สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

WEATHER CONDITION MEASUREMENT SYSTEM

โดย

นางสาวจิตติมา วงศ์วิลัย

นายณัฐพงศ์ รัศมีขจรยั่งยืน

นายสิขรินทร์ ตั้งดำรงรัตน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72907
วัน,เดือน,ปี 25 มิ.ย. 2550

.b 11731191
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

WEATHER CONDITION MEASUREMENT SYSTEM

โดย

นางสาวจิตดิมา วงศ์วิลัย 47015044

นายณัฐพงศ์ รัศมีขจรยั่งยืน 47015047

นายสิขรินทร์ ตั้งดำรงรัตน์ 47015069

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาตเขียน

ผศ. สุรพล บุญจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจสภาพอากาศ

Weather Condition Measurement System

ผู้จัดทำ

1.นางสาวจิตติมา วงศ์วิลัย 47015003

2.นายณัฐพงศ์ รัศมีขจรยั่งยืน 47015007

3.นายสิขรินทร์ ตั้งดำรงค์รัตน์ 47015025

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปรโมทย์ วาดเขียน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.สุรพล บุญจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

WEATHER CONDITION MEASUREMENT SYSTEM

โดย นางสาวจิตติมา วงศ์วิลัย 47015044
นายณัฐพงศ์ รัศมีขจรยั่งยืน 47015047
นายสิขรินทร์ ตั้งดำรงรัตน์ 47015069

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน
ผศ.สุรพล บุญจันทร์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ เป็นการนำเสนอระบบการตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งจะมีการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางของลมซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้ที่วัดได้ จะถูกส่งไปแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และ บันทึกข้อมูลไว้เป็นระยะๆ เพื่อเป็นข้อมูลไว้เพื่อใช้ประโยชน์และวิเคราะห์ต่อไป

ABSTRACT

This project presents weather condition measurement system. This system measures temperature, moisture and wind speed and wind direction. The obtained information will be sent to be displayed on the computer monitor and periodically recorded for future analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน ได้แก่ รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน และ ผศ.สุรพล บุญจันทร์ ที่ให้คำปรึกษา และดูแลตลอดมา ขอขอบคุณ ดร.อิทธิภูมิ บุญพิตำ ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆด้าน และ รศ.ดร. ปัญญา ฐิติมัชฌิมา ที่ล่วงลับไปแล้ว ซึ่งให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มมาศึกษาที่สถาบันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 แนวคิดและขอบเขตของโครงงาน 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 2

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับลม 2

2.1.1 ความหมายของลม 2

2.1.2 ความเร็วลม 2

2.1.3 การวัดความเร็วลม 2

2.2 เครื่องวัดลมความเร็ว 3

2.2.1 เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดก 3

2.2.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย 4

2.2.3 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด 4

2.2.4 ศรลม 5

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 5

2.3.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์ 5

2.3.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 5

2.3.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 6

2.4 พอร์ตอนุกรม 9

2.4.1 การสื่อสารแบบอนุกรม 9

2.4.2 การสื่อสสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 10

2.5 ระบบการวัดค่า 11

2.5.1 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่พื้นฐาน 12

2.5.2 อุปกรณ์เสริม 12

2.6 คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ 12

2.7 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ 13

2.7.1 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ 13

2.8 อุปกรณ์กรองสัญญาณ 13

2.9 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้า 14

2.10 อุปกรณ์แสดงผล 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.11 มาตรฐานและการสอบเทียบ 14
2.12 หลักการปรับสภาพสัญญาณอนาล็อก 14
2.12.1 การเปลี่ยนระดับสัญญาณ 15
2.12.2 การทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น 15
2.12.3 การแปลงสัญญาณ 15
2.12.4 การกรองและการสมดุลของอิมพีแดนซ์ 15
2.13 วงจรประเภทพาสซีฟ 16
2.13.1 วงจรแบ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้า 16
2.14 การปรับสภาพสัญญาณและการส่งสัญญาณ 17
2.15 การขยายสัญญาณ 17
2.15.1 คุณสมบัติของออปแอมป์ 17
2.15.2 การขยายแบบกลับขั้ว 18
2.15.3 ผลที่ไม่ใช่ทางอุดมคติ 20
2.16 วงจรขยายความแตกต่างสัญญาณในงานเครื่องมือวัด 20
2.16.1 อัตราส่วนการส่งคืนโหมดร่วม 20
2.16.2 วงจรขยายความแตกต่างแบบพื้นฐาน 21
2.16.3 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดอุสหกรรม 22
2.16.4 ไอซีตระกูล 35 23
2.17 การวัดระยะทาง ที่ตั้ง และตำแหน่ง 23
2.17.1 โพเทนทิโอมิเตอร์ 24
2.17.2 ทรานสดิวเซอร์วัดความเร็ว 27

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง 32
3.1 โครงสร้างของระบบ 32
3.2 เครื่องมือวัดและทรานสดิวเซอร์ 32
3.2.1 ตัวตรวจวัดความเร็วลม 33
3.2.2 เครื่องวัดทิศทางลม 36
3.2.3 เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ 37
3.2.4 ตัวตรวจวัดความชื้น 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3 การส่งและรับข้อมูล 40

3.4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและมัลติเพล็กซ์ 41

3.5 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก 43

3.6 การแสดงผล 45

3.7 การบันทึกข้อมูล 48

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง 49

การทดลองที่ 1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเซ็นเซอร์วัดความเร็วลม ด้วยวงจรแปลงความเป็นแรงดันไฟฟ้า 49

การทดลองที่ 2 การใช้โพเทนทิโอมิเตอร์เป็นเซ็นเซอร์วัดทิศทางลม 52

การทดลองที่ 3 การหาคุณสมบัติของ LM35 54

การทดลองที่ 4 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ 56

การทดลองที่ 5 การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัววัดความชื้น HOS-103 58

การทดลองที่ 6 การเปลี่ยนค่าความชื้นเป็นสัญญาณไฟฟ้า 59

การทดลองที่ 7 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและมัลติเพล็กซ์ 60

การทดลองที่ 8 การดีมัลติเพล็กซ์และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก 64

การทดลองที่ 9 การแสดงผลและการเก็บบันทึกข้อมูล 66

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ 68

กิตติกรรมประกาศ

ภาคผนวก

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดก 3
รูปที่ 2.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย 4
รูปที่ 2.3 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด 4
รูปที่ 2.4 รูปศรลม 5
รูปที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม 8051 6
รูปที่ 2.6 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม 8051 7
รูปที่ 2.7 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส 10
รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 10
รูปที่ 2.9 วงจรแบ่งแรงเคลื่อนแบบง่าย ที่ใช้การเปลี่ยนค่าความต้านทานอยู่ในรูปของแรงเคลื่อน 16
รูปที่ 2.10 แสดงสัญลักษณ์และคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ 18
รูปที่ 2.11 แสดงการขยายแบบขั้วโดยใช้ออปแอมป์ 19
รูปที่ 2.12 พื้นฐานในการขยายความแตกต่างโดยใช้ออปแอมป์ 21
รูปที่ 2.13 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัด ที่สามารถเปลี่ยนอัตราขยายได้ 22
โดยการเปลี่ยนตัวต้านทานเพียงหนึ่งตัว
รูปที่ 2.14 แสดงทรานสดิวเซอร์พื้นฐานในการตรวจจับระยะโดยใช้โพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น 24
รูปที่ 2.15 แสดงการปรับสภาพสัญญาณโพเทนทิโอมิเตอร์ 26
รูปที่ 2.16 แสดงโพเทนทิโอมิเตอร์เมื่อถูกโหลด 27
รูปที่ 2.17 แสดงทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเส้นเชิงแบบแม่เหล็กไฟฟ้า 28
รูปที่ 2.18 แสดงทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบรวมชุด 30
รูปที่ 2.19 แสดงการตรวจจับโดยการสะท้อนเชิงมุมของความเร็วเชิงมุม 31
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ 32
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของทรานส์ดิวเซอร์ 33
รูปที่ 3.3 วงจรตรวจวัดความเร็วลม 33
รูปที่ 3.4 วงจรปรับสภาพสัญญาณ 34
รูปที่ 3.5 โพเทนทิโอมิเตอร์ 36
รูปที่ 3.6 วงจรเบื้องต้นสำหรับ LM35 วัดอุณหภูมิในช่วง 2 ถึง 150 องศาเซลเซียส 37
รูปที่ 3.7 วงจรปรับสภาพสัญญาณที่ใช้สำหรับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ 39
รูปที่ 3.8 การต่อ HOS-103 ใช้งาน 40
รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อแบบมัลติโปรเซสเซอร์ 40
รูปที่ 3.10 รูปแบบการส่งข้อมูลแบบมัลติโปรเซสเซอร์ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อ ADC0809 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 41
รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมการควบคุมการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล 42
รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อ DAC0808 กับไมโครคอนโทรลเลอร์และการต่อใช้งาน 43
รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ฝั่งรับ 44
รูปที่ 3.15 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการแสดงผล 45
รูปที่ 3.16 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลของการวัดความเร็วลม 46
รูปที่ 3.17 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลของการวัดอุณหภูมิ 46
รูปที่ 3.18 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลของการวัดทิศทางลม 47
รูปที่ 3.19 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลการวัดความชื้น 47
รูปที่ 3.20 โปรแกรมสำหรับการบันทึกข้อมูล 48
รูปที่ 3.21 หน้าจอแสดงผลของระบบ 48
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่อินพุต 50
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความเร็ว 51
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง t_{on} ของสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต 52
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับทิศทาง(มุม) 54
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 55
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตกับเอาต์พุต 57
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 57
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต้านทาน 59
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความชื้น 60
รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 61
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ขาเอาต์พุตของ RS-485 61
รูปที่ 4.12 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 0 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx 62
รูปที่4.13 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 1 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx 62
รูปที่4.14 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 2 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx 63
รูปที่4.15 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 3 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx 63
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 0 64
รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 1 65
รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 2 65
รูปที่ 4.19 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 3 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 หน้าจอเมื่อโปรแกรมทำงาน 67
รูปที่ 4.21 ตารางบันทึกค่าที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆที่ใช้ในการวัดความเร็วลม 3

ตารางที่ 2.2 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล 11

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 (ก) 50

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 (ข) 51

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2 53

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3 55

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4 56

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5 58

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วโดยไม่หยุดยั้ง แต่ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศโดยตรง จะเห็นได้ว่าตั้งแต่อดีตกาลมนุษย์เราได้เก็บบันทึกข้อมูลต่างๆไว้รวมถึงข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศมาศึกษา และดูการเปลี่ยนแปลงต่างๆว่าการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลกระทบต่อเราอย่างไร เพื่อวางแนวทางการแก้ไขและวางแผนที่จะรองรับสถานการณ์ร้ายๆที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนั้นเราจึงเห็นความสำคัญของการตรวจวัดสภาพอากาศ เพื่อพยากรณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตว่าสภาพภูมิอากาศ และสภาวะของธรรมชาติจะส่งผลกระทบอย่างไรต่อมนุษย์และสัตว์โลก เพื่อที่จะได้เตรียมการรับมือและแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ทันท่วงที

ระบบตรวจวัดสภาพภูมิอากาศนี้ มีการตรวจวัดทั้งสิ้น 4 อย่าง คืออุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางลม เป็นระบบนี้ใช้สำหรับติดตั้งเป็นจุดๆ เพื่อตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของแต่ละตำแหน่งนั้นๆที่เราต้องการทราบโดยมีชุดรับส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณ แล้วส่งข้อมูลไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ โดยจะแสดงผลเป็นเวลาจริงและเก็บข้อมูลที่วัดค่าได้นี้ด้วย ทำให้ทราบถึงปริมาณต่างๆอย่างทันทีทันใด และมีการเก็บบันทึกข้อมูลไว้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆต่อไป เช่น การพยากรณ์อากาศ การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลม หรือในสนามกีฬา เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

2.เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางลม

1.3 แนวคิดและขอบเขตของโครงงาน

ระบบตรวจสภาพภูมิอากาศนี้ประกอบด้วย ส่วนเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมและทิศทางลม โดยจะส่งค่าที่ได้ไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to digital Converter) แล้วทำการมัลติเพล็กซ์ (Multiplexer) โดยจะควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ (Microcontroller) และส่งข้อมูลผ่านทาง RS-485 มายังชุดรับข้อมูลแล้วส่งไปยังอุปกรณ์ดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplexer) และแปลงสัญญาณดิจิตอลที่ได้กลับเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter) แล้วส่งไปแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรมแกรม LabVIEW โดยผ่านทางอุปกรณ์ที่เรียกว่า DAQ (Data Acquisition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับลม

2.1.1 ความหมายของลม

ลม (Wind) หมายถึง อากาศที่เคลื่อนไหวตามแนวนอน (Horizontal Component) ซึ่งเกิดจากการเสียความสมดุลของอากาศ คืออากาศที่ได้รับพลังงานเข้าไปในระบบไม่เท่ากัน เป็นผลให้อากาศร้อนขึ้นและขยายตัวไม่เท่ากัน อากาศบริเวณที่ร้อนกว่าจะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ทำให้บริเวณนั้นมีอากาศบางและมีความกดอากาศต่ำ อากาศบริเวณข้างเคียงซึ่งได้รับพลังงานน้อยกว่า เย็นกว่า และมีความหนาแน่นมากกว่า ก็จะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลมพัด ซึ่งการตรวจวัดสามารถตรวจวัดได้ 2 แบบ คือ ความเร็วลม และทิศทางลม

2.1.2 ความเร็วลม

ความเร็วลม คือการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดนี้เป็นสัดส่วนกับค่ากำลังสองของความเร็ว ซึ่งอธิบายในรูปของสมการได้ดังนี้

$P = kv^2$ เมื่อ P = ความกดที่เกิดจากการกระทำของลม

v = ความเร็วลม

k = ค่าคงที่ของหน่วยที่ใช้

2.1.3 การวัดความเร็วลม

เนื่องจากการรายงานความเร็วลมเพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นรายงานเป็นน็อต ดังนั้นเครื่องวัดความเร็วลมควรแบ่งสเกลเป็นน็อตด้วย แต่สำหรับการพยากรณ์อากาศนั้นต้องการค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 วินาทีก่อนการตรวจ หรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 น็อต หน่วยที่ใช้ในการวัดความเร็วลมนั้นมีดังนี้

- น็อต หรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง
- เมตรต่อวินาที
- กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ไมล์ต่อชั่วโมง
- ฟุตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 *ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆที่ใช้ในการวัดความเร็วลม*

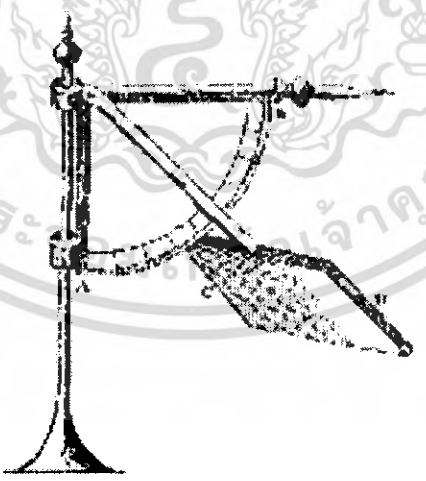
น็อต (kt)	เมตรต่อวินาที (m/s)	ไมล์ต่อชั่วโมง (m.p.h)	กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/s)	ฟุตต่อวินาที (ft/s)
1.000	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1.000	2.237	3.600	3.281
0.868	0.447	1.000	1.609	1.467
0.540	0.278	0.622	1.000	0.911
0.592	0.305	0.682	1.097	1.000

2.2 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลมจะต้องรายงานค่าที่ตรวจวัดได้ในระยะไกล คือจะต้องเดินสายจากเครื่องวัดมาแสดงผลยังที่จอมอนิเตอร์ ณ ห้องทำการที่อยู่ห่างออกไป และเครื่องมือวัดจะต้องวัดลมกระโชกได้ด้วย ดังนั้นเครื่องวัดจะต้องมีความไวสูง ซึ่งเครื่องวัดความเร็วที่ใช้โดยส่วนใหญ่มีดังนี้

2.2.1 เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดก

เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดกเป็นแบบที่ง่ายที่สุด แต่มีความถูกต้องแม่นยำพอประมาณ ทำจากไม้ หรือโลหะ ทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมติดอยู่บนยอดเสา สามารถหมุนไปได้ตามทิศทางลม เมื่อมีลมมาปะทะแผ่นสี่เหลี่ยมก็จะกระดกขึ้นตามความแรงของลมที่มาปะทะ โดยจะสเกลและเข็มชี้ค่าบนสเกล ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 *เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดก*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

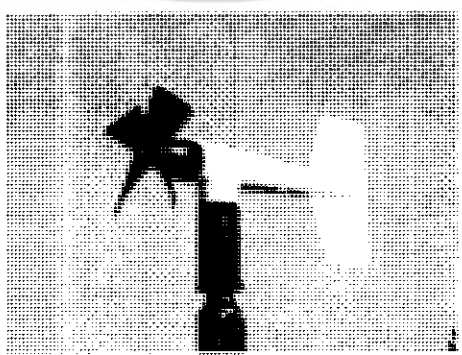
2.2.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย (Anemometer)

เครื่องวัดแบบนี้ใช้การหมุนของลูกถ้วย ซึ่งเป็นลูกถ้วยครึ่งทรงกลม หรือครึ่งทรงกลวย เป็นแบบลูกถ้วย 3 ใบและ 4 ใบ โดยอาศัยลมที่มาปะทะลูกถ้วยทำให้แกนของลูกถ้วยหมุน และส่งสัญญาณจำนวนรอบมาให้เครื่องคำนวณเป็นค่าความเร็วลมอีกทีหนึ่ง

รูปที่ 2.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย

2.2.3 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด (Aero vane)

เครื่องวัดแบบนี้จะมีเครื่องวัดความเร็วลม และทิศทางลมในตัวเดียวกัน มีรูปร่างลักษณะคล้ายเครื่องบิน ที่ส่วนหัวจะมีใบพัดสำหรับวัดความเร็วลม สำหรับส่วนที่เป็นลำคล้ายเครื่องบินจะทำหน้าที่เป็นศรลมใช้สำหรับวัดทิศทางลม โดยมีหลักการทำงาน คือเมื่อมีลมมาปะทะกับเครื่องวัด ส่วนที่เป็นใบพัดก็จะหมุนแล้วส่งสัญญาณออกมาและแสดงผลเป็นค่าความเร็วลม และในขณะเดียวกันตัวเครื่องวัดก็จะหันไปตามทิศทางลมดังกล่าวและส่งสัญญาณออกมาเพื่อแสดงผลเป็นทิศทางต่างๆ

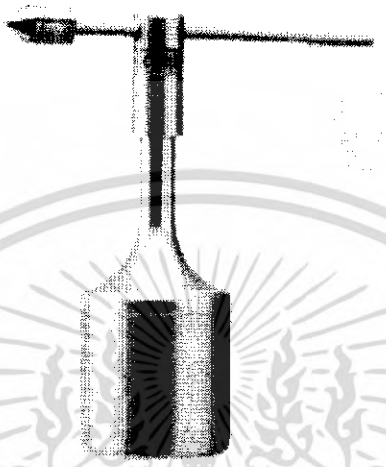


รูปที่ 2.3 เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ศรลม (Wind Vane)

ศรลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบทิศทางลม โดยจะมีลักษณะเป็นลูกศรที่หางมีแผ่นรับลม เมื่อลมพัดมาปะทะหางลูกศรก็จะเกิดแรงผลัก ทำให้หัวลูกศรชี้ไปในทิศทางที่ลมพัดมา



รูปที่ 2.4 รูปศรลม

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ ลอจิก(Arithmetic Logic Unit) และวงจรรับสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ซึ่งจะทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็คทรอนิคส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี และช่วยลดจำนวนอุปกรณ์หรือขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกัน คือ"ไมโคร" (Micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลที่มีขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก ซึ่งวงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำและวงจรสัญญาณนาฬิกาอีกคำหนึ่ง นั่นคือ "คอนโทรลเลอร์" (Controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

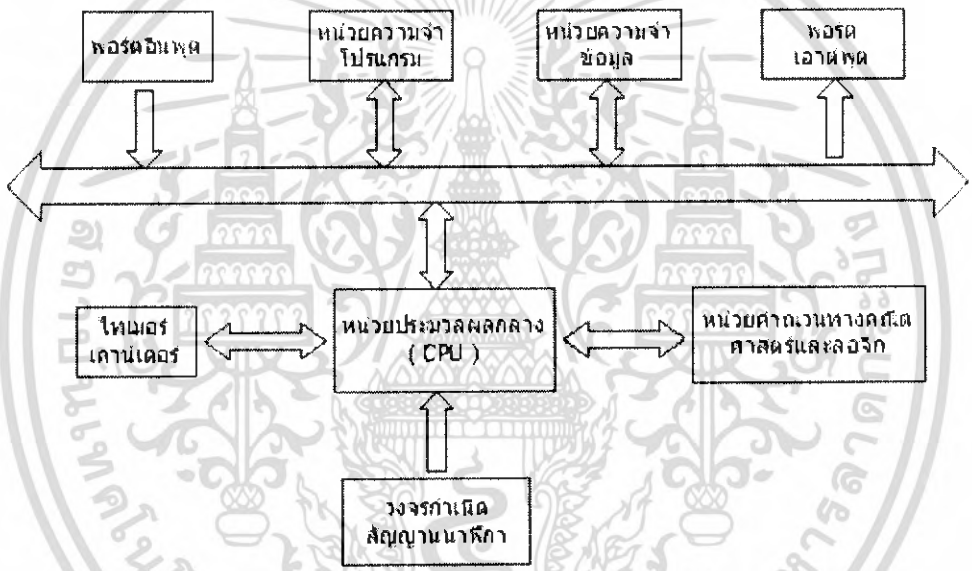
2.3.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบรวมในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีพรอมเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/เคาท์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิฟ

ในรูปที่ 2.5 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม 8051 จะเห็นว่า โครงสร้างของ 8051 จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ต่างกันที่หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในกลุ่มของ 80XX หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบอีพรอมและบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว

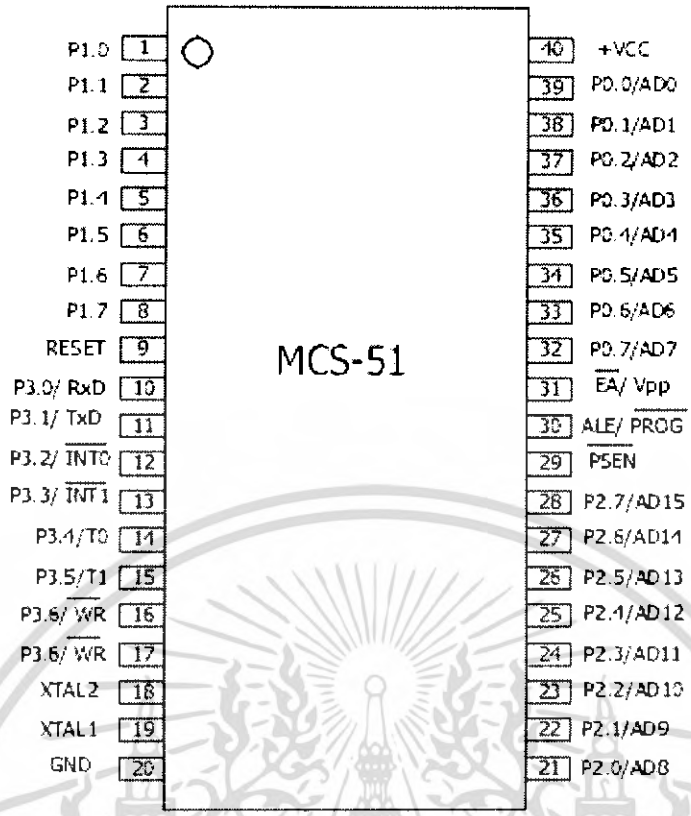


รูปที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม 8051

2.3.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม 8051

- ขา V_{cc} ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์

- ขา GND เป็นขากราวน์สำหรับต่อกับกราวน์ของระบบ

- ขาพอร์ต 0 (P0.0 ถึง P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้อินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้พอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับแอดเดรสไบต์ต่ำความจำภายนอก (A0 ถึง A7) และขาข้อมูล (D0 ถึง D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งสองขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

- ขาพอร์ต 1 (P1.0 ถึง P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วยนอกจากนั้นในอนุกรม 8051 จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.0 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

- ขาพอร์ต 2 (P2.0 ถึง P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้พอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย จึงมีอิมพีแดนซ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังใช้งานในการติดต่อกับแอดเดรสไบท์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8 ถึง A15)

- ขาพอร์ต 3 (P3.0 ถึง P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้พอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย จึงมีอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่ทำหน้าที่การใช้งานพิเศษดังรายการต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RXD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TXD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{INT0}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{INT1}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{WR}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{RD}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขานี้ต้องการอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

- ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program Pulse Input) เป็นขาที่ใช้การควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของโปรแกรม สำหรับโปรแกรมข้อมูลลงไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม

- ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้ส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง ในแต่ละแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

- ขา EA/V_{pp} (External Access Enable/Programming Voltage Input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำภายนอก หรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" จะเป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น "1" จะเป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และที่ขานี้ยังเป็นอินพุตสำหรับรับไฟแรงดันสูง สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับโปรแกรม +12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอล เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4 พอร์ตอนุกรม

การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอก หรือจากคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มี 2 แบบ คือรับและส่งข้อมูลแบบขนานและแบบอนุกรม การรับและส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิต ในเวลาเดียวกันทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง แต่ว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดด้วย นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับการควบคุมและตรวจสอบการรับและส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ จึงทำให้มีราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานนั้นมีราคาแพง อีกทั้งยังมีข้อจำกัดของการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานนั้น คือระยะทางถ่ายทอดข้อมูล โดยปกติแล้วจะอยู่ที่ประมาณ 10-15 ฟุต โดยประมาณ

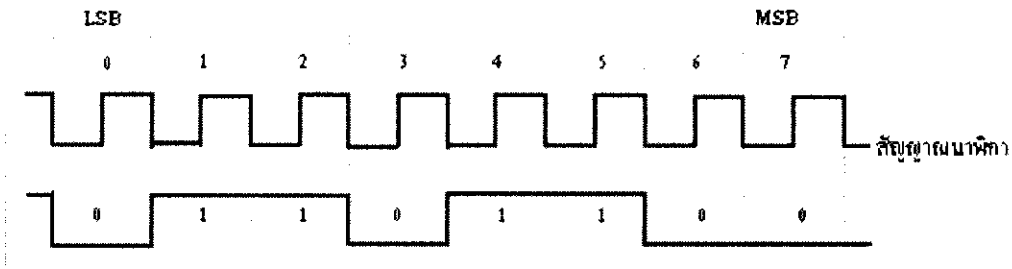
ในขณะที่การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับและส่งที่เป็นมาตรฐานต้องมีการตรวจสอบพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวรับและตัวส่ง การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องจำนวนของสายสัญญาณที่น้อยมาก และไม่แปรผันตามพอร์ตอนุกรม RS-232C สามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด และวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ ซึ่งหมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะได้สองทิศทางในเวลาเดียวกัน โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้า และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออก โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส โดยปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จะใช้การติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้ว โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณสื่อสารดังกล่าว

2.4.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือการสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีการส่งสัญญาณนาฬิการ่วมกับการรับและส่งสัญญาณด้วย และการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ก็คือ คีย์บอร์ดข้อมูลของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อย 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวน์ รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

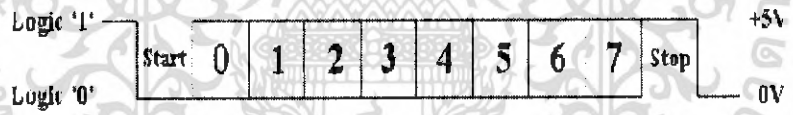


รูปที่ 2.7 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

2.4.2 การสื่อสสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีเวลาเท่ากันซึ่งอัตราเร็วนี้เรียกว่าอัตราบอด (Baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (Bit per second) รูปแบบของข้อมูลที่ใช้การรับและส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity bit) มีขนาด 1บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1 บิต



รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขา DATA จะมีสถานะลอจิกเป็น "1" เรียกสถานะนี้ว่า "สถานะหยุดรอ (Waiting stage)" การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด หรือบิต LSB ก่อนซึ่งข้อมูลที่ต้องส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วย บิตพาริตี้ ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่ส่ง คือบิตปิดท้ายหรือบิตหยุด โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว อัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส หรืออัตราบอร์ด ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอด คือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้บิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้อัตราบอดในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบท์ต่อวินาที

ในการตรวจสอบพาริตี้จะสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (Odd) และแบบคู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่ หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ รวมบิตพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่ หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าของพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น "0" แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่จะต้องเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่

ตารางที่ 2.2 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล

ข้อมูล	บิตพาริตี้คู่	บิตพาริตี้คี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	0	1
11111111	1	0

บิตพาริตี้นี้จะถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คู่ หรือคี่ ต่อจากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่ หรือคี่ โดยการนับลอจิก "1" ทั้งหมดรวมบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่ แต่การอ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ส่วนทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับและส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุดแต่มันสามารถตรวจสอบได้ เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับและส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ข้อมูลที่ทำการส่งหากมีบิดผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบวิธีนี้ไม่ได้ผล สำหรับการตั้งบิตพาริตี้เป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีตรวจสอบพาริตี้

2.5 ระบบการวัดค่า (Measurement System)

ระบบการวัดค่าประกอบด้วย

1. อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่พื้นฐาน (Basic functional element)

2. อุปกรณ์เสริม (Auxiliary elements)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่พื้นฐาน

ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ทำหน้าที่ เปลี่ยนตัวแปรอินพุตที่ต้องการให้อยู่ในรูปสัญญาณอื่นๆ ที่ใช้งานได้สะดวกกว่า เช่น เปลี่ยนจากอุณหภูมิเป็นค่าความต้านทาน จากความเป็นกรด-ด่าง ให้กลายเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เป็นต้น

ตัวตรวจสภาพสัญญาณหรืออุปกรณ์ปรับแต่งตัวกลาง ใช้สำหรับการปรับสภาพสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ให้อยู่ในรูปสัญญาณที่เหมาะสม

อุปกรณ์แสดงข้อมูลของสัญญาณ ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดของตัวแปรที่วัดค่าให้อยู่ในรูปของหน่วยมาตรฐาน เช่น แอมป์ โวลต์ โอห์ม เป็นต้น

2.5.2 อุปกรณ์เสริม

อุปกรณ์เสริมอยู่กับระบบการวัดค่าที่สร้างขึ้น โดยที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของงาน ซึ่งหลักๆจะประกอบด้วย

อุปกรณ์สอบเทียบ เพื่อทำการสอบเทียบอุปกรณ์ให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง

แหล่งจ่ายกำลังงานภายนอก เพื่อให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ เช่น จ่ายไฟให้กับทรานสดิวเซอร์ อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น

อุปกรณ์ป้อนกลับ ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงจำนวนทางกายภาพที่วัดได้ โดยที่อุปกรณ์ป้อนกลับนี้อาจเป็นโพเทนทิโอมิเตอร์ หรือวงวีธสโตนบริดจ์ที่ปรับสมดุลด้วยตัวเอง

2.6 คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ (Specification of transducer)

เซ็นเซอร์ (Sensor) เป็นส่วนที่รับสัญญาณจากกระบวนการดังข้างต้นนี้ ซึ่งจะเรียกว่า "อินพุตทรานสดิวเซอร์"

ทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ รับความรู้สึกตัวแปรทางกายภาพตัวใดตัวหนึ่ง แล้วเปลี่ยนค่าทางด้านเอาต์พุตให้เป็นตัวแปรทางกายภาพตัวอื่น

คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการ มีดังนี้

1.มีความสามารถในการรับสัญญาณและตรวจจับพร้อมทั้งรับความรู้สึกค่าของสัญญาณอินพุตที่ต้องการและต้องไม่มีความไวต่อสัญญาณอื่นๆที่ไม่ต้องการ ขณะที่วัด

2.ไม่มีการดัดแปลงหรือแก้ไขค่านัยสำคัญที่จะวัด

3.มีความสามารถต่อการดัดแปลงระบบ นั่นคือให้ง่ายต่อการปรับปรุงระบบโดยใช้อุปกรณ์ที่อยู่ในกระบวนการเดิมได้

4.ต้องมีความแน่นอนที่ดี

5.ต้องมีความสามารถในการทำซ้ำ ที่ดี เช่น ความเที่ยงตรง

6.ต้องมีขนาดเชิงเส้น

7.ต้องมีผลตอบสนองต่อความถี่ที่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.ต้องไม่มีกำเนิดการรบกวนเฟสต่อกัน เช่น ไม่มีหน่วงเวลาระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์

9.ต้องมีความสามารถต้านต่อสิ่งรบกวนจากสิ่งแวดล้อม โดยไม่ทำลายความถูกต้องของระบบ

10.ต้องมีผลตอบสนองและความน่าเชื่อถือที่ดี

2.7 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ

โดยปกติสัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์จะมีขนาดเล็กเกินไปที่นำไปให้งาน จึงต้องมีการปรับสัญญาณให้มีค่าเหมาะสมต่ออุปกรณ์ที่นำมาใช้

2.7.1 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณ หมายถึง อุปกรณ์ที่เพิ่มขนาดสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณจะเปลี่ยนไปตามชนิดของสัญญาณที่ทรานสดิวเซอร์ใช้ แยกได้ดังนี้

1.อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางกล

2.อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางไฮดรอลิกหรือนิวแมติก

3.อุปกรณ์ขยายทางแสง

4.อุปกรณ์ขยายทางสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้วงจรทรานซิสเตอร์ ไอซี เป็นต้น

การขยายแรงเคลื่อน = แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต / แรงเคลื่อนทางด้านอินพุต

$$\frac{V_o}{V_i} \tag{2.1}$$

การขยายกระแส = กระแสทางเอาต์พุต / กระแสทางด้านอินพุต

$$\frac{I_o}{I_i} \tag{2.2}$$

อัตราการขยาย = กำลังทางด้านเอาต์พุต / กำลังทางด้านอินพุต

$$\frac{V_o I_o}{V_i I_i} \tag{2.3}$$

2.8 อุปกรณ์กรองสัญญาณ

อุปกรณ์กรองสัญญาณ จะทำหน้าที่นำสัญญาณที่ไม่ต้องการออก การกรองสัญญาณจะแปรไปตามความเหมาะสมของชิดสัญญาณ

1.อุปกรณ์กรองทางกลประกอบไปด้วย อุปกรณ์ทางกลทำหน้าที่ป้องกันทรานสดิวเซอร์จากการรบกวนภายนอก

2.อุปกรณ์กรองระบบนิวแมติก ประกอบไปด้วยออริฟิซขนาดเล็ก หรือเวนจูรี่ที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณในระบบที่ไม่เรียบออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.อุปกรณ์กรองทางไฟฟ้า เพื่อกำจัดการค้างอยู่ของสัญญาณไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรือกรองสัญญาณทางไฟฟ้าใดๆที่เหมาะสม

2.9 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้า

1.อุปกรณ์ชดเชยสัญญาณ หรืออุปกรณ์ทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น

2.อุปกรณ์ดิฟเฟอเรนเชียล หรืออินติเกรชัน

3.อุปกรณ์แปลงสัญญาณ จากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

4.อุปกรณ์เฉลี่ยสัญญาณ หรืออุปกรณ์สุ่มสัญญาณ เป็นต้น

2.10 อุปกรณ์แสดงผล

อุปกรณ์แสดงผลจะเป็นอุปกรณ์รักษาค่าทางเอาต์พุต และทำหน้าที่แสดงค่าที่มีขนาดเดียวกันนี้ ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้

1.มีผลตอบสนองเร็วสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.มีความผิดพลาดของระบบน้อยที่สุด

3.มีค่าความเฉื่อย ความฝืด ความตึง หรือค่าอื่นๆ เช่น ลำอิเล็คตรอนแสดงผลในลักษณะเดียวกันนี้น้อยๆ

2.11 มาตรฐานและการสอบเทียบ (Standard and Calibration)

โดยพื้นฐานการวัดเป็นการเปรียบเทียบจำนวนสองจำนวนระหว่างจำนวนมาตรฐานที่ทราบอยู่แล้วกับจำนวนที่ไม่ทราบค่า ซึ่งต้องใช้องค์ประกอบสองอย่างด้วยกัน คือ

1.มาตรฐานที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบซึ่งมีความแน่นอนและมีความสามารถในการผลิตซ้ำที่สูง

2.อุปกรณ์ที่ใช้วัดและใช้สอบเทียบต้องมีความน่าเชื่อถืออย่างเพียงพอ

2.12 หลักการปรับสภาพสัญญาณอนาล็อก (Principle of Signal Conditioning)

เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดตัวแปรนี้ จะต้องทำหน้าที่เปลี่ยนรายละเอียดของตัวแปรให้ไปอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้า หรือสัญญาณนิวแมติก พบว่าเมื่อตัวแปรทางพลวัตรมีการเปลี่ยนแปลง และเข้ามากระทบตัวมันจะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามในเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่เป็นเชิงเส้นจึงต้องมีตัวปรับสภาพสัญญาณทางอนาล็อกให้ไปอยู่ในรูปที่จำเป็น เพื่อที่ให้สามารถทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ภายในลูปของการควบคุมกระบวนการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.1 การเปลี่ยนระดับสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้ส่วนมากที่พบ คือตัวขยายสัญญาณ หรือตัวลดทอนสัญญาณแรงเคลื่อน โดยทั่วไปด้านการควบคุมกระบวนการจะมีผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ช้า จึงมักจะต้องใช้วงจรขยายไฟตรงหรืออุปกรณ์ประเภทที่มีผลการตอบสนองต่อความถี่ต่ำเข้ามาช่วย ข้อสำคัญในการเลือกตัวขยายนั้นก็คืออิมพีแดนซ์ทางอินพุตที่มีตัวขยายรับมาจากเซ็นเซอร์(อุปกรณ์ที่ใส่ทางอินพุต) ในการควบคุมกระบวนการด้วยเหตุที่ว่าสัญญาณดังกล่าวจะถูกแสดงให้เป็นค่าของตัวแปรกระบวนการเสมอ ดังนั้นจึงทำให้เกิดโหลดระหว่างสัญญาณที่ถูกวัดและค่าตัวแปรในบางงาน

2.12.2 การทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น

การทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น มี 2 แบบ คือแบบวงจรอนาล็อกใช้กับงานในช่วงแคบๆ ส่วนในระบบปัจจุบันสามารถป้อนข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ แล้วจึงใช้ซอฟต์แวร์เป็นตัวจัดการ โดยที่คอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับเวลาจริง (Real time) มาก

2.12.3 การแปลงสัญญาณ (Conversion)

เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากวงจร หรืออุปกรณ์หนึ่งอาจจะไม่ตรงกับความต้องการของอีกวงจรหนึ่งจึงต้องมีการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากค่าหนึ่งไปสู่อีกค่าหนึ่ง เช่น การแปลงค่าความต้านทานไปเป็นกระแส หรือจากกระแสไปเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เป็นต้น

หลังจากที่ได้สัญญาณจากระบบการวัดแล้วก็จะต้องส่งสัญญาณไปยังกระบวนการ ซึ่งโดยปกติสัญญาณที่ใช้ในกระบวนการวัดการควบคุม มักจะเป็นสัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) ถ้าเป็นแรงเคลื่อนจะมีค่า 1 ถึง 5 โวลต์ และถ้าเป็นกระแสจะมีค่า 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ แต่ส่วนมากจะส่งสัญญาณเป็นกระแส เพราะเหตุว่าสัญญาณดังกล่าวจะเป็นอิสระกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดมากกว่าที่ต่อแบบขนานกัน ในการต่อขนานอาจทำให้กระแสบางส่วนหยุดไหล หรืออาจสูญเสียไปดังกล่าวพบว่าจะมีการแปลงแรงเคลื่อนเป็นกระแส (Voltage to Current Converter) หรือตัวแปลงกระแสไปเป็นแรงเคลื่อน (Current to Voltage Converter) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ

ในการเชื่อมต่อกับระบบดิจิตอล สำหรับคอมพิวเตอร์ในการควบคุมกระบวนการ จะต้องมีการเปลี่ยนข้อมูลจากระบบอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้ไอซีประเภท (Analog to Digital Converter)

2.12.4 การกรองและการสมดุลของอิมพีแดนซ์ (Filtering and Impedance Matching)

โดยปกติสัญญาณที่ใช้งานทางอุตสาหกรรม เช่น ความถี่ขนาด 50 เฮิรตซ์ ในสายจะเกิดทรานเซี่ยนในขณะเริ่มเดินมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดพัลส์และสัญญาณที่ไม่ต้องการอยู่ในลูปของการควบคุมกระบวนการจึงจำเป็นที่ใช้วงจรความถี่สูงผ่าน (High pass Filter) หรือวงจรกรองแบบน็อตฟิวเตอร์ (Notch Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกจากลูป การกรองทำได้โดยวงจรพาสซีพ ซึ่งประกอบด้วย ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น หรือวงจรประเภทแอกทีฟที่ใช้หลักการขยายสัญญาณและการป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสมดุลทางอิมพีแดนซ์เป็นเรื่องหนึ่งที่สำคัญในการปรับสภาพสัญญาณ เพราะถ้าหากใช้ค่าอิมพีแดนซ์ที่ไม่เหมาะสมแล้ว จะทำให้อิมพีแดนซ์ภายในของทรานสดิวเซอร์ หรือสายก็ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดตัวแปรทางพลวัตร ดังนั้นจึงต้องนำวงจรทั้งพาสซีฟ (Passive Circuit) และแอกทีฟ (Active Circuit) มาใช้งานในลักษณะดังกล่าว

2.13 วงจรประเภทพาสซีฟ (Passive Circuit)

มีอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์จำนวนมากที่สามารถใช้กับวงจรบริดจ์และวงจรแบ่งแรงเคลื่อนได้ เพื่อปรับสภาพสัญญาณดังกล่าว วงจรบริดจ์จึงเป็นด่านแรกที่จะใช้หลังจากนั้น จึงต่อเข้ากับวงจรอื่นๆแล้วซึ่งแต่วัตถุประสงค์ โดยทั้งวงจรบริดจ์และวงจรแบ่งแรงเคลื่อนเป็นวงจรพาสซีฟชนิดหนึ่ง

2.13.1 วงจรแบ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)

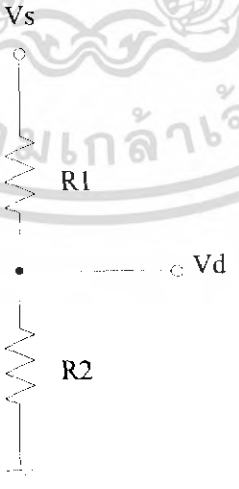
วงจรแบ่งแรงเคลื่อนทั่วไปดังรูปที่ 2.9 ซึ่งพบบ่อยในงานที่ใช้เปลี่ยนค่าความต้านทานให้ไปอยู่ในรูปของสัญญาณแรงเคลื่อน แรงเคลื่อนที่ได้จากวงจรนี้หาได้ โดยความสัมพันธ์ที่ว่า

$$V_D = \frac{R_2 V_2}{R_1 + R_2} \tag{2.4}$$

เมื่อ V_s คือ แรงเคลื่อนที่จ่าย

R_1 และ R_2 คือ ตัวต้านทานแบ่งแรงเคลื่อน

ดังนั้นหากประยุกต์ใช้งาน คือการนำตัวเซ็นเซอร์มาใส่แทนที่ R_1 และ R_2 นั่น คือค่าความต้านทานที่ถูกนำมาใส่จะเป็นตัววัดตัวแปรทางกายภาพบางค่าที่อาศัยหลักการดังกล่าวได้



รูปที่ 2.9 วงจรแบ่งแรงเคลื่อนแบบง่าย ที่ใช้การเปลี่ยนค่าความต้านทานอยู่ในรูปของแรงเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสำคัญในการนำเอาวงจรแบ่งแรงเคลื่อนมาใช้ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจากเซ็นเซอร์ไปเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ

1.การเปลี่ยนแปลงของ V_D กับ R_1 และ R_2 จะไม่เป็นเชิงเส้น นั่นคือ ถึงแม้ว่าค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นกับตัวแปรที่วัดวงจรแบ่งแรงเคลื่อนก็จะเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นเชิงเส้น

2.อิมพีแดนซ์ที่มีผลต่อค่าทางด้านเอาต์พุตของวงจรแบ่งแรงเคลื่อนนั้น จะเกิดจากการขนานกันระหว่าง R_1 และ R_2 เฉพาะฉะนั้นค่าความต้านทานทั้งสองจึงไม่จำเป็นต้องมีค่าสูง เพราะต้องพิจารณาผลของโหลดด้วย

3.ในวงจรแบ่งแรงเคลื่อนกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานทั้งคู่ ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียกำลังที่ตัว-ต้านทานรวมถึงตัวเซ็นเซอร์ จึงต้องพิจารณาผลดังกล่าวด้วย

4.ถ้าแทนทรานสดิวเซอร์ที่ตัวต้านทาน R_1 เมื่อความต้านทานทรานสดิวเซอร์เพิ่มขึ้น แรงเคลื่อน V_D ทางเอาต์พุตจะมีค่าลดลง แต่ถ้านำทรานสดิวเซอร์ดังกล่าวไปต่อที่ R_2 ค่าแรงเคลื่อน V_D ทางเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้น

2.14 การปรับสภาพสัญญาณและการส่งสัญญาณ (Signal Conditioners and Transmission)

จากที่ได้กล่าวถึงการใช้วงจรแบ่งแรงเคลื่อนปรับสภาพสัญญาณ โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานของทรานสดิวเซอร์ที่ได้จากการวัดไปเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า แต่ในการนำไปใช้งานในขั้นต่อไปจะพบว่าหากสัญญาณสะอาด มีระดับสูง และเป็นเชิงเส้นดีแล้ว ก็ทำให้การวัดมีความแน่นอนยิ่งขึ้น ในงานการผลิตสมัยใหม่ สัญญาณของตัวแปรกระบวนการที่นำไปใช้กับเครื่องควบคุมกระบวนการจะอยู่ห่างไกลหลายกิโลเมตร เช่น การส่งสัญญาณเซ็นเซอร์มายังศูนย์ควบคุม ดังนั้นจะต้องทำการขยายสัญญาณดังกล่าวก่อนจะนำมาควบคุมและแสดงผล หากสัญญาณนี้ไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องทำให้เป็นเชิงเส้นและชดเชย นอกจากนี้ยังพบว่าการแทรกสอดของสัญญาณรบกวนในย่านความถี่วิทยุ (RFI) จากแหล่งจ่ายกำลัง บางครั้งอาจจะมีค่ามากกว่าสัญญาณที่ใช้งานจริง ดังนั้นจึงต้องกรองสัญญาณให้สะอาด และจะมีปัญหาที่ทำให้เกิดความเสียหาย คือความผิดพลาดที่เกิดจากระบบกราวด์ไม่ดีพอ แม้กระทั่งการเกิดฟอนต์ในบางครั้งอาจจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนหลายร้อยโวลต์สู่ระบบสัญญาณดังกล่าวก็เป็นได้

2.15 การขยายสัญญาณ (Signal Amplifier)

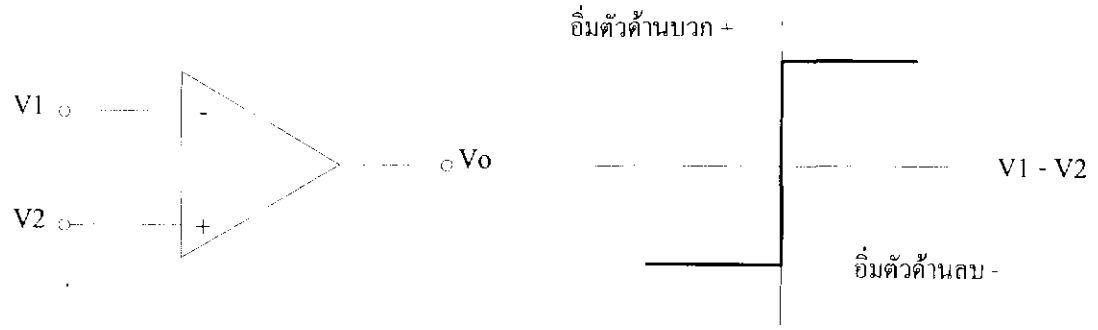
อุปกรณ์เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เกือบทุกตัว จะต้องมีการขยายสัญญาณ หรือปรับสัญญาณก่อนที่จะส่งไปยังสเตจอื่นๆในการขยายสัญญาณไฟฟ้า ทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ไอซีขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น (Linear op-amp)

2.15.1 คุณสมบัติของออปแอมป์ (Op-amp Characteristics)

จากรูปที่ 2.10 (ก) แสดงสัญญาณมาตรฐานของออปแอมป์ ออปแอมป์จริงจะมีอินพุต 2 ขา คือ ขาน็อนอินเวอร์ติง (non inverting +) และขาอินเวอร์ติง (Inverting -) ส่วนเอาต์พุตมี 1 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72907



(ก) สัญลักษณ์ของออปแอมป์ (ข) ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต

รูปที่ 2.10 แสดงสัญลักษณ์และคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์

เพื่ออธิบายคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ กำหนด V_1 ให้เป็นแรงเคลื่อนทางด้านอินพุตของขานี้อนอินเวอร์ติง V_2 เป็นอินพุตของขาอินเวอร์ติง และ V_0 เป็นแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตทางอุดมคติ จากรูปที่ 2.10 (ข) อาจสรุปได้ว่า

1.ถ้า $V_1 - V_2$ เป็นบวก ($V_1 > V_2$) V_0 จะอิ่มตัวที่ค่าบวก

2.ถ้า $V_1 - V_2$ เป็นลบ V_0 จะอิ่มตัวที่ค่าลบ

3.แรงเคลื่อนทางเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยแรงเคลื่อนที่จ่ายเลี้ยงออปแอมป์ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ของออปแอมป์คือ

-อิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตมีค่าเป็นอนันต์

-อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำ

-ให้อัตราขยายสูง

-ผลตอบสนองรวดเร็ว ซึ่งในทางปฏิบัติออปแอมป์ใช้วิธีการป้อนกลับจากด้านเอาต์พุตไปยังขั้วทางด้านอินพุตเสมอ

2.15.2 การขยายแบบกลับขั้ว (Inverting Amplifier)

พิจารณารูปที่ 2.11 ตัวต้านทาน R_2ถูกใช้เป็นตัวป้อนกลับค่าทางด้านเอาต์พุตไปยังอินพุตที่ขาอินเวอร์ติง ส่วน R_1จะต่อกับแรงเคลื่อน V_{in} ที่จุดนี้เรียกว่า "จุดรวมสัญญาณ" (Summing Point) พบว่า

1.หากไม่มีการต่อป้อนกลับ และขาบวกลงกราวด์ $V_{in} > 0$ ค่าทางด้านเอาต์พุตจะอิ่มตัวที่ค่าลบ $V_{in} < 0$ ค่าทางด้านเอาต์พุตจะอิ่มตัวที่ค่าบวก

2.หากมีการป้อนกลับ ค่าทางด้านเอาต์พุตจะปรับแรงเคลื่อนโดยแรงเคลื่อนที่จุดรวมสัญญาณจะมีค่าเท่ากับระดับอินพุตที่ขาบวก นั่นคือจะมีค่าเป็นศูนย์

3.หากมีการต่อป้อนกลับ จะไม่มีกระแสไหลผ่านขั้วอินพุตของออปแอมป์ เพราะในทางแนวคิดจะกำหนดให้อิมพีแดนซ์ทางอินพุตเป็นอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณี ผลรวมของกระแสที่จุดรวมสัญญาณจะเป็นศูนย์ นั่นคือ

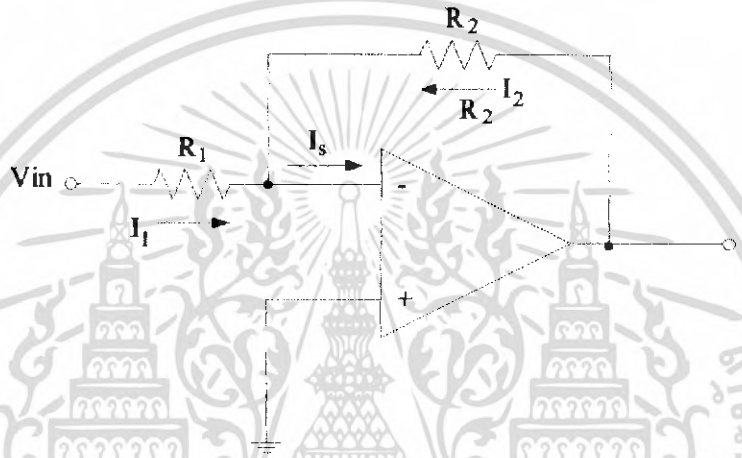
$$I_1 + I_2 = 0 \tag{2.5}$$

เมื่อ I_1 = กระแสที่ไหลผ่าน R_1

I_2 = กระแสที่ไหลผ่าน R_2

เพราะที่จุดรวมสัญญาณถูกสมมติให้เป็นศูนย์ โดยกฎของโอห์มจะได้

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0 \tag{2.6}$$



รูปที่ 2.11 แสดงการขยายแบบขั้วโดยใช้ออปแอมป์

จากสมการที่ (2.5) เราสามารถเขียนผลตอบสนองของวงจรได้เป็น

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \tag{2.7}$$

ตัวอย่างนี้ ใช้กฎเพียงสองข้อสามารถวิเคราะห์การทำงานของออปแอมป์ในทางอุดมคติได้ แต่ส่วนใหญ่การวิเคราะห์จะใช้การทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจร โดยจะมีค่าความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย กฎในการออกแบบ คือ

กฎข้อที่ 1 สมมติให้ไม่มีการไหลของกระแส ผ่านขั้วอินพุตของออปแอมป์ นั่นคือไม่ผ่านขาอินเวิร์สติง และ น็อนอินเวิร์สติง

กฎข้อที่ 2 สมมติไม่มีความแตกต่างของแรงเคลื่อนระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง นั่นคือ $V_- = V_+$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.3 ผลที่ไม่ใช่ทางอุดมคติ (Non Ideal Effects)

การวิเคราะห์วงจรออปแอมป์กับผลตอบสนองที่ไม่ใช่ทางอุดมคติจะกระทำได้ โดยใช้ตัวแปรดังต่อไปนี้

1.ใช้อัตราการขยายตอนลูปเปิดที่ค่าใดค่าหนึ่ง นั่นคือออปแอมป์จริงมีอัตราขยายแรงเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ ดังแสดงได้จากผลตอบสนองต่อการขยาย โดยอัตราขยายแรงเคลื่อนกำหนดเป็นการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต ส่วนค่า ΔV_0 คือการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงเคลื่อนต่างศักย์ที่ขาอินพุต เท่ากับ $\Delta[V_1-V_2]$

2.ใช้ค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตที่ค่าใดค่าหนึ่ง เพราะว่าออปแอมป์จริงนั้นมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ค่าหนึ่งๆ ดังนั้นจึงมีแรงเคลื่อนตกคร่อมและกระแสไหลผ่านขั้วทางด้านอินพุต

3.ค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตไม่เป็นศูนย์ เพราะว่าออปแอมป์จริงจะมีค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตไม่เป็นศูนย์ แต่ก็มีค่าเพียงไม่กี่โอห์ม

2.16 วงจรขยายความแตกต่างสัญญาณในงานเครื่องมือวัด (Differential Instrumentation Amplifier)

ในการวัดตัวแปรและระบบควบคุมหลายแบบ ซึ่งอาจจะมีความแตกต่างของสัญญาณแรงเคลื่อนระหว่างสัญญาณ 2 สัญญาณที่ออกจากเซ็นเซอร์ หรือวงจรปรับสภาพสัญญาณบางวงจร จึงต้องเลือกวงจรขยายแตกต่างกันมาใช้งาน วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างในทางอุดมคติมีสมการพื้นฐาน คือแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าอัตราขยาย (A Differential Gain) คูณกับความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อนอินพุตทั้ง 2 นั้น หรือเขียนได้เป็น

$$V_{out} = A(V_a - V_b) \tag{2.8}$$

ค่าที่ได้เป็นแนวคิดของวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง

2.16.1 อัตราส่วนการส่งคืนโหมดร่วม (Common Mode Rejection Radio CMRR)

ในลักษณะของออปแอมป์ที่บอกโดยคู่มือ (Data sheet) มีค่าหนึ่งที่สำคัญได้แก่ อัตราส่วนการส่งคืนโหมดร่วม กำหนดได้จากค่าอัตราขยายแรงเคลื่อนแตกต่าง (Differential voltage gain) ต่อค่าอัตราขยายแรงเคลื่อนโหมดร่วม (Common-mode voltage gain) ในการใช้งานปกติเราต้องการออปแอมป์ที่มีค่าดังกล่าวสูงๆเพื่อที่จะหาความสามารถของตัวขยายสัญญาณแตกต่าง ให้ใช้ในข้อกำหนดดังต่อไปนี้ แรงเคลื่อนโหมดร่วมทางอินพุต จะเป็นค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนที่จ่ายให้กับขั้วอินพุตทั้งสอง

$$V_{cm} = \frac{V_a - V_b}{2} \tag{2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการส่ง คือโหมดร่วมของตัวขยายสัญญาณคิดได้ 2 แบบ คืออัตราส่วนการส่งคืนโหมดร่วม ที่คิดออกมาเป็นจำนวนเท่า

$$CMRR = \frac{A}{A_{cm}} \tag{2.10}$$

และ CMRR ที่คิดเป็นหน่วยเดซิเบล (เดซิเบล) คือ CMR (หรือ CMRR' นั่นเอง) พบว่า

$$CMRR' = 20\log_{10}(CMRR) \tag{2.11}$$

ออาแอมป์ทั่วไปจะมีค่า CMRR' อยู่ในช่วง 60 ถึง 120 เดซิเบล

2.16.2 วงจรขยายความแตกต่างแบบพื้นฐาน (Differential Amplifier)

วงจรดังกล่าวจะเป็นดังรูปที่ 2.12 และมีสมการเป็น

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \tag{2.12}$$

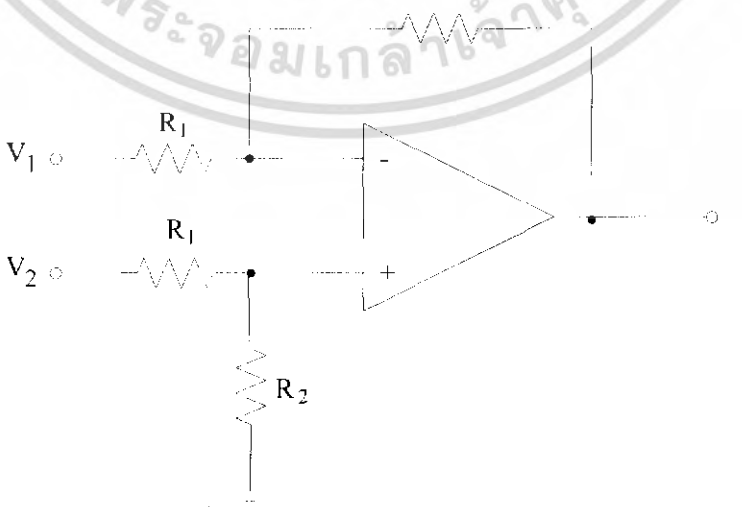
ข้อสังเกตจากวงจรดังกล่าวนี้ คือ

1.วงจรดังกล่าวต้องใช้ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ที่เท่ากันพอดีจะได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังด้านบน

2.การปรับอัตราขยายจะต้องปรับค่าตัวต้านทานคู่ใดคู่หนึ่ง (คู่ของ R_1 หรือ R_2)

3.มีข้อเสียตรงคืออิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตมีค่าต่ำมาก จึงทำให้ดึงกระแสจากเซ็นเซอร์ที่นำมาต่อทางด้านอินพุตของมัน

4.สามารถปรับค่า CMRR' ได้ที่ตัวตานทาน R_2 ที่ต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.12 พื้นฐานในการขยายความแตกต่างโดยใช้ออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.3 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัดอุสาหกรรม (Instrumentation Amplifier IA)

วงจรดังกล่าวดัดแปลงมาจากหัวข้อ 2.14.2 โดยแก้ปัญหาอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตของที่มีค่าต่ำมากๆ จึงต่อวงจรตามแรงเคลื่อนเข้าทางอินพุตทั้งสอง เพื่อจะให้ค่าทางด้านอินพุตมีค่าสูงขึ้นผลดังกล่าวนี้เรียกว่า ตัวขยายทางเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมแต่เมื่อต่อวงจรดังกล่าวแล้วก็ยังยากต่อการเปลี่ยนอัตราขยาย ซึ่งต้องปรับตัวต้านทานถึงสองตัวจึงพัฒนามาใช้รูปที่ 2.13 ซึ่งวงจรขยายเครื่องมือวัดที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย อาจเรียกวงจรแบบดังกล่าวว่า "วงจรขยายออปแอมป์ 3 ตัว" (Three op-amps)

ข้อสังเกตวงจรขยายแบบออปแอมป์สามตัว คือ

1.สามารถปรับอัตราขยายได้โดยเปลี่ยนตัวต้านทานตัวเดียว คือ R_g

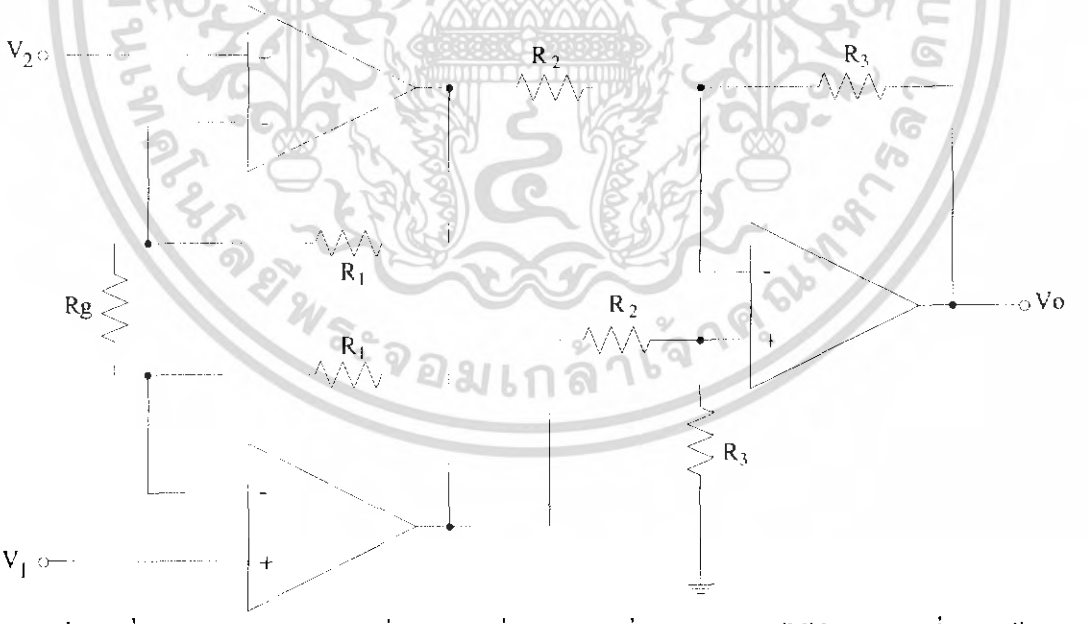
2.CMR ของวงจรนี้ ยังคงสเตจตามตัวต้านทาน R_2 ที่ต้องรักษาให้เท่ากันพอดี แต่ก็จะไม่แปรตามตัวต้านทาน R_1 ทั้งสองตัว

3.มีอิมพีแดนซ์ทางอินพุตที่สูงมาก ส่วนอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุตต่ำมาก

4.IA มีสองสเตจแรกมีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตสูง สเตจที่สอง คือตัวขยายความแตกต่าง ซึ่งเป็นส่วนเอาต์พุต

5.ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของการขยายแบบนี้จะมีค่าเป็น

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right)\left(\frac{R_3}{R_2}\right)(V_2 - V_1) \qquad (2.13)$$



รูปที่ 2.13 ตัวขยายในงานเครื่องมือวัด ที่สามารถเปลี่ยนอัตราขยายได้ โดยการเปลี่ยนตัวต้านทานเพียงหนึ่งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีบางตัวที่ผลิตขึ้นจะกำหนดอัตราการขยายตายตัว แต่ผู้ใช้สามารถเลือกค่า R_g จากภายนอกมาต่อเพื่อเลือกอัตราขยายได้ จึงมั่นใจว่าจะได้ CMR ที่สูงๆ วงจรออปแอมป์ดังกล่าวใช้ในการวัดตัวแปรในกระบวนการ ตัวอย่างเช่น ใช้ขยายสัญญาณที่ออกจากสเตรนเกจซึ่งต่อกับวงจรบริดจ์อีกทีหนึ่ง

2.16.4 ไอซีตระกูล 35

ในที่นี้จะอ้างเบอร์ LM35 ซึ่งไอซีเบอร์นี้จะให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส พบว่า LM35 ข้อได้เปรียบกว่าเซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบเชิงเส้นที่สอบเทียบกับอุณหภูมิองศาเคลวิน คือ

1.ไม่ต้องลบค่าคงที่ของแรงเคลื่อนออกจากเอาต์พุตของมัน

2.ไม่ต้องสอบเทียบหรือปรับค่าใดๆจากภายนอก แต่ก็ยังคงให้ความแน่นอนได้ถึง ± 0.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิห้องและ ± 1.5 องศาเซลเซียส ที่ย่านอุณหภูมิ -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส

3.อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำให้เป็นเชิงเส้น และให้เกิดความเที่ยงตรงต่อการสอบเทียบทำให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อ่านค่า หรือต่อกับวงจรควบคุมได้ดี

4.สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายแบบแหล่งจ่ายเดียว หรือกับแหล่งจ่ายกำลังที่มีขั้วบวกและลบได้อีกด้วยกินกระแสที่ประมาณ 70 มิลลิแอมป์ จากแหล่งจ่ายความร้อนที่เกิดจากตัวมันเองมีค่าต่ำโดยประมาณ 0.2 องศาเซลเซียสในอากาศนิ่ง

5.มีย่านใช้งานในช่วง -50 ถึง +150 องศาเซลเซียส เบอร์ LM35C จะมีย่านใช้งานจาก -150 ถึง +100 องศาเซลเซียส เอาต์พุต 10 มิลลิโวลต์/ องศาเซลเซียส

LM35 บ่อยครั้งที่ต้องติดตั้งเซ็นเซอร์ไกลออกไปหลายเซนติเมตรจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่อร่วม จึงจำเป็นต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1.ต้องใช้สายตัวนำที่ต่อไปยังเซ็นเซอร์เพียงสองสายเท่านั้น (ไม่ใช่แบบสามสาย)

2.ต้องให้สัญญาณที่ย้อนกลับมาจากเซ็นเซอร์ เป็นกระแสไม่ใช่แรงเคลื่อนกำจัดผลของค่าความต้านทานที่อนุกรมอยู่ในสาย

3.ต้องรักษาให้ประสิทธิภาพอุณหภูมิของตัวต้านทาน 499 โอห์ม ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิ

2.17 การวัดระยะทาง ที่ตั้ง และตำแหน่ง

การวัดระยะทาง ตำแหน่ง หรือที่ตั้ง เป็นข้อที่มีความสำคัญในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ตัวอย่างของการวัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ ได้แก่

1.ตำแหน่งหรือที่ตั้งของวัตถุบนสะพานลำเลียง

2.การยืดของแผ่นเหล็กที่ทำการ

3.การวัดระดับของของแข็ง หรือของเหลว

4.ที่ตั้งหรือตำแหน่งของชิ้นงานในการกลึง

5.การแปลงค่าความดันไปเป็นระยะทางทางกายภาพเพื่อวัดระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

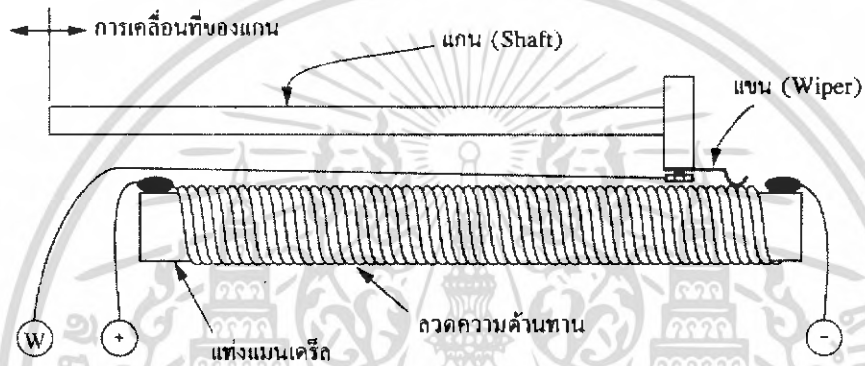
หลักการเบื้องต้นของตัวเซ็นเซอร์วัดระยะ ตำแหน่ง และที่ตั้งแบบทั่วๆไปที่นิยมใช้กัน

2.17.1 โพเทนทิโอมิเตอร์ (Potentiometer or Potentiometric)

อุปกรณ์ดังกล่าว จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงมุมไปเป็นค่าความต้านทานกล่าว คือ หากเราจ่ายแรงเคลื่อนทางอินพุต จะทำให้สัญญาณแรงเคลื่อนและกระแสที่ออกทางเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางเนื่องจากการเลื่อนของแขน (Wiper) ที่ตัวโพเทนทิโอมิเตอร์

1. ชนิดของโพเทนทิโอมิเตอร์

(1) โพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น (Linear Potentiometer) ใช้ในการวัดระยะทางที่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงทรานสดิวเซอร์พื้นฐานในการตรวจจับระยะโดยใช้โพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น

(2)โพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะในลักษณะการหมุน โพเทนทิโอมิเตอร์วัดระยะเชิงมุมบางตัวสามารถวัดระยะเชิงมุมได้ถึง 10 องศา หากมันหมุนเต็มรอบจะได้ 357 องศา แต่ในแบบหลายรอบอาจจะมีมุมในการหมุนได้ถึง 3500 องศา หรือมากกว่า ความเร็วรอบสูงสุดที่โพเทนทิโอมิเตอร์แบบไวร์วาวด์หมุนได้ประมาณ 300 รอบ/วินาที หากมากกว่านี้จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นผลมาจากการไม่สัมผัสกันอย่างต่อเนื่องของแขน ซึ่งความเร็วในการหมุนของโพเทนทิโอมิเตอร์แบบต่อเนื่องอาจจะหมุนได้ถึง 2000 รอบ/วินาที โพเทนทิโอมิเตอร์แบบไวด์ที่บางมากๆ จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 0.01 มิลลิเมตรเท่านั้น โดยลวดที่ใช้อาจทำมาจากแพลทินัม หรือผสมนิกเกิลที่นำมาพันอยู่บนฟอร์ม

2. ความละเอียดของโพเทนทิโอมิเตอร์ คือการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ค่าน้อยที่สุด เมื่อแขนของโพเทนทิโอมิเตอร์เคลื่อนที่จากขดลวดช่วงหนึ่งไปยังอีกช่วงหนึ่งดังนั้นความละเอียดจึงกำหนดได้จาก

$$\text{Resolution} = \frac{\text{full scale displacement}}{\text{number of turn of wire}} \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาถึงวัสดุที่ใช้ทำโพเทนทิโอมิเตอร์ที่ทำจากฟิล์มคาร์บอน ฟิล์ม โลหะ พลาสติกตัวนำ (Conductive plastic) และโลหะเซรามิก (Ceramic metal) มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าแบบไวด์ อย่างแรก คือมีความละเอียดมากกว่า เพราะไม่มีรอบของลวดที่พันบนแกนมาเกี่ยวข้องทำให้แขน สามารถเคลื่อนที่คร่อมผ่านผิวที่เรียบของมันได้ (โดยไม่สัมผัสกันกับลวดจากรอบหนึ่งไปยังอีกรอบหนึ่ง) ทำให้ผลของการสึกกร่อน การสัมผัสที่ขาดช่วง และผลจากความผิดพลาดมีค่าลดลง

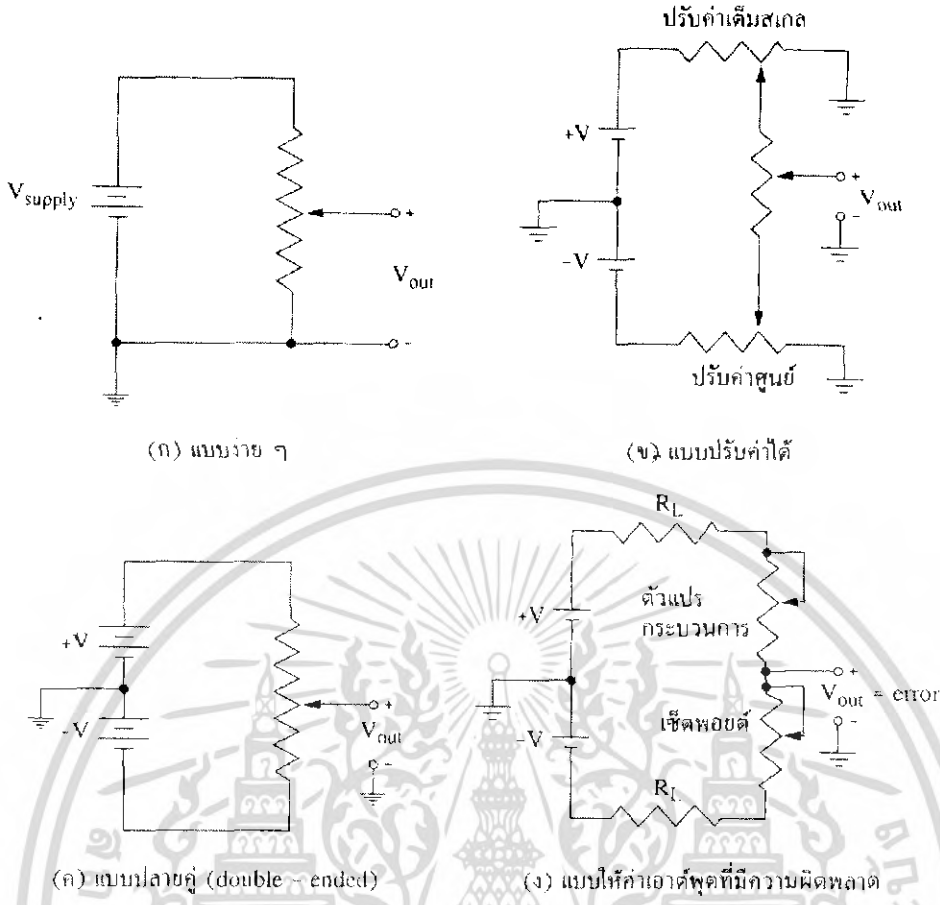
3. การปรับสภาพสัญญาณ สัญญาณรบกวนของโพเทนทิโอมิเตอร์จะเกิดจากวัสดุที่ใช้ทำ พบว่าค่ารบกวนดังกล่าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิและกระแสของตัวมัน ดังนั้นเพื่อให้มีค่ารบกวนน้อยที่สุดจึงต้องรักษาแรงเคลื่อนที่จ่ายให้มีค่าต่ำสุด นอกจากนี้สัญญาณรบกวนยังเกิดจากการเลื่อนของแขนได้อีกด้วย โพเทนทิโอมิเตอร์แบบต่อเนื่องจะสามารถหมุนได้เร็วกว่า และสร้างสัญญาณรบกวนน้อยกว่าแบบไวร์วาวด์ แต่ก็พบว่าในโพเทนทิโอมิเตอร์แบบไวร์วาวด์ จะแสดงค่าความเหนี่ยวนำและค่าการเก็บประจุออกมาด้วย ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ค่ารีแอกแตนซ์จะมีค่าอยู่ในย่านเมกะโอห์ม แต่ถ้ากระตุ้นโพเทนทิโอมิเตอร์ด้วยคลื่นไซน์ขนาด 10 กิโลเฮิรตซ์ ค่ารีแอกแตนซ์จะตกลงมาอยู่ในย่านกิโลโอห์ม ดังนั้นหากต้องมีการกระตุ้นสัญญาณ ต้องรักษาความถี่และความต้านทานพื้นฐานให้ต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

มีหลากหลายวิธีที่จะต่อโพเทนทิโอมิเตอร์ใช้งานในระบบควบคุมวิธีง่ายๆ คือการขับดังแสดงได้ในรูปที่ 2.15 (ก) จะทำให้ได้แรงเคลื่อนเอาต์พุตเป็นศูนย์ เมื่อแขนถูกขับไปยังด้านล่างสุด และจะได้แรงเคลื่อนเป็น V_{supply} เมื่อแขนอยู่ด้านบน ส่วนในรูปที่ 2.15 (ข) จะมีการหลักทำงาน คือแขนๆไม่ขับไปยังจุดปลายสุดของโพเทนทิโอมิเตอร์ ก็สามารถออกแบบให้มีการปรับศูนย์ที่ตำแหน่งใดๆก็ได้ตามต้องการ การวางโพเทนทิโอมิเตอร์เพื่อขับปลายทั้งคู่ของมัน โดยกำหนดให้ศูนย์โวลต์อยู่ที่จุดศูนย์กลางจะแสดง ดังรูปที่ 2.15 (ค) และในวงจรนี้จะสามารถสร้างสัญญาณผิดพลาดที่อ้างอิงกับกราวด์ เพื่อใช้กับเครื่องควบคุมกระบวนการได้ ในรูปที่ 2.15 (ง) โพเทนทิโอมิเตอร์ที่ใช้ปรับเซ็ตพอยต์ (Set point) จะติดตั้งอยู่บนแผงควบคุม (Control panel)

ส่วนค่าตัวแปรกระบวนการ (Process variable) ซึ่งจะขับโดยตรงจากตัวแปรที่วัดได้ทำให้ได้ค่าความผิดพลาด (Error) เป็น

$$Error = SP - PV \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงการปรับสภาพสัญญาณโพเทนทิโอมิเตอร์

ถ้าเซ็ตพอยต์ (SP) และตัวแปรกระบวนการ (PV) มีค่าหรือตำแหน่งเดียวกัน ความต้านทานเดียวกัน ก็จะไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น นั่นคือแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ถ้าแขนที่ต่อกับเซ็ตพอยต์เคลื่อนที่ขึ้นค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น V_{out} ก็เป็นบวก ทำให้เกิดกระบวนการตอบสนองโดยการเคลื่อนที่แขนด้านบนของตัวแปรกระบวนการที่เป็นสัดส่วนเดียวกัน ทำให้ค่า V_{out} กลับมาเป็นศูนย์โวลต์ แต่ถ้าเซตพอยต์มีค่าต่ำกว่านี้ค่าที่ได้จะตรงข้ามกัน ตัวต้านทาน R_L ที่ใส่เพิ่มเข้าไปนั้นเพื่อกำจัดการไหลของกระแส เมื่อเซ็ตพอยต์เคลื่อนที่ลงจนหมด

ทั้งหมดที่ผ่านมายังเป็นกรณีที่ไม่มีการโหลด หากโพเทนทิโอมิเตอร์ที่วัดตำแหน่งต้องมีการขับโหลด จะทำให้เกิดความไม่เป็นเชิงเส้นที่หลายๆย่านทำให้เกิดผลเสียต่อทรานสดิวเซอร์เอง ให้ดูรูปที่ 2.16 เอาต์พุตที่ต้องการ (สมมติให้ไม่มีการโหลด) มีค่าเป็น

$$V_{desired} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{in} \tag{2.16}$$

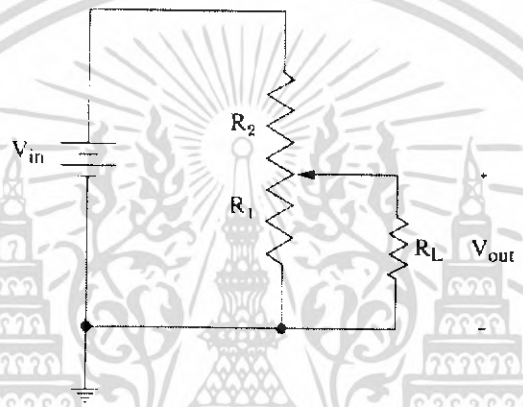
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามถ้าต่อ R_1 ขนานกับ R_1 ทำให้มีผลกลายเป็น

$$V_{actual} = \frac{[R_1 R_L /(R_1 + R_L)]}{[R_1 R_L /(R_1 + R_L)] + R_2} V_{in} \tag{2.17}$$

หรือเขียนให้ง่ายขึ้น จะได้ว่า

$$V_{actual} = \frac{R_1 R_L}{R_1 R_L + R_1 R_2 + R_2 R_L} V_{in} \tag{2.18}$$



รูปที่ 2.16 แสดงโพเทนทิโอมิเตอร์เมื่อถูกโหลด

2.17.2 ทรานสดิวเซอร์วัดความเร็ว (Velocity Transducer)

ทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือใช้วัดการเคลื่อนที่ตามแนวแกน (เป็นเชิงเส้นหรือเส้นตรง) และใช้วัดการเคลื่อนที่รอบๆแกน (มุม)

ในรูปที่ 2.17 แสดงถึงทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเชิงเส้นแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Linear) โดยนำหลักการความเร็วคอยล์บ๊อบบิน (Coil bobbin) มาใช้ ทรานสดิวเซอร์แบบแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานโดยอาศัยหลักการสร้างแรงเคลื่อนในคอยล์โดยสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก

$$v = -N \frac{d\Phi}{dt} \tag{2.19}$$

แกนเหล็กของทรานสดิวเซอร์ที่วัดความเร็วเชิงเส้นแบบแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งแรงเคลื่อนที่สร้างขึ้นในคอยล์จึงขึ้นอยู่กับความเร็วของแกนเหล็กที่ดึงออกมา แต่ถ้าหากมีการกลับทิศการเคลื่อนที่ของแกนเหล็กจะทำให้เกิดกลับขั้วแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นซึ่งในการใช้งานจริงจะต้องไม่ดึงแกนเหล็กออกมาทั้งหมด โดยต้องจำกัดการเคลื่อนที่รวมซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใช้วัดความเร็วที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

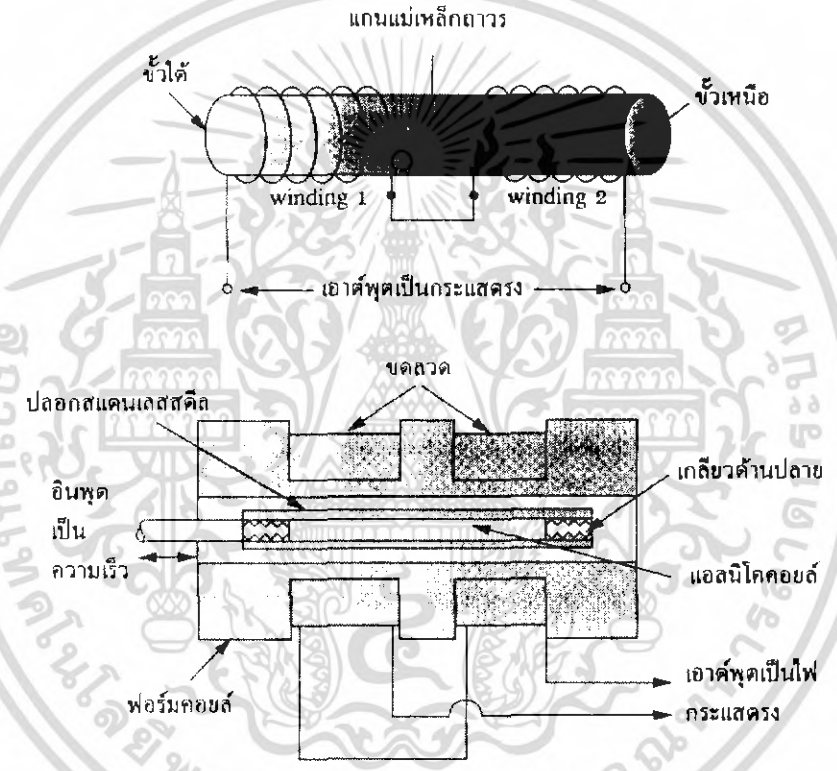
$$v = \int a dt + V_0 \qquad (2.20)$$

จากสมการด้านบนการคำนวณความเร็วที่ขณะใดๆ จะทำได้จากการอินทริเกรตสัญญาณความเร่งแล้วบวกค่าออฟเซตในสภาวะเริ่มแรก (V_0) เข้าไป ทั้งหมดนี้ทำได้โดยใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์ ดังข้อมูลและคุณลักษณะจำเพาะที่อยู่ในรูปที่ 2.18

ปกติทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตที่เป็นฟังก์ชันกับความเร็วในการหมุน

2.ให้เอาต์พุตเป็นความถี่และแปรตามอัตราการหมุน



รูปที่ 2.17 แสดงทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเส้นเชิงแบบแม่เหล็กไฟฟ้า

ทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมที่มักนิยมใช้ คือเทคโคมิเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้ากระแสตรง (DC-Electromagnetic Tachometer) สนามแม่เหล็กจะถูกติดตั้ง โดยแม่เหล็กถาวร หรือแยกเป็นขดลวดกระตุ้นบนสเตอร์โรเตอร์จะทำจากขดลวดที่ต่ออนุกรมกันเมื่อมีการหมุนผ่านสนามแม่เหล็กแรงเคลื่อนจะถูกสร้างขึ้นในคอยล์ค่า emf. ที่เกิดขึ้นในคอยล์จะแปรผันตรงกับความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ เมื่อโรเตอร์หมุนผ่านคอยล์หลายๆขดที่ต่ออนุกรมกัน ทำให้โรเตอร์ผ่านหลายๆสนามเอาต์พุตเกิดการกระเพื่อมอิสระและจะถูกส่งต่อจากคอยล์หมุนไปยังภายนอก โดยผ่านคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน ซึ่งถ้าหากว่ามีการกลับทิศทางการหมุนจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนขั้วตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมีหลายสาเหตุที่นิยมใช้เทคโคมิเตอร์ คือง่ายต่อการใช้งาน โดยให้เอาต์พุตไฟกระแสตรงที่มีค่าเหตุผลที่ตามมา คือทำให้วงจรปรับสภาพสัญญาณน้อยหรือไม่ต้องใช้ เทคโคมิเตอร์ที่ใช้แม่เหล็กถาวรจะให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตประมาณ 3 ถึง 7 โวลต์ ที่ 1,000 รอบต่อนาที ในขณะที่หากใช้สนามแม่เหล็กแบบพันด้วยขดลวดบนสเตเตอร์ จะให้ค่าเอาต์พุตที่ประมาณ 10 ถึง 20 โวลต์ ที่ 1,000 รอบต่อนาที ทิศทางการหมุนจะบอกโดยตรงที่ขั้วแรงเคลื่อนทางเอาต์พุต ความแน่นอนของอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 0.1 ถึง 0.25 % ของ FSO

อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการเชื่อมสัญญาณเอาต์พุตจากโรเตอร์ไปใช้งาน ก็ยังต้องใช้คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน แต่จะทำให้เกิดการอาร์กที่แปรงถ่านและเกิดการแทรกสอดของคลื่นความถี่วิทยุ (RFI) ตามมา ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันสิ่งดังกล่าวเมื่อนำมาใช้งานควบคุม

เพื่อเลี่ยงปัญหาที่เกิดกับแปรงถ่าน พิจารณาเทคโคมิเตอร์แบบตัวเหนี่ยวนำ หรือเรียกว่า แม่เหล็กถาวร หรือ แดรกคัพเทคโคมิเตอร์ (Drag cup tachometer) เป็นทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วหมุนที่แปรงถ่านประกอบไปด้วย ขดลวดด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิที่วางตั้งฉากกับสเตเตอร์ ส่วนโรเตอร์จะมีลักษณะเป็นกรงกระรอก หรือทรงถ้วยและทำจากโลหะที่มีความนำที่สูง แต่หากไม่จำเป็นต้องใช้กับการหมุนอย่างต่อเนื่องต่อเนื่อง หรือระบบประมวลผลและแสดงผลของการหมุนอิเล็คทรอนิคส์ เช่นในเครื่องบิน ต้องเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ได้ คือเซ็นเซอร์วัดอัตราการหมุนยี่ห้อ Watson โดยมีอุปกรณ์ทางกลประกอบไปด้วยเปียโซอิเล็คทรอนิคส์ที่คัดโค้ง แล้วติดตั้งบนขอบฐานของตัวรับสองง่าม (Tuning Fork) ถ้ามีอุปกรณ์ขับสองตัวก็สามารถจะใช้ในทิศทางตรงกันข้ามได้

ตัวแปรหลักที่สำคัญของทรานสดิวซ์ความเร็วเชิงมุม ประกอบด้วย

1. ย่านการหมุน ในหน่วยรอบต่อนาที
2. แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ตและเมื่อหมุน
3. ความไว ในหน่วยมิลลิโวลต์ต่อรอบต่อนาที

หัวข้อที่ต้องพิจารณา คือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยกระแสคูณความต้านทานที่ เป็นความสูญเสียเนื่องจากโหลดของคอยล์ทางด้านเอาต์พุต การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะทำให้คุณสมบัติในการเชื่อมต่อทางแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปและการสั่นของแกนซึ่งจะทำให้ค่าทางเอาต์พุตเลื่อนไป (Offset shift)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Piezoelectric Velocity Transducer

Model 793VS Model 793V

The Model 793v Velocity Transducer is a rugged vibration sensor for wide range velocity measurements. Combined in a small housing is a piezoelectric accelerometer, a low-noise amplifier and an integrator which converts the signal from acceleration to velocity. The solid piezoelectric construction and the low-noise signal conditioning allow the measurement of vibration over a wide frequency and amplitude range.

The low noise performance is made possible by the unique integration within the transducer which is superior to external integration of an accelerometer signal. In addition, the physical construction minimizes erroneous signals from thermal transients, base strain, transverse motion and magnetic fields. This solid unit offers significant advantages over the coil-and-magnet type velocity pickups, primarily in the areas of reliability, frequency range, and phase accuracy. Available with standardized sensitivities of 100 mV/in/sec or 500 mV/in/sec. Waterproof molded cable, explosion proof housing, or internal temperature sensor optional.

Applications:

- Machinery Monitoring
- Structural Analysis
- Fan Monitoring
- General Vibration Measurement
- Dynamic Balancing
- Test Cell application
- Low Frequency Monitoring

Features:

- Wide Frequency Range
- Three Models
  - 793V 100 mV/in/sec, 2.5 Hz to 3500 Hz
  - 793V-1 100 mV/in/sec, 10 Hz to 3500 Hz
  - 793V-5 500 mV/in/sec, 10 Hz to 3500 Hz
- No Moving Parts to Fatigue
- Increased Reliability
- "Drop-Proof" Protection
- Mounts in any Orientation
- Low Magnetic Sensitivity
- Small Size and Weight
- Inherently Attenuates High Frequencies
- No Critical Alignment Requirement
- Increased Dynamic Range
- Low Noise
- Small and Predictable Phase Shifts at Very Low Frequencies

Powering the Piezo-Velocity Transducer

The internal amplifier requires an external DC power source to operate. Proper operation can be obtained by applying a DC voltage (+18 to +30 VDC) to the center conductor of the cable through a constant current diode (1 to 10 mA) as shown in Figure 1.

A blocking capacitor is required in series with the output signal if the readout instrument is DC coupled. The Wilcoxon Research P700 Series Power Units will supply power to any of the 700 Series Accelerometers. A typical set-up for a vibration measurement is shown in Figure 2.

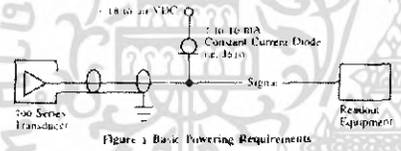


Figure 1 Basic Powering Requirements

CAUTION: The Constant Current Diode must be properly installed to protect the internal amplifier from damage.

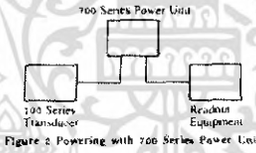


Figure 2 Powering with 700 Series Power Unit

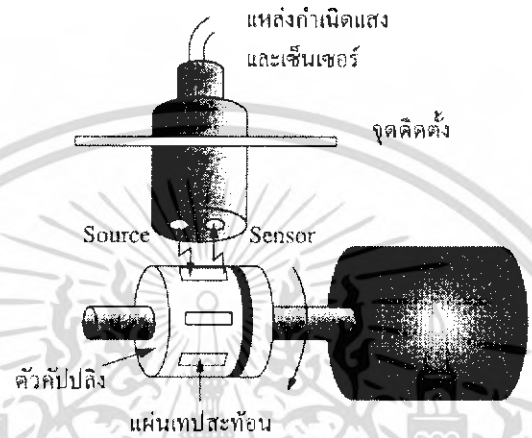
รูปที่ 2.18 แสดงทรานสดิวเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมแบบรวมชุด

ทรานสดิวเซอร์วัดความเร่งเชิงมุมที่เห็นจะให้ค่าเอาต์พุตเป็นแรงเคลื่อน สามารถจัดเป็นกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ที่มีเอาต์พุตเป็นความถี่ ซึ่งความถี่นี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนส่วนขนาดของสัญญาณอาจเปลี่ยนแปลงหรือไม่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วก็ได้ เทคโคมิเตอร์แบบ AC Permanent magnet ที่ใช้โรเตอร์ซึ่งขั้วแม่เหล็กถาวรหลายๆขั้ว จะมีคอยล์ตัวเดียวบนสเตเตอร์ที่ตัดซ้ำๆกับแม่เหล็กของโรเตอร์ที่กวาดผ่านคอยล์ พัลส์ของขั้วหนึ่งจะเกิดเมื่อขั้วเหนือผ่านคอยล์ ในขณะที่พัลส์ของขั้วตรงข้ามจะเกิดขึ้นเมื่อขั้วใต้ผ่าน ขนาดของพัลส์และเวลาการไหล (Rise time) นี้เป็นตัวแปรผันตรงกับความเร็วของแกน ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องใช้ตัวปรับสภาพสัญญาณเปลี่ยนพัลส์นี้อยู่ในระดับที่ใช้กับ TTL หรือ CMOS ได้

โดยปกติจะใช้ฮอลล์เอฟเฟคต์ (Hall Effect) เพื่อทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัวหากว่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจพบมีความเข้มเพียงพอ ดังนั้นหากสนามตกลงในช่วงเทรสโฮลที่กำหนดไว้ทรานซิสเตอร์จะเปิดเราจึงสามารถแทนที่คอยล์ของเทคโคมิเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้ ซึ่งอุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟคต์ดังกล่าวสามารถจะดึงเอาต์พุตให้สูงถึงระดับ + 5 โวลต์ โดยผ่านตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราวางแม่เหล็กถาวรตัวหนึ่งที่โรเตอร์ของเทคโคมิเตอร์ โดยที่ให้โรเตอร์มีลักษณะเป็นฟันและทำจากโลหะที่มีความต้านทานแม่เหล็กต่ำ(Low Reluctance) พร้อมกับเซ็นเซอร์ที่อยู่บนเฟรมสเตเตอร์ เมื่อฟันหมุนอยู่ต่ำกว่าแม่เหล็กนั้นก็จะทำให้มีการเชื่อมต่อกันระหว่างแม่เหล็กกับตัวเซ็นเซอร์ จะให้เกิดสนามแม่เหล็กตัดกับตัวเซ็นเซอร์ดังนั้นจึงเกิดพัลส์ทางด้านเอาต์พุตลูกหนึ่ง โดยพัลส์ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบเกียร์และเซ็นเซอร์ เอาต์พุตจะขึ้นอยู่ในรูปของสี่เหลี่ยมที่มีพัลส์บวกและลบ หรืออาจจะเกือบเป็นคลื่นไซน์บริสุทธิ์



รูปที่ 2.19 แสดงการตรวจจับโดยการสะท้อนเชิงมุมของความเร็วเชิงมุม

ทรานสดิวเซอร์ ที่ใช้วัดความเร็วในการหมุนส่วนใหญ่ต้องให้แกนของทรานสดิวเซอร์ต่อ หรือสัมผัสกับแกนที่จะทำการวัด ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องติดตั้งทรานสดิวเซอร์ให้พอดี นอกจากนั้นทั้งเกียร์สายพาน และแกนจะนำความผิดพลาดเข้ามา นั่นคือความเฉื่อยของทรานสดิวเซอร์จะนำเอาค่าทั้งหมดของระบบที่เราพยายามจะวัด

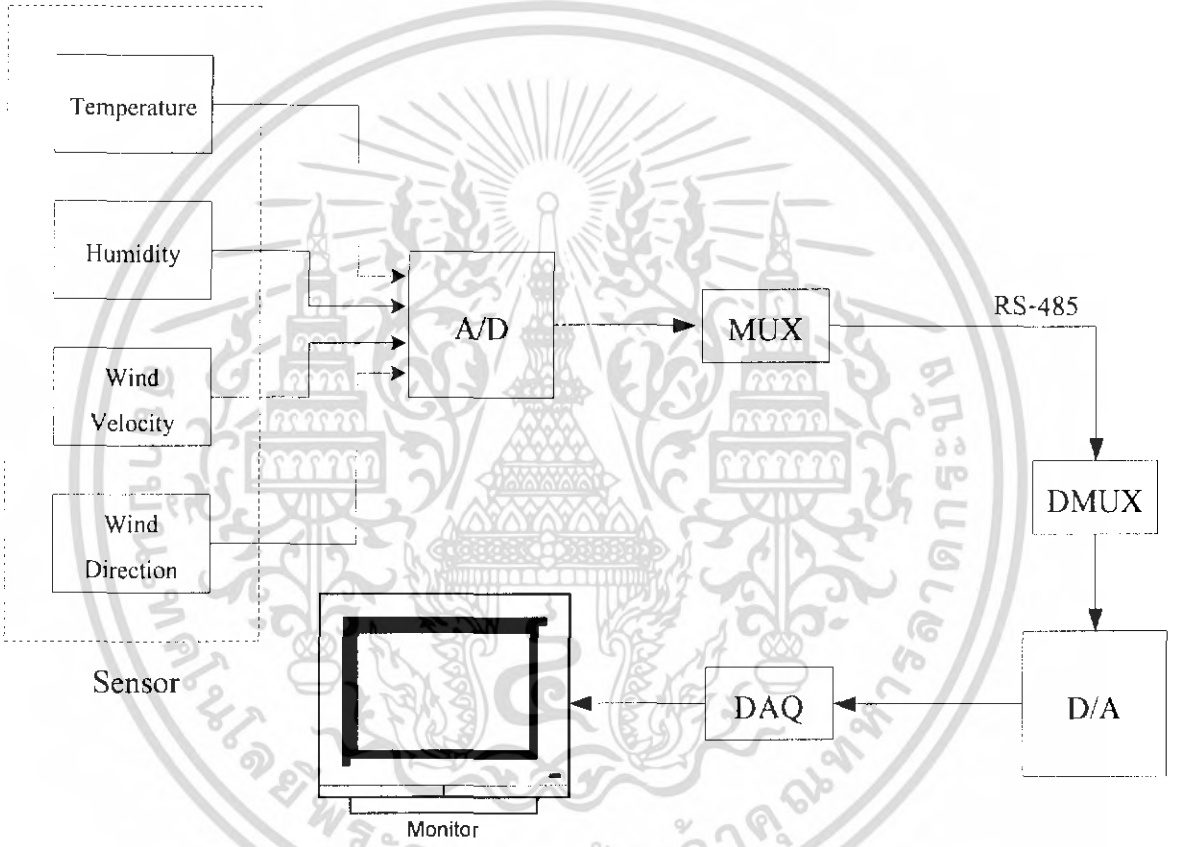
ปัญหาทั้งหมดนี้ แก้โดยใช้การสะท้อนของเซ็นเซอร์ที่ทำงานด้วยแสง (Optical sensor) ซึ่งจะใช้ช่องว่างเล็กๆของเทปสะท้อน (Reflective tape) วางไว้บนแกน เพื่อให้ลำแสงอินฟราเรดจากตัวส่งตกลงบนแกนหมุนแถบเล็กๆของเทปสะท้อนหมุนผ่านแสงนั้นก็จะถูกสะท้อนกลับไปยังตัวเซ็นเซอร์ จึงทำให้เกิดเอาต์พุตเป็นพัลส์ ปัญหาคือความยากที่จะติดตั้งกำเนิดแสงและเซ็นเซอร์ให้ใกล้กับแกน แต่แก้ไขได้โดยให้แสงผ่านไปยังแกนแล้วให้ย้อนกลับมายังเซ็นเซอร์โดยผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) ซึ่งในการวัดความเร็วของแกนเซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการสะท้อนแสงสามารถแสดงดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 โครงสร้างของระบบ

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศระบบนี้มีการตรวจวัดอยู่ 4 อย่าง คืออุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางลม โดยข้อมูลต่างๆจะถูกมัลติเพล็กซ์และส่งมายังคอมพิวเตอร์ แล้วใช้โปรแกรมประยุกต์ที่ประมวลผลบนคอมพิวเตอร์แสดงค่าต่างๆที่ตรวจวัดได้ โดยโครงสร้างทั้งหมดของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ

3.2 เครื่องมือวัดและทรานสดิวเซอร์

เครื่องมือวัดในระบบนี้มีทั้งหมด 4 ตัว คืออุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางลม ซึ่งในตัวเครื่องวัดจะมีอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์อยู่ภายใน เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าออกมา ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ แต่ละตัวนั้นจะต้องปรับค่าสัญญาณด้วยตัวปรับสภาพสัญญาณ เพื่อให้สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณมาตรฐาน 0 ถึง 5 โวลต์ ดังที่แสดงในรูป 3.2

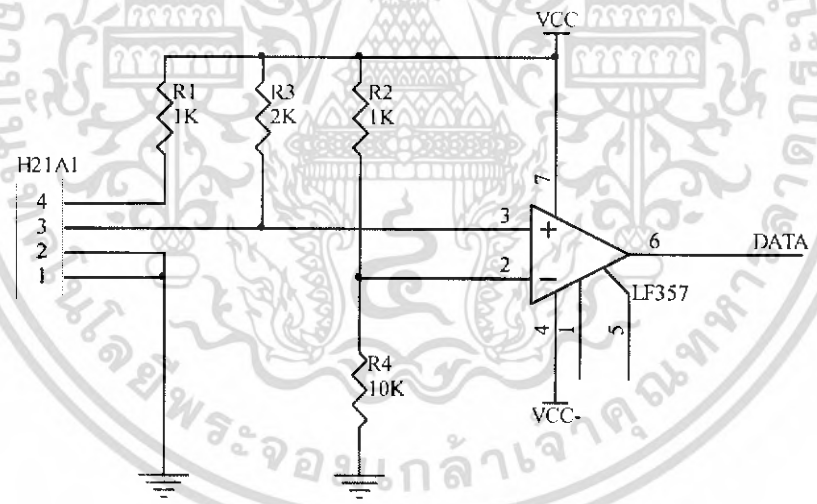
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของทรานส์ดิวเซอร์

3.2.1 ตัวตรวจวัดความเร็วลม

การตรวจวัดความเร็วลมนั้นจะใช้หลักการกำเนิดพัลส์สี่เหลี่ยม โดยจะอาศัยแผ่นเพลตที่ติดอยู่กับแกนหมุนของกังหันลูกถ้วยที่เคลื่อนที่พร้อมกับตัดผ่านลำแสงของอุปกรณ์ออปโต้สวิตช์ เพื่อทำให้กำเนิดสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมออกมา โดยมีความถี่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของกังหันลูกถ้วย ซึ่งถ้ากังหันหมุนเร็วสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมก็จะมีความถี่สูงและถ้ากังหันหมุนช้าสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมก็จะมีความถี่ต่ำ

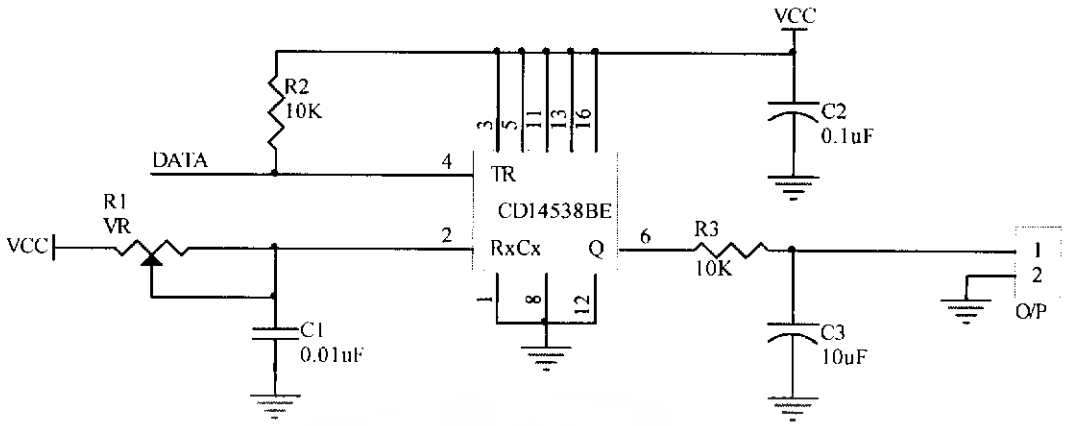
วงจรของเซ็นเซอร์จะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เบอร์ H21A1 มาเป็นตัวกำเนิดแสง และใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อให้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมมีค่าระดับสัญญาณเป็น -5 โวลต์ และ +5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรตรวจวัดความเร็วลม

สำหรับวงจรปรับสภาพสัญญาณที่ใช้กับตัวตรวจวัดความเร็วลมนั้น จะใช้วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า (Frequency to Voltage Converter) โดยใช้ไอซีเบอร์ CD14538BE ร่วมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านธรรมดา ซึ่งจะสามารถกำหนดความกว้าง (t_{on}) ของพัลส์ได้โดยตัวต้านทานและคาปาซิเตอร์ที่ขา 2 ของไอซี และจะมีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่อินพุตที่เข้ามา ซึ่งจะใช้กำหนดช่วงของการวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรปรับสภาพสัญญาณ

เอาต์พุตของ CD14538BE ที่ขา 6 จะให้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีค่าเวลา t_{on} คงที่ตลอดเวลา แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณอินพุต และสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ออกมาจะมีสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงปะปนอยู่กับสัญญาณความถี่หลายๆความถี่ ซึ่งสัญญาณความถี่ที่ปะปนมาจะถูกกรองออก โดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านให้เหลือ แต่สัญญาณที่เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตของวงจรวันช็อตมัลติไวเบรเตอร์ (one-shot multivibrator) คือสัมประสิทธิ์ a_0 ของอนุกรมฟูเรียร์ของสัญญาณ เพราะฉะนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตหาได้จาก

$$V_o(t) = \frac{1}{T}\int_0^{t_{on}} s(t)dt \tag{3.1}$$

เมื่อ $V_o(t)$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจร

T คือ คาบเวลาของสัญญาณ $s(t)$

$s(t)$ คือ สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 6 ของ CD14538BE ซึ่งมีแอมปลิจูด เท่ากับแรงเคลื่อนที่จ่ายให้วงจร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์

t_{on} คือ ช่วงเวลาของสัญญาณ $s(t)$ ที่มีค่าเป็นบวก

ค่าเวลา t_{on} จะกำหนดความถี่สูงสุด ($f_{\max}$) ของสัญญาณอินพุตพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งก็คือสัญญาณที่มีคาบเวลา $T = t_{on}$ ซึ่งค่าความถี่สูงสุดจะเป็นตัวกำหนดย่านวัดของเครื่องวัดอีกทีหนึ่ง

โดยที่

$$t_{on} = R_1 \cdot C_1 \tag{3.2}$$

และ

$$f_{\max} = \frac{1}{T} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{t_{on}} \quad ; \quad T = t_{on} \tag{3.4}$$

$$= \frac{1}{R_1 \cdot C_1} \tag{3.5}$$

จากสมการที่ 3.5 จะได้ว่า

$$f_{\max} = \frac{1}{100 \times 10^6 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$= 100\ Hz$$

ค่าความเร็วลมหาได้จาก

$$v(t) = \frac{ds}{dt} \tag{3.6}$$

เมื่อมีการเคลื่อนที่แบบวงกลม ดังนั้น

$$v(t) = 2\pi r \frac{dR}{dt} \quad ; R \text{ คือ จำนวนรอบ} \tag{3.7}$$

$\frac{dR}{dt}$ คือ จำนวนรอบต่อเวลา ในที่นี้กำหนดให้เป็นความถี่ (f) จะได้ว่า

$$v = 2\pi r f \tag{3.8}$$

และจากสมการที่ 3.1

$$V_o(t) = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} s(t)dt \tag{3.9}$$

จะได้ว่า

$$V_o = f \cdot 5t_{on} \quad ; \quad s(t) = 5 \tag{3.10}$$

เพราะฉะนั้น

$$f = \frac{V_o}{5t_{on}} \tag{3.11}$$

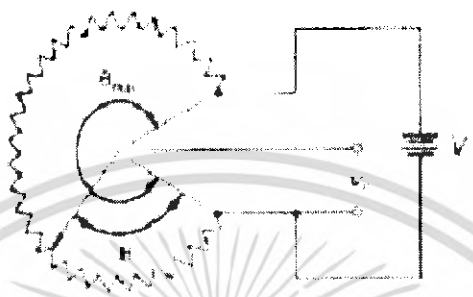
จากสมการที่ 3.8 และ 3.11 จะได้ค่าความเร็วลมดังนี้

$$v = \frac{2\pi r}{5} \cdot \frac{V_o}{t_{on}} \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เครื่องวัดทิศทางลม

เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดทิศทางลม โดยจะใช้โพเทนทิโอมิเตอร์ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเชิงมุม ซึ่งมีคุณสมบัติ คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงตามมุมที่เปลี่ยนไป โดยที่การเปลี่ยนแปลงมุมนั้นจะส่งผลให้ความต้านทานภายในโพเทนทิโอมิเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน โดยที่การเปลี่ยนแปลงนั้นจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น



รูปที่ 3.5 โพเทนทิโอมิเตอร์

พิจารณาการแบ่งแรงดันของวงจร จะได้ว่า

$$V_o = \frac{\theta}{\theta_{\max}} \cdot V \tag{3.13}$$

เมื่อ V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโพเทนทิโอมิเตอร์

V_o คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต

θ คือ มุมที่เปลี่ยนแปลง

$\theta_{\max}$ คือ มุมสูงสุดของโพเทนทิโอมิเตอร์

สำหรับโพเทนทิโอมิเตอร์ที่ใช้กับเซ็นเซอร์ตัวนี้จะมีค่าความต้านทานสูงสุด ณ มุมสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 กิโลโอห์ม โดยที่ป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 โวลต์ ให้กับโพเทนทิโอมิเตอร์ ซึ่งจะทำให้ได้แรงเคลื่อนเอาต์พุตมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณ

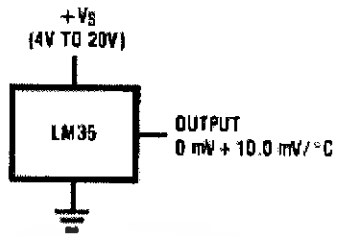
ดังนั้นทิศทางหรือมุมที่ได้จะมีค่าดังต่อไปนี้

$$\theta = \frac{V_o}{V} \cdot \theta_{\max} \tag{3.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ

เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิจะใช้ไอซีเบอร์ LM35 ซึ่งให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิที่เป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6 วงจรเบื้องต้นสำหรับ LM35 วัดอุณหภูมิในช่วง-50 ถึง 150 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะของ LM35

1.ให้ค่าออกมาในหน่วยขององศาเซลเซียส

2.เอาต์พุตมีค่า 10 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส

3.มีความแน่นอน 0.5 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิห้อง

4.มีย่านวัดสูงสุดในช่วง -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส

5.เหมาะสำหรับการควบคุมระยะไกล

6.ราคาไม่แพง

7.ทำงานที่ช่วงแรงเคลื่อนไฟฟ้า 4 ถึง 20 โวลต์

สำหรับวงจรปรับสภาพสัญญาณจะใช้ในการขยายสัญญาณ โดยใช้ออปแอมป์ 3 ตัว ซึ่งจะเป็นวงจรขยายสัญญาณที่ใช้สำหรับเครื่องมือวัดในงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน อิมพีแดนซ์อินพุตที่มีค่าต่ำๆให้มีค่าสูงขึ้นและสามารถปรับอัตราขยายได้ เพียงตัวต้านทานเพียงตัวเดียว

ในการสร้างและการออกแบบวงจรจะพิจารณาจากสมการเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 3.7 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$V_{out} = \left(1+\frac{2R_1}{Rg}\right)\cdot\left(\frac{R_3}{R_1}\right)\cdot\left(V_{in}-V_{ref}\right) \qquad (3.15)$$

โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- ต้องการวัดอุณหภูมิในช่วง -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส
- เอาต์พุตของเซ็นเซอร์ อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.50 โวลต์
- แรงเคลื่อนเอาต์พุตมีค่าจาก 0 ถึง 5 โวลต์

นำเงื่อนไขมาเขียนเป็นสมการเทียบกับสมการเส้นตรงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = mV_{in} + k \tag{3.16}$$

จะได้ว่า

$$0 = m(0.02) + k \tag{3.17}$$

$$5 = m(0.50) + k \tag{3.18}$$

แก้สมการได้ $m = 10.416$

และ $k = -0.208$

เพราะฉะนั้น

$$V_{out} = (10.416) \cdot V_{in} - 0.208 \tag{3.19}$$

หรือ

$$V_{out} = 10.416 \cdot (V_{in} - 0.02) \tag{3.20}$$

นำสมการที่ 3.12 เทียบกับ สมการที่ 3.7 โดยกำหนดให้ $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \ \ k\Omega$

จะได้ว่า

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{Rg}\right) \cdot \left(V_{in} - V_{ref}\right) \tag{3.21}$$

และ

$$G = 10.416 = \left(1 + \left(\frac{20 \times 10^3}{Rg}\right)\right) \tag{3.22}$$

เพราะฉะนั้น

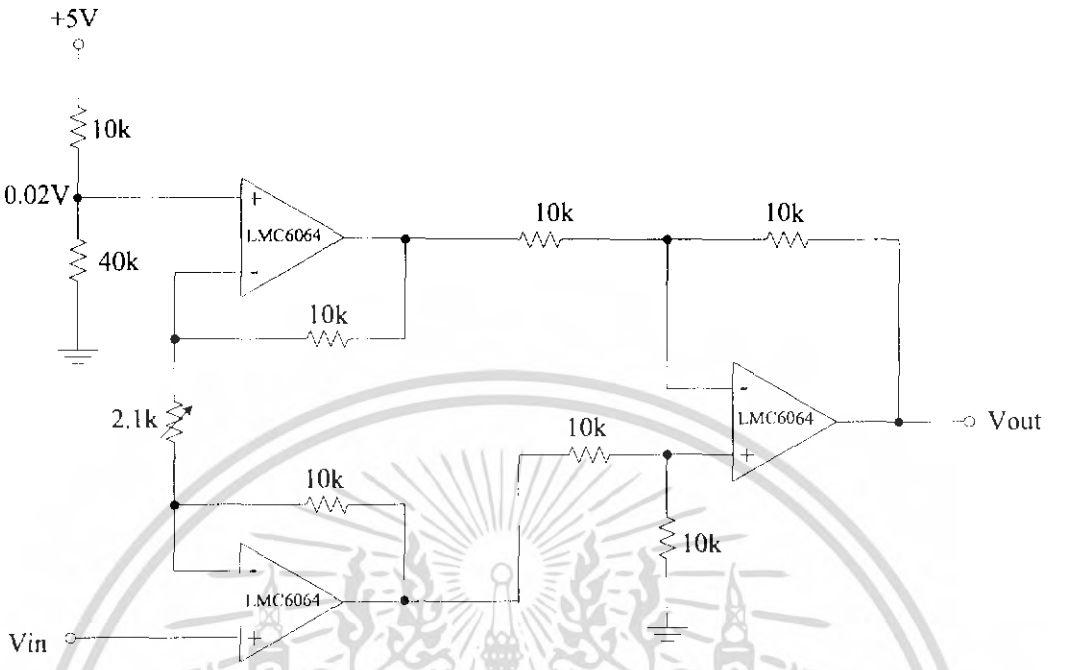
$$Rg = 2.124 \ \ k\Omega$$

และ

$$V_{ref} = 0.02 \ \ V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้วงจรที่ใช้สำหรับปรับสภาพสัญญาณดังนี้



รูปที่ 3.7 วงจรปรับสภาพสัญญาณที่ใช้สำหรับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Three Op-amp)

ค่าของอุณหภูมิหาได้จาก

$$V_{in} = (10\times10^{-3})T_{(^{\circ}C)} \tag{3.23}$$

ดังนั้น

$$T_{(^{\circ}C)} = V_{in}\times10^{2} \tag{3.24}$$

จากสมการที่ 3.20

$$V_{out} = 10.416\cdot\left(V_{in}-0.02\right)$$

จะได้ว่า

$$V_{in} = \left(\frac{V_{out}}{10.416}\right)+0.02 \tag{2.25}$$

และจากสมการที่ 2.24 และ 2.25 จะได้ว่า

$$T_{(^{\circ}C)} = 10^{2}\left(\left(\frac{V_{out}}{10.416}\right)+0.02\right) \tag{3.26}$$

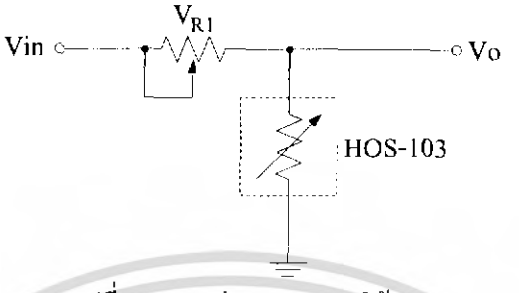
เพราะฉะนั้น

$$T_{(^{\circ}C)} = 9.6V_{out}+2 \tag{2.27}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ตัวตรวจวัดความชื้น

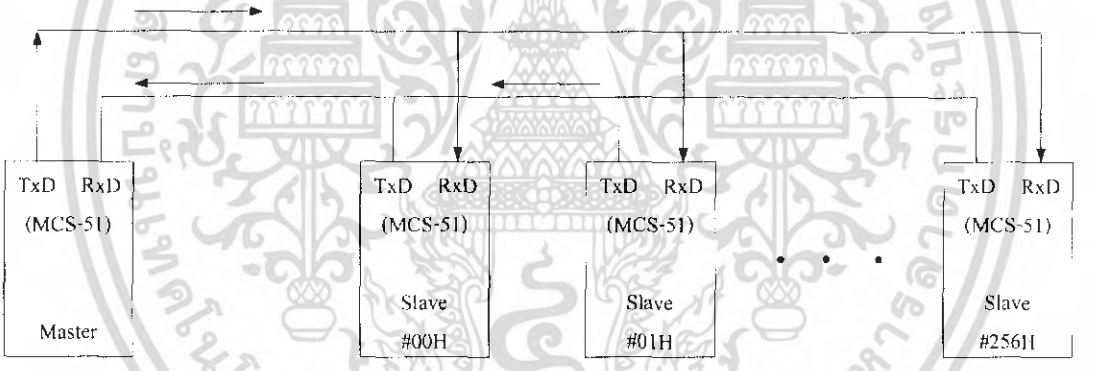
ใช้ไอซีวัดความชื้นเบอร์ HOS-103 ซึ่งมีคุณสมบัติเปลี่ยนค่าความต้านทานตามวัดความชื้นได้ในช่วง 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความต้านทานสูงสุดที่ 10 เมกกะโอห์ม โดยมีลักษณะการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การต่อ HOS-103 ใช้งาน

3.3 การส่งและรับข้อมูล

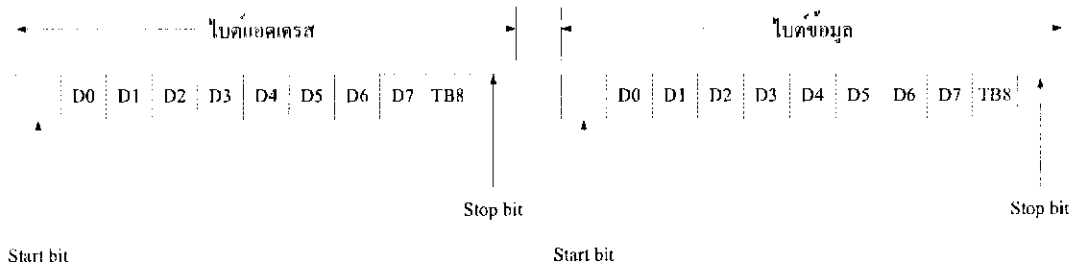
การส่งและรับข้อมูลจะมีการเชื่อมต่อแบบมัลติโปรเซสเซอร์ โดยที่มีตัวแม่ 1 ตัว เป็นตัวส่งข้อมูลและมีตัวลูกเป็นตัวรับข้อมูล ซึ่งสามารถมีได้ถึง 256 ตัว ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อแบบมัลติโปรเซสเซอร์

รูปแบบการส่งข้อมูลจะต้องส่งข้อมูลส่วนที่เป็นแอดเดรสไบต์ไปก่อนแล้วตามด้วยดาต้าไบต์ ซึ่งตัวลูกเป็นตัวรับโดยจะได้รับข้อมูลเหมือนกันทุกๆตัว แต่จะสามารถรับเอาข้อมูลที่มีแอดเดรสตรงกับตัวเองเท่านั้น ในการส่งข้อมูลแบบนี้จะส่งข้อมูลทีละ 9 บิต โดยมีบิต TB8 ต่อท้าย ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าไบต์ไหนคือแอดเดรสไบต์ และไบต์ไหน คือดาต้าไบต์ โดยมีรูปแบบการส่งข้อมูล ดังรูปที่ 3.10

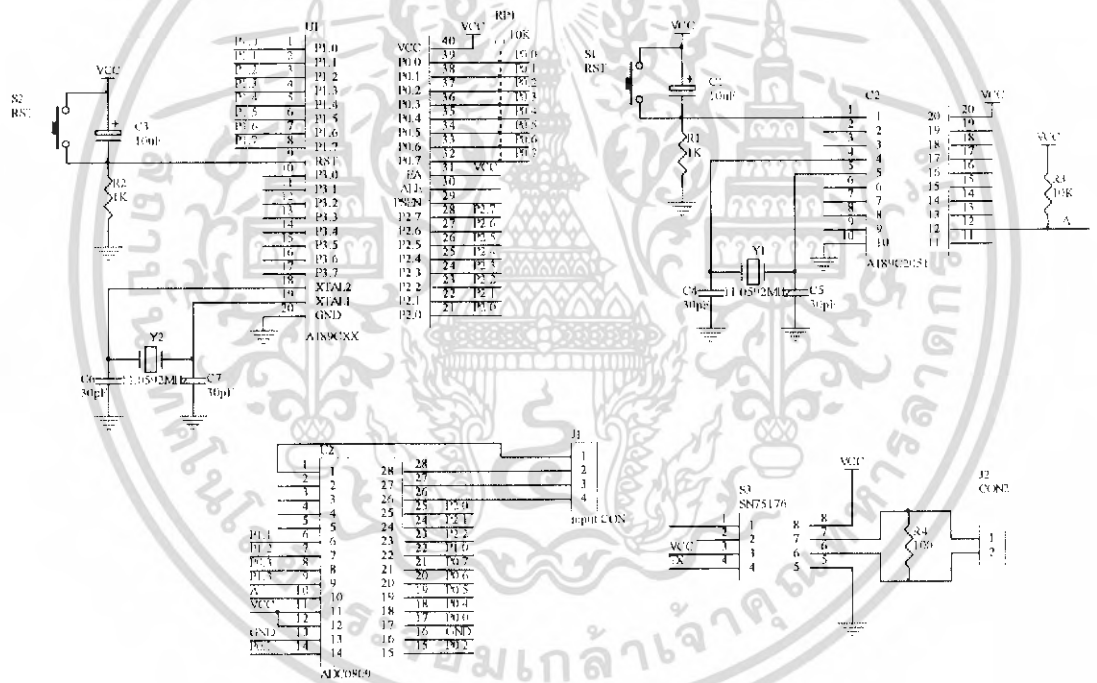
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รูปแบบการส่งข้อมูลแบบมัลติโปรเซสเซอร์

3.4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและมัลติเพล็กซ์

กระบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อกและมัลติเพล็กซ์นี้ จะเราใช้ไอซีเบอร์ ADC0809 ซึ่งจะมีคุณสมบัติทั้งสองนี้ และสามารถรับอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อกได้ถึง 8 อินพุตโดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการแปลง และเลือกอินพุตที่ต้องการจะแปลงได้ โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างกันดังรูปที่ 3.11

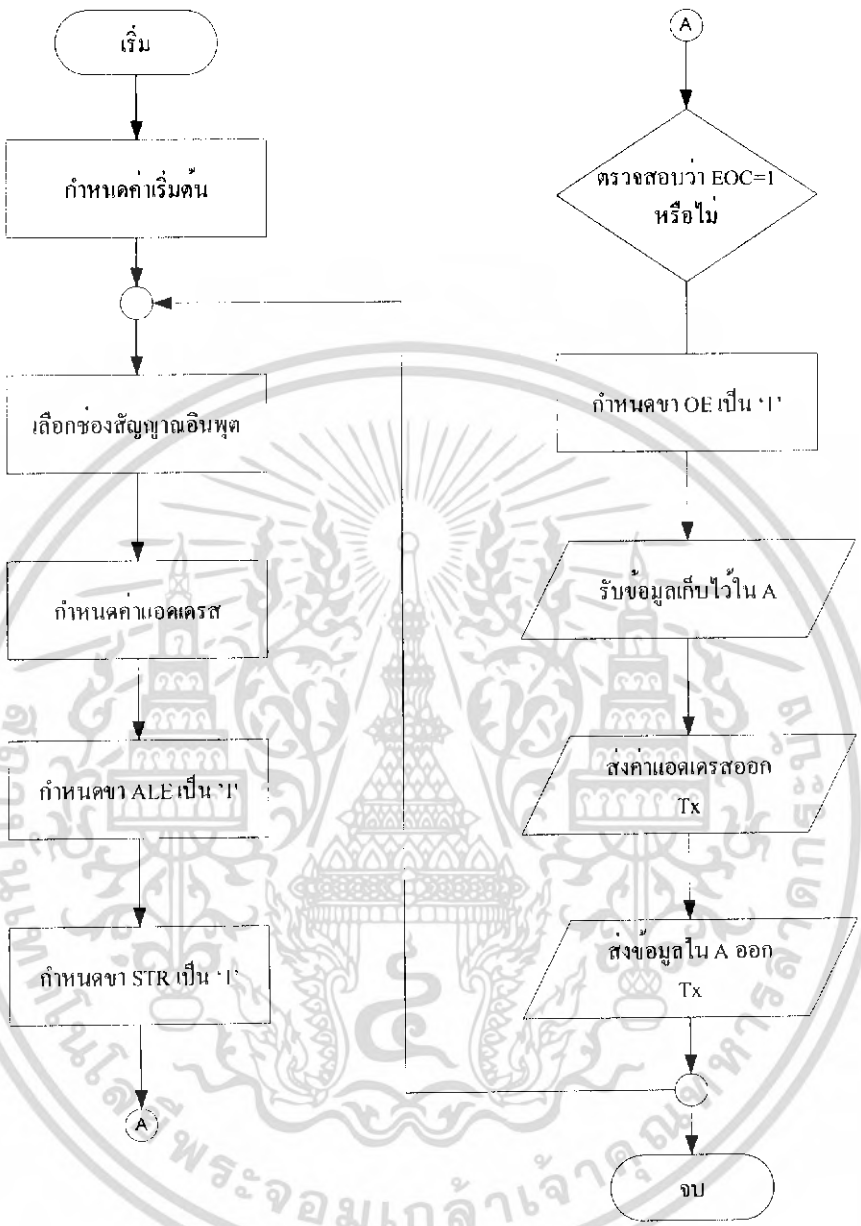


รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อ ADC0809 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการแปลงจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกช่องสัญญาณอินพุตของไอซี ADC0809 ที่ต้องการแปลงก่อนแล้วจึงจะควบคุมลำดับขั้นตอนการแปลง เมื่อทำการแปลงเสร็จแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะรับค่าเข้ามาทางอินพุตพอร์ตแล้วส่งออกพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรเลอร์ โดยการเลือกช่องสัญญาณอินพุตของไอซี ADC0809 จะเลือกได้ทีละช่องตามลำดับกันไปจนครบ ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ออกมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์มัลติเพล็กซ์เรียงกันมาตามลำดับซึ่งโฟลว์ชาร์ตการโปรแกรมควบคุมการแปลงแสดงดังรูปที่ 3.12

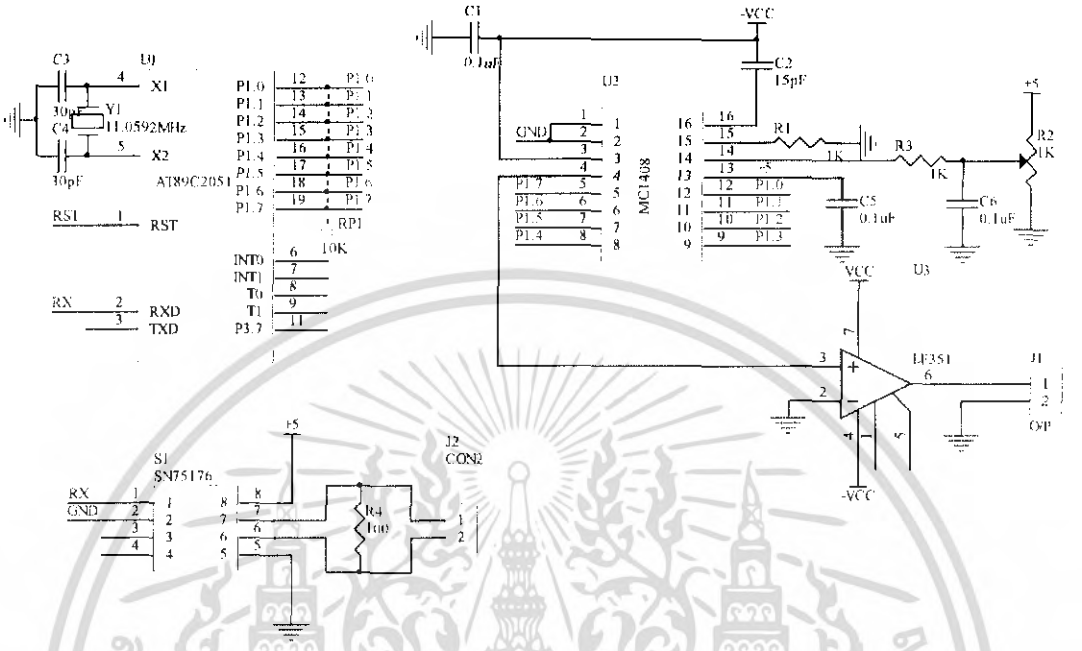


รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมการควบคุมการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

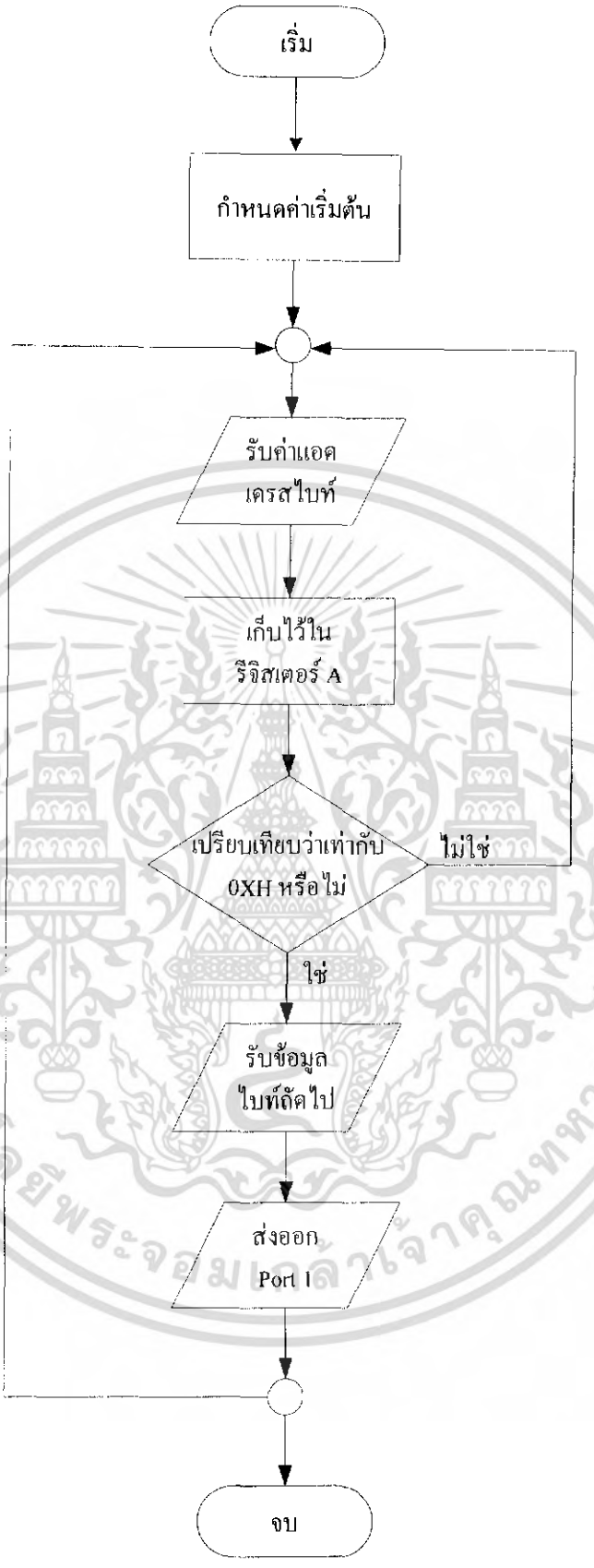
การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกจะใช้ ไอซีเบอร์ DAC0808 เป็นตัวแปลงโดยรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทางฝั่งรับ ซึ่งมีการเชื่อมต่อและการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อ DAC0808 กับไมโครคอนโทรลเลอร์และการต่อใช้งาน

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก จะมีวงจรที่ใช้ในการแปลง 4 ชุด โดยจะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เป็นตัวรับข้อมูลและมีการเชื่อมต่อกันแบบมัลติโปรเซสเซอร์ โดยที่นั้นแต่ละตัวจะมีแอดเดรสที่ต่างกัน โดยที่แต่ละชุดจะเลือกรับข้อมูลที่มีแอดเดรสตรงกับตัวมันเท่านั้น แล้วส่งไปยังไอซี DAC0808 เพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งจะเป็นการดีมัลติเพล็กซ์ในขณะเดียวกัน ซึ่งโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีแอดเดรสต่างกันแสดงดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

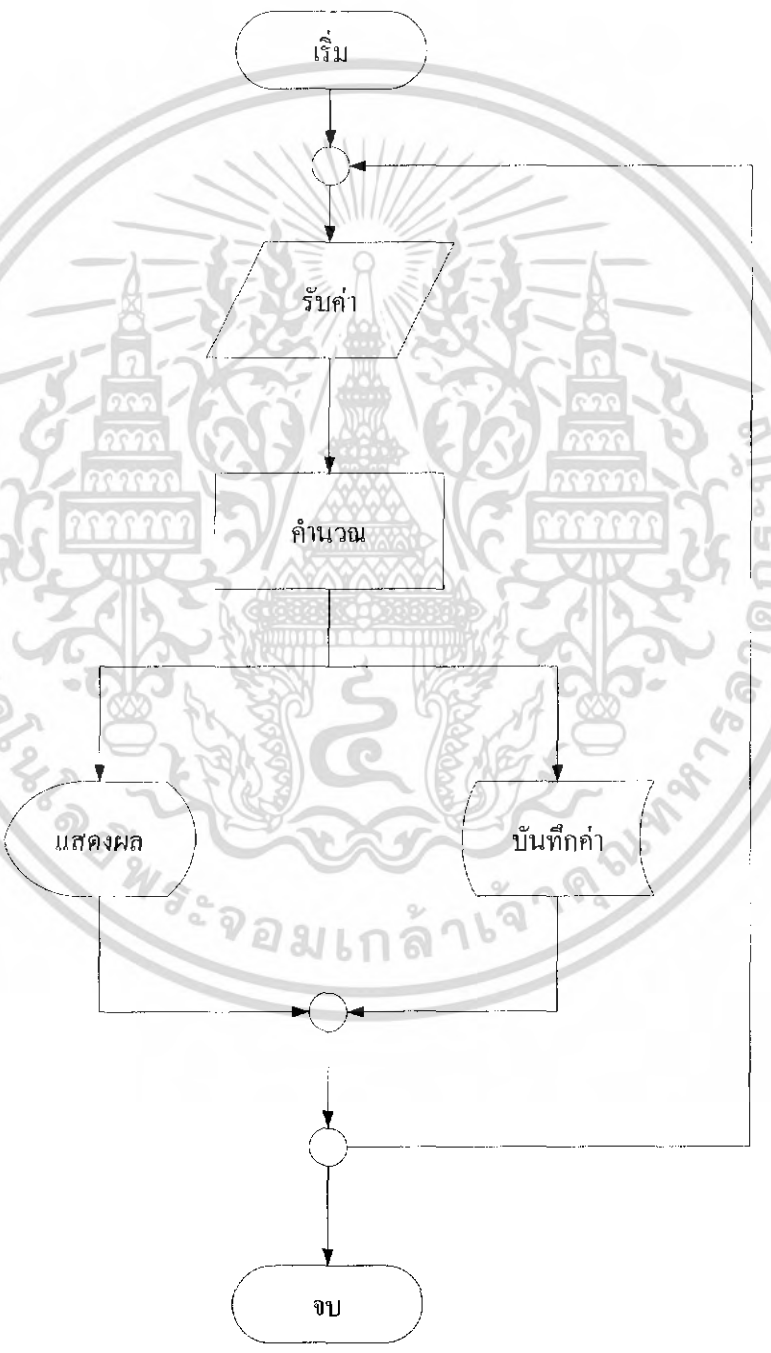


รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ฝั่งรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

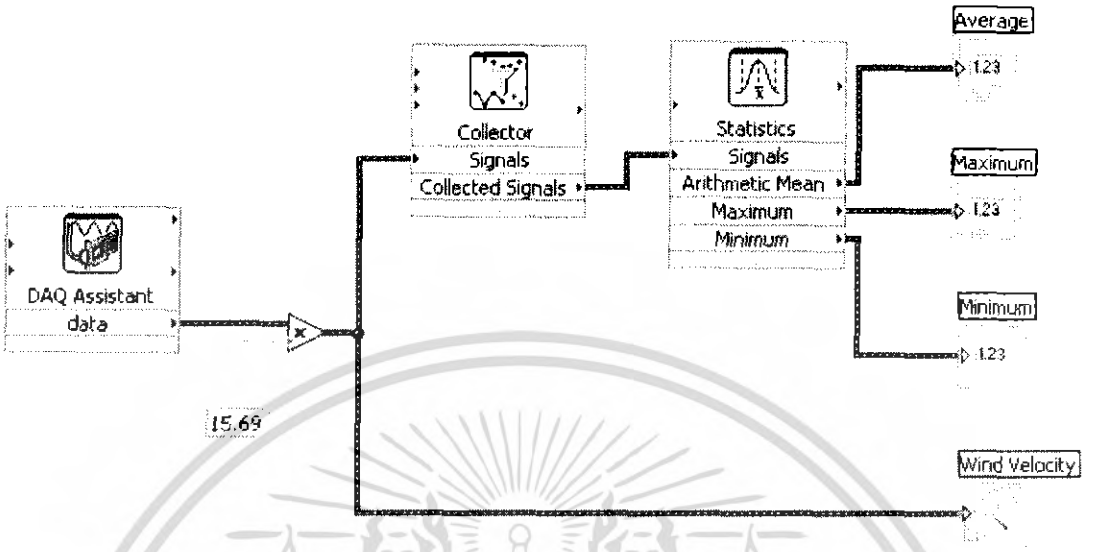
3.6 การแสดงผล

การแสดงผลของการวัดค่าจะแสดงผลโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ง่ายและเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ในการเขียนโปรแกรมจะมีโปรแกรมหลัก 4 โปรแกรม คือโปรแกรมของการแสดงผลของอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางลม ซึ่งกระบวนการประมวลผลจะคล้ายๆกัน แต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการคำนวณ ซึ่งจะต้องมีกระบวนการคำนวณตามที่ออกแบบไว้ดังข้างต้น

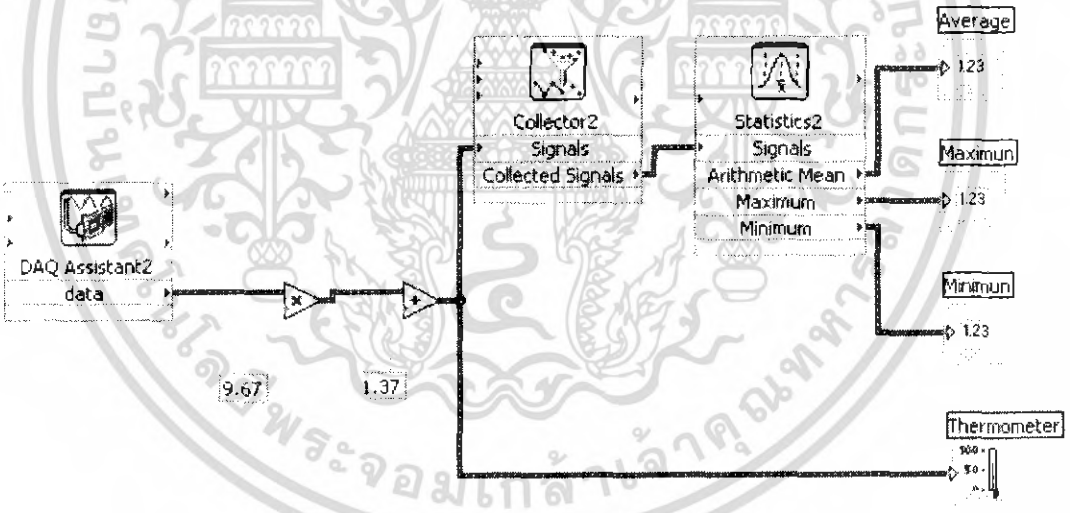


รูปที่ 3.15 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

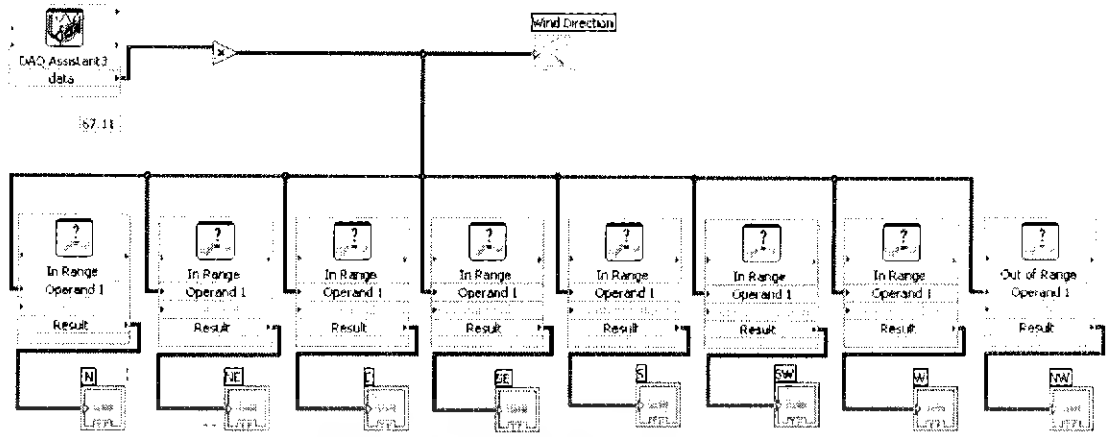


รูปที่ 3.16 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลของการวัดความเร็วลม

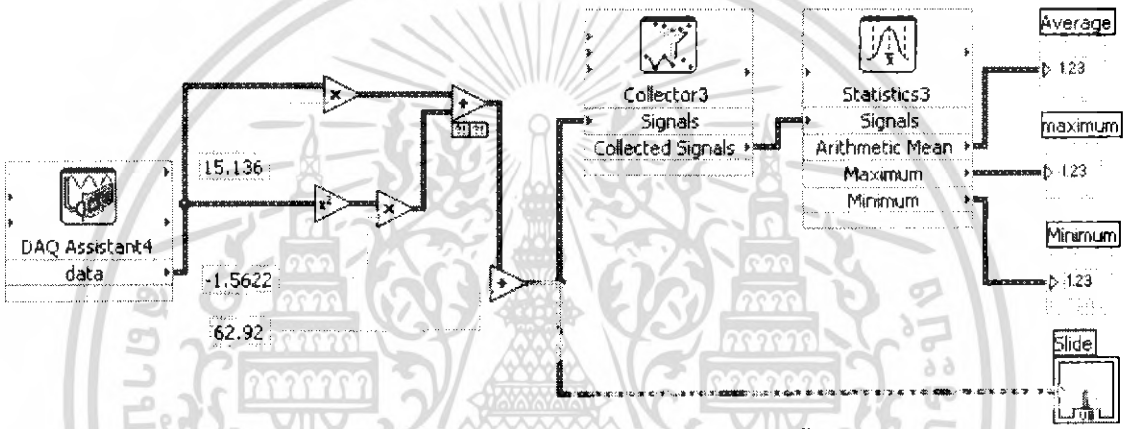


รูปที่ 3.17 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลของการวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลของการวัดทิศทางลม

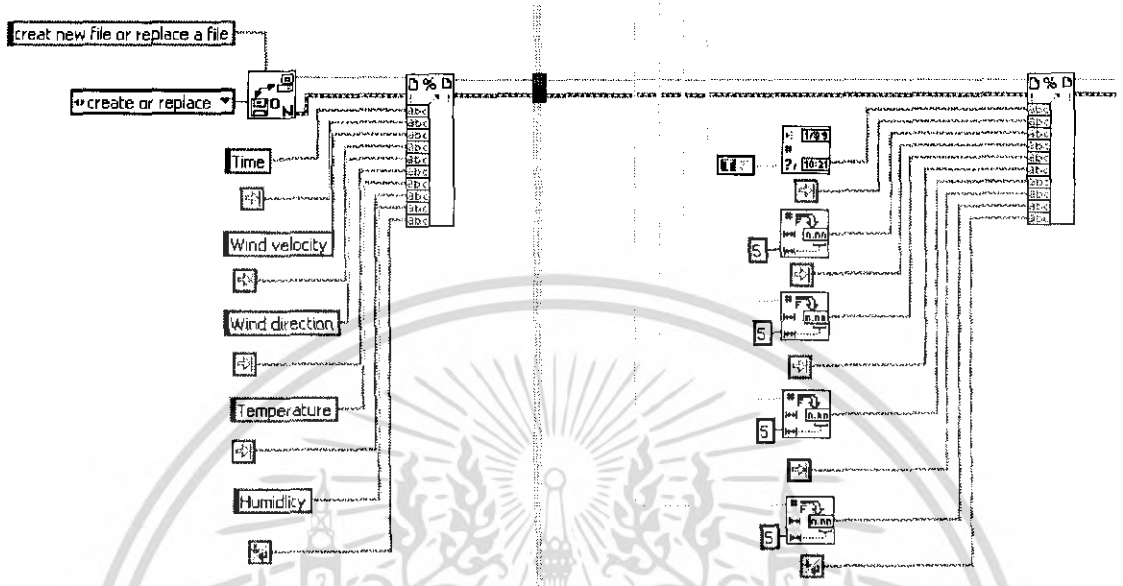


รูปที่ 3.19 โปรแกรมที่ใช้แสดงผลการวัดความชื้น

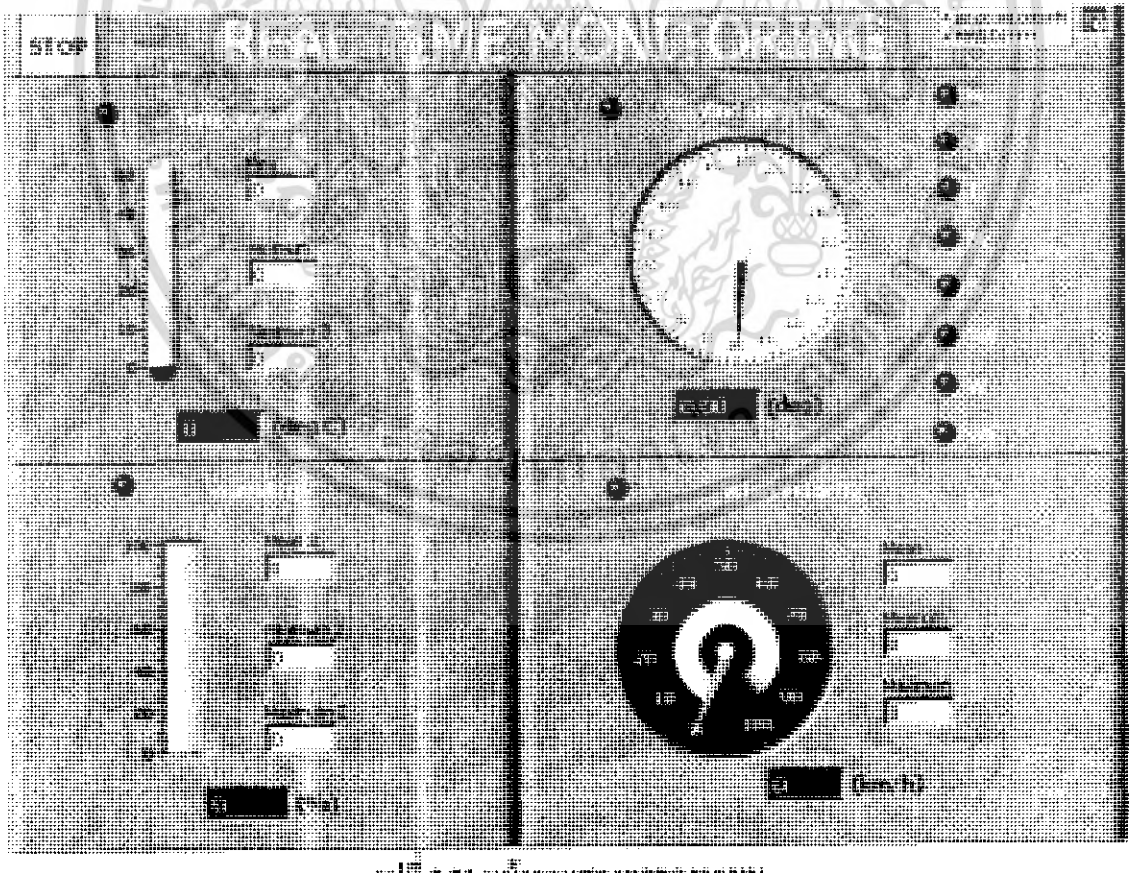
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลในโปรแกรม LabVIEW นี้ โปรแกรมจะทำการบันทึก และโอนถ่ายข้อมูลไปยังโปรแกรม Microsoft Excel



รูปที่ 3.20 โปรแกรมสำหรับการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.21 หน้าแสดงผลของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การปรับสภาพสัญญาณสำหรับเซ็นเซอร์วัดความเร็วลม ด้วยวงจรแปลงความเป็นแรงดันไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

1.เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตและแรงดันเอาต์พุต

2.เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของไอซี CD14538BE

3.เพื่อเปรียบเทียบและพิจารณาผลที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อวงจรตามรูปที่ 3.4

2.ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์

3.ปรับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด 5 โวลต์พีค (Volt peak) ความถี่ 100 เฮิรตซ์

4.อ่านค่าแรงดันเอาต์พุตจากโวลต์มิเตอร์ และบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 (ก)

5.นำออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตของวงจรเทียบกับสัญญาณที่ขา 6 ของไอซี CD14538BE อ่านค่าเวลา t_{on} ของสัญญาณทั้งสองแล้วบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 (ข)

6.ทำซ้ำข้อ 3 4 และ 5 ตามลำดับ โดยเพิ่มความถี่ในข้อ 2 ขึ้นทีละ 100 เฮิรตซ์ ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าแรงดันที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

7.คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุต เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ โดยคำนวณจากสมการ ต่อไปนี้ และบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

$$V_o = \frac{1}{T} 5 \cdot t_{on} \qquad (4.1)$$

เมื่อ $\frac{1}{T} = f_{in}$

$t_{on} = R_1 \cdot C_1$

8.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความเร็ว

9.คำนวณค่าความเร็วลม ตามที่สมการต่อไปนี้แล้วบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.2 (ค).

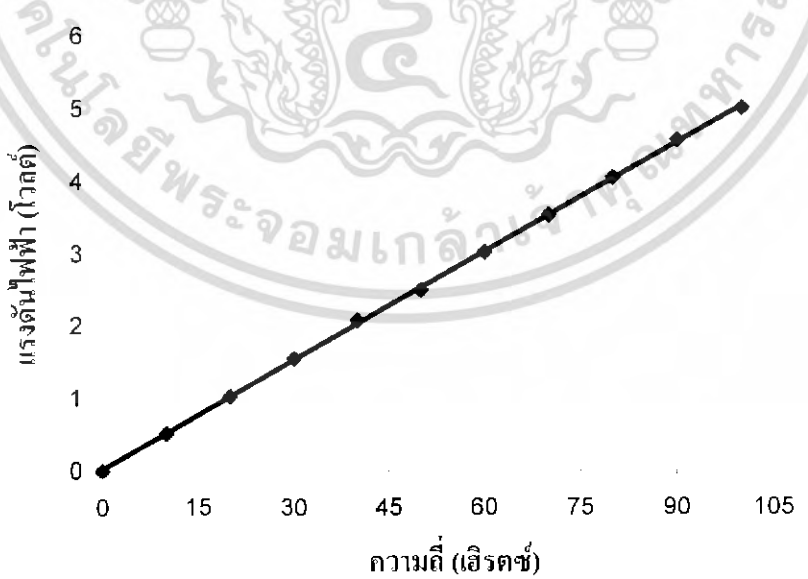
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{2\pi r}{5} \cdot \frac{V_o}{t_{on}} \quad (4.2)$$

ผลการทดลองที่ 1

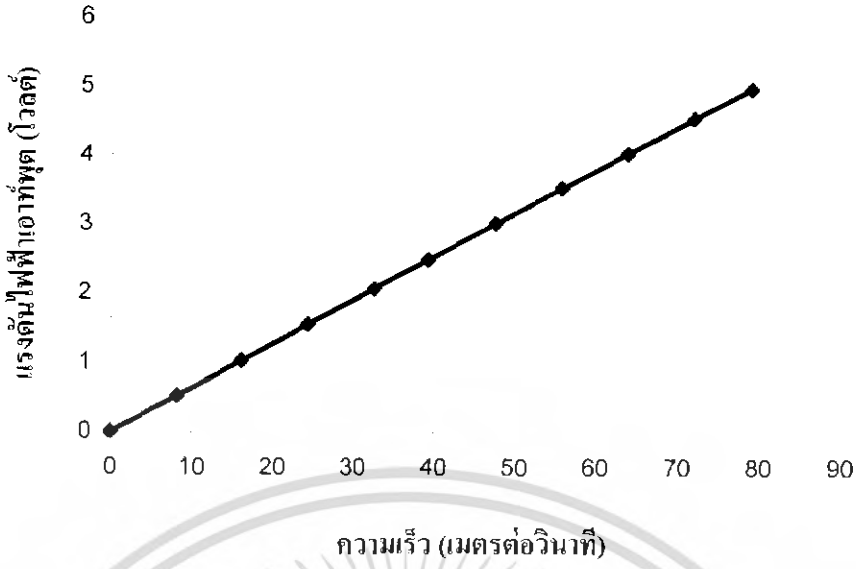
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1(ก)

ความถี่อินพุต (เฮิรตซ์)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์) (คำนวณ)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์) (ทดลอง)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)
0	0.00	0.00	0.00
10	0.50	0.52	8.16
20	1.00	1.03	16.17
30	1.50	1.55	24.33
40	2.00	2.08	32.65
50	2.50	2.50	39.25
60	3.00	3.03	47.57
70	3.50	3.55	55.73
80	4.00	4.06	63.74
90	4.50	4.58	71.90
100	5.00	5.02	78.81



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

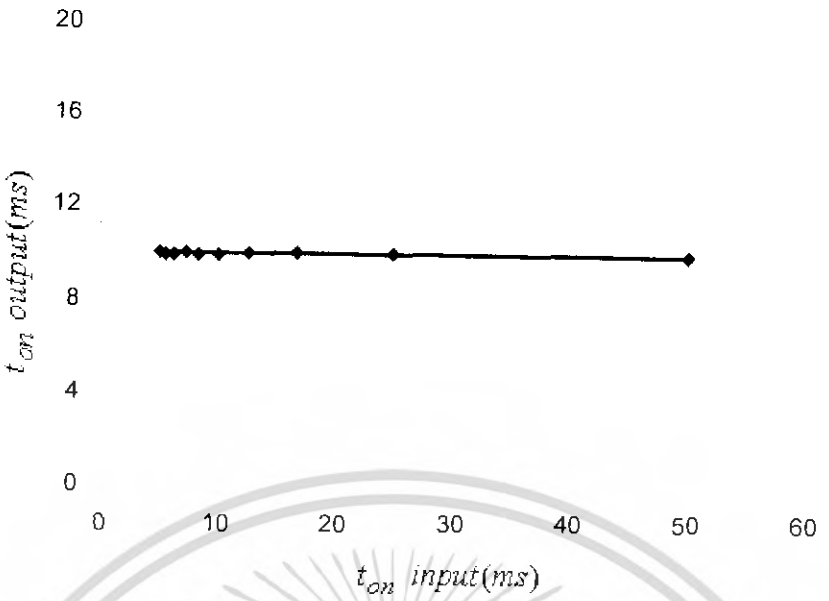


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความเร็ว

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1(ข)

t_{on} ของสัญญาณอินพุต (ms)	t_{on} ของสัญญาณเอาต์พุต (ms)
50.00	10.00
25.00	10.10
16.66	10.10
12.50	10.10
10.00	10.00
8.33	10.00
7.14	10.10
6.25	10.00
5.55	10.00
5.00	10.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาของสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต

การทดลองที่ 2 การใช้โพเทนทิโอมิเตอร์เป็นเซ็นเซอร์วัดทิศทางลม

วัตถุประสงค์

1. หาความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เปลี่ยนไป กับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต
2. หาตำแหน่งของมุมที่เหมาะสมกับทิศทางต่างๆ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.5
2. หมุนปรับค่าความต้านทานของโพเทนทิโอมิเตอร์ ให้ได้แรงดันที่โวลต์มิเตอร์เท่ากับ 0 โวลต์
3. ให้กำหนดตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่ง 0 องศา
4. หมุนแกนหมุนของโพเทนทิโอเตอร์ไปทางขวาทีละ 22.5 องศา แล้วอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ และบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2
5. ทำซ้ำข้อ 4 จนครบรอบ 360 องศา
6. เมื่อทำการทดลองในข้อ 1 ถึง ข้อ 5 เสร็จแล้ว จากข้อ 4 ให้หมุนแกนของโพเทนทิโอมิเตอร์ใหม่อีกครั้งโดยที่หมุนไปเรื่อยๆจนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ อีกครั้ง
7. อ่านค่ามุมที่ได้ และบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2 (ค่ามุมที่อ่านได้คือ $\theta_{\max}$)
8. คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าแล้วบันทึกค่าในตาราง โดยคำนวณจากสมการ

$$V_o = \frac{\theta}{\theta_{\max}} \cdot V \tag{4.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

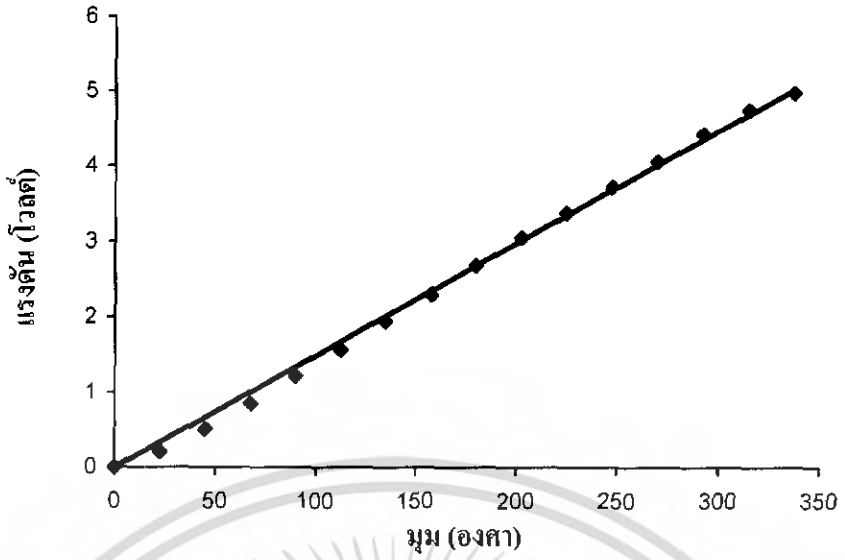
ผลการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

ทิศทาง/มุม (องศา)	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์) (คำนวณ)	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์) (ทดลอง)
0.00	0.00	0.00
22.50	0.33	0.21
45.00	0.66	0.51
67.50	0.99	0.85
90.00	1.32	1.22
112.50	1.65	1.57
135.00	1.98	1.95
157.50	2.31	2.30
180.00	2.64	2.69
202.50	2.97	3.06
225.00	3.31	3.39
247.50	3.64	3.73
270.00	3.97	4.07
292.50	4.30	4.44
315.00	4.63	4.76
337.50	4.96	4.99

มุมสูงสุด = 340 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับทิศทาง(มุม)

การทดลองที่ 3 *การหาคุณสมบัติของ LM35*

วัตถุประสงค์

1.เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของ LM35

2.เพื่อหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัด

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อวงจรตามรูปที่ 3.6

2.นำเทอร์โมมิเตอร์และตัว LM35 ใส่ในหลอดแก้ว แล้วใส่ไว้ในกาต้มน้ำไฟฟ้า

3.เทน้ำแข็งลงในกาต้มน้ำไฟฟ้า

4.ปรับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่า 5 โวลต์

5.เปิดสวิตช์กาต้มน้ำ อ่านค่าอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้า แล้วบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

6.ปรับความร้อนที่กาต้มน้ำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆที่ละ 10 องศาเซลเซียส อ่านค่าแรงดันไฟฟ้า แล้วบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

7.ทำซ้ำข้อ 6 จนอุณหภูมิมีค่า 100 องศาเซลเซียส

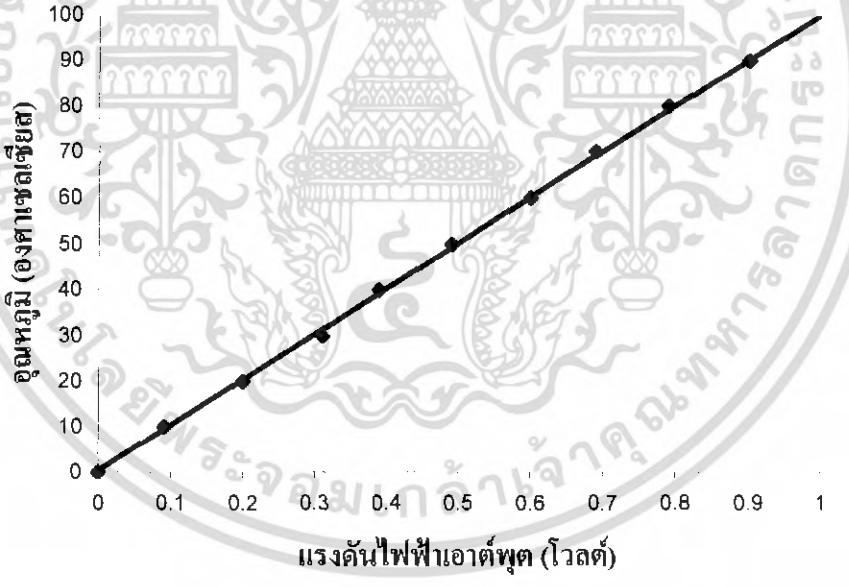
8.เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์)
0	0.00
10	0.09
20	0.20
30	0.31
40	0.39
50	0.49
60	0.60
70	0.69
80	0.79
90	0.90
100	1.01



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 การปรับเสถียรภาพสัญญาณสำหรับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรกับอุณหภูมิ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองกับค่าที่คำนวณ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.8
2. ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_1 ให้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์
3. ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_2 ให้มีค่าเท่ากับ 0.05 โวลต์ แล้วปรับค่า V_R เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์เท่ากับ แล้วบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4
4. เพิ่มแรงดันไฟฟ้า V_2 ขึ้นทีละ 0.05 โวลต์ จนถึง 1 โวลต์ แล้วบันทึกค่าลงในตาราง
5. คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต จากสมการต่อไปนี้ แล้วบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4

$$V_{out} = 10.416 \cdot (V_{in} - 0.02) \tag{4.4}$$

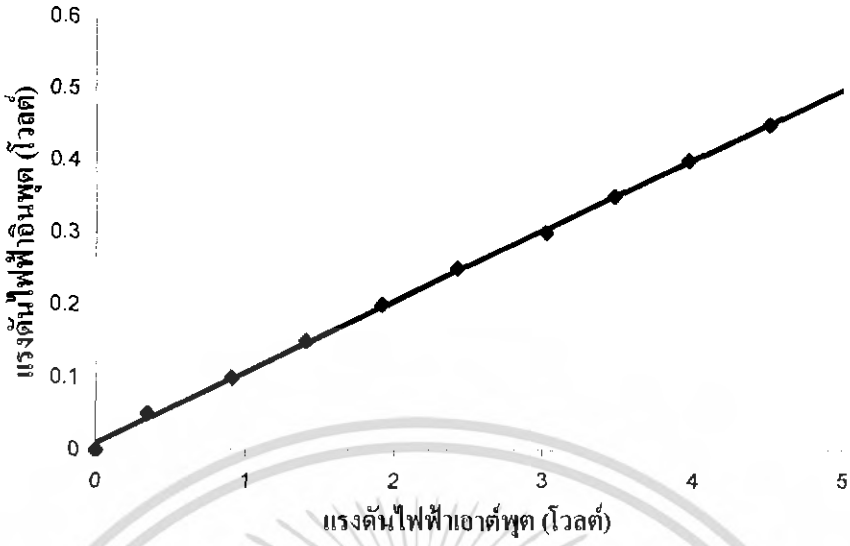
6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตกับเอาต์พุต
7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

ผลการทดลองที่ 4

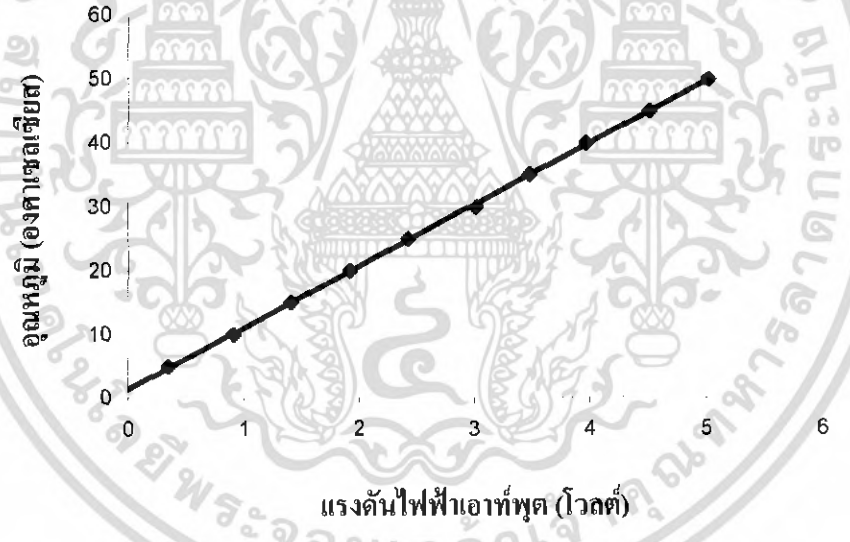
ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	แรงดันไฟฟ้าอินพุต V_2 (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต V_1 (โวลต์) (คำนวณ)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์) (ทดลอง)
0	0.00	0.00	0.00
5	0.05	0.31	0.35
10	0.10	0.83	0.91
15	0.15	1.35	1.41
20	0.20	1.87	1.92
25	0.25	2.39	2.43
30	0.30	2.91	3.02
35	0.35	3.43	3.48
40	0.40	3.95	3.97
45	0.45	4.47	4.51
50	0.50	4.99	5.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตกับเอาต์พุต



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5 การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัววัดความชื้น HOS-103

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ HOS-103

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำสำลีจุ่มน้ำพอหมาดๆไปหุ้มไว้ที่หัวของ HOS-103 และที่เครื่องวัดความชื้น อ่านค่าความชื้นจากเครื่องวัดความชื้น วัดค่าความต้านทาน แล้วบันทึกค่าในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5

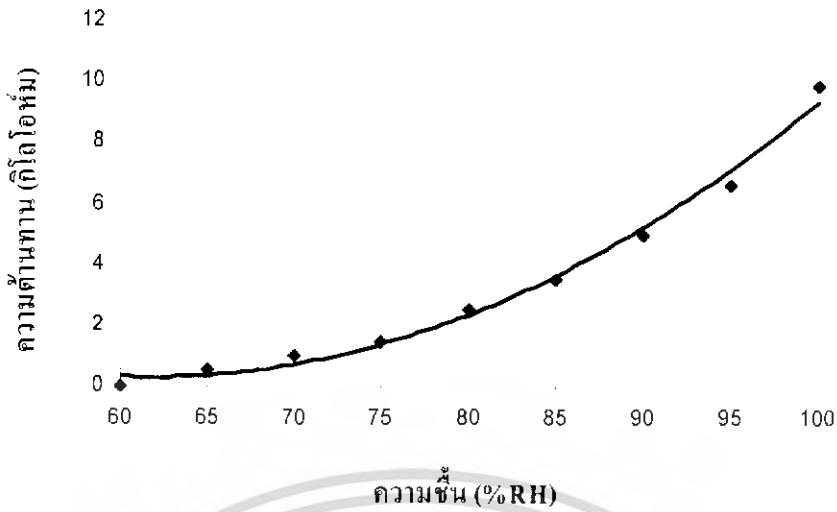
2. นำไดร์เป่าผมเป่าเบาๆจนค่าความชื้นเปลี่ยนแปลง แล้ววัดค่าความต้านทาน และบันทึกค่าลงในตาราง

ผลการทดลองที่ 5

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5

ความชื้น (%) RH	ความต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ความชื้น (%) RH	ความต้านทาน (กิโลโอห์ม)
55	0.00	80	2.53
60	0.00	85	3.52
65	0.51	90	4.98
70	0.98	95	6.62
75	1.47	100	9.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต้านทาน

การทดลองที่ 6 การเปลี่ยนค่าความชื้นเป็นสัญญาณไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับแรงดันไฟฟ้า

ลำดับขั้นการทดลอง

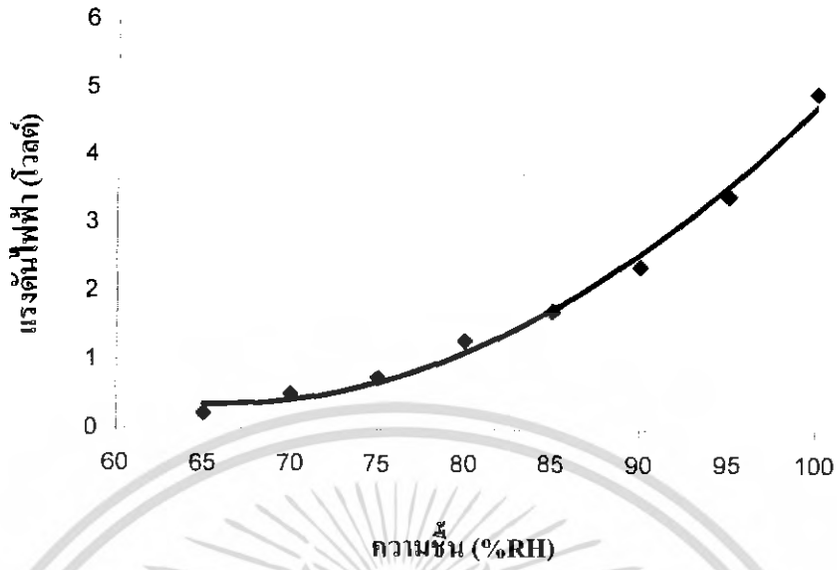
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.8
2. จ่ายไฟ 12 โวลต์ ให้กับวงจร
3. นำสำลีจุ่มน้ำพอหมาดๆไปหุ้มไว้ที่หัวของ HOS-103 และที่เครื่องวัดความชื้น อ่านค่าความชื้นจากเครื่องวัดความชื้น วัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต แล้วบันทึกค่าในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6
4. นำไดร์เป่าผมเบาๆสังเกตความชื้นและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่เปลี่ยนไป แล้วบันทึกค่าในตาราง

ผลการทดลองที่ 6

ตารางที่4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6

ความชื้น (%)RH	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความชื้น (%)RH	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
65	0.23	85	1.72
70	0.51	90	2.38
75	0.75	95	3.42
80	1.29	100	4.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความชื้น

การทดลองที่ 7 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและมัลติเพล็กซ์

วัตถุประสงค์

1.เพื่อทดสอบความถูกต้องในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.เพื่อทดสอบความถูกต้องในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อวงจรตามรูปที่ 3.11

2.ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ช่องสัญญาณอนาล็อกอินพุตดังนี้

ช่องสัญญาณที่ 0 = 0 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 1 = 5 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 2 = 0 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 3 = 5 โวลต์

3.เมื่อจ่ายไฟให้กับวงจรแล้ววัดสัญญาณที่ขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และขาเอาต์พุตของ RS-485

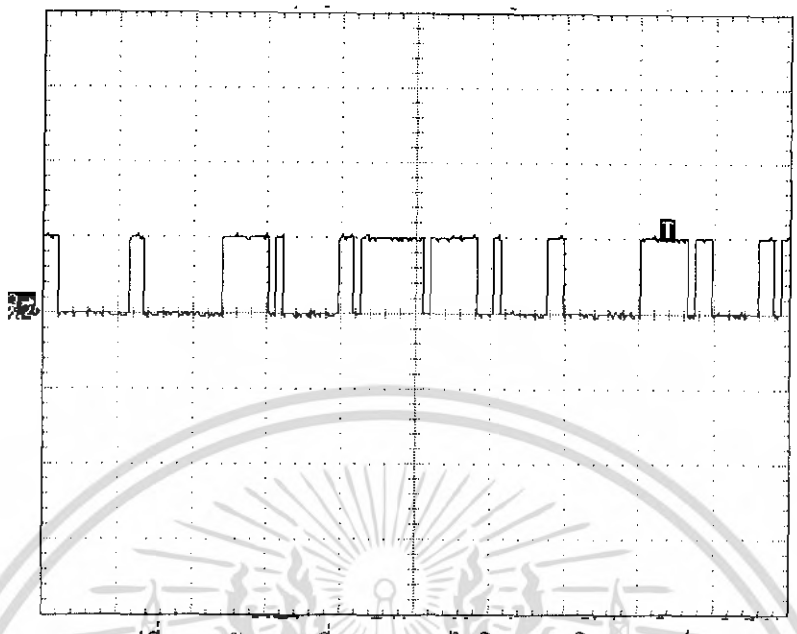
4.ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาอนาล็อกอินพุตของไอซี ADC0809 ให้ ช่องสัญญาณที่ 0 มีค่า 3 โวลต์ และช่องสัญญาณอื่นๆมีค่า 0 โวลต์ แล้ววัดสัญญาณเทียบกับขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์

5.ทำตามข้อ 4 โดยเปลี่ยนช่องสัญญาณเป็น 1 2 และ 3 ตามลำดับ

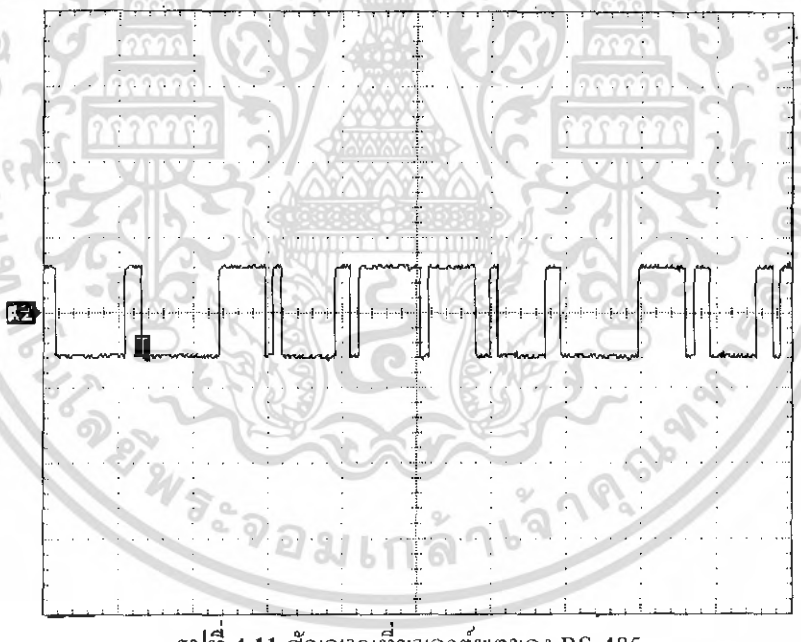
6.คำนวณค่าสัญญาณอนาล็อกจากสัญญาณดิจิตอลของแต่ละช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 7

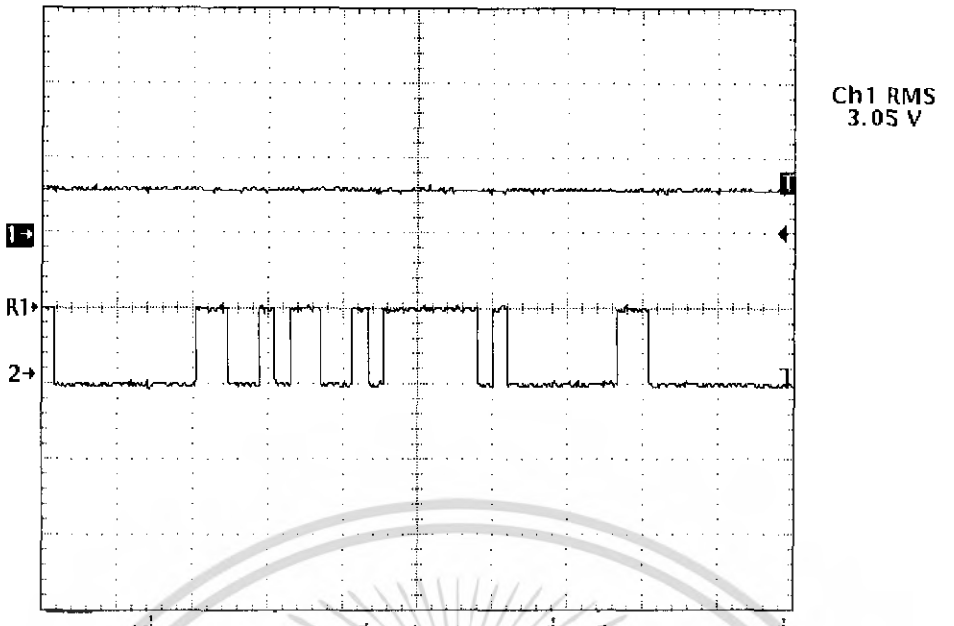


รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์

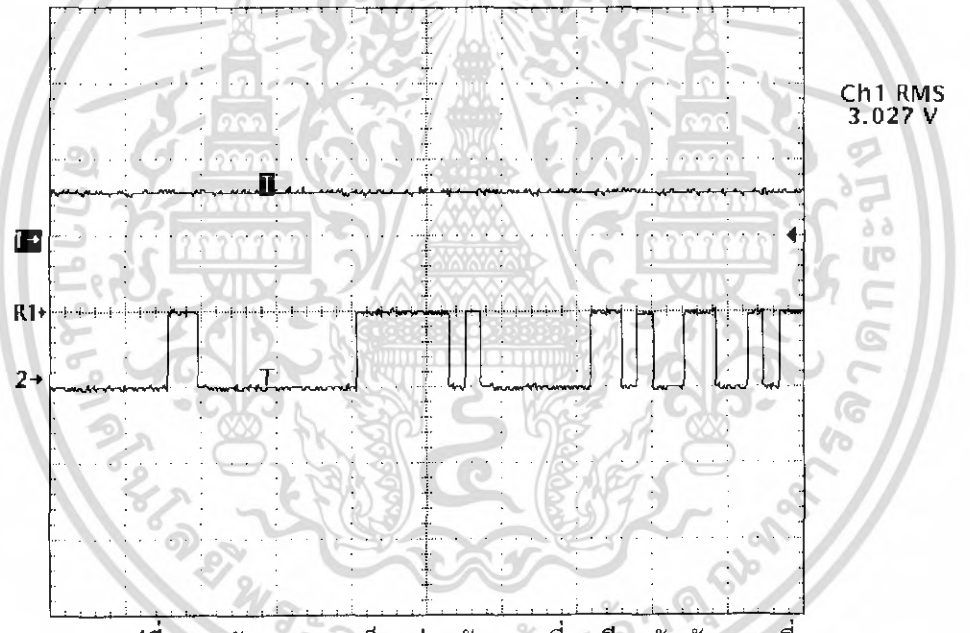


รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ขาเอาต์พุตของ RS-485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

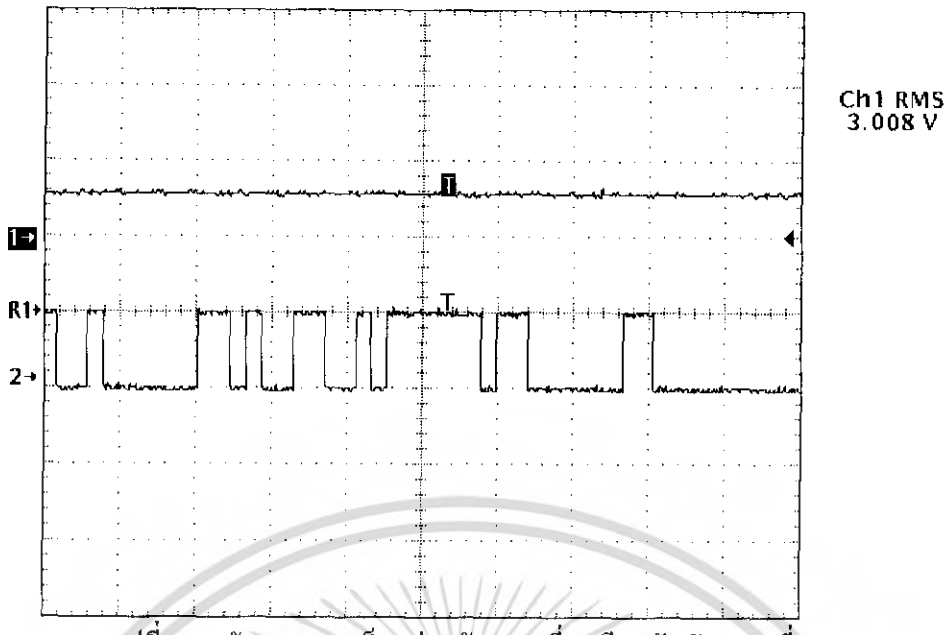


รูปที่ 4.12 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 0 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx

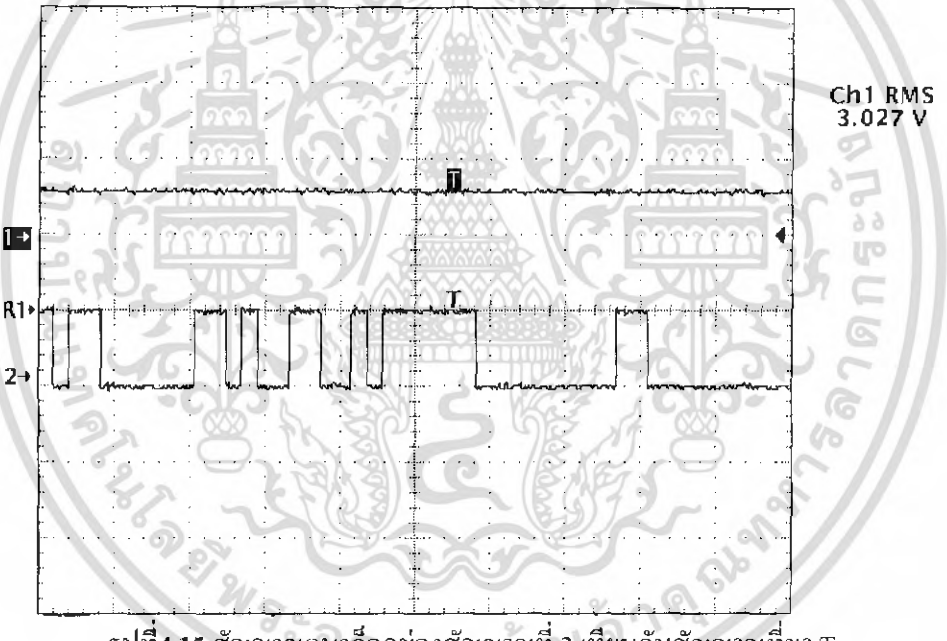


รูปที่4.13 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 1 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.14 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 2 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx



รูปที่4.15 สัญญาณอนาล็อกช่องสัญญาณที่ 3 เทียบกับสัญญาณที่ขา Tx

สัญญาณดิจิตอลของแต่ละช่องสัญญาณมีค่าเป็น '10011001' ดังนั้น สัญญาณอนาล็อกจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 2.988 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 8 การดีมัลติเพล็กซ์และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

วัตถุประสงค์

1.เพื่อทดสอบความถูกต้องในการดีมัลติเพล็กซ์

2.เพื่อทดสอบความถูกต้องในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ต่อวงจรตามรูปที่ 3.13

2.ปรับค่าแรงดันที่ช่องสัญญาณอนาล็อกอินพุตของ ADC0809 ให้มีค่าดังนี้

ช่องสัญญาณที่ 0 = 1 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 1 = 2 โวลต์

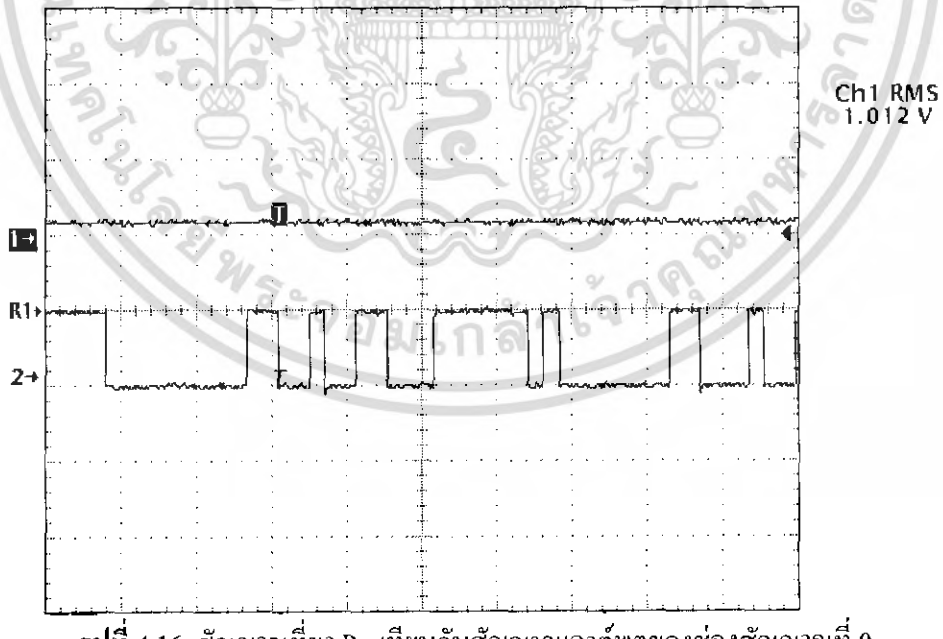
ช่องสัญญาณที่ 2 = 3 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 3 = 4 โวลต์

3.วัดสัญญาณที่ขา Rx ของไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับเอาต์พุตของ DAC0808 ของแต่ละช่องสัญญาณ

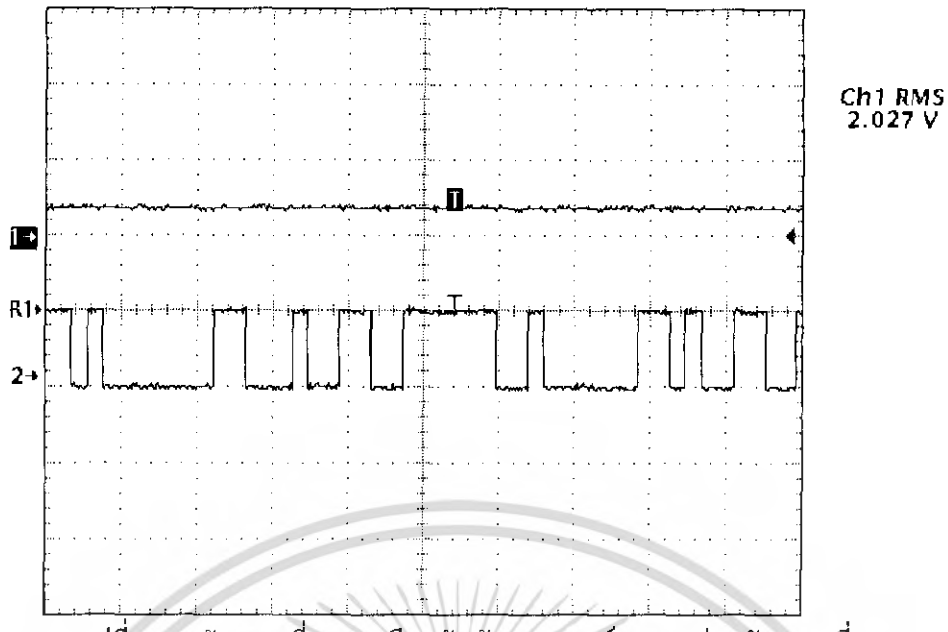
4.คำนวณค่าสัญญาณอนาล็อกจากสัญญาณดิจิตอลของแต่ละช่องสัญญาณ

ผลการทดลองที่ 8

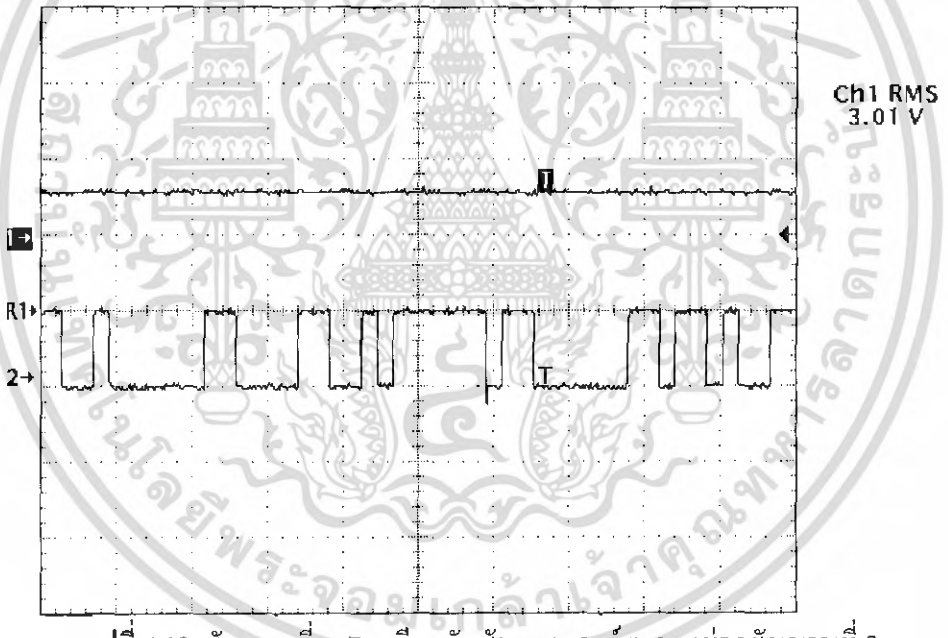


รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

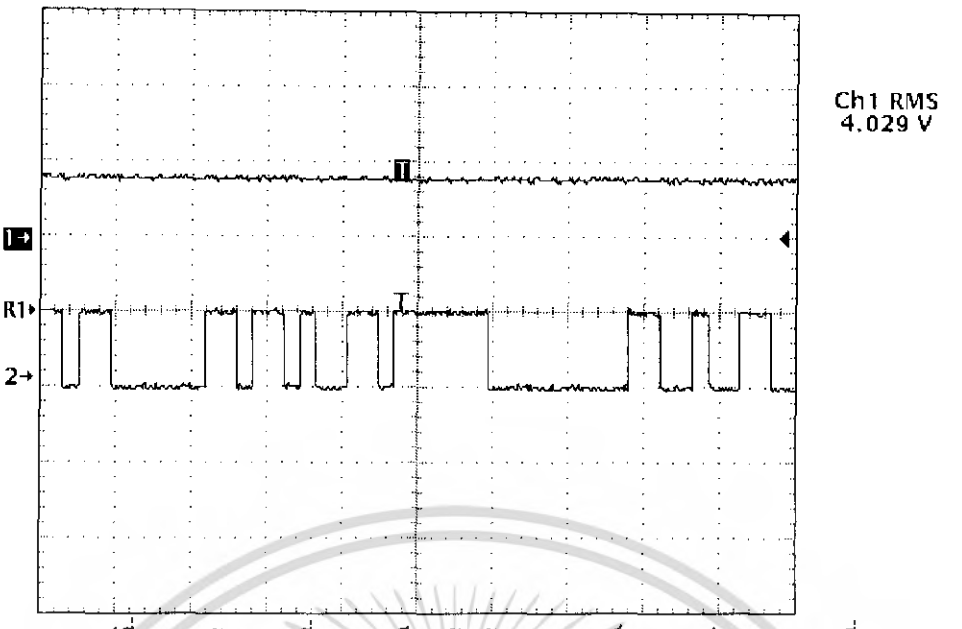


รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 1



รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 สัญญาณที่ขา Rx เทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่ 3

ค่าสัญญาณอนาล็อกของแต่ละแชนแนลมีค่าดังนี้

ช่องสัญญาณที่ 0 = '00110010' = 0.976 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 1 = '01100100' = 1.953 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 2 = '10011000' = 2.968 โวลต์

ช่องสัญญาณที่ 3 = '11001011' = 3.964 โวลต์

การทดลองที่ 9 การแสดงผลและการเก็บบันทึกข้อมูล

วัตถุประสงค์

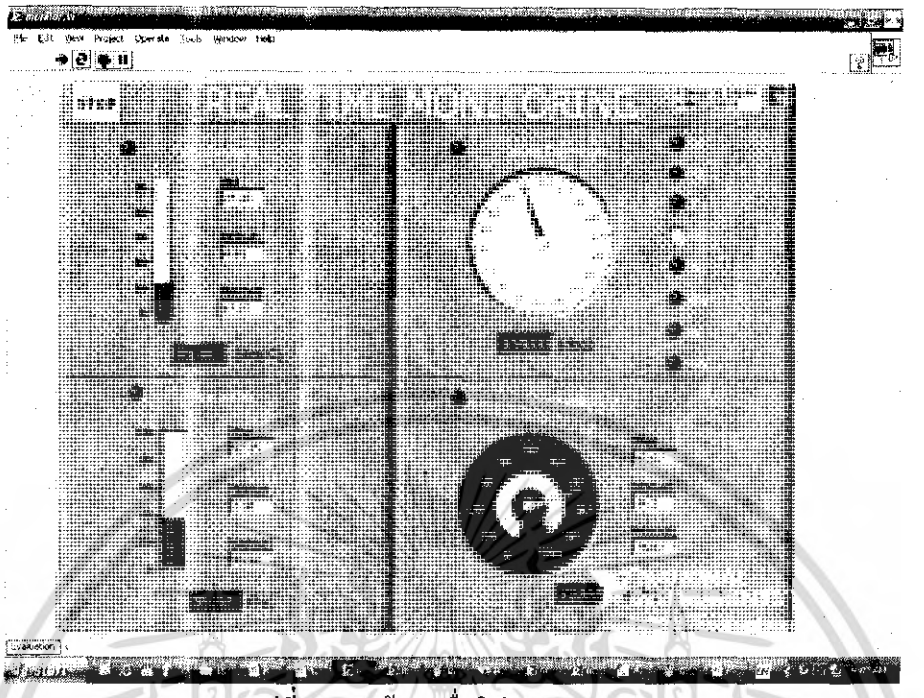
1.เพื่อทดสอบความถูกต้องในการแสดงผล

ลำดับขั้นการทดลอง

ป้อนสัญญาณอนาล็อกผ่านทาง DAQ Card ที่เชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้ช่องสัญญาณอินพุต A00 A01 A02 และ A03 ปรับเปลี่ยนค่าให้อยู่ในค่า 0 ถึง 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 9



รูปที่ 4.20 หน้าจอเมื่อโปรแกรมทำงาน

	A	B	C	D	E
1	Time	Wind velocity	Wind direction	Temperature	Humidity
2	########	30.43789	121.16487	30.73525	68.11694
3	########	32.55587	194.03644	27.02637	67.01483
4	########	30.6365	148.49426	4.83117	84.49374
5	########	34.93397	167.84127	46.82639	11.21296
6	########	53.75007	275.9883	38.05482	83.81186
7	########	71.15342	288.72359	32.71594	54.04002
8	########	43.10477	9.51504	10.85913	2.0619
9	########	24.58389	188.28402	47.3723	66.98132
10	########	65.14844	25.19412	10.73814	98.93833
11	########	26.13866	138.66032	26.17064	13.61442
12	########	58.96736	114.56212	7.94915	89.99928
13	########	65.99826	104.34647	40.19479	10.13391
14	########	53.80413	108.34107	39.43612	78.94963
15	########	28.57579	16.64774	47.2943	31.78966
16	########	51.02494	119.78133	31.85047	75.25612
17	########	15.90023	53.68621	36.94542	34.75679
18	########	14.28344	249.21677	40.26796	27.7867
19	########	76.6186	1.47359	5.24617	66.68944
20	########	68.13625	268.81322	12.70576	45.46577
21	########	72.67973	158.87388	11.40856	35.86889
22	########	69.11184	86.99032	12.08767	59.8771
23	########	34.7661	49.04199	10.33883	98.08897
24	########	48.69673	13.63647	47.60406	82.78954
25	########	31.02978	36.87323	37.19995	10.51999

รูปที่ 4.21 ตารางบันทึกค่าที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศระบบนี้ เป็นระบบที่ทำการวัดค่าทั้งหมด 4 ค่าด้วยกัน คืออุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และทิศทางลม โดยที่เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น และให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณอนาล็อก 0 ถึง 5 โวลต์ ซึ่งเป็นสัญญาณมาตรฐานในการวัดในงานอุตสาหกรรม ซึ่งย่านในการวัดของเซ็นเซอร์แต่ละตัวนั้น สามารถปรับแต่งย่านการวัดได้ตามต้องการ และตามความเหมาะสม ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานที่อยู่ในตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งในวิชาโครงงานวิศวกรรม 2 นี้ ได้ดำเนินการสร้างและทดลองเครื่องมือวัดและเซ็นเซอร์จำนวน 4 ตัว คือเครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ทิศทางลม ส่วนการมัลติเพล็กซ์ทางด้านส่งและดีมัลติเพล็กซ์ด้านรับ และส่วนของโปรแกรมในการแสดงผล

ทั้งนี้และทั้งนั้น ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบในการวัดซึ่งจะต้องถูกปรับแต่งด้วยตัวโปรแกรมที่ใช้แสดงผลอีกครั้งหนึ่ง ในการทดสอบระบบทั้งระบบ เพราะว่าการที่จะปรับแต่งเซ็นเซอร์ให้ถูกต้องนั้นทำได้ยาก

แนวทางการพัฒนาต่อ คือระบบนี้สามารถนำไปพัฒนาในการเพิ่มอินพุตให้ขึ้นได้ และสามารถนำระบบการวัดค่านี้และการแสดงผล นำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานวัดอื่นๆได้ ที่มีสัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์เป็นสัญญาณมาตรฐาน 0 ถึง 5 โวลต์ หรือสัญญาณที่อยู่ในช่วงไม่เกิน 10 โวลต์ โดยการปรับแต่งที่ตัวโปรแกรมอีกเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] พจนาฎ สุวรรณมณี "เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, กรุงเทพมหานคร, 2545

[2] วิชัย เทียนน้อย "ภูมิอากาศวิทยาประยุกต์" โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, 2526

[3] สมศักดิ์ วรรณชนะ, สุรณรงค์ แจ่มเลิศ, อิทธพงษ์ ชัยสายัญห์ "การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล, สัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อกที่สามารถโปรแกรมได้ = Programmable A/D, D/A" ,2535

[4] เจริญ เพชรมณี "เรียนลัด LabVIEW" กรุงเทพมหานคร, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก(ก)

โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาคส่งข้อมูล

```
                ORG     0000H
                MOV     P0,#0FFH
                MOV     PCON,#00H
                MOV     SCON,#0F0H
                MOV     TMOD,#20H
                MOV     TH1,#0FDH
                SETB    TR1
START:          MOV     P2,#00H
                MOV     R0,#00H
CONV:           CLR     P1.1
                CLR     P1.0
                CLR     P1.3
                SETB    P1.4
                NOP
                SETB    P1.0
                CLR     P1.4
                SETB    P1.1
                SETB    P1.4
                CLR     P1.0
                CLR     P1.1
LOOP:           SETB    P1.4
                NOP
                NOP
                CLR     P1.4
                NOP
                JNB     P1.2,LOOP
                SETB    P1.3
                MOV     A,P0
                SETB    TB8
                MOV     SBUF,R0
WAIT:           JNB     TI,WAIT
                CLR     TI
                CLR     P1.3
                CLR     TB8
                MOV     SBUF,A
WAIT1:          JNB     TI,WAIT1
                CLR     TI
                SJMP    START
                END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาครับข้อมูล

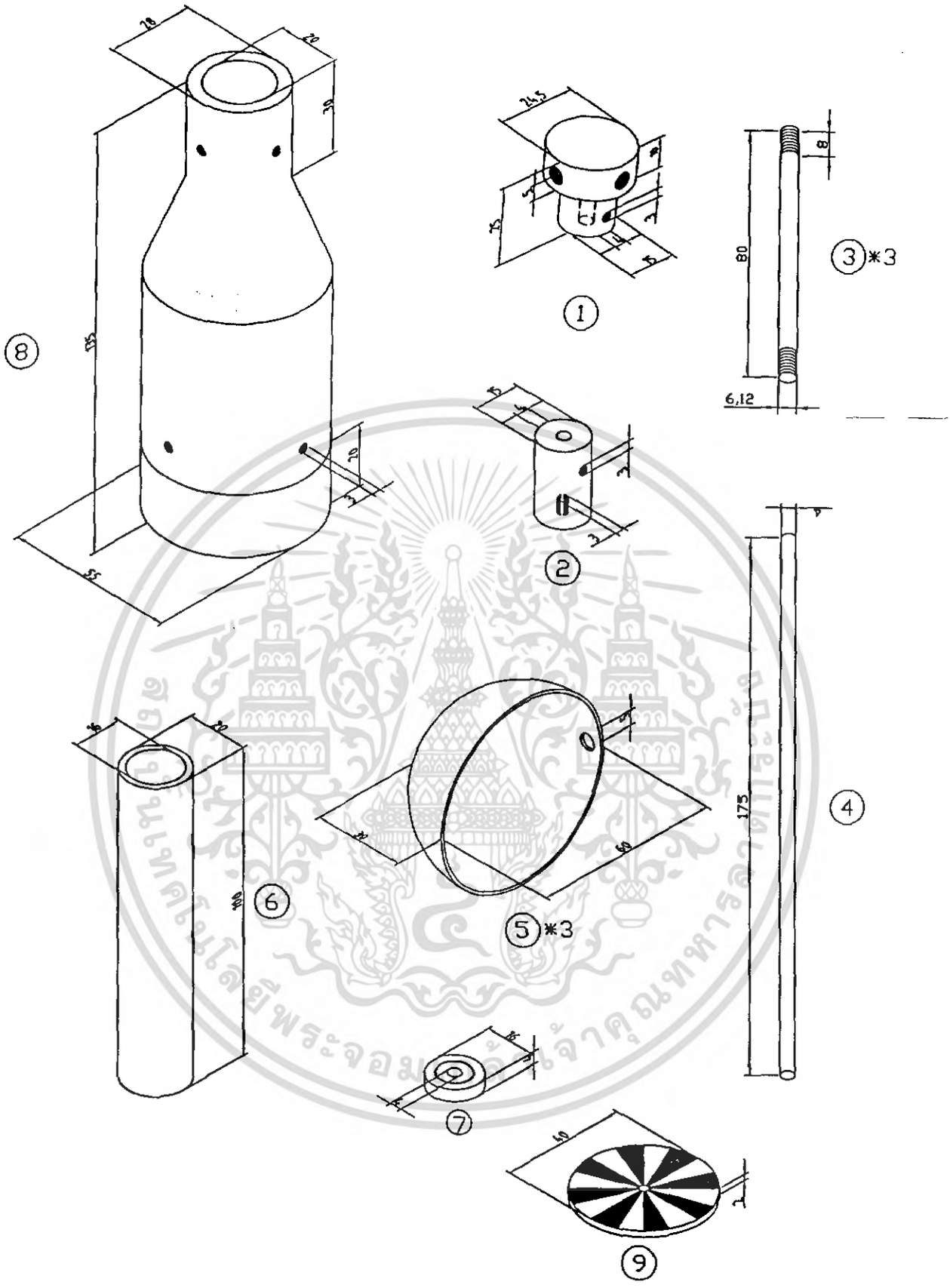
```
                ORG 0000H
                MOV PCON,#00H
                MOV SCON,#0F0H
                MOV TMOD,#20H
                MOV TH1,#0FDH
                SETB TR1
START:          JNB RI,$
                MOV A,SBUF
                CLR RI
                CJNE A,#0xH,START
                CLR SM2
                JNB RI,$
                MOV P1,SBUF
                SETB SM2
                SJMP START
                END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

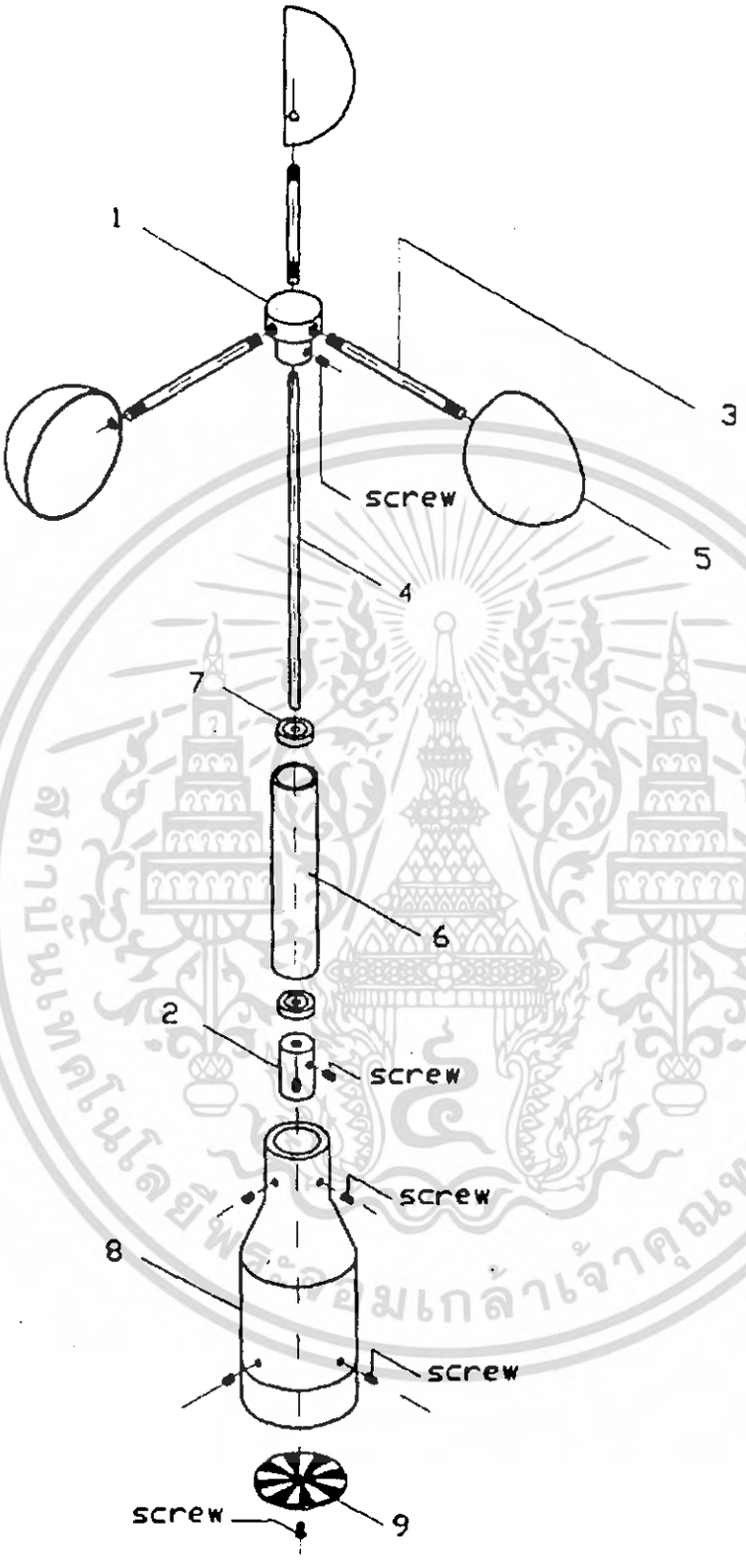
ภาคผนวก(ข)

ขนาดของชิ้นส่วนของเซ็นเซอร์

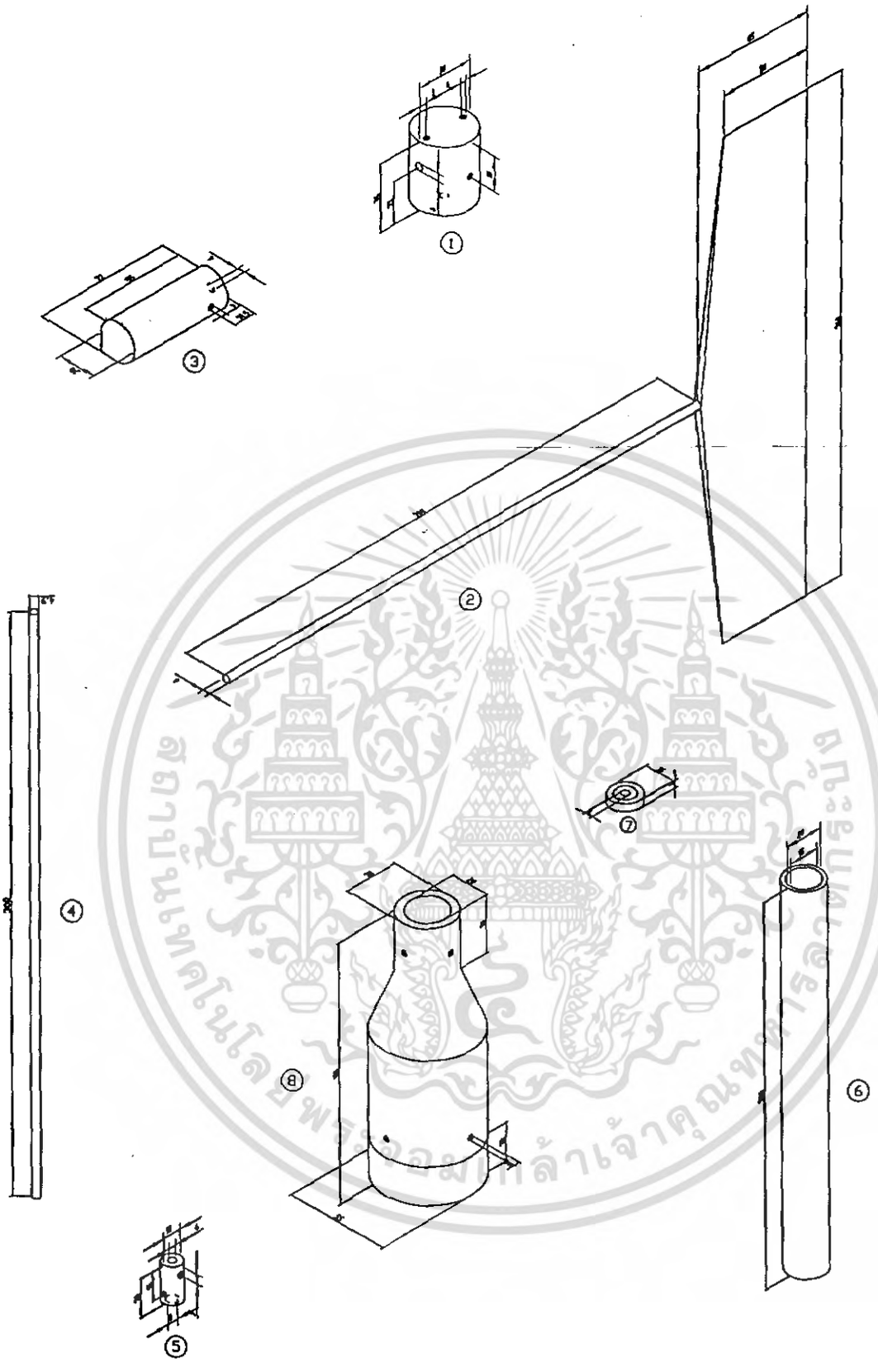
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



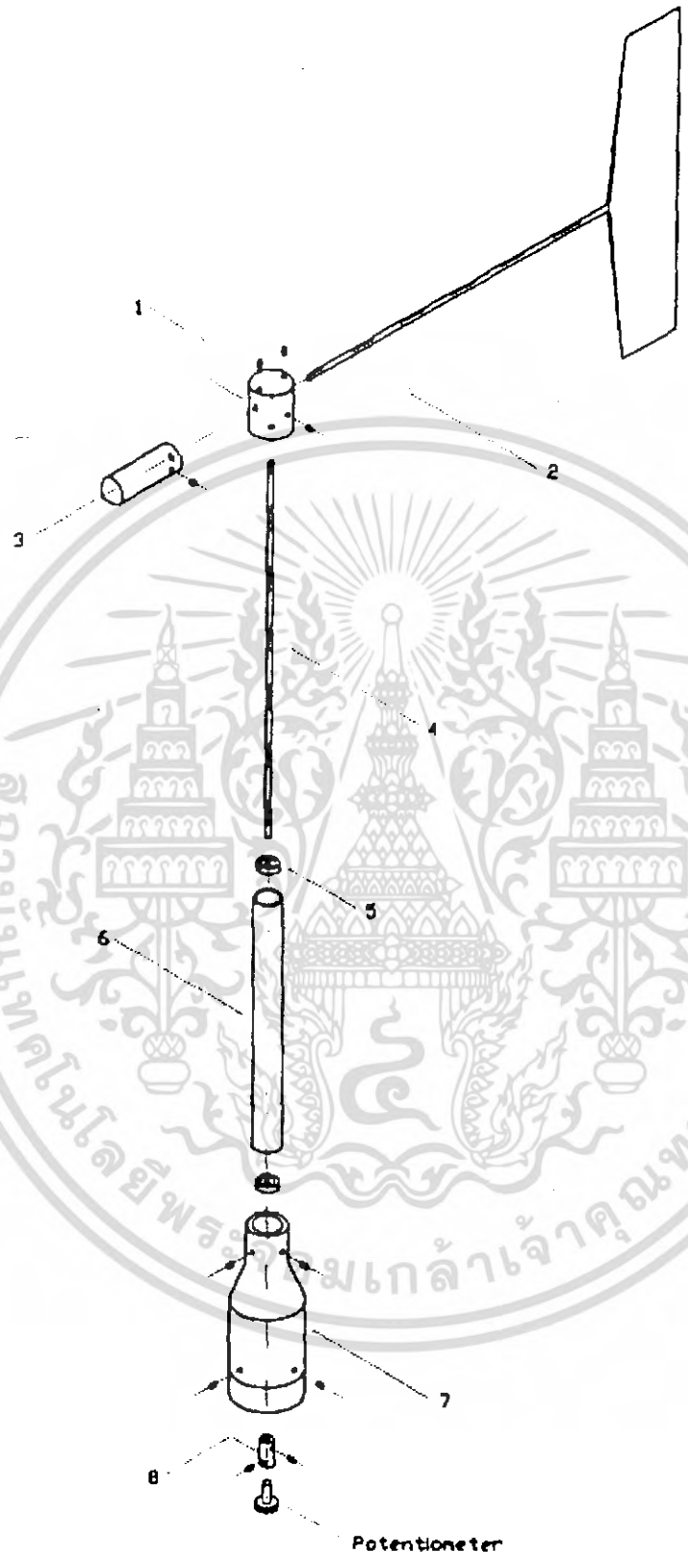
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก(ค)

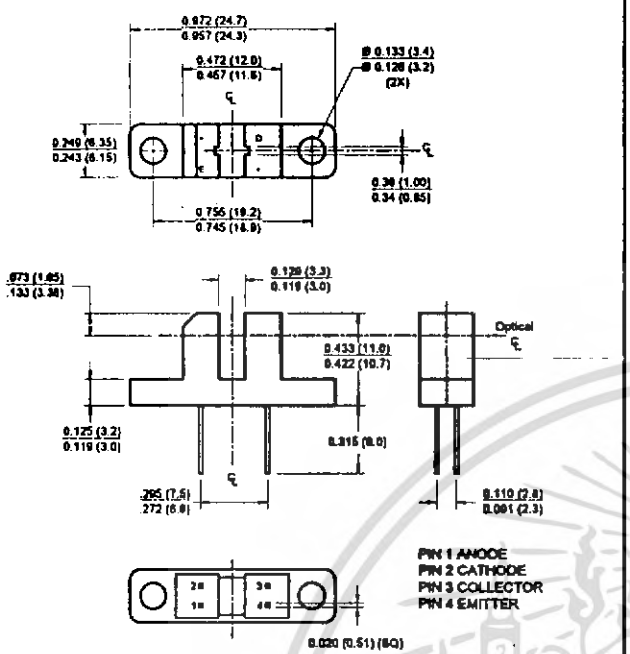
DATA SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

H21A1 / H21A2 / H21A3
PHOTOTRANSISTOR
OPTICAL INTERRUPTER SWITCH

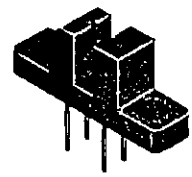
PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:

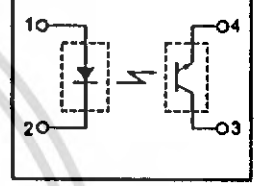
1. Dimensions for all drawings are in inches (mm).
2. Tolerance of ± .010 (.25) on all non-nominal dimensions unless otherwise specified.

DESCRIPTION



The H21A1, H21A2 and H21A3 consist of a gallium arsenide infrared emitting diode coupled with a silicon phototransistor in a plastic housing. The packaging system is designed to optimize the mechanical resolution, coupling efficiency, ambient light rejection, cost and reliability. The gap in the housing provides a means of interrupting the signal with an opaque material, switching the output from an "ON" to an "OFF" state.

SCHEMATIC



FEATURES

- Opaque housing
- Low cost
- .035" apertures
- High $I_{C(ON)}$

1. Derate power dissipation linearly 1.33 mW/°C above 25°C.
2. RMA flux is recommended.
3. Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
4. Soldering iron tip 1/16" (1.6mm) minimum from housing.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating Temperature	T_{OPR}	-55 to +100	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to +100	°C
Soldering Temperature (Iron)(2,3 and 4)	T_{SOL-I}	240 for 5 sec	°C
Soldering Temperature (Flow)(2 and 3)	T_{SOL-F}	260 for 10 sec	°C
NPUT (EMITTER) Continuous Forward Current	I_F	50	mA
Reverse Voltage	V_R	6	V
Power Dissipation (1)	P_D	100	mW
)UTPUT (SENSOR) Collector to Emitter Voltage	V_{CEO}	30	V
Emitter to Collector Voltage	V_{ECO}	4.5	V
Collector Current	I_C	20	mA
Power Dissipation (T_C = 25°C)(1)	P_D	150	mW

2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL / OPTICAL CHARACTERISTICS (T_A =25°C)(All measurements made under pulse condition)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	DEVICES	MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT (EMITTER)							
Forward Voltage	I_F = 60 mA	V_F	All	—	—	1.7	V
Reverse Breakdown Voltage	I_R = 10 µA	V_R	All	6.0	—	—	V
Reverse Leakage Current	V_R = 3 V	I_R	All	—	—	1.0	µA
OUTPUT (SENSOR)							
Emitter to Collector Breakdown	I_F = 100 µA, Ee = 0	BV_{ECO}	All	6.0	—	—	V
Collector to Emitter Breakdown	I_C = 1 mA, Ee = 0	BV_{CEO}	All	30	—	—	V
Collector to Emitter Leakage	V_{CE} = 25 V, Ee = 0	I_{CEO}	All	—	—	100	nA
COUPLED							
On-State Collector Current	I_F = 5 mA, V_{CE} = 5 V	$I_{C(ON)}$	H21A1	0.15	—	—	mA
			H21A2	0.30	—	—	
			H21A3	0.60	—	—	
	I_F = 20 mA, V_{CE} = 5 V		H21A1	1.0	—	—	
			H21A2	2.0	—	—	
			H21A3	4.0	—	—	
	I_F = 30 mA, V_{CE} = 5 V		H21A1	1.9	—	—	
			H21A2	3.0	—	—	
			H21A3	5.5	—	—	
Saturation Voltage	I_F = 20 mA, I_C = 1.8 mA	$V_{CE(SAT)}$	H21A2/3	—	—	0.40	V
	I_F = 30 mA, I_C = 1.8 mA		H21A1	—	—	0.40	V
Turn-On Time	I_F = 30 mA, V_{CC} = 5 V, R_L = 2.5 KΩ	t_{on}	All	—	8	—	µs
Turn-Off Time	I_F = 30 mA, V_{CC} = 5 V, R_L = 2.5 KΩ	t_{off}	All	—	50	—	µs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Output Current vs. Input Current

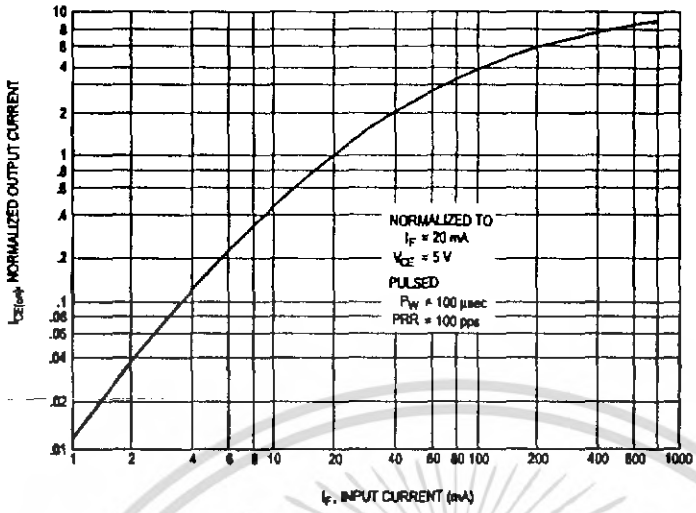


Figure 2. Output Current vs. Temperature

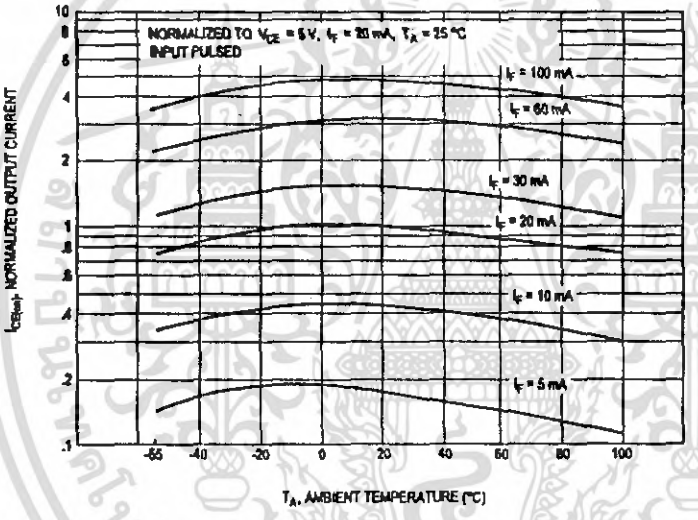
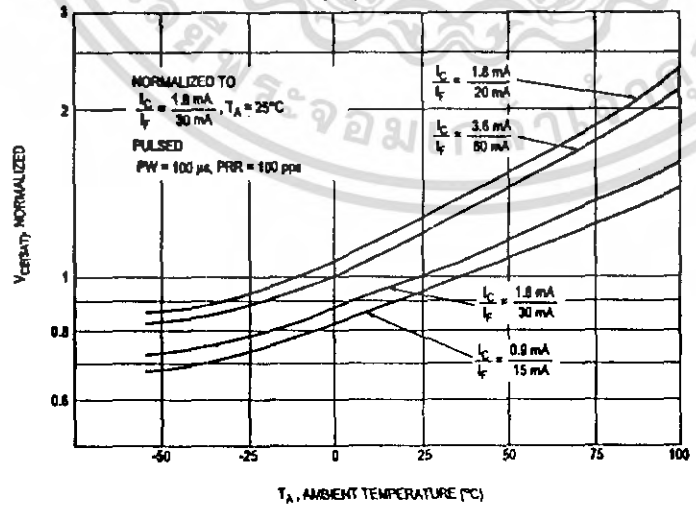


Figure 3. $V_{CE(SAT)}$ vs. Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 4. Leakage Current vs. Temperature

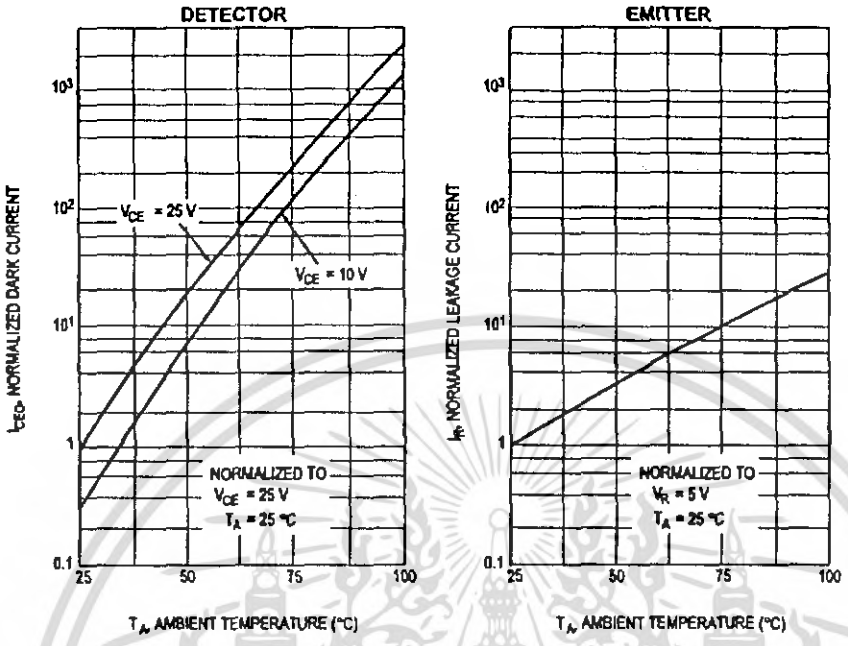


Figure 5. Switching Speed vs. RL

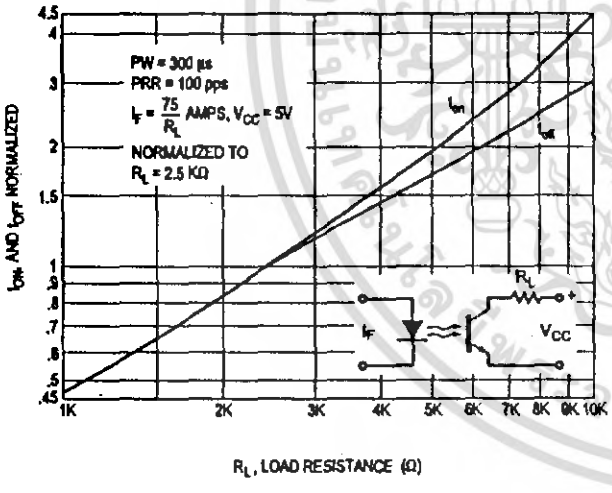
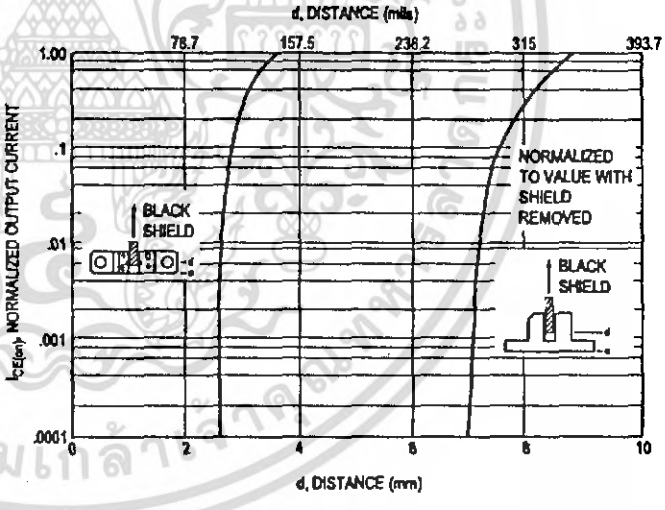


Figure 6. Output Current vs. Distance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCLAIMER

IRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO NY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME NY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED EREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF THERS.

FE SUPPORT POLICY

IRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT EVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD EMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body,or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

November 2000

LM35
Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full −55 to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60 µA from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a −55° to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a −40° to +110°C range (−10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full −55° to +150°C range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 µA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only ±¼°C typical
- Low impedance output, 0.1 Ω for 1 mA load

Typical Applications

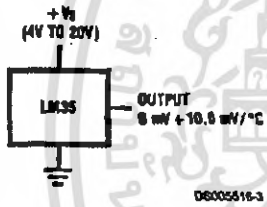
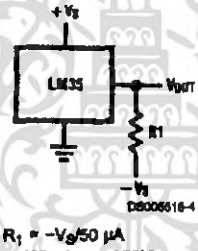


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu A$
V_{OUT} = +1,500 mV at +150°C
= +250 mV at +25°C
= −550 mV at −55°C

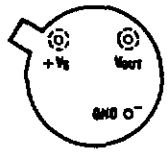
FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

© 2000 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

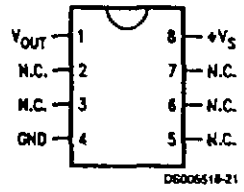
TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



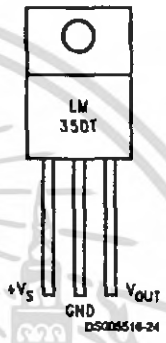
N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-92
Plastic Package

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).
Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to −0.2V
Output Voltage	+6V to −1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.;	
TO-46 Package,	−60°C to +180°C
TO-92 Package,	−60°C to +150°C
SO-8 Package,	−65°C to +150°C
TO-220 Package,	−65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	−55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	−40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
curacy	T_A=+25°C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
ote 7)	T_A=−10°C	±0.3			±0.3		±1.0	°C
	T_A=T_{MAX}	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T_A=T_{MIN}	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	°C
nlinearity ote 8)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	°C
nsor Gain verage Slope)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
ad Regulation	T_A=+25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
ote 3) 0≤I_L≤1 mA	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
ie Regulation	T_A=+25°C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
ote 3)	4V≤V_S≤30V	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
iescent Current	V_S=+5V, +25°C	56	67		56	67		µA
ote 9)	V_S=+5V	105		131	91		114	µA
	V_S=+30V, +25°C	56.2	68		56.2	68		µA
	V_S=+30V	105.5		133	91.5		116	µA
ange of iescent Current ote 3)	4V≤V_S≤30V, +25°C	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	4V≤V_S≤30V	0.5		2.0	0.5		2.0	µA
mperature efficient of iescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	µA/°C
imum Temperature Rated Accuracy	In circuit of *Figure 1*, I_L=0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
g Term Stability	T_J=T_{MAX}, for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy,	T_A=+25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
LM35, LM35C	T_A=−10°C	±0.5			±0.5		±1.5	°C
(Note 7)	T_A=T_{MAX}	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	°C
	T_A=T_{MIN}	±0.8		±1.5	±0.8		±2.0	°C
Accuracy, LM35D	T_A=+25°C				±0.6	±1.5		°C
(Note 7)	T_A=T_{MAX}				±0.9		±2.0	°C
	T_A=T_{MIN}				±0.9		±2.0	°C
Nonlinearity	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$	**±0.3**		**±0.5**	**±0.2**		**±0.5**	°C
(Note 8)								
Sensor Gain	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$	**+10.0**	**+9.8, +10.2**		**+10.0**		**+9.8, +10.2**	mV/°C
(Average Slope)								
Load Regulation	T_A=+25°C	±0.4	±2.0		±0.4	±2.0		mV/mA
(Note 3) $0 \le I_L \le 1$ mA	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$	**±0.5**		**±5.0**	**±0.5**		**±5.0**	mV/mA
Line Regulation	T_A=+25°C	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
(Note 3)	$4V \le V_S \le 30V$	**±0.02**		**±0.2**	**±0.02**		**±0.2**	mV/V
Quiescent Current	V_S=+5V, +25°C	56	80		56	80		µA
(Note 9)	V_S=+5V	**105**		**158**	**91**		**138**	µA
	V_S=+30V, +25°C	56.2	82		56.2	82		µA
	V_S=+30V	**105.5**		**161**	**91.5**		**141**	µA
Change of	$4V \le V_S \le 30V$, +25°C	0.2	2.0		0.2	2.0		µA
Quiescent Current	$4V \le V_S \le 30V$	**0.5**		**3.0**	**0.5**		**3.0**	µA
(Note 3)								
Temperature		**+0.39**		**+0.7**	**+0.39**		**+0.7**	µA/°C
Coefficient of								
Quiescent Current								
Minimum Temperature	In circuit of	+1.5		+2.0	**+1.5**		**+2.0**	°C
for Rated Accuracy	*Figure 1*, I_L=0							
Long Term Stability	T_J=T_{MAX}, for	±0.08			±0.08			°C
	1000 hours							

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55°C \le T_J \le +150°C$ for the LM35 and LM35A; $-40°C \le T_J \le +110°C$ for the LM35C and LM35CA; and $0°C \le T_J \le +100°C$ for the LM35D. V_S=+5Vdc and I_{LOAD}=50 µA, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from +2°C to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10mv/°C times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

May 2006

ADC0808/ADC0809
8-Bit µP Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8-single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

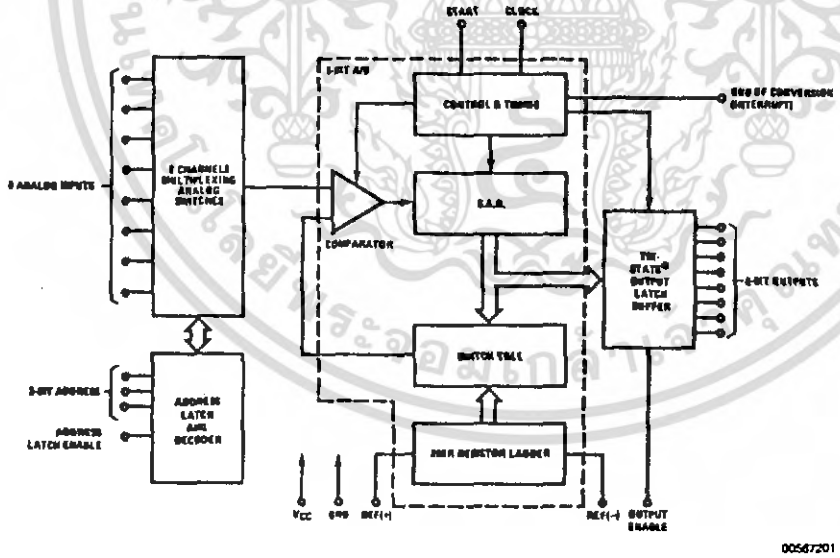
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to V_{CC} input range
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

Resolution	8 Bits
Total Unadjusted Error	±½ LSB and ±1 LSB
Single Supply	5 V_{DC}
Low Power	15 mW
Conversion Time	100 µs

Block Diagram



See Ordering Information

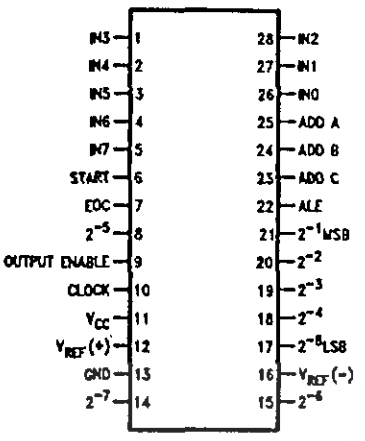
© 2006 National Semiconductor Corporation

ADC0808/ADC0809 8-Bit µP Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

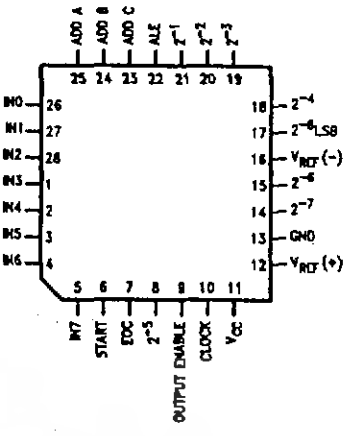
Dual-In-Line Package



00567211

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



00567212

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

Temperature Range		−40°C to +85°C	
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

(Notes 2, 1)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	−0.3V to (V_{CC}+0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	−0.3V to +15V
(START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Package Dissipation at T_A=25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$
	−40°C≤T_A≤+85°C
Range of V_{CC} (Note 1)	4.5 V_{DC} to 6.0 V_{DC}

Electrical Characteristics – Converter Specifications

Converter Specifications: V_{CC}=5 V_{DC}=V_{REF+}, $V_{REF(-)}$=GND, $T_{MIN} \le T_A \le T_{MAX}$ and f_{CLK}=640 kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error	25°C			±½	LSB
	(Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			±¾	LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error	0°C to 70°C			±1	LSB
	(Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			±1¼	LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(−)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(−)	GND−0.10		V_{CC}+0.10	V_{DC}
$V_{REF(+)}$	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V_{CC}	V_{CC}+0.1	V
$\frac{V_{REF(+)}+V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V_{CC}/2-0.1	V_{CC}/2	V_{CC}/2+0.1	V
$V_{REF(-)}$	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(−)	−0.1	0		V
I_N	Comparator Input Current	f_c=640 kHz, (Note 6)	−2	±0.5	2	μA

Electrical Characteristics – Digital Levels and DC Specifications

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75≤V_{CC}≤5.25V, −40°C≤T_A≤+85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	V_{CC}=5V, V_{IN}=5V,				
		T_A=25°C		10	200	nA
		T_{MIN} to T_{MAX}			1.0	μA
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	V_{CC}=5V, V_{IN}=0,				
		T_A=25°C	−200	−10		nA
		T_{MIN} to T_{MAX}	−1.0			μA
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		V_{CC}−1.5			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics – Digital Levels and DC Specifications (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \le V_{CC} \le 5.25V$, $-40^{\circ}C \le T_A \le +85^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS						
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V_{IN}=15V			1.0	µA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V_{IN}=0	-1.0			µA
I_{CC}	Supply Current	f_{CLK}=640 kHz		0.3	3.0	mA
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	V_{CC} = 4.75V I_{OUT} = -360µA I_{OUT} = -10µA	 2.4 4.5			 V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	I_O=1.6 mA			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	I_O=1.2 mA			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	V_O=5V V_O=0	 -3		3	µA µA

Electrical Characteristics – Timing Specifications

Timing Specifications $V_{CC}=V_{REF(+)}=5V$, $V_{REF(-)}=GND$, $t_r=t_f=20$ ns and $T_A=25^{\circ}C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(*Figure 5*)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(*Figure 5*)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(*Figure 5*)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(*Figure 5*)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	R_S=0Ω (*Figure 5*)		1	2.5	µs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	C_L=50 pF, R_L=10k (*Figure 8*)		125	250	ns
t_{1H}, t_{0H}	OE Control to Hi-Z	C_L=10 pF, R_L=10k (*Figure 8*)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	f_c=640 kHz, (*Figure 5*) (Note 7)	90	100	116	µs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(*Figure 5*)	0		8+2 µS	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A Zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of 7 V_{DC}.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC}n supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute $0V_{DC}$ to $5V_{DC}$ input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See *Figure 3*. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See *Figure 13*.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (*Figure 6*). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้