ประกอบ และการออกแบบถูกหลักเกณฑ์ ไม่ยุ่งยากต่อการใช้งาน

6. มีส่วนประกอบที่ป้องกันการใช้งานของผู้ไม่เกี่ยวข้อง (fool-proof)

7. พิจารณา การบำรุงรักษา การซ่อม ความเหมาะสมในการติดตั้ง และการบริการที่มั่นคง

8. มีความปลอดภัยในการใช้งาน

9. มีรูปร่างที่เหมาะสม สวยงาม และต้องมีตัวห่อหุ้มหรือปกปิด ต่อสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน

ราคาในสถานะแรกและงบที่อาจจะบานปลาย

1. ราคาเบื้องต้นของเครื่องมือวัด ราคาในการติดตั้ง และราคาค่างวดอื่น ๆ

2. ราคาในการปรับแต่ง การซ่อม การบำรุงรักษา เป็นต้น

3. ราคาในการปฏิบัติงาน

4. การพิจารณาอายุการใช้งาน หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่สามารถจะทดแทนเข้ากันได้ กับ

เครื่องมือแบบเดียวกัน

จากหัวข้อด้านบนพบว่าเราจะต้องพิจารณาในหลายๆ ด้าน ซึ่งจะต้องทำการศึกษาทั้งด้านบวกและลบ และพบว่าการศึกษาเรื่องคุณภาพหรือแง่ของเกณฑ์ราคา เป็นแง่ที่พิจารณากันมากที่สุดสำหรับการใช้งาน

2.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

อุณหภูมิเป็นตัวแปรทางด้านกายภาพ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลง โดยเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตลอดเวลา ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ ที่เราสนใจ ไม่ว่าจะเป็นการทดลอง หรือในระบบอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องควบคุม และสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเหล่านี้ เช่น เซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ซึ่งสามารถใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย ซึ่งผลที่ได้จากเซนเซอร์ สามารถนำมาควบคุมการทำงานของระบบได้

การตรวจวัดอุณหภูมิใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณแอนะล็อกไปสู่สัญญาณดิจิทัลโดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยมีรูปแบบใหญ่ ๆ ของ เซนเซอร์ อยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบ คือ

2.2.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples) เป็นอุปกรณ์เบื้องต้นในการวัดอุณหภูมิซึ่งสามารถเก็บอุณหภูมิได้ 273 องศาเซลวิน วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิล เป็นวัสดุที่มีคุณภาพ ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความถูกต้องสูง อย่างไรก็ตามปัญหาของเทอร์โมคัปเปิล ที่ทำให้ยากต่อการใช้งาน มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จุดอ้างอิงเทอร์โมคัปเปิลอยู่ที่อุณหภูมิ 273 องศาเซลวิน (จุดเยือกแข็งของน้ำ) ซึ่งเป็นจุดสามสถานะยากในการปรับแต่งให้เป็นจุดอ้างอิง

2. ผลของระดับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมคัปเปิลวัดได้ จะอยู่ในหน่วยมิลลิโวลท์ (mV) แต่ถ้าจะวัดเป็นไมโครโวลต์ จะต้องใช้กระบวนการแปลงสัญญาณให้เป็นแอนะล็อกก่อนแล้วจึงแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล

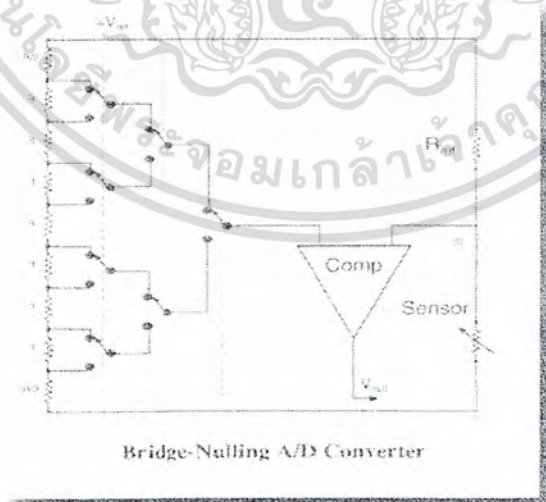
3. วัสดุในการสร้างอุปกรณ์ต้องมีคุณภาพสูง

4. ถ้าแนวโน้มของค่าที่วัดได้ไม่เป็นเส้นตรง จะใช้การประมาณค่าผลลัพธ์ซึ่งทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน

2.2.2 เทอร์โมมิเตอร์แบบใช้ความต้านทาน (Resistance thermometers) ลักษณะของ เทอร์โมคัปเปิล บางอย่างลงไป และสามารถปรับแต่งจุดอ้างอิงที่ใดก็ได้ (ไม่จำเป็นต้องไปทำที่องค์กรเหมือนเทอร์โมคัปเปิล) แต่ข้อเสียคือ จุดอ้างอิงไม่ได้มาตรฐานและมีข้อเสียอีกสองข้อ คือ

1. ต้องการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของความต้านทานค่ามาก ๆ ตรงข้ามกับเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งต้องการวัดค่าที่อยู่ในช่วงเล็ก ๆ แต่ทั้งสองแบบยังต้องอาศัยกระบวนการขยายสัญญาณ นั่นหมายถึงยังต้องการการแปลงสัญญาณทางแอนะล็อกอยู่

2. ปัญหาของวัสดุที่ใช้ เพราะว่าภายในวงจรต้องระวังค่าความต้านทานบางอย่าง

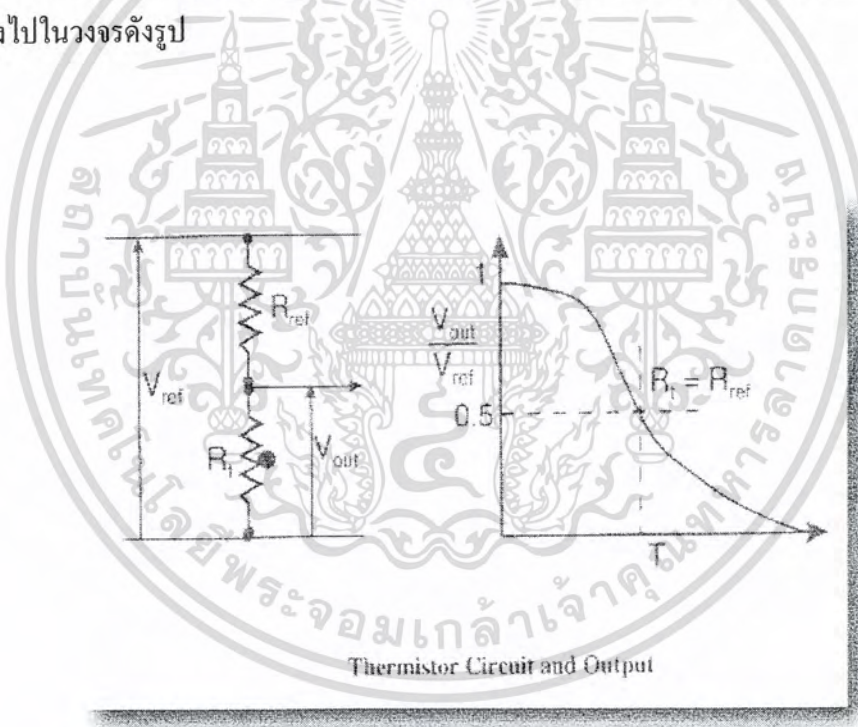


รูปที่ 2 - 1 แสดงการต่อวงจรเพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแสดงให้เห็นว่ารูปแบบพิเศษของการเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลสามารถทำงาน เหมือนกับวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์ (bridge) เพื่อใช้ในการวัดค่าความต้านทานได้โดยตรง สังเกตว่าระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงไม่จำเป็นสำหรับวงจรนี้ ในขณะที่วงจร comparator และ ladder อาจต้องใช้ระดับแรงดันทางไฟฟ้าอ้างอิงนี้ บางทีเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องวัดความต้านทานเนื่องจากสามารถตรวจับการเปลี่ยนแปลงเพียง เล็กน้อยของความต้านทานได้

2.2.3 เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ค่าความต้านทานภายในมีความไวต่อการวัดอุณหภูมิอย่างมาก ซึ่งข้อดีของเทอร์มิสเตอร์ คือ สัญญาณกว้าง ไม่ต้องการการอ้างอิง แต่ข้อเสียคือค่าที่ได้ไม่ถูกต้องหรือแน่นอน ซึ่งค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานซึ่งมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น โดยจะเพิ่มเทอร์มิสเตอร์ ลงไปในวงจรดังรูป



รูปที่ 2 - 2 แสดงการต่อวงจรของเทอร์มิสเตอร์และค่าแรงดันอ้างอิงเอาต์พุต

จากวงจรดังรูป การวัดจะได้ผลที่ดี ถ้า R_t มีค่าอยู่ในย่านใกล้เคียงกับ R_{ref} และจะค่อย ๆ แคลงสำหรับ R ที่มีค่าห่างออกไป ดังนั้นโดยปกติใน การใช้งาน จึงมักจะเซตให้วงจร มีการตอบสนองค่า ที่อยู่ในช่วงกลาง ๆ การหาค่าที่แท้จริงที่วัดได้ ซึ่งต้องแปลงมาจากปริมาณทางไฟฟ้า เป็นเรื่องที่ยุ้งยากเพราะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการวัด และเปรียบเทียบมากมาย เพื่อการหาตารางเปรียบเทียบค่า (table look-up) โดยทั่วไป เทอร์มิสเตอร์มักจะไม่ได้ถูกออกแบบมา เพื่อให้สเปคสามารถแทนกันได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นในการใช้งาน เทอร์มิสเตอร์แต่ละตัว จึงต้องทำการวัด เพื่อหาตารางเปรียบเทียบค่าตัวต่อตัว อย่างไรก็ตาม ยังมีเทอร์มิสเตอร์เฉพาะบางแบบที่ถูกออกแบบมา ให้สามารถแทนกันได้ ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นมาก

2.2.4 ไอซีเซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Integrated – Circuit Temperature Sensor) ที่ผ่านมามีเห็นได้ว่า เทอร์โมคัปเปิลมีสัญญาณทางเอาต์พุตต่ำมากและมีความเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังต้องมีการชดเชยค่าที่ถูกต้องให้ด้วย ส่วนเทอร์มิสเตอร์แบบใช้ความต้านทานให้เอาต์พุตเป็นความต้านทานแต่จะมีค่าน้อย และเทอร์มิสเตอร์ก็จะมีค่าเป็นเชิงเส้นน้อยมาก มีตัววัดอุณหภูมิอีกตัวหนึ่งที่เป็นทางเลือก ได้แก่ อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์จากสารกึ่งตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในรูปของ โมโนลิธิก ไอซี โดยมีเบอร์ต่าง ๆ ดังนี้

ไอซีตระกูล 335

อุปกรณ์	ย่านวัด(° C)	การใช้งาน
LM135	-55 ถึง +150	ทางทหาร
LM235	-40 ถึง +125	งานอุตสาหกรรม
LM335	-40 ถึง +100	เชิงธุรกิจ

ตารางที่ 2.1 แสดงย่านวัดอุณหภูมิของ LM135/ LM235/ LM335

ไอซีเบอร์ LM335 เป็นซีเนอร์ไดโอดที่ไวต่ออุณหภูมิ เมื่อเราจ่ายแรงเคลื่อน ไบอัสกลับให้อยู่ในย่านเบรกดาวน์ จะทำให้มีความต้านทานทางเอาต์พุตเป็น $10 \text{ mV} / ^\circ \text{K}$

2.3 การคำนวณเชิงเส้นตรง

เซ็นเซอร์โดยปกติมักจะมีการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่ในการใช้งานจะสะดวกกว่ามาก ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ เป็นปริมาณที่มี ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ก็จะทำให้ตัววงจรสำหรับประมวลผลมีความ สลับซับซ้อนน้อยลง มีหลายวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหานี้ ยกตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Analytic Equation ถ้าความสัมพันธ์ในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงนี้ สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ การแปลงค่าที่ได้ก็จะง่าย เช่น การหาค่าพลังงานความร้อน ขึ้นกับยกกำลังสองของความต่างศักย์ที่คัลลอมัน

2. Look-Up Table เป็นวิธีที่ดีและรวดเร็ว ถ้าระบบมีส่วนเก็บข้อมูลที่เพียงพอ มันสามารถจัดการกับข้อมูลแบบที่ไม่เป็นเส้นตรงที่ไม่สามารถหาเป็นสมการออกมาได้ด้วย แต่วิธีนี้จะยุ่งยากในการหารายการเปรียบเทียบเริ่มต้น และต้องการที่เก็บข้อมูลมากในกรณีที่ต้องการได้ผลลัพธ์ที่ละเอียดขึ้น

3. Piece-Wise Linearisation เหมาะสำหรับระบบที่ไม่เป็นเส้นตรงขนาดเล็ก โดยจะแบ่งช่วงให้เป็นช่วงเล็ก ๆ พอที่จะประมาณได้ว่า ในช่วงนั้นมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมีข้อดี คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ที่เก็บข้อมูล และเร็วกว่าวิธีทั้ง 2 วิธีข้างต้น

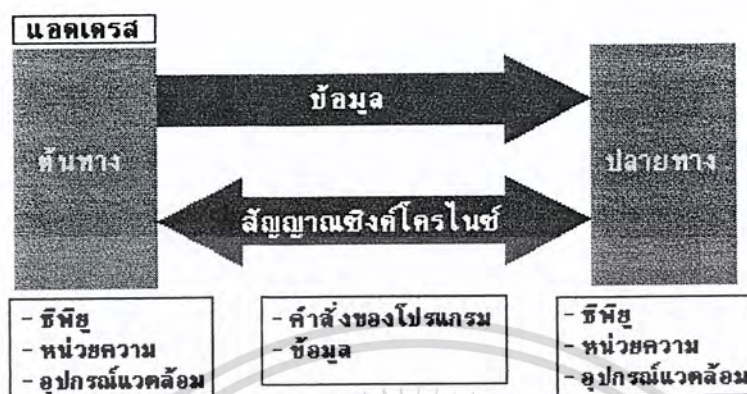
2.4 เซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสง

แสงเป็นตัวแปรทางด้านกายภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อบางระบบได้ โดยในบางอุตสาหกรรมก็ต้องมีการควบคุมตัวแปรนี้ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร

แอลดีอาร์ (LDR) เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับวัดความเข้มของแสงโดยตัวอุปกรณ์ไม่ต้องมีไฟเลี้ยง โดยเมื่อแสงมาตกกระทบจะให้กระแสไฟออกมา

2.5 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์

คือ การทำงานติดต่อกันระหว่างซีพียูกับอุปกรณ์อื่น ๆ กับการ โอนถ่ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกเหนือจากจะต้องทำงานติดต่อกับแรม รอม แล้วยังต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการส่งข้อมูลอินพุต เอาท์พุตอีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบสมบูรณ์ ในระบบต่างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะทำงานต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ ดังเช่น การส่งรับข้อมูลจากซีพียูไปยังส่วนอื่น ๆ เป็นต้น



รูปที่ 2 -3 แสดงการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์

การที่จะโอนย้ายข้อมูลทุกตัวนั้นจะต้องมีแหล่งที่ส่งข้อมูล และแหล่งที่รับข้อมูลสำหรับขบวนการเหล่านี้ จะมีส่วนที่สำคัญว่าข้อมูลนั้นเป็นแอดเดรสหรือว่าเป็นค่า จะส่งไปยังจุดไหน ตัวอย่างเช่น ส่งไปยังหน่วยความจำ หรืออุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต และจะส่งเมื่อไร การทำงานเหล่านี้โดยทั่ว ๆ ไป จะต้องมีความสนใจในการตรวจสอบอุปกรณ์ว่าพร้อมที่จะส่งหรือรับข้อมูลหรือยังก่อนเสมอ เนื่องจากจุดที่ส่งและรับข้อมูล จะต้องมีความพร้อมเพื่อที่จะให้ข้อมูลที่เรากำลังใช้งานนั้น ๆ เป็นระเบียบ ตัวอย่างเช่น ส่งข้อมูลจากซีพียูไปที่อุปกรณ์รอบข้าง เป็นต้น ซึ่งจุดรับส่งคู่หนึ่ง ๆ อาจจะเป็นระหว่างซีพียูด้วยกัน หรือ ซีพียูกับหน่วยความจำ หรือ ซีพียูกับอุปกรณ์รอบข้าง หรือ ระหว่างอุปกรณ์รอบข้างด้วยกัน หรือ ระหว่างหน่วยความจำกับอุปกรณ์รอบข้าง ก็ได้ สำหรับข้อมูลที่โอนย้ายไปมานั้นจะอยู่ในลักษณะของเลขฐานสอง ตัวอย่างเช่น 01101100₂ ซึ่งเลขแต่ละตัวจะแทนด้วย 1 bit อาจเป็น 8 bit หรือ 16 bit ก็ขึ้นอยู่กับระบบนั้น ๆ ถ้าหากเป็นการต่อจากพอร์ตซีโรไนซ์ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตอนุกรม (Serial) หรือพอร์ตขนาน (Parallel) ในสัญญาณที่ส่งมาจะมีระบบแรงดันไฟฟ้า

- Serial port(RS-232) --> ~+3 ถึง +-25 Vdc

- Parallel port(Printer port) -->~5 Vdc(TTL) ต่อ 1 bit

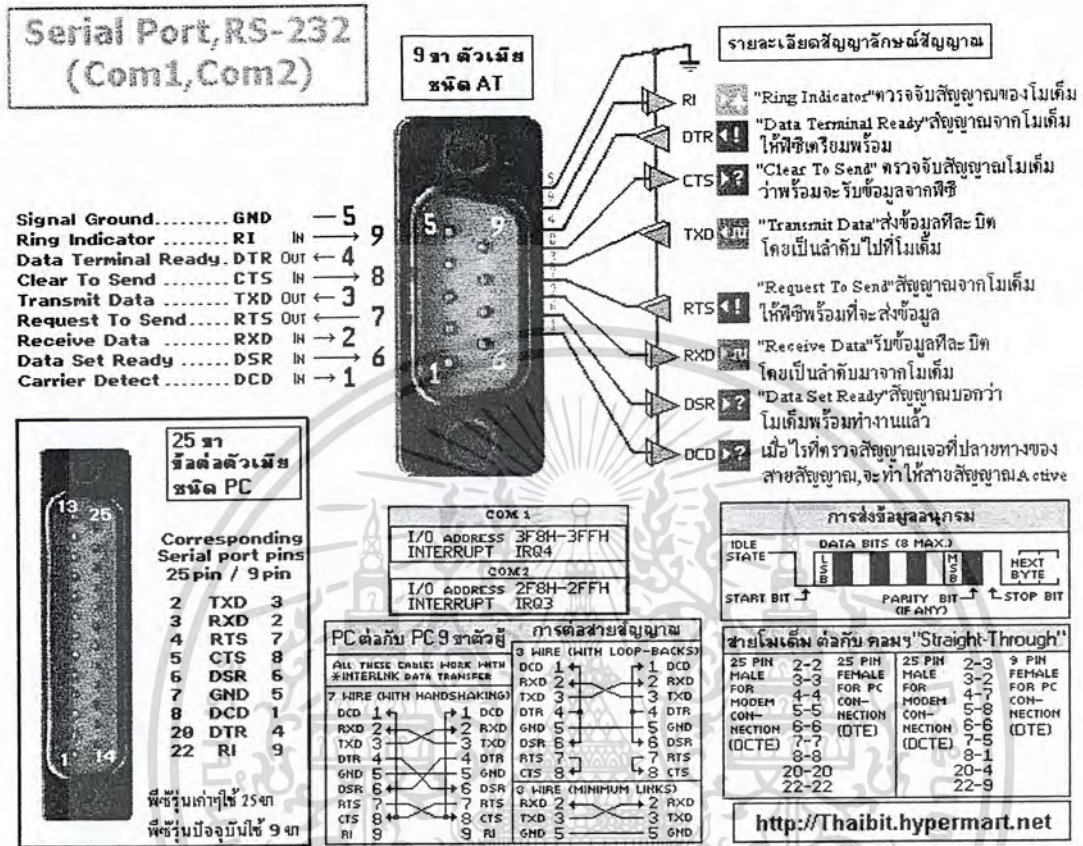
จะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ยกมาให้ดูนี้ เราสามารถที่จะควบคุมและนำมาใช้กับอุปกรณ์รอบข้างหรืออุปกรณ์ภายนอกได้ ดังจะยกตัวอย่าง เช่น พอร์ตขนาน (Printer port) ระดับ

แรงดันไฟฟ้า ~5 Vdc สามารถนำ มาใช้ในการขับรีเลย์ ทรานซิสเตอร์ หลอดไฟ ~5 Vdc หรือ LED ให้ทำงานได้ โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปควบคุมที่พอร์ตขนาน เป็นต้น

2.5.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตอนุกรมแต่ละพอร์ตจะใช้เส้นส่งสัญญาณอนุกรมแบบมาตรฐานอยู่ 3 แบบ โดยทั่วไปเราจะพบเส้นส่งสัญญาณอนุกรมแบบมาตรฐาน EIA RS - 232 มากที่สุดซึ่งเราจะเรียกว่า RS - 232 มาตรฐาน RS - 232 ได้กำหนดให้ค่าสัญญาณไฟฟ้าที่มีระดับศักดาไฟฟ้าเท่ากับ -3 หรือสูงกว่า มีค่าทางตรรกะเป็น 0 มาตรฐาน RS - 232 จะสามารถใช้ส่งข้อมูลไกลสุด 50 เมตร ด้วยอัตรา 9600 บอดแต่ถ้าเราต้องการให้ส่งข้อมูลได้ไกลกว่านี้ เราก็ต้องส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งที่ช้ากว่านี้และถ้าเราต้องการส่งข้อมูลในระยะทางที่ไกลกว่านี้ เราก็สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราที่มากกว่าอัตรา 9600 บอด มาตรฐาน EIA RS - 422 ได้กำหนดสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลในอีกรูปแบบหนึ่ง โดย RS - 422 จะใช้เส้นส่งสัญญาณแบบสัญญาณผลต่าง (differential signaling) ซึ่งจะใช้เส้นส่งสัญญาณคู่หนึ่งสำหรับส่งข้อมูล และใช้เส้นส่งสัญญาณอีกคู่หนึ่งสำหรับรับข้อมูล มาตรฐาน RS - 422 ได้กำหนดว่าถ้าความต่างศักย์ระหว่างเส้นส่งสัญญาณคู่ใด ๆ มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเส้นส่งสัญญาณคู่นั้นมีค่าทางตรรกะเป็น 1 ซึ่งหมายความว่าสาย A จะต้องมีความต่างศักย์สูงกว่าสาย B ซึ่งไม่เหมือนกับในมาตรฐาน RS - 232 ที่มีการใช้สัญญาณที่มีศักดาไฟฟ้าเป็นทั้งบวกและลบ มาตรฐาน RS - 422 ต่างจากมาตรฐาน RS - 232 ตรงที่ว่า มาตรฐาน RS - 422 จะใช้สายรับสัญญาณ 1 คู่ และสายส่งสัญญาณ 1 คู่เท่านั้น ไม่มีการระบุการใช้เส้นส่งสัญญาณควบคุมใด ๆ และไม่ได้มีการกำหนดชนิดของตัวเชื่อมต่อที่ต้องใช้วงจรผลต่าง (differential circuit) ของ RS - 422 เนื่องจากการใช้สัญญาณผลต่างจึงทำให้ RS - 422 สามารถทนต่อการรบกวนแบบโหมคร่วมและสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางไกล ดังนั้น RS - 422 จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม แต่ RS - 422 ไม่ได้ได้รับความนิยมสำหรับใช้ในการส่งข้อมูลในท้องถิ่นมากเท่ากับ RS - 232 เนื่องจากการส่งข้อมูลในท้องถิ่นนี้จะไม่มีความเสี่ยงรบกวนมากนัก และ RS - 422 ไม่มีสายส่งสัญญาณควบคุมที่ใช้ในอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 แสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

เราได้เรียนรู้มาแล้วว่าการศึกษาอิเล็กทรอนิกส์ว่าสัญญาณที่ใช้กันจริง ๆ นั้นส่วนใหญ่เป็นสัญญาณแอนะล็อกซึ่งขนาดแอมพลิจูด (กำลัง) ของสัญญาณก็คือผลต่างของระดับสัญญาณสูงสุดกับระดับอ้างอิง เราอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณแอนะล็อกนั้นมีคุณสมบัติตรงข้ามกับสัญญาณดิจิตอลที่มีสัญญาณเพียง 2 ระดับ ซึ่งก็คือระดับสูงและระดับต่ำ ทรานสดิวเซอร์ (transducer) เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่เปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ทางกายภาพเป็นระดับศักดาไฟฟ้าหรือเป็นกระแสไฟฟ้า นักวิทยาศาสตร์และนักวิศวกรจะใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดต่าง ๆ ในการที่จะเปลี่ยนค่าทางกายภาพไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อที่ว่าพวกเขาจะสามารถวัดค่าทางกายภาพนั้น ๆ ได้นอกจากมีทรานสดิวเซอร์ที่ใช้สำหรับแปลงปรากฏการณ์ทางกายภาพไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วยังมีทรานสดิวเซอร์ที่ใช้สำหรับแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ทางกายภาพอีกด้วย เช่น มอเตอร์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นการหมุนและตัวต้านทานที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นความร้อน

2.5.3 ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ประกอบด้วยตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกตัวเปรียบเทียบระดับศักดาไฟฟ้า 2 ตัว และวงจรควบคุม มีตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลอยู่ 2 ชนิดที่ใช้วงจรพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ ตัวแปลงสัญญาณที่ปรับค่าอย่างต่อเนื่อง (continuous balance A/D converter) และตัวแปลงสัญญาณที่ประมาณค่าผลสำเร็จ (Successive approximation A/D converter) ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลทั้งสองชนิดนี้จะแตกต่างกันตรงขั้นตอนที่ใช้ในการปรับค่าระดับศักดิไฟฟ้าที่วงจรสร้างขึ้นให้มีขนาดเท่ากับระดับศักดิไฟฟ้าของสัญญาณที่ไม่ทราบค่า ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ปรับค่าอย่างต่อเนื่องจะทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่า (ที่รับเข้ามา) เป็นสัญญาณดิจิตอลตลอดเวลา ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่าผลสำเร็จจะทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่า (ที่รับเข้ามา) เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยการนำค่าสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่านี้มาเปรียบเทียบกับ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกโดยขั้นตอนในการทำงานจะเป็นดังนี้

1. เริ่มแรกบิต MSB จะถูกเซตให้เป็น 1 จากนั้นถ้าตัวเปรียบเทียบแสดงว่าระดับศักดาไฟฟ้าของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกมีค่ามากกว่าสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่าก็จะทำให้บิต MSB ถูกเปลี่ยนกลับเป็น 0 แต่ถ้าตัวเปรียบเทียบแสดงว่าค่าระดับไฟฟ้าของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่าก็จะทำให้บิต MSB คงค่าเป็น 1 เหมือนเดิม
2. ต่อมาบิตที่มีนัยสำคัญรองจากบิต MSB จะถูกเซตให้เป็น 1 จากนั้นถ้าตัวเปรียบเทียบแสดงว่าระดับศักดาไฟฟ้าของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกมีค่ามากกว่าสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่าก็จะทำให้บิตที่มีนัยสำคัญรองจากบิต MSB ถูกเปลี่ยนกลับเป็น 0 แต่แต่ถ้าตัวเปรียบเทียบแสดงว่าค่าระดับไฟฟ้าของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับสัญญาณแอนะล็อกที่ไม่ทราบค่าก็จะทำให้บิตที่มีนัยสำคัญรองจากบิต MSB คงค่าเป็น 1 เหมือนเดิม กระบวนการนี้จะดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งทุกบิตได้ถูกทดสอบการถูกเซตหรือเคลียร์ค่าและกระบวนการนี้จะสิ้นสุดลงเมื่อเราทดสอบบิต LSB แล้ว

2.6 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับระบบบัส I²C

I²C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี (IC) โดยบัส I²C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อกัน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรส (Address) หรือตำแหน่งสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิก (Logic) ที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

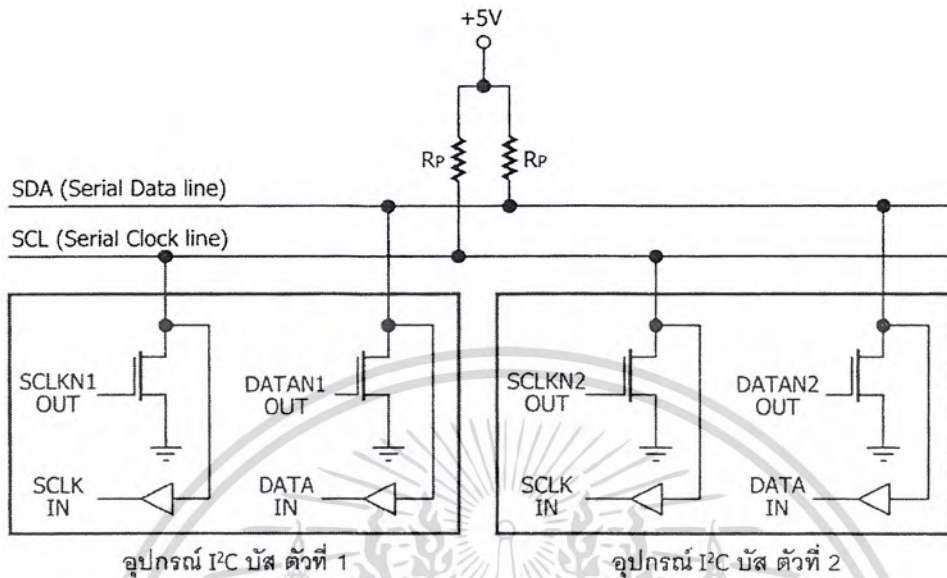
สายข้อมูลบนบัส I²C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data Line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock Line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDA และ SCL

อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อกับบัส I²C มีหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น ไอซีขยายพอร์ต (I/O Expander), ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (DAC), ไอซีรีลไทม์คล็อก (RTC), ไอซีขับ โมดูล LCD, หน่วยความจำอีพรอม และไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I²C

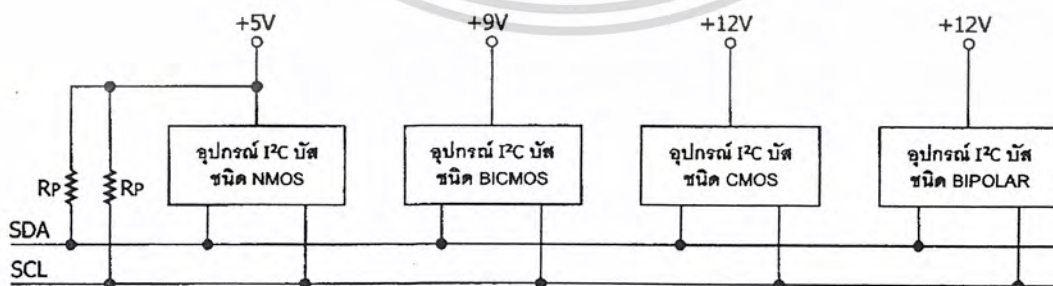
สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสองวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (open-drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open-collector) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2-5

อัตราการถ่ายเทข้อมูลบนบัส I²C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C จะต้องมีการค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C มี 2 แบบคือแบบ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (8-bit addressing)



รูปที่ 2 - 5 โครงสร้างวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อบนระบบบัส I²C

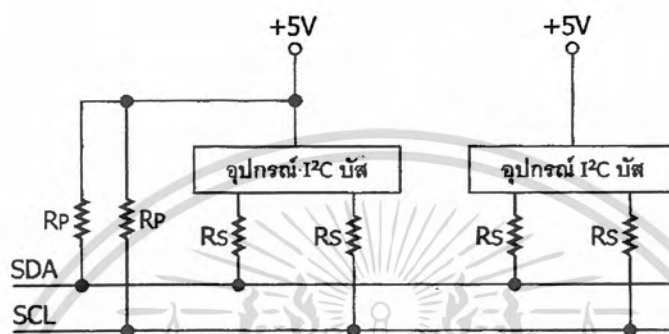
ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I²C คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอุปกรณ์บนบัส I²C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อร่วมกันบนบัส I²C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ (R_p) เข้ากับแรงดัน +5V ไปด้วยเสมอ ดังแสดงในรูป 2-6



รูปที่ 2 - 6 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนระบบบัส I²C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I²C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า R_s ก่อนต่อเข้าสู่บัส I²C ดังแสดงในรูปที่ 2 - 7



รูปที่ 2 - 7 การต่อตัวต้านทานเพื่อป้องกันแรงดันกระชากที่อาจปะปนเข้ามาในไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ในระบบบัส I²C

2.6.2 หลักการของบัส I²C

บัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โพรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดได้ติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I²C ต่อไป

อุปกรณ์ที่ เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (transmitter)

อุปกรณ์ที่ เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (receiver)

ในอุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการทำงานหรือการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่า มาสเตอร์ (master)

อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

(1) การถ่ายทอข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

(2) ในระหว่างการถ่ายทอข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

2.6.3 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C

มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

(1) บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

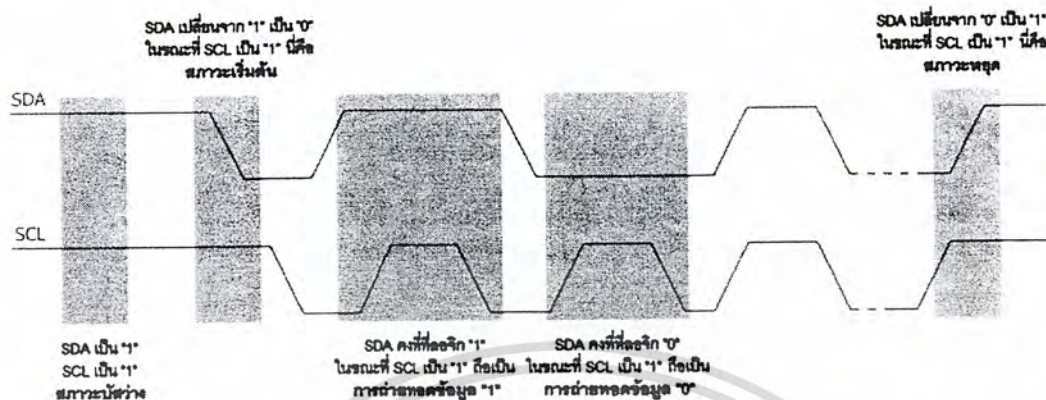
(2) เริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA เปลี่ยนระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

(3) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอ เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นๆ เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL ที่สถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

(4) รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

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

ในรูป 2 - 8 เป็นไคอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสภาวะต่างๆ บนบัส I²C ไม่ว่าจะเป็นสภาวะบัสว่าง เริ่มต้น ถ่ายทอข้อมูล รับรู้ และหยุดการถ่ายทอข้อมูล



รูปที่ 2 - 8 ไตอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนระบบบัส I²C

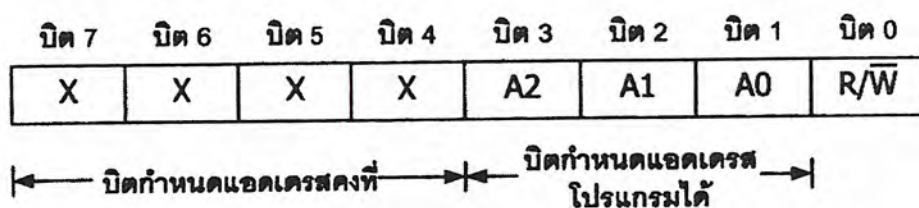
2.6.4 การทำงานบนบัส I²C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิต หรือ 10 บิต ในกรณีที่มียุกรณ์ต่ออยู่บนบัส ไม่มาก ใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรสจำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่อยุกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูลกันต่อไป

ดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัส I²C คือการอ้างถึงอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งในที่นี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างถึงทั้ง 2 รูปแบบ

การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสถานะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 2 - 9 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้ อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมา 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0 - A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้น ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ



รูปที่ 2 - 9 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์บนระบบบัส I²C

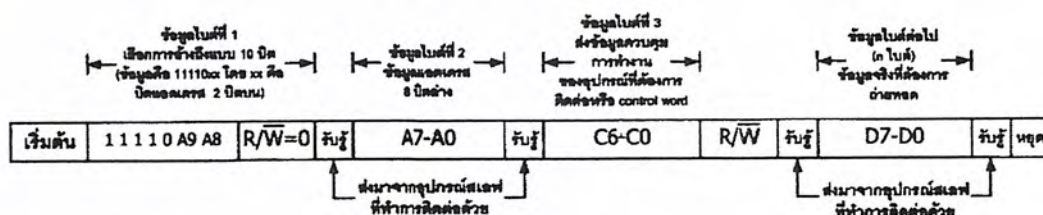
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (Control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่าบิตใดเป็นอินพุตบิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจรร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data)

หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้งเพื่อให้กระบวนการถ่ายโอนข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 8 - 6 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในบัส I²C ของการอ้างถึงแบบ 7 บิต การอ้างถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลังจากเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูล ไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

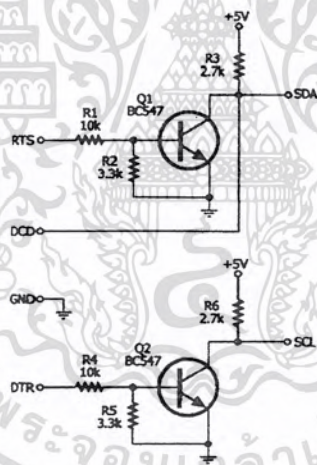
เช่นเดียวกับการอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ต้องมีสถานะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายโอนข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2 - 10 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิต



รูปที่ 2 - 10 รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I²C แบบ 10 บิต

2.6.5 วงจรแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับบัส I²C

เพื่อให้สายสัญญาณของพอร์ตอนุกรมจากคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ต้องมีวงจรเพื่อทำหน้าที่สร้างสายสัญญาณ SDA และ SCL ขึ้น จากสัญญาณของพอร์ตอนุกรมดังมีตัวอย่างวงจรตามรูปที่ 2 - 11 โดยในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้าสู่บัส I²C นี้ต้องกำหนดให้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์มาสเตอร์เท่านั้น



รูปที่ 2 - 11 วงจรสร้างสายสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I²C ของพอร์ตอนุกรม

ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ได้รับการจัดวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาต์พุตของบัส I²C โดย Q1 ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณของสาย SDA ในขณะที่ Q2 ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณของสาย SCL ไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5V จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นเบอร์มาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ที่สามารถตอบสนองความถี่ได้สูง 100 kHz ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายทอดคู่สาย SDA ของบัส I²C ผ่านทางขา RTS และรับรู้ข้อมูลทางขา DCD ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาที่ออกจากพอร์ตอนุกรมจะถูกส่งออกมาทางขา DTR เพื่อใช้เป็นสาย SCL สำหรับ I²C

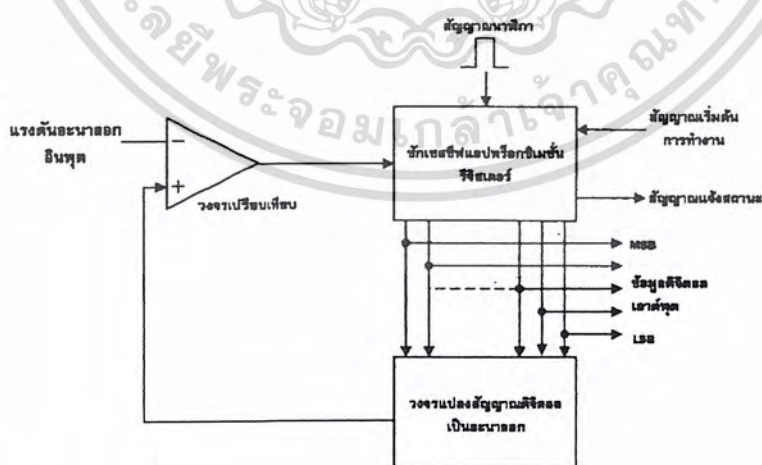
2.7 การเชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อกกับพอร์ตอนุกรมผ่านระบบบัส I²C

ปกติแล้วข้อมูลในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัลทั้งสิ้น แต่เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ย่อมต้องเชื่อมต่อและประมวลผลสัญญาณแอนะล็อกด้วย อุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่นี้คือ ไอซี ADC (Analog to Digital Converter)

2.7.1 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกดิจิทัลแบบซักรหัสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation ADC)

ถ้าจะแปลเป็นไทยอาจเรียกกระบวนการ ADC แบบนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการ ADC แบบนี้แสดงในรูป 2 - 12 ส่วนสำคัญหลักประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (DAC : Digital to Analog Converter) สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก

จุดแตกต่างที่อยู่ ADC แบบซักรหัสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารี รีจิสเตอร์แทนวงจรมับเลขฐานสองแต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซตและรีเซต โดยการควบคุมจากวงจรควบคุมต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของ ADC แบบนี้ไปที่ละขั้น ขอให้พิจารณาไดอะแกรมเวลาในรูปที่ 2 - 13 ร่วมด้วย



รูปที่ 2 - 12 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซักรหัสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้แรงดันแอนะล็อกอินพุต (V_{in}) มีค่าคงที่ที่ 13.5 V

1. สัญญาณเริ่มต้นการทำงาน (start converter) มายังซีกเซสซีฟแอปพริออกซิเมชันรีจิสเตอร์ (successive approximation register)

2. ขณะนี้สัญญาณของรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง (busy) สัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000

3. เอาต์พุตของ DAC จะเป็น 0 V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบ ทำการเปรียบเทียบกับแรงดัน V_{in} ในขณะนี้จะได้เอาต์พุตเท่ากับ -5V กำหนดเป็นลอจิก “0”

4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้ามา จะทำการเซตบิต MSB ของรีจิสเตอร์เป็น “1”

5. ในกรณีนี้เป็น ADC ขนาด 4 บิต ดังนั้นการที่บิต MSB เซต จะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8 V นำไปเปรียบเทียบกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า V_{in} ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น “0” ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น “1” ต่อไป

6. ต่อมาบิต B2 (ถัดจาก MSB 1 บิต เนื่องจากมี 4 บิตกำหนดบิต MSB = B3) จะเซตซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12V นำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} ก็ยังน้อยกว่า รีจิสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ “1” เช่นกัน

7. ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาต์พุตมา DAC กลายเป็น $8+4+2 = 14V$ ซึ่งมากกว่า V_{in} ทำให้วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น “1” ซึ่งจะส่งสัญญาณมาควบคุมให้ B1 กลายเป็น “0”

8. เมื่อบิต LSB ถูกเซตจะมีค่าแรงดัน 1V เข้ามารวมกับค่าของ B3 B2 และ B1 เป็น $8+4+0+1 = 13V$ นำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} ทำให้ที่บิต B0 หรือ LSB มีค่าเป็น “1”

9. ขณะนี้ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน (ready)

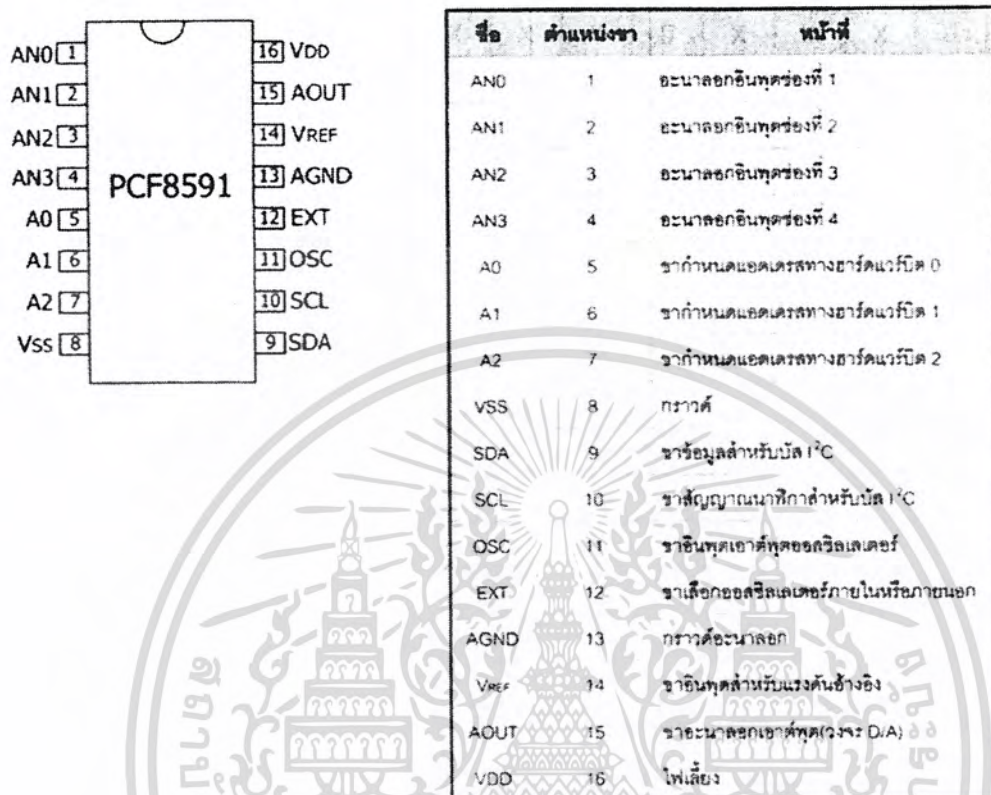
10. ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการ ADC แบบนี้ จะมีค่า 1101 หรือ 13V ซึ่งจะมีใกล้เคียงกับ V_{in} 13.5V มากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้จะมีความใกล้เคียงมากขึ้น ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณจะเริ่มสั้นขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบไปจนถึงเมื่อสถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น “พร้อมทำงาน” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ $n+1$ พัลส์ โดย n เท่ากับ จำนวนบิตของรีจิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

PCF8591 เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และยังสามารถแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I²C ทำให้สามารถพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณแอนะล็อกอินพุตได้สูงสุด 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2 ในรูปที่ 2-14 แสดงรายละเอียดการจัดขาของไอซี PCF8591 ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญมีดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5V – 6V
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนด์บายต่ำ
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล (sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถรับสัญญาณแอนะล็อกได้ 4 ช่องทั้งยังเลือกได้ว่าจะทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานแบบวงจรรีเฟอเรนเชียล
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณแอนะล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{ss} ไปจนถึง V_{dd}
- วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเป็นแบบซิกเชสซีฟแอสซิมเมตริก 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกขนาด 8 บิต 1 ช่อง



รูปที่ 2-14 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591

2.8.1 รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591

ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I²C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิตข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์นั้น ๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าแอดเดรส ที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ ไอซีตัวนั้น ๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
1	0	0	1	A2	A1	A0	R/W

ยกตัวอย่าง ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจากชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เกิน 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น

ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 ไปแล้วต้องส่งข้อมูลควบคุมไปตามด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 2 - 14

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับเอ็นเอเบิลขาแอนะล็อกเอาต์พุต เมื่อต้องการเอ็นเอเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

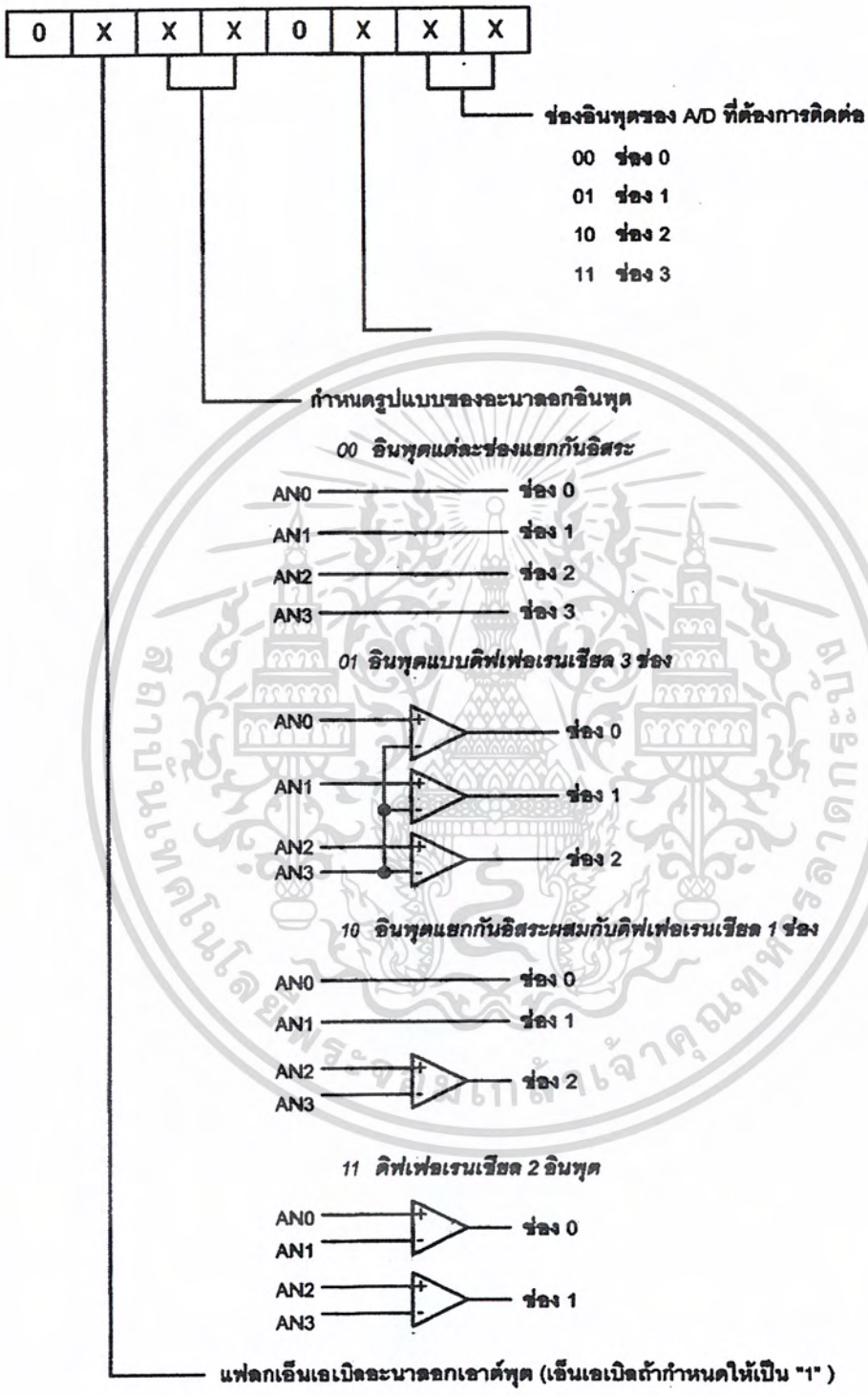
บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณแอนะล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตแอนะล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากอินพุตเดี่ยวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และ 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” และบิต “1” แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆ ข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น “0”



รูปที่ 2 - 15 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PcF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณพิกาสำหรับแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณพิกาสู่ขาที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณพิกาส่งสูงที่สุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

2.9 ภาษาที่เลือกใช้ในการเขียนซอฟต์แวร์

Visual Basic

Visual Basic เป็นภาษาที่ Microsoft สร้างขึ้น ซึ่งโปรแกรมเมอร์จะสามารถออกแบบการแสดงผลบนรูปแบบกราฟฟิกของ Editor ซึ่งช่วยให้เราสามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่ายขึ้น และมองเห็น Interface ไปพร้อมๆ กับการพัฒนาโปรแกรมด้วย

Visual Basic นั้น มีความง่ายต่อการเรียนรู้ และศึกษาค่อนข้างมาก ซึ่งตัว Visual Basic เองนั้นเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการพัฒนาโปรแกรมของโปรแกรมเมอร์ต่าง ๆ อีกทั้ง Component ต่าง ๆ ก็มีการพัฒนาต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา และรองรับกับ Application ที่ทันสมัยอยู่เสมอ

คุณสมบัติเด่นของ VISUAL BASIC

1. Source code ของ VB มีแจกให้นำไปศึกษาหรือใช้งาน ได้ฟรี
2. VB นั้นเป็นภาษา ที่มีไวยากรณ์ที่เข้าใจได้ง่าย
3. เป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างเสถียร ใช้ทรัพยากรของระบบน้อย ตัว Editor มีความสามารถสูง อีกทั้งยังลง Component เพิ่มได้ง่าย
4. มีซอฟต์แวร์ที่รองรับการแสดงผลในรูปแบบกราฟ หรือการสร้างตาราง เช่น Crystal Report เป็นต้น

2.10 ฐานข้อมูลที่เลือกใช้

Microsoft Access

Microsoft Access เป็นฐานข้อมูลที่มาถึง ซอฟต์แวร์ Microsoft Office มีจุดเด่นตรงที่ใช้งานง่ายมีฟังก์ชันที่อำนวยความสะดวกและเรียนรู้ง่ายแก่ผู้ที่ต้องการใช้งาน ใช้ทรัพยากรของระบบน้อย ทำงานเร็วถ้าข้อมูลของตารางมีไม่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

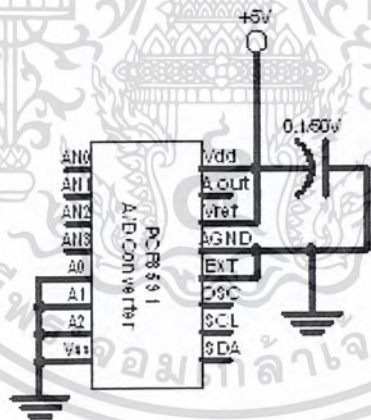
บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 การออกแบบและการทำงานของระบบ

โครงการนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์ โดยส่วนฮาร์ดแวร์เป็นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งจะได้รับสัญญาณเป็นสัญญาณแอนะล็อก ได้แก่สัญญาณจากดาวเทียม สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง จากนั้นข้อมูลสัญญาณที่เข้ามาจะมีซอฟต์แวร์รองรับจัดการเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูล และมีซอฟต์แวร์ที่สามารถแสดงผลข้อมูลสัญญาณในรูปแบบของกราฟได้

3.2 วงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ในวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 เป็นอุปกรณ์ตัวหลักในการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (4 ช่องสัญญาณ) โดยใช้ไฟเลี้ยงวงจรขนาด 5 โวลต์ และต้องมีการกำหนดแอดเดรสโดยการต่อกราวด์เข้าที่ขา A0 A1 และ A2

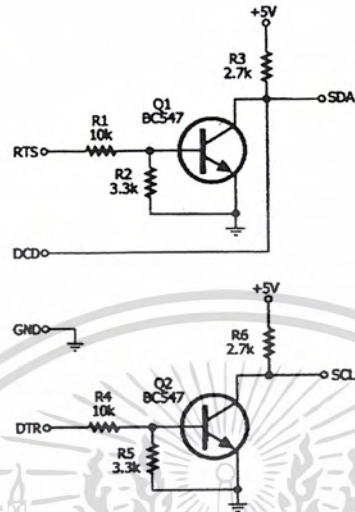


รูปที่ 3 - 1 แสดงการต่อวงจรไฟเลี้ยงและขาแอดเดรสของไอซี PCF8591

3.3 วงจรอินเทอร์เฟส

ในวงจรใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์มาตรฐานที่สามารถตอบสนองความถี่ได้สูงถึง 100 kHz 2 ตัว ต่อวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิด โดย Q1 จะใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณ SDA ในขณะที่ Q2 ใช้ถ่ายทอดสัญญาณ SCL และใช้ไฟเลี้ยงวงจรขนาด 5 โวลต์

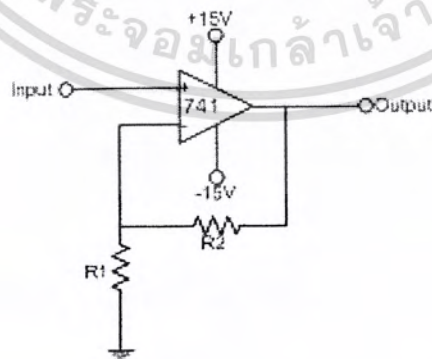
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 - 2 แสดงการต่อวงจรส่วนอินเทอร์เฟส

3.4 วงจรขยายระดับสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่รับเข้ามาในแต่ละช่องสัญญาณจะมีระดับแรงดันต่ำมาก (ระดับมิลลิโวลต์) จึงต้องการขยายระดับสัญญาณ โดยใช้ไอซีเบอร์ 741 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ใช้ไฟเลี้ยงขนาด ± 15 โวลต์ ใช้การต่อเป็นแบบ non-inverting amp โดยสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะใช้เกน (gain) เท่ากับ 2 เซ็นเซอร์วัดระดับความเข้มแสงจะใช้เกนเท่ากับ 26.53 และระดับสัญญาณดาวเทียมจะใช้เกนเท่ากับ 2



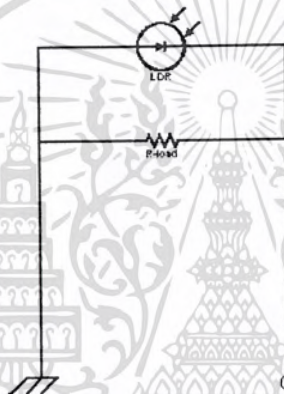
รูปที่ 3 - 3 แสดงการต่อวงจรขยายระดับสัญญาณด้วยไอซีเบอร์ 741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าจะให้วงจรที่ใช้ LM335 เพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -10 ถึง 50 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความต้านทานปกติที่ 20 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งจ่ายไฟเลี้ยงให้ขนาด 5 โวลต์ จากรูป 3 - 4 เราจะได้ค่า R_{bias} เท่ากับ $4.8k\Omega$ และค่า R_{load} เท่ากับ 522Ω

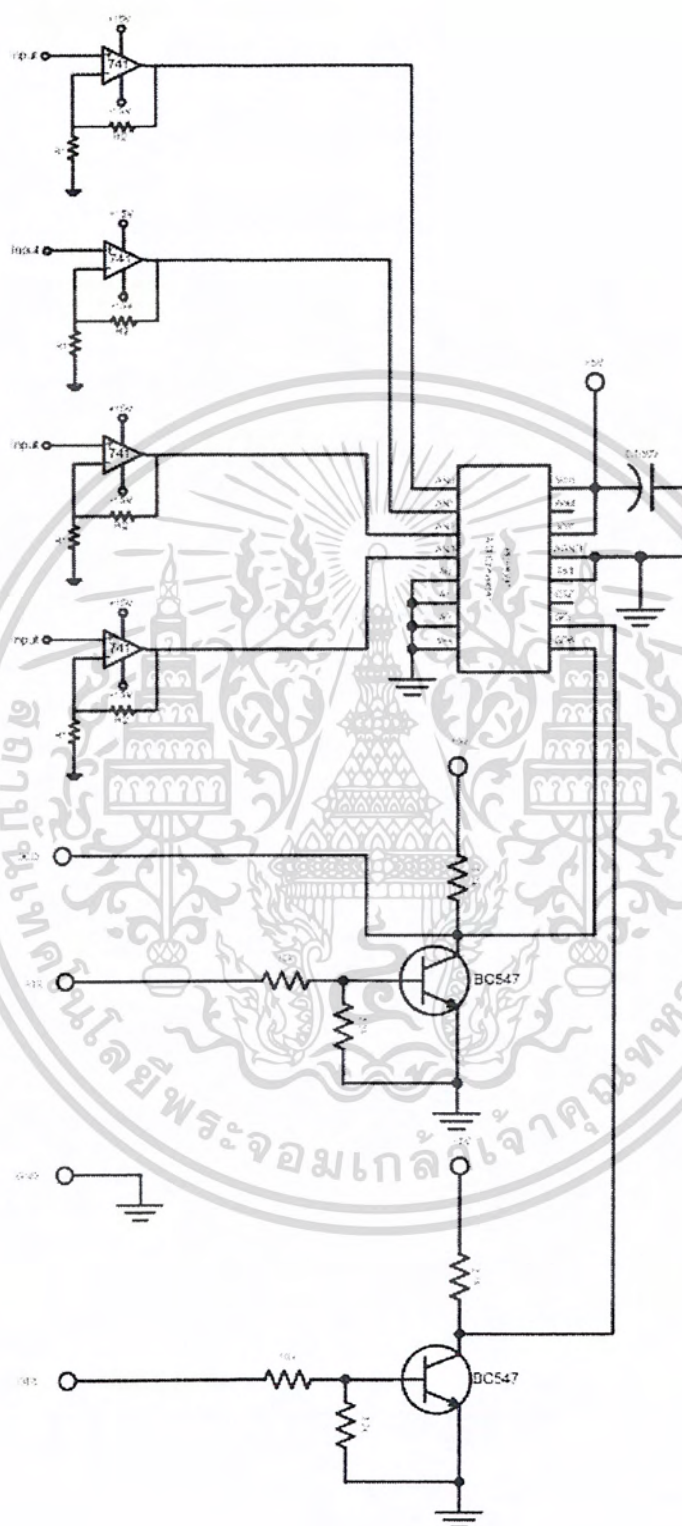
3.6 วงจรเซ็นเซอร์วัดระดับความเข้มแสง

ในวงจรจะใช้ LDR ซึ่งตัว LDR จะไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง โดยเมื่อมีแสงตกกระทบบน LDR ตัว LDR จะจ่ายกระแสออกมา ($1mV / 10lux$)



รูปที่ 3 - 5 แสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์วัดระดับสัญญาณแสงโดยใช้ LDR

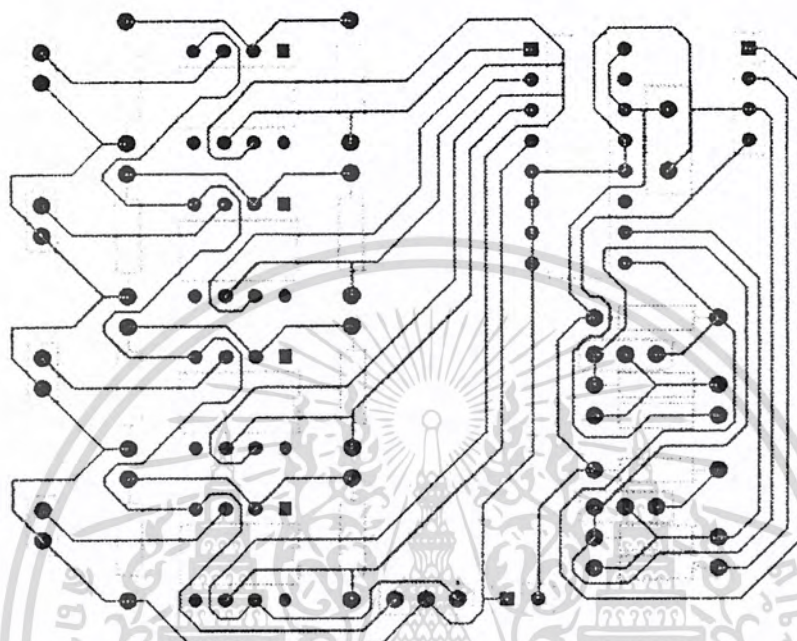
เมื่อได้วงจรครบหมดทุกส่วนแล้วจะนำมาต่อเข้ารวมกัน โดยนำเซ็นเซอร์มาต่อเข้ากับวงจรขยายระดับสัญญาณ จากนั้นนำเอาที่พูดจากวงจรขยายระดับสัญญาณมาต่อเข้ากับอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล จะได้สัญญาณเป็นแบบบัส I²C แล้วนำมาต่อเข้ากับวงจรอินเตอร์เฟสส่งเข้าพอร์ตอนุกรมต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูลต่อไป



รูปที่ 3 - 6 แสดงการนำวงจรทุกส่วนมาต่อเข้ารวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

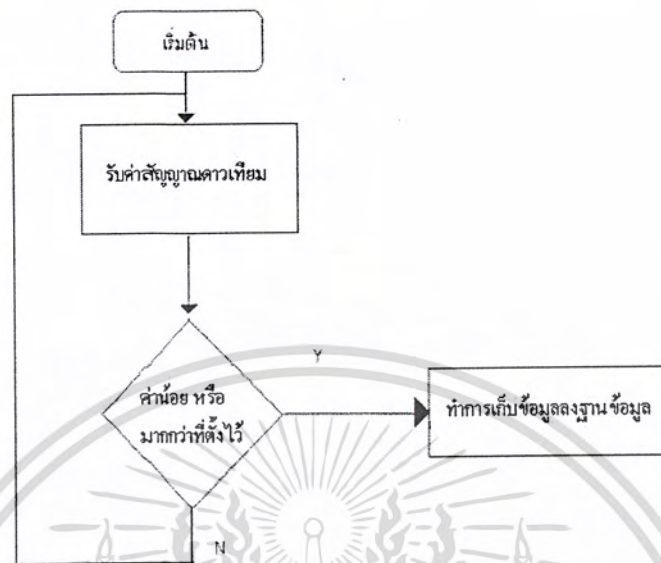
3.7 การออกแบบลายปริ๊นวงจรรวม



รูปที่ 3 - 7 ลายปริ๊นของวงจรรวม

3.8 ส่วนของโปรแกรมที่ติดต่อกับ วงจรภายนอก

ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของ Microsoft Visual Basic Version 6.0 นั้นจะต้องใช้ Component Microsoft Comm Control 6.0 และในส่วน ของ โปรแกรมนี้ ได้เลือก Component Microsoft ADO Data Control 6.0 (OLEDB) ในการติดต่อกับฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่เข้ามาจะมี อุณหภูมิ ความเข้มของแสงและ สัญญาณดาวเทียม โดยจะเข้าทุก ๆ 1 วินาที ซึ่งจะทำการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 เมื่อสัญญาณดาวเทียมมีค่าต่ำ หรือสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้



รูปที่ 3 - 8 แสดงโฟลว์ชาร์ท(Flow Chart) ของการเก็บข้อมูล

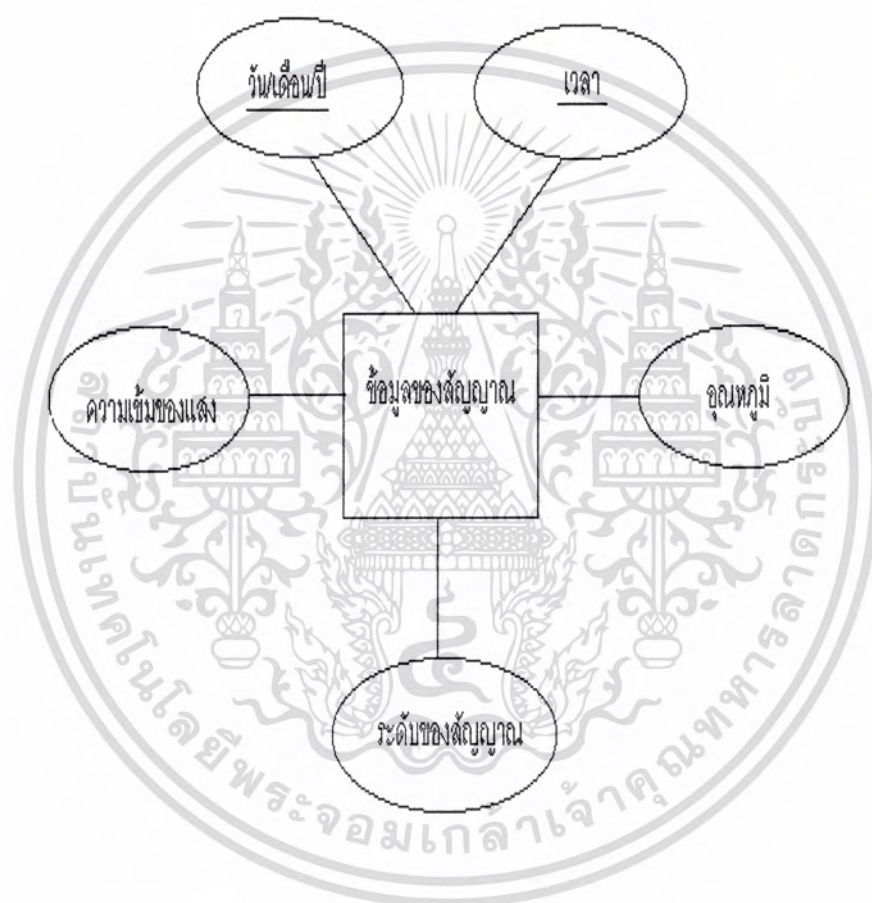
	C-Band	KU-Band
Today	21/03/2547	21/03/2547
Time	13:35:41	13:35:41
Temperature	26	26
Light	83	83
Signal SL	.18	.37
	Save data	Stop

รูปที่ 3 - 9 แสดง user - interface ของโปรแกรมที่รับค่าสัญญาณมาจากพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 ส่วนของฐานข้อมูล

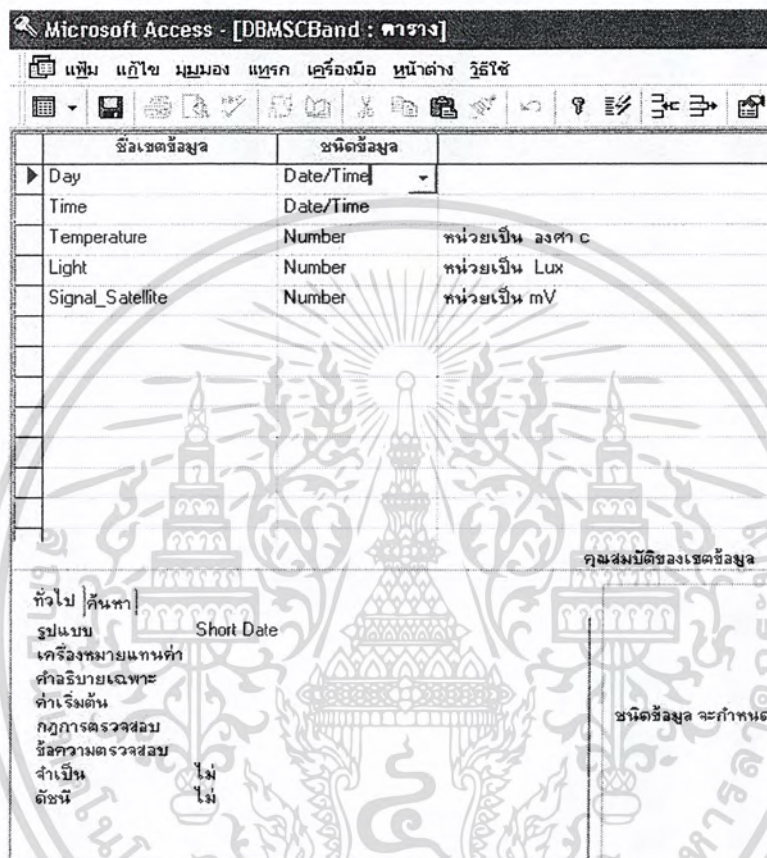
ข้อมูลที่ทำกรจัดเก็บนั้นจะประกอบไปด้วย 5 Attribute ซึ่งมี วัน/เดือน/ปี เวลา อุณหภูมิ ความเข้มของแสง และระดับของสัญญาณ



รูปที่ 3 - 10 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การออกแบบคุณสมบัติของเขตข้อมูลใน Microsoft Access



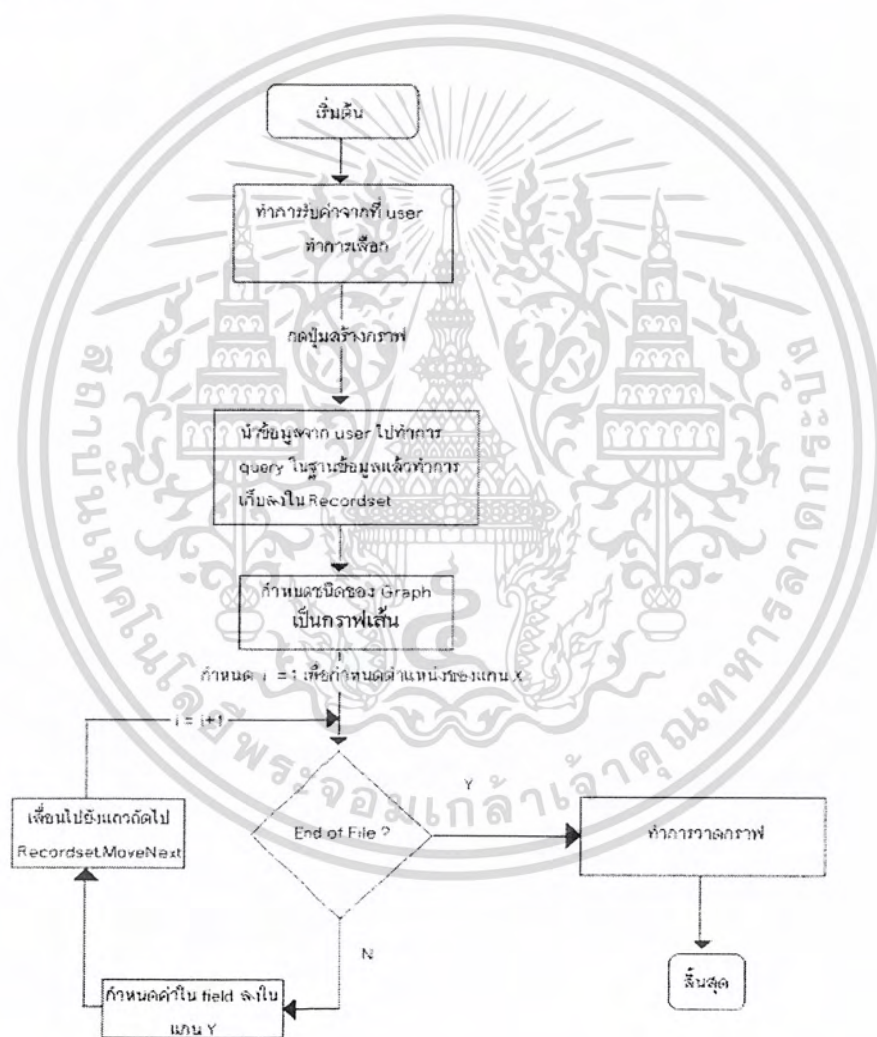
รูปที่ 3 - 11 การออกแบบคุณสมบัติของฐานข้อมูลใน Microsoft Access

Attribute Day	ชนิดของข้อมูลเป็น Date/Time รูปแบบเป็น Short Date
Attribute Time	ชนิดของข้อมูลเป็น Date/Time รูปแบบเป็น Long Time
Attribute Temperature	ชนิดของข้อมูลเป็น Number รูปแบบเป็น Single
Attribute Light	ชนิดของข้อมูลเป็น Number รูปแบบเป็น Single
Attribute Signal_Satellite	ชนิดของข้อมูลเป็น Number รูปแบบเป็น Single

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

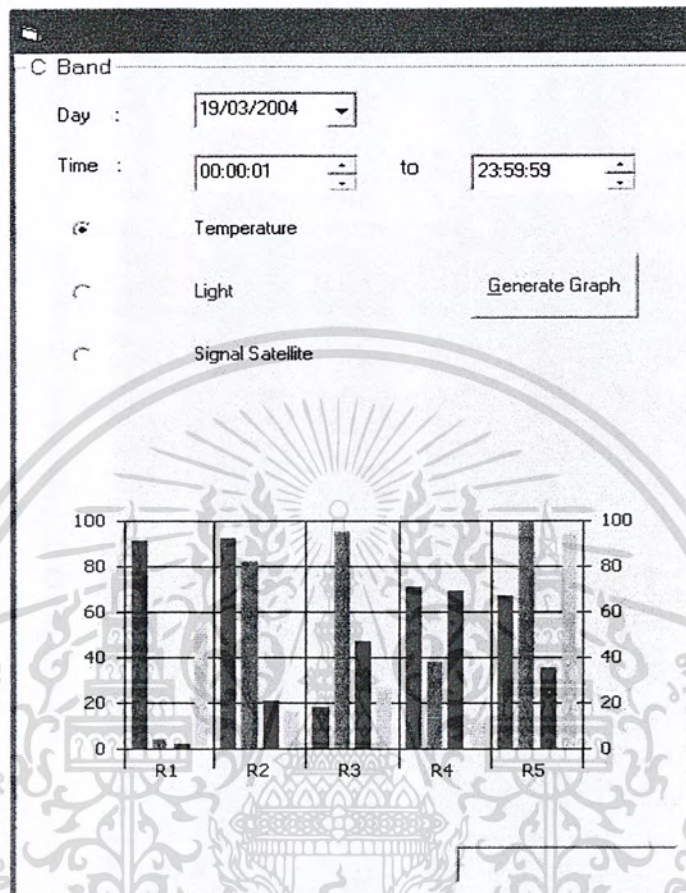
3.11 ส่วนของโปรแกรมสร้างกราฟที่ทำการติดต่อกับฐานข้อมูล

โปรแกรมนี้ใช้ Microsoft Visual Basic Version 6.0 ในการเขียนโดยใช้ Component Microsoft ADO Data Control 6.0 (OLEDB) ในการติดต่อกับฐานข้อมูลใช้ Component Microsoft window Common Control-2 6.0 สำหรับข้อมูลวันที่ และใช้ Component Microsoft Chart 6.0 สำหรับสร้างกราฟจากฐานข้อมูล โดยจะให้ ผู้ใช้ ทำการเลือกวัน ช่วงที่เวลาต้องการดู และชนิดของข้อมูล แล้วจึงแสดงผลออกมาในรูปของกราฟเส้นตรง



รูปที่ 3 - 12 แสดงโฟลว์ชาร์ทของการสร้างกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

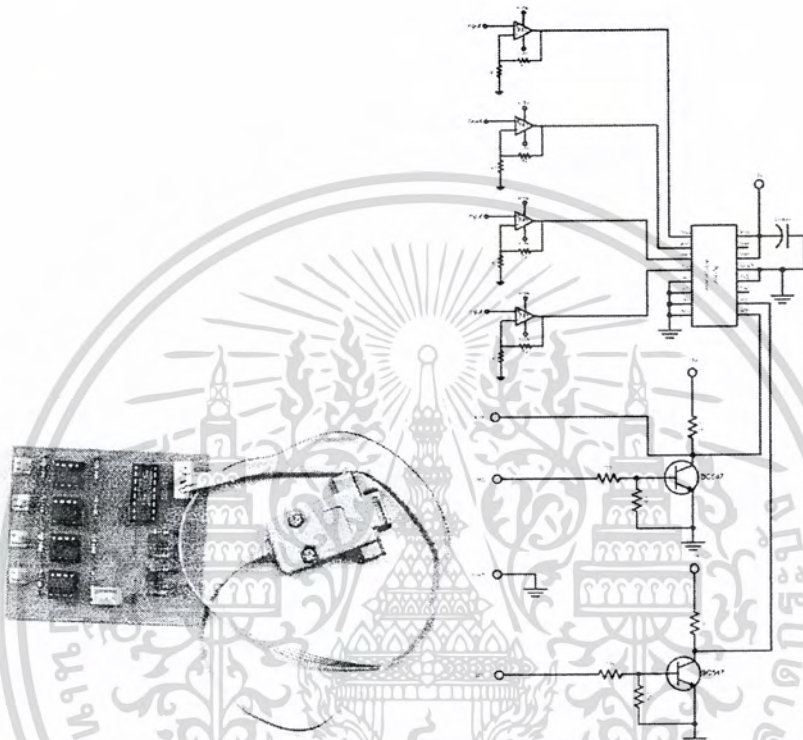


รูปที่ 3 - 13 แสดง user - interface ของโปรแกรมที่ทำการสร้างกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

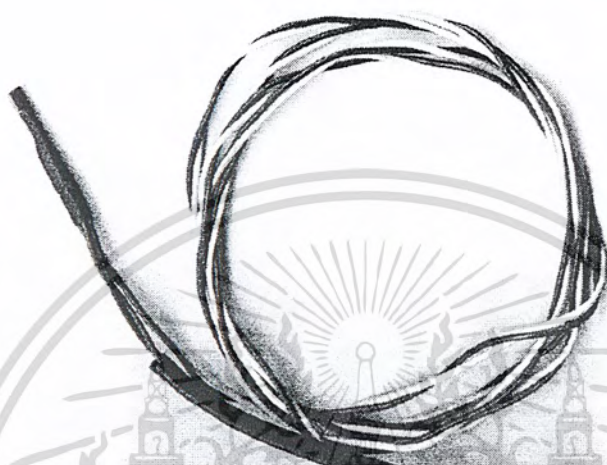


รูปที่ 4-1 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4 - 1 ตรวจสอบความเรียบร้อยอุปกรณ์และระบบไฟ
2. ทำการเขียน โปรแกรมเพื่อติดต่อกับสัญญาณและทำการเก็บลงฐานข้อมูลจากวงจรทางพอร์ตอนุกรม
3. นำวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลต่อเข้าทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
4. ทำการต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, เซ็นเซอร์วัดระดับความเข้มของแสงและสัญญาณควาเทียม เข้ากับช่องอินพุทของแผงวงจร
5. เริ่ม โปรแกรมเพื่อรับค่าสัญญาณและทำการเก็บลงฐานข้อมูลจากแผงวงจร
6. ทำการเขียน โปรแกรมเพื่อนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลในรูปของกราฟ
7. เริ่ม โปรแกรมเพื่อดูผลของกราฟที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 แสดงเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4-3 แสดงเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลทดลองเมื่อวันที่ 21/3/2547

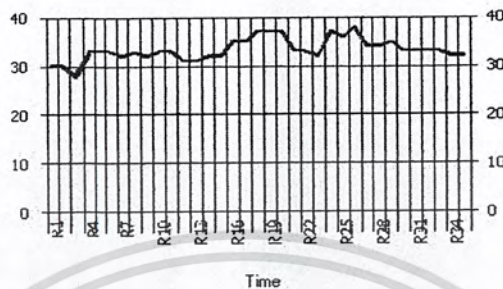
ทำการเก็บสัญญาณ อุณหภูมิ และความเข้มของแสงภายในห้องที่ไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ ในเวลาบ่าย ซึ่งมีแสงจากหลอดน็อนของห้องให้แสงสว่าง โดยยังไม่ต่อสัญญาณจากดาวเทียมเข้ามาที่วงจร แล้วรันโปรแกรมสร้างกราฟเพื่อดูกราฟ

Day	Time	Temperature	Light	Signal_Satelli
21/3/2547	15:40:03	30	94	0
21/3/2547	15:40:04	30	102	0
21/3/2547	15:40:05	28	109	0
21/3/2547	15:40:06	33	102	0
21/3/2547	15:40:07	33	90	0
21/3/2547	15:40:09	33	94	0
21/3/2547	15:40:10	32	90	0
21/3/2547	15:40:11	33	102	0
21/3/2547	15:40:12	32	83	0
21/3/2547	15:40:13	33	102	0
21/3/2547	15:40:14	33	102	0
21/3/2547	15:40:15	31	83	0
21/3/2547	15:40:16	31	90	0
21/3/2547	15:40:17	32	80	0
21/3/2547	15:40:18	32	102	0
21/3/2547	15:40:19	35	102	0
21/3/2547	15:40:20	35	117	0
21/3/2547	15:40:21	37	102	0
21/3/2547	15:40:22	37	109	0
21/3/2547	15:40:23	37	100	0
21/3/2547	15:40:24	33	102	0
21/3/2547	15:40:25	33	102	0
21/3/2547	15:40:26	32	102	0
21/3/2547	15:40:27	37	83	0

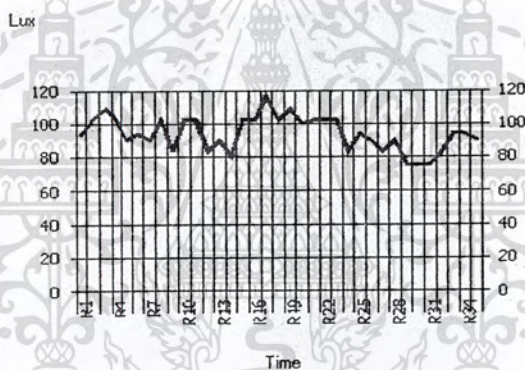
รูปที่ 4 - 4 แสดงข้อมูลที่ทำการเก็บเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C

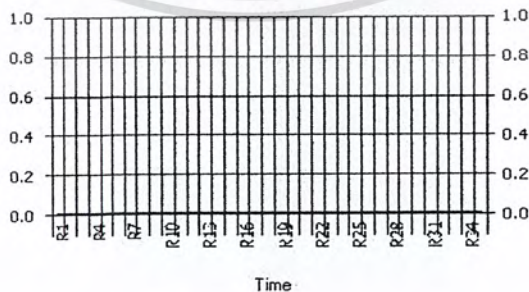


รูปที่ 4 - 5 แสดงกราฟอุณหภูมิเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย



รูปที่ 4 - 6 แสดงกราฟความเข้มของแสงเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย

mV



รูปที่ 4 - 7 แสดงกราฟสัญญาณดาวเทียมเมื่อวันที่ 21/3/2547 ตอนบ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองเมื่อวันที่ 22/3/2547

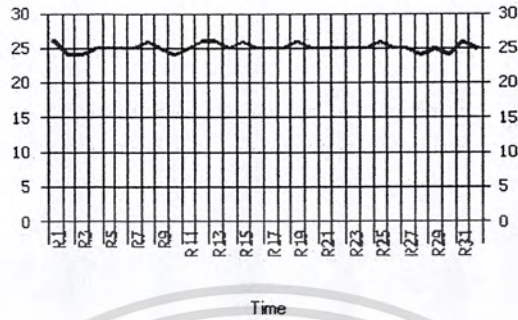
ทำการเก็บสัญญาณความถี่ม อุณหภูมิ และความเข้มของแสงภายในห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศ ในเวลาเช้ามีด ซึ่งใช้ไฟฉายส่องไปที่แอลดีอา แล้วรัน โปรแกรมสร้างกราฟเพื่อดูกราฟ

	Day	Time	Temperature	Light	Signal_Satellite
▶	22/3/2547	2:08:07	26	460	203.3
	22/3/2547	2:08:08	24	460	200.4
	22/3/2547	2:08:10	24	445	202
	22/3/2547	2:08:11	25	437	201.4
	22/3/2547	2:08:12	25	422	201.7
	22/3/2547	2:08:13	25	460	200.4
	22/3/2547	2:08:14	25	460	203.3
	22/3/2547	2:08:15	26	445	200.4
	22/3/2547	2:08:16	25	471	201.4
	22/3/2547	2:08:17	24	467	200.4
	22/3/2547	2:08:18	25	467	202.3
	22/3/2547	2:08:19	26	467	201.4
	22/3/2547	2:08:20	26	467	203.3
	22/3/2547	2:08:21	25	460	200.4
	22/3/2547	2:08:22	26	467	202
	22/3/2547	2:08:23	25	460	201.4
	22/3/2547	2:08:24	25	467	201.7
	22/3/2547	2:08:25	25	445	200.4
	22/3/2547	2:08:26	26	452	201.4
	22/3/2547	2:08:27	25	445	200.4
	22/3/2547	2:08:28	25	445	202.3
	22/3/2547	2:08:29	25	445	201.4
	22/3/2547	2:08:31	25	430	203
	22/3/2547	2:08:32	25	430	202.6

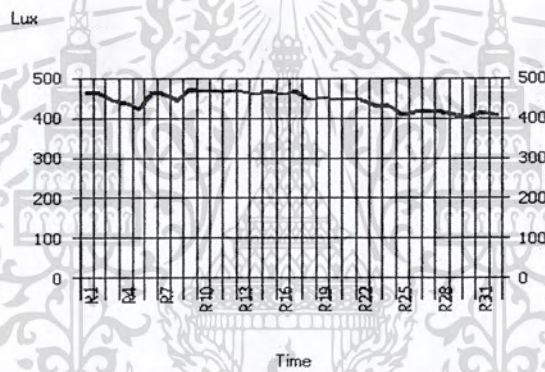
รูปที่ 4 - 8 แสดงข้อมูลทำการเก็บเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

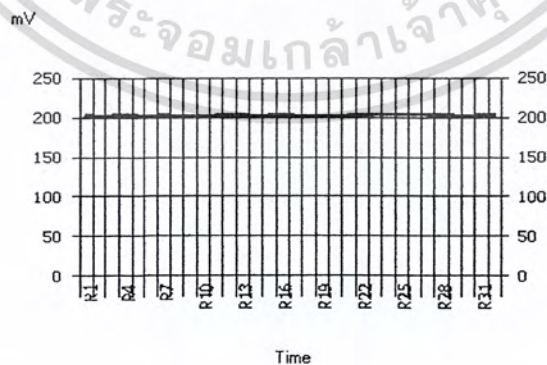
C



รูปที่ 4 - 9 แสดงกราฟอุณหภูมิเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามีด



รูปที่ 4 - 10 แสดงกราฟความเข้มของแสงเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามีด



รูปที่ 4 - 11 แสดงกราฟสัญญาณดาวเทียมเมื่อวันที่ 22/3/2547 ตอนเช้ามีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบระบบที่สามารถบันทึกสัญญาณความถี่ อุณหภูมิ และความเข้มของแสงให้มีประสิทธิภาพ โดยจะนำสัญญาณต่าง ๆ เหล่านั้นเก็บลงฐานข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์และจะต้องสามารถนำข้อมูลที่เก็บบันทึกนั้นมาแสดงเป็นกราฟเพื่อวิเคราะห์สัญญาณได้ในส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นได้สร้างวงจรที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกให้กลายเป็นดิจิทัลแล้วส่งสัญญาณเข้าพอร์ตอนุกรมในรูปแบบ โปรโตคอลของบัส I²C และสร้างเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ กับเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสง ในส่วนของซอฟต์แวร์นั้นก็สร้างซอฟต์แวร์ที่สามารถบันทึกสัญญาณลงฐานข้อมูล และซอฟต์แวร์ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟซึ่งตรงกับเป้าหมายของปฏิญานิพนธ์นี้

ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ในการตอนแรกของการสร้างเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลซึ่งมีความคงทนแต่จากการทดลองพบว่าค่าที่รับ ได้มีความผิดพลาดสูงและค่าที่ได้ไม่ค่อยมีความเป็นเชิงเส้น โดยถ้าจะต้องการเพิ่มความถูกต้องจะต้องใช้เทอร์โมคัปเปิลที่มีประสิทธิภาพซึ่งจะมีราคาแพงและจะต้องสร้างวงจรเพิ่มจึงเปลี่ยน ไปใช้เป็น ไอซีวัดอุณหภูมิแทน ที่มีความคงทนน้อยกว่าแต่มีความเป็นเชิงเส้นสูงกว่า

สำหรับแนวทางในการพัฒนาโครงการต่อนั้นจะทำการเพิ่มเซ็นเซอร์ซึ่งอาจจะเป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้น และจะทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ทำการแสดงผลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] ชาริน สิทธีธรรมชารี. คู่มือการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual Basic Version 6.0. บริษัท ชัคเชส มีเดีย จำกัด. 2544
- [2] ชาริน สิทธีธรรมชารี , สุรสิทธิ์ คิวประสพศักดิ์. คู่มือการเขียนโปรแกรม Advanced Visual Basic Version 6.0 บริษัท ชัคเชส มีเดีย จำกัด
- [3] พจนานฎ สุวรรณมณี . เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [4] อรรถพล บุญยะโกคา,วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กพอร์เมนต์ จำกัด ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2
- [5] Website
www.thaiio.com
www.clethai.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code ที่ทำหน้าที่ติดต่อและอ่านค่าจากสัญญาณที่เข้าทางพอร์ตอนุกรม

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H90)

Call Ack

Call Send8BIT(&H45)

Call Ack

Call I2CStop

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H91)

Call Ack

Ch1 = Round(Format(((255 - Read8Bit) * 5) / 255), 2) 'C band

Call MAck

Ch2 = Round(Format(((255 - Read8Bit) * 5) / 255), 2) ' Ku band

Call Mack

Ch3 = Round(Round(Format(((255 - Read8Bit) * 5) / 255), 2) * 377) ' Light

Call MAck

Ch4 = 23 + ((Round(Format(((255 - Read8Bit) * 5) / 255), 2) - 2.92) * 50) ' Temperature

Call Ack

Call I2Cstop

Public Sub I2CStart()

SDA_H

SCL_H

SDA_L

SCL_L

End Sub

Public Sub I2CStop()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SDA_L
SCL_H
SDA_H
End Sub

Public Sub Send0()

SDA_L
SCL_H
SCL_L
End Sub

Public Sub Send1()

SDA_H
SCL_H
SCL_L
End Sub

Public Function Ack() As Boolean

Ack = Not Rd_SDA
SCL_H
SCL_L
End Function

Public Sub MAck()

SDA_L
SCL_H
SCL_L
End Sub

Public Sub MNAck()

SCL_H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

SCL_L
End Sub

Public Function Read8Bit() As Byte
Dim Dat1 As Integer
Dim i As Integer
For i = 7 To 0 Step -1      'Loop 8 Cycle
    If Rd_SDA Then        'Read SDA
        Dat1 = (2 ^ i) Or Dat1
    End If
    SCL_H
    SCL_L
Next i
Read8Bit = Dat1          'Data 8 Bit
End Function

Public Sub Send8BIT(Data As Byte)
Dim i As Integer
For i = 7 To 0 Step -1    'Loop 8 Cycle
    If (Data And 2 ^ i) = 2 ^ i Then 'Test Bit 0 OR 1
        Call Send1
    Else
        Call Send0
    End If
Next i
End Sub

Private Sub SDA_L()
Form1.MSComm1.RTSEnable = True    'SDA=1
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub SDA_H()

Form1.MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0

End Sub

Private Sub SCL_L()

Form1.MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1

End Sub

Private Sub SCL_H()

Form1.MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0

End Sub

Private Function Rd_SDA() As Boolean

SDA_H

Rd_SDA = Not Form1.MSComm1.CD Holding

End Function



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code ที่ทำหน้าที่ติดต่อกับฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลและดึงข้อมูลออกมาแสดงผลในรูปของกราฟ

With Con

```
.ConnectionString = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data
```

```
Source=D:\DBMSSensor\DATABASE.mdb;Persist Security Info=False "
```

```
.ConnectionTimeout = 20
```

```
.CursorLocation = adUseClient
```

```
.Open
```

End With

```
SQLIS = " INSERT INTO DBMSCBand ([Day],[Time],Temperature,Light,Signal_Satellite) " &  
" VALUES ( " & "#" & Format(Date, "dd/mm") & "#" & " , " & "#" & Format(Time,  
"HH:mm:ss") & "#" & " , " & Ch4 & " , " & Ch3 & " , " & Ch1 & " )"
```

```
Con.Execute (SQLIS)
```

```
SQL = " Select count(*) " & _
```

```
    " FROM DBMSCBand " & _
```

```
    " WHERE Day = " & "#" & Format(DT1.Value, "dd/mm") & "#" & " And ((Time >= "  
& "#" & Format(DTPT1.Value, "HH:mm:ss") & "#" & " ) And (Time <= " & "#" & "  
Format(DTPT2.Value, "HH:mm:ss") & "#" & " ) )"
```

```
'MsgBox (SQL)
```

```
Set rs = Con.Execute(SQL)
```

```
Set Adodc1.Recordset = rs
```

```
First = rs!expr1000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If First = 0 Then

MsgBox ("No Data in Table")

MSChart2.Visible = True

CmdGnr2.Enabled = True

LabelCMC = ""

LabelTmC = ""

DTPT1 = "0:00:01"

DTPT2 = "23:59:59"

Exit Sub

End If

ReDim Data(First, 0)

Point = 0

ProgressBar1.Max = First

If Option1.Value Then

SQL = " Select Day,Time,Temperature" & _

" FROM DBMSCBand " & _

" WHERE Day = " & "#" & Format(DT1.Value, "dd/mm") & "#" & " And ((Time >= " & "#" & Format(DTPT1.Value, "HH:mm:ss") & "#" & ") And (Time <= " & "#" & Format(DTPT2.Value, "HH:mm:ss") & "#" & "))"

Set rs = Con.Execute(SQL)

Set Adodc1.Recordset = rs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DTPT1 = rs!Time
```

```
Do While Not rs.EOF
```

```
MSChart1.chartType = 3
```

```
LabelCMC = " C "
```

```
LabelTmC = " Time "
```

```
ProgressBar1.Value = Point
```

```
Data(Point, 0) = rs!Temperature
```

```
MSChart1.ChartData = Data
```

```
Point = Point + 1
```

```
rs.MoveNext
```

```
Loop
```

```
rs.MovePrevious
```

```
DTPT2 = rs!Time
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



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

Product specification
Supersedes data of 2001 Dec 13

2003 Jan 27



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 to soldering through-hole mount packages
17.2	Soldering by dipping or by solder wave
17.3	Manual soldering
17.4	Suitability of through-hole mount IC packages for dipping and wave soldering methods
18	DATA SHEET STATUS
19	DEFINITIONS
20	DISCLAIMERS
21	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
PCF8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-4
PCF8591T	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

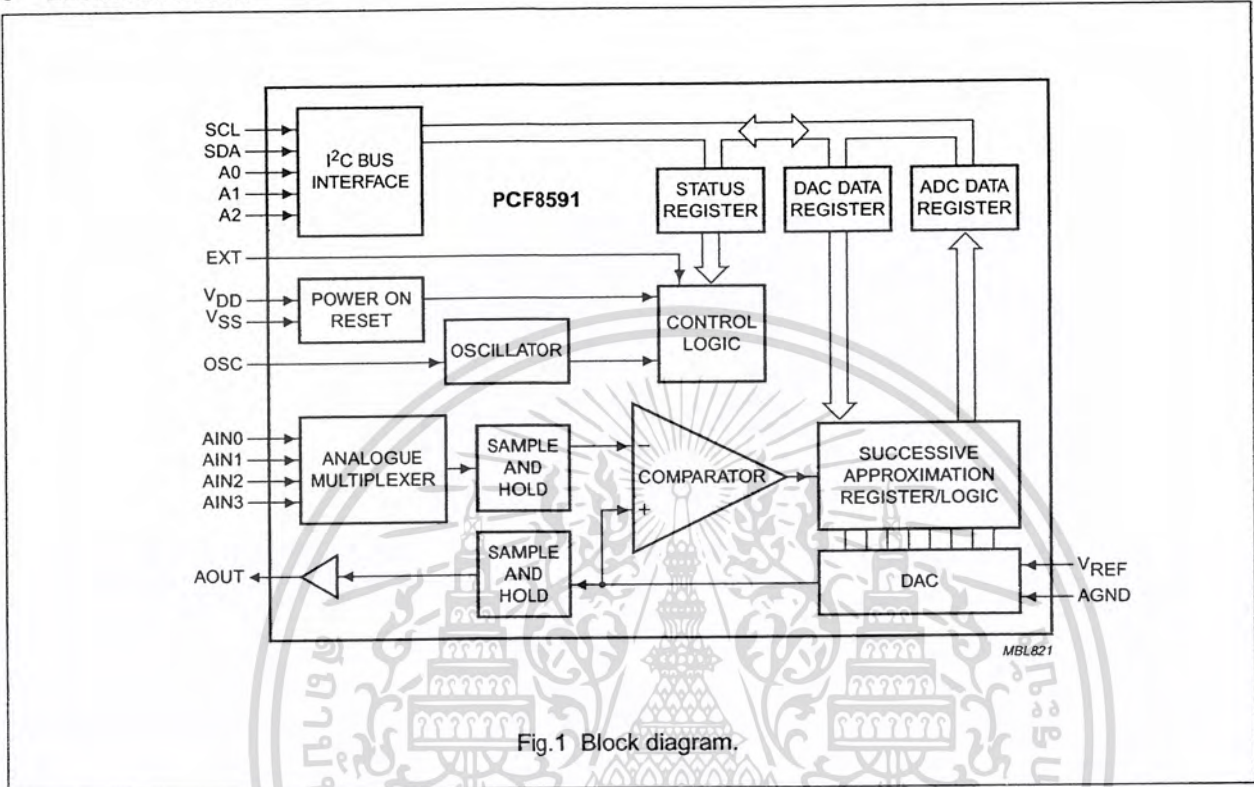


Fig.1 Block diagram.

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

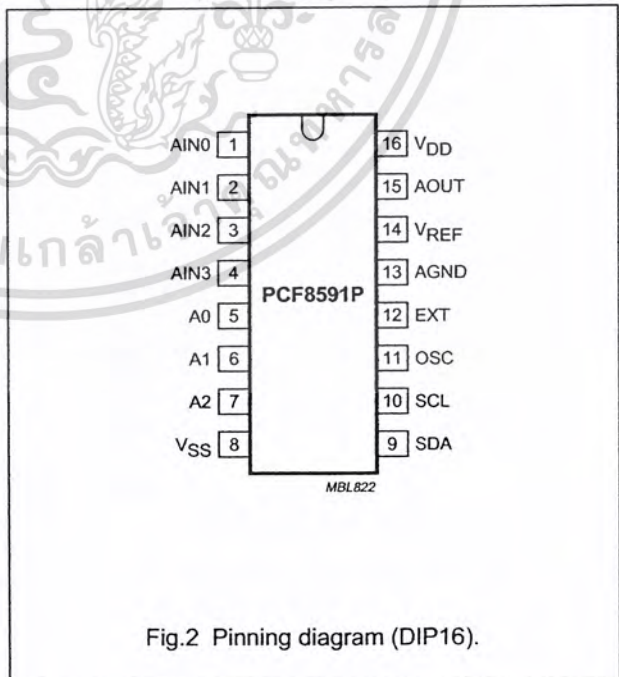


Fig.2 Pinning diagram (DIP16).

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

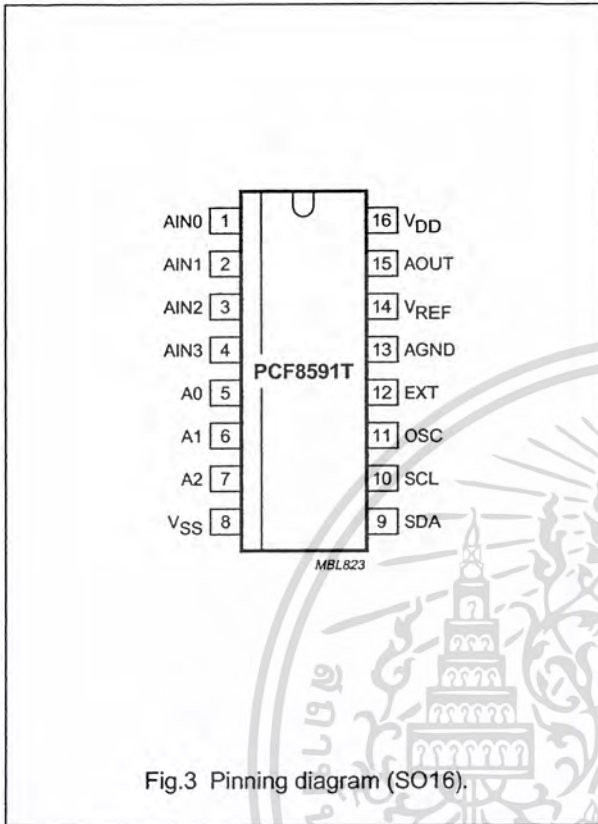


Fig.3 Pinning diagram (SO16).

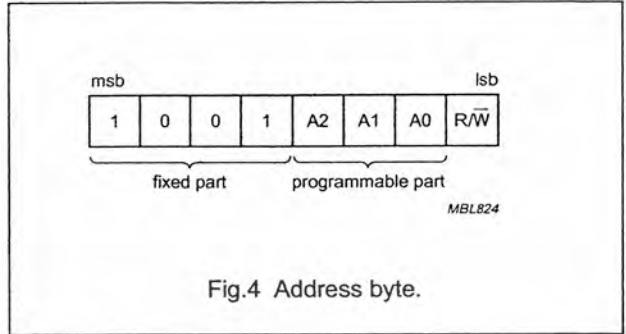


Fig.4 Address byte.

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 4, 16 and 17).

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.5). 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 logic 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to logic 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

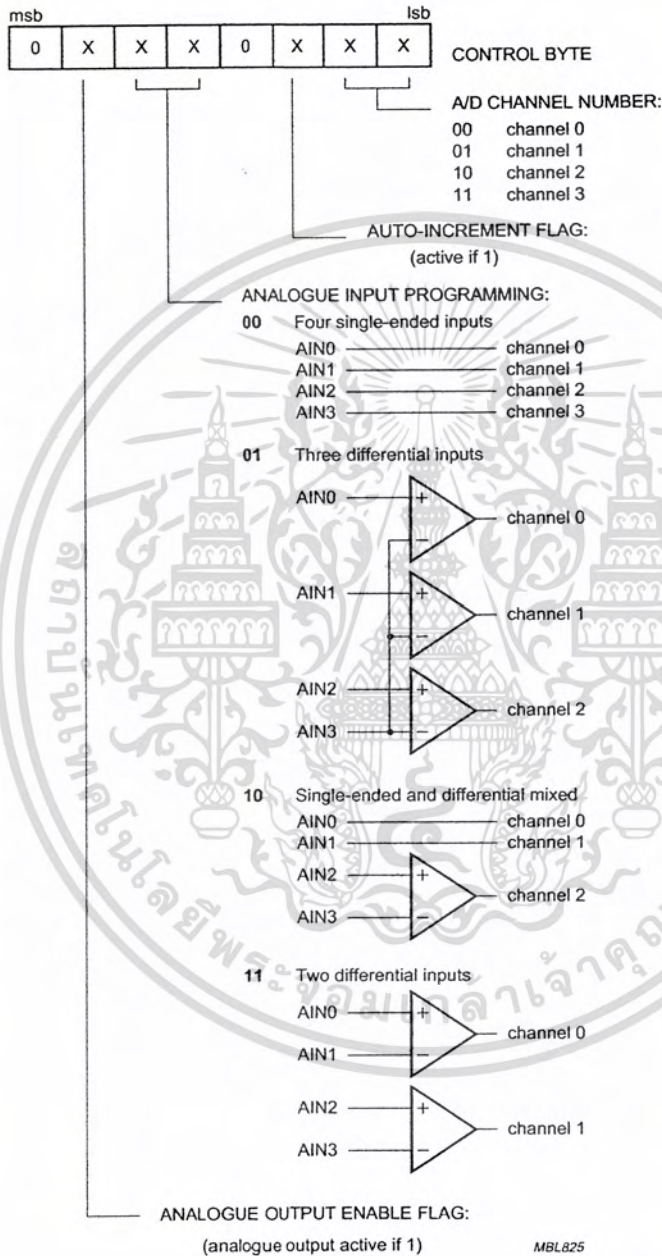


Fig.5 Control byte.

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.6).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the

control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

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

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.7. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.8.

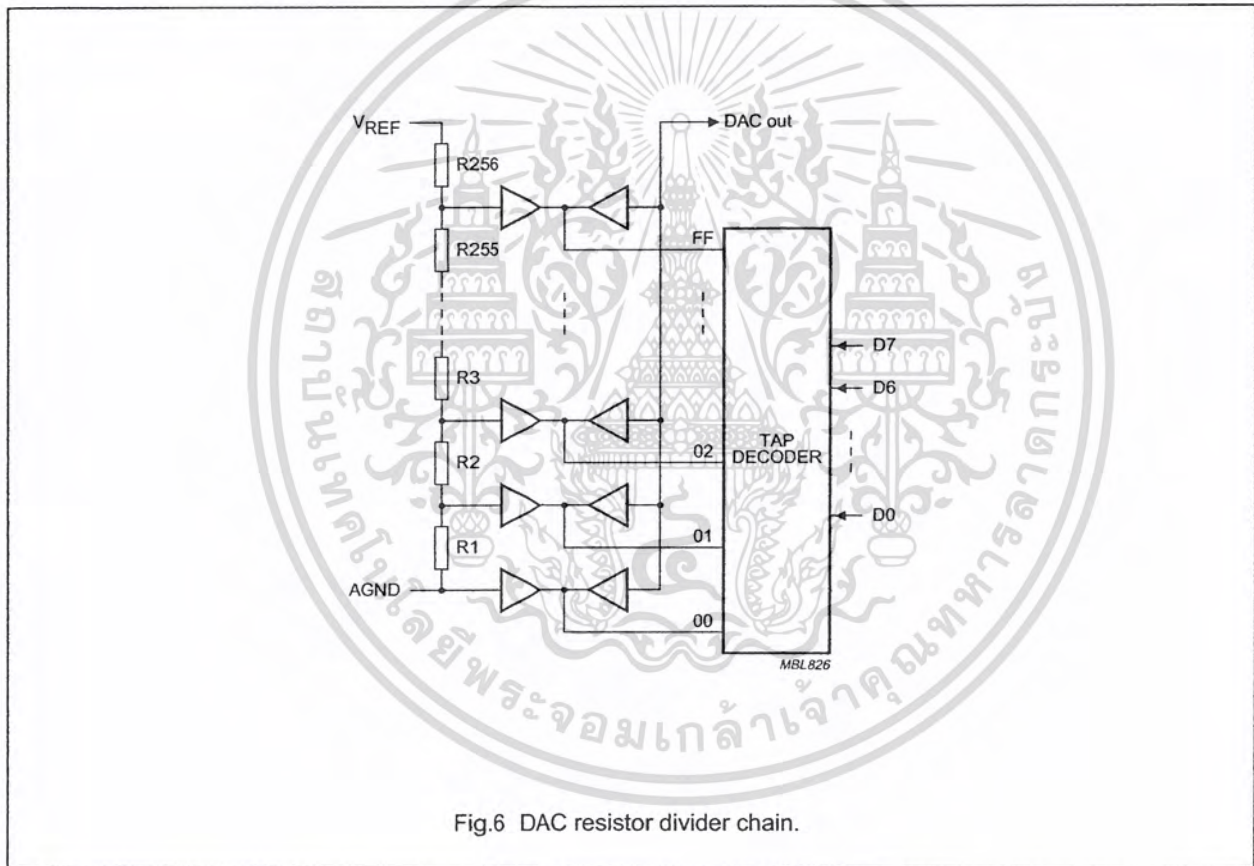
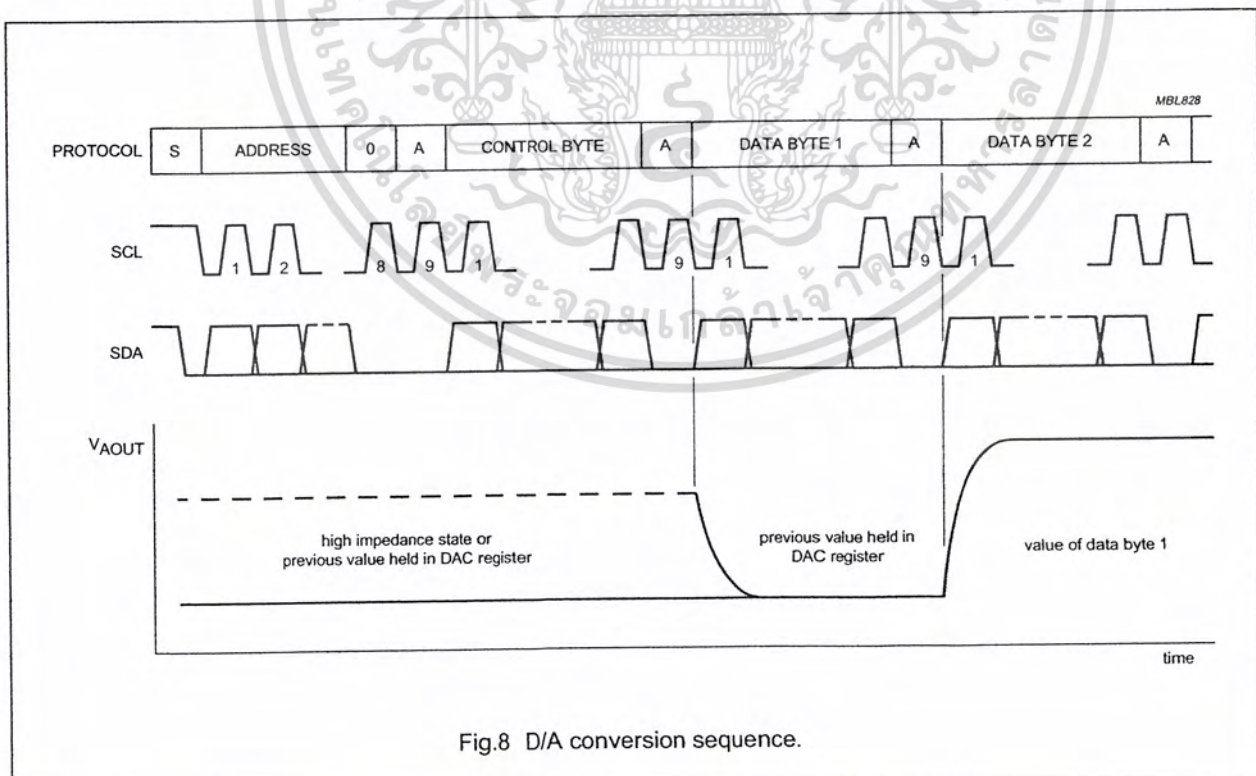
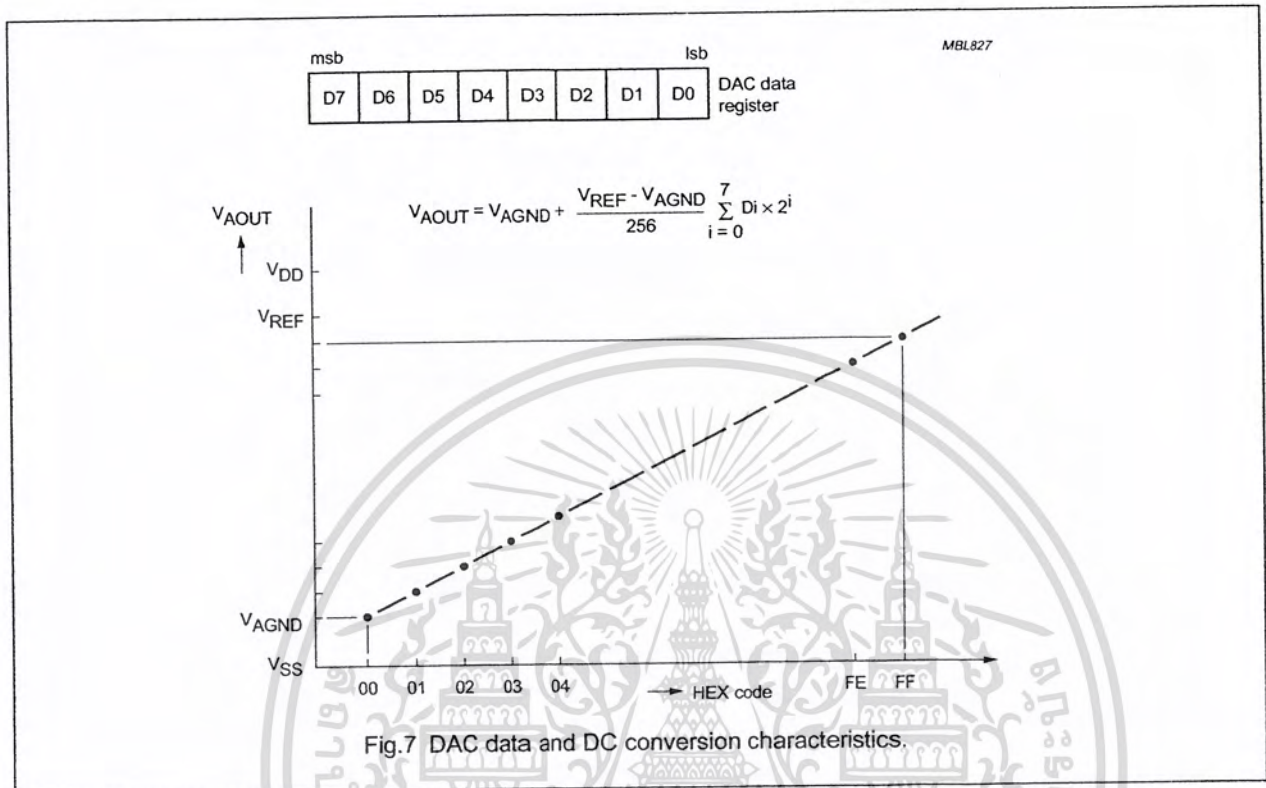


Fig.6 DAC resistor divider chain.

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.9).

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 twos complement code (see Figs 10 and 11).

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 16 and 17.

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

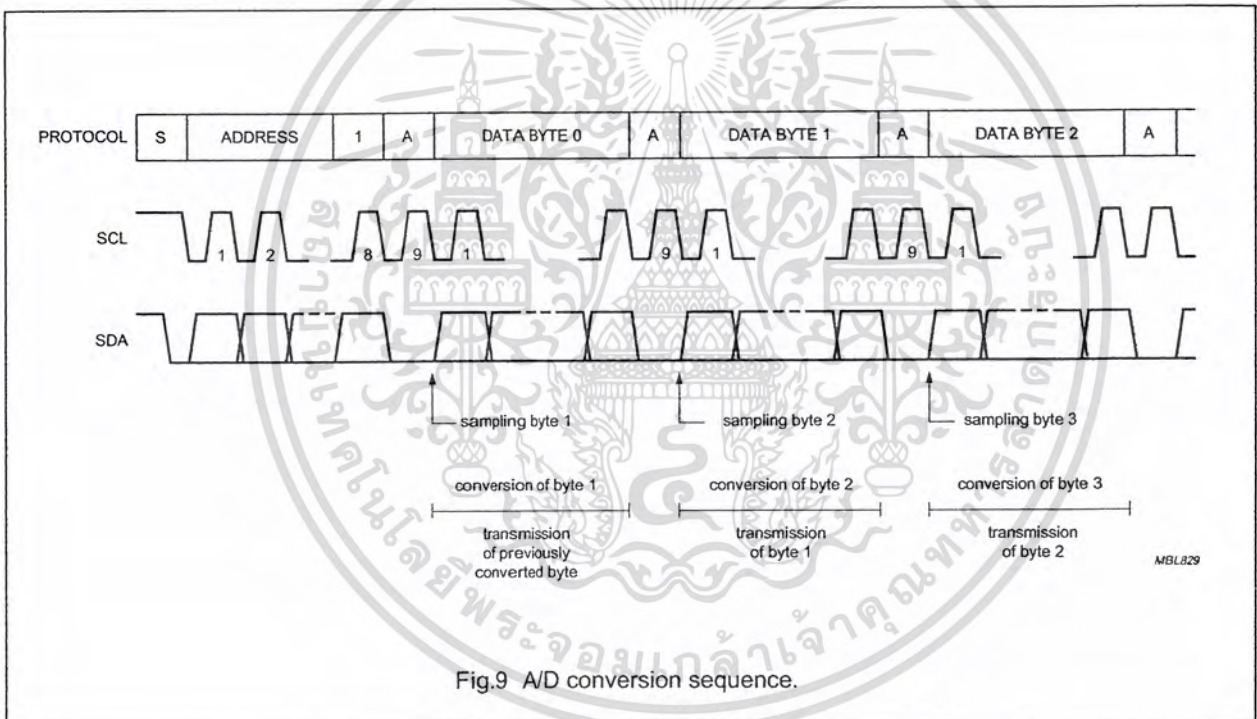
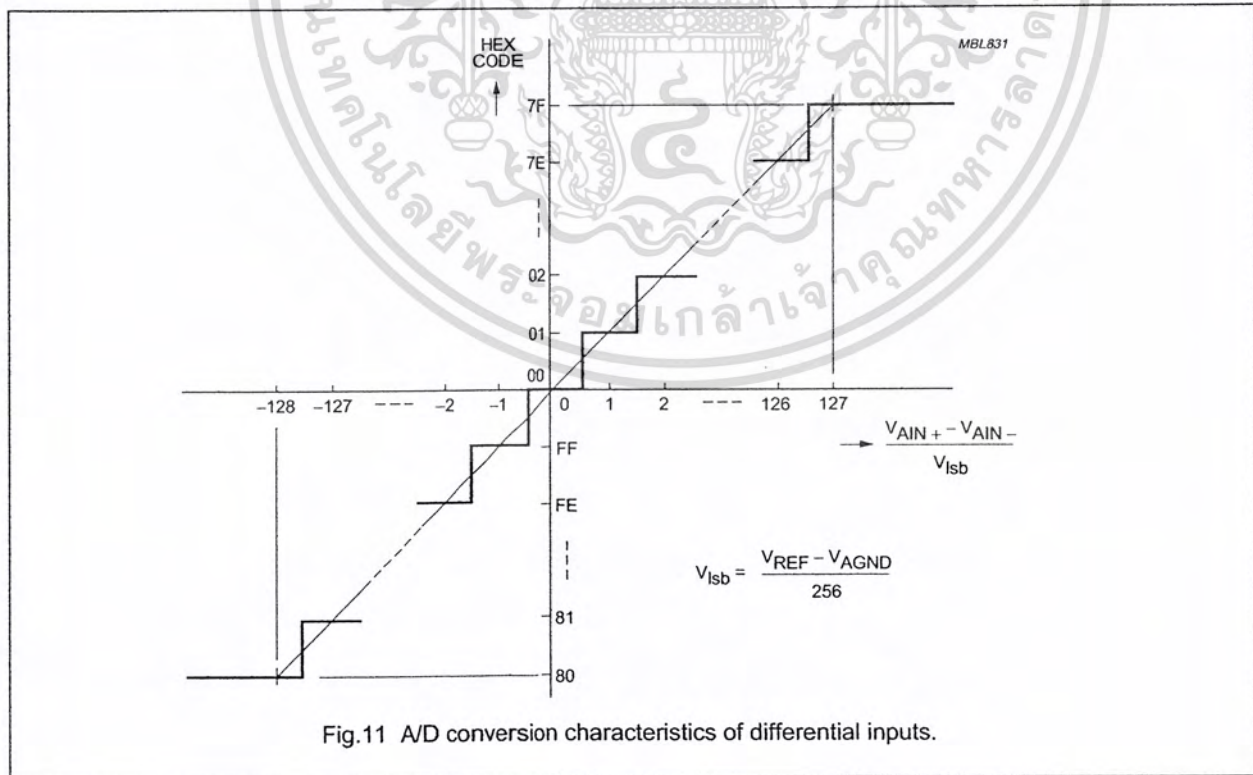
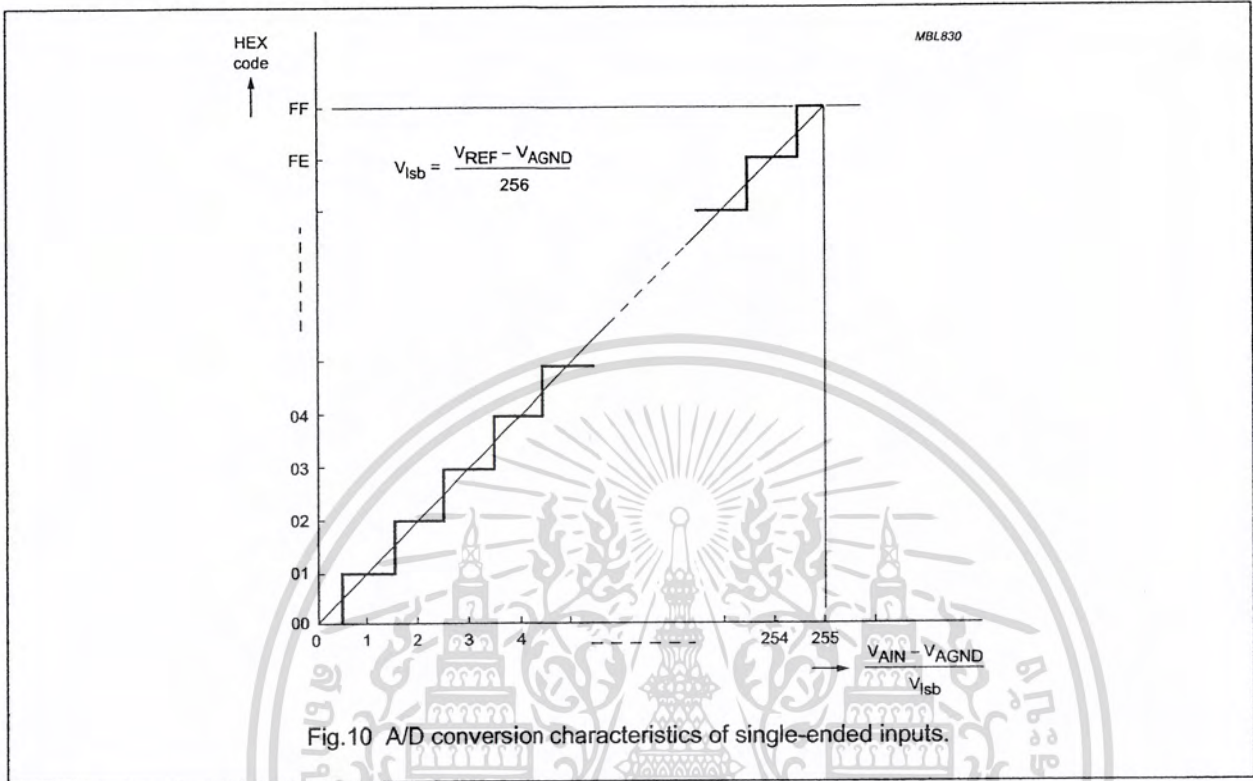


Fig.9 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



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.7.

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

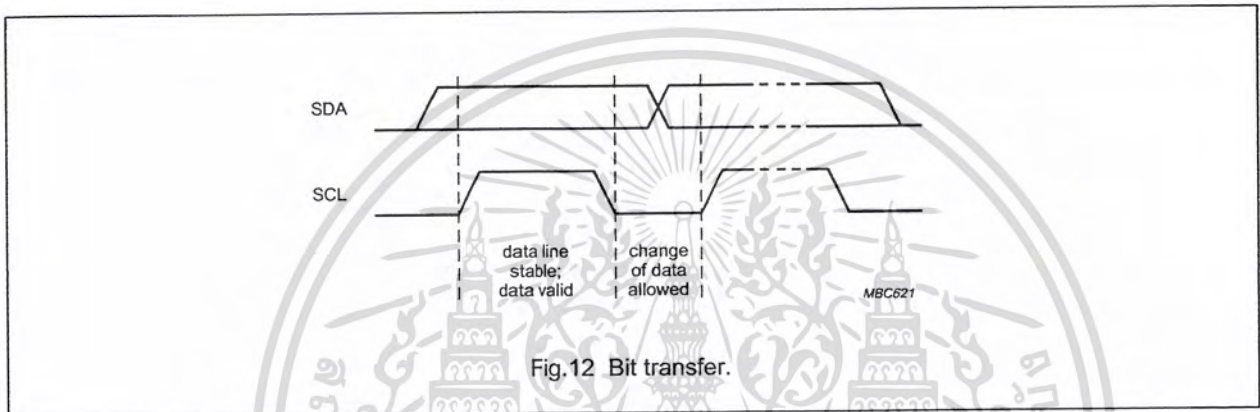
PCF8591

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.

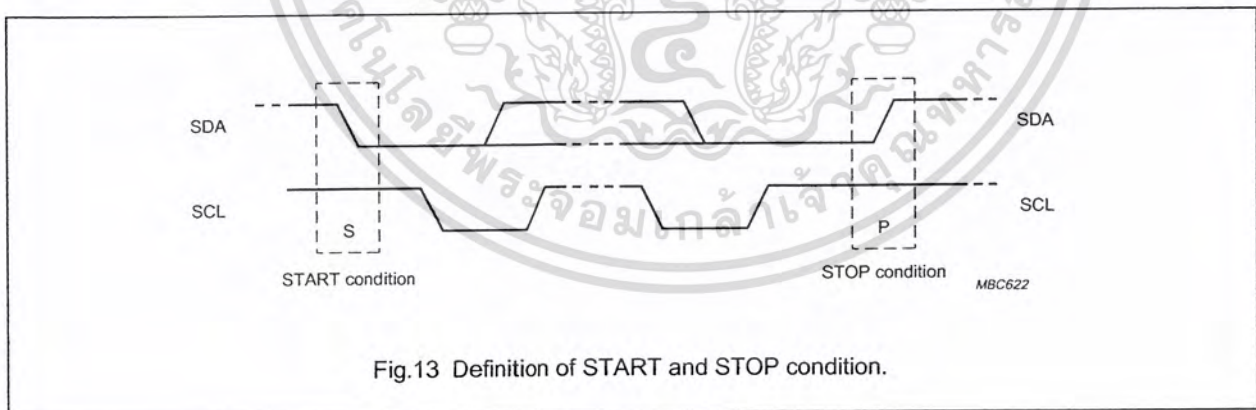
8.1 Bit transfer

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.



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).



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'.

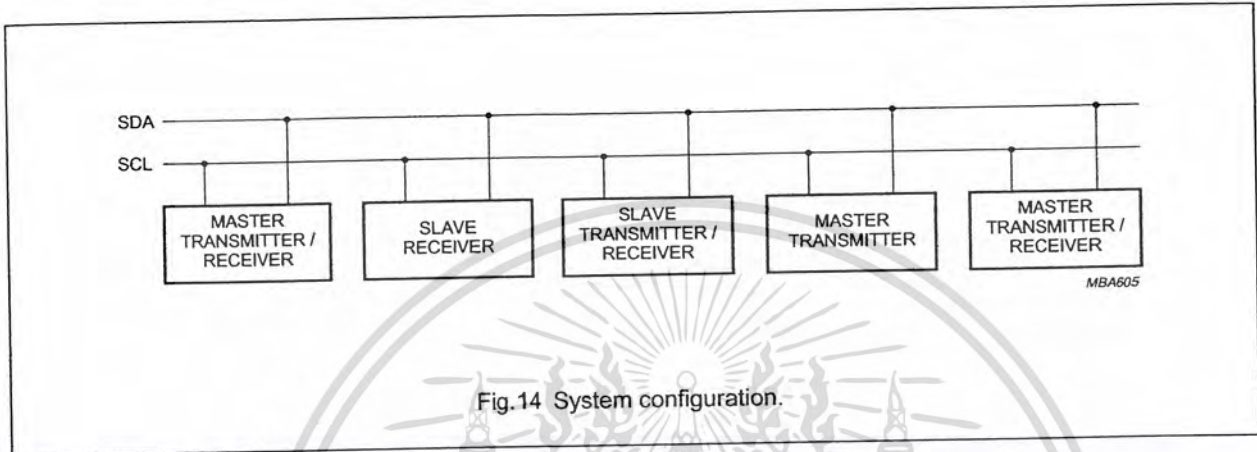


Fig.14 System configuration.

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 related 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.

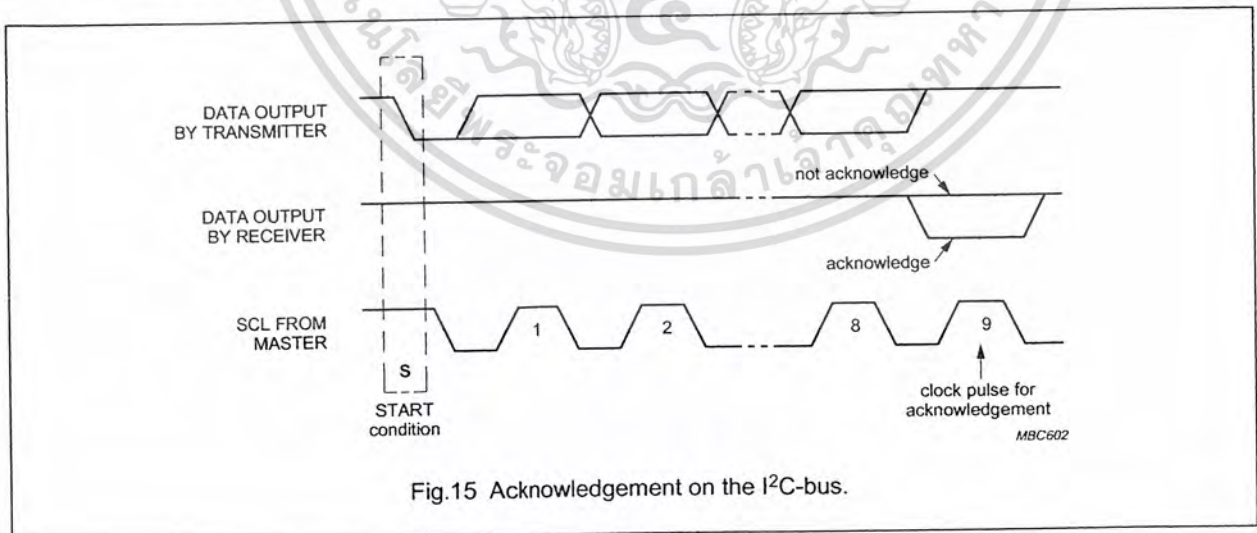


Fig.15 Acknowledgement on the I²C-bus.

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.

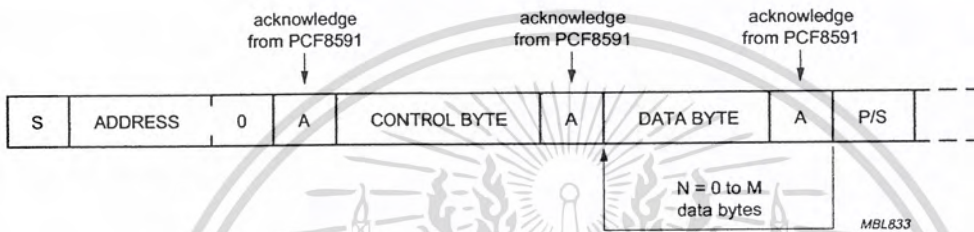


Fig.16 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

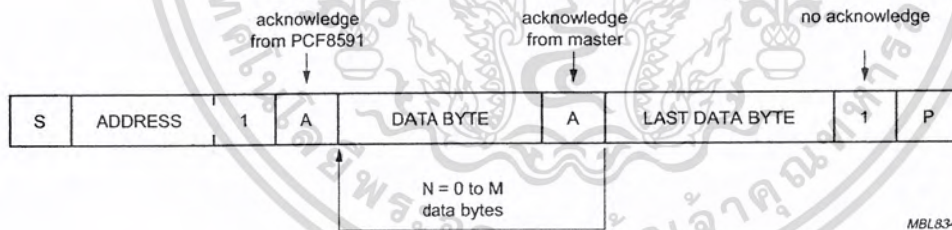


Fig.17 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

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 it is good practice to take normal precautions appropriate to handling MOS devices (see "Handling MOS devices").

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

11 DC CHARACTERISTICS

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

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

Notes

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

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

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

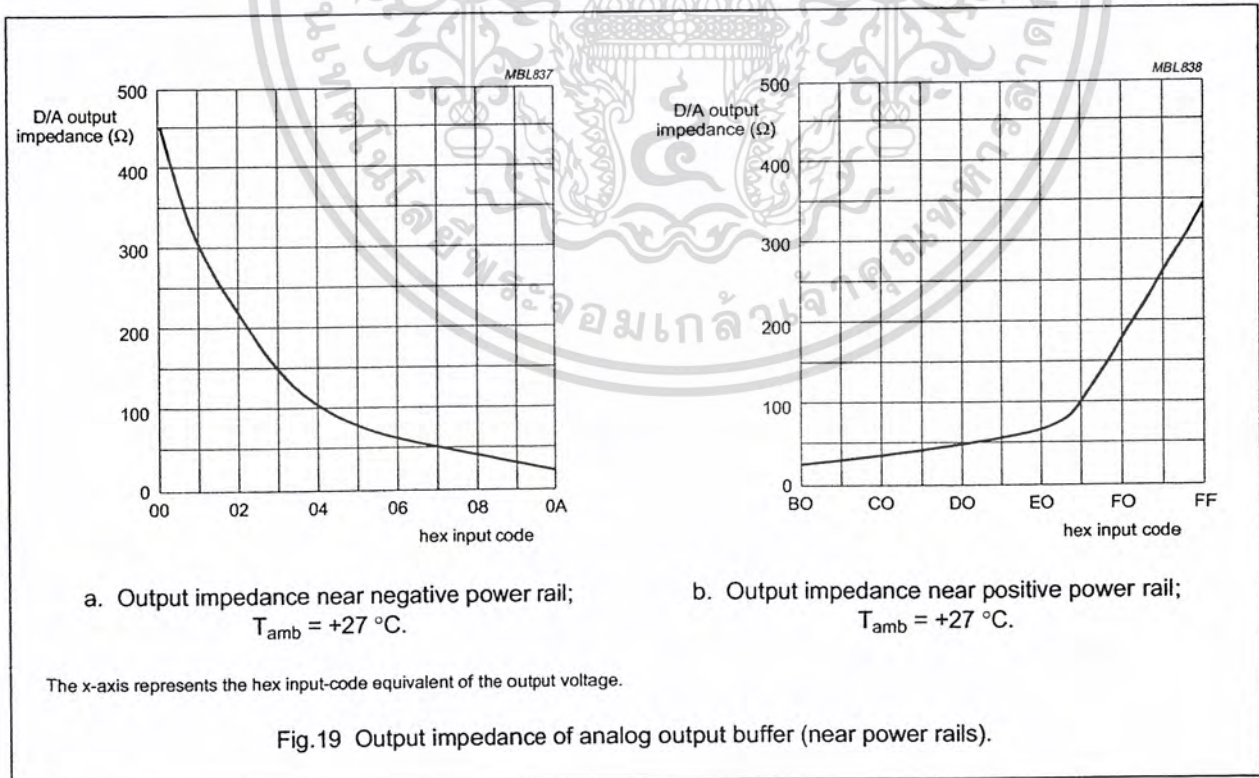
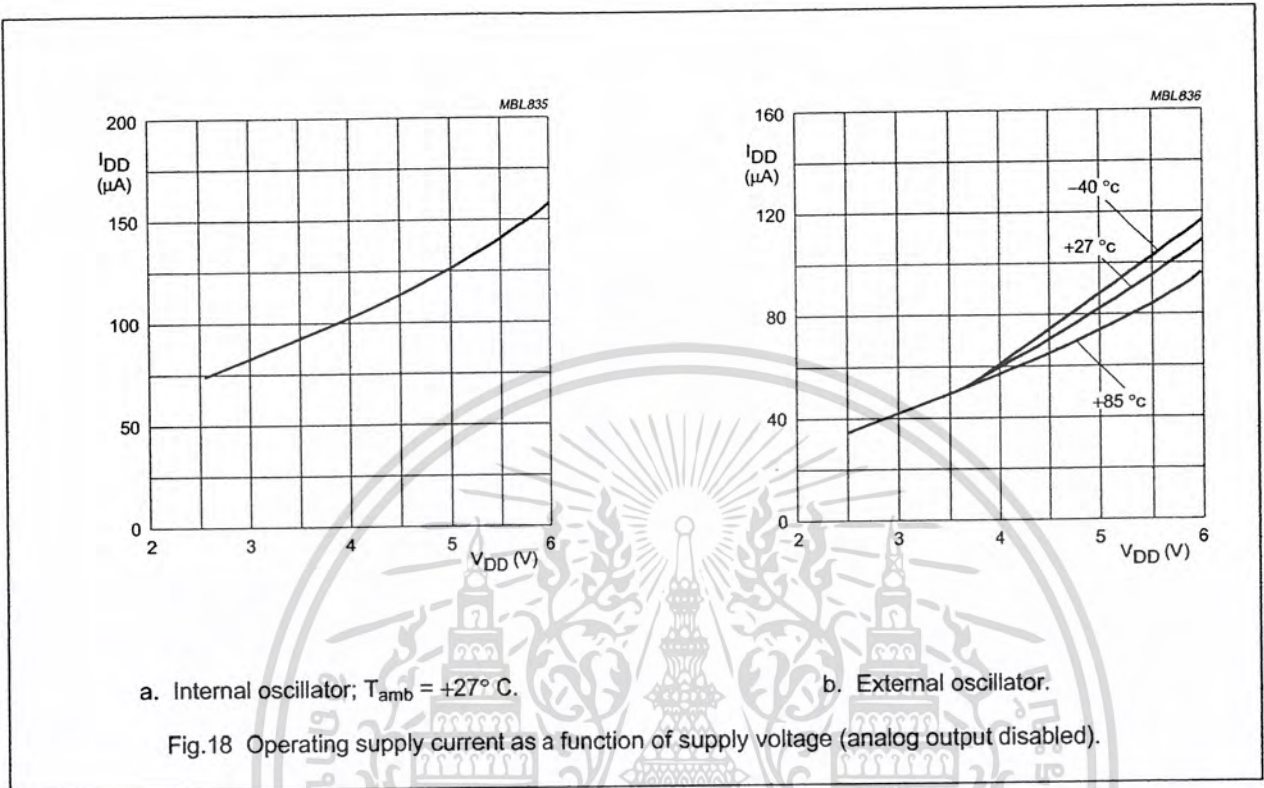
13 A/D CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_S = 10\text{ k}\Omega$; $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ 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.20; 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.

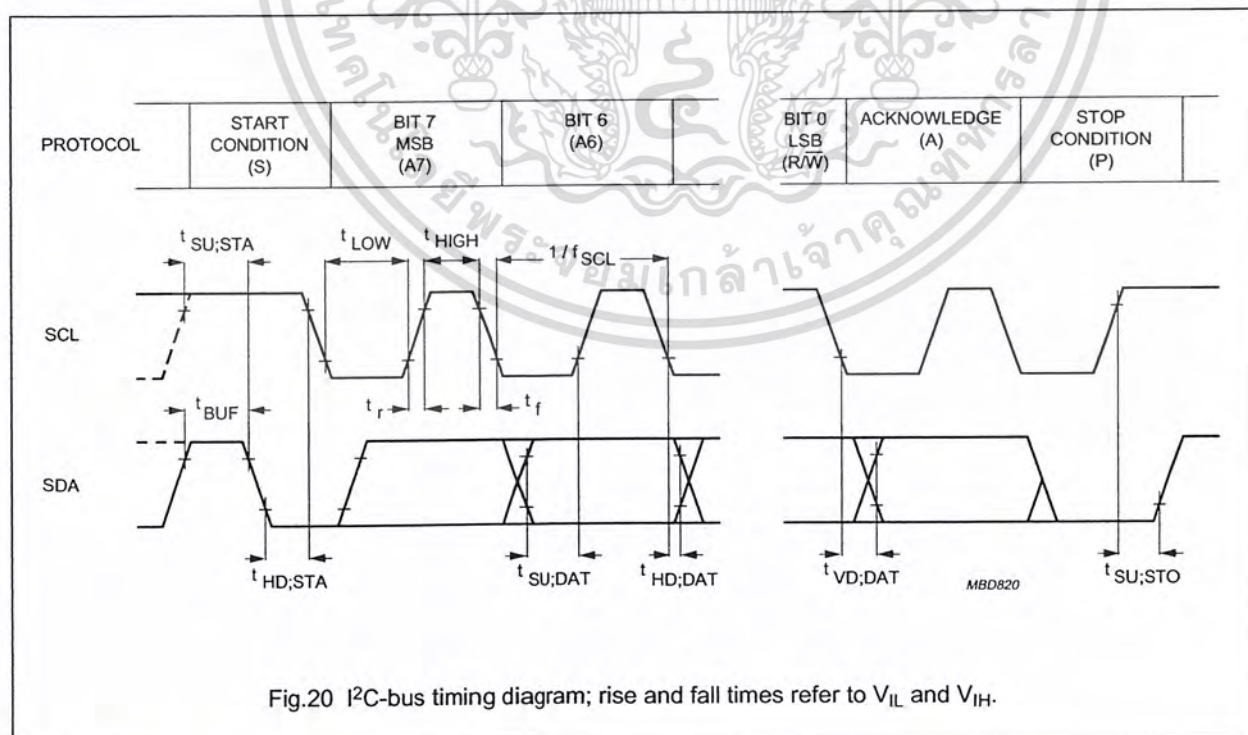


Fig.20 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH} .

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.

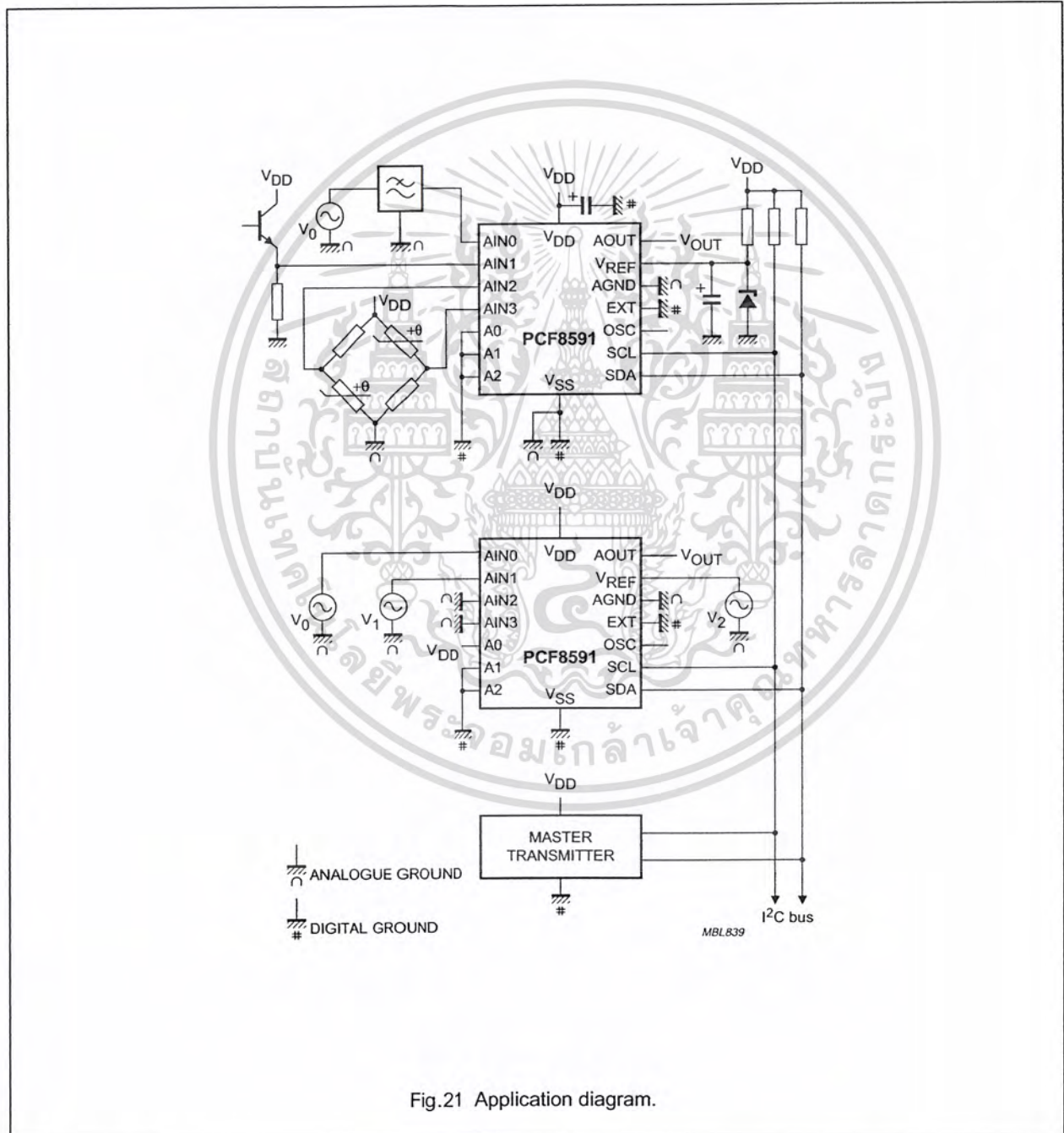


Fig.21 Application diagram.

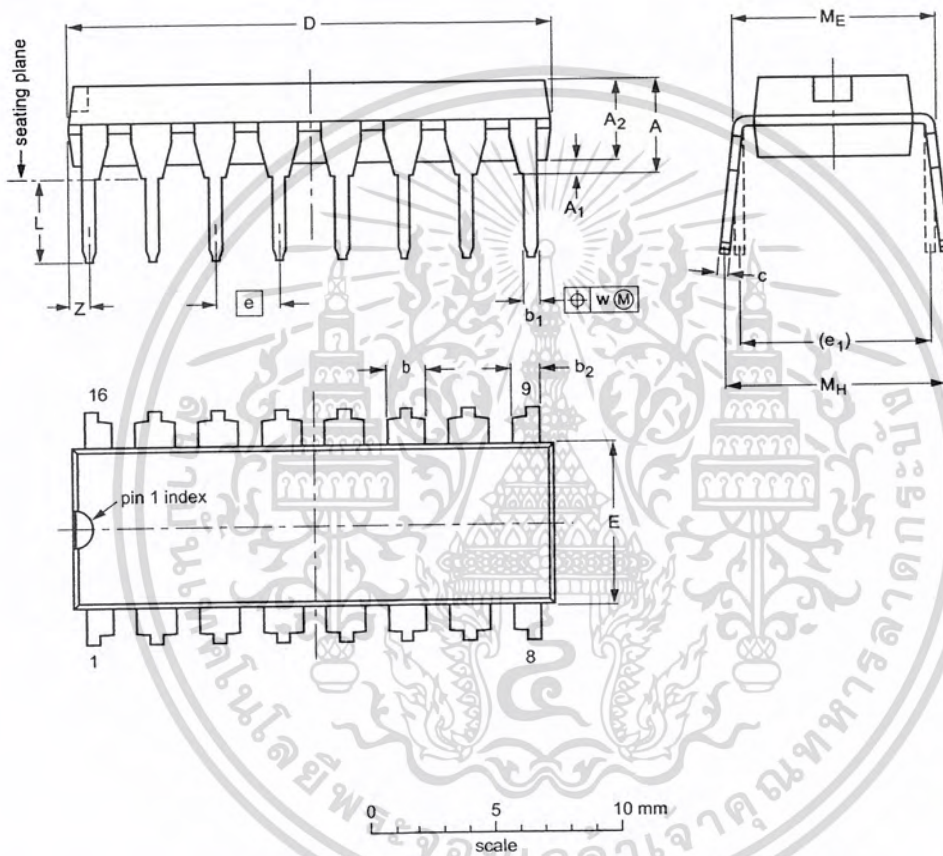
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

16 PACKAGE OUTLINES

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

SOT38-4



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

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	b ₂	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.30	0.53 0.38	1.25 0.85	0.36 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	0.76
inches	0.17	0.020	0.13	0.068 0.051	0.021 0.015	0.049 0.033	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.10	0.30	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.030

Note

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

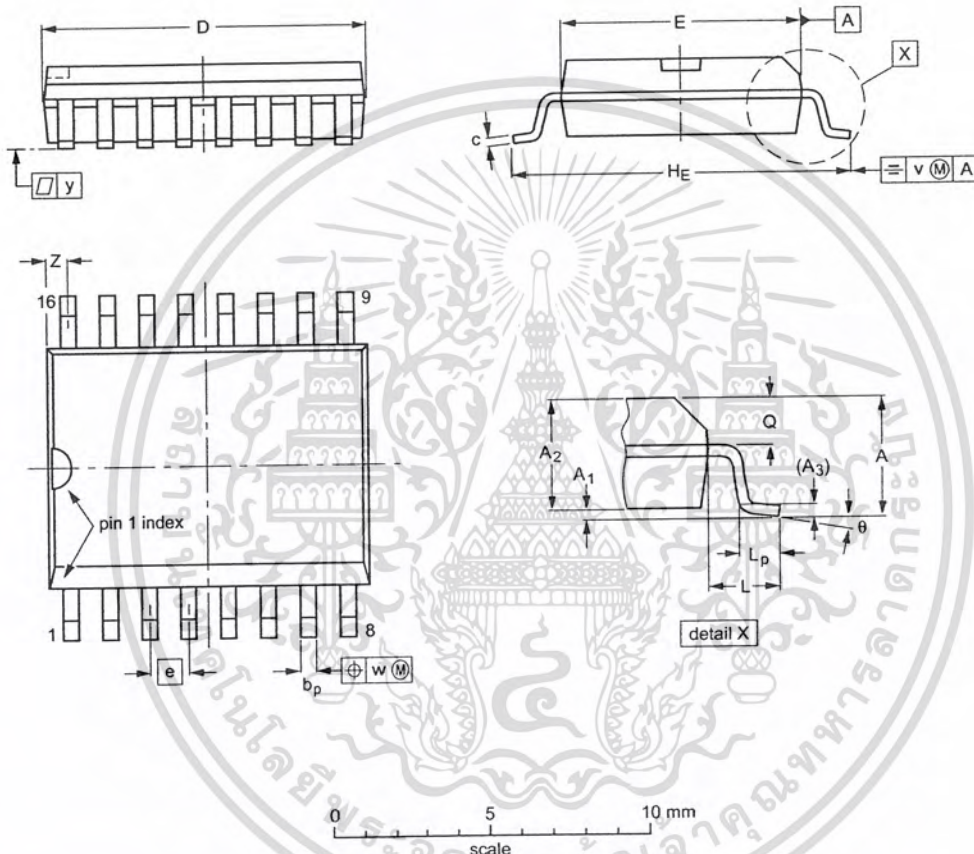
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT38-4					92-11-17 95-01-14

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-013			97-05-22 99-12-27

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

17 SOLDERING**17.1 Introduction to soldering through-hole mount packages**

This text gives a brief insight to wave, dip and manual soldering. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages" (document order number 9398 652 90011).

Wave soldering is the preferred method for mounting of through-hole mount IC packages on a printed-circuit board.

17.2 Soldering by dipping or by solder wave

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joints for more than 5 seconds.

17.4 Suitability of through-hole mount IC packages for dipping and wave soldering methods

PACKAGE	SOLDERING METHOD	
	DIPPING	WAVE
DBS, DIP, HDIP, SDIP, SIL	suitable	suitable ⁽¹⁾

Note

- For SDIP packages, the longitudinal axis must be parallel to the transport direction of the printed-circuit board.

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.

17.3 Manual soldering

Apply the soldering iron (24 V or less) to the lead(s) of the package, either 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.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

18 DATA SHEET STATUS

LEVEL	DATA SHEET STATUS ⁽¹⁾	PRODUCT STATUS ⁽²⁾⁽³⁾	DEFINITION
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

Notes

1. Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.
2. The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.
3. For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

19 DEFINITIONS

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). 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 — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

20 DISCLAIMERS

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 Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status 'Production'), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

21 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.



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

NOTES



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

NOTES



Philips Semiconductors – a worldwide company

Contact information

For additional information please visit <http://www.semiconductors.philips.com>. Fax: +31 40 27 24825
For sales offices addresses send e-mail to: sales.addresses@www.semiconductors.philips.com.



© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2003

SCA75

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

403512/06/pp28

Date of release: 2003 Jan 27

Document order number: 9397 750 10464

Let's make things better.

**Philips
Semiconductors**



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

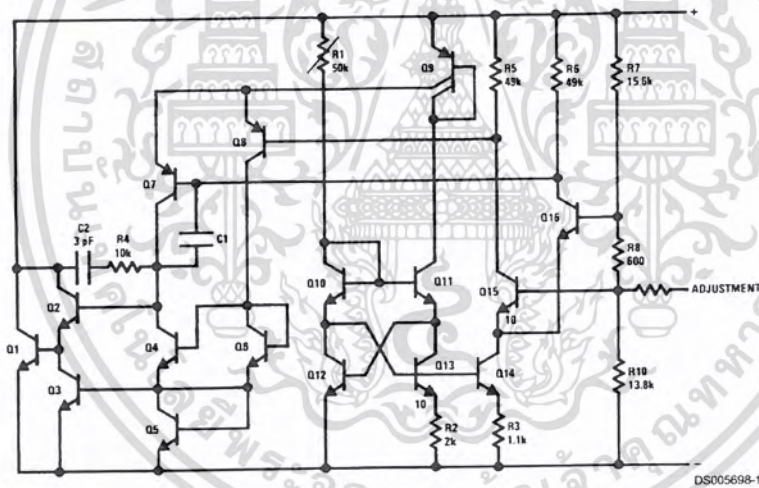
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram

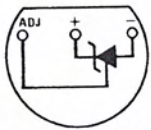


LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

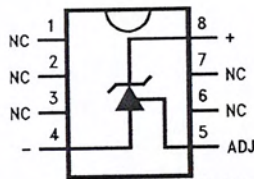
TO-92
Plastic Package



DS005698-8

Bottom View
Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package
Number Z03A

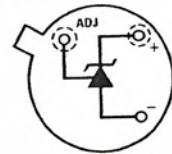
SO-8
Surface Mount Package



DS005698-25

Order Number LM335M
See NS Package
Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



DS005698-26

*Case is connected to negative pin

Bottom View
Order Number LM135H,
LM135H-MIL, LM235H,
LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package
Number H03H



Absolute Maximum Ratings (Note 4)

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

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
SO-8 Package	-65°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		260°C
TO-92 Package:		300°C
TO-46 Package:		300°C
SO-8 Package:		300°C
Vapor Phase (60 seconds):		215°C
Infrared (15 seconds):		220°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235			LM335			Units
		LM135A/LM235A			LM335A			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/khr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

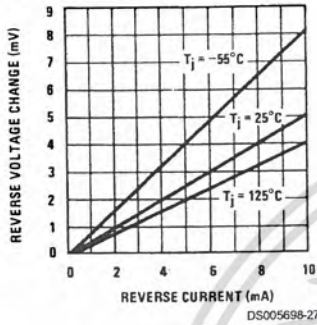
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
θ_{JC} (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

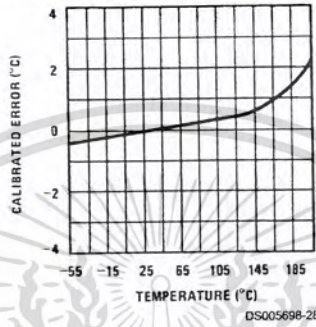
Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

Typical Performance Characteristics

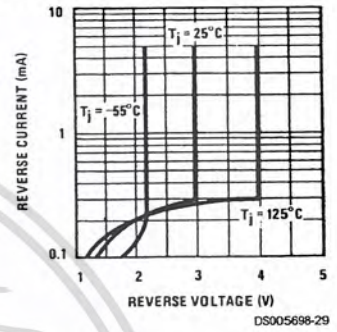
Reverse Voltage Change



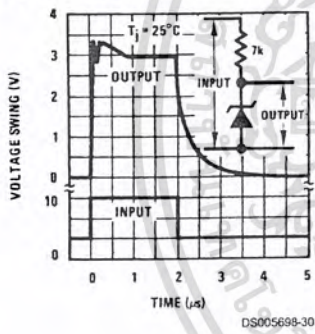
Calibrated Error



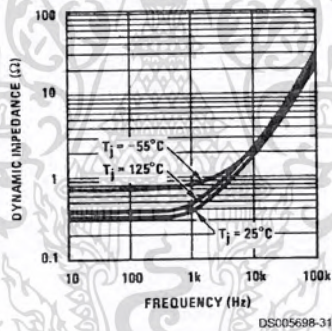
Reverse Characteristics



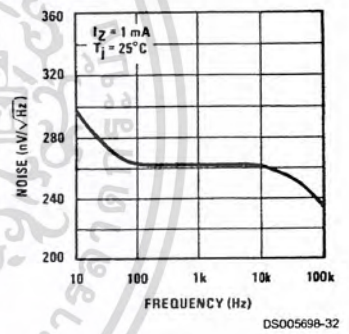
Response Time



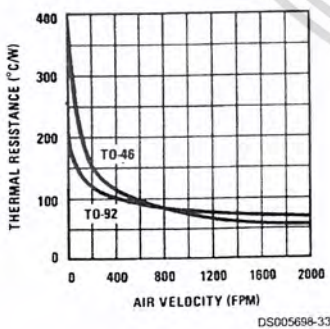
Dynamic Impedance



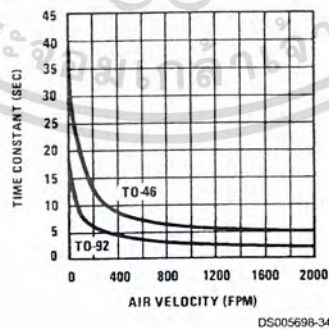
Noise Voltage



Thermal Resistance Junction to Air



Thermal Time Constant

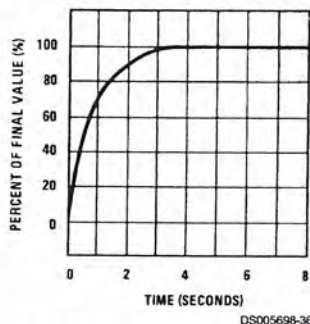


Thermal Response in Still Air

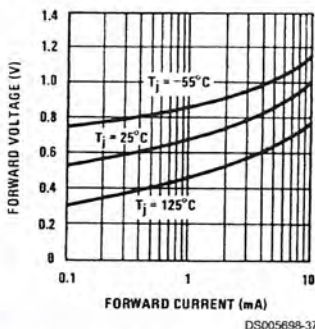


Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



Forward Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

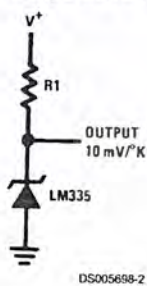
The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

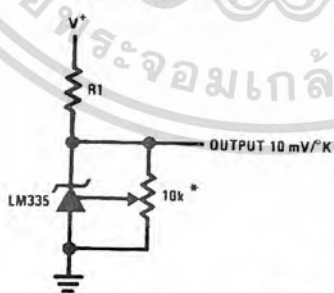
where T is the unknown temperature and T₀ is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

Typical Applications

Basic Temperature Sensor

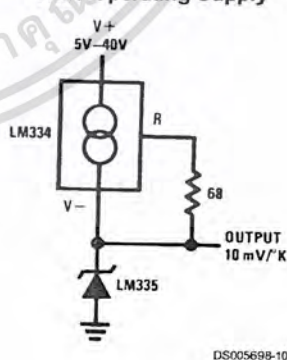


Calibrated Sensor



*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

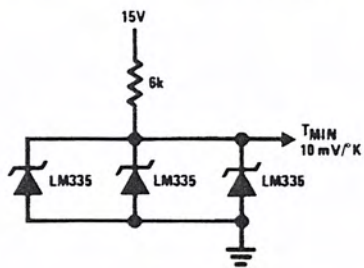
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

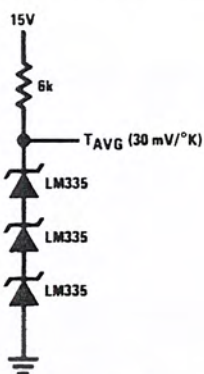
Typical Applications (Continued)

Minimum Temperature Sensing



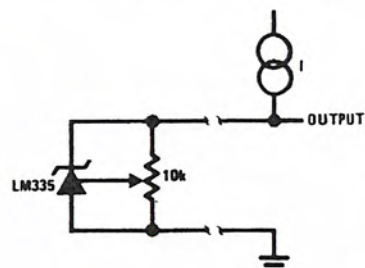
DS005698-4

Average Temperature Sensing



DS005698-18

Remote Temperature Sensing



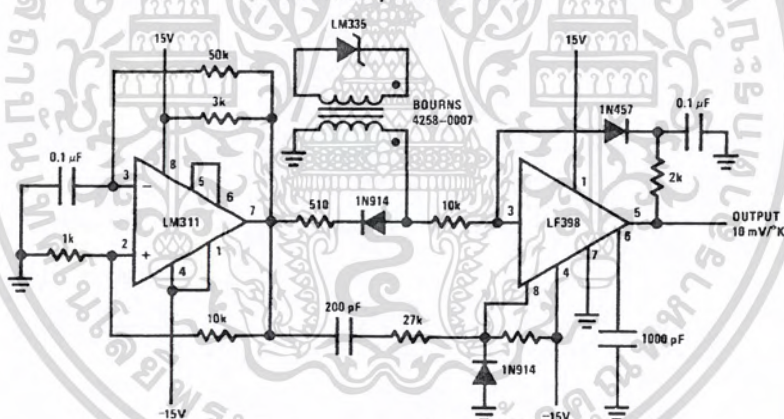
DS005698-19

Wire length for 1°C error due to wire drop

AWG	$I_R = 1$	$I_R = 0.5 \text{ mA}^*$
	mA	FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

*For $I_R = 0.5 \text{ mA}$, the trim pot must be deleted.

Isolated Temperature Sensor

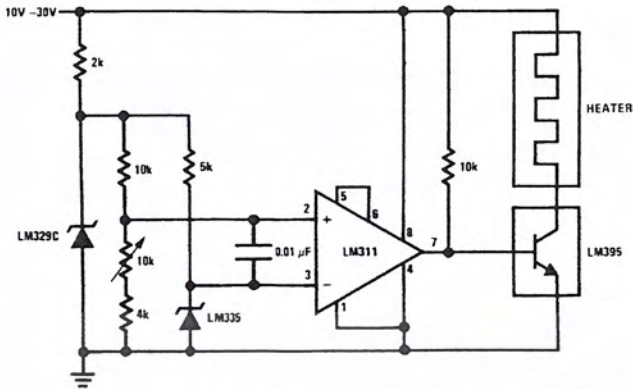


DS005698-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

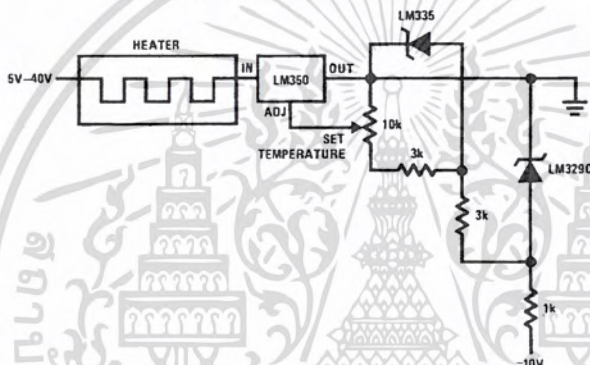
Typical Applications (Continued)

Simple Temperature Controller



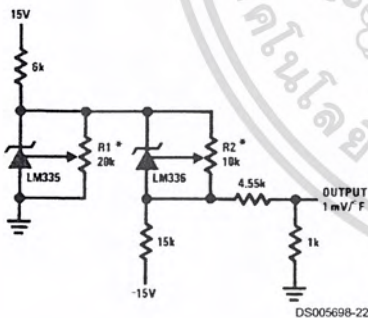
DS005698-5

Simple Temperature Control



DS005698-21

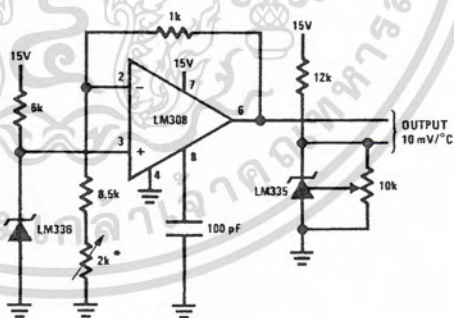
Ground Referred Fahrenheit Thermometer



DS005698-22

*Adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

Centigrade Thermometer



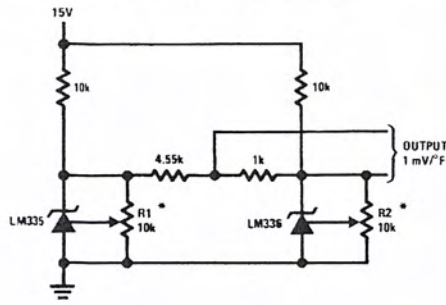
DS005698-23

*Adjust for 2.7315V at output of LM308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

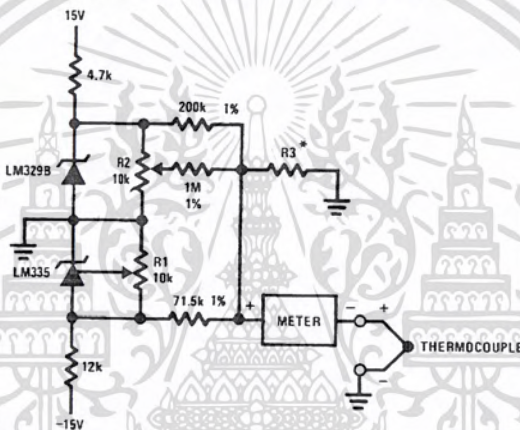
Fahrenheit Thermometer



DS005698-24

*To calibrate adjust R2 for 2.554V across LM336. Adjust R1 for correct output.

THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION
Compensation for Grounded Thermocouple



DS005698-6

*Select R3 for proper thermocouple type

THERMO- COUPLE	R3 (±1%)	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	308Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	6.4 μV/°C

Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances

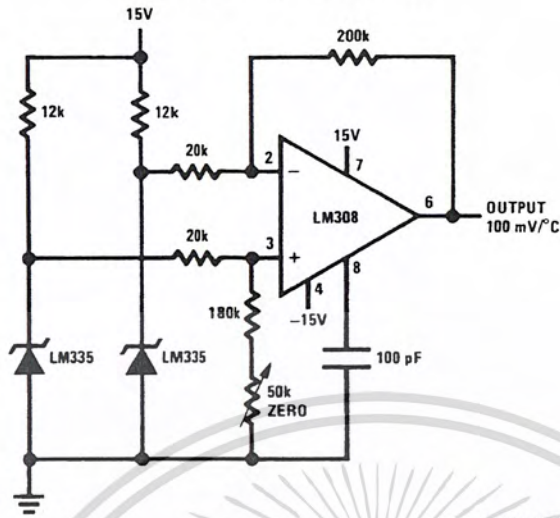
1. Short LM329B
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R3.
3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

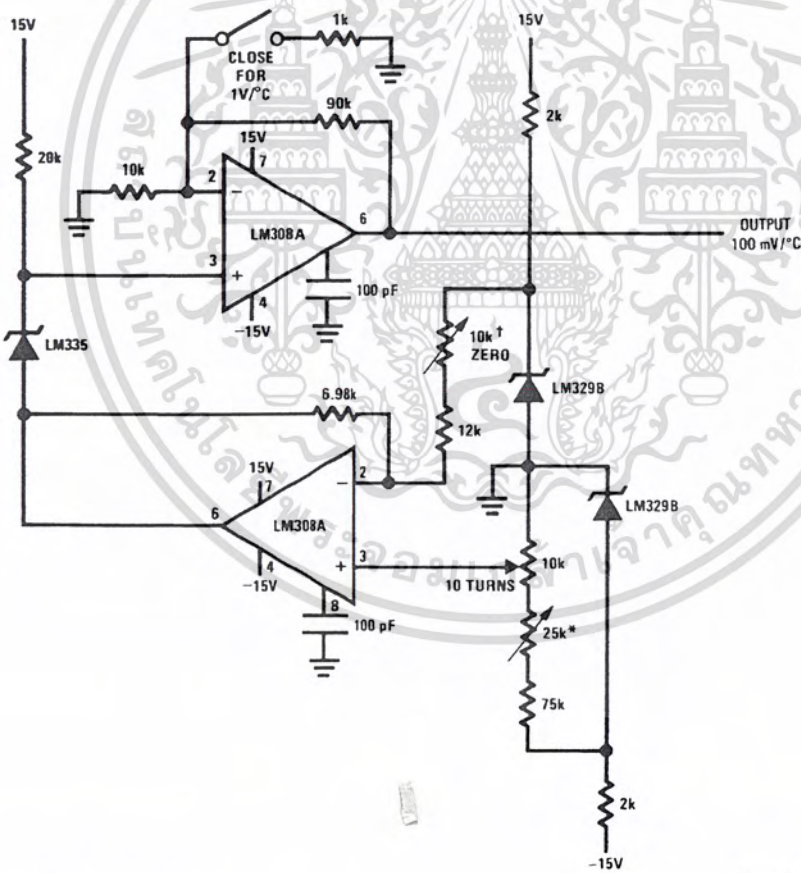
Typical Applications (Continued)

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A

Differential Temperature Sensor



Variable Offset Thermometer



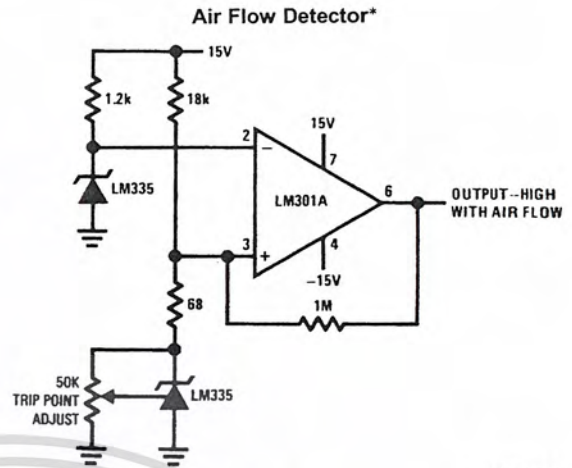
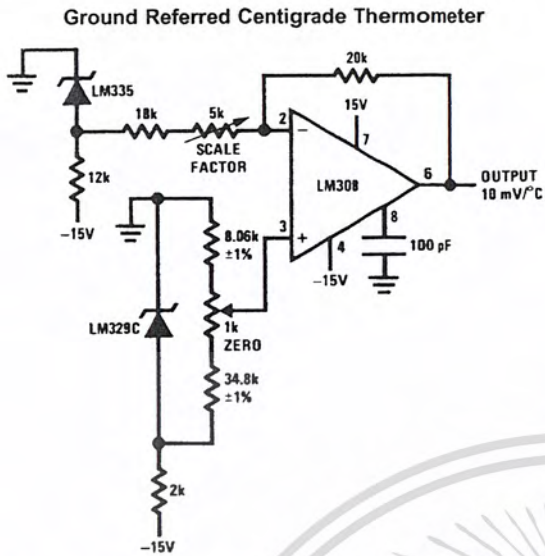
†Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T pot set at 0°C

*Adjust for zero output with 10T pot set at 100°C and sensor at 100°C

Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



*Self heating is used to detect air flow

DS005698-17

DS005698-16

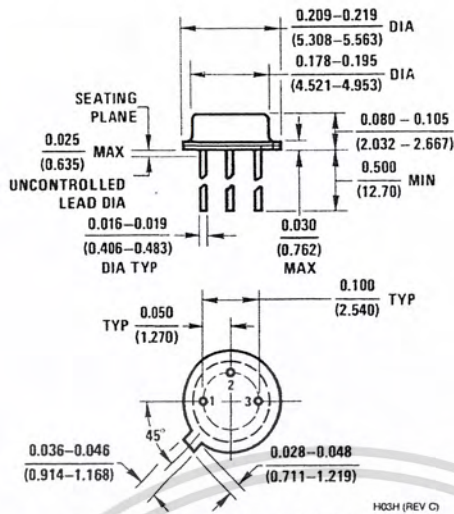
Definition of Terms

Operating Output Voltage: The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

Uncalibrated Temperature Error: The error between the operating output voltage at 10 mV/°K and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

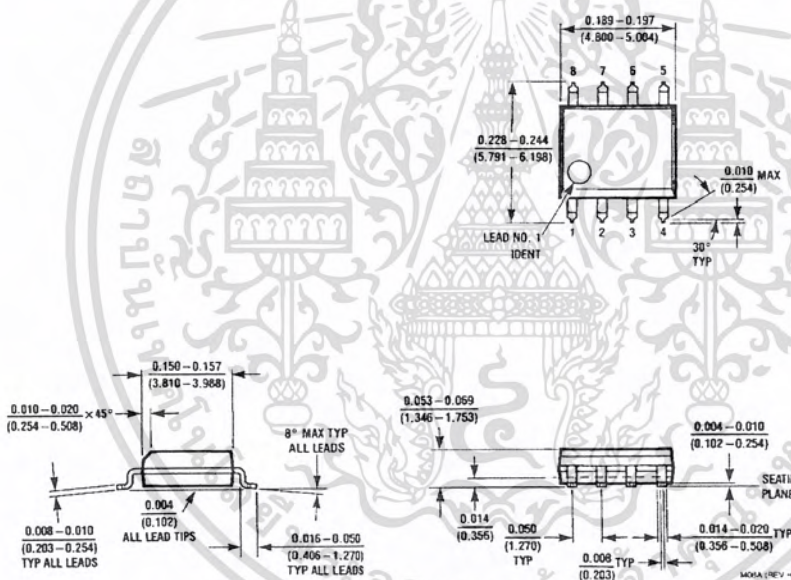
Calibrated Temperature Error: The error between operating output voltage and case temperature at 10 mV/°K over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Metal Can Package (H)

Order Number LM135H, LM235H, LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH
NS Package Number H03H

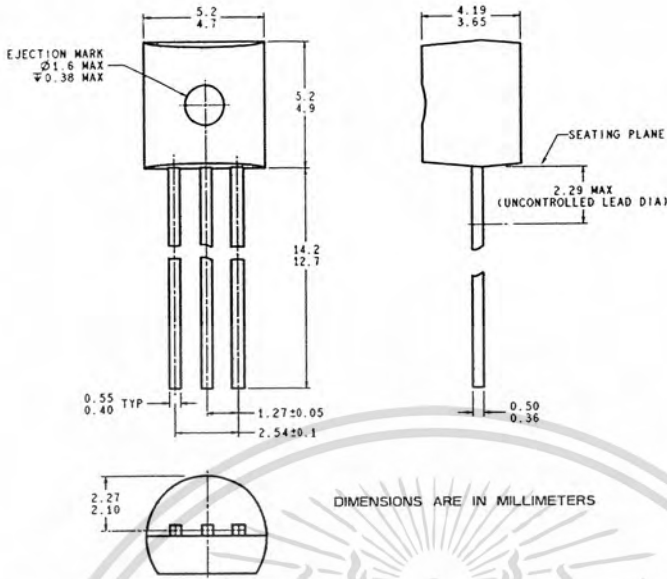


8-Lead Molded Small Outline Package (M)

Order Number LM335M
NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



Plastic Package
 Order Number LM335Z or LM335AZ
 NS Package Z03A

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
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741 Operational Amplifier

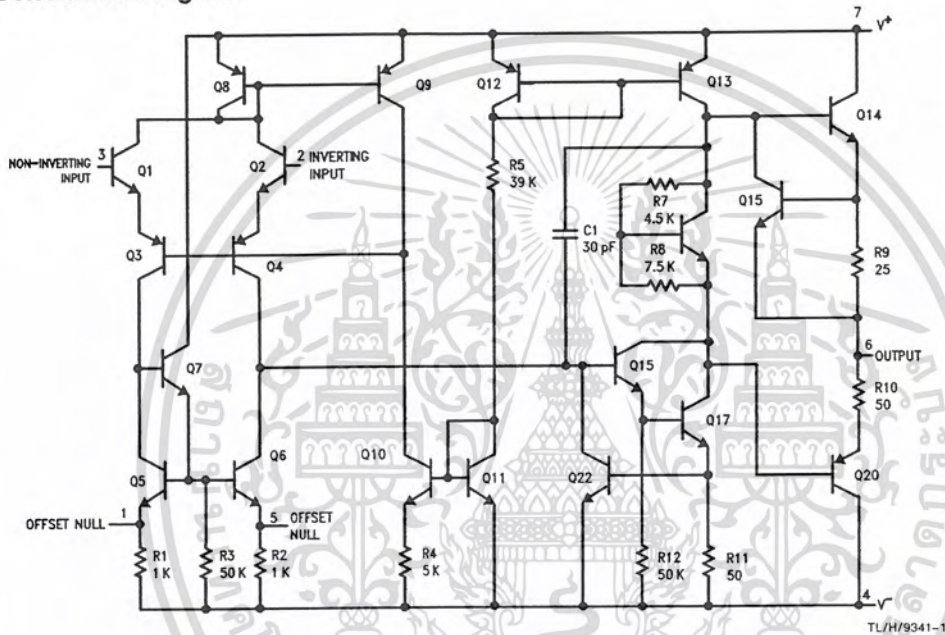
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

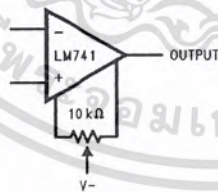
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

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

Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications. (Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/ $^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$, $V_S = \pm 20\text{V}$		0.5								M Ω
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$		50			50	200		20	200	V/mV V/mV
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$										V/mV V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$				25				15		V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$										V/mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$	± 16 ± 15									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$				± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ C$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10 10	25	35 40		25			25		mA mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10 k\Omega, V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10 k\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ C$, Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		μs %
			0.437	1.5							MHz
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ C$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ C$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ C$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ C$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW mW
	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135							mW mW
LM741A	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

Note 1: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_J max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 2: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 4: Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time(μs).

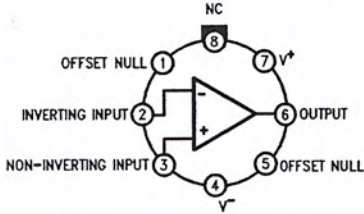
Note 5: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

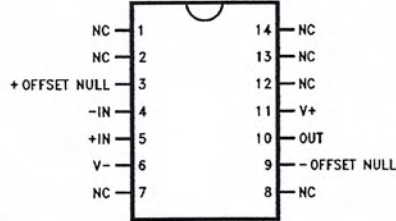
Metal Can Package



TL/H/9341-2

Order Number LM741H, LM741H/883*,
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Ceramic Dual-In-Line Package



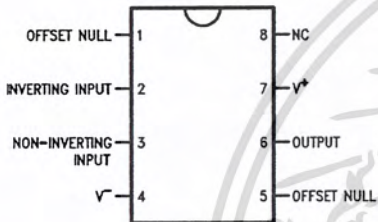
TL/H/9341-5

Order Number LM741J-14/883*, LM741AJ-14/883**
See NS Package Number J14A

*also available per JM38510/10101

**also available per JM38510/10102

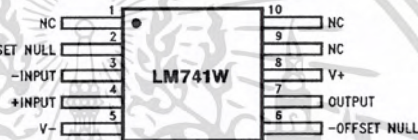
Dual-In-Line or S.O. Package



TL/H/9341-3

Order Number LM741J, LM741J/883,
LM741CM, LM741CN or LM741EN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak



TL/H/9341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

*LM741H is available per JM38510/10101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้