ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องมือวัดปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์

Temperature Transmitter Smart Type

ชื่อนักศึกษา

1. นายคุษฎี	ม่วงแก้ว	รหัสประจำตัว	42035367
2. นายธีรธัช	ขวัญอุบล	รหัสประจำตัว	42035373
3. นายรัฐศักดิ์	โกบประยูร	รหัสประจำตัว	42035378
4. นายสมบูรณ์	จิตธรรม	รหัสประจำตัว	42035380

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	.....
2. อาจารย์โกศล	ตราชู	.....
3. อาจารย์ปิยะ	จิตธรรมมาภิรมย์	.....
4. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	.....
5. อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันเสาร์ที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2543 เวลา 10.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 10 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์

Temperature transmitter smart type

T040201

นายดุษฎี ม่วงแก้ว
นายธีรธัช ขวัญยุบล
นายรัฐศักดิ์ โกบประยูร
นายสมบูรณ์ จิตธรรม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่
เลขทะเบียน 40201
วัน, เดือน, ปี 20 ส.ค. 2544
.b 11092889
i

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์

Temperature transmitter smart type

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างของวงจร ตลอดจนการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ
2. เพื่อศึกษาถึงความสำคัญของการวัด
3. เพื่อศึกษาถึงหลักการในการปรับเทียบเครื่องมือวัด
4. เพื่อศึกษาถึงย่านการวัดในการปรับเทียบเครื่องมือวัด
5. เพื่อศึกษาถึงวิธีการ และหลักการปรับเทียบเครื่องมือวัดในระบบควบคุมวงปิด
6. เพื่อศึกษาค่าความแม่นยำ, ความถูกต้องของการปรับเทียบ ตลอดจนค่าความสัมพันธ์ของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และ ย่านการวัดที่ผิดพลาด (Span Error)
7. เพื่อออกแบบตลอดจนสร้างเครื่องมือวัด โดยให้มีผลต่อค่าตัวแปรอื่นๆ ให้น้อยที่สุด
8. เพื่อทดสอบถึงวิธีในการตั้งค่าปรับเทียบเพื่อนำไปใช้ทดสอบเครื่องมือวัด
9. เพื่อศึกษาการทำงานของMCS-51 อันเป็นตัวกลางที่ใช้สื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และทรานสมิตเตอร์
10. เพื่อออกแบบการเขียนโปรแกรมให้กับ MCS-51 โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ ความเข้าใจในหลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ
2. ได้มีทักษะในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ อันเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับทรานสมิตเตอร์โดยใช้ โปรแกรมวิชวลเบสิก
4. ได้วงจรการใช้งานของอาร์ทีดีที่สมบูรณ์แบบ
5. ทำให้การปรับเทียบอุณหภูมิโดยใช้ทรานสมิตเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น
6. ได้โปรแกรมในการควบคุมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก
7. ได้ตัวทรานสมิตเตอร์ที่ใช้สื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ และทรานสมิตเตอร์ในราคาที่ถูกลงได้ และยังสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาเครื่องมือมือวัดทางอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายดุษฎี ม่วงแก้ว
	นายธีรธัช ขวัญยุบล
	นายรัฐศักดิ์ โกบประยูร
	นายสมบูรณ์ จิตธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดที่ปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำ ทำให้เครื่องมือวัดนี้มีความสำคัญมากในโรงงานอุตสาหกรรมและอันเนื่องมาจากภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันเครื่องมือวัดนี้มีราคาแพงมาก อันมีผลต่อสถานศึกษาต่างๆ ไม่สามารถซื้อเครื่องมือวัดดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาได้

ทางคณะผู้จัดทำ จึงได้พยายามคิดค้นเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์ขึ้นมา โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวกลางในการสื่อสารกันระหว่างทรานสมิตเตอร์และคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน อีกทั้งมีราคาถูกลง ตลอดจนเหมาะกับเป็นสื่อการเรียนการสอนชนิดหนึ่งอันจะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Temperature transmitter smart type
Students	Mr.Dusadee Muangkaew
	Mr.Teeratagh Kwunyubol
	Mr.Rattasak Kobprayoon
	Mr.Somboon Jittham
Advisor	Mr.Surapong Siripongdee
Co-Advisor	ASSIST. Prof Dr. Threraphon Thephasadin Na Ayuthya
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Acadamic	2000

ABSTRACT

This Thesis present the Temperature Instrument that compare with computer. That is accenly instrument and this thesis made this instrument. To used in industrial effect of current econamy and due to this temperature Instrument is to expensive effect that school, university, institute can't sell that for study.

Mater made compare temperature computer instrument that is comfortable microcontroller for communication interface between Transmitter and Computer. So that convenient to use, not expensive, and use to student in school, university or institute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จและเป็นไปได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 3 ท่าน คือ อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี อาจารย์โกศล ตราชู และ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องงานไม่ว่าจะเป็นทางฮาร์ดแวร์หรือซอฟแวร์ก็ตาม ตลอดจนคณาจารย์ในภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้ให้ความอำนวยความสะดวกไม่ว่าจะเป็นทางด้านข้อมูล หรืออุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองด้วยดีเสมอมา

และทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานีทุกท่านซึ่งได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาที่ได้พบในการทำงาน อีกทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาครทุกท่าน โดยได้ให้อำนวยในด้านสถานที่ทำโครงงานและเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ จอม นามีผล ที่ได้แนะแนวทางในด้านการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งให้พวกเราได้รับการศึกษามาตั้งแต่อดีตจนถึงในขณะนี้ อนึ่งคุณประโยชน์ตลอดจนคุณความดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แด่คุณพ่อ คุณแม่ คุณครูบาอาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทั้งหลายมาครั้นแต่อดีตจนกระทั่งถึงปัจจุบันตลอดจนบรรดาเพื่อนฝูงที่ร่วมทำงานด้วยกัน แม้ว่าพวกเราอาจจะมีปัญหาในการทำงานก็ตามจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญ	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	5
2.1.2 อาร์ทีดี	6
2.1.3 โครงสร้างของอาร์ทีดี	8
2.1.4 เทอร์มิตเตอร์	11
2.2 การวัด	14
2.2.1 องค์ประกอบการวัดเบื้องต้น	14
2.2.2 รูปแบบของการวัดในทางปฏิบัติ	16
2.2.3 ชนิดและวิธีการวัด	17
2.2.4 ระบบการวัดโดยทั่วไป	18
2.3 การปรับเทียบ	19
2.4 ความถี่ในการปรับเทียบ	19
2.4.1 การทำการปรับเทียบเครื่องมือวัด	19
2.4.2 ช่วงระยะเวลาการปรับเทียบ	19
2.4.3 กรณีต้องการกำหนดระยะเวลาการปรับเทียบเอง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 การปรับเทียบโดยอาศัยเครื่องมือที่ปรับเทียบ	20
2.5.1 การปรับเทียบโดยอาศัยเครื่องมือที่ปรับเทียบ	20
2.6 ความสำคัญของการปรับเทียบ	21
2.7 การจำลองสัญญาณที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือวัด	22
2.8 เงื่อนไขของการปรับเทียบ	22
2.8.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ของขั้นตอนการปรับเทียบ	22
2.8.2 วิธีการในการตรวจสอบการปรับเทียบเครื่องมือวัด	22
2.8.3 เครื่องมือการปรับเทียบและการตรวจสอบครั้งสุดท้าย	24
2.9 ย่านการวัดและค่าที่วัดได้สูงสุดของสัญญาณอินพุต	25
2.10 การใช้อินพุตและย่านการวัดในการปรับเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม	26
2.11 หลักการปรับเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมที่ถูกต้องในการควบคุมวงปิด	26
2.12 ความแม่นยำและความถูกต้องในการวัด	28
2.12.1 ความหมายและความสำคัญของความแม่นยำในการปรับเทียบของขบวนการผลิต	28
2.12.2 วิธีการคำนวณค่าความแม่นยำ	29
2.12.3 ความหมายและความสำคัญเรื่องอัตราการขยายของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมในการปรับเทียบ	30
2.12.4 ความสำคัญของมาตราฐานในการปรับเทียบของขบวนการผลิต	31
2.13 ความสัมพันธ์ของค่าเลื่อนจากศูนย์และค่าของย่านการวัด	32
2.13.1 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาท์พุต	32
2.13.2 ความสัมพันธ์ของค่าเลื่อนจากศูนย์ในขบวนการของเครื่องมือวัด	32
2.13.3 ความสำคัญของย่านการวัดที่มีความผิดพลาดในเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม	35
2.13.4 แสดงกราฟระหว่างอินพุต – เอาท์พุตเพื่อหาย่านการวัดที่ผิดพลาด	36
2.14 ค่าความผิดพลาดอื่น ๆ	37
2.14.1 ความสำคัญและความหมายของความไม่เป็นเชิงเส้นในการปรับเทียบ	37
2.14.2 วิธีการสังเกตค่าความไม่เป็นเชิงเส้น	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.14.3 ลักษณะบางประการของความไม่เป็นเชิงเส้น	40
2.14.4 ความสำคัญและความหมายของฮิสเตอร์รีซิส	40
2.14.5 ลักษณะบางประการของฮิสเตอร์รีซีส	41
2.15 การทดสอบอุปกรณ์และการตั้งค่าในการปรับเทียบ	41
2.15.1 ความสำคัญของการสร่งรูปแบบสัญญาณของ เครื่องมือวัดต่าง ๆในระบบ	41
2.15.2 ความสำคัญในการหาและการใช้อินพุต / เอาท์พุต ให้เหมาะสมและปกรณ์มาตราฐานในการปรับเทียบ	43
2.16 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ดภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรมและขนาน	43
2.16.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม RS-232	43
2.16.2 แรงดันที่ใช้งานของพอร์ต RS-232	44
2.16.3 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตอนุกรม RS-232	44
2.16.4 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน LPT	44
2.17 แผนผังการทำงานบอร์ด	45
2.18 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนาน	46
2.19 หลักการทำงานของพอร์ตขนาน	48
2.20 ไมโครคอนโทรลเลอร์	49
2.20.1 โครงสร้างของ MCS-51	49
2.20.2 การจัดขาต่าง ๆ ของ MCS-51	50
2.21 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน	52
2.22 พื้นฐานการส่งรับข้อมูลแบบขนาน	59
2.22.1 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน	59
2.22.2 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วยวิชวลเบสิก	60
2.23 โปรกแรมวิชวลเบสิก	62
2.23.1 ความเป็นมา	62
2.23.2 ภาพรวมของวิชวลเบสิก	62
2.23.3 หลักการโปรแกรมเชิงภาพของวิชววลเบสิก	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	65
3.1 ทฤษฎีสภาวะสัญญาณ	65
3.2 วงจรสภาวะสัญญาณ	66
3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส	66
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณการวัด	67
3.2.3วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	70
3.2.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	71
3.2.5 วงจรวีธสโตน บริดจ์	73
3.2.6 บอร์ดคอนโทรลเลอร์	74
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	78
4.1 บทนำ	78
4.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส	78
4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง	79
4.2.2 ผลการทดลอง	80
4.3 วงจรขยายสัญญาณ	80
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	81
4.3.2 ผลการทดลอง	81
4.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	81
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	82
4.4.2 ผลการทดลอง	83
4.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	83
4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง	84
4.5.2 ผลการทดลอง	84
4.6 โปรแกรมวิชวลเบสิก	84
4.6.1 การทดลองโปรแกรวิชวลเบสิก	87
4.6.2 ผลการทดลอง	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	89
5.1 บทสรุป	89
5.2 ปัญหา	90
5.3 แนวทางแก้ไข	90
5.4 แนวทางการพัฒนา	91
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	
ภาคผนวก ข ผังการทำงาน และโปรแกรม	
ภาคผนวก ค วงจรต่าง ๆ ที่ใช้	
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	
ภาคผนวก จ รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์	
บรรณานุกรม	
ประวัติผู้แต่ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบุติของอาร์ทีดีที่ทำมาจากโลหะประเภทต่างๆ	10
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าของ Rang,Span,Gain	31
ตารางที่ 2.3 การปรับเทียบเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	33
ตารางที่ 2.4 แสดงตารางการปรับเทียบของเครื่องมือวัด	35
ตารางที่ 2.5 ตารางการปรับเทียบ Non-Linearity	38
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความสูญเสียฮีสเตอร์รีซีส	41
ตารางที่ 2.7 สัญญาณที่อยู่บนพอร์ตขนาน	45
ตารางที่ 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ต่างๆ	49
ตารางที่ 2.9 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ต 3	50
ตารางที่ 2.10 แสดงสัญญาณสำคัญของพอร์ตขนานที่ใช้กับเครื่องพิมพ์	54
ตารางที่ 2.11 แสดงสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนพอร์ตขนาน	56
ตารางที่ 2.12 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน	57
ตารางที่ 4.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส	79
ตารางที่ 4.2 วงจรขยายสัญญาณ	81
ตารางที่ 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	82
ตารางที่ 4.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	84
ตารางที่ 4.5 โปรแกรมวิชวลเบสิก	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 ผังของวงจร	4
รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน	8
รูปที่ 2.3 วงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของ RTD	11
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ	11
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับ RTD	12
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของทรานสมิตเตอร์	13
รูปที่ 2.7 หลักการวัด	14
รูปที่ 2.8 องค์ประกอบการวัด	15
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวัดกับค่าที่อ่านได้	16
รูปที่ 2.10 การวัดเพื่อการควบคุม	17
รูปที่ 2.11 ระบบการวัดทั่วไป	18
รูปที่ 2.12 ค่าเลื่อนศูนย์(Zero Shift) และค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความแตกต่าง ๆ ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด (Span Error) ขึ้นพร้อม ๆ กัน	23
รูปที่ 2.13 กราฟของเครื่องมือวัดมีปัญหาที่เกิดความแตกต่าง ๆจากกราฟอุดมคติ	24
รูปที่ 2.14 แบบของ Output Electronic	25
รูปที่ 2.15 50 % เอาท์พุตที่สอดคล้องกับ 50 % อินพุต	26
รูปที่ 2.16 การนำทรานสมิตเตอร์วัดความดันในแทงค์	28
รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาท์พุต ของเครื่องมือวัดที่นำมาเปรียบเทียบ	34
รูปที่ 2.18 ย่านการวัดที่เกิด Zero Shift แล้ว	34
รูปที่ 2.19 ค่าเลื่อนจากศูนย์(Zero Shift) และค่าย่านวัดที่ผิดพลาด (Span Error) ที่เกิด ขึ้นพร้อม ๆ กันในเครื่องมือวัดเดียวกัน	36
รูปที่ 2.20 กราฟของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุต ที่มีทั้งค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และค่าย่านวัดที่ผิดพลาด (Span Error) ซึ่งไม่เป็นไปตามกราฟในอุดมคติ (Ideal Graph)	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.21 Non – Linearity (ความไม่เป็นเชิงเส้น) แบบที่ 1	38
รูปที่ 2.22 Non – Linearity (ความไม่เป็นเชิงเส้น) แบบที่ 2	39
รูปที่ 2.23 กราฟไม่เป็นเชิงเส้น (Non – Linearity) แบบที่ 3	39
รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องมือวัดที่นำมาเปรียบเทียบ	42
รูปที่ 2.25 รีจิตเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุม MSR	44
รูปที่ 2.26 ผังการทำงานของบอร์ด	46
รูปที่ 2.27 ที่เมนูบาร์ คลิกที่โปรเจ็ค ตามด้วย ADD Module	47
รูปที่ 2.28 การเรียกไฟล์ Input32.bas	47
รูปที่ 2.29 การได้ Modules (input32.bas)	48
รูปที่ 2.30 ไดอะแกรมเวลาการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์	53
รูปที่ 2.31 ระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน	55
รูปที่ 2.32 วงจรภายในของพอร์ตข้อมูล	57
รูปที่ 2.33 วงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ	58
รูปที่ 2.34 การแสดงการรับส่งข้อมูลแบบขนาน	59
รูปที่ 3.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส	67
รูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณ	70
รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	71
รูปที่ 3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	73
รูปที่ 3.5 วงจรวีธสโตนบริดจ์	74
รูปที่ 3.6 การต่อใช้งานร่วมกับ SPI – LOAD	76
รูปที่ 3.7 วงจรการต่อบอร์ดคอนโทรลเลอร์	77
รูปที่ 4.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส	79
รูปที่ 4.2 วงจรขยายสัญญาณ	80
รูปที่ 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	82
รูปที่ 4.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	83
รูปที่ 4.5 การ ADD Module	85
รูปที่ 4.6 ไฟล์ Input32.bas	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.7 วงจรการทดลองส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค	86
รูปที่ 4.8 ส่วนประกอบหน้าจอโปรแกรมวิชวลเบสิค	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เครื่องมือวัดในอดีตนั้น ได้มีการนำเอาวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้จากสภาพแวดล้อมมาประยุกต์ใช้งาน จากนั้นได้อาศัยหลักการพื้นฐานของวัสดุอุปกรณ์เหล่านั้น เช่นการยืด – หดของท่อ นำมาเป็นตัวบอกขนาด, หลักการยืดหยุ่นของแผ่นไดอะแฟรม ฯลฯ ซึ่งหลักการพื้นฐานเหล่านี้ทำให้เครื่องมือวัดที่ได้ในอดีต มีความแม่นยำ และความถูกต้องเพียงชั่วคราวเท่านั้น ปัญหาต่อไปคือการปรับเทียบ (Calibration) มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก จากหลักการพื้นฐานดังกล่าวนี้ ในปัจจุบันได้นำมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือวัดที่ทันสมัย และมีมาตรฐานในการปรับเทียบอย่างถูกต้อง อันมีราคาแพงตลอดจนมีความถูกต้องแม่นยำตามคุณภาพของเครื่องมือวัด

ในปัจจุบันนี้ เครื่องมือการวัดระบบควบคุมทางอุตสาหกรรม กำลังมีบทบาทและมีความสำคัญอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะเครื่องมือวัดนี้เป็นเครื่องมือวัดที่ทำงานในส่วนการควบคุมคุณภาพ, ผลิตภัณฑ์, ปริมาณ หรือแม้กระทั่งเครื่องมือวัดที่ทำงานในส่วนของกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติก็ตาม ทั้งนี้เครื่องมือวัดที่ทำงานในส่วนการควบคุมคุณภาพหรือในส่วนกระบวนการผลิตนั้น เป็นส่วนที่ต้องการความแม่นยำและความถูกต้องสูงมาก ทำให้มีราคาสูงตามคุณภาพ แต่เพื่อความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของไทย จึงได้มีการนำเข้าเครื่องมือวัดนี้จากต่างประเทศ และในขณะเดียวกันบรรดานักศึกษาจากหลายสถานศึกษาไม่มีโอกาสที่จะศึกษาเครื่องมือวัดดังกล่าว เพราะสถานศึกษาไม่มีงบประมาณที่จัดหามาให้แก่นักศึกษาหาความรู้จากเครื่องมือวัดดังกล่าวเหล่านี้

ด้วยจากสาเหตุและเหตุผลดังกล่าวนี้ ทางคณะผู้จัดทำ จึงได้มีความคิดทำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องมือวัดดังกล่าวนี้ได้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวกลางในการสื่อสารกันระหว่างทรานสมิตเตอร์ และ คอมพิวเตอร์อีกทั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมินี้ สามารถทำการปรับเทียบ (Calibration) ได้สะดวกมากขึ้นและนำไปใช้งานภาคสนามได้ที่สำคัญต้นทุนในการประดิษฐ์มีราคาไม่แพงจึงสามารถเป็นสื่อการเรียนการสอนได้ดีเพื่อนักศึกษาจะได้ทำการค้นคว้าหาความรู้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. โครงงานนี้ประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ เช่น วงจรเปลี่ยนแอนะลอกเป็นดิจิตอล, วงจรบริดจ์, วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์พิฟาย์, วงจรบัฟเฟอร์, วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์, วงจรเปลี่ยนดิจิตอลเป็นแอนะลอก, วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส, เป็นต้น

2. MCS-51 สามารถตั้งค่าที่ต้องการทราบเพื่อแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ เช่น ค่า Span, Range, Zero, Number, Damping เป็นต้น

3. ทรานสมิตเตอร์สามารถส่งสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4 – 20mA เพื่อใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ในการวัด

4. เครื่องมือวัดอุณหภูมินี้สามารถวัดอุณหภูมิในย่านที่ต้องการได้

5. ทำให้การปรับเทียบตัวทรานสมิตเตอร์สะดวกมากขึ้น

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการกล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของปริญญานิพนธ์ประกอบ ด้วยส่วนย่อยๆ ดังนี้ คือ

1) อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิเช่นอาร์ทีดี, เทอร์มิสเตอร์โดยกล่าวถึงโครงสร้าง, หลักการทำงานตลอดจนวงจรของอุปกรณ์เหล่านี้

2) การวัด กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของการวัด, ชนิดการวัดและวิธีการวัด ตลอดจนระบบการวัดทั่วๆ ไป

3) ทฤษฎีการปรับเทียบในส่วนนี้กล่าวถึงความหมายการปรับเทียบระยะเวลาการปรับเทียบ ความสำคัญของการปรับเทียบ ตลอดจนเงื่อนไขการปรับเทียบ

4) ย่านการวัด กล่าวถึงการใช้งานการวัดในการปรับเทียบเครื่องมือวัด

5) หลักการปรับเทียบ กล่าวถึงการปรับเทียบเครื่องมือวัดที่ถูกต้องในระบบควบคุมวงปิด

6) ความแม่นยำและความถูกต้องในการปรับเทียบ กล่าวถึงความหมายและความสำคัญของค่าความแม่นยำในการปรับเทียบ วิธีการหาค่าความแม่นยำ

7) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนไปจากศูนย์ (Zero Shift) และ ค่าความความผิดพลาดระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (Span Error) ซึ่งกล่าวถึงความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตที่มีผลต่อการปรับเทียบ, ความสัมพันธ์ของ ค่าเลื่อนไปจากศูนย์ (Zero Shift) และ ค่าความความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (Span Error) ในกระบวนการเครื่องมือวัด, การหาค่าของความความผิดพลาดระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (Span Error) จากอินพุตและเอาต์พุต

8) ค่าความผิดพลาดอื่นๆ ของเครื่องมือวัด กล่าวถึงลักษณะบางประการของความไม่เป็นเชิงเส้นของเครื่องมือวัด การเกิดฮิสเตอร์รีซิสของเครื่องมือวัด

9) การทดสอบอุปกรณ์ และการตั้งค่าในการปรับเทียบซึ่งกล่าวถึงความสำคัญของการสร้างรูปแบบสัญญาณของเครื่องมือวัดต่างๆ ในระบบ, ความสำคัญในการหาค่าอินพุตและเอาต์พุตตลอดจนการใช้ค่าอินพุตและเอาต์พุตให้เหมาะสม

10) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งกล่าวถึง โครงสร้างของ MCS-51, การจัดขาต่างๆ ของMCS-51, โครงสร้างของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต, พื้นฐานการรับส่งข้อมูลแบบขนาน, การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ดภายนอกผ่านพอร์ตขนานและพอร์ตอนุกรม, ความรู้เบื้องต้นพอร์ตขนาน, แผนผังการทำงานบอร์ด, การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนาน, หลักการทำงานพอร์ตขนาน,การเขียนโปรแกรมควบคุม, การเชื่อมต่อ 8255 กับ MCS-51

11) ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ ซึ่งกล่าวถึงวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาดิจิตอล

12) โปรแกรมวิชวลเบสิก ประกอบด้วยความเป็นมา และลักษณะโดยรวมของโปรแกรมวิชวลเบสิก การสร้างภาพจากวิชวลเบสิก

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง ซึ่งได้กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจร แบ่งได้เป็น7 วงจรคือ วงจรเปลี่ยนแอนะลอกเป็นดิจิตอล, วงจรบริดจ์, วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์พิฟาย์, วงจรบัฟเฟอร์, วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์, วงจรเปลี่ยนดิจิตอลเป็นแอนะลอก, วงจรเปลี่ยนแรงดันให้เป็นกระแส, เป็นต้น

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง มีเนื้อหาเกี่ยวกับการตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของภาคต่างๆ ผลที่ได้รับ และการทดลองเมื่อนำเอาส่วนต่างๆ รวมเข้าด้วยกัน

บทที่ 5 บทสรุป แนวทางแก้ปัญหาและพัฒนา กล่าวถึงประสิทธิภาพการทำงาน, ความผิดพลาดและจุดบกพร่องที่พบในวงจร หรือโปรแกรมที่จัดทำขึ้นรวมถึงสาเหตุ และแนวทางการแก้ไข

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข ผังการทำงานและโปรแกรม

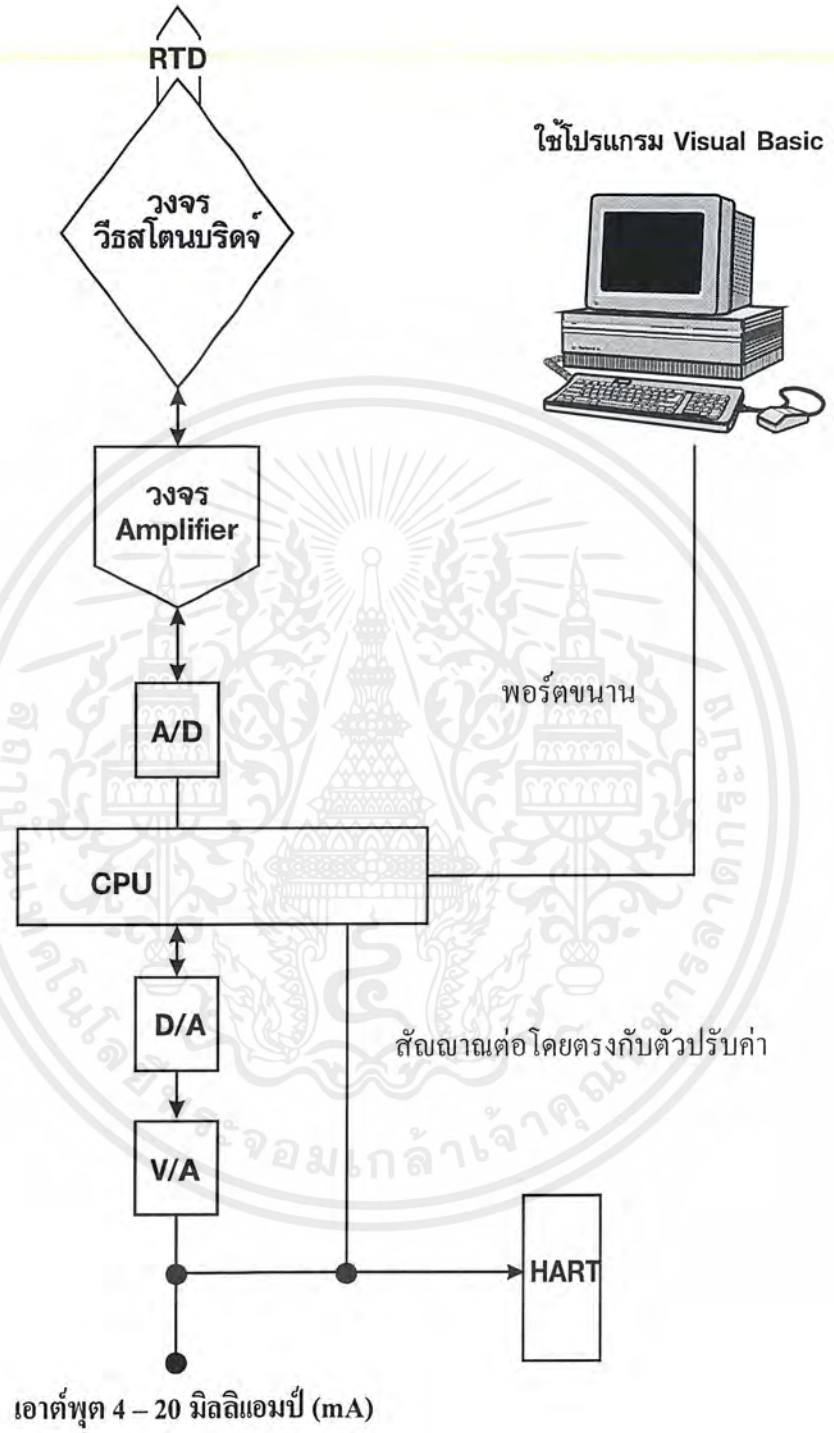
ภาคผนวก ค วงจรพิมพ์

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์อุปกรณ์

ภาคผนวก จ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.1 ผังของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วมักจะมีเงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความร้อนอย่างใกล้ชิดเสมอ เช่นถ้าแผ่นเหล็กเย็นจนเกินไปก็จะทำให้การปรับแต่งขึ้นรูปได้ยาก ดังนั้นจึงพอจะกล่าวได้ว่าการตรวจวัดและการควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากสิ่งหนึ่งของตัวแปรในกระบวนการอุตสาหกรรม

ความร้อนและอุณหภูมิ (Heat And Temperature) เรามักใช้คำทั้งสองนี้ร่วมกันเสมอๆ จนอาจทำให้เข้าใจได้ว่าสองคำนี้มีความหมายเหมือนกันถึงแม้ความเป็นจริงมันจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดก็ตาม แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าเราจะใช้สองคำนี้ทดแทนกันได้

อุณหภูมิเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุที่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของอะตอม และโมเลกุลของวัตถุ แต่ความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งไม่ได้เป็นคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุนั้นๆ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดการสั่นไหวเคลื่อนที่ได้เร็วยิ่งขึ้นพลังงานจลน์ของมันก็จะมากขึ้นตามด้วย วัตถุนั้นก็จะร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ผลของความร้อนประการหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ เมื่อความร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่วัตถุใดๆ ก็ตามจะทำให้อุณหภูมิของวัตถุนั้นสูงขึ้น

หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันฟาเรนไฮต์ซึ่งถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Gabriel farenheit มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32°F และจุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 212°F

เซลเซียส ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ชื่อ Ander Celsius มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 0°C และมีจุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 100°C ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดอุณหภูมิแบบฟาเรนไฮต์ และแบบเซลเซียส ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$T°F = \frac{9}{5}(C° + 32) \tag{2.1}$$

$$T°C = \frac{5}{9}(F° - 32) \tag{2.2}$$

อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature) ถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวสก็อตแลนด์ ชื่อ William Thomson,Lord Kelvinโดยขนาดองศาศูนย์ที่สมบูรณ์นั้นจะเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ ณ อุณหภูมินี้ทุกๆโมเลกุลของสารจะหยุดนิ่งหมด ศูนย์สัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ - 273.15°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมินั้นมีหลายชนิดด้วยกัน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสาร คือจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิที่วัดเปลี่ยนแปลงไปและการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่และแน่นอนและต้องพิสูจน์ได้ ซึ่งหลักการที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล เช่น เทอร์โมมิเตอร์ แถบโลหะคู่

2. อาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซหรือไอ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบความดัน

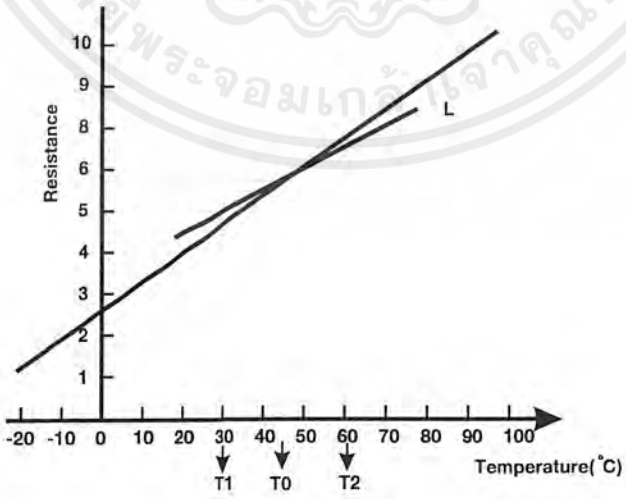
3. อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล, อาร์ทีดี, เทอร์มิสเตอร์ อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงหรือการแผ่รังสีเช่น ไพโรมิเตอร์

4. อาศัยหลักการโดยวิธีทางเคมี เช่น ใช้วิธีการเปลี่ยนรังสีของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากหลักการในการตรวจจับอุณหภูมิในหลายๆ วิธีดังกล่าว การตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าถูกนิยมนำมาใช้กันมากที่สุด เพราะสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปต่อร่วมกับวงจรไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแสดงผลในเชิงตัวเลข หรือควบคุมระบบกระบวนการที่ต้องการ ดังนั้นในที่นี้จะขอกล่าวเพียงกลุ่มของอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นสำคัญ

2.1.2 อาร์ทีดี (RTD)

เป็นคำย่อที่มาจาก Resistance Temperature Detector หรือความหมายในภาษาไทย มีชื่อว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าโดยความต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 2.1 หากเราต้องการหาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ ก็สามารถทำได้โดยกำหนดจุดบนกราฟจากนั้นทำการลากเส้นจะได้ค่าความต้านทาน ณ จุดที่อุณหภูมินั้นๆ แต่โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้วิธีการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องมาจากหากย่านการวัดอุณหภูมิมีช่วงกว้างๆ มากจะไม่มีกราฟที่ให้หาความสัมพันธ์ดังกล่าว หรือถ้ามีก็จะขาดความละเอียด

ดังนั้น สมการที่ใช้หาค่าความต้านทานแสดงได้ดังนี้

$$R_T = R_{T0}\,[\,1 + \alpha_0 \Delta T\,] \qquad (2.3)$$

โดยที่

R_T = ความต้านทานที่อุณหภูมิใด ๆ

R_{T0} = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T0 หรืออุณหภูมิอ้างอิง

Δ_T = $T - T_0$

α_0 = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลง ค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิ

ค่าของ α_0 สามารถหาค่าได้จากค่าความต้านทานและอุณหภูมิ คือ

$$\alpha_0 = \frac{1}{R_{T0}} \times (\text{Slope ที่ }_{T0}) \qquad (2.4)$$

$\therefore$ แทนค่า $\alpha_0 = \dfrac{1}{R_{T0}} \times \dfrac{(R_2 - R_1)}{(T_2 - T_1)}$

เมื่อ R_1 = ค่าความต้านทานที่ T_1

R_2 = ค่าความต้านทานที่ T_2

ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน (α) จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิด ของโลหะที่ใช้ทำอาร์ทีดี เช่น พลาตินัม 0.0039 Ω/Ω/ °C จากย่านวัดอุณหภูมิ 0°C ถึง 100°C

นิเกิล 0.0067 Ω/Ω/ °C

ทองแดง 0.0038 Ω/Ω/ °C

ในทางปฏิบัติค่าของ α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วง ซึ่งจะแปรผันไม่เป็นเส้นตรง ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าที่แน่นอน สามารถใช้ได้โดยใช้สมการ 2.5

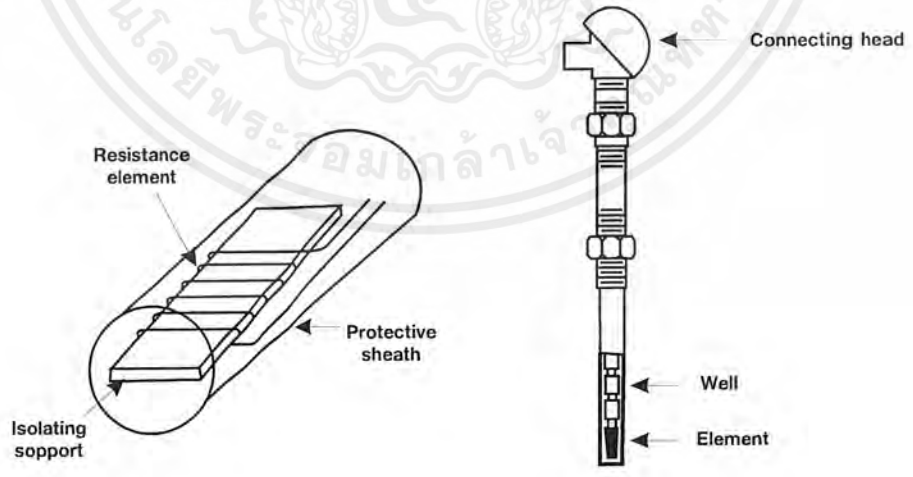
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_T = R_{T0}\ [1 + \alpha_1 \Delta_T + \alpha_2 (\Delta_T)^2] \quad (2.5)$$

ค่า α_1 และ α_2 เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในทางปฏิบัติในการนำไปใช้งานค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิตอาร์ทีดีเป็นผู้กำหนดให้

2.1.3 โครงสร้างของ อาร์ทีดี

อาร์ทีดี ทำด้วยโลหะที่มีค่าความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ที่อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะดังกล่าวนี้พันอยู่รอบแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้ส่วนมากจะทำมาจากสารประเภทเซรามิก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิตอาร์ทีดีก็คือขณะใช้งานขอลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดจนการสะเทือน ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัวและเมื่อเย็นตัวลงจะหดตัว พร้อมกันนี้แกนที่ใช้พันขดลวด ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่มีความสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด การพันขดลวดจะนิยมทำกันในขณะที่ขดลวดร้อนจนถึงอ่อนตัวหลังจากนั้น จะต้องผ่านกระบวนการรอบความร้อนคลายความเครียด (Strin) ที่มีอยู่ในขดลวดด้วยอุณหภูมิอย่างน้อย 500°Cเป็นเวลานานถึง 24 ชั่วโมงอาร์ทีดี โดยทั่วไปจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (Sheath) ฉนวนที่ใช้จะเป็นแมกนีเซียมออกไซด์หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัด โดยตรงจะอยู่บริเวณส่วนปลายอาจมีความยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์ทีดีโดยทั่วไปแล้วทำมาจากโลหะที่มีความต้านทานต่ำ เช่น พลาตินัม, ทองแดง, นิเกิล สำหรับทังสเตนจะใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่ต้องการย่านวัดสูงๆ แต่เนื่องจากมันเปราะและแตกหักง่ายจึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน ส่วนโลหะที่นิยมนำมาใช้ทำอาร์ทีดีและให้ผลตอบสนองที่ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงก็คือพลาตินัม และได้แสดงคุณสมบัติของ อาร์ทีดี ที่ทำจากโลหะประเภทต่างๆ

ในการที่จะนำอาร์ทีดีไปใช้งานนั้นจำเป็นที่ต้องต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟดังนั้นจึงเป็นเหตุให้มีกระแสจำนวนหนึ่งสร้างความร้อนขึ้นในตัวอาร์ทีดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ I^2R จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจำกัดค่ากระแสจำนวนนี้ไม่ให้มีค่าสูงเกินไป โดยปกติอาร์ทีดีแบบพลาตินัมจะเกิดค่าความผิดพลาดขึ้น $\frac{1}{2}^{\circ}$ ต่อค่ากระแสเลี้ยง 1 mA ในบรรยากาศปกติที่ไม่มีการถ่ายเท แต่ในภาวะการใช้งานที่จะต้องจุ่มลงในของเหลว ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะกระจายออกสู่ของเหลวทำให้ค่าผิดพลาดนี้ต่ำลง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหลความหนาแน่นของตัวกลาง แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.6

$$\Delta_T = \frac{P}{P_0} \tag{2.6}$$

โดยที่ Δ_T คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องจากความร้อนในตัว

P คือ กำลังความร้อนในอาร์ทีดีจากวงจร

P_0 คือ กำลังความร้อนสูญเสียคงที่ของอาร์ทีดี

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ค่ากำลังความร้อนสูญเสียคงที่ (Dissipation Constant) เป็นข้อมูลเฉพาะของอาร์ทีดีแต่ละชนิด ซึ่งตัวเลขนี้จะสัมพันธ์กับกำลังที่ให้อุณหภูมิของอาร์ทีดีเพิ่มขึ้น 1° เช่น $25mW/^{\circ}C$ หมายความว่ากำลังของความร้อนอันมาจากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในอาร์ทีดีเท่ากับ 25mW โดยมีความร้อนเป็น $1^{\circ}C$ ซึ่งค่ากำลังความร้อนคงที่นี้ได้มาจากการกำหนดให้อาร์ทีดีอยู่ภายใต้ 2 เงื่อนไขคืออยู่ในที่อากาศถ่ายเทสะดวกและอ่างน้ำมันที่มีการเคลื่อนที่ไหวอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลานั่นเอง วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดีก็คือวงจรบริดจ์ นั่นเอง อาร์ทีดีจะติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการตรวจจับอุณหภูมิตัวต้านทานที่เหลืออีก 3 ตัวที่จะต้องใช้เป็นแบบที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเปลี่ยนต้องต่ำมากๆ และในการใช้งาน อาร์ทีดีร่วมกับวงจรบริดจ์นี้

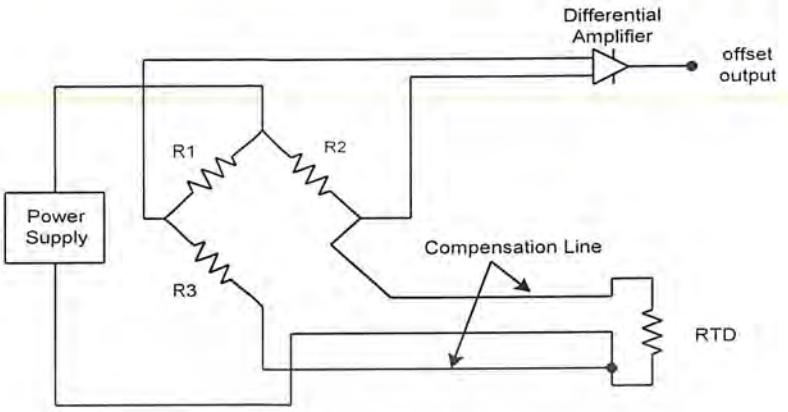
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของ RTD ที่ทำมาจากโลหะประเภทต่าง ๆ

ชนิดของโลหะ	กระเปาะที่บรรจุ (case)	ย่านอุณหภูมิ (องศา)	ความต้านทาน Ω	ค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณ (α) Ω/Ω/°c
พลาสติก (ห้องทดลอง)	แก้ว	-190ถึง540	25ที่0°C	0.0039
พลาตินัม (อุตสาหกรรม)	สแตนเลส	-200ถึง125	25ที่0°C	0.0039
	เหล็ก	-18ถึง540	25ที่0°C	0.0039
พลาตินัม (แบบแผ่นฟิมล์)	เซรามิก	-50ถึง600	1000ที่0°C	0.0039
	อลูมินาและแก้ว	-272ถึง200	26ที่ที่0°C	0.0037
โรเดียม-เหล็ก	ทองเหลือง	-75ถึง120	10ที่0°C	0.0038
ทองแดง	ทองเหลือง	0ถึง120		

จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาสายที่ต่อระหว่างอาร์ทีดี กับวงจรบริดจ์มากเป็นพิเศษ นั่นก็หมายความว่าหากสายที่ใช้ต่อเป็นสายที่ยาวจะทำให้มีผลต่ออุณหภูมิและค่าความต้านทาน ที่เกิดขึ้นกับวงจร ทำให้ผลของการวัดผิดพลาดไป จึงจำเป็นที่ต้องมีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อชดเชยค่าที่ผิดพลาด ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่การต่อวงจรอาร์ทีดี แบบ 3 สาย เป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุด ทั้งนี้สายตัวนำทั้ง 3 ต้องมีความยาวและขนาดเท่ากัน รวมทั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด ซึ่งการต่อวงจรอาร์ทีดีแบบ 3 สายร่วมกับวงจรบริดจ์นี้ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3

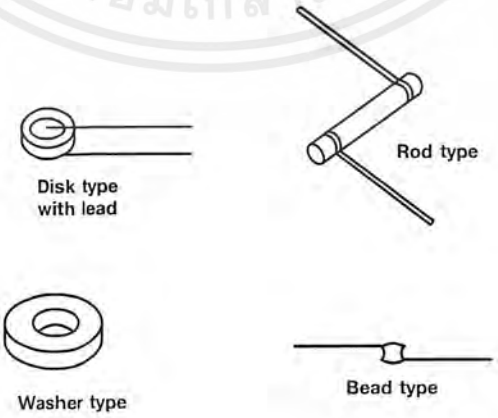
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรต่อใช้งานพื้นฐานของ RTD

2.1.4 เทอร์มิสเตอร์ (Thermister)

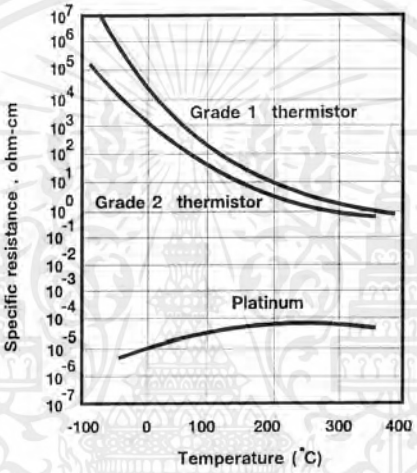
เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเช่นเดียวกับ อาร์ทีดี แต่เทอร์มิสเตอร์ทำมาจากคาร์บอนและสารกึ่งตัวนำ เช่นออกไซด์ของโลหะ, นิเกิล, โคบอลต์, เหล็ก ทองแดง, เยอมาเนียม, แมกนีเซียม และไทเตเซียม ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้ ออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดงและออกไซด์ของนิเกิลกับทองแดง สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าที่สูงเช่นเทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156 Ω เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเพียง 1°C เท่านั้น แต่ข้อสำคัญที่ทำให้เทอร์มิสเตอร์ต่างจาก อาร์ทีดี คือการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะกลับกันกับอาร์ทีดีกล่าวง่ายๆ ก็คือ ค่าความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งทั้งนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำนั่นเอง ดังรูปที่ 2.4 ได้แสดงตัวอย่างของเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่เทอร์มิสเตอร์มีสัมประสิทธิ์ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงนี่เองทำให้ย่านการวัดอุณหภูมิแคบ โดยทั่วไปจะใช้ในย่านต่ำกว่า 100°C แต่ก็มีบางแบบเหมือนกันที่สามารถวัดได้ถึง 450°C แต่อย่างไรก็ตาม ในย่านที่อุณหภูมิต่ำๆ เทอร์มิสเตอร์สามารถใช้งานได้ดี แต่ควรระวังในเรื่องความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ให้ดี เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นเส้นตรงมากนัก จึงจำเป็นที่ต้องเลือกใช้งานเอาเฉพาะในบางช่วงที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ดังในรูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ เปรียบเทียบกับ RTD ชนิดที่ทำมาจากพลาตินัม



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับ RTD

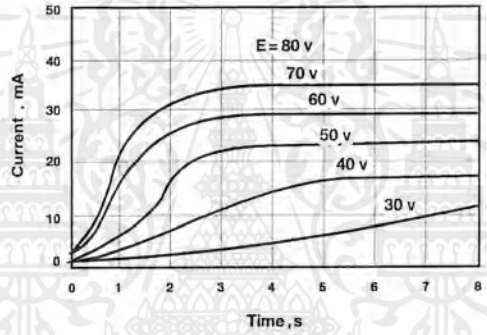
เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์มาใช้งานร่วมกับวงจรไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ตัวมันจะเพิ่มขึ้นตามกระแสที่ไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมาถึงที่จุดๆ หนึ่ง แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมนี้จะลดลงในขณะที่กระแสก็ยังเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อยๆ สาเหตุที่เกิดลักษณะนี้ เพราะคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์มีค่าความต้านทานเป็นลบนั่นเอง ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าน้อย กระแสก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสนี้ก็ยังมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้นได้ ภายใต้สภาวะเช่นนี้ กระแสจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม

เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสสูงตามไปด้วยจึงทำให้เกิดเป็นความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์สูงเกินกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้น และค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลงซึ่งผลอันนี้จะทำให้กระแสไหลมากขึ้นและค่าความต้านทานยังคงลดลงไปเรื่อยๆ ค่ากระแสนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าสูญเสีย(Dissipation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเทอร์มิสเตอร์มีค่าเท่ากับพลังงาน หรือกำลังงานที่ป้อนให้ภายใต้สภาพแวดล้อมอุณหภูมิที่คงที่ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะเป็นฟังชั่นกับพลังงานที่สิ้นเปลืองไปภายในตัวของมันเองนั่นก็หมายความว่า จะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของมันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

ในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของเทอร์มิสเตอร์ กล่าวคือ กระแสจะมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ด้วย เมื่อเกิดความร้อนขึ้นในตัวเทอร์มิสเตอร์ มันจะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งที่จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และกระแสจะมีค่าคงที่ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ ถือได้ว่า เป็นเวลาที่ใช้ในการตอบสนองนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลานี้จะแปรผันไปตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงคุณลักษณะของกระแสกับเวลาของทรานสมิตเตอร์

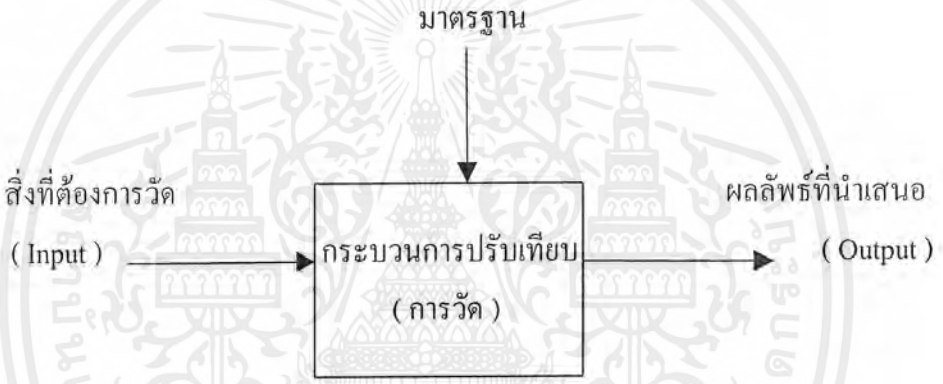
เนื่องจากสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูง การใช้เทอร์มิสเตอร์ต่อร่วมกับวงจรบริดจ์เหมือนอาร์ทีดีนั้น ทำให้เราสามารถอ่านค่าได้ละเอียดมากในช่วงอุณหภูมิแคบๆ โดยสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแม้เพียง 0.005°C เท่านั้น ดังนั้นวงจรการวัดโดยทั่วไปจึงหันมาใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และสายที่ต่อจากเทอร์มิสเตอร์มายังวงจรก็ไม่มีส่วนสร้างความผิดพลาดในการวัดเหมือนกับอาร์ทีดี

นอกจากการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิโดยตรงแล้ว เรายังสามารถนำมาเป็นตัวชดเชยการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิกส์ต่างๆ ให้ทำงานให้ถูกต้องตลอดเวลา แม้ว่าอุณหภูมิของบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม นอกจากนั้นในวงจรอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล ยังมีการเอาเทอร์มิสเตอร์มาใช้ในการวัดอุณหภูมิอ้างอิงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัด (Measurement)

เป็นพื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา การวัดเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ในความเป็นจริงแล้วได้มีการพัฒนารูปแบบและหลักการของการวัดขึ้นมาจากอดีตพร้อมๆ กับวิวัฒนาการของมนุษย์ที่มีการค้นพบ หรือศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ เพื่อใช้ในการดัดแปลงหรือควบคุมธรรมชาติให้เอื้ออำนวยต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ รวมไปถึงกระบวนการควบคุมการผลิตในงานอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้ไม่ว่าจะมองในแง่คุณภาพหรือปริมาณหรือความสะดวกปลอดภัย จำเป็นต้องอาศัยการวัดที่ละเอียดและที่ถูกต้องเป็นพื้นฐานไม่ว่ากระบวนการที่ได้กล่าวนั้น จะง่ายหรือสลับซับซ้อนเพียงใดก็ตาม ดังรูปที่ 2.7



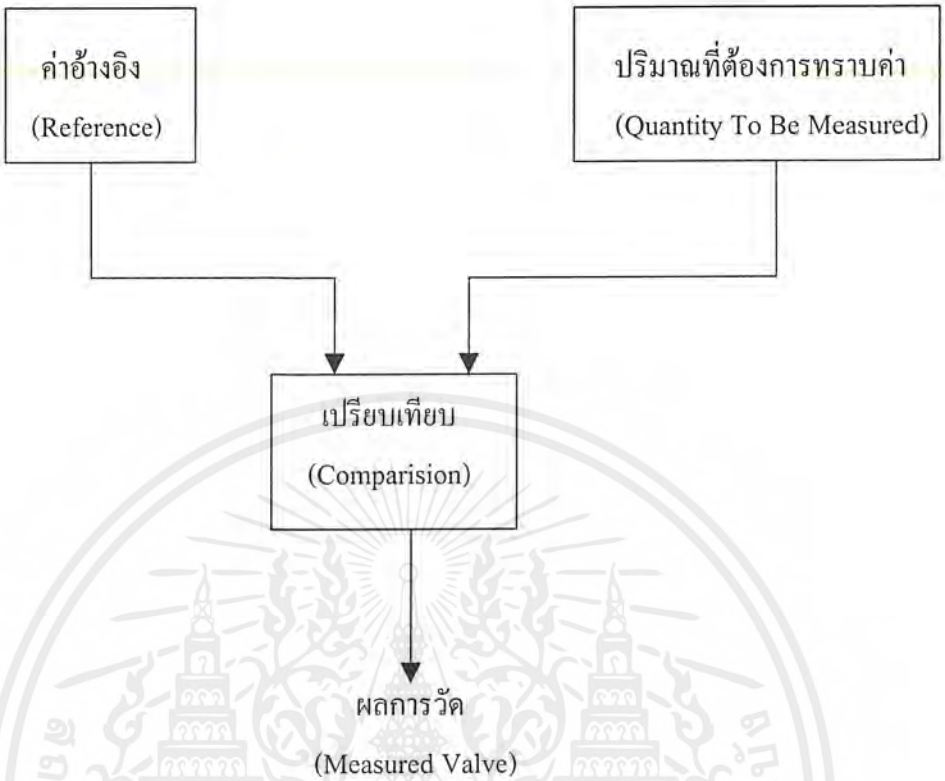
รูปที่ 2.7 หลักการวัด

2.2.1 องค์ประกอบการวัดเบื้องต้น

1. ความหมายของการวัด

การวัด หมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่ต้องการทราบค่า กับค่าอ้างอิงซึ่งได้แสดงดังไดอะแกรมในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบการวัด

2. ศัพท์เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม (Terminology)

1. Range คือ ขีดกำจัดที่อุปกรณ์การวัดสามารถอ่านหรือบันทึกค่าได้ ซึ่ง Rang แบ่งออกได้ดังนี้

- Lower range value คือ ค่าต่ำสุดที่อุปกรณ์การวัดนั้นสามารถปรับลงมาอ่านได้หรือทำการบันทึกค่าได้

- Upper range value คือ ค่าสูงสุดที่อุปกรณ์การวัดนั้นสามารถปรับขึ้นไปอ่านค่าได้

2. Span คือ ผลต่างของ Upper range value กับ Lower range value

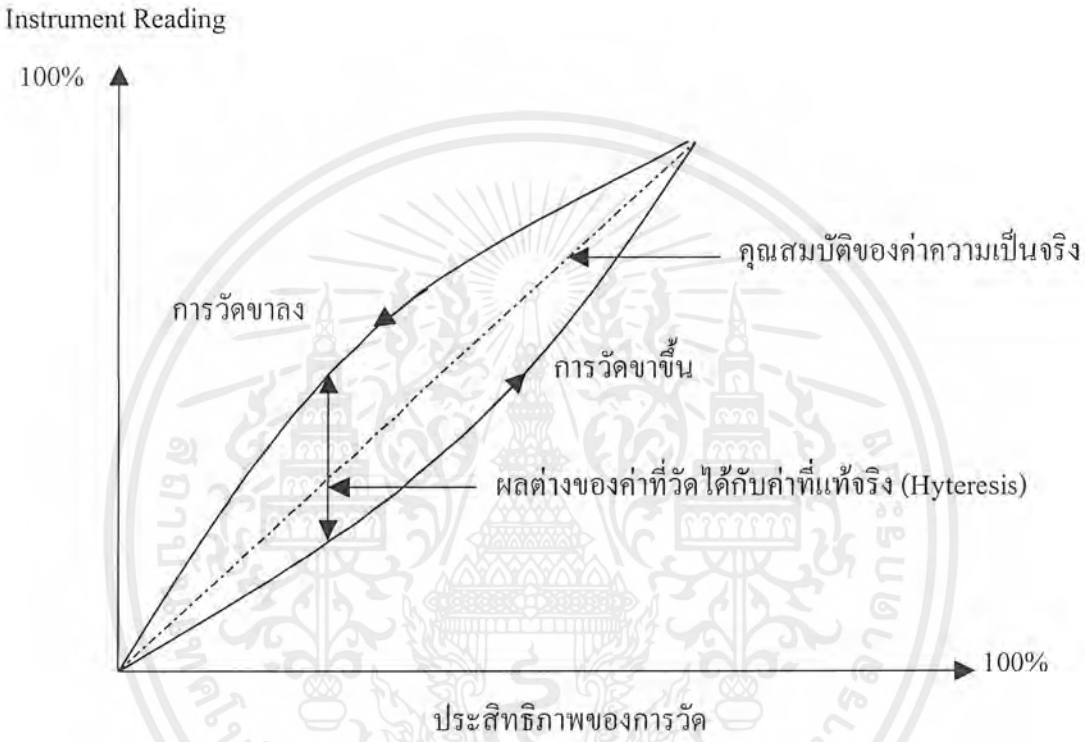
ข้อสังเกตุ ถ้า Span ของเครื่องมือวัดเปลี่ยน Range ต้องเปลี่ยนด้วย แต่ถ้า Range เปลี่ยน Span อาจจะไม่เปลี่ยนก็ได้

3. Accuracy คือ ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัด เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับหรือค่าที่แท้จริง โดยทั่วไปจะแสดงมาอยู่ในรูปของ ความผิดพลาด (Error) ในหน่วยของการวัด เป็น % ของ Span หรือ % ของ Upper range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Repeatability คือ ค่าความใกล้เคียงของค่าที่อ่าน ได้จากอุปกรณ์การวัดที่วัดติดๆ กัน จำนวนหลายๆ ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขการวัดแบบเดียวกัน

5. Hysteresis คือ ผลต่างสูงสุดของค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัด จากค่าที่แท้จริงระหว่างการอ่านขาขึ้นกับการอ่านขาลงที่จุดๆ เดียวกัน ซึ่งทั้งหมดนี้ได้แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวัดกับค่าที่อ่านได้

Hyteresis เกิดขึ้น เนื่องจากการได้รับพลังงานของชิ้นส่วนของอุปกรณ์การวัดจำนวนหนึ่งก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลง หรือเคลื่อนไหว

หมายเหตุ คำศัพท์เหล่านี้จะใช้มากในหัวข้อ 2.8

2.2.2 รูปแบบของการวัดในทางปฏิบัติ

คือการเปรียบเทียบกับมาตรฐานซึ่งมาตรฐานนี้เป็นตัวแทนทางกายภาพของหน่วย (Unit) ของการวัดที่ใช้ ซึ่งนั่นคือขนาดมาตรฐานของคุณสมบัติโดยทั่วไปในทางวิทยาศาสตร์กายภาพค่าตัวเลขที่ให้แก่ค่าที่วัดจะแสดงอัตราส่วนของขนาดของคุณสมบัติต่อมาตรฐานซึ่งถือว่าเป็นหนึ่ง ดังนั้นมาตรฐานจะต้องมีคุณสมบัติเดียวกับคุณสมบัติของวัตถุที่จะวัด นอกจากนั้นมาตรฐานนี้จะต้องเป็นที่ยอมรับด้วย ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของการวัด มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1 การวัดได้มาซึ่งความรู้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวกับโลกทางกายภาพ เราจะได้รับผ่านขั้นตอนทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งความรู้ดังกล่าวจะแทนคุณสมบัติของวัตถุหรือเหตุการณ์ที่ถูกวัด ถ้าหากมีการรวบรวมจัดลำดับเป็นหมวดหมู่ ก็สามารถที่จะทำการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ความเข้าใจและความมั่นใจ จะทำให้เกิดผลที่แสดงในรูปกฎทางวิทยาศาสตร์

2 การวัดเพื่อการควบคุม

การวัดจะช่วยในการควบคุมระบบซึ่งต้องทำการวัดหลายๆ ครั้งโดยทำซ้ำๆ กัน ระบบดังกล่าวได้เพิ่มจำนวนของการใช้ ตั้งแต่การควบคุมกระบวนการและการควบคุมการผลิตเครื่องจักรกลถึงเครื่องใช้ภายในบ้าน เราจะพบว่าในสายงานการผลิตสมัยใหม่จะใช้อุปกรณ์การวัดเป็นจำนวนมากขึ้นตามรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 การวัดเพื่อการควบคุม

2.2.3 ชนิดและวิธีการวัด

แม้ว่าการวัดทุกชนิด สามารถทำโดยการเปรียบเทียบค่าที่ต้องการวัดกับมาตรฐานที่ได้มีการนิยามไว้ แต่ก็มีหลายวิธีของการกระทำการเปรียบเทียบดังกล่าว เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่ต้องการจากการวัดนอกจากนั้นแล้วการที่เรานิยามคำที่เกี่ยวกับวิธีทำการวัดจะช่วยให้เราสามารถสื่อสารแนวคิดโดยใช้คำที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ซึ่งการวัดแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1 การวัดโดยตรง (Direct Comparison) เป็นวิธีการที่เราได้ค่าการวัดโดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณเพิ่มเติม เพียงแต่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ต้องการวัดกับปริมาณอื่นที่เราต้องการวัดจริง ค่าที่ต้องการก็จะได้ทันทีในรูปของข้อมูลเดิม

2 การวัดโดยทางอ้อม (Indirect Comparison)

เป็นการวัดที่เราจะได้ค่า โดยผ่านตัวกลางที่มีหน่วยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเชื่อมต่อกันในบางลักษณะ เช่นวิธีการวัดระยะโดยใช้เวลาการเคลื่อนที่ของพัลซ์เป็นวิธีทางอ้อม เนื่องจากต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40201

การคำนวณหาระยะทางจากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลซ์กับการเคลื่อนที่ ซึ่งมีข้อสังเกตอยู่ประการเกี่ยวกับการวัดทางอ้อมก็คือ ผลลัพธ์สุดท้ายนั้นจะได้มาจากผลของการวัดโดยตรงหลายๆ ปริมาณ

2.2.4 ระบบการวัดโดยทั่วไป

ในงานอุตสาหกรรมจะใช้วิธีการวัดทางอ้อมเป็นส่วนใหญ่ และมักจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1 ส่วนที่ใช้ในการตรวจจับและเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน

2 ส่วนที่ใช้กำหนดเงื่อนไขของสัญญาณ

3 ส่วนที่ใช้ในการนำเสนอ

ดังแสดงในรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 ระบบการวัดทั่วไป

1 ภาคอุปกรณ์ตรวจจับและเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงาน

ส่วนนี้เป็นส่วนแรกของระบบการวัดโดยทั่วไป ซึ่งมีหน้าที่วัดคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ของสิ่งที่ต้องการตรวจวัดจากนั้นจึงเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของพลังงานหรือสัญญาณที่ส่วนอื่นต่อไป ซึ่งในที่นี้ก็คือ ส่วนที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณสามารถตอบสนองได้ ตัวอย่างเช่น เทอร์โมคัปเปิลถือว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้อยู่ในรูปพลังงานทางไฟฟ้า เป็นต้น

2 ภาคอุปกรณ์กำหนดเงื่อนไขสัญญาณ ข้อมูลหรือสัญญาณจากส่วนแรกจะถูกส่งมาที่ส่วนนี้ เพื่อทำการปรับปรุงและกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณก่อนที่ส่งไปให้ภาคต่อไป การปรับปรุงและกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณเป็นอย่างไร เช่น หากสัญญาณที่มาจากส่วนแรกมีสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณมีระดับต่ำเกินไป ก็จะเป็นหน้าที่ของส่วนนี้ในการกำจัดสัญญาณรบกวน หรือทำการขยายสัญญาณให้มีระดับสูงขึ้นหากสัญญาณมีระดับต่ำเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ภาคเซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์

เป็นภาคที่มีความสำคัญและเป็นส่วนแรกของระบบการวัด เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ หรือวัดค่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ ต่าง ๆ เช่น ความร้อน, แสง, สี, เสียง, ระยะทาง, การเคลื่อนที่, ความดัน, การไหลเป็นต้นจากนั้นจึงเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนของการกำหนดเงื่อนไขทางสัญญาณ เซ็นเซอร์จะใช้กับอุปกรณ์ที่สามารถสร้างสัญญาณที่มีความสัมพันธ์กับค่าหรือปริมาณของสิ่งที่ต้องการตรวจวัด โดยอาจเป็นสัญญาณชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกันก็ได้ ส่วน ทรานสดิวเซอร์ ก็คือ เซ็นเซอร์ นั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตาม ในระบบการวัดอาจใช้ ทรานสมิตเตอร์เพิ่มเข้าไปใน เซ็นเซอร์เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามต้องการ เพราะฉะนั้นเซนเซอร์ ก็คือทรานสดิวเซอร์ ถือว่าไม่ผิดแต่ประการใด

2.3 การปรับเทียบ

2.3.1 การปรับเทียบ เป็นกระบวนการซึ่งนำค่าที่ถูกวัดได้โดยเครื่องวัดไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่มีความถูกต้องสูงกว่าเพื่อตรวจสอบ และกำจัดค่าผิดพลาดด้วยการปรับแต่งรวมถึงการรายงานค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องวัดนั้นๆ

2.3.2 การปรับเทียบ เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ผู้ที่ซึ่งถูกฝึกมาอย่างชำนาญ เครื่องมือที่ใช้อ้างอิงต้องมีความถูกต้องสูงโดยจะกระทำภายใต้ขั้นตอนและเงื่อนไขที่กำหนด

2.4 ความถี่ในการปรับเทียบ

2.4.1 การทำการปรับเทียบเครื่องมือวัด จำเป็นเมื่อ

1) เครื่องวัดถึงกำหนดที่ต้องปรับเทียบ

2) เมื่อเกิดสงสัยในความถูกต้องหรือเมื่อนำเครื่องมือวัดไปใช้งานผิดพลาด หรือไม่ถูกต้องกับชนิดของงาน

3) หลังจากการซ่อม

2.4.2 ปกติแล้ว ช่วงเวลาการ ปรับเทียบจะมีระยะเวลาตามที่ผู้ผลิตแนะนำ นั่นคือ

- 24 ชม. : ระยะเวลาสั้น (Short Term)
- 30 วัน : เครื่องมือบางชนิด
- 90 วัน : เป็นที่นิยมที่สุด สำหรับมาตรฐาน เช่น 2558 , 2506A
- 1 ปี : ความถูกต้องต่ำที่สุด (Lowest Accuracy) เช่น แอนะลอกมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 กรณีต้องการกำหนดระยะเวลาการปรับเทียบเอง

ถ้าต้องการกำหนดระยะเวลาการปรับเทียบเองสามารถใช้ข้อเสนอ 2ข้อต่อไปนี้ไปประกอบเพื่อความเหมาะสม ประหยัด และมีประสิทธิภาพ ดังนี้

1 กำหนดตามประสบการณ์ ได้แก่ กำหนดระยะเวลาการปรับเทียบ ตามความสำคัญของเครื่องวัดแต่ละชนิดจากประสบการณ์หากเป็นเครื่องวัดที่ไม่เคยมีประสบการณ์ให้กำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องวัดอื่นๆ ทั่วไป หรืออาจกำหนดตามโรงงานอื่นโดยให้สั้นกว่าข้อมูลที่ได้มาเล็กน้อย

2 กำหนดตามข้อมูลต่างๆ

- ค่าความแม่นยำที่ต้องการ (ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ มาก กลาง น้อย)
- ขบวนการผลิต (ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ มาก กลาง น้อย)
- จำนวนครั้งต่อระยะเวลา (ทุกๆ เดือน เดือนละหลายๆ ครั้ง หรือนานๆ ครั้ง)
- สภาพ (เก่า กลาง ใหม่)
- ความแข็งแรง (น้อย ปกติ มาก)
- การบำรุงรักษา (ยาก ปกติ ง่าย)

สำหรับเครื่องวัดที่ได้รับการปรับเทียบแล้ว ควรจะมีป้ายบอกที่จะต้องทำการปรับเทียบในครั้งต่อไปติดไว้ที่ตำแหน่งที่เห็นได้ง่ายและป้ายที่ใช้ ถ้าแยกสีโดยแยกออกจากชนิดของเครื่อง เดือนที่ทำการปรับเทียบสถานที่ที่ทำการปรับเทียบก็จะทำให้ใช้งานสะดวกมากขึ้น

2.5 การปรับเทียบโดยอาศัยเครื่องมือที่ปรับเทียบ (Traceability)

Traceability เป็นศัพท์เทคนิคที่ผู้เชี่ยวชาญทางปรับเทียบ ของ NBS (National bureau of standard) ของอเมริกาเป็นผู้เริ่มใช้ โดยย่อมาจาก Traceability of calibrate to NBS

Traceability หมายถึงการที่เครื่องมือวัดมาตรฐานหรือเครื่องมือวัดปกติที่มีอยู่ในหน่วยงานทั่วไปสืบทอดมาตรฐานที่ประเทศและนานาชาติรับรองไว้ รวมถึงการสร้างระบบที่เหมาะสมในการสอบเทียบเครื่องวัดตั้งแต่เครื่องวัดมาตรฐานที่ประเทศรับรองจนถึงเครื่องวัดที่ใช้ทั่วไป และการรักษาระบบนั้น

2.5.1 การปรับเทียบโดยอาศัยเครื่องมือที่ปรับเทียบ

- ระบบการปรับเทียบ ต้องเป็นลักษณะห่วงโซ่ เครื่องมือวัดทุกตัวในห่วงโซ่ต้องถูกปรับเทียบ โดยเครื่องวัดที่มีความถูกต้องสูงกว่าเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องมีเอกสารที่แสดงว่าเครื่องวัดนั้นๆ ถูกปรับเทียบ โดยเครื่องวัดมาตรฐานซึ่งสืบทอดความถูกต้องมาจากมาตรฐานของประเทศอีกทอดหนึ่ง

- ต้องมีหลักฐานชัดเจนที่แสดงความต่อเนื่องของห่วงโซ่

2.6 ความสำคัญของการปรับเทียบ

การปรับเทียบ (Calibration) ถือว่าเป็นอีกชนิดหนึ่งของการปรับเทียบ ดังนั้นในกระบวนการผลิตใดๆ ที่เราต้องการความแน่นอนในการใช้งาน มันจะขึ้นอยู่กับค่าความแม่นยำ (Accuarcy) และค่าความถูกต้อง (Repeatability) ในการวัดของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมแต่ละตัว ตลอดจนในระบบควบคุมในแต่ละชุด การปรับเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมจะช่วยให้เกิดความมั่นใจในการทำงานของขบวนการผลิตที่ทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน เพื่อผลผลิตจะได้มีมาตรฐานทางคุณภาพตามที่กำหนดไว้

ดังนั้น การปรับเทียบ (Calibration) คือ การทำให้ค่าที่วัดถูกต้อง (Repeatability) และแม่นยำ (Accuarcy) ตลอดจนการเปรียบเทียบค่าของอินพุต และค่าเอาต์พุตของค่ามาตราฐาน (Input Output Standard) หลังจากการพิจารณาผลการเปรียบเทียบถ้าหากว่าเครื่องมือวัดเกิดการผิดพลาด (Error) ก็จะสามารถทำให้เหมือนเดิมและถูกต้องได้ โดยการปรับเทียบอันที่จะต้องสร้างตัวแปรของขบวนการที่จะทำการวัดขึ้น ซึ่งวิธีนี้จะเป็นขั้นตอนการปรับเครื่องมือวัดเพื่อให้เกิดความถูกต้อง (Repeatability) แต่ส่วนใหญ่จะทำมาจากโรงงานผู้ผลิตตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้แล้ว การปรับเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม อาจเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process) หรือของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ซึ่งตามปกติจะต้องมีตารางเวลาการปรับเทียบเป็นประจำ ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นที่จะตามมา

เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม คือ อุปกรณ์ที่จะใช้ทำการวัดและใช้ในระบบควบคุม ถ้าหากว่ามีอุปกรณ์เครื่องมือวัดตัวใดตัวหนึ่งมีคุณลักษณะที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ก็จะสามารถที่จะทำให้ระบบทั้งหมดในขบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

เครื่องมือวัดอาจจะต้องมีการปรับเทียบ เป็นประจำตามที่กำหนด เพราะเวลาในการใช้งาน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในขบวนการผลิต,วัสดุที่นำมาใช้ ตลอดจนสภาพแวดล้อม เป็นเหตุในการที่จะต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำอย่างไรก็ดีโดยทั่วไป การปรับเทียบจะต้องทำภายหลังจากการที่ ปิดเครื่องแล้ว (Shut down)ในกรณีนี้ถึงแม้ว่า เครื่องมือวัดจะถูกปรับเทียบมาจากโรงงานแล้วก็ตาม แต่ในระหว่างการขนส่ง อาจจะทำให้เครื่องมือวัดมีค่าผิดพลาดไปได้ ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนเครื่องมือวัดใหม่จะต้องทำการปรับเทียบก่อนทุกครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากว่าตำแหน่งของการติดตั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปเครื่องมือวัดควรทำการปรับเทียบ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งเพื่อความถูกต้องในการทำงานของระบบควบคุม

2.7 การจำลอง (Simulate) สัญญาณที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือวัด

1) ตำแหน่งของเครื่องมือวัดในขบวนการผลิต และความสัมพันธ์ที่ถูกต้องของอุปกรณ์ในการตั้งค่าของอินพุตมาตรฐาน (Input Standard)

2) ความเหมาะสมของค่าเอาต์พุตมาตรฐาน (Output Standard)

3) ความเหมาะสมของกำลังแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในการตั้งค่า (Setup)

4) การไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งต้องมีความถูกต้อง

5) การเชื่อมต่อจะต้องถูกต้อง ทั้งระบบลมและระบบกระแสไฟฟ้า หรือระบบอื่นๆ

2.8 เงื่อนไขของการปรับเทียบ

2.8.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ของขั้นตอนการปรับเทียบ

การปรับเทียบเครื่องมือวัด จะต้องประกอบด้วยสัญญาณทางอินพุต (Signal Input) ที่จะแทนค่าในกระบวนการ (Process) ตลอดจนจะต้องอ่านค่าสัญญาณทางเอาต์พุต(Signal Output) ที่จุดต่างๆ กันให้ตลอดย่านของเครื่องมือวัดที่นำมาปรับเทียบ วิธีที่ดีที่สุดคือการตรวจสอบ 5 จุด ในทางด้านตำแหน่งสูง (Up scale และ ตำแหน่งต่ำ (Down scale)

การทดสอบจะดูจากกราฟที่ได้และจะต้องทราบค่าผิดพลาด (Error) ของเครื่องมือวัดว่าเป็นอย่างไร ขั้นตอนต่อไปในการปรับเทียบคือ กำหนดจุดในการปรับเทียบโดยใช้กราฟของเครื่องมือวัดเป็นตัวที่จะพิจารณา สุดท้ายการปรับเทียบต้องทำการตรวจสอบ 5 จุดอีกครั้งเพื่อความแน่ใจ

2.8.2 มีวิธีการอย่างไรในการตรวจสอบการปรับเทียบเครื่องมือวัด

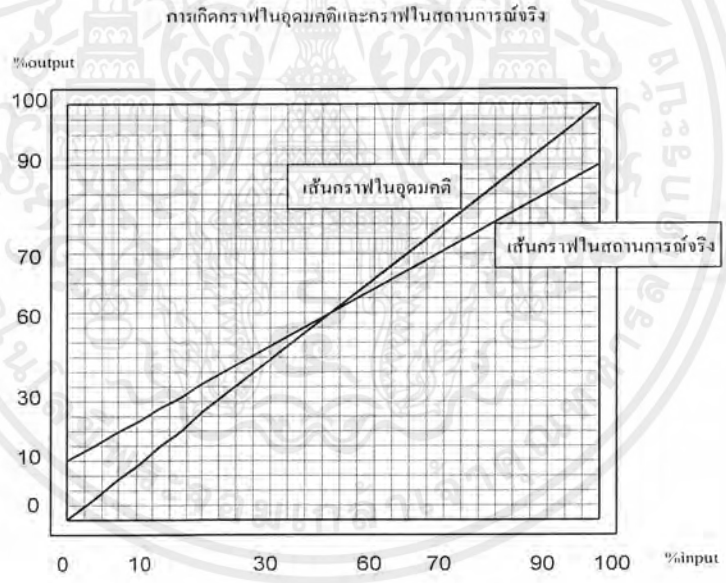
การปรับเทียบเครื่องมือวัดจะเริ่มต้นจากการตรวจสอบ 5 จุด จาก ตำแหน่งสูงสุด (Upscale) ซึ่งมีความจำเป็น ที่ต้องอาศัยข้อมูลที่สำคัญเป็นพื้นฐาน (Base Line Data) ในการกำหนดค่าต่างๆ

ขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นจากการกำหนดจุดทดสอบ 5 จุดให้เหมาะสม เพื่อที่จะได้ครอบคลุมค่าย่านการวัดอินพุต (Input Range) ของเครื่องมือวัดที่จะนำมาทดสอบที่ตำแหน่ง 10%, 30%, 50%, 70%, 90% ของ ย่านการวัดอินพุต (Input Range) ของเครื่องมือวัดที่จะนำมาทดสอบ ถึงแม้ว่าจุดทดสอบอื่นๆ มีความจำเป็นที่อาจจะนำมาใช้ และมีความสำคัญเพื่อต้องการให้ครอบคลุมถึง 50 % ของจุดทดสอบตลอดจนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของจุดทดสอบต้องมีความแน่นอนในการทดสอบได้ หลังจากกำหนดจุดทดสอบแล้วค่าที่เกิดขึ้นทางเอาต์พุตต้องเป็นค่าที่สามารถคำนวณได้อีกด้วย ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าพิจารณาจากตัวอย่างในเรื่องทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณเอาต์พุต อยู่ระหว่าง 4 – 20 mA (Span ซึ่งมีค่าเป็น 16 mA) และมีย่านสัญญาณอินพุต (Input Signal Range) อยู่ระหว่าง 0 – 200 psi (Span 200 psi) เพื่อจะนำมาเปรียบเทียบหลังจากเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ จากในหัวข้อของ 2.8 ให้กำหนดจุดทดสอบ 5 จุด ดังนี้คือ 20 psi, 60 psi, 100 psi, 140 psi, 180 psi จากนั้นเราก็สามารถคำนวณหาค่าสัญญาณทางเอาต์พุตได้คือ 5.6 mA, 8.8mA, 12 mA, 15.2 mA, 18.4 mA ถ้าหากเราใช้ค่าอินพุตที่ไม่ถูกต้อง Base Line ทางเอาต์พุตจะอ่านออกมาทางด้าน Up Scale จากนั้นให้บันทึกค่าที่อ่านได้ลงบนตารางข้อมูล

ถึงแม้ในการวิเคราะห์ในบางครั้ง เราสามารถดูได้จากตารางข้อมูลที่ได้ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดในบันทึกผลในการตรวจสอบในกรณี Down Scale ท้ายที่สุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นความคิดที่ดีสำหรับผลจากกราฟเพื่อตรวจสอบบนกราฟทางอินพุตและกราฟทางเอาต์พุตซึ่งได้รวม Ideal Graph (กราฟอุมคติ)ไว้เรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงค่าเลื่อนศูนย์ (Zero Shift) และค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความแตกต่างๆ ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด (Span Error) ขึ้นพร้อมๆกัน

รูปที่ 2.12 นี้ เป็นตัวอย่างการพล็อต (Plot) อินพุต/เอาต์พุต ซึ่งบนกราฟนี้จะเกิดการเลื่อนไปจากศูนย์ (Zero Shift) และ Span Error (สามารถดูความหมายได้ในหัวข้อ 2.6) ขึ้นพร้อมๆ กัน จะเห็นได้ว่ากราฟทางเอาต์พุตจะไม่เริ่มที่จุด Origin แต่มันจะสูงกว่ากราฟในอุดมคติ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้ก็คือ การเกิดเลื่อนไปจากศูนย์ (Zero Shift) นั่นเอง

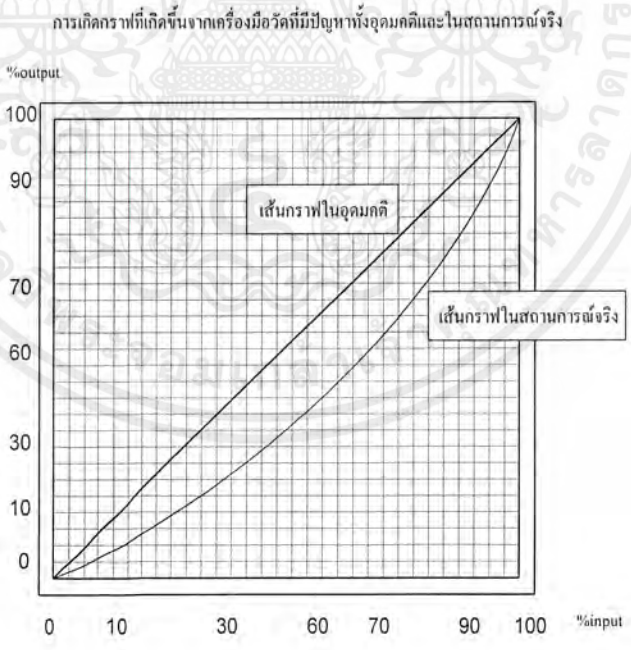
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าความผิดพลาดระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุด (Span Error) จะสังเกตได้จากมุมของกราฟซึ่งมันจะต่างจากกราฟอุดมคติ ซึ่งถ้านำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเข้าของค่าระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุด (Input Span) กับย่านการวัดสัญญาณออกของค่าระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุด (Output Span)แล้วซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงค่าผิดพลาด (Error) ทั้งสองที่เกิดขึ้นตามรูปกราฟที่ 2.12

2.8.3 เครื่องมือการปรับเทียบ และ การตรวจสอบครั้งสุดท้าย

ที่จุดนี้จะเห็นได้ว่าการปรับเครื่องมือวัดนั้น จะต้องปรับตามคู่มือการใช้งานของบริษัทผู้ผลิต เช่นในตัวอย่างนี้ ถ้าเราต้องการปรับเครื่องมือวัดให้ถูกต้องจะต้องเริ่มจากการปรับเลื่อนไปจากศูนย์ก่อน (Zero Shift) โดยให้ปรับ Zero จนกระทั้งจุดเริ่มต้นของสัญญาณทางเอาต์พุตถูกต้อง จากนั้นจึงทำการปรับ Span ได้

การปรับ Zero จะเป็นการปรับที่ค่าตำแหน่งต่ำสุดของย่านวัดของเครื่องมือวัด ส่วน Span จะทำการปรับที่ตำแหน่งสูงสุดของย่านวัด อย่างไรก็ตามการปรับ Span ของเครื่องมือวัด จะทำให้มีผลต่อ Zero ด้วย ซึ่งอาจต้องทำการปรับค่า Zero ใหม่อีกหลังจากการปรับ Span แล้วสุดท้ายต้องทำการตรวจสอบ 5 จุดเพื่อแน่ได้ว่าเราปรับถูกต้องแล้ว ถ้าเครื่องมือวัดที่มีปัญหาจะเกิดกราฟดังรูป2.13



รูปที่ 2.13 แสดงกราฟของเครื่องมือวัดมีปัญหาที่เกิดความแตกต่างจากกราฟอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกราฟรูปที่ 2.13 นี้ จะแสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดเรามีปัญหาที่เกิดความแตกต่างจากกราฟในอุดมคติ จากตัวอย่างนี้ เป็นกราฟที่แสดงกับความไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งการเกิดความเป็นเชิงเส้นนี้ บางครั้งเราจะทำการเปลี่ยนเครื่องมือวัดก่อนที่จะทำการปรับเทียบ

ผลของการปรับเทียบส่วนมาก จะถูกบันทึกลงบนตารางควบคุม ซึ่งเป็นหลักประกันของคุณภาพ ซึ่งวิธีนี้ปัญหาของเครื่องมือวัดสามารถจะกำหนดไว้ล่วงหน้า และสถานที่ได้

ในกรณีที่ระบบขบวนการผลิตไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอเว้นเสียแต่ว่า ระบบเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการควบคุม มีการปรับเทียบที่ถูกต้องตามคุณลักษณะของเครื่องตลอดการวัดที่ถูกต้องแน่นอนและคงที่, การอธิบายถึงค่าความผิดพลาด (Error), การเตรียมอุปกรณ์การตั้งค่าที่ถูกต้อง ซึ่งถือว่าเหล่านี้มีความจำเป็นในการปรับเทียบสำหรับการทำงานอย่างปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

2.9 ย่านการวัดและค่าที่วัดได้สูงสุดของสัญญาณอินพุต

เมื่อเราเข้าใจถึงจุดประสงค์ของการปรับเทียบแล้ว ต่อมาเราจะศึกษาถึงค่า Span สมมุติว่ามี ทรานมิสเตอร์วัดความดัน ซึ่งมีความสามารถวัดค่าความดันในหน่วยของปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถ้าทรานสมิตเตอร์ ตัวนี้สามารถรับอินพุตระหว่าง 0 - 50 psi เราสามารถพูดได้ว่า Input Span ของทรานมิสเตอร์วัดความดันตัวนี้ คือ 50 psi

เพราะฉะนั้น Span ของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม ก็คือระยะห่าง หรือความแตกต่างระหว่างย่านการวัดสูงสุด (Upper Range) กับย่านการวัดต่ำสุด (Lower Range) ซึ่งจากตัวอย่างนี้ Span มีค่าเท่ากับ 50 psi เมื่อย่านการวัดอินพุตต่ำสุด (Lower Input Range) เท่ากับ 0 psi และย่านการวัดอินพุตสูงสุด (Upper Input Range) เท่ากับ 50 psi รูปแบบเอาต์พุตแบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องมือวัดเรียกว่า สัญญาณ (Signal) ซึ่งจะอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า เป็นมิลลิแอมป์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 20 mA ดังนั้น Span ของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 20 mA - 4 mA = 16mA ดังรูปที่ 2.14

ย่านการวัดอินพุท 50 psi		ย่านการวัดเอาต์พุต 16psi
50 psi	=	20 mA
25 psi	=	12 mA
0 psi	=	4 mA

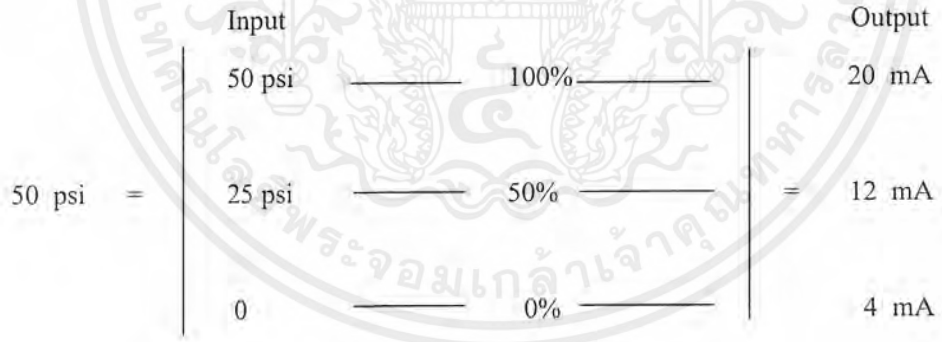
รูปที่ 2.14 แสดงแบบของ Output Electronic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การใช้อินพุตและย่านการวัดในการปรับเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม

ถ้าเราทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดได้อย่างถูกต้อง ค่าเอาต์พุตมีค่าที่แปรผันกับอินพุตอย่างถูกต้อง หรือจะพูดอีกอย่างว่า เมื่อเครื่องวัดอุตสาหกรรมมีการปรับเทียบที่ถูกต้อง Input Span ของเครื่องมือวัดจะมีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ของสัญญาณ Span ของเอาต์พุต

ตัวอย่าง ทรานสมิตเตอร์มีการปรับเทียบไว้ที่ ย่าน 0 - 50 psi ถ้าหากว่า ทรานสมิตเตอร์รับสัญญาณเข้ามาที่ 25 psi นั่นคือ 50% เป็นของสัญญาณอินพุต หรืออาจจะพูดอีกลักษณะว่าเป็น 50% ของย่านการวัดทางอินพุต (Input Span) ก็ได้ และถ้าหากเครื่องมือวัดมีการปรับเทียบไว้อย่างถูกต้อง สัญญาณเอาต์พุตก็จะต้องเป็น 50%ของสัญญาณเอาต์พุตด้วย แต่เมื่อสัญญาณย่านการวัด (Signal Span) ของเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 16mA ดังนั้น 50% ของสัญญาณย่านการวัด (Signal Span) ทางเอาต์พุตจะเท่ากับ 8 mA แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณทางเอาต์พุตเริ่มจาก 4 mA จนถึง 20 mA ครึ่งหนึ่งของจุดสูงสุด (Upper) และจุดต่ำสุด (Lower) ก็คือ 12 mA ดังนั้นถ้าทรานสมิตเตอร์วัดความดันนี้ ได้ทำการปรับเทียบ (Calibrate)ไว้อย่างถูกต้อง และรับอินพุตเข้ามา 50% หรือเท่ากับ 25 psi สัญญาณเอาต์พุตของทรานสมิตเตอร์ จะมีค่าเท่ากับ 12 mA ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดง 50% เอาต์พุตที่สอดคล้องกับ 50% อินพุต

2.11 หลักการปรับเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมที่ถูกต้องในการควบคุมวงปิด

ในกรณีที่สัญญาณอินพุตเป็นเปอร์เซ็นต์ที่รับเข้ามา และในขณะเดียวกันสัญญาณเอาต์พุตก็มาจากทรานสมิตเตอร์ ซึ่งค่าอินพุตและเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากันได้ก็ต่อเมื่อ เครื่องมือวัดของเราได้ถูกทำการปรับเทียบไว้อย่างถูกต้องดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณ 50% ของอินพุตก็จะทำให้ได้ 50%ของเอาต์พุต การปรับเทียบเครื่องมือวัดที่อยู่ในระบบการวัดและการควบคุมตัวใดตัวหนึ่งก็ไม่สามารถจะแน่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใจได้ว่าค่าที่วัดได้จากระบบนั้นจะถูกต้องเสมอไปในระบบทั่วไปเครื่องมือวัดแต่ละตัวจะต้องมีการปรับเทียบไว้อย่างถูกต้องเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน สำหรับการทำงานของเครื่องมือวัดในหนึ่งวงรอบจะมีผลต่อเครื่องมือวัดอื่นๆ ในหนึ่งวงรอบนั้นๆ

ตัวอย่าง การควบคุมความดันในแทงค์ จะใช้หลักการของวงรอบปิดป้อนกลับ ซึ่งความดันในถังจะถูกวัดโดย ความดันส่วนต่างๆในความดันทรานสมิตเตอร์ทำให้ทรานสมิตเตอร์ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาเพื่อป้อนให้กับความดันควบคุม จากนั้นตัวควบคุมการประเมินผล (Controller) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าความดันที่วัดได้จากแทงค์กับค่าที่ได้ตั้งไว้

การคำนวณค่าเปรียบเทียบนี้ จะสามารถทำได้โดยการใช้ตัวควบคุมการกระทำ (Control – Action) เพื่อให้เกิดสัญญาณทางเอาต์พุตของ ตัวควบคุมการประมวลผล (Controller) เพื่อไปควบคุมตำแหน่งของวาล์วควบคุมทำให้เราสามารถควบคุมอัตราการไหลเข้า – ออกของถังได้ ซึ่งผลจะทำให้เราควบคุมความดันในถังได้ตามที่เราตั้งค่าอ้างอิง (Set Point) ไว้ ดังนั้นเมื่อเครื่องมือวัดแต่ละตัวในวงปิดของส่วนป้อนกลับ ได้ถูกปรับเทียบไว้อย่างถูกต้องแล้ว จะทำให้ตัวควบคุมการประมวลผล (Controller) ได้รับสัญญาณที่ถูกต้องเข้ามาซึ่งทำให้เราสามารถเลือกวิธีการควบคุมได้จากตัวอย่างนี้ ถ้าในขบวนการมีความดัน 25 psi และเราทำการวัดค่าด้วยทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) และอ่านค่าได้ 50% ถ้าหากว่าทรานสมิเตอร์วัดความดัน ถูกปรับเทียบไว้อย่างถูกต้อง ก็จะอ่านค่าได้ 12 mA ในทางกลับกันตัวควบคุมการประมวลผล (Controller) ก็จะทราบว่า ค่า 12 mA ก็คือ ค่าความดัน 25 psi ในกรณีนี้ถ้าหากเราตั้งค่า ไว้ที่ 25 psi ก็จะทำให้ค่าที่วัดได้กับค่าที่ตั้งไว้ มีค่าเท่ากัน

จากตัวอย่างที่ได้กล่าวไป พอสรุปได้ว่า ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมการประมวลผล จะเป็นสัญญาณที่จะไปทำการควบคุมตำแหน่งของวาล์วควบคุม ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การทำการปรับเทียบ (Calibrate) ที่ถูกต้องนั้น สามารถทำให้ระบบทั้งหมดทำงานได้อย่างถูกต้อง ทำให้เครื่องมือวัดแต่ละตัวแสดงค่าทางอินพุตได้อย่างถูกต้อง แต่หากว่าทรานสมิตเตอร์ไม่ได้รับการปรับเทียบที่ถูกต้อง ก็อาจจะทำให้ระบบควบคุมในวงรอบ (Loop) นั้นเกิดการเสียหาย

สมมุติว่า ถ้ามีความดันอยู่ 25 psi แต่เราไปทำการปรับเทียบทรานสมิตเตอร์ไว้ที่ 13.6 mA (ซึ่งในความจริงจะต้องเป็น 12 mA) สัญญาณที่ส่งออกมาจาก ทรานสมิตเตอร์นี้ จะทำการเทียบเท่าความดันเท่ากับ 30 psi ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าที่ ตั้งไว้ อยู่ 5 psi มีผลทำให้ตัวประมวลผล คำนวณผิดพลาดไป ทำให้มีสัญญาณทางเอาต์พุตไปส่งวาล์วควบคุมให้เปิดมากขึ้นเป็นผลให้เกิดอัตราการไหลออกจากแทงค์มากขึ้นทำให้ความดันลดลง เหลือเพียง 20 psi แต่ในขณะเดียวกันเราต้องการควบคุมความดันในแทงค์ให้อยู่ที่ 25 psi เพราะว่า ความดันที่ทรานสมิตเตอร์จะสร้างสัญญาณเอาต์พุตออกมา 12 mA ก็จะเป็นอินพุตให้กับตัวประมวลผล (Controller) ในการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด เพื่อที่จะส่งสัญญาณทางเอาต์พุตของตัวประมวลผล (Controller)ไปให้วาล์วควบคุมในการปรับตำแหน่งของวาล์วจากการที่ปรับเทียบเครื่องมือวัดผิดพลาดนี้ ทำให้ความดันในแทงค์เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในบางกรณีอาจทำให้เกิดอันตรายได้

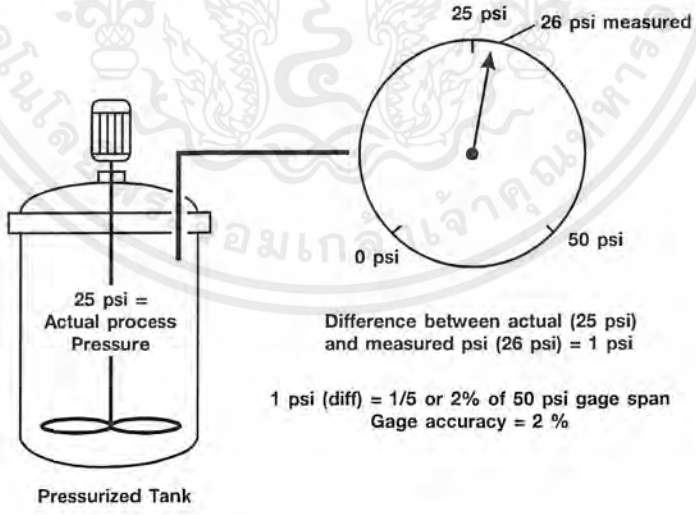
จุดประสงค์ของตัวอย่างนี้ เพื่อที่ต้องการบอกถึงความสำคัญของการปรับเทียบที่จะทำให้ระบบควบคุมทั้งหมดมีความถูกต้องและเกิดความปลอดภัย

2.12 ความแม่นยำและความถูกต้องในการปรับเทียบ

2.12.1 ความหมายและความสำคัญของความแม่นยำในการปรับเทียบของขบวนการผลิต

เครื่องมือวัดต่างๆ จะถูกปรับเทียบมาเรียบร้อยแล้ว และทำให้มีค่าความแม่นยำ เกิดขึ้นตามความต้องการคุณสมบัติของเครื่องวัด (Spce) ที่มาจากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งค่าความแม่นยำจะบอกได้ถึงค่าที่วัดได้นั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงไหน

ผู้เขียน ขออ้างอิงจากค่ายานการวัดของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) ที่ได้กล่าวมาแล้วว่ามีค่าเท่ากับ 50 Psi แต่ในขณะนั้นทรานสมิตเตอร์วัดค่าความดันในแทงค์ได้ 26 psi แต่ในความเป็นจริงค่าความดันในแทงค์มีค่าเท่ากับ 25 psi ซึ่งทำให้เกิดผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริงเป็นจำนวน 1 psi ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงการนำทรานสมิตเตอร์วัดความดันในแทงค์

จากรูปที่ 2.16 สามารถพูดได้ว่าทรานสมิตเตอร์ ตัวนี้วัดค่าได้ถูกต้องไม่เกิน 1 psi แต่อย่างไรก็ตามกรณีนี้เราถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของการวัดที่ผิดพลาดไม่ได้ ดังนั้นส่วนมาก ค่าความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะคิดอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของย่านการวัด จากค่าความแตกต่าง 1 psi นี้ จากความดันจริง 25 psi นั้น ทำให้เราทราบว่าค่าความแม่นยำเท่ากับ 2 psi (เพราะว่า 1 psi คือ 2% ของ 50 psi Span) จากค่าความแม่นยำ 2% ของเกจ แสดงว่าค่าที่วัดได้จะไม่มากไปกว่า 2 psi ในการวัดที่ 100 psi จากตัวอย่างนี้ถ้าเครื่องมือวัดที่มาจากบริษัทผู้ผลิตกำหนดคุณลักษณะไว้ว่า มีค่าความแม่นยำ 1% แต่จากการนำมาใช้งานแล้ว ค่าความแม่นยำมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากที่บริษัทกำหนดมา เราจึงจำเป็นที่ต้องทำการปรับเทียบหรืออาจต้องซ่อมแซม หรือเปลี่ยนแปลงเครื่องมือวัดตัวใหม่

2.12.2 วิธีการคำนวณค่า ความแม่นยำ

ในการคำนวณหาค่าความแม่ยำของเครื่องมือวัดต่างๆ เราสามารถคำนวณย่านการวัดให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของย่านการวัดได้คือ

$$\text{ย่านการวัด} = \frac{\text{ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง กับ ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่า Span}} \times 100 \qquad (2.7)$$

เช่นเกจความดันมีย่านการวัดที่ 200 psi นำไปใช้วัดค่าความดันในแทงค์ที่มีค่าความดัน 100 psi แต่อ่านค่าจาก เกจวัดความดันได้ 105 psi ให้คำนวณหาค่า Accurary ของ ความดันเกจ

ค่าความแตกต่าง (5 psi) ระหว่างค่าจริง กับค่าที่วัดได้ (100 psi และ 105 psi) จะถูกหารด้วยย่านการวัด (200 psi) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ $\frac{5}{20} = 0.025$ จากนั้นนำไปคูณกับ 100 เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นค่าความแม่นยำของ ความดันเกจจึงเท่ากับ 2.5% จากความดันของทรานสมิตเตอร์ ที่ผู้เขียนได้กล่าวมาแล้ว ได้แสดงถึงสภาวะความดันแตกต่างเพียงเล็กน้อย แต่สำหรับความดันที่แตกต่างของทรานสมิตเตอร์ เราสามารถคำนวณหาค่าความแม่นยำได้จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณทางอินพุตกับสัญญาณทางเอาต์พุต

ค่าความแตกต่างนี่เราเรียกว่าค่าความหันเห (Deviation) สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความแม่นยำของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter) มีดังนี้

$$Accuracy = \frac{Deviation}{Span} \times 100\% \qquad (2.8)$$

เมื่อ Accuracy คือ ค่าความแม่นยำ

Deviation คือ ค่าความหันเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Span คือ ผลต่างของค่าสูงสุดที่อุปกรณ์การวัดอ่านได้ กับ ค่าสูงสุดที่อุปกรณ์การวัดอ่านได้

ตัวอย่างเช่น ถ้าความดันอินพุต 25 psi ป้อนเข้า ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน และถ้าย่านการวัด ของความดันเกจ เท่ากับ 50 psi ต้องการให้ค่าทางเอาต์พุต 50% ของสัญญาณทาง ย่านการวัดอินพุท ถ้าทรานสมิตเตอร์วัดความดันตัวนี้ ผลิตสัญญาณทางเอาต์พุต 4 - 20 mA (ย่านการวัด = 16 mA) ก็ควรที่จะอ่านค่าจาก มิลลิแอมป์มิเตอร์ ได้ 12 mA แต่ในความเป็นจริงเกิดอ่านค่าจากมิลลิแอมป์มิเตอร์ได้เป็น 13.6 mA ซึ่งทำให้เกิดค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณทางอินพุตกับสัญญาณทางเอาต์พุตเท่ากับ 1.6mA

ดังนั้น เราสามารถคำนวณหาค่าความแม่นยำของ ทรานสมิตเตอร์วัดความดันจากสูตรที่ 2.7 ดังนี้ $\frac{1.6}{16} = 0.1$ นำผลลัพธ์ที่ได้นั้นมาคูณกับ 100 เพื่อทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งผลสุดท้ายค่าความแม่นยำจะเท่ากับ 10% ดังนั้นทรานสมิตเตอร์วัดความดันนี้ สามารถทำงานอยู่ภายในค่าของความแม่นยำ 10% ได้แต่ถ้าหากค่าเกินกว่านี้ ก็ต้องทำการปรับเทียบใหม่ หรือทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่

2.12.3 ความหมายและความสำคัญในเรื่องอัตราการขยายของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมในการปรับเทียบ

ถึงแม้ว่าค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดสามารถจปรับเทียบได้จากสูตรที่ได้ก็ตามค่า ความแม่นยำของเครื่องมือวัดแต่ละตัวสามารถที่จะปรับเทียบให้ถูกต้องได้ จากตัวประกอบอื่นได้อีก

∴ อัตราการขยาย (Gain) คือ อัตราการเปลี่ยนทางเอาต์พุตซึ่งเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงทางอินพุตซึ่งอัตราการขยาย (Gain) นี้ เป็นตัวประกอบที่ใช้ในการหาค่าในการปรับเทียบของเครื่องมือวัดที่ถูกต้อง

Transmitter Gain สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราการขยาย} = \frac{\text{สัญญาณสูงสุดทางเอาต์พุต}}{\text{สัญญาณสูงสุดทางอินพุต}} \qquad (2.9)$$

ตัวอย่าง ทรานสมิตเตอร์มีย่านการวัดอินพุท $0^{\circ}C$ - $500^{\circ}C$ และสัญญาณเอาต์พุตมีค่า4 - 20 mA ส่วน ย่านการวัดอินพุต = $500^{\circ}C$

∴ อัตราการขยายของทรานสมิตเตอร์ $= \frac{20-4}{500^{\circ}C} = \frac{0.032mA}{^{\circ}C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่า ค่ากระแสทางเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงไป ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิที่อินพุตเกิดการเปลี่ยนแปลงไปทุกๆ องศา ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าของ Rang , Span , Gain

	Transmitter A	**Transmitter B**	**Transmitter C**
Range	100° - 300°	100° - 500°	100° - 700°
Span	200°	400°	600°
Gain	0.08mA / องศา	0.04mA / องศา	0.03mA / องศา

จากตารางที่ 2.2 เห็นว่าค่าอัตราการขยายนี้มีผลโดยตรงต่อการปรับเทียบ จากตารางที่2.2 แสดงค่าของ Rang, Span, Gain และค่าสัญญาณ (Gain) ของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิทั้ง 3 ตัว จะเห็นว่าค่า อัตราการขยายสูงสุดคือ ค่าอัตราส่วนที่ต่ำสุดของย่านการวัดอินพุตกับย่านการวัดเอาต์พุต โดยที่อัตราการขยายสูงสุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อทำให้เครื่องมือวัดที่การปรับเทียบที่ถูกต้องเพราะว่าในการเปลี่ยนแปลงอินพุตแต่ละครั้งนั้น จะมีผลอย่างมากและสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าทางเอาต์พุต

เมื่อเราเปรียบเทียบเครื่องมือวัดแบบแอนะลอกกับแบบดิจิตอลจะเห็นว่า เครื่องมือวัดแบบแอนะลอกจะสามารถอ่านค่าได้มากกว่า เพราะสามารถอ่านค่าได้โดยตรงตลอดจนมีความถูกต้องมากกว่าแบบแอนะลอกเนื่องจากการอ่านที่ง่ายกว่า ซึ่งอาจหมายถึงค่าความแม่นยำในการวัดที่ดี ค่าความแม่นยำของการปรับเทียบจะขึ้นอยู่กับอัตราการขยายของเครื่องมือวัดดังนั้นถ้าหากว่าเครื่องมือมีอัตราการขยายสูง ก็สามารถทำให้การวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น แต่ค่าอัตราการขยายจะขึ้นอยู่กับย่านการวัดอินพุตด้วย ซึ่งสามารถพูดได้ว่าค่าความแม่นยำขึ้นอยู่กับ ย่านการวัดอินพุตด้วย

2.12.4 ความสำคัญของมาตรฐานในการปรับเทียบของขบวนการผลิต

การคำนวณ หรือการวัดจะถูกต้องและแม่นยำได้ ต้องมีการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและค่ามาตรฐานในการวัดก็เป็นหนึ่งในหลายๆ อย่างของระบบมาตรฐาน ซึ่งกำหนดมาตรฐานโดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น ISA และ NIST และอื่นๆ ก็อาจกำหนดมาจากโรงงานผู้ผลิตก็ได้ แต่ส่วนมากก็ต้องมีการสอบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย NIST ก่อน ซึ่งในสมัยก่อนจะใช้มาตรฐานของ The Nation Bureau Of Standard เครื่องมือมาตรฐานเหล่านี้ก็จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับเทียบอุปกรณ์ประเภททดสอบ และอุปกรณ์ทดสอบนี้ก็จะเป็นเครื่องมือในการปรับเทียบเครื่องมือวัดในขบวนการผลิตอีกต่อหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแม่นยำนี้ มีความสำคัญอย่างยิ่งในขบวนการผลิต ระบบทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับความถูกต้อง ตลอดจนความแม่นยำของเครื่องมือวัด เพื่อแน่ใจได้ว่า ค่าที่วัดได้นั้นมีความถูกต้อง เพื่อสามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของขบวนการที่ถูกต้องต่อไป

2.13 ความสัมพันธ์ของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และค่าของย่านการวัด

2.13.1 ความสัมพันธ์ของอินพุต/เอาต์พุต จะมีผลอย่างไรในการปรับเทียบ

การปรับเทียบคือการปรับค่าทางเอาต์พุตของเครื่องมือวัด เพื่อให้มีความถูกต้องเป็นไปตามค่าอินพุตที่เข้ามา ในการปรับเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมเราต้องสังเกตค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดให้ได้ ซึ่งค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดจะพบได้จากค่าอินพุตที่เราทราบค่าจากนั้นจึงป้อนให้กับเครื่องมือวัด จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริงของเอาต์พุตซึ่งก็มีหลายรูปแบบด้วยกันในการหาความผิดพลาดของเครื่องมือวัด

2.13.2 ความสำคัญของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) ในกระบวนการเครื่องมือวัด

การผิดพลาดที่ต้องพิจารณาอันดับแรกเลยก็คือค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) การเกิดค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) เป็นสภาวะการณ์ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดอย่างใดอย่างหนึ่ง ในขณะที่มีย่านการวัดอินพุตเข้ามาตลอดเวลา ซึ่งสามารถอธิบายสภาวะดังกล่าวได้คือ เมื่อมีเอาต์พุตของเครื่องมือวัดมีค่าคงที่เนื่องจากมีสัญญาณอินพุตเข้ามา แต่จะเริ่มต้นที่จุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดบนสเกลของเอาต์พุต การตรวจสอบในเรื่องของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือปรับเทียบเข้ามาช่วยซึ่งเครื่องมือปรับเทียบจะต้องทราบค่า และมีความแน่นอนของสัญญาณทางอินพุตเพื่อตรวจสอบเครื่องมือวัด

ตัวอย่างในการตรวจสอบอุณหภูมิทรานสมิตเตอร์ มีสัญญาณอินพุตอยู่ระหว่าง 0 - 50°C จะต้องตรวจสอบกับอุณหภูมิทรานสมิตเตอร์มาตรฐานที่เอาต์พุต 4 - 20 mA โดยเครื่องมือปรับเทียบจะใช้วิธีการตรวจสอบตามจุดต่างๆ 5 จุด สำหรับการตรวจจุดต่างๆ 5 จุดนี้ จะเป็นการตรวจสอบที่ง่ายที่สุดของสัญญาณทางเอาต์พุตเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุต 5 จุด ตลอดย่านการวัดของเครื่องมือวัด

จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเครื่องมือวัด (0° - 50°) จะไม่นำมาใช้ในการตรวจสอบเราจะเริ่มต้นการตรวจสอบเครื่องมือวัดตั้งแต่ย่านวัดที่ 5°, 15°, 25°, 35°, 45° หรือถ้าเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ก็คือ 10%, 30%, 50%, 70%, 90% ของย่านทรานมิตเตอร์ เพราะฉะนั้นค่าที่ถูกต้องของการปรับเทียบทรานสมิตเตอร์ จะเป็นค่าทางเอาต์พุตซึ่งเกิดจากอินพุตที่ 10%, 30%, 50%, 70%,90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ (5.6 mA, 8.8 mA, 12 mA, 15.2 mA, 18.4 mA) ถ้าหากว่าค่าที่อ่านได้ทางเอาต์พุตมีค่าสูงกว่าค่าจริงตลอด หรือต่ำกว่าค่าจริงตลอด นั้นก็คือการเลื่อนจากค่าศูนย์ (Zero Shift) แล้ว

รูปแบบของตารางการปรับเทียบแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3 นี้ เพื่อใช้ในการปรับเทียบจากการอ่านค่าที่วัดได้ของเครื่องมือวัด เพราะว่าการผิดพลาดของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) จะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไปจากการวัดในทางมากขึ้นหรือน้อยลงตลอดย่านการวัดซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายๆ

ตารางที่ 2.3 การปรับเทียบเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

Input	**Values**	**Output**	**Values**
Test Point	**Input**	**Expected**	**Actual**
10%	5°	5.6mA	6.2mA
30%	15°	8.8mA	9.0mA
50%	25°	12.0mA	12.2mA
70%	35°	15.2mA	15.4mA
90%	45°	18.4mA	18.6mA

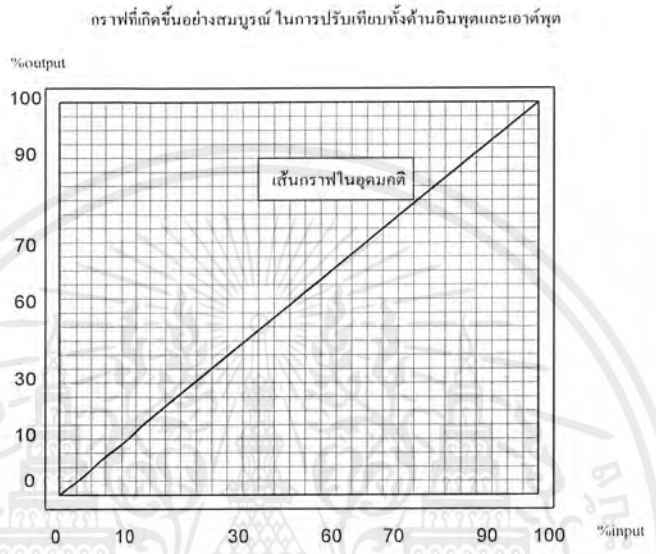
หรือจะใช้วิธีอื่น ๆ ก็ได้เช่นการพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุทโดยกำหนดให้แกน X อยู่ในแนวนอนซึ่งกำหนดให้เป็นแกนของย่านการวัดอินพุท ส่วนแนวแกนตั้งเป็นแกน Y เป็นแกนของ ย่านการวัดเอาต์พุต ซึ่งส่วนมากเราจะแสดงค่าอินพุตและเอาต์พุตอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างเช่น ทรานสมิตเตอร์ตัวหนึ่งมีย่านการวัดอินพุต 50° เมื่อมีค่าอินพุตเข้ามาที่ 25° ค่าเอาต์พุตจะแสดงอยู่ที่ 50% ของ ย่านการวัดเอาต์พุต (12 mA)

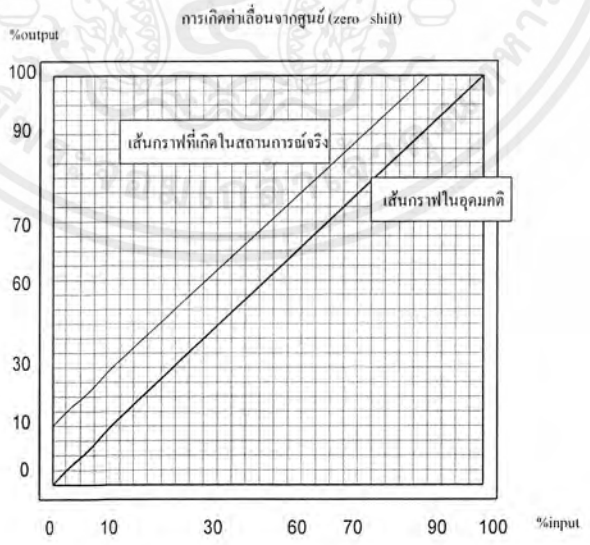
การพล๊อตความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต เราสามารถเห็นการทำงานของเครื่องมือวัดที่จะนำมาเปรียบเทียบได้ กราฟที่แสดงให้เห็นนี้ เป็นกราฟของเครื่องมือวัดที่ได้ถูกปรับเทียบได้อย่างถูกต้องแล้ว จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของอินพุตแต่ละค่าจะมีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ทางเอาต์พุต เราเรียกว่า **"Ideal"** ซึ่งมันจะเริ่มจาก 0 ซึ่งก็คือจุดกำเนิด (Origin) ของแกนทั้งสองและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตเป็นเส้นตรงมีมุม 45° ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) จะไม่เหมือนกับกราฟที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.17จากตัวอย่างของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจะแสดงกราฟไว้ดังรูปที่ 2.17จะแสดงค่าเอาต์พุต 5 จุดซึ่งเป็นเส้นตรงแต่ว่าจุดเริ่มต้นจะสูงกว่า 0 % ไปจนถึง 90 % ในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าค่าที่อ่านได้มีค่ามากกว่าค่าจริงตลอดย่านการวัดนั้น แสดงว่ามันเกิดค่าเลื่อนจากศูนย์ Zero Shift แล้ว ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และ เอาต์พุต ของเครื่องมือวัดที่นำมาเปรียบเทียบ



รูปที่ 2.18 แสดงย่านการวัดที่เกิด Zero Shift แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3 ความสำคัญของย่านการวัดที่มีความผิดพลาด ในเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม

การผิดพลาดของเครื่องมือวัดอีกรูปแบบหนึ่งก็คือ ย่านการวัดที่ผิดพลาด โดยค่าที่อ่านได้จากเอาต์พุตของเครื่องมือวัดจะไม่เท่ากับ 100% ของย่านการวัดเอาต์พุต หรือจะกล่าวอีกอย่างว่า ค่าย่านการวัดเอาต์พุตจะไม่เท่ากันกับค่าของย่านการวัดอินพุต เมื่อเกิดกรณีของย่านการวัดที่ผิดพลาดขึ้น ย่านการวัดจากค่าต่ำสุดของเอาต์พุตจนถึงค่าสูงสุดของเอาต์พุต จะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าระหว่างอินพุตจุดทดสอบมากกว่าและน้อยกว่า การตรวจสอบ 5 จุดนั้น จะต้องครอบคลุม 80% ของค่าอินพุตของย่านการวัดอินพุต และต้องครอบคลุม 5 จุด ค่าทางย่านการวัดเอาต์พุต

ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของอินพุต คือ 0° - 50° ของเครื่องมือปรับเทียบมีค่า 5°- 45° (10% และ 90% ของย่านการวัดอินพุต)ในกรณีที่ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิได้รับการปรับเทียบที่ถูกต้องจะมีสัญญาณสูงสุดและต่ำสุดซึ่งต่างกันอยู่ 80% ของค่าความแตกต่างทางอินพุตด้านสูง และอินพุตด้านต่ำ ถ้าเกิดค่าย่านการวัดระหว่างสัญญาณเอาต์พุตสูง และสัญญาณเอาต์พุตต่ำมีค่าเป็น 90% หรือ 70% ย่านการวัดจะผิดพลาด ซึ่งย่านการวัดอินพุตและย่านการวัดเอาต์พุตจะไม่แปรผันซึ่งกันและกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงตารางการปรับเทียบของเครื่องมือวัด

Input	values	output	Values
Test Point	Input	Expected	Actual
10 %	5°	5.6 mA	5.6 mA
30 %	15°	8.8 mA	9.0 mA
50 %	25°	12.0 mA	12.2 mA
70 %	35°	15.2 mA	15.8 mA
90 %	45°	18.4 mA	19.2 mA

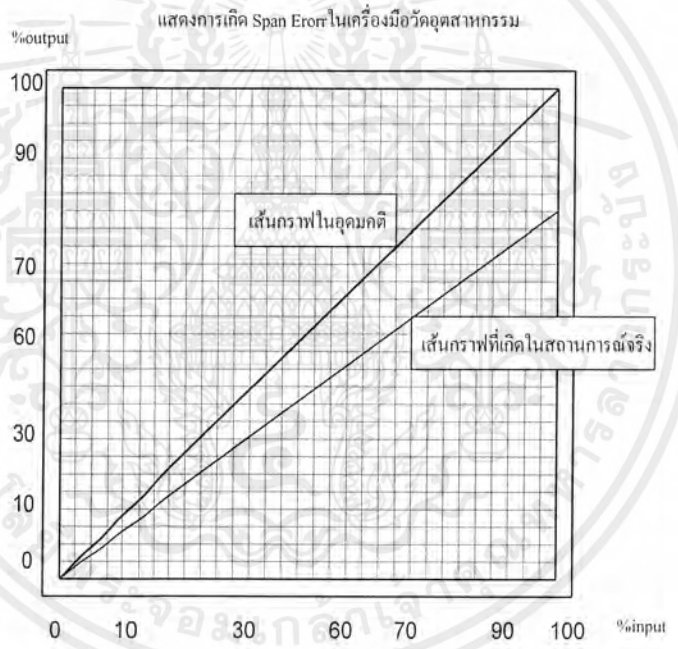
จากตารางการปรับเทียบ สามารถใช้บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด เพื่อช่วยในการแสดงค่าของค่าผิดพลาด ในตารางจะแสดงค่าของย่านการวัดที่ผิดพลาด ค่าความแตกต่างทางสูงสุดและต่ำสุดของเอาต์พุต ค่าที่เราต้องการคือ 12.8 mA (18.1 – 5.6 mA) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความแตกต่างทางสูงสุดและต่ำสุดของเอาต์พุตจากค่าที่วัดได้จริงเท่ากับ 13.6 mA (19.2 mA – 5.6 mA) แสดงว่าเกิดย่านการวัดที่ผิดพลาด (Span Error) แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.4 แสดงกราฟระหว่าง อินพุท-เอาต์พุต เพื่อหาค่าย่านการวัดที่ผิดพลาดได้อย่างไร

เมื่อเราทำการแสดงค่า (Plot) ของย่านการวัดผิดพลาดลงบนกราฟอินพุต/เอาต์พุตจะปรากฏเส้นตรงเริ่มจากจุดศูนย์ (Origin) ของกราฟ ซึ่งจะไม่เหมือนกับกรณีของค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero-Shift) แต่อย่างไรก็ตามย่านการวัดที่ผิดพลาดนี้ จะไม่เกิดเป็นเส้นตรงที่ขนานไปกับเส้นกราฟอุดมคติ (Ideal Graph) ซึ่งค่าสูงสุด จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับค่าสูงสุดของเอาต์พุตที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

สิ่งที่ได้จากภาพรวมบนตารางการปรับเทียบระหว่างกราฟอินพุต/เอาต์พุตไม่ว่าจะเป็นError แบบไหนก็ตาม เราสามารถที่จะวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นสิ่งแรกที่ต้องการในการปรับเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมดังรูปที่ 2.19

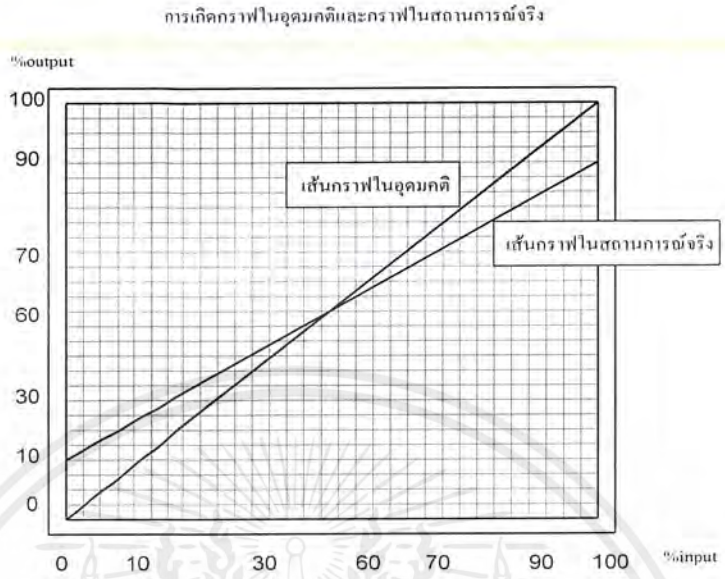


รูปที่ 2.19 แสดงค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และค่าย่านวัดที่ผิดพลาด (Span Error) ที่เกิดขึ้นพร้อมกันในเครื่องมือวัดเดียวกัน

หมายเหตุ Span Erorr คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของเครื่องมือวัด

ในกรณีที่เกิดทั้งสองอย่างขึ้นพร้อมกันในเครื่องมือวัดตัวเดียวกันคือ มีทั้งค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และย่านการวัดที่ผิดพลาด (Span Error) จากรูปกราฟ จะสังเกตเห็นสัญญาณทางอินพุตและเอาต์พุตไม่เป็นไปตามกราฟในอุดมคติ (Ideal Graph) ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงกราฟของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต ที่มีทั้งค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และค่าย่านวัดที่ผิดพลาด (Span Error) ซึ่งไม่เป็นไปตามกราฟในอุดมคติ (Ideal Graph)

2.14 ค่าความผิดพลาดอื่นๆ

2.14.1 ความสำคัญและความหมายของความไม่เป็นเชิงเส้นในการปรับเทียบ

จากการเกิดความผิดพลาดของเครื่องมือวัดทั้งสองกรณีคือ ค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) กับย่านการวัดที่ผิดพลาด (Span Error) ซึ่งผู้เขียนได้กล่าวไปแล้วนั้น อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาในการปรับเทียบอีกแบบหนึ่งก็คือ ค่าของความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นสภาวะที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสัญญาณทางเอาต์พุตของเครื่องมือวัดไม่เป็นไปตามสัญญาณอินพุตในช่วงที่อยู่ระหว่างค่าสูงสุดกับค่าสูงสุดของย่านการวัด แต่ในกรณีค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดจะไม่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟที่เป็นเส้นตรงได้ เราจึงเรียกว่าความไม่เป็นเชิงเส้น (**Non –linearity)** ซึ่งไม่เป็นเรื่องง่ายในการปรับ และส่วนมาก เราจะทำการเปลี่ยนตัวใหม่ดีกว่า

2.14.2 วิธีการสังเกต ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น (Non – linearity)

จากตารางที่ 2.5 เป็นตารางการปรับเทียบความไม่เป็นเชิงเส้น สามารถดูได้จากจุดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าเท่ากันแต่นอกนั้นค่าจะไม่เท่ากันเลย และถึงแม้ว่าค่าความไม่เป็นเชิงเส้นจะสังเกตได้จากตารางการเปรียบเทียบดังกล่าว แต่ก็ไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะทำกราฟอินพุตและเอาต์พุตออกมา ความไม่เป็นเชิงเส้น (Non – Linearity) สามารถเป็นไปได้ถึง 3 แบบด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

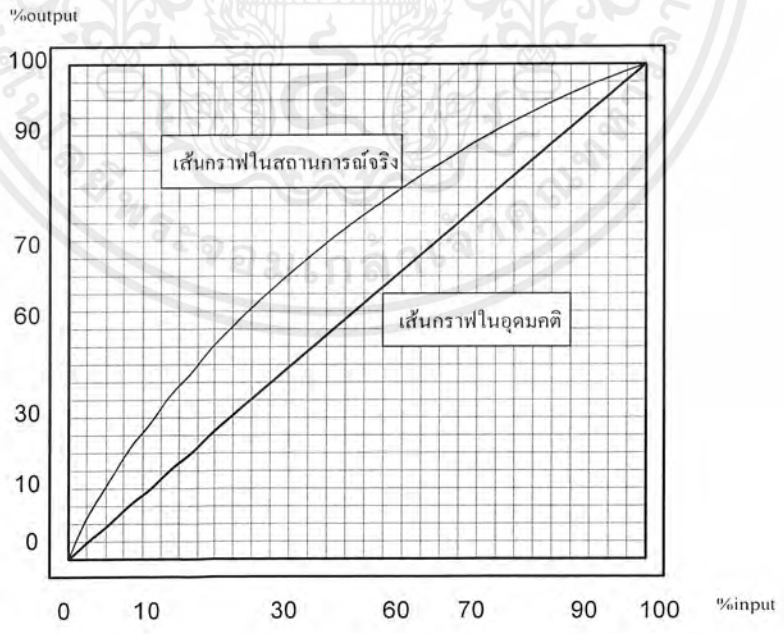
แบบที่ 1 กราฟที่วัดได้จะอยู่ด้านบนของกราฟอุดมคติ (Ideal Graph) ดังรูปที่ 2.21

แบบที่ 2 กราฟที่วัดได้จะอยู่ด้านล่างของกราฟอุดมคติ (Ideal Graph) ดังรูปที่ 2.22

แบบที่ 3 กราฟที่วัดได้จะอยู่ด้านบนและด้านล่าง อย่างละครึ่งหนึ่งของกราฟอุดมคติ(Ideal Graph) ตามรูปที่ 2.23 ซึ่งได้แสดงรูปทั้ง 3 แบบไว้ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 ตารางการปรับเทียบ Non – Linearity

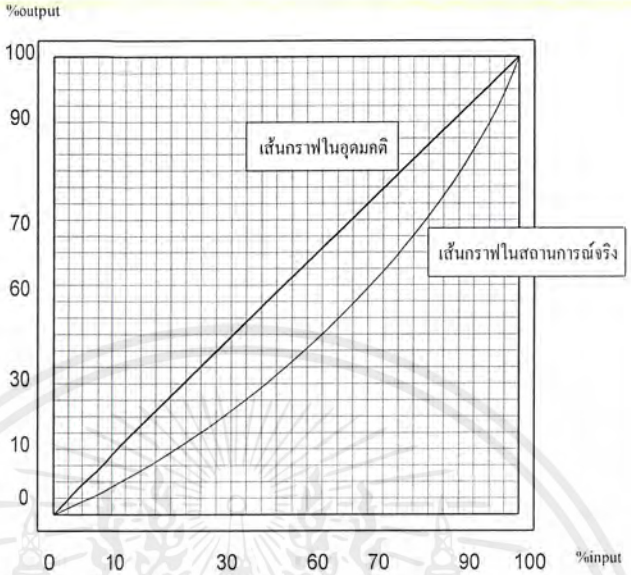
Input	**Values**	**Output**	**Values**
Test Point	**Input**	**Expected**	**Actual**
10 %	20 psi	5.6 mA	5.6 mA
30 %	60 psi	8.8 mA	9.8 mA
50 %	100 psi	12.0 mA	12.0 mA
70 %	140 psi	15.2 mA	14.2mA
90 %	180 psi	18.4 mA	18.8 mA



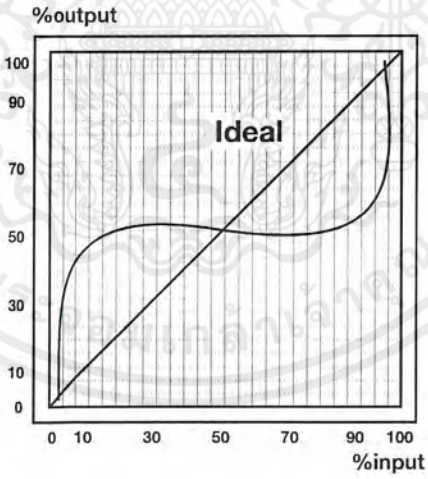
รูปที่ 2.21 แสดง Non – Linearity (ความไม่เป็นเชิงเส้น) แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดกราฟที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือวัดที่มีปัญหาทั้งอุดมคติและในสถานการณ์จริง



รูปที่ 2.22 แสดง Non – Linearity (ความไม่เป็นเชิงเส้น) แบบที่ 2



รูปที่ 2.23 แสดงกราฟไม่เป็นเชิงเส้น (Non – Linearity) แบบที่ 3

จากรูปที่ 2.21, 2.22, 2.23 ทั้ง 3 แบบนี้ เป็นการแสดงความไม่เป็นเชิงเส้น (Non – Linearity) 3 แบบ ด้วยกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกแบบนั้น จะมีจุดปลายทั้งสองของกราฟจะตรงกันพอดีทุกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3 ลักษณะบางประการของความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linearity)

ความเป็นเชิงเส้นที่ผิดพลาด (Linear Error), ค่าเลื่อนจากศูนย์ (Zero Shift) และ ย่านการวัดที่ผิดพลาด (Span Error) เป็นปัญหาที่ง่ายต่อการสังเกตมากกว่าปัญหาที่เกิดขึ้นกับความไม่เป็นเชิงเส้น เพราะเนื่องมาจากสัญญาณทางเอาต์พุต ถึงแม้ว่าจะไม่ถูกต้องการ ซึ่งสามารถวิเคราะห์จากรูปที่ได้ก็ตาม (เหตุนี้จึงสามารถบอกได้ว่า ทำไมสัญญาณทาง เอาต์พุตจึงเป็นเส้นตรงบนกราฟระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต) กรณีของย่านการวัดที่ผิดพลาด (Span Error) จากตัวอย่างตามปกติที่เราสามารถแก้ไขโดยการปรับย่านการวัดไปจนกระทั่งมีค่าเอาต์พุตเท่ากันกับ กราฟอุดมคติที่ได้นั้นเป็นอันถูกต้องและสามารถใช้งานได้

อย่างไรก็ตามถ้าปัญหาคือความไม่เป็นเชิงเส้นแต่กราฟทางเอาต์พุต จะไม่เป็นไปตามรูปแบบที่กำหนดไว้ สัญญาณที่อ่านออกมาได้ เราจะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นอย่างไร ส่วนมากในกรณีของความไม่เป็นเชิงเส้น จะไม่สามารถปรับและทำให้เหมือนเดิมได้ ในการซ่อมบำรุงส่วนมาก จะทำการเปลี่ยนเครื่องมือวัดนั้นเสียใหม่

2.14.4 ความสำคัญและความหมายของการฮีสเตอร์รีซิส

ฮิสเตอร์รีซิส เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากเครื่องวัดอีกแบบหนึ่ง จากตัวอย่างของฮิสเตอร์รีซิส เครื่องมือวัดผลิตสัญญาณออกมาต่างจากสัญญาณทางอินพุต เช่น ถ้าเราตรวจสอบ 5 จุดของทรานสมิตเตอร์วัดความดันซึ่งเริ่มที่จุดต่ำสุดของขอบเขตย่านอินพุต เครื่องมือวัดอาจจะผลิตสัญญาณต่างจาก 5 จุดที่ทำการตรวจสอบโดยเริ่มจากจุดสูงสุดของ ขอบเขตย่านอินพุตลงมา

อย่างไรก็ดีโดยทั่วไปแล้วอินพุตทั้งสองครั้งที่เราป้อน (ไม่ว่าทางด้านขาขึ้น หรือขาลง) จะถือว่าเป็นสัญญาณที่เปรียบเทียบทั้งสองกรณี ซึ่งค่าที่เราทำการทดสอบเทียบเพียงค่าเดียวที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงอินพุตทางด้านขาขึ้นหรือขาลง จะทำให้เกิดสัญญาณทาง เอาต์พุตต่างกัน

ฮิสเตอร์รีซิสบางครั้งสามารถบอกถึงค่าออฟเซต ระหว่างค่าฮฮิสเตอร์รีซิสทางขอบขาขึ้น (Upscale Hysteresis) กับค่าฮฮิสเตอร์รีซิสทางขอบขาลง (Downscale Hysteresis) ซึ่งส่วนมากนั้นจะไม่พบในเครื่องมือวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ แต่จะพบบ่อยมากในเครื่องมือวัดประเภทแมคคานิกส์ เมื่อเกิดปัญหานี้ขึ้นให้ใช้ย่านวัดขาขึ้น (Upscale) และย่านวัดขาลง (Downscale) เป็นตัวตรวจสอบจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเกิดฮิสเตอร์รีซิสขึ้นหรือไม่

เช่น ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน มีย่านการวัดอินพุตเป็น 0 – 200 psi ถ้าทำการตรวจสอบที่ 20psi, 60 psi, 100 psi, 140 psi, 180 psi สัญญาณที่วัดได้ในขณะย่านวัดขาขึ้นอาจมีค่าต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นก็ได้จากนั้นทำการตรวจสอบทางด้านย่านวัดขาลงอีกครั้งจาก 180 psi จนกระทั่งถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20psi แล้วสังเกตสัญญาณที่วัดได้ อาจจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ควรจะวัดได้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้ทั้งสองจากย่านวัดขาขึ้น และย่านวัดขาลง เราเรียกว่า Hysteresis ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความสูญเสียฮิสเตอร์รีซิส

Input	Values	Output		Actual
Test point	Input	Expected	Upscale	Downscale
10 %	20 psi	5.6 mA	5.4 mA	5.6 mA
30 %	60 psi	8.8 mA	8.6 mA	9.0 mA
50 %	100 psi	12.0 mA	11.5 mA	12.5 mA
70 %	140 psi	15.2 mA	14.4 mA	16.0 mA
90 %	180 psi	18.8 mA	17.0 mA	20.0 mA

2.14.5 ลักษณะบางประการของฮิสเตอร์รีซิส

ฮิสเตอร์รีซิสจะมีผลโดยตรงกับการวัดอย่างต่อเนื่องในเครื่องมือวัด แต่ส่วนมากเราจะพบในเครื่องมือวัดที่มีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์บางส่วน ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่เกิดขึ้นในอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ การหลวมหรือแน่นเกินไปของอุปกรณ์บางส่วนอาจทำให้เกิดค่าฮิสเตอร์รีซิสได้ โดยทั่วไปวิธีการซ่อมบำรุง เราจะทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ทางด้านแมคคานิกส์ใหม่

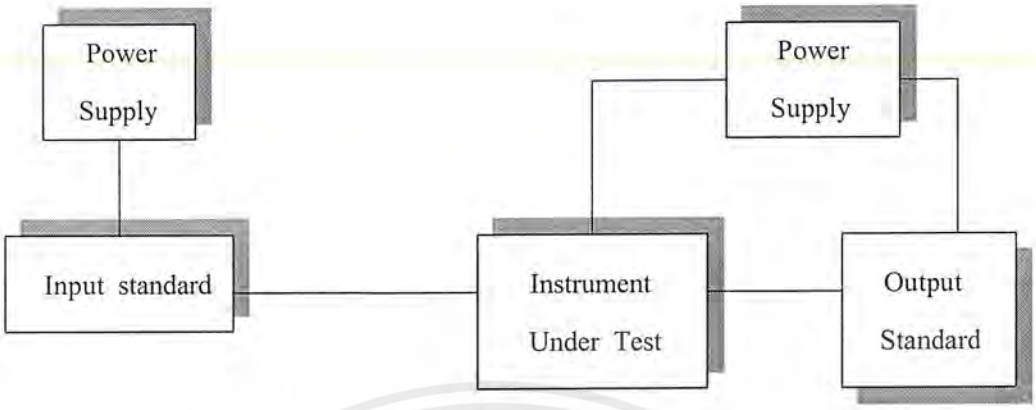
2.15 การทดสอบอุปกรณ์และการตั้งค่าในการปรับเทียบ

2.15.1 ความสำคัญของการสร้างรูปแบบสัญญาณของเครื่องมือวัดต่าง ๆ ในระบบ

จากรูปที่ 2.24 สามารถให้คำจำกัดความของคำว่าการปรับเทียบเครื่องมือวัด หมายถึงการตรวจสอบและการปรับเครื่องมือวัดให้มีความถูกต้องในระบบนั้นๆ การปรับเทียบจะต้องสัญญาณทางอินพุตขึ้นมาแทนสัญญาณจริงๆ ทั้งนี้เพื่อป้อนเข้าทางอินพุตของเครื่องมือวัด

ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจก่อนว่า เครื่องมือวัดที่จะนำมาเปรียบเทียบนั้นมีหลักการทำงานอย่างไร วิธีการที่จะเข้าใจได้ง่ายที่สุดคือ การดูจากสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของเครื่องมือวัดจากบล็อกไดอะแกรมได้แสดงวิธีการตั้งค่าเพื่อทดสอบทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิในแต่ละบล็อก ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบวงปิดนั้น ในกรณีทดสอบภายใต้เครื่องมือวัด (Instrument Under Teat) ก็คือทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ ที่เราต้องการนำมาเปรียบเทียบนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องมือวัดที่นำมาปรับเทียบ

การทดสอบตั้งค่า (Test Setup) นั้น เราจะต้องเตรียม แหล่งกำเนิดอินพุต (Input Source) ที่ทราบค่าไว้ เราเรียกว่า อินพุตมาตรฐาน (Standard Input) ซึ่งต้องเป็นรูปแบบเดียวกันกับเครื่องมือที่จะนำมาเปรียบเทียบ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้จะต้องมีการรับรองการเปรียบเทียบโดยสถาบัน NIST

การเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการเปรียบเทียบนี้เราจะต้องเลือก อินพุตมาตรฐาน (Standard Input) เพื่อใช้ในการปรับเทียบทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Temperature Transmitter) ปรับเทียบทรานสมิตเตอร์ (Temperature Calibrator) เหล่านี้อันเป็นเครื่องที่สร้างสัญญาณขึ้นมาเพื่อเป็นมาตรฐานทางอินพุต ทั้งนี้เพื่อป้อนให้กับทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TemperatureTransmitter) ในการปรับเทียบค่าเอาต์พุตมาตรฐานของเครื่องมือปรับเทียบ จำเป็นต้องกำหนดให้แน่นอน เพื่อต้องการที่จะทราบค่าที่จะวัดจากเอาต์พุต ซึ่งในกรณีนี้เครื่องปรับเทียบจะต้องผ่านการรับรองการปรับเทียบจากสถาบัน NIST

ในการทดสอบค่ามาตรฐานทางเอาต์พุตของเครื่องมือปรับเทียบ ทำให้ทรานสมิตเตอร์มีค่าทางเอาต์พุตที่ถูกต้องตามไปด้วย ทั้งนี้สามารถทำการตรวจสอบคุณลักษณะ (Spec) จากโรงงานว่าทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ มีค่าย่านเอาต์พุต (Output Range) เป็น 4 – 20 mA หรือไม่

อินพุต และเอาต์พุตมาตรฐานมีข้อที่ต้องพิจารณาในการปรับเทียบเครื่องมือวัดคือ ในเรื่องความเหมาะสมของแหล่งจ่ายของอุปกรณ์แต่ละอย่างสำหรับการทำการตั้งค่า (Setup) เช่นการปรับเทียบอุณหภูมิ ต้องใช้แหล่งจ่าย 110 V ส่วนทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิต้องใช้แหล่งจ่ายในการทำงานซึ่งโดยส่วนมากจะจ่ายออกมาจากตัวประมวลผล (Controller) คือ 24 VDC ส่วนแหล่งจ่ายที่ใช้กับเครื่องมือวัดค่าทางเอาต์พุตมาตรฐานในกรณีนี้ก็จะเป็นมิลลิแอมป์มิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมาตรฐานโดยใช้ไฟ 110 V เอาต์พุตของเครื่องมือวัดจะต่ออยู่ในลักษณะอนุกรมกับเอาต์พุตมาตรฐานและแหล่งจ่ายในวงจรอนุกรมนี้จะเป็นส่วนที่จะป้อนแหล่งจ่าย และใช้ในการวัดสัญญาณทางเอาต์พุตจากทรานสมิตเตอร์ด้วยพร้อมๆ กัน

2.15.2 ความสำคัญในการหาและการใช้ อินพุต/เอาต์พุต ให้เหมาะสม และอุปกรณ์มาตรฐานในการปรับเทียบ

ในกรณีที่อินพุตและเอาต์พุตมาตรฐาน ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสมซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อผลในการปรับเทียบเครื่องมือวัดนั้นๆ ก็คือตัวประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งเราต้องพิจารณาจากรูปแบบของทรานสมิตเตอร์วัดความดันในกรณีของการปรับเทียบ จะต้องหาความสัมพันธ์ของอินพุตมาตรฐานจากการปรับเทียบความดัน ส่วนมิลลิแอมป์มิเตอร์จะใช้สำหรับวัดกระแสทางเอาต์พุต

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการปรับเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมคือ จะต้องสร้างสัญญาณให้เหมือนกับขบวนการของจริงในงานอุตสาหกรรมทางอินพุตของเครื่องมือวัด การวัดความดันสามารถทำได้โดยตรงจุดต่อระหว่างแหล่งจ่ายจะต้องมีความสะอาด ระบบลมต้องสะอาดและแห้ง ทั้งนี้เพื่อป้อนให้กับความดันเพื่อปรับเทียบ

ตัวอย่างเช่น ทรานสมิตเตอร์วัดความดันใช้แหล่งจ่าย 24 V มิลลิแอมป์มิเตอร์มาตรฐานใช้สำหรับวัดสัญญาณซึ่งใช้ไฟ 110 VAC ณ จุดนี้เราจะเห็นได้ว่า เราจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงเครื่องมือที่จะนำมาใช้งาน ถ้าเราต้องการปรับเทียบให้ได้ค่าถูกต้องและมีความแม่นยำสูงสุดนั้น เครื่องมือวัดที่จะนำมาทดสอบจะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งที่ติดตั้งจริง ในขบวนการผลิตสิ่งที่จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้เช่นการเชื่อมต่อที่ไม่ดี เราจะต้องทำความสะอาดก่อนเพื่อไม่ให้เกิดค่าความต้านทานขึ้นในระบบตลอดจนจุดต่อระบบลม จะเริ่มจากใช้มือหมุนจนแน่น จากนั้นจึงใช้เครื่องมือทำให้แน่นที่สุด

2.16 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ดภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรมและขนาน

2.16.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม RS232

การส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 โดยการออกแบบ แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. OUTPUT ได้แก่

1.1) DTR <Data terminal Ready> เป็นขาสัญญานที่ส่งออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย

1.2) RTS <Request Send> เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์

1.3) TxD หรือ TD <Transmitted Data> ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

2. INPUT ได้แก่

2.1) DSR <Data Set Ready> ใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางใช้คู่กับขา DTR

2.2) CTS <Clear To Send> ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อได้รับสัญญาณข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป

2.3) RI <Ring Indicator> ใช้ในการแสดงสถานะสัญญาณเรียกจากโทรศัพท์

2.4) DCD <Data Carrier Detect> ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล

2.16.2 แรงดันที่ใช้งานของพอร์ต RS232

มาตรฐานการสื่อสารข้อมูลของ RS232 ที่ลอจิก 0 จะมีแรงดัน +3Vถึง +15V และลอจิก 1 จะมีแรงดันเป็น -3V ถึง -15V

2.16.3 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตอนุกรม RS232

ที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าขาเอาต์พุต โดยรีจีสเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมขาเหล่านี้สำหรับบิตบนรีจีสเตอร์มีดังนี้ ดังรูปที่ 2.25

DCD	RI	DSR	CTS	DDCD	DRI	DDSR	DCTS

บิต 7 บิต 0

โดย 4 บิตบนจะแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขา INPUT ทั้ง 4

รูปที่ 2.25 รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุม MSR

2.16.4 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน LPT

การส่งข้อมูลแบบขนานจะส่งได้เร็วกว่าพอร์ตอนุกรมประมาณ 8 – 10 เท่า และ ข้อมูลจะมี 8 บิตด้วยพอร์ตข้อมูลประกอบด้วยบัฟเฟอร์ 1 ตัว และ IC แลตช์อีก 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลของไอซีแลตช์เป็นข้อมูล และใช้บัฟเฟอร์เป็นตัวกั้น ทำให้คอมพิวเตอร์ อ่านค่าได้เกิดกับข้อมูล แรงดันของลอจิก 1 ต่ำสุด 2.4 V แรงดันของลอจิก 0 สูงสุด 0.5 V ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สัญญาณที่อยู่บนพอร์ตขนาน

DB	ทิศทาง	ตำแหน่ง	ขาสัญญาณ
1	Out	C0	Strobe
2 – 9	Out	D1 – D7	Data
10	In	S6	Nack
11	-In	S7	Busy
12	In	S5	Pe
13	In	S4	Select
14	Out	C1	Auto Feed
15	In	S3	Error
16	Out	C2	Init
17	Out	C3	Select – IN
18 - 25	In	-	Gnd

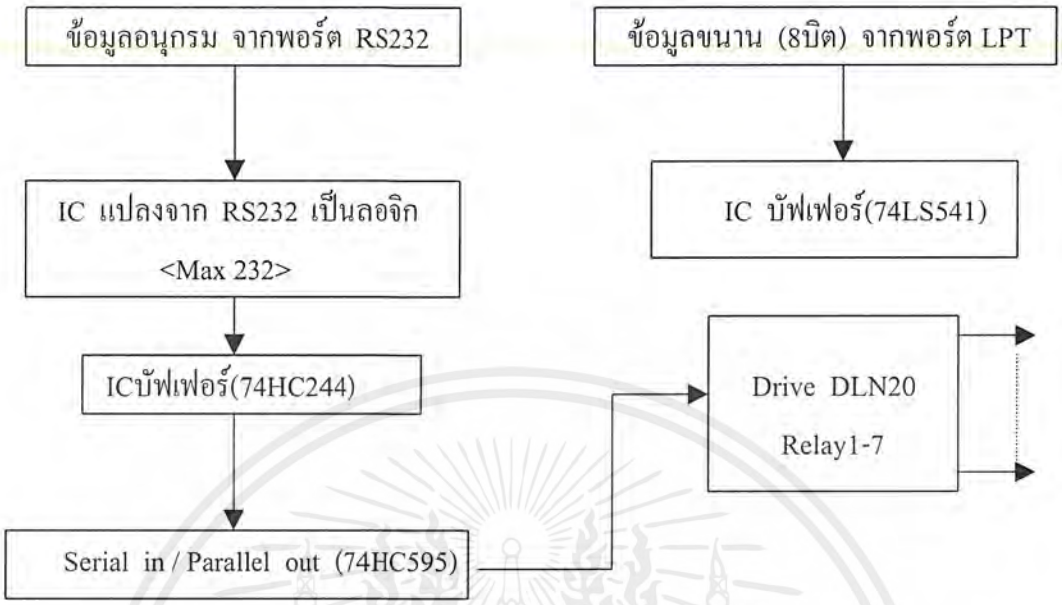
หมายเหตุ จากตารางที่ 2.7 การใช้งานสามารถใช้ Data 8 บิต ไปใช้ได้โดยตรงทำให้ได้สัญญาณทั้งหมด 8 เส้นไปใช้ควบคุมได้โดยระดับ TTL

2.17 แผนผังการทำงานบอร์ดจะแบ่งเป็นส่วนต่างๆ

มีคุณสมบัติเด่นดังนี้คือ

1. เชื่อมต่อได้ทั้งพอร์ตขนานและพอร์ตอนุกรม
2. มีไอซีบัฟเฟอร์ในตัวเพื่อป้องกันพอร์ตเสียหาย
3. มีวงจรขับ (Drive) เพื่อใช้ในการขับรีเลย์ได้ 7 ตัว
4. สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้สูงสุด 7 ชิ้น
5. สั่งงานง่ายด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก มีวงจรเร็คติไฟล์ในตัว ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



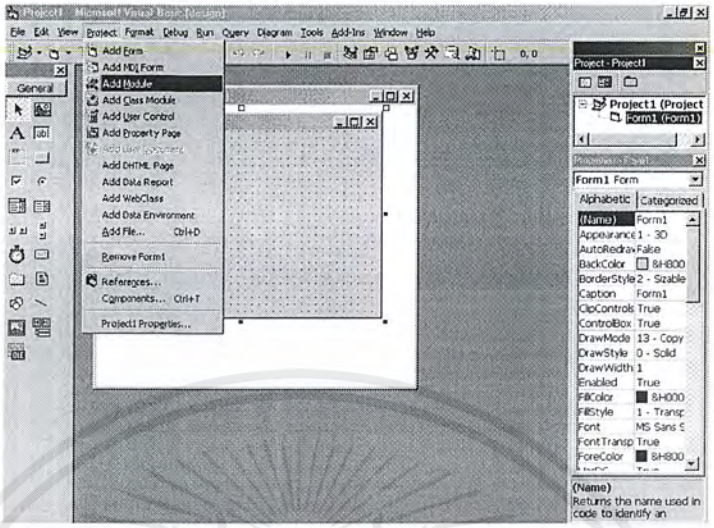
รูปที่ 2.26 แสดงผังการทำงานบอร์ด

2.18 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนาน

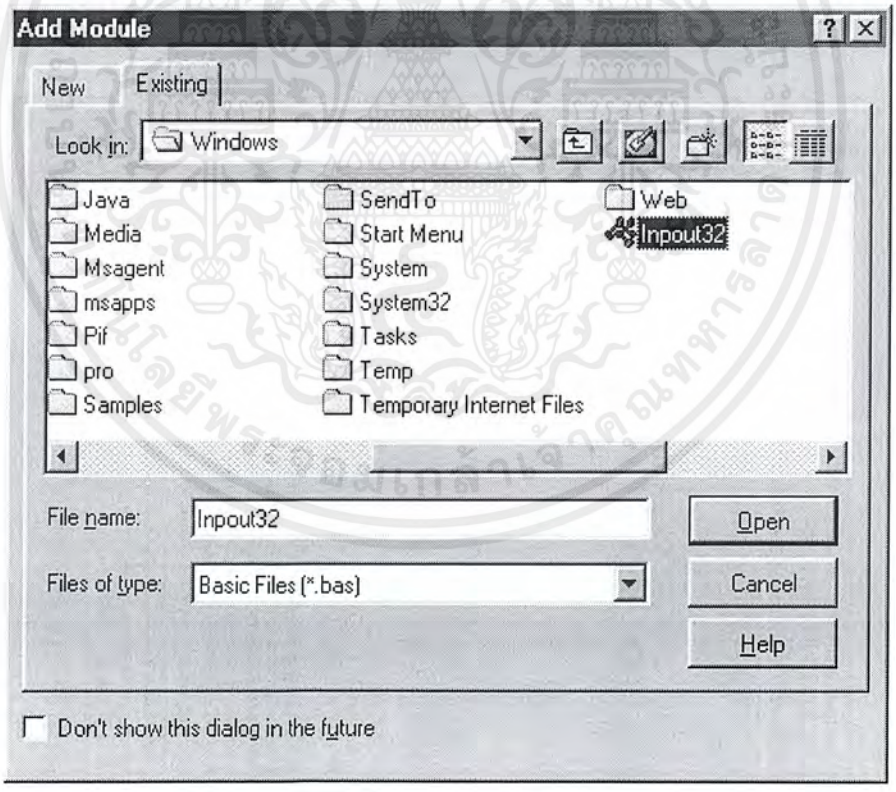
การติดต่อในการสั่งงานพอร์ตขนานจะง่ายกว่าพอร์ตอนุกรม โดยปกติโปรแกรมทั่วๆไปจะสามารถออกจากข้อมูล (Outdata)โดยการสั่ง Outได้ แต่ในโปรแกรมวิชวลเบสิกจะไม่สามารถสั่ง Outได้โดยตรง เราจึงต้องสั่ง Outโดยการเพิ่มอินพุต 32.BAS เข้าไปในโครงงานในโปรแกรมวิชวลเบสิกโดยทำดังรูปที่2.27 , 2.28 และ 2.29 ตามลำดับ

การนำไฟล์ input32.dll นำไปเก็บไว้ที่ C:\window\system\ นั้นสามารถรันโปรแกรมได้ ซึ่งถ้าทำตามขั้นตอนก็จะสามารถใช้คำสั่ง Inp และ Out ได้ในโปรแกรมตามปกติของการเขียนโปรแกรม การเขียนโปรแกรมจะต้องใช้ชุดข้อมูลไปขับรีเลย์ ตัวต่างๆในบอร์ดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

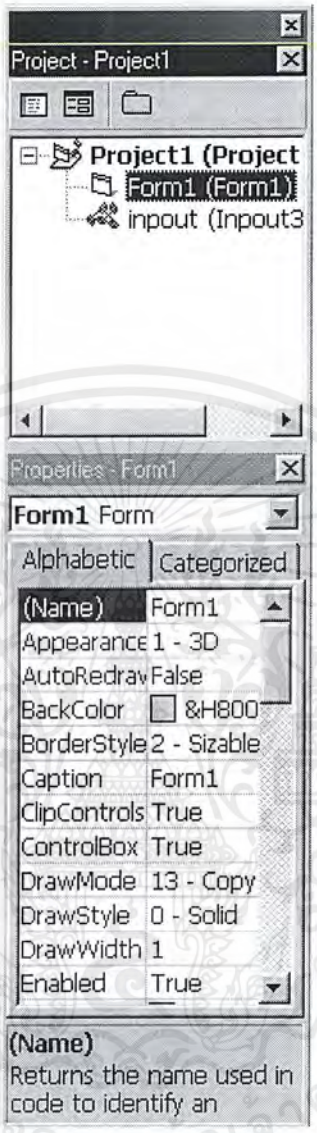


รูปที่ 2.27 แสดงที่เมนูบาร์ คลิกที่โปรเจ็ค ตามด้วย ADD Module



รูปที่ 2.28 แสดงการเรียกไฟล์ Input32.bas ที่ได้เตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 แสดงการได้ Modules (Input32.bas) ที่ต้องการ

2.19 หลักการทำงานของพอร์ตขนาน

เนื่องจากคอมพิวเตอร์ได้นำข้อมูลออกมา (Out Data) เป็นข้อมูลแบบ 8 บิต และเป็นลอจิกด้วย ขั้นแรกนำเอาบัฟเฟอร์ใส่เข้าไปเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการทำผิดพลาด จะได้ไม่ทำให้พอร์ตเสียหาย ต่อมาวงจรที่ใช้ในการขับกระแสในบอร์ดนี้จะใช้ไอซีเบอร์ ULN2003 ซึ่งทำหน้าที่ขับรีเลย์ให้ทำงาน ไอซีนี้มีวงจรที่สมมูลภายในแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ทำให้สามารถใช้แรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 50 โวลต์ ภายในไอซีเป็นนอตเกต (Not gate) จำนวน 7 ตัว ใช้แรงดันมาก 50V และกระแสในแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละขาจะทำได้ 500 mA และยังมีไดโอดป้องกันภายในตัวด้วย แต่ควรมีป้องกันอีกชั้นหนึ่งถ้านำไปขับวงจรที่เป็นขดลวด เช่นรีเลย์ มอเตอร์ ที่เป็นขนาดเล็กหรือขนาดกลางได้อย่างทันที

2.20 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.20.1 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบรอม บางเบอร์เป็นแบบอีพรอม บางเบอร์มีแรมภายใน 128 ไบต์ เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

1) มีหน่วยความจำรอมขนาด 4K byte (ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเบอร์ด้วย)
2) มีหน่วยความจำแรมขนาด 128 byte
3) มีพอร์ทอินพุตและเอาต์พุต ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
4) มี ทามเมอร์(Timer) 16 บิต 2 ตัว
5) สามารถอินเตอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง
6) มีวงจรออสซิเลเตอร์ และวงจรนาฬิการบนชิพ
7) มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับข้อมูลแบบฟลูดีเพล็กซ์ (Full Deplex) ความเร็วสูง
8) อ้างตำแหน่งหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K
9) อ้างตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 K
10) สามารถประมวลผลทีละบิตได้
11) สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
12) หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และลักษณะต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 เบอร์ต่างๆ

เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรมบนชิพ	หน่วยความจำข้อมูลบนชิพ	TIMERS
8051	4K ROM	128 byte	2
8031	-	128 byte	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 เบอร์ต่างๆ

เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรมบนชิพ	หน่วยความจำข้อมูลบนชิพ	TIMERS
8751	4K ROM	128 byte	2
8052	8K ROM	128 byte	3
8032	-	128 byte	3

2.20.2 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มีโครงสร้างเป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขาโดยขาต่างๆ ใช้เป็นพอร์ตอินพุต, เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และขาข้อมูลมีความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

1) พอร์ต 0 (Port 0)

พอร์ต 0 ได้แก่ ขาที่ 32 – 39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นทั้งอินพุต เอาต์พุตได้ นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขาอ้างตำแหน่งข้อมูล (Address Bus)

2) พอร์ต 1(Port 1)

พอร์ต 1 ได้แก่ขาที่ 1 – 8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้คือ P1.0, P1.1, ….etc

3) พอร์ต 2 (Port 2)

พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21 – 28 ใช้งานสองหน้าที่ คือ ใช้เป็นพอร์ท 8 บิตกับใช้งานเป็นขาแอดเดรส 8 บิต ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4) พอร์ต 3 (Port 3)

พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10 – 17 ใช้งาน 2 หน้าที่ คือ เป็นพอร์ตอินพุต และเอาต์พุต

ตารางที่ 2.9 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ต 3

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 (ต่อ) บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ต 3

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.2	$\overline{INTO0}$	อินเตอร์รัปต์ภายนอก หมายเลข 0
P3.3	$\overline{INTO1}$	อินเตอร์รัปต์ภายนอก หมายเลข 1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.1	RD	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

1) $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable)

ขา $\overline{PSEN}$ เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือ ขา 29 ขานี้ จะแอคทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่านรหัส (Code) โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็นอีพรอม ขา $\overline{PSEN}$ จะต่อกับขา $\overline{OE}$ (Output Enable) ของอีพรอม

2) $\overline{ALE}$ (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 มีขา $\overline{ALE}$ ได้แก่ขา 30 ขานี้จะใช้มัลติเพล็กสัญญาณ ขาอ้างตำแหน่งข้อมูล (Address Bus) ของพอร์ต 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณอ้างตำแหน่งข้อมูล (Address Bus) ออกมาทางพอร์ต 0 จากนั้นจึงส่งสัญญาณ ALE (Address Latch Enable) ให้อุปกรณ์ภายนอกเก็บค่าการอ้างตำแหน่ง (Address Bus) ของพอร์ต 0 ไว้ เพื่อใช้พอร์ต 0 เป็นพอร์ตข้อมูล (Data Bus) ต่อไป

3) $\overline{EA}$ (External Access)

$\overline{EA}$ นี้ คือขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก 1 จะใช้เบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก 0 จะบอกให้ MCS-51 โปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความโปรแกรมภายนอก ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา EA นี้จะเป็น 0 เสมอ เพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายใน แต่ถ้าใช้เบอร์ 8051/8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน และให้ขา EA เป็น 0 และจะอ่านโปรแกรมจากอีพรอมภายนอกแทน

4) RST (Reset)

ได้แก่ขาที่ 9 จะใช้ในการรีเซตโดยถ้าขานี้เป็นลอจิก 1 อย่างน้อยในหนึ่งรอบไซเคิลจะสามารถรีเซตระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ (On-chip Ossilatoe Input)

เป็นวงจรออสซิเลเตอร์บนชิพ ได้แก่ขา 18 – 19 โดยต่อคริสตัลเข้ากับขานี้ โดยปกติมักใช้คริสตัลความถี่ 12 MKz กับตัวเก็บประจุ หรืออาจใช้สัญญาณนาฬิกาต่อกับ XTAL 1และXTAL 2

2.21 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน

การประมวลผลข้อมูลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกจะต้องมีส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจมาจากตัวตรวจจับต่างๆ ผ่านวงจรภาคหน้า เพื่อเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เหมาะกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้มานั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจส่งออกไปยังหน้าจอหรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ทั้งส่วนของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

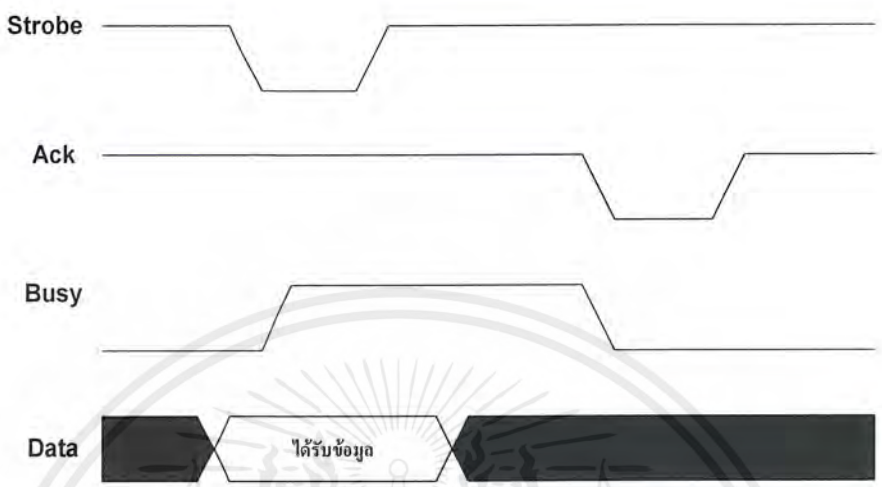
- เชื่อมต่อผ่านทางการ์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีการเสียบหรือติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน
- เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่นๆ เช่น พอร์ต USB (Universal Serial Bus), พอร์ต SCSI หรือพอร์ตเกมส์ เป็นต้น

ดังนั้น พอร์ตขนานคือ พอร์ตที่ใช้ในการส่งข้อมูล หรืออาจเรียกว่าพอร์ตเครื่องพิมพ์ เนื่องจากว่าพอร์ตนี้ใช้สำหรับต่อเครื่องพิมพ์นั่นเอง พอร์ตขนานมีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8 – 10 เท่าและการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่มีขนาด 8 บิตดังนั้น พอร์ตขนาน จึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเมเติมใดๆลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน

ปกตินั้นการสั่งพิมพ์งานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนานนั้น มีรูปแบบการทำงานดังรูป 2.30 ซึ่งแสดงถึงไดอะแกรมเวลาของการติดต่อระหว่างพอร์ตขนานกับเครื่องพิมพ์ จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณที่ใช้งานจริงๆ มีไม่มาก เริ่มจากสัญญาณพอร์ตข้อมูลถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobe ออกไปด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลใหม่มาที่ขาข้อมูลแล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะรอการตออบกลับจากเครื่องพิมพ์ นั่นคือ เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ Busy เพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่ จนกระทั่งเครื่องพิมพ์พร้อมเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ACK (acknowledge) ส่งไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่า พร้อมจะรับข้อมูลใหม่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>หมายเหตุ</u> ความหมายของสัญญาณต่างๆ นั้นผู้เขียนได้แจ้งไว้แล้วในตาราง 2.10



รูปที่ 2.30 ไดอะแกรมเวลาการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์

สัญญาณข้อมูลขนาด 8 บิต, สัญญาณ Strobe, สัญญาณ ACK (acknowledge) เป็นสัญญาณที่สำคัญในการส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ นอกจากสัญญาณทั้ง 3 นี้ ยังต้องมีสัญญาณอื่นๆ ร่วมด้วย เนื่องจากว่าเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ถึง 3 อย่างด้วยกัน คือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์, พิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามา, ตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้ เช่นการเปลี่ยนฟอนต์ เป็นต้น บางครั้งอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ปกติ เช่น บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเต็ม เครื่องพิมพ์ต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าให้หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว เพราะไม่สามารถรับข้อมูลมากกว่านี้ได้อีกแล้ว ดังนั้นสัญญาณที่ส่งจากเครื่องพิมพ์ไปคอมพิวเตอร์นั่นคือ สัญญาณ Busy และเมื่อเครื่องพิมพ์เกิดผิดพลาดขึ้น เช่น กระดาษติด เครื่องพิมพ์จะส่งสัญญาณผิดพลาด (Error) ไปที่คอมพิวเตอร์ และเมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการรีเซตเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณรีเซตไปยังเครื่องพิมพ์ซึ่งได้สรุปขาสัญญาณที่จำเป็นสำหรับการติดต่อดังในตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 แสดงสัญญาณสำคัญของพอร์ตขนานที่ใช้กับเครื่องพิมพ์

สัญญาณ	หน้าที่การทำงาน	ทิศทาง
ข้อมูล 8 บิต	ข้อมูลส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์
Strobe	แจ้งเครื่องพิมพ์ถึงข้อมูลที่ส่งมาใหม่	คอมพิวเตอร์
Acknowledge	เครื่องพิมพ์แจ้งมายังคอมพิวเตอร์ว่าได้รับข้อมูลแล้ว	เครื่องพิมพ์
Busy	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์ไม่ว่างที่จะรับข้อมูลใหม่	เครื่องพิมพ์
Error	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด	เครื่องพิมพ์
Reset	รีเซตเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์

จากตาราง 2.10 เห็นได้ว่าพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์สามารถแยกย่อยเป็นอีก 3 พอร์ตคือ พอร์ตเอาต์พุตที่ทำหน้าที่ ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปเครื่องพิมพ์, พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณ Strobe และรีเซต, พอร์ตอินพุตสำหรับการค่าสัญญาณ Ack, Busy, Error จากเครื่องพิมพ์

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสายสัญญาณทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านี้จะมีรีจิสเตอร์ 3 ตัว ควบคุมการทำงานดังนี้

1. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้น มีรีจิสเตอร์ข้อมูลควบคุม

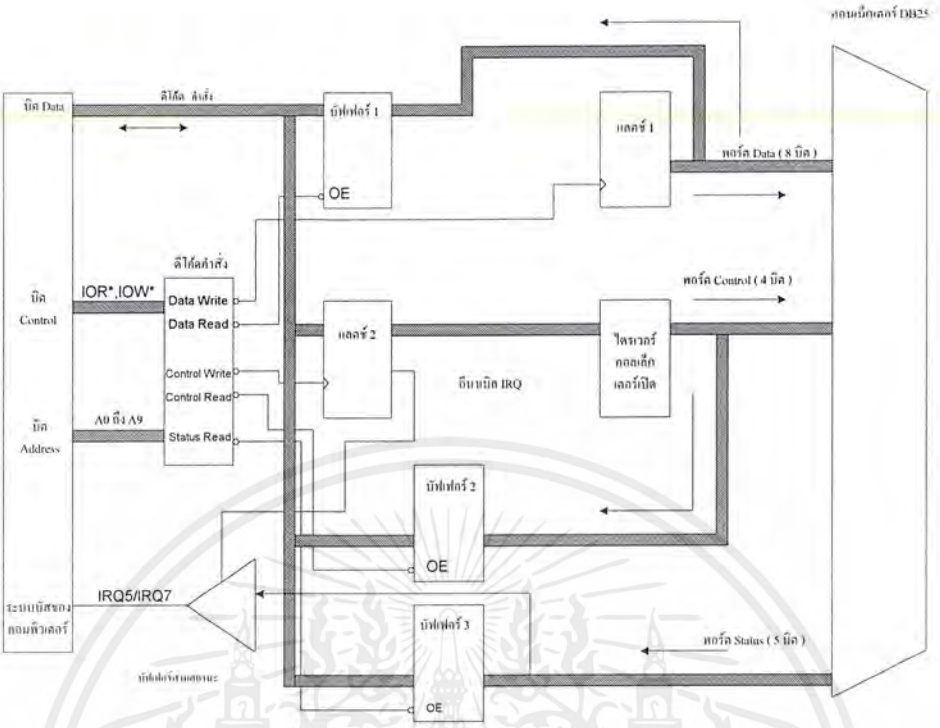
2. พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่างๆ จากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้นใช้รีจิสเตอร์แสดงสถานะ (Status Registor) ในการควบคุม

3. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุม

รูป 2.31 เป็นบล็อกไดอะแกรมที่แสดงระบบบัสของคอมพิวเตอร์สำหรับการติดต่อพอร์ตขนาน สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ตขนาน จะถูกส่งไปยังคอนเน็คเตอร์แบบ DB-25 สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน พอร์ตขนานจะมีมาพร้อมกับเมนบอร์ดไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดเสียบเหมือนในอดีต

เมื่อดูจากรูป 2.31 เทียบการทำงานโดยทั่วไปกับการเชื่อมต่อผ่านการ์ดที่เสียบลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการติดต่อกับพอร์ตขนานนั้น ต้องมีการอ้างแอดเดรส ซึ่งเป็นตำแหน่ง A0 – A9 และใช้ขา IOR และ IOW เพื่อเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียนรีจิสเตอร์ตัวใดซึ่งจากการดีโค้ดแอดเดรส A0 – A9 นี้เองทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อไปควบคุมหรืออินาเบิลวงจรบัฟเฟอร์ต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน

ขาเขียนข้อมูล (Data Write) สัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัสข้อมูล ไปออกที่ขาข้อมูลของพอร์ตขนาน

ขาอ่านข้อมูล (Data Read) สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านข้อมูลจากขาข้อมูลของพอร์ตขนานมาเก็บไว้ในบัสข้อมูล

ขาควบคุมในการเขียน (Control Write) สัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัสข้อมูลไปออกที่ขาควบคุมของพอร์ตขนาน สำหรับพอร์ตนี้ทำหน้าที่อีนาเบิลการอินเตอร์รัปต์การเปลี่ยนแปลงแปลงสัญญาณที่พอร์ตสถานะ

ขาควบคุมในการอ่าน (Control Read) สัญญาณอีนาเบิลสำหรับการอ่านค่าข้อมูลจากขาควบคุมมาเก็บไว้ในบัสสถานะ สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขาพอร์ตสถานะมาเก็บไว้ในบัสข้อมูล

จากตาราง 2.11 ได้แสดงชื่อและหน้าที่การทำงานของตำแหน่งขาต่างๆ บนพอร์ตขนานและตาราง 2.12 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน ซึ่งได้กำหนดไว้ 3 ตำแหน่งคือ LPT1, LPT2, LPT3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.11 แสดงสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนพอร์ตขนาน

DB-25	รีจิสเตอร์	ทิศทาง	ตำแหน่งบิต	ชื่อขาสัญญาณ	หน้าที่การทำงาน
1	Control	Out	$\overline{CO}$	$\overline{STROBE}$	แอกทีฟ "0" ส่งค่าออกไปเพื่อบอกว่าที่ขาข้อมูลมีข้อมูลแล้ว
2-9	Data	Out	D1-D8	Data1-Data8	เป็นขา รับ-ส่งข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต
10	Status	In	S6	nACK	เป็นลอจิก "0" ที่ส่งมาจากเครื่องพิมพ์เพื่อบอกว่าได้รับข้อมูลที่ส่งไปแล้ว
11	Status	In	$\overline{S7}$	$\overline{BUSY}$	เป็นสัญญาณแจ้งมาจากเครื่องพิมพ์ว่ายังไม่พร้อมรับข้อมูล
12	Status	In	S5	PE	แจ้งกระดาษหมด
13	Status	In	S4	Select	แจ้งว่าเครื่องพิมพ์ต่ออยู่
4	Control	Out	$\overline{C1}$	$\overline{Autofeed}$	สั่งเครื่องพิมพ์ให้เลื่อนบรรทัด
15	Status	In	S3	Error	สัญญาณจากเครื่องพิมพ์มายังคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงข้อผิดพลาดจากการพิมพ์
16	Control	Out	C2	INIT	รีเซตเครื่องพิมพ์โดยให้ลอจิก "0"
17	Control	Out	$\overline{C3}$	$\overline{Select-in}$	ส่งสัญญาณไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อแจ้งว่าต้องการเลือกเครื่องพิมพ์เครื่องนี้
18-25				GND	กราวน์

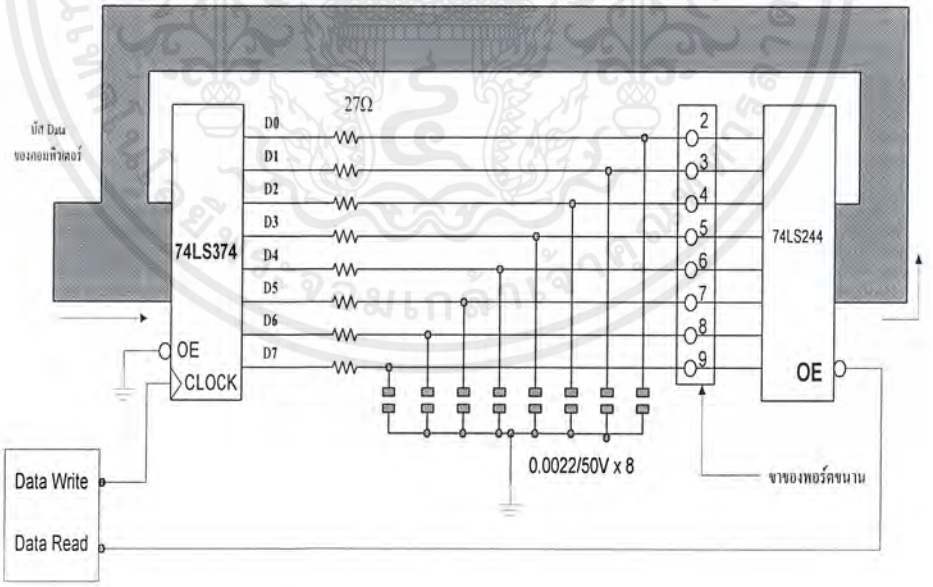
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.12 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน

ชื่อพอร์ต	LPT1		LPT2		LPT3	
	ฐาน10	ฐาน16	ฐาน10	ฐาน16	ฐาน10	ฐาน16
DATA	888	378H	956	3BDH	632	278H
STATUS	889	379H	957	3BDH	633	279H
CONTROL	890	37AH	958	3BEH	634	27AH

1. พอร์ตข้อมูล (Data Port)

จากรูป 2.32 แสดงให้เห็นพอร์ตข้อมูลประกอบไปด้วยบัฟเฟอร์ 1 ตัว, ไอซีแลตซ์ 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตซ์ 1ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตซ์ 1 คือ D0-D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึง ขา 9 และที่ขาเอาต์พุตนี้ สัญญาณข้อมูลจะส่งกลับไปเป็นอินพุตของบัฟเฟอร์ 1 ด้วย ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสถานะปัจจุบันที่เกิดขึ้นกับพอร์ตข้อมูลได้



รูปที่ 2.32 วงจรภายในของพอร์ตข้อมูล

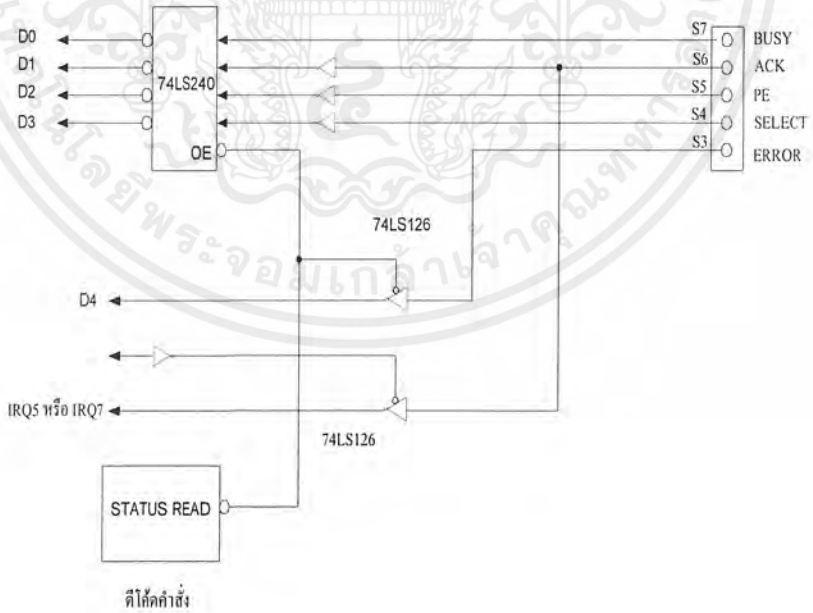
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอร์ต ควบคุม (Control Port)

พอร์ต Control ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องพิมพ์ จากตาราง 2.11 จะเห็นว่าพอร์ตควบคุมประกอบด้วยบิตเอาต์พุต 4 บิตที่ต่อออกไปยังเครื่องพิมพ์ ส่วนบิตอีนาเบิลอินเตอร์รัปต์ไม่ได้ถูกต่อออกไป

3. พอร์ตแสดงสถานะหรือพอร์ต Status

พอร์ตแสดงสถานะ เป็นพอร์ตที่คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการอ่านค่าสถานะจากเครื่องพิมพ์ รูปที่ 2.33 แสดงรายละเอียดภายในของพอร์ต Statusจะสังเกตได้ว่ามีสัญญาณอยู่ทั้งหมด 5 สัญญาณด้วยกันและจะเรียกชื่อเป็น S3, S4, S5, S6, และ S7 ซึ่งตัวเลขนั้นหมายถึงตำแหน่งบิตของขาเหล่านี้ภายในรีจิสเตอร์นั่นเอง สำหรับบิต S7 มีข้อแตกต่างจากบิตอื่นๆ ตรงที่ เมื่อสัญญาณจากภายนอกส่งเข้ามาแล้วจะไม่ผ่านอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่ขาอื่นๆ ผ่านอินเวอร์เตอรทั้งหมด ดังนั้นเมื่อข้อมูลผ่านจากขาอินพุตไปยัง 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตมีการกลับสถานะทำให้บิต S7 เป็นบิตเดียวที่มีการกลับสถานะ นอกจากนี้ในการใช้งาน ถ้าต้องการให้มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากขอบขาขึ้นของขา S6 สามารถกำหนดค่าได้จากพอร์ตควบคุมบิต 4

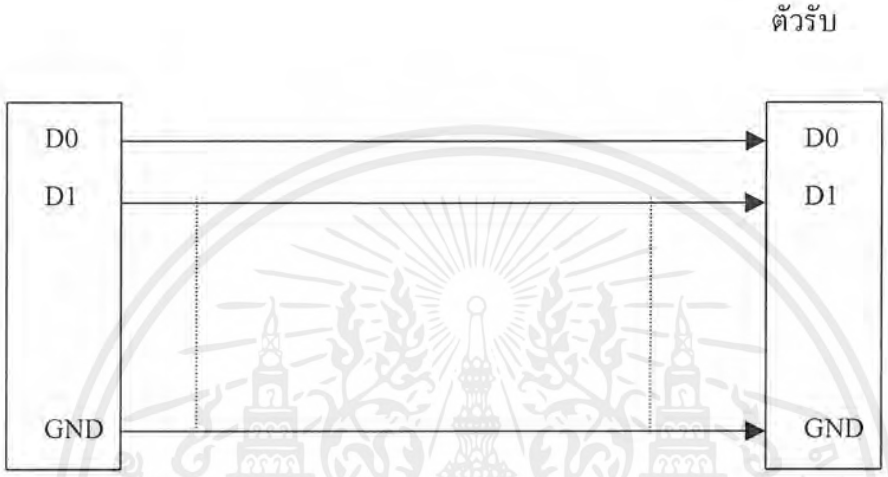


รูป2.33 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.22 พื้นฐานการส่งรับข้อมูลแบบขนาน

การรับส่งข้อมูลแบบขนาน จะเป็นการรับข้อมูลจำนวน 1 ไบต์ ออกไปทางพอร์ตในเวลาเดียวกัน ในระบบคอมพิวเตอร์ 1 ไบต์ จะมีจำนวน 8 บิต คือ D0 – D7 ถ้ามีการส่งรับข้อมูลแบบขนาน จะใช้สายสัญญาณอย่างน้อย 9 เส้น คือสาย Data 8 เส้น และสายกราวด์ 1 เส้น



รูปที่ 2.34 การแสดงการรับส่งข้อมูลแบบขนาน

การส่งรับข้อมูลแบบขนาน คือ การส่งรับข้อมูลทีละบิตจนครบ 1 ไบต์ ถ้าหากต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์ คือ D0 – D7 อาจส่งข้อมูลบิต D0 ออกไปก่อน แล้วจึงตามด้วย D1 ไปเรื่อยๆ จนถึง D7 ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบขนาน คือสามารถส่งข้อมูลได้เร็วหมายความว่าส่งทีเดียวจะได้ข้อมูลครบ 1 ไบต์ แต่ถ้าส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกลๆ จะสิ้นเปลืองสายสัญญาณมาก แต่ถ้าเป็นการส่งแบบอนุกรม จะใช้เมื่อต้องการส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกลๆ ซึ่งสามารถช่วยประหยัดสายสัญญาณ เนื่องจากจะใช้สายอย่างน้อยเพียง 2 เส้น คือสายสัญญาณกับสายกราวด์แต่การรับส่งข้อมูลจะใช้เวลานานเพราะว่าเป็นการส่งทีละบิต

2.22.1 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (พอร์ต Status) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (พอร์ต Control) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (พอร์ต Data) ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตอนุกรมหรือพอร์ต Control นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ด้วย ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกับการใช้งานการ์ดอินพุตที่ต้องติดตั้งอยู่ภายในคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานมีข้อได้เปรียบอยู่หลายประการคือ

- ในด้านความปลอดภัย การที่ต้องถอดฝาคอมพิวเตอร์ออกมาเพื่อเสียบการ์ดเชื่อมต่องลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่นๆ ของคอมพิวเตอร์ได้ ถ้าผู้ใช้งานไม่มีความชำนาญ หรือเกิดการต่อวงจรที่ผิดพลาด

- ในด้านการเข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์ใหญ่ การเชื่อมต่อโดยใช้การ์ดที่เสียบลงในสล็อตไม่สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ทุกรุ่น ตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ก จะไม่มีสล็อตเสียบแต่จะมีที่เสียบ PCMCIA แทน ในขณะที่พอร์ตขนานจะมีติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ทั้งนี้เพื่อใช้ในการติดต่อกับเครื่องพิมพ์

- ข้อจำกัดด้านเนื้อที่ คอมพิวเตอร์บางเครื่องมีการเสียบการ์ดเชื่อมต่อตัวอื่นๆ อยู่แล้ว เช่น การ์ดเสียง, การ์ดโมเด็ม เป็นต้น จนไม่มีสล็อตเหหลือพอสำหรับการเสียบการ์ดเชื่อมต่อเพิ่มเติม

- ความสะดวกในการทำงาน การเชื่อมต่อในพอร์ตขนานสามารถทำได้ง่ายๆ เพียงต่อสายสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ DB – 25 ของพอร์ตขนาน

- จำนวนช่องของสัญญาณอินพุตเอาต์พุต พอร์ตขนานมีจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตมากเพียงพอที่จะนำไปใช้งานต่างๆ และยังสามารถขยายให้มีจำนวนพอร์ตเพิ่มมากขึ้น โดยพอร์ตขนานปกติมีจำนวนขาเอาต์พุต 12 ขาและขานพุต 5 ขา

- ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลกับพอร์ตขนาน มีความเร็วเท่ากับการติดต่อกับระบบบัสโดยตรง และมีความเร็วมากกว่าการติดต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

- อะไหล่และชิ้นส่วนประกอบ คอนเน็คเตอร์ และสายเชื่อมต่อต่างๆ ของการเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน หาง่าย ราคาไม่แพง หรือสร้างเองได้

จากคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้พอร์ตขนานเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในงานเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อควบคุมหรือรับสัญญาณข้อมูล นอกจากนั้นหากนำคุณสมบัติของการโปรแกรมง่ายๆ ผ่านระบบปฏิบัติการวินโดวส์ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก ก็สามารถเชื่อมระบบการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์และใช้งานง่าย

2.22.2 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วยวิชวลเบสิก

การนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ไปใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่ไม่ใช่อุปกรณ์ประเภทเครื่องพิมพ์ พล็อตเตอร์ ดิสก์ไดรฟ ในอดีตจะต้องอาศัยแผงวงจรสำหรับเชื่อมต่อโดยเฉพาะซึ่งต้องติดตั้งลงในสล็อตที่ว่างบนเมนบอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือการ์ดอินพุตเอาต์พุต การเขียนโปรแกรมต้องอาศัยภาษาแอสเซมบี้ที่ค่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร อีกทั้งประจวบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อในลักษณะนี้ได้รับการเผยแพร่อยู่ในวงกำจัด ทำให้การเรียนรู้จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก และเสี่ยงต่อการทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์เสียหายได้

ต่อมาวิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์ได้เปลี่ยนไป การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์จึงได้เริ่มหันมาใช้พอร์ตขนานและพอร์ตอนุกรมในการติดต่อ อันที่จริงแล้วการใช้พอร์ตขนานและพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกนั้นไม่ใช่เรื่องใหม่ หากแต่ได้รับการมองข้ามจากนักทดลองฮาร์ดแวร์ เนื่องจากอัตราในการถ่ายทอดข้อมูลค่อนข้างต่ำ อีกทั้งข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนช่องของสัญญาณซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของนักทดลอง

ดังนั้นการเรียนรู้เรื่องราวของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตของคอมพิวเตอร์ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น และต้องมีการเรียนรู้ทั้งฮาร์แวร์และซอฟต์แวร์ไปพร้อมๆ กันด้วยความสามารถของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และโปรแกรมอย่างวิชวล เบสิก ทำให้การทำงานเกี่ยวกับพอร์ตตลอดจนหน้าตาของโปรแกรมที่ปรากฏบนจอภาพมีความสวยงามและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การเขียนโปรแกรมด้วยวิชวลเบสิก ชุดคำสั่งส่วนใหญ่จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับ QBASIC แต่ วิชวลเบสิก จะไม่มีชุดคำสั่งสำหรับการติดต่อพอร์ตโดยตรง คือคำสั่ง Inp() และคำสั่ง OUT เหมือนกับ QBASIC ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้ จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Library)

เนื่องจากว่าการเขียนและอ่านข้อมูลไปยังพอร์ต หรือหน่วยความจำโดยตรงนั้นอาจทำให้เกิดมีปัญหาแฮงก์หรือทำงานผิดพลาดได้ และVisual BASIC เป็นระบบปฏิบัติการที่ทำงานบนวินโดวส์ซึ่งมีการทำงานแบบมัลติทาร์สกิ้ง (multitasking) มีโปรแกรมหลายๆ ตัวทำงานอยู่พร้อมกัน ดังนั้นเมื่อเกิดความเสียหายกับโปรแกรมตัวหนึ่งก็อาจจะส่งผลให้โปรแกรมที่ทำงานอยู่ทั้งหมดเสียหายได้ นอกจากนี้การเขียนข้อมูลโดยตรงไปยังพอร์ต อาจจะไปทับซ้อนกับโปรแกรมอื่น ๆ ที่มีการเขียนข้อมูลไปยังพอร์ตเช่นเดียวกัน ส่งผลให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด

สำหรับวินโดวส์ 95 นอกจากจะสามารถใช้งาน DLL ในการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงแล้วยังสามารถใช้งานโปรแกรมประเภท Visual Device Driver (Vxd) ในการติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต โดย Vxd จะตัดปัญหาเรื่องการเข้าถึงพอร์ตพร้อมกันของโปรแกรมหลาย ๆ ตัวได้ แต่สำหรับโปรแกรมสั้น ๆ เช่น โปรแกรมอ่านค่าอุณหภูมิ โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตปกติซึ่งไม่มีการติดต่อกับพอร์ตอยู่ตลอกเวลา คำสั่ง Inp และ Out ใน DLL ก็ยังทำงานได้ดีและมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.23 โปรแกรมวิชวลเบสิค

2.23.1 ความเป็นมา

วิชวลเบสิคเวอร์ชั่นแรกที่ออกมานั้นเป็นเวอร์ชั่นบนวินโดวส์ออกสู่สายตาผู้ใช้เมื่อปี 1991 เป็นเพียงเครื่องมืออย่างง่ายสำหรับการสร้างแอพพลิเคชั่นบนวินโดวส์มากกว่าองค์ประกอบ หรือ Object ที่ใช้ได้ก็มีแค่องค์ประกอบพื้นฐานของวินโดวส์ เช่น Text Box, List Box เท่านั้น

ในอนาคตคาดว่าวิชวลเบสิคจะมีบทบาทต่อผู้ใช้วินโดวส์มากขึ้น เพราะต่อไปแอพพลิเคชั่นของ Microsoft ทุกตัวบนวินโดวส์จะมีภาษามาโครเดียวกันหมด คือ Visual Basic For Application (VBA)นั่นคือแทนที่ผู้ใช้จะรู้ภาษามาโครของ Word For Window, Excelหรือโปรแกรมอื่นของ Microsoft แต่ละตัวก็จะเป็นการเรียนรู้ VBA เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากความง่ายของภาษาประสิทธิภาพ และความนิยมของผู้ใช้ รวมทั้งยังเป็นการสร้างมาตรฐานของภาษาแอพพลิเคชันบนวินโดวส์อีกด้วย ในลักษณะเดียวกันกับภาษา REXX ของ OS/2 นอกจากนี้ยังมีข่าวพัฒนาวิชวลเบสิคบนแฟรทฟอร์มอื่นออกมาเป็นระยะๆ ด้วย ฉะนั้นจะถือได้ว่าการเรียนรู้วิชวลเบสิค ทำให้เราก้าวไปสู่การใช้แอพพลิเคชั่นสำเร็จรูปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากการพัฒนาแอพพลิเคชั่นขึ้นมาใช้เอง

2.23.2 ภาพรวมของวิชวลเบสิค

วิชวลเบสิคมีสภาพแวดล้อมสำหรับการพัฒนาโปรแกรมบนวินโดวส์ ประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ครบถ้วนไม่ว่าจะเป็นส่วนของการออกแบบ User Interface, สว่านออกแบบเมนู (Menu Designer), การสร้างรายงาน (Report Writer) อิดิเตอร์สำหรับป้อนโปรแกรม และ Debugger) - เพื่อตรวจหาข้อผิดพลาดในโปรแกรม องค์ประกอบเหล่านี้นับว่าเอื้ออำนวยต่อการทำงานของนักเขียนโปรแกรมเป็นอย่างมาก

ในด้านตัวภาษาวิชวลได้นำไวยกรณ์ของ Basic และ GW – Basic มาใช้ โดยสนับสนุนความสามารถเดิมเกือบทั้งหมด นอกจากนี้ยังได้เพิ่มโปรแกรมแบบมีโครงสร้างของ Quick Basic ซึ่งคล้ายกับภาษที่มีโครงสร้าง เช่น Pascal หรือ C เข้าไปด้วย

นอกจากนี้ยังเพิ่มคำสั่ง และฟังก์ชันเกี่ยวกับ Object และการเรียกฟังก์ชันของระบบปฏิบัติการ (API) เพื่อให้การทำงานที่กว้างขวางขึ้น รวมทั้งสนับสนุนความสามารถของระบบ เช่น OLD, DDE และการใช้คลิปบอร์ด เป็นต้น

ด้วยความสามารถของวิชวลเบสิค ผู้ใช้สามารถสร้างแอพพลิเคชั่นได้หลายประเภทไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมวาดภาพ, การคำนวณทางการเงิน หรือแม้แต่โปรแกรม Cardfile ซึ่งเป็นโปรแกรมมาตรฐานในวินโดวส์โดยไม่ต้องใช้ชุด SDX เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชวลเบสิคแต่ละเวอร์ชันจะมี 2 Edition คือ Satandard และ Professional Edition ซึ่งข้อแตกต่างคือ ในชุด Professional นั้นจะมี Custom Control (Object ที่สามารถนำมาใช้ในฟอร์ม) มากกว่า จะมีเครื่องมืออื่น ๆ เช่น Help Complier สำหรับการสร้างข้อความอธิบายการใช้ Setup Kit เพื่อทำส่วนของการติดตั้งแอพพลิเคชั่น (Installing) และ Report Writer พร้อมข้อมูลเพิ่มเติมอื่นสำหรับผู้พัฒนา แต่ในด้านความสามารถของภาษาจะเหมือนกันทั้ง 2 Edition

2.23.3 หลักการโปรแกรมเชิงภาพของวิชวลเบสิค

ในวิชวลเบสิคนั้น การพัฒนาและการเขียนโปรแกรมจะเป็นไปอีกรูปแบบหนึ่ง กล่าวคือ ในการเขียนโปรแกรมเดิมนั้นเราจะต้องมานั่งออกแบบหน้าจอ ระบุตำแหน่งการแสดงผลคิดหาขั้นตอนการทำงาน และอื่น ๆ จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรม โปรแกรมที่จะได้อธิบายและสั่งงานคอมพิวเตอร์เป็นลำดับไป แต่ในวิชวลเบสิคจะใช้หลักของภาพ และการมองเห็นโดยเริ่มจากออกแบบวินโดวส์ย่อย หรือที่ในวิชวลเบสิคเรียกว่า ฟอร์ม ในฟอร์มจะประกอบด้วยสิ่งต่างๆ ที่เราจะทำงานด้วย หรือเรียกว่าเป็น Object เช่นข้อความ, ช่องรับข้อความ, Scroll Bar หรือปุ่ม เมื่อกำหนดสิ่งเหล่านี้ครบตามต้องการแล้ว จึงระบุว่าองค์ประกอบแต่ละอย่างจะทำงานอย่างไร โดยเขียนโปรแกรมย่อยๆ ปะเข้าไปกับ Object เหล่านี้ ที่ต้องทำแบบนี้ ก็เพราะว่าการทำงานในวินโดวส์เป็นแบบที่เรียกว่า อีเว้นท์ – ไดเว้นท์ คือขึ้นกับเหตุการณ์ (Event) การเขียนโปรแกรมแบบเดิมคือ การสั่งงานตามลำดับจะยุ่งยากมากหรือบางกรณีอาจทำไม่ได้เลย เพราะอย่าลืมว่าในขณะใดขณะหนึ่งนั้น ในระบบไม่ใช่จะมีเพียงโปรแกรมประยุกต์ของเราเท่านั้นที่ทำงาน วินโดวส์จะต้องจัดการกับทุกโปรแกรมที่ทำงานขณะนั้นทั้งหมดไปพร้อมๆ กัน ในขณะที่โปรแกรมแสดงหน้าจอสำหรับอิน-พุต อาจพิมพ์ข้อมูลเข้าไป ใช้เมาส์เลื่อนไปคลิกตรงนั้นตรงนี้ได้โดยอิสระ ทำให้ยากที่จะเขียนโปรแกรมธรรมดาให้คอยดักเส้นทางการทำงาน ในการรับอินพุตว่าจะเกิดอะไรขึ้นตรงไหนก็ได้ จึงต้องใช้รูปแบบการโปรแกรมในลักษณะ อีเว้นท์ – ไดเว้นท์ ซึ่ง Object แต่ละตัวจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นได้หลายอย่าง

นอกจาก Object จะมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ ที่กำหนดแล้ว ยังมีอีกเรื่องหนึ่งที่จะขอกล่าวคือ ทุก Object จะมีลักษณะหรือคุณสมบัติ (Property) ของตัวเอง เช่น ช่องรับข้อความ (Tex Box) จะมีชื่อ, ข้อความในนั้น, ความกว้าง, ความสูง, สี โดยเราสามารถอ้างถึงหรือเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านี้ได้ในขณะที่โปรแกรมทำงานอยู่ เป็นต้นว่า หากไม่มีการป้อนข้อมูลจะแสดงด้วยสีหนึ่ง หรืออาจไม่ต้องแสดงบนจอภาพเลย

ในการกระทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งกับ Object นั้นจะมีสิ่งที่เรียกว่า วิธี ซึ่งเปรียบเทียบเป็นกระบวนการทำงานของ Object ซึ่ง Object แต่ละแบบอาจจะมี Method ที่แตกต่างกันออกไปเช่น ถ้าต้องการสั่งให้เลื่อนตำแหน่งของข้อความ (Label) ก็กระบวนการ หรือ วิธีที่ ชื่อ Move ของ Label เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานนี้โดยสั่งว่า Label.Move = ตำแหน่งที่ย้ายไป หรือการสั่งพิมพ์ก็มี Method ชื่อ Print เป็นต้น ถ้าจะพูดไปแล้ว Method ฯ ก็คล้าย ๆ กับคำสั่งที่ใช้ได้กับ Object จะมีคุณลักษณะเฉพาะที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 ทฤษฎีสภาวะสัญญาณ (Signal Condition)

ในอดีตรูปแบบสัญญาณไฟฟ้า โดยมากจะอยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอกที่มีอยู่แล้วให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และจะถูกประมวลผลโดยตัวประมวลสัญญาณดิจิตอล เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่อาจถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลย หรืออาจถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอกที่ใช้งานได้ การที่แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลได้นั้น สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกสำหรับระบบที่มีการประมวลผลสัญญาณข้อมูลทางดิจิตอล

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใดๆ ก็ตาม เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วจะถูกเปลี่ยนให้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะลอกโดยทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีการสุ่มมีรูปแบบเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพนั้นๆ จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าก็จะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบ และขนาดที่เหมาะสมก่อนโดยวงจรต่างๆ เช่นวงจรขยาย หรือวงจรกรองสัญญาณ เป็นต้น วงจรแซมปลิ้งแอนด์โฮลด์จะสุ่มขนาดของสัญญาณแอนะลอกมา แล้วทำการโฮลด์สัญญาณนั้นไว้ชั่วขณะ โดยไม่จำเป็นต้องใช้วงจร A to D (วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล) แล้วข้อมูลทางดิจิตอลจะถูกส่งต่อไปยังบัสของระบบจากนั้นตัวโปรเฟสเซอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลกลับมาเพื่อควบคุมกิจการทางกายภาพของระบบ โดยผ่านตัวกระทำทางกล (Analog Actuator)

เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ประเภททรานสดิวเซอร์ หรือสัญญาณที่ส่งมาให้กับอุปกรณ์ที่จะควบคุมเป็นสัญญาณแอนะลอกดังนั้น เมื่อจะมีการควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอลก่อน ซึ่งการสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนั้น ทำได้โดยใช้ ไอซีที่เปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกไปเป็นดิจิตอล (A to D) เบอร์Max 192 เมื่อสัญญาณแอนะลอกเข้ามาทางอินพุตของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะมีแรงดันที่มีค่าตั้งแต่ 0 – 4.096 V เพราะฉะนั้นจึงต้องมีวงจรที่ทำหน้าที่ ในการกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณที่รับเข้ามาจากอุปกรณ์ ทรานสดิวเซอร์ดังกล่าว จากนั้นจึงส่งสัญญาณเอาต์พุทให้กับวงจรA to D ซึ่งวงจรนั้นก็คือ Signal Condition Circuit (วงจรสภาวะสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรสภาวะสัญญาณ (Signal Condition Circuit)

วงจรสภาวะสัญญาณที่ใช้นั้น จะมีส่วนประกอบ 6 ชนิดคือ

1. วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส (Voltage To Current Circuit)
2. วงจรขยายสัญญาณการวัด (Instrument Amplifier)
3. วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก (Digital to Analog Circuit)
4. วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Circuit)
5. วงจรวีธสโตน บริดจ์ (Wherthstone Bridge)
6. บอร์ดคอนโทรเลอร์ (บอร์ด V-82)

3.2.1 วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage to Current Converter)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดัน 0 – 2 V ที่ออกจากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลหลังการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้เป็น 4 – 20 mA ป้อนแก่อุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.1

การออกแบบ

เอาต์พุต 4 – 20 mA

อินพุต 0 – 2 V

แหล่งจ่ายไฟ 15 V

$$I = \frac{(e_2 e_1)}{Rs} ; e_2 = e_{in} \text{ or } I_{rs} = e_{in} - e_1$$

ที่ e_{in} 0v, I 4 mAจะได้ (4mA) $Rs = -e_1$ 3.1

ที่ e_{in} 2v, I 20 mAจะได้ (20mA) $Rs = 2 - e_1$

สมการ 3.2 – 3.1 จะได้ (16mA) Rs = 2V

$$Rs = \frac{2v}{16mA} = 125\,\Omega$$

เลือก Rfix 50 Ω และ Vr Span 100 Ω

จากสมการที่ 3.1

$$(4mA)\,Rs = -e_1$$

$$e_1 = -0.5v$$

หากคิดแรงดันตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ด้วย จะได้

$$Vsat > IRLode + e_2 - e_1 + 0.6\,v \quad 3.2$$

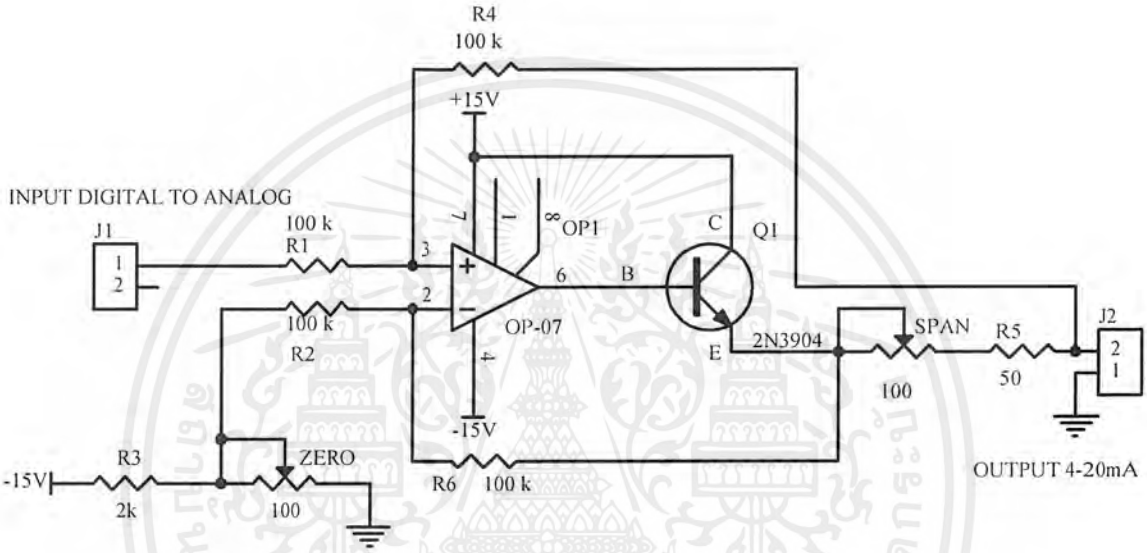
$$R_l < \frac{Vsat - e_2 + e_1 - 0.6v}{I}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_I \quad < \quad \frac{13-2-0.5-0.6}{20mA}$$

$$R_I \quad < \quad 495\,\Omega$$

ซึ่งค่า RI ก็มีความเพียงพอแก่ ค่าความต้านทาน(Impedance) อุปกรณ์ตัวสุดท้าย (Final Element)



รูปที่ 3.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส

3.2.2 วงจรขยายสัญญาณการวัด

วงจรขยายสัญญาณการวัด เป็นวงจรขยายแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะต้องมีความถูกต้องสูงและความเพี้ยนต่ำ

ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณการวัด จึงต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณาระบบควบคุมแล้วจะพบว่าใช้ความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500KHz เพราะฉะนั้นการนำเอาออปแอมป์มาใช้ จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสมดังนั้นการพัฒนาวงจรขยายสัญญาณการวัดให้ใช้งานได้จริง ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. อิมพีแดนซ์ที่ขาเข้าเป็นอนันต์
2. กระแสออฟเซตทางเข้า และแรงดันออฟเซตขาเข้า
3. อัตราการขยายเป็นอนันต์ ซึ่งพิจารณาวงจรขยายสัญญาณ จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1. เป็นส่วนอินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูงและสามารถกำหนดอัตราการขยายของวงจรได้โดยการปรับ V_r เพียงตัวเดียว ดังนั้นจะได้เอาต์พุตระหว่าง ออปแอมป์ทั้ง 2 ตัวตามสูตรคือ

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib})\left[\frac{2R}{R_4 + 1}\right]\frac{R_f}{R_i} \qquad 3.3$$

ในวงจรที่ออกแบบนั้นจะได้คือ

$$R_f = R_i \times R_{in} = (V_{ia} - V_{ib})R_4 = V_R$$

$$V_O = V_{in}\left[\frac{2R}{V_R + 1}\right]$$

การกำหนดอัตราการขยายของวงจรนี้จะเป็นการกำหนดช่วงของความดันที่ต้องการควบคุม (กำหนด Span นั่นเอง)

ส่วนที่ 2. เป็นวงจรการขยายความแตกต่างที่มีอัตราการขยายเท่ากับ 1 มีป้อนแบบลบ และมีการกำหนดจุดอ้างอิง โดยการปรับระดับไฟตรงที่ป้อนทางด้านขาขยายไม่กลับเฟส (Non – Inverting) ของออปแอมป์ เพื่อการกำหนดจุดศูนย์ (ZERO) ของวงจร เรากำหนดสัญญาณคอมม่อนโมด (Common Mode)โดยใช้ Vcom เป็นV_{ia} และ V_{ib}

ที่ ออปแอมป์ A จะทำให้ $V_{2a} = V_{com}$ ที่ออปแอมป์ B จะทำให้ V_{2b} เท่ากับ Vcom เพราะฉะนั้นจะไม่มีแรงดันตกคร่อมที่ R4 หมายความว่า จะไม่มีกระแสไหลผ่าน R_3 และจะทำให้ $V_a = V_{2a}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{V_a - V_b}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{V_{2a} - V_{2b}}{R_4} \qquad 3.4$$

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ เราจะได้ว่า $V_2 = V_3$

$$\frac{V_a - V_b}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{V_{ia} - V_{ib}}{R_4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$V_a - V_b = \frac{(V_{ia} - V_{ib})R_3 + R_4 + R_5}{R_4} \quad 3.5$$

ให้ $I_1 = I_f$

$$\frac{V_a - V_2}{R_1} = \frac{V_2 - V_O}{R_1}$$

$$V_a R_f V_2 R_f = V_2 R_1 - V_O R_1$$

$$V_O R_1 = V_2 R_1 - V_a R_f + V_2 R_f$$

$$V_O R_1 = V_2 (R_1 + R_f) - V_a R_f$$

หา V_3

$$\therefore V_3 = V_b\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \quad 3.6$$

กำหนดให้

$$V_2 = V_3$$

$$\therefore V_o R_i = (R_i + R_f)\frac{V_b R_2}{R_1 + R_2} - V_a R_f \quad 3.7$$

ให้

$$R_1 = R_i$$

$$R_2 = R_f$$

$\therefore$ ได้สมการว่า

$$V_o R_i = V_b R_f V_a R_f$$

ได้

$$V_o = (V_b - V_a)\frac{R_f}{R_i} \quad 3.8$$

จากนั้น กำหนดให้ V_a กับ V_b ต่อสลับกัน จะได้สมการใหม่ว่า

$$V_o = (V_a - V_b)\frac{R_f}{R_i} \quad 3.9$$

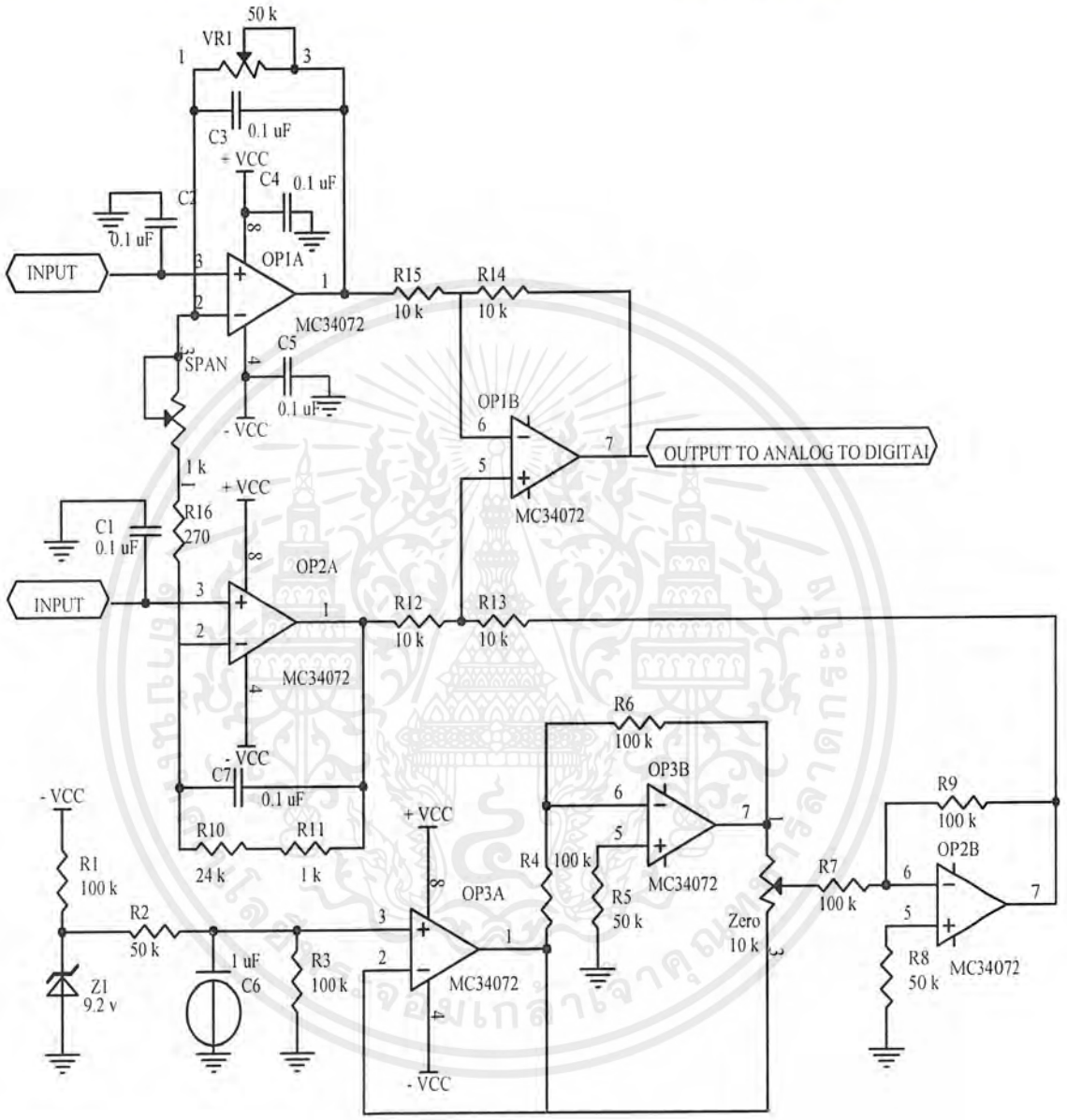
จะได้ว่า

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib})\left(\frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4}\right) \times \frac{R_f}{R_{in}} \quad 3.10$$

กำหนดให้ $R_3 = R_4 = R_5$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib}) \left(\frac{2_R + 1}{R_4} \right) \times \frac{R_f}{Rin} \qquad 3.11$$

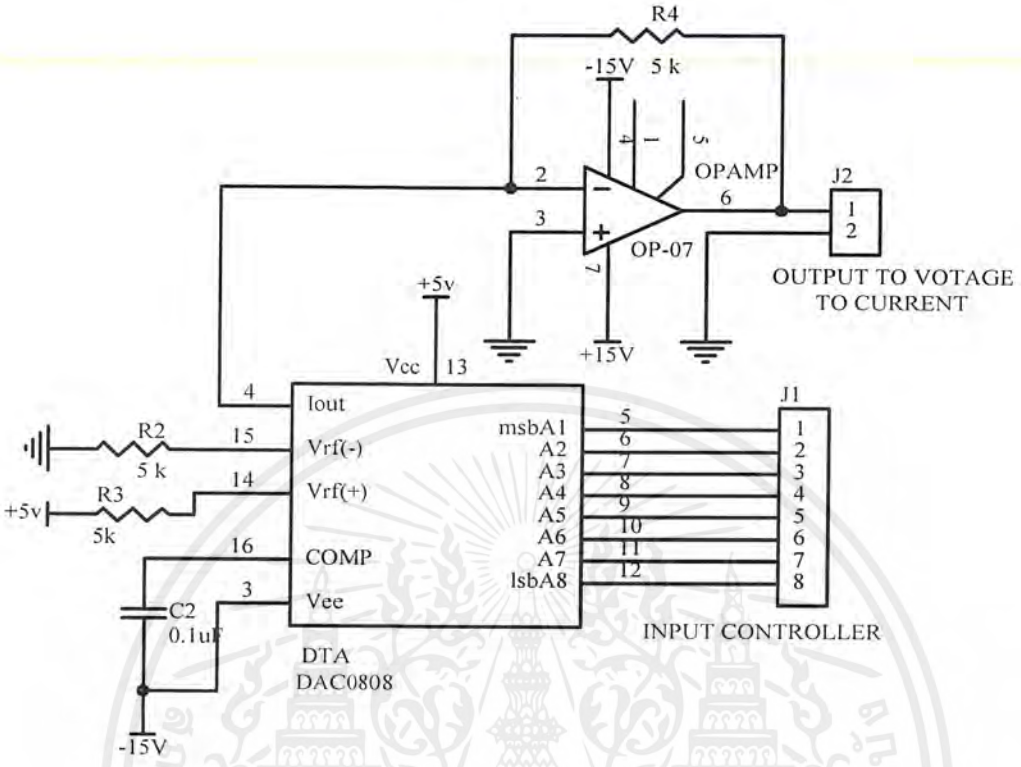


รูปที่ 3.2 รูปวงจรขยายสัญญาณ

3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

ในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกนั้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงหลักการเบื้องต้น ในการนำคอมพิวเตอร์ไปควบคุมวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก เพื่อที่จะนำข้อมูลจากคอมพิวเตอร์มาแปลงให้เป็นสัญญาณแอนะลอก ซึ่งได้แสดงดังรูปที่3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

จากวงจรจะเห็นว่าประกอบด้วย U26 ไอซี 74LS273 , U27 ไอซี MC 1408 , U2 ไอซี LM741 ซึ่งจะประกอบด้วย R – C เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณจากดิจิตอลเป็นแอนะลอก ซึ่งวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกในวงจรนี้มีทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะตีโค้ดไว้ที่ Port XX8H วงจรข้างต้นจะให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นระดับที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอนะลอกที่เข้ามาที่อินพุตของวงจร

U 26 จะทำหน้าที่ค้างข้อมูลไว้ที่ Q1 – Q8 จากนั้น U27 จะทำการแปลงข้อมูลนี้ให้เป็นสัญญาณแอนะลอกซึ่งอยู่ในรูปของกระแส ปรากฏที่ขา 4 จากนั้น U28 จะทำการเปลี่ยนกระแสนี้ให้อยู่ในรูปแรงดันเพื่อส่งไปที่จัมเปอร์ JM1 ซึ่งสัญญาณจาก JM1 จะต่อเข้ากับวงจรขับหลอดไฟ 12โวลท์ ดังนั้นเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามากับสัญญาณแอนะลอกที่ได้โดยการใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่า

3.2.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การติดต่อระหว่างมนุษย์ส่วนมากจะใช้สัญญาณต่อเนื่องแอนะลอก เป็นสัญญาณติดต่อกัน แต่ว่าการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณเป็นช่วงดิจิตอลเป็นสัญญาณในการทำงานดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นถ้าเราต้องการที่จะให้คอมพิวเตอร์ช่วยเราทำงานแล้ว เราจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกที่เราใช้อยู่ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อให้คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องประมวลผลสัญญาณดิจิตอลที่รับรู้ได้ เมื่อประมวลสัญญาณเสร็จก็จะส่งข้อมูลออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากที่เราจะเข้าใจข้อมูลนั้น ดังนั้นเราจึงเปลี่ยนข้อมูลที่สัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะลอกเพื่อให้มนุษย์เข้าใจในข้อมูลดังนั้นพอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและ การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ซึ่งเป็นการประสานโลกของคอมพิวเตอร์เข้ากับโลกมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์ได้ใช้คอมพิวเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเรียกว่า Analog to Digital Conversion (ADC) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า A to D หรือ A/D และในทำนองเดียวกัน การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก เรียกว่า Digital to Analog Conversion (DAC) เรียกย่อ ๆว่า D to A หรือ D/A

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล A/D มีขบวนการอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดี และข้อเสียรวมทั้งราคาที่แตกต่างกันออกไป จึงขอกล่าววิธีแปลงสัญญาณอย่างคร่าว ๆ ซึ่งมีหลักการดังนี้

1 A/D แบบเซอร์โว (Servo)

เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุดแต่การทำงานไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจากอุณหภูมิเวลาและความไวในการรับสัญญาณอินพุต

2 A/D แบบดูอัล – สโลป อินทีเกรต (Dual – Slope Intergrator)

เป็นแบบที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ราคาค่อนข้างแพง ทางด้านอุณหภูมิมีผลน้อย แต่มีความเร็วในการทำงานต่ำ

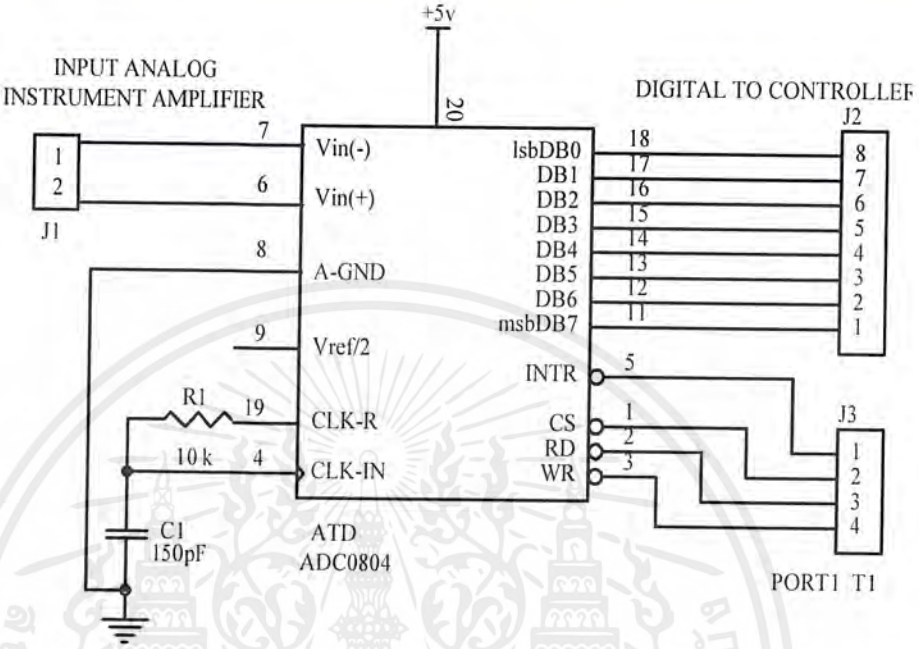
3 A/D แบบซัคเซสซีพ – แอพพร็อกซิเมชั่น (Succesive – Approximation)

เป็นแบบที่ใช้งานกันทั่วไป และเป็นแบบซึ่งทำงานได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องสูง แต่การสร้างวงจรนั้นต้องใช้ D/A

4 A/D แบบคอมพาราเตอร์ขนาน (Parallel – Comparator)

เป็นแบบที่มีความเร็วในการทำงานสูงแบบหนึ่ง แต่ราคาก็สูงที่สุดในบรรดา A/D ทุกชนิด หลักการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องใช้ส่วนประกอบอื่นค่อนข้างมากในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนั้น เป็นการแสดงให้เห็นถึงหลักการเบื้องต้นในการนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลทั้งนี้ เพื่อนำเอาสัญญาณแอนะลอกมาแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นจึงส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป ซึ่งการสร้างและการทำงานของวงจรสามารถอธิบายไว้ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

จากวงจร จะทำการต่อ V_{ref} (+) กับ V_{ref}(-) ลงกราวน์ เพื่อเป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงให้กับวงจรภายในของ U32 ADC0808 ขา CLK ต่อกับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ขาของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อกับ U31 ไอซี 74LS245 ขา A0 –A2 ต่อกับ U35 ไอซี 74LS175

การทำงานของวงจร

เริ่มจากการส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส เพื่อกำหนดแชลแนลของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลว่าจะรับข้อมูลแอนะลอกจากแชลแนลไหน

3.2.5 วงจรวีธสโตน บริดจ์

เป็นวงจรการต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี คือ "วงจรวีธสโตน บริดจ์" ให้ X คืออาร์ทีดีซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ รีซิสเตอร์ประกอบอีก 3 ตัวคือ A,B และ C อยู่ในทรานสมิตเตอร์ในอุณหภูมิบรรยากาศ รีซิสเตอร์ A,B และ C ที่ใช้เป็นแบบที่มีความถูกต้องสูง

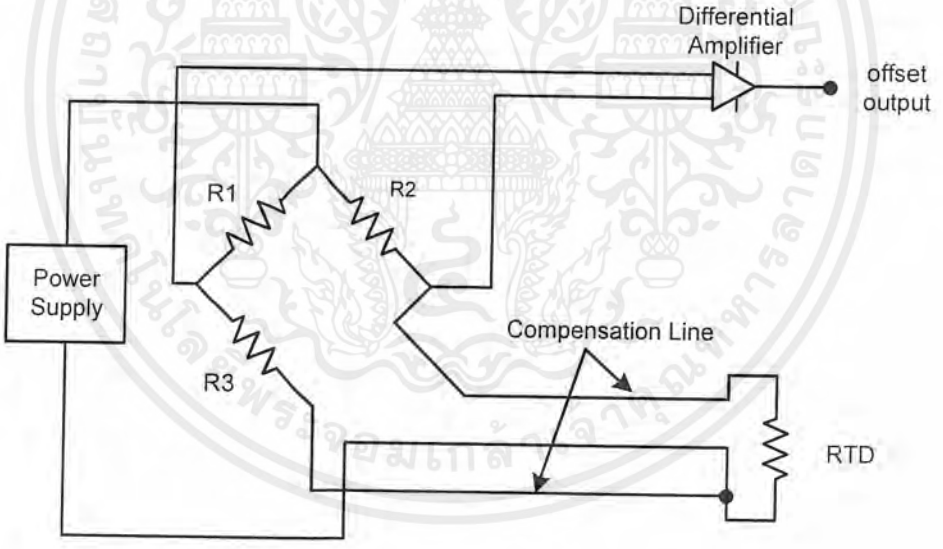
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรบริดจ์นี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่ออาร์ทีดีอยู่ในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียล ซึ่งจะทำให้อัตราส่วน $\frac{X}{C} = \frac{A}{B}$ วงจรที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือวงจรอาร์ทีดี 3 สาย เป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรมทั่วไปสายทั้งสาม จากอาร์ทีดีเข้าวงจรบริดจ์จะต้องมีขนาดความยาวเท่ากันและอยู่ในบรรยากาศที่อุณหภูมิเดียวกันตลอดเพื่อให้ค่าความต้านทานของทั้ง 3 สายเปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เป็นการชดเชยความผิดพลาดอันเกิดจากการลากสายตัวนำยาวในสภาวะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากวงจรเมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล

$$X = \frac{C}{B}A \text{ ให้ } B = C$$

(ปกติจะออกแบบให้ท่ากัน)

เนื่องจาก $a = b = c, X + b$ จึงเท่ากับ $A = a$ ค่าอุณหภูมิของการวัดจึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี "X" เพียงตัวเดียว วงจรการวัดแบบสามสายนี้เป็นวงจรที่ให้ความถูกต้องสูง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรวีธสโตนบริดจ์

3.2.6 บอร์ดคอนโทรเลอร์

6.1 คุณสมบัติของบอร์ด

1. 89S8252 ความถี่ 11.0592 MHz ภายในมี Flash Memory ขนาด 8 Kbyte (Code) และอีพรอม ขนาด 2 Kbyte (Data) และ แรม 256 Byte

2. Flash Memory สามารถเขียนซ้ำได้ 1,000 ครั้ง และอีพรอม เขียนซ้ำได้ 100,000 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. 36 บิต I/O สามารถใช้งานได้อย่างอิสระ โดยเป็นขั้วต่อ 26 พิน (แบบ 8255) จำนวน 24 อินพุต/เอาต์พุต และเป็นขั้วต่อ 16 พิน (Port1) อีกจำนวน 12 อินพุต/เอาต์พุต

4. มีขั้วต่อ 16 พิน สำหรับ LCD Module (ใช้งานได้อิสระ)

5. มีขั้วต่อ 10 พิน และขั้วสีขาวแบบ 5 พิน สำหรับใช้งานอิสระ มี 3 Bit อินพุต/เอาต์พุต

6. มีขั้วต่อ 10 พิน เป็น SPI-Port เพื่อการโหลดข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์

7. พอร์ตขนาน สามารถเลือกใช้เป็น RS232 หรือ RS485 ก็ได้ (ตัวชิพ DS275,75176 เป็น Option)

8. มี Real Time Clock เบอร์ DS1307

9. วงจร Reset จากชิพเบอร์ DS1833 (Reset เมื่อ Power Up และ Down)

11. ใช้ไฟเลี้ยง 5VDC และมี Power LED บนบอร์ด

12. ขนาดบอร์ด3.5 x 2.8 นิ้ว

6.2 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของ บอร์ด V-S82

MCU 89S8252 FLASH หน่วยความจำขนาด 8 KBYTE – อีพรอมขนาด 2 KBYTE - หน่วยความจำภายใน 256 BYTE

RTC DS 1307 เป็นชิพนาฬิกา เพื่อการอ่าน-เขียน ค่าของเวลา – วัน – เดือน - ปี พร้อมแรม 56 BYTE สำหรับใช้งานอิสระ บิตที่ใช้ SCL =P2.2, SDA=P2.3

รีเซต ใช้ DS 1833 เป็น POWER UP / DOWN RESET ให้กับระบบ

ระบบเสียง ใช้ลำโพงตัวเล็กติดตั้งอยู่ในบอร์ด ควบคุมเสียงโดย BIT T1

พอร์ตอนุกรม RS232 ใช้ชิพ DS275, RS485 ใช้ชิพ 75176 ควบคุมทิศทางด้วย T0

SPI เป็นคุณสมบัติที่มีอยู่แล้วในตัวของ CPU ซึ่งได้ถูกนำมาเป็นพอร์ตสำหรับต่อใช้งานกับชุด SPI – LOAD (ตัวช่วย LOAD) เพื่อการพัฒนาโปรแกรมรูปแบบใหม่ที่ให้ความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยสามารถนำโปรกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ผ่านตัวช่วยโหลดเก็บลงที่ตัว CPU ได้เลยโดยไม่ต้องใช้โปรแกรม MCU

คีย์ คีย์ 1 และ คีย์ 2 ต่ออยู่กับ $\overline{\text{INT 0}}$ และ $\overline{\text{INT 1}}$ สำหรับใช้งานอิสระ

พอร์ตใช้งาน เป็นพอร์ตสำหรับนำไปใช้เป็นอินพุต เอาต์พุตต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

- LCD พอร์ต เป็นส่วนแสดงผลข้อมูลฮาร์ดแวร์ ต่อใช้งานในลักษณะ I/O PORT โดยข้อมูลจะเป็นพอร์ต 0, พอร์ตอนุกรมจะเป็นพอร์ต 2.4, พอร์ตสำหรับอ่านและเขียน เป็นพอร์ต P2.5. พอร์ตอีนาเบิล เป็นพอร์ต 2.6

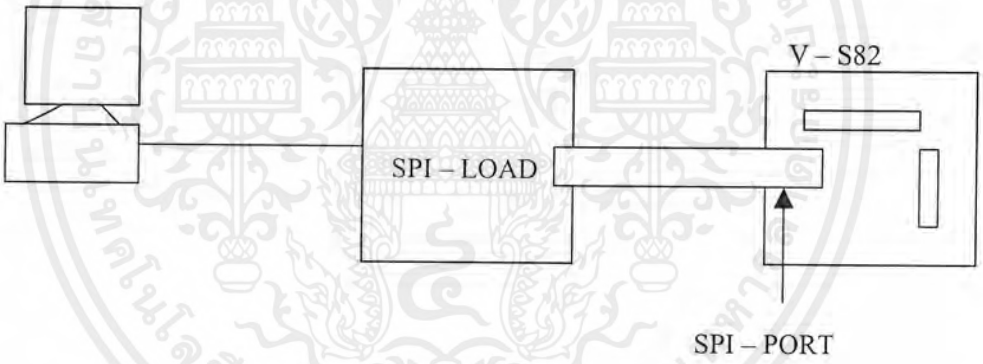
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8255 พอร์ต สำหรับใช้งานเป็นอินพุต เอาต์พุตของระบบ ซึ่งจากวงจรจะเห็นว่า 8255 ไม่ได้ต่อใช้งานในลักษณะ MEMORY MAO แต่จะต่ออยู่ในรูปของ อินพุต/เอาต์พุต โดย พอร์ตข้อมูลเป็นพอร์ต 0, พอร์ตสำหรับเขียน เป็นพอร์ต3.6, พอร์ตสำหรับอ่าน เป็นพอร์ต 3.7, A0 = P2.0, A1=P2.1 เพราะฉะนั้นการเขียนโปรแกรมควบคุม จะเป็นลักษณะการสร้างสัญญาณเปรียบเทียบให้กับขาสัญญาณควบคุมของ 8255 คือขาสำหรับเขียน, ขาสำหรับอ่าน, AO, A1 เพื่อการ พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต จากภายนอก (ADDRESS PORT A= 0000H, PORT B=0001H, PORT C=0002H, PORT CONTROL = 0003H)

- 12B พอร์ต คือ อินพุต/เอาต์พุต 12 บิต จาก CPU เพื่อการใช้งานอิสระ

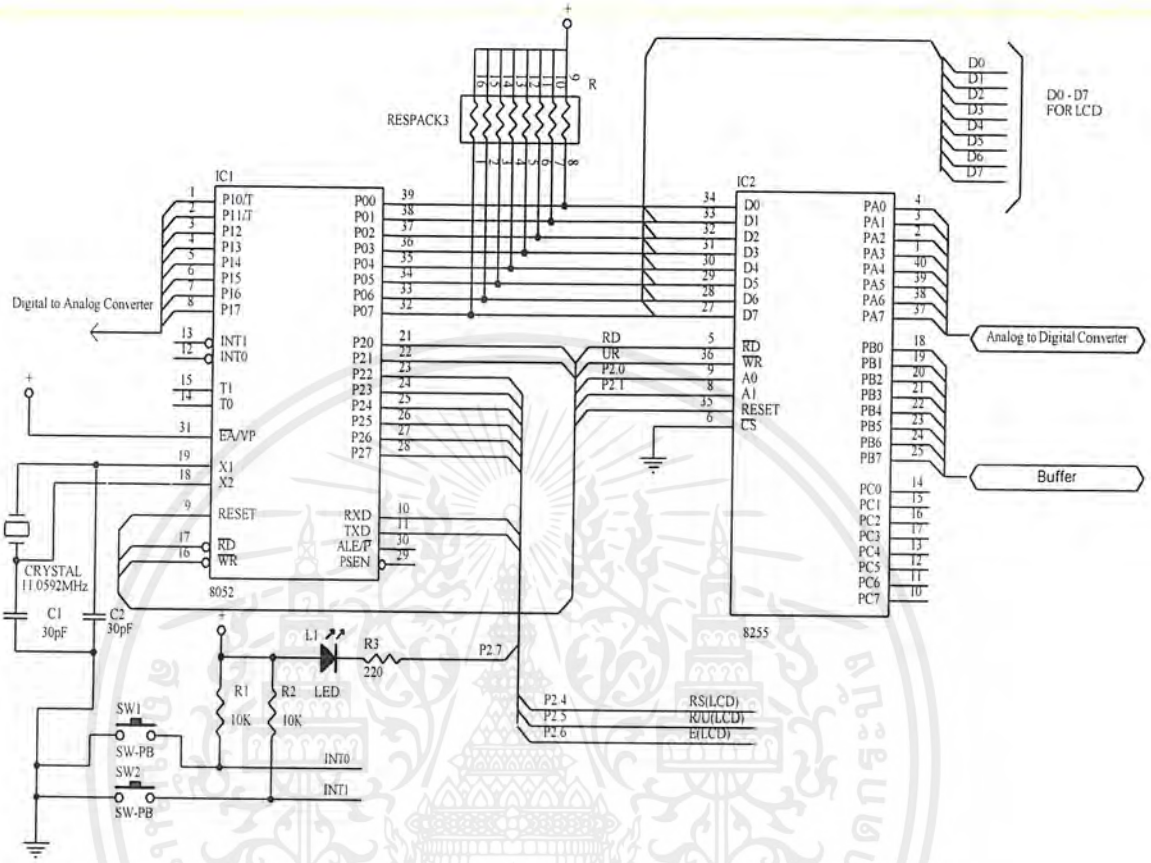
- 3B พอร์ต คือ อินพุต/เอาต์พุต3 บิต จาก CPU ซึ่งต่อขนานอยู่กับบิตของพอร์ตอนุกรม แต่การใช้งานสามารถอยกอิสระจากกันได้

- หลอด LED ใช้งาน สำหรับใช้งานอิสระ BIT ที่ต่อใช้งานคือ P2.7 ACTIVE LOW



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อใช้งานร่วมกับ SPI – LOAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรการต่อบอร์ดคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และผลการทดลอง

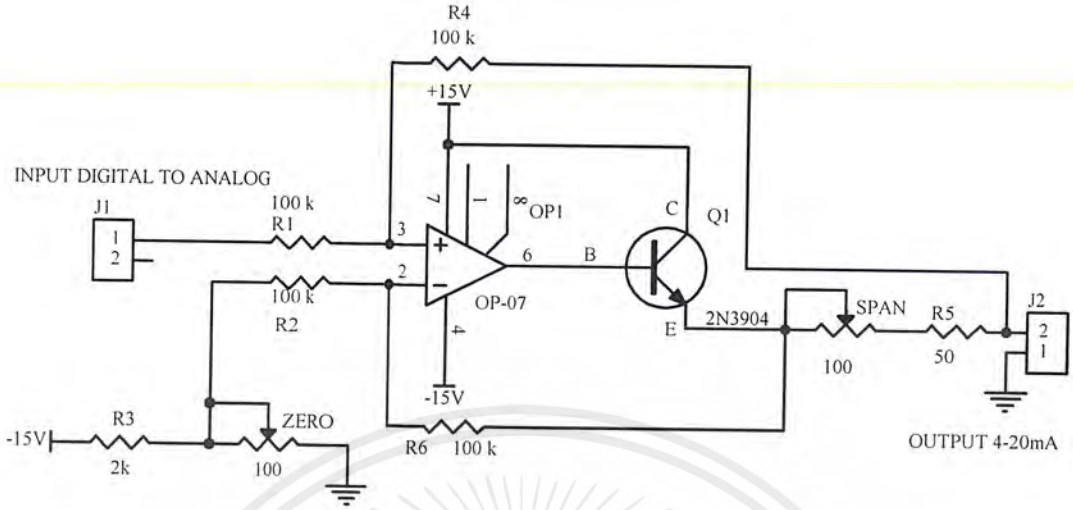
4.1 บทนำ

ในการวัดของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมแต่ละตัว ค่าความถูกต้องและค่าความเม่นยำถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง เมื่อค่าที่ได้จากการวัดนั้นมีความถูกต้องและค่าความเม่นยำต่ำแล้ว ก็ย่อมหมายความว่าเอาต์พุตของระบบนั้นไม่ได้ตามมาตรฐานที่วางไว้ ดังนั้นการปรับเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมจะช่วยให้เกิดความมั่นใจในการทำงานของระบบการผลิตได้ เพื่อผลผลิตจะได้มีมาตรฐานด้านคุณภาพตามที่กำหนดได้ เครื่องมือวัดอุณหภูมิปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์ ถือว่าเป็นหัวใจหลักของกระบวนการผลิตเช่นกัน เพราะทำหน้าที่ในการวัดอุณหภูมิภายในระบบแล้วประมวลผลที่ได้นั้นให้เป็นกระแสมาตรฐานเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมระบบต่อไป ดังนั้นแล้วส่วนประกอบต่างๆของวงจรก็ถือว่าเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เมื่อวงจรต่างๆ นั้นให้เอาต์พุตได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้แล้วก็ย่อมหมายความว่า เครื่องมือวัดอุณหภูมิปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์นี้มีความถูกต้อง และความเที่ยงตรงสูง ในบทที่ 4 นี้จึงจะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์รวมถึงการทดลองและผลการทดลองของเครื่องมือวัดอุณหภูมิปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์

4.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส

หลังจากที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณอินพุตจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้ว ก็จะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณอินพุตนั้น แล้วส่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส ซึ่งวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส จะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันอินพุตที่ได้รับให้เป็นกระแส วงจรดังรูปที่ 4.1 เป็นวงจรแปลงแรงดัน $0-2$ V เพื่อให้เป็นกระแสมาตรฐาน $4-20$ มิลลิแอมป์ ก่อนที่จะจ่ายกระแสมาตรฐานนี้ให้กับอุปกรณ์ควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส

4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส ตามรูปที่ 4.1

2) ตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร

3) ป้อนแรงดัน 0 - 2 โวลต์ให้กับวงจร แล้วทำการปรับแต่งวงจรแปลงสัญญาณให้ได้กระแสเอาต์พุต 4-20 มิลลิแอมป์

ตารางที่ 4.1 วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส

อินพุต (V)	เอาต์พุต (mA)
0	3.8
0.4	7.1
0.8	10.2
1.2	13.5
1.6	16.8
2.0	20.1

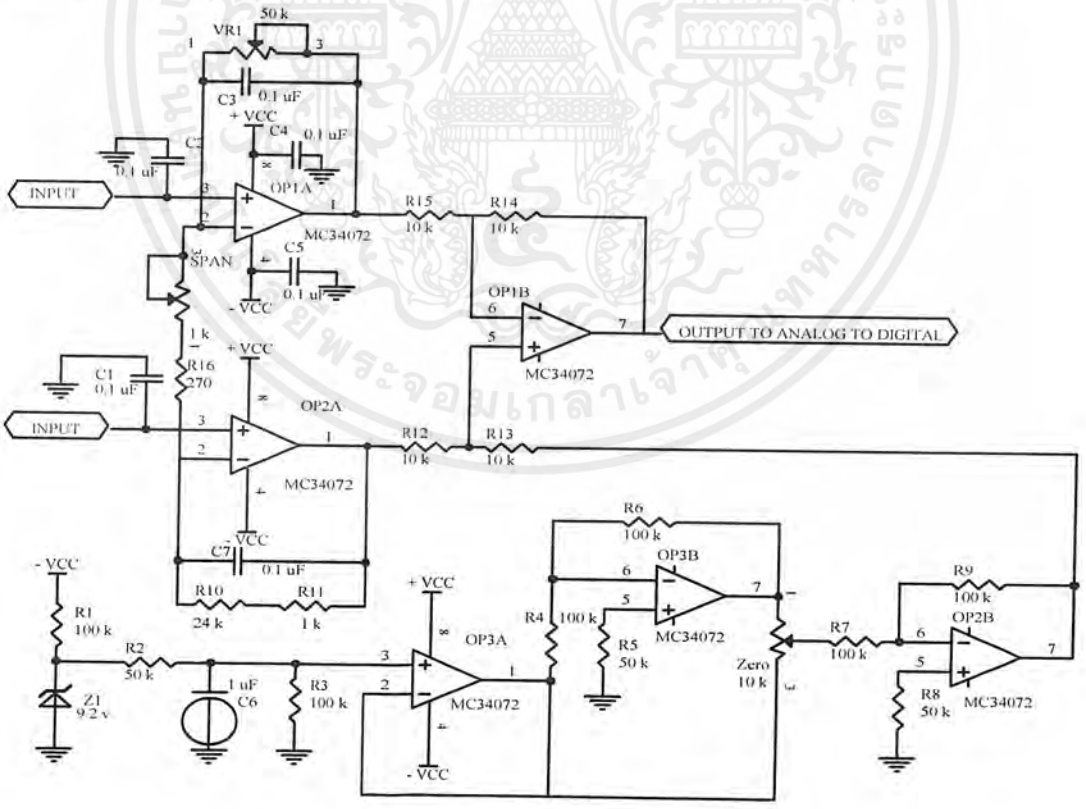
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลอง

จากวงจรการทดลองเมื่อทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.1 แล้วทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจรแล้วจึงทำการป้อนแรงดันไฟฟ้า 0-5 โวลต์ให้กับวงจร แล้วทำการปรับแต่งวงจรเพื่อให้ได้แรงดันที่เอาต์พุตมีค่า 0-5 โวลต์ ผลการทดลองปรากฏว่ากระแสเอาต์พุตที่วัดได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นอาจเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ มัลติมิเตอร์ เป็นต้น

4.3 วงจรขยายสัญญาณ (Instrument Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณเป็นวงจรขยายแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยสัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะต้องมีความถูกต้องสูง ความเที่ยงตรงสูงและความเพี้ยนต่ำ ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณ จึงต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติ เมื่อพิจารณาระบบควบคุมแล้วจะพบว่าใช้ความถี่ต่ำคือตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 kHz เพราะฉะนั้นแล้วการนำเอาออปแอมป์มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรขยายสัญญาณ ตามรูปที่ 4.2

2) ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร

3) ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรที่ 100% แล้วทำการปรับค่า RG(Span)ให้ได้แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์

4) ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรที่ 0% แล้วทำการปรับค่า RG(Zero)ให้ได้แรงดันเอาต์พุต 0 โวลต์

5) การปรับตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนทำให้ได้ค่าผิดพลาด 1 %

ตารางที่ 4.2 วงจรขยายสัญญาณ

อินพุต (%)	ค่าจากการคำนวณ (V)	ค่าที่ได้จากการวัด (V)
100	5	5
75	4	4
50	3	3
25	2	2
0	1	1

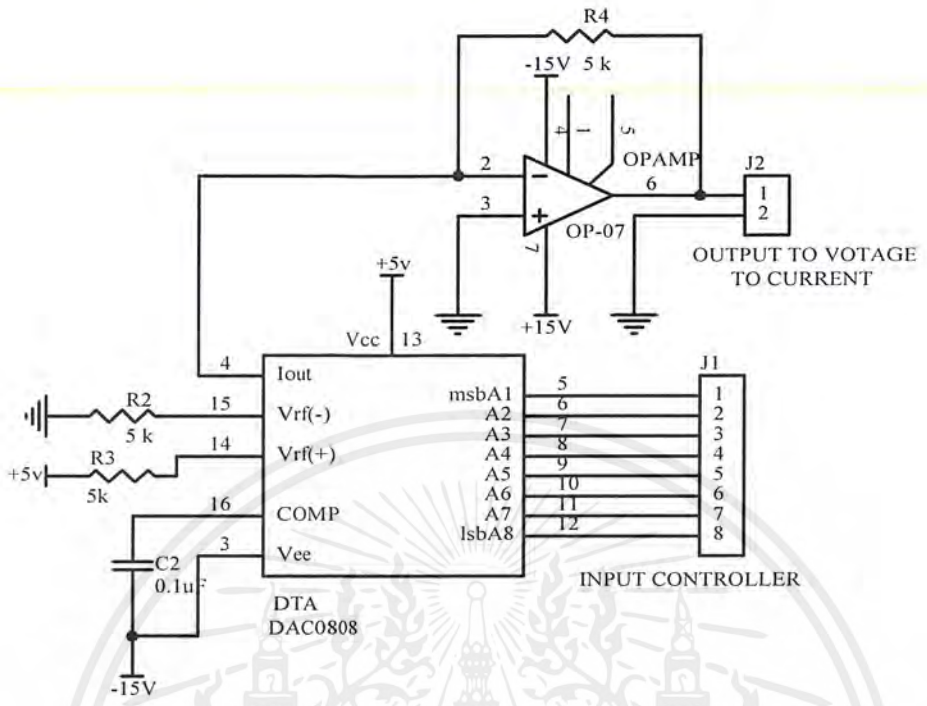
4.3.2 ผลการทดลอง

จากค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตตามตารางผล ปรากฏว่าค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณนั้น มีค่าที่เท่ากันจึงสรุปได้ว่าการทำงานของวงจรขยายสัญญาณนั้นมีค่าความถูกต้องและความแม่นยำสูง ได้สัญญาณตามมาตรฐานที่ต้องการ

4.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกดังรูปที่ 4.3 นั้นจะใช้ไอซีเบอร์ DAC0808 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณแอนะลอก อินพุตที่จ่ายให้กับวงจรดังตารางที่ 4.3 นั้นจะเป็นเอาต์พุตที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ตามรูปที่ 4.3

2) ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร

3) ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

อินพุต (V)	เอาต์พุต (V)
00H	0.0
33H	0.4
66H	0.8
99H	1.2
CCH	1.6
FFH	2.0

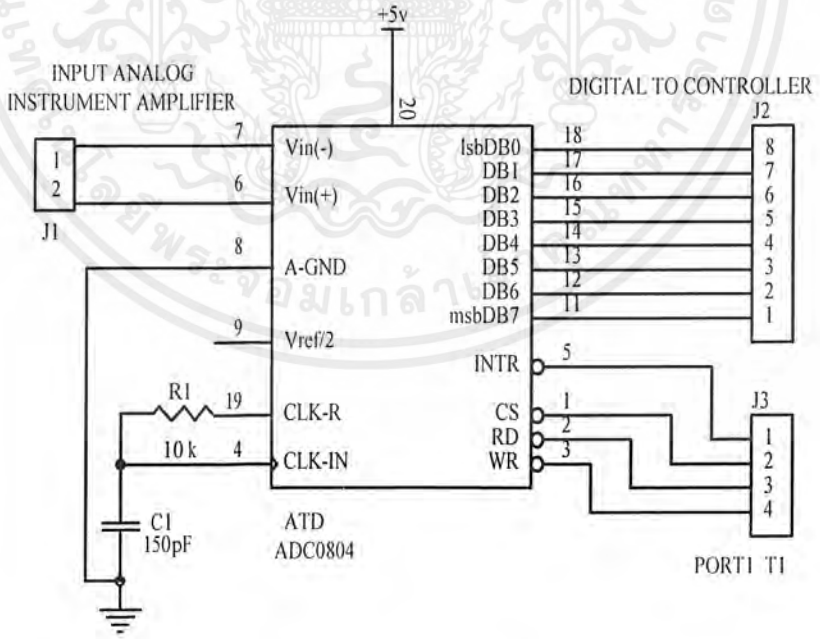
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลอง

จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก ผลการทดลองปรากฏว่าค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าอินพุตที่ป้อนให้กับวงจร โดยเป็นอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ และค่าที่ได้จากการทดลองนั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณแล้วปรากฏว่า ข้อมูลนั้นสัมพันธ์กัน จึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง

4.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

โดยทั่วไปแล้ววงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล จะให้เอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบและเป็นเลขฐานสอง จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ดังรูปที่ 4.4 จะเป็นการวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้ไอซีเบอร์ ADC 0804 ที่ให้เอาต์พุตเป็นเลขฐานสอง ในการทดลองจะใส่รหัสความแตกต่างของศักย์ดาไฟฟ้าระหว่างศักย์ดาไฟฟ้าที่เป็นบวกและศักย์ดาไฟฟ้าที่เป็นลบเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง



รูปที่ 4.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ตามรูปที่ 4.4

2) ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร

3) ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจร โดยการปรับค่าแรงดันอินพุตดังตารางที่ 4.4

ตารางที่4.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณเป็นดิจิตอล

อินพุต (V)	เอาต์พุต (V)
0.0	00H
0.4	33H
0.8	66H
1.2	99H
1.6	CCH
2.0	FFH

4.5.2 ผลการทดลอง

จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ผลการทดลองปรากฏว่าค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าอินพุตที่ป้อนให้กับวงจร โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนที่สม่ำเสมอ และเมื่อนำค่าจากผลการทดลองนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณแล้วปรากฏว่า ข้อมูลนั้นสัมพันธ์กัน จึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง

4.6 โปรแกรมวิชวลเบสิค (Visual Basic)

โปรแกรมวิชวลเบสิค (Visual Basic) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่แทนอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนค่า (Hand Help) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่ต้องการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ให้กับตัวทรานสมิตเตอร์ โดยการตั้งค่าต่างๆที่ต้องการแล้วกดปุ่มตกลง ข้อมูลที่ต้องการปรับเปลี่ยนนั้นก็จะถูกส่งไปยังตัวทรานสมิตเตอร์ ภายในหน้าจอของวิชวลเบสิคก็จะประกอบไปด้วยปุ่มกดที่ต้องการจะปรับเปลี่ยนค่า โดยคลิกที่ปุ่มกดที่ต้องการแล้วจะมีหน้าจอใหม่ของวิชวลเบสิคแสดงขึ้นมา

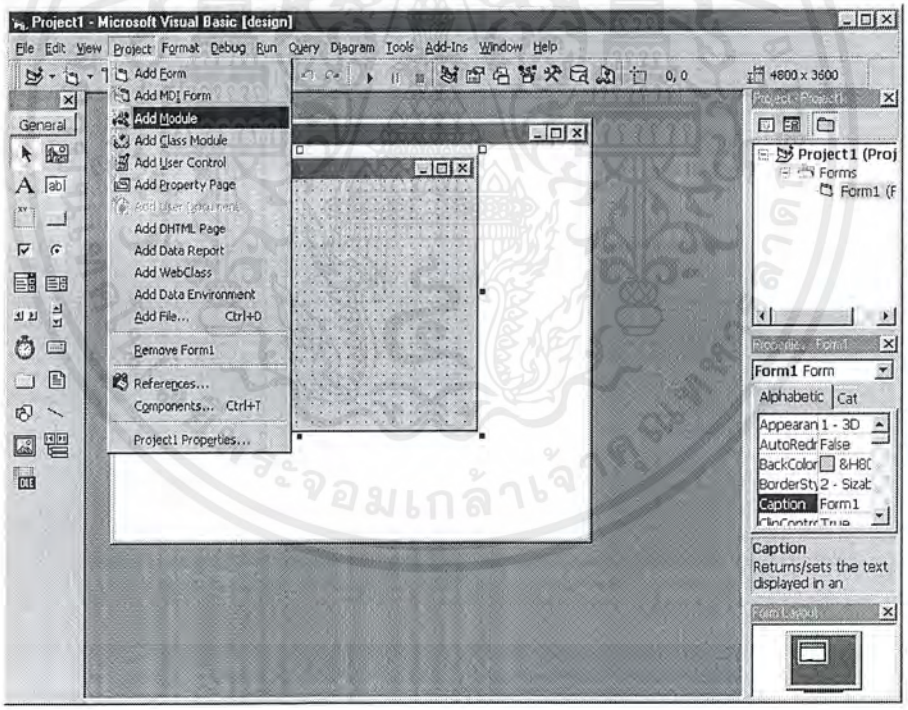
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในหน้าจอวิชวลที่แสดงขึ้นมาใหม่นี้จะประกอบไปด้วยอินพุตบล็อกที่ทำหน้าที่รับค่าที่ต้องการปรับเปลี่ยนค่า เมื่อกดปุ่มตกลงค่าที่ป้อนในอินพุตบล็อกจะถูกส่งไปยังตัวทรานสมิตเตอร์โดยใช้พอร์ตขนานเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล โดยปกติแล้วโปรแกรมทั่วๆ ไปจะไม่สามารถส่งข้อมูลได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องเพิ่ม INPUT32.BAS เข้าไปในโปรเจค ในโปรแกรมวิชวลเบสิค โดยทำดังนี้

1) ที่เมนูบาร์ คลิกที่โปรเจคตาม ตามด้วย ADD Module จะได้ดังรูปที่ 4.5

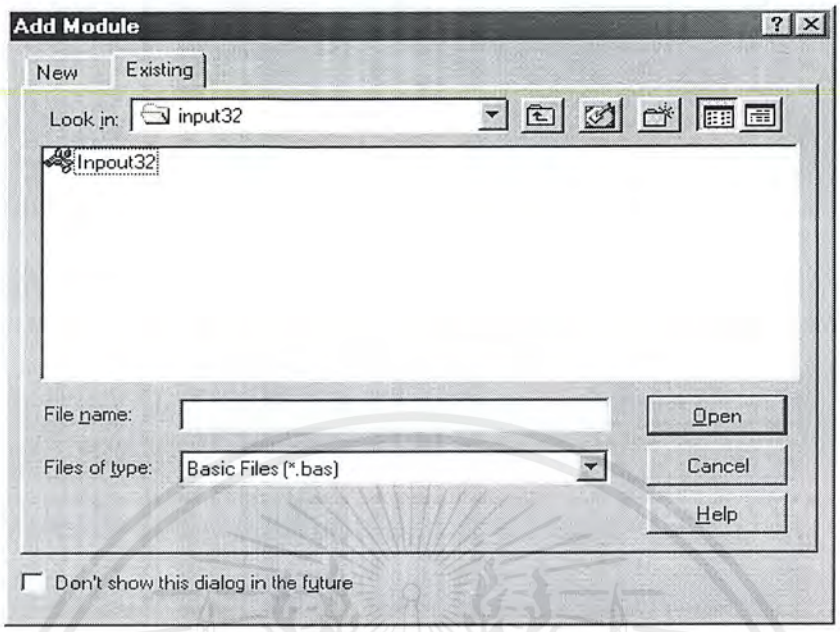
2) เรียกไฟล์ Input32.bas ที่ได้เตรียมไว้ จะได้ดังรูปที่ 4.6

จากนั้นก็นำไฟล์ Input32.all นำไปเก็บไว้ที่ C:\windows\system\ โปรแกรมที่เขียนขึ้นมานั้นก็สามารถที่จะแสดงผลได้ วงจรการทดลองส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค ผ่านทางพอร์ตขนานดังรูปที่ 4.7 และส่วนประกอบหน้าจอวิชวลเบสิคที่ใช้ในการทดลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.7 และโปรแกรมการทดลองดังรูปที่ 4.8

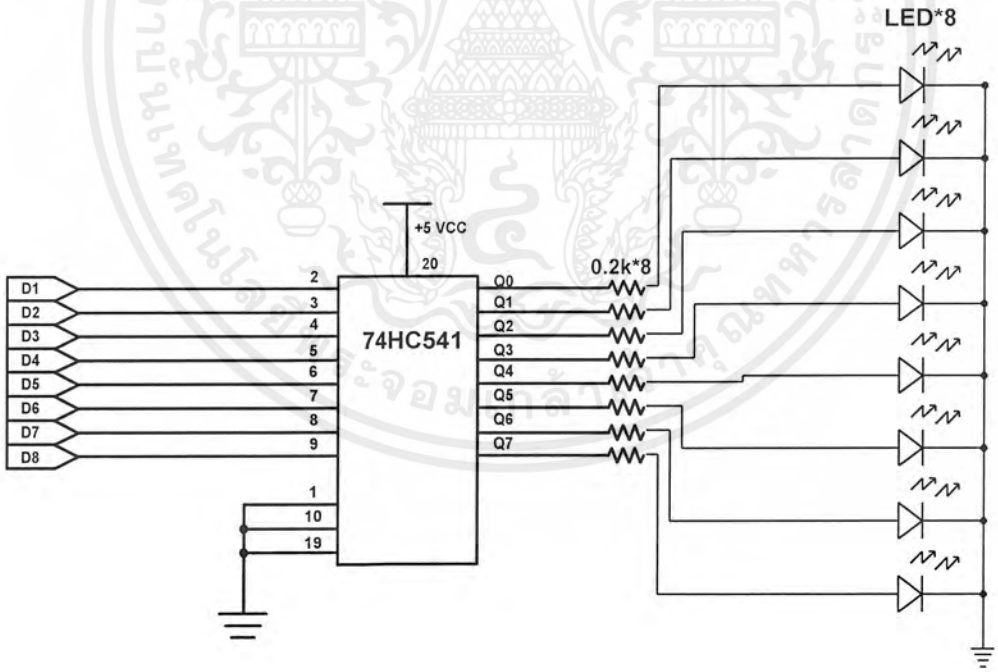


รูปที่ 4.5 การ ADD Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

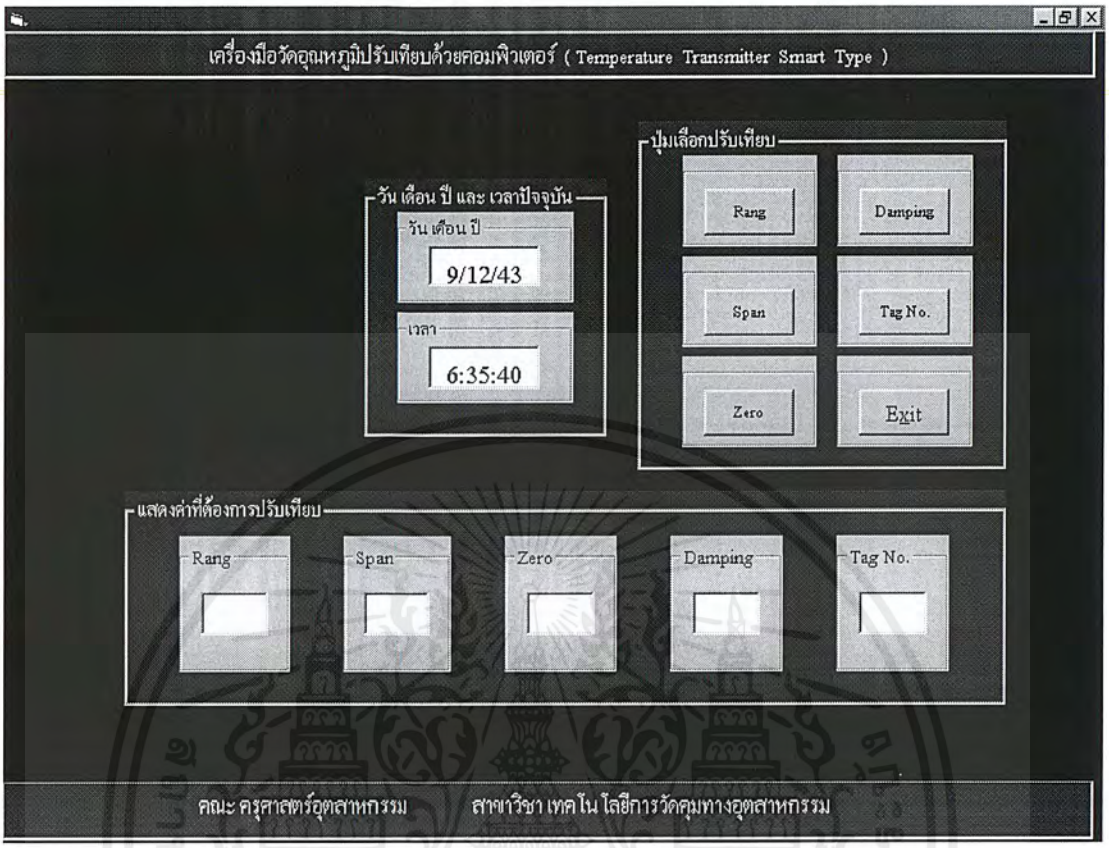


รูปที่ 4.6 แสดงไฟล์ Input32.bas



รูปที่ 4.7 วงจรการทดลองส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ส่วนประกอบหน้าจอโปรแกรมวิชวลเบสิค

4.6.1 การทดลองโปรแกรมวิชวลเบสิค

1) ต่อวงจรดังรูปที่ 4.8

2) เปิดหน้าจอวิชวลจะได้หน้าจอดังรูปที่ 4.7 เลือกปุ่มกดที่ต้องการปรับเปลี่ยนค่า โดยคลิกที่ปุ่มกดที่ต้องการหนึ่งครั้ง จะมีหน้าจอวีชวลแสดงขึ้นมา แล้วใส่ค่าที่ต้องการจะปรับเปลี่ยนค่า แล้วกดปุ่มตกลง

3) แล้วทำการเปลี่ยนค่าอินพุตตามตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 โปรแกรมวิชวลเบสิค

อินพุต	เอาต์พุต							
	LED 1	LED 2	LED 3	LED 4	LED 5	LED 6	LED 7	LED 8
00	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	√	-	√	-
20	-	-	-	√	-	√	-	-
40	-	-	√	-	√	-	-	-
60	-	-	√	√	√	√	-	-
80		√	--	√	-	-	-	-
100		√	√	-	-	√	-	-
255	√	√	√	√	√	√	√	√

4.6.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ค่าที่ใส่ในอินพุตบล็อกนั้นเป็นเลขฐานสิบ เมื่อผ่านการประมวลผลของคอมพิวเตอร์แล้ว พบว่าค่าที่ถูกส่งออกมานั้นเป็นเลขฐานสอง จะเห็นได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และค่าที่ได้จากจากรางนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการแปลงเลขฐานสิบให้เป็นเลขฐานสองผลปรากฏว่าค่าที่ได้นั้นเท่ากัน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ส่งออกมาโดยผ่านพอร์ตขนานนั้นถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่สร้างขึ้นมา โดยนำความรู้ทุกๆ ด้านที่ได้จากการเรียนมา นำมาประยุกต์ให้มีความสัมพันธ์กันในทุกๆ ด้านจึงได้เครื่องมือวัดปรับเทียบอุณหภูมิแบบอัตโนมัตินี้ขึ้นมา เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ค่าความต้านทานของตัวอาร์ทีดี เปลี่ยนแปลงไปด้วย ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมวงจรวีทสโตนบริดจ์เกิดการเปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทาน จากนั้นจึงนำเอาค่าแรงดันตกคร่อมวงจรวีทสโตนบริดจ์ไปต่อกับวงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้ระดับของแรงดันสูงขึ้น วงจรขยายสัญญาณสามารถที่จะปรับระดับของแรงดันให้ได้มาตรฐานแรงดัน คือ 0 – 5 v แรงดันที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณนี้ จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อนที่จะส่งสัญญาณนี้ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ประมวลผลค่าที่รับจากวงจรขยายสัญญาณให้สัมพันธ์กับค่าอินพุตที่รับจากคอมพิวเตอร์ แล้วส่งสัญญาณไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกที่มีระดับแรงดันไฟฟ้า 0 – 2 โวลต์ แล้วนำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรแปลงแรงดันให้เป็นกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ สัญญาณที่ได้ก็จะถูกส่งไปควบคุมระบบต่อไป อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะนำมาแสดงผลด้วยจอ LCD ส่วนค่าเปอร์เซนต์เอาต์พุตนั้นจะได้จากการแทนค่าตามสูตรดังนี้

$$\text{OUTPUT} = \frac{255 \times (\text{ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป})}{(\text{Span} - \text{Zero})}$$

เครื่องมือวัดอุณหภูมิปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์นี้ ได้แบ่งการสร้างออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ส่วนฮาร์ดแวร์ เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยวงจร แปลงแรงดันให้เป็นกระแส วงจรขยายสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก และ วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งระบบนั้นถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ส่วนซอฟต์แวร์ เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 และ หน้าจอแสดงผลที่เขียนด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค ซึ่งหน้าจอแสดงผลด้วยวิชวลเบสิคนั้นสามารถที่จะใส่ค่า Rang, Span, Zero, Tag.No และ Damping ที่ต้องการปรับเปลี่ยนค่าและสามารถที่จะนำค่า Rang, Span, Zero, Tag.No และ Dampin ที่ได้ปรับเปลี่ยนค่าใหม่นั้นมาแสดงผลที่หน้าจอวิชวลได้ **หมายเหตุ** ความหมายของภาษาอังกฤษนั้น ผู้จัดทำได้ให้ความหมายไว้แล้วในรายละเอียดของบทที่ 2 ซึ่งผู้เขียนขอไม่กล่าวถึงความหมายในที่นี้

5.2 ปัญหา

ในการจัดทำโครงงานครั้งนี้ สามารถที่จะสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) ไม่สามารถรับค่าอุณหภูมิจากเครื่องมือวัดปรับเทียบอุณหภูมิ มาแสดงผลบนหน้าจอของคอมพิวเตอร์ได้

2) ปัญหาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสแซมบลี กล่าวคือ ต้องใช้เวลาในการศึกษาโปรแกรมอย่างมากและโปรแกรมที่เขียนแล้วก็ยังมีจุดผิดพลาดที่ต้องแก้ไข

3) ปัญหาการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิค กล่าวคือ ต้องใช้เวลาในการศึกษาโปรแกรมอย่างมากเพื่อเขียนโปรแกรมติดต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์ และการสร้างหน้าจอวิชวล เพื่อใช้ในการใส่ค่าที่ต้องการปรับเปลี่ยนค่า และที่เขียนแล้วก็ยังมีจุดผิดพลาดที่ต้องแก้ไข

4) ปัญหาด้านระยะเวลาในการทำโครงงาน กล่าวคือ เวลาในการทำโครงงานนั้นมีน้อยเกินไปและในขณะเดียวกันนั้นต้องเรียนในรายวิชาอื่นๆไปด้วย จึงทำให้เวลาในการทำโครงงานนั้นน้อยลง และโครงงานชิ้นนี้มีส่วนประกอบทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ รวมถึงวงจรภาคต่างๆเพื่อใช้ในการประกอบโครงงานนี้ ต้องใช้เวลาในการศึกษาและทดลองเป็นเวลามาก

5) ปัญหาการจัดซื้ออุปกรณ์ กล่าวคือ อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์บางตัวไม่สามารถหาซื้อได้ตามร้านอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศจึงทำให้เสียเวลาในการรออุปกรณ์ที่สั่งซื้อ

5.3 แนวทางการแก้ไข

1) จากปัญหา ไม่สามารถรับค่าอุณหภูมิจากเครื่องมือวัดปรับเทียบอุณหภูมิมาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ จึงได้เขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอลโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้แอลซีดีแสดงผลของอุณหภูมิที่หน้าจอของแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จากปัญหาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสแซมบลี ได้แก้ไขโดยการแบ่งหน้าที่ให้สมาชิกในกลุ่มรับผิดชอบเพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสแซมบลี

3) จากปัญหาการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิค ได้แก้ไขโดยการแบ่งหน้าที่ให้สมาชิกในกลุ่มรับผิดชอบเพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิค

5) จากปัญหาการจัดซื้ออุปกรณ์ ได้แก้ไขโดยการค้นหาข้อมูลทางอินเตอร์เน็ตเพื่อหาข้อมูลร้านที่ขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แล้วติดต่อผ่านทางโทรศัพท์เพื่อสอบถามข้อมูลอุปกรณ์นั้น

5.4 แนวทางการพัฒนา

1) สามารถเพิ่มการปรับเปลี่ยนหน่วยของอุณหภูมิ และบันทึกวัน เดือน ปี ครั้งสุดท้ายที่มีการปรับเปลี่ยนค่าได้

2) สามารถที่จะนำค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงการส่งข้อมูลด้วยพอร์ตขนานเป็นการส่งข้อมูลด้วยพอร์ตอนุกรม

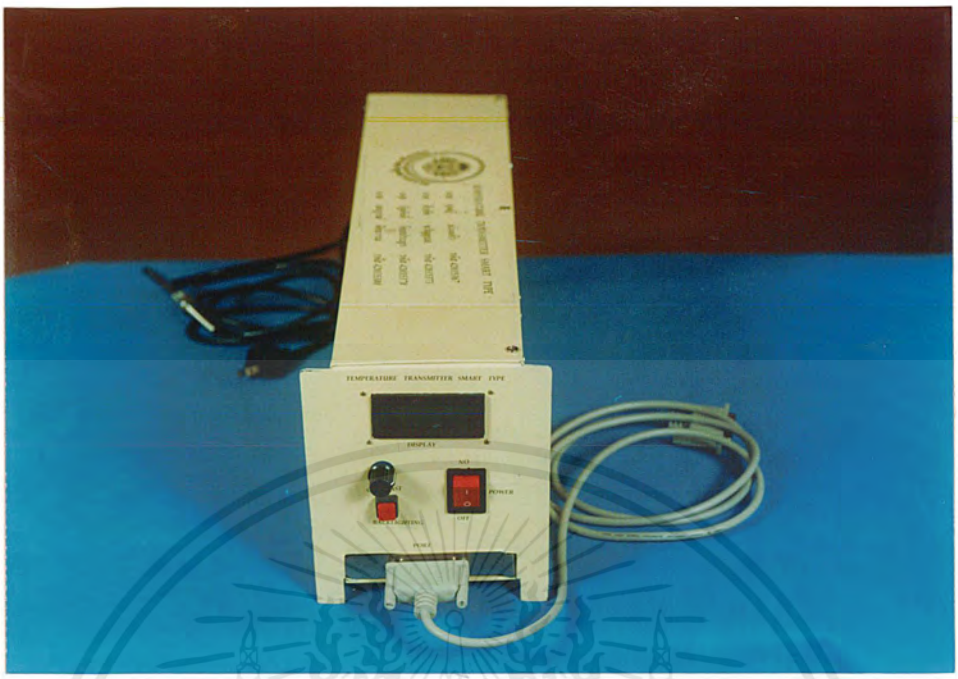
3) ปรับเปลี่ยนวงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสให้ได้มาตรฐานขึ้น สามารถนำไปใช้งานได้จริง

4) เพิ่มย่านการวัดให้สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้สูงขึ้นจากเดิมสามารถได้เพียง 100 องศาเซลเซียสเท่านั้น

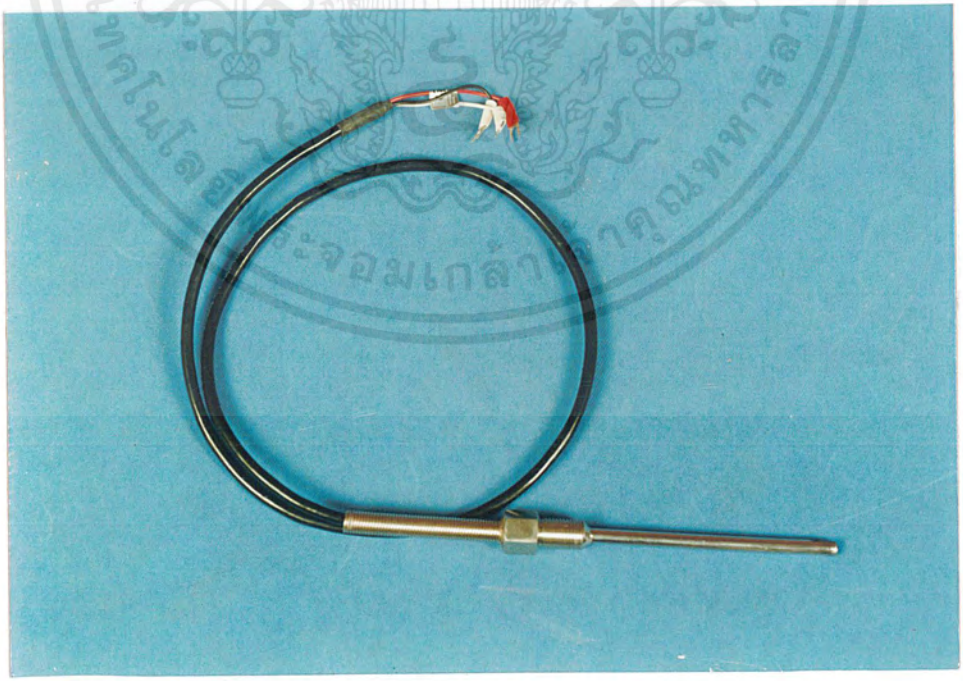
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

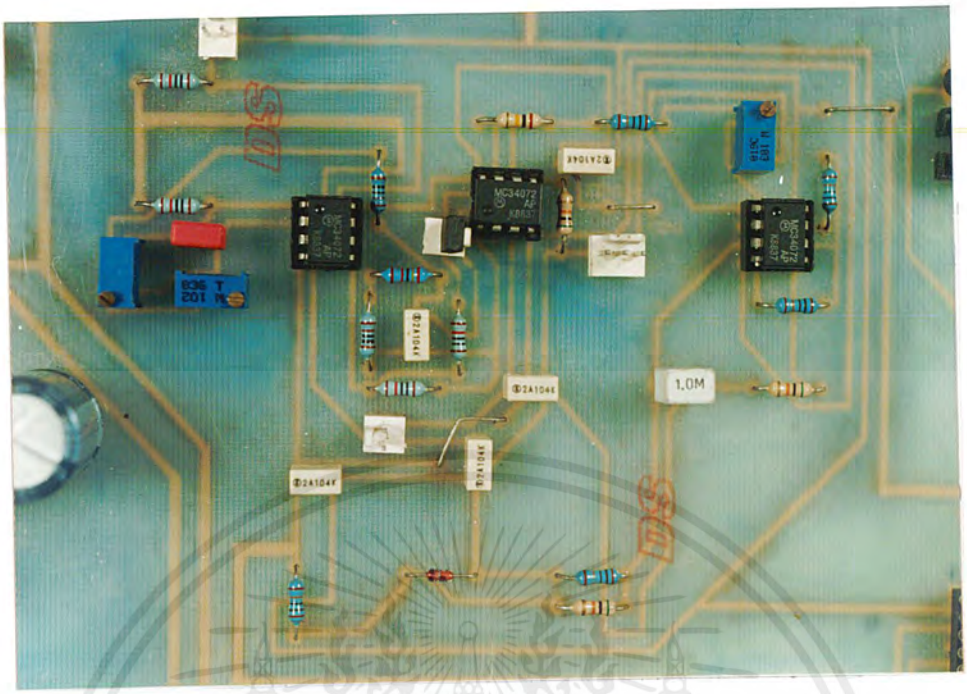


รูปที่ ก.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์

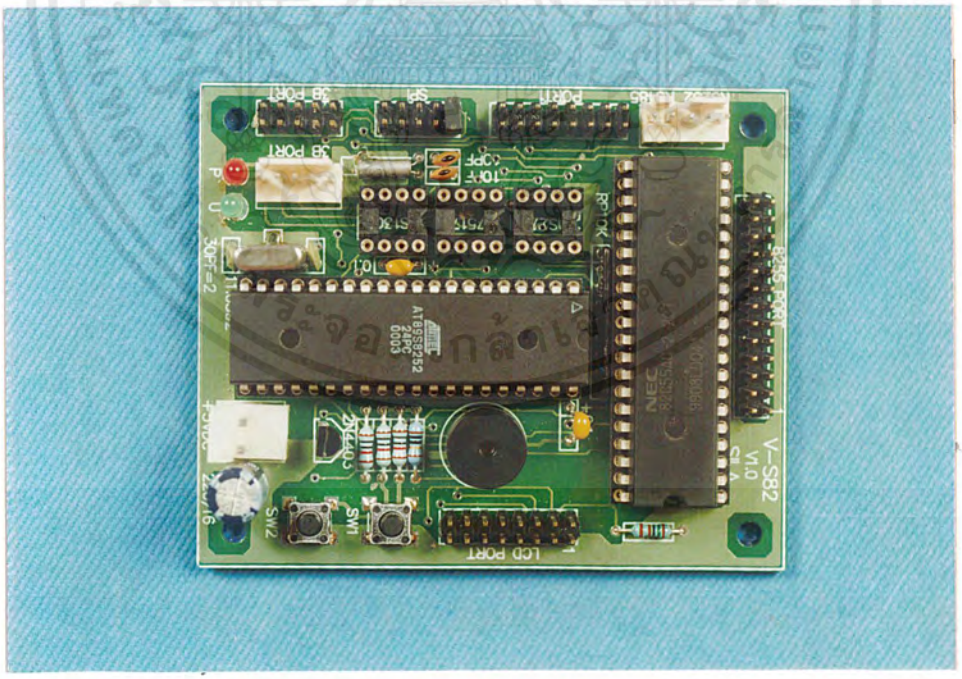


รูปที่ ก.2 อาร์ทีดี (RTD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

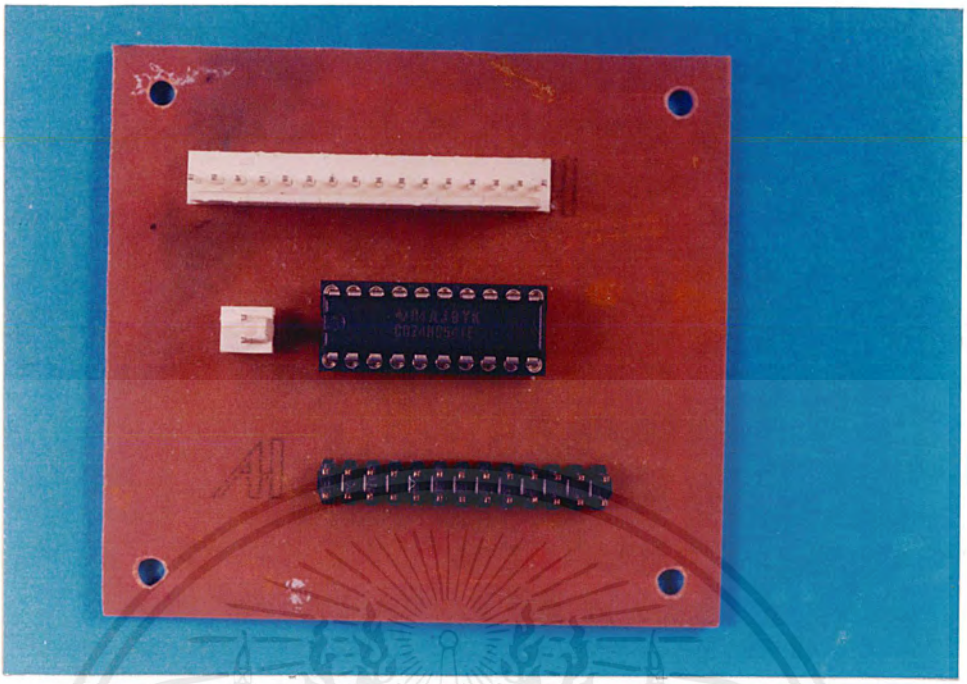


รูปที่ ก.3 วงจรขยายสัญญาณ

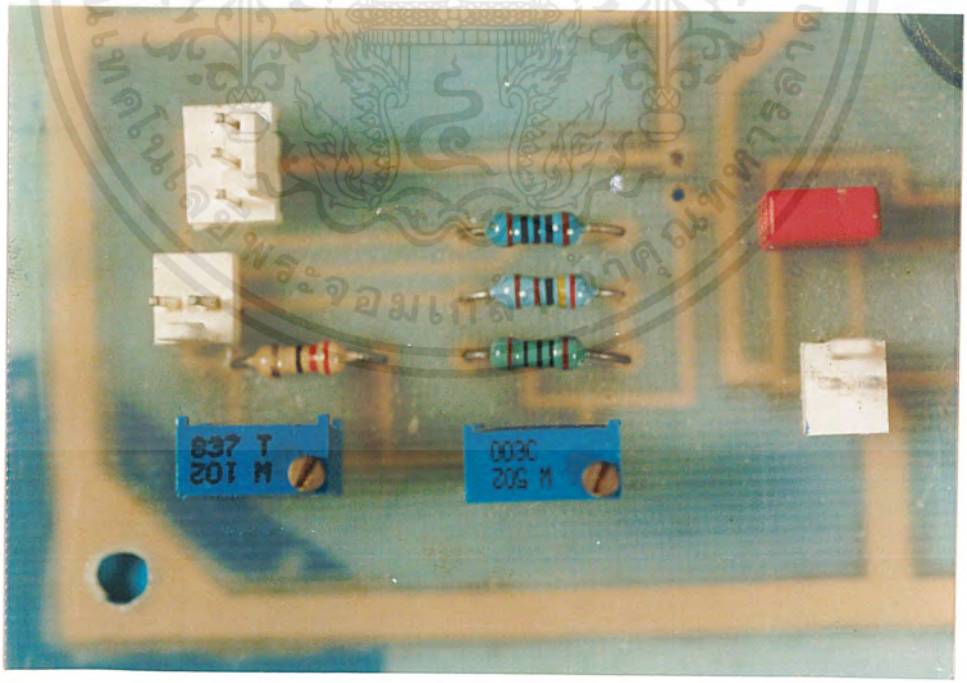


รูปที่ ก.4 บอร์ดคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

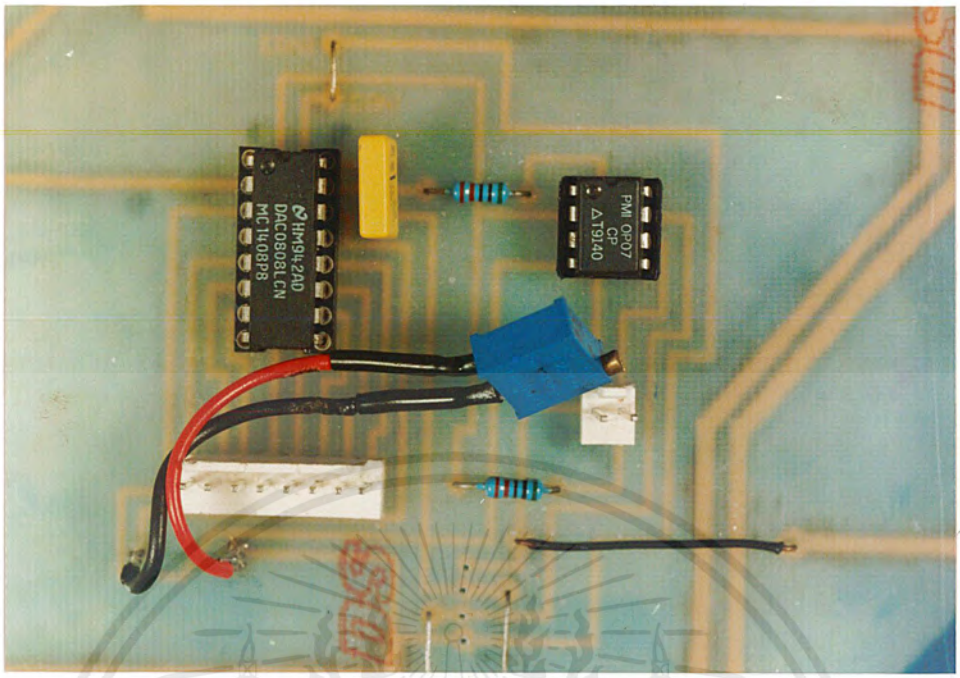


รูปที่ ก.5 วงจรบัฟเฟอร์

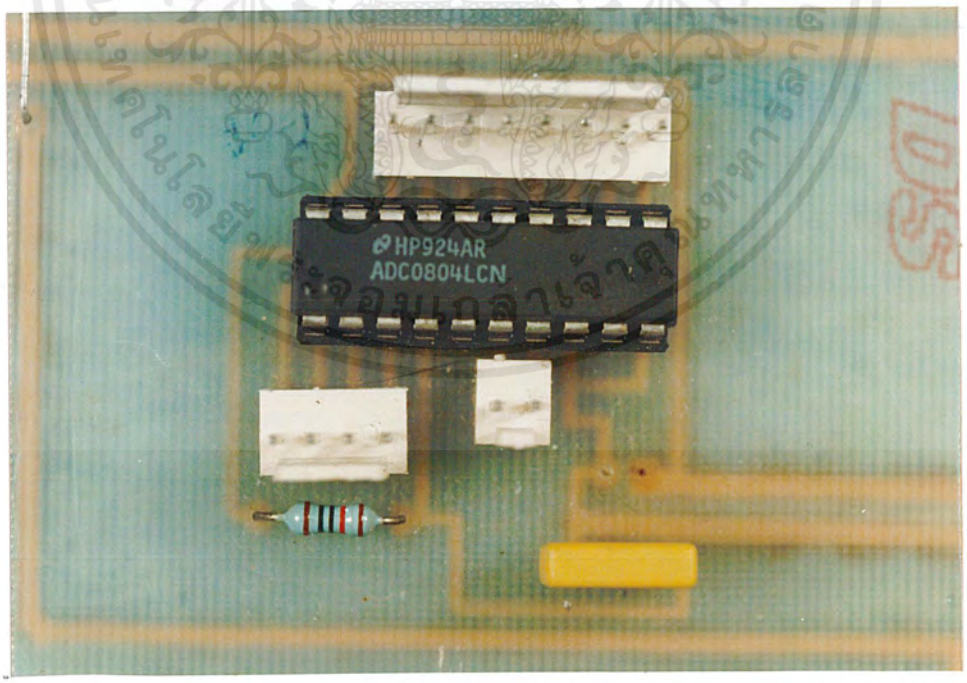


รูปที่ ก.6 วงจรบริดจ์เร็กติฟาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

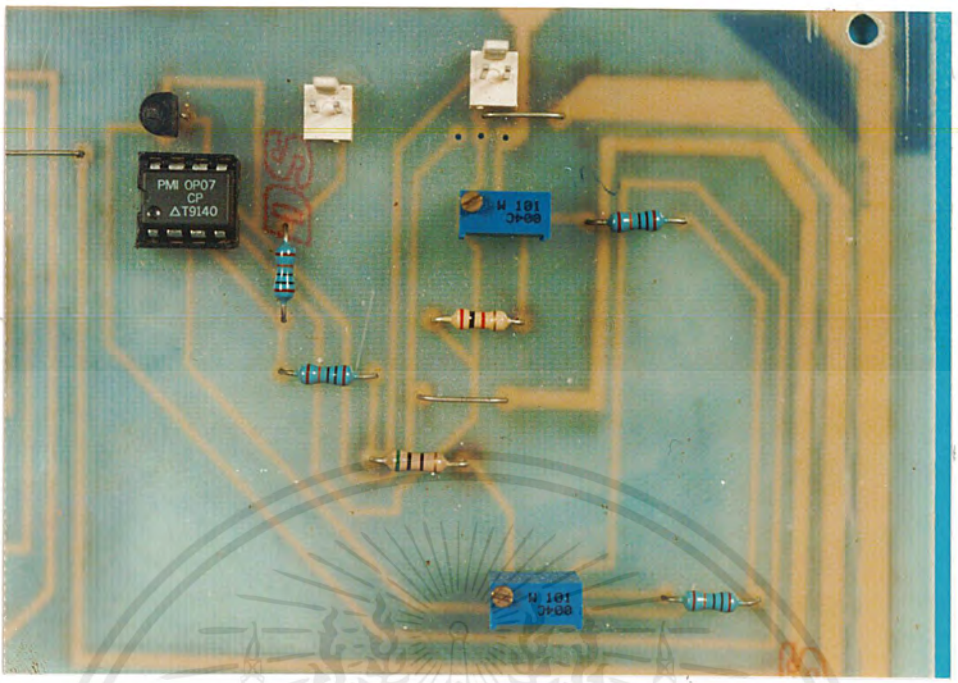


รูปที่ ก.7 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

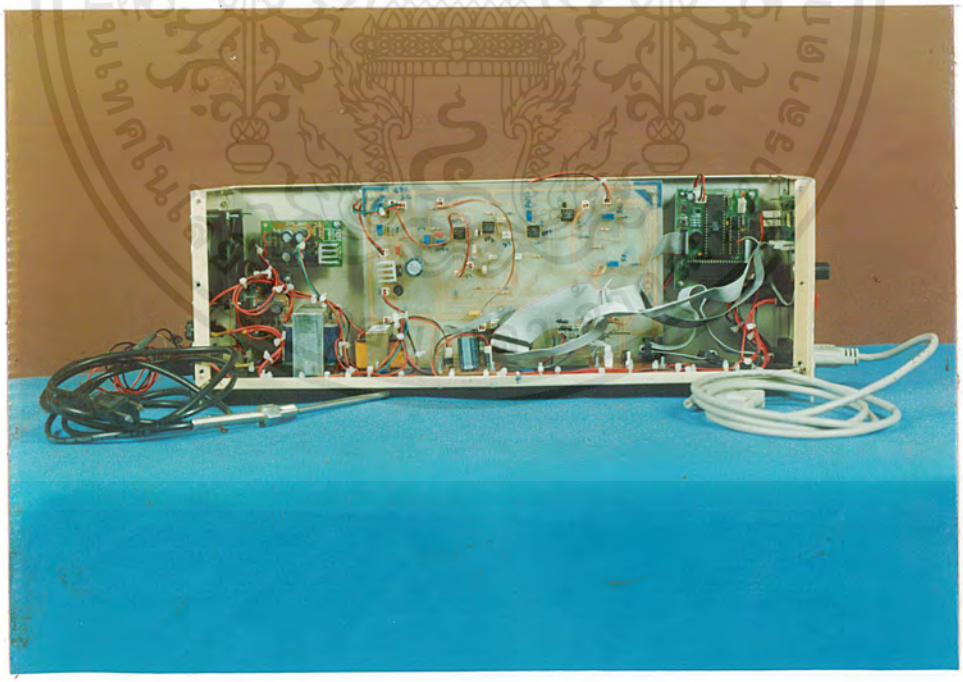


รูปที่ ก.8 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส

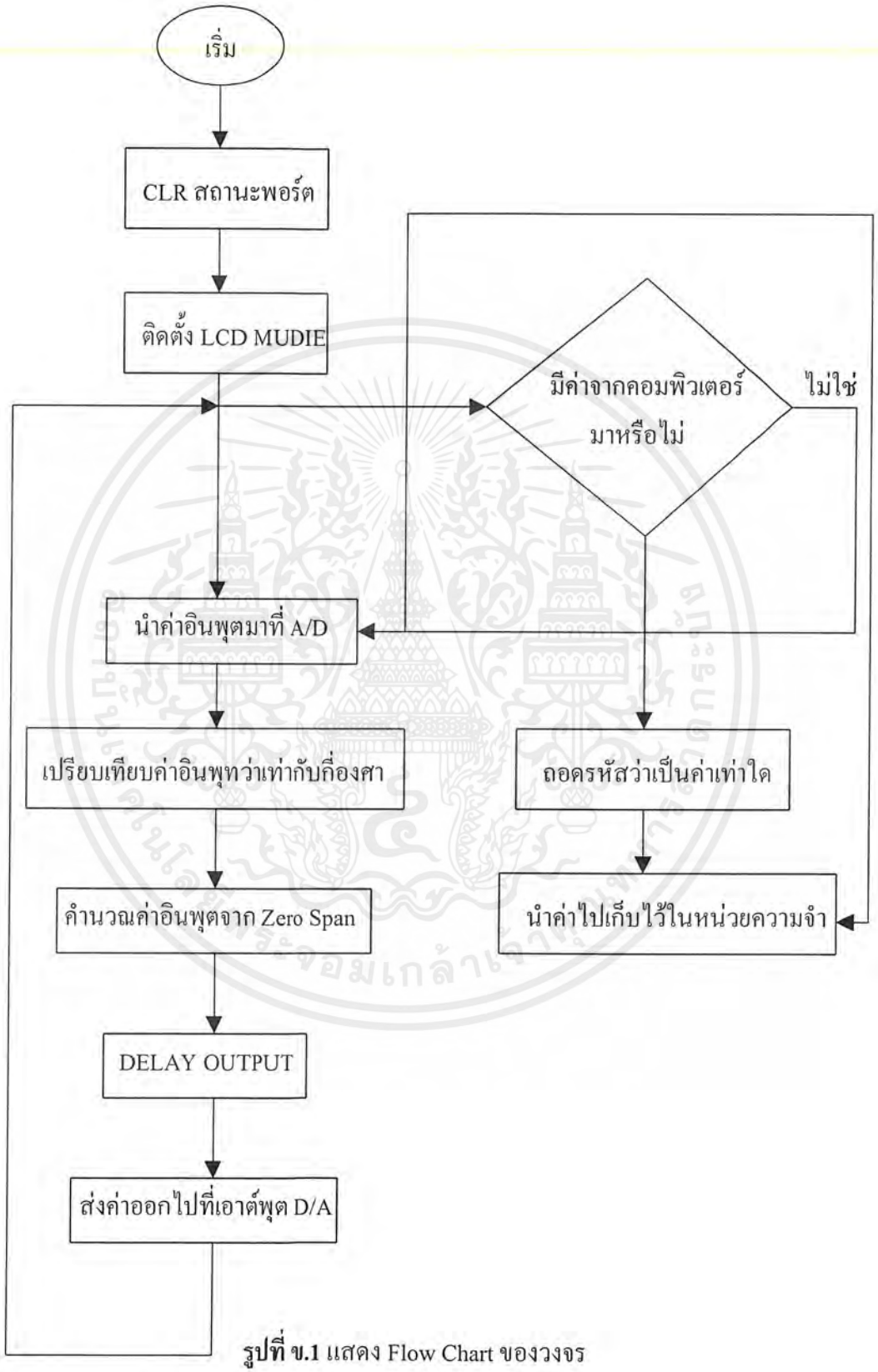


รูป ก.10 วงจรภายในของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 แสดง Flow Chart ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมส่วนของวิชวลเบสิค

```
Private Sub mnuDamping_Click()
Out &H378, 179
strreturn4 = InputBox("กรุณาใส่ค่า Damping ตามที่ต้องการตั้งแต่ 0 - 10 :", "Damping
Calibration", "0-10", 1850, 3000)
If strreturn4 < 11 Then
Out &H379, strreturn4
Text6.Text = strreturn4
Else
Dim response As Variant
response = MsgBox("ค่าที่ป้อนผิดพลาด หรือยังไม่ได้ป้อนค่าที่ต้องการปรับเปรียบเทียบ กรุณาใส่
ค่าใหม่อีกครั้ง", vbCritical)
End If
End Sub

Private Sub mnuExit_Click()
Dim response As Variant
response = MsgBox("คุณต้องการออกจากโปรแกรมใช่หรือไม่?", vbYesNo + vbQuestion, "Exit")
If response = vbYes Then
End
End If
End Sub

Private Sub mnuRang_Click()
Out &H378, 176
strreturn1 = InputBox("กรุณาใส่ค่า Rang ตามที่ต้องการตั้งแต่ 0 - 100 :", "Rang Calibration", "0-
100", 1850, 3000)
If strreturn1 < 101 Then
Out &H378, strreturn1
Text3.Text = strreturn1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Else
Dim response As Variant
response = MsgBox("ค่าที่ป้อนผิดพลาด หรือยังไม่ได้ป้อนค่าที่ต้องการปรับเปรียบเทียบ กรุณาใส่ค่าใหม่อีกครั้ง", vbCritical)
End If
End Sub

Private Sub mnuSpan_Click()
Out &H378, 177
strreturn2 = InputBox("กรุณาใส่ค่า Span ตามที่ต้องการตั้งแต่ 0 - 100 :", "Span Calibration", "0-100", 1850, 3000)
If strreturn2 < 101 Then
Out &H378, strreturn2
Text4.Text = strreturn2
Else
Dim response As Variant
response = MsgBox("ค่าที่ป้อนผิดพลาด หรือยังไม่ได้ป้อนค่าที่ต้องการปรับเปรียบเทียบ กรุณาใส่ค่าใหม่อีกครั้ง", vbCritical)
End If
End Sub

Private Sub mnuTag_Click()
Out &H378, 180
strreturn5 = InputBox("กรุณาใส่ค่า TagNumber ตามที่ต้องการตั้งแต่ 0 - 255 :", "TagNumber Calibration", "0-255", 1850, 3000)
If strreturn5 < 256 Then
Out &H378, strreturn5
Text7.Text = strreturn5
Else
Dim response As Variant
```

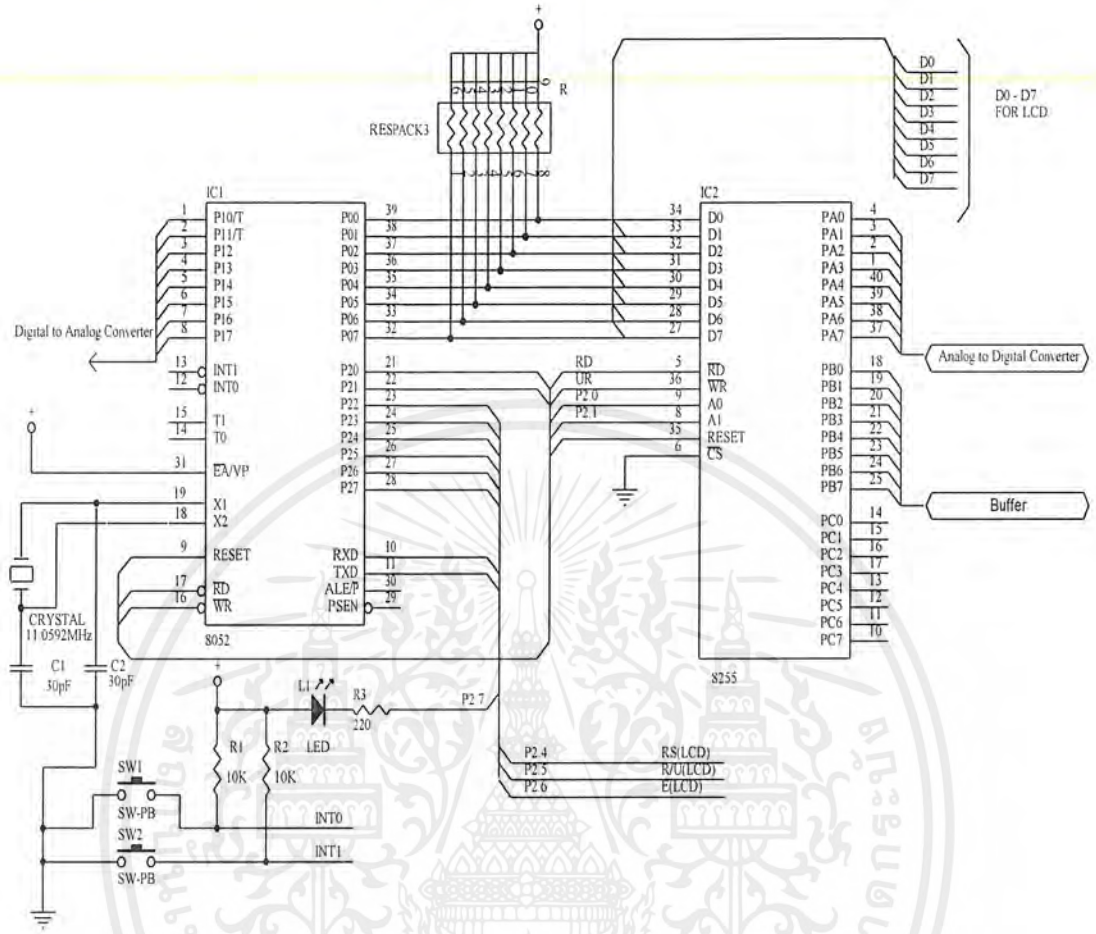
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
response = MsgBox("ค่าที่ป้อนผิดพลาด หรือยังไม่ได้ป้อนค่าที่ต้องการปรับเปรียบเทียบ กรุณาใส่
ค่าใหม่อีกครั้ง", vbCritical)
 End If
End Sub
Private Sub mnuZero_Click()
Out &H378, 178
strreturn3 = InputBox("กรุณาใส่ค่า Zero ตามที่ต้องการตั้งแต่ 0 - 100:", "Zero Calibration", "0-
100", 1850, 3000)
If strreturn3 < 101 Then
Out &H378, strreturn3
Text5.Text = strreturn3
Else
Dim response As Variant
response = MsgBox("ค่าที่ป้อนผิดพลาด หรือยังไม่ได้ป้อนค่าที่ต้องการปรับเปรียบเทียบ กรุณาใส่
ค่าใหม่อีกครั้ง", vbCritical)
 End If
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Text1.Text = Date
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
Text2.Text = Time()
End Sub
```

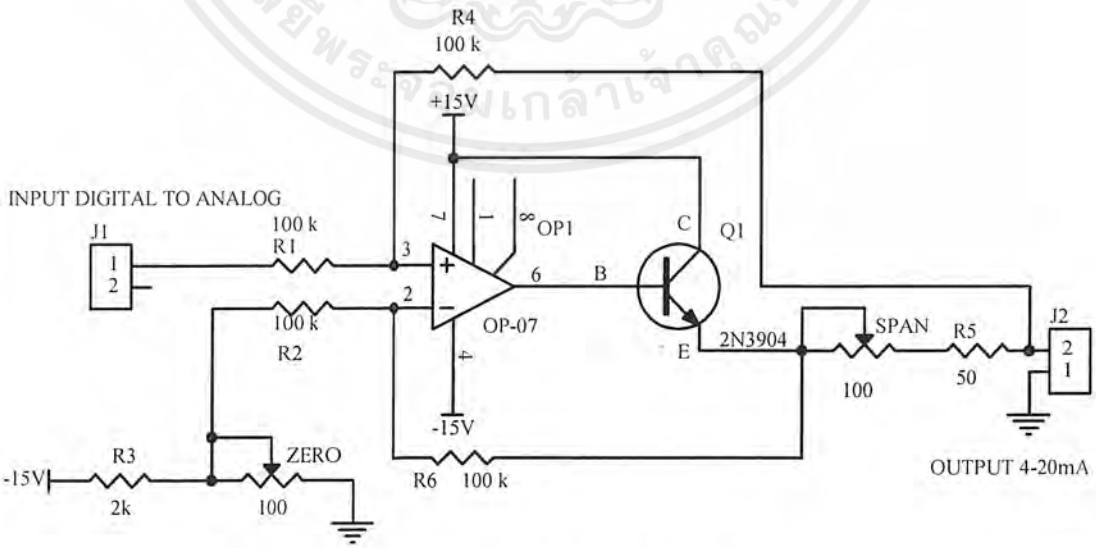
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
วงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

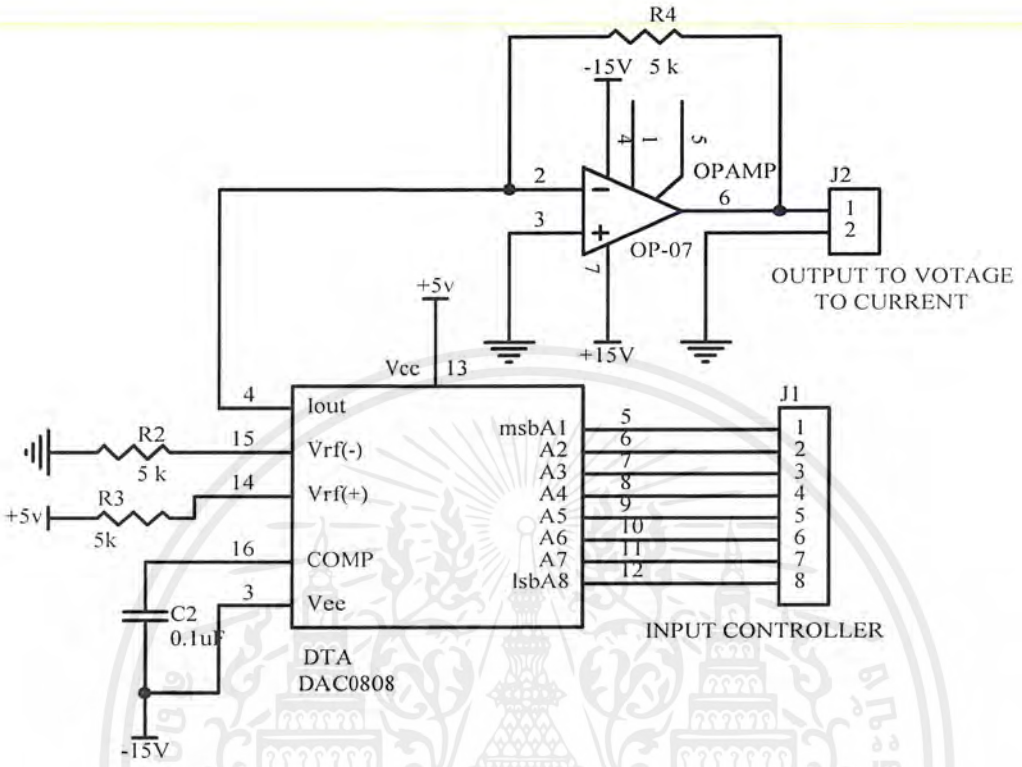


รูปที่ ค.1 วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์



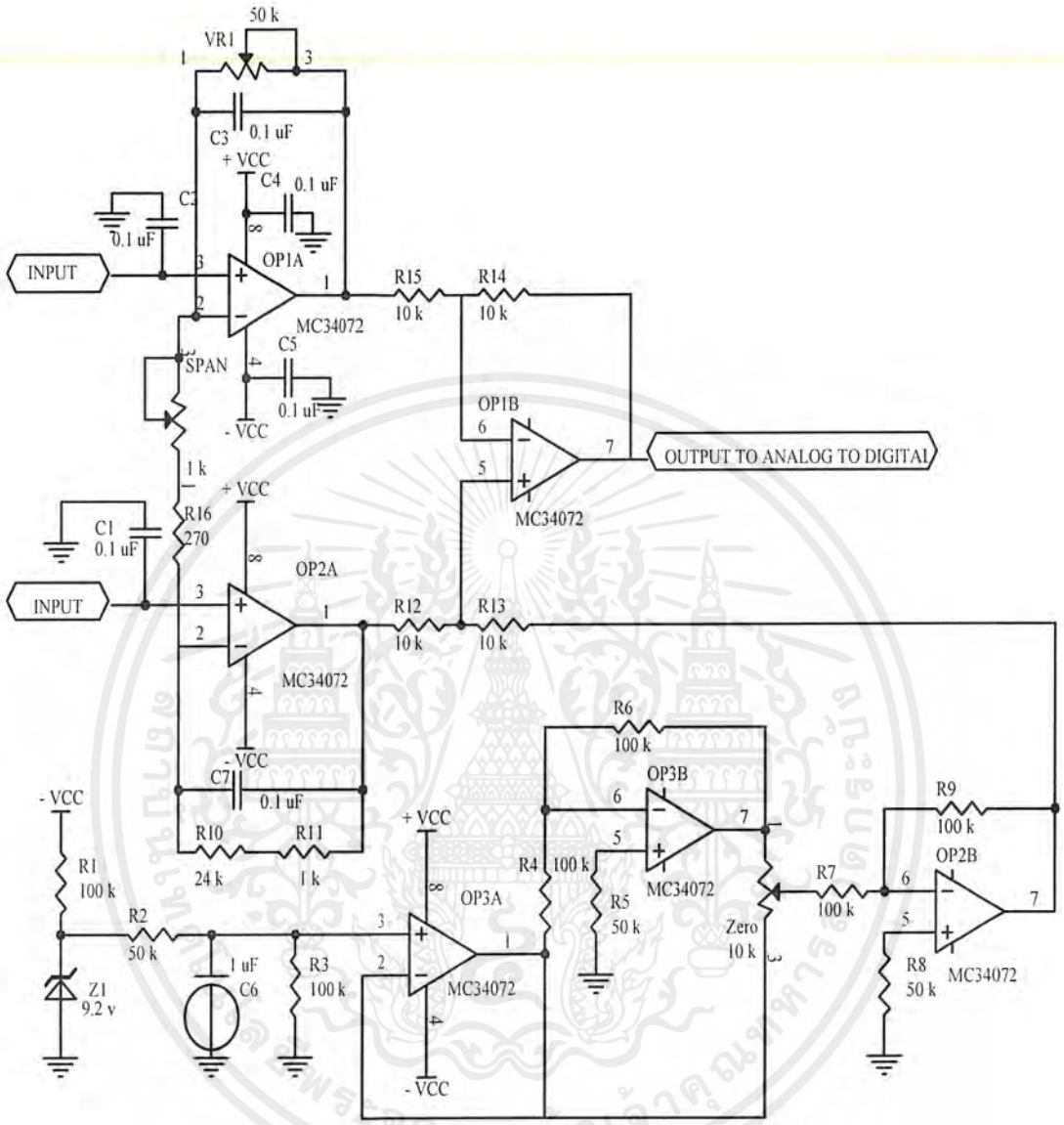
รูปที่ ค.2 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



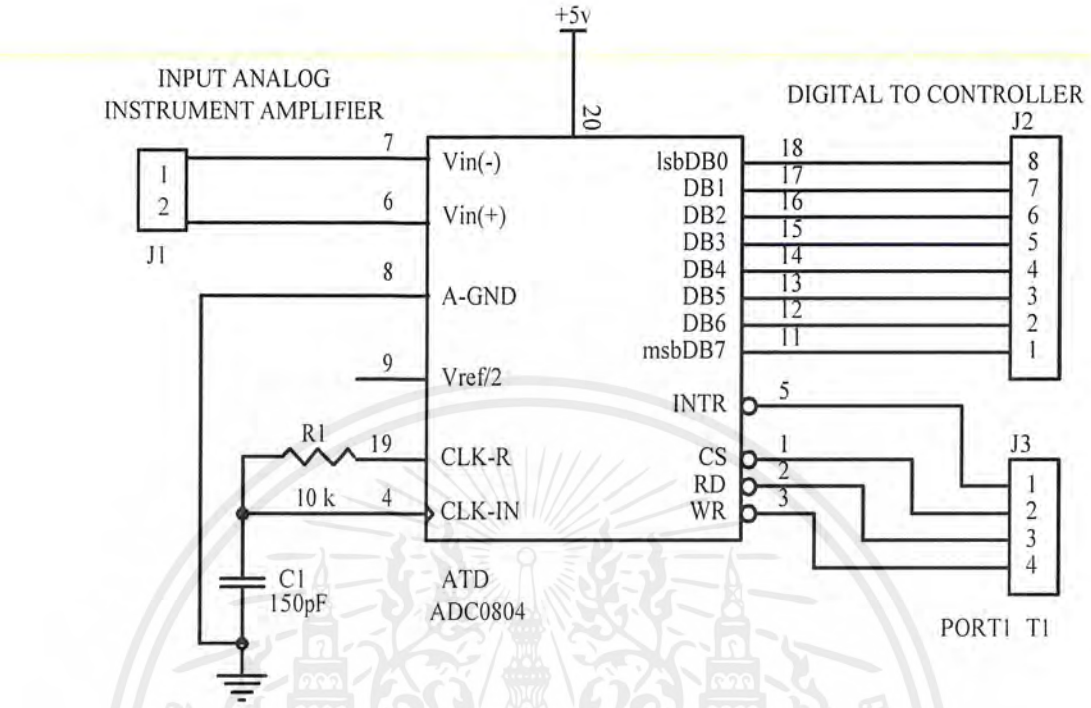
รูปที่ ค.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

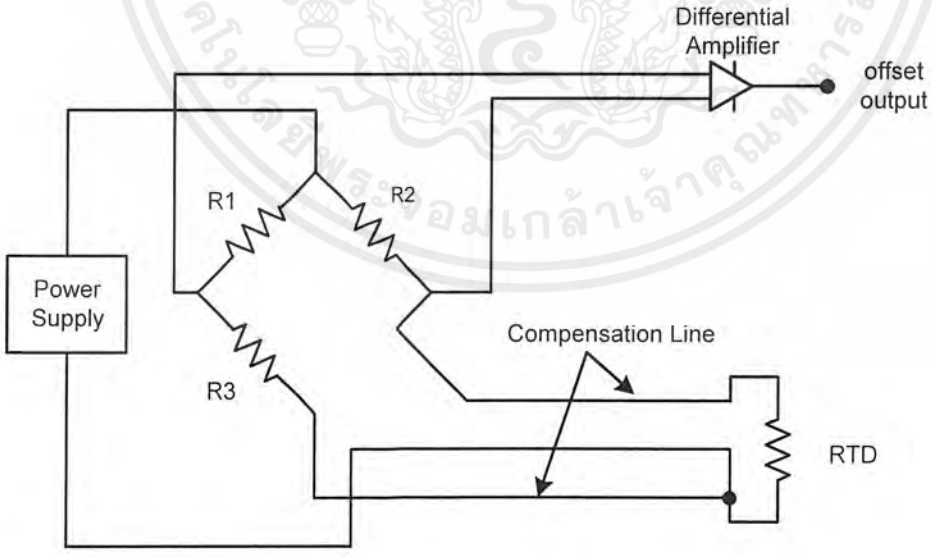


รูปที่ ค.4 รูปวงจรขยายสัญญาณการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

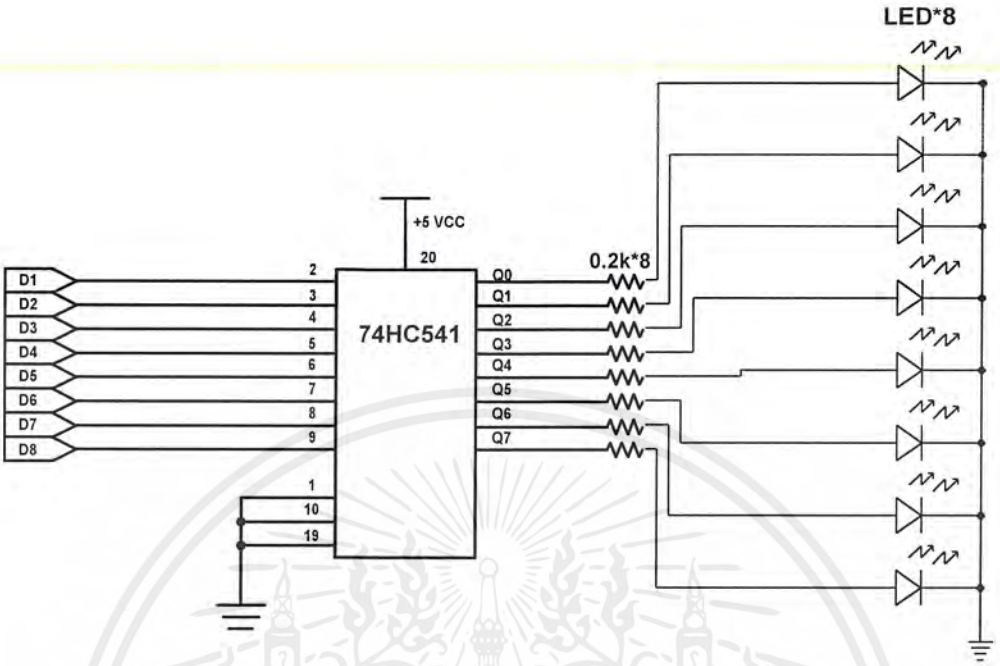


รูปที่ ค.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล



รูปที่ ค.6 วงจรวีธสโตนบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 วงจรการทดลองส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
IC เบอร์ 8052	1
IC เบอร์ 8255	1
คริสตอล 11.0592 MHz	1

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R 100k	4
R 2k	1
VR 100 Ω	2
R 50	1
Transister เบอร์ 2N3904	1
Opamp เบอร์ OP07	1

วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
IC เบอร์ DAC0808	1
OPAMP เบอร์ OP07	1
คาปาซิเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด	1
R 5k	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

วงจรขยายสัญญาณการวัด

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
IC เบอร์ MC34072	3
VR 10k	1
VR 50k	1
VR 1k	1
Zener Diode 9.2 V	1
คาปาซิเตอร์ 1 ไมโครฟารัด	1
คาปาซิเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด	6
R 270	1
R 100k	6
R 50k	3
R 24 k	1
R 1k	1
R 10k	4

วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
IC เบอร์ ADC0804	1
คาปาซิเตอร์ 150 พิโคฟารัด	1
R 10k	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

วงจรวีธสโตนบริดจ์

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
VR 1k	1
VR 5k	1
R 24k	1
R 100 Ω	2
R 22 Ω	1

วงจรบัฟเฟอร์

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
IC เบอร์ 74HC541	1
R 200 Ω	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC34071,2,4,A
MC33071,2,4,A

High Slew Rate, Wide Bandwidth, Single Supply Operational Amplifiers

Quality bipolar fabrication with innovative design concepts are employed for the MC33071/72/74, MC34071/72/74 series of monolithic operational amplifiers. This series of operational amplifiers offer 4.5 MHz of gain bandwidth product, 13 V/μs slew rate and fast setting time without the use of JFET device technology. Although this series can be operated from split supplies, it is particularly suited for single supply operation, since the common mode input voltage range includes ground potential (V_{EE}). With A Darlington input stage, this series exhibits high input resistance, low input offset voltage and high gain. The all NPN output stage, characterized by no deadband crossover distortion and large output voltage swing, provides high capacitance drive capability, excellent phase and gain margins, low open loop high frequency output impedance and symmetrical source/sink AC frequency response.

The MC33071/72/74, MC34071/72/74 series of devices are available in standard or prime performance (A Suffix) grades and are specified over the commercial, industrial/vehicular or military temperature ranges. The complete series of single, dual and quad operational amplifiers are available in plastic DIP, SOIC and TSSOP surface mount packages.

- Wide Bandwidth: 4.5 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Fast Settling Time: 1.1 μs to 0.1%
- Wide Single Supply Operation: 3.0 V to 44 V
- Wide Input Common Mode Voltage Range: Includes Ground (V_{EE})
- Low Input Offset Voltage: 3.0 mV Maximum (A Suffix)
- Large Output Voltage Swing: −14.7 V to +14 V (with ±15 V Supplies)
- Large Capacitance Drive Capability: 0 pF to 10,000 pF
- Low Total Harmonic Distortion: 0.02%
- Excellent Phase Margin: 60°
- Excellent Gain Margin: 12 dB
- Output Short Circuit Protection
- ESD Diodes/Clamps Provide Input Protection for Dual and Quad

ON Semiconductor

http://onsemi.com

PDIP–8
P SUFFIX
CASE 626

SO–8
D SUFFIX
CASE 751

PDIP–14
P SUFFIX
CASE 646

SO–14
D SUFFIX
CASE 751A

TSSOP–14
DTB SUFFIX
CASE 948G

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 17 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 18 of this data sheet.

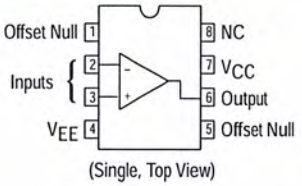
© Semiconductor Components Industries, LLC, 2000

May, 2000 – Rev. 3
Publication Order Number:
MC34071/D

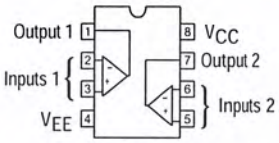
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONNECTIONS

CASE 626/CASE 751

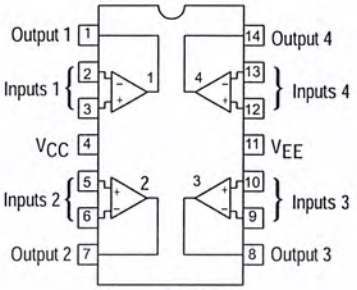


(Single, Top View)



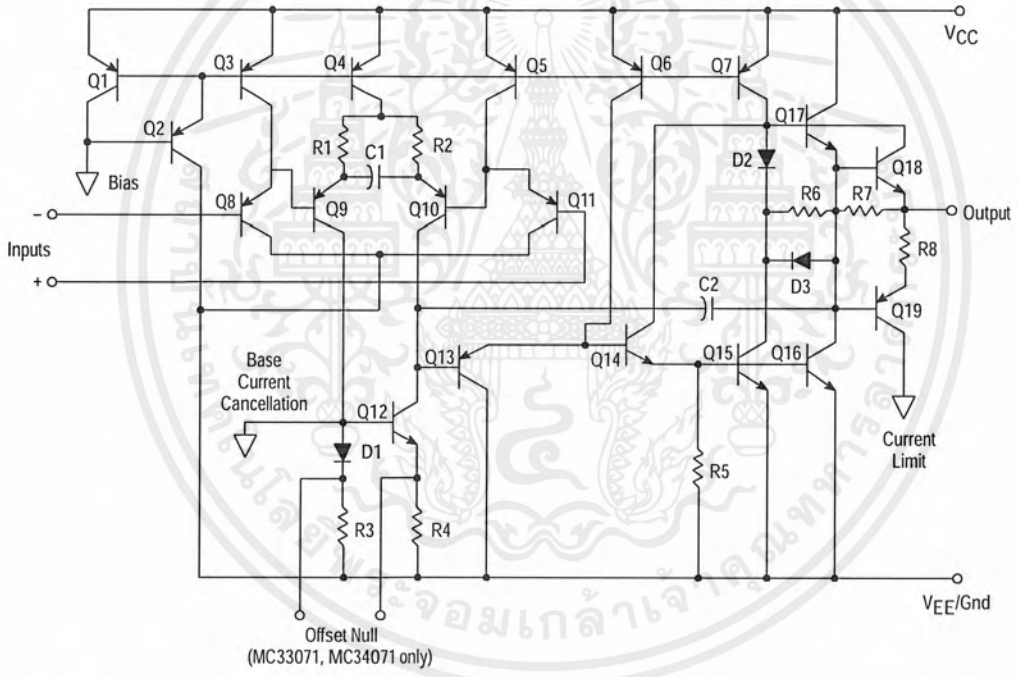
(Dual, Top View)

CASE 646/CASE 751A/CASE 948G



(Quad, Top View)

Representative Schematic Diagram
(Each Amplifier)



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage (from V_{EE} to V_{CC})	V_S	+44	V
Input Differential Voltage Range	V_{IDR}	Note 1.	V
Input Voltage Range	V_{IR}	Note 1.	V
Output Short Circuit Duration (Note 2.)	t_{SC}	Indefinite	sec
Operating Junction Temperature	T_J	+150	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–60 to +150	°C

1. Either or both input voltages should not exceed the magnitude of V_{CC} or V_{EE}.
2. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (T_J) is not exceeded (see Figure 1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, R_L = connected to ground, unless otherwise noted. See Note 3. for $T_A = T_{low}$ to T_{high})

Characteristics	Symbol	A Suffix			Non–Suffix			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (R_S = 100 Ω, V_{CM} = 0 V, V_O = 0 V) V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, T_A = +25°C V_{CC} = +5.0 V, V_{EE} = 0 V, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, $T_A = T_{low}$ to T_{high}	V_{IO}	— — —	0.5 0.5 —	3.0 3.0 5.0	— — —	1.0 1.5 —	5.0 5.0 7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage R_S = 10 Ω, V_{CM} = 0 V, V_O = 0 V, $T_A = T_{low}$ to T_{high}	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	—	10	—	—	10	—	μV/°C
Input Bias Current (V_{CM} = 0 V, V_O = 0 V) T_A = +25°C $T_A = T_{low}$ to T_{high}	I_{IB}	— —	100 —	500 700	— —	100 —	500 700	nA
Input Offset Current (V_{CM} = 0 V, V_O = 0V) T_A = +25°C $T_A = T_{low}$ to T_{high}	I_{IO}	— —	6.0 —	50 300	— —	6.0 —	75 300	nA
Input Common Mode Voltage Range T_A = +25°C $T_A = T_{low}$ to T_{high}	V_{ICR}	V_{EE} to (V_{CC} –1.8) V_{EE} to (V_{CC} –2.2)			V_{EE} to (V_{CC} –1.8) V_{EE} to (V_{CC} –2.2)			V
Large Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, R_L = 2.0 kΩ) T_A = +25°C $T_A = T_{low}$ to T_{high}	A_{VOL}	50 25	100 —	— —	25 20	100 —	— —	V/mV
Output Voltage Swing (V_{ID} = ±1.0 V) V_{CC} = +5.0 V, V_{EE} = 0 V, R_L = 2.0 kΩ, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, R_L = 10 kΩ, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, R_L = 2.0 kΩ, $T_A = T_{low}$ to T_{high}	V_{OH}	3.7 13.6 13.4	4.0 14 —	— — —	3.7 13.6 13.4	4.0 14 —	— — —	V
V_{CC} = +5.0 V, V_{EE} = 0 V, R_L = 2.0 kΩ, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, R_L = 10 kΩ, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, R_L = 2.0 kΩ, $T_A = T_{low}$ to T_{high}	V_{OL}	— — —	0.1 –14.7 —	0.3 –14.3 –13.5	— — —	0.1 –14.7 —	0.3 –14.3 –13.5	V
Output Short Circuit Current (V_{ID} = 1.0 V, V_O = 0 V, T_A = 25°C) Source Sink	I_{SC}	10 20	30 30	— —	10 20	30 30	— —	mA
Common Mode Rejection $R_S \le$ 10 kΩ, $V_{CM} = V_{ICR}$, T_A = 25°C	CMR	80	97	—	70	97	—	dB
Power Supply Rejection (R_S = 100 Ω) V_{CC}/V_{EE} = +16.5 V/–16.5 V to +13.5 V/–13.5 V, T_A = 25°C	PSR	80	97	—	70	97	—	dB
Power Supply Current (Per Amplifier, No Load) V_{CC} = +5.0 V, V_{EE} = 0 V, V_O = +2.5 V, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, V_O = 0 V, T_A = +25°C V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, V_O = 0 V, $T_A = T_{low}$ to T_{high}	I_D	— — —	1.6 1.9 —	2.0 2.5 2.8	— — —	1.6 1.9 —	2.0 2.5 2.8	mA

3. T_{low} = –40°C for MC33071, 2, 4, /A T_{high} = +85°C for MC33071, 2, 4, /A
= 0°C for MC34071, 2, 4, /A = +70°C for MC34071, 2, 4, /A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = –15 V, R_L = connected to ground. T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	A Suffix			Non–Suffix			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Slew Rate (V_{in} = –10 V to +10 V, R_L = 2.0 kΩ, C_L = 500 pF) A_V = +1.0 A_V = –1.0	SR	 8.0 —	 10 13	 — —	 8.0 —	 10 13	 — —	V/μs
Setting Time (10 V Step, A_V = –1.0) To 0.1% (+1/2 LSB of 9–Bits) To 0.01% (+1/2 LSB of 12–Bits)	t_s	 — —	 1.1 2.2	 — —	 — —	 1.1 2.2	 — —	μs
Gain Bandwidth Product (f = 100 kHz)	GBW	3.5	4.5	—	3.5	4.5	—	MHz
Power Bandwidth A_V = +1.0, R_L = 2.0 kΩ, V_O = 20 V_{pp}, THD = 5.0%	BW	—	160	—	—	160	—	kHz
Phase margin R_L = 2.0 kΩ R_L = 2.0 kΩ, C_L = 300 pF	f_m	 — —	 60 40	 — —	 — —	 60 40	 — —	Deg
Gain Margin R_L = 2.0 kΩ R_L = 2.0 kΩ, C_L = 300 pF	A_m	 — —	 12 4.0	 — —	 — —	 12 4.0	 — —	dB
Equivalent Input Noise Voltage R_S = 100 Ω, f = 1.0 kHz	e_n	—	32	—	—	32	—	nV/√Hz
Equivalent Input Noise Current f = 1.0 kHz	i_n	—	0.22	—	—	0.22	—	pA/√Hz
Differential Input Resistance V_{CM} = 0 V	R_{in}	—	150	—	—	150	—	MΩ
Differential Input Capacitance V_{CM} = 0 V	C_{in}	—	2.5	—	—	2.5	—	pF
Total Harmonic Distortion A_V = +10, R_L = 2.0 kΩ, 2.0 $V_{pp} \le V_O \le$ 20 V_{pp}, f = 10 kHz	THD	—	0.02	—	—	0.02	—	%
Channel Separation (f = 10 kHz)	—	—	120	—	—	120	—	dB
Open Loop Output Impedance (f = 1.0 MHz)	$\|Z_O\|$	—	30	—	—	30	—	W

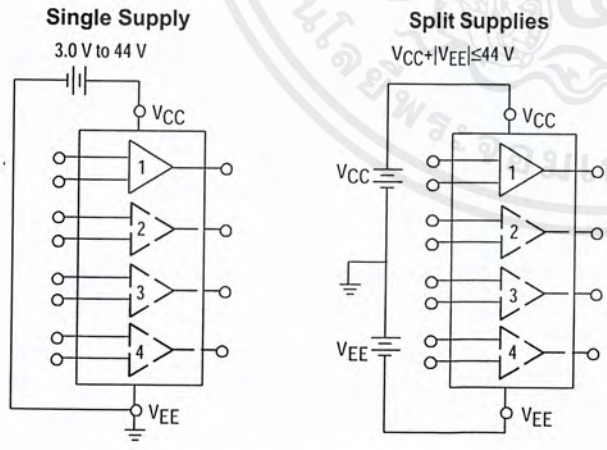
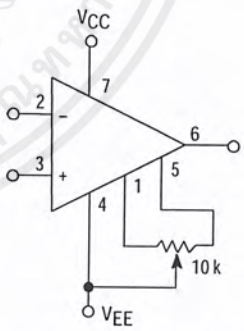


Figure 1. Power Supply Configurations



Offset nulling range is approximately ±80 mV with a 10 k potentiometer (MC33071, MC34071 only).

Figure 2. Offset Null Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

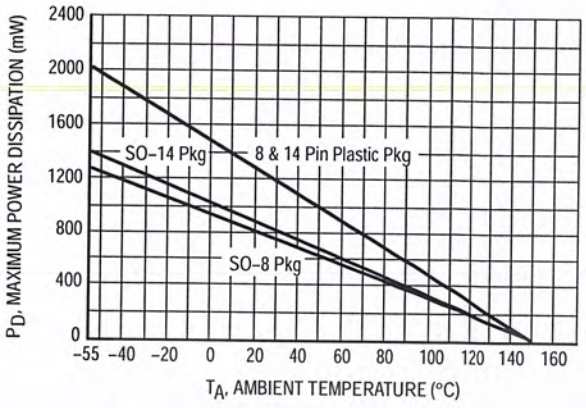


Figure 3. Maximum Power Dissipation versus Temperature for Package Types

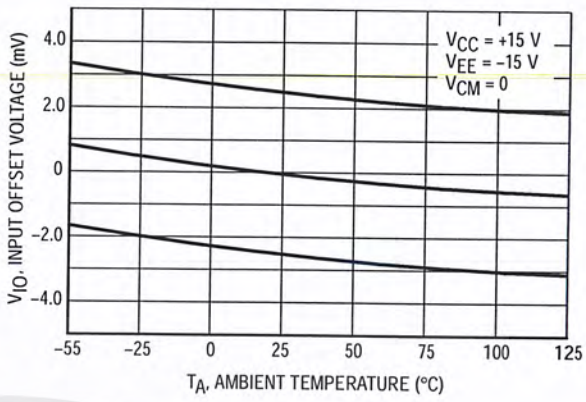


Figure 4. Input Offset Voltage versus Temperature for Representative Units

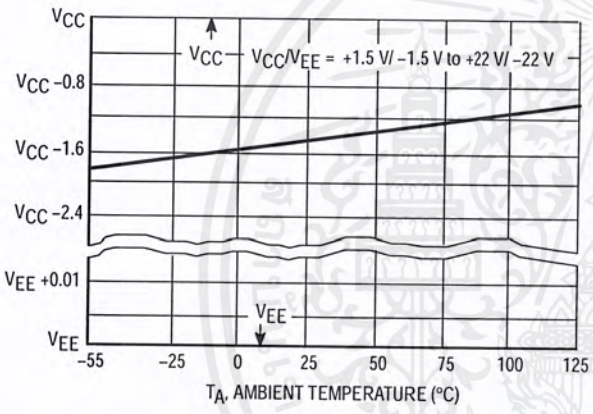


Figure 5. Input Common Mode Voltage Range versus Temperature

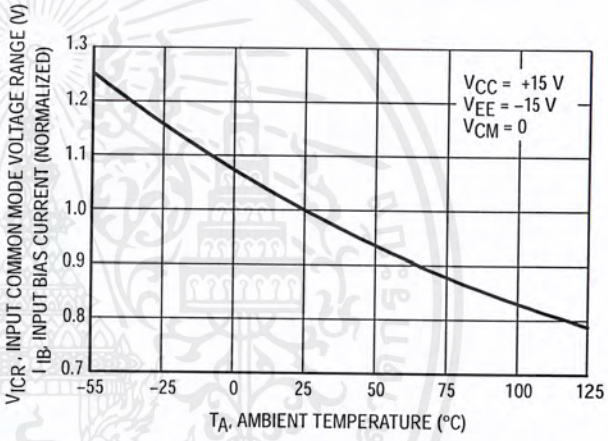


Figure 6. Normalized Input Bias Current versus Temperature

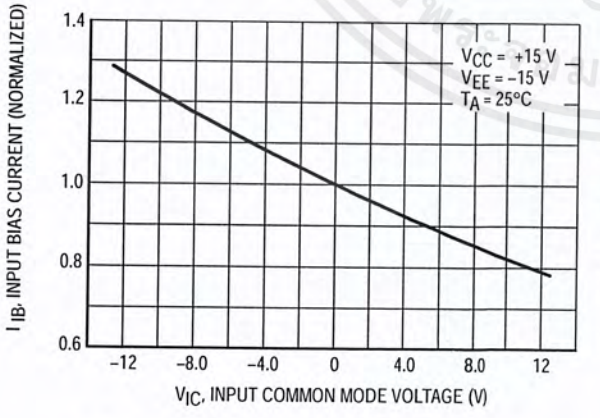


Figure 7. Normalized Input Bias Current versus Input Common Mode Voltage

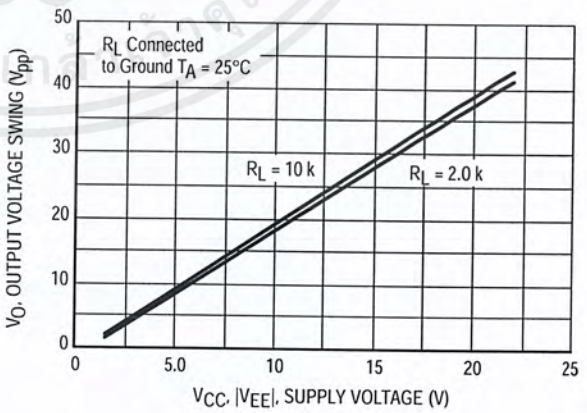


Figure 8. Split Supply Output Voltage Swing versus Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

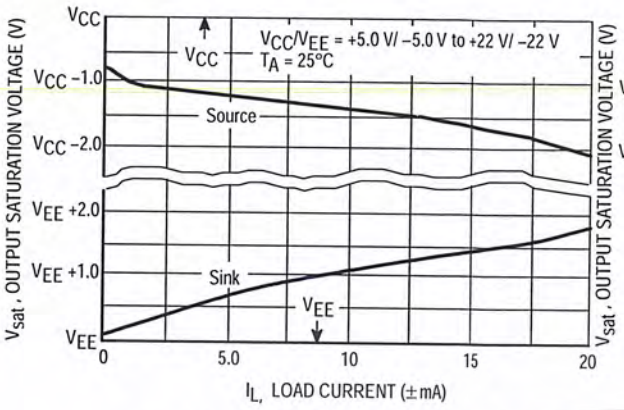


Figure 9. Single Supply Output Saturation versus Load Resistance to V_{CC}

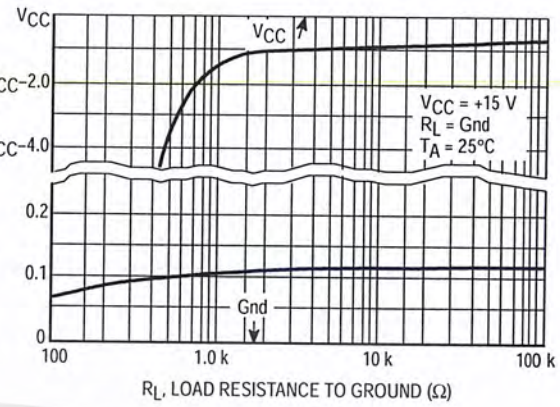


Figure 10. Split Supply Output Saturation versus Load Current

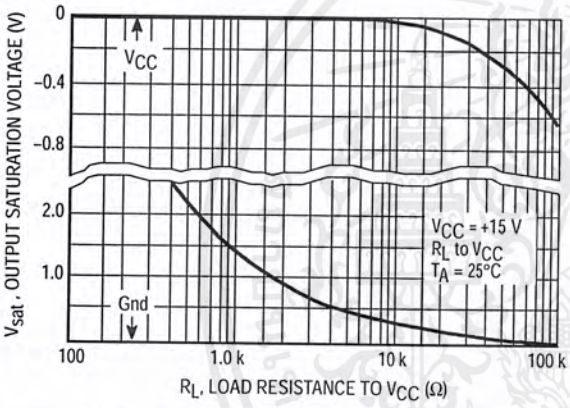


Figure 11. Single Supply Output Saturation versus Load Resistance to Ground

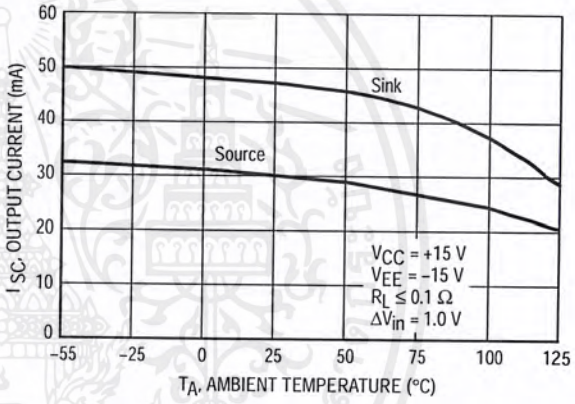


Figure 12. Output Short Circuit Current versus Temperature

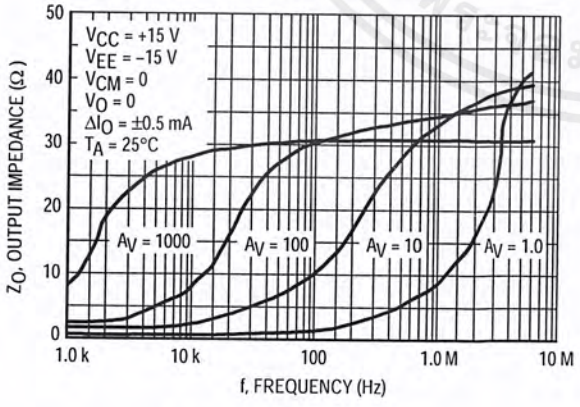


Figure 13. Output Impedance versus Frequency

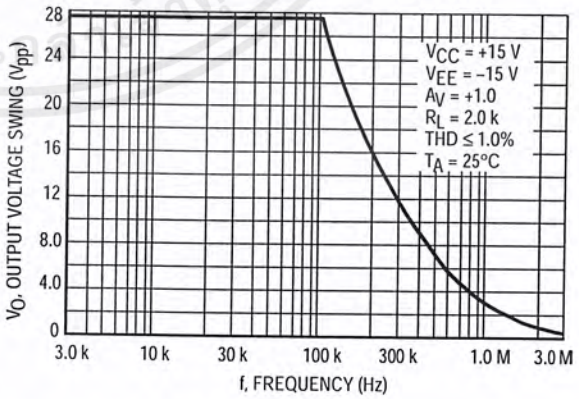


Figure 14. Output Voltage Swing versus Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

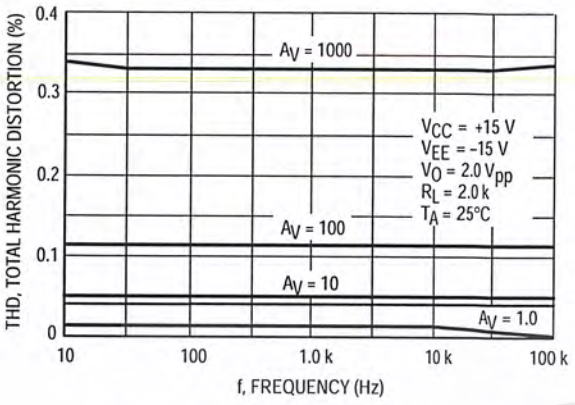


Figure 15. Total Harmonic Distortion versus Frequency

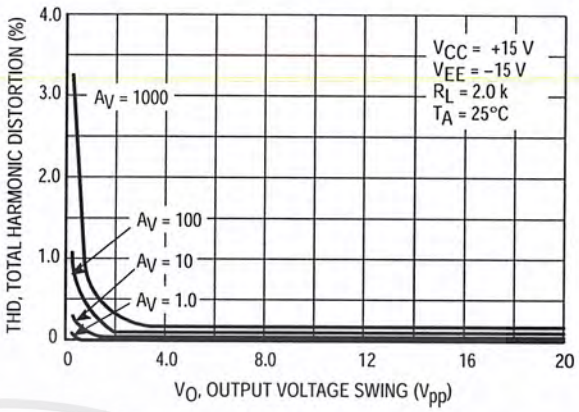


Figure 16. Total Harmonic Distortion versus Output Voltage Swing

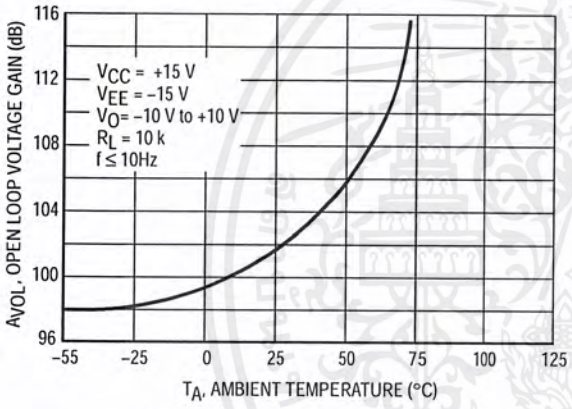


Figure 17. Open Loop Voltage Gain versus Temperature

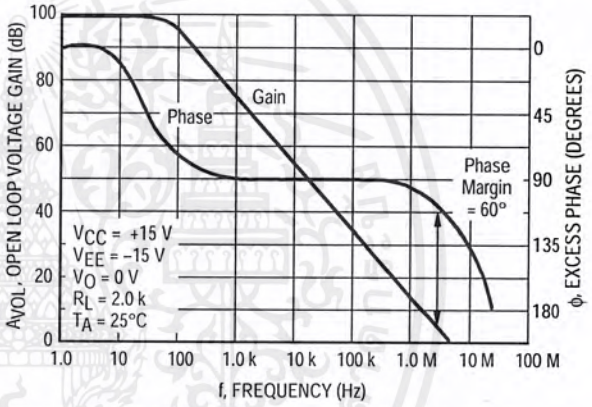


Figure 18. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

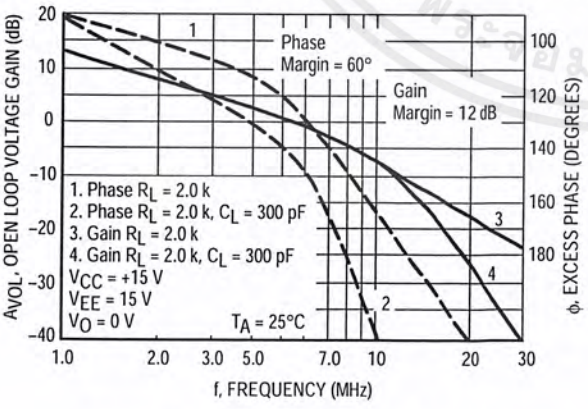


Figure 19. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

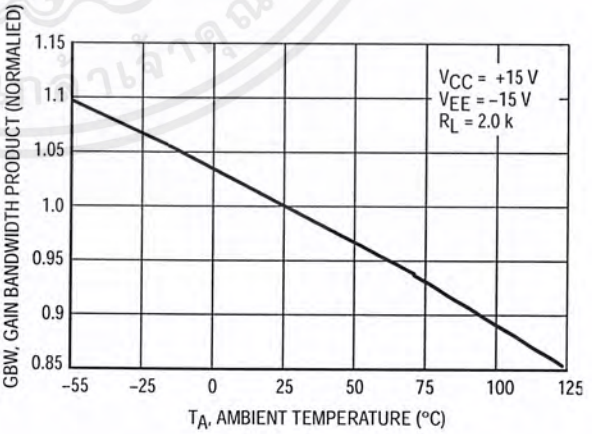


Figure 20. Normalized Gain Bandwidth Product versus Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

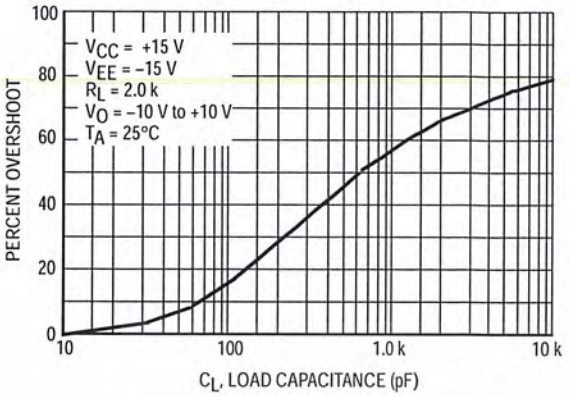


Figure 21. Percent Overshoot versus Load Capacitance

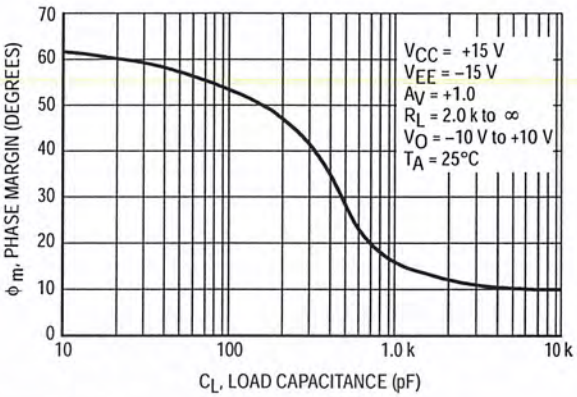


Figure 22. Phase Margin versus Load Capacitance

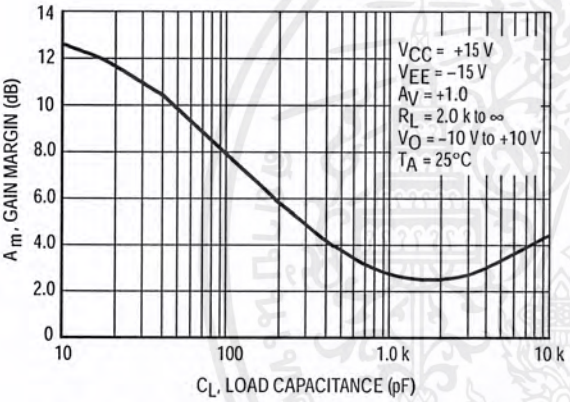


Figure 23. Gain Margin versus Load Capacitance

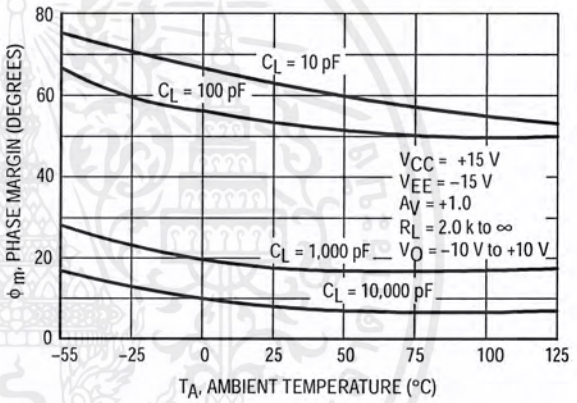


Figure 24. Phase Margin versus Temperature

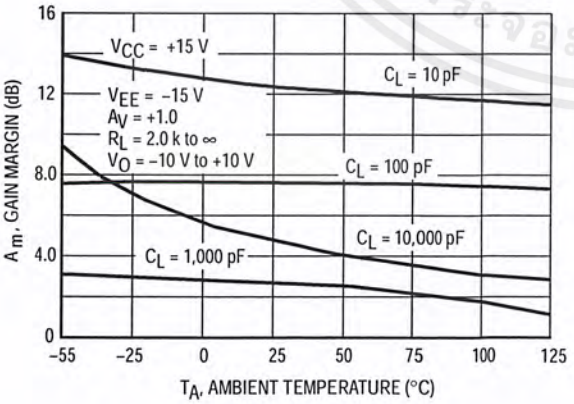


Figure 25. Gain Margin versus Temperature

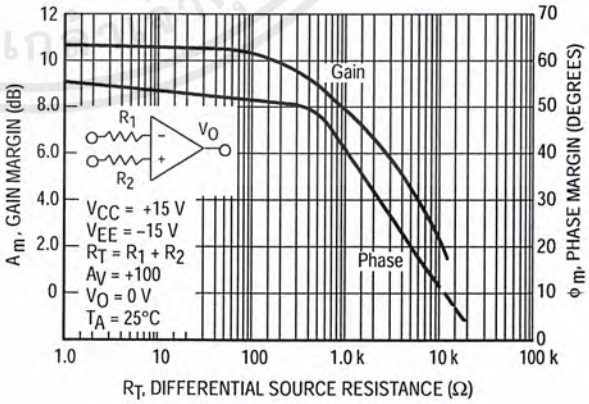


Figure 26. Phase Margin and Gain Margin versus Differential Source Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

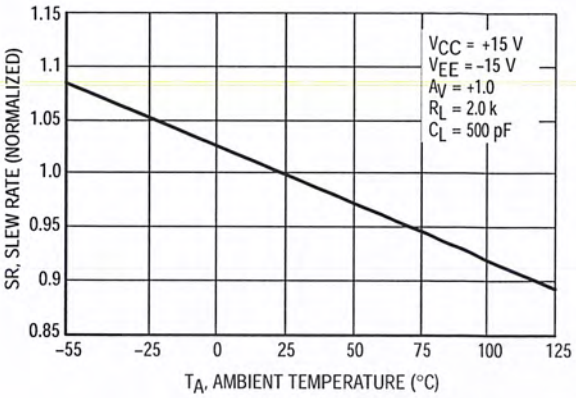


Figure 27. Normalized Slew Rate versus Temperature

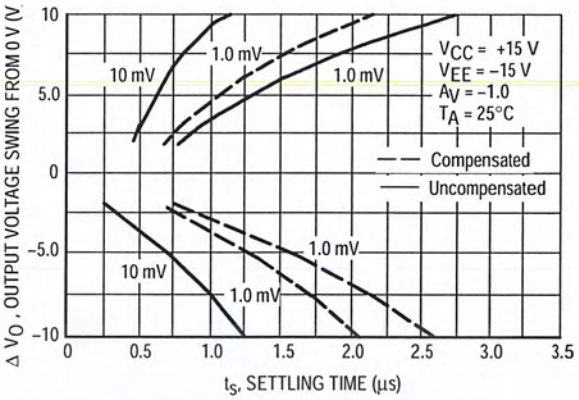


Figure 28. Output Settling Time

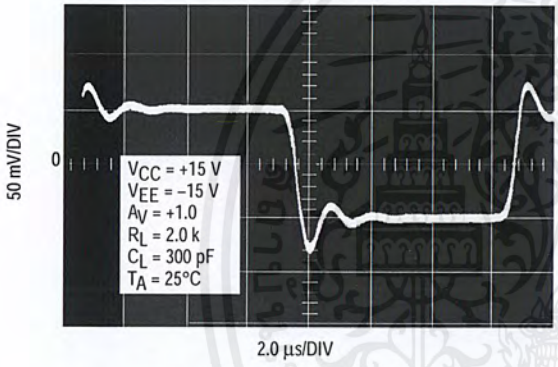


Figure 29. Small Signal Transient Response

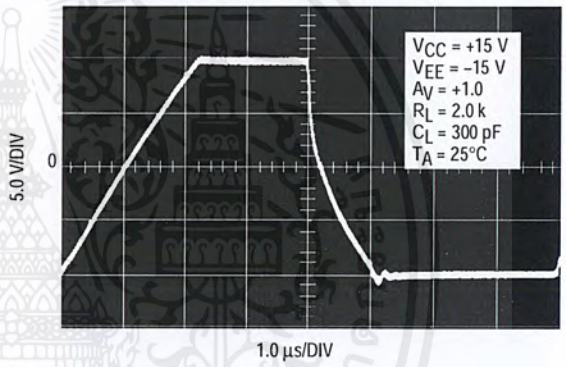


Figure 30. Large Signal Transient Response

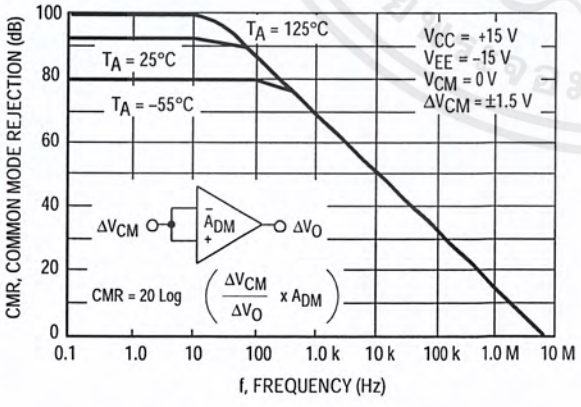


Figure 31. Common Mode Rejection versus Frequency

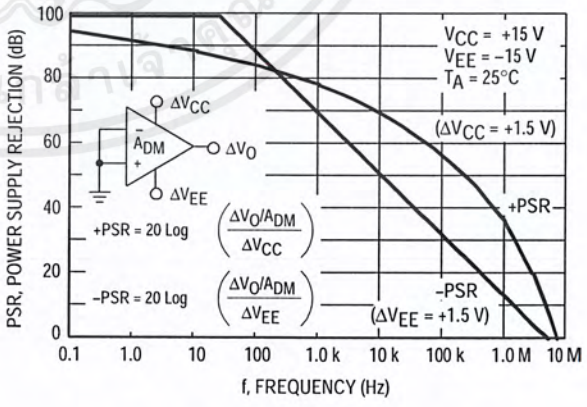


Figure 32. Power Supply Rejection versus Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

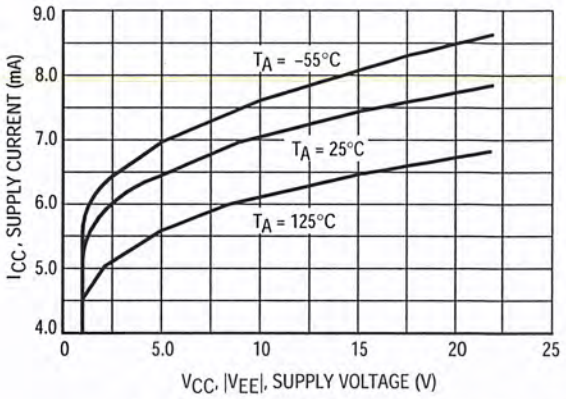


Figure 33. Supply Current versus Supply Voltage

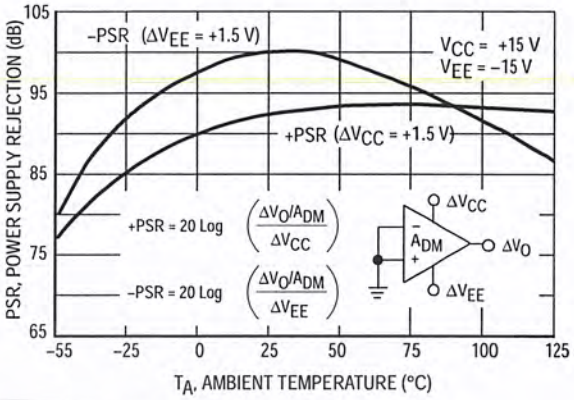


Figure 34. Power Supply Rejection versus Temperature

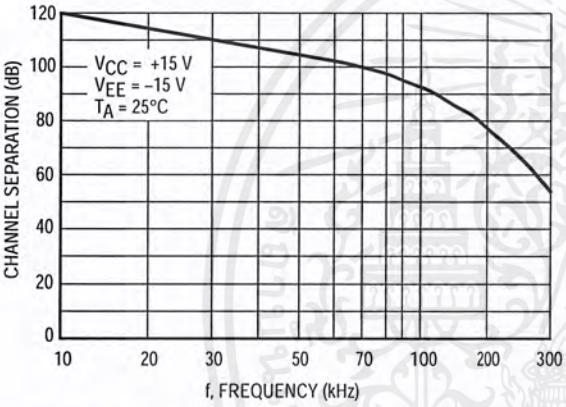


Figure 35. Channel Separation versus Frequency

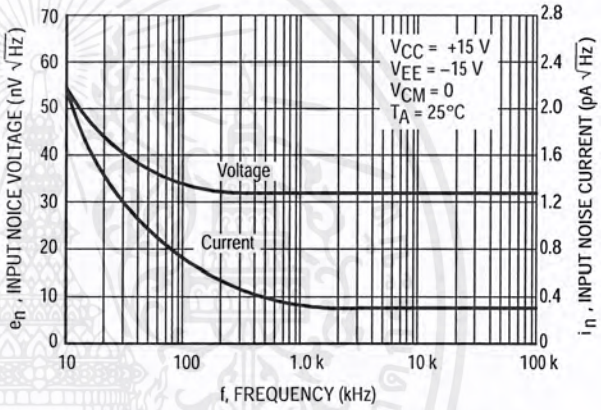


Figure 36. Input Noise versus Frequency

APPLICATIONS INFORMATION
CIRCUIT DESCRIPTION/PERFORMANCE FEATURES

Although the bandwidth, slew rate, and settling time of the MC34071 amplifier series are similar to op amp products utilizing JFET input devices, these amplifiers offer other additional distinct advantages as a result of the PNP transistor differential input stage and an all NPN transistor output stage.

Since the input common mode voltage range of this input stage includes the V_{EE} potential, single supply operation is feasible to as low as 3.0 V with the common mode input voltage at ground potential.

The input stage also allows differential input voltages up to ±44 V, provided the maximum input voltage range is not exceeded. Specifically, the input voltages must range between V_{EE} and V_{CC} supply voltages as shown by the maximum rating table. In practice, although not recommended, the input voltages can exceed the V_{CC} voltage by approximately 3.0 V and decrease below the V_{EE} voltage by 0.3 V without causing product damage, although output phase reversal may occur. It is also possible to source up to approximately 5.0 mA of current from V_{EE} through either inputs clamping diode without damage or latching, although phase reversal may again occur.

If one or both inputs exceed the upper common mode voltage limit, the amplifier output is readily predictable and may be in a low or high state depending on the existing input bias conditions.

Since the input capacitance associated with the small geometry input device is substantially lower (2.5 pF) than the typical JFET input gate capacitance (5.0 pF), better frequency response for a given input source resistance can be achieved using the MC34071 series of amplifiers. This performance feature becomes evident, for example, in fast settling D–to–A current to voltage conversion applications where the feedback resistance can form an input pole with the input capacitance of the op amp. This input pole creates a 2nd order system with the single pole op amp and is therefore detrimental to its settling time. In this context, lower input capacitance is desirable especially for higher

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

values of feedback resistances (lower current DACs). This input pole can be compensated for by creating a feedback zero with a capacitance across the feedback resistance, if necessary, to reduce overshoot. For 2.0 kΩ of feedback resistance, the MC34071 series can settle to within 1/2 LSB of 8 bits in 1.0 μs, and within 1/2 LSB of 12–bits in 2.2 μs for a 10 V step. In a inverting unity gain fast settling configuration, the symmetrical slew rate is ±13 V/μs. In the classic noninverting unity gain configuration, the output positive slew rate is +10 V/μs, and the corresponding negative slew rate will exceed the positive slew rate as a function of the fall time of the input waveform.

Since the bipolar input device matching characteristics are superior to that of JFETs, a low untrimmed maximum offset voltage of 3.0 mV prime and 5.0 mV downgrade can be economically offered with high frequency performance characteristics. This combination is ideal for low cost precision, high speed quad op amp applications.

The all NPN output stage, shown in its basic form on the equivalent circuit schematic, offers unique advantages over the more conventional NPN/PNP transistor Class AB output stage. A 10 kΩ load resistance can swing within 1.0 V of the positive rail (V_{CC}), and within 0.3 V of the negative rail (V_{EE}), providing a 28.7 V_{pp} swing from ±15 V supplies. This large output swing becomes most noticeable at lower supply voltages.

The positive swing is limited by the saturation voltage of the current source transistor Q_7, and V_{BE} of the NPN pull up transistor Q_{17}, and the voltage drop associated with the short circuit resistance, R_7. The negative swing is limited by the saturation voltage of the pull–down transistor Q_{16}, the voltage drop $I_L R_6$, and the voltage drop associated with resistance R_7, where I_L is the sink load current. For small valued sink currents, the above voltage drops are negligible, allowing the negative swing voltage to approach within millivolts of V_{EE}. For large valued sink currents (>5.0 mA), diode D3 clamps the voltage across R_6, thus limiting the negative swing to the saturation voltage of Q_{16}, plus the forward diode drop of D3 ($\approx V_{EE}$ +1.0 V). Thus for a given supply voltage, unprecedented peak–to–peak output voltage swing is possible as indicated by the output swing specifications.

If the load resistance is referenced to V_{CC} instead of ground for single supply applications, the maximum possible output swing can be achieved for a given supply voltage. For light load currents, the load resistance will pull the output to V_{CC} during the positive swing and the output will pull the load resistance near ground during the negative swing. The load resistance value should be much less than that of the feedback resistance to maximize pull up capability.

Because the PNP output emitter–follower transistor has been eliminated, the MC34071 series offers a 20 mA minimum current sink capability, typically to an output voltage of (V_{EE} +1.8 V). In single supply applications the output can directly source or sink base current from a common emitter NPN transistor for fast high current switching applications.

In addition, the all NPN transistor output stage is inherently fast, contributing to the bipolar amplifier's high gain bandwidth product and fast settling capability. The associated high frequency low output impedance (30 Ω typ @ 1.0 MHz) allows capacitive drive capability from 0 pF to 10,000 pF without oscillation in the unity closed loop gain configuration. The 60° phase margin and 12 dB gain margin as well as the general gain and phase characteristics are virtually independent of the source/sink output swing conditions. This allows easier system phase compensation, since output swing will not be a phase consideration. The high frequency characteristics of the MC34071 series also allow excellent high frequency active filter capability, especially for low voltage single supply applications.

Although the single supply specifications is defined at 5.0 V, these amplifiers are functional to 3.0 V @ 25°C although slight changes in parametrics such as bandwidth, slew rate, and DC gain may occur.

If power to this integrated circuit is applied in reverse polarity or if the IC is installed backwards in a socket, large unlimited current surges will occur through the device that may result in device destruction.

Special static precautions are not necessary for these bipolar amplifiers since there are no MOS transistors on the die.

As with most high frequency amplifiers, proper lead dress, component placement, and PC board layout should be exercised for optimum frequency performance. For example, long unshielded input or output leads may result in unwanted input–output coupling. In order to preserve the relatively low input capacitance associated with these amplifiers, resistors connected to the inputs should be immediately adjacent to the input pin to minimize additional stray input capacitance. This not only minimizes the input pole for optimum frequency response, but also minimizes extraneous "pick up" at this node. Supply decoupling with adequate capacitance immediately adjacent to the supply pin is also important, particularly over temperature, since many types of decoupling capacitors exhibit great impedance changes over temperature.

The output of any one amplifier is current limited and thus protected from a direct short to ground. However, under such conditions, it is important not to allow the device to exceed the maximum junction temperature rating. Typically for ±15 V supplies, any one output can be shorted continuously to ground without exceeding the maximum temperature rating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Typical Single Supply Applications V_{CC} = 5.0 V)

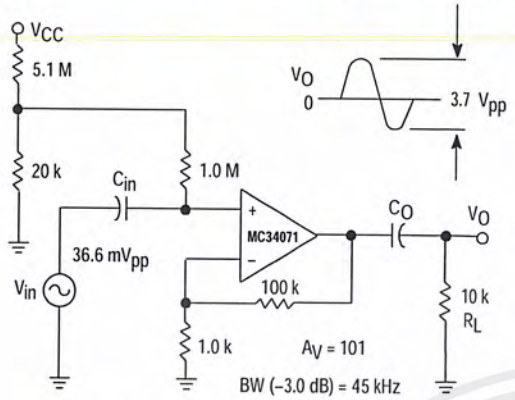


Figure 37. AC Coupled Noninverting Amplifier

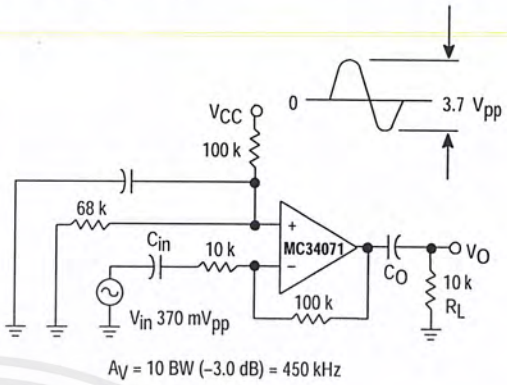


Figure 38. AC Coupled Inverting Amplifier

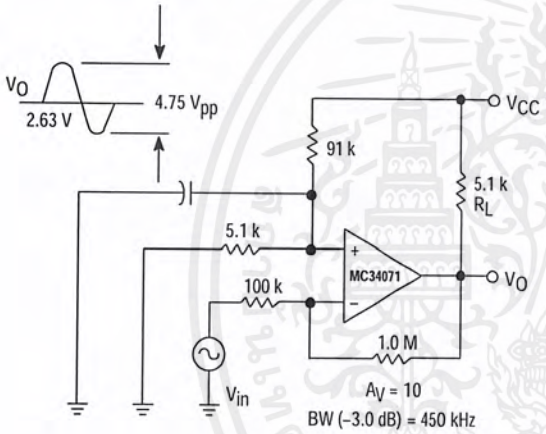


Figure 39. DC Coupled Inverting Amplifier Maximum Output Swing

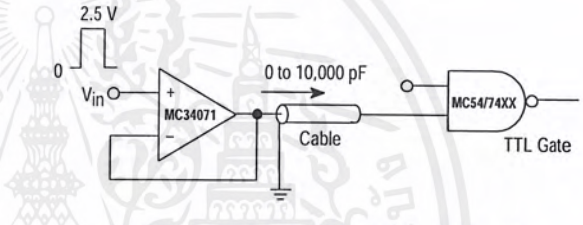


Figure 40. Unity Gain Buffer TTL Driver

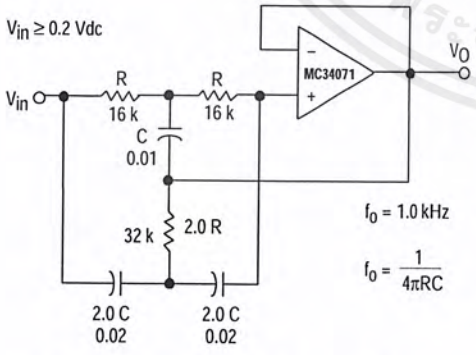
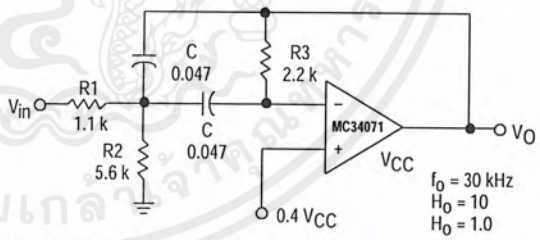


Figure 41. Active High–Q Notch Filter



Given f_0 = Center Frequency
A_O = Gain at Center Frequency
Choose Value f_0, Q, A_0, C

Then:

$$R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C} \quad R1 = \frac{R3}{2H_0} \quad R2 = \frac{R1\,R3}{4Q^2R1 - R3}$$

For less than 10% error from operational amplifier $\frac{Q_0 f_0}{GBW} < 0.1$

where f_0 and GBW are expressed in Hz.
GBW = 4.5 MHz Typ.

Figure 42. Active Bandpass Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

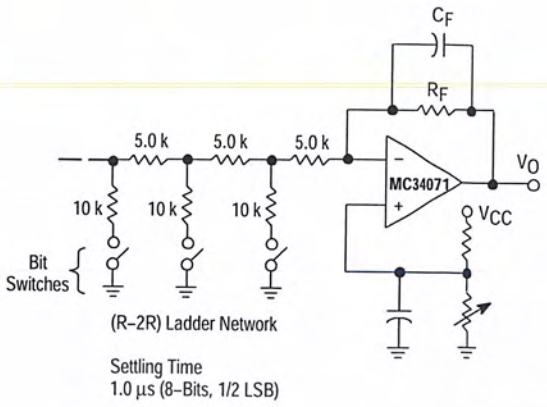


Figure 43. Low Voltage Fast D/A Converter

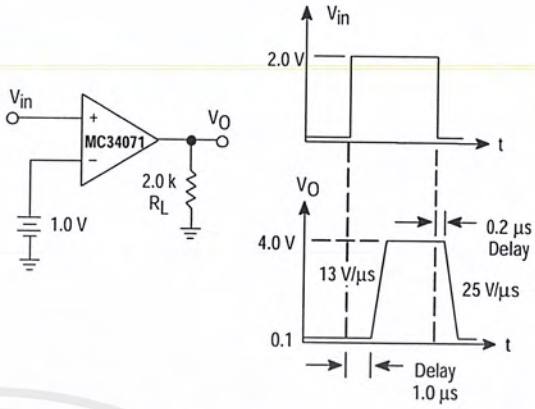


Figure 44. High Speed Low Voltage Comparator

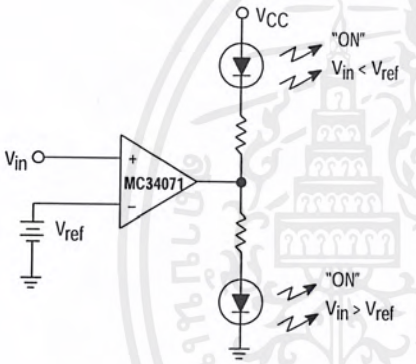


Figure 45. LED Driver

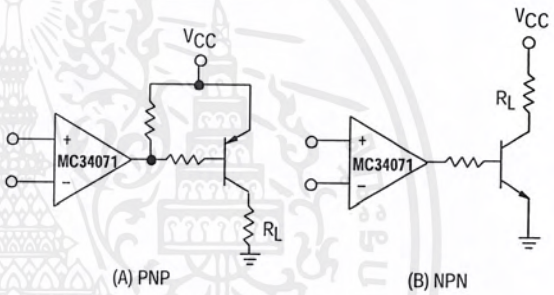


Figure 46. Transistor Driver

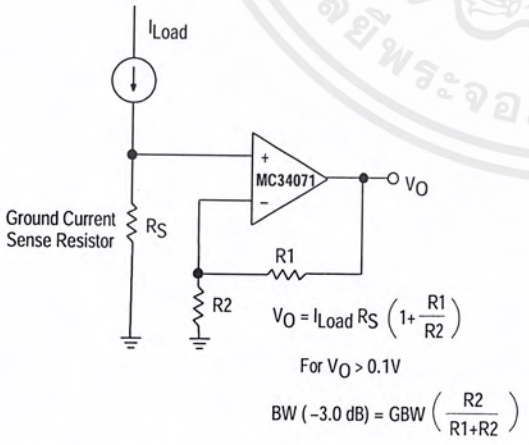


Figure 47. AC/DC Ground Current Monitor

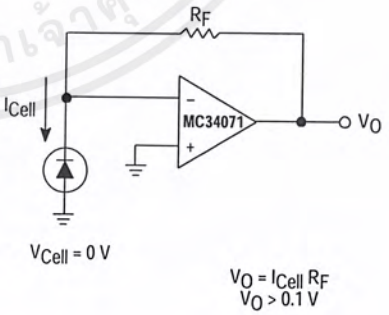
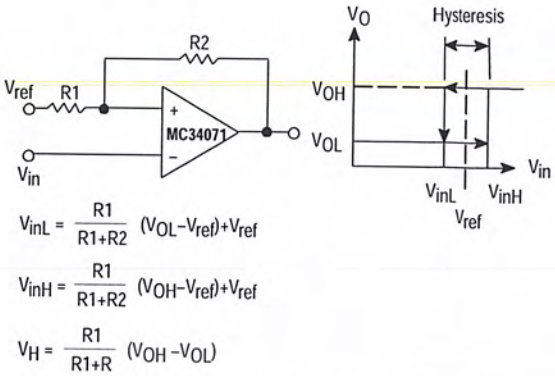


Figure 48. Photovoltaic Cell Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$V_{inL} = \frac{R1}{R1+R2}(V_{OL}-V_{ref})+V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R1}{R1+R2}(V_{OH}-V_{ref})+V_{ref}$$

$$V_H = \frac{R1}{R1+R}(V_{OH}-V_{OL})$$

Figure 49. Low Input Voltage Comparator with Hysteresis

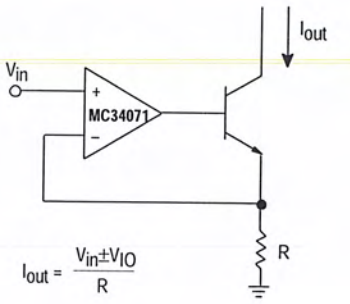


Figure 50. High Compliance Voltage to Sink Current Converter

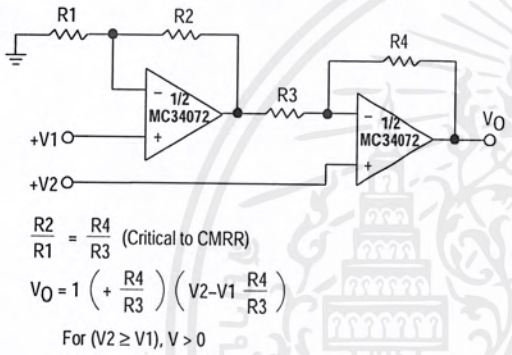


Figure 51. High Input Impedance Differential Amplifier

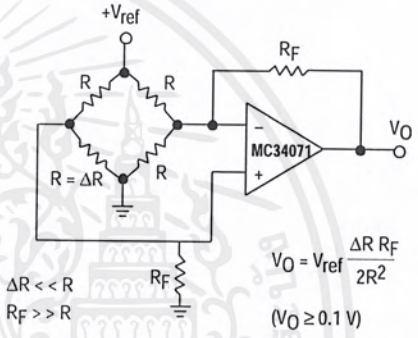
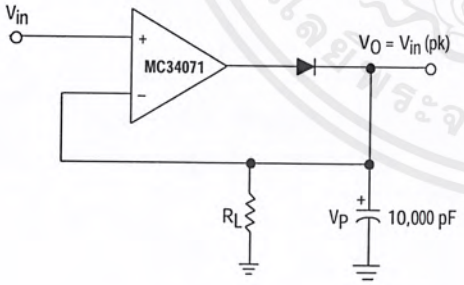


Figure 52. Bridge Current Amplifier



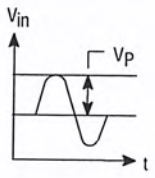


Figure 53. Low Voltage Peak Detector

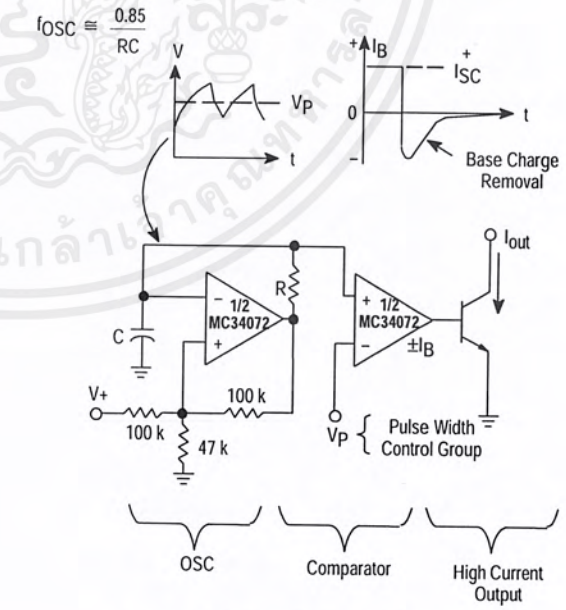


Figure 54. High Frequency Pulse Width Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL ADDITIONAL APPLICATIONS INFORMATION V_S = ±15.0 V

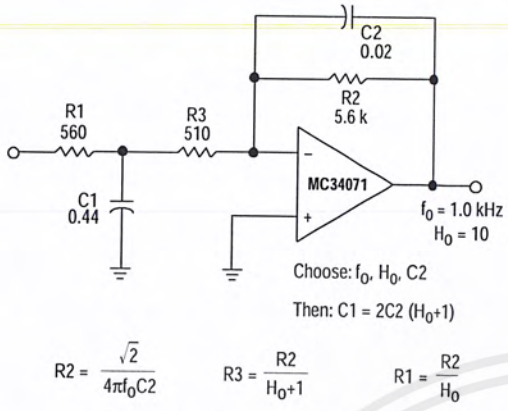


Figure 55. Second Order Low–Pass Active Filter

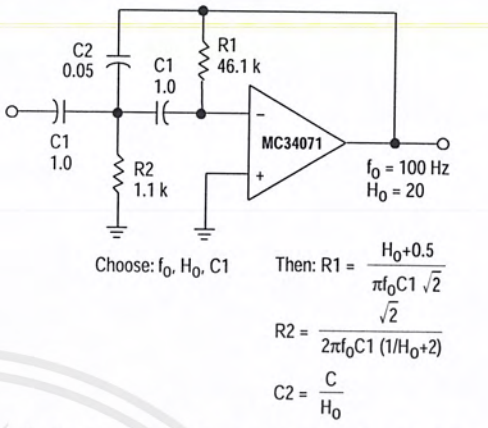


Figure 56. Second Order High–Pass Active Filter

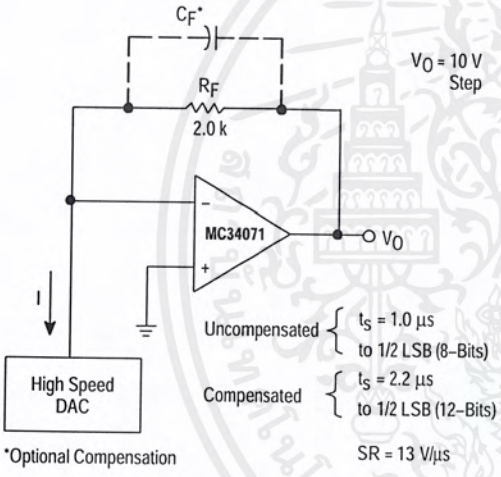


Figure 57. Fast Settling Inverter

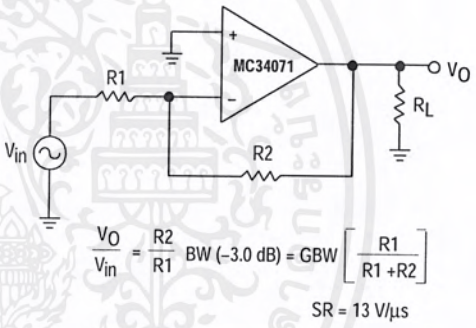


Figure 58. Basic Inverting Amplifier

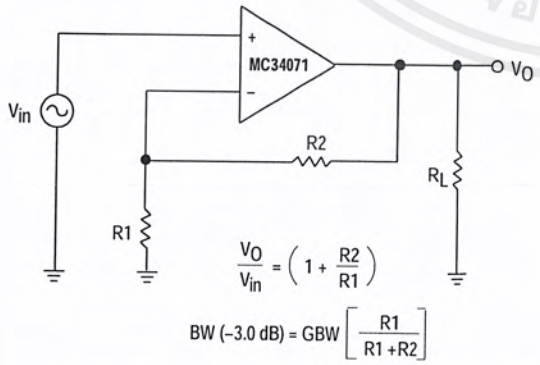


Figure 59. Basic Noninverting Amplifier

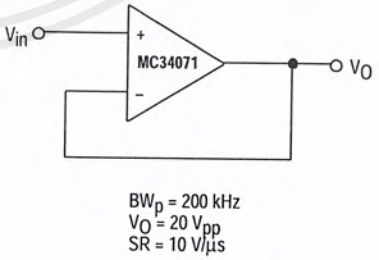


Figure 60. Unity Gain Buffer (A_V = +1.0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

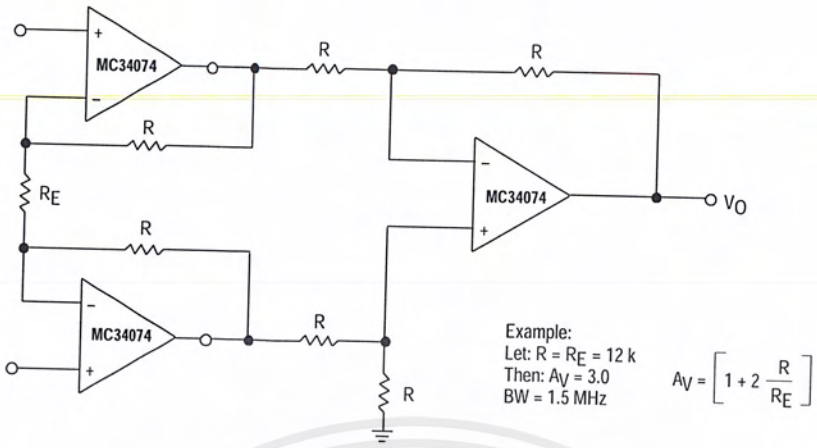
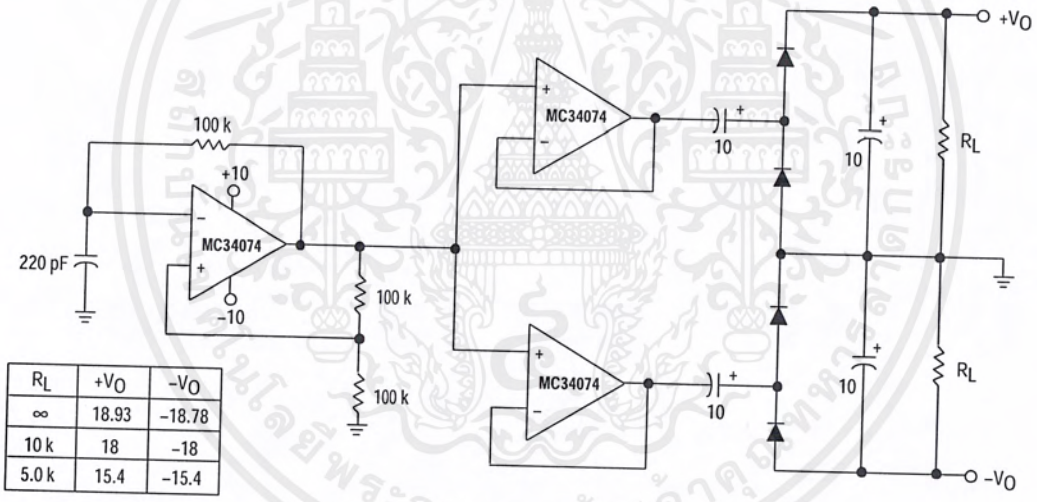


Figure 61. High Impedance Differential Amplifier



RL	+VO	−VO
∞	18.93	−18.78
10 k	18	−18
5.0 k	15.4	−15.4

Figure 62. Dual Voltage Doubler

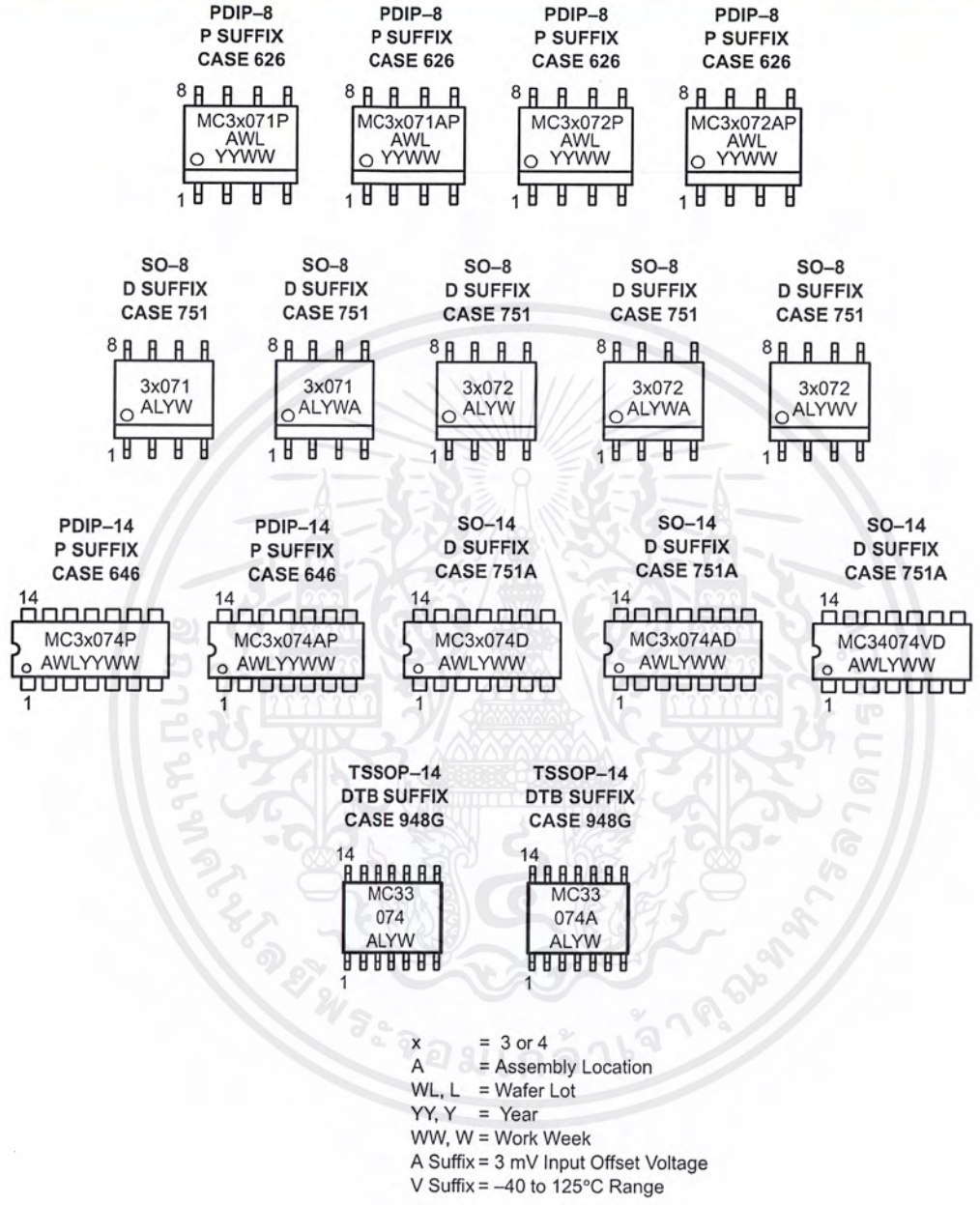
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORDERING INFORMATION

Op Amp Function	Device	Operating Temperature Range	Package	Shipping
Single	MC34071P, MC34071AP MC34071D, MC34071AD MC34071DR2, MC34071ADR2	T_A = 0° to +70°C	DIP–8 SO–8 SO–8 / Tape & Reel	50 Units / Rail 98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
	MC33071P, MC33071AP MC33071D, MC33071AD MC33071DR2, MC33071ADR2	T_A = –40° to +85°C	DIP–8 SO–8 SO–8 / Tape & Reel	50 Units / Rail 98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
Dual	MC34072P, MC34072AP MC34072D, MC34072AD MC34072DR2, MC34072ADR2	T_A = 0° to +70°C	DIP–8 SO–8 SO–8 / Tape & Reel	50 Units / Rail 98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
	MC33072P, MC33072AP MC33072D, MC33072AD MC33072DR2, MC33072ADR2	T_A = –40° to +85°C	DIP–8 SO–8 SO–8 / Tape & Reel	50 Units / Rail 98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
	MC34072VD MC34072VDR2	T_A = –40° to +125°C	SO–8 SO–8 / Tape & Reel	98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
Quad	MC34074P, MC34074AP MC34074D, MC34074AD MC34074DR2, MC34074ADR2	T_A = 0° to +70°C	DIP–14 SO–14 SO–14 / Tape & Reel	50 Units / Rail 98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
	MC33074P, MC33074AP MC33074D, MC33074AD MC33074DR2, MC33074ADR2 MC33074DTB, MC33074ADTB MC33074DTBR2, MC33074ADTBR2	T_A = –40° to +85°C	DIP–14 SO–14 SO–14 / Tape & Reel TSSOP–14 TSSOP–14 / Tape & Reel	50 Units / Rail 98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel 96 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel
	MC34074VD MC34074VDR2	T_A = –40° to +125°C	SO–14 SO–14 / Tape & Reel	98 Units / Rail 2500 Units / Tape & Reel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MARKING DIAGRAMS

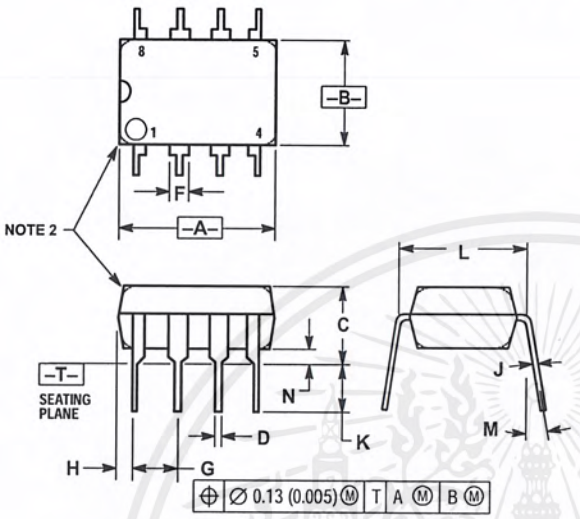


x = 3 or 4
A = Assembly Location
WL, L = Wafer Lot
YY, Y = Year
WW, W = Work Week
A Suffix = 3 mV Input Offset Voltage
V Suffix = –40 to 125°C Range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

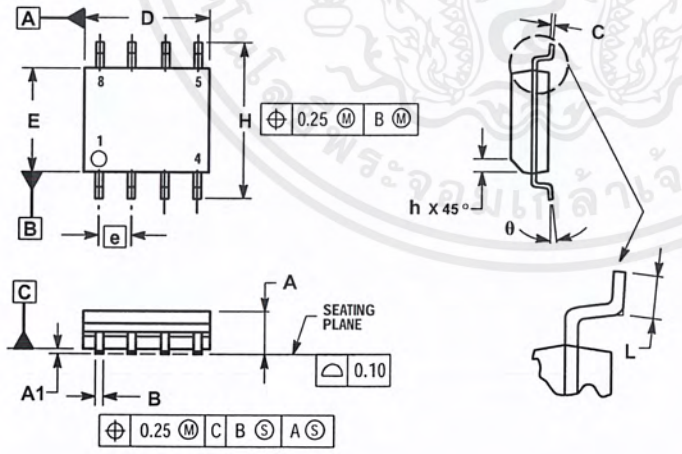
PDIP–8
P SUFFIX
CASE 626–05
ISSUE K



NOTES:
1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
F	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.76	1.27	0.030	0.050
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	---	10°	---	10°
N	0.76	1.01	0.030	0.040

SO–8
D SUFFIX
CASE 751–06
ISSUE T



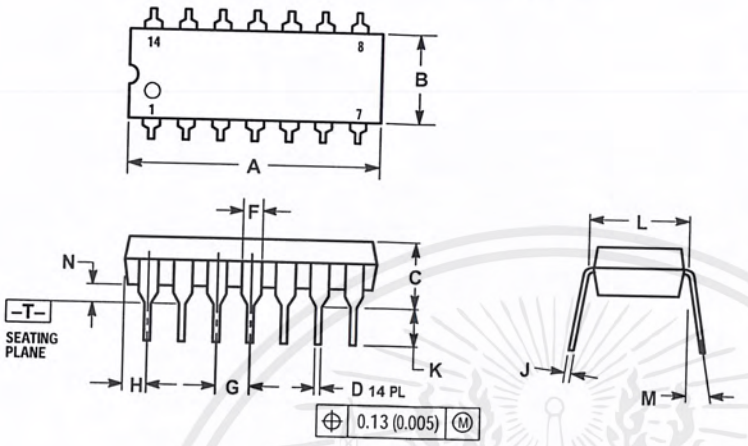
NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER.
3. DIMENSION D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 TOTAL IN EXCESS OF THE B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

	MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX
A	1.35	1.75
A1	0.10	0.25
B	0.35	0.49
C	0.19	0.25
D	4.80	5.00
E	3.80	4.00
e	1.27 BSC	
H	5.80	6.20
h	0.25	0.50
L	0.40	1.25
θ	0°	7°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

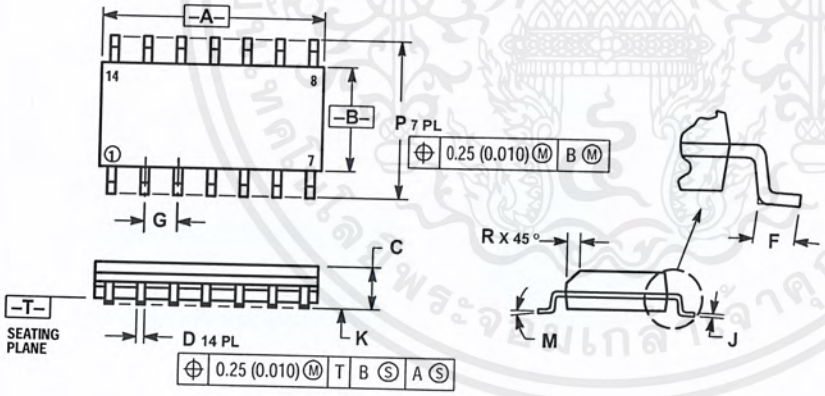
PDIP–14
P SUFFIX
CASE 646–06
ISSUE M



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	18.80
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.290	0.310	7.37	7.87
M	---	10°	---	10°
N	0.015	0.039	0.38	1.01

SO–14
D SUFFIX
CASE 751A–03
ISSUE F



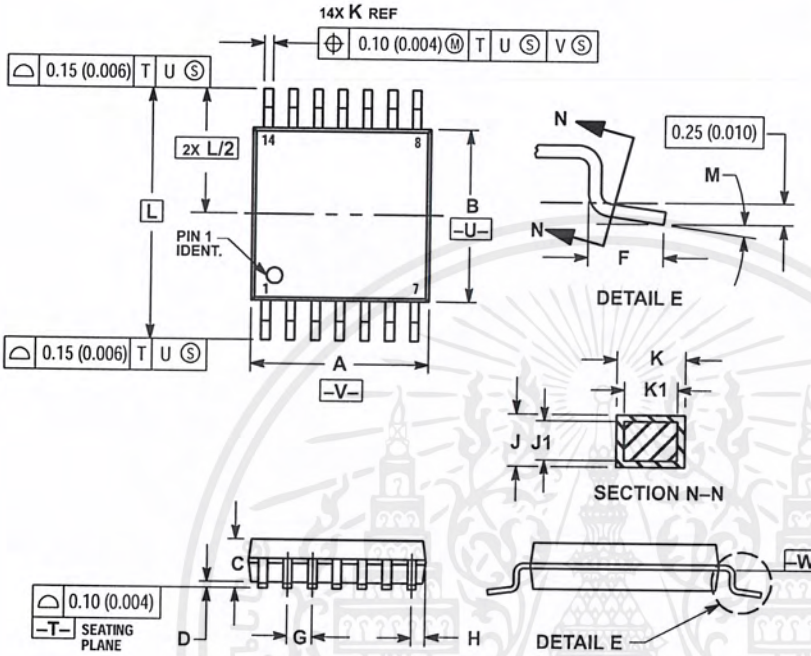
NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.228	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

TSSOP–14
DTB SUFFIX
CASE 948G–01
ISSUE O



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSION A DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS. MOLD FLASH OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.15 (0.006) PER SIDE.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION. INTERLEAD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.25 (0.010) PER SIDE.
5. DIMENSION K DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.08 (0.003) TOTAL IN EXCESS OF THE K DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
6. TERMINAL NUMBERS ARE SHOWN FOR REFERENCE ONLY.
7. DIMENSION A AND B ARE TO BE DETERMINED AT DATUM PLANE –W–.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.90	5.10	0.193	0.200
B	4.30	4.50	0.169	0.177
C	---	1.20	---	0.047
D	0.05	0.15	0.002	0.006
F	0.50	0.75	0.020	0.030
G	0.65 BSC		0.026 BSC	
H	0.50	0.60	0.020	0.024
J	0.09	0.20	0.004	0.008
J1	0.09	0.16	0.004	0.006
K	0.19	0.30	0.007	0.012
K1	0.19	0.25	0.007	0.010
L	6.40 BSC		0.252 BSC	
M	0°	8°	0°	8°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษดา ใจเย็น. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน. บริษัท i-nex จำกัด : กรุงเทพมหานคร , 2542

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : กรุงเทพมหานคร , 2541

สมเกียรติ กีรติวุฒิเศรษฐ์. เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : กรุงเทพมหานคร , 2540

Semiconductor Master Replacement Guide

เอกสารประกอบคำบรรยายเรื่อง เครื่องมือวัด และการปรับเทียบ. วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี :ปทุมธานี, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายดุษฎี ม่วงแก้ว
วันเดือนปีเกิด	17 กรกฎาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	103/1 หมู่ 3 ต.ทุ่งคลี อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี 72120
ที่อยู่ปัจจุบัน	103/1 หมู่ 3 ต.ทุ่งคลี อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี 72120
โทรศัพท์	01-8589830

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดหนองกรดศิริวัฒน
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนทุ่งคลีโคกช้างวิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คติพจน์	"ทำอะไรนึกถึงส่วนรวม แล้วประเทศชาติจะเจริญ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสมบูรณ์ จิตธรรม
วันเดือนปีเกิด	18 มีนาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ภูมิลำเนาเดิม	143/1 หมู่ 2 ต.หนองหญ้าลาด อ.กันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ 33110
ที่อยู่ปัจจุบัน	143/1 หมู่ 2 ต.หนองหญ้าลาด อ.กันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ 33110
โทรศัพท์	-

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนดำรงราชานุสรณ์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนกันทรลักษ์วิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยการอาชีพศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คติพจน์	"จะเสียสละเวลาอันน้อยนิด เพื่อให้ทุกชีวิตได้ดีขึ้น"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายรัฐศักดิ์ โกบประยูร
วันเดือนปีเกิด	4 กรกฎาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	196 หมู่ 1 ถ. ประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ อ.ทุ่งครุ จ.กรุงเทพฯ 10140
ที่อยู่ปัจจุบัน	196 หมู่ 1 ถ. ประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ อ.ทุ่งครุ จ.กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์	02-4261882

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนบูรณะศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดทรงธรรม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คติพจน์	"ความรับผิดชอบเท่านั้นนำไปสู่ความเป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายธีรธัช ขวัญยุบล
วันเดือนปีเกิด	17 มิถุนายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดชุมพร
ภูมิลำเนาเดิม	159 ต.เทศบาล อ.หลังสวน จ.ชุมพร
ที่อยู่ปัจจุบัน	17 ซ.ปทุมทิพ แขวง บางซื่อ เขตบางซื่อ จ. กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์	02-5856290

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดวาลุการาม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเบญจมราชานุสรณ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คติพจน์	"ตระหนักแน่ว่าสิ่งทั้งปวงเป็นไปตามเหตุปัจจัย"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้