

อุตุนิยมวิทยาสำหรับโรงงาน
METEOROLOGY FOR FACTORY



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...50422...
วัน,เดือน,ปี13 พ.ศ. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2545 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METEOROLOGY FOR FACTORY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2002

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท อุดมศึกษาสำหรับโรงงาน
METEOROLOGY FOR FACTORY

นักศึกษาผู้จัดทำ นายปฏิภาณ ทวีทรัพย์ รหัสประจำตัว 43015568
นายสถาพร เสวกทรัพย์ รหัสประจำตัว 43015591
นายอภิชาติ บัวคำ รหัสประจำตัว 43015600

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2545

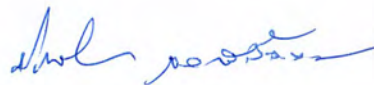
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท นายสายมือชื่อ

รศ. วิริยะ กองรัตน์

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2546

สถานที่สอบ ณ ห้องปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อุตุนิยมวิทยาสำหรับโรงงาน METEOROLOGY FOR FACTORY	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปฏิภาณ	ทวีทรัพย์
	นายสถาพร	เสวกทรัพย์
	นายอภิชาติ	บัวดำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิริยะ	กองรัตน์
ปีการศึกษา	2545	

บทคัดย่อ

ในทางอุตุนิยมวิทยาลักษณะทางกายภาพของธรรมชาติที่เกิดขึ้น เป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากในการศึกษาด้านนี้ และพยายามหาวิธี ที่เหมาะสม ในการบันทึกลักษณะทางกายภาพ เหล่านี้ไว้เพื่อใช้ในการพยากรณ์ ลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นและ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ที่อาจเกิดขึ้น เช่น การวัดความเร็วลม การวัดทิศทางลม การวัดอุณหภูมิ การวัดปริมาณน้ำฝน เป็นต้น โดยจะมีการนำเอาขบวนการ ทางวิศวกรรมเข้ามาประยุกต์ใช้งาน ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น นำค่าที่วัดไปวิเคราะห์เพื่อใช้ในการจัดการระบบโรงงาน อย่างเช่น การจัดเก็บสินค้าการปฏิบัติงาน อาจใช้ในกรณีป้องกันหรือ อำนวยความสะดวกด้านความปลอดภัย ในการปฏิบัติงานเหล่านี้

ปริญญานิพนธ์นี้ ได้นำเอาการสื่อสารแบบอนุกรมผ่านระบบ บิต I²C มาประยุกต์ใช้กับการวัดความเร็วลม การวัดทิศทางลม การวัดอุณหภูมิและการวัดปริมาณน้ำฝน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาเก็บไว้ ในหน่วยความจำ ในการเก็บข้อมูล จะทำการเก็บข้อมูล เทียบกับเวลาจริง ผลที่ได้จะนำไปแสดงบนคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยโปรแกรม Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Meteorology For Factory
Authors Mr. Patipan Tawesap
Mr. Stapon Svagsap
Mr. Apichart Boudam
Thesis Advisor Assoc.Prof. Viriya Khongratana
Year 2002

ABSTRACT

In the Meteorology the natural is very important. In the study this natural and how to develop method that to use measure. The Meteorology that happen such as temperature wind direction , wind speed , rain amount ect. The Meteorology can be developed and used in factory.

This thesis have used I²C Bus system to develop with Meteorology. Moreover, the Meteorology consists of Temperature measurement ,Wind direct measurement , Wind speed measurement and Rain gauge measurement. We have taken the data that we have been measured come to record in memory system the data have compared with present time and have shown on computer by visual basic program. The data will keep in database.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์
วิริยะ กองรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
ในการทำปริญญาบัตร ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านและเพื่อนๆ นักศึกษา ทุกคน
ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่และคุณพ่อ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุน
และเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการทำวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิ การวัดทิศทางลม การวัดความเร็วลม และการวัดปริมาณน้ำฝน.....	3
2.1 การวัดอุณหภูมิ (Temp Measurement).....	3
2.1.1 หน่วยวัดอุณหภูมิ (Temperature scale).....	3
2.1.2 การวัดอุณหภูมิ (measurement of temperature).....	3
2.1.3 นิยามศัพท์ที่ใช้เรียกอุณหภูมิ.....	7
2.1.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ.....	9
2.2 การวัดทิศทางลม (Wind Direction).....	9
2.2.1 การวัดลมผิวพื้น.....	9
2.2.2 การวัดทิศทางลม.....	9
2.2.3 เครื่องบันทึกรายงานและหน้าปัทม์ทิศทางลม.....	11
2.2.4 การกะประมาณทิศทางลม.....	12
2.2.5 แบบของศรลม.....	12
2.3 การวัดความเร็วลม (Wind Speed).....	13
2.3.1 วิธีที่วัดด้วยเครื่องมือ.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 หน่วยที่ใช้ในการวัด.....	14
2.3.3 เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้อากาศระดก.....	14
2.3.4 เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้ลูกถ้วยและใบพัด.....	15
2.3.5 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด.....	16
2.3.6 เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้ความกด.....	17
2.3.7 ทฤษฎีของเครื่อง.....	20
2.4 การวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge measusement).....	22
2.4.1 หน่วยที่ใช้ในการวัด (Units of measurement).....	22
2.4.2 การวัดจำนวนน้ำฝน (Rainfall measurement).....	22
2.4.3 การวัดฝน (Rain measure).....	23
2.4.4 การติดตั้งเครื่องมือ (Exposure).....	23
2.4.5 การบำรุงรักษา (Maintenance).....	24
2.4.6 การตรวจวัดฝน (rainfall miasurement).....	24
2.4.7 ประเภทของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้.....	25
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....	30
3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล.....	30
3.1.1 การสื่อสารแบบอนุกรม.....	30
3.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232.....	32
3.2.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ.....	32
3.2.2 คอนโทรล MSComm.....	35
3.2.3 รูปแบบการใช้งาน.....	35
3.2.4 รูปแบบการใช้งาน.....	35
3.3 การขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยอุปกรณ์ระบบบัส I ² C.....	37
3.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I ² C.....	37
3.3.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I ² C.....	39
3.3.3 หลักการของบัส I ² C.....	40
3.3.4 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I ² C.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การทำงานบนบัส I ² C.....	42
3.3.6 การต่ออุปกรณ์ระบบบัส I ² C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	44
3.3.7 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I ² C.....	46
3.3.8 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยไอซี PCF8574A.....	46
3.3.9 การเขียนโปรแกรมควบคุม PCF8574A.....	48
3.4 การเข้าถึงข้อมูลด้วย ADO Data Control.....	49
3.4.1 การนำเอา ADO Data Control มาใช้งาน.....	49
3.4.2 ขั้นตอนในการใช้ ADO Data Control เพื่อติดต่อกับข้อมูล.....	50
3.4.3 การนำเสนอบัญชีข้อมูลด้วย Bound Control.....	52
3.4.4 รูปแบบในการอ้างถึง Property และ Method ของ ADO Data Control.....	52
3.4.5 การเพิ่มข้อมูลให้กับ ADO Data Control.....	53
3.4.6 การบันทึกข้อมูลลงใน ADO Data Control.....	53
3.4.7 การลบข้อมูลออกจาก ADO Data Control.....	53
3.4.8 การแสดงตำแหน่งของ Record ใน ADO Data Control.....	54
3.4.9 การแสดงจำนวนของ Record ใน ADO Data Control.....	54
3.4.10 การเลื่อนตำแหน่งของ Record ใน ADO Data Control.....	54
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา.....	55
4.1 กล่าวนำ.....	55
4.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Meter).....	58
4.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ.....	58
4.2.2 การทำงานของ DS 1621.....	60
4.3 เครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter).....	62
4.3.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ.....	62
4.4 เครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter).....	68
4.4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ.....	68
4.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน(Rain Gauge Meter).....	75
4.5.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	82
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	81
5.1 กล่าวนำ.....	81
5.2 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Meter).....	82
5.3 ผลการทดลองเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter).....	84
5.4 ผลการทดลองเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter)	87
5.5 ผลการทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain Gauge Meter)	90
5.6 สรุปผลการทดลอง.....	92
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	93
6.1 บทสรุป	93
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	93
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงเลขรหัสทัศนับเป็นองศาจริง และป้อยท์ของเข็มทิศ.....	11
2.2 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการวัดลม.....	14
2.3 แสดงการรายงานประเภทฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา.....	29
3.1 แสดงการจัดฉากคอนเน็คเตอร์พอดร่อนุกรมตามแบบมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9.....	33
3.2 แสดงค่ามาตรฐานในการกำหนดค่าพาริตีมีดังนี้.....	36
4.1 แสดงการกำหนด Address ของเครื่องวัดแต่ละตัว.....	56
4.2 แสดงหน้าที่การทำงานของขาต่างๆ ของไอซีวัดอุณหภูมิ.....	59
4.3 แสดงรูปแบบข้อมูลดิจิตอลตัวอย่างของอุณหภูมิที่วัดได้จาก DS1621.....	60
5.1 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดทิศทางลม.....	85
5.2 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลม.....	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา.....	4
2.2 แสดงเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิคนไข้.....	4
2.3 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสูงสุด.....	5
2.4 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุด.....	5
2.5 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุดที่ยอดหญ้า.....	6
2.6 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิใต้ดิน.....	6
2.7 แสดงเทอร์โมกราฟแบบโลหะประกอบ.....	7
2.8 แสดงสครลมแบบต่างๆ.....	13
2.9 แสดงเครื่องวัดลมแบบแผ่นกระดาษ.....	15
2.10 แสดง เครื่องวัดความเร็วลมชนิดลูกถ้วย 3 ใบและหน้าปัทม์แสดงผล.....	16
2.11 แสดงเครื่องวัดลมแบบใช้ลูกถ้วยชนิดต่างๆ.....	17
2.12 แสดงเครื่องวัดลมแบบเอโรเวน.....	18
2.13 แสดงเครื่องบันทึกรายงาน(Recorder).....	19
2.14 แสดงเครื่องวัดลมแบบไดน์.....	20
2.15 แสดง Splayed-Base Rain Gauge R001.....	25
2.16 แสดง Cylindrical Rain Gauge R003.....	26
2.17 แสดง Measuring Jars.....	27
2.18 แสดง เครื่องวัดการตกของฝนแบบคานกระดาษ (Tipping Bucket Rain Gauge R100 Series).....	27
2.19 แสดง Tilting Siphon Rain Gauge Temperate Model R200.....	28
3.1 แสดงรูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลแบบอนุกรม.....	30
3.2 แสดงรูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส.....	31
3.3 แสดงการจัดขาคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามแบบมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB -25.....	32
3.4 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ.....	35
3.5 แสดงผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ บนระบบบัส I ² C.....	38
3.6 แสดงวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัส I ² C.....	38
3.7 แสดงการต่อตัวต้านทาน पुल์อัปบนสายสัญญาณในระบบบัส I ² C.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 แสดงการต่อตัวต้านทาน R_x เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I ² C.....	40
3.9 แสดงไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่าง ๆ ในบัส I ² C.....	42
3.10 แสดงรูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิต.....	42
3.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บัส I ² C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิต.....	43
3.12 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บัส I ² C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต.....	43
3.13 แสดงวงจรตัวอย่างการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ระบบบัส I ² C.....	44
3.14 แสดงการจัดการของไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต PCF8574/PCF8574A.....	47
3.15 แสดงการกำหนดแอดเดรสของ PCF8574A.....	48
3.16 แสดงการนำเอา ADO Data Control มาใช้ภายในโปรแกรม.....	49
3.17 แสดงปุ่มสำหรับเลื่อน Pointer ของ Record.....	49
3.18 แสดง Property Pages สำหรับติดต่อข้อมูล.....	50
3.19 แสดง Property Pages สำหรับกำหนดรูปแบบข้อมูล.....	51
4.1 แสดงเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา.....	55
4.2 แสดงโฟรชาสต์ (Flow chart) การทำงานของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา.....	56
4.3 แสดงการต่อ I ² C เข้ากับอุปกรณ์ภายนอก.....	57
4.4 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	57
4.5 แสดงการจัดการและการทำงานของ DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล.....	58
4.6 แสดงผังการทำงานเบื้องต้นโดยรวมของ DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล.....	59
4.7 แสดงการต่อวงจรใช้งานของ DS1621.....	60
4.8 แสดงเครื่องวัดทิศทางลม.....	61
4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter).....	61
4.10 แสดงหลักการการทำงานของ ตัววัดทิศทางลม (Wind direction).....	63
4.11 แสดงตัวอย่างโพเทนชิโอมิเตอร์ที่เคลื่อนที่ในลักษณะเส้นตรงพร้อมสัญลักษณ์การต่อ.....	64
4.12 แสดงวงจรการต่อใช้งาน Potentiometer.....	64
4.13 แสดงการทำงานของวงจรวัดทิศทางลม.....	65
4.14 แสดงเครื่องวัดความเร็วลม.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter).....	67
4.16 แสดงการหาค่าแรงบิดในแนวแกน โดยการคิโมเมนต์รอบแกนหมุน.....	68
4.17 แสดง D.C. Techometer.....	69
4.18 แสดง A.C. Techometer.....	70
4.19 แสดงจาก A.C. Techometer Generator	71
4.20 แสดงการต่อวงจรของเครื่องวัดความเร็วลม.....	72
4.21 แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน.....	73
4.22 แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยอาศัยหลักการของไซฟอน (Siphon)	74
4.23 แสดงลักษณะของไซฟอน.....	75
4.24 แสดงรูปร่างของตัว Sensor.....	76
4.17 แสดง Rain Gauge Flow Diagram	77
4.18 แสดง Sub Function of Read Write data with I ² C bus ของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน.....	78
4.19 แสดงวงจรการทำงาน of เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน.....	79
5.1 แสดงหน้าจอหลักของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา.....	81
5.2 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Meter).....	82
5.3 แสดงการเก็บค่าอุณหภูมิในรูปของ Database.....	83
5.4 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter).....	84
5.5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของเครื่องวัดทิศทางลม.....	86
5.6 แสดงการเก็บค่าข้อมูลของทิศทางลมในรูปของ Database.....	86
5.7 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter).....	87
5.8 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของเครื่องวัดความเร็วลม.....	89
5.9 แสดงการเก็บข้อมูลของความเร็วลมในรูปของ Database.....	89
5.10 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain Gauge Meter)	90
5.11 แสดงการเก็บค่าข้อมูลของปริมาณน้ำฝนในรูปของ Database.....	91
5.12 แสดงหน้าจอรายงานผลของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด.....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการทำวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้นำวัสดุสารไวไฟมาใช้อย่างมากมาย ซึ่งส่วนแต่ละจะเป็นสาเหตุของการทำให้เกิดอัคคีภัยแทบทั้งสิ้น ถ้าเราขาดการป้องกันที่ดีแล้วก็จะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียชีวิต หรือการสูญเสียทรัพย์สิน ส่วนเป็นสิ่งที่ทำให้ ประเทศชาติสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างมากมายมหาศาล เพราะฉะนั้น เครื่องวัดทางอุตสาหกรรมจึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการป้องกันสาเหตุจากสิ่งเหล่านี้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องมือวัด ในทางอุตสาหกรรม ซึ่ง เป็น สิ่งที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน โดยเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งที่เกิดขึ้นเหล่านี้ได้ อันประกอบด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดทิศทางลม เครื่องวัดความเร็วลมและเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนซึ่งอุปกรณ์ เครื่องวัดเหล่านี้จะนำไปประยุกต์ใช้ ใน โรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากใน โรงงานอุตสาหกรรมนั้น ในการปฏิบัติงานล้วนเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ทุกขณะถ้าเราขาดการป้องกันที่ถูกหลักวิธี ซึ่ง เครื่องวัดทางอุตสาหกรรมเหล่านี้ จะทำหน้าที่เป็นฝ่ายรักษาความปลอดภัย (Safety) ซึ่ง เครื่องวัดอุณหภูมินี้สามารถเป็นตัวบอกอุณหภูมิในห้องปฏิบัติงานขณะนั้นหรือใช้ในห้องเก็บสินค้า เพื่อป้องกันความเสียหายกับสินค้า ถ้าอุณหภูมิไม่ได้ตามระดับที่ต้องการ เครื่องวัดทิศทางลม และ เครื่องวัดความเร็วลมจะเป็นตัวบอกและแสดงทิศทางลมและความเร็วลมในขณะนั้น ซึ่งในบางครั้ง โรงงานอุตสาหกรรมบาง โรงงานมีสาร ไวไฟซึ่งจะเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย ถ้าเรารู้ทิศทางลมและความเร็วลมก็จะง่ายต่อการป้องกันต่ออัคคีภัยที่อาจเกิดขึ้นได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึง การปฏิบัติการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม อุปกรณ์ภายนอกดังกล่าวประกอบด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดทิศทางลม เครื่องวัดความเร็วลม และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน รวมถึงการนำไปประมวลผล Visual Basic มาประยุกต์ใช้งานกับการวัด เหล่านี้ด้วยโดยสามารถแสดงผลในการวัด ณ เวลาปัจจุบันเครื่องวัดอุณหภูมิจะมีปรอทวัดอุณหภูมิ แสดงโดยจะแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในขณะนั้นเครื่องวัดทิศทางลมจะมีหน้าปัทม์ของเข็มทิศแสดง โดยจะ แสดงค่าองศาของทิศทางลมที่วัดได้ในขณะนั้น เครื่องวัดความเร็วลมจะมีก้านลมแสดง

เอกสารนี้เป็นโดยกั้นห้ามมิให้เผยแพร่ในรั้วมหาวิทยาลัยเพื่อเท่ากับความเร็วของลม อนุที่วัดได้ในขณะนั้น และระดับด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีการเก็บข้อมูล (Database) ดังกล่าวที่วัดได้ในและวันซึ่งเราสามารถเปิดดูข้อมูลในวันก่อนๆ ที่เราวัดได้แต่ละวัน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการวิจัยในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาหลักการต่างๆ ดังนี้

1. การวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิเริ่มจาก ทำการศึกษาเกี่ยวกับ หลักการวัดอุณหภูมิ หน่วยที่ใช้ในการวัดศึกษาโครงสร้างของ ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (DS1621, DS1631) ซึ่งไอซีทั้ง 2 ตัวนี้มีโครงสร้างและการใช้งานที่เหมือนกัน ตลอดจนศึกษาหลักการการทำงานของมันเพื่อนำไปใช้งานจริงๆ สำหรับวัดค่าอุณหภูมิในแต่ละวัน

2. การวัดทิศทางลม

การวัดทิศทางลม โดย จะเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับหลักการในการวัดทิศทางลม หน่วยที่ใช้ในการวัดชนิดของสครลมและหลักการออกแบบสครลมศึกษาหลักการทำงานของ โพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งเป็นตัวเซ็นเซอร์ ที่ใช้ในการวัดทิศทางลม

3. การวัดความเร็วลม

การวัดความเร็วลมเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับหลักการในการวัดความเร็วลม หน่วยที่ใช้ในการวัด ชนิดของกังหันลมที่นิยมใช้ในการวัดความเร็วลม ตลอดจนการออกแบบกังหันลมและศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของ DC MOTOR ซึ่งใช้กังหันลมเป็นตัวหมุน DC MOTOR ทำให้เกิดแรงดัน emf. และศึกษาเกี่ยวกับวงจรขยาย (Amprifier) เพื่อทำการขยายสัญญาณแรงดันที่ออกมาจาก DC MOTOR

4. การวัดปริมาณน้ำฝน

การวัดปริมาณน้ำฝน เริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับหลักในการวัดปริมาณน้ำฝน หน่วยที่ใช้ในการวัดปริมาณน้ำฝน รูปแบบของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่มีใช้ ตลอดจนทั้ง ข้อดีข้อเสียของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแต่ละแบบ และศึกษาเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยอาศัยหลักการของไซฟอน รวมทั้งการศึกษาระบบเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัด

5. การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม

ทำการศึกษาดูหลักการต่างๆ เช่น การส่งอ่านข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับระบบบัส I²C การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน พอร์ตอนุกรม เป็นต้น และทำการศึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อที่จะแสดงผลที่ได้จากการวัดดังกล่าว รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับการเก็บข้อมูล (Database) เพื่อทำการเก็บข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิการวัดทิศทางการวัดความเร็วลมและการวัดปริมาณน้ำฝน

2.1 การวัดอุณหภูมิ (Temp Measurement)

อุณหภูมิ คือ ตัวเลขที่ใช้บอกระดับความร้อนเย็นของอากาศหรือของวัตถุต่างๆ เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

2.1.1 หน่วยวัดอุณหภูมิ (Temperature scale)

หน่วยวัดอุณหภูมิที่ใช้ในโลกนี้มี 3 แบบ คือ องศาเซนเซียส (Celsius) องศาฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit) และ องศาเคลวิน (Kelvin) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} \quad (2.1)$$

และ
$$K = ^{\circ}\text{C} + 273 \quad (2.2)$$

2.1.2 การวัดอุณหภูมิ (measurement of temperature)

การวัดอุณหภูมิมิใช่เครื่องมือเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) มีหลายประเภทเช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบอ่านและบันทึกอุณหภูมิตามเวลาที่กำหนด และเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องที่เรียกว่า เทอร์โมกราฟ (thermograph) ซึ่งตามสถานีอุตุนิยมวิทยาต่างๆ มักจะมีการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ (thermometer screen) โดยมีตัวอย่างและรายละเอียดของเทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมกราฟ และเรือนเทอร์โมมิเตอร์ดังนี้

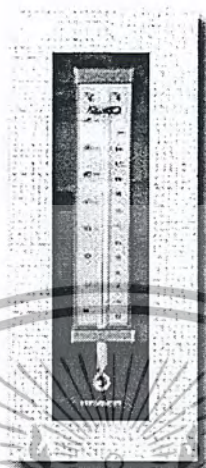
2.1.2.1 เทอร์โมมิเตอร์แบบอ่านและบันทึกอุณหภูมิตามเวลาที่กำหนด

เทอร์โมมิเตอร์แบบอ่านค่า และบันทึกค่าอุณหภูมิตามเวลาที่กำหนด ที่นิยมใช้กันประกอบด้วย

1. เทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา (ordinary thermometer) คือ เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิปกติทั่วไป เช่น อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และอุณหภูมิน้ำ เป็นต้นรูปลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปทรงกระบอกกลวงปลายข้างหนึ่งของหลอดแก้ว เป็นกระเปาะสำหรับบรรจุปรอท หรือแอลกอฮอล์ ซึ่งภายในหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ ดังภาพที่ 2.1 และเทอร์โมมิเตอร์สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดอุณหภูมิคนไข้ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งทำให้ปรอทหรือแอลกอฮอล์ขยายตัวหรือหดตัวได้ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้จากขีดแบ่งค่าอุณหภูมิ



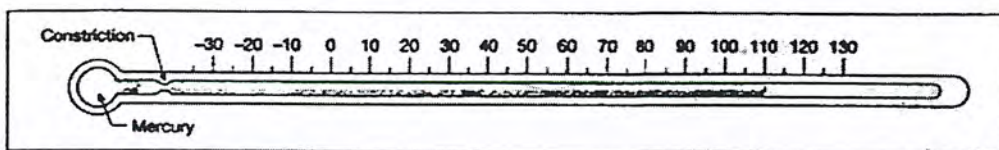
ภาพที่ 2.1 แสดงเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา

ภาพที่ 2.2 แสดงเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิคนไข้

2. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสูงสุด (maximum thermometer)

คือ เทอร์โมมิเตอร์ ที่ใช้ วัดอุณหภูมิสูงสุด ในแต่ละวัน มีลักษณะเป็นหลอดแก้วใสภายใน บรรจุปรอทในกระเปาะ โดยมีคอคอดของหลอดแก้วใสถัดจากกระเปาะขึ้นมาดังภาพที่ 2.3 ติดตั้งเป็นมุม 5 องศา กับแนวนอน ซึ่งบริเวณช่องว่างเหนือปรอท เป็นสูญญากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปรอทจะขยายตัวไหลผ่านคอคอดขึ้นไป และเมื่ออุณหภูมิลดลงปรอทที่ขยายตัวผ่านคอคอดจะค้างอยู่บนคอคอด ไม่ไหลกลับเข้าสู่กระเปาะได้เอง และถ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้นอีกปรอทจะเกิดการขยายตัวขึ้นอีก ทำให้สามารถวัดอุณหภูมิสูงสุดได้ตามต้องการ และเมื่อต้องการเตรียมวัดอุณหภูมิสูงสุดใหม่ก็ทำได้โดยการนำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสูงสุด มาสัดกระเปาะจะทำให้ปรอทไหลผ่านคอคอดลงไปยังกระเปาะข้างล่างได้

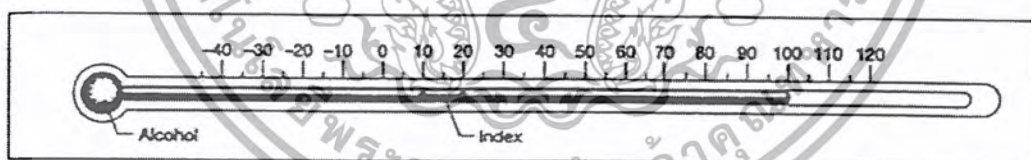
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสูงสุด

3. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุด (minimum thermometer)

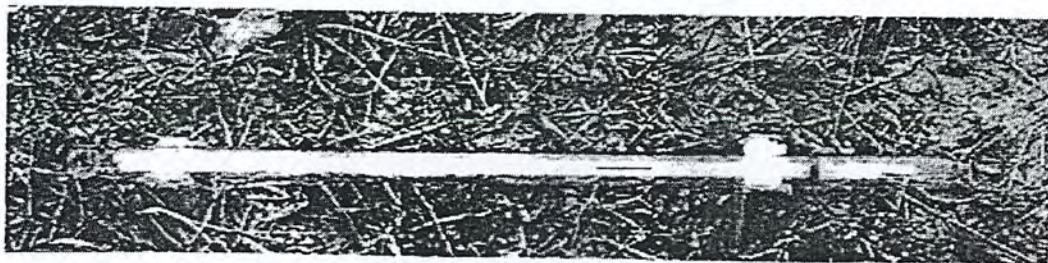
คือเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิต่ำสุดในแต่ละวันซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้วใสภายในบรรจุแอลกอฮอล์และมีก้านเหล็กรูปครีมนขนาดเล็ก อยู่ในช่องว่างที่สามารถเคลื่อนตัวได้ ดังภาพที่ 2.4 โดยหลักการวัดเทอร์โมมิเตอร์ต่ำสุดคือ เมื่ออุณหภูมิลดลงแอลกอฮอล์จะหดตัวและเกิดแรงตึงผิวและจะดึงก้านเหล็กรูปครีมนและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แอลกอฮอล์ที่เกิดการขยายตัวจะไหลผ่านก้านเหล็ก ขึ้นไป โดยก้านเหล็กอยู่กับที่และถ้าอุณหภูมิต่ำลงกว่าเดิมอีกแอลกอฮอล์จะหดตัวมากกว่าเดิมทำให้ดึงก้านเหล็กมาอีก จากหลักการดังกล่าวสามารถทำให้วัดอุณหภูมิต่ำสุดได้ตามต้องการเมื่อต้องการเตรียมวัดข้อมูลใหม่ ก็ทำได้โดยการเอียงเทอร์โมมิเตอร์ให้ก้านเหล็กรูปครีมนเบลเลื่อนหลุดออกไปด้านนอกของแอลกอฮอล์ ซึ่งจะระวังอย่าให้ก้านเหล็กรูปครีมนเบลเลื่อนหลุดออกไปด้านนอกของแอลกอฮอล์ เพราะจะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดของค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่อ่านได้แล้ว จึงวางเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุดในแนวนอน เพื่อทำการวัดอุณหภูมิต่ำสุดในวันต่อไป



ภาพที่ 2.4 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุด

4. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุดที่ยอดหญ้า

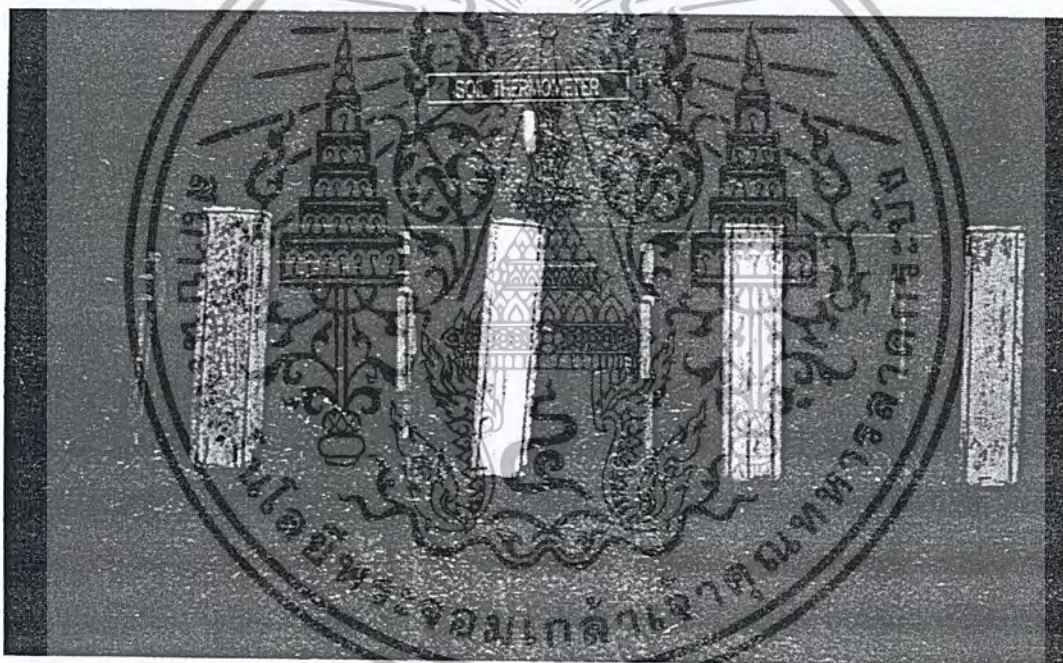
มีลักษณะดังภาพที่ 2.5 เป็นเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิต่ำสุด ที่ยอดหญ้าติดตั้งวางในแนวนอนเพื่อบอกถึงอุณหภูมิพื้นดิน ว่ามีการเกิดน้ำค้างแข็งเหนือผิวดิน หรือไม่ ซึ่งบางครั้งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยทั่วไปจะติดตั้งหลังดวงอาทิตย์ลับฟ้าแล้วและเก็บขึ้นก่อนดวงอาทิตย์จะขึ้นในวันถัดไป



ภาพที่ 2.5 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่ขุดหญ้า

5. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิใต้ดิน (Earth thermometer)

ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่ความลึกต่างๆ ใต้ผิวดินดังแสดงในภาพที่ 2.6 ซึ่งจะมีประโยชน์สำหรับวัดอุณหภูมิใต้ดิน เพื่อการชลประทาน(irrigation) หรือการคาดการณ์น้ำหลาก (flood forecasting) เป็นต้น



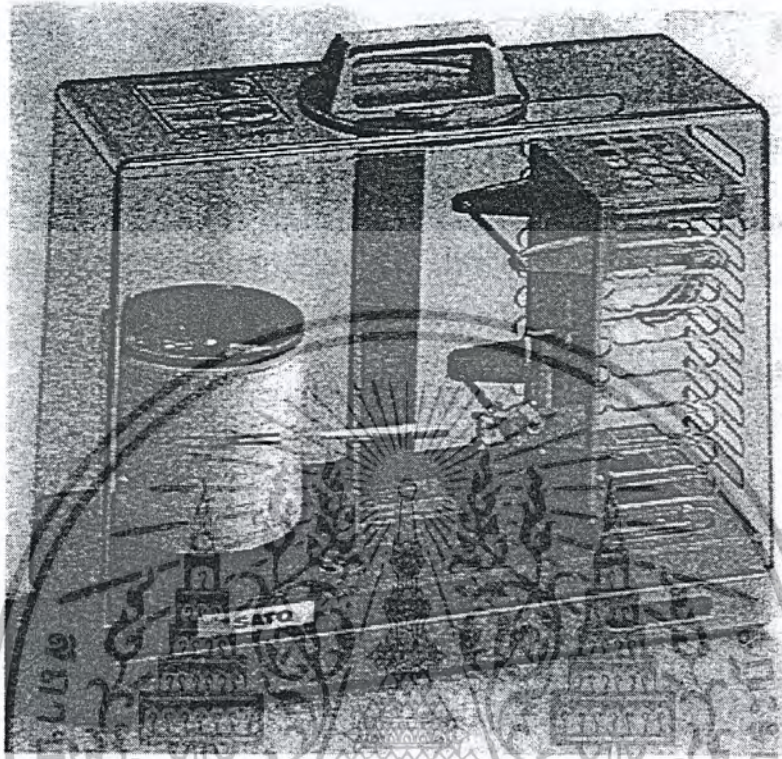
ภาพที่ 2.6 แสดงเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิใต้ดิน

2.1.2.2 เทอร์โมกราฟ (thermograph)

เทอร์โมกราฟ คือเครื่องมือการวัดอุณหภูมิที่ใช้ในวัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง โดยมีโครงสร้างทรงกระบอกสำหรับใส่กระดาษกราฟที่หมุนตามเข็มนาฬิกาที่ตั้งไว้ เช่น เทอร์โมกราฟแบบโลหะประกอบ (bimetallic thermograph) มีลักษณะดังภาพที่ 2.7 ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิดที่มีการยึดหดตัวต่างกันนำมาเชื่อมติดกันเป็นแผ่นโลหะโค้ง เช่น ในการใช้แผ่นทองเหลืองโค้งวางประกบกัน โดยแผ่นทองเหลืองโค้ง ซึ่งมีการขยายตัวได้มากกว่าวางอยู่ด้านนอกเมื่ออุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนไปแผ่นโลหะประกอบจะเกิดการขยายตัวหรือหดตัวตามการเพิ่ม หรือการลดลงของอุณหภูมิ ทำให้โครงสร้างที่มีปลายปากกาบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้อย่างต่อเนื่องตามต้องการ



ภาพที่ 2.7 แสดงเทอร์โมกราฟแบบโลหะประกอบ

2.1.3 นิยามศัพท์ที่ใช้เรียกอุณหภูมิ

ศัพท์ที่ใช้เรียกอุณหภูมิให้เข้าใจตรงกันประกอบด้วย

1. อุณหภูมิเฉลี่ย (Average or mean temperature) คืออุณหภูมิที่หาได้จากการเฉลี่ยเลขคณิต ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (Mean daily temperature) สามารถหาได้หลายวิธี เช่น การเฉลี่ยจากข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้ทุกชั่วโมงดังสมการใน 1 วัน

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (Td)} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_i \quad (2.3)$$

เมื่อ T_i คือ อุณหภูมิที่วัดได้ทุกชั่วโมงใน 1 วันและ ตัวเลข 24 หมายถึงจำนวนชั่วโมงใน 1 วัน

หรือหาได้จากการเฉลี่ยจากข้อมูลอุณหภูมิที่มีการวัดทุกๆ 3 ชั่วโมง หรือทุกๆ 6 ชั่วโมงใน

วันเดียวกัน ซึ่งถ้าใช้ช่วงเวลาห่างกันมากขึ้นจะมีโอกาสได้ค่าเฉลี่ยที่คลาดเคลื่อนมากขึ้น หรือในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งจะหาอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันด้วยการหาค่าเฉลี่ยจากอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดขึ้นในวันเดียวกันดังสมการ

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (Td)} = \frac{\text{อุณหภูมิสูงสุด} - \text{อุณหภูมิต่ำสุด}}{2} \quad (2.4)$$

อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (Mean monthly temperature) คืออุณหภูมิเฉลี่ยจากอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในเดือนที่พิจารณา

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (Tm)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Td \quad (2.5)$$

โดยที่ n คือจำนวนวันในเดือนที่พิจารณา

อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (Mean annual temperature) คืออุณหภูมิเฉลี่ยจากอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในปีที่พิจารณา

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (Ty)} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} Tm \quad (2.6)$$

โดยที่เลข 12 คือจำนวนเดือนใน 1 ปี

2. อุณหภูมิปกติ (Normal temperature) คืออุณหภูมิเฉลี่ยเฉพาะจากวันใดวันหนึ่ง หรือเดือนใดเดือนหนึ่ง หรือประจำฤดูในช่วงเวลาหรือในคาบ 30 ปี ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐานทางอุตุนิยมวิทยาโดยที่ข้อมูลอุณหภูมิใน 30 ปีนี้จะมีการปรับตามสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 30 ปีนี้ จะมีการปรับตามสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 10 ปี ซึ่งมีหลักการว่าทุกๆ 10 ปีจะตัดข้อมูลอุณหภูมิ 10 ปี แรกของอุณหภูมิ 30 ปี ออกแล้วเพิ่มอุณหภูมิใหม่อีก 10 ปี เข้าไป จะสามารถคำนวณอุณหภูมิปกติหรืออุณหภูมิเฉลี่ยในคาบ 30 ปีล่าสุดได้ เช่นเดิมคิดอุณหภูมิปกติจากข้อมูลอุณหภูมิในช่วงปี พ.ศ. 2494-พ.ศ. 2523 เมื่อเวลาผ่านไป 10 ปี ให้ตัดข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2494 - พ.ศ. 2503 ออกแล้วเพิ่มอุณหภูมิ ในช่วงปี พ.ศ. 2524 - พ.ศ. 2533 เข้าไปแทน จะสามารถคำนวณค่าอุณหภูมิปกติใหม่ เป็นอุณหภูมิในคาบ 30 ปีได้ คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2504 - พ.ศ. 2533 ได้

3. ช่วงอุณหภูมิประจำวัน (Daily range in temperature) คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดในวันที่ยกมาพิจารณา

$$\text{ช่วงอุณหภูมิประจำวัน} = \text{อุณหภูมิสูงสุด} - \text{อุณหภูมิต่ำสุด} \quad (2.7)$$

4. องศา - วัน (degree - day) คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันกับอุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนด (specifield base temperature)

$$\text{องศาวัน} = Td - Ts \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยที่ Ts คืออุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศมีปัจจัยต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงตามสถานที่และตามเวลา ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศของโลกคือพลังความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ การหมุนของโลกรอบตัวเองที่ทำให้เกิดกลางวันและกลางคืน ตลอดจนมุมเอียงของโลกที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงไป

2.1.4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศในแนวตั้ง

อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศในแนวตั้ง คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศตามความสูงจากผิวโลกขึ้นไปในแนวตั้ง เกิดขึ้นในบรรยากาศชั้น โทรโปสเฟียร์ (troposphere) ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วนั้น ในเวลากลางวัน อุณหภูมิของอากาศจะลดลงประมาณ 6.4 องศาเซนเซียส ต่อความสูง 1000 เมตร ที่เพิ่มขึ้น

2.2 การวัดทิศทางลม (Wind Direction)

ในการวัดทิศทางลมมีหลักเกณฑ์ในการวัดต่างๆ ดังนี้ ซึ่งจะเป็นโยบายในการวัดทิศทางลม และทำให้เราทราบถึงข้อกำหนดต่างๆ และเข้าใจถึงหลักการในการออกแบบเครื่องวัดทิศทางลม

2.2.1 การวัดลมผิวพื้น

คำว่า “ลม” หมายถึง การเคลื่อนไหว หรือเคลื่อนที่ของอากาศเฉพาะในทางแนวนอน (Horizontal Component) แต่ทางเดียว การวัดลมต้องให้ค่าของทิศทางลม (Direction) และความเร็วลม (Speed) ด้วย ลมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็วเรียกว่า ลมกระโชก การวัดทิศทางและความเร็วซึ่งในการวัดลมกระโชกจะให้ได้ผลแน่นอนค่านั้น ต้องใช้เครื่องมือวัดแต่ถ้าไม่อาจทำได้ เช่นนี้ให้วัดเอาด้วยการกะประมาณ (Estimation) ถ้าไม่มีการเคลื่อนไหวของลม หรือถ้าลมมีการเคลื่อนไหวน้อยกว่า 2 นอตแล้วเรียกว่าลมสงบ

2.2.2 การวัดทิศทางลม

ในการวัดทิศทางลมอาศัยนิยามการวัดดังนี้ ซึ่งจะเป็นโยบายในการวัดทิศทางลมและทำให้เราทราบถึงข้อกำหนดต่างๆ และเข้าใจถึงหลักการในการออกแบบเครื่องวัดทิศทางลม

2.2.2.1 นิยาม

ทิศทางลมนั้นจะถือเอาลมที่พัดผ่านเข้าสถานีเป็นเกณฑ์วัด โดยจะใช้วัดเป็นองศาตามเข็มนาฬิกาโดยใช้ทิศทางเหนือจริงของสถานีเป็นหลัก คือนับจาก 0 จนถึง 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจใช้การนับเป็นป้อยท์ของเข็มทิศก็ได้ เช่น 8,16 และ 32 ป้อยท์ เป็นต้น ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดมากน้อยเพียงใด

2.2.2.2 สรลม

สรลมที่ใช้วัดทิศทางลมผิวพื้นนั้น ไม่ว่าจะ เป็นแบบใด ๆ ก็ตามจะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. ต้องหมุนรอบแกนได้คล่องโดยมีความฝืดน้อยที่สุดเพราะฉะนั้นจึงควรใช้เบร้งแบบตลับลูกปืน
2. สรลมต้องติดตั้งให้สมดุลกับแกนจริง ๆ มิฉะนั้นอาจเอียงไปทิศหนึ่งทิศใดได้
3. ต้องออกแบบให้มีแรงหมุนรอบตัวได้ในอัตราที่สูงที่สุด เพราะเมื่อลมเปลี่ยนทิศทางไปย่อมมีความเกี่ยวข้องกับความเร็วของเครื่องด้วย
4. เมื่อลมเปลี่ยนทิศทางไปตามธรรมชาติ สรลมต้องไม่สั่น
5. การติดตั้งต้องระวังเป็นพิเศษ เพื่อให้แน่ใจว่าแกนของเครื่องตั้งตรงดิ่งจริง ๆ และทิศต้องชี้ถูกต้อง โดยถือทิศเหนือเป็นหลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงเลขรหัสทิศทางเป็นองศาจริงและป้อยท์ของเข็มทิศ

Compass direction	Exact Equivalent In degree	Code figure	Compass direction	Exact Equivalent In degrees	Code figure
Calm	-	00			
N by E	11.25	01	S by W	191.25	19
NNE	22.5	02	SSW	202.5	20
NE by N	33.75	03	SW by S	213.75	21
NE	45	05	SW	225	23
NE by E	56.25	06	SW by W	236.25	24
ENE	67.5	07	WSW	247.5	25
E by N	78.5	08	W by S	258.75	26
E	90	09	W	270	27
E by S	101.25	10	W by N	281.25	28
E SE	112.5	11	WNW	292.5	29
SE by E	123.75	12	NW by N	303.75	30
SE	135	14	NW	315	32
SE by S	146.25	15	NW by N	326.25	33
SSE	157.5	16	NNW	337.5	34
S by E	168.75	17	N by W	348.75	35
S	180	18	N	360	36
			Variable	-	99

โดยที่ N หมายถึง North

E หมายถึง East

W หมายถึง West

S หมายถึง South

2.2.3 เครื่องบันทึกรายงานและหน้าปัทม์ทิศทางลม

สำหรับการตรวจเพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นต้องการทิศทางลมเฉลี่ย ในช่วงเวลา 10 นาที

ก่อนทำการตรวจ โดยอ่านจากสรลมชนิดชนิดบันทึกรายงานด้วยตนเอง สำหรับความมุ่งหมายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางลม คือเมื่อลมเปลี่ยนทิศโดยฉับพลันด้วยความเร็ว 5 นอต ศรลมต้องทำงานได้ในเวลาไม่เกิน 1 วินาที และเมื่อลมแรงมากๆ แล้วสัมผัสประสิทธิในการล่าหลังต้องมีน้อยลงอีก

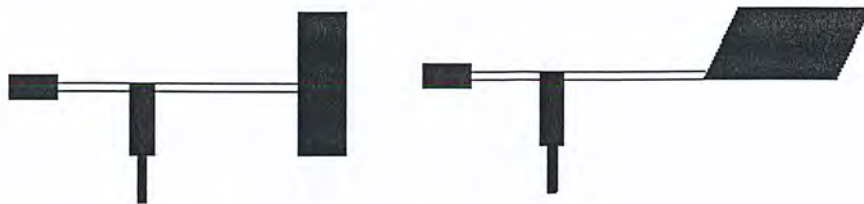
2.2.4 การกะประมาณทิศทางลม

ศรลมส่วนมากจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางของลมได้ดีนัก เมื่อลมมีความเร็วน้อยกว่า 3 นอต ในกรณีนี้ หรือไม่มีเครื่องมือตรวจ หรือเครื่องมือชำรุดต้องกะประมาณทิศทางของลมเอาเอง โดยตรวจจากลูกกระบอกฟ้าวัดทิศทางลมที่ติดตั้งใกล้ทางวิ่งของสนามบิน แนวเอียงของควันซึ่งออกจากปล่องสูงๆ หรือจากการเคลื่อนไหวของใบไม้ เป็นต้น ตามเรือใหญ่ๆ จะสังเกตจากทิศทางลมได้จากธงซึ่งติดอยู่บนยอดเสาก็ได้

ในกรณีเหล่านี้ย่อมที่อัตราผิดพลาดอันเกิดจากระยะที่ปรากฏ แก่สายตาได้เว้นแต่เสียผู้ตรวจจะยืนอยู่ในแนวตั้งตรงจากสิ่งเหล่านั้น และ ต้องระมัดระวังกระแสลมวนอันเกิดจากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างและสิ่งอื่น ๆ ด้วย ผู้ตรวจต้องจำไว้ว่า ในตำบลที่อยู่ใกล้เคียง โดยเฉพาะด้านปลายลมของบ้านเรือน ต้นไม้ภูเขา หรือสิ่งกีดขวางทางลม เช่นนั้น สมยอมหักเหไปจากทิศทางเดิมของมัน โดยให้ถือว่าทิศทางลมที่ตรวจได้นั้นผิดจากความเป็นจริง ทิศทางลมนั้นไม่เคยหยุดยั้งที่ แต่จะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาทั้งสองข้างของทิศเฉลี่ย การรายงานทิศทางลมจึงให้รายงานทิศเฉลี่ย

2.2.5 แบบของศรลม

แบบของศรลมมีลักษณะต่างๆ กัน ที่มักใช้กันอย่างแพร่หลายมีหลายรูปแบบศรลมที่ใช้โดยทั่วไปมักทำเป็นลูกศรมีปลายแหลม หรือไม่ก็ทำเป็นรูปทรงกระบอกคิงตัวอย่างเช่น แบบของเครื่องวัดลมแบบไดน์ ปลายศรมักหันได้รอบทิศทาง โดยมีหางลมบังคับหางลมทำเป็นรูปต่างๆ กัน เป็นรูปหางปลาบ้าง รูปกงจักรบ้าง บางทีก็ทำสองหางคู่กันจรดกันเป็นมุมประมาณ 22 องศา ปลายเปิดบานออก นับว่าเป็นแบบที่ใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าแบบอื่นคือได้รับลมปะทะทั้งสองด้าน เมื่อศรลมหันตรงลมจึงเลี้ยงให้แน่นิ่งได้แม้ว่ามีลมกระโชก และเวลามีลมเบาๆ อาจหันตามไปได้อย่างรวดเร็ว ตรงกลางที่สวมอยู่กับแบร็งก์ทำฝาครอบไว้เพื่อกันน้ำฝนหรือผงฝุ่นเข้าไปทำให้เกิดความฝืดขึ้นได้



ภาพที่ 2.8 แสดงครุฑแบบต่างๆ

2.3 การวัดความเร็วลม (Wind Speed)

โดยที่การรายงานความเร็วลม เพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นใช้เป็นนอต ดังนั้นเครื่องวัดความเร็วลมจึงควรแบ่งสเกลเป็นนอตด้วย สำหรับรายงานเพื่อการพยากรณ์อากาศต้องการค่าของความเร็วลมผิวพื้นเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนการตรวจหรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต และต้องอ่านให้ได้ค่าใกล้เคียงนอตที่สุดถ้าลมมีความเร็วน้อยกว่า 1 นอต ให้รายงานว่า “ลมสงบ”

2.3.1 วิธีที่วัดด้วยเครื่องมือ

เครื่องวัดความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับความมุ่งหมายเพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องเป็นเครื่องที่อ่านได้หรือบันทึกการได้ในที่ทำการสำนักงาน เพื่อว่าจะได้เป็นการสะดวกในการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในช่วง 10 นาที หรือในช่วงระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต การนี้ควรใช้เครื่องวัดความเร็วลมที่สามารถบันทึกการได้ด้วยตัวเอง แทนเครื่องวัดความเร็วลมแบบธรรมดา ค่าของความเร็วลมและทิศทางลมที่ขีดบนกระดาษกราฟต่อเนื่องกันนั้น จะมีความกว้างมากน้อยไม่เท่ากัน การหาค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสองให้ใช้เส้นกลางของความกว้างของรอยขีดนั้นๆ

เพื่อความมุ่งหมายทางการเดินอากาศ ต้องการใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบบันทึกการได้ในระยะไกล หรือเดินสายไฟจากเครื่องมือยังหน้าปัทม์ซึ่งตั้งอยู่ที่ทำการ และเครื่องมือจะต้องใช้วัดลมกระโชกได้ด้วย การนี้เครื่องจะต้องมีความไวดี(มีสัมประสิทธิ์ในการล่าหลังน้อยมาก) คือเมื่อลมเปลี่ยนความเร็วโดยฉับพลัน เครื่องจะต้องทำงานไม่เกิน 1 วินาที ถ้าลมยังมีความเร็วทวีขึ้นสัมประสิทธิ์ในการล่าหลังต้องน้อยลง

ถ้าเครื่องทั้งแบบธรรมดา และแบบที่จดบันทึกได้ด้วยตนเองมีอัตราแก่ ให้เขียนอัตราแก่ประจำเครื่องได้ด้วย เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแน่นอนดีถึง 1 นอต การหาอัตราแก่ได้จากการทดลองจากอุโมงค์ลม หรือสอบเทียบจากเครื่องมาตรฐาน

เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมประจำวัน แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทด้วยกัน คือแบบที่ใช้ลูกถ้วยหมุนหรือแบบใบพัดกับแบบที่ใช้ท่อความกด ส่วนแบบที่ใช้อากาศกระดกของแผ่นโลหะนั้นใช้ได้เพียงหยาบๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หน่วยที่ใช้ในการวัด

หน่วยที่ใช้วัดค่าความเร็วลมนั้น อาจทำการวัดได้หลายหน่วย ดังนี้

1. นอต (ไมล์ทะเลต่อชั่วโมง)
2. เมตรต่อวินาที (m /sec)
3. กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Km / hour)
4. ไมล์ต่อชั่วโมง (Mile / hour)
5. ฟุตต่อวินาที (ft /sec)

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆ ต่อไปนี้แสดงให้เห็นดังตารางต่อไปนี้

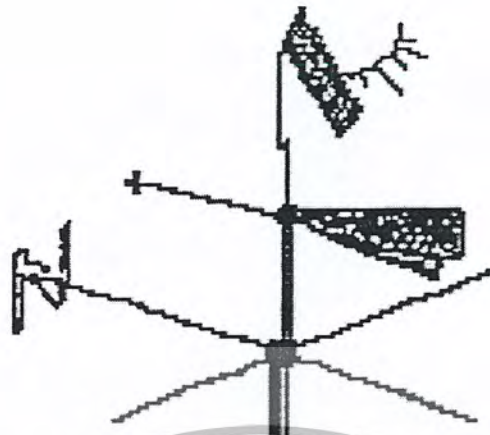
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการวัดลม

kt (นอต)	m/sec (เมตรต่อวินาที)	m.p.s (ไมล์ต่อชั่วโมง)	km/hr (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	ft/sec (ฟุตต่อวินาที)
1	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1	2.237	3.600	3.281
0.868	0.447	1	1.609	1.467
0.540	0.278	0.622	1	0.911
0.592	0.305	0.682	1.019	1

2.3.3 เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้อากาศระดก

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด แต่ความถูกต้องแม่นยำในการวัดใช้ได้ก็พอประมาณ ส่วนประกอบของเครื่องทำเป็นแบบแผ่นสี่เหลี่ยม เป็นไม้ หรือเป็นโลหะอย่างเบาติดอยู่ที่ยอดศรลม มีบานพับติดห้อยอยู่ให้หันไปได้กับศรลม และหันทางเบนของแผ่นโลหะหรือไม้ให้ได้จากกับศรลม ดังนั้นแผ่นสี่เหลี่ยมนี้จึงหันหน้ารับลมอยู่เสมอ เมื่อลมพัดมาปะทะกับแผ่นสี่เหลี่ยมแผ่นสี่เหลี่ยมนี้ก็จะกระดกขึ้น มีก้านกำหนดสเกลของความเร็วลมช่วงต่างๆ ของลมไว้ให้เห็น ได้ชัดเจนจากเบื้องล่างตรงโคนเสาวัดลม

การอ่านค่าของสเกลนั้น เนื่องจากลมมิได้มีความเร็วคงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นแผ่นไม้หรือโลหะย่อมแกว่งไปแกว่งมา ให้สังเกตดูว่าการแกว่งอยู่ระหว่างก้านที่กำหนดสเกลเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น แผ่นไม้หรือแกว่งโลหะนั้นแกว่งอยู่ระหว่างก้านสเกลที่ 1 กับที่ 3 ให้ถือเอาความเร็วที่ก้านเฉลี่ยที่ 2 เป็นเกณฑ์เป็นต้นทุกคนพึงเข้าใจว่าก้านกำหนดสเกลนี้ไม่ใช่อ่านเป็นมาตราโบฟอร์ด



ภาพที่ 2.9 แสดงเครื่องวัดลมแบบแผ่นกระดก

2.3.4 เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้ลูกถ้วยและใบพัด

เครื่องแบบนี้ใช้อาคารหมุนของลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย ซึ่งใช้ได้ดีกว่าลูกถ้วยครึ่งทรงกลม และขอบปากถ้วยทำให้หมุนขึ้นมา แบบที่เป็นลูกถ้วย 3 ใบ นั้นมีแรงเหวี่ยงรอบตัวสูงที่สุดและโดยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยจะลดอัตราผิดเพี้ยนได้มากเมื่อลมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนขอบที่หมุนขึ้นมาจะช่วยรักษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม กับความเร็วที่ลูกถ้วยหมุนให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เครื่องที่แกนหมุนนั้นต้องออกแบบอย่างดี เพื่อให้ทนทานต่อคืนฟ้าอากาศได้ และขณะเดียวกันก็ต้องให้ง่ายสำหรับการหยอดน้ำมันหล่อลื่นด้วย ได้มีผู้ออกแบบเครื่องวัดลมเช่นนี้ต่างๆ กัน โดยใช้อาคารหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเล็กๆ ต่อกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปเข้าหน้าปัทม์ซึ่งแบ่งสเกลไว้เป็นค่าของความเร็วลม

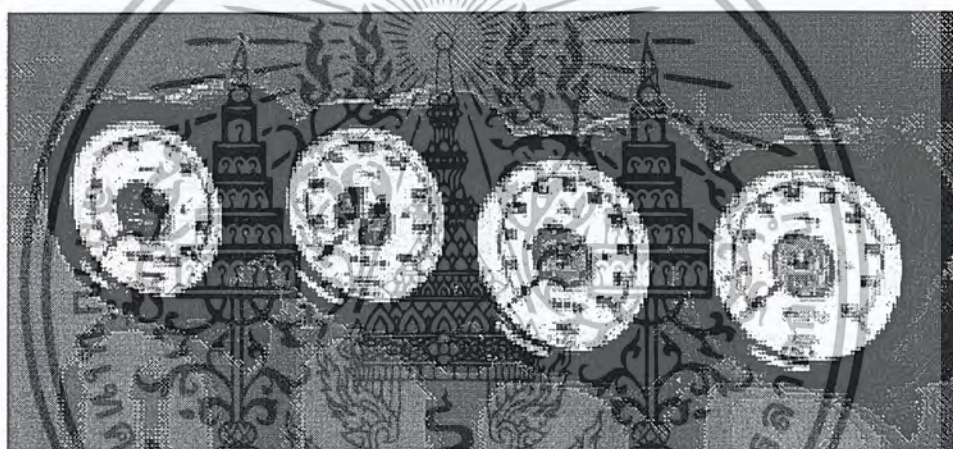
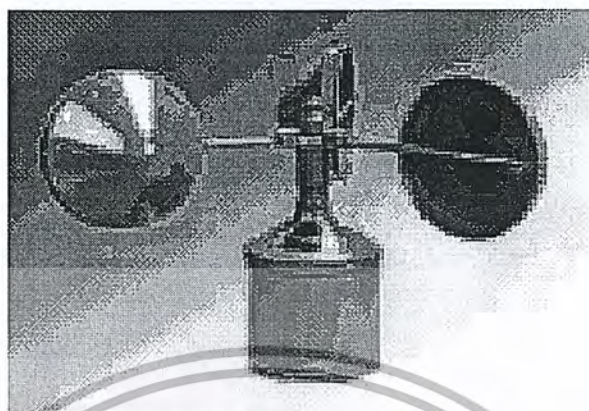
ข้อเปรียบเทียบของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย 3 ใบ กับเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 4 ใบ

1. แบบที่ใช้ลูกถ้วย 3 ใบดีกว่า 4 ใบเพราะแรงเหวี่ยงรอบตัวของแบบ 3 ใบได้ระบียบดีกว่า และถ้าใช้โลหะอย่างเดียวกัน แบบ 3 ใบให้แรงเหวี่ยงต่อน้ำหนักหน่วยมากกว่า
2. ถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยดีกว่าถ้วยรูปครึ่งทรงกลม
3. ขอบของถ้วยทำเป็นรูปหมุนขึ้นมา ทำให้มีความไวต่ออาการผกผันของกระแสลมน้อยกว่า

ขอบเขตบรรณาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองต่อๆ มาปรากฏว่าคุณสมบัติที่ดี ของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยนี้เป็นแบบที่เบา และและมีขนาดเล็ก เพราะสามารถใช้วัดลมที่มีกำลังอ่อนๆ ได้



ภาพที่ 2.10 แสดงเครื่องวัดความเร็วลมชนิดลูกถ้วย 3 ใบและหน้าปัทม์แสดงผล

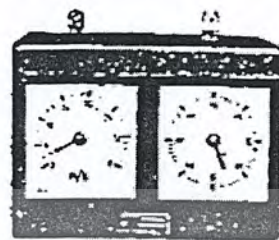
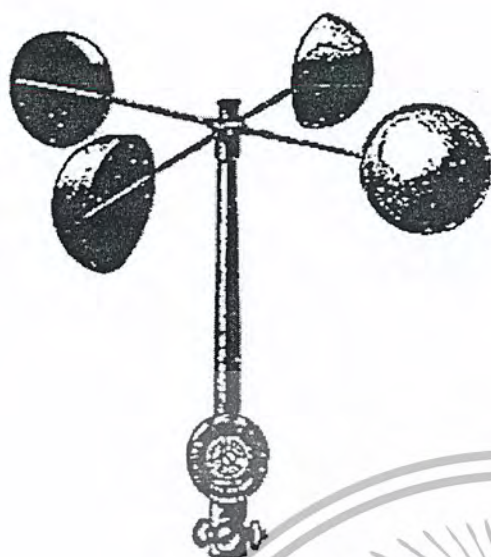
2.3.5 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด

เครื่องแบบนี้อากาศหมุนของใบพัดสำหรับวัดความเร็วลม ส่วนทิศทางการลมนั้นเขาทำศรลม คล้ายเครื่องบิน เครื่องชนิดนี้มีที่ใช้ทั้งแบบไฟฟ้า เรียกว่าแบบ “Aerovane” กับแบบที่ไม่ต้องใช้กับ ไฟฟ้า แต่ใช้กับความกดของอากาศแทน เรียกว่าแบบ “Aerolog” ทั้งสองแบบสร้างโดยบริษัท Bendix and Friez Instrument Company , U.S.A

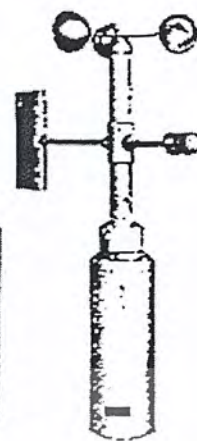
เครื่องแบบแอโรเวนประกอบด้วยใบพัด 3 ใบ โครงเครื่องคล้ายกับเครื่องบินขนาดเล็ก ทำหน้าที่เป็นศรลมติดตั้งอยู่ที่ปลายของยอดเสา เครื่องแบบนี้ใช้อากาศหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่นเดียวกับแบบลูกถ้วย ต่อสายไฟมายังหน้าปัทม์แสดงความเร็ว ซึ่งแบ่งสเกลเป็นไมล์ต่อชั่วโมง หรือนอตและเมื่อศรลมหันไปตามทิศทางของลม ในทิศทางต่างๆ ก็จะส่งอาการของไฟฟ้าลงมา

หน้าปัทม์บอกทิศทางลมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Indicator



Transmitter

แบบรูปถ้วย 4 ใบ ครึ่งวงกลม



ภาพที่ 2.11 แสดงเครื่องวัดลมแบบใช้ลูกถ้วยชนิดต่างๆ

เพื่อต้องการให้จดบันทึกรายงานของทิศทางลมและความเร็วลมได้ต่อเนื่องกันใช้ต่อสายไฟไปเข้าเครื่องจรรยาาน ซึ่งมีปากกาขีดไปบนกระดาษกราฟ จดบันทึกทิศทางและความเร็วลมให้ติดต่อเนื่องกันไปตลอดเวลา

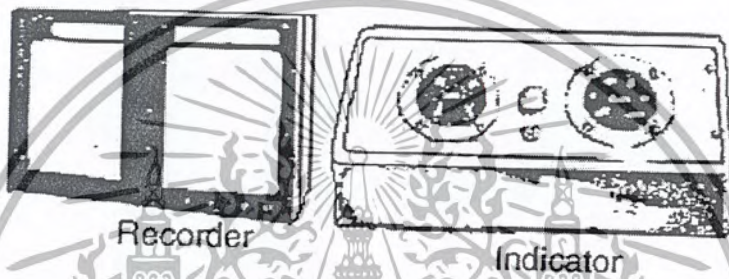
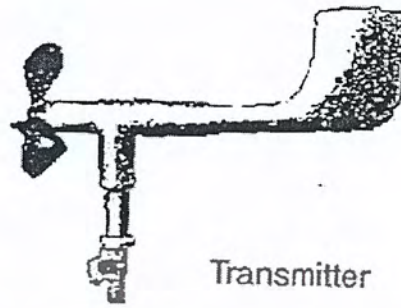
กระดาษกราฟรูปซ้ายมือจดบันทึกรายงานความเร็วลมเป็น ไมล์ต่อชั่วโมง กระดาษกราฟด้านขวามือจดบันทึกทิศทางของลมบนกระดาษกราฟ ด้านซ้ายเป็นลมฝ่ายตะวันตก และด้านฝามือเป็นลมฝ่ายตะวันออก

2.3.6 เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้ความกด

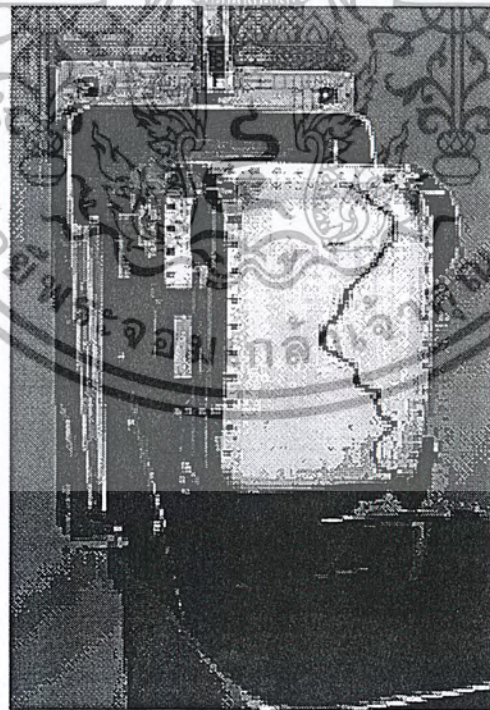
เป็นแบบที่ดีที่สุดและมีความถูกต้องแม่นยำดีกว่าแบบอื่นๆที่กล่าวมาแล้ว แบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือแบบ “มุนโรไดน์” เครื่องประกอบด้วยท่อรับลม ซึ่งติดต่อมาจากหัวสกลมลงมาเบื้องล่างของดั่งน้ำภายใต้ลูกลอย ดันลูกลอยให้สูงขึ้น ตามกำลังของลม ลมเหนือลูกลอยให้ถึงหนือออกได้อีกท่อหนึ่ง ซึ่งเป็นท่อระบายลม การเลื่อนขึ้นลงของลูกลอย ติดต่ออากาศไปยังแขนปากกาปากกาจะขีดไปบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันอยู่รอบกระบอกนาฬิกา เครื่องแบบนี้ทำได้จำกัดการคำนวณเลขตามความกด ขนาดของท่อ และอื่นๆ ได้ทั้งความกดและความเร็วลม และครลมยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในทางเพื่อการศึกษาได้ทั้งฉบับไปจนออกในรูปไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วัดทิศทางลมอีกด้วยในคราวเดียวกัน เครื่องแบบนี้ไม่มีอาการเกี่ยวกับไฟฟ้า จึงใช้ได้สะดวก
แม้ในที่ไกลๆ การคมนาคม และใช้วัดลมกระโชกได้ดีมาก



ภาพที่ 2.12 แสดงเครื่องวัดลมแบบเอโรวาน



ภาพที่ 2.13 แสดงเครื่องบันทึกรายงาน(Recorder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.1 เครื่องวัดแบบไดน์

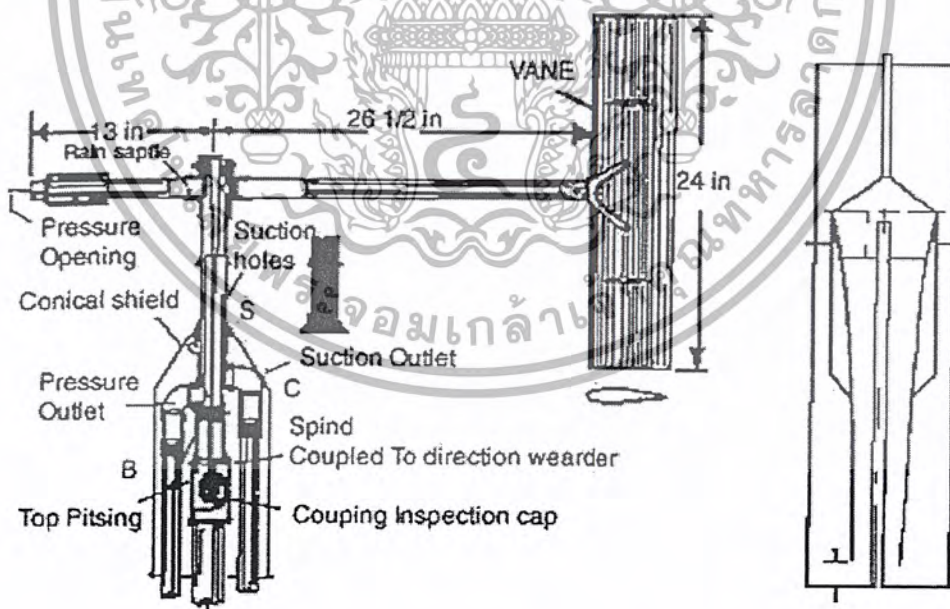
เป็นเครื่องวัดลมประเภทใช้แรงกด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วประกอบด้วยส่วนสำคัญ

3 ประการ คือ

1. ส่วนบนของสกรลม
2. เสาหรือหอคอย สำหรับติดตั้งแกนส่งหรือเครื่องวัดทิศทางต่อความกด และท่อดูดและเป็นท่อยึดส่วนบนด้วย
3. เครื่องจับบันทึกรายงานทิศทางและความเร็วลม ซึ่งต้องตั้งอยู่แนวตั้งกับสกรลม และมีห้องกันอยู่อย่างมิดชิด มีหลังคากันแดดและฝนด้วย

2.3.6.2 ส่วนบนและสกรลม

ในภาพที่ 2.14 แสดงให้เห็นส่วนบนและสกรลม A เป็นท่อปลายสกรลมซึ่งอากาศจะเข้าไปทางท่อนี้ สกรลมนี้จะหันหน้ารับลมอยู่เสมอ โดยมีหางบังคับ เมื่อลมพัดเข้าไปในท่อ A จะก่อให้เกิดความกดส่งไปยัง Pressure Outlet B และมีท่อต่อไปยังเครื่องบันทึกรายงานเบื้องล่างที่ Pressure cock a. ท่ออันกลางหุ้มไว้ด้วยท่ออีกชั้นหนึ่ง คือ S ซึ่งเจาะรูเล็กๆ ไว้รอบๆ หลายรู ทำหน้าที่เป็น Suction holes C เป็น Suction Cock b.



ภาพที่ 2.14 แสดงเครื่องวัดลมแบบไดน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.3 แกน

จากครลมนี่จะต่ออากาศไปยังเครื่องจทรายงานทิศทางของลม ซึ่งอยู่รวมกันกับเครื่องจดบันทึกรายงานความเร็วลม

2.3.6.4 เครื่องจทรายงานและความเร็วลม

เครื่องภายในประกอบด้วยเครื่องลูกลอย ซึ่งลอยอยู่เหนือผิวน้ำ (น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำกลั่นหรือน้ำสะอาดบริสุทธิ์หรือน้ำฝนก็ได้) ท่อความกดติดอยู่กับช่องว่างภายในลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวน้ำ โดยมิต่อตั้งขึ้นมาจากตรงกลางของถัง ท่อดูด (Suction Tube) ส่งอากาศไปยังที่ว่างภายนอกลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวน้ำ

ที่ตรงกลางตอนบนของลูกลอยซึ่งอยู่เหนือผิวน้ำนั้นมิก้านต่อขึ้นมายังตอนบนของถังที่ก้านลูกลอยนี้มีปากกาดูดซึ่งจะซัดไปบนกระดาษกราฟบอกค่าของความเร็วลมตอนปลายสุดของก้านมีถ้วยเล็ก ๆ สำหรับใส่ลูกปืน เพื่อความมุ่งหมายในการตั้งขีด 0 ของเครื่องวัดความเร็วลมทางตอนล่างสุดของเครื่องจบันทึกรายงานจะมีท่อระบายน้ำออก (Drainage Plug) เพราะน้ำฝนอาจเข้ามาตามท่อปลายครลม เข้ามาในเครื่องได้หรือไม่ก็เมื่อพนักงานมีความปกพร่องหรือสะเปร่ายกลูกลอยขึ้นลง อาจทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นมาจนก้นท่อตรงกลางเครื่องก็ได้

เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกลอยหมุนไปหรือเอนเอียงไปเขาทำที่บังคับไว้ และที่ข้างๆ ถังภายนอกเขาทำหลอดแก้วไว้ เพื่อสะดวกในการที่จะทราบระดับน้ำในถัง

2.3.7 ทฤษฎีของเครื่อง

ความแตกต่างกันในความกด P อันเกิดจากปลายท่อจากความกดของเครื่อง สำหรับลมที่มีความเร็ว V ในอากาศซึ่งมีความหนาแน่น ρ หาได้ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.9)$$

ซึ่ง K เป็นตัวประจำ ค่าวนได้จากขนาดของหัวครลม (head)

จาก Wind tunnel calibration ณ. กรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศอังกฤษ ซึ่งออกแบบไว้เช่นเดียวกันกับปลายครลมและได้ค่าของ $K = 1.49$ และความหนาแน่นของมาตรฐานของอากาศ 1.226 gm/m^3 ปรากฏผลดังนี้

$$P = 0.00103 (v^2) \text{ for } P \text{ in inches of water and } v \text{ in knots.} \quad (2.10)$$

$$P = 0.0261 (v^2) \text{ for } P \text{ in millimeters of water and } v \text{ in knots.} \quad (2.11)$$

$$P = 0.093 (v^2) \text{ for } P \text{ in millimeters of water and } v \text{ in meters/sec.} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโดยการทดลองของ Mr. W.H.Dines ซึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องวัดลมแบบนี้ ปรากฏว่า เมื่อกำหนดให้ P เป็นความต่างกันของความกดเป็นนิ้วของน้ำ และให้ V เป็นความเร็วลมเป็น ไมล์ต่อชั่วโมงจะได้

$$P = 0.00073K (v^2) \quad (2.13)$$

และถ้าให้ P เป็นมิลลิเมตรของน้ำ สูตรใหม่จะได้ดังนี้

$$P = 0.0186 (v^2) \quad (2.14)$$

หรือ $P = 0.136 (v^2) \quad (2.15)$

ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดนับว่าตรงกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge measurement)

การวัดปริมาณน้ำฝนมีหลักการที่ต้องพิจารณาและคำนึงถึงรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้ เพื่อให้การออกแบบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนเป็นไปตามมาตรฐานสากล

2.4.1 หน่วยที่ใช้ในการวัด (Units of measurement)

ในการวัดจำนวนน้ำฝนนั้น ใช้วัดเป็นความสูงของน้ำฝนที่ตกลงมาในเนื้อที่จำกัดอันหนึ่ง โดยคิดเสียน้ำฝนนั้น ไม่มีการระเหยหรือไหลซึมไปไหน โดยเรารู้เนื้อที่ของปากถัง ดังนั้นเมื่อเราต้องการวัดความสูงหรือความลึกของน้ำฝน เราก็สามารถใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัดความสูงได้ หรือจะทำเป็นแก้วสำหรับตวงน้ำฝนต่างหากก็ได้ หน่วยที่ใช้ในการวัดน้ำฝน ที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้วัดเป็น มิลลิเมตร การอ่านค่าของจำนวนน้ำฝนต้องวัดให้ได้ใกล้เคียงถึง 0.2 มิลลิเมตร สำหรับน้ำฝน 10 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่าแต่ถ้าจำนวนมากกว่านี้ยอมให้ค่าใกล้เคียง 2% ของจำนวนฝนทั้งหมด ในบางประเทศใช้หน่วยที่วัดเป็นนิ้วซึ่งเทียบค่าได้ 1 นิ้วมีค่าเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร ก็นับว่าถูกต้อง

2.4.2 การวัดจำนวนน้ำฝน (Rainfall measurement)

เริ่มแรกในการวัดจำนวนน้ำฝนนั้น กาสเทลลี ได้เป็นผู้สร้างเครื่องมือวัดนี้ขึ้นในประเทศ อิตาลีเมื่อ ปี ค.ศ. 1639 เครื่องประกอบด้วย แก้วรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางปากกระบอก ประมาณ 5 นิ้ว และลึก 9 นิ้ว ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาการขึ้นเรื่อยมาจนถึงขนาดทำให้จด สามารถบันทึกรายงานด้วยตัวเอง เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนธรรมดาที่ใช้ประจำวันเป็นรูปทรงกระบอก และมีกรวยต่อไปยังตัวรองรับน้ำฝน ขนาดของตัวรองรับน้ำฝนภายนอกไม่สำคัญ แต่เนื้อที่ของบริเวณที่รับน้ำฝนนั้นควรอยู่ระหว่าง 200-500 ตารางเซนติเมตรเป็นเหมาะสมที่สุดและ เส้นผ่าศูนย์กลางของถังรองรับน้ำฝนภายในควรมีขนาดเท่ากับ 1/10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางปากถังภายนอก โดยทั่วไปที่ใช้กันอยู่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปากถังภายนอกเป็น 8 นิ้ว 6 นิ้ว และ 5 นิ้ว อย่างไรก็ตาม เครื่องน้ำฝนที่ใช้ประจำวันต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่สำคัญต่อไปนี้

1. ขอบของปากถังด้านนอกต้องคมโดยทำให้ได้เป็นแนวตั้งตั้งตรงส่วนด้านนอกลาดเอียงลงเป็นแนวชันมาก
2. ต้องรู้เนื้อที่ช่องปากถังให้ใกล้เคียง 0.5 % และ เนื้อที่นี้จะต้องคงที่อยู่ตลอดไป
3. ถังภายนอกต้องออกแบบให้กันกระเซ็นของน้ำฝนทั้งเข้าและออกทำได้โดยทำให้ตัวถังเป็นแนวตั้งลึกลงไปพอสมควร และแนวลาดของกรวยต้องอย่างน้อย 45 องศา
4. ถังรองรับภายในควรทำเป็นคอคบๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำฝนระเหยออกไปเนื่องจากเรดิเอชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การวัดฝน (Rain measure)

การวัดฝนตามวิธีธรรมดาโดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ ใช้แก้วตวงอย่างหนึ่งและใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด แก้วตวงที่ใช้ตวงเป็นแก้วใส และมีสัมประสิทธิ์ของการขยายต่ำและต้องบอกให้ชัดเจนด้วยว่าใช้กับเครื่องวัดฝนแบบใด ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแก้วตวง ต้องไม่โตกว่า ประมาณ 1/3 ของปากถังของเครื่องวัดฝน และถ้าจะให้ดีกว่านี้ควรเล็กกว่าขนาดที่กล่าวนี้

สเกลที่แบ่งไว้บนแก้วตวงต้องขีดให้ชัดเจน โดยทั่วไปจะขีดไว้ทุกๆ 0.2 มิลลิเมตร และเส้นจำนวนเต็มของสเกล ต้องขีดเขียนเลขกำกับไว้ด้วย ถ้าจะให้ดีกว่านี้ควรขีดสเกลให้อ่านได้ ถึง 0.1 มิลลิเมตร ในการวัดเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด ควรอ่านค่าอย่าให้อัตราผิดพลาดเกินกว่า 0.02 มิลลิเมตร เมื่อจำนวนน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร

เพื่อที่จะให้ได้ค่าถูกต้องแม่นยำจริงๆ เมื่อมีจำนวนน้ำฝนน้อยเขาจึงทำกระบอกแก้วตวงตอนก้นสุดให้เรียวเล็กลง ในการตรวจทุกครั้งต้องถือแก้วตวงให้ได้ในแนวตั้งจริงๆ เพื่อว่าระดับน้ำฝนในแก้วตวงจะได้อยู่ในแนวนอน ตามแนวขีดสเกล ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอัตราผิดเนื่องจากการเหลื่อม เพื่อช่วยในการนี้ควรขีดเส้นสเกลเฉพาะเลขหลักใหญ่ซ้ำอีกทางด้านที่อยู่ตรงข้าม

ไม้บรรทัดหยั่งวัดทำด้วย ไม้สีด้าหรือวัสดุที่เหมาะสมอื่นๆ เช่น ไฟเบอร์กลาสซึ่งมีคุณสมบัติไม่ดูดน้ำขีดสเกลทำไว้อย่างน้อยทุกๆ 10 มิลลิเมตรอัตราผิดสูงสุดของสเกลต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร

ในการวัดไม้บรรทัดหยั่งวัดนี้ ถ้าสามารถทำได้ให้เทียบกับการวัดด้วยกระบอกแก้วตวงด้วย ก็จะเป็นการดี

2.4.4 การติดตั้งเครื่องมือ (Exposure)

จำนวนน้ำฝนที่จะเข้าไปในถึงนั้นขึ้นอยู่กับลมประการหนึ่ง วิธีการในการติดตั้งเครื่องมือประการหนึ่ง และความสูงของบรรดาสิ่งที่อยู่ตามสิ่งแวดล้อมอีกประการหนึ่ง ค่าที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีเหตุมาจากลมและส่วนใหญ่เป็นลมหวนรอบๆ ถังวัดปริมาณน้ำฝน กระแสอากาศไหลขึ้นทำให้ได้จำนวนน้ำฝนน้อยลงและกระแสอากาศไหลลงทำให้ได้จำนวนฝนมากขึ้นกว่าความเป็นจริง ถ้ายังมีลมหวนอย่างแรงและบ่อยๆ จำนวนฝนที่ได้ก็ยิ่งน้อยกว่าความเป็นจริงยิ่งขึ้น ความแรงและความถี่ของลมหวนนี้ขึ้นอยู่กับ ความแรงของลมอย่างหนึ่ง ลักษณะโดยทั่วไปของพื้นดินรอบๆ เครื่องวัดอย่างหนึ่ง ความห่างและ ความสูงของสิ่งแวดล้อมเครื่องวัดอย่างหนึ่ง และความสูงของเครื่องวัดที่ติดตั้งเหนือระดับพื้นดินอีกอย่างหนึ่งดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบผลการตรวจของสถานีต่างๆ เหล่านี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือเป็นแบบเดียวกันสำหรับประเทศไทยเรากำหนดให้ติดตั้งไว้บนพื้นดิน

ตามมติคณะกรรมการว่าด้วยเครื่องมือตรวจอากาศ และวิธีการตรวจในการประชุมสมัยที่ 3 ณ กรุงนิวเดลี เมื่อปี ค.ศ. 1962 ได้กำหนดให้ติดตั้งเครื่องวัดฝน ไว้บนพื้นดินที่มีระดับเรียบ

เอกสารนี้และสูงจากพื้นดิน 1 เมตร เป็นระดับมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกห้ามไม่ให้ตั้งบนพื้นที่ลาดชันหรือต่ำกว่าระดับดินใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ยกขึ้นมาอยู่ระดับสูง บนกำแพงหรือบนหลังคาและต้องไม่ติดตั้งในที่ๆ ลาดชันมากๆ ทางด้าน ซึ่งมีลมพัดอยู่เป็นประจำ ระยะห่างของเครื่องต้องอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางแวดล้อม 4 เท่าของความสูงสิ่งกีดขวางนั้นๆ

ฐานรองรับเครื่องอาจหล่อด้วยปูนซีเมนต์ ทำเป็นโครงรับให้พอดีกับเครื่อง และให้มีรูสำหรับระบายน้ำออก ฐานแทนให้ติดแน่นอยู่กับพื้นดินเพื่อว่ามีลมแรงๆ เครื่องจะได้ไม่เอนเอียง หรือจะถูกลมพัดให้ล้มได้ พื้นดินต้องเป็นหล้าที่ตัดสั้น ถ้าไม่สามารถจะติดตั้งในพื้นที่หล้าสั้นได้ อาจติดตั้งไว้บนพื้นราบแข็งๆ เช่น ลานคอนกรีต เพราะจะทำให้น้ำฝนที่ตกลงมากระเซ็นขึ้นไปเข้าเครื่องรับ ทำให้จำนวนน้ำฝนมากกว่าความเป็นจริง

ปากถังจะต้องตั้งให้ได้ระดับแนวอนจริง ๆ ไม่เอนเอียง โดยจับด้วยระดับน้ำ ในที่ๆ มีลมแรงมาก ๆ เขามักใช้ขวดพลาสติกกรองรับน้ำฝนภายใน เพราะสะดวกแก่การตรวจวัดจำนวนน้ำฝน ขณะที่มียลมแรง ๆ

ในประเทศที่มีดีกรีมบ้านช่องหนาแน่น เช่น ในยุโรป หรืออเมริกา เขามักนำเครื่องไปติดตั้งไว้บนหลังคาที่เป็นคานฟ้า แต่การติดตั้งไว้เช่นนี้ จำนวนน้ำฝนที่ตรวจได้ย่อมผิดกับการตรวจที่พื้นดินประมาณ 5-10 % สำหรับประเทศไทยเรายังไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำเช่นนั้น จึงกำหนดให้มีการติดตั้งบนพื้นดินทั้งสิ้น

2.4.5 การบำรุงรักษา (Maintenance)

ควรหมั่นตรวจดูถึงน้ำภายนอกและภายในเป็นระยะ ๆ โดยดูแลความสะอาดของถังและอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝน หรือถ้าส่วนใดเกิดการชำรุดหรือรั่วก็ให้รีบจัดการแก้ไขซ่อมแซม ให้เรียบร้อยเพราะถ้าหากรั่วหรือชำรุดจะทำให้ผลการตรวจวัดผิดพลาดไป นกตัวตุงก็เช่นเดียวกัน เมื่อเห็นสิ่งใดชำรุดให้รีบจัดการแก้ไขเสียโดยด่วน หรือถ้าแก้ไขไม่ได้ก็ให้จัดการเปลี่ยนใหม่

2.4.6 การตรวจวัดฝน (rainfall measurement)

การตรวจวัดฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดินเป็นการตรวจวัดฝนเฉพาะจุด ส่วนการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์ และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเป็นการตรวจวัด ที่สามารถบอกได้ถึงปริมาณน้ำฝนที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่าง ๆ

2.4.6.1 การตรวจวัดฝนด้วยเครื่องวัดฝนภาคพื้นดิน

1. เครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่อง มีลักษณะเป็นกระบอกตวง ใช้วัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในแต่ละครั้งเท่านั้น ไม่สามารถวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่องได้ ซึ่งหน่วยงานทางภูมิอากาศของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดแบบมาตรฐานของเครื่องวัดน้ำฝนไว้ว่า

เอกสารนี้จะต้องผลิตด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่บันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง

1. ไม้วัดความลึกน้ำฝน(measuring tube)
2. กรวยวัดน้ำฝน(collector or receiver)
3. ครอบวัดน้ำฝน(measuring tube)
4. ครอบกรับน้ำล้น(overflow can)
5. โครงเครื่องวัดน้ำฝน(support)

2. เครื่องวัดน้ำฝนแบบบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง

เป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดน้ำฝนตามเวลาได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะสามารถบันทึกค่าของปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้ง

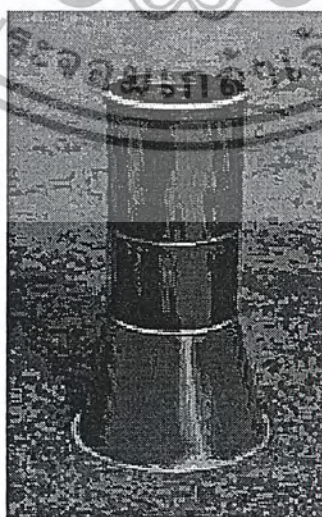
2.4.7 ประเภทของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบต่างๆ ที่นิยมใช้พอจำแนกประเภทได้ดังนี้

2.4.7.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบบันทึกค่าประจำวัน (Daily Rain Gauges)

เป็นเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่เก็บบันทึกค่าของปริมาณน้ำฝนรายวัน ในแต่ละวัน เมื่อฝนตกลงในภาชนะรองรับน้ำฝนจะมีคนคอยบันทึกค่าของปริมาณน้ำฝนแต่ละวัน แล้วเทน้ำฝนส่วนที่บันทึกเรียบร้อยแล้วทิ้งไป ซึ่งลักษณะที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปพอจำแนกได้ดังนี้

1. Splayed-Base Rain Gauge R001

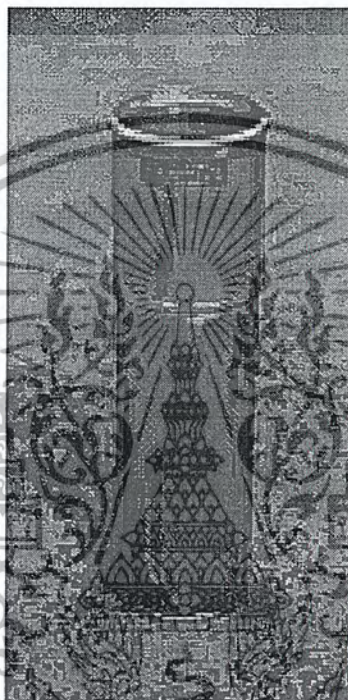


ภาพที่ 2.15 แสดง Splayed-Base Rain Gauge R001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดนี้นั้น ทำมาจากแผ่นทองแดงอย่างหนา ซึ่งเป็นโลหะอ่อนเป็นส่วนผสมระหว่างตะกั่วและดีบุก มีเส้นผ่าศูนย์กลางจากขอบถึง 127 mm ซึ่งเมื่อฝนตกลงในถังจะมีแก้วตวงปริมาณน้ำฝนอยู่ภายในภาชนะรองรับน้ำฝน ซึ่งในแต่ละวันจะมีคนคอยบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้งของวันนั้น ๆ

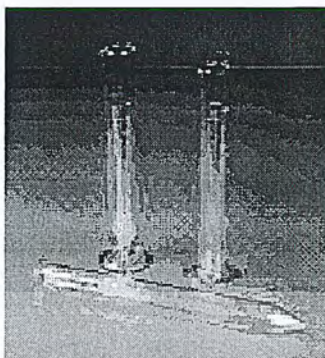
2. Cylindrical Rain Gauge R003



ภาพที่ 2.16 แสดง Cylindrical Rain Gauge R003

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดนี้จะมีโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งทำมาจากแผ่นทองแดงอย่างหนา มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากขอบถึง 127 mm เมื่อฝนตกลงในถังจะมีแก้วตวงปริมาณน้ำฝนอยู่ในภาชนะรองรับน้ำฝน ซึ่งในแต่ละวันจะมีคนคอยบันทึกค่าของปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้งของวันนั้น ๆ

3. Measuring Jars

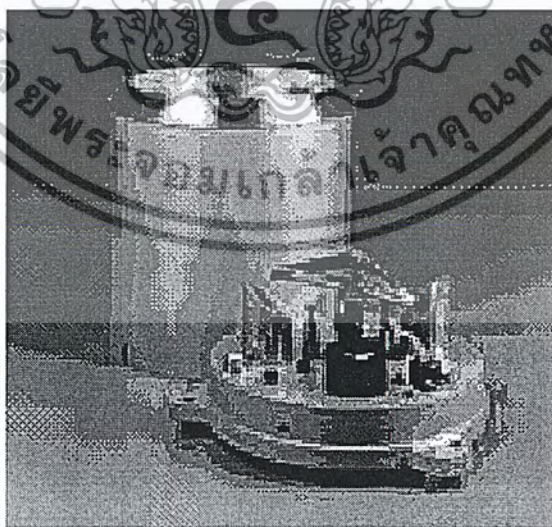


ภาพที่ 2.17 แสดง Measuring Jars

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับแจกัน สำหรับที่ใช้งานกัน โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากขอบถึง 127 mm หรือขนาด 203 mm ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 3 ชนิดด้วยกันคือ British Pattern R007-R009, Ordinary Pattern R011-R013, Camden Pattern R015-R017

2.4.7.2 ประเภทของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบบันทึกค่า (Recording Rain Gauges Types)

1. เครื่องวัดการตกของฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket Rain Gauge R100 Series)



ภาพที่ 2.18 แสดง เครื่องวัดการตกของฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket Rain Gauge R100 Series)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดอัตราการตกของฝนแบบคานกระดกนี้ ใช้เพื่อวัดอัตราการตกของฝนที่ตกลงมาซึ่งสามารถติดตั้งไว้ภายนอกอาคารได้ และทำการต่อสายเคเบิล เพื่อเข้าไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารซึ่งวิธีนี้จะไม่ทำให้กระดกบันทึกสัญญาณเปียกฝนได้

หลักการที่นำมาใช้ของเครื่องวัดอัตราการตกของฝนแบบคานกระดกนี้ใช้หลักการง่าย ๆ คือจะมีอุปกรณ์ที่รองรับน้ำฝน ซึ่งจะให้สมดุลและมีการขึ้นลงสม่ำเสมอบนแกน มักจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนจากรูป เมื่อมีปริมาณน้ำฝนเข้าไปในปากถังจะทำให้ที่รองรับด้านหนึ่งปริมาณน้ำเต็มและเมื่อได้ปริมาณตามความจุจะทำให้คานกระดกไปยังด้านตรงข้าม เมื่อรับปริมาณน้ำฝนจนเต็มจะกระดกมายังด้านเดิมสลับกันไป โดยที่รองรับจะถูกออกแบบให้น้ำที่ตกลงมา 0.01 นิ้ว ซึ่งจะมีสกรูเอาไว้ใช้ในการปรับให้ระยะเวลาในการกระดกต่าง ๆ กัน อีกทั้งยังใช้สวิทช์ปรอทในการออกสวิตลเลขชั้น และต่อกับเครื่องบันทึกเวลาในที่ติดตั้งในอาคารซึ่งจะแก้ปัญหากระดกบันทึกเปียกได้ เครื่องวัดแบบนี้จะไม่ใช้บริเวณที่ฝนตกประปราย

2. Tilting Siphon Rain Gaugs-Temperate Model R200



ภาพที่ 2.19 แสดง Tilting Siphon Rain Gauge Temperate Model R200

ลักษณะ โครงสร้างของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดนี้นั้น จะมีลักษณะคล้ายกับกระดกต้มน้ำร้อน ซึ่งมีฝาสามารถเปิดปิดได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัดจากขอบถึง 287.3 mm น้ำหนักของภาชนะหนัก 36 kg ความจุของมันจะจุปริมาณน้ำฝนได้ไม่จำกัด ปริมาณหลักการของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดนี้จะอาศัยการลอยตัวของภาชนะรองรับน้ำฝนที่อยู่ในผิวปิด ซึ่งจะมี

ปากกาสำหรับตรวจเช็คระดับของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ฝาเปิดปิด เมื่อฝนตกลงไปภาชนะรองรับน้ำฝน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุก ๆ 5 mm ปากกาดังกล่าวจะเลื่อนลงมาคอยเซ้ระดับน้ำฝน ซึ่งทุก ๆ 5mm เมื่อบันทึกเรียบร้อยแล้ว แล้วก็ไซฟอนน้ำทิ้งซึ่งช่วงเวลาในการไซฟอนน้ำทิ้งแต่ละครั้งจะใช้เวลา 6-8 วินาที เมื่อไซฟอนน้ำทิ้งเรียบร้อยแล้วปากกาก็จะระดับน้ำฝนก็เลื่อนลงมาซึ่งพร้อมที่จะบันทึกอีกในครั้งต่อไป ซึ่งปากกาที่ใช้จะทำงานจากไฟเบอร์หรืออิเล็กทรอนิกส์กับเงิน หรืออาจจะเป็นแบบที่หมึกพุ่งออกมา

4. Tilting Siphon Rain Gaugs-Tropical Model R208

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดนี้ ลักษณะ โครงสร้าง และ หลักการทำงานคล้ายกับ Temperate Model R200 แต่จะต่างกันตรงที่ขนาดและระดับในการไซฟอนน้ำทิ้งซึ่งแบบนี้จะมีขนาดได้เมตร 128.5 mm น้ำหนักของภาชนะหนัก 33.5 kg และจะไซฟอนน้ำทิ้งทุก ๆ 25 mm

ตารางที่ 2.3 แสดงการรายงานประเภทฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา

ประเภทฝน	ความเข้มฝน (mm/hr)
ฝนตกเล็กน้อย	1-5
ฝนตกปานกลาง	5-10
ฝนตกหนัก	10-20
ฝนตกหนักมาก	มากกว่า 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

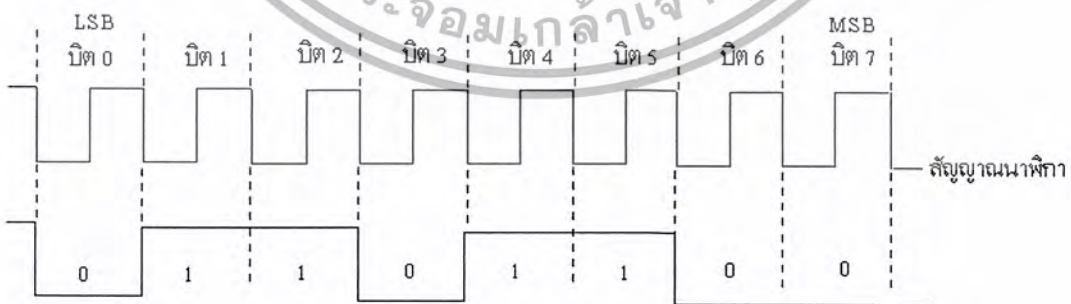
หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล

การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกันแบบอนุกรม เป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถส่งข้อมูลได้คราวละหลายๆ บิตได้หากแต่จะมีการตกลงกันระหว่างตัวส่งและตัวรับ จะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรอข้อมูลมาให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม จะใช้จำนวนสายสัญญาณน้อยกว่ามาก อย่างน้อยที่สุดใช้เพียง 2-3 เส้น เท่านั้นแต่อัตราเร็วการรับส่งข้อมูลอาจต่ำกว่าแบบขนาน อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม อาจใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถทำได้มากกว่า

3.1.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส และการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสก็คือ คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมอย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูลและกราวด์



ภาพที่ 3.1 แสดงรูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลแบบอนุกรม

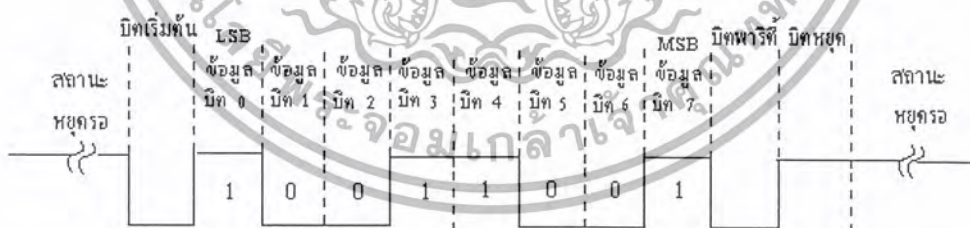
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย เหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสแต่ จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย เหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่าอัตราการถ่ายถอดข้อมูลหรือบอดเรต (baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน ดังนี้คือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,1.5 หรือ 2

อุปกรณ์พิเศษที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับ การรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เรียกว่า Universal Asynchronous Receiver/Transmitter หรือ UART อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ ค่าบอดเรต ซึ่งก็คือค่าจำนวนบิตต่อวินาทีที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลบอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110,150,300,600,1200 และ 19200 บิตต่อวินาทีและมีค่ามากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ซึ่งการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดย ไม่ผ่าน โมเด็ม อาจจะกำหนดค่าบอดเรตได้สูงถึง 115200 บิตต่อวินาที เนื่องจากบอดเรตคือ จำนวนบิตของข้อมูลที่สามารถถ่ายถอดได้ภายใน 1 วินาที



ภาพที่ 3.2 แสดงรูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

จากภาพที่ 3.2 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่งขาคาด้าจะมีสถานะลอจิก 1 ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขาคาด้า มีลอจิก 0 ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่งอาจมีจำนวนบิต 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้จากนั้นตามด้วยบิตพาริตีซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่ส่งคือบิตปิดท้าย ซึ่งจะให้คาตาามีสถานะเป็น 1 อีกครั้ง ด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

3.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

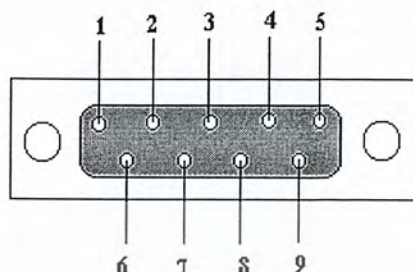
มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ 2 ทิศทาง มาตรฐานRS-232 ได้กำหนดรูปแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment:DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating:DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐานRS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE DCE จะเป็นตัวเมียและอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งได้เห็นได้ชัดคือคอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบDTEส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่โมเด็มจะเป็นแบบDCE

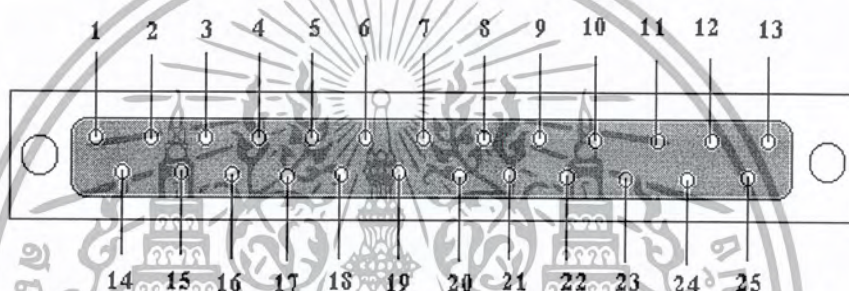


3.2.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ตRS-232และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบRS-232จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้



ก. คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



ข. คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25ขาหรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

ภาพที่ 3.3 แสดงการจัดขาคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามแบบมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

ตารางที่ 3.1 แสดงการจัดขาคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามแบบมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Derect : DCD	อินพุต
2	3	Received Data : RXD	อินพุต
3	2	Transmitted Data :TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready: DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุต
7	4	RequestTo Send : RTD	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator: RI	อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อ Ring Indicator: RI ไม่อนุญาตให้นำไปอื่นโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก แสดงดังภาพที่ 3.4 ลูกศร ในภาพแสดงถึงทิศทางของข้อมูลในภาพที่ 3.4 (ก) ในการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อ โดยไม่ผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในภาพที่ 3.4 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูลและเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียด หน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 ดังนี้ Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานปกติขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก Receive Data:RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้ เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ Transmitted Data:TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ สำหรับส่งข้อมูลออกไป Data Terminal Ready:DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห้ Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับเชื่อมต่อข้อมูลจากภายนอก ซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR-Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอ ให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อกับขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้น ได้ตลอดเวลา Clear to Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณมาจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TXD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งานจะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและ โปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

error 68 ขึ้นมา ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนที่ใช้คำสั่ง OpenPort Setting ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าอัตราบอดพาริตี จำนวนข้อมูลของบิตและจำนวนข้อมูลปิดท้าย

3.2.4 รูปแบบการใช้งาน

ค่า Value มีชนิดข้อมูลเป็นแบบ String มีรูปแบบเป็น "BBBB,P,D,S" โดย BBBB เป็นค่าอัตราบอด P เป็นค่าพาริตี D เป็นจำนวนของบิตข้อมูล และ S เป็นจำนวนของบิตปิดท้าย ปกติแล้วค่านี้จะถูกกำหนดเป็น "9600,N,8,1" ค่าบอดเรตมาตรฐานที่ใช้กับ MSComm นั้น มีดังนี้ 110 บิตต่อวินาที 300 บิตต่อวินาที 600 บิตต่อวินาที 1200 บิตต่อวินาที 2400 บิตต่อวินาที 9600 บิตต่อวินาที (ค่าปกติ) 14400 บิตต่อวินาที 19200 บิตต่อวินาที 28800 บิตต่อวินาที 38400 บิตต่อวินาที (สงวน) 56000 บิตต่อวินาที (สงวน) 128000 บิตต่อวินาที (สงวน) และ 256000 บิตต่อวินาที (สงวน)

ตารางที่ 3.2 แสดงค่ามาตรฐานในการกำหนดค่าพาริตีมีดังนี้

สัญลักษณ์	รายละเอียด
E	พาริตีคู่ (Even)
M	ลอคิก 1 (Mark)
N	ไม่ใช้ (ค่าปกติ)
O	พาริตีคี่ (Odd)
S	ลอคิก 0 (Space)

ค่าที่ใช้ในการกำหนดจำนวนบิตมี 5 ค่าคือ 4,5,6,7 และ 8 เป็นค่าปกติ PortOpenใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดและปิดพอร์ตอนุกรม รูปแบบการใช้งาน object.PortOpen[=value] ค่าValueมีชนิดข้อมูลเป็นแบบบูลีนคือ True กับ False โดย True หมายถึงการเปิดพอร์ตอนุกรมและFalseหมายถึง การปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตนั้นจะมีการเคลียร์บัฟเฟอร์รับข้อมูล และบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลด้วย คอนโทรล MSComm จะปิดพอร์ตอนุกรมอัตโนมัติเมื่อออกจากโปรแกรม ก่อนจะใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคุณสมบัติ CommPort นั้นได้ทำการเปิดพอร์ตอนุกรมไว้ถูกต้องหรือไม่ Input อ่านค่าและลบค่าขบวนของข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภายใต้รูปแบบการใช้งาน object.Input คุณสมบัติ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่จะอ่านโดยคุณสมบัติ Input การกำหนดค่า InputLen เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติ Input ทำการอ่านค่าข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมดคุณสมบัติ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดของข้อมูลที่คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า InputMode ถูกกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น com Input Mode Text คุณสมบัติ Input และจะส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบของข้อมูลกลับมาในรูปแบบของข้อความชนิดของข้อมูลจะเป็นแบบ Variant ถ้า InputMode จะต้องกำหนดเป็น comInput Mode Binary คุณสมบัติ Input จะถูกส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบของไบนารี และชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant Output ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังบัพเฟอร์ส่งข้อมูลรูปแบบการใช้งาน object.Output[=value] ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัพเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูลไบนารีก็ได้โดยการส่งข้อมูลเป็นรูปแบบตัวอักษรจะต้องกำหนดข้อมูลเป็นแบบVariantและมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูลไบนารี จะต้องกำหนดชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ Byte การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับระบบ I2C I2C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I2C โดยสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือสายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data Line) อีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock Line) ที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงานหลักการของบัส I2C บัส I2C จะต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โพรโตคอล (protocol) เพื่อให้ทราบว่าจะขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I2C คือ

1. การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีสว่างเท่านั้น
2. ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

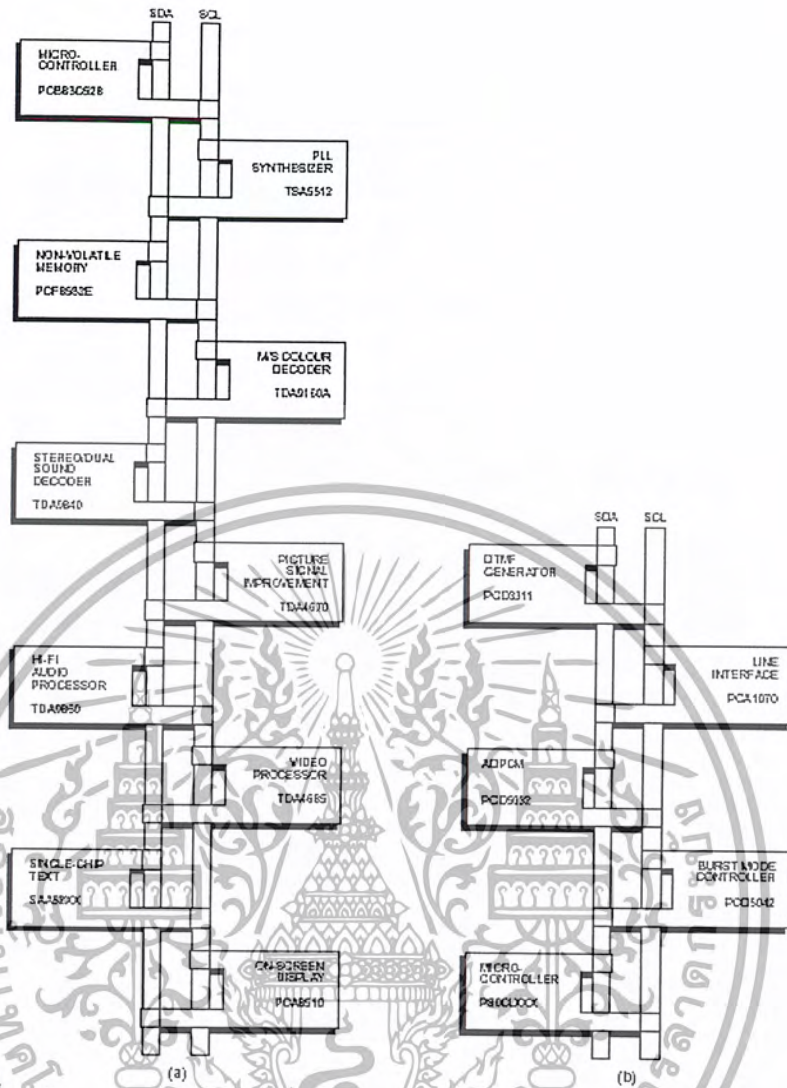
3.3 การขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยอุปกรณ์ระบบบัส I²C

การขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยอุปกรณ์ระบบบัส I²C จำแนกรายละเอียดต่างๆ ได้ดังนี้

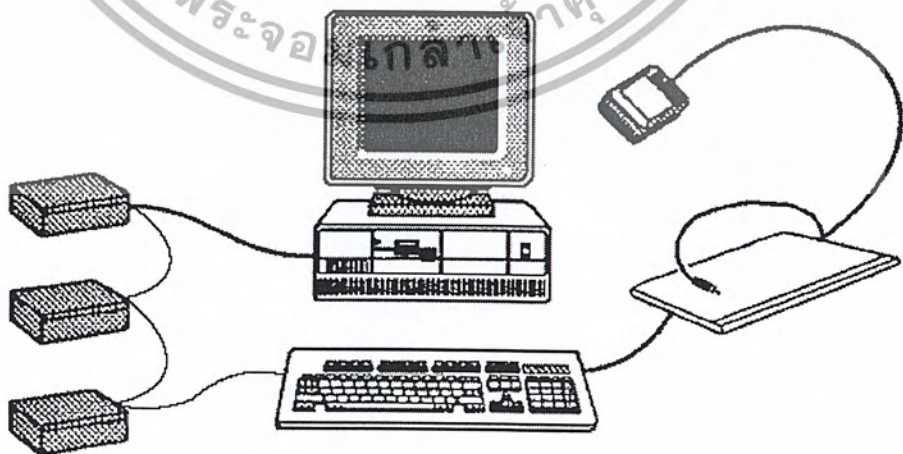
3.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I²C

I²C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I²C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น เส้นหนึ่งคือสายข้อมูลและอีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมากเพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานกันหรือพ่วงกัน ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว และการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 แสดงผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ บนระบบบัส I²C



ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัส I²C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

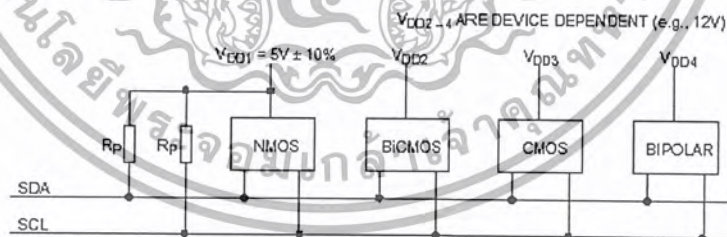
สายข้อมูลบนบัส I²C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่าสายข้อมูลอนุกรมหรือสาย SDA (Serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่าสาย SDA และ SCL

จากภาพที่ 3.6 แสดงผังของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ บนบัส I²C จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อบนบัส I²C มีหลากหลายไม่ว่าจะเป็น ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O Expander) ไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) และ แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก (DAC) ไอซีรีลไทม์คล็อก (RTC) ไอซีขับโมดูล (LCD) หน่วยความจำอีอีพรอม และ ไมโครคอนโทรลเลอร์

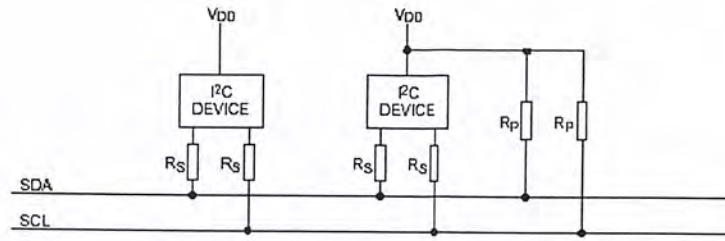
3.3.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I²C

สาย SDA และสาย SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทาน पुलอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูง ในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งานทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสองวงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ ที่ต่อยุ่บนบัส I²C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรรีเทนเปิด (open-drain) หรือ คอลเล็กเตอร์เปิด (open-collector) ดังรายละเอียดในภาพที่ 3.7

อัตราการถ่ายเทข้อมูล บนบัส I²C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ใช้ต่อร่วมอยู่บนบัส I²C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และสาย SCL ไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่าคือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)



ภาพที่ 3.7 แสดงการต่อตัวต้านทาน पुलอัปบนสายสัญญาณในระบบบัส I²C



ภาพที่ 3.8 แสดงการต่อตัวต้านทาน R_s เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I²C

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I²C คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยอุปกรณ์บนบัส I²C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อร่วมกันบนบัส I²C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ (R_p) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้ด้วยเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 3.8

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I²C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า R_s ก่อนต่อเข้าสู่บัส I²C ดังในภาพที่ 3.8

3.3.3 หลักการของบัส I²C

บัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัส สามารถมีได้มากมาย ดังนั้น จึงต้องมีข้อกำหนดรูปแบบ ของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โพรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปจะขออธิบายลักษณะหน้าที่และนิยามของอุปกรณ์ที่อยู่บนบัส I²C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I²C ต่อไป

1. อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (transmitter)
2. อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูลเรียกว่าตัวรับ (receiver) อุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ที่ ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว
3. อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่า มาสเตอร์ (master)
4. อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (slave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

1. การถ่ายทอข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
2. ในระหว่างการถ่ายทอข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

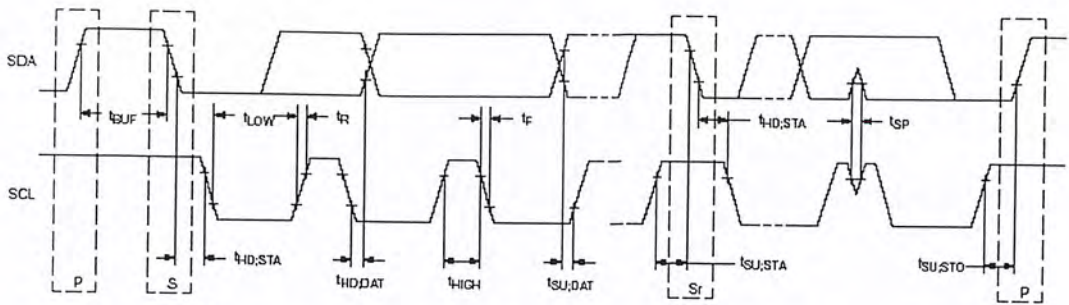
3.3.4 สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C

มีด้วยกัน 5 สถานะ ดังนี้

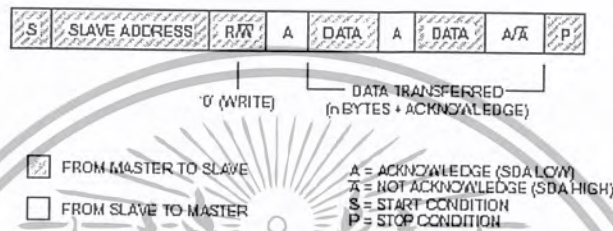
1. บัสว่าง (Bus not busy) สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้
2. เริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงหรืออาจเรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สถานะเริ่มต้น (START)
3. หยุดการถ่ายทอข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงหรืออาจเรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สถานะหยุด (STOP)
4. ข้อมูลค้างอยู่บนบัส (data valid) ซึ่งสถานะนี้จะเกิดขึ้นถัดจากสถานะเริ่มต้นโดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอ เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่าเป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำแต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ยังมีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสถานะหยุด หรือสถานะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น
5. รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูงหลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วนส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้ซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่งทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

ในภาพที่ 3.9 เป็นไทม์ไลน์แสดงถึงการเกิดสถานะต่าง ๆ บนบัส I²C ไม่ว่าจะ เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท เทคโนโลยี จำกัด อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 แสดงไคอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆ ในบัส I²C



ภาพที่ 3.10 แสดงรูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิต

3.3.5 การทำงานบนบัส I²C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงเสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มากใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรสจำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิตหลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

ดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัส I²C คือการอ้างถึงอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งในที่นี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างถึงทั้ง 2 รูปแบบ

3.3.5.1 การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นนั้นหลังจากสถานะเริ่มต้น คือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ หรือ ข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 6 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อโดยจะแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิตด้วยกัน ซึ่งข้อมูลนี้นั้นอุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ถัดมาอีก 3 บิตเป็น บิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่

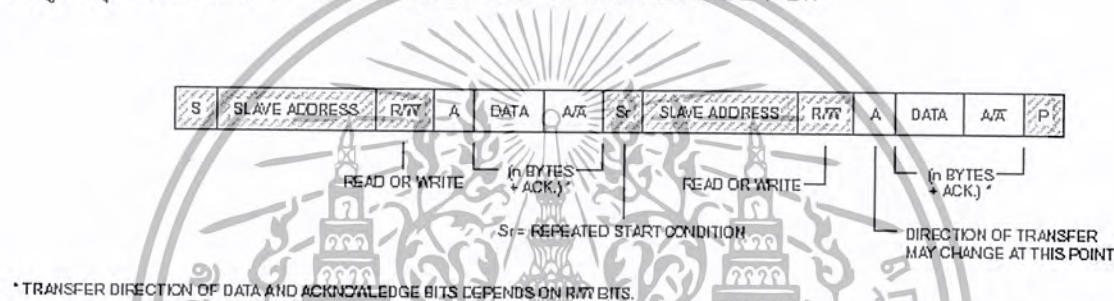
ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

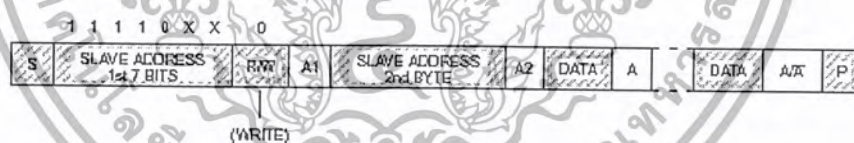
การอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์ สเตลฟตัวนั้น ๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเตลฟ

ข้อมูลในไบต์ต่อมา คือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมแตกต่างกัน ไปยกตัวอย่างไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่าบิตใดเป็นอินพุตบิตใดเป็นเอาต์พุตในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมา คือ จะมีข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data) หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเตลฟที่ได้รับการติดต่อ ต้องส่งสัญญาณรับรู้ว่าตอบกลับมาด้วยทุกครั้งเพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในภาพที่ 3.11 แสดง รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I²C ของการอ้างถึงแบบ 7 บิต



ภาพที่ 3.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บัส I²C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิต



ภาพที่ 3.12 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บัส I²C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต

3.3.5.2 การอ้างถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลังจากเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเตลฟตัวที่ต้องการติดต่อกับ ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อกับ ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่

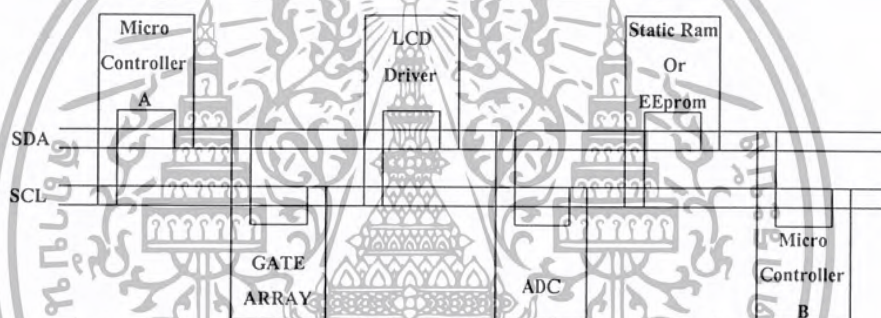
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับการอ้างอิงแบบ 7 บิตนั้น หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสถานะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ในภาพที่ 3.12 แสดงรูปแบบข้อมูลของการอ้างอิงแบบ 10 บิต

3.3.6 การต่ออุปกรณ์ระบบบัส I²C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สามารถทำได้ง่ายมาก เพียงใช้ขาพอร์ต 2 ขา โดยกำหนดให้ขาหนึ่งเป็น SDA อีกขาหนึ่งเป็น SCL และต่อตัวต้านทานค่าประมาณ 4.7k พูลอัพที่ขาพอร์ตทั้งสองขา เพียงเท่านี้ก็สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I²C ได้แล้ว

ในภาพที่ 3.13 เป็นวงจรตัวอย่างการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับระบบบัส I²C จากวงจรจะใช้ขาพอร์ต P1.0 เป็นขา SDA และ P1.1 เป็นขา SCL อุปกรณ์ที่ทำการติดต่อกับคือ ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตเบอร์ PCF8574



ภาพที่ 3.13 แสดงวงจรตัวอย่างการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ระบบบัส I²C

3.3.7 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I²C

เริ่มต้นด้วยการสร้างสถานะมาตรฐาน ของระบบบัส I²C อันประกอบด้วย สถานะเริ่มต้น สถานะสิ้นสุดการส่งข้อมูล สถานะหยุด สัญญาณนาฬิกาบนขา SCL การเขียนและอ่านข้อมูลกับอุปกรณ์บนระบบบัส I²C ดังมีโฟลวชาร์ตและรายละเอียดของ โปรแกรมย่อยที่ใช้สร้างสถานะต่างๆ

3.3.7.1 การสร้างสถานะเริ่มต้น

1. เมื่อต้องการติดต่อกับบัส I²C สิ่งแรกที่ต้องทำสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์คือ การทำให้บัสว่างด้วยการกำหนดให้ขา SCL และ ขา SDA มีลอจิกเป็น “1” ทั้งคู่
2. จากนั้นทำให้ขา SDA มีลอจิก “0” โดยที่ขา SCL ยังคงเป็นลอจิก “1” อยู่
3. กำหนดให้ขา SCL มีลอจิกเป็น “0” ถึงตอนนี้ทั้ง SCL และ SDA จะมีลอจิก

เป็น “0” ทั้งคู่ พร้อมทั้งจะติดต่อก็ได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7.2 การสร้างสถานะหยุด

1. เมื่อต้องการหยุดส่งข้อมูลจะต้องส่งสถานะหยุดออกไป โดยในตอนแรกเราต้องกำหนดให้ขา SCL และ SDA เป็นลอจิก “0” ทั้งคู่ก่อน
2. กำหนดให้ขา SCL มีลอจิกเป็น “1” โดย SDA ยังคงมีลอจิกเป็น “0”
3. จากนั้นทำให้ขา SDA มีลอจิกเป็น “1” ซึ่งจะทำให้ระบบบัสกลับเข้าสู่ระบบบัสว่างอีกครั้ง พร้อมทั้งจะรับหรือส่งข้อมูลต่อไป

3.3.7.3 การส่งข้อมูลลอจิก “0” และลอจิก “1”

หลังจากที่ทำการส่งบิตเริ่มต้นแล้ว ลำดับต่อไปคือ จะต้องส่งข้อมูลควบคุมซึ่งเป็นขบวนของลอจิก “0” และลอจิก “1” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “0” ต้องดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำให้ขา SDA เป็น “0” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “0”
2. ทำให้ขา SCL เป็น “1” สำหรับการป้อนสัญญาณนาฬิกา ในขณะที่ขา SCL ยังคงเป็น “0” อยู่

3. จากนั้นทำให้ขา SCL กลับมามีสถานะเป็นลอจิก “0” เหมือนเดิม

ในขณะทำการส่งข้อมูลลอจิก “1” มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำให้ขา SDA มีลอจิกเป็น “1” สำหรับการส่งข้อมูลลอจิก “1”
2. ทำให้ขา SCL เป็น “1” สำหรับการส่งสัญญาณนาฬิกา ในขณะที่ขา SDA ยังคงเป็น “1” อยู่
3. จากนั้นทำให้ขา SCL กลับมามีสถานะเป็นลอจิก “0” เหมือนเดิม

จากขั้นตอนดังกล่าว สามารถเขียนเป็นโฟลวชาร์ตและมีรายละเอียดของโปรแกรมตัวอย่างแสดงในภาพที่ 3.13 ในชื่อของโปรแกรมย่อยการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์สแตฟข้อมูลที่ใช้ในการส่งไปยังขา SDA นั้นจะกำหนดที่แอดเดรสแล้วทำการส่งออกไปยังแฟลคทดด้วยการใช้คำสั่งหมุนข้อมูล (RLCA) เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังขา SDA ต่อไป

3.3.8 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยไอซี PCF8574A

ในการขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วยไอซี PCF8574A จะต้องทราบถึงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

3.3.8.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8574A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยบริษัทตั้งแต่ 2.5V ถึง 6V นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กินกระแสในสถานะสแตนด์บายต่ำเพียง 10 μA
3. ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I²C
4. มีเอาต์พุตอินเทอร์รัปต์แบบเดรนเปิด
5. เอาต์พุตสามารถขับกระแสได้สูง โดยสามารถนำไปขับ LED ได้โดยตรง และสามารถแลตซ์ค่าได้
6. สามารถกำหนดตำแหน่ง ของแอดเดรสของไอซีแต่ละตัวได้ด้วยทางฮาร์ดแวร์ ด้วยขา A0-A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ถึง 8 ตัว

การจัดขาของไอซี PCF8574A แสดงในภาพที่ 3.14 ขาพอร์ตทั้ง 8 ขาของ PCF8574A สามารถกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระ โดยไม่จำเป็นต้องใช้คำสั่งควบคุม เพื่อเลือกให้เป็นขาเอาต์พุต หรือขาอินพุตลักษณะวงจรภายในของ พอร์ตอินพุตเอาต์พุต แสดงในภาพที่ 3.14 เมื่อจ่ายไฟให้กับ PCF8574A ครั้งแรก ขาพอร์ตทั้ง 8 ขาจะมีลอจิกเป็น “1” ซึ่งจะเป็นการจ่ายกระแสมาจากแหล่งจ่ายกระแสที่ ภายในตัวไอซี ทำให้มีกระแสในขณะลอจิก “1” นี้เพียง 100 μA เท่านั้น ในกรณีที่ต้องการให้มีการจ่ายกระแสสูงๆ จำเป็นต้องต่อตัวต้านทาง पुलอัปเอาไว้ที่ขาพอร์ตเหล่านี้ด้วย



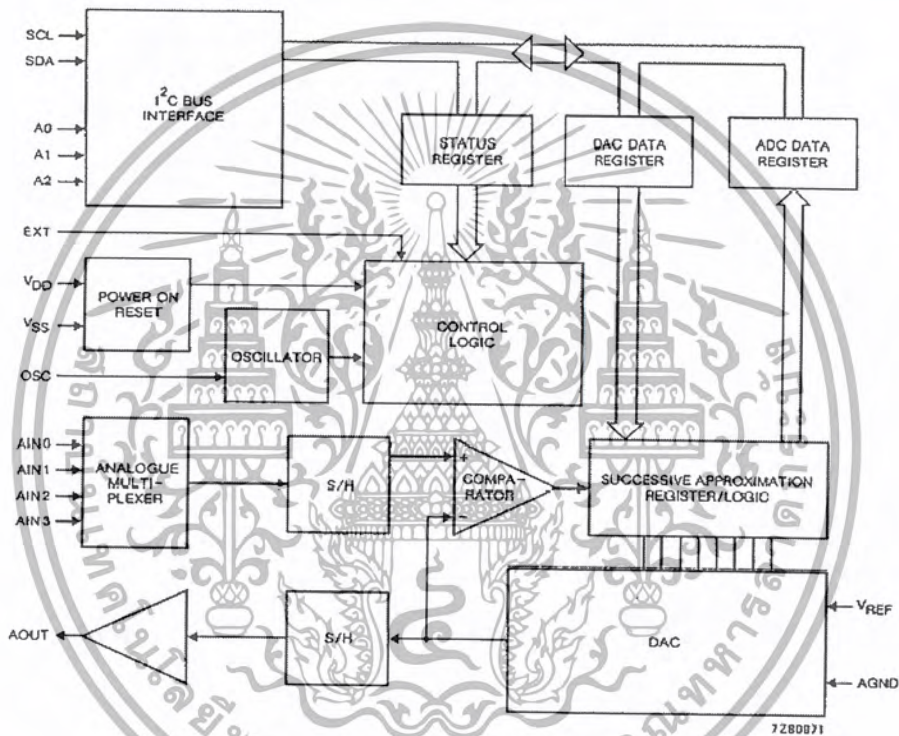
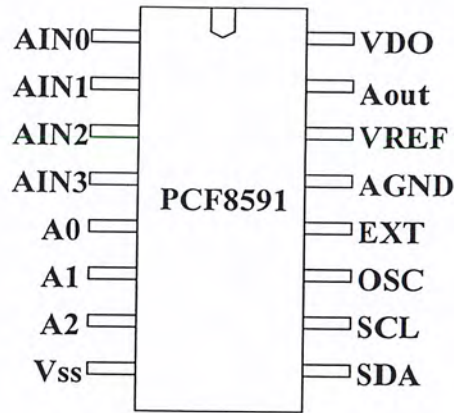


Fig.1 Block diagram.

ภาพที่ 3.14 แสดงการจัดขาของไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต PCF8574/PCF8574A

เมื่อต้องการให้ขาพอร์ตเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นอินพุตจะต้องส่งสัญญาณให้ขาเหล่านี้มีลอจิก “1” เสียก่อน เมื่อขาอินพุตได้รับสัญญาณจากภายนอก ป้อนเข้ามา ไอซี PCF8574A จะสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ (INT) ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือคอมพิวเตอร์รับรู้แทนการต้องคอยตรวจสอบขาอินพุตอยู่ตลอดเวลา สัญญาณอินเตอร์รัปต์นี้จะถูกรีเซต เมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลหรือมีการเปลี่ยนค่าของอินพุตไปสู่ค่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 การเขียนโปรแกรมควบคุม PCF8574A

เนื่องจาก PCF8574A มีการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ดังนั้นการติดต่อจึงสามารถใช้โปรแกรมย่อย การติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟการสร้างสถานะเริ่มต้นสถานะหยุด การอ่านและเขียนข้อมูล ส่วนที่ต้องเปลี่ยนแปลงสำหรับ PCF8574A คือข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยข้อมูลของ PCF8574A มีรูปแบบดังนี้

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

ภาพที่ 3.15 แสดงการกำหนดแอดเดรสของ PCF8574A

บิต A0, A1, A2, ใช้ในการระบุ PCF8574A ที่ใช้บนบอร์ดในกรณีที่มีการต่อ PCF8574 มากกว่า 1 ตัว โดยค่าของ A0-A2 จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละตัว สามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์ โดยการต่อขา A0-A2 เข้ากับไฟเลี้ยง +5V เพื่อกำหนดเป็นลอจิก “1” หรือกราวด์เพื่อกำหนดเป็นลอจิก “0” ดังนั้นค่าแอดเดรสของ PCF8574A 1 ตัวจึงต้องนำสถานะที่กำหนดทางฮาร์ดแวร์ที่ขา A0-A2 มารวมด้วยจึงจะสมบูรณ์ ส่วนบิต R/W ใช้กำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซี PCF8574A ยกตัวอย่าง ถ้าหากกำหนดขา A0-A2 ลงกราวด์ทั้งหมดและต้องการอ่านข้อมูลจาก PCF8574A ข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ต้องส่งให้แก่ PCF8574A คือ 01110001B เป็นต้น

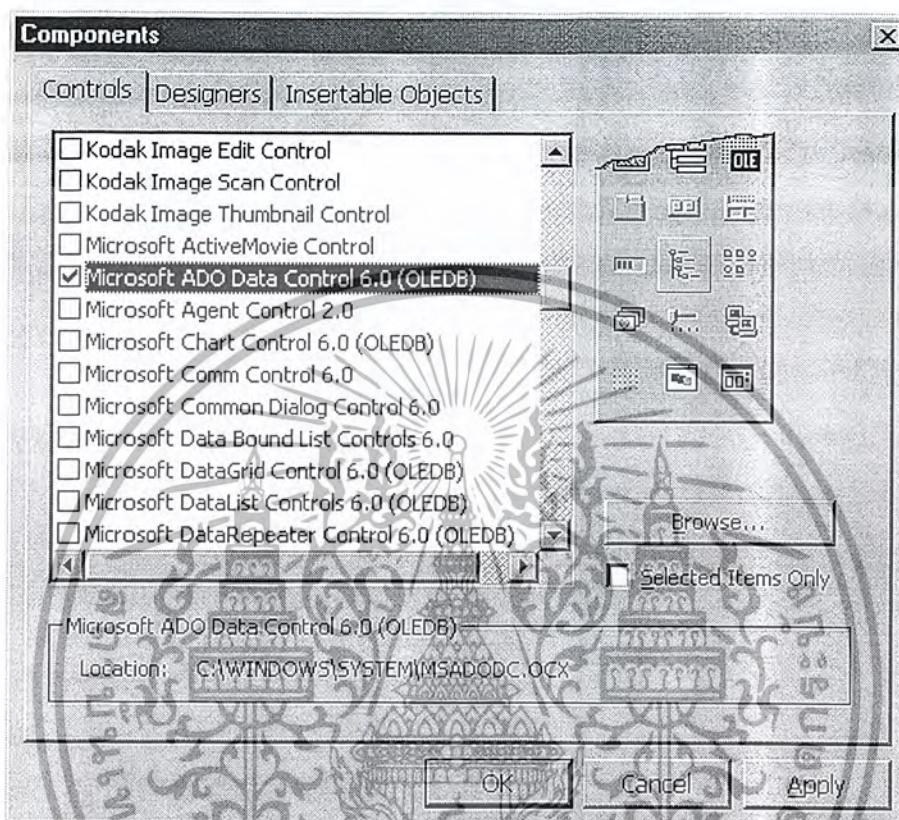
ไอซี PCF8574A ยังมีอีกเบอร์หนึ่งในอนุกรมเดียวกัน นั่นคือ PCF8574 ซึ่งก็มีข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่แตกต่างกับ PCF8574A แต่ฟังก์ชันการทำงานเหมือนกันทุกประการ โดยข้อมูลกำหนดแอดเดรสของ PCF8574 มีดังนี้

3.4 การเข้าถึงข้อมูลด้วย ADO Data Control

การนำเอา ADO Data Control มาใช้ในการเข้าถึงข้อมูล ถึงแม้จะใช้เพียงการกำหนดค่าให้กับ Property ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการติดต่อกับข้อมูลเช่นเดียวกับ Data Control แต่อย่างไรก็ตาม Property ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการติดต่อกับข้อมูลของ ADO Data Control และ Data Control ก็ต่างกัน ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงพื้นฐานของการนำเอา ADO Data Control มาใช้ในการเข้าถึงข้อมูล

3.4.1 การนำเอา ADO Data Control มาใช้งาน

เมื่อต้องการนำ ADO Data Control มาใช้งานภายในโปรแกรม “Microsoft ADO Data Control 6.0 (OLEDB)” ในจอภาพ Components ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แสดงการนำเอา ADO Data Control มาใช้ภายในโปรแกรม

ADO Data Control นี้เป็น Control ที่มีลักษณะคล้ายกับ Data Control เนื่องจากอยู่ในรูปแบบของ VCR-Style ที่ประกอบด้วยปุ่มต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับเลื่อน Pointer ไปยัง Record ต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 แสดงปุ่มสำหรับเลื่อน Pointer ของ Record

ซึ่งทั้ง 4 ปุ่มนี้จะใช้สำหรับเลื่อน Pointer ของ Record ดังนี้

ปุ่มหมายเลข 1 ใช้สำหรับเลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record แรกใน Recordset

ปุ่มหมายเลข 2 ใช้สำหรับเลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record ก่อนหน้า Record

ปัจจุบันใน Recordset

ปุ่มหมายเลข 3 ใช้สำหรับเลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record แรกถัดจาก Record

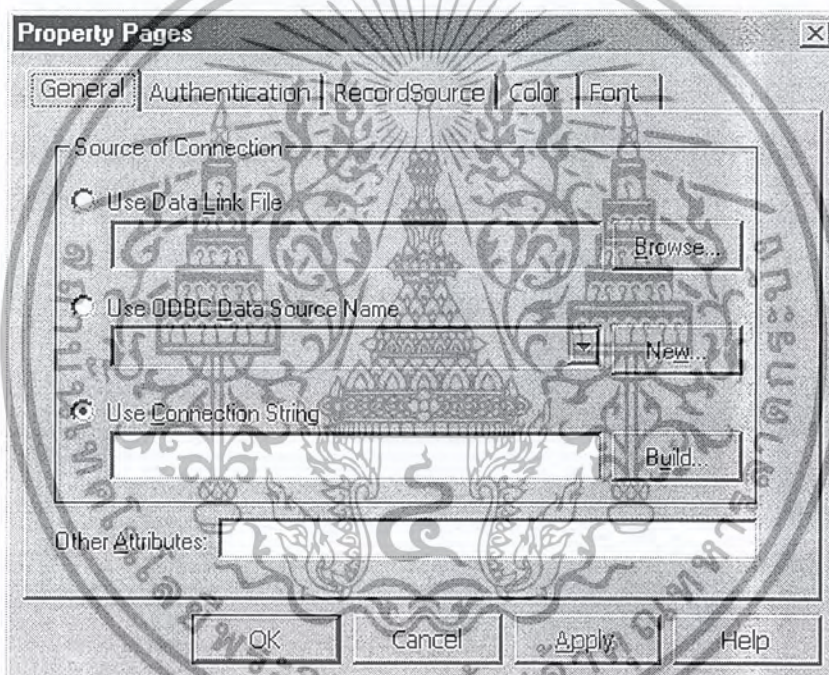
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าไปจนกว่าจะเห็นว่าไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่มหมายเลข 4 ใช้สำหรับเลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record ชุดท้ายใน Recordset

3.4.2 ขั้นตอนในการใช้ ADO Data Control เพื่อติดต่อกับข้อมูล

เมื่อต้องการใช้ ADO Data Control เพื่อติดต่อกับข้อมูลให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. เรียกจอภาพ Properties ของ ADO Data Control ด้วยการคลิกที่ ADO Data Control แล้วกด F4 ตามลำดับ
2. สร้างการติดต่อกับข้อมูลโดยการกำหนด OLE DB Provider , Path และชื่อของไฟล์ข้อมูลที่ต้องการติดต่อใน Property “ConnectionString” ซึ่งเมื่อคลิกยังปุ่มภายใน Property นี้ จะปรากฏจอภาพ Property Pages ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดง Property Pages สำหรับติดต่อกับข้อมูล

ภายในจอภาพนี้ เราสามารถกำหนดวิธีการในการติดต่อกับข้อมูลได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

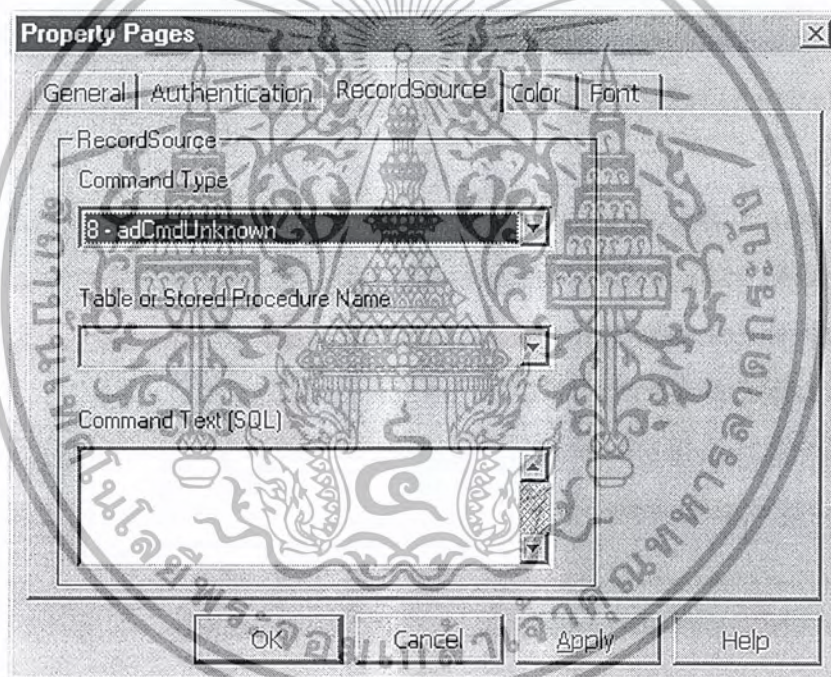
1. ใช้ไฟล์ Microsoft Data Link (ไฟล์นามสกุลUDL) โดยเลือก “Use Data Link File” แล้วคลิกที่ปุ่ม Browse เพื่อเปิดไฟล์ที่ต้องการ
2. ใช้ไฟล์ DSN “Use ODBC Data Source Name” แล้วเลือก DSN ที่เราต้องการ หรือคลิกที่ปุ่ม New เพื่อสร้าง DSN ขึ้นใหม่
3. ใช้ข้อความที่ใช้ในการติดต่อกับข้อมูล (Connection String) โดยเราจะต้องทำการเลือก “Use ConnectionString” แล้วคลิกที่ปุ่ม Build จากนั้นจึงใช้จอภาพ Data Link Properties สร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection String ซึ่งเมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะปรากฏข้อความว่า Connection String ใน Property “ConnectionString” ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับข้อความดังนี้

```
driver = { SQL Server } ; server = bigsmile ; uid = sa ; pwd = pwd ; database = pubs
```

กำหนดชื่อของ Table หรือ Stored Procedure หรือคำสั่ง SQL ที่ต้องการให้อ่านข้อมูลขึ้นมาเก็บไว้เป็น Recordset ใน Connection ที่สร้างขึ้นในข้อ 2 ใน Property “RecordSource” ซึ่งเมื่อกดปุ่มภายใน Property นี้ จะปรากฏจอภาพ Property Pages สำหรับกำหนดรูปแบบของข้อมูลที่จะนำมาใช้ใน ADO Data Control ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 แสดง Property Pages สำหรับกำหนดรูปแบบข้อมูล

ภายในจอภาพนี้เราสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลได้ 3 ลักษณะดังนี้

1. กรณีที่เราต้องการใช้ Table ให้เลือก “2 - adCmdTable” ในช่อง Command Type แล้วเลือก Table ที่ต้องการในช่อง Table or Stored Procedure Name
2. กรณีที่เราต้องการใช้ Stored Procedure ให้เลือก “4 - adCmdStoredProc” ในช่อง Command Type แล้วเลือก Stored Procedure ที่ต้องการในช่อง Table or Stored Procedure Name

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Method นี้จะทำให้เกิดเฉพาะ Record ว่างต่อเพิ่มเข้าไปใน Recordset ของ ADO Data Control ดังนั้นเมื่อกำหนดค่าให้กับ Field ต่าง ๆ ของ Record เรียบร้อยแล้ว ให้บันทึกข้อมูลที่เพิ่มเข้าไปในนั้นด้วย Method “Update ”

3.4.6 การบันทึกข้อมูลลงใน ADO Data Control

เมื่อต้องการที่จะบันทึกข้อมูลลงใน Recordset ของ ADO Data Control ให้ทำการใช้ Method “Update ” ในการบันทึกเช่นเดียวกับ Data Control โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

ADODataControl.Recordset.Update

โดยที่ ADODataControl หมายถึง ชื่อของ ADO data control

3.4.7 การลบข้อมูลออกจาก ADO Data Control

เมื่อต้องการที่จะลบ Record ปัจจุบัน (Record ที่ Pointer ชี้อยู่) ออกจาก Recordset ของ ADO Data Control ให้ใช้ Method “Delete ” ในการลบเช่นเดียวกับ Data Control โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

ADODataControl.Recordset.Delete

โดยที่ ADODataControl หมายถึง ชื่อของ ADO data control

3.4.8 การแสดงตำแหน่งของ Record ใน ADO Data Control

เมื่อต้องการแสดงตำแหน่งของ Record ปัจจุบันใน Recordset ของ ADO Data Control ให้อ่านค่าจาก Property “AbsolutePosition ” เช่นเดียวกับ Data Control โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

ADODataControl.Recordset.AbsolutePosition

โดยที่ ADODataControl หมายถึง ชื่อของ ADO data control

สำหรับค่าที่ได้จาก Property นี้ จะเป็นข้อมูลประเภท Long Integer และจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 (Record แรก) ถึงจำนวน Record ทั้งหมดใน Recordset (Record สุดท้าย) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าต่างจาก Property “AbsolutePosition ” ของ ADO Data Control ที่จะมีการค่าอยู่ระหว่าง 0 (Record แรก) ถึงจำนวนทั้งหมดใน Recordset ลบด้วย 1 (Record สุดท้าย) ด้านการค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 การแสดงจำนวนของ Record ใน ADO Data Control

เมื่อต้องการแสดงจำนวนของ Record ทั้งหมดใน Recordset ของ ADO Data Control ให้อ่านค่าจาก Property “RecordCount” เช่นเดียวกับ Data Control โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

ADODataControl.Recordset.RecordCount

โดยที่ ADODataControl หมายถึง ชื่อของ ADO data control

3.4.10 การเลื่อนตำแหน่งของ Record ใน ADO Data Control

ในการเลื่อนตำแหน่ง (Pointer) ของ Record ใน Recordset ของ ADO Data Control จะอาศัย Method ที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า “Move...” เช่นเดียวกับ Data Control ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงหน้าที่ของ Method ของ ADO

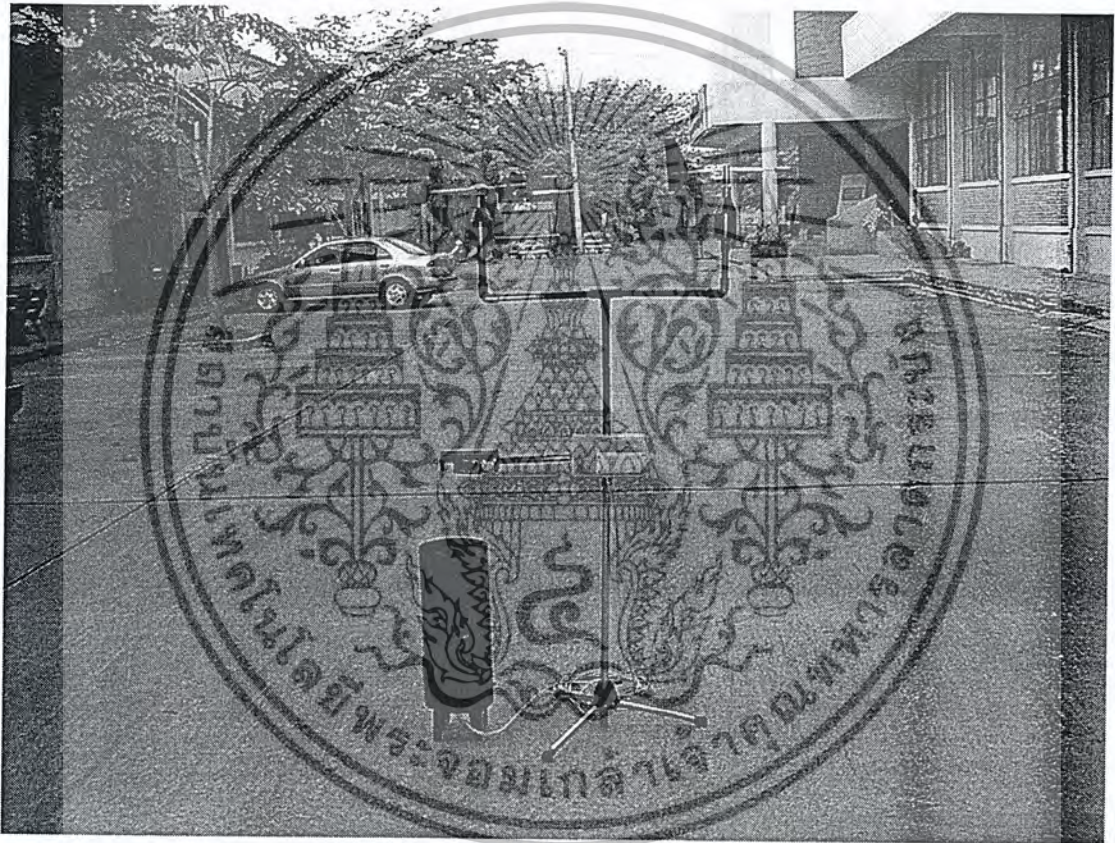
Method	หน้าที่
MoveFirst	ใช้สั่งให้ ADO Data Control เลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record แรกใน Recordset
MoveLast	ใช้สั่งให้ ADO Data Control เลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record สุดท้ายใน Recordset
MoveNext	ใช้สั่งให้ ADO Data Control เลื่อน Pointer ของข้อมูลไปยัง Record ถัดไปใน Recordset

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา

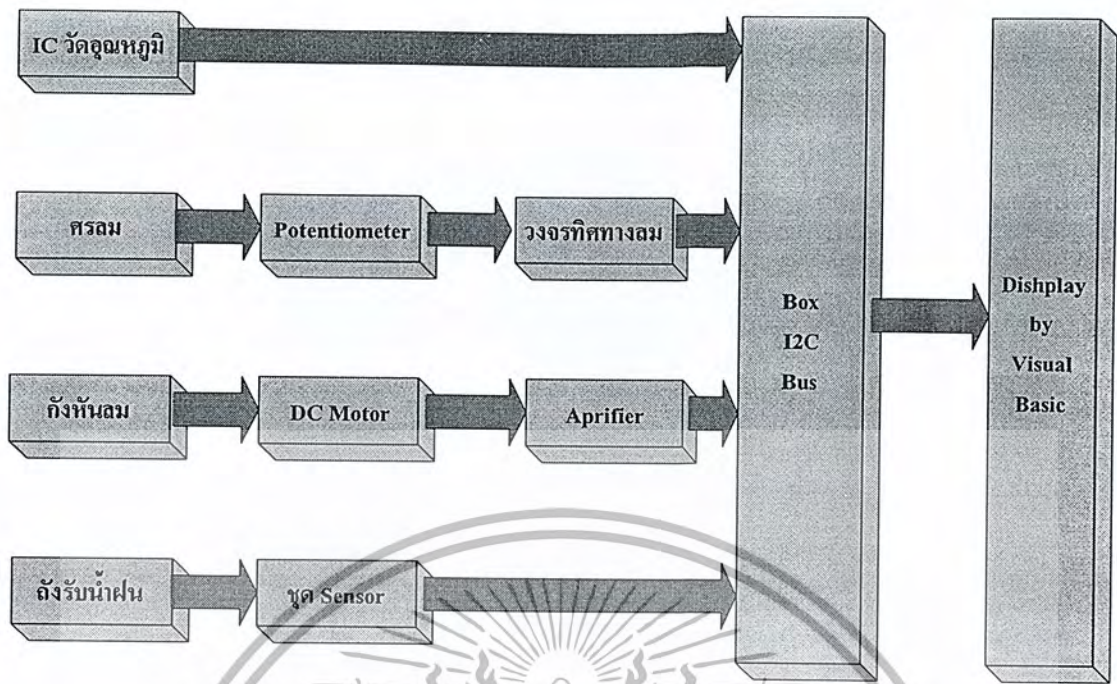
4.1 กล่าวนำ

การวัดทางอุตุนิยมวิทยา เป็นการวัดสิ่งที่เกี่ยวข้องที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการวัดสิ่งต่างๆ ดังนี้ เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดทิศทางลม เครื่องวัดความเร็วลม และ เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน



ภาพที่ 4.1 แสดงเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



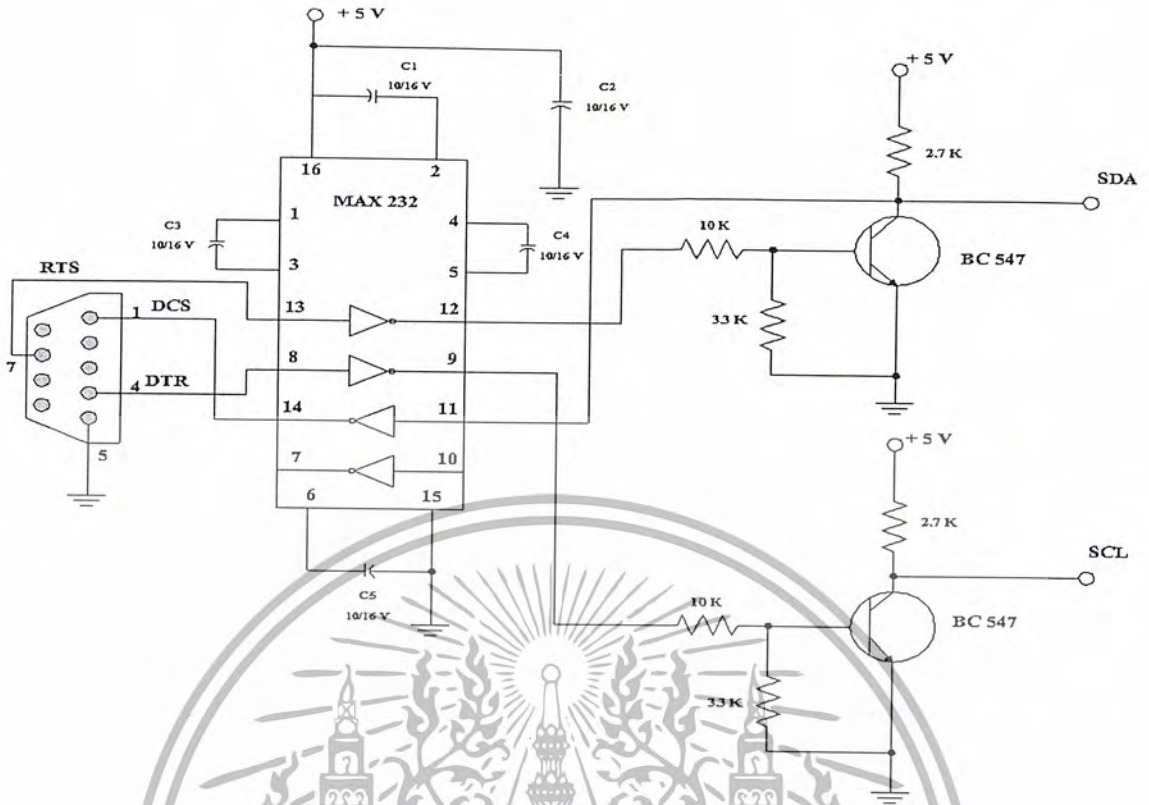
ภาพที่ 4.2 แสดงโฟลชาสต์ (Flow chart) การทำงานของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา

จากภาพที่ 4.2 แบ่งเป็นภาคการทำงานได้ดังนี้

1. ภาคเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperrature Meter Section)
2. ภาคเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter Section)
3. ภาคเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter Section)
4. ภาคเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain Gauge Meter Section)

ตารางที่ 4.1 แสดงการกำหนด Address ของเครื่องวัดแต่ละตัว

เครื่องวัด	Address Write (Hex)	Address Read (Hex)
เครื่องวัดอุณหภูมิ	90	91
เครื่องวัดทิศทางลม	92	93
เครื่องวัดความเร็วลม	94	95
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	70	71



ภาพที่ 4.3 แสดงการต่อบัส I²C กับอุปกรณ์ภายนอก

4.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Meter)

เครื่องวัดอุณหภูมิจะอาศัยหลักการของ ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลดัง โครงสร้างที่แสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ

4.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

เครื่องวัดอุณหภูมิจะใช้ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล มีโครงสร้างและส่วนประกอบที่ใช้ในการออกแบบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 DS 1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล นั้นเป็นไอซีวัดอุณหภูมิที่ใช้การติดต่อผ่านระบบบัส I²C คุณสมบัติที่สำคัญของ DS1621 มีดังนี้

1. วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -55 องศาเซลเซียส ถึง +125 องศาเซลเซียส มีความละเอียดในการวัด 0.5 องศาเซลเซียส เทียบหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ได้เท่ากับ -67 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง +257 องศาฟาเรนไฮต์ ความละเอียด 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอก
2. ความละเอียดของข้อมูลอุณหภูมิดิจิทัล 9 บิต
3. ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7- 5.5 v
4. ใช้เวลาในการวัดอุณหภูมิแล้วแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัล 1 วินาที
5. สามารถทำงานเป็นเทอร์โมสตัต (Thermostat) ได้พร้อมขาเอาต์พุต 1 ขา
6. ตั้งค่าอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการเมื่อทำงานเป็นเทอร์โมสตัตได้ โดยการติดต่อผ่านระบบบัส I²C และค่าที่กำหนดนี้จะคงอยู่ตลอดไป แม้ปลดไฟเลี้ยงก็ตาม
7. สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว

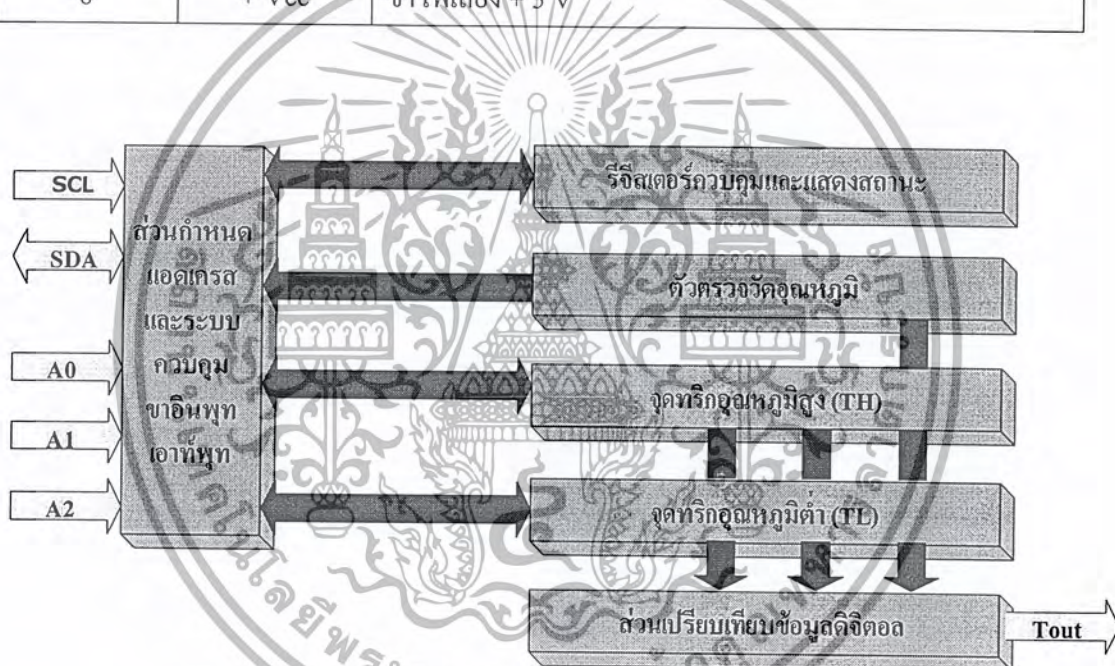


ภาพที่ 4.5 แสดงการจัดขาและการทำงานของ DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงหน้าที่การทำงานของขาต่างๆ ของไอซีวัดอุณหภูมิ

ขาที่	ชื่อขา	หน้าที่/การทำงาน
1	SDA	ขาข้อมูลอนุกรมสำหรับเชื่อมต่อระบบบัส I ² C
2	SCL	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับเชื่อมต่อระบบบัส I ² C
3	Tout	แอกตีฟ เมื่ออุณหภูมิสูงถึงจุดกระตุ้นสูง(TH) รีเซต เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดกระตุ้นต่ำ(TL)
4	GND	ขาต่อกราวด์ของวงจร
5-7	A2 - A0	ขากำหนดแอสแตรสของ DS1621 หากมีตัวเดียวในระบบควรต่อลงกราวด์
8	+ Vcc	ขาไฟเลี้ยง + 5 V



ภาพที่ 4.6 แสดงผังการทำงานเบื้องต้นโดยรวมของ DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

4.2.2 การทำงานของ DS 1621

หัวใจสำคัญอยู่ที่ส่วนวัดอุณหภูมิเมื่อ DS 1621 เริ่มทำงานจะทำการวัดอุณหภูมิ โดยภายในไอซีจะมีตัวตรวจจับอุณหภูมิที่มีตัวตรวจจับอุณหภูมิบรรจุอยู่ ผลการวัดจะส่งต่อไปยังส่วนจัดการแอสแตรสและควบคุมอินพุทเอาต์พุทในส่วนนี้ นำข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้ส่งต่อไปยังบัสผ่านขา SDA โดยได้รับการกำหนดจังหวะของการทำงานจากส่วนของรีจิสเตอร์ควบคุม และแสดงสถานะหากมีการกำหนดให้ทำงานในโหมดเทอร์โมสตัส ข้อมูลการวัดถูกส่งไปเปรียบเทียบกับจุดกระตุ้นทางสูง

และต่ำที่ส่วนเปรียบเทียบข้อมูลดิจิทัล ผลการเปรียบเทียบจะส่งออกทาง Tout ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

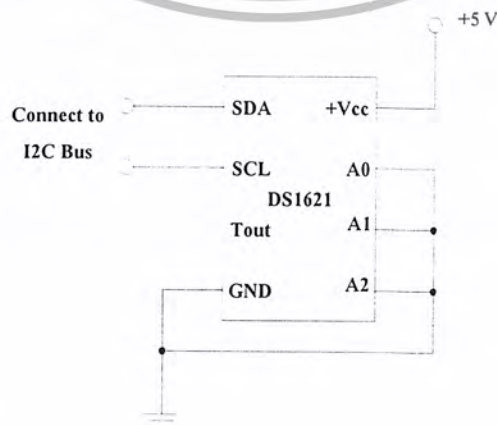
เนื่องจาก DS 1621 มีข้อกำหนดแอสแตรอส 3 ขา คือ A2-A0 จึงทำให้สามารถต่อพ่วง DS1621 ได้สูงสุด 8 ตัว โดยแต่ละตัวต้องกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอสแตรอสทั้ง 3 ให้แตกต่างกันส่วนจัดการแอสแตรอสและควบคุมอินพุทเอาต์พุทของ DS1621 แต่ละตัวจะเป็นตัวจัดการส่งข้อมูลตามที่อุปกรณ์มาสเตอร์ร้องขอ

ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ถูกเก็บอยู่ในรูปของข้อมูลเลขฐานสองขนาด 9 บิต ข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุทจะแบ่งเป็น 2 ส่วน 8 บิตบนหรือไบต์สูงจะเป็นค่าอุณหภูมิจำนวนเต็ม โดยบิต MSB จะเป็นตัวแสดงเครื่องหมายว่า อุณหภูมิเป็นบวกหรือลบ หากบิต MSB เป็น 1 แสดงว่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นลบในขณะที่ 8 บิตล่างหรือไบต์ล่างจะใช้งานเพียงบิตเดียวเป็นบิตแสดงค่าความละเอียดซึ่งเท่ากับ 0.5 องศาเซนเซียส

เมื่อสั่งให้ DS 1621 ส่งข้อมูลอุณหภูมิออกมา DS 1621 จะใช้เวลาไม่เกิน 1 วินาที จึงจะส่งข้อมูลออกมา ดังนั้นในการควบคุมการทำงานจึงต้องมีการหน่วงเวลา เพื่อรอให้ DS 1621 วัดและแปลงค่าออกมาเป็นข้อมูลให้เรียบร้อยเสียก่อน

ตารางที่ 4.3 แสดงรูปแบบข้อมูลดิจิทัลตัวอย่างของอุณหภูมิที่วัดได้จาก DS1621

อุณหภูมิ	ข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุท (เลขฐานสอง)	ข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุท (เลขฐานสิบหก)
+125 °C	01111101 00000000	7B00H
+25 °C	00011001 00000000	1900H
+0.5 °C	00000001 00000000	0080H
0 °C	00000000 00000000	0000H
-0.5 °C	11111111 10000000	FF80H
-25 °C	11100111 00000000	E700H
-55 °C	11001001 00000000	C900H

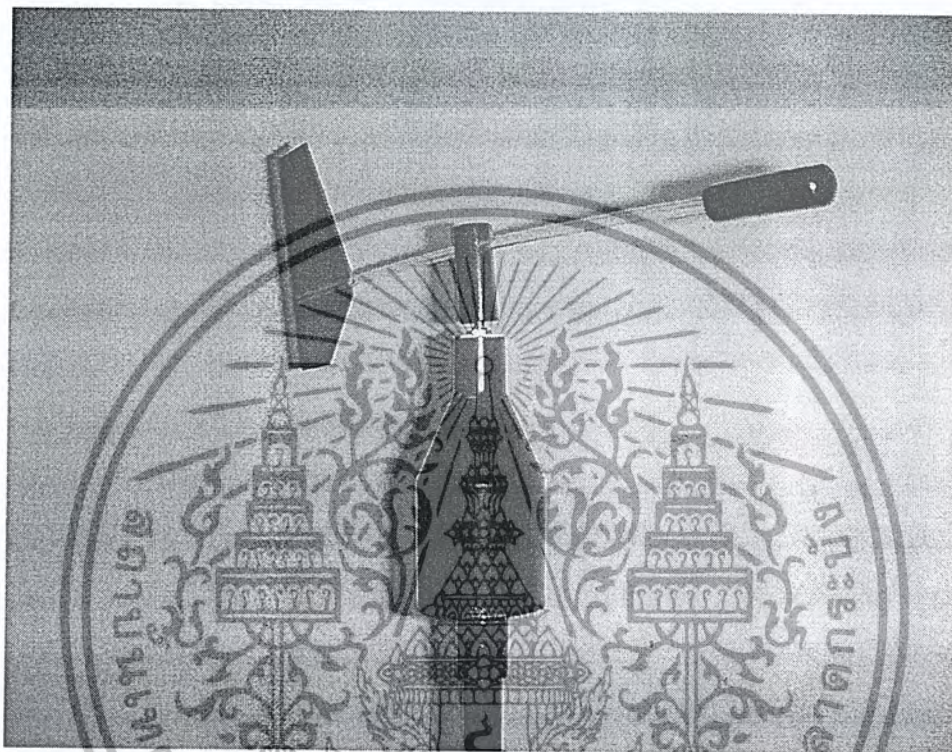


ภาพที่ 4.7 แสดงการต่อใช้งานของไอซีวัดอุณหภูมิ DS1621

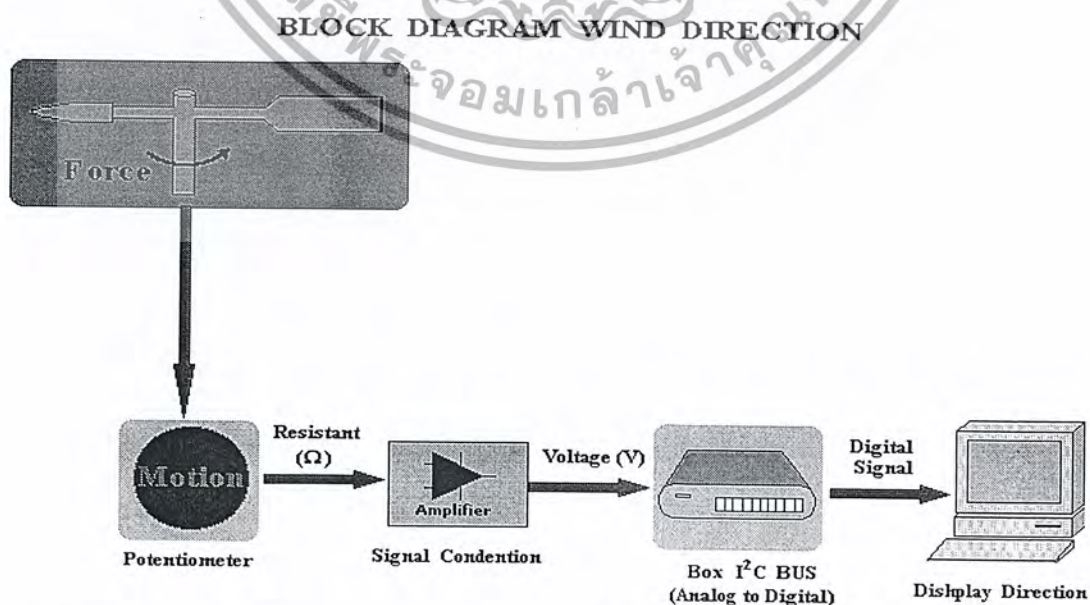
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter)

เครื่องวัดความเร็วลมที่ได้ออกแบบจะออกแบบโดยอาศัยหลักการ การเปลี่ยนแปลงของ ระยะเวลาจัดของโพเทนชิโอมิเตอร์ ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 4.8 ส่วนในภาพที่ 4.9 เป็นการ แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดทิศทางลม



ภาพที่ 4.8 แสดงเครื่องวัดทิศทางลม



ภาพที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter)

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

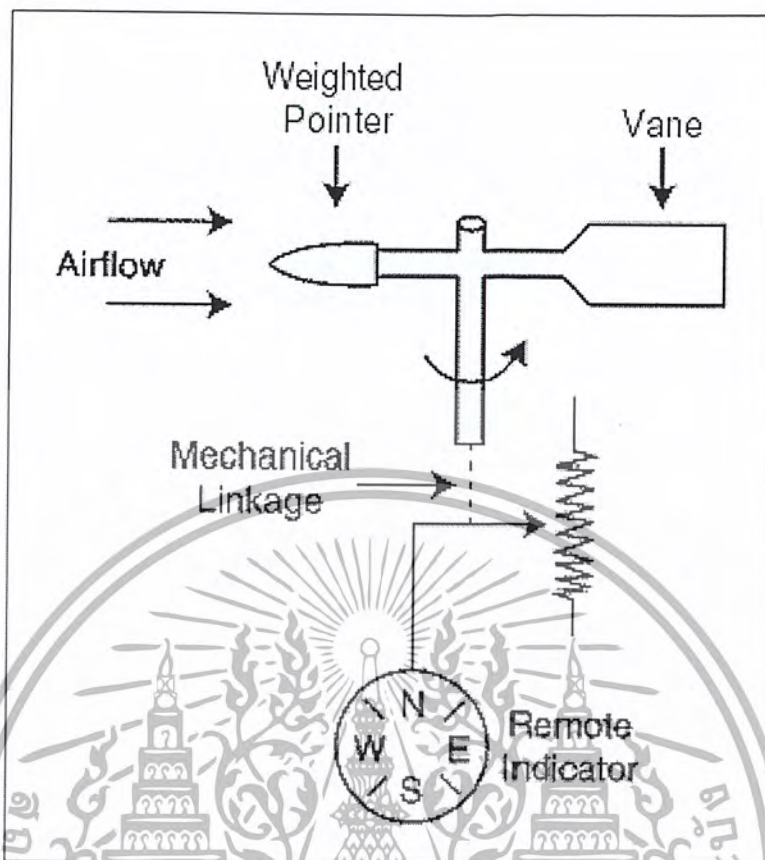
4.3.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

เครื่องวัดทิศทางลมนั้นตามโครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. ศรลม
2. โปเทนซิโอมิเตอร์
3. วงจรการทำงานของตัววัดทิศทางลม

4.3.1.1 ศรลม

ใช้หลักการวัดทิศทางลมแบบหัวลูกศร ซึ่งหัวลูกศรจะชี้ไปในทิศทางที่ลมพัดมา ทำให้ทราบเมื่อมีลมพัดมาจากทิศทางไหน โดยสามารถดูได้ที่ปลายทิศทางลูกศรที่ชี้ไปยังทิศทางนั้น จากภาพที่ 4.10 เป็นรูปแบบการทำงานของเครื่องวัดทิศทางลม โดยใช้หลักการวัดทิศทางการหมุน 1 รอบ เป็นมุม 360 องศา ซึ่งต่อแกนร่วมอยู่กับตัวเซ็นเซอร์วัดระยะขจัด โดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานใน 1 รอบ การหมุน ตัวที่ใช้วัดนี้คือ โปเทนซิโอมิเตอร์ เช่น ใช้ค่า โปเทนซิโอมิเตอร์ $10\text{ k}\Omega$ ในการวัดมุม 1 รอบ 360 องศา ก็จะหลักการเปลี่ยนแปลงของมุมที่เปลี่ยนไปมาทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนตามไปด้วย เมื่อค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป จะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงแรงดันด้วยโดยต่อแหล่งจ่ายไฟตรงให้โปเทนซิโอมิเตอร์ นำแรงดันที่ได้นี้ ที่มีผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน เช่น 000 องศาที่ 0 โวลท์ และ 360 องศาที่ 5 โวลท์ ไปแสดงผลยังคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในห้องควบคุมหรืออาจเป็นห้องฝ้าระวังภัย ที่อยู่ห่างออกไปจากห้องควบคุม (Remote Indicator) โดยคอมพิวเตอร์จะเขียนโปรแกรมเพื่อนำค่าแรงดันส่งมาแสดงผลเป็นค่ามุมทิศทางลมที่เปลี่ยนไปได้



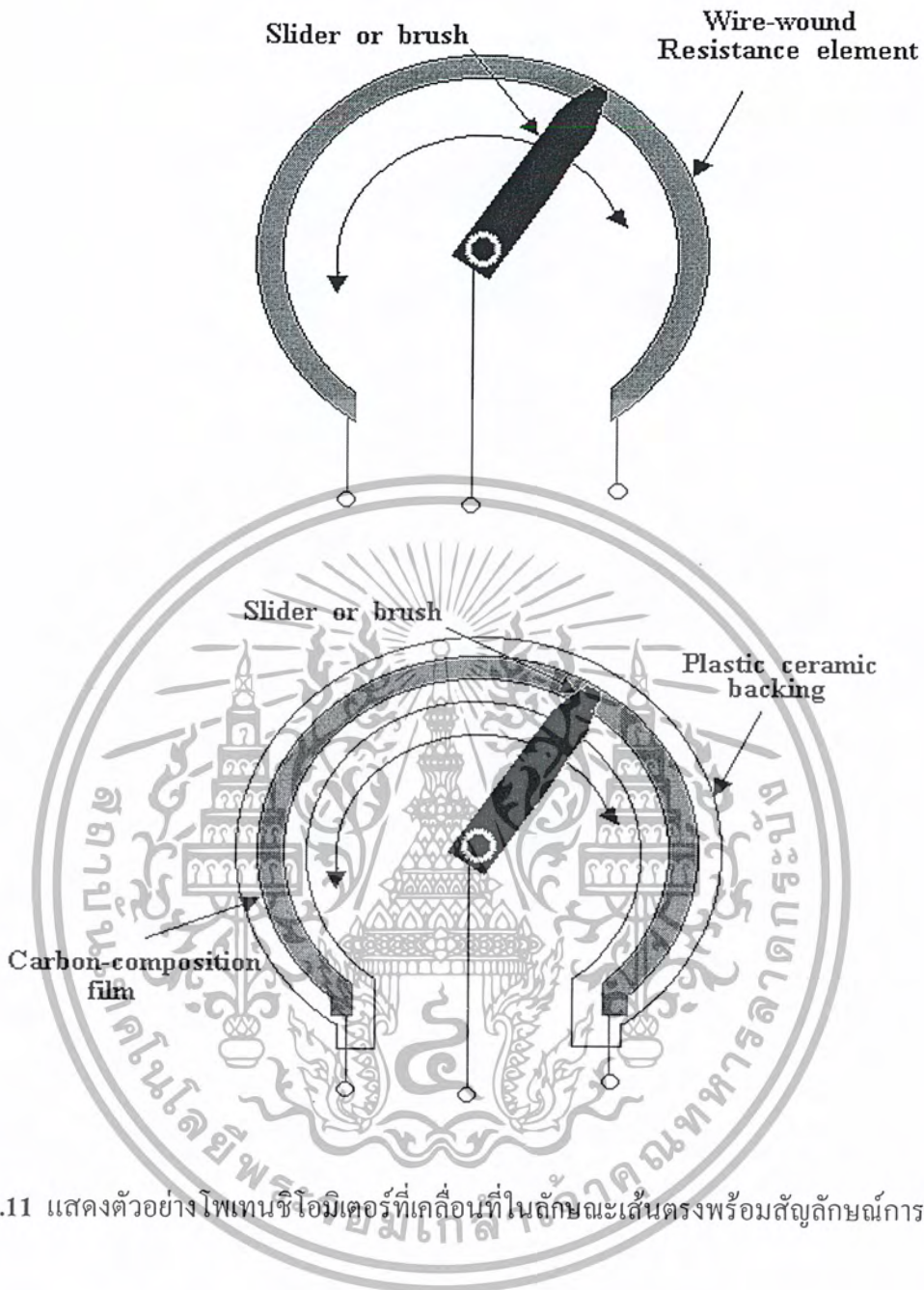
ภาพที่ 4.10 แสดงหลักการทำงานของ ตัววัดทิศทางลม (Wind direction)

4.3.1.2 โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

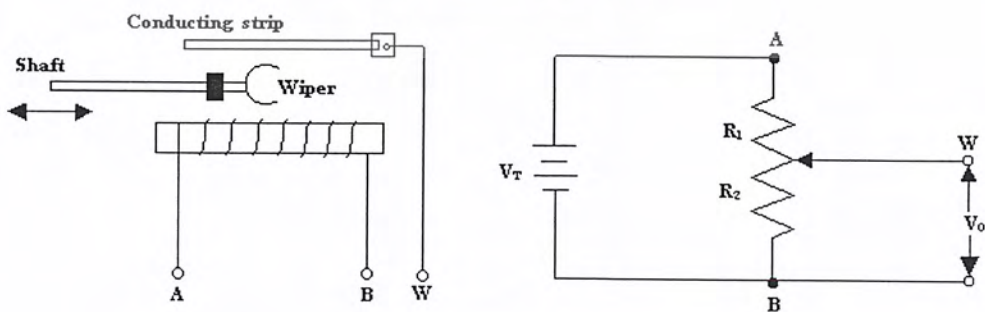
เป็นอุปกรณ์ตรวจที่ใช้วัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของวัตถุใดๆ หมายถึง การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุนั้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องจากตำแหน่งเริ่มต้น ไปยังตำแหน่งสุดท้าย ดังนั้นการเคลื่อนที่จึงเกี่ยวข้องกับระยะทางการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งเรียกว่า ระยะการขจัด (displacement) เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง เป็นต้น

ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้นั้นจะถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการขจัด (displacement) อย่างง่ายที่สุด โครงสร้างโดยทั่วนั้นจะประกอบด้วยตัวต้านทานซึ่งทำมาจากคาร์บอนหรือขดลวด และหน้าสัมผัสที่สามารถเลื่อนไปมาบนตัวต้านทานได้ ซึ่งในการใช้งานสำหรับการวัดการขจัด สามารถทำได้โดยการต่อแกนที่มาจากหน้าสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการจะตรวจวัด เช่น การตรวจวัด การเคลื่อนที่เข้าออกของก้านสูบและกระบอกสูบนิวมेटริกส์หรือไฮดรอลิกส์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะเส้นตรง นอกจากนี้ทรานสดิวเซอร์ประเภทนี้ก็ยังมีแบบที่เคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นแบบเชิงมุมอีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงตัวอย่างโพเทนซีโอมิเตอร์ที่เคลื่อนที่ในลักษณะเส้นตรงพร้อมสัญลักษณ์การต่อ



ภาพที่ 4.12 แสดงวงจรการต่อใช้งาน Potentiometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

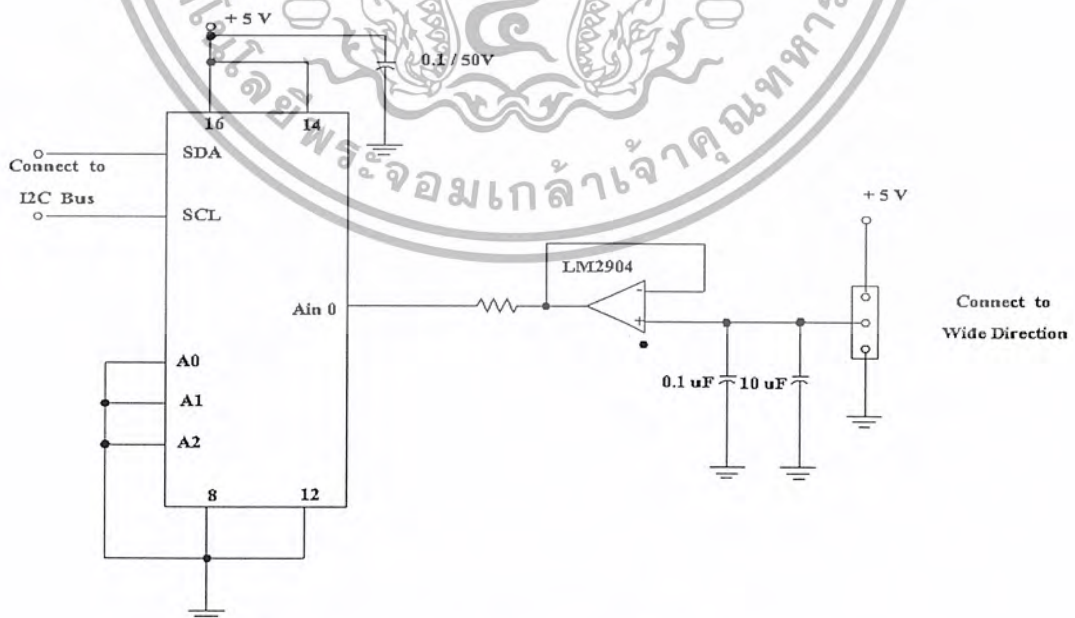
จากภาพที่ 4.12 โดยแรงดันเอาต์พุต (V_o) จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหน้าสัมผัส โดยวงจรในลักษณะนี้จะเรียกว่าวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ซึ่งแรงดันด้านเอาต์พุต (V_o) จะมีค่าตามสมการดังนี้

$$V_o = (R_2)(V_T)/(R_1 + R_2)$$

4.3.1.3 วงจรการทำงานของตัววัดทิศทางลม

วงจรวัดทิศทางลมใช้ไฟเลี้ยงวงจร 5 V และใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ขนาด 10 K Ω เป็นการวัดระยะจัดเชิงมุมโดยที่ 000 องศาที่ 0 โวลต์ และ 360 องศาที่ 5 โวลต์ ส่งไปยัง Op-Amp ซึ่งต่อเป็นแบบลักษณะโวลต์เดจฟอลโวลเวอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว Matching Impedance ระหว่างโพเทนชิโอมิเตอร์ และวงจรคาปาซิเตอร์ C3 และ C4 เป็นตัวฟิลเตอร์แรงดันและลดแรงดันแกว่งที่ได้รับทางขาเข้ามาจากโพเทนชิโอมิเตอร์ส่วนความต้านทาน R8 จะเป็นตัวจำกัดกระแสทางเอาต์พุต ในกรณีที่โพเทนชิโอมิเตอร์ยังไม่ได้ต่อร่วมอยู่ขณะนั้น ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จะออกมาในรูปแบบของแรงดัน 0-5V เพื่อนำส่งไปเข้าสู่วงจร I²C เพื่อทำการส่งข้อมูลออกไปยังคอมพิวเตอร์ที่อยู่ห่างไกล เพื่อทำการเก็บข้อมูลและประเมินผล ดังสมการทิศทางลม

$$\text{Wind Direction} = (V_{out} / 5 \text{ Volts}) * 360^\circ$$

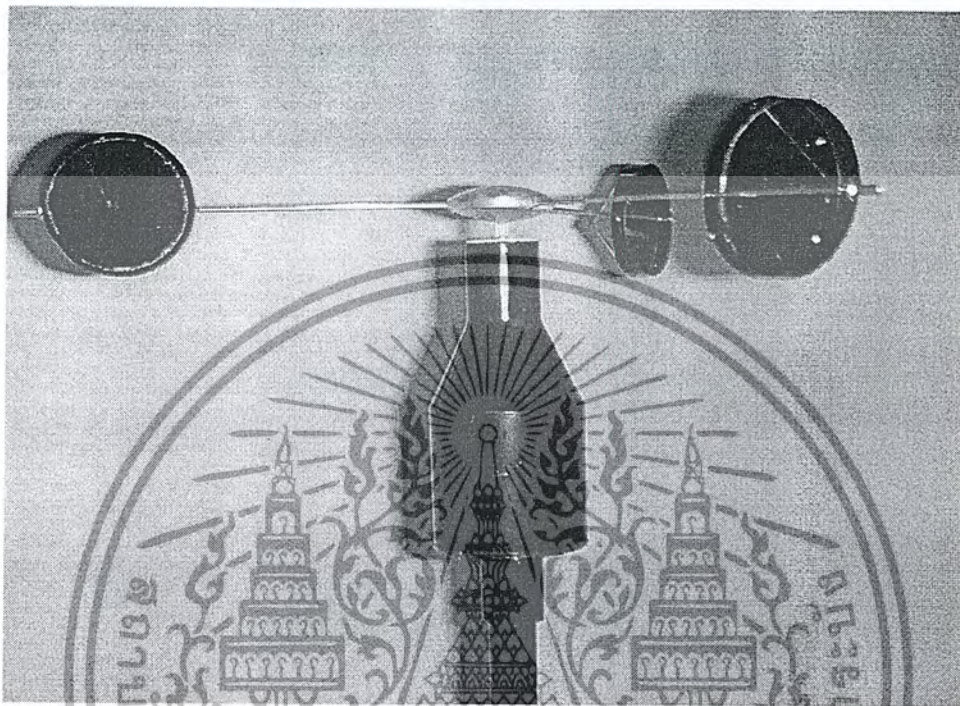


ภาพที่ 4.13 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องวัดทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter)

เครื่องวัดความเร็วลมจะอาศัยหลักการของ DC MOTOR ในการเปลี่ยนแรงจากลมมาเป็นแรงดันไฟฟ้าดังแสดงโครงสร้างของเครื่องวัดความเร็วลมในภาพที่ 4.14

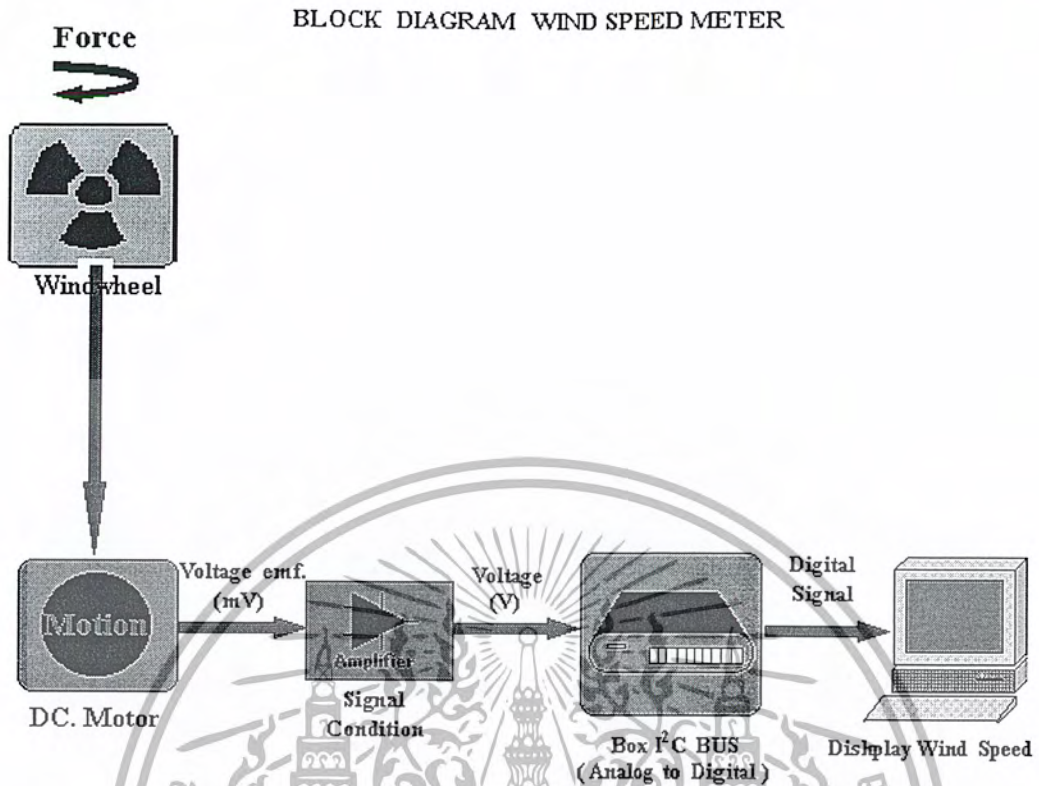


ภาพที่ 4.14 แสดงเครื่องวัดความเร็วลม

4.4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องวัดความเร็วลมมีส่วนประกอบดังแสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรมด้านล่าง ซึ่งประกอบประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

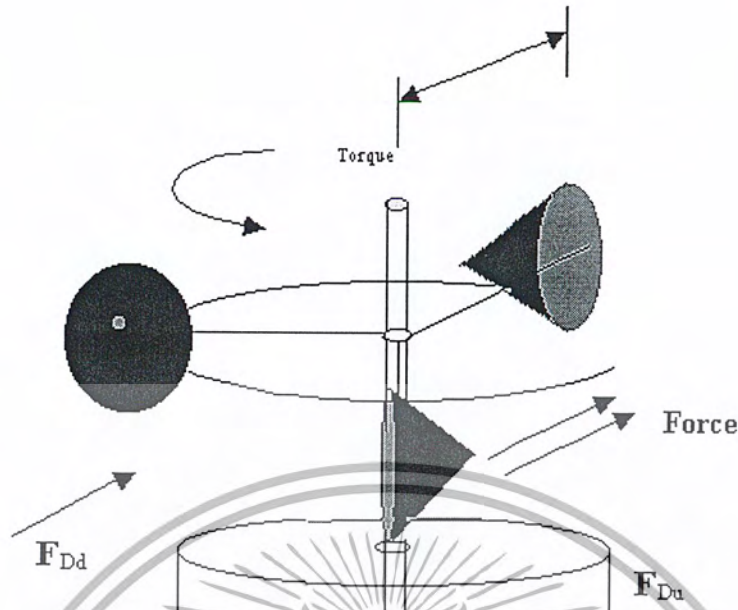
1. กังหันลม (WHEEL WIND)
2. มอเตอร์ผลิตแรงดันในการวัดรอบ (DC MOTOR)
3. วงจรขยายสัญญาณ (SIGNAL CONDITIONER)



ภาพที่ 4.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter)

4.4.1.1 กังหันลม (Wheel wind)

ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงความเร็วลม (Wind Speed) ซึ่งเป็นความเร็วเชิงเส้นให้เป็นความเร็วเชิงมุม โดยแปลงแรงลม ($F = \text{Force}$) ที่มาขับเคลื่อนกังหันลมนั้น ให้เป็นแรงบิดเชิงมุม ($T = \text{Torque}$) เพื่อไปขับเคลื่อนเพลลาอีกทีหนึ่งดังในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.16 แสดงการหาค่าแรงบิดในแนวแกน โดยวิธีการโมเมนต์รอบแกนหมุน

หลักการทำงาน จากภาพที่ 4.16 ตัดหันทมเมื่อแปลงแปลงแรงในแนวเส้นตรงให้มาเป็นแรงเชิงมุม (Torque) โดยมาจากหลักการหาแรงบิดในแนวแกน ทำได้โดยการคิดโมเมนต์รอบจุดที่กั้กั้หันทมหมุนนั่นเอง

ค่าผลรวมโมเมนต์รอบแกน :

$$\sum M_o = R \cdot F_{Du} - R \cdot F_{Dd} - T_f = 0$$

$$\text{ดังนั้นค่า Torque } (T_f) = R \cdot F_{Du} - R \cdot F_{Dd}$$

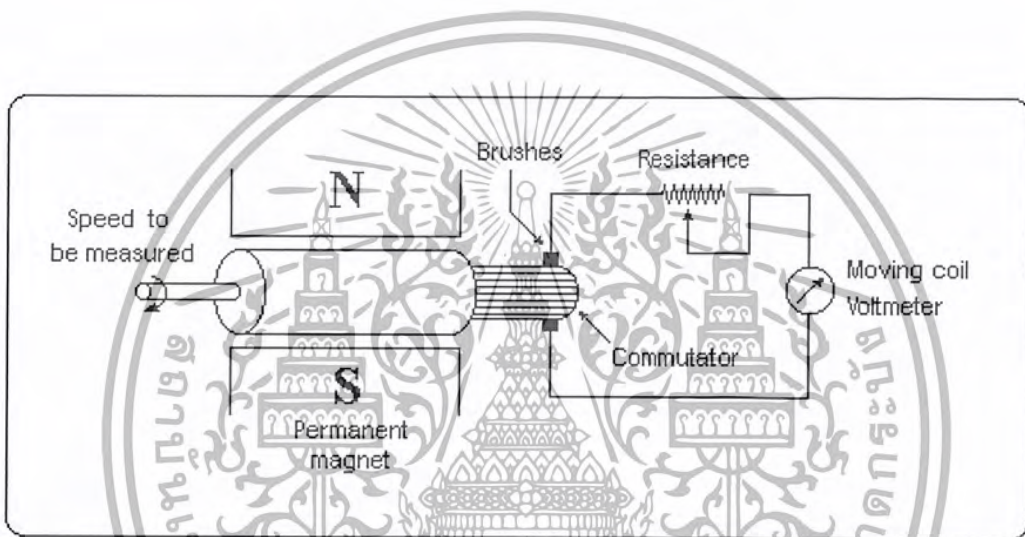
$$T_f = R(C_{Du} - C_{Dd}) A \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 มอเตอร์ผลิตแรงดันในการวัดรอบ (Techometer Generator)

Tachometers เป็นเครื่องกลชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับผลิตแรงดันไฟฟ้าซึ่งเราสามารถจะจำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1. D.C. Tachometer Generator จะประกอบไปด้วยอาร์มาเจอร์เล็กๆ ซึ่งอาร์มาเจอร์นี้จะมีลวดพันอยู่บนแกนแม่เหล็ก ซึ่งเมื่ออาร์มาเจอร์หมุนจะเกิด flux แม่เหล็กขึ้นซึ่ง flux แม่เหล็กนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็ว ถ้า flux แม่เหล็กคงที่แรงดันที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับความเร็วของอาร์มาเจอร์ก็จะคงที่ด้วยข้อผิดพลาดของแรงดัน จะเกิดผลโดยตรงต่อการหมุน emf ที่เกิดขึ้นเราสามารถวัดค่าด้วยมิเตอร์แบบ Moving coil ซึ่งสเกลได้ปรับแต่งให้อยู่ในเทอมของความเร็วโดยตรงแล้ว



D.C. Tachometer Generator

ภาพที่ 4.17 แสดง D.C. Tachometer

จากรูปแสดง D.C. Tachometer ตัวต้านที่ต่ออนุกรมอยู่ จะทำหน้าที่จำกัดกระแสจากเครื่องกำเนิด เมื่อเกิดการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุท

ข้อดีของ D.C. Tachometer

1. การหมุนของอาร์มาเจอร์จะเป็นผลโดยตรงกับเอาต์พุทที่ออก
2. แรงดันเอาต์พุทที่ 10 mv /rpm เราสามารถวัดได้ด้วย d.c. voltmeter

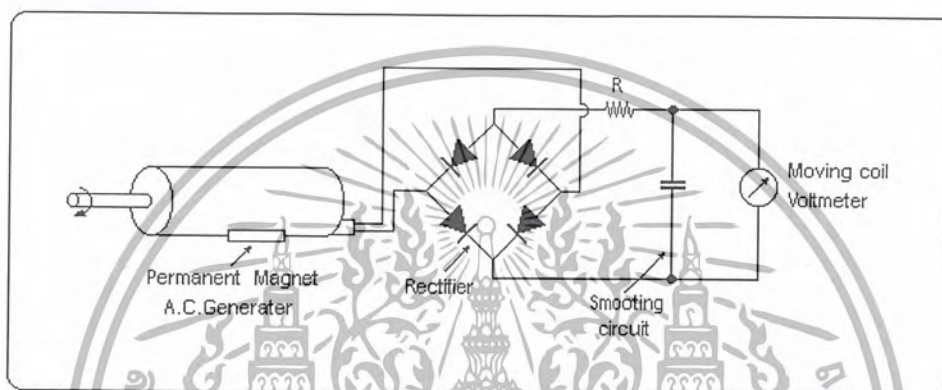
ข้อเสียของ D.C. Tachometer

1. แปรงถ่านเล็ก ๆ บน Tachometer Generator มักจะเกิดปัญหาบ่อยครั้งและยากต่อการดูแลรักษา ซึ่งถ้าขาดการดูแลรักษาที่แปรงถ่านเล็ก ๆ นี้ จะเกิดความต้านทานขึ้นซึ่งจะทำให้แรงดันที่วัดออกมาเกิดความผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความต้านทานทางด้านอินพุทจะสูงกว่าทางด้านเอาต์พุทจึงทำให้สามารถจำกัดกระแสอาร์เมเจอร์ ที่เกิดขึ้นได้ แต่ถ้ากระแสอาร์เมเจอร์มีค่ามาก ๆ ขดลวดกระแสแม่เหล็กจะผลิตแรงดันออกมาไม่คงที่

2. A.C. Techometer Generator เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนตัดขดลวดก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ ฟลักซ์แม่เหล็กในขณะนั้น การหมุนของขดลวดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงเคลื่อน emf ขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ ค่าความถี่และแอมป์จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วของการหมุน



A.C. Tachometer Generator

ภาพที่ 4.18 แสดง A.C. Techometer

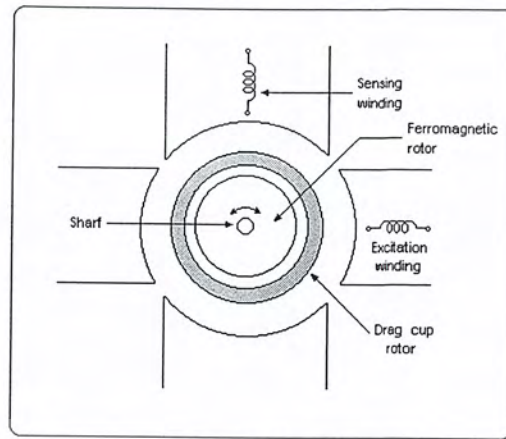
จากรูปกระแสที่ออกจาก A.C. Techometer เราจะต้องนำไปต่อกับวงจร Rectifier เพื่อให้เป็นไฟตรงผ่าน R ตัวหนึ่งเพื่อจำกัดกระแสและจะมี C มาต่อคร่อมเพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น

ข้อจำกัดของ Techometer Generator

1. ถ้าแรงดันและความถี่เอาต์พุทต่ำจะทำให้เสถียรภาพไม่ดีเนื่องจากจะทำให้เกิด ripples ขึ้นที่แรงดันเอาต์พุท รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จาก A.C. Techometer Generator ต่อโพลจะมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความถี่และแรงดันเอาต์พุทที่มีค่าสูง

2. ความเร็วในการหมุนสูงจะทำให้เกิดปัญหาที่ความเร็วสูงความถี่ค่าอิมพีแดนซ์ที่ขดลวดของ Techometer จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะเกิดผลดีในเรื่องของการแสดงผล

อย่างไรก็ตามการประยุกต์เครื่องมือและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าเกี่ยวกับความถี่จะมีผลดีตรงที่ว่าอุณหภูมิและอิมพีแดนซ์ของมิเตอร์จะไม่มีผลต่อความถี่

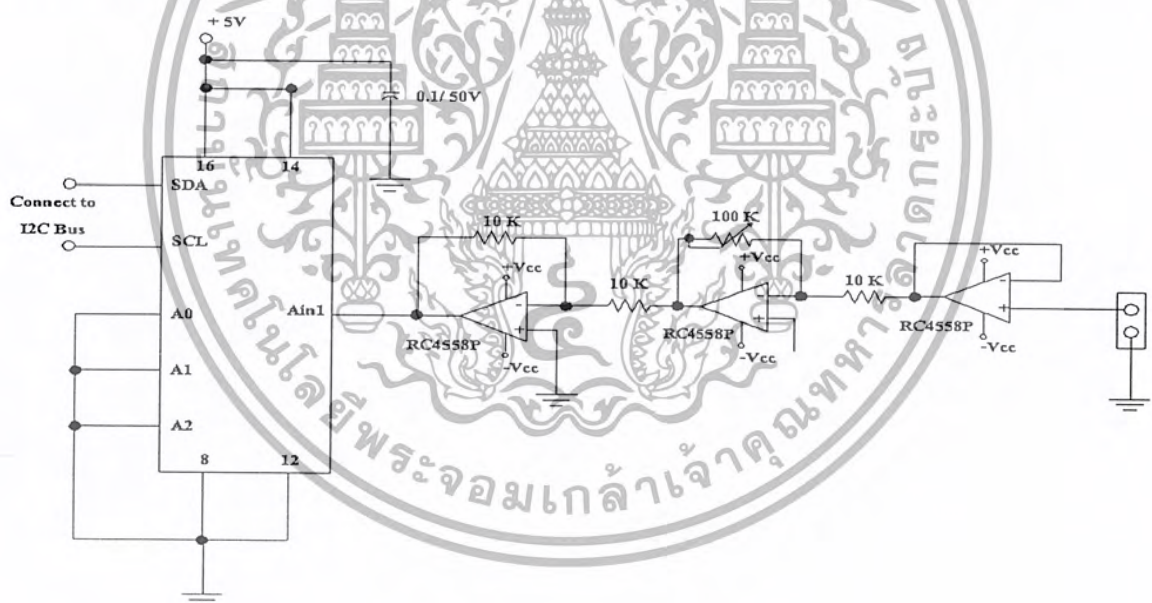


A.C. Tachometer Generator

ภาพที่ 4.19 แสดงจาก A.C. Tachometer Generator

4.4.1.3 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)

ทำหน้าที่รับแรงดันที่ได้จาก DC MOTOR ซึ่งมีค่าน้อยมาก นำมาขยายด้วยวงจร Op - amp เพื่อให้ ได้สัญญาณแรงดันที่เหมาะสมป้อนให้แก่ภาคแสดงผลต่อไป



ภาพที่ 4.20 แสดงวงจรของเครื่องวัดความเร็วลม

Op-amp ตัวที่ 1 เป็นการต่อวงจรเป็นแบบ Buffer เพื่อทำหน้าที่ในการ Matching Impedance ระหว่าง I/P และ O/P ที่มีค่า Impedance ไม่เท่ากัน

Op-amp ตัวที่ 2 เป็นการต่อวงจรแบบ Inverting amplifier เป็นตัวตั้งเกณฑ์การขยาย โดยจะสามารถปรับเกณฑ์การขยายได้โดยการปรับค่า Rf โดยสามารถปรับค่าสูงสุดได้จะขึ้นอยู่กับค่า Rf แต่ค่าเอาต์พุตที่ได้จะกลับเฟส 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีการปรับเกณฑ์การขยายแรงดันของ Op-amp

อัตราเกณฑ์การขยายแรงดันของการต่อ Op-amp แบบ Inverting amplifier (A_v)

มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} A_v &= -(R_f / R_{in}) \\ &= -(100 \text{ k}\Omega / 1 \text{ k}\Omega) \\ &= -100 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

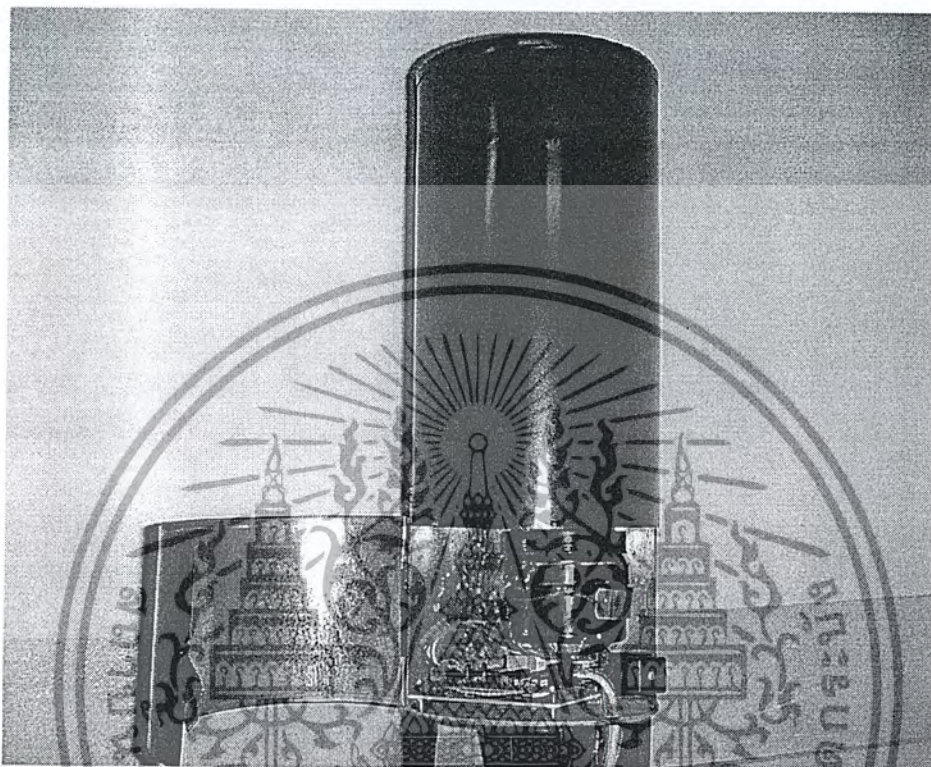
ดังนั้นเราสามารถปรับเกณฑ์การขยายได้จาก 0 จนถึง 100 เท่าได้โดยทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ R_f นั้นเอง

Op-amp ตัวที่ 3 เป็นตัวกลับเฟสสัญญาณกลับมาอยู่ในสถานะเดิมซึ่งมีเกณฑ์การขยายเท่ากับ หนึ่ง จากนั้นนำเอาเอาท์พุทที่ได้ต่อเข้ากับระบบบัส I²C เพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อต่อกับคอมพิวเตอร์ทาง Serial Port



4.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน(Rain Gauge Meter)

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ที่ได้ออกแบบในที่นี้ จะออกแบบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยอาศัยหลักการของไซฟอนดังภาพที่ 4.21 ซึ่งสามารถดูได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.21 แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

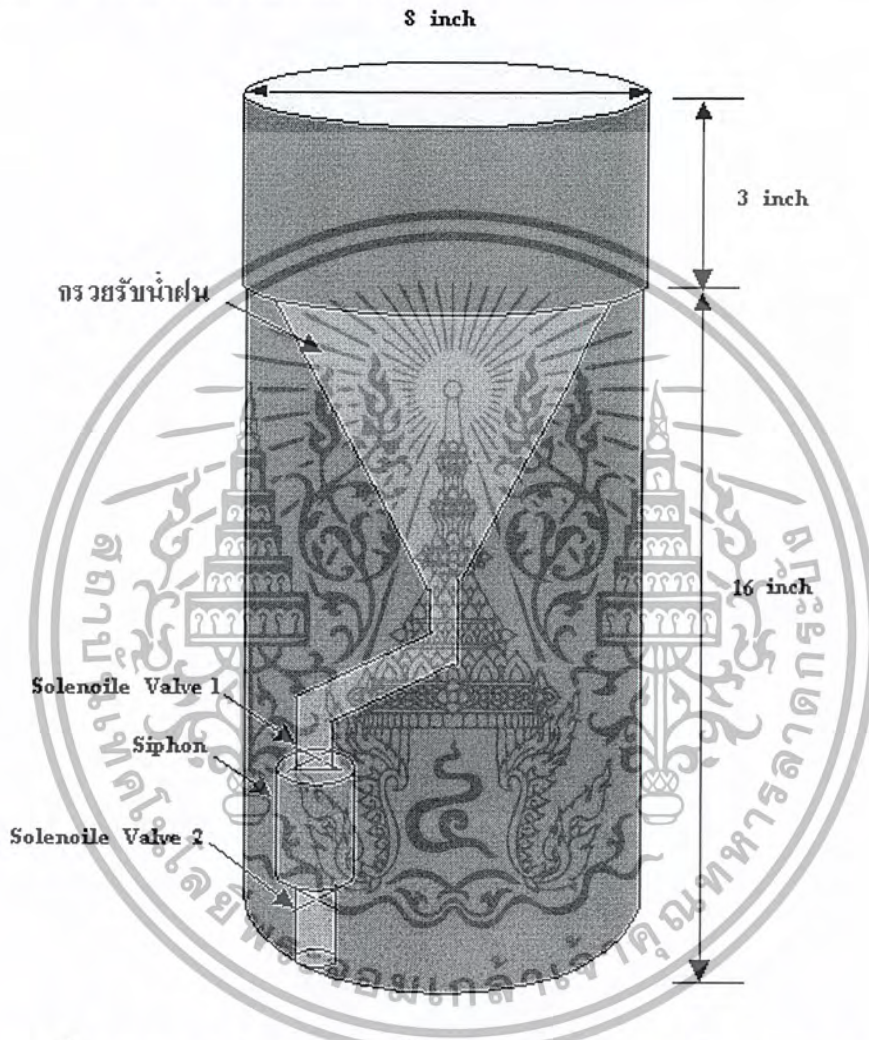
4.5.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. ภากรับน้ำฝน
2. ไซฟอน (Siphon)
3. โซลินอยล์วาล์ว (Solinoil Valve)
4. ชูด Sensor

4.5.1.1 ภาครับน้ำฝน

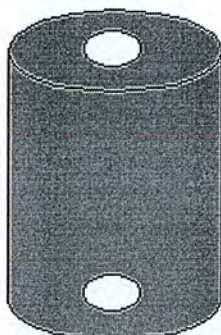
ภาครับน้ำฝนจะทำจากสังกะสีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 19 นิ้ว จากก้นถึงปากถังและจะมีกรวยสำหรับรองรับน้ำฝน จากขอบปากถังลงมา 3 นิ้ว กรวยจะทำเอียง 45 องศา จากปากถังแล้วต่อกรวยรองรับน้ำฝนต่อไปยัง Solinoid Valve เข้าสู่ไซฟอนรองรับน้ำฝน ซึ่งลักษณะโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยอาศัยหลักการของไซฟอน(Siphon)

4.5.1.2 ไซฟอน (Siphon)

ไซฟอนนี้จะทำหน้าที่กักเก็บน้ำฝนที่มาจากภาชนะรองรับน้ำฝน ซึ่งเมื่อน้ำฝนที่ตกลงมาเต็มไซฟอน แล้วไซฟอนจะทำหน้าที่ไซฟอนน้ำทิ้งซึ่ง จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกปิด ซึ่งตรงส่วนบนและส่วนล่างของไซฟอนจะมีท่อแยกต่อกัน และจะต่อเข้ากับโซลินอยด์วาล์วอีกทีหนึ่ง



ภาพที่ 4.23 แสดงรูปร่างของไซฟอน

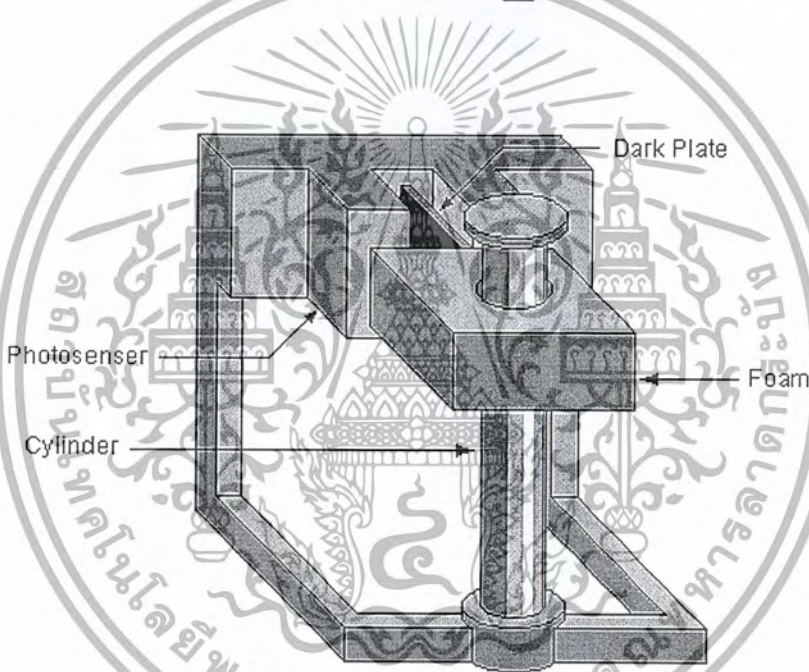
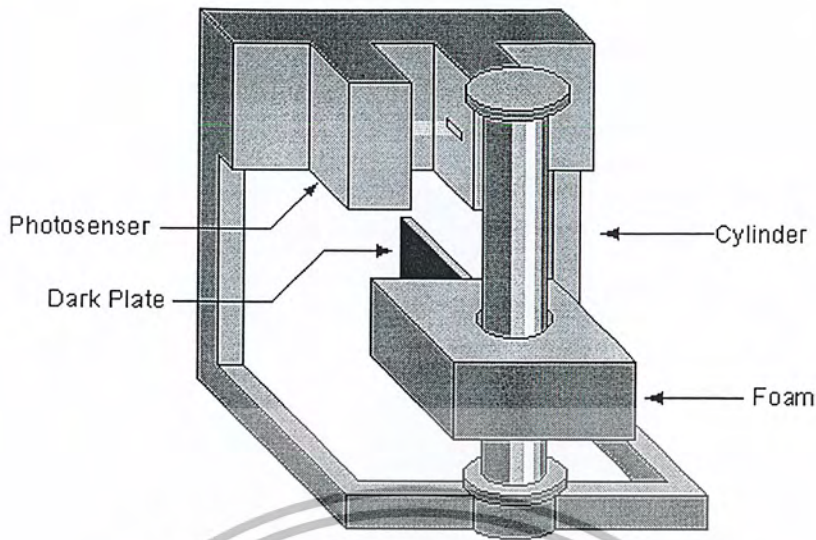
การออกแบบไซฟอนขนาดของไซฟอนจะคิดเทียบ กับขอบการตวงของภาชนะรองรับน้ำฝนขนาด 8 นิ้ว ซึ่งในการวัดปริมาณน้ำฝนหน่วยที่ใช้ในการวัด คือหน่วยมิลลิเมตร ดังนั้นน้ำฝนที่ตกมาในภาชนะรองรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ววัดจากกันถึงได้สูง 1 มิลลิเมตร นำปริมาณน้ำฝนจากภาชนะรองรับน้ำฝนปริมาณ 1 มิลลิเมตร ไปตวงในไซฟอนก็จะได้ปริมาตรของไซฟอน การกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของไซฟอนสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสม แต่เนื่องจากปริมาณน้ำฝน 1 มิลลิเมตรมีปริมาณน้อยทำให้ขนาดของไซฟอนมีขนาดเล็กยากต่อการติดตั้งตัว Sensor ในที่นี้จึงออกแบบให้ไซฟอนวัดปริมาณน้ำฝนที่ระดับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งจากการทดลองตวงน้ำฝนปริมาณ 5 มิลลิเมตร กับภาชนะรองรับน้ำฝนขนาด 8 นิ้ว ทำให้ได้ปริมาตรของไซฟอน 9.89 ลิบ. นิ้วซึ่งนำเอาไปคำนวณหาขนาดของไซฟอน จะได้ไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว และสูง 5.6 นิ้ว

4.5.1.3 โซลินอยล์วาล์ว (Solenoid Valve)

โซลินอยล์วาล์ว (Solenoid Valve) ที่ใช้จะใช้ขนาดพิกัดแรงดัน 12 VDC จำนวน 2 ตัว หลักการทำงานของวาล์วชนิดนี้คือจะทำการเปิดวาล์วเมื่อมีสัญญาณควบคุม (DC 12 V) และทำการปิดเมื่อปกติ (NO SIGNAL)

4.5.1.4 ชุด Sensor

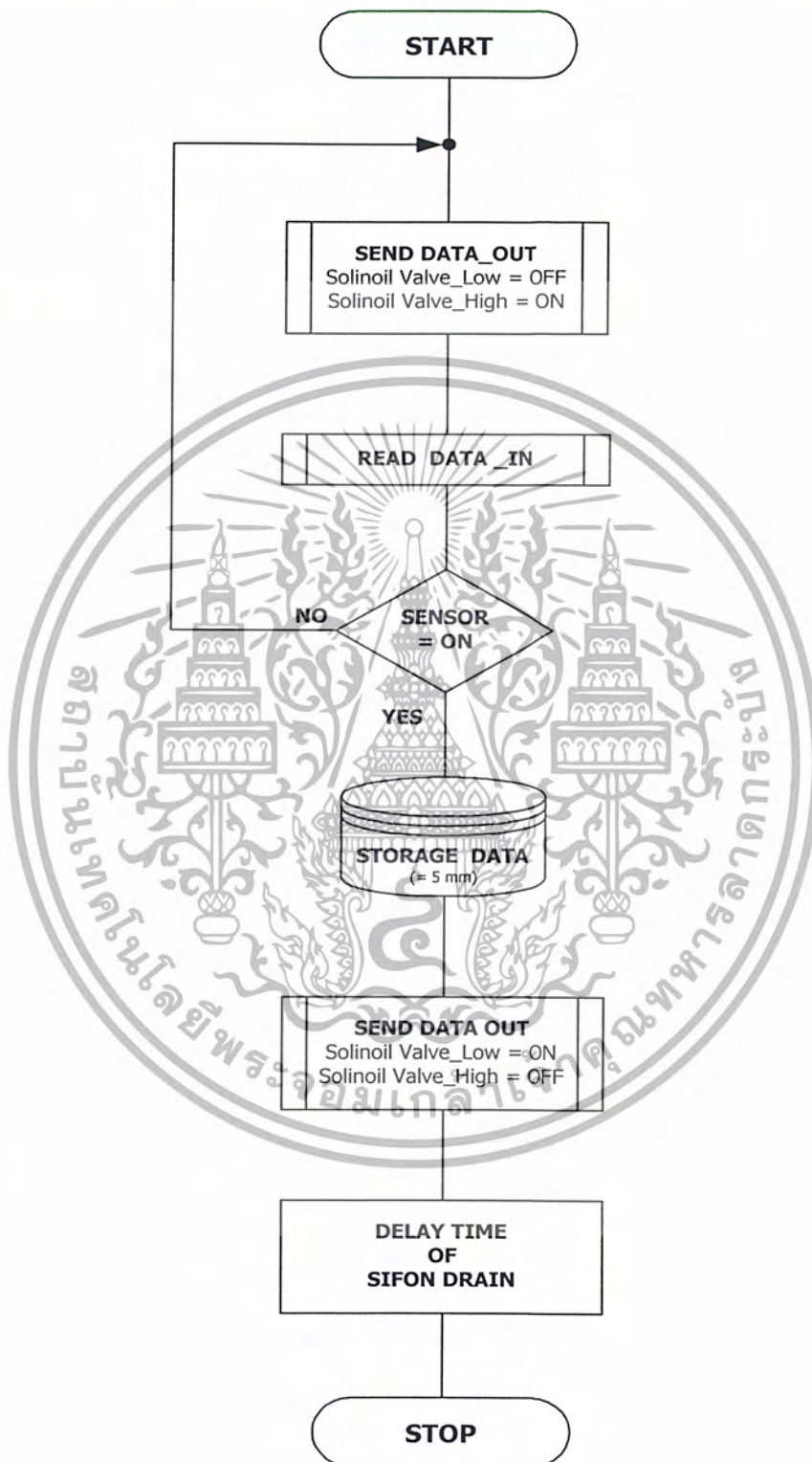
ชุด Sensor จะเป็นสวิทช์ระดับที่ออกแบบไว้ สำหรับวัดระดับที่จุดบนของไซฟอน (สถานะที่น้ำเต็ม) เมื่อน้ำเต็มไซฟอนจะส่งสัญญาณควบคุมรีเลย์เพื่อทำการควบคุมโซลินอยล์วาล์วอีกหนึ่ง มีโครงสร้างดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 แสดงรูปร่างของตัว Sensor ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

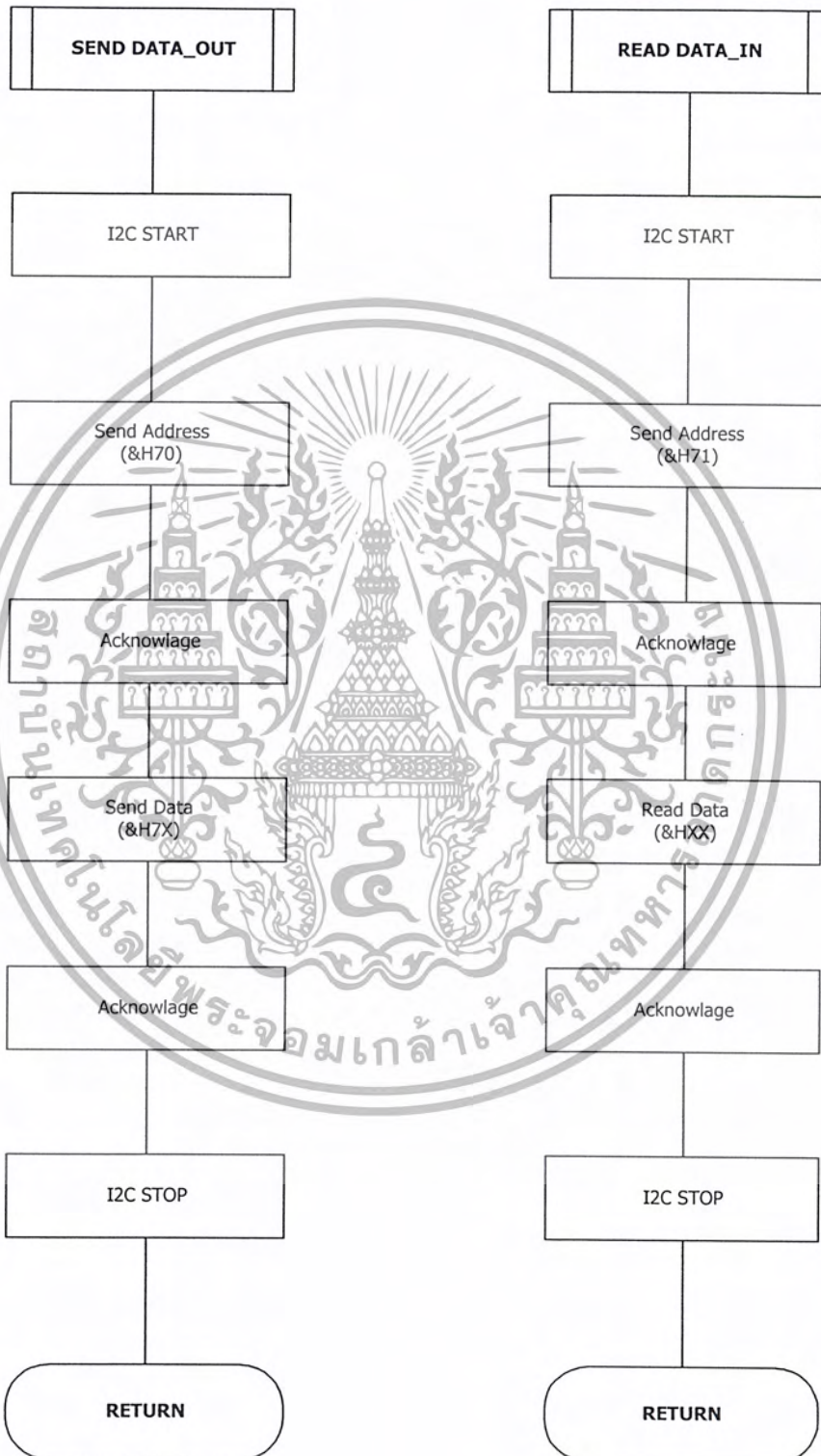
RAIN GAUGE FLOW DIAGRAM



ภาพที่ 4.25 แสดง Rain Gauge Flow Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

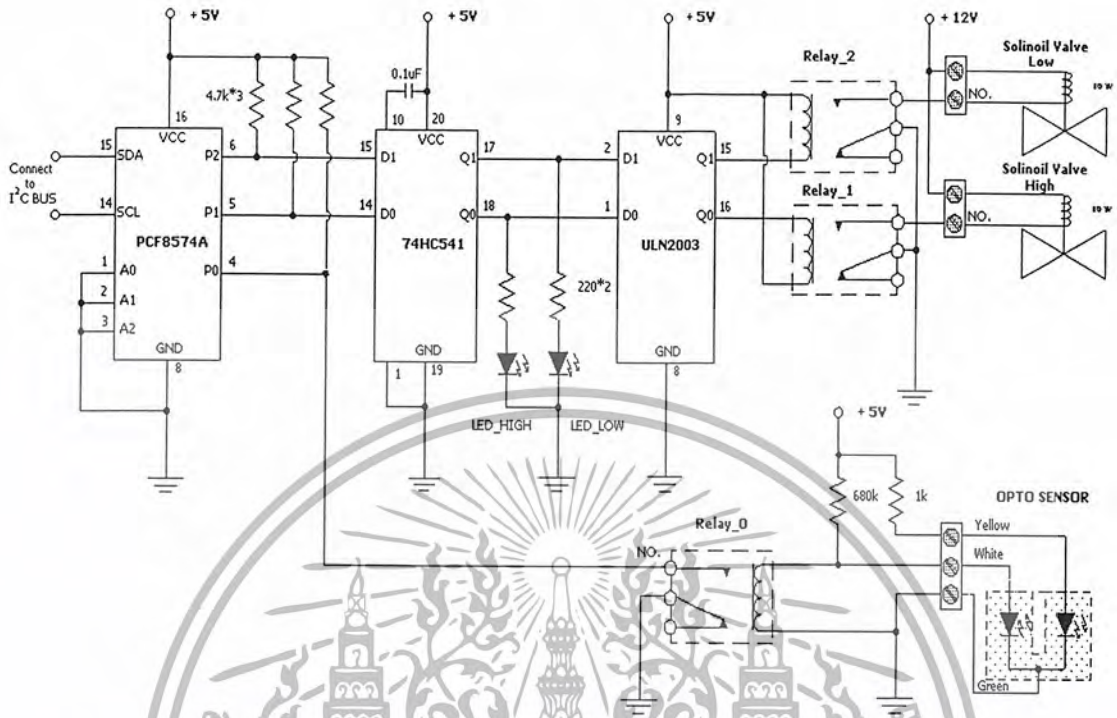
SUB FUNCTION OF READ AND WRITE DATA WITH I2C BUS



ภาพที่ 4.26 แสดง Sub Function of Read Write data with I²C bus ของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rain Gauge Measurement Circuit



ภาพที่ 4.27 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

3.4.2 หลักการทำงาน

ไอซี PCF8574A ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรับและส่งข้อมูลเปรียบเสมือนเป็นทั้งตัวอินพุตและเอาต์พุต ของวงจรเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ในการรับส่งสัญญาณแบบอนุกรมในระบบบัส I²C เมื่อไอซี PCF8574A ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ระบบเริ่มทำงานให้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวอ่านค่าอินพุตจากตัวเซนเซอร์ ซึ่งตัวเซนเซอร์จะเป็นแบบใช้แสง (Opto Sensor) ในการวัดระดับน้ำภายในไซฟอน และเมื่ออ่านค่าแล้วคอมพิวเตอร์นำค่าที่ได้มาประมวลผล หลังจากทีคอมพิวเตอร์ได้วิเคราะห์ค่าอินพุตที่ได้รับเข้ามาก็จะทำการส่งค่าไปยัง ไอซี PCF8574A เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นตัวส่งค่าออกเอาต์พุตเพื่อควบคุม Solenoid Valve ที่ติดตั้งไว้ด้านบนและด้านล่างของชุดไซฟอน ให้สามารถเปิด-ปิด วาล์วเมื่อมีฝนตกลงมาและปล่อยน้ำทิ้งออกจากไซฟอนเมื่อปริมาณน้ำเต็มไซฟอนแล้ว

Opto Sensor ทำหน้าที่ตรวจสอบปริมาณน้ำในไซฟอนว่ามีระดับเต็มไซฟอนแล้วหรือไม่ โดยลูกกลอยที่ติดแผ่นเพลทกันแสงจะลอยขึ้น จนเมื่อปริมาณน้ำเต็มแผ่นเพลทก็จะปิดช่องรับแสงของตัว Opto Sensor ในขณะนั้นทำให้ไม่มีแสงผ่านไปยังตัวรับ ทำให้มีแรงดันออกมาประมาณ 5 โวลต์ ทำให้มีแรงดันไปเลี้ยงขดลวดของ RELAY_0 ทำให้หน้าคอนแทก NO ของรีเลย์ต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ขา PO ของไอซี PCF8574A ต่อวงจรลงกราวด์ เมื่อมีการตรวจสอบจากคอมพิวเตอรืก็จะอ่านข้อมูลเข้าไปเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่วัดได้ครั้งละ 5 มม. (ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของไซฟอนที่ใช้)

Solinoil Valve ทำหน้าที่ เปิด-ปิด วาล์วเมื่อมีฝนตกลงมาและปล่อยน้ำทิ้งออกจากไซฟอนเมื่อปริมาณน้ำเต็มไซฟอนแล้ว

ในสถานะที่ยังไม่มีฝนตก หรือมีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าที่ขนาดไซฟอนที่จะสามารถวัดได้ คอมพิวเตอรืก็จะสั่งให้ Solinoil Valve_High เปิดและ Solinoil Valve_Low ปิดเพื่อที่จะรอรับน้ำฝนที่ตกลงมาให้ไหลลงไปยังไซฟอนได้นั่นเอง

ในสถานะที่มีฝนตกลงมา เมื่อมีปริมาณน้ำฝนตกลงมาจนเต็มไซฟอนแล้ว Sensor ก็จะทำงานโดยคอมพิวเตอรืจะอ่านค่าไป เมื่ออ่านค่าและบันทึกค่าลงฐานข้อมูลเสร็จแล้วก็สั่งให้ Solinoil Valve_High ปิด และ Solinoil Valve_Low เปิด เพื่อปล่อยน้ำในไซฟอนทิ้งเพื่อในการเตรียมพร้อมที่จะรอรับน้ำฝนมาวัดครั้งต่อไปในแต่ละวัน

ส่วนไอซี 74HC541 จะทำหน้าที่แปลค่าข้อมูลทางไวน์จนกว่าจะมีค่าข้อมูลใหม่เข้ามาพร้อมทั้งส่งข้อมูลไปให้ไอซี ULN2003 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว Drive กระแสให้รีเลย์อีกที และรีเลย์จะเป็นตัวต่อให้ Solinoil Valve ทำงานต่อไปตามข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และคงสถานะนั้นไวน์จนกว่าจะมีข้อมูลใหม่เข้ามาอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งทั้งหมดก็เป็นรายละเอียดและการทำงานของวงจรเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน



บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

จากภาพที่ 5.1 แสดงหน้าจอหลักของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาเมื่อเราเข้าไปสู่หน้าจอนี้แล้วเราสามารถเข้าไปดูเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ได้



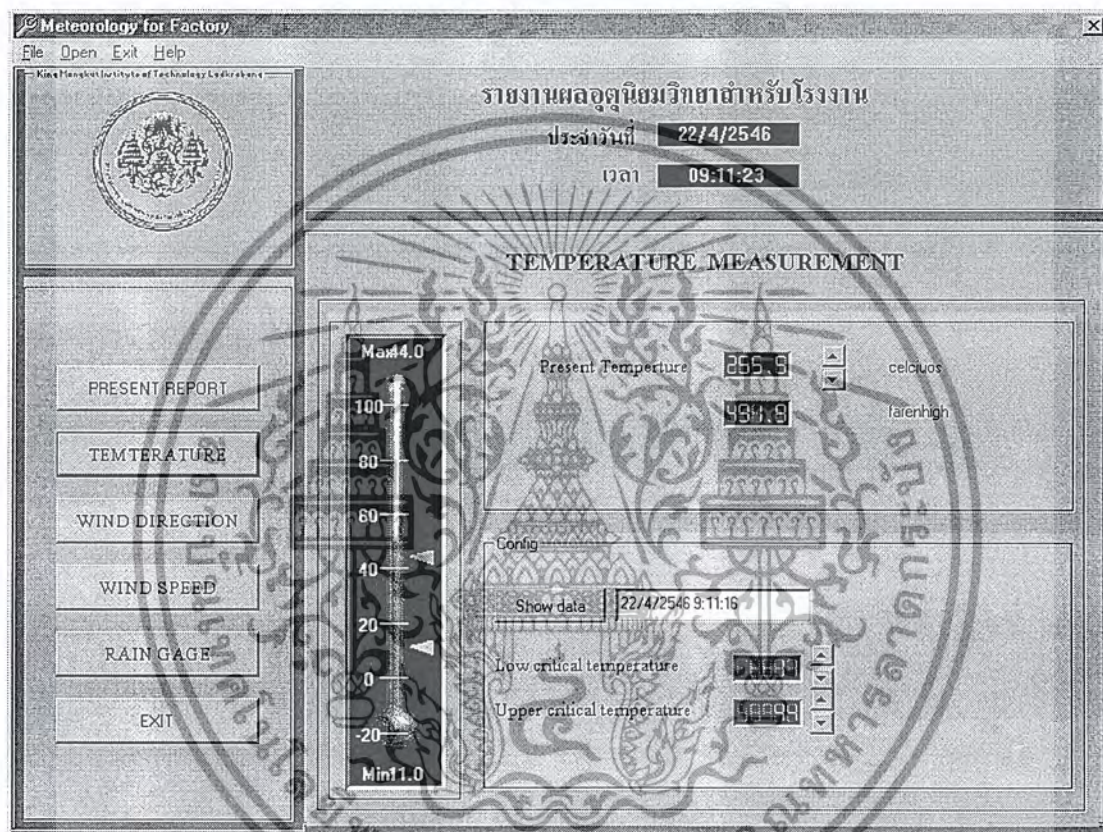
ภาพที่ 5.1 แสดงหน้าจอหลักของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Meter)

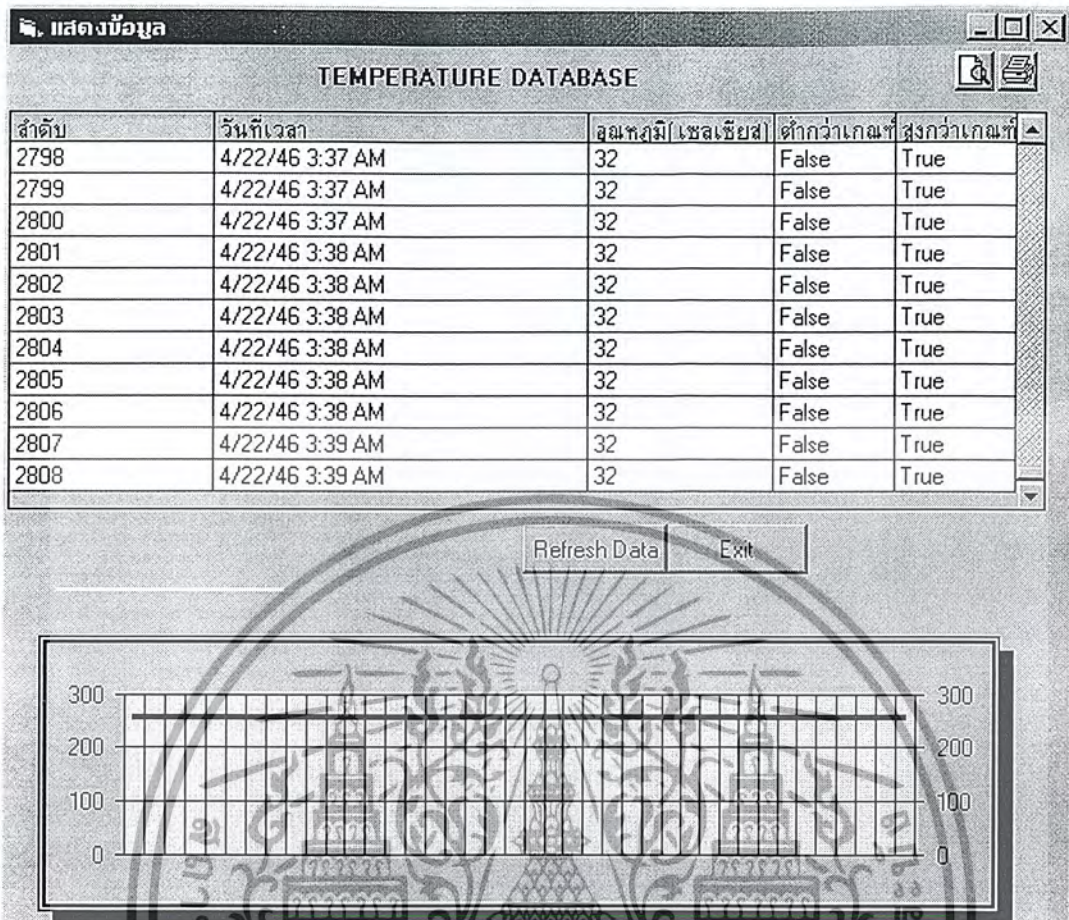
ภาพนี้ จะแสดงหน้าจอของเครื่องวัดอุณหภูมิ เราสามารถดูรายงานผลอุณหภูมิขณะนั้นได้ และสามารถ Search เข้าไปดูข้อมูลในแต่ละวันได้ซึ่งจะเก็บอยู่ในรูปของ Database

ดังตัวอย่างในภาพที่ 5.3 แสดงรายงานผลของอุณหภูมิประจำวันที่ 22 เมษายน 2546 ซึ่งเก็บอยู่ในรูปของ Database ซึ่งในการเก็บค่าอุณหภูมิจะเก็บในหน่วยของศาเซนเซียส โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 10 วินาที และจะมีกราฟแสดงระดับของอุณหภูมิกภาพจะวิ่งทุกๆ 10 วินาที



ภาพที่ 5.2 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



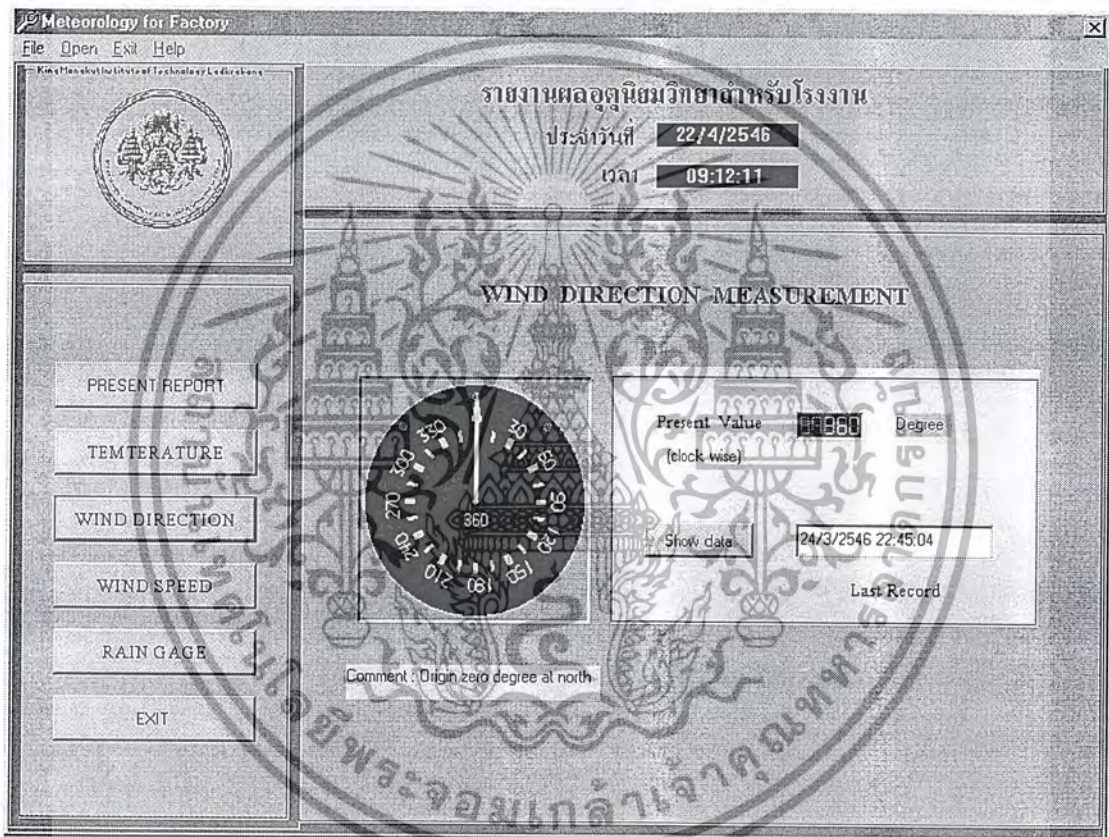
ภาพที่ 5.3 แสดงการเก็บค่าอุณหภูมิในรูปแบบของ Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลองเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter)

ภาพนี้ จะแสดงหน้าจอ ของเครื่องวัดความทิศทางลม เราสามารถดูรายงานผล ของ ทิศทางลมขณะนั้นได้ และสามารถ Seach เข้าไปดูข้อมูลในแต่ละวันได้ ซึ่งจะเก็บอยู่ในรูปของ Database

ดังตัวอย่างในภาพที่ 5.6 แสดงรายงานผลของทิศทางลมประจำวันวันที่ 22 เมษายน 2546 ซึ่ง เก็บอยู่ในรูปของ Database ซึ่งในการเก็บค่าทิศทางลมจะเก็บในหน่วยขององศาทางกล โดยจะทำการ เก็บค่าทุกๆ 10 วินาที และจะมีกราฟแสดงทิศทางของทิศทางลมกราฟจะวิ่งทุกๆ 10 วินาที



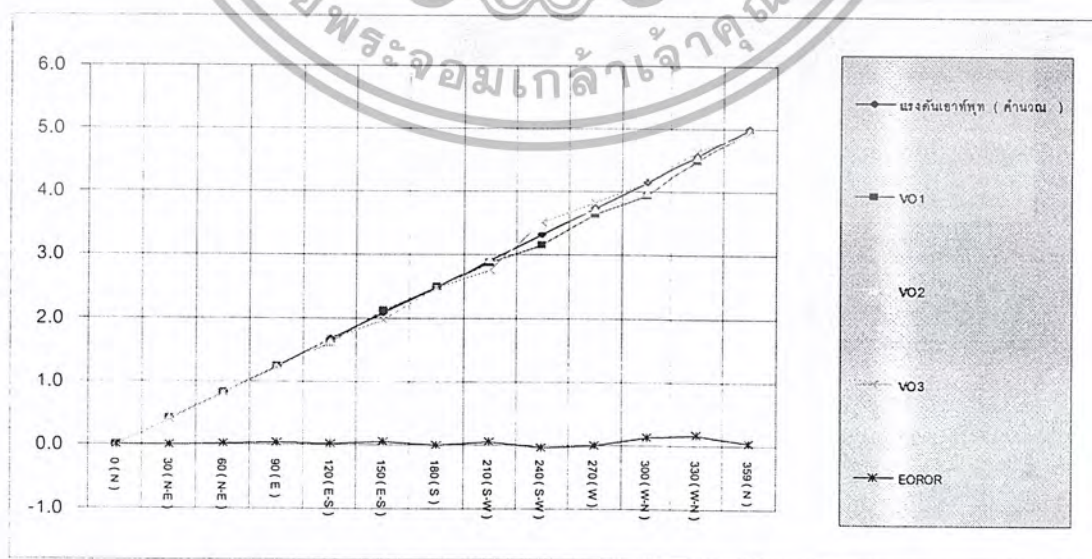
ภาพที่ 5.4 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดทิศทางลม (Wind Direction Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดทิศทางลม

ทิศทางลม	R of Potentiometer (Ohm)	แรงดันเอาต์พุต (จำนวน)	VO1	VO2	VO3	VO Average	Error
0 (N)	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0
30 (N-E)	833.330	0.416	0.42	0.41	0.40	0.41	0.006
60 (N-E)	1666.660	0.832	0.82	0.81	0.83	0.82	0.012
90 (E)	2499.990	1.248	1.23	1.22	1.22	1.22	0.028
120 (E-S)	3333.320	1.664	1.61	1.63	1.68	1.64	0.024
150 (E-S)	4166.650	2.080	2.12	1.98	1.97	2.02	0.06
180 (S)	4999.980	2.496	2.50	2.47	2.49	2.49	0.006
210 (S-W)	5833.310	2.912	2.87	2.93	2.76	2.85	0.062
240 (S-W)	6666.640	3.328	3.15	3.43	3.51	3.36	-0.032
270 (W)	7499.970	3.744	3.65	3.72	3.84	3.74	0.004
300 (W-N)	8333.300	4.160	3.94	3.99	4.15	4.03	0.13
330 (W-N)	9166.630	4.576	4.49	4.55	4.65	4.56	0.16
359 (N)	10000.000	5.000	4.97	4.96	4.94	4.96	0.04

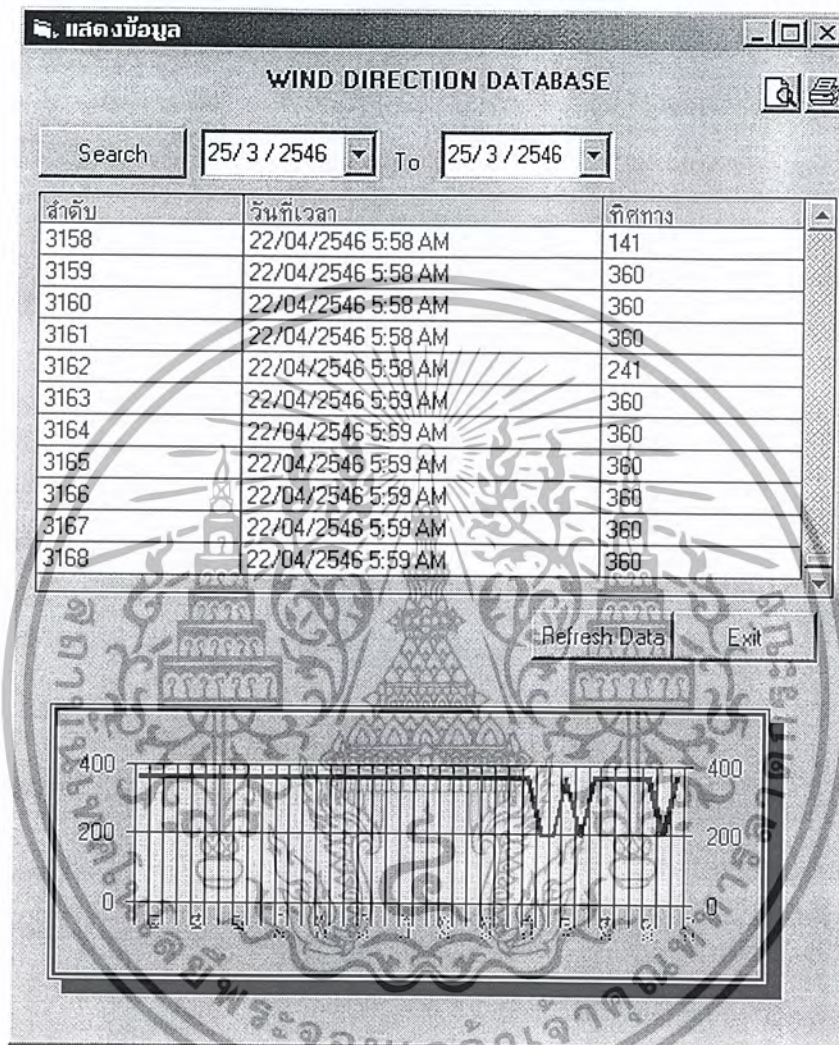
ACCURACY	$\pm 0.8\%$
σ	0.0124



ภาพที่ 5.5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของเครื่องวัดทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง จะ ได้ผลการทดลองออกมาตามตารางเมื่อทำการสอบเทียบเครื่องวัดจะเห็นได้ว่ามีค่าความผิดพลาด (error) เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และมีค่า Accuracy เท่ากับ ± 0.8 และ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนกันกับค่าความต้านทานของโพเทนชิโอมิเตอร์



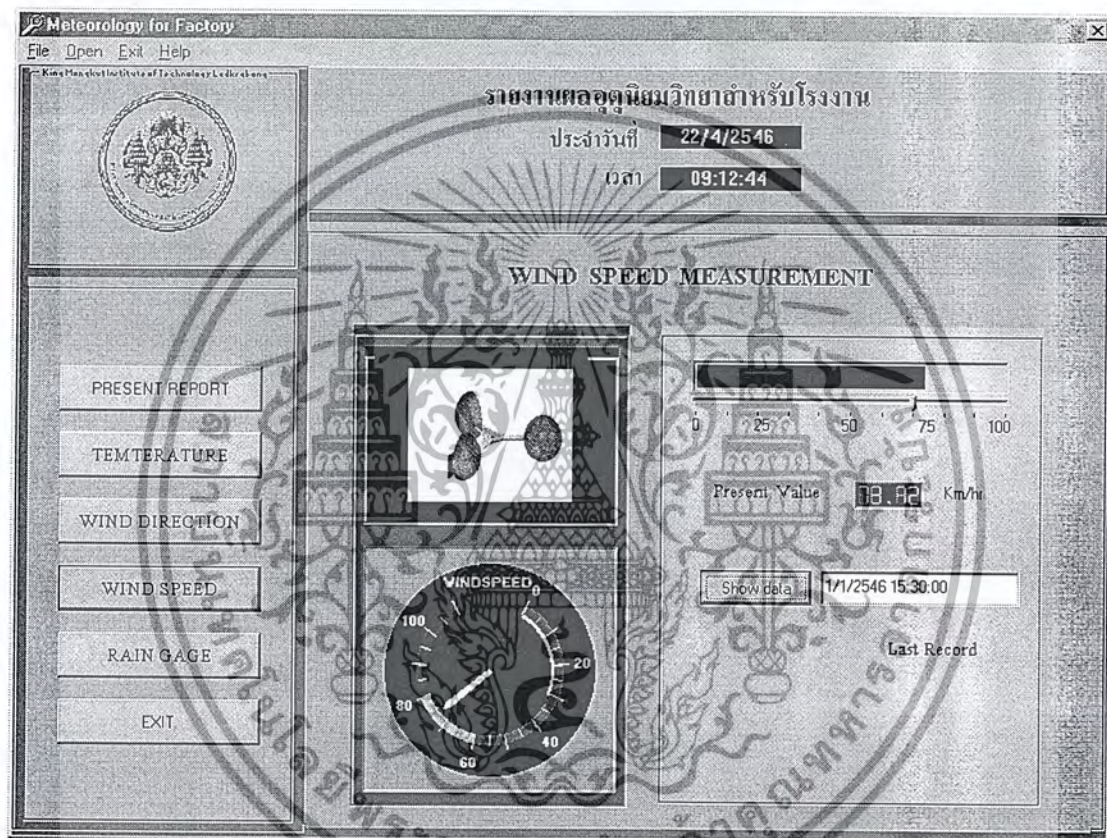
ภาพที่ 5.6 แสดงการเก็บค่าข้อมูลของทิศทางลมในรูปแบบของ Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลองเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter)

ภาพที่ 5.7 จะแสดงหน้าจอของเครื่องวัดความเร็วลม เราสามารถดูรายงานผลของความเร็วลมขณะนั้นได้ และสามารถ Search เข้าไปดูข้อมูลในแต่ละวันได้ ซึ่งจะเก็บอยู่ในรูปของ Database

ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 5.9 แสดงรายงานผลของความเร็วลมประจำวัน ที่ 22 เมษายน 2546 ซึ่งเก็บอยู่ในรูปของ Database ซึ่งในการเก็บค่าความเร็วลมจะเก็บในหน่วย km/hr โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 10 วินาที และจะมีกราฟแสดงระดับของความเร็วลมกราฟจะวิ่งทุกๆ 10 วินาที



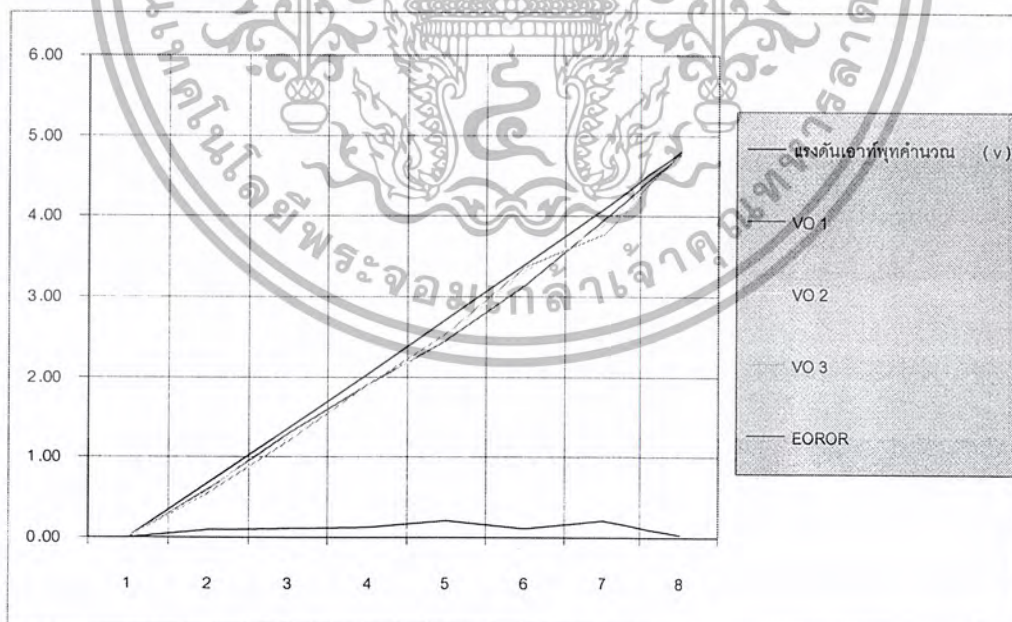
ภาพที่ 5.7 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดความเร็วลม (Wind Speed Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลม

ความเร็วลม	แรงดันเอาต์พุต	แรงดันเอาต์พุต	VO1	VO2	VO3	VO	GAIN	Error
	Emf (mv)	คำนวณ (v)						
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0
10	0.068	0.68	0.6	0.62	0.55	0.59	8.676	0.09
20	0.136	1.36	1.29	1.25	1.2	1.2467	9.116	0.11
30	0.204	2.04	1.92	1.87	1.92	1.903	9.328	0.14
40	0.272	2.72	2.46	2.52	2.55	2.51	9.227	0.21
50	0.34	3.40	3.15	3.32	3.37	3.28	9.647	0.12
60	0.408	4.08	3.96	3.89	3.78	3.8767	9.501	0.2
70	0.48	4.80	4.77	4.75	4.79	4.77	9.937	0.03

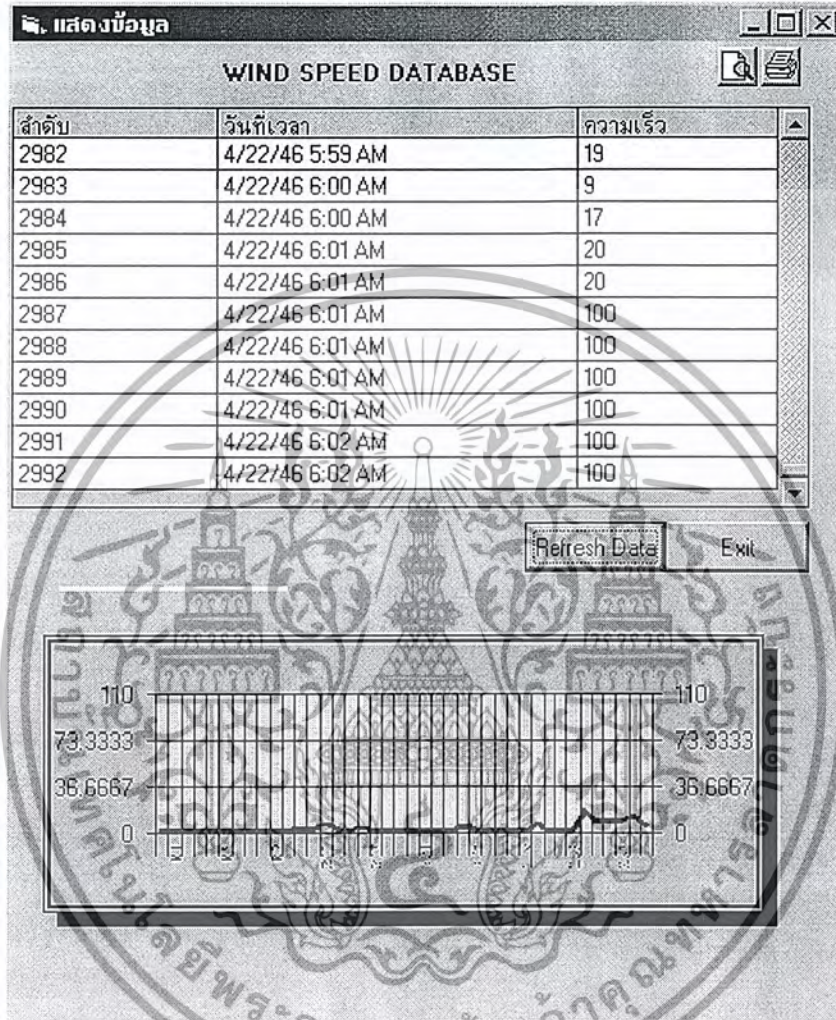
GAIN AVERAGE	8.179
ACCURACY	$\pm 0.625\%$
σ	0.0163



ภาพที่ 5.8 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของเครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง จะได้ผลการทดลองออกมาตามตารางเมื่อทำการสอบเทียบเครื่องวัดจะเห็นได้ว่ามีค่าความผิดพลาด (error) เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และมีค่า Accuracy เท่ากับ ± 0.8 และ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนกันกับค่าแรงดันที่ออกจาก DC generator



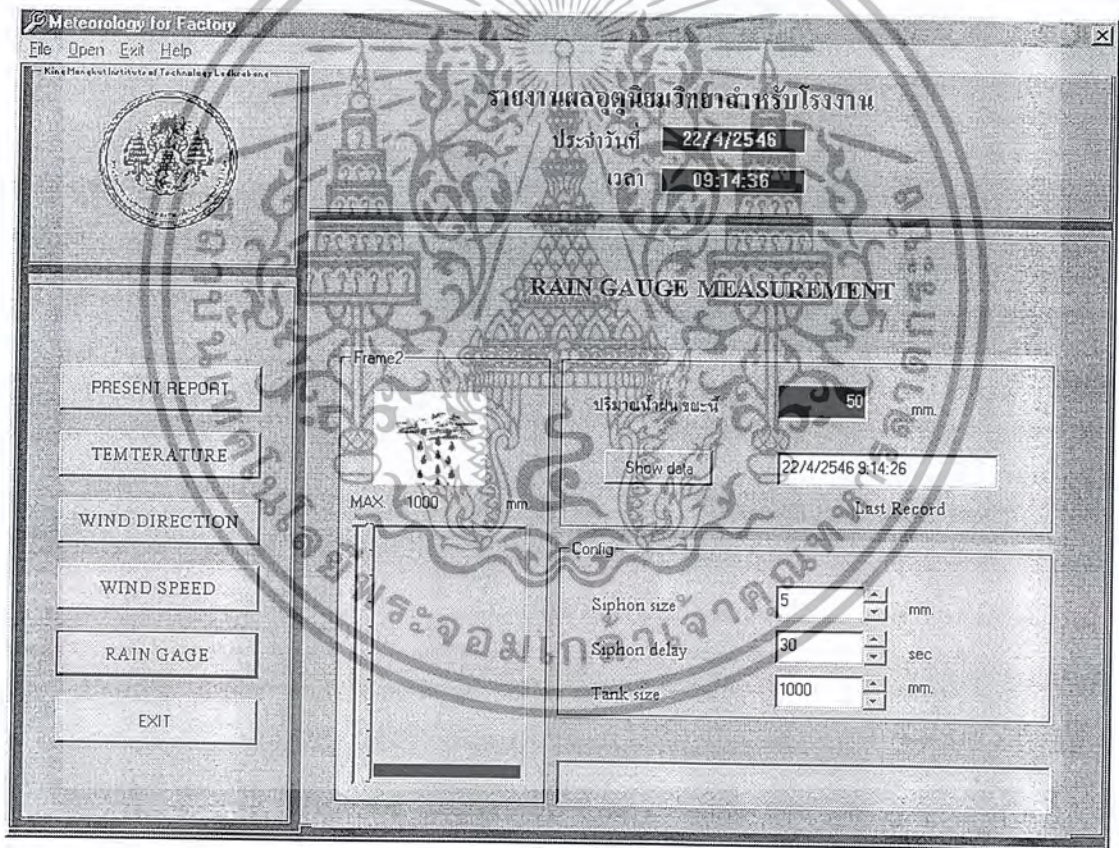
ภาพที่ 5.9 แสดงการเก็บข้อมูลของความเร็วลมในรูปแบบของ Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain Gauge Meter)

ภาพที่ 5.10 จะแสดงหน้าจอ ของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน เราสามารถดูรายงานผลปริมาณน้ำฝนขณะนั้นได้ และสามารถ Search เข้าไปดูข้อมูลในแต่ละวันได้ ซึ่งจะเก็บอยู่ในรูปของDatabase

ดังตัวอย่างภาพที่ 5.11 แสดงรายงานผลของปริมาณน้ำฝนประจำวันวันที่ 22 เมษายน 2546 ซึ่งเก็บอยู่ในรูปของ Database ซึ่งในการเก็บค่าปริมาณน้ำฝนจะเก็บในหน่วยมิลลิเมตร โดยจะทำการเก็บค่าเมื่อ Siphon ตวงน้ำได้ 5 มิลลิเมตร ถ้าช่วงไหนฝนตกหนัก Siphon ก็จะเต็มเร็ว ทำให้ Siphon Siphon น้ำ ทั้งเร็วขึ้น ถ้าช่วงไหนฝนตกน้อย Siphon ก็จะเต็มช้า ทำให้ Siphon Siphon น้ำทั้งช้าลง ซึ่งเราสามารถดูได้จากช่วงเวลา ในการเก็บค่า ถ้าช่วงเวลาไหนความถี่ในการเก็บค่าปริมาณน้ำฝนมากแสดงว่าฝนตกหนัก แต่ถ้าช่วงเวลาไหนความถี่ของการเก็บค่าปริมาณน้ำฝนน้อยแสดงว่าฝนตกน้อย



ภาพที่ 5.10 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain Gauge Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงข้อมูล

RAIN FALL DATABASE

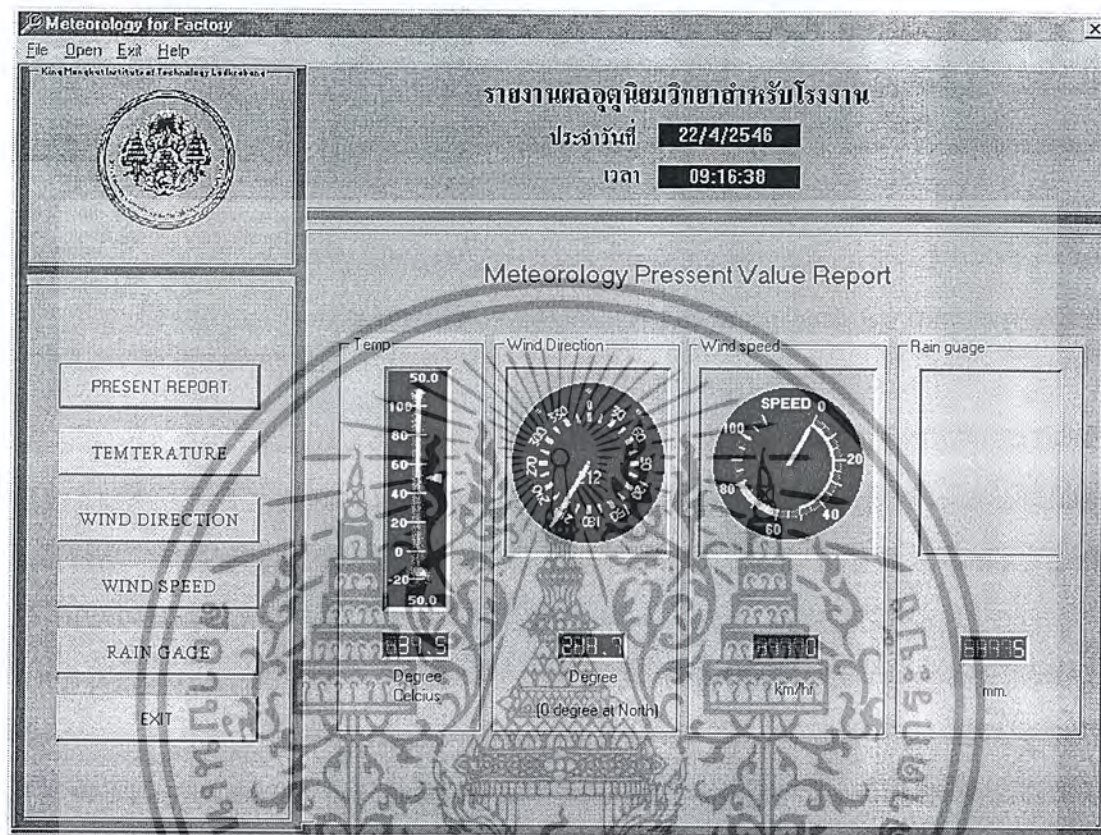
ลำดับ	วันที่เวลา	ปริมาณน้ำฝน(ม.ม.)
217	4/22/46 7:04 AM	5
218	4/22/46 7:24 AM	5
219	4/22/46 7:24 AM	5
220	4/22/46 7:25 AM	5
221	4/22/46 7:53 AM	5
222	4/22/46 7:53 AM	5
223	4/22/46 7:56 AM	5
224	4/22/46 7:59 AM	5
225	4/22/46 7:59 AM	5
226	4/22/46 8:00 AM	5
227	4/22/46 8:00 AM	5
228	4/22/46 8:00 AM	5
229	4/22/46 8:04 AM	5
230	4/22/46 8:11 AM	5
231	4/22/46 8:15 AM	5
232	4/22/46 8:16 AM	5
233	4/22/46 8:17 AM	5
234	4/22/46 8:18 AM	5
235	4/22/46 8:19 AM	5
236	4/22/46 8:20 AM	5
237	4/22/46 8:21 AM	5
238	4/22/46 8:21 AM	5
239	4/22/46 8:23 AM	5
240	4/22/46 8:23 AM	5
241	4/22/46 8:24 AM	5

Refresh Data Exit

ภาพที่ 5.11 แสดงการเก็บค่าข้อมูลของปริมาณน้ำฝนในรูปของ Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 5.12 จะแสดงรายงานผลของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด เราสามารถดูค่าของระดับอุณหภูมิ ค่าของทิศทางลม ค่าของปริมาณความเร็วลม ค่าของปริมาณน้ำฝนในขณะนั้นได้



ภาพที่ 5.12 แสดงหน้าจอของการรายงานผลของเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเก็บค่าข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวจะเกิดค่าผิดพลาดต่างๆ จากการวัดขึ้น ไม่ว่าจะความผิดพลาดจากการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดต่างๆ ที่ไม่ได้มาตรฐานรวมทั้งตัว Sensor ที่ได้นำมาใช้กับเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัว นอกจากนี้ยังเกิดค่าผิดพลาดเนื่องจากการทดลอง ซึ่งไม่มีเครื่องวัดที่ได้มาตรฐานมาทำการปรับเทียบค่ากับเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาให้ได้มาตรฐาน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเครื่องวัดทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวก็สามารถนำไปใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ในการวัดค่าต่างๆในทางอุตุนิยมวิทยานั้น จำเป็นที่จะต้องรู้หลักเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวัด โดยจะต้องคำนึงถึงมาตรฐานต่างๆ และหน่วยที่ใช้ในการวัดค่าทางอุตุนิยมวิทยา

ในปริญญานิพนธ์นี้ ได้ทำการวัดค่าต่างๆ ทางอุตุนิยมวิทยา ดังนี้ การวัดอุณหภูมิ การวัดทิศทางลม การวัดความเร็วลมและ การวัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งในการวัดค่าตัวแปรทั้ง 4 อย่างนั้น สามารถนำมาประยุกต์และพัฒนาใช้ในกระบวนการทางโรงงานอุตสาหกรรมได้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา

1. สามารถนำไปประยุกต์ โดยการนำเครื่องวัดชุดนี้ ไปใช้ในการวัดค่าทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละพื้นที่ทั่วไปได้ ในแบบการปฏิบัติของเครื่องวัด ของกรมอุตุนิยมวิทยานอกจากการนำมาประยุกต์ใช้ในทางโรงงาน
2. สามารถประยุกต์ใช้ โดยสามารถนำค่าที่วัดได้ทางอุตุนิยมวิทยา ไปแสดงผลที่วัดได้ทาง Website ซึ่งสามารถตรวจสอบค่าได้จากทุกที่แบบออนไลน์ทั่วทุกมุมโลก
3. สามารถแสดงผลในแบบ Stand-Alone โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการจัดเก็บข้อมูลในเครื่องวัดแต่ละตัว และแสดงผลที่ตู้ควบคุม (Control Panel)
4. สามารถนำไปประยุกต์ โดยการนำเครื่องวัดชุดนี้ ไปใช้ในการวัดค่าทางอุตุนิยมวิทยา ในแต่ละพื้นที่ทั่วไปได้ โดยส่งข้อมูลผ่านเครื่องรับส่งคลื่นวิทยุชุดเครื่องวัดและชุดประมวลผล เพื่อสามารถวัดได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น
5. สามารถออกแบบเครื่องวัดให้มีขนาดที่เล็กกะทัดรัด และมีประสิทธิภาพเท่าเดิม หรือมากกว่าเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ธีรติ ลีวัจนกุล : “ อุตกวิทยา ” , สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรังสิต
2. อรรถพล บุญยะโกคา : “ เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม ” , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
3. พรจิต ประทุมสุวรรณ : “ เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม ” , เรือนแก้วการพิมพ์, 2537
4. สมศักดิ์ ธีรติวุฒเศรษฐ์ : “ เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม ” , บริษัท ส.เอเชียเพรส จำกัด, 2540
5. วิทยา ทิพย์สุวรรณ : “ การวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ” , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. สุทธา ศรีวิริยาจารย์ : “ Step by Step Microsoft Visual Basic 6 ” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V Powered Dual RS-232 Transmitter/Receiver

December 1993

Features

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

Applications

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

Description

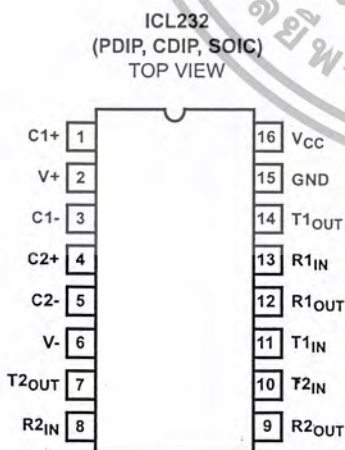
The ICL232 is a dual RS-232 transmitter/receiver interface circuit that meets all EIA RS-232C specifications. It requires a single +5V power supply, and features two onboard charge pump voltage converters which generate +10V and -10V supplies from the 5V supply.

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

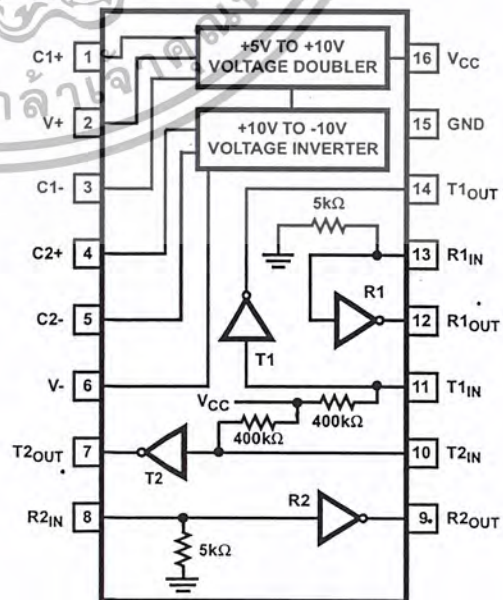
Ordering Information

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

Pinouts



Functional Diagram



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

Copyright © Harris Corporation 1993

Specifications ICL232

Absolute Maximum Ratings

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

Thermal Information

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

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

Electrical Specifications

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

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

NOTES:

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

ICL232

Typical Performance Curves

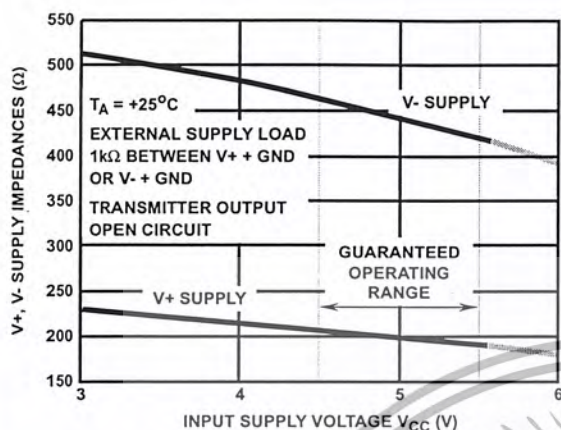


FIGURE 1. V+, V- OUTPUT IMPEDANCES vs V_{CC}

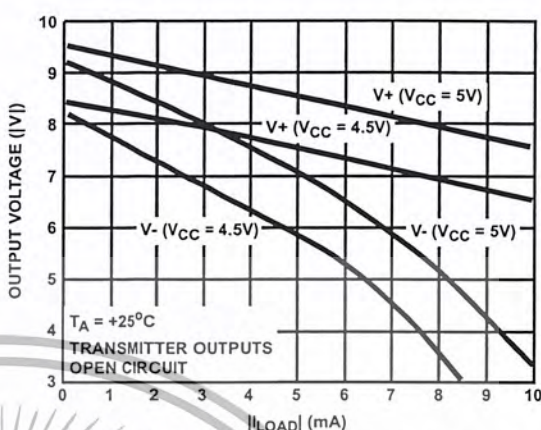


FIGURE 2. V+, V- OUTPUT VOLTAGES vs LOAD CURRENT

Pin Descriptions

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

Detailed Description

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

Voltage Converter

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

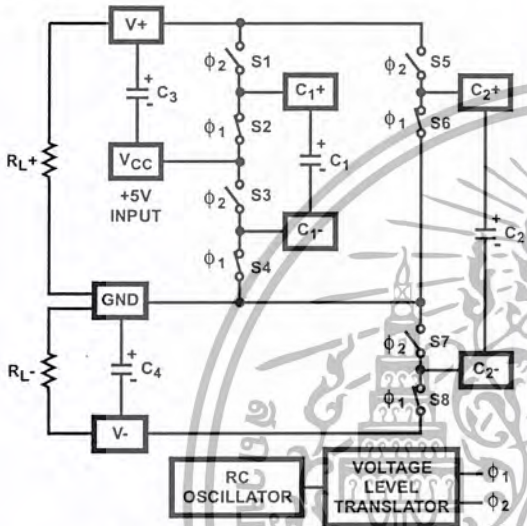


FIGURE 3. DUAL CHARGE PUMP

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

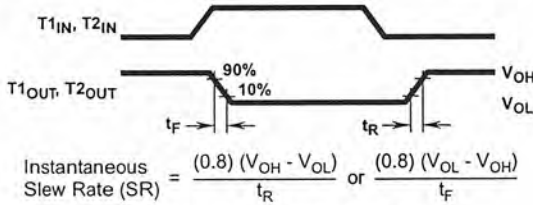


FIGURE 4. SLEW RATE DEFINITION

Transmitters

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

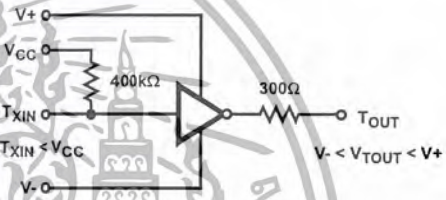


FIGURE 5. TRANSMITTER

Receivers

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

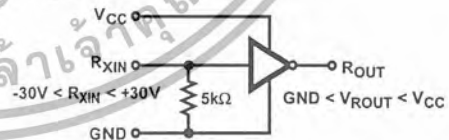


FIGURE 6. RECEIVER

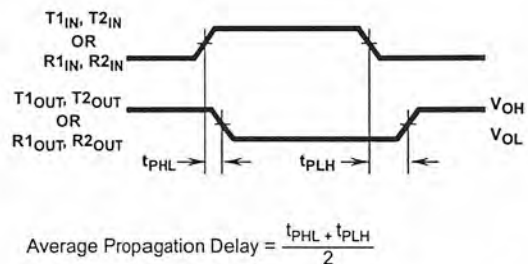


FIGURE 7. PROPAGATION DELAY DEFINITION

Test Circuits

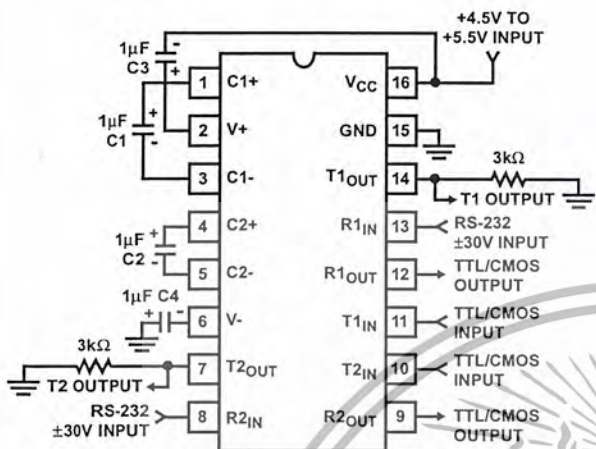


FIGURE 8. GENERAL TEST CIRCUIT

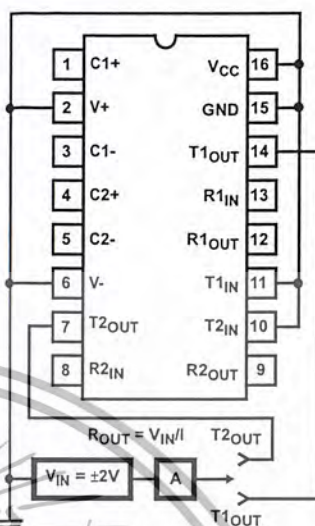


FIGURE 9. POWER-OFF SOURCE RESISTANCE CONFIGURATION

Applications

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

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

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

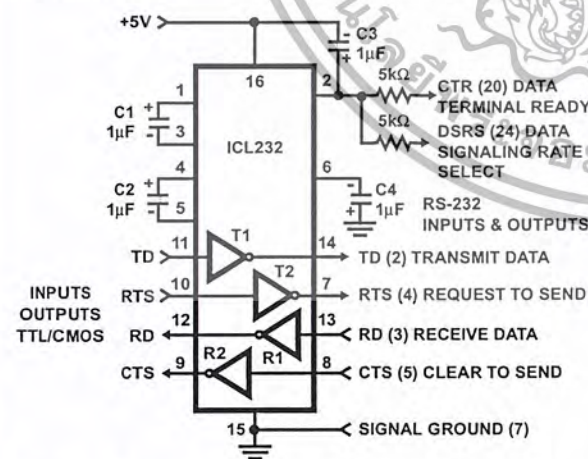


FIGURE 10. SIMPLE DUPLEX RS-232 PORT WITH CTS/RTS HANDSHAKING

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

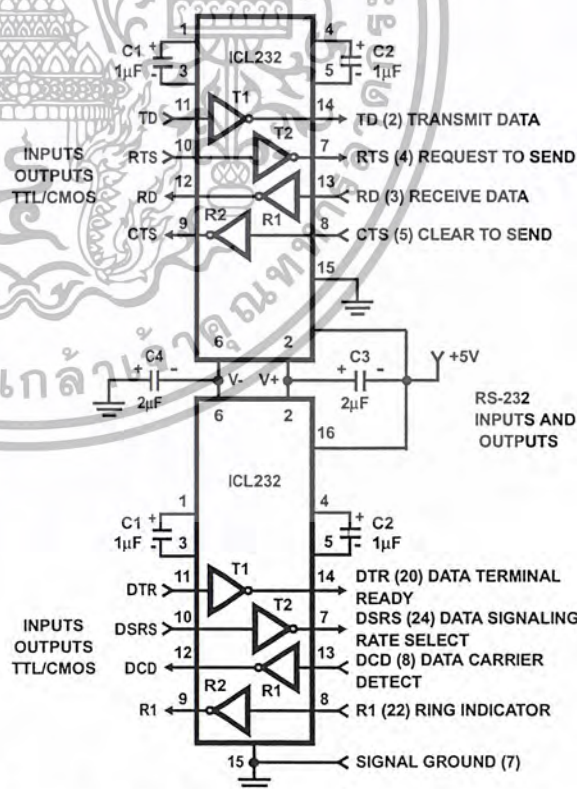


FIGURE 11. COMBINING TWO ICL232s FOR 4 PAIRS OF RS-232 INPUTS AND OUTPUTS

DATA SHEET



PCF8591

8-bit A/D and D/A converter

Product specification

1998 Jul 02

Supersedes data of 1997 Apr 02

File under Integrated Circuits, IC12

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

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



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

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

2 APPLICATIONS

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

4 ORDERING INFORMATION

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



3 GENERAL DESCRIPTION

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

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

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

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

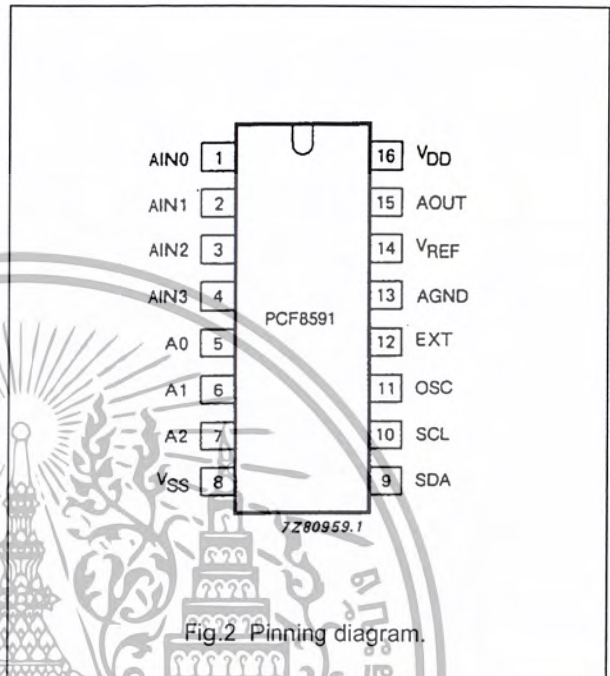


Fig.2 Pinning diagram.

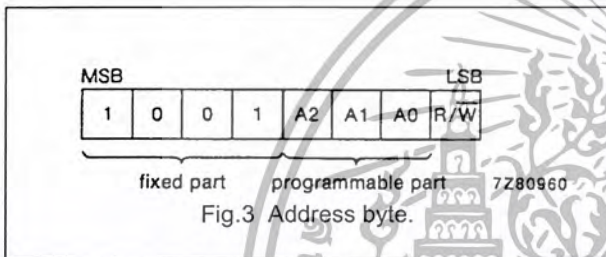
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

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



7.2 Control byte

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

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

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

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

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

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

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

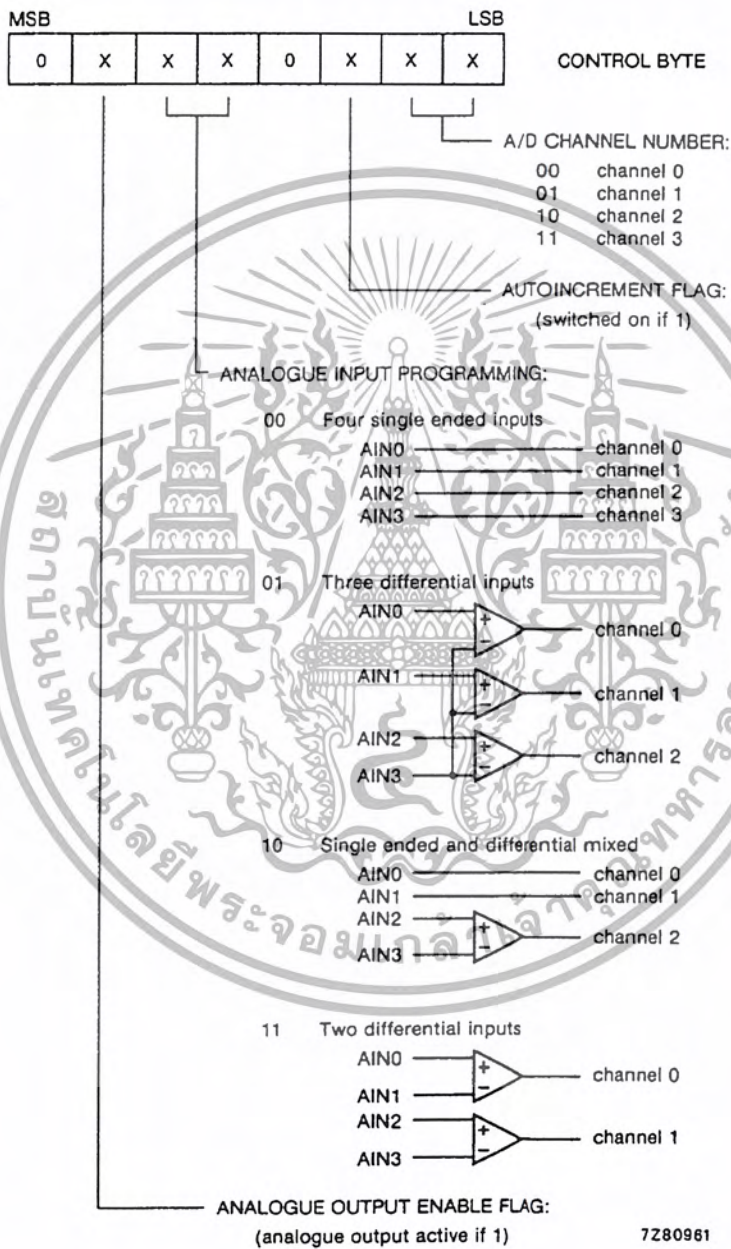


Fig.4 Control byte.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.3 D/A conversion

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

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

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

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

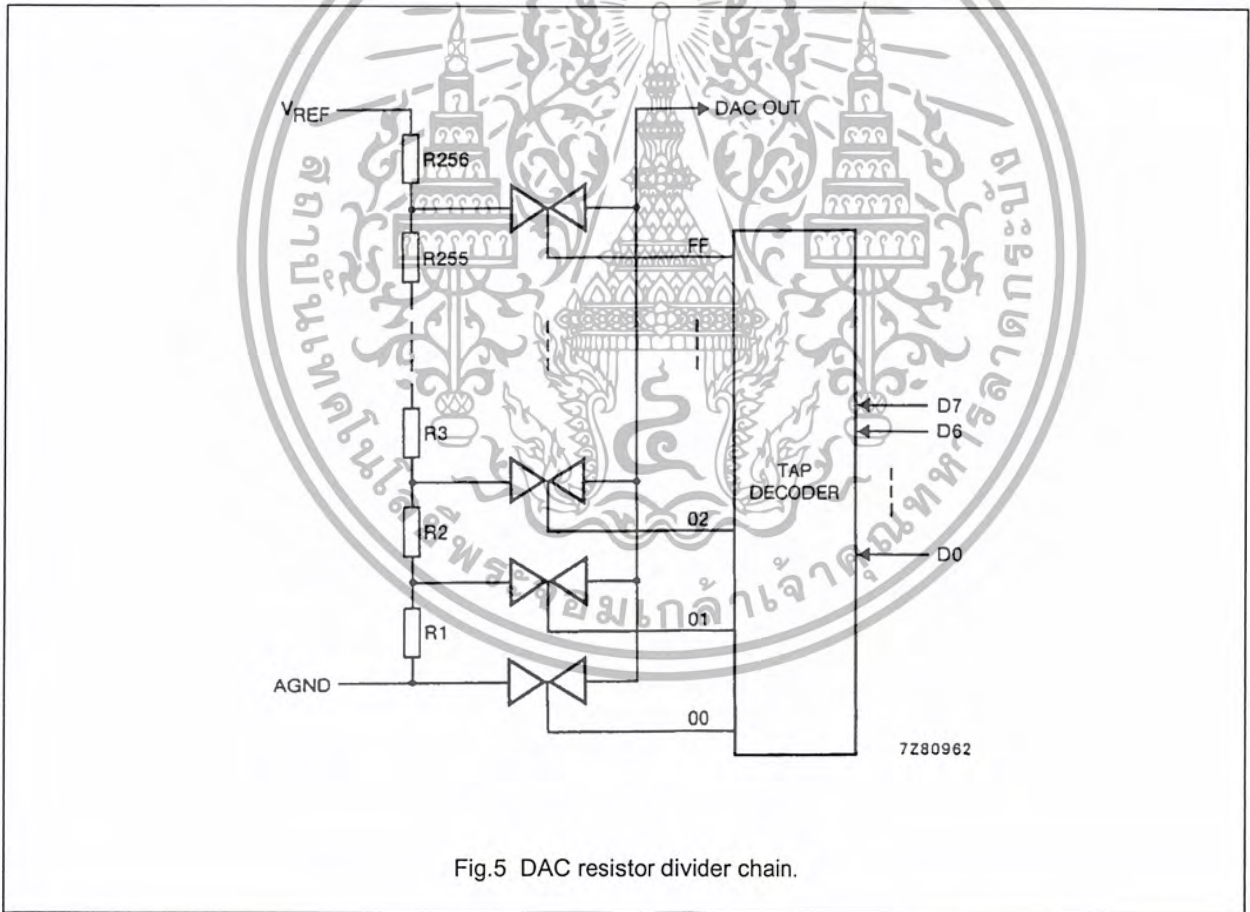


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

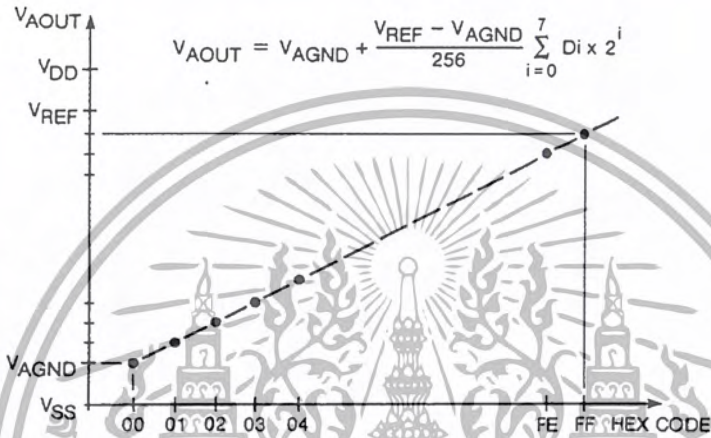
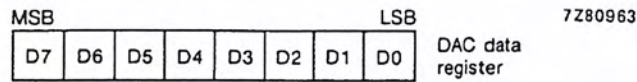
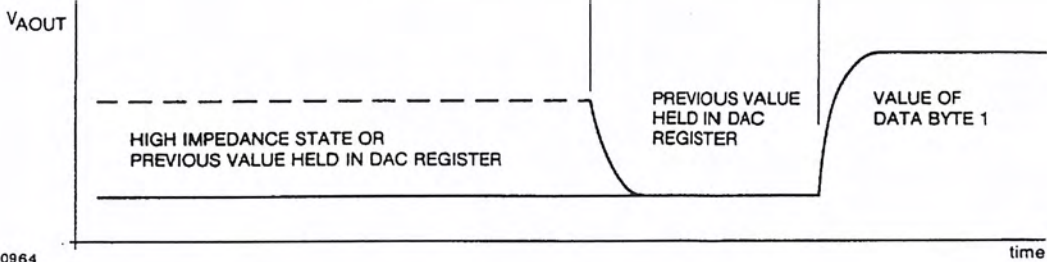
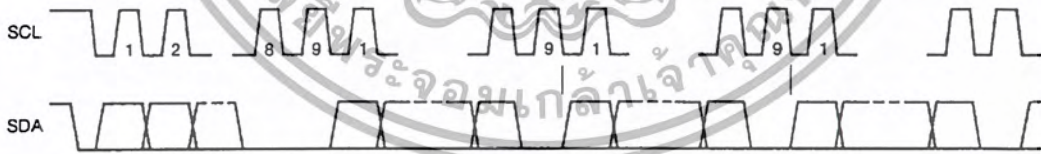


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.



7280964

Fig.7 D/A conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.4 A/D conversion

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

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

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

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

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

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

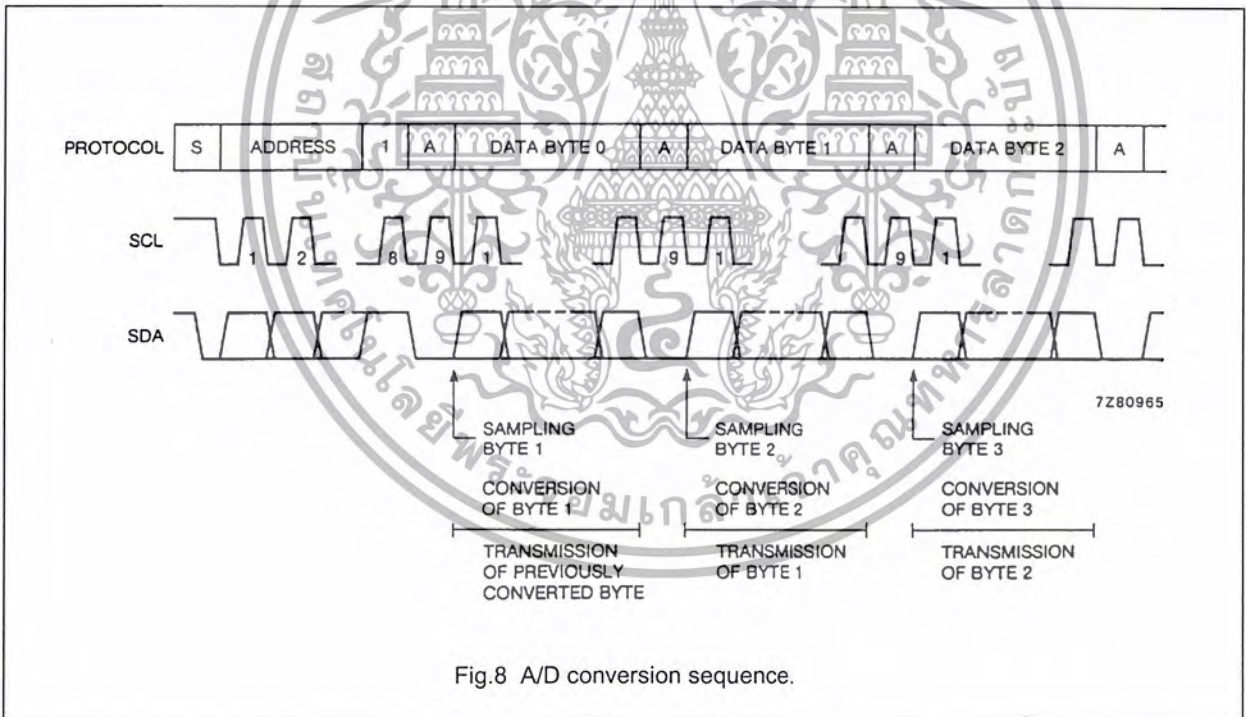
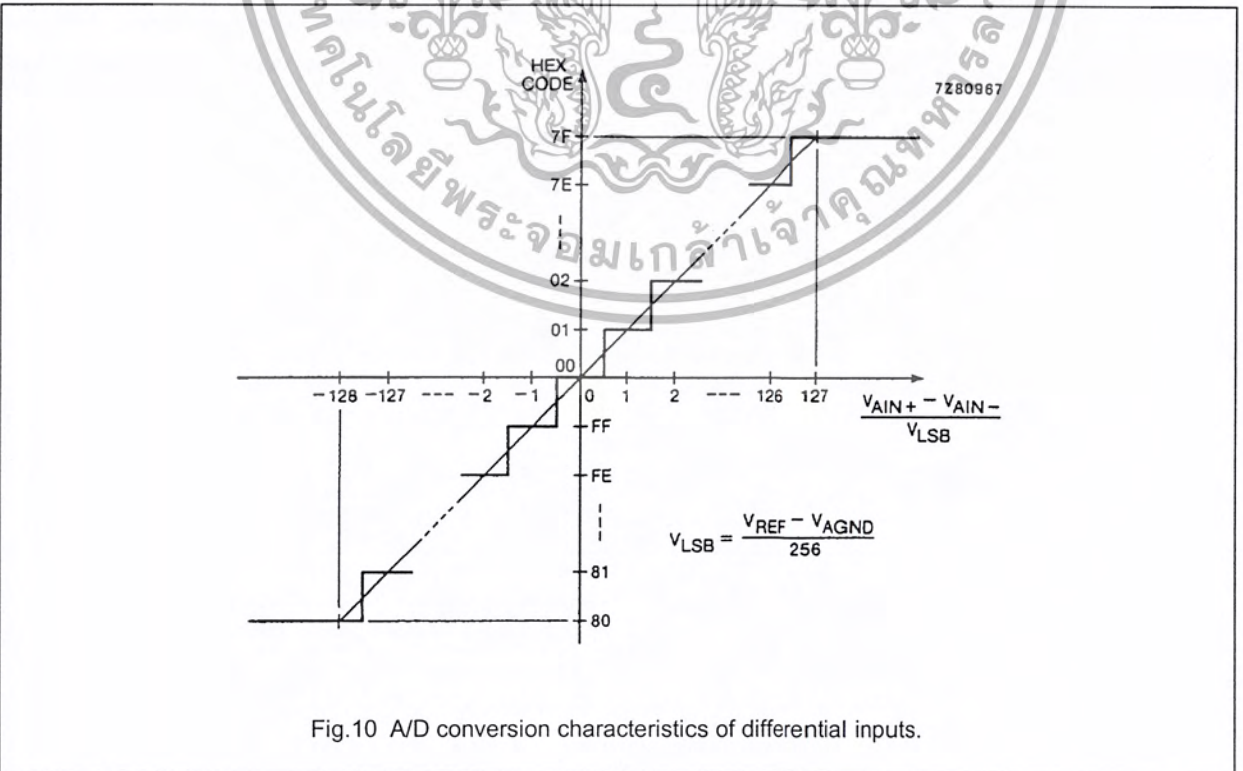
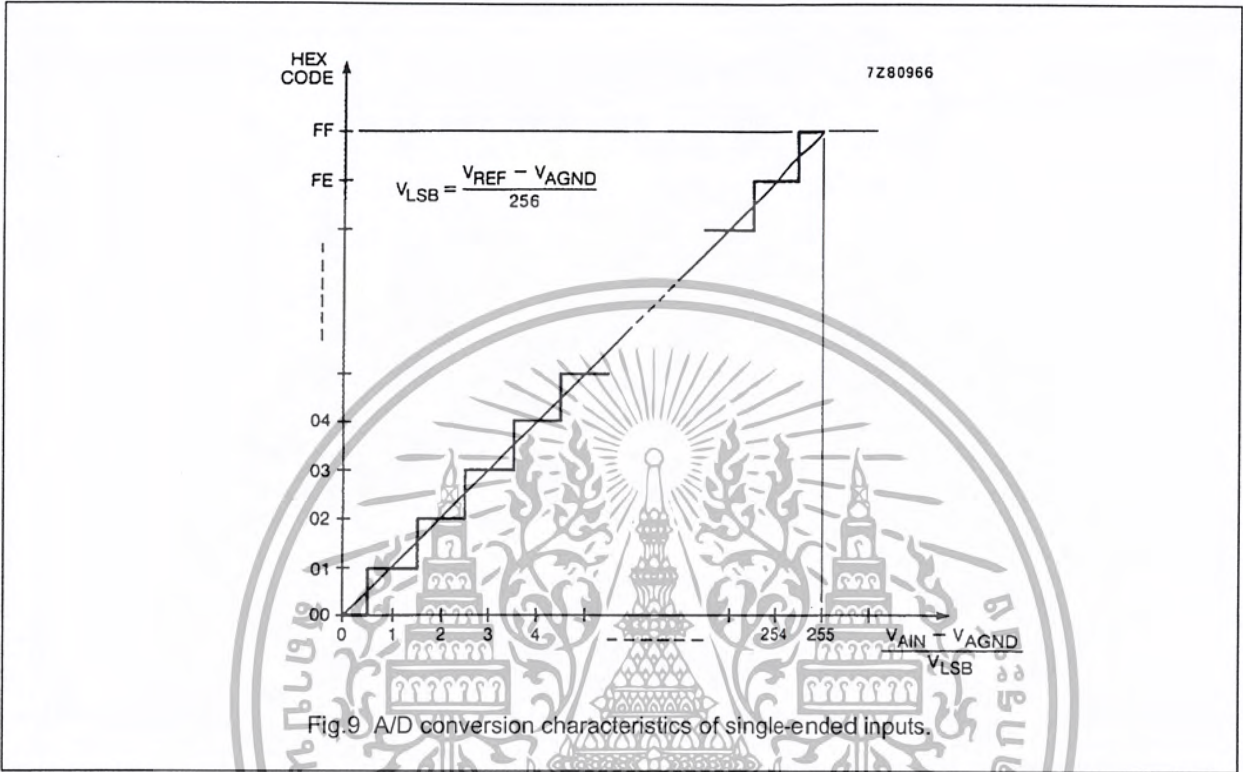


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.5 Reference voltage

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

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

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

7.6 Oscillator

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

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



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

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

8.1 Bit transfer

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

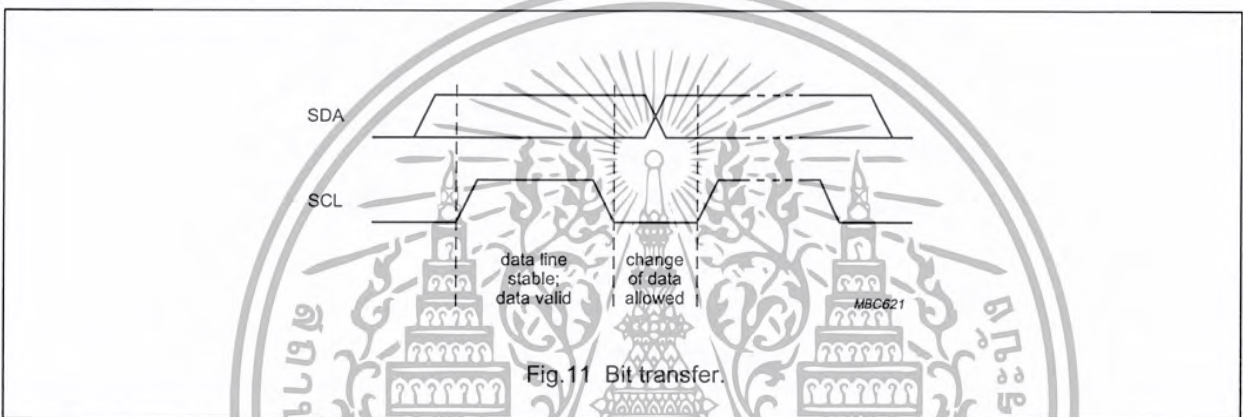


Fig.11 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

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

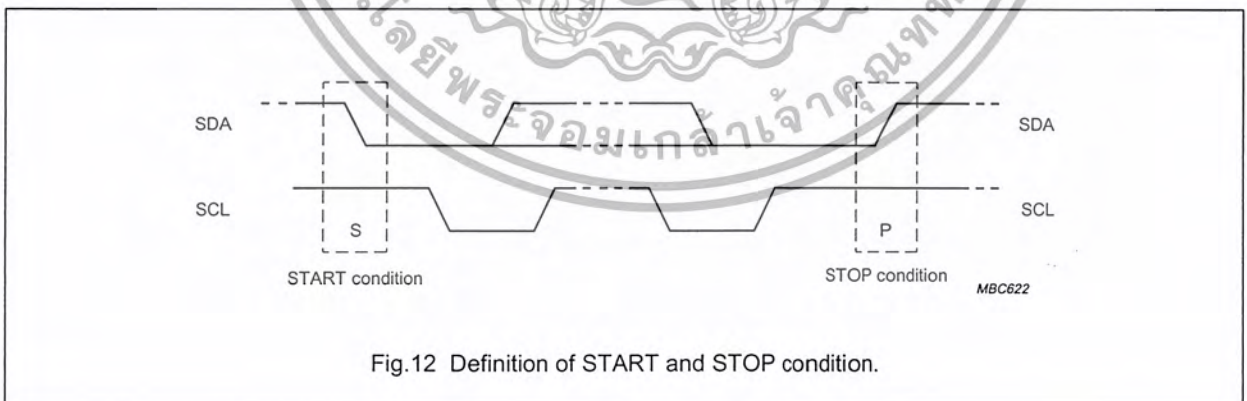


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.3 System configuration

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

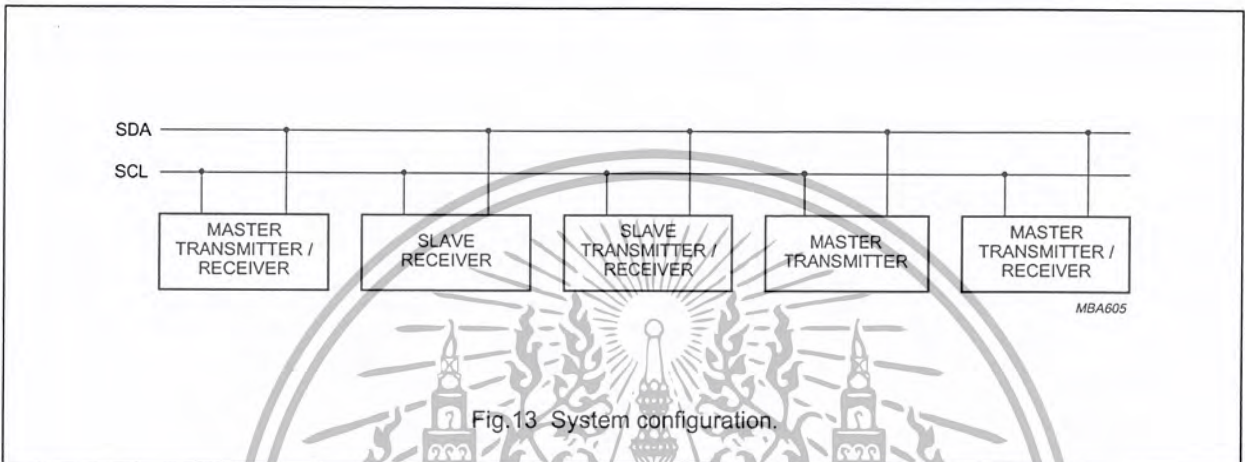


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

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

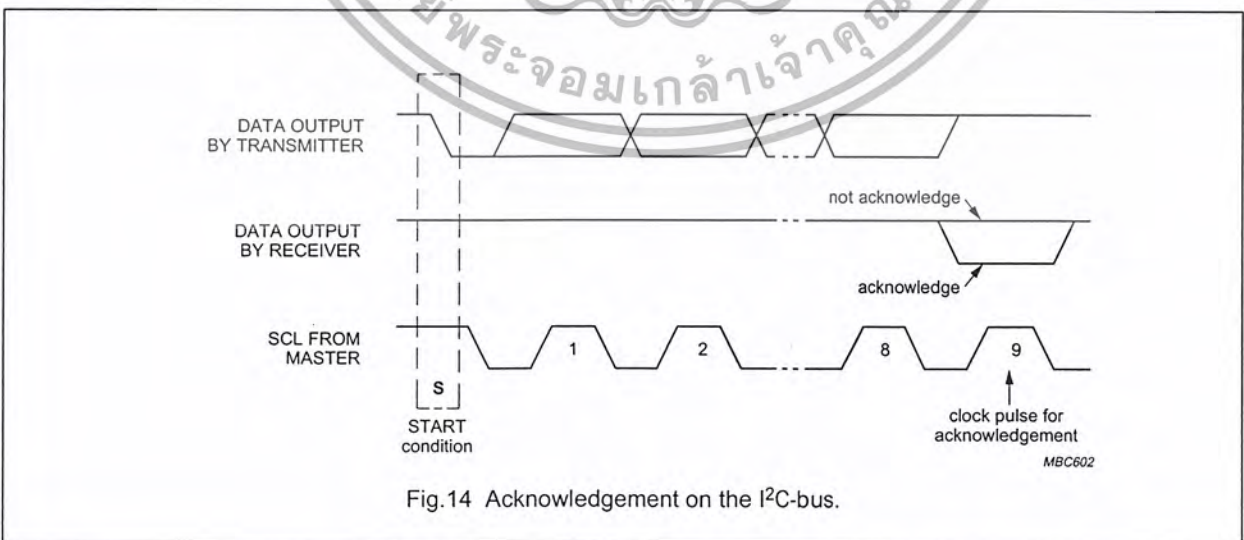


Fig.14 Acknowledgement on the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.5 I²C-bus protocol

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

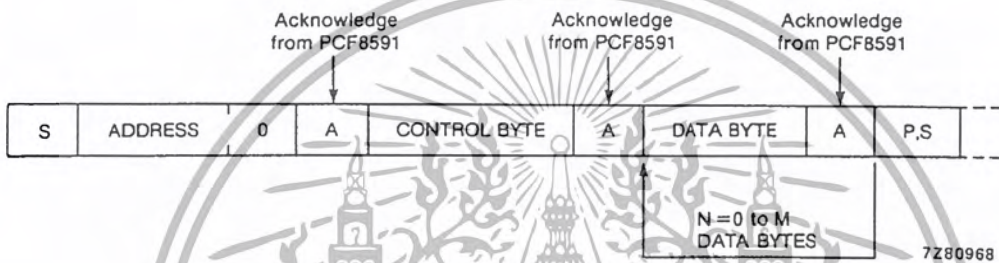


Fig.15 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

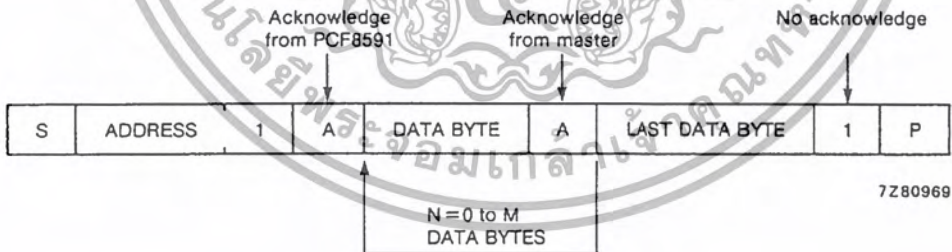


Fig.16 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

9 LIMITING VALUES

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

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DD}	supply voltage (pin 16)	-0.5	+8.0	V
V_I	input voltage (any input)	-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
I_I	DC input current	-	± 10	mA
I_O	DC output current	-	± 20	mA
I_{DD}, I_{SS}	V_{DD} or V_{SS} current	-	± 50	mA
P_{tot}	total power dissipation per package	-	300	mW
P_O	power dissipation per output	-	100	mW
T_{amb}	operating ambient temperature	-40	+85	°C
T_{stg}	storage temperature	-65	+150	°C

10 HANDLING

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



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

11 DC CHARACTERISTICS

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

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

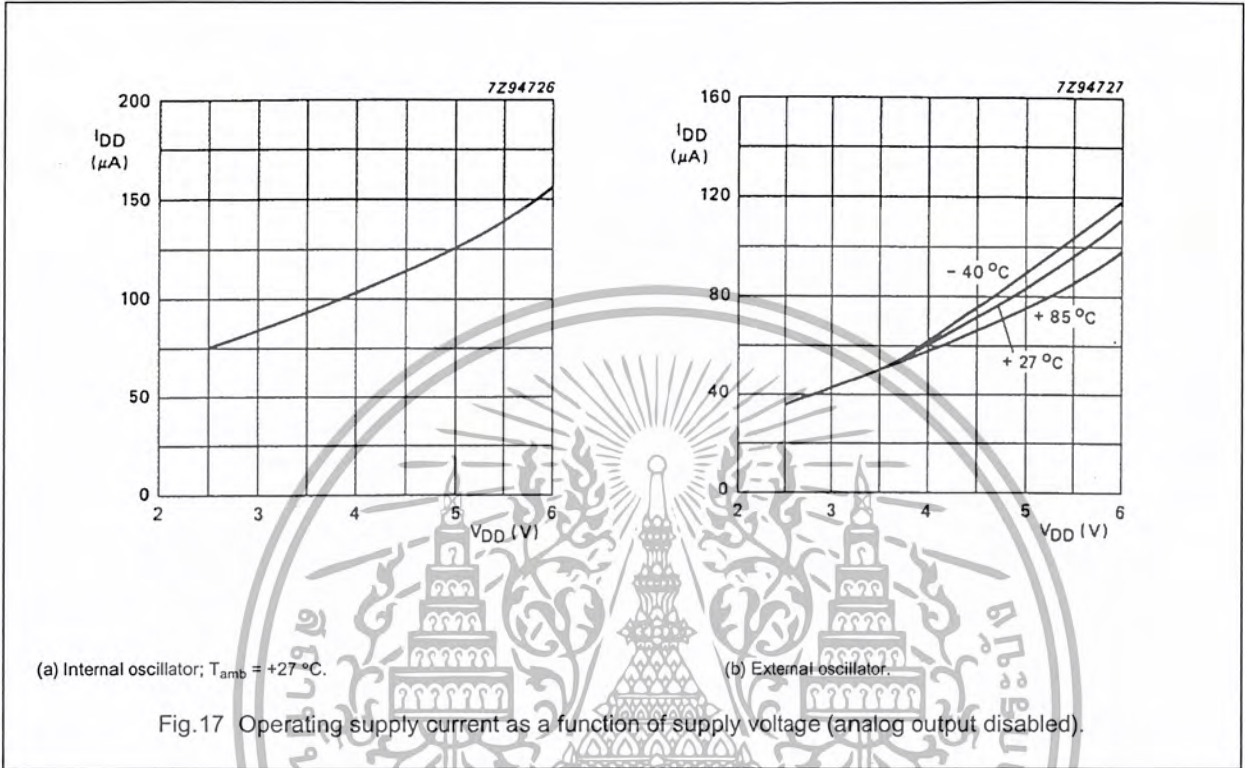


Fig. 17 Operating supply current as a function of supply voltage (analog output disabled).

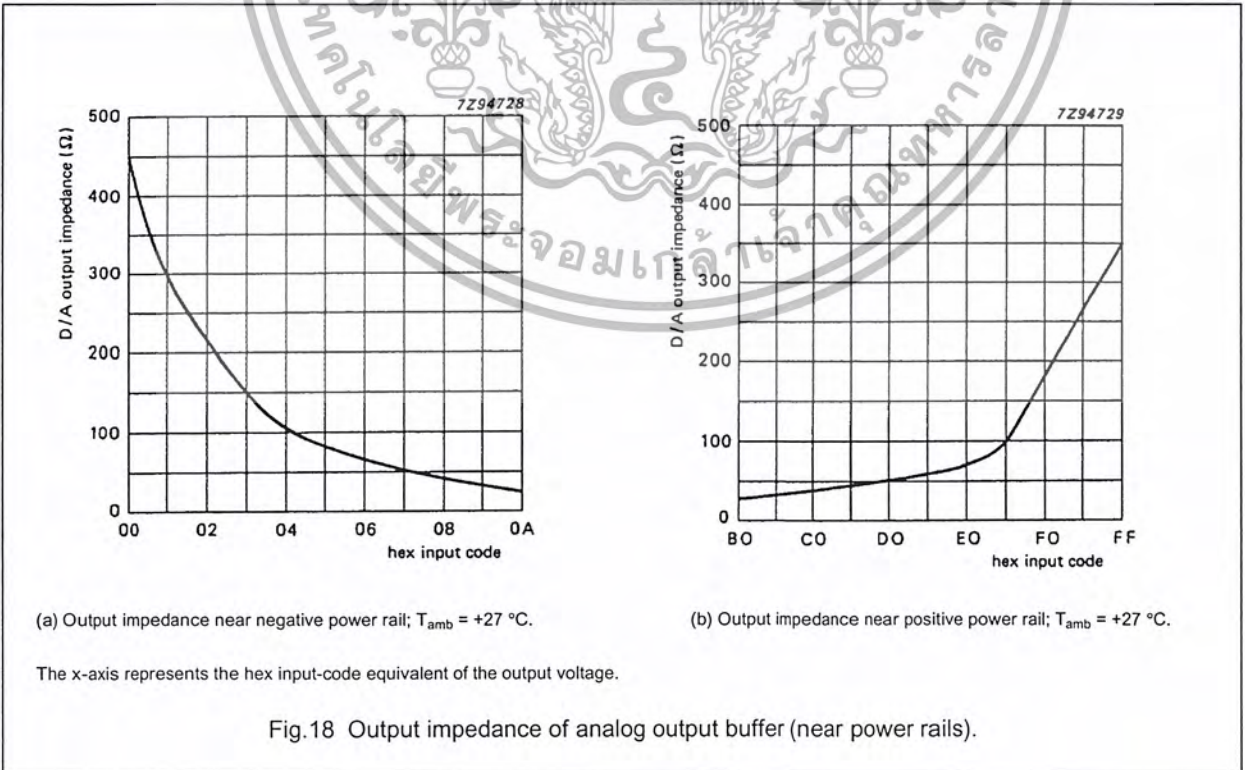


Fig. 18 Output impedance of analog output buffer (near power rails).

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

14 AC CHARACTERISTICS

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

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

Note

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

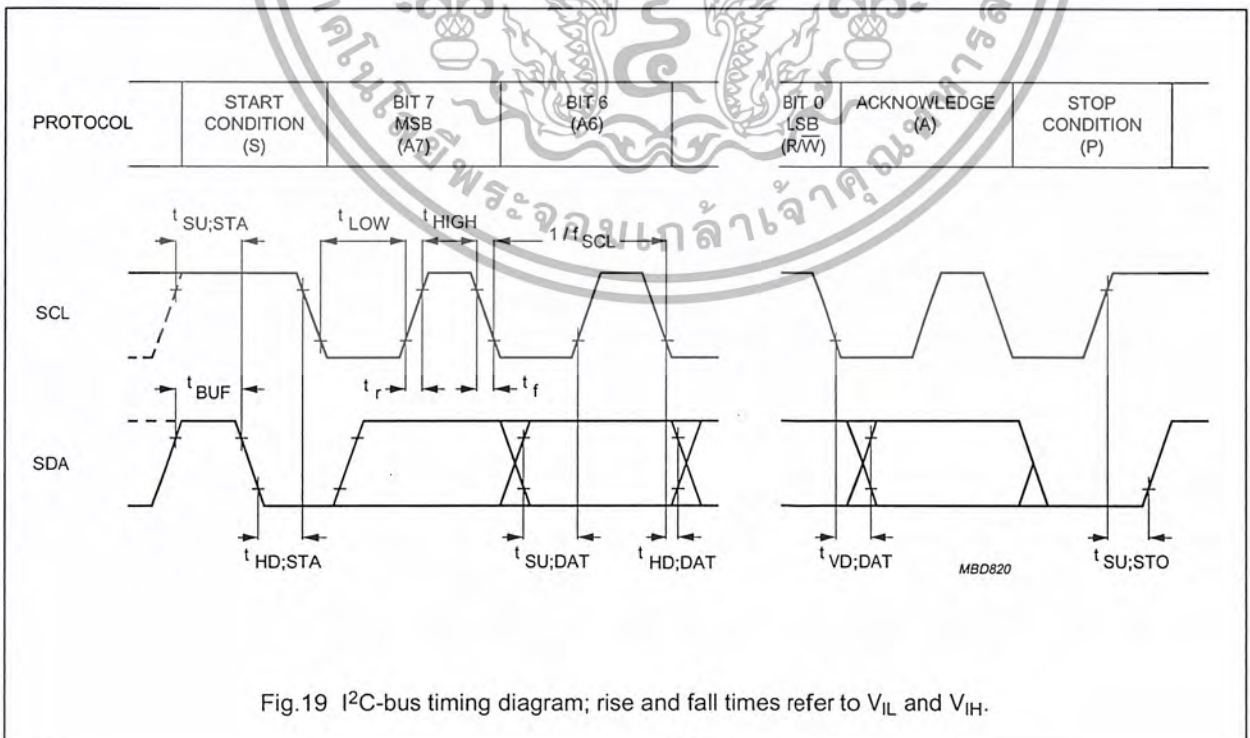


Fig.19 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH} .

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

15 APPLICATION INFORMATION

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

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

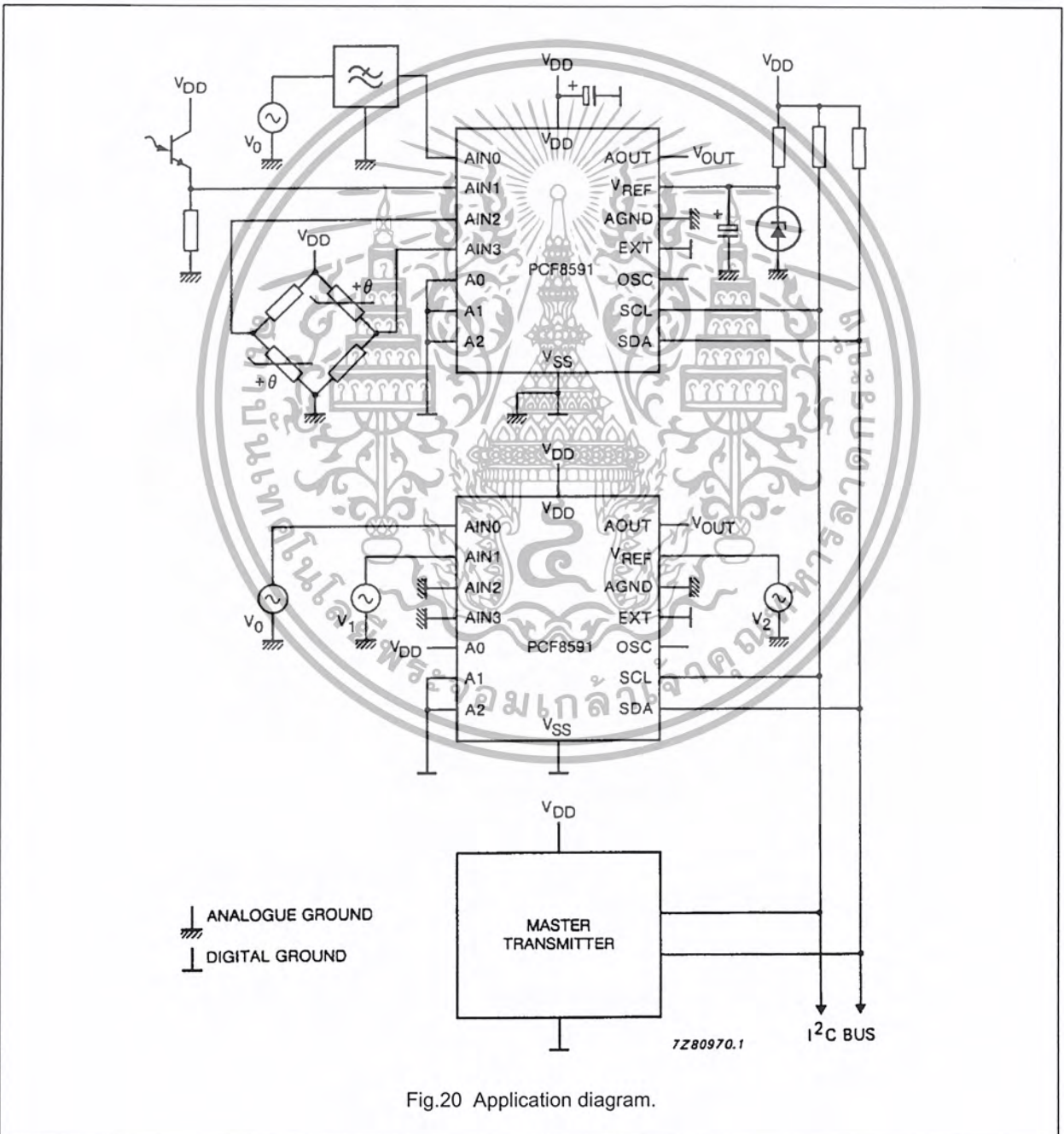


Fig.20 Application diagram.

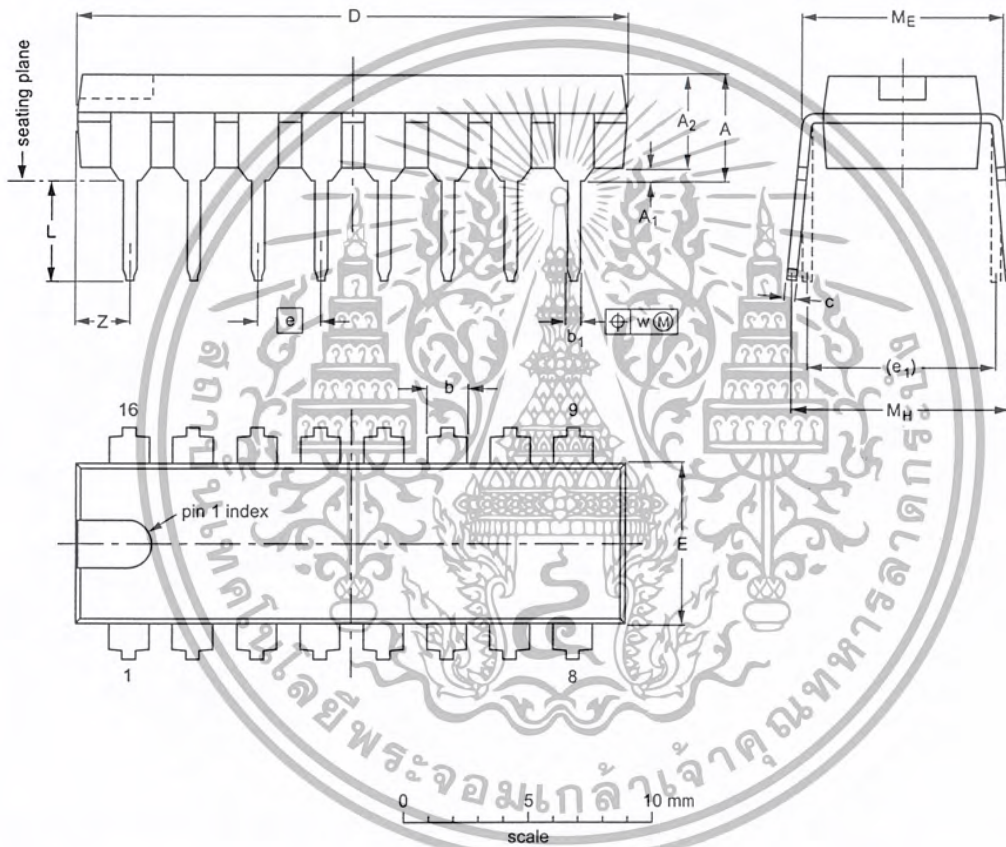
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

16 PACKAGE OUTLINES

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

SOT38-1



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

UNIT	A max.	A1 min.	A2 max.	b	b1	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e1	L	ME	MH	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	2.2
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.045	0.021 0.015	0.013 0.009	0.86 0.84	0.26 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.087

Note

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

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

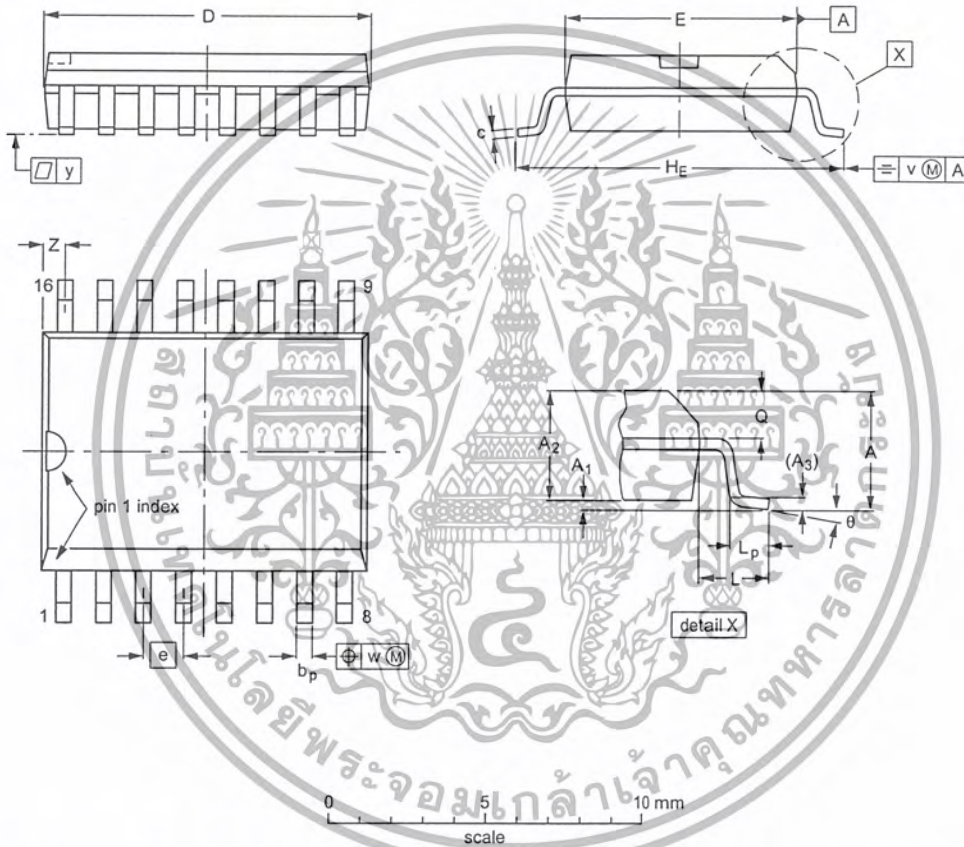
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 22 ศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 1998 Jul 02 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

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

SOT162-1



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

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

Note

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 1998 Jul 02
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

17 SOLDERING**17.1 Introduction**

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

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

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

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

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

17.2.2 REPAIRING SOLDERED JOINTS

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

17.3 SO**17.3.1 REFLOW SOLDERING**

Reflow soldering techniques are suitable for all SO packages.

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

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

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

17.3.2 WAVE SOLDERING

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

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

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

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

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

17.3.3 REPAIRING SOLDERED JOINTS

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

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

18 DEFINITIONS

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

19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

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

20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

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

DATA SHEET



PCF8574 Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

Product specification
Supersedes data of September 1994
File under Integrated Circuits, IC12

1997 Apr 02

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

CONTENTS

1	FEATURES
2	GENERAL DESCRIPTION
3	ORDERING INFORMATION
4	BLOCK DIAGRAM
5	PINNING
6	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
6.1	Bit transfer
6.2	Start and stop conditions
6.3	System configuration
6.4	Acknowledge
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1	Addressing
7.2	Interrupt
7.3	Quasi-bidirectional I/Os
8	LIMITING VALUES
9	HANDLING
10	DC CHARACTERISTICS
11	I ² C-BUS TIMING CHARACTERISTICS
12	PACKAGE OUTLINES
13	SOLDERING
13.1	Introduction
13.2	DIP
13.2.1	Soldering by dipping or by wave
13.2.2	Repairing soldered joints
13.3	SO and SSOP
13.3.1	Reflow soldering
13.3.2	Wave soldering
13.3.3	Repairing soldered joints
14	DEFINITIONS
15	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
16	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

1 FEATURES

- Operating supply voltage 2.5 to 6 V
- Low standby current consumption of 10 μ A maximum
- I²C to parallel port expander
- Open-drain interrupt output
- 8-bit remote I/O port for the I²C-bus
- Compatible with most microcontrollers
- Latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs
- Address by 3 hardware address pins for use of up to 8 devices (up to 16 with PCF8574A)
- DIP16, or space-saving SO16 or SSOP20 packages.

2 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8574 is a silicon CMOS circuit. It provides general purpose remote I/O expansion for most microcontroller families via the two-line bidirectional bus (I²C).

The device consists of an 8-bit quasi-bidirectional port and an I²C-bus interface. The PCF8574 has a low current consumption and includes latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs. It also possesses an interrupt line (INT) which can be connected to the interrupt logic of the microcontroller. By sending an interrupt signal on this line, the remote I/O can inform the microcontroller if there is incoming data on its ports without having to communicate via the I²C-bus. This means that the PCF8574 can remain a simple slave device.

The PCF8574 and PCF8574A versions differ only in their slave address as shown in Fig.9.

3 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		VERSION
	NAME	DESCRIPTION	
PCF8574P; PCF8574AP	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-1
PCF8574T; PCF8574AT	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1
PCF8574TS	SSOP20	plastic shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT266-1

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

4 BLOCK DIAGRAM

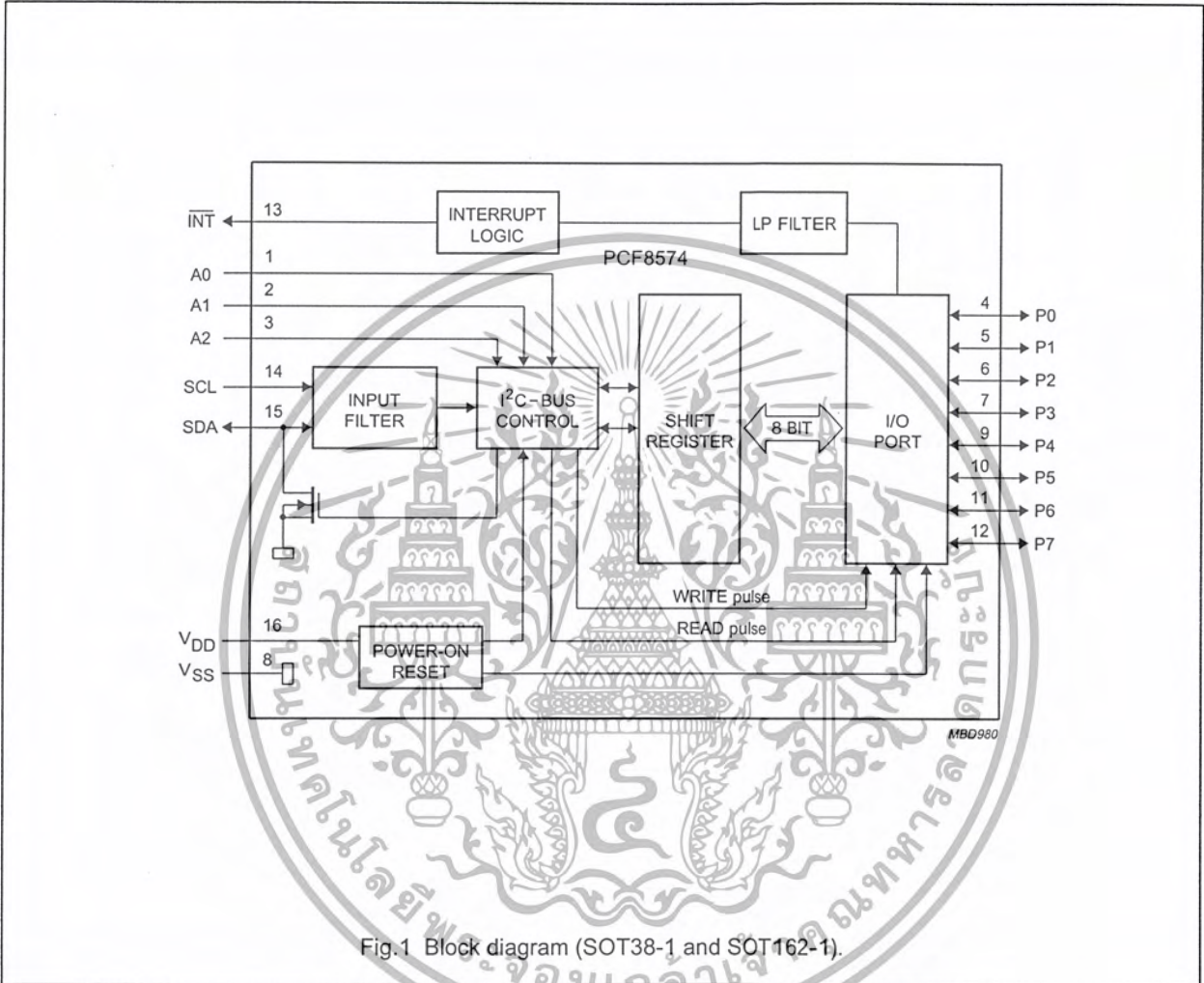


Fig.1 Block diagram (SOT38-1 and SOT162-1).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

5 PINNING

SYMBOL	PIN		DESCRIPTION
	DIP16; SO16	SSOP20	
A0	1	6	address input 0
A1	2	7	address input 1
A2	3	9	address input 2
P0	4	10	quasi-bidirectional I/O 0
P1	5	11	quasi-bidirectional I/O 1
P2	6	12	quasi-bidirectional I/O 2
P3	7	14	quasi-bidirectional I/O 3
V _{SS}	8	15	supply ground
P4	9	16	quasi-bidirectional I/O 4
P5	10	17	quasi-bidirectional I/O 5
P6	11	19	quasi-bidirectional I/O 6
P7	12	20	quasi-bidirectional I/O 7
$\overline{\text{INT}}$	13	1	interrupt output (active LOW)
SCL	14	2	serial clock line
SDA	15	4	serial data line
V _{DD}	16	5	supply voltage
n.c.	—	3	not connected
n.c.	—	8	not connected
n.c.	—	13	not connected
n.c.	—	18	not connected

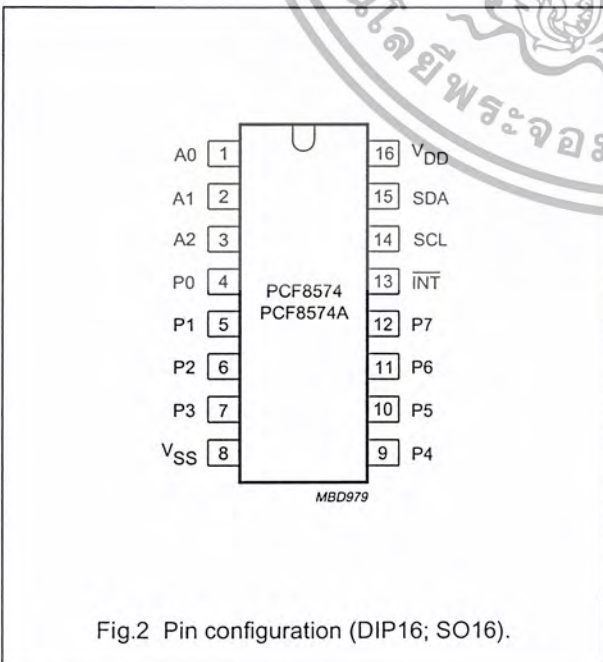


Fig.2 Pin configuration (DIP16; SO16).

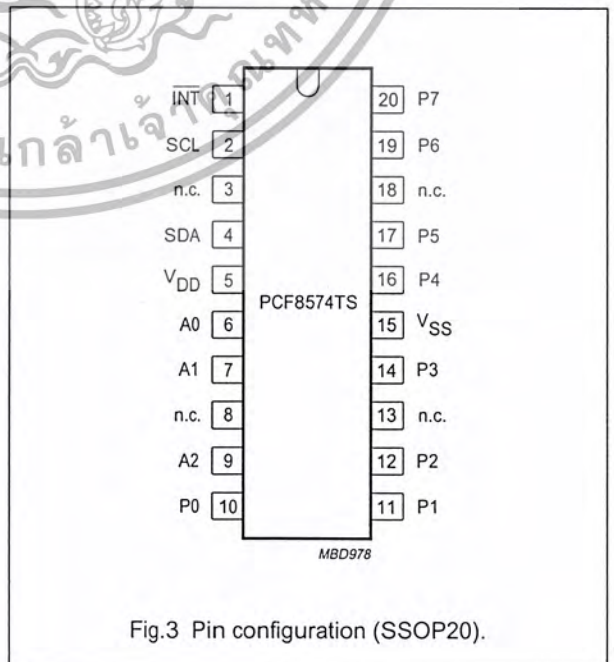


Fig.3 Pin configuration (SSOP20).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

6 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for 2-way, 2-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 when connected to the output stages of a device. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

6.1 Bit transfer

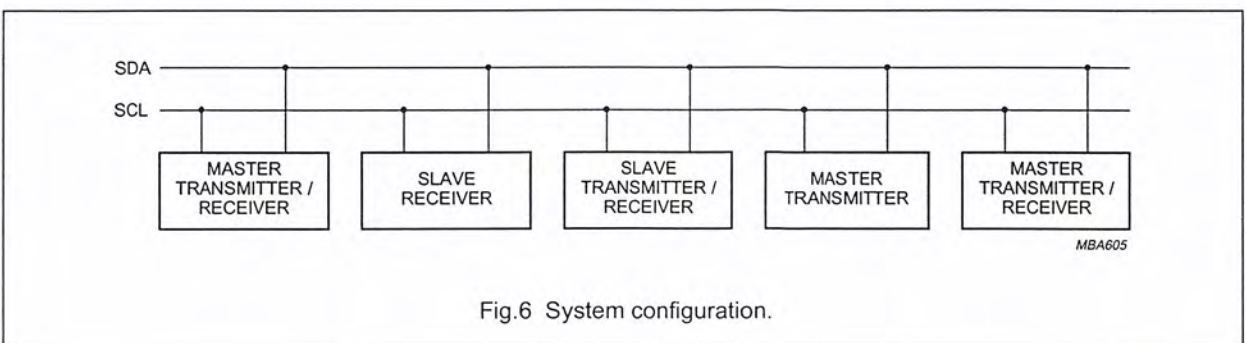
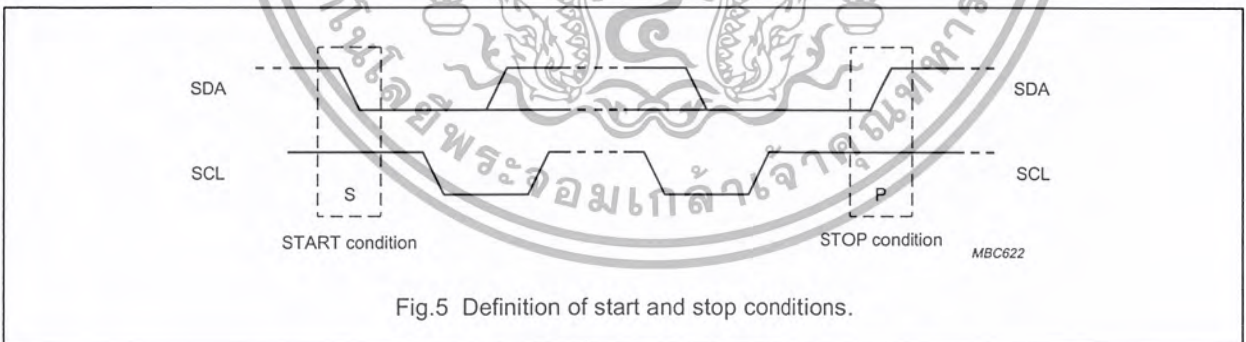
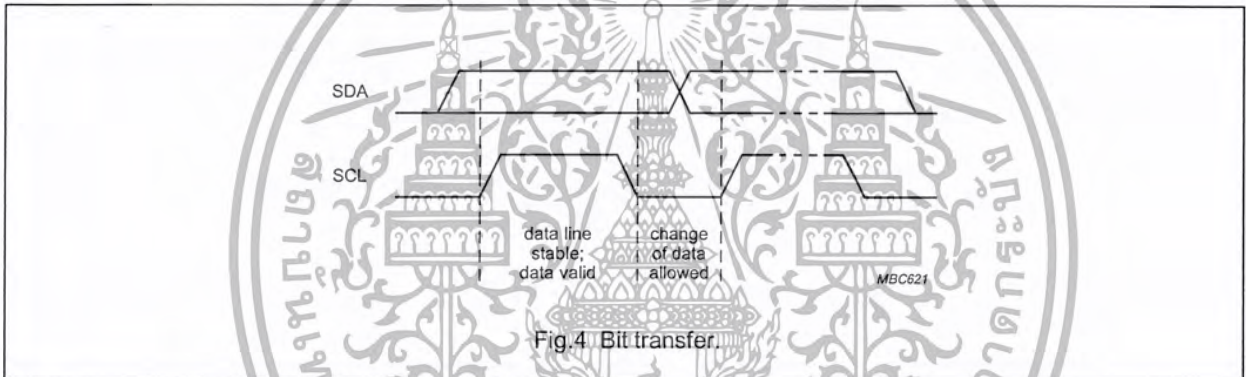
One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as control signals (see Fig.4).

6.2 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) (see Fig.5).

6.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves' (see Fig.6).



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

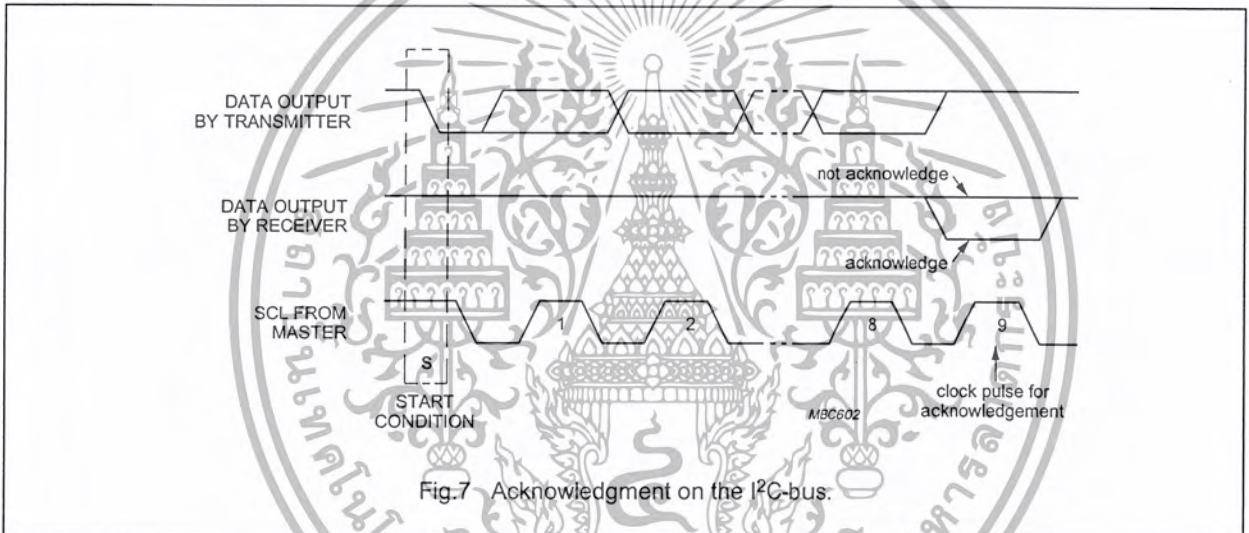
6.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and the stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each 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 generates an extra acknowledge related clock pulse.

A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave

transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse, set-up and hold times must be taken into account.

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.



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

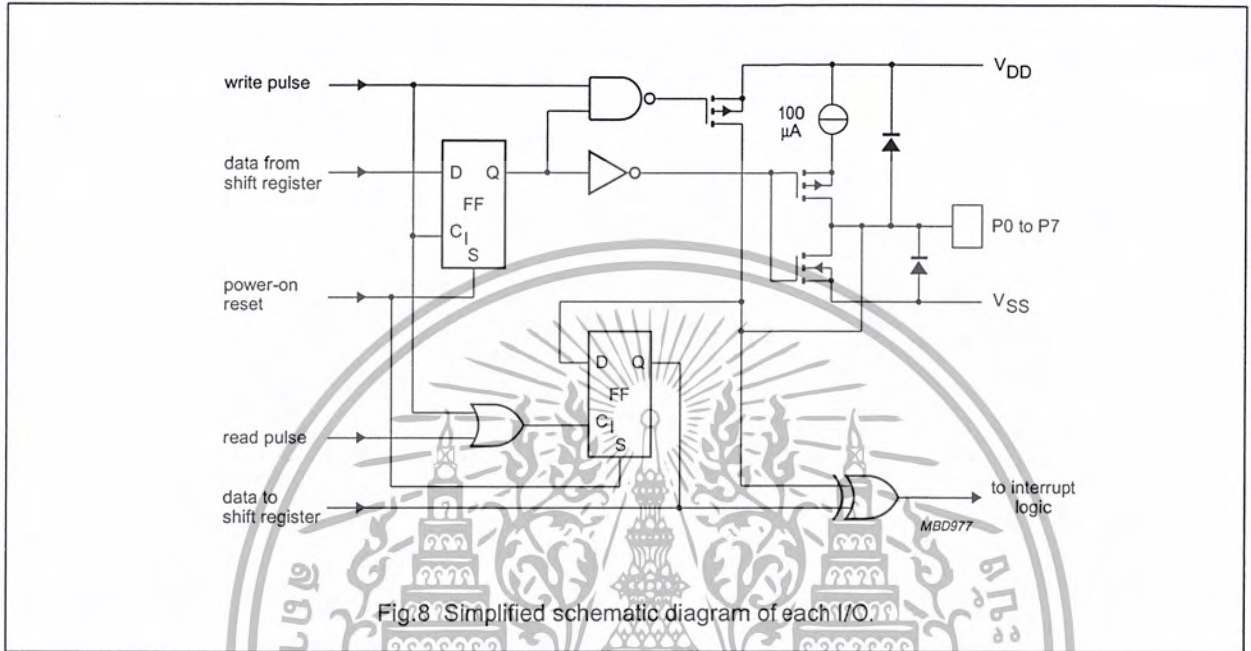
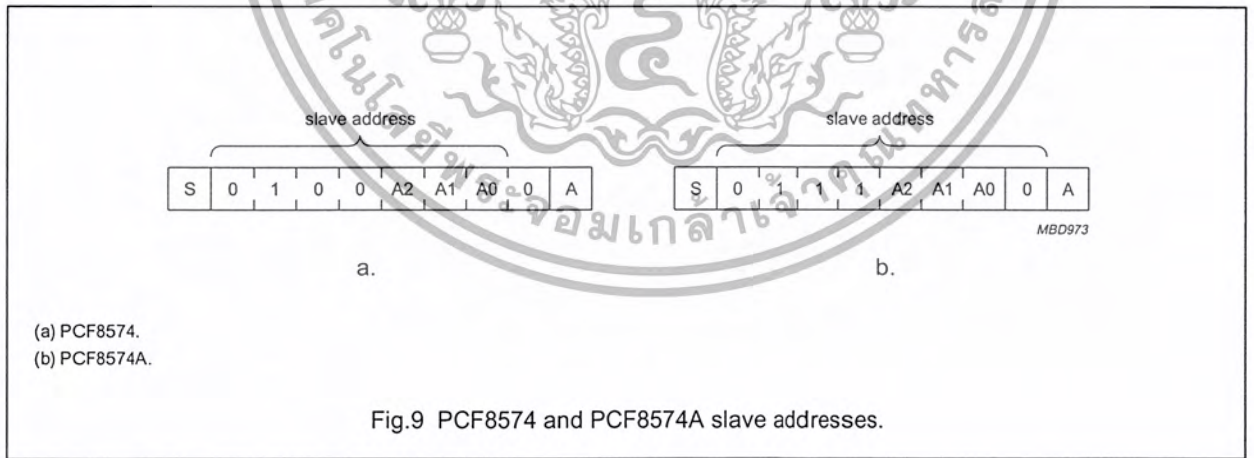


Fig.8 Simplified schematic diagram of each I/O.

7.1 Addressing

For addressing see Figs 9, 10 and 11.



(a) PCF8574.
(b) PCF8574A.

Fig.9 PCF8574 and PCF8574A slave addresses.

Each of the PCF8574's eight I/Os can be independently used as an input or output. Input data is transferred from the port to the microcontroller by the READ mode (see Fig.11). Output data is transmitted to the port by the WRITE mode (see Fig.10).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

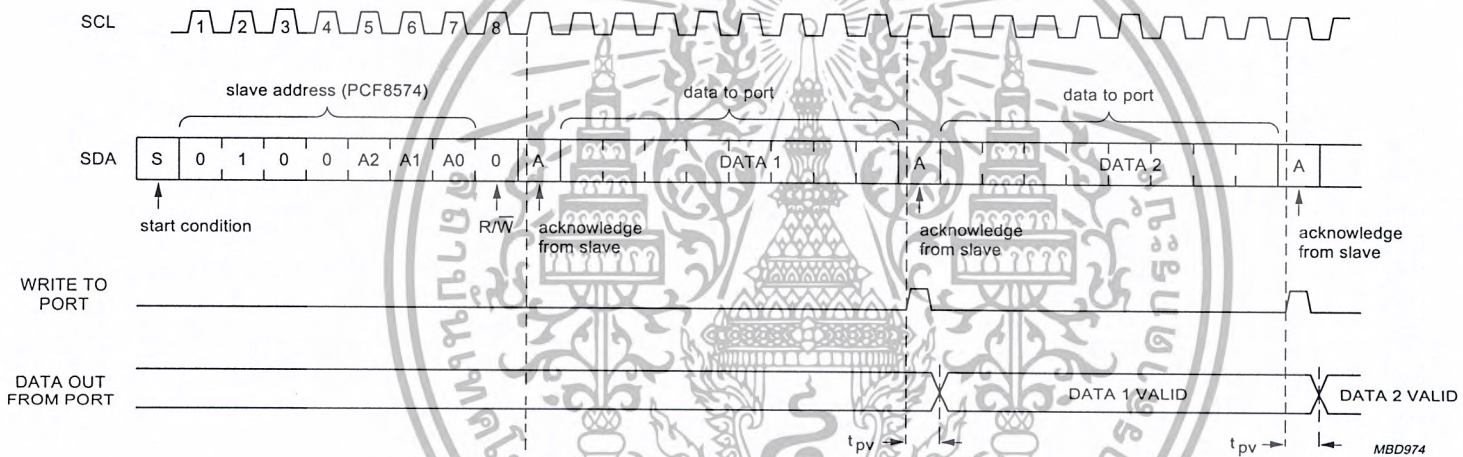
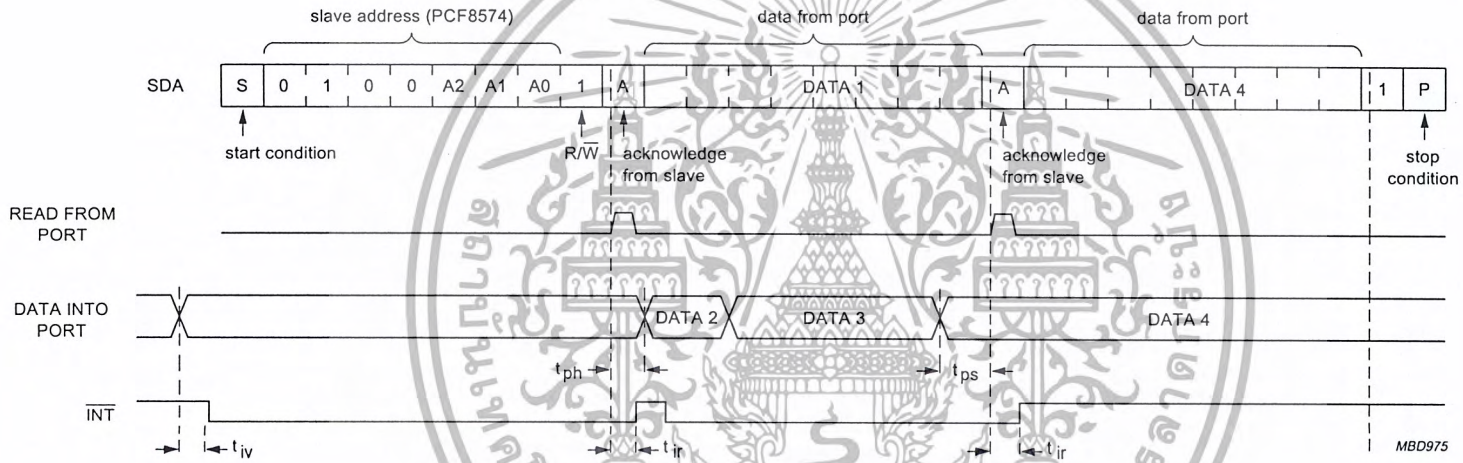


Fig.10 WRITE mode (output).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574



A LOW-to-HIGH transition of SDA, while SCL is HIGH is defined as the stop condition (P). Transfer of data can be stopped at any moment by a stop condition. When this occurs, data present at the last acknowledge phase is valid (output mode). Input data is lost.

Fig.11 READ mode (input).

MBD975

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

7.2 Interrupt (see Figs 12 and 13)

The PCF8574 provides an open drain output ($\overline{\text{INT}}$) which can be fed to a corresponding input of the microcontroller. This gives these chips a type of master function which can initiate an action elsewhere in the system.

An interrupt is generated by any rising or falling edge of the port inputs in the input mode. After time t_{iv} the signal $\overline{\text{INT}}$ is valid.

Resetting and reactivating the interrupt circuit is achieved when data on the port is changed to the original setting or data is read from or written to the port which has generated the interrupt.

Resetting occurs as follows:

- In the READ mode at the acknowledge bit after the rising edge of the SCL signal
- In the WRITE mode at the acknowledge bit after the HIGH-to-LOW transition of the SCL signal

- Interrupts which occur during the acknowledge clock pulse may be lost (or very short) due to the resetting of the interrupt during this pulse.

Each change of the I/Os after resetting will be detected and, after the next rising clock edge, will be transmitted as INT. Reading from or writing to another device does not affect the interrupt circuit.

7.3 Quasi-bidirectional I/Os (see Fig.14)

A quasi-bidirectional I/O can be used as an input or output without the use of a control signal for data direction.

At power-on the I/Os are HIGH. In this mode only a current source to V_{DD} is active. An additional strong pull-up to V_{DD} allows fast rising edges into heavily loaded outputs. These devices turn on when an output is written HIGH, and are switched off by the negative edge of SCL. The I/Os should be HIGH before being used as inputs.

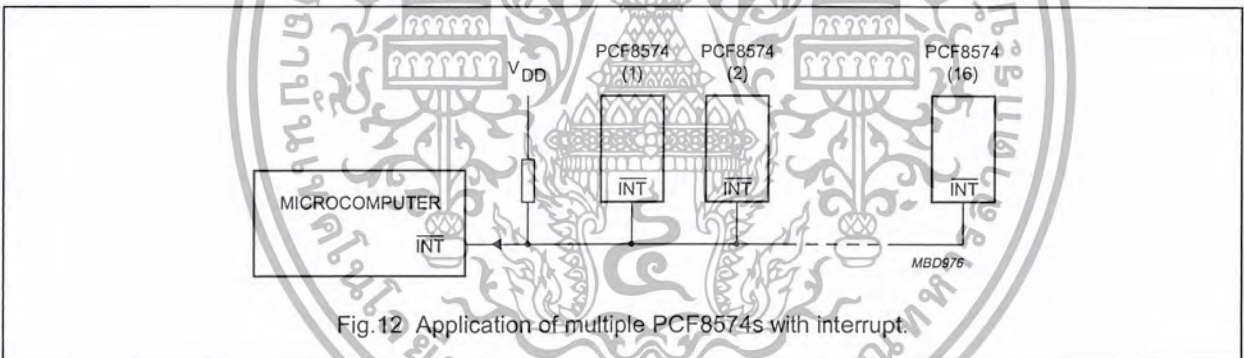


Fig.12 Application of multiple PCF8574s with interrupt.

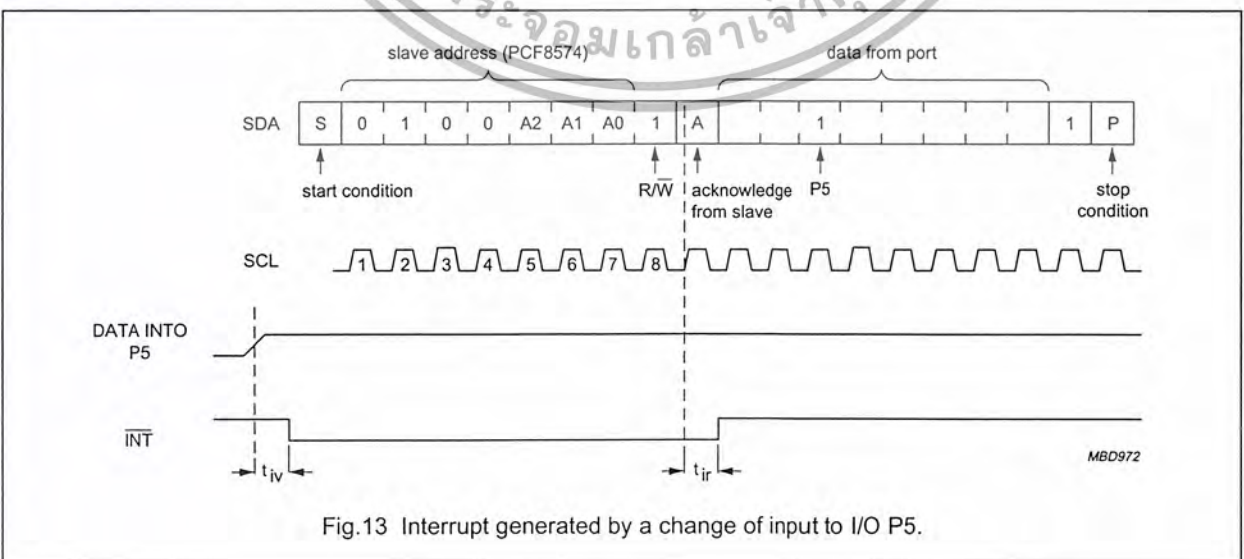


Fig.13 Interrupt generated by a change of input to I/O P5.

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

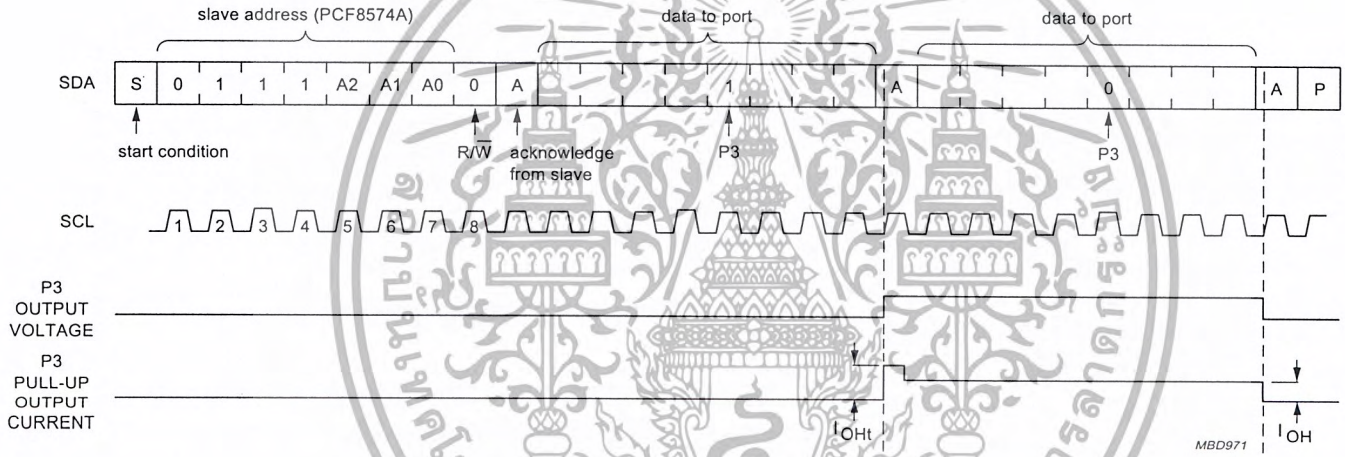


Fig.14 Transient pull-up current I_{OHt} while P3 changes from LOW-to-HIGH and back to LOW.

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

8 LIMITING VALUES

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

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V _{DD}	supply voltage	-0.5	+7.0	V
V _I	input voltage	V _{SS} - 0.5	V _{DD} + 0.5	V
I _I	DC input current	-	±20	mA
I _O	DC output current	-	±25	mA
I _{DD}	supply current	-	±100	mA
I _{SS}	supply current	-	±100	mA
P _{tot}	total power dissipation	-	400	mW
P _O	power dissipation per output	-	100	mW
T _{stg}	storage temperature	-65	+150	°C
T _{amb}	operating ambient temperature	-40	+85	°C

9 HANDLING

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

10 DC CHARACTERISTICS

V_{DD} = 2.5 to 6 V; V_{SS} = 0 V; T_{amb} = -40 to +85 °C; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V _{DD}	supply voltage		2.5	-	6.0	V
I _{DD}	supply current	operating mode; V _{DD} = 6 V; no load; V _I = V _{DD} or V _{SS} ; f _{SCL} = 100 kHz	-	40	100	µA
I _{stb}	standby current	standby mode; V _{DD} = 6 V; no load; V _I = V _{DD} or V _{SS}	-	2.5	10	µA
V _{POR}	Power-on reset voltage	V _{DD} = 6 V; no load; V _I = V _{DD} or V _{SS} ; note 1	-	1.3	2.4	V
Input SCL; input/output SDA						
V _{IL}	LOW level input voltage		-0.5	-	+0.3V _{DD}	V
V _{IH}	HIGH level input voltage		0.7V _{DD}	-	V _{DD} + 0.5	V
I _{OL}	LOW level output current	V _{OL} = 0.4 V	3	-	-	mA
I _L	leakage current	V _I = V _{DD} or V _{SS}	-1	-	+1	µA
C _i	input capacitance	V _I = V _{SS}	-	-	7	pF

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I/Os						
V _{IL}	LOW level input voltage		-0.5	-	+0.3V _{DD}	V
V _{IH}	HIGH level input voltage		0.7V _{DD}	-	V _{DD} + 0.5	V
I _{IHL(max)}	maximum allowed input current through protection diode	V _I ≥ V _{DD} or V _I ≤ V _{SS}	-	-	±400	μA
I _{OL}	LOW level output current	V _{OL} = 1 V; V _{DD} = 5 V	10	25	-	mA
I _{OH}	HIGH level output current	V _{OH} = V _{SS}	30	-	300	μA
I _{OHt}	transient pull-up current	HIGH during acknowledge (see Fig. 14); V _{OH} = V _{SS} ; V _{DD} = 2.5 V	-	-1	-	mA
C _i	input capacitance		-	-	10	pF
C _o	output capacitance		-	-	10	pF
Port timing; C_L ≤ 100 pF (see Figs 10 and 11)						
t _{pv}	output data valid		-	-	4	μs
t _{su}	input data set-up time		0	-	-	μs
t _h	input data hold time		4	-	-	μs
Interrupt $\overline{\text{INT}}$ (see Fig. 13)						
I _{OL}	LOW level output current	V _{OL} = 0.4 V	1.6	-	-	mA
I _L	leakage current	V _I = V _{DD} or V _{SS}	-1	-	+1	μA
TIMING; C_L ≤ 100 pF						
t _{iv}	input data valid time		-	-	4	μs
t _{ir}	reset delay time		-	-	4	μs
Select inputs A0 to A2						
V _{IL}	LOW level input voltage		-0.5	-	+0.3V _{DD}	V
V _{IH}	HIGH level input voltage		0.7V _{DD}	-	V _{DD} + 0.5	V
I _{LI}	input leakage current	pin at V _{DD} or V _{SS}	-250	-	+250	nA

Note

1. The Power-on reset circuit resets the I²C-bus logic with V_{DD} < V_{POR} and sets all I/Os to logic 1 (with current source to V_{DD}).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

11 I²C-BUS TIMING CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I ² C-BUS TIMING (see Fig. 15; note 1)					
f _{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t _{SW}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t _{BUF}	bus free time	4.7	–	–	µs
t _{SU;STA}	START condition set-up time	4.7	–	–	µs
t _{HD;STA}	START condition hold time	4.0	–	–	µs
t _{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	µs
t _{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	µs
t _r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	µs
t _f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	µs
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	µs
t _{SU;STO}	STOP condition set-up time	4.0	–	–	µs

Note

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

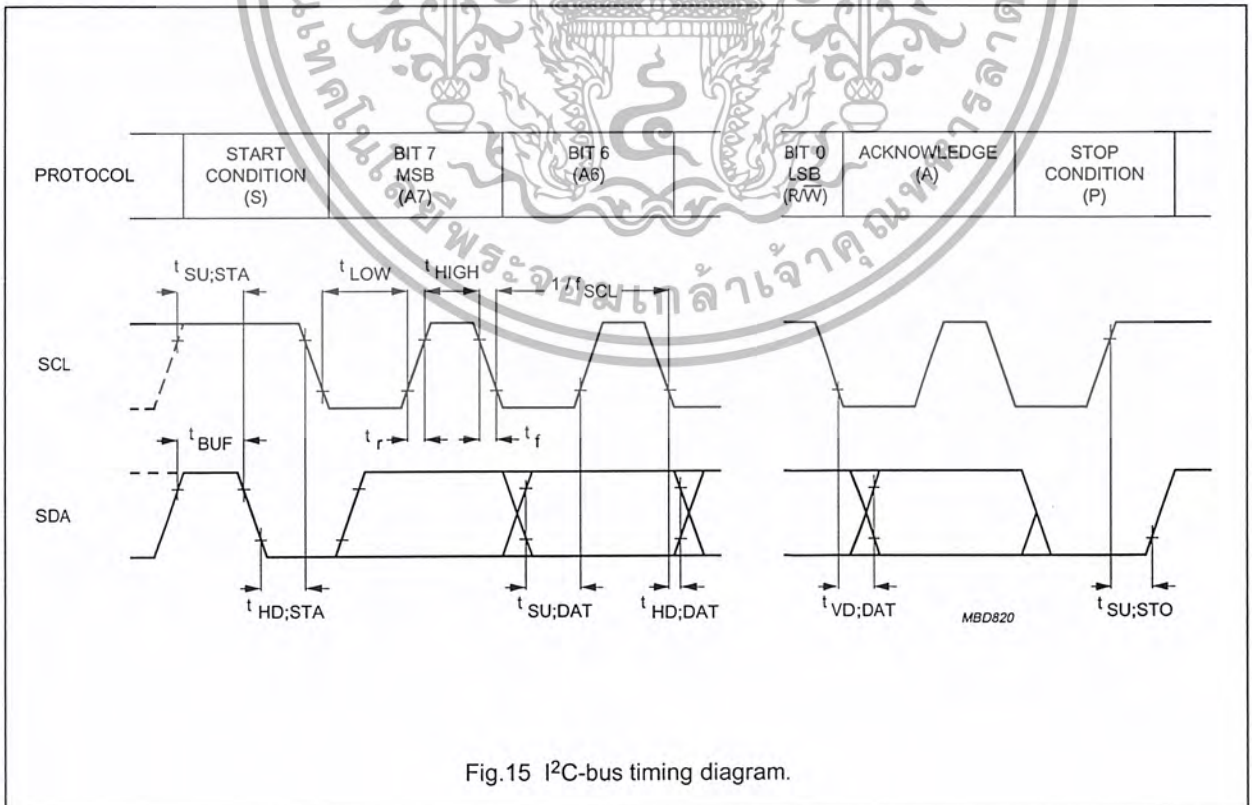


Fig.15 I²C-bus timing diagram.

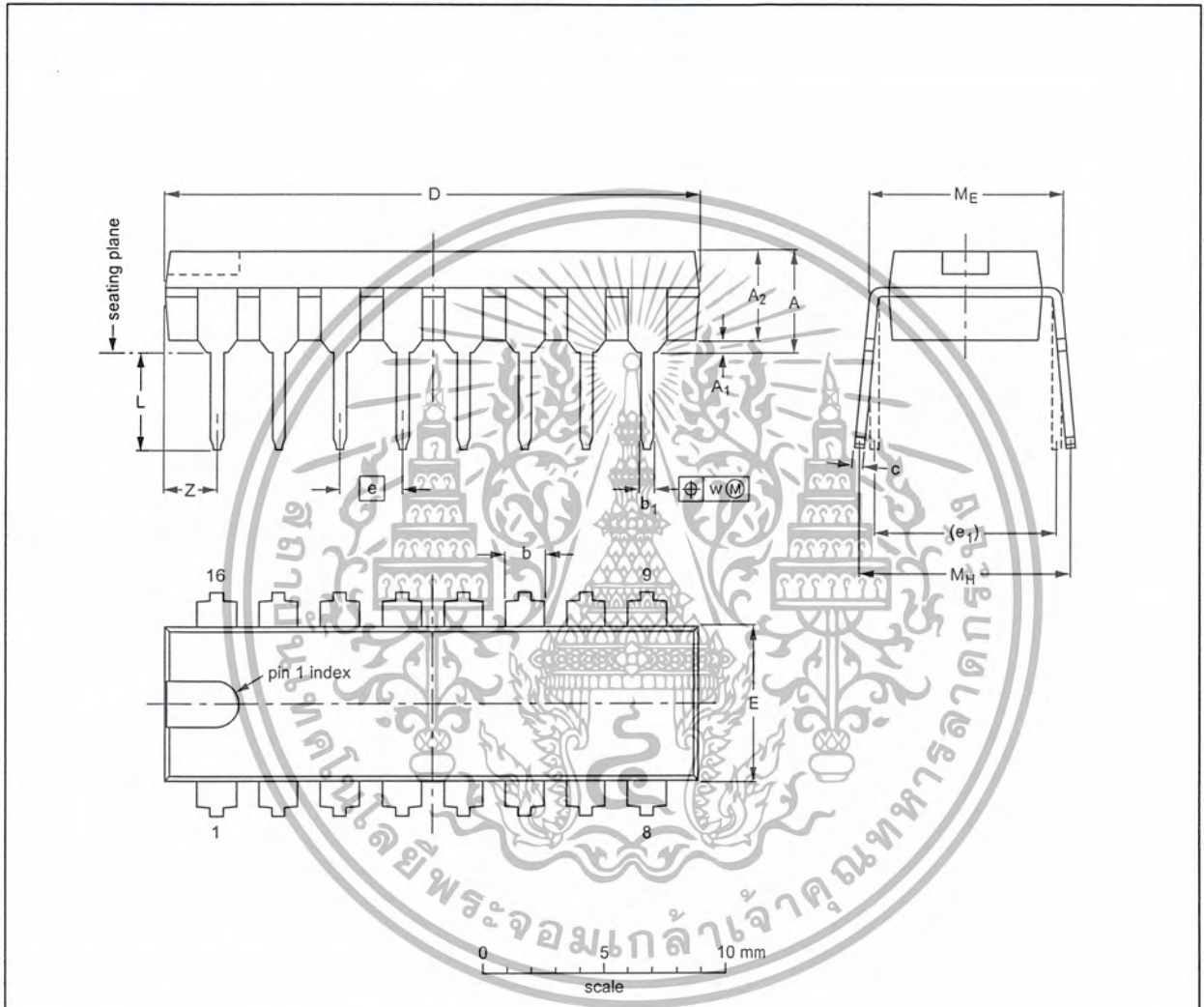
Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

12 PACKAGE OUTLINES

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

SOT38-1



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

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

Note

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

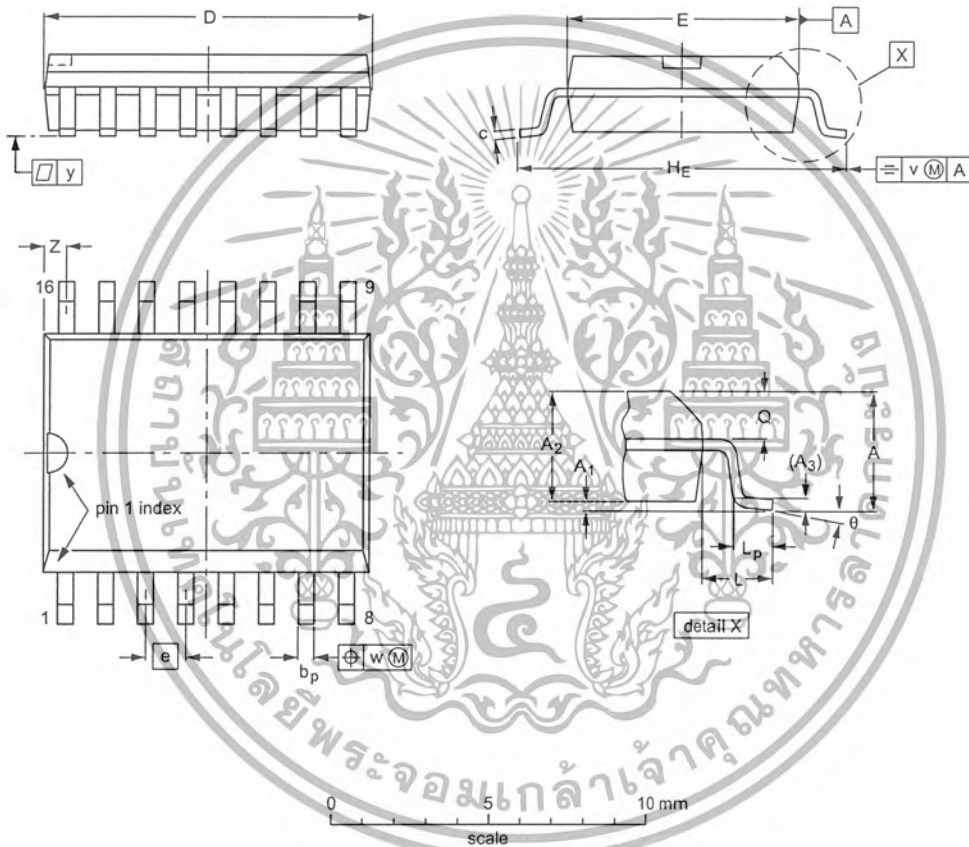
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT38-1	050G09	MO-001AE			92-10-02 95-01-19

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

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

SOT162-1



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

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

Note

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

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

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

SSOP20: plastic shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm

SOT266-1



DIMENSIONS (mm are the original 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	1.5	0.15 0	1.4 1.2	0.25	0.32 0.20	0.20 0.13	6.6 6.4	4.5 4.3	0.65	6.6 6.2	1.0	0.75 0.45	0.65 0.45	0.2	0.13	0.1	0.48 0.18	10° 0°

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.20 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT266-1						90-04-05 95-02-25

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

13 SOLDERING**13.1 Introduction**

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

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "IC Package Databook" (order code 9398 652 90011).

13.2 DIP**13.2.1 SOLDERING BY DIPPING OR BY WAVE**

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

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

13.2.2 REPAIRING SOLDERED JOINTS

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

13.3 SO and SSOP**13.3.1 REFLOW SOLDERING**

Reflow soldering techniques are suitable for all SO and SSOP packages.

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

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

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

13.3.2 WAVE SOLDERING

Wave soldering is **not** recommended for SSOP packages. This is because of the likelihood of solder bridging due to closely-spaced leads and the possibility of incomplete solder penetration in multi-lead devices.

If wave soldering cannot be avoided, the following conditions must be observed:

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

Even with these conditions, only consider wave soldering SSOP packages that have a body width of 4.4 mm, that is SSOP16 (SOT369-1) or SSOP20 (SOT266-1).

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

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

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

13.3.3 REPAIRING SOLDERED JOINTS

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

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

14 DEFINITIONS

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

15 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

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

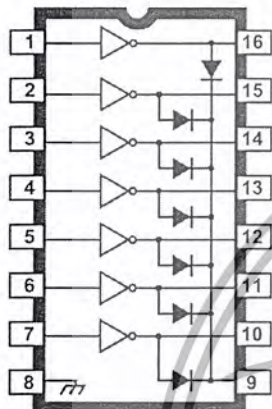
16 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

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.

2003 THRU 2024

Data Sheet
29304F

HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS



Dwg. No. A-9594

Note that the ULN20xxA series (dual in-line package) and ULN20xxL series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output Voltage, V_{CE}	
(ULN200xA and ULN200xL)	50 V
(ULN202xA and ULN202xL)	95 V
Input Voltage, V_{IN}	30 V
Continuous Output Current,	
I_C	500 mA
Continuous Input Current, I_{IN}	25 mA
Power Dissipation, P_D	
(one Darlington pair)	1.0 W
(total package)	See Graph
Operating Temperature Range,	
T_A	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
T_S	-55°C to +150°C

Ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads, the Series ULN20xxA/L high-voltage, high-current Darlington arrays feature continuous load current ratings to 500 mA for each of the seven drivers. At an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned ON simultaneously, typical power loads totaling over 230 W (350 mA x 7, 95 V) can be controlled. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULN2003A/L and ULN2023A/L have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULN2004A/L and ULN2024A/L have series input resistors for operation directly from 6 to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULN2003A/L and ULN2004A/L are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the OFF state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULN2023A/L and ULN2024A/L will withstand 95 V in the OFF state.

These Darlington arrays are furnished in 16-pin dual in-line plastic packages (suffix "A") and 16-lead surface-mountable SOICs (suffix "L"). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. All devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. Most (see matrix, next page) are also available for operation to -40°C; to order, change the prefix from "ULN" to "ULQ".

FEATURES

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS-Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Plastic Package or Small-Outline IC Package

x = digit to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS

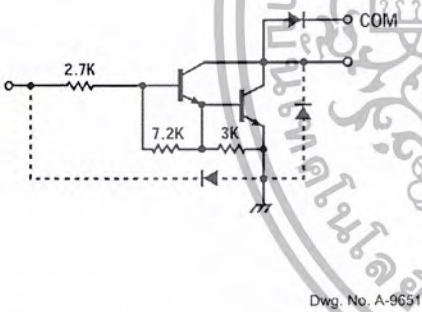
DEVICE PART NUMBER DESIGNATION

$V_{CE(MAX)}$	50 V	95 V
$I_{C(MAX)}$	500 mA	500 mA
Logic	Part Number	
5V TTL, CMOS	ULN2003A* ULN2003L*	ULN2023A* ULN2023L
6-15 V CMOS, PMOS	ULN2004A* ULN2004L*	ULN2024A ULN2024L

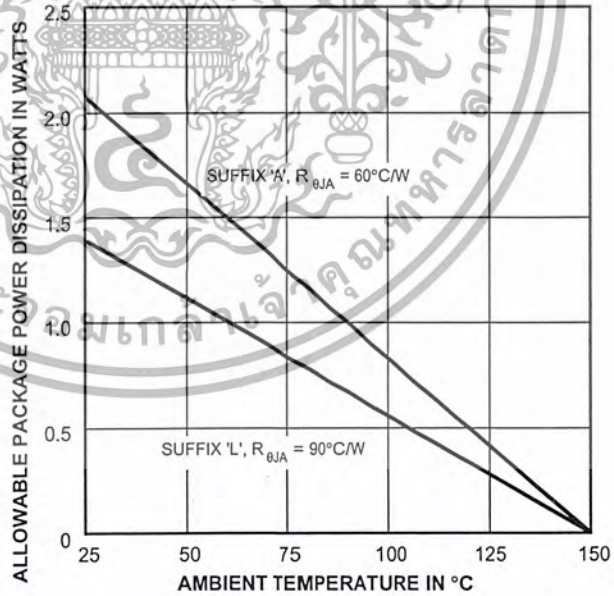
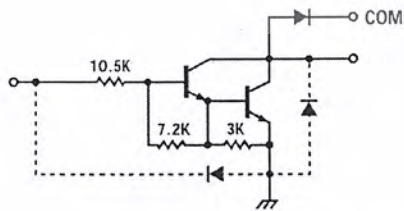
* Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from "ULN" to "ULQ".

PARTIAL SCHEMATICS

ULN20x3A/L (Each Driver)



ULN20x4A/L (Each Driver)



X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.

2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS

Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2004A, and ULN2004L
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	I_{CEX}	1A	All	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	μA
				$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	μA
		1B	ULN2004A/L	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2003A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2004A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
				$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	μA
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2003A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	2.4	—	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	2.7	—	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	3.0	—	V
		ULN2004A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	5.0	—	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	6.0	—	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	7.0	—	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	8.0	—	V	
Input Capacitance	C_{IN}	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	t_{PLH}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	μs
Turn-Off Delay	t_{PHL}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	μs
Clamp Diode Leakage Current	I_R	6	All	$V_R = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	μA
				$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	μA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS

Types ULN2023A, ULN2023L, ULN2024A, and ULN2024L
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits		
					Min.	Typ.	Max. Units
Output Leakage Current	I_{CEX}	1A	All	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50 μA
				$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100 μA
		1B	ULN2024A/L	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500 μA
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1 V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3 V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6 V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2023A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35 mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5 mA
				$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45 mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	— μA
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2023A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	3.0	V
		ULN2024A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	8.0	V	
Input Capacitance	C_{IN}	—	All		—	15	25 pF
Turn-On Delay	t_{PLH}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0 μs
Turn-Off Delay	t_{PHL}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0 μs
Clamp Diode Leakage Current	I_R	6	All	$V_R = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50 μA
				$V_R = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100 μA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0 V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.



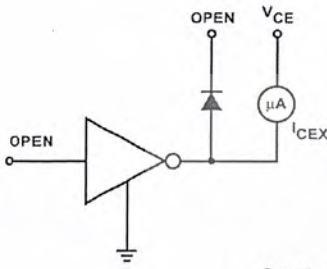
115 Northeast Cutoff, Box 15036,
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท Allegro MicroSystems, Inc. ใช้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024
 HIGH-VOLTAGE,
 HIGH-CURRENT
 DARLINGTON ARRAYS

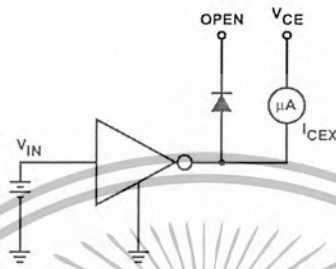
TEST FIGURES

FIGURE 1A



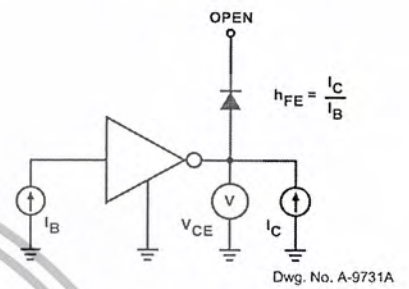
Dwg. No. A-9729A

FIGURE 1B



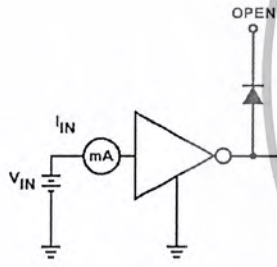
Dwg. No. A-9730A

FIGURE 2



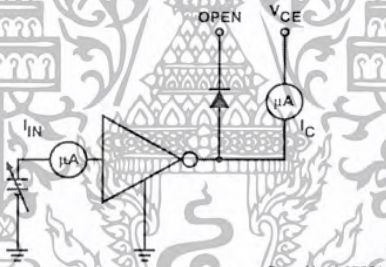
Dwg. No. A-9731A

FIGURE 3



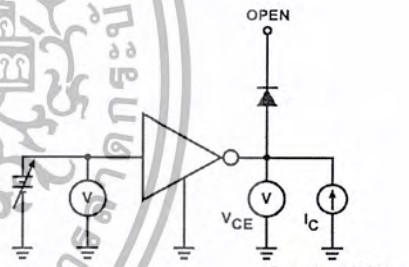
Dwg. No. A-9732A

FIGURE 4



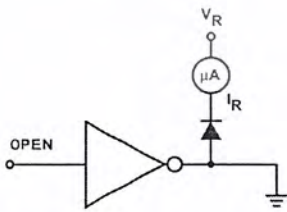
Dwg. No. A-9733A

FIGURE 5



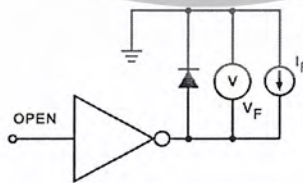
Dwg. No. A-9734A

FIGURE 6



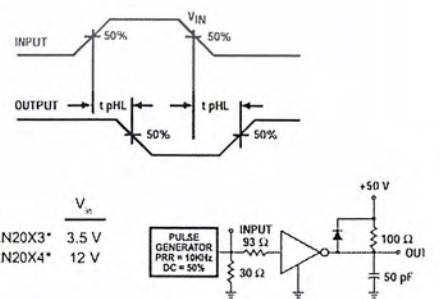
Dwg. No. A-9735A

FIGURE 7



Dwg. No. A-9736A

FIGURE 8



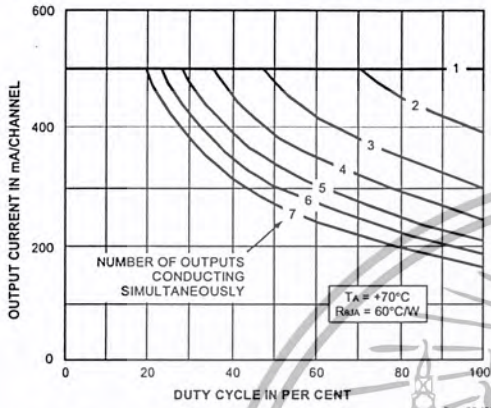
* Complete part number includes a final letter to indicate package.

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

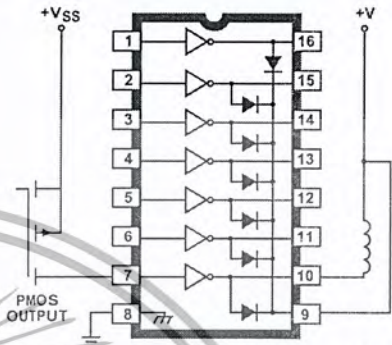
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS

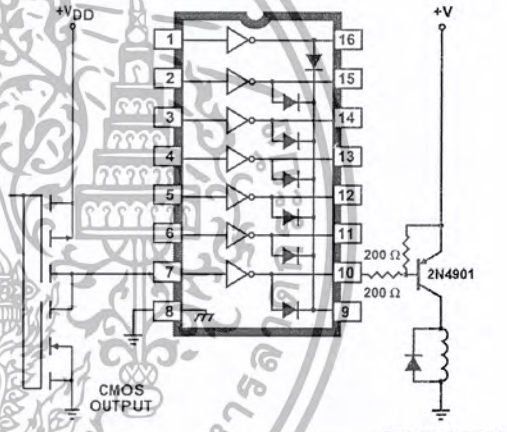
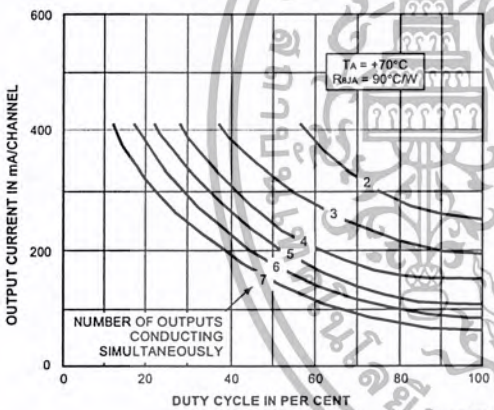
ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT
AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE
(Dual In-line-Packaged Devices, Suffix 'A,')



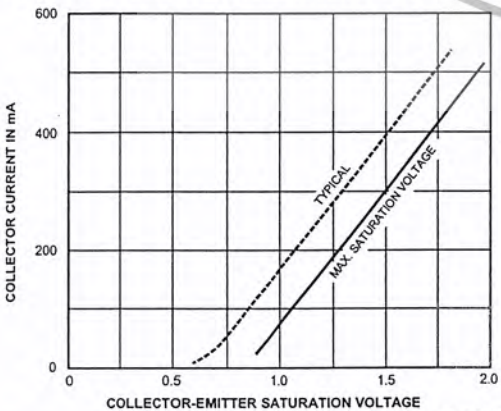
TYPICAL APPLICATIONS



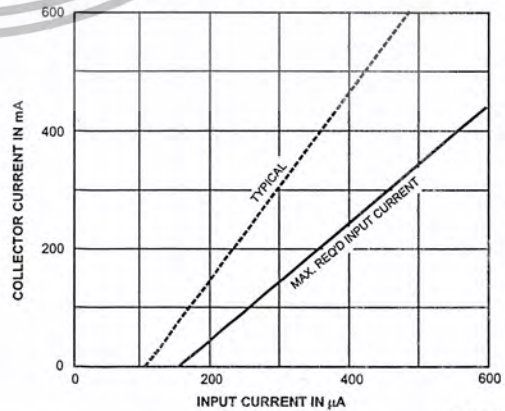
(Small-Outline-Packaged Devices, Suffix 'L,')



SATURATION VOLTAGE
AS A FUNCTION OF COLLECTOR CURRENT



COLLECTOR CURRENT AS A
FUNCTION OF INPUT CURRENT

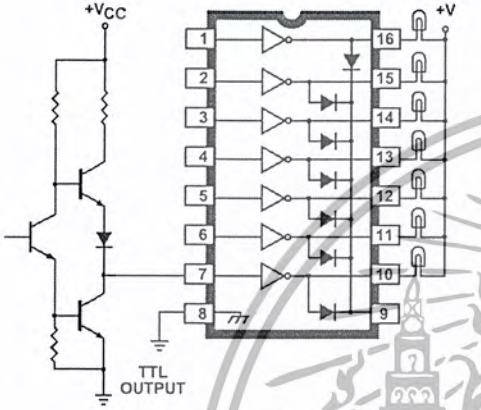


115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

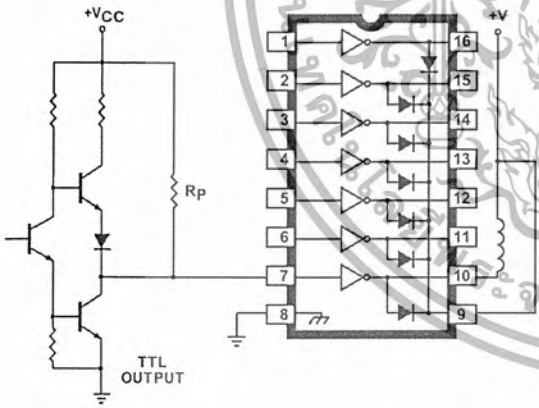
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

TYPICAL APPLICATIONS



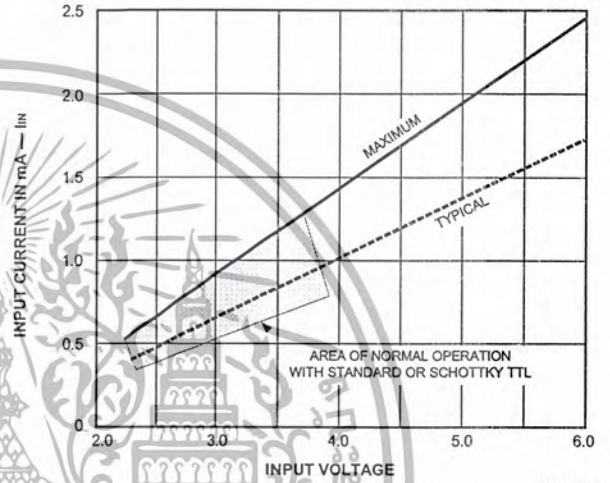
Dwg. No. A-9653A



Dwg. No. A-10,175

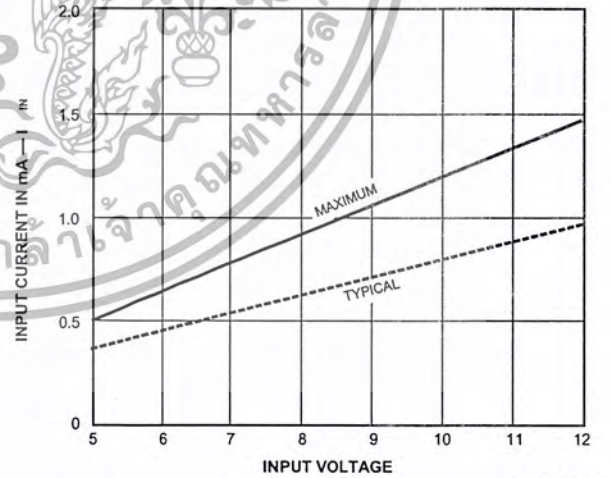
**INPUT CURRENT
AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE**

Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2023A, and ULN2023L



Dwg. GP-069

Types ULN2004A, ULN2004L, ULN2024A, and ULN2024L



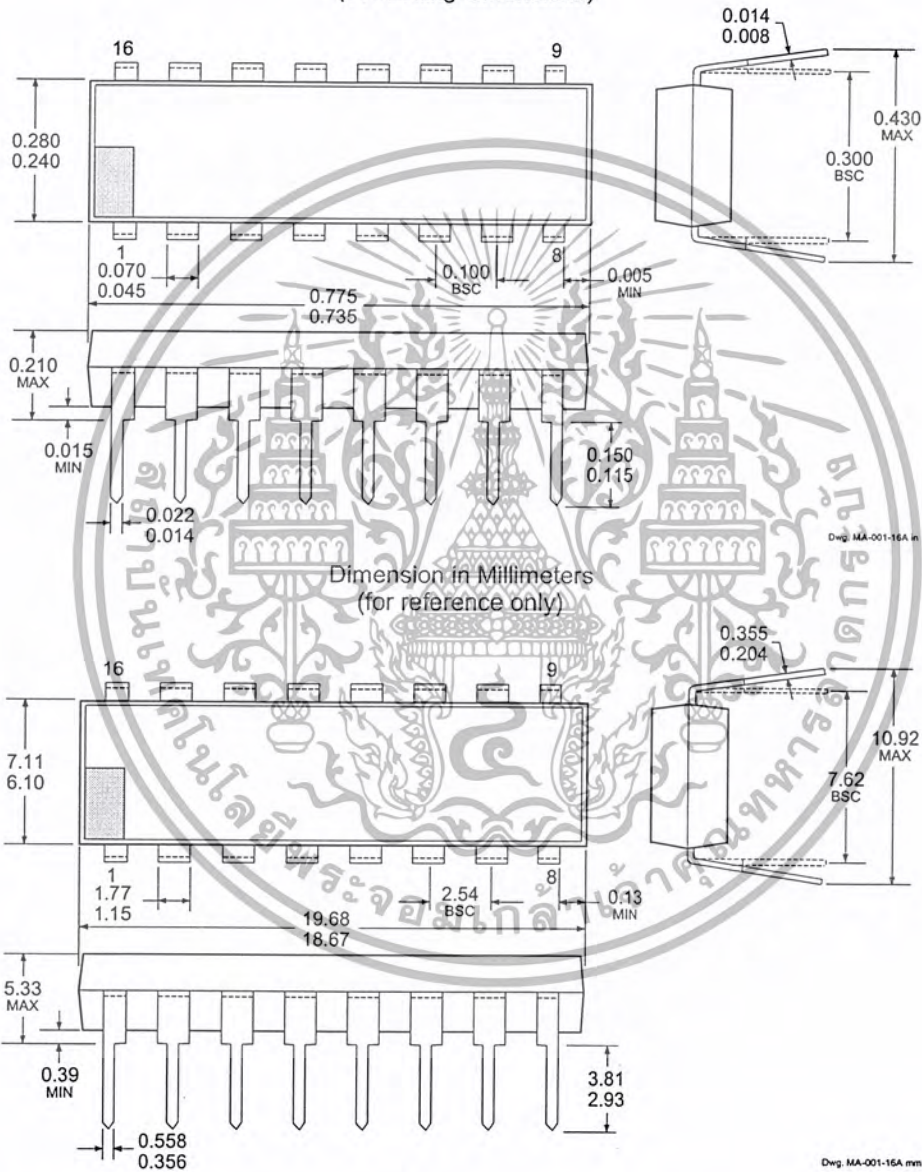
Dwg. GP-065-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

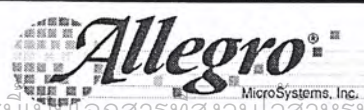
2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS

PACKAGE DESIGNATOR "A"

Dimensions in Inches
(controlling dimensions)



- NOTES: 1. Leads 1, 8, 9, and 16 may be half leads at vendor's option.
2. Lead thickness is measured at seating plane or below.
3. Lead spacing tolerance is non-cumulative.
4. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.



115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้