

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ

DIGITAL HEALTHY WEIGHTING SCALES

โดย

นาย อนุชา มณีบังเกิด

นางสาว เสาวณีย์ สุรญาณณ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **62704**  
วัน,เดือน,ปี **21 ส.ค. 2549**

b. **11829650**  
i.....

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ

## DIGITAL HEALTHY WEIGHTING SCALES

โดย

นาย อนุชา มณีบังเกิด รหัส 46015248

นางสาว เสาวณีย์ สุรญาณณ์ รหัส 46015247

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ(DIGITAL HEALTHY WEIGHTING SCALES)

ผู้จัดทำ

1. นาย อนุชา มณีบังเกิด รหัส 46015248

2. นางสาว เสาวณีย์ สุรญาณ์ รหัส 46015247



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ

(DIGITAL HEALTHY WEIGHTING SCALES)

1. นาย อนุชา มณีบังเกิด รหัส 46015248
2. นางสาว เสาวณีย์ สุรญาณ์ รหัส 46015247

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว หรือมีที่จะทำการตรวจสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ

อนุชา มณีบังเกิด รหัส 46015248

เสาวณีย์ สุรญาณณ์ รหัส 46015247

รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2548

## บทคัดย่อ

เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ เป็นเครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงแสดงผลแบบดิจิทัล ใช้ Load cell เป็นอุปกรณ์สำหรับรับน้ำหนักของวัตถุและเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า จากนั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 ทำหน้าที่ในการประมวลสัญญาณให้เป็นถ่าน้ำหนักเพื่อแสดงผลบนจอ LCD

การวัดส่วนสูงนั้น อาศัยหลักการส่งและรับคลื่นที่สะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิก ความถี่ 40KHz ซึ่งจะติดตั้งสูงจากพื้นเพื่อให้คลื่นสะท้อนจากศีรษะ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลค่าของระยะความสูงที่วัดได้และแสดงผลบนจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DIGITAL HEALTHY WEIGHTING SCALES

Mr.Anucha Maneebangkoed ID.46015248

Ms.Saovanee Surayan ID.46015247

Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasil (Advisor)

Academic year 2005

### ABSTRACT

Digital healthy weighting scales. This is weight and height measuring machine, specially designed for human body, used Load Cell which convert the weight to be analog output voltage by objects putting on Load Cell. MCS – 51 microcontroller family is used to calculate weight to show on a liquid crystal display (LCD)

The height of the object, measured at the time of weight measurement, is based on the echo of 40 KHz ultrasonic pulse from the head of the measuring object to the receiver placed closely the transmitter .MCS – 51 microcontroller family is used to calculate health to show on a liquid crystal display (LCD)

### กิติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้เลยถ้าหากขาดความกรุณาจากคณะอาจารย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางต่างๆมาโดยตลอด รวมทั้งต้องกล่าวขอบคุณรุ่นพี่ปริญาโท และเพื่อนๆทุกคนที่ร่วมงาน และให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	V
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 แนวคิดของโครงการ	1
1.3 วิธีการดำเนินงาน	1
1.4 โครงสร้างของปริญาพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า	3
2.2.1 ชั้นส่วนรับน้ำหนัก	3
2.2.2 เทคโนโลยีโหลดเซลล์ (Load Cell Technology)	4
2.2.3 การชดเชยอุณหภูมิการประยุกต์ใช้จุดความเค้นสูงในการออกแบบ DUMMY (โหลดเซลล์)	5
2.2.4 การจัดวางเกจความเครียด (Strain Gage Arrangement)	7
2.2.5 การสมดุลของบริดจ์ (Balancing of Bridges)	9
2.2.6 รูปแบบการติดตั้ง Strain Gage ลงบน โหลดเซลล์	10
2.3 ตัวเปลี่ยนระยะทางเป็นสัญญาณพัลส์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกซ์	13
2.3.1 คลื่น	13
2.3.2 คลื่นเสียง	14
2.3.3 คลื่นอัลตราโซนิกซ์	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ความแรงและคลื่นกำลังของอัลตราโซนิคส์	19
2.3.5 อัลตราโซนิคส์ ทรานสดิวเซอร์	21
2.3.6 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์	23
2.3.7 คุณสมบัติความถี่ของทรานสดิวเซอร์	23
2.3.8 เปียโซทรานสดิวเซอร์	23
2.3.9 ผลของเปียโซอิเล็กทริก	24
2.4 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51	24
2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	25
2.4.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	25
2.4.3 การจัดการของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	27
2.5 จอแสดงผล LCD (Liquid Crystal Display)	30
2.5.1 โครงสร้างของ LCD	31
2.5.2 คุณสมบัติทางแสง	32
2.5.3 การขับ LCD	33
2.5.4 การติดตั้งและการให้แสงจากด้านหลัง	34
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	
3.1 กล่าวนำ	35
3.2 ตัวเปลี่ยนน้ำหนักรเป็นแรงดันไฟฟ้า	35
3.3 ภาชนะยาสัญญาณและแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	38
3.4 ภาครับ-ส่งคลื่นอัลตราโซนิคส์	39
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลองส่วนชั่งน้ำหนัก	42
4.2 การทดลองเครื่องวัดส่วนสูง	52
4.2.1 การทดลองภาคควบคุมและแสดงผลเครื่องวัดส่วนสูง	52
4.3 ดรรชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI)	56
บทที่ 5 สรุปผลที่ได้จากการทดลองและแนวทางในการพัฒนา	
5.1 สรุป	58
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	58

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

59

หนังสืออ้างอิง

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นจุดเว้าเข้าไปนั้นเป็นจุดที่เกิดความเค้นสูง	5
รูปที่ 2.2 การชดเชยด้วยคัมมีเกจ	6
รูปที่ 2.3 การจัดวางเกจความเครียดโดยใช้เกจ 4 ตัว	6
รูปที่ 2.4 รูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้สำหรับการวัดแรงดัน P	7
รูปที่ 2.5 การจัดวางเกจความเครียดเพื่อการวัดแรงดัน P	8
รูปที่ 2.6 การจัดวางเกจความเครียดในอีกลักษณะหนึ่ง	9
รูปที่ 2.7 รูปการติดตั้ง Strain Gage ลงบน โพลดเซลแบบต่างๆ	10
รูปที่ 2.7 รูปการติดตั้ง Strain Gage ลงบน โพลดเซลแบบต่างๆ (ต่อ)	11
รูปที่ 2.7 รูปการติดตั้ง Strain Gage ลงบน โพลดเซลแบบต่างๆ (ต่อ)	12
รูปที่ 2.8 ลักษณะการเกิดคลื่นยาว	13
รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง	14
รูปที่ 2.10 การรวมของคลื่นที่มีความถี่ต่างกันหรือเฟสต่างกัน	15
รูปที่ 2.11 ลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง	15
รูปที่ 2.12 ลักษณะของคลื่นเสียงผ่านช่องแคบๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดใหม่	16
รูปที่ 2.13 การหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	16
รูปที่ 2.14 การหน่วงสัญญาณระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับคลื่นอัลตราโซนิกส์	18
รูปที่ 2.15 คุณสมบัติของสารเปียโซอิเล็กทริก	22
รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	26
รูปที่ 2.17 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	27
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของ LCD	31
รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลย์ของ LCD	31
รูปที่ 2.20 การให้แสงทางด้านหลังทั้ง 3 วิธี	34
รูปที่ 3.1 แผนผังเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ	35
รูปที่ 3.2 ภาพ 3 มิติของแท่งอลูมิเนียมที่ใช้ทำโพลดเซลล์	36
รูปที่ 3.3 แสดงค่า stress ที่เกิดขึ้นบนโพลดเซลล์	37

รูปที่ 3.4 โพลดเซลล์ที่ทำการติดตั้งสเตรนเกจเสร็จสมบูรณ์แล้ว	37
รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรใช้งาน CS5526 เป็น A/D	38
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของการวัดส่วนสูง	39
รูปที่ 3.7 วงจรส่งสัญญาณอัลตราโซนิกส์	39
รูปที่ 3.8 วงจรรับสัญญาณอัลตราโซนิกส์	40
รูปที่ 3.9 วงจรอินเตอร์เฟสของไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก	41
รูปที่ 4.1 วงจรของเครื่องชั่งน้ำหนัก	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักและผลที่อ่านได้จาก ADC	44
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับแรงดันเอาต์พุตจากโพลดเซลล์	46
รูปที่ 4.4 แรงดันเอาต์พุตและค่า ADC (filter) ที่ออกจากโพลดเซลล์	47
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความ Repeatability ของเครื่องชั่งน้ำหนัก	49
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความ Repeatability ของเครื่องชั่งน้ำหนัก	50
รูปที่ 4.7 ตัวรับส่งอัลตราโซนิกส์ที่ใช้ในการวัดส่วนสูง	52
รูปที่ 4.8 กราฟแสดง Repeatability ของเครื่องวัดส่วนสูง	54
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองอัลตราโซนิกส์เมื่อวัดระยะทาง(cm) เทียบกับเวลา (ms)	55
รูปที่ 4.10 ลักษณะการใช้งานของเครื่องชั่งและวัดส่วนสูง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความยาวคลื่น ความถี่และความเร็วของคลื่นที่มีค่าต่างกัน	18
ตารางที่ 2.2 ค่าความเร็วและคุณสมบัติทางด้านอิมพีแดนซ์ของคลื่นอัลตราโซนิกส์ ในตัวกลางที่เป็นแก๊สและของเหลว	19
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติบางประการของสารเซรามิก	23
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักหน่วยกิโลกรัมกับค่าที่อ่านได้จาก ACD (Unsigned Long)	43
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดแรงดันเอาท์พุทจาก โพลีเอสเตอร์	45
ตารางที่ 4.3 แรงดันเอาท์พุทและค่า ADC (filter) ที่ออกจากโพลีเอสเตอร์	46
ตารางที่ 4.4 ค่าน้ำหนักแสดงความละเอียดของเครื่องชั่ง	48
ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Repeatability ในการชั่งน้ำหนักที่ 10 กิโลกรัม จำนวน 10 ครั้ง	48
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Repeatability ในการชั่งน้ำหนัก 14 กิโลกรัม จำนวน 10 ครั้ง	49
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าน้ำหนักจริงที่ชั่งกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง	50
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าส่วนสูงที่วัดจากแท่นชั่งน้ำหนักซึ่งเป็นจุดอ้างอิง (230 cm)	53
ตารางที่ 4.9 แสดงความถูกต้องของการวัดส่วนสูงจากเครื่องวัด	53
ตารางที่ 4.10 แสดงความ Repeatability ของเครื่องวัดส่วนสูง	54
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองอัลตราโซนิกส์ระหว่างระยะทางเทียบกับเวลา	55
ตารางที่ 4.12 ค่าที่ได้จากการคำนวณ แปรผลภาวะทางโภชนาการ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพมีแนวคิดมาจาก การชั่งน้ำหนักแบบสเกล ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าน้ำหนัก และปัจจุบันจะมีเครื่องชั่งที่แสดงค่าแบบดิจิทัลขึ้นมาแต่ความต้องการที่จะทราบน้ำหนักพร้อมทั้งส่วนสูงอาจเป็นความต้องการที่มากกว่า เนื่องจาก เครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงที่ใช้อยู่ตาม ศูนย์ที่ออกคำสั่งกาย โรงเรียน ยังมีอยู่น้อยจึงมีแนวคิดที่จะเครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงให้สามารถอ่านค่าได้รวดเร็วและง่ายขึ้นเพราะมีการแสดงผลเป็นตัวเลขทำให้ง่ายต่อการใช้งาน

### 1.2 แนวคิดของโครงการ

เครื่องชั่งน้ำหนักมีหลักการมาจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันของโพลีเซลล์เนื่องจากน้ำหนักที่กดทับลงบนโพลีเซลล์ แต่แรงดันที่ออกมาจากโพลีเซลล์มีค่าน้อยมากจึงต้องมีการขยายแรงดันและจัดสัญญาณรบกวนก่อนที่จะนำแรงดันเอาต์พุตที่ได้เปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล แล้วนำสัญญาณไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 และแสดงผลด้วย LCD

ส่วนการวัดส่วนสูงใช้หลักการส่งคลื่นอัลตราโซนิคส์ โดย MCS – 51 เป็นตัวส่งสัญญาณให้ภาคส่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่ 40 KHz

### 1.3 วิธีการดำเนินงาน

- ศึกษาทฤษฎีและหาวิธีการติดตั้งสเตรนเกจที่ดีที่สุดที่จะติดบนตัวโพลีเซลล์
- สร้างโพลีเซลล์ และนำโพลีเซลล์มายึดติดกับแกนเหล็ก
- ศึกษาหลักการของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลและวัดส่วนสูง รวมทั้งส่วนประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
- ศึกษาคุณสมบัติและหลักการทำงานของอุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในงานในโครงการ
- ทดสอบการทำงานการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง
- สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ปัญหา ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 โครงสร้างของรายงาน

รายงานนี้ไ้รวบรวมรายละเอียด ความเป็นมา แนวคิด การสร้างและทดสอบ โครงงาน โดยได้ มีการแบ่งรายงานออกเป็นบทต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละ บทประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 ได้กล่าวถึงความเป็นมาของโครงงานนี้ แนวคิดของโครงงาน และการดำเนินงานของ โครงงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและวงจรที่นำมาใช้ในโครงงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์และ หลักการของตัวเปลี่ยนน้ำหมักเป็นแรงดันไฟฟ้าการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล , ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิกส์ , ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51, จอแสดงผล LCD

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างชุดขังน้ำหมักชุดวัดส่วนสูงและชุดควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบการทำงานจริง

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลที่ได้จากการทดลองและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวกับวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ โดยมีทฤษฎีหลักที่สำคัญคือตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า (Load Cell) การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและตัวเปลี่ยนระยะทางเป็นสัญญาณพัลส์ด้วยตัวตรวจจับ

#### 2.2 ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า

ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้าซึ่งต่อไปนี้จะขอเรียกว่า “โพลดเซลล์” เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกันกล่าวคือเมื่อมีแรงมากระทำต่อโพลดเซลล์จะเกิดการยืดหรือหดตัวขึ้นในเนื้อวัสดุตามลักษณะการกระทำของแรงดึงหรือแรงกดจากการยืดหรือหดตัวของวัสดุนี้จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) ขึ้นในวัสดุซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก (Hook's Law) จากนั้นจะใช้สเตรนเกจซึ่งติดอยู่บนตัวรับน้ำหนักทำหน้าที่เปลี่ยนความเครียดในวัสดุให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเมื่อผ่านการขยายและปรับแต่งสัญญาณแล้วจะสามารถแสดงผลออกมาเป็นค่าน้ำหนักโดยตรงและที่สำคัญลักษณะข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ายังง่ายต่อการนำไปใช้งานจากหลักการทำงานของโพลดเซลล์จะเห็นว่าโครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ

##### 2.2.1 ชิ้นส่วนรับน้ำหนัก

ในปี ค.ศ. 1678 ได้มีการค้นพบความเค้นและความเครียดเป็นครั้งแรกโดยเซอร์ โรเบิร์ตฮุก (Sir Robert Hook) ชิ้นส่วนรับน้ำหนักทำหน้าที่รับน้ำหนักของโพลดที่มากกระทำต่อโพลดเซลล์ซึ่งจะเกิดการยืดหรือหดตัวในเนื้อวัสดุทำให้เกิดความเค้นหรือความเครียดขึ้นโดยทั่วไปแล้วชิ้นส่วนรับน้ำหนักต้องไม่มีการยืดหรือหดตัวอย่างถาวรขณะรับโพลดจากกฎของฮุกจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงหรือน้ำหนักที่มากกระทำต่อชิ้นส่วนรับน้ำหนักกับค่าความเครียดได้ซึ่งความสัมพันธ์นี้แสดงไว้ดังนี้

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $E$  คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (นิวตัน/มม.<sup>2</sup>)

$\sigma$  คือ ความเค้น (นิวตัน/มม.<sup>2</sup>)

$\epsilon$  คือ ความเครียด

$F$  คือ แรงที่กระทำ (นิวตัน)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (มม.<sup>2</sup>)

$L$  คือ ความยาวเดิมของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (มม.)

$\Delta L$  คือ ความยาวที่เปลี่ยนไปของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (มม.)

โดยการเลือกรูปร่างและชนิดของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนรับน้ำหนักให้เหมาะสมแล้วจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดและแรงในลักษณะเชิงเส้นซึ่งวัสดุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1) เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วงกว้างๆ

2) เมื่อสเตรนฮิสเตอร์ (Strain Hyterresis) ต่ำเมื่อรับ โหลดซ้ำๆ กัน

3) เมื่อการเปลี่ยนแปลงของความเครียดต่อเวลาต่ำในขณะที่มีความเค้นคงที่

การวัดแรง (Force Measurements) ตัวแปลงสัญญาณที่ใช้ในการวัดแรงบิดและแรงกดปกติจะประกอบด้วยชิ้นส่วนรับแรงยืดหยุ่นซึ่งจะแปรผันปริมาณไปเป็นการวัดการหักเหหรือความเครียดตัวตรวจจับการหักเหสเตรนเกจสามารถที่จะใช้ในการวัดปริมาณของผลที่วัดคุณลักษณะโดยทางอ้อมของตัวแปลงสัญญาณ เช่น ระยะ ภาวะเชิงเส้นและความไวซึ่งจะกำหนดโดยขนาดและตัวตรวจจับ (Sensor) เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำเป็นชิ้นส่วนรับน้ำหนักมักจะใช้เหล็กคาร์บอนปานกลางผสมโครเมียมและโมลิบดีนัมส่วนรูปร่างของชิ้นส่วนรับน้ำหนักที่นิยมใช้กันนั้นจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปตามขนาดของโหลดที่ใช้รับน้ำหนัก

### 2.2.2 เทคโนโลยีโหลดเซลล์ (Load Cell Technology)

#### 1) แบบเส้นลวด (Strain Gage)

สเตรนเกจเป็นเส้นลวดเล็ก ๆ ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในเมื่อมีการดึงหรือกด เส้นลวดดังกล่าวถูกนำมายึดติดกับแผ่นรอง โดยทั่วไปเส้นลวดสเตรนเกจ 4 ตัวจะติดกับแกนรับน้ำหนักที่ทำด้วยเหล็กกล้า ที่มีความแข็งแรงสูง เมื่อมีน้ำหนักมากกดลงบนแกนรับน้ำหนักและสเตรนเกจจะเปลี่ยนรูปไปบางส่วนถูกกดบางส่วนถูกดึง ซึ่งทำให้ความต้านทานภายในวงจรเปลี่ยนแปลงไป โดยจะเกิดโวลต์เตจขึ้นทางด้านเอาต์พุต ปัญหาค่าคลาดเคลื่อนในการกลับคืนศูนย์ (Zero Compensation) ค่าคลาดเคลื่อนในการกลับคืนศูนย์จะเกิดขึ้นเนื่องจากไม่สามารถหาสเตรนเกจที่มีค่าความต้านทานเท่ากันมาต่อในวงจรวิศโตนบรีดจ์ได้ดังนั้นจึงใช้ความต้านทานขนานมาช่วยชดเชยปัญหาค่าคลาดเคลื่อนเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เส้นลวดสเตรนเกจทำด้วยวัสดุที่เป็นโลหะจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้นจึงเพิ่มตัวต้านทานแบบนิกเกิล แบบทองแดง

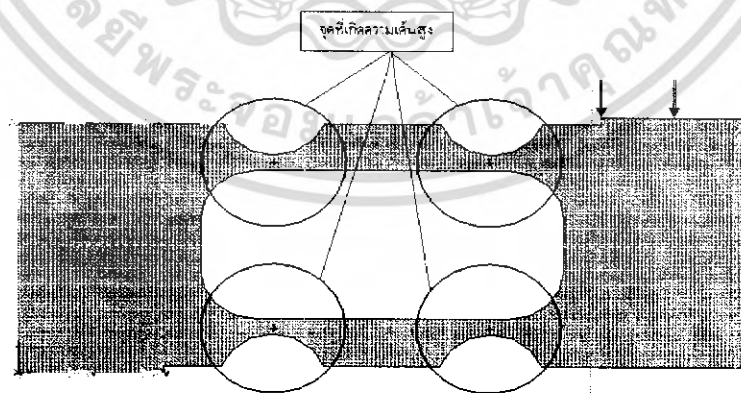
## 2) แบบแม่เหล็กไฟฟ้า

ขดลวดที่มีกระแสไหลผ่านวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงยกให้แท่นของเครื่องซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลที่ตำแหน่งศูนย์ เมื่อมีน้ำหนักมาวางบนแท่นซึ่ง จะเกิดแรงกระทำต่อภาวะสมดุล จะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดเพิ่มขึ้น เพื่อต้านให้แท่นซึ่งกลับไปยังตำแหน่งศูนย์ กระแสที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามแรงที่กระทำกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปจะถูกวัดค่าและเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณแสดงเป็นค่าน้ำหนัก

### 2.2.3 การชดเชยอุณหภูมิการประยุกต์ใช้จุดความเค้นสูงในการออกแบบ DUMMY (โหลดเซลล์)

จากความสัมพันธ์ของกฎของฮุก  $\sigma = E\varepsilon$  ถ้าเราใช้ความรู้ในเรื่องของจุดความเค้นสูง โดยเรากำหนดจุดที่ติดตั้ง สแตนเกจ ขึ้นมาแล้วออกแบบรูปทรงของจุดที่ติดตั้งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงซึ่งจากกฎของฮุกความเค้นที่เกิดขึ้นย่อมจะส่งผลให้ความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณนั้นมีค่ามากขึ้นเป็นลักษณะแปรผันตรง การที่เราสร้างให้จุดติดตั้ง สแตนเกจ ให้มีความเครียดสูงก็จะส่งผลต่อความไวในการตรวจวัดของ สแตนเกจ มีค่าสูงขึ้น แต่ในการออกแบบจะต้องระวังไม่ให้ค่าความเครียดสูงเกินจุด YEILD POINT ของวัสดุที่ใช้เพราะจะทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร

รูปที่ 2.1 เป็นตัว Dummy ที่ทำการย่อส่วนมาจากที่มีขายจะเห็นได้ว่าในส่วนที่ออกแบบให้เว้าเข้าไปนั้นเป็นจุดที่เกิดความเค้นสูงและก็เป็นจุดที่ผู้ผลิตทำการติดตั้ง สแตนเกจ ไว้ตรงนั้นจากการศึกษารูปแบบของ โหลดเซลล์ ที่มีขายถ้าเราจะทำการออกแบบเองโดยใช้โปรแกรม COSMOS เป็นตัวช่วยออกแบบเราไม่จำเป็นต้องหาสมการของ DUMMY ที่เราจะติดตั้งเพียงแต่ต้องออกแบบให้ DUMMY มีค่าความปลอดภัยตามมาตรฐานและจุดที่จะติดตั้ง สแตนเกจ มีความเครียดมากพอและมีค่าเป็นเชิงเส้น

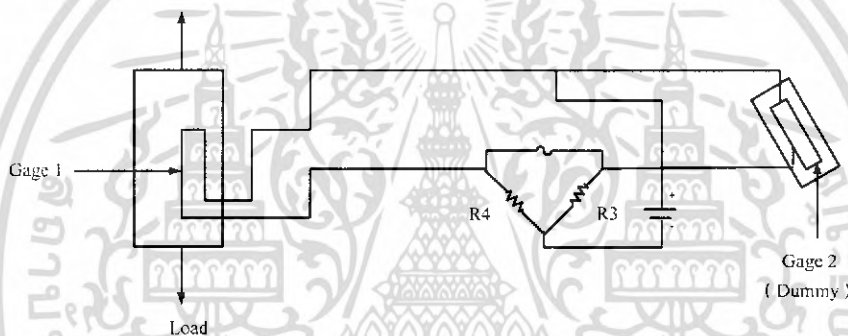


รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นจุดเว้าเข้าไปนั้นเป็นจุดที่เกิดความเค้นสูง

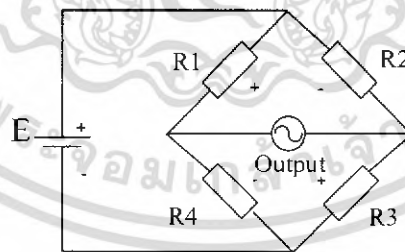
นอกจากความเครียดแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานในเกจความเครียดด้วย แต่มันไม่สะดวกที่จะใช้การคำนวณเพื่อการแก้ไขอุณหภูมิ การแก้ไขและการชดเชยอุณหภูมิที่ทำได้ขึ้น โดยตัวของมันเองจะสะดวกกว่าซึ่งทำได้ดังนี้

#### 1) ดัมมี่เกจ (Dummy Gage)

แสดงดังรูปที่ 2.2 เกจค่าความต้านทาน  $R_2$  เท่ากับ  $R_1$  ถูกยึดติดบนแท่งของวัสดุชนิดเดียวกับแท่งวัสดุทดสอบ (Test Specimen) ซึ่งกำลังได้รับโหลด อย่างไรก็ตาม แท่งของวัสดุที่มี  $R_2$  ไม่ได้รับความเครียด แต่อยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิมีการเปลี่ยนแปลงไปพร้อม ๆ กัน ขณะที่  $R_2$  คือดัมมี่เกจภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอันเดียวกันด้วยเหตุที่  $R_1$  และ  $R_2$  เป็นแขนที่ใกล้เคียงกันของบริดจ์เอาต์พุตเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจึงเป็นศูนย์เพราะว่า  $R_1$  และ  $R_2$  มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิเป็นจำนวนเท่ากัน



รูปที่ 2.2 การชดเชยด้วยดัมมี่เกจ



รูปที่ 2.3 การจัดวางเกจความเครียดโดยใช้เกจ 4 ตัว

2) เกจมากกว่าหนึ่งตัวที่มีการจัดวางไว้อย่างเหมาะสม เกจ  $R_2$  ไม่ได้เป็นดัมมี่เกจแต่ถูกวางไว้อย่างเหมาะสมบนแท่งวัสดุทดสอบเพื่อว่าเกจจะได้รับความเครียดในธรรมชาติ ที่ตรงกันข้ามกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

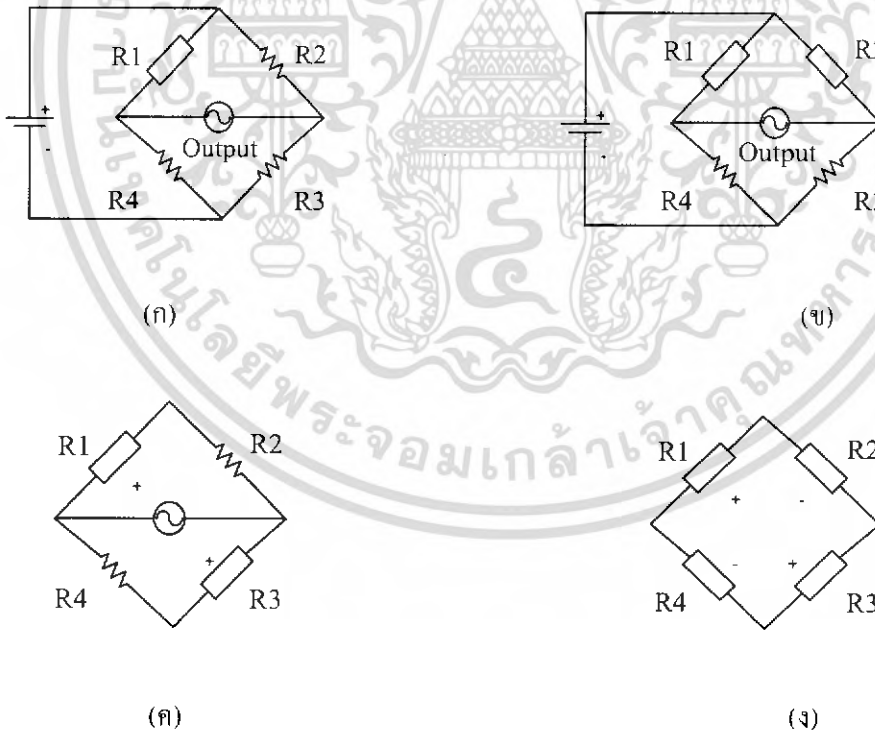
ความเครียดใน  $R_1$  ในกรณีเช่นนี้จะทำให้ระบบมีความไวและมีการชดเชยอุณหภูมิไปพร้อมๆ กัน แท้จริงแล้วถ้าแขนทั้ง 4 ของบริดจ์เป็นเกจใช้งานเหมือนแสดงในรูปที่ 2.3 โดยแขนที่ใกล้ชิดของบริดจ์มีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้าม สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุดและมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย และเป็นเรื่องปกติที่ค่าความต้านทานเริ่มต้นของทุกๆ แขนของบริดจ์จะต้องมีค่าเท่ากัน

การชดเชยอุณหภูมิเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อต้องการวัดความเครียดทางสถิติ เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาต์พุต ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะน้อยมากสำหรับการวัดความเครียดของเกจทางพลวัต ซึ่งการวัดความเครียดทางพลวัตจึงไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยอุณหภูมิ

#### 2.2.4 การจัดวางเกจความเครียด (Strain Gage Arrangement)

มีปัจจัย 2 อย่าง ต่อไปนี้ที่ต้องคำนึงถึงขณะวางเกจความเครียดบนชิ้นส่วนยืดหยุ่นเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงทางการภาพคือ

- 1) ความไวสูง
- 2) การชดเชยอุณหภูมิ



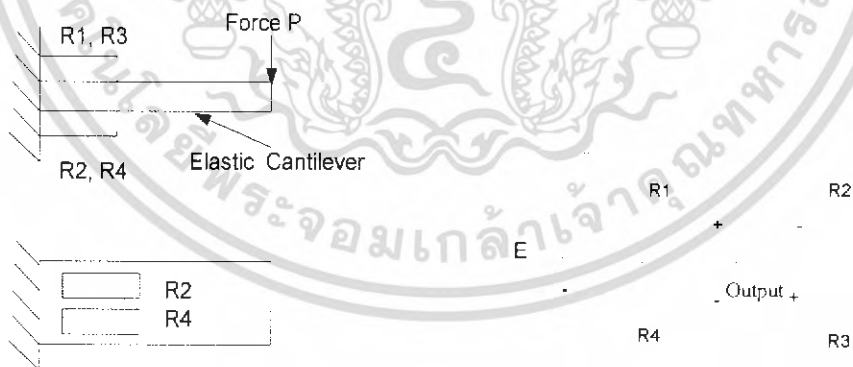
รูปที่ 2.4 รูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้สำหรับการวัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการจัดวางเกอที่เป็นไปได้ของการวัดแรงดัน  $P$  ที่ป้อนเข้าไปที่ชิ้นส่วนยึดหยุ่น แสดงดังรูปที่ 2.4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) โดยเกอความเครียดแสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในรูปที่ เกอ  $R_1$  ถูกยึดติดอยู่บนชิ้นส่วนยึดหยุ่น เพื่อวัดความเครียดตามแนวแกนในชิ้นส่วนยึดหยุ่นแต่ระบบไม่มีการชดเชยอุณหภูมิและเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ  $R_1$  เพียงอย่างเดียว

ในการจัดวางตามรูปที่ 2.4 (ข) จะเห็นได้ว่าเกอสองตัว  $R_1$  และ  $R_2$  ถูกวางไว้เป็นมุมฉาก หรือเรียกว่า "การจัดวางแบบพอยสัน (Poisson's Arrangement)" ดังนั้น  $R_1$  จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก ความดึงเครียดตามแนวแกน ขณะที่  $R_2$  เปลี่ยนเนื่องจากความดึงเครียดตามแนวขวางในชิ้นส่วน ยึดหยุ่นโดยความเครียดอันหลังจะเป็น  $\nu$  เท่าของความเครียดอันแรก เมื่อ  $\nu$  หมายถึงอัตราส่วนของ พอยสัน (Poisson's Ratio) แฟกเตอร์สนับสนุนสัญญาณจะเป็น  $(1 + \nu)$  เพราะค่าความต้านทาน ของ  $R_1$  และ  $R_2$  มีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้าม และระบบมีการชดเชยด้วยเนื่องจากการ เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อ  $R_1$  และ  $R_2$  เท่าๆ กัน จึงไม่มีผลต่อเอาต์พุต การจัดวาง ของรูปที่ 2.4 (ค) ซึ่งทั้ง  $R_1$  และ  $R_2$  อยู่ภายใต้ความดึงเครียดตามแนวแกนด้วยจำนวนที่เท่ากันและ  $R_1$  และ  $R_2$  ซึ่งจะอยู่ติดไว้บนแกนของบริดจ์ด้านตรงข้ามกัน จึงให้แฟกเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น 2 เท่า แต่จะ ไม่มีการชดเชยอุณหภูมิ ดังนั้นการจัดวางแบบนี้จึงต้องการสองตัวมีเกอเพื่อทำให้เกิด ความมั่นใจในเรื่องการชดเชยอุณหภูมิ

การจัดวางของรูปที่ 2.4 (ง) ซึ่งใช้เกอ 4 ตัวโดย  $R_2$  และ  $R_3$  ถูกจัดวางไว้เป็นมุมฉากกับ  $R_1$  และ  $R_4$  จะให้แฟกเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น  $2(1 + \nu)$  และมีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิ



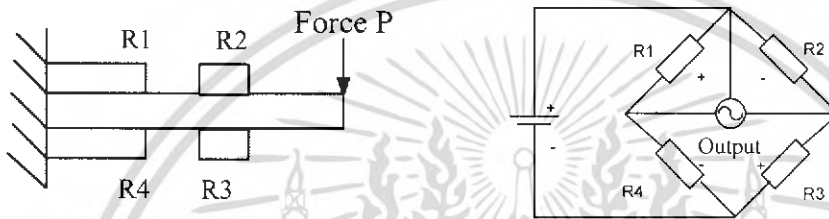
(ก) ลักษณะการจัดวางเกอความเครียด

(ข) วงจรที่ใช้วัดแรงดัน  $P$

รูปที่ 2.5 การจัดวางเกอความเครียดเพื่อการวัดแรงดัน  $P$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกตัวอย่างหนึ่งแรงดัน  $P$  สามารถวัดได้โดยใช้คานยืดหยุ่น (Elastic Cantilever) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) เกจความเครียดถูกยึดติดที่โคนของคาน ตรงที่ความเครียดของการโค้งมากที่สุด  $R_1$  และ  $R_2$  มีความตึงเครียด ขณะที่  $R_3$  และ  $R_4$  มีความอัดเครียด การจัดวางบริดจ์ของรูปที่ 2.5 (ข) จะให้แฟลคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น 4 และมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย การจัดวางในลักษณะอื่นดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) ซึ่ง  $R_1$  และ  $R_2$  ถูกยึดติดตามการจัดวางของพอยสันและตัวนี้ก็ใช้กับ  $R_3$  และ  $R_4$  ด้วย การจัดวางของบริดจ์ดังรูปที่ 2.6 (ข) แขนที่ติดกันจะมีความเครียดในธรรมชาติที่อยู่ด้านที่ตรงกันข้าม แม้ว่าจะมีขนาดไม่เท่ากันก็ตาม การจัดวางของรูปที่ 2.6 (ข) จะให้แฟลคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น  $2(1 + \nu)$  เมื่อเป็นอัตราส่วนของพอยสันและอุณหภูมิก็จะถูกชดเชยด้วย



(ก) ลักษณะการจัดวาง

(ข) วงจรที่ใช้ทดสอบ

รูปที่ 2.6 การจัดวางเกจความเครียดในอีกลักษณะหนึ่ง

### 2.2.5 การสมดุลของบริดจ์ (Balancing of Bridges)

บริดจ์ต้องทำให้สมบูรณ์ในตอนเริ่มต้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ค่าความต้านทานที่แขนทั้ง 4 อาจจะไม่เท่ากัน วิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้จะถูกนำมาเพื่อใช้ในการสมดุลบริดจ์

1) วิธีการสมดุลแบบอนุกรม (Series Balancing Method) โดยใช้ความต้านทานเอเปก (Apex Resistor) แสดงในรูปที่ 2.8 เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่จุดสัมผัสของความต้านทานเอเปก ถ้าที่  $R_2$  เพิ่มขึ้นเป็น  $rR_2$  ก็จะลดลงเป็น  $r$  ด้วย

2) วิธีการสมดุลแบบขนาน (Parallel Balancing Method) บริดจ์สามารถทำให้สมดุลได้ โดยการเคลื่อนที่ที่จุดสัมผัส

2.2.6 รูปแบบการติดตั้ง Strain Gage ลงบนโหลดเซลล์

Gage Method	Conection system	Application	Circuit	output	Remark
1-active-gage 2-wire  Nr. of gage: 1		Monoaxial stress (uniform tension or compression)		$e_o = \frac{E}{4} K_s \epsilon_s$	No temp. compensation. x1 output. nonlinearity correction needed for large strain
1-active-gage 3-wire  Nr. of gage: 1		Monoaxial stress (uniform tension or compression)		$e_o = \frac{E}{4} K_s \epsilon_s$	No temp. compensation. thermal effect on leadwires cancelled. x1 output. non-linearity correction needed for large strain
1-active-gage (2 in series) 2-wire (cancelling bending strain) Nr. of gages: 2		Bending Monoaxial stress (uniform tension or compression)		$e_o = \frac{E}{4} K_s \epsilon_s$ $R_{g1} \dots \text{Strain } \epsilon_s$ $R_{g2} \dots \text{Strain } \epsilon_s$ $\epsilon_s = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2}$ $R \text{ Fixed resistor}$ $R_{g1} + R_{g2} = R$	No temperature compensation. bending strain cancelled. x1 output
1-active-gage (2 in series) 3-wire (cancelling bending strain) Nr. of gages: 2		Bending Monoaxial stress (uniform tension or compression)		$e_o = \frac{E}{2} K_s \epsilon_s$ $R_{g1} \dots \text{Strain } \epsilon_s$ $R_{g2} \dots \text{Strain } \epsilon_s$ $\epsilon_s = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2}$ $R \text{ Fixed resistor}$ $R_{g1} + R_{g2} = R$	No temperature compensation. thermal effect on leadwires cancelled. bending strain cancelled. x1 output

รูปที่ 2.7 การติดตั้ง Strain Gage ลงบนโหลดเซลล์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-active-gage  
(2 in series)  
3-wire  
(cancelling bending strain)  
Nr. of gages: 2

Bending  
Monoaxial stress  
(uniform tension or compression)

$E_o = \frac{E}{4} K_s \epsilon_o$   
 $R_{g1}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R_{g2}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $\epsilon_o = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{2}$   
 $R$  : Fixed resistor  
 $R_{g1} + R_{g2} = R$

No temperature compensation; thermal effect on leadwires cancelled; bending strain cancelled; x1 output

2-active-gage  
(at right angles)  
Nr. of gages: 2

Monoaxial stress  
(uniform tension or compression)

$E_o = \frac{(1 + \nu)}{4} E K_s \epsilon_o$   
 $\nu$  : Poisson's ratio  
 $R_{g1}, R_{g2}$  : Gage resistor  
 $R_{g1}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R_{g2}$  ..... Strain :  $-\nu \epsilon_o$   
 $R$  : Fixed resistor

Temperature compensation; thermal effect on leadwires cancelled; x (1 +  $\nu$ ) output

2-active-gage  
(cancelling bending strain)  
Nr. of gages: 2

Bending stress

$E_o = \frac{E}{2} K_s \epsilon_o$   
 $R_{g1}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R_{g2}$  ..... Strain :  $-\epsilon_o$   
 $R$  : Fixed resistor

Monoaxial stress  
(uniform tension or compression)

$E_o = \frac{E}{2} K_s \epsilon_o$   
 $R_{g1}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R_{g2}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R$  : Fixed resistor

No temp. compensation; bending strain cancelled by gages cemented on front and back; nonlinearity compensation needed for large strain; x2 output

Opposite 2-active-gage  
3-wire  
Nr. of gages: 2

Monoaxial stress (uniform tension or compression)

$E_o = \frac{E}{2} K_s \epsilon_o$   
 $R_{g1}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R_{g2}$  ..... Strain :  $\epsilon_o$   
 $R$  : Fixed resistor

No temp. compensation; thermal effect on leadwires cancelled; bending strain cancelled by gages cemented on front and back; x2 output; correction of nonlinearity needed

รูปที่ 2.7 การติดตั้ง Strain Gage ลงบน โหลดเซลล์แบบต่างๆ(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4-active-gage (bending strain measuring)**

Nr. of gages: 4

Bending stress

$\epsilon_0 = K_s \cdot \epsilon_0 \cdot E$

$R_{g1}, R_{g3} \dots \dots$   
Bending strain :  $\epsilon_0$

$R_{g2}, R_{g4} \dots \dots$   
Bending strain :  $-\epsilon_0$

Temp. compensation: thermal effect on leadwires cancelled; compression (tension) strain cancelled; x4 output

**4-active-gage (gages at right angles)**

Nr. of gages: 4

Moniaxial stress (uniform tension or compression)

$\epsilon_0 = \frac{(1 + \nu)E}{2} K_s \cdot \epsilon_0$

$\nu$  : Poisson's ration

$R_{g1}, R_{g3} \dots \dots$   
Strain :  $\epsilon_0$

$R_{g2}, R_{g4} \dots \dots$   
Strain :  $-\nu \epsilon_0$

Temperature compensation: thermal effect on leadwires cancelled; x2(1+ν) output

**Active-dummy (4-gage method)**

Nr. of gages: 4

Moniaxial stress (uniform tension or compression)

Active gage

Dummy gage

$\epsilon_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \epsilon_0$

$R_{g1}, R_{g3} \dots \dots$   
Strain :  $\epsilon_0$

$R_{g2}, R_{g4} \dots \dots$   
Strain : 0

Temperature compensation: thermal effect on leadwires cancelled; bending strain cancelled by gages centred on front and back; x2 output

**2-active-dummy (twisting strain measuring)**

Nr. of gages: 2

$\epsilon_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \epsilon_0$

$R_{g1} \dots \dots$   
Twisting strain :  $\epsilon_0$

$R_{g2} \dots \dots$   
Twisting strain :  $-\epsilon_0$

R : Fixed resistor

Temperature compensation: thermal effect on leadwires cancelled; x2 output

**4-active-gage (twisting strain measuring)**

Nr. of gages: 4

$\epsilon_0 = K_s \cdot \epsilon_0 \cdot E$

$R_{g1}, R_{g3} \dots \dots$   
Twisting strain :  $\epsilon_0$

$R_{g2}, R_{g4} \dots \dots$   
Twisting strain :  $-\epsilon_0$

Temperature compensation: thermal effect on leadwires cancelled; bending strain cancelled; x4 output

รูปที่ 2.7 การติดตั้ง Strain Gage ลงบน โหลดเซลล์แบบต่างๆ(ต่อ)

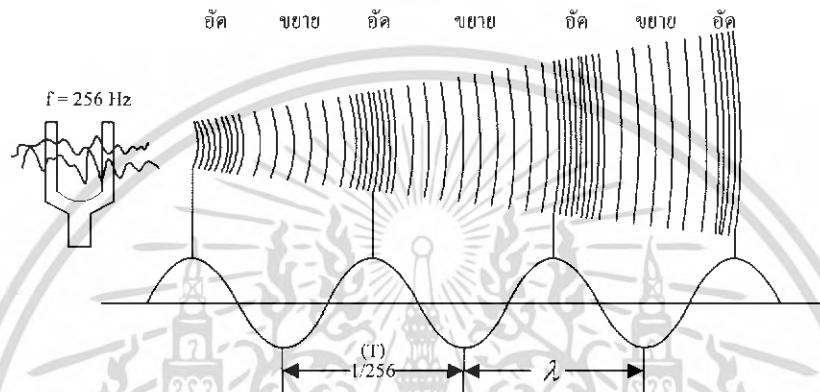
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ตัวเปลี่ยนระยะทางเป็นสัญญาณพัลส์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกซ์

### 2.3.1 คลื่น

คลื่นเกิดจากการแกว่งหรือการสั่น (Oscillated) ของวัตถุซึ่งจะเกิดเป็นพลังงานและถ่ายทอดออกจากแหล่งกำเนิดคลื่น ไปยังบริเวณ โดยรอบ โดยคลื่นทั่วไปสามารถจำแนกตามระหว่างทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลางกับทิศทางการเคลื่อนที่ได้สองชนิดคือ

#### 1) คลื่นตามยาว



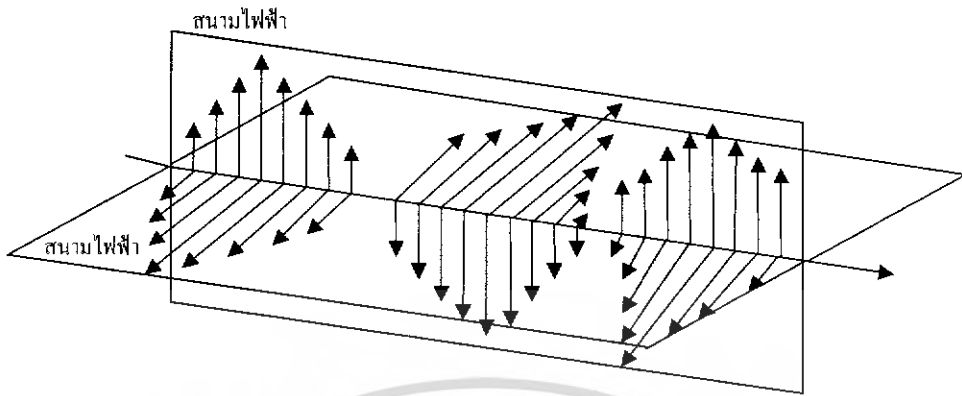
รูปที่ 2.8 ลักษณะการเกิดคลื่นยาว

คลื่นตามยาวคือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนไหวไปในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเช่นคลื่นเสียงเป็นต้นซึ่งแสดงลักษณะของคลื่นตามยาวได้ดังรูปที่ 2.8

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่ามีส่วนเป็นคลื่นอัด (Compression) คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันสูงและคลื่นขยาย (Rarefaction) คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำเมื่อนำค่าของความดัน (P) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางมาเขียนเป็นกราฟก็จะได้เป็นรูปคลื่นไซน์โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัดท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยายระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัดหรือส่วนขยายถึงส่วนขยายคือ 1 ความยาวคลื่นและมีคาบเวลาเป็น T ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1/f$  โดยจุดที่เป็นเส้นแกนนั้นมีค่าความดัน 1 บรรยากาศ

#### 2) คลื่นตามขวาง

คลื่นตามขวางเป็นคลื่นที่อนุภาคตัวกลางที่มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเช่นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นน้ำเป็นต้น โดยรูปที่ 2.9 จะเป็นการแสดงถึงลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะเกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และสนามไฟฟ้า (Electric Field) มีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นนั่นเอง



รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

### 2.3.2 คลื่นเสียง

คลื่นเสียงนั้นจัดอยู่ในรูปคลื่นยาวซึ่งจะมีความสามารถเดินทางผ่านวัตถุตัวกลางในลักษณะของการอัดและการขยายซึ่งจะทำให้เกิดเสียงขึ้นมาโดยแหล่งกำเนิดเสียงนั้นสามารถแบ่งได้ตามวัตถุกำเนิดเสียงได้ 3 ประเภทคือ

- 1.) เกิดจากการสั่นของสายหรือแท่งไม้แก่เครื่องสายต่างๆ ส้อมเสียง ฯลฯ
- 2.) เกิดจากการสั่นของแผ่นผิวได้แก่ไดอะเฟรมของลำโพง ฆ้องกลอง ฯลฯ
- 3.) เกิดจากการสั่นของลำอากาศได้แก่เครื่องเป่าต่างๆ ฯลฯ

เนื่องจากคลื่นเสียงนั้นอาศัยตัวกลางในการเดินทางจึงมีผลทำให้คลื่นเสียงนั้นไม่สามารถผ่านสุญญากาศได้

#### 1) ลักษณะของคลื่นเสียง

ลักษณะของคลื่นเสียงความถี่ของคลื่นเสียงในตัวกลางใดๆ คือความถี่ของการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ - 20 กิโลเฮิรตซ์ เรียกว่า “Audible Frequency” ความถี่ต่ำกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า “Infrared Frequency” และความถี่ที่สูงกว่ามนุษย์ได้ยินเรียกว่า “Ultrasonic Frequency”

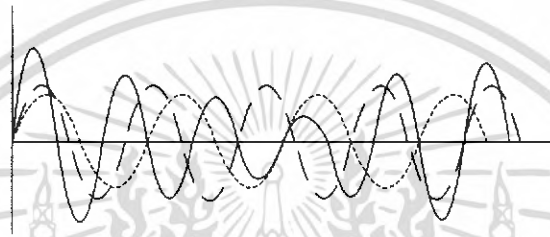
“อัตราเร็วของเสียง” อัตราเร็วของคลื่นเสียงนั้นจะมีการแปรผันตามคุณสมบัติของตัวกลางที่มีเสียงเดินทางซึ่งตัวแปรที่จำกัดความเร็วของเสียงคือความหนาแน่น (Density) อุณหภูมิ (Temperature) และความยืดหยุ่น (Elasticity)

#### 2) คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง

คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียงแบ่งได้สี่แบบคือ

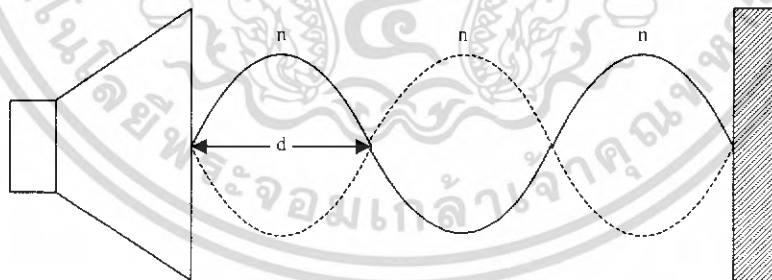
### 2.1) การแทรกสอด (Interference)

เกิดจากการรวมกันของคลื่นสองคลื่นขึ้นไปขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกันซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะเช่นการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกันหรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วจะรวมเป็นคลื่นใหม่และจะทำให้ขนาดเปลี่ยนไปซึ่งจะเรียกว่า “การบีท” (Beat) จากรูปที่ 2.10 เป็นการแสดงการรวมของคลื่นสองคลื่นซึ่งจะได้คลื่นที่มีขนาดเปลี่ยนไป ประโยชน์ของการรวมคลื่นนั้นจะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของขนาดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.10 การรวมของคลื่นที่มีความถี่ต่างกันหรือเฟสต่างกัน

การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นชุดที่มีขนาดเท่ากันและความถี่เดียวกันแต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงกันข้ามกันซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง

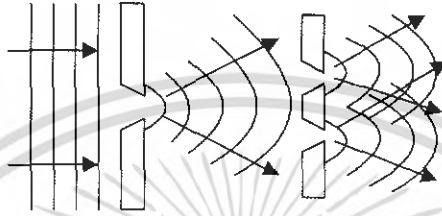


รูปที่ 2.11 ลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2) การเลี้ยวเบนของคลื่นนิ่ง (Diffraction)

คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เราพบอยู่ในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลาเช่นในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่แล่นอยู่คนละถนนของมุมตึกหรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็กๆ จากอีกห้องหนึ่งเป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะของคลื่นเสียงผ่านช่องแคบๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดใหม่

## 2.3) การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

คลื่นเสียงจะสามารถสะท้อนได้ก็ต่อเมื่อตกกระทบตัวกลางโดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนและจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 0.05 วินาทีจะทำให้ได้ยินเสียงนั้นเป็นครั้งที่สอง

## 2.4) การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

คลื่นเสียงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่นซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไปโดยที่ความถี่ยังคงอยู่ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.3.3 คลื่นอัลตราโซนิคส์

คลื่นอัลตราโซนิคส์ (Ultrasonic Wave) เป็นคลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์ได้ยิน ดังนั้นคำว่า “อัลตราโซนิคส์” จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมากกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป สาเหตุที่นำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิคส์มาใช้เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจงซึ่งเป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่งการมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิคส์ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง

คลื่นอัลตราโซนิคส์คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่ามนุษย์จะสามารถได้ยินซึ่งจะมีความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ - 104 จิกะเฮิร์ตซ์ โดยคลื่นที่มีความถี่มากกว่า 104 จิกะเฮิร์ตซ์และมีค่าขนาดสูงจะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวด์” (Hypersound) โดยคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิคส์จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลื่นเสียงที่กล่าวมาแล้วคลื่นอัลตราโซนิคส์ส่วนใหญ่จะกำเนิดจากการแกว่งหรือการสั่น (Oscillation) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นไซน์ (Sinusoidal) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคส์และมีความถี่ต่างๆ ซึ่งความยาวคลื่นของคลื่นในแต่ละความถี่จะแตกต่างกันออกไปด้วย

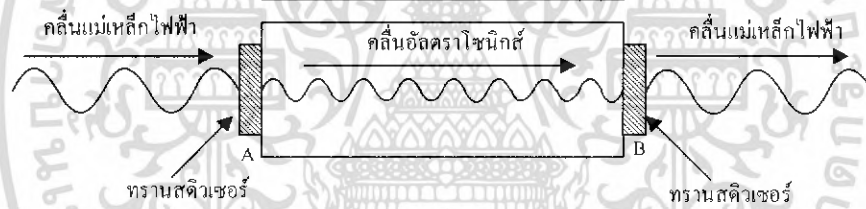
จากตารางที่ 2.1 แสดงค่าที่  $C = 1000$  เมตรต่อวินาทีและ 3000 เมตรต่อวินาทีซึ่งอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวและเปรียบเทียบกับค่าการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่เดียวกันจะเห็นว่ามีความแตกต่างกันมากโดยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคส์จะมีค่าต่ำกว่าความเร็วในการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก (ในสูญญากาศมีความเร็วประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที) จากหลักการนี้มีประโยชน์มากในตัวอย่างของระบบโทรทัศน์และระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยเวลา (Delay) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ไปเป็นคลื่นอัลตราโซนิคส์โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) จะมีหลักการคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 0.001 วินาทีจะสามารถเดินทางได้ระยะทาง  $3 \times 10^8 \times 10^3 = 300$  กิโลเมตรซึ่งมีค่ามากเราจึงสามารถหน่วงสัญญาณนี้ได้โดยเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นอัลตราโซนิคส์ซึ่งจะใช้อุปกรณ์สายส่งที่การสูญเสียที่น้อยที่สุด (Delay Line) จะแสดงดังรูปที่ 2.20 ซึ่งประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิคส์โดยคลื่นที่จะเคลื่อนที่ในอุปกรณ์สายส่งที่มีการสูญเสียที่น้อยที่สุด (Delay Line) ในระยะทาง  $d$  ที่ระยะ  $d$  นี้อาจใช้ตัวกลางที่เป็นก๊าซ ของเหลวหรือของแข็งซึ่งจะมีความเร็วที่แตกต่างกันออกไป

62704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความยาวคลื่น ความถี่และความเร็วของคลื่นที่มีค่าต่างกัน

ความถี่	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ )		
	ค่าที่ $C = 1000$ m/s	ค่าที่ $C = 3000$ m/s	การแผ่รังสีของคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า
20 kHz = $2 \cdot 10^4$ Hz	5 cm	15 cm	$1.5 \cdot 10^3$ m
100 kHz = $10^5$ Hz	1 cm	3 cm	$3 \cdot 10^3$ m
1 MHz = $10^6$ Hz	1 cm	3 cm	300 m
50 MHz = $5 \cdot 10^7$ Hz	$20 \mu\text{m}$	$60 \mu\text{m}$	6 m
1 GHz = $10^9$ Hz	$1 \mu\text{m}$	$3 \mu\text{m}$	30 m



รูปที่ 2.14 การห้วงสัญญาณระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับคลื่นอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าความเร็วและคุณสมบัติทางด้านอิมพีแดนซ์ของคลื่นอัลตราโซนิกส์ในตัวกลางที่เป็นแก๊สและของเหลว

ชนิดของสาร	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ความ หนาแน่น (กิโลเมตรต่อ วินาที)	ความเร็ว เสียง (เมตรต่อ วินาที)	คุณสมบัติทาง อิมพีแดนซ์ (นิวตันวินาทีต่อ ลูกบาศก์เมตร)
แก๊ส				
อาร์กอน	0	1.783	319	459
ฮีเลียม	0	0.178	965	172
ออกซิเจน	0	1.429	316	452
ไฮโดรเจน	0	0.090	1284	116
คาร์บอนไดออกไซด์	0	1.977	259	512
อากาศ	0	1.293	331.45	429
ของเหลว				$10^6$
น้ำ	20	998	1483	1.48
ปรอท	20	13500	1451	19.6
กลีเซอริน	20	1228	1895	2.33
อีเธลีนแอลกอฮอล์	20	790	1159	0.92
เมทิลีนแอลกอฮอล์	20	792	1120	0.89
คาร์บอนไดซัลไฟด์	20	1264	1157	1.46

### 2.3.4 ความแรงและคลื่นกำลังของอัลตราโซนิกส์

เมื่อทรานสดิวเซอร์ของอัลตราโซนิกส์ได้ปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกส์ออกไปจะทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นสะเทือน ดังนั้นอนุภาคนั้นจึงมีพลังงานเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนอัตราการไหลของพลังงานจึงเป็นความแรงของลำอัลตราโซนิกส์และอาจกล่าวได้ว่าความแรงของลำอัลตราโซนิกส์ที่จุดๆ หนึ่งเป็นอัตราการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งวางอยู่ตั้งฉากกับลำอัลตราโซนิกส์ที่จุดนั้นและเมื่อความแรงของลำอัลตราโซนิกส์เพิ่มมากขึ้นจะมีการเพิ่มในขนาดของแรงกดดันขนาดการเคลื่อนที่ของอนุภาคและความเร็วหรือความแรงของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของอัลตราโซนิกส์จะเป็นอัตราการไหลของพลังงานที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลำอัลตราโซนิกส์จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{กำลังของอัลตราโซนิกส์} = \text{ความเข้มของอัลตราโซนิกส์} \times \text{พื้นที่หน้าตัดของอัลตราโซนิกส์}$$

(วัตต์) (วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) (2.2)

ในการใช้งานคลื่นอัลตราโซนิกส์นั้นเนื่องจากเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถส่งคลื่นที่ต้องการไปยังเป้าหมายได้อย่างเจาะจงและถ้าคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลงโดยความยาวของคลื่นจะมากกว่าช่องเปิดของทรานสดิวเซอร์เช่นคลื่นความถี่ 300 เฮิร์ตซ์เป็นต้นในอากาศมีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตรและยาวกว่าช่องเปิดของตัวทรานสดิวเซอร์จะทำให้คลื่นเสียงที่ออกมาจากตัวกำเนิดเสียงนี้เกิดการหักเหและเลี้ยวเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงซึ่งจะทำให้เกิดการกระจายของคลื่นเสียง (Scatter) ไม่มีทิศทางแน่นอนแต่ถ้าจะใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นในย่านอัลตราโซนิกส์เช่นความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้นซึ่งจะเล็กกว่าช่องเปิดของตัวกำเนิดเสียงมากคลื่นเสียงที่ได้จะไม่เลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งเป็นลำแคบๆ (Beam) ซึ่งมีทิศทางแน่นอน

คลื่นอัลตราโซนิกส์นั้นเมื่อต้องเดินทางในอากาศความถี่ที่ใช้งานมักจะถูกจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์เพราะถ้าความถี่สูงขึ้นกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้นทำให้ระดับความแรงของคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็วส่วนการใช้งานในด้านการแพทย์นั้นจะใช้รัศมีทำการสั้นๆ จึงใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกะเฮิร์ตซ์ - 10 เมกะเฮิร์ตซ์ส่วนความถี่ที่เป็นจิกะเฮิร์ตซ์จะมีการใช้งานในตัวกลางที่คลื่นเดินทางนั้นไม่ใช่อากาศแต่เป็นตัวกลางชนิดอื่นๆ เช่นน้ำเป็นต้น

จากการมีทิศทางของคลื่นอัลตราโซนิกส์ทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่างเช่นนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic Remote Control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยให้นำน้ำที่ความถี่สูงเครื่องวัดความหนาของวัสดุใช้ทดสอบการรั่วของท่อเป็นต้นโดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งานเช่นถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศความถี่ที่ใช้มักจะถูกจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์เพราะที่ความถี่สูงกว่านี้อากาศจะดูดกลืนเสียงเพิ่มขึ้นทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว

### 2.3.5 อัลตราโซนิกส์ ทรานสดิวเซอร์

อัลตราโซนิกส์ ทรานสดิวเซอร์คืออุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมาซึ่งทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกส์กระจายไปในวัตถุตัวกลางหรือจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกส์แปลงเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นจากตัวทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกส์มี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

#### 1) ทรานสดิวเซอร์ทางกล (Mechanical Transducers)

#### 2) อิเล็กโตรเมคานิกัลทรานสดิวเซอร์ (Electromechanical Transducers)

อิเล็กโตรเมคานิกัลทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางเสียงที่ใช้กันอยู่มี 3 ชนิดคือ

##### 2.1) แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil)

แบบขดลวดเคลื่อนที่คล้ายแบบขดลวดเคลื่อนที่ของลำโพงซึ่งมีประโยชน์ในการใช้เป็นตัวต้นของการทดสอบความแรงของอุปกรณ์แบบขดลวดเคลื่อนที่ชนิดรีบบอนซึ่งจะทำได้ด้วยอลูมิเนียมบางๆ วางไว้ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็กมันจะทำงานเสมือนเป็นขดลวดของแบบขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งใช้ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกส์ในการศึกษาคุณสมบัติในการเคลื่อนที่อัลตราโซนิกส์ของก๊าซ

##### 2.2) แบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic)

แบบไฟฟ้าสถิตจะใช้หลักการที่ว่าในระหว่างแผ่นขนานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะขนาดสองแผ่นพร้อมไดอิเล็กทริกเต็มช่องว่างระหว่างแผ่นเมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงขึ้นหลักการใหญ่ของมันจะใช้ทำลำโพงที่มีคุณภาพสูงแต่การทำให้เกิดการสั่นแบบคลื่นอัลตราโซนิกส์ในของแข็งแบบที่ 1 และแบบที่ 2 นั้นไม่ค่อยจะใช้กันส่วนแบบที่ 3 และแบบที่ 4 จะนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

##### 2.3) แบบเปียโซอิเล็กทริกและแบบเฟอร์โรอิเล็กทริก

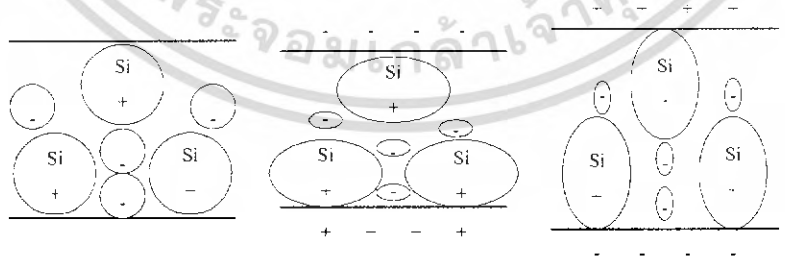
แบบเปียโซอิเล็กทริกและแบบเฟอร์โรอิเล็กทริกในผลึกประกอบไปด้วยโพล่าโมเลกุลซึ่งจุดศูนย์กลางของความสมมาตรถ้าตัดเอาเพลทอันเนื่องมาจากผลึกนี้แล้วทำให้เกิดการบิดงอด้วยเครื่องมือกลซึ่งจะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลทและปรากฏการณ์นี้เรียกว่าผลโดยตรงของเปียโซอิเล็กทริกระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลทนี้จะเกิดการบิดเบี้ยวไปเองจะเรียกปรากฏการณ์ว่าผลในทางตรงกันข้ามของเปียโซอิเล็กทริกตัวอย่างเช่นผลึกควอทซ์เป็นต้นดังจะเห็นรูปที่ 2.15 ซึ่งแสดงถึงหนึ่งหน่วยเซลล์ที่อยู่ระหว่างเพลทที่ขนานกัน

รูปที่ 2.15 (ก) จะอยู่ในสภาวะปกติจุดศูนย์กลางของประจุไฟฟ้าของซิลิคอนกับประจุไฟฟ้าลบของออกซิเจนอยู่ที่เดียวกันและจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองเท่ากันจะไม่เกิดไดโพลโมเมนต์ขึ้น

ดังนั้นผลเนื่องจากการกระจายของประจุไฟฟ้าตกร้อนระนาบทั้งสองที่ขนานกันจึงเป็นศูนย์รูปที่ 2.15 (ข) ถ้าทำให้มันเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิมโดยการจัดให้หดหรือดัดงอรูปที่ 2.15 (ค) จุดศูนย์กลางของประจุไฟฟ้าทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกันซึ่งทำให้เกิดการกระจายของประจุไฟฟ้าขึ้นระหว่างระนาบทั้งสองการทำให้เปลี่ยนรูปร่างด้วยการอัดหรือการหดตามรูปนั้นจะเป็นการแยกจุดศูนย์กลางผลจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าปรากฏบนระนาบทั้งสองซึ่งในรูปแบบนี้เรียกว่าผลโดยตรงของเปียโซอิเล็กทริก

สำหรับผลในทางตรงกันข้ามของเปียโซอิเล็กทริกจะเกิดได้โดยให้สนามไฟฟ้าระหว่างเพลททั้งสองทำให้จุดศูนย์กลางของทั้งสองประจุไฟฟ้าเคลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เซลล์บิดเบี้ยวไปถ้ามีแผ่นควอทซ์ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ในทิศทางที่จะทำให้เกิดการสั้นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้เมื่อเราให้สนามไฟฟ้ากระแสสลับเพลทนี้จะขยายและหดตัวด้วยความถี่เดียวกันของกับสนามไฟฟ้าซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบดังนั้นมันก็จะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่ให้ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก สารไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นสารอิเล็กโทรสแตติกแต่ปกติผลนี้จะน้อยมาก แต่สารที่ให้ผลมากได้แก่สารไททานเนตสารซีคอนเทและไนครณีเช่นนี้เราเรียกว่าสารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปกติแล้วสารเหล่านี้มักมากกว่าสารเฟอร์โรอิเล็กทริกปกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซรามิกซึ่งประกอบไปด้วยโคเมนที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันมากๆ ถ้านำสารแบบนี้มาสักหนึ่งชนิดแล้วนำไปเผาให้สูงกว่าอุณหภูมิเคอริกของมันและทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูงๆ ทิศทางของขั้วโคเมนต่างๆ จะวางไปแนวเดียวกับสนามไฟฟ้าและยังคงอยู่ต่อไปเช่นนั้นแม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไปนั้นแสดงว่ามันจะแสดงคุณสมบัติเช่นเฟอร์โรแมเนทอิเล็กทริกเป็นต้นบางทีมันจะเป็นสารเปียโซอิเล็กทริกถ้าหากมันเป็นไปตามสมการของสารเปียโซอิเล็กทริกตามธรรมชาติ จะใช้สมการเหล่านี้อธิบายคุณสมบัติของสารเปียโซอิเล็กทริกแท้ๆ



(ก) เซลที่ยังไม่ถูกแรงใดๆ (ข) เซลถูกอัด (ค) เซลถูกยืด

รูปที่ 2.15 คุณสมบัติของสารเปียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้กันทางอุตสาหกรรมนั้นมักมีคุณสมบัติพิเศษคือผลของเปียโซอิเล็กทริก และที่ใช้กันมากคือแร่ควอทซ์ซึ่งเมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์ยังจะแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะได้ค่าสัดส่วนของไดอิเล็กทริกของวัสดุคูณด้วยพื้นที่หารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายกับคาปาซิเตอร์ที่วอลุ่มเล็กโทรดที่อยู่สองข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิก ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารเซรามิกที่ได้รับความนิยมจะทำให้ไดโพลเคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไปก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริกถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริกจะหมดไปดังนั้นความร้อนจะทำให้ทรานสดิวเซอร์และโดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิเคอริคค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นค่าทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าจึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ซึ่งแบรียมิตานเทจะมีค่ามากกว่าผลึกแร่ควอทซ์ 5 - 6 เท่าเนื่องมาจากค่าไดอิเล็กทริกต่ำมากและค่าคงที่ต่ำดังนั้นจึงไม่ค่อยได้นำควอทซ์มาใช้ในเครื่องอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

### 2.3.7 คุณสมบัติความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะรูปร่างความถี่ของทรานสดิวเซอร์จะหาได้ดังตัวอย่างเช่นเซรามิกแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ได้สามอย่างคือมีการยืดหดตัวตามความหนาและตามรัศมีและอย่างไรก็ดีเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปสามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดตัวในแนวไหนก็ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่ใช้บริษัทที่ทำทรานสดิวเซอร์จะกำหนดค่าความถี่สำหรับแต่ละแบบของการยืดหด

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติบางประการของสารเซรามิก

ชนิดของสาร	อุณหภูมิเคอริค (°C)	ประจุไฟฟ้า (Q)	ค่าคงที่ ไดอิเล็กทริก (K)	ค่าคงที่
ควอทซ์	550	สูงมาก	4.5	0.09
แบรียมิตานเท	100	400-700	1700	0.38
ลิคเซอโคเนตตานเท	300	90-500	1450	0.51

### 2.3.8 เปียโซทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วยชั้นสารเปียโซอิเล็กทริกซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิดด้วยกันเช่นผลึกควอทซ์, แบรียมิตานเทเป็นต้น แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือชั้นสารที่ทำจากแบรียมิตานเทซึ่งได้จากการผสมสารเคมีเดียวกับสารแบรียมคาบอเนทที่ระดับอุณหภูมิ

ประมาณ 1300 – 1400 องศาเซลเซียสและผลิดออกมาในรูปของชิ้นสารเซรามิกซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่ชิ้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่นซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงินเพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์นั่นเองด้านข้างหนึ่งของเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นส่วนอีกด้านจะถูกยึดกับแผ่นไดอะเฟรมซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะเฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายกับเลนส์เพื่อที่จะรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้นซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างต่อไป

### 2.3.9 ผลของเปียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์แบบเปียโซอิเล็กทริกสามารถอธิบายได้คือเมื่อสภาวะปกติยังไม่มีแรงดันหรือคลื่นมากระทบชิ้นสารเซรามิกประจุไฟฟ้าในชิ้นสารจะเกิดการสมดุลทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์แต่เมื่อมีแรงดันหรือคลื่นเสียงมากระทบชิ้นสารเซรามิกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสารคือมีการโค้งงอไปมาตามลักษณะของคลื่นที่มาตกกระทบซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิดการจัดเรียงประจุคือเกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นที่ประกบชิ้นสารเซรามิกคนัลตราโซนิคส์จะทำงานก็ต่อเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 - 100 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดันที่ป้อนนี้ทำให้ชิ้นสารเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยที่ด้านหนึ่งของชิ้นสารเซรามิกถูกกดกับแผ่นไดอะเฟรมและเมื่อชิ้นสารเซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาทำให้แผ่นไดอะเฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบจึงเกิดเป็นคลื่นความถี่สัญญาณที่ป้อนเข้ามาซึ่งคลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังเอาต์พุตสูงสุดก็ต่อเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งจะเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกชิ้นนั้นจะทำให้ความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะมีค่าลดลงกว่าความถี่เรโซแนนซ์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าคือตัวรับคลื่นอัลตราโซนิคส์จะทำงานก็ต่อเมื่อมีคลื่นความดันมาตกกระทบแผ่นไดอะเฟรมซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชิ้นสารเซรามิกถูกบีบไปมาซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกบนชิ้นสารทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบได้

## 2.4 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่ได้รวบรวมเอาหน่วยประมวลผลหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกวงจรรับสัญญาณอินพุตรวมทั้งวงจรขับสัญญาณเอาต์พุตหน่วยความจำและวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกันทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดีช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

#### 2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

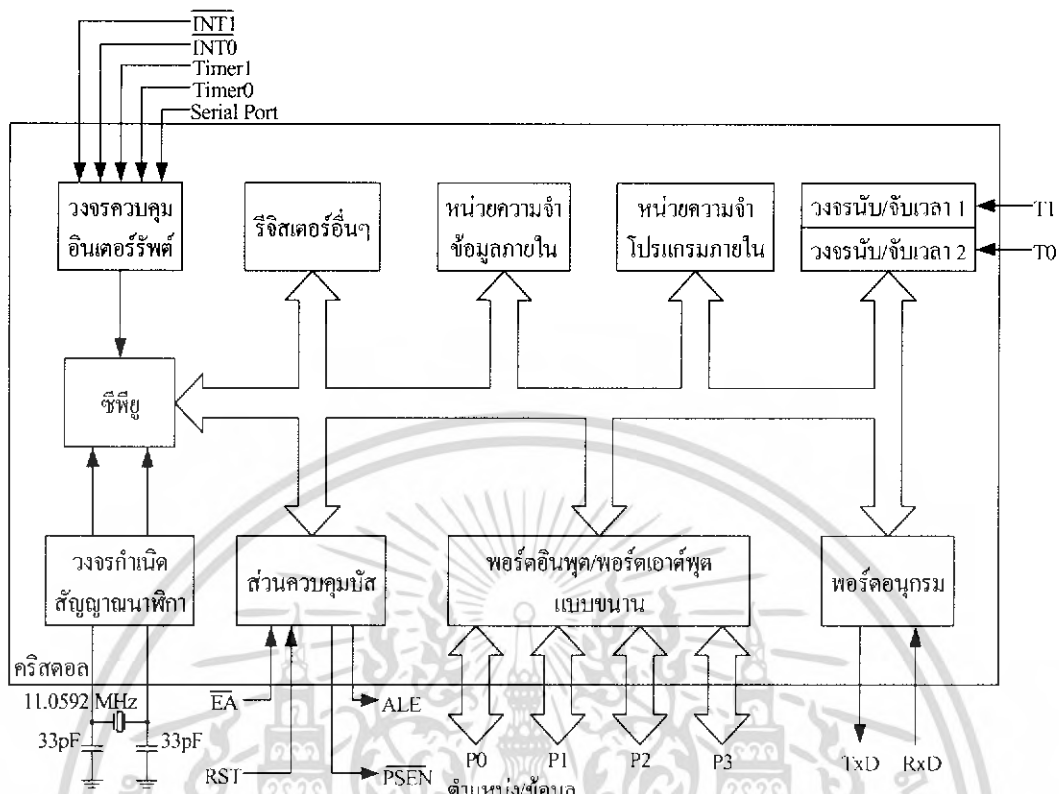
1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
2. ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้
3. หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรมในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
4. ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
5. มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
6. ไทมเมอร์/คาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
7. สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
8. สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
9. มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในชิป

#### 2.4.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น แอนด์เกต ออร์เกต หรือ นอตเกต เป็นต้น เกตเหล่านี้สามารถนำมาออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่าง ๆ เช่น วงจรบวกเลข วงจรเลื่อนข้อมูล วงจรถอดรหัสคำสั่ง และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น ในรูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

##### 1) หน่วยประมวลผลกลาง

ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนประมวลผลทางคณิตศาสตร์จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่น การบวก การลบ การคูณ หรือการหารข้อมูลแล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ต้องการ และส่วนควบคุม ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม ได้แก่ สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ สัญญาณติดต่อกับอุปกรณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกรวมทั้งส่วนควบคุมการเข้าจังหวะและส่วนควบคุมบัสด้วยซีพียูจะทำการสร้างสัญญาณควบคุมโดยการถอดรหัสคำสั่งที่ได้กำหนดไว้และสัญญาณที่สร้างขึ้นจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกาเพื่อให้ทุกส่วนทำงานประสานกันอย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

2) หน่วยความจำ มีหน้าที่จำข้อมูลซึ่งการนำข้อมูลเข้าหรือออกจากหน่วยความจำจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของหน่วยความจำในการนำข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำเรียกว่าการเขียนข้อมูลในการอ่านข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะสามารถเก็บข้อมูลที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0000B – 1111B หรือ 000H ถึง 0FF H ในการติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่มคือ

1. ตำแหน่งที่ติดต่อกับหน่วยความจำซึ่งสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้สูงสุดชนิดละ 65,536 ตำแหน่ง 64 กิโลไบต์ดังนั้นการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้สายสัญญาณกำหนดตำแหน่งทั้งหมด 16 เส้น

2. ข้อมูลที่อ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำในบริเวณตำแหน่งที่ต้องการ

3. สัญญาณควบคุมที่ส่งไปยังหน่วยความจำเพื่อบอกกับหน่วยความจำเมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลซึ่งวงจรถอดรหัสคำสั่งทำการสร้างสัญญาณควบคุมจากคำสั่งที่อ่านเข้ามาจากหน่วยความจำโปรแกรม

3) อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือนำข้อมูลออกจาก MCS-51 ทำให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ได้แก่

1. พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนาน 4 พอร์ตใช้รับส่งข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจาก MCS-51 โดยแต่ละพอร์ตจะรับส่งข้อมูลได้ 8 บิต พอร์ต P0, P1, P2 และ P3 บางพอร์ตจะใช้งานมากกว่าหนึ่งหน้าที่

2. วงจรนับ/จับเวลาทำงานได้ 2 หน้าที่คือใช้เป็นวงจรรนับหรือจับเวลาเมื่อเป็นวงจรรนับจะทำการนับจำนวนรอบของสัญญาณนาฬิกาภายใน MCS-51 ก็ได้ สามารถตั้งค่าเริ่มต้นของการนับและอ่านค่าการนับได้โดยซีพียูเมื่อเป็นวงจรรจับเวลาจะใช้หลักการเดียวกันกับวงจรรนับเพียงแต่จะกำหนดค่าสูงสุดของการนับไว้ซึ่งค่าสูงสุดของการนับจะคำนวณมาจากเวลาที่ต้องการจับเวลานั้นเอง

3. พอร์ตอนุกรมซีพียูจะอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ตอนุกรมเป็นแบบ 8 บิตซึ่งแต่ละข้อมูลจะถูกส่งออกจาก MCS-51 เรียงไปครั้งละบิตออกจากขา TxD และในการรับข้อมูลจะรับเข้ามาครั้งละบิตทางขา RxD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิตเพื่อให้ซีพียูอ่านไปใช้งานต่อไป

#### 2.4.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2.17 ดังนี้

P1.0	1	40	--Vcc
P1.1	2	39	P0.0/AD0
P1.2	3	38	P0.1/AD1
P1.3	4	37	P0.2/AD2
P1.4	5	36	P0.3/AD3
P1.5	6	35	P0.4/AD4
P1.6	7	34	P0.5/AD5
P1.7	8	33	P0.6/AD6
RESET	9	32	P0.7/AD7
P3.0/RxD	10	31	EA
P3.1/TxD	11	30	ALE
P3.2/INT0	12	29	PSEN
P3.3/INT1	13	28	P2.7/A15
P3.4/T0	14	27	P2.6/A14
P3.5/T1	15	26	P2.5/A13
P3.6/WR	16	25	P2.4/A12
P3.7/RD	17	24	P2.3/A11
XTAL2	18	23	P2.2/A10
XTAL1	19	22	P2.1/A09
GND	20	21	P2.0/A08

รูปที่ 2.17 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS - 51 มีดังนี้

- ขา GND (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวนด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ (DC 5 Volt)
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32 - 39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0 - 0.7) แบบ

Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย (มีสถานะ high impedance) นอกจากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วยโดยส่งค่าแอดเดรสไบต์ (A0 - A7) และมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0 -D7) จากหน่วยความจำภายนอกระหว่างการทำงาน หรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรถูกอ์ภายใน

ขาพอร์ต 1 (ขา 1 - 8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0 -P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุทหรือเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรถูกอ์ภายใน

-ขาพอร์ต 2 (ขา 21 - 28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 ( P2.0 - P2.7) ขนาด 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะ high impedance นอกจากจะใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้งานในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8 - A15) และมีวงจรถูกอ์ภายใน

-ขาพอร์ต 3 (ขา 10 - 17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0 - 3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาต์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยใช้วงจรถูกอ์ภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ อีกหลายอย่างดังนี้

- ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลภายนอกแบบอนุกรม
- ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลไปภายนอกแบบอนุกรม
- ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0
- ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1
- ขา P3.4 สัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทมเมอร์ 0
- ขา P3.5 สัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทมเมอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูล ไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

- ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้จะต้องโหลดค่า 1 แต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิปเพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซ็ตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซ็ตชิป MCS - 51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมกซ์ซีไอเกิลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์ม เพื่อทำหน้าที่ पुलдаวน์ (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ Vcc

- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาใช้สำหรับส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (address latch enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม หรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้เวลาที่จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS - 51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น EPROM

- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสตโรบเพื่ออ่านสัญญาณจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (program strobe enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสตโรบ 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซีไอเกิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS - 51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS - 51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS - 51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายใน

ชิป หรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิปด้วยการต่อขา EN กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

- ขา XTAL 1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรถอสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL 2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุทออกจากวงจรถอสซิลเลเตอร์

## 2.5 จอแสดงผล LCD (Liquid Crystal Display)

เป็นจอแสดงผลแบบผลึกเหลวซึ่งเป็นสารที่รวมกันอยู่อย่างได้สัดส่วนระหว่างของเหลวกับผลึก จุดหลอมเหลวของสารชนิดนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เรียกว่า เมโซเฟส ซึ่งโมเลกุลของสารสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนดังของเหลว แต่สารชนิดนี้ถูกจัดอยู่ประเภทเดียวกับผลึกชนิดที่เป็นของแข็งต่างๆ ไป

ข้อดีทั่วไปของ LCD คือ

- เบบางและพกพาสะดวก มีความหนาเพียงไม่กี่มิลลิเมตร
- ใช้พลังงานน้อย เนื่องจากต้องการกำลังงานน้อยและแรงดันต่ำ ทำให้สามารถใช้งานได้ยาวนานแม้จะมีเพียงแบตเตอรี่ขนาดเล็กเป็นตัวจ่ายกำลัง ทั้งยังใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น CMOS ได้สบาย
- เป็นตัวแสดงผลแบบพาสซีฟ เพราะว่า LCD ไม่ได้กำเนิดแสง การอ่านค่าที่ตัวแสดงผลต้องใช้แสงสว่างจากภายนอกเพิ่มขึ้น หากต้องการอ่านค่าในที่มืด ทำได้โดยใช้แสงไฟส่องมาจากด้านหลังของแผง LCD
- ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างและมีอายุการใช้งานนาน
- ใช้งานได้กว้างขวาง ด้วยข้อดีที่กล่าวมาทำให้ LCD เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ผลิตออกสู่ตลาด
- ราคาเหมาะสม และหาซื้อไม่ยาก

โดยทั่วไปแล้วเรามักจะเห็น LCD เป็นส่วนประกอบของนาฬิกา เครื่องคิดเลข และเครื่องมือวัด ในสมัยแรกตัวแสดงผลจะมี 7 ส่วนส่วนที่มีตัวแสดงผลจำกัดแต่ไม่ก็หลักเท่านั้น การพัฒนาในขั้นตอนต่อมาทำให้ LCD ก้าวเข้าไปมีบทบาทในวิทยุเคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแสดงผลต่าง ๆ ปัจจุบัน LCD ได้เข้ามาแทนที่ CRT (Carthde Ray Tube) ในการแสดงผลข้อความและกราฟฟิก ตลอดจนนำเข้ามาแทนที่จอภาพโทรทัศน์ในที่สุด

ถ้ามีแรงดันป้อนให้ตัวนำไฟฟ้าชนิดไอ คุณสมบัติแอนนิโซโทรปี ทางไฟฟ้าของโมเลกุลทำให้การวางตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไป แสงจะผ่านของเหลวด้วยทิศทางคงเดิม จึงสามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์ด้านบนออกไปได้ เมื่อเราหยุดป้อนแรงดัน โมเลกุลก็จะเรียงตัวดังเดิมอีกครั้ง แสงก็จะสามารถทะลุผ่านไปได้อีก การทำงานของ LCD แบบนี้ เรียกว่า การแสดงผลเชิงบวก (positive image display) หากเราวางแผ่นโพลาไรซ์ให้หมุนไปมากกว่า 90 องศา ผลก็จะเกิดตรงกันข้ามคือ LCD จะมืดทึบเมื่อไม่มีแรงดันป้อน แต่จะเป็นแสงใสเมื่อป้อนแรงดัน เช่นนี้เรียกว่า การแสดงผลเชิงลบ (negative image display)

แบบต่างๆ ของการแสดงผล

LCD สามารถแสดงผลให้เราเห็นได้โดยมีหลักการ 3 แบบ จะเลือกใช้แบบใดขึ้นอยู่กับแสงสว่างโดยรอบ

1. แบบสะท้อน (reflective mode) จะมีสารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD เช่นเคลือบด้วยอลูมิเนียมฟอสไฟด์ จะทำการสะท้อนแสงจากภายนอกผ่านตัวแสดงผลไปยังตาของเรา แบบนี้จะเหมาะสำหรับที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ ข้อดีคือ ไม่ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันป้อนให้กับหลอดไฟใด ๆ อีก
2. แบบส่งผ่าน (transmissive mode) มักใช้กับ LCD ที่มีการแสดงผลเชิงลบ (ซึ่งสภาวะการทำงานของตัวแสดงผลจะโปร่งใสในขณะที่พื้นที่เป็นสีทึบ) แบบนี้จะวางหลอดไฟไว้ด้านหลังทำให้อ่านค่าแสดงผลได้ชัด
3. แบบส่งผ่าน/สะท้อน (transflective mode) เป็นการรวมระหว่าง 2 แบบ ที่กล่าวมา ตัวแสดงผลอ่านได้จากการสะท้อนของแสงจากภายนอก และมีแสงส่องสว่างมาจากด้านหลังเมื่อต้องการอ่านค่าต่าง ๆ ในที่มืด

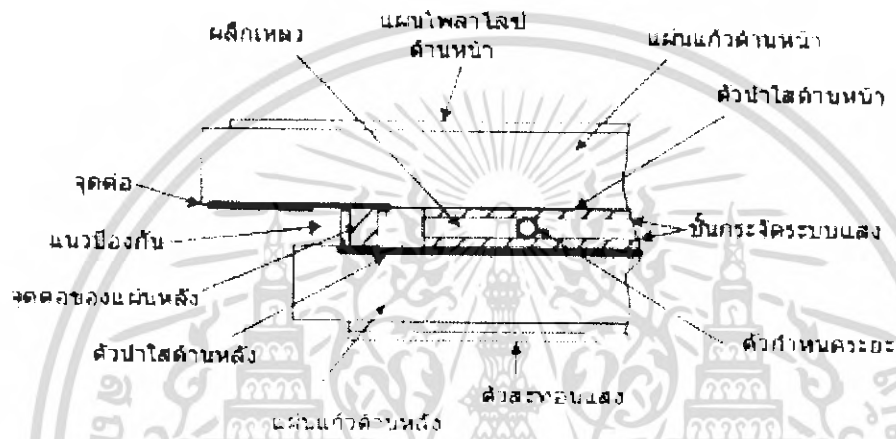
## 2. 5.2 คุณสมบัติทางแสง

ความคมชัดในการอ่านขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญคือ ความสว่าง และความเข้มแสงของตัว LCD เอง ความเข้มของแสงหาได้จากความสว่างของบริเวณ ไร้อิทธิพลด้วยความสว่างของบริเวณที่มีสีทึบ ใน LCD แบบ TN อัตราส่วนของความเข้มของแสงจะอยู่ในย่าน 5 ถึง 50 แต่อัตราส่วนความเข้มสูงสุดที่ตามนุษย์ สามารถจับได้มีค่าประมาณ 10 และความชัดเจนอย่างน้อยที่สุดประมาณ 2

ในตัวแสดงผลแบบที่มีแสงส่องจากด้านหลังต้องมีอัตราส่วนความเข้มของแสงสูงเป็นพิเศษ เพราะเมื่อมองผ่านแสงสวนที่ขึ้นมาตาของเราจะจับความเข้มได้น้อยลง ทั้งความสว่างและความเข้มขึ้นอยู่กับชนิดและแผ่น โพลาไรซ์ สำหรับตัวแสดงผลแบบสะท้อนเชิงบวก แผ่น โพลาไรซ์คุณภาพต่ำจะให้ความสว่างมากแต่ความเข้มน้อย ส่วนแผ่นโพลาไรซ์ประสิทธิภาพสูงจะให้ความสว่างน้อยแต่ความเข้มสูง

### 2.5.1 โครงสร้างของ LCD

ประกอบด้วยแผ่นแก้วสองแผ่นประกบกัน โดยเว้นช่องกลางไว้ 6 – 10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าชนิดใสที่ไว้แสดงตัวอักษร สัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายต่าง ๆ มักทำมาจากสารอินเดียมทินออกไซด์ กระจกตัวนำไฟฟ้าชนิดใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางของแสงที่ส่องมาชั้นสารนี้จึงเป็นที่รู้จักกันในนามของชั้นที่หันเหเข้าหาแสงหรือชั้นจัดระบบรับแสง (alignment layer) ระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสองถูกจำกัดโดยตัวจัดระยะ ชนิดของผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปคือแบบนีเมติก โมเลกุลของผลึกเหลวจะ



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของ LCD

วางขนานกันไปในแนวตรงคล้ายเส้นลวดยาว ถ้าหากวางกลับทิศจะทำให้คุณสมบัติของมันเปลี่ยนไป คริสตัลเหลวที่สามารถแสดงเครื่องหมายพิเศษต่างๆ ได้คือแบบ โทเรสเทอร์ริก และแบบ สเมกตริก



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลของ LCD ( $R_1$  เป็นความต้านทานอนุกรมที่เกิดจากตัวนำชนิดใส  $R_2$  และ  $C_1$  เป็นค่าที่เกิดจากผลึกเหลวที่อยู่ระหว่างตัวนำชนิดใส)

### 2.5.3 การขับ LCD

วงจรมนุษย์ของ LCD จะประกอบด้วยตัวต้านทาน และ คาปาซิเตอร์ ถ้าจ่ายแรงดันไฟตรงให้ LCD จะทำให้เกแรงปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ก็เท่ากับทำให้มันมีอายุการงานสั้นลงด้วยเหตุนี้เมื่อใช้งานจึงป้อนสัญญาณไฟสลับให้ด้วยกำลังงาน(ดีซี)ไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์ การแสดงผลจะได้ค่า rms ของแรงดันที่จ่ายให้

ความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าไปต้องไม่ต่ำกว่า 30Hz เพื่อป้องกันการกระพริบของตัวแสดงผล กระแสที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ 1.5 ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตรของแผ่น LCD กระแสที่ LCD ต้องการจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าไป ชีตจำกัดสูงสุดของความถี่กำหนดโดยคุณสมบัติทางการคับปลิ่ง และผลของการรีแลกเซชันซึ่งจะทำให้เงาในการแสดงผล จึงต้องมีกระวังเป็นพิเศษเมื่อใช้ตัวแสดงผลที่ใหญ่และยุ่งยาก

#### รูปแบบการขับ LCD

##### 1) การขับโดยตรง

การขับ LCD โดยตรง มีการมีการต่อแยกขับทีละส่วน และขับแผ่นหลังหรือจุดต่อร่วมอีก 1 จุด แผ่นหลังจะถูกป้อนด้วยคลื่นสี่เหลี่ยม การเลือกส่วน (segment) ให้ทำงานทำได้โดยส่งคลื่นรูปเดียวกันแต่กลับเฟสไปให้ส่วนนั้น ๆ จะเกิดแรงดันคคร่อม (ระหว่างส่วนนั้นกับจุดร่วม) ประมาณค่า rms ของรูปคลื่น ส่วนอื่นที่ไม่ได้เลือกก็จะป้อนสัญญาณเดียวกับแผ่นหลัง ซึ่งเป็นจุดร่วมกับคลื่นทั้งสองต้องเป็นคลื่นสมมาตร เพื่อป้องกันการกระพริบของส่วนแสดงผล

ข้อดีของการขับโดยตรงคือ ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง มุมมองกว้าง คอบสนองเร็ว และความผิดพลาดน้อย แต่การต่อใช้งานต้องต่อหลายจุด หากเป็นวงจรใหญ่แล้วจะแล้วจะเกิดความยุ่งยากมากมาย

##### 2) การขับแบบมัลติเพล็กซ์

การขับแบบมัลติเพล็กซ์จะเหมาะสมกับภาคแสดงผลจำนวนมาก เช่นการต่อคอตเมตริกซ์ถ้าหากจะต่อแต่ละส่วนแยกกันเหมือนการต่อโดยตรงจะเกิดความยุ่งยากและสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็นจึงได้หันมาใช้ในการขับแบบมัลติเพล็กซ์ ขั้วของตัวมัลติเพล็กซ์วางอยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ส่วนต่าง ๆ ของภาคแสดงผลจะต่อกันเป็นกลุ่ม ๆ แผ่นหลังจะแยกกันเป็นหลายจุดร่วม ดังนั้นแต่ละส่วน (เซกเมนต์) ในกลุ่มหนึ่งๆ จะมีจุดร่วมต่างกัน อัตราส่วนของการมัลติเพล็กซ์เขียนอยู่ในรูป 1:N โดยที่ N คือ จำนวนจุดร่วมของแผ่นหลังหรือจำนวนของส่วนแสดงผลในแต่ละกลุ่ม

#### 2.5.4 การติดตั้งและการให้แสงจากด้านหลัง

ตัวแสดงผลแบบสะท้อนและแบบสะท้อน/ส่งผ่าน ควรยึดไว้กับผิวหน้าของอุปกรณ์(ที่ติดตั้ง LCD) มากที่สุด เพื่อที่จะให้ได้รับแสงสะท้อนจากภายนอกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเลือกตำแหน่งที่ติดตั้งควรดูความเข้มของแสงที่มุมมองต่าง ๆ จากคู่มือ LCD ด้วย ตัวแสดงผลแบบสะท้อนควรติดตั้งให้ขนานกับมุมมองมากที่สุด เพื่อลดผลของการเกิดเงา ควรใช้กระจกใสวางทาบลงบนแผ่นโพลีไคซัลไธคอีกที หนึ่งดเพื่อป้องกันความชื้นและรอยขีดข่วน

ในตัวแสดงผลแบบสะท้อน/ส่งผ่านจำเป็นต้องมีความคมชัดมากพอ ดังนั้นการติดตั้งไฟที่ส่องจากด้านหลังควรคำนึงถึงการหักล้างแสงจากภายนอกด้วย การติดตั้งไฟที่ส่องจากด้านหลังมักใช้ 3 วิธีดังนี้

1. ให้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบที่เปล่งแสงออกมา มีลักษณะเป็นแผ่นบางและอาศัยการแพร่กระจายของแสงดังรูปที่ ... ความสว่างน้อย ใช้แหล่งจ่าย 200 – 300 โวลต์ ที่ความถี่ 100 Hz มีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น
2. แบบท่อนำ ดังรูปที่... ต้นกำเนิดของแสงอาจได้มาจาก LED หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ผ่านเข้าไปในท่อนำแสง แสงที่ได้จะเกิดจากการรวมของแสงที่สะท้อนภายในท่อนำแสง วิธีนี้มีข้อเสียคือ การจางหายของแสงมีค่าสูง
3. แบบเก็บแสง ดังรูปที่ ... แสงที่เกิดจาก LED หรือ หลอดฟลูออเรสเซนต์จะอยู่ในกล่องแสง ซึ่งประกอบด้วยตัวสะท้อนแสงและตัวแพร่กระจายแสง วิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าตัว LCD จึงเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่ง ของอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟ

รูปที่ 2.20 การให้แสงทางด้านหลังทั้ง 3 วิธี

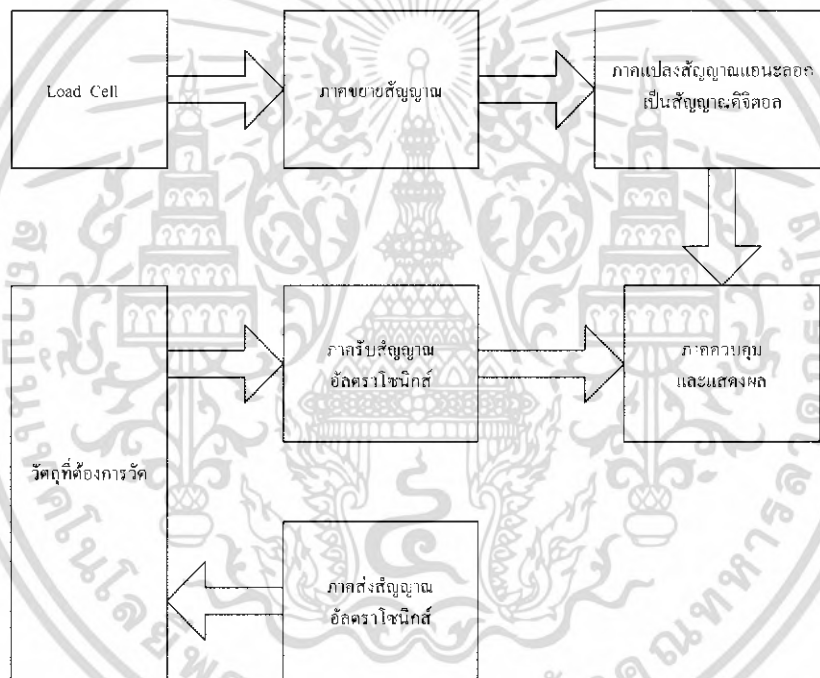
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

##### 3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพได้ออกแบบเครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงแยกส่วนออกจากกันในส่วนเครื่องชั่งน้ำหนักจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า ภาคขยายสัญญาณ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และภาคควบคุมและแสดงผล ส่วนของการวัดส่วนสูงจะประกอบด้วย ภาครับ-ส่งคลื่นอัลตราโซนิก ภาคขยายสัญญาณ ภาคแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ภาคควบคุมและแสดงผล โครงสร้างการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ

##### 3.2 ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า

ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า คือ โหลดเซลล์ที่ศึกษาและสร้างขึ้นตามทฤษฎีในบทที่ 2 เมื่อมีวัตถุตกลงที่บนโหลดเซลล์จะทำให้สเตรนเกจที่ต่อแบบบริดจ์ภายในมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักของวัตถุซึ่งจะทำให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

แรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้จะมีค่าที่ต่ำมากจึงต้องเข้าวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้ได้ขนาดแรงดันที่สูงขึ้นตามต้องการ โดยใช้ IC เบอร์ CS5526จะมีวงจขยายแรงดันอินส์ทรูเมนเทชั่นแอมพลิไฟเออร์ และมีดิจิตอลฟิลเตอร์ภายในตัว นำแรงดันเอาท์พุทที่ได้ไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลด้วย LCD

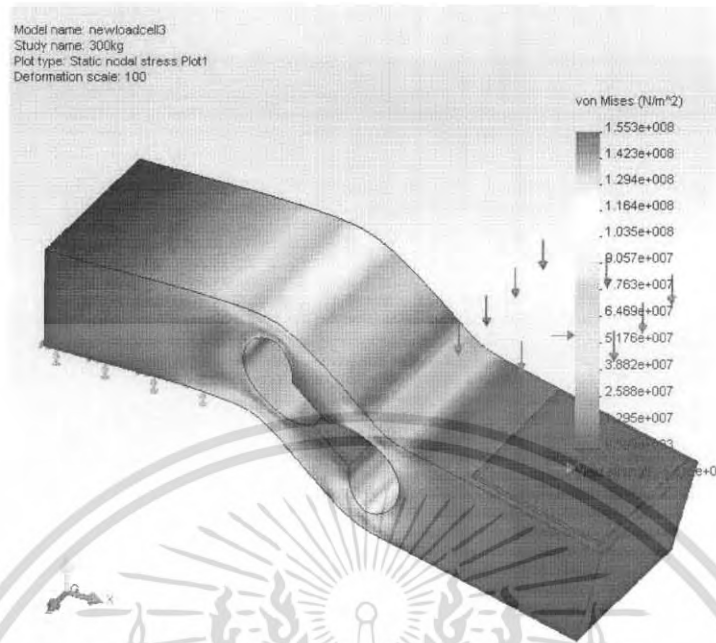
ซึ่งการออกแบบ โพลดเซลล์ใช้โปรแกรม solidworks ในการวาดภาพ 3 มิติของแท่งอลูมิเนียมที่ใช้ติดตั้งสตรนเกจ โดยแสดงดังรูปที่3.2



รูปที่ 3.2 ภาพ 3 มิติของแท่งอลูมิเนียมที่ใช้ทำโพลดเซลล์

จากรูปที่ 3.2 นำแท่งอลูมิเนียมที่ได้มาวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสตรนเกจ ซึ่งใช้โปรแกรม COSMOSWORKS ในการวิเคราะห์ แสดงดังรูป

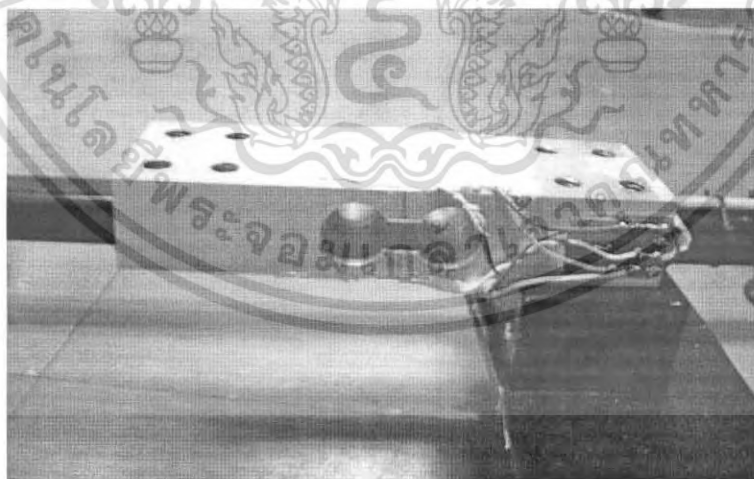
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงค่า stress ที่เกิดขึ้นบน โหลดเซลล์

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นมีค่าสูงสุดที่บริเวณส่วนที่บางที่สุดของอลูมิเนียม ซึ่งเป็นส่วนที่ได้เจาะรูไว้นั่นเอง ดังนั้นส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เหมาะสมในการติดตั้งสเตรนเกจ การติดตั้งสเตรนเกจจะติดตั้งแบบ 4 – active – gage (bending strain measuring) ดังหัวข้อ 2.26 ในบทที่

2

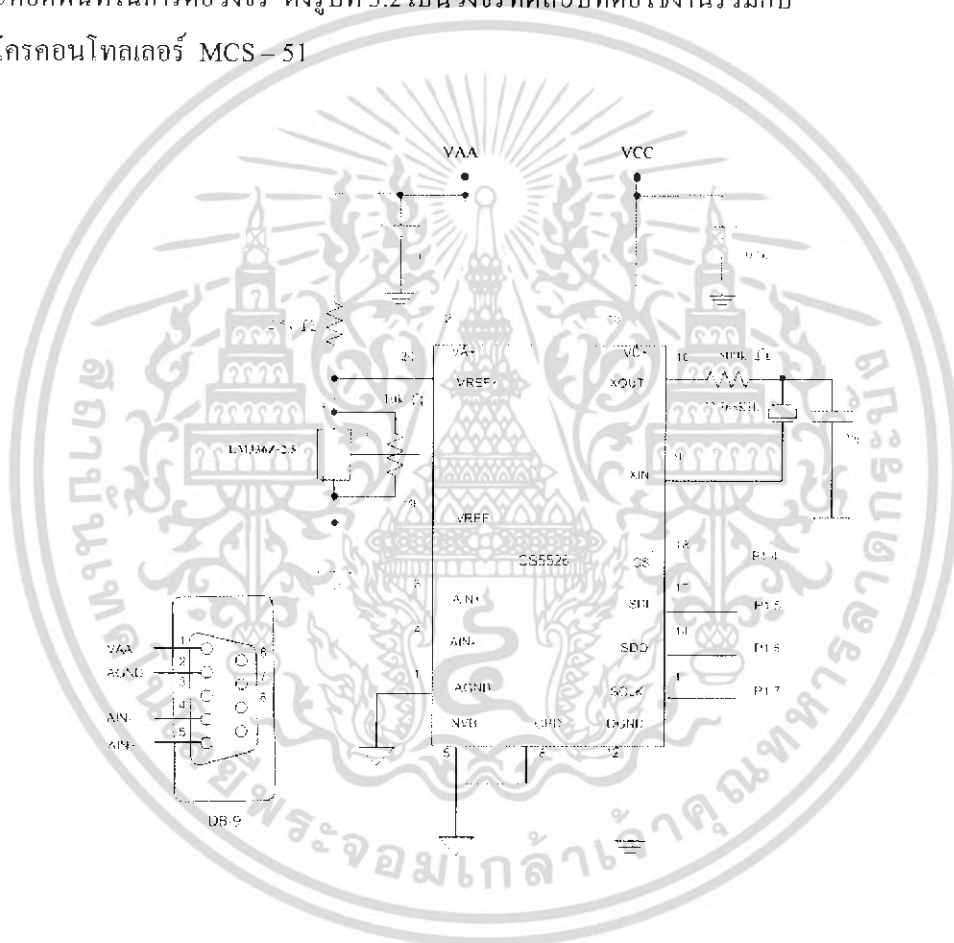


รูปที่ 3.4 โหลดเซลล์ที่ทำการติดตั้งสเตรนเกจเสร็จสมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

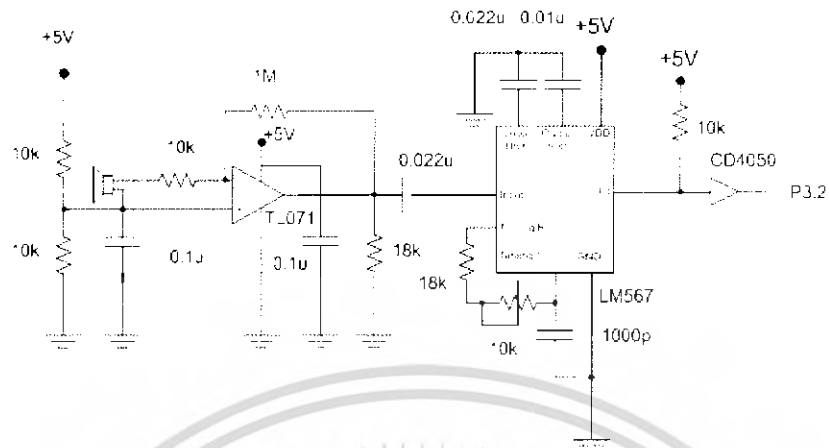
ภาคแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลใช้ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเบอร์ CS5526 ขนาด 20 บิต (Delta – Sigma A/D Converter) ซึ่ง สามารถปรับอัตราการขยายได้ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า PGA (Programmable Gain Amplifier) สามารถเลือกย่านของแรงดันอินพุตได้ 6 ช่วง คือ 25mV, 55mV, 100mV, 1V, 2.5V และ 5V ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะใช้อินพุตในช่วงบวก หรือลบ หรือใช้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ (Bipolar/Unipolar Input Ranges) มีดิจิทัลฟิลเตอร์ภายในซึ่งจากคุณสมบัติข้างต้นไม่จำเป็นต้องวงจรขยายภายนอก ทำให้สามารถประหยัดพื้นที่ในการต่อวงจร ดังรูปที่ 3.2 เป็นวงจรทดสอบที่ต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจร ใช้งาน CS5526 เป็น A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

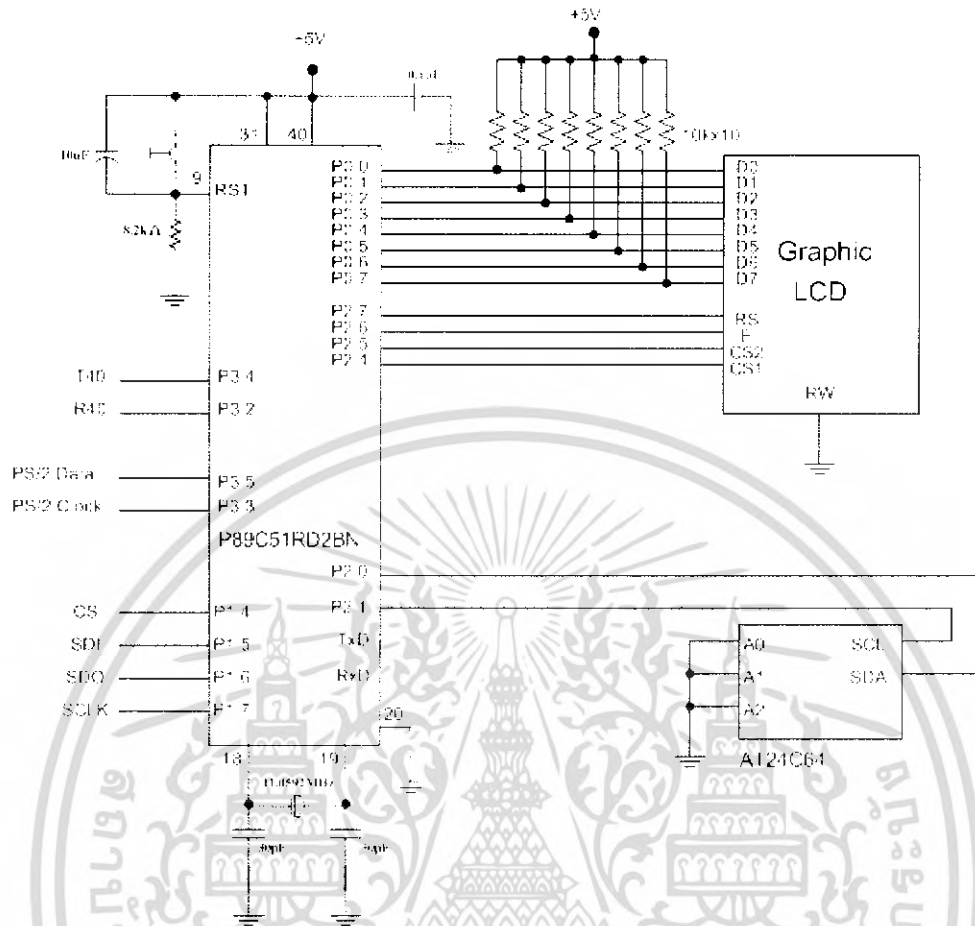




รูปที่ 3.4 วงจรรับสัญญาณอัลตราโซนิกส์

วงจรรับสัญญาณอัลตราโซนิกส์โดยใช้ ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรขยายกลับเฟสมีอัตราขยาย 100 เท่า จากนั้นก็นำไปผ่านวงจรโทนดีโคเดอร์ซึ่งใช้ IC LM567 เพื่อกำจัดสัญญาณ 40 KHz ออก ให้เหลือแต่สัญญาณที่ต้องการรับและส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลต่อไป

รูปที่ 3.5 เป็นวงจรอินเทอร์เฟสของไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งมี LCD , EEPROM , PC KEYBOARD , และ วงจรรับ-ส่ง อัลตราโซนิกส์ หลักการทำงานของวงจรคือ สัญญาณจากโหนดเซลล์จะถูกส่งไปให้ ADC เบอร์ CS5526 สัญญาณที่ได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 20 บิตและส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและแสดงผลออกทาง LCD ส่วน EEPROM นั้น ใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องซึ่ง



รูปที่ 3.5 วงจรอินเตอร์เฟสของไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

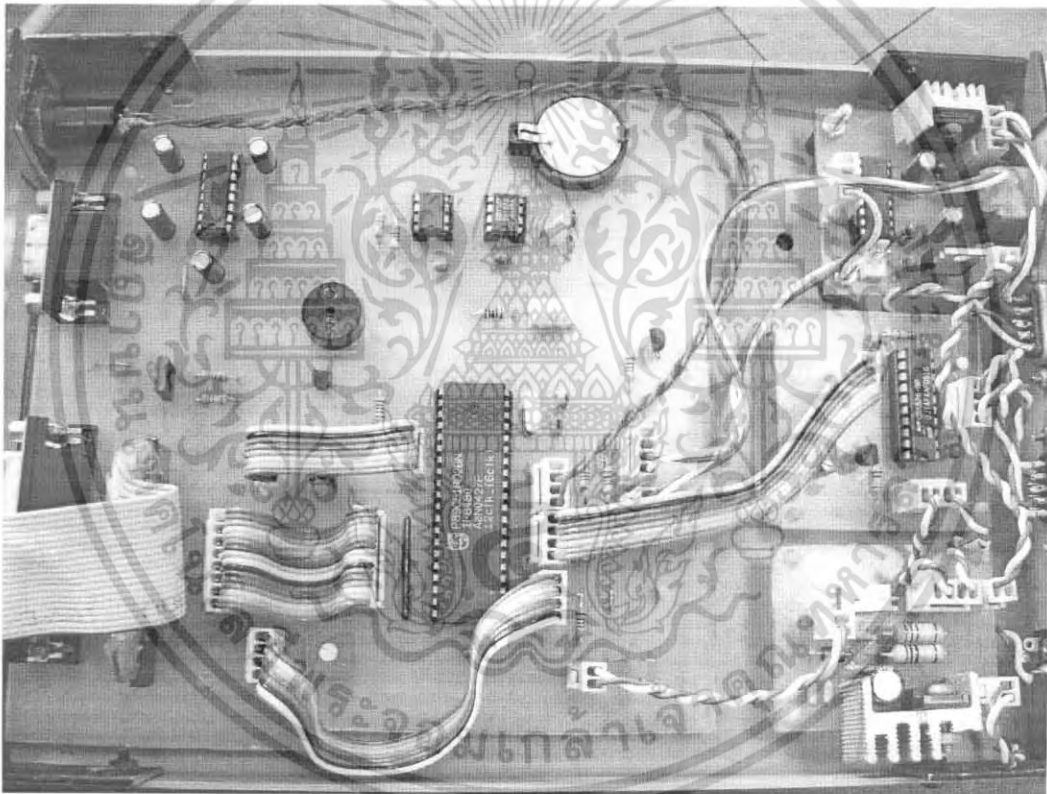
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองส่วนชั่งน้ำหนัก

จะใช้ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในการทดสอบ โดยเริ่มต้นที่ 0 กิโลกรัม จากนั้นเพิ่มน้ำหนักทีละ 1 กิโลกรัม แต่จะเพิ่มน้ำหนัก 100 กรัมเข้าไปด้วยเพื่อเปรียบเทียบเอาต์พุต ที่ออกมาว่ามีความเป็นเชิงเส้นเพียงใด จากการทดลองแสดงผลดังตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม เทียบกับ น้ำหนัก 100 กรัม มีความเป็นเชิงเส้น ทั้งสองค่า ซึ่งจากผลการทดลองในตารางนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 วงจรของเครื่องชั่งน้ำหนัก

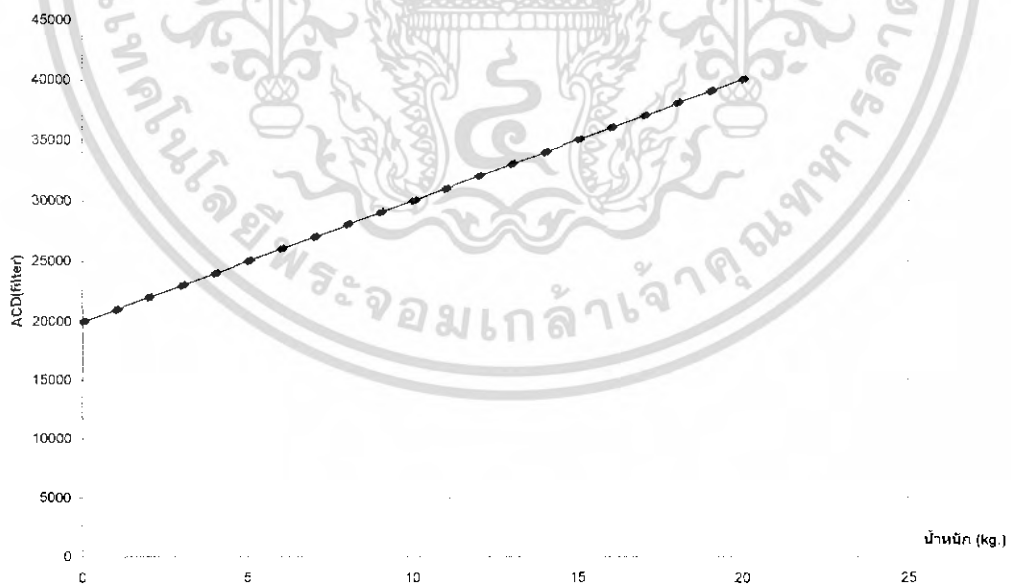
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักหน่วยกิโลกรัมกับค่าที่อ่านได้จาก ADC (Unsigned Long)

น้ำหนัก (Kg)	ADC (filter)
0.0	20000
0.1	20100
1.0	21000
1.1	21100
2.0	22000
2.1	22100
3.0	23000
3.1	23100
4.0	24000
4.1	24100
5.0	25000
5.1	25100
6.0	26000
6.1	26100
7.0	27000
7.1	27100
8.0	28000
8.1	28100
9.0	29000
9.1	29100
10.0	30000
10.1	30100
11.0	31000
11.1	31100
12.0	32000
12.1	32100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.0	33000
13.1	33100
14.0	34000
14.1	34100
15.0	35000
15.1	35100
16.0	36000
16.1	36100
17.0	37000
17.1	37100
18.0	38000
18.1	38100
19.0	39000
19.1	39100
20.0	40000
20.1	40100



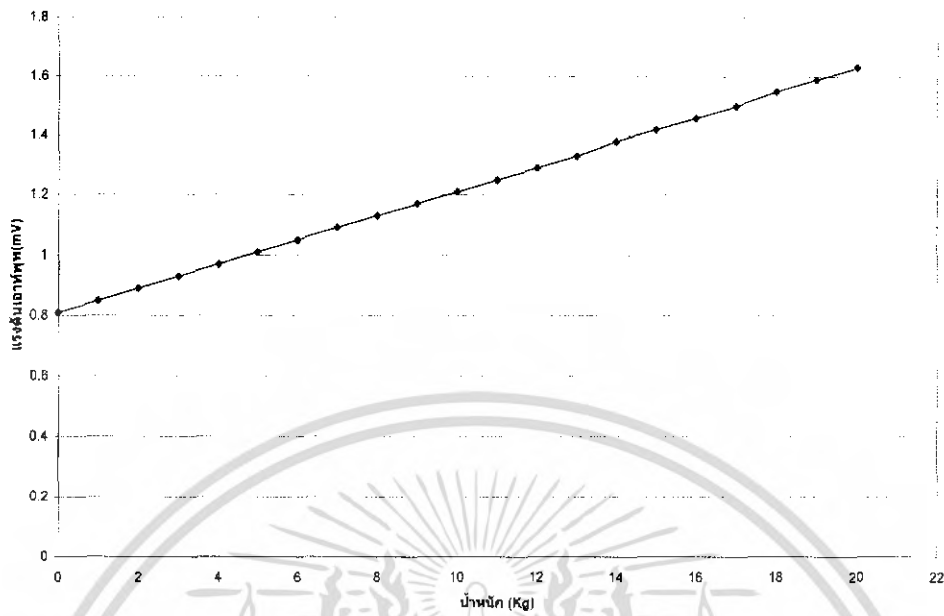
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักและผลที่อ่านได้จาก ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตจากโพลีเซลล์

น้ำหนัก (Kg)	แรงดันเอาต์พุต (mV)
0	0.81
1	0.85
2	0.89
3	0.93
4	0.97
5	1.01
6	1.05
7	1.09
8	1.13
9	1.17
10	1.21
11	1.25
12	1.29
13	1.33
14	1.38
15	1.42
16	1.46
17	1.50
18	1.55
19	1.59
20	1.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



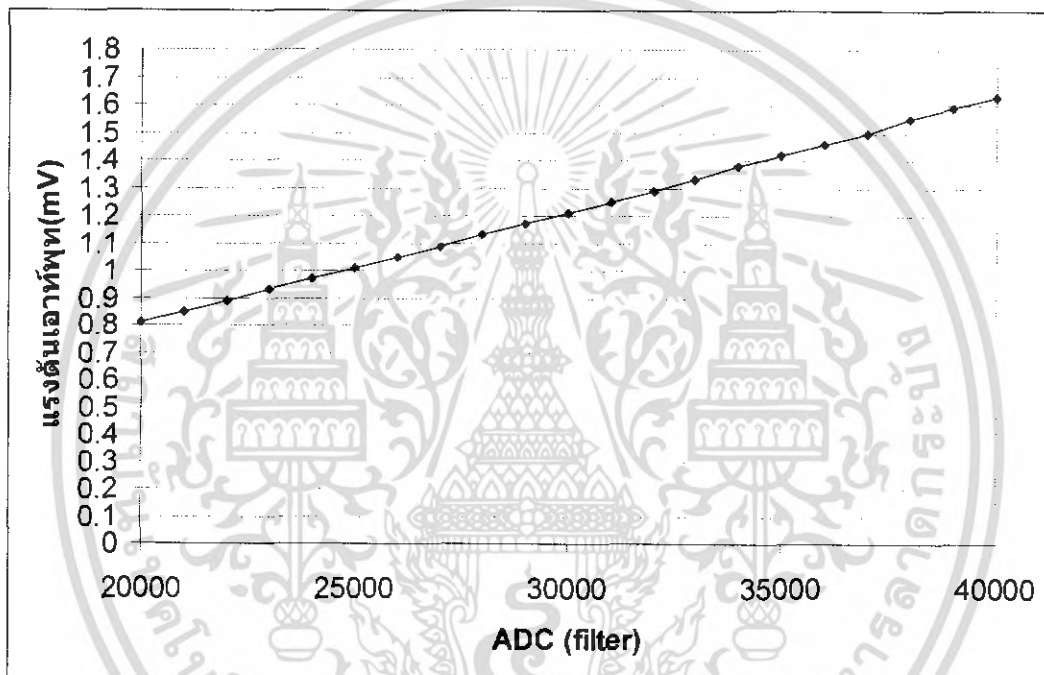
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับแรงดันเอาต์พุตจากโพลีเมอร์เซลล์

ตารางที่ 4.3 แรงดันเอาต์พุตและค่าADC (filter) ที่ออกจากโพลีเมอร์เซลล์

แรงดันเอาต์พุต (mV)	ADC(filter)
0.81	20000
0.85	21000
0.89	22000
0.93	23000
0.97	24000
1.01	25000
1.05	26000
1.09	27000
1.13	28000
1.17	29000
1.21	30000
1.25	31000
1.29	32000
1.33	33000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.38	34000
1.42	35000
1.46	36000
1.50	37000
1.55	38000
1.59	39000
1.63	40000



รูปที่ 4.4 แรงดันเอาต์พุตและค่าADC (filter) ที่ออกจากโพลคเซลล์

จะเห็นว่าเอาต์พุตที่ออกมาจากโพลคเซลล์จะมีค่าค่อนข้างเป็นเชิงเส้นไม่ว่าจะเป็นค่า ADC หรือ ค่า เป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ จากการวัดผลการทดลองดังกล่าวได้นำมาทำการทดลองความละเอียดในการชั่งของเครื่องชั่งต่อไป

เครื่องชั่งที่สร้างขึ้นมีความละเอียด 100 กรัมซึ่งจะเห็นได้ จากตารางที่ 4.2 เป็นการทดลองของเครื่องชั่งโดยการนำลูกตุ้มน้ำหนักมาทำการชั่งโดยเพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 100 กรัม จะเห็นว่าเอาต์พุตที่ออกมา มีความละเอียดและมีค่าเป็นเชิงเส้น

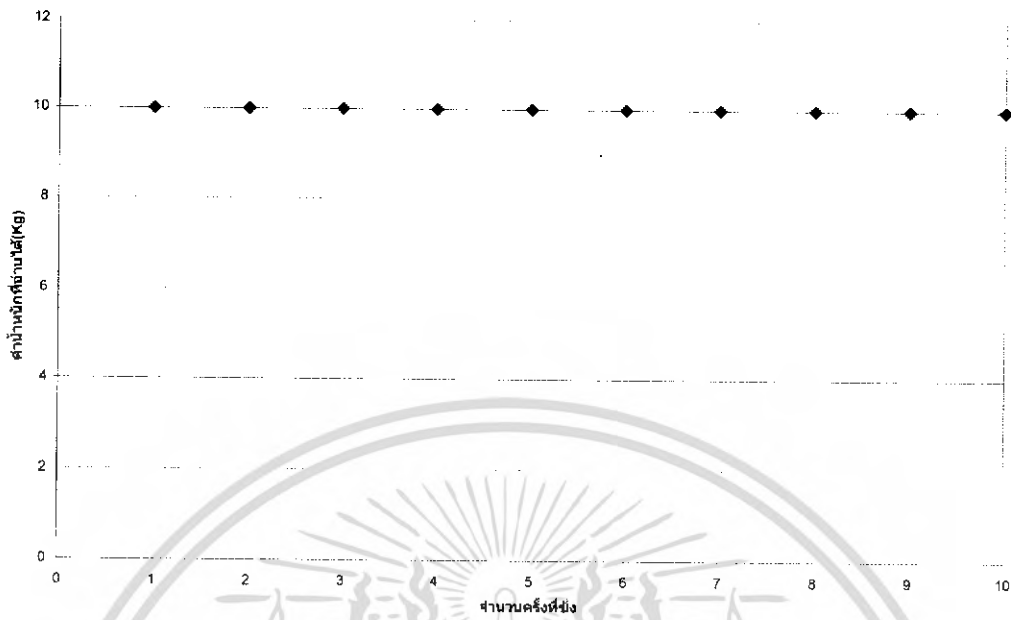
ตารางที่ 4.4 ค่าน้ำหนักแสดงความละเอียดของเครื่องชั่ง

น้ำหนัก(g)	ADC(filter)
0	20000
100	20100
200	20200
300	20300
400	20400
500	20500
600	20600
700	20700
800	20800
900	20900
1000	21000

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความ Repeatability ในการชั่งน้ำหนักที่ 10 กิโลกรัม จำนวน 10 ครั้ง

ชั่งน้ำหนักครั้งที่	ค่าน้ำหนักที่อ่านได้ (Kg)	ค่าความผิดพลาด(%)
1	10.0	0
2	10.0	0
3	10.0	0
4	10.0	0
5	10.0	0
6	10.0	0
7	10.0	0
8	10.0	0
9	10.0	0
10	10.0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

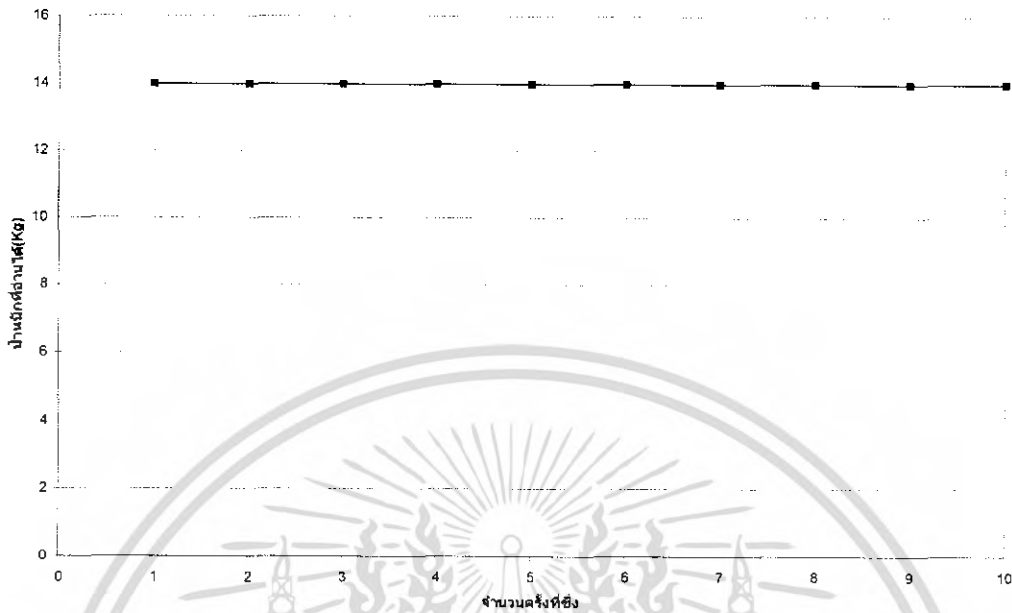


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความ Repeatability ของเครื่องชั่งน้ำหนัก

จากกราฟจะเห็นว่าในการชั่งน้ำหนักค่าเดียวกัน 10 ครั้ง ได้ค่าน้ำหนักที่แสดงผลค่าเดียวกันตลอด คือ 10 กิโลกรัม เมื่อชั่งอย่างต่อเนื่อง  
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Repeatability ในการชั่งน้ำหนัก 14 กิโลกรัม จำนวน 10 ครั้ง

ชั่งน้ำหนักครั้งที่	ค่าน้ำหนักที่อ่านได้ (Kg)	ค่าความผิดพลาด(%)
1	14.0	0
2	14.0	0
3	14.0	0
4	14.0	0
5	14.0	0
6	14.0	0
7	14.0	0
8	14.0	0
9	14.0	0
10	14.0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความ Repeatability ของเครื่องชั่งน้ำหนัก

จากกราฟจะเห็นว่าในการชั่งน้ำหนักค่าเดียวกัน 10 ครั้ง ได้ค่าน้ำหนักที่แสดงผลค่าเดียวกันตลอด คือ 14 กิโลกรัม เมื่อชั่งอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นว่ามีความเที่ยงตรงสูงพอสมควร

เมื่อทำการทดสอบวางน้ำหนักลงบนเครื่องชั่งตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้าก็จะมีแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าน้ำหนักที่วางลงไป ซึ่งในการทดลองนี้ ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้จริงและแสดงผลเป็นตัวเลข โดยให้ทดสอบ 1 ตำแหน่ง หน่วยเป็น กิโลกรัม ผลการทดลองที่ได้แสดงผลที่ออกมาดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าน้ำหนักจริงที่ชั่งกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง

น้ำหนักจริง(Kg)	ค่าที่อ่านได้(Kg)	ค่าความผิดพลาด(%)
1.0	1.0	0
1.1	1.1	0
1.2	1.2	0
1.3	1.3	0
1.4	1.4	0
1.5	1.5	0
1.6	1.6	0
1.7	1.7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

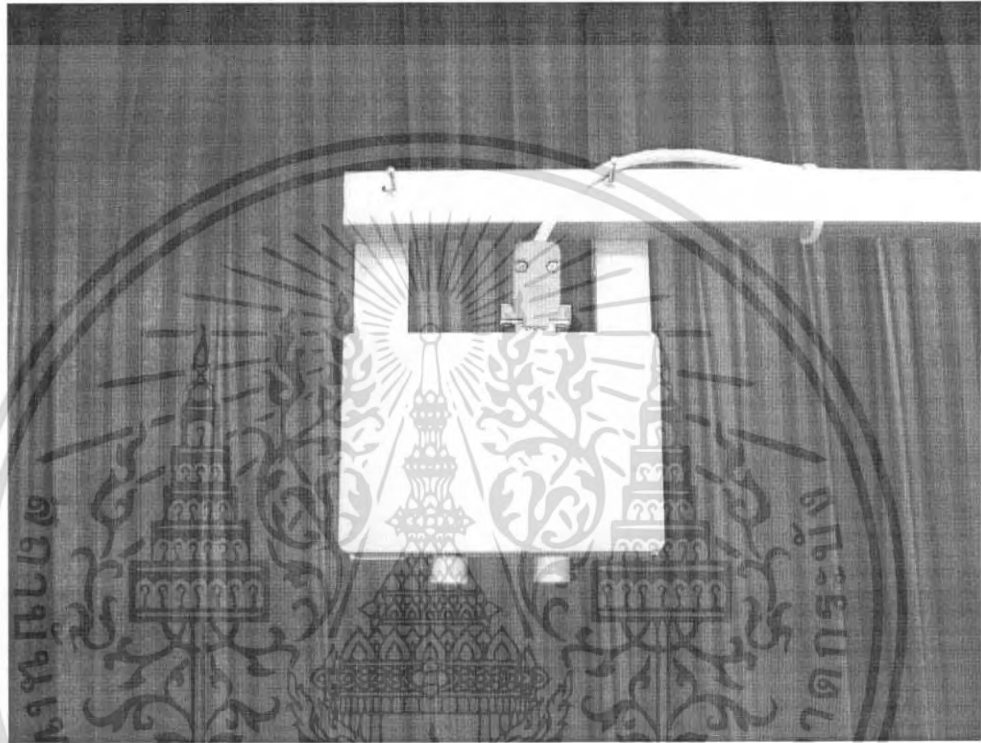
1.8	1.8	0
1.9	1.9	0
2.0	2.0	0
3.0	3.0	0
4.0	4.0	0
5.0	5.0	0
6.0	6.0	0
7.0	7.0	0
8.0	8.0	0
9.0	9.0	0
10.0	10.0	0
10.1	10.1	0
10.2	10.2	0
10.3	10.3	0
10.4	10.4	0
10.5	10.5	0
10.6	10.6	0
10.7	10.7	0
10.8	10.8	0
10.9	10.9	0
11.0	11.0	0
12.0	12.0	0
13.0	13.0	0
14.0	14.0	0
15.0	15.1	0.67
16.0	16.1	0.62
17.0	17.0	0
18.0	18.0	0
19.0	19.0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองเครื่องวัดส่วนสูง

### 4.2.1 การทดลองภาคควบคุมและแสดงผลเครื่องวัดส่วนสูง

เมื่อประกอบวงจรภาคควบคุมและแสดงผลเครื่องวัดส่วนสูงเข้ากับวงจรภาครับ-ส่ง สัญญาณอัลตราโซนิกส์



รูปที่ 4.7 ตัวรับส่งอัลตราโซนิกส์ที่ใช้ในการวัดส่วนสูง

ทำการทดสอบวัดส่วนสูงในตำแหน่งต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไปภาคควบคุมและแสดงผล เครื่องวัดส่วนสูงสามารถแสดงผลที่ได้ตามตารางที่ 4.8 ซึ่งตารางนี้ทำการวัดส่วนสูงอ้างอิง โดยอ้างอิงที่ 230 เซนติเมตร (cm) โดยทำการทดลองวัดส่วนสูงจากแท่นซึ่งน้ำหนักจำนวน 10 ครั้ง ณ ตำแหน่งเดิมซึ่งค่าที่วัดได้จะมีค่าสูงกว่า 230 cm ประมาณ 2 cm และค่าที่ได้จากการวัดนี้จะนำมา ประมวลผลเป็นค่าส่วนสูง ได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าส่วนสูงที่วัดจากแท่นซึ่งนำหนักซึ่งเป็นจุดอ้างอิง (230 cm)

จำนวนครั้ง	ค่าที่วัดได้ (cm)
1	232
2	231
3	231
4	233
5	233
6	232
7	232
8	232
9	232
10	232

การทดลองนี้เป็นการวัดส่วนสูงของคน 11 คน ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นว่าค่าความสูงที่อ่านได้จากเครื่องวัดมีความถูกต้องและเที่ยงตรง

ตารางที่ 4.9 แสดงความถูกต้องของการวัดส่วนสูงจากเครื่องวัด

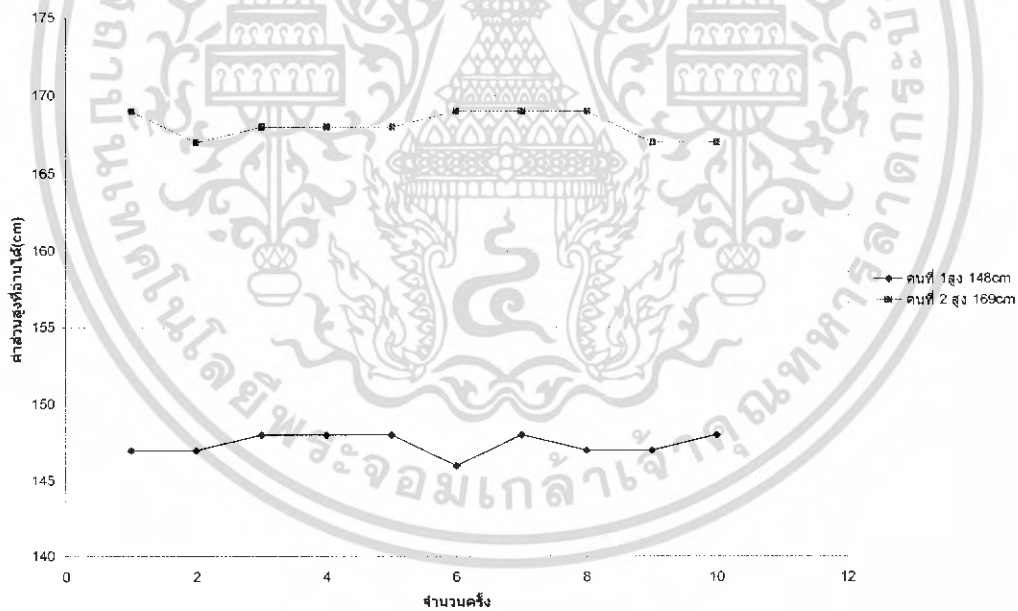
จำนวน	ส่วนสูง (cm)	ค่าที่วัดได้ (cm)
1	148	148
2	154	154
3	156	156
4	162	161
5	166	166
6	163	163
7	169	168
8	153	153
9	159	157
10	167	167
11	165	165

ดังนั้นการทดลองต่อไปก็จะทดลองเกี่ยวกับ Repeatability ของเครื่องวัดส่วนสูงซึ่งได้ทำการวัดค่าส่วนสูงของคน คนเดียวซ้ำ ๆ กัน จำนวน 10 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดง Repeatability ของเครื่องวัดส่วนสูง

จำนวนครั้ง	คนที่ 1 สูง 148 cm ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด(cm)	คนที่ 1 สูง 169 cm ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด(cm)
1	147	169
2	147	167
3	148	168
4	148	168
5	148	168
6	146	169
7	148	169
8	147	169
9	147	167
10	148	167



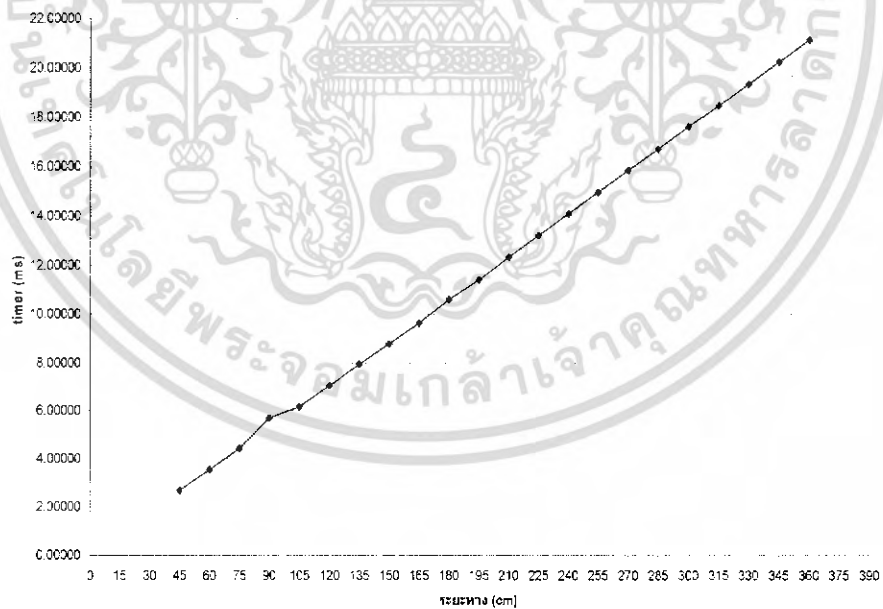
รูปที่ 4.8 กราฟแสดง Repeatability ของเครื่องวัดส่วนสูง

จากการทดลองจะเห็นว่า ค่าส่วนสูงที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าที่อ่านได้นี้เทียบกับ ส่วนสูงอ้างอิงที่วัดจากแท่นชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองอัลตราโซนิกสระหว่างระยะทางเทียบกับเวลา

ระยะทาง(cm)	time(ms)
45	2.68663
60	3.54167
75	4.42274
90	5.69948
105	6.16320
120	7.06597
135	7.95790
150	8.79991
165	9.64011
180	10.60330
195	11.42578
210	12.33290
225	13.23154
240	14.09071
255	14.96962
270	15.85266
285	16.72092
300	17.63455
315	18.46570
330	19.33811
345	20.23655
360	21.12630



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองอัลตราโซนิกส์เมื่อวัดระยะทาง(cm) เทียบกับเวลา (ms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ดรรชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI)

ดรรชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) คือ อัตราส่วนที่เหมาะสมและสมดุลระหว่างน้ำหนักและส่วนสูง ของทั้งเพศชาย - หญิงที่มีอายุมากกว่า 20 ปีขึ้นไป น้ำหนักที่ไม่สมดุลกับความสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหนักมากเกินไป อาจเป็นบ่อเกิดของความเจ็บป่วยในอนาคต

ดรรชนีมวลกาย สามารถคำนวณได้ดังนี้

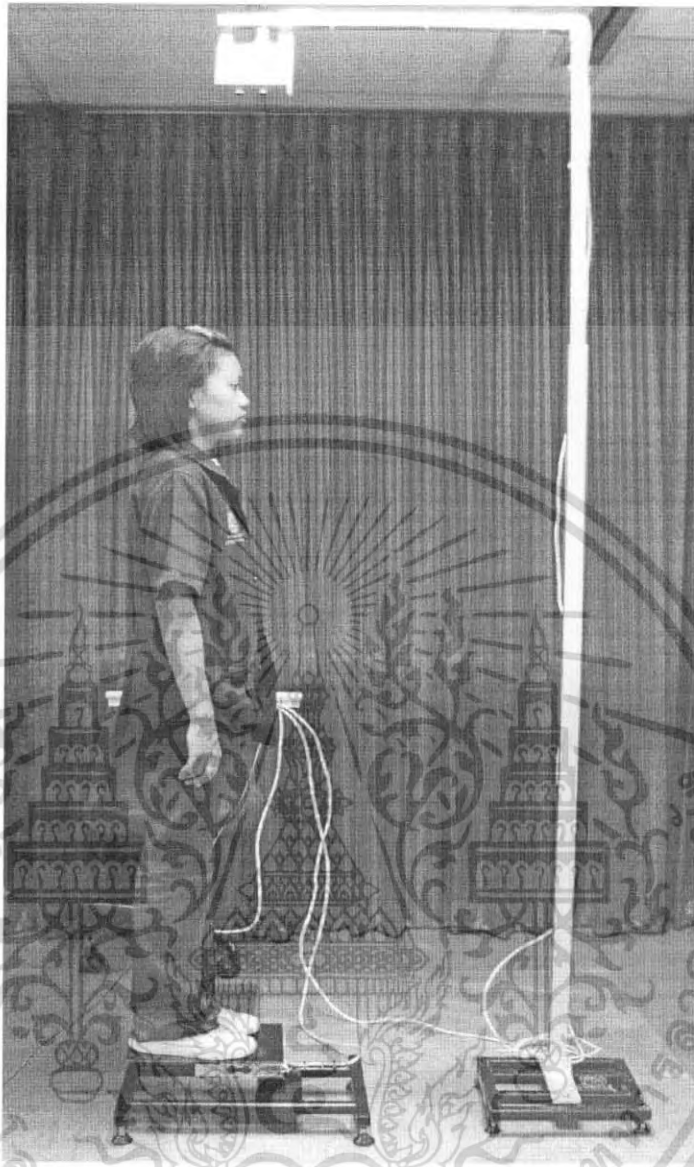
$$\text{BMI} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัม}}{(\text{ความสูงเป็นเมตร})^2} \quad \text{สมการ 4.1}$$

ซึ่งจะนำสมการนี้มาเขียนโปรแกรมคำนวณโดยนำ ค่าน้ำหนักและส่วนสูงที่วัดได้ของแต่ละคนมาคำนวณ และแสดงผล บนจอ LCD โดย ค่า BMI ที่คำนวณได้จะแสดงออกมาเป็นตัวเลขทศนิยม 1 ตำแหน่ง บอกถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมดุลระหว่างน้ำหนักและส่วนสูงของแต่ละคน ค่า BMI แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.12 ค่าที่ได้จากการคำนวณ แปลผลภาวะทางโภชนาการ

ดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI)	
ผอม(Underweight)	น้อยกว่า 18.5
สมส่วน(Normal)	ระหว่าง 18.5 - 24.9
น้ำหนักเกิน(Overweight)	ระหว่าง 25 - 29.9
อ้วนไป(Obese)	มากกว่า 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ลักษณะการใช้งานของเครื่องชั่งและวัดส่วนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพสร้างขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงให้สามารถอ่านค่าได้รวดเร็วและง่ายขึ้นเพราะมีการแสดงผลเป็นตัวเลขทำให้ง่ายต่อการใช้งาน เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพจะประกอบด้วยวงจรรภาคต่างๆ คือภาคขยายสัญญาณ ภาคแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ภาครับ-ส่งสัญญาณอัลตราโซนิคส์ ภาคควบคุม และภาคแสดงผลในการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพทำให้สามารถสรุปหลักการการทำงานข้อผิดพลาดและข้อจำกัดในด้านต่างๆ ซึ่งสรุปได้ว่า โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแรงกดของน้ำหนักให้เป็นแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตามน้ำหนักที่มากขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มมากขึ้นแต่ แรงดันที่ได้จาก โหลดเซลล์จะมีระดับแรงดันที่ต่ำมากจึงต้องทำการขยายแรงดันให้สูงขึ้น โดยใช้ไอซีเบอร์ CS5526 เพื่อปรับอัตราขยายให้พอเหมาะกับอินพุตให้อยู่ในช่วงที่ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เมื่อประกอบเครื่องชั่งน้ำหนักแล้วทำการทดลองปรากฏว่าเครื่องชั่งน้ำหนักสามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่ดีเท่าที่ควร ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อสาธารณะชนต่อไป

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานปรากฏว่าได้เกิดปัญหาหลายประการซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา การติดตั้งสแตนด์แกนที่จะสามารถชั่งน้ำหนักได้มีความไวในการรับน้ำหนักสูง

แนวทางแก้ไข ติดตั้งสแตนด์แกนแบบบริดจ์โดยใช้เกจความเครียด 4 ตัวที่มีค่าความต้านทานเท่ากัน

2. ปัญหา เมื่อนำโหลดเซลล์มาติดตั้งกันคานที่รับน้ำหนักแล้วเมื่อวางน้ำหนักในแต่ละตำแหน่งบนคานแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าไม่เท่ากัน

แนวทางแก้ไข ออกแบบฐานรับน้ำหนักโดยให้สามารถรับน้ำหนักได้เท่ากันไม่ว่าจะวางน้ำหนักที่จุดใดๆบนคาน หรือรับน้ำหนักที่จุดๆเดียว

3. ปัญหา ไม่มีลูกค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มากพอที่จะทดสอบในช่วงน้ำหนักมากๆ ได้

แนวทางแก้ไข ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักอ้างอิงเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แท้จริงก่อนนำมาทดลอง

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาให้สามารถเก็บข้อมูลของค่าน้ำหนักและส่วนสูงเพื่อบันทึกเป็นฐานข้อมูลในการเตรียมเทียบการเจริญเติบโต โดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
2. พัฒนาการแสดงผลที่ได้ให้มีค่าเที่ยงตรงมากกว่านี้
3. พัฒนาการออกแบบแท่นของเครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงอัตโนมัติให้มีน้ำหนักเบากว่านี้เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย
4. พัฒนาให้สามารถเพิ่มเติมการวัดระดับไขมันโดยใช้การวัดอิมพีแดนซ์ของร่างกายส่วนบนหรือส่วนล่าง
5. ปรับปรุงรูปแบบการแสดงผลให้มีฟังก์ชันการใช้งานได้มากขึ้น
6. พัฒนาส่วนอินเตอร์เฟซกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลทางการแพทย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ

เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อสุขภาพ เป็นเครื่องชั่งที่สามารถวัดค่าน้ำหนักและส่วนสูงได้ ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้ AT PC Keyboard เป็นตัวส่งงานและป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้เครื่องชั่ง โดยค่าที่วัดได้จะถูกนำไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลโดย Graphic LCD ก่อนการใช้งานต้องต่อสายที่ Connector ต่างๆให้ครบ เมื่อเปิดเครื่องจะเข้าสู่หน้าจอหลักดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หน้าจอหลักของเครื่องชั่ง

### การใช้งานในหน้าจอหลัก

เมื่ออยู่ในหน้าจอหลักเราสามารถสั่งงานเครื่องชั่งได้โดยการกดคีย์ต่อไปนี้

**F1. Help**

เป็นการแนะนำการใช้งานของเครื่องชั่ง

**F2. Menu**

จะเข้าสู่หน้าต่างของเมนูหลัก

**B. Black Light ON/OFF**

เปิดหรือปิดไฟหน้าจอ

**M. Measure**

เป็นการวัดและแสดงค่าน้ำหนัก, ส่วนสูง, ค่าBMI และผลของสุขภาพ

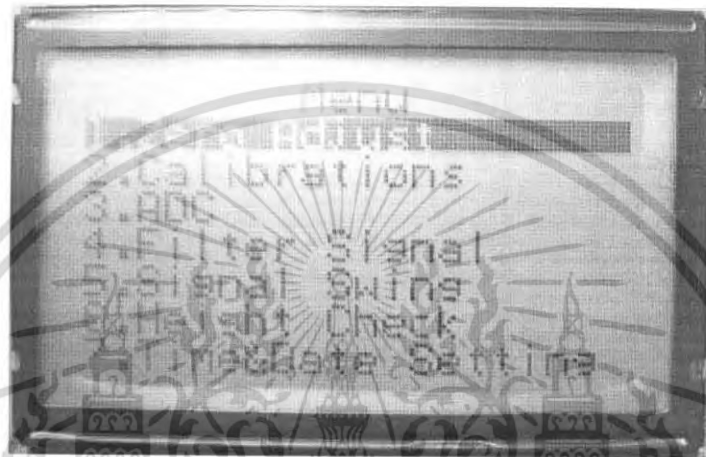
**Z. Zero Adjust**

เป็นการปรับค่า 0 ให้เครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานเมนูหลัก

ใช้คีย์ลูกศรขึ้น/ลงเพื่อเลื่อนแถบสีดำไปยังเมนูที่ต้องการ กด Enter เมื่อตกลง กด Cancel เมื่อต้องการออกจากเมนู



รูปที่ 2 เมนูหลักของเครื่องชั่ง

### 1.Zero Adjust

เป็นการปรับค่า 0 ให้เครื่องชั่ง

### 2.Calibrations

เป็นการปรับเทียบเครื่องชั่ง

### 3.ADC

เป็นการดูค่าของ ADC

### 4.Filter Signal

เป็นการดูค่าของ ADC ทั้งที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้วและยังไม่ผ่านการฟิลเตอร์โดยนำค่าของ Signal Swing มาใช้ในการคำนวณ

### 5.Signal Swing

เป็นการเลือกค่าของ Signal Swing เพื่อใช้ในการฟิลเตอร์สัญญาณ

### 6.Height Check

เป็นการวัดส่วนสูงจากฐานของเครื่องชั่งจนถึงตัว Transducer เพื่อหาค่าอ้างอิงของส่วนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. Time & Date Setting

เป็นการตั้งวันและเวลา

### การปรับเทียบเครื่องชั่ง

กด F2 เมื่ออยู่ในหน้าจอหลัก เลือกเมนู Calibrations จะปรากฏหน้าจอดังนี้



รูปที่3 การปรับเทียบเครื่องชั่ง

พิมพ์ค่าน้ำหนักที่ต้องการปรับเทียบแล้วกด Enter ( ถ้าต้องการออกกด Cancel) จะปรากฏหน้าจอ ดังนี้



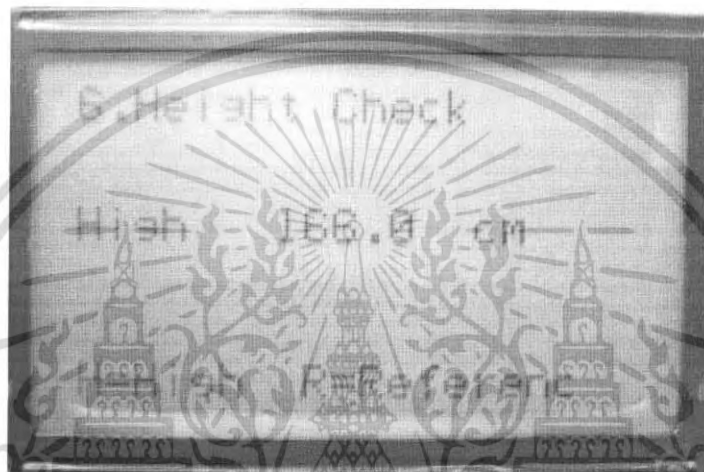
รูปที่4 การปรับเทียบเครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่าที่แสดงยังไม่เป็นศูนย์ทั้งหมดให้กดคีย์ Z เพื่อปรับค่าศูนย์ เมื่อค่าเป็นศูนย์แล้วให้วางคัม  
น้ำหนักที่เลือกไว้จากนั้นกด S เพื่อ ทำการSpan เป็นการเสร็จสิ้น

### การปรับเทียบส่วนสูง

กด F2 เมื่ออยู่ในหน้าจอหลัก เลือกเมนูHeight Check จะปรากฏหน้าจอดังนี้



รูปที่5 การปรับเทียบส่วนสูง

ค่าที่แสดงอยู่จะเป็นค่าของความสูงจากฐานของเครื่องซึ่งจนถึงตัว Ultrasonics กดR และป้อนค่า  
ดังกล่าวเพื่อนำค่านี้ไปเป็นค่าความสูงอ้างอิง

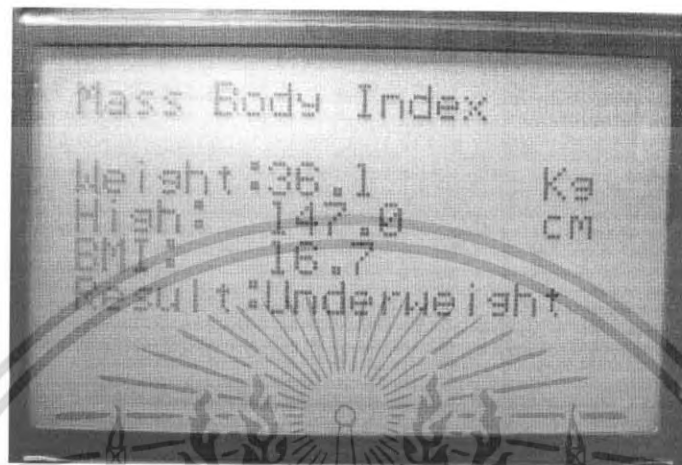


รูปที่6 การป้อนค่าของความสูงอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

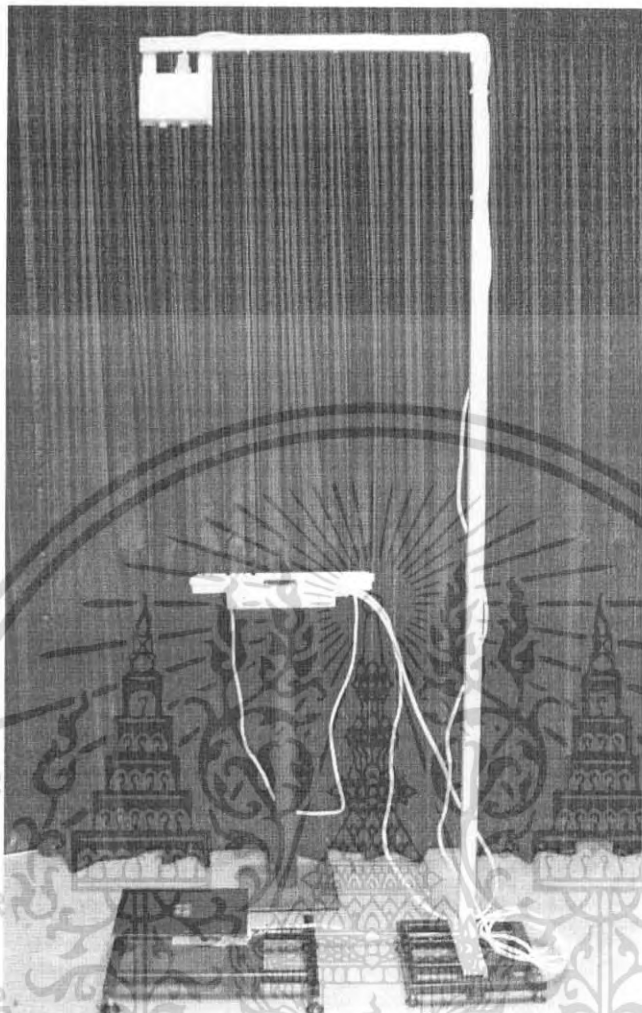
### การวัดค่าน้ำหนักและส่วนสูง

เมื่ออยู่ในหน้าจอหลัก เมื่อผู้ชั่งขึ้นซึ่งจะแสดงเฉพาะค่าน้ำหนักเท่านั้น เมื่อกด M จะปรากฏหน้าจอดังนี้

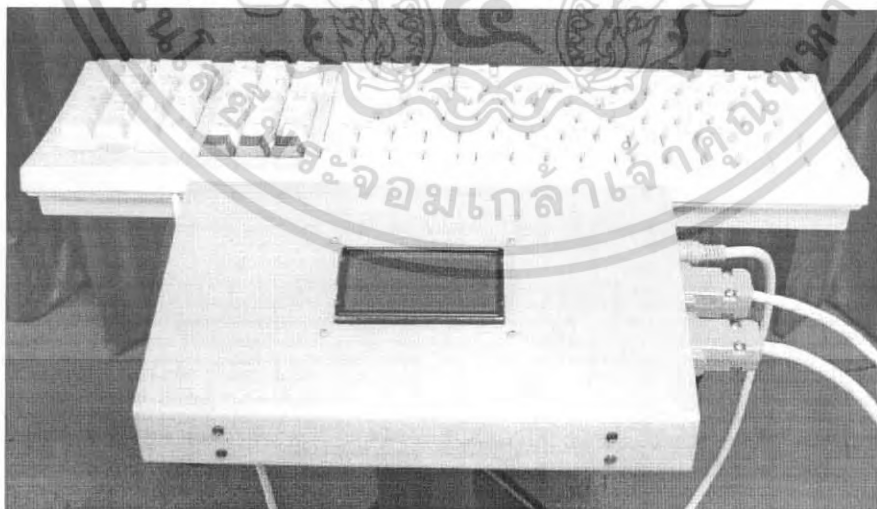


รูปที่ 7 แสดง ผลจากการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

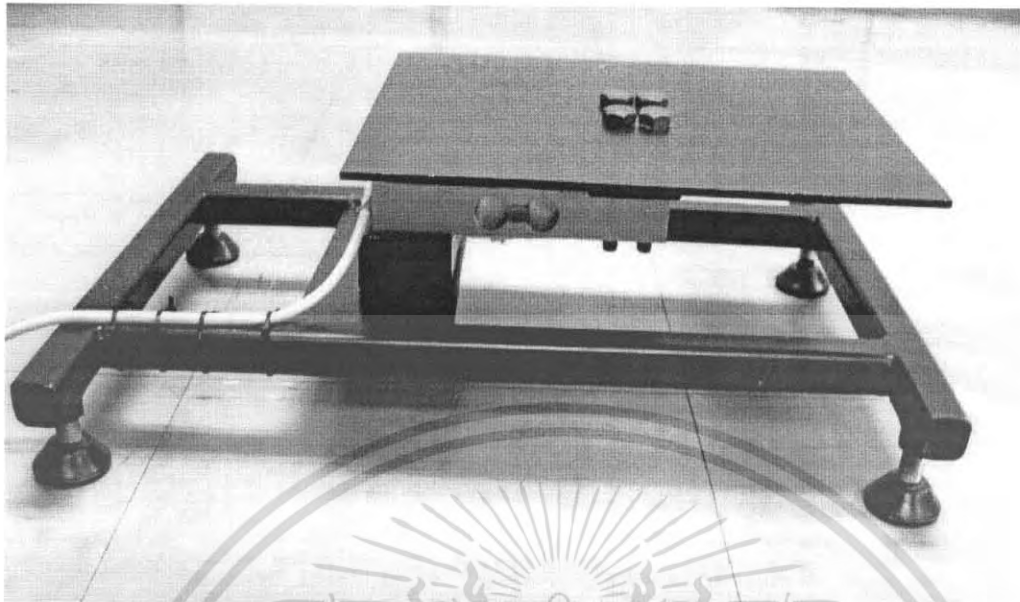


รูปที่ 8 การต่อเครื่องตั้งน้ำหนักกับส่วนแสดงผล

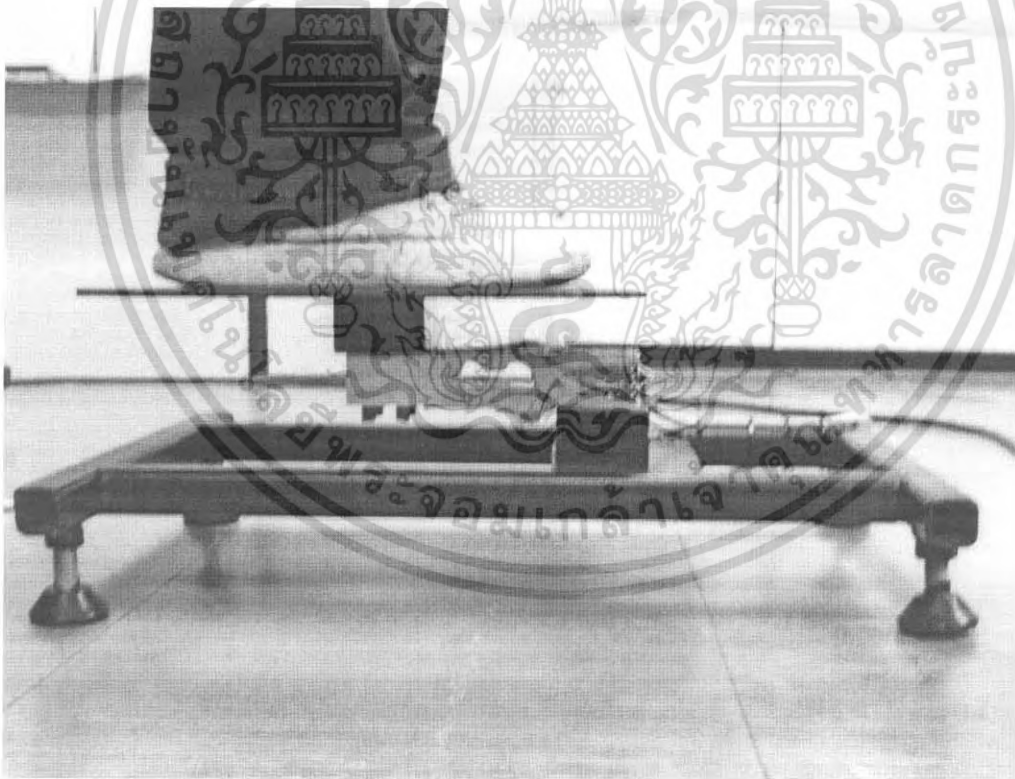


รูปที่ 9 ส่วนแสดงผลและควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แท่นชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 12 การใช้งานแท่นชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM567/LM567C Tone Decoder

### General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

### Features

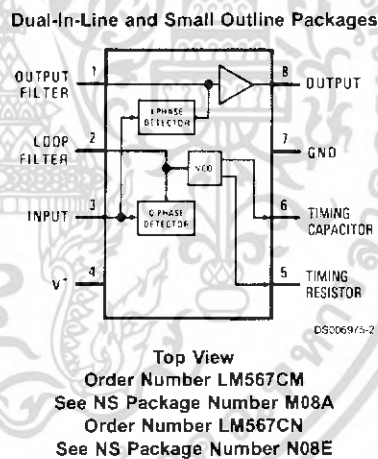
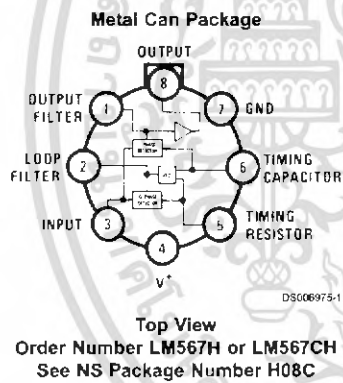
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability
- Bandwidth adjustable from 0 to 14%

- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

### Applications

- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

### Connection Diagrams



## LM567/LM567C Tone Decoder

### General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

### Features

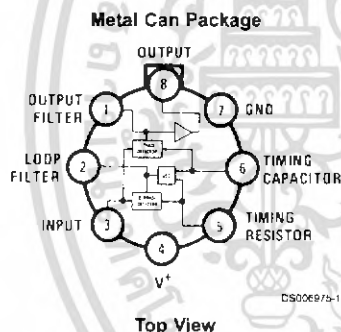
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability
- Bandwidth adjustable from 0 to 14%

- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

### Applications

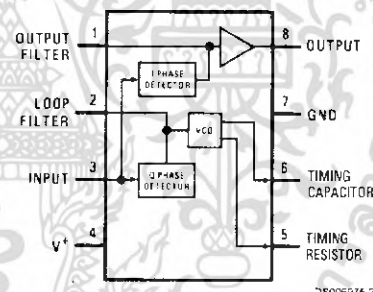
- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

### Connection Diagrams



Top View  
Order Number LM567H or LM567CH  
See NS Package Number H08C

### Dual-In-Line and Small Outline Packages



Top View  
Order Number LM567CM  
See NS Package Number M08A  
Order Number LM567CN  
See NS Package Number N08E

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 2)	1100 mW
$V_B$	15V
$V_3$	-10V
$V_3$	$V_e + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

## Operating Temperature Range

LM567H	-55°C to +125°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	0°C to +70°C

## Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

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

## Electrical Characteristics

AC Test Circuit,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V^* = 5V$

Parameters	Conditions	LM567			LM567C/LM567CM			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current Quiescent	$R_L = 20k$		6	8		7	10	mA
Power Supply Current Activated	$R_L = 20k$		11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20		15	20		k $\Omega$
Smallest Detectable Input Voltage	$I_L = 100 \text{ mA}$ , $f_i = f_o$		20	25		20	25	mVrms
Largest No Output Input Voltage	$I_C = 100 \text{ mA}$ , $f_i = f_o$	10	15		10	15		mVrms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	$B_n = 140 \text{ kHz}$		-6			-6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of $f_o$
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of $f_o$
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			$\pm 0.1$			$\pm 0.1$		%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75-6.75V		$\pm 1$	$\pm 2$		$\pm 1$	$\pm 5$	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability (4.75-5.75V)	$0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$		$35 \pm 60$ $35 \pm$ 140			$35 \pm 60$ $35 \pm$ 140		ppm/°C ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V-6.75V 4.75V-9V		0.5 1.0	1.0 2.0		0.4 2.0	2.0 2.0	%/V %/V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			$f_o/20$			$f_o/20$		
Output Leakage Current	$V_B = 15V$		0.01	25		0.01	25	$\mu\text{A}$
Output Saturation Voltage	$e_i = 25 \text{ mV}$ , $I_B = 30 \text{ mA}$ $e_i = 25 \text{ mV}$ , $I_B = 100 \text{ mA}$		0.2 0.6	0.4 1.0		0.2 0.6	0.4 1.0	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

**Note 2:** The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

**Note 3:** Refer to RET567X drawing for specifications of military LM567H version.

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 2)	1100 mW
$V_B$	15V
$V_3$	-10V
$V_3$	$V_4 + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

## Operating Temperature Range

LM567H	-55°C to +125°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	0°C to +70°C

## Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

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

## Electrical Characteristics

AC Test Circuit,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V^* = 5V$

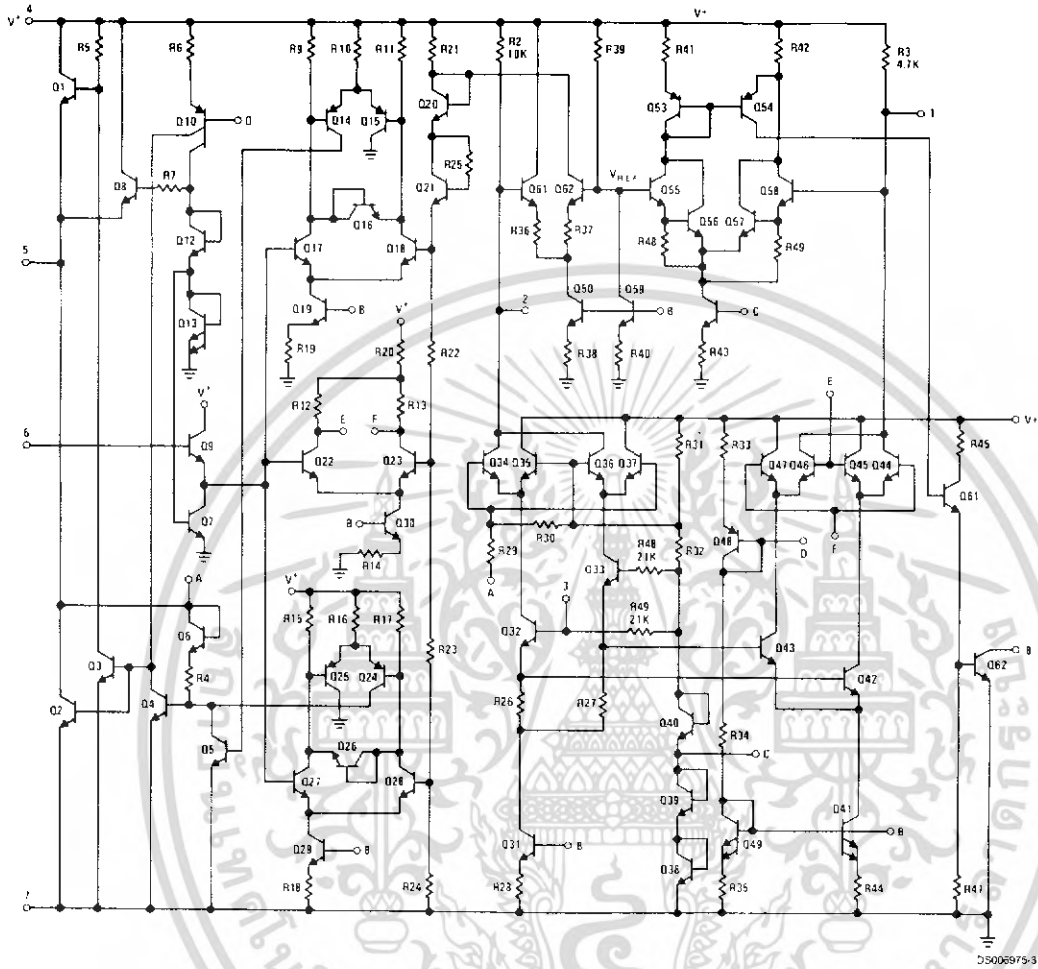
Parameters	Conditions	LM567			LM567C/LM567CM			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current Quiescent	$R_L = 20k$		6	8		7	10	mA
Power Supply Current Activated	$R_L = 20k$		11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20		15	20		k $\Omega$
Smallest Detectable Input Voltage	$I_L = 100\text{ mA}$ , $f_i = f_o$		20	25		20	25	mVrms
Largest No Output Input Voltage	$I_C = 100\text{ mA}$ , $f_i = f_o$	10	15		10	15		mVrms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	$B_n = 140\text{ kHz}$		-6			-6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of $f_o$
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of $f_o$
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			$\pm 0.1$			$\pm 0.1$		%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75-6.75V		$\pm 1$	$\pm 2$		$\pm 1$	$\pm 5$	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability (4.75-5.75V)	$0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$		$35 \pm 60$ $35 \pm$ 140			$35 \pm 60$ $35 \pm$ 140		ppm/°C ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V-6.75V 4.75V-9V		0.5 2.0	1.0 2.0		0.4 2.0	2.0 2.0	%/V %/V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			$f_o/20$			$f_o/20$		
Output Leakage Current	$V_B = 15V$		0.01	25		0.01	25	$\mu\text{A}$
Output Saturation Voltage	$e_i = 25\text{ mV}$ , $I_B = 30\text{ mA}$ $e_i = 25\text{ mV}$ , $I_B = 100\text{ mA}$		0.2 0.6	0.4 1.0		0.2 0.6	0.4 1.0	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given; however, the typical value is a good indication of device performance.

**Note 2:** The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

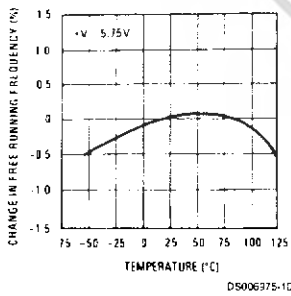
**Note 3:** Refer to RET5567X drawing for specifications of military LM567H version.

## Schematic Diagram

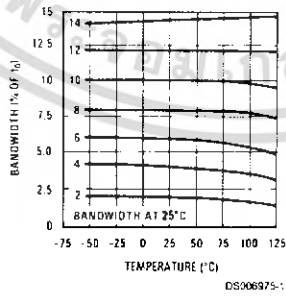


## Typical Performance Characteristics

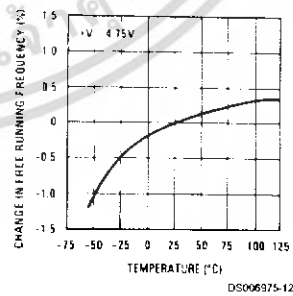
Typical Frequency Drift



Typical Bandwidth Variation

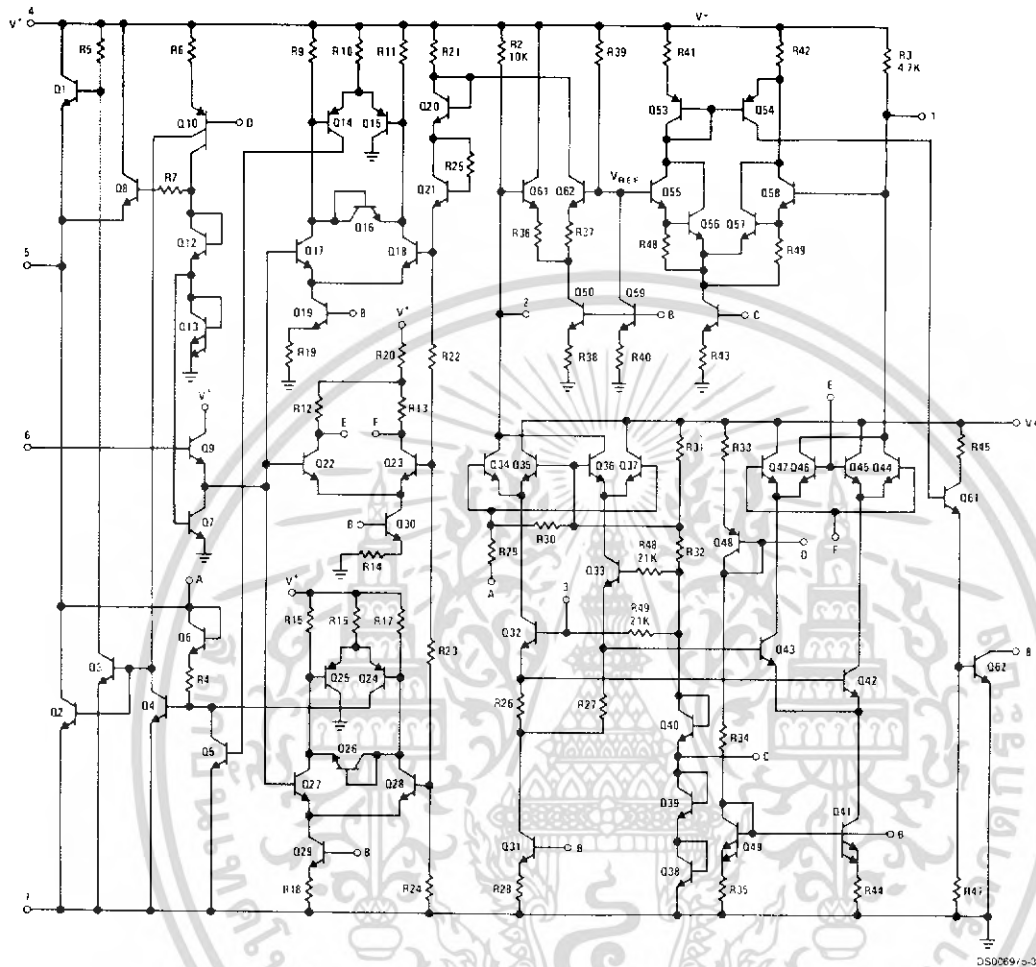


Typical Frequency Drift



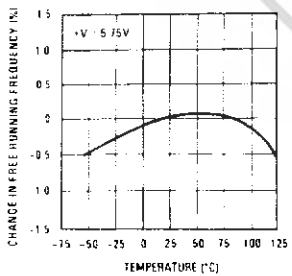
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Schematic Diagram



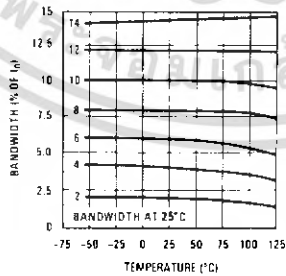
## Typical Performance Characteristics

Typical Frequency Drift



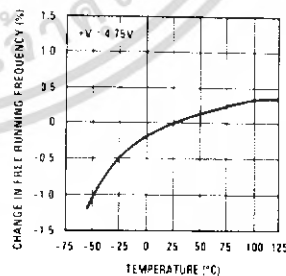
DS006975-10

Typical Bandwidth Variation



DS006975-11

Typical Frequency Drift



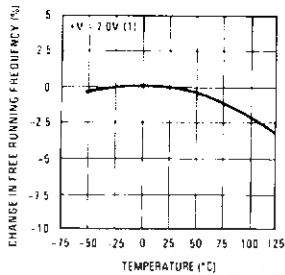
DS006975-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

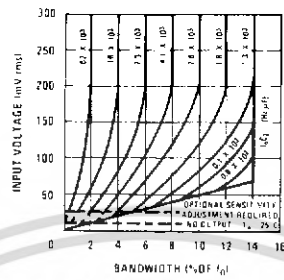


## Typical Performance Characteristics (Continued)

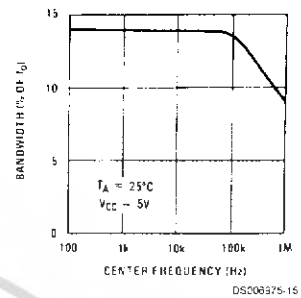
Typical Frequency Drift



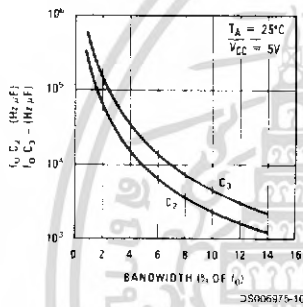
Bandwidth vs Input Signal Amplitude



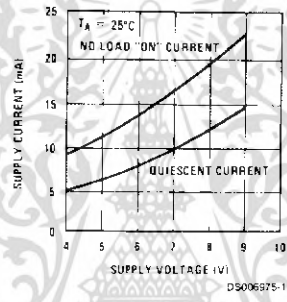
Largest Detection Bandwidth



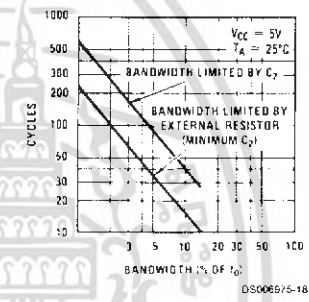
Detection Bandwidth as a Function of  $C_2$  and  $C_3$



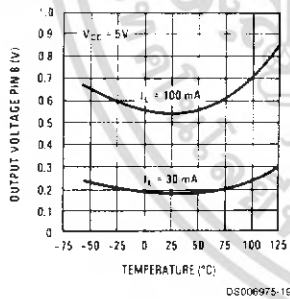
Typical Supply Current vs Supply Voltage



Greatest Number of Cycles Before Output



Typical Output Voltage vs Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16-Bit/20-Bit Multi-Range ADC with 4-Bit Latch

### Features

- Delta-Sigma A/D Converter
  - Linearity Error: 0.0015%FS
  - Noise Free Resolution: 18-bits
- Bipolar/Unipolar Input Ranges
  - 25 mV, 55 mV, 100 mV, 1 V, 2.5 V and 5 V
- Chopper Stabilized Instrumentation Amplifier
- On-Chip Charge Pump Drive Circuitry
- 4-Bit Output Latch
- Simple three-wire serial interface
  - SPI™ and Microwire™ Compatible
  - Schmitt Trigger on Serial Clock (SCLK)
- Programmable Output Word Rates
  - 3.76 Hz to 202Hz (XIN = 32.768 kHz)
  - 11.47 Hz to 616 Hz (XIN = 100 kHz)
- Output Settles in One Conversion Cycle
- Simultaneous 50/60 Hz Noise Rejection
- System and Self-Calibration with Read/Write Registers
- Single +5 V Analog Supply  
+3.0 V or +5 V Digital Supply
- Low Power Mode Consumption: 4.9 mW
  - 1.8 mW in 1 V, 2.5 V, and 5 V Input Ranges

### General Description

The 16-bit CS5525 and the 20-bit CS5526 are highly integrated  $\Delta\Sigma$  A/D converters which include an instrumentation amplifier, a PGA (programmable gain amplifier), eight digital filters, and self and system calibration circuitry.

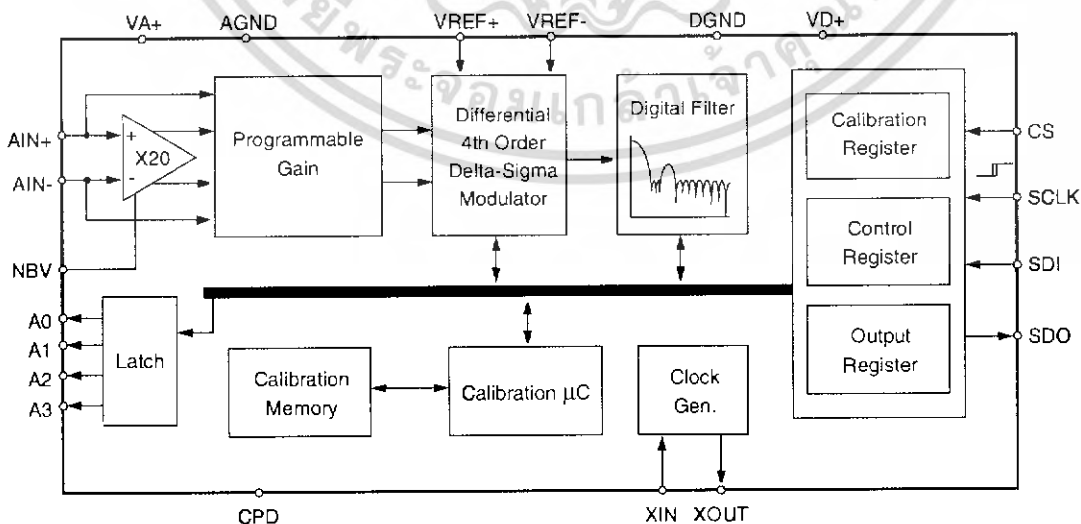
The converters are designed to provide their own negative supply which enables their on-chip instrumentation amplifiers to measure bipolar ground-referenced signals  $\leq \pm 100$  mV. By directly supplying NBV with -2.5 V and with VA+ at 5 V,  $\pm 2.5$  V signals (with respect to ground) can be measured.

The digital filters provide programmable output update rates between 3.76 Hz to 202 Hz (XIN = 32.768 kHz). Output word rates can be increased by approximately 3X by using XIN = 100 kHz. Each filter is designed to settle to full accuracy for its output update rate in one conversion cycle. The filters with word rates of 15 Hz or less (XIN = 32.768 kHz) reject both 50 and 60 Hz ( $\pm 3$  Hz) line interference simultaneously.

Low power, single conversion settling time, programmable output rates, and the ability to handle negative input signals make these single supply products ideal solutions for isolated and non-isolated applications.

### ORDERING INFORMATION

See page 26.



**ANALOG CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+}, V_{D+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $V_{REF+} = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{REF-} = \text{AGND}$ ,  $NBV = -2.1\text{ V}$ ,  $F_{CLK} = 32.768\text{ kHz}$ ,  $OVR$  (Output Word Rate) = 15 Hz, Bipolar Mode, Input Range =  $\pm 100\text{ mV}$ ; See Notes 1 and 2.)

Parameter	CS5525			CS5526			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>Accuracy</b>							
Linearity Error	-	$\pm 0.0015$	$\pm 0.003$	-	$\pm 0.0007$	$\pm 0.0015$	%FS
No Missing Codes	16	-	-	20	-	-	Bits
Bipolar Offset (Note 3)	-	$\pm 1$	$\pm 2$	-	$\pm 16$	$\pm 32$	LSB
Unipolar Offset (Note 3)	-	$\pm 2$	$\pm 4$	-	$\pm 32$	$\pm 64$	LSB
Offset Drift (Notes 3 and 4)	-	20	-	-	20	-	nV/ $^\circ\text{C}$
Bipolar Gain Error	-	$\pm 8$	$\pm 31$	-	$\pm 8$	$\pm 31$	ppm
Unipolar Gain Error	-	$\pm 16$	$\pm 62$	-	$\pm 16$	$\pm 62$	ppm
Gain Drift (Note 4)	-	1	3	-	1	3	ppm/ $^\circ\text{C}$
<b>Voltage Reference Input</b>							
Range ( $V_{REF+} - V_{REF-}$ )	1	2.5	3.0	1	2.5	3.0	V
Common Mode Rejection	dc	110	-	-	110	-	dB
	50, 60 Hz	-	130	-	-	130	dB
Input Capacitance	-	16	-	-	16	-	pF
CVF Current (Note 5)	-	0.6	-	-	0.6	-	$\mu\text{A/V}$

- Notes: 1. Applies after system calibration at any temperature within  $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim +85\text{ }^\circ\text{C}$ .  
 2. Specifications guaranteed by design, characterization, and/or test.  
 3. Specification applies to the device only and does not include any effects by external parasitic thermocouples.  $\text{LSB} = \text{LSB}_{16}$  for the CS5525, and  $\text{LSB}_{20}$  for the CS5526.  
 4. Drift over specified temperature range after calibration at power-up at  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .  
 5. See the section of the data sheet which discusses input models on page 15.

**RMS NOISE** (Notes 6 and 7)

Output Rate (Hz)	-3 dB Filter Frequency	Input Range, (Bipolar/Unipolar Mode)					
		25 mV	55 mV	100 mV	1 V	2.5 V	5 V
3.76	3.27	90 nV	90 nV	130 nV	1.0 $\mu\text{V}$	2.0 $\mu\text{V}$	4.0 $\mu\text{V}$
7.51	6.55	110 nV	130 nV	190 nV	1.5 $\mu\text{V}$	3.0 $\mu\text{V}$	7 $\mu\text{V}$
15.0	12.7	170 nV	200 nV	250 nV	2.0 $\mu\text{V}$	5.0 $\mu\text{V}$	10 $\mu\text{V}$
30.1	25.4	250 nV	300 nV	500 nV	4.0 $\mu\text{V}$	10 $\mu\text{V}$	15 $\mu\text{V}$
60.0	50.4	500 nV	1.0 $\mu\text{V}$	1.5 $\mu\text{V}$	15 $\mu\text{V}$	45 $\mu\text{V}$	85 $\mu\text{V}$
123.2 (Note 8)	103.6	2.0 $\mu\text{V}$	4.0 $\mu\text{V}$	8.0 $\mu\text{V}$	72 $\mu\text{V}$	190 $\mu\text{V}$	350 $\mu\text{V}$
168.9 (Note 8)	141.3	10 $\mu\text{V}$	20.0 $\mu\text{V}$	30 $\mu\text{V}$	340 $\mu\text{V}$	900 $\mu\text{V}$	2.0 mV
202.3 (Note 8)	169.2	30 $\mu\text{V}$	55 $\mu\text{V}$	105 $\mu\text{V}$	1.1 mV	2.4 mV	5.3 mV

- Notes: 6. Wideband noise aliased into the baseband. Referred to the input. Typical values shown for  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .  
 7. For Peak-to-Peak Noise multiply by 6.6 for all ranges and output rates.  
 8. For input ranges  $< 100\text{ mV}$  and output word rates  $> 60\text{ Hz}$ , 32.768 kHz chopping frequency is used. Specifications are subject to change without notice.

**ANALOG CHARACTERISTICS** (Continued)

Parameter		Min	Typ	Max	Unit
<b>Analog Input</b>					
Common Mode + Signal on AIN+ or AIN- NBV = -1.8 to -2.5 V	Bipolar/Unipolar Mode Range = 25 mV, 55 mV, or 100 mV Range = 1 V, 2.5 V, or 5 V	-0.150 NBV	- -	0.950 VA+	V V
NBV = AGND	Range = 25 mV, 55 mV, or 100 mV Range = 1 V, 2.5 V, or 5 V	1.85 0.0	- -	2.65 VA+	V V
Common Mode Rejection	dc	-	120	-	dB
	50, 60 Hz	-	120	-	dB
Input Capacitance		-	10	-	pF
CVF Current on AIN+ or AIN- (Note 5)	Range = 25 mV, 55 mV, or 100 mV	-	100	300	pA
	Range = 1 V, 2.5 V, or 5 V	-	1.2	-	$\mu$ A/V
<b>System Calibration Specifications</b>					
Full Scale Calibration Range	Bipolar/Unipolar Mode (Note 9)				
	25 mV	17.5	-	32.5	mV
	55 mV	38.5	-	71.5	mV
	100 mV	70	-	105	mV
	1 V	0.70	-	1.30	V
	2.5 V	1.75	-	3.25	V
5 V	3.50	-	VA+	V	
Offset Calibration Range	Bipolar/Unipolar Mode				
	25 mV	-	-	$\pm$ 12.5	mV
	55 mV	-	-	$\pm$ 27.5	mV
	100 mV	-	-	$\pm$ 50	mV
	1 V	-	-	$\pm$ 0.5	V
	2.5 V	-	-	$\pm$ 1.25	V
5 V	-	-	$\pm$ 2.50	V	
<b>Power Supplies</b>					
DC Power Supply Currents (Normal Mode)	I <sub>A+</sub>	-	1.65	2.2	mA
	I <sub>D+</sub>	-	15	30	$\mu$ A
	I <sub>NBV</sub>	-	475	700	$\mu$ A
Power Consumption	Normal Mode (Note 11)	-	9.4	12.7	mW
	Low Power Mode	-	4.9	8.5	mW
	Standby	-	1.2	-	mW
	Sleep	-	500	-	$\mu$ W
Power Supply Rejection	dc Positive Supplies	-	95	-	dB
	dc NBV	-	110	-	dB

Notes: 9. The minimum Full Scale Calibration Range (FSCR) is limited by the maximum allowed gain register value (with margin). The maximum FSCR is limited by the  $\Delta\Sigma$  modulator's 1's density range.

10. The maximum full scale signal can be limited by saturation of circuitry within the internal signal path.

11. All outputs unloaded. All input CMOS levels.

**5 V DIGITAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+}, V_{D+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $GND = 0$ ;  
See Notes 2 and 12.))

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
High-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IH}$	0.6 $V_{D+}$	-	-	V
		3.5	-	$V_{D+}$	V
		$(V_{D+}) - 0.45$	-	-	V
Low-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IL}$	-	-	0.8	V
		0.0	-	1.5	V
		-	-	0.6	V
High-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO (Note 13) CPD, $I_{out} = -4.0\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = -5.0\text{ mA}$	$V_{OH}$	$(V_{A+}) - 1.0$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
Low-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO, $I_{out} = 1.6\text{ mA}$ CPD, $I_{out} = 2\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = 5.0\text{ mA}$	$V_{OL}$	-	-	0.4	V
		-	-	0.4	V
		-	-	0.4	V
Input Leakage Current	$I_{in}$	-	$\pm 1$	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
3-State Leakage Current	$I_{OZ}$	-	-	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
Digital Output Pin Capacitance	$C_{out}$	-	9	-	pF

Notes: 12. All measurements performed under static conditions.

13.  $I_{out} = -100\text{ }\mu\text{A}$  unless stated otherwise. ( $V_{OH} = 2.4\text{ V}$  @  $I_{out} = -40\text{ }\mu\text{A}$ .)

**3.0 V DIGITAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $V_{D+} = 3.0\text{ V} \pm 10\%$ ;  $GND = 0$ ;  
See Notes 2 and 12.))

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
High-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IH}$	0.6 $V_{D+}$	-	-	V
		0.54 $V_{A+}$	-	$V_{D+}$	V
		$(V_{D+}) - 0.45$	-	-	V
Low-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IL}$	-	-	0.16 $V_{D+}$	V
		0.0	-	1.5	V
		-	-	0.6	V
High-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO, $I_{out} = -400\text{ }\mu\text{A}$ CPD, $I_{out} = -4.0\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = -5.0\text{ mA}$	$V_{OH}$	$(V_{A+}) - 0.3$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
Low-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO, $I_{out} = 400\text{ }\mu\text{A}$ CPD, $I_{out} = 2\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = 5.0\text{ mA}$	$V_{OL}$	-	-	0.3	V
		-	-	0.4	V
		-	-	0.4	V
Input Leakage Current	$I_{in}$	-	$\pm 1$	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
3-State Leakage Current	$I_{OZ}$	-	-	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
Digital Output Pin Capacitance	$C_{out}$	-	9	-	pF

## DYNAMIC CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	Ratio	Unit
Modulator Sampling Frequency	$f_s$	XIN/2	Hz
Filter Settling Time to 1/2 LSB (Full Scale Step)	$t_s$	$1/f_{out}$	s

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (AGND, DGND = 0 V; See Note 14.)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
DC Power Supplies	Positive Digital	VD+	2.7	5.0	5.25	V
	Positive Analog	VA+	4.75	5.0	5.25	V
Analog Reference Voltage	(VREF+) - (VREF-)	VRef <sub>diff</sub>	1.0	2.5	3.0	V
Negative Bias Voltage	NBV	-1.8	-2.1	-2.5	V	

Notes: 14. All voltages with respect to ground.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (AGND, DGND = 0 V; See Note 14.)

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit	
DC Power Supplies (Note 15)	Positive Digital	VD+	-0.3	+6.0	V
	Positive Analog	VA+	-0.3	+6.0	V
Negative Bias Voltage	Negative Potential	NBV	+0.3	-3.0	V
Input Current, Any Pin Except Supplies (Note 16 and 17)	$I_{IN}$	-	$\pm 10$	mA	
Output Current	$I_{OUT}$	-	$\pm 25$	mA	
Power Dissipation (Note 18)	PDN	-	500	mW	
Analog Input Voltage	VREF pins	$V_{INR}$	-0.3	(VA+) + 0.3	V
	AIN Pins	$V_{INA}$	NBV - 0.3	(VA+) + 0.3	V
Digital Input Voltage	$V_{IND}$	-0.3	(VD+) + 0.3	V	
Ambient Operating Temperature	$T_A$	-40	85	°C	
Storage Temperature	$T_{stg}$	-65	150	°C	

Notes: 15. No pin should go more negative than NBV - 0.3 V.

16. Applies to all pins including continuous overvoltage conditions at the analog input (AIN) pins.

17. Transient current of up to 100 mA will not cause SCR latch-up. Maximum input current for a power supply pin is  $\pm 50$  mA.

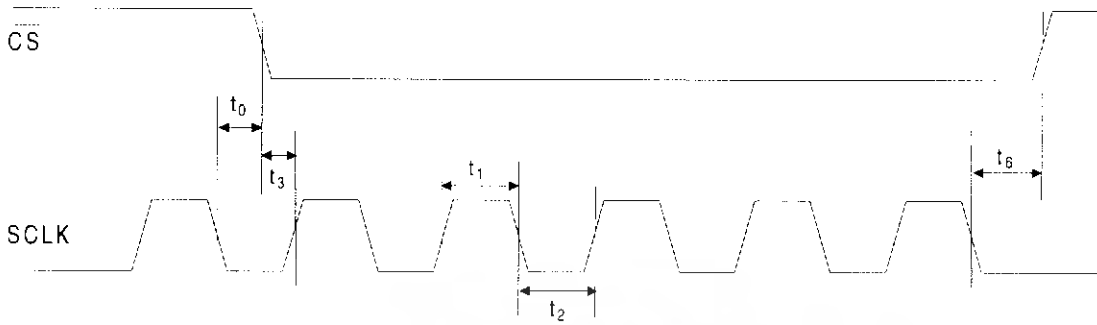
18. Total power dissipation, including all input currents and output currents.

**WARNING:** Operation at or beyond these limits may result in permanent damage to the device.  
Normal operation is not guaranteed at these extremes.

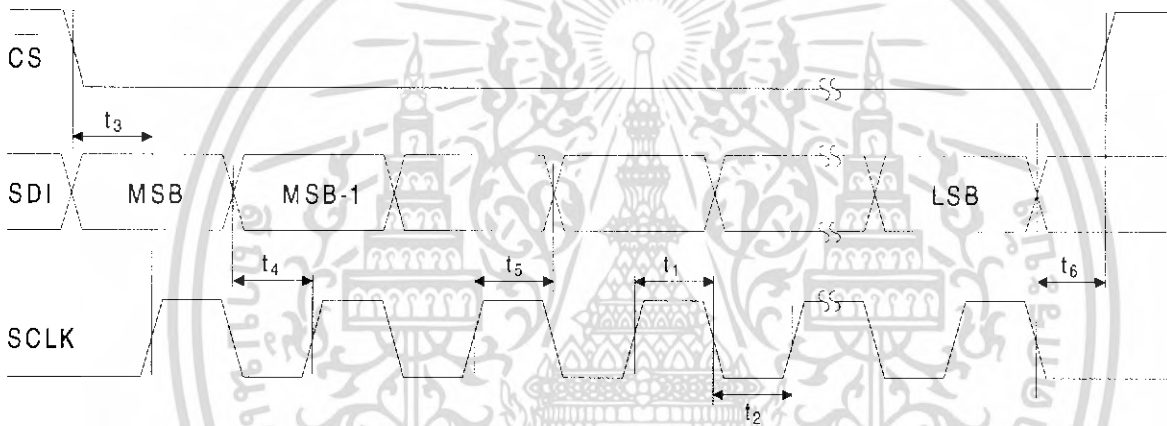
**SWITCHING CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $V_{D+} = 3.0\text{ V} \pm 10\%$  or  $5\text{ V} \pm 5\%$ ;  
Input Levels: Logic 0 = 0 V, Logic 1 =  $V_{D+}$ ;  $C_L = 50\text{ pF}$ .)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Master Clock Frequency (Note 19)	XIN	30	32.768	36	kHz
		30	32.768	100	
Master Clock Duty Cycle		40	-	60	%
Rise Times (Note 20)	$t_{rise}$	-	-	1.0	$\mu\text{s}$
		-	-	100	$\mu\text{s}$
		-	50	-	ns
Fall Times (Note 20)	$t_{fall}$	-	-	1.0	$\mu\text{s}$
		-	-	100	$\mu\text{s}$
		-	50	-	ns
<b>Start-up</b>					
Oscillator Start-up Time XTAL = 32.768 kHz (Note 21)	$t_{ost}$	-	500	-	ms
Power-on Reset Period	$t_{por}$	-	1003	-	XIN cycles
<b>Serial Port Timing</b>					
Serial Clock Frequency	SCLK	0	-	2	MHz
SCLK Falling to CS Falling for continuous running SCLK (Note 22)	$t_0$	100	-	-	ns
Serial Clock Pulse Width High	$t_1$	250	-	-	ns
		250	-	-	ns
Serial Clock Pulse Width Low	$t_2$	250	-	-	ns
		250	-	-	ns
<b>SDI Write Timing</b>					
CS Enable to Valid Latch Clock	$t_3$	50	-	-	ns
Data Set-up Time prior to SCLK rising	$t_4$	50	-	-	ns
Data Hold Time After SCLK Rising	$t_5$	100	-	-	ns
SCLK Falling Prior to CS Disable	$t_6$	100	-	-	ns
<b>SDO Read Timing</b>					
CS to Data Valid	$t_7$	-	-	150	ns
SCLK Falling to New Data Bit	$t_8$	-	-	150	ns
CS Rising to SDO Hi-Z	$t_9$	-	-	150	ns

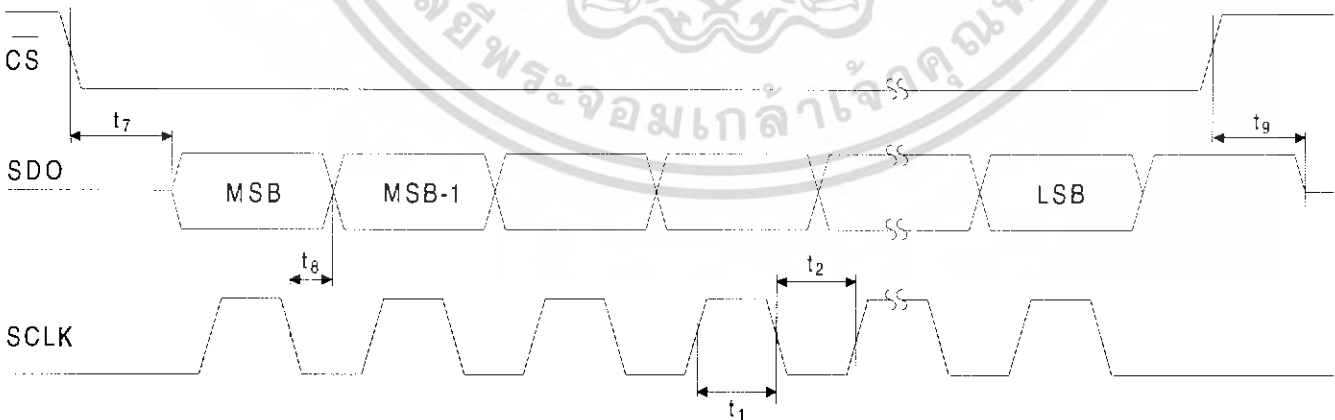
- Notes: 19. Device parameters are specified with a 32.768 kHz clock; however, clocks up to 100 kHz can be used for increased throughput.
20. Specified using 10% and 90% points on waveform of interest. Output loaded with 50 pF.
21. Oscillator start-up time varies with crystal parameters. This specification does not apply when using an external clock source.
22. Applicable when SCLK is continuously running.



**Continuous Running SCLK Timing (Not to Scale)**



**SDI Write Timing (Not to Scale)**



**SDO Read Timing (Not to Scale)**

## DETAILED DESCRIPTION

The CS5525 and CS5526 are 16-bit and 20-bit pin compatible converters which include a chopper-stabilized instrumentation amplifier input, and an on-chip programmable gain amplifier. They are both optimized for measuring low-level unipolar or bipolar signals in process control and medical applications.

The CS5525/26 also include a fourth order delta-sigma modulator, a calibration microcontroller, eight digital filters, a 4-bit analog latch, and a serial port. The digital filters provide any one of eight different output update rates.

The CS5525/26 include a CPD (Charge Pump Drive) output (shown in Figure 1). CPD provides a negative bias voltage to the on-chip instrumentation amplifier when used with a combination of external diodes and capacitors. This enables the CS5525/26 to measure negative voltages with re-

spect to ground, making the converters ideal for thermocouple temperature measurements.

## Theory of Operation

The CS5525/26 A/D converters are designed to operate from a single +5 V analog supply and provide several different input ranges. See the *Analog Characteristics* section on page 3 for details.

Figure 1 illustrates the CS5525/26 connected to generate their own negative bias supply using the on-chip CPD (Charge Pump Drive). This enables the CS5525/26 to measure ground referenced signals with magnitudes down to NBV (Negative Bias Voltage, approximately -2.1 V in this example). Figure 2 illustrates a charge pump circuit when the converters are powered from a +3.0 V digital supply. Alternatively, the negative bias supply can be generated from a negative supply voltage or a resistive divider as illustrated in Figure 3.

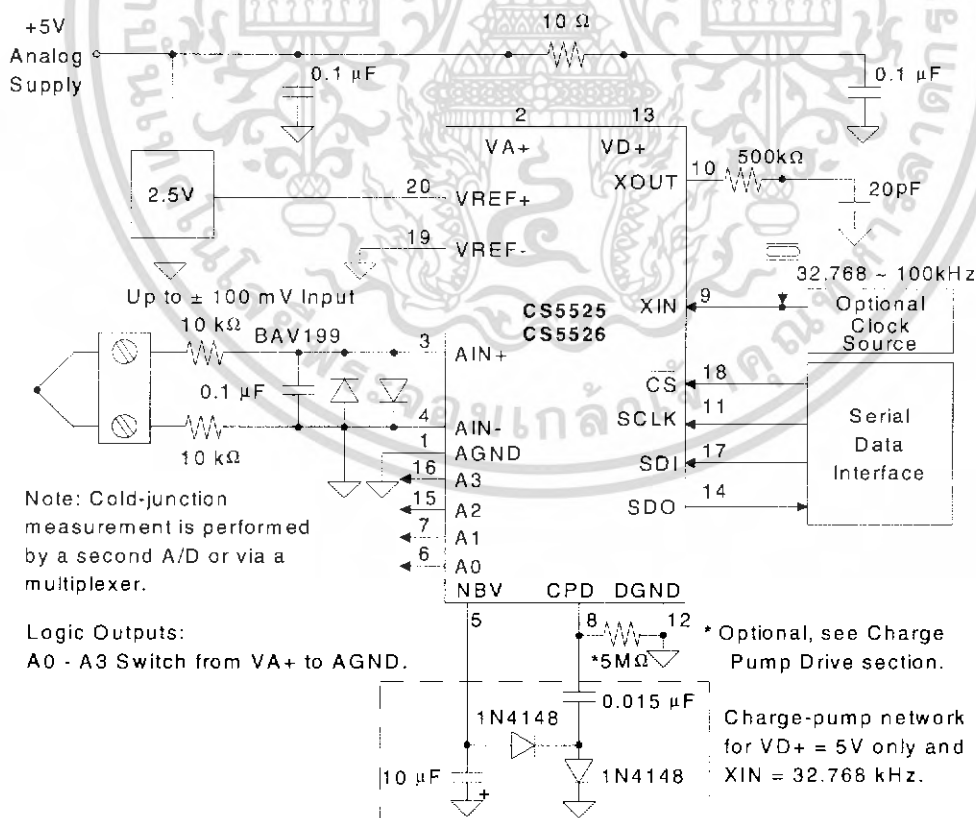
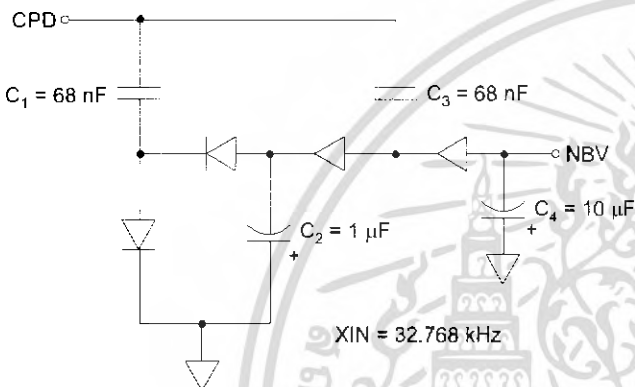


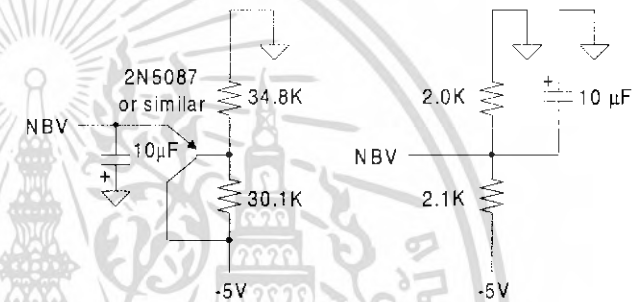
Figure 1. CS5525/26 Configured to use on-chip charge pump to supply NBV.

Figure 4 illustrates the CS5525/26 connected to measure ground referenced unipolar signals of a positive polarity using the 1 V, 2.5 V, and 5 V input voltage ranges on the converter. For the 25 mV, 55 mV, and 100 mV ranges the signal must have a common mode near +2.5 V (NBV = 0V).

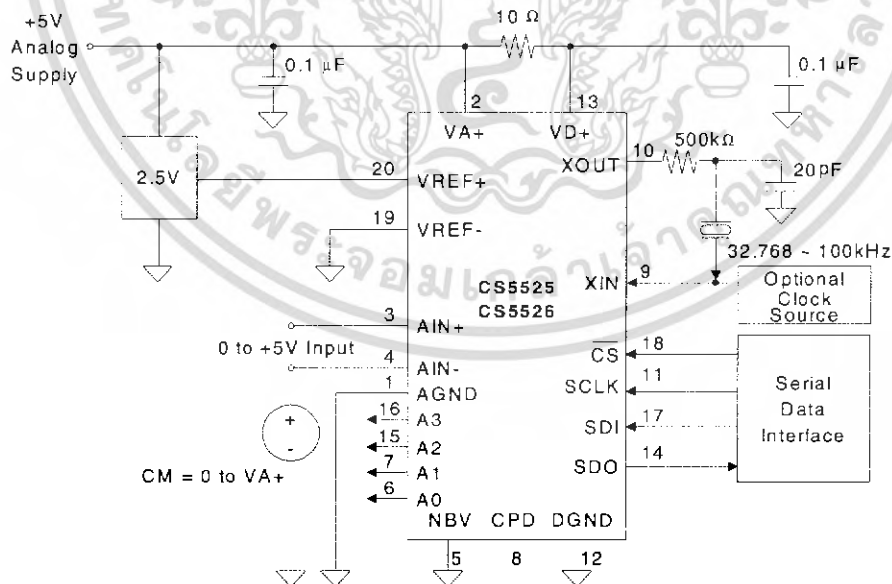
The CS5525/26 are optimized for the measurement of thermocouple outputs, but they are also well suited for the measurement of ratiometric bridge transducer outputs. Figure 5 illustrates the CS5525/26 connected to measure the output of a ratiometric differential bridge transducer while operating from a single +5 V supply.



**Figure 2. Charge Pump Drive Circuit for  $VD+ = 3\text{ V}$ .**



**Figure 3. Alternate NBV Circuits.**



**Figure 4. CS5525/26 Configured for ground-referenced Unipolar Signals.**

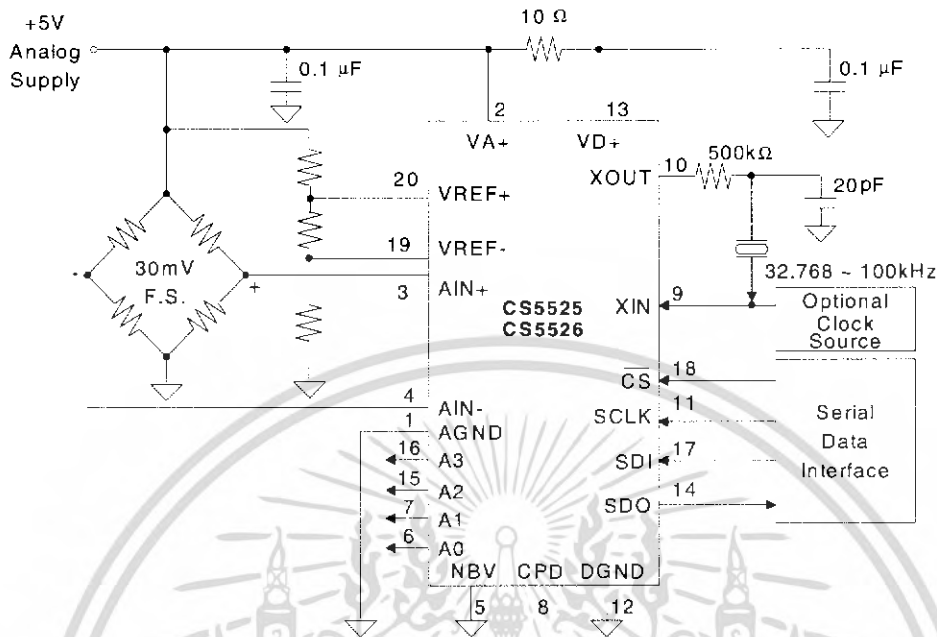


Figure 5. CS5525/26 Configured for Single Supply Bridge Measurement.

### System Initialization

When power to the CS5525/26 is applied, they are held in a reset condition until their 32.768 kHz oscillators have started and their start-up counter-timer elapses. Due to the high Q of a 32.768 kHz crystal, the oscillators take 400-600 ms to start. The converter's counter-timer counts no more than 1024 oscillator clock cycles to make sure the oscillator is fully stable. During this time-out period the serial port logic is reset and the RV (Reset Valid) bit in the configuration register is set. A reset can be initiated at any time by writing a logic 1 to the RS (Reset System) bit in the configuration register. This automatically sets the RV bit until the RS bit is written to logic 0, and the configuration register is read. After a reset, the on-chip registers are initialized to the following states and the converters are ready to perform conversions.

configuration register:	000040(H)
offset register:	000000(H)
gain register:	800000(H)

### Command Operation

The CS5525/26 include a microcontroller with five registers used to control the converter. Each register is 24-bits in length except the 8-bit command register (command, configuration, offset, gain, and conversion data). After a system initialization or reset, the serial port is initialized to the command mode and the converter stays in this mode until a valid 8-bit command is received (the first 8-bits into the serial port). Table 1 lists all the valid commands. Once a valid 8-bit command (a read or a write command word) is received and interpreted by the command register, the serial port enters the data mode. In data mode the next 24 serial clock pulses shift data either into or out of the serial port (72 serial clock pulses are needed if set-up register is selected). See Table 2 for configuring the CS5525/26.

### Reading/Writing On-Chip Registers

The CS5525/26's offset, gain, and configuration registers are read/writable while the conversion data register is read only.

To perform a read from a specific register, the  $R/\overline{W}$  bit of the command word must be a logic 1. The SC, CC, and  $PS/\overline{R}$  bits must be logic 0 and the CB (MSB) bit must be a logic 1. The register to be written is selected with the RSB2-RSB0 bits of the command word.

To perform a write to a specific register, the  $R/\overline{W}$  bit of the command word must be a logic 0. The SC,

CC, and  $PS/\overline{R}$  bits must be logic 0 and the CB (MSB) bit must be a logic 1. The register to be written is selected with the RSB2-RSB0 bits of the command word. Figure 6 illustrates the serial sequence necessary to write to, or read from the serial port.

If the Set-up Registers are chosen with the RSB2-RSB0 bits, the registers are read or written in the following sequence: Offset, Gain and Configuration. This is accomplished by following one 8-bit command word with three 24-bit data words for a total of 72 data bits.

### Command Register

D7(MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CB	SC	CC	R/W	RSB2	RSB1	RSB0	PS/R

BIT	NAME	VALUE	FUNCTION
D7	Command Bit, CB	0	Null command (no operation). All command bits, including CB must be 0.
		1	Logic 1 for executable commands.
D6	Single Conversion, SC	0	Single Conversion not active.
		1	Perform a conversion.
D5	Continuous Conversions, CC	0	Continuous Conversions not active.
		1	Perform conversions continuously.
D4	Read/Write, R/W	0	Write to selected register.
		1	Read from selected register.
D3-D1	Register Select Bit, RSB2-RSB0	000	Offset Register
		001	Gain Register
		010	Configuration Register
		011	Conversion Data Register (read only)
		100	Set-up Registers (Offset, Gain, Configuration)
		101	Reserved
		110	Reserved
		111	Reserved
D0	Power Save/Run, PS/R	0	Run
		1	Power Save

Table 1. Command Set

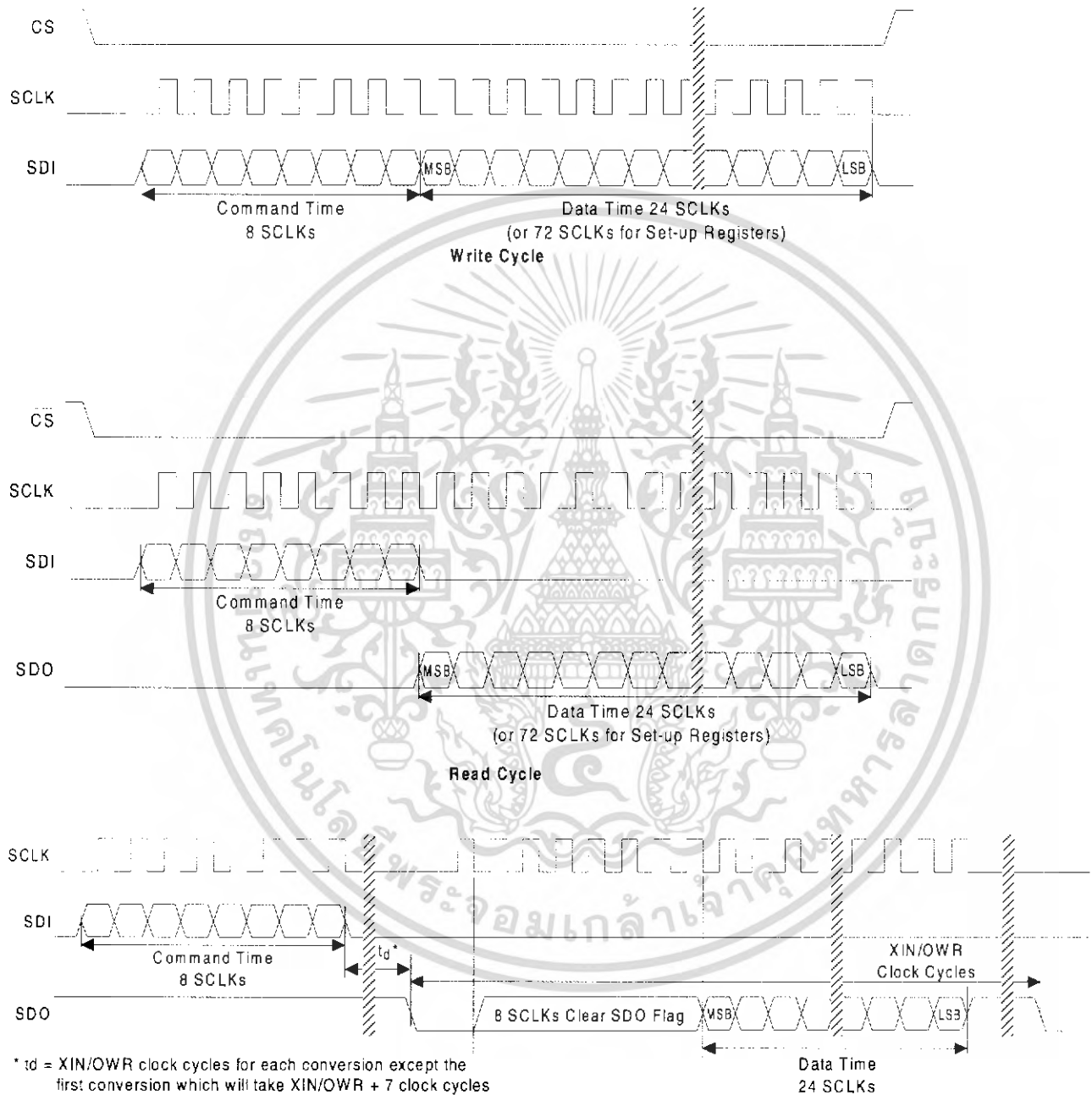
**Configuration Register**

D23(MSB)	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12
A3	A2	A1	A0	NU	CFS	NU	LPM	WR2	WR1	WR0	U/B
D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
G2	G1	G0	PD	RS	RV	PF	PSS	DF	CC2	CC1	CC0

BIT	NAME	VALUE		FUNCTION
D23-D20	Latch Outputs, A3-A0	0000	R*	Latch Output Pins A3-A0 mimic the D23-D20 Register bits.
D19	Not Used, NU	0	R	Must always be logic 0.
D18	Chop Frequency Select, CFS	0 1	R	256 Hz Amplifier chop frequency 32768 Hz Amplifier chop frequency
D17	Not Used, NU	0	R	Must always be logic 0.
D16	Low Power Mode, LPM	0 1	R	Normal Mode Reduced Power mode
D15-D13	Word Rate, WR2-0 Note: For XIN = 32.768kHz	000 001 010 011 100 101 110 111	R	15.0 Hz (2182 XIN cycles) 30.1 Hz (1090 XIN cycles) 60.0 Hz (546 XIN cycles) 123.2 Hz (266 XIN cycles) 168.9 Hz (194 XIN cycles) 202.3 Hz (162 XIN cycles) 3.76 Hz (8722 XIN cycles) 7.51 Hz (4362 XIN cycles)
D12	Unipolar/Bipolar, U/B	0 1	R	Bipolar Measurement mode Unipolar Measurement mode
D11-D9	Gain Bits, G2-G0	000 001 010 011 100 101 110/111	R	100 mV (assumes VREF = 2.5V) 55 mV 25 mV 1 V 5.0 V 2.5 V Not Used.
D8	Pump Disable, PD	0 1	R	Charge Pump Enabled For PD = 1, the CPD pin goes to a Hi-Z output state.
D7	Reset System, RS	0 1	R	Normal Operation Activate a Reset cycle. To return to Normal Operation write bit to zero.
D6	Reset Valid, RV	0 1	R	No reset has occurred or bit has been cleared (read only). Valid Reset has occurred. (Cleared when read.)
D5	Port Flag, PF	0 1	R	Port Flag mode inactive Port Flag mode active
D4	Power Save Select, PSS	0 1	R	Standby Mode (Oscillator active, allows quick power-up) Sleep Mode (Oscillator inactive)
D3	Done Flag, DF	0 1	R	Done Flag bit is cleared (read only). Calibration or Conversion cycle completed (read only).
D2-D0	Calibration Control Bits, CC2-CC0	000 001 010 011 100 101 110 111	R	Normal Operation (no calibration) Offset -- Self-Calibration Gain -- Self-Calibration Offset Self-Calibration followed by Gain Self-Calibration Not used. Offset -- System Calibration Gain -- System Calibration Not Used.

\* R indicates the bit value after the part is reset

**Table 2. Configuration Register**



**SDO Continuous Conversion Read (PF bit = 1)**

**Figure 6. Command and Data Word Timing.**

## Analog Input

Figure 7 illustrates a block diagram of the analog input signal path inside the CS5525/26. The front end consists of a chopper-stabilized instrumentation amplifier with 20X gain and a programmable gain section. The instrumentation amplifier is powered from VA+ and from the NBV (Negative Bias Voltage) pin allowing the CS5525/26 to be operated in either of two analog input configurations. The NBV pin can be biased to a negative voltage between -1.8 V and -2.5 V, or tied to AGND. The choice of the operating mode for the NBV voltage depends upon the input signal and its common mode voltage.

For the 25 mV, 55 mV, and 100 mV input ranges, the input signals to AIN+ and AIN- are amplified by the 20X instrumentation amplifier. For ground referenced signals with magnitudes less than 100 mV, the NBV pin should be biased with -1.8 V to -2.5 V. If NBV is tied between -1.8 V and -2.5 V, the (Common Mode + Signal) input on AIN+ and AIN- must stay between -0.150 V and 0.950 V to ensure proper operation. Alternatively, NBV can be tied to AGND where the input (Common Mode + Signal) on AIN+ and AIN- must stay between 1.85 V and 2.65 V to ensure that the amplifier operates properly.

For the 1 V, 2.5 V, and 5 V input ranges, the instrumentation amplifier is bypassed and the input signals are directly connected to the Programmable Gain block. With NBV tied between -1.8 V and -2.5 V, the (Common Mode + Signal) input on AIN+ and AIN- must stay between NBV and VA+.

Alternatively, NBV can be tied to AGND where the input (Common Mode + Signal) on AIN+ and AIN- pins can span the entire range between AGND and VA+.

The CS5525/26 can accommodate full scale ranges other than 25 mV, 55 mV, 100 mV, 1 V, 2.5 V and 5 V by performing a system calibration within the limits specified. See the **Calibration** section for more details. Another way to change the full scale range is to increase or to decrease the voltage reference to other than 2.5 V. See the **Voltage Reference** section for more details.

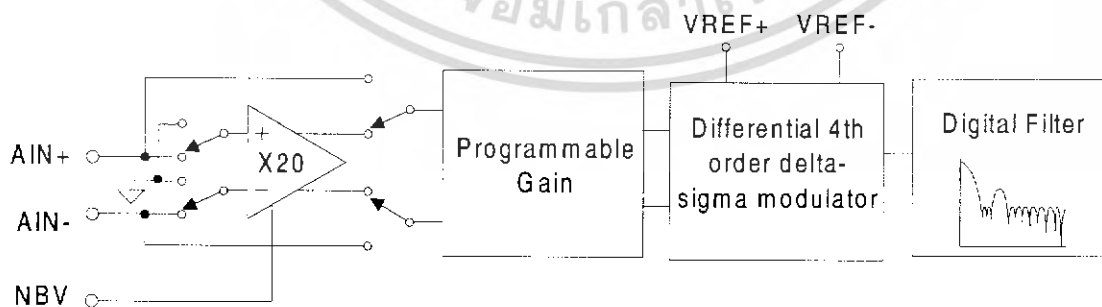
Three factors set the operating limits for the input span. They include: instrumentation amplifier saturation, modulator 1's density, and a lower reference voltage. When the 25 mV, 55 mV or 100 mV range is selected, the input signal (including the common mode voltage and the amplifier offset voltage) must not cause the 20X amplifier to saturate in either its input stage or output stage. To prevent saturation the absolute voltages on AIN+ and AIN- must stay within the limits specified (refer to the *'Analog Input'* table on page 3). Additionally, the differential output voltage of the amplifier must not exceed 2.8 V. The equation

$$\text{ABS}(\text{VIN} + \text{VOS}) \times 20 = 2.8 \text{ V}$$

defines the differential output limit, where

$$\text{VIN} = (\text{AIN+}) - (\text{AIN-})$$

is the differential input voltage and VOS is the absolute maximum offset voltage for the instrumentation amplifier (VOS will not exceed 40 mV). If the



**Figure 7. Block Diagram of Analog Signal Path**

Input Range <sup>(1)</sup>	Max. Differential Output 20X Amplifier	VREF	Gain Factor	$\Delta$ - $\Sigma$ Nominal <sup>(1)</sup> Differential Input	$\Delta$ - $\Sigma$ <sup>(1)</sup> Max. Input
$\pm 25$ mV	2.8 V <sup>(2)</sup>	2.5V	5	$\pm 0.5$ V	$\pm 0.75$ V
$\pm 55$ mV	2.8 V <sup>(2)</sup>	2.5V	2.272727...	$\pm 1.1$ V	$\pm 1.65$ V
$\pm 100$ mV	2.8 V <sup>(2)</sup>	2.5V	1.25	$\pm 2.0$ V	$\pm 3.0$ V
$\pm 1.0$ V	-	2.5V	2.5	$\pm 1.0$ V	$\pm 1.5$ V
$\pm 2.5$ V	-	2.5V	1.0	$\pm 2.5$ V	$\pm 5.0$ V
$\pm 5.0$ V	-	2.5V	0.5	$\pm 5.0$ V	0V, VA+

Note: 1. The converter's actual input range, the delta-sigma's nominal full scale input, and the delta-sigma's maximum full scale input all scale directly with the value of the voltage reference. The values in the table assume a 2.5 V VREF voltage.

**Table 3. Relationship between Full Scale Input, Gain Factors, and Internal Analog Signal Limitations**

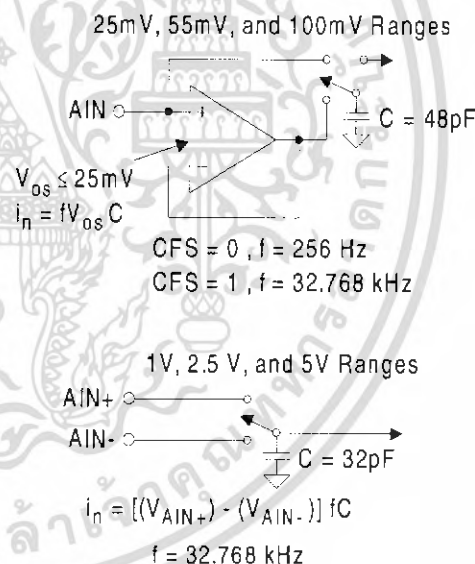
differential output voltage from the amplifier exceeds 2.8 V, the amplifier may saturate, which will cause a measurement error.

The input voltage into the modulator must not cause the modulator to exceed a low of 20 percent or a high of 80 percent 1's density. The nominal full scale input span of the modulator (from 30 percent to 70 percent 1's density) is determined by the VREF voltage divided by the Gain Factor. See Table 3 to determine if the CS5525/26 are being used properly. For example, in the 55 mV range to determine the nominal input voltage to the modulator, divide VREF (2.5 V) by the Gain Factor (2.2727).

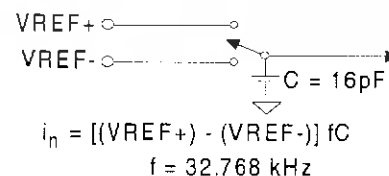
When a smaller voltage reference is used, the resulting code widths are smaller causing the converter output codes to exhibit more changing codes for a fixed amount of noise. Table 3 is based upon a VREF = 2.5 V. For other values of VREF, the values in Table 3 must be scaled accordingly.

Figure's 8 and 9 illustrate the input models for the AIN and VREF pins. The dynamic input current for each of the pins can be determined from the models shown and is dependent upon the setting of the CFS (Chop Frequency Select) bit. The effective input impedance for the AIN+ and AIN- pins remains constant for the three low level measurement ranges (25 mV, 55 mV, and 100 mV). The input current is lowest with the CFS bit cleared to logic 0.

Note: Residual noise appears in the converter's baseband for output word rates greater than 60 Hz if CFS is logic 0. By setting CFS to logic 1, the amplifier's chop frequency chops at 32768 Hz eliminating the residual noise, but increasing the current. Note that C=48pF is for input current modeling only. For physical input capacitance see 'Input Capacitance' specification under 'Analog Characteristics' on page 3.



**Figure 8. Input models for AIN+ and AIN- pins**



**Figure 9. Input model for VREF+ and VREF- pins.**

## Charge Pump Drive

The CPD (Charge Pump Drive) pin of the converters can be used with external components (shown in Figure 1) to develop an appropriate negative bias voltage for the NBV pin. When CPD is used to generate the NBV, the NBV voltage is regulated with an internal regulator loop referenced to VA+. Therefore, any change on VA+ results in a proportional change on NBV. With VA+ = 5 V, NBV's regulation is set proportional to VA+ at approximately -2.1 V.

Figure 3 illustrates a means of supplying NBV voltage from a -5 V supply. For ground based signals with the instrumentation amplifier engaged (when in the 25mV, 55mV, or 100mV ranges), the voltage on the NBV pin should at no time be less negative than -1.8 V or more negative than -2.5 V. To prevent excessive voltage stress to the chip the NBV voltage should not be more negative than -3.0 V.

The components in Figure 1 are the preferred components for the CPD filter. However, smaller capacitors can be used with acceptable results. The 10  $\mu$ F ensures very low ripple on NBV. Intrinsic safety requirements prohibit the use of electrolytic capacitors. In this case, two 0.47  $\mu$ F ceramic capacitors in parallel can be used.

The CPD pin itself is a tri-state output and enters tri-state whenever the converters are placed into the Sleep Mode, Standby Mode, or when the charge pump is disabled (when the Pump Disable bit, bit D8 in the configuration register, is set). Once in tri-state, the digital current can increase if this CPD output floats near 1/2 digital supply. To ensure the CPD pin stays near ground and to minimize the digital current, add a 5M $\Omega$  resistor between it and DGND (see Figure 1). If the resistor is left out, the digital supply current may increase from 2  $\mu$ A to 10  $\mu$ A.

## Voltage Reference

The CS5525/26 are specified for operation with a 2.5 V reference voltage between the VREF+ and VREF- pins of the devices. For a single-ended reference voltage, such as the LT1019-2.5, the reference's output is connected to the VREF+ pin of the CS5525/26. The ground reference for the LT1019-2.5 is connected to the VREF- pin.

The differential voltage between the VREF+ and VREF- can be any voltage from 1.0 V up to 3.0 V, however, the VREF- pin can not go below analog ground.

## Calibration

The CS5525/26 offer five different calibration functions including self calibration and system calibration. However, after the CS5525/26 are reset, they can perform measurements without being calibrated. In this case, the converters will utilize the initialized values of the on-chip registers (Gain = 1.0, Offset = 0.0) to calculate output words for the  $\pm 100$  mV range. Any initial offset and gain errors in the internal circuitry of the chips will remain.

The gain and offset registers, which are used for both self and system calibration, are used to set the zero and full-scale points of the converter's transfer function. One LSB in the offset register is  $2^{-24}$  proportion of the input span (bipolar span is 2 times the unipolar span). The MSB in the offset register determines if the offset to be trimmed is positive or negative (0 positive, 1 negative). The converters can typically trim  $\pm 50$  percent of the input span. The gain register spans from 0 to  $(2 - 2^{-23})$ . The decimal equivalent meaning of the gain register is

$$D = b_0 2^0 + b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_N 2^{-N} = \sum_{i=0}^N b_i 2^{-i}$$

where the binary numbers have a value of either zero or one ( $b_0$  corresponds to the MSB). Refer to Table 4 for details.

### Offset Register

	MSB						LSB					
Register	Sign	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$	$2^{-5}$	$2^{-6}$	$2^{-19}$	$2^{-20}$	$2^{-21}$	$2^{-22}$	$2^{-23}$	$2^{-24}$
Reset (R)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

One LSB represents  $2^{-24}$  proportion of the input span (bipolar span is 2 times unipolar span)  
 Offset and data word bits align by MSB (bit MSB-4 of offset register changes bit MSB-4 of data)

### Gain Register

	MSB						LSB					
Register	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$	$2^{-5}$	$2^{-18}$	$2^{-19}$	$2^{-20}$	$2^{-21}$	$2^{-22}$	$2^{-23}$
Reset (R)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

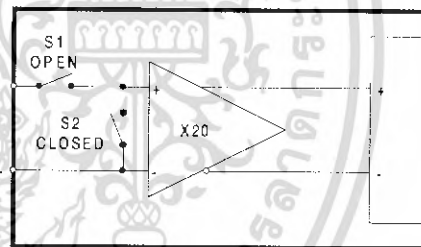
The gain register span is from 0 to  $(2 \cdot 2^{-23})$ . After Reset the MSB = 1, all other bits are 0.

**Table 4. Offset and Gain Registers**

The offset and gain calibration steps each take one conversion cycle to complete. At the end of the calibration step, the calibration control bits will be set back to logic 0, and the DF (Done Flag) bit will be set to a logic 1. For the combination self-calibration (CC2-CC0= 011; offset followed by gain), the calibration will take two conversion cycles to complete and will set the DF bit after the gain calibration is completed. The DF bit will be cleared any time the data register, the offset register, the gain register, or the setup register is read. Reading the configuration register alone will not clear the DF bit.

of the modulator are connected together and then routed to the VREF- pin as shown in Figure 11.

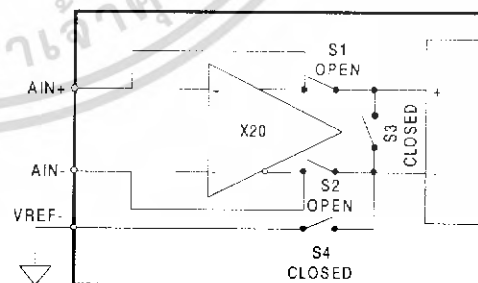
For self-calibration of gain, the differential inputs of the modulator are connected to VREF+ and



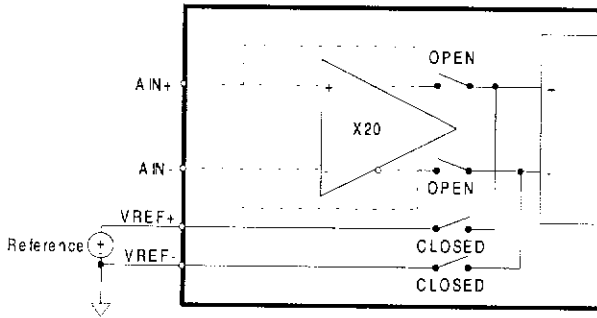
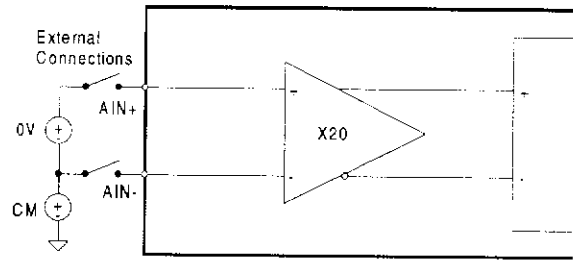
**Figure 10. Self Calibration of Offset (Low Ranges).**

### Self Calibration

The CS5525/26 offer both self offset and self gain calibrations. For the self-calibration of offset in the 25 mV, 55 mV, and 100 mV ranges, the converter internally ties the inputs of the instrumentation amplifier together and routes them to the AIN- pin as shown in Figure 10. For proper self-calibration of offset to occur in the 25 mV, 55 mV, and 100 mV ranges, the AIN- pin must be at the proper common-mode-voltage (i.e.  $A_{IN-} = 0V$ , NBV must be between -1.8 V to -2.5 V). For self-calibration of offset in the 1.0 V, 2.5 V, and 5 V ranges, the inputs



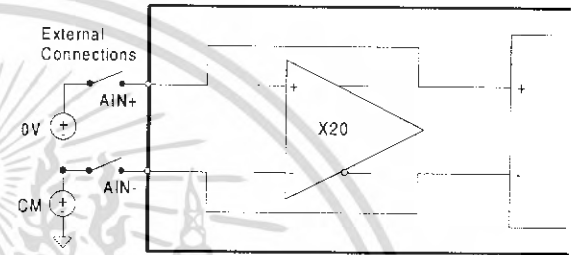
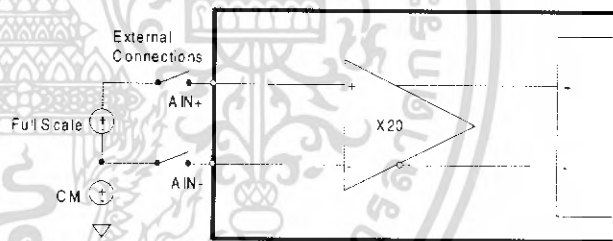
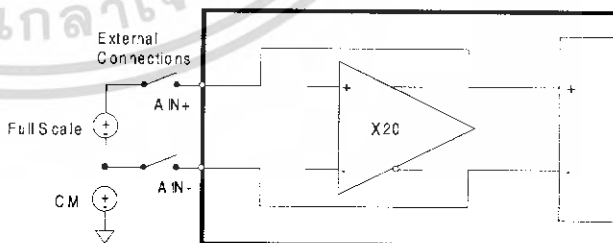
**Figure 11. Self Calibration of Offset (High Ranges).**


**Figure 12. Self Calibration of Gain (All Ranges).**

**Figure 13. System Calibration of Offset (Low Ranges).**

VREF- as shown in Figure 12. For any input range other than the 2.5 V range, the modulator gain error can not be completely calibrated out. This is due to the lack of an accurate full scale voltage internal to the chips. The 2.5 V range is an exception because the external reference voltage is 2.5 V nominal and is used as the full scale voltage. In addition, when self-calibration of gain is performed in the 25 mV, 55 mV, and 100 mV input ranges, the instrumentation amplifier's gain is not calibrated. These two factors can leave the converters with a gain error of up to  $\pm 20\%$  after self-calibration of gain. Therefore, a system gain is required to get better accuracy, except for the 2.5 V range.

### System Calibration

For the system calibration functions, the user must supply the converters calibration signals which represent ground and full scale. When a system offset calibration is performed, a ground reference signal must be applied to the converter. See Figures 13 and 14. As shown in Figures 15 and 16, the user must input a signal representing the positive full scale point to perform a system gain calibration. In either case, the calibration signals must be within the specified calibration limits for each specific calibration step (refer to the System Calibration Specifications).


**Figure 14. System Calibration of Offset (High Ranges).**

**Figure 15. System Calibration of Gain (Low Ranges)**

**Figure 16. System Calibration of Gain (High Ranges).**

Assuming a system can provide two known voltages, equations can allow the user to manually compute the calibration register's values based on two uncalibrated conversions. The offset and gain calibration registers are used to adjust a typical conversion as follows:

$$Rc = (Ru + Co \gg 4) * Cg / 2^{23}.$$

Calibration can be performed using the following equations:

$$Co = (Rc0/G - Ru0) \ll 4$$

$$Cg = 2^{23} * G$$

$$\text{where } G = (Rc1 - Rc0)/(Ru1 - Ru0).$$

**Note:** Uncalibrated conversions imply that the gain and offset registers are at default [gain register = 0x800000 (Hex) and offset register = 0x000000 (Hex)].

The variables are defined below.

- V0 = First calibration voltage
- V1 = Second calibration voltage (greater than V0)
- Ru = Result of any uncalibrated conversion
- Ru0 = Result of uncalibrated conversion V0 (20-bit integer or 2's complement)
- Ru1 = Result of uncalibrated conversion of V1 (20-bit integer or 2's complement)
- Rc = Result of any conversion
- Rc0 = Desired calibration result of converting V0 (20-bit integer or 2's complement)
- Rc1 = Desired calibration result of converting V1 (20-bit integer or 2's complement)
- Co = Offset calibration register value (24-bit 2's complement)
- Cg = Gain calibration register value (24-bit integer)
- >> = The shift right operator (e.g.  $x \gg 2$  is  $x$  shifted right 2 bits)
- << = The shift left operator (e.g.  $x \ll 2$  is  $x$  shifted left 2 bits)

**Note:** The shift operators are used here to align the decimal points of words of various lengths. Data to the right of the decimal point may be used in the calculations shown. For the CS5525 all conversion results (Ru, Rc...) are 16 bits instead

of 20 bits. To get the equations to work correctly pad the 16 bit results with four zeros (on the right).

### Calibration Tips

Calibration steps are performed at the output word rate selected by the WR2-WR0 bits of the configuration register. Since higher word rates result in conversion words with more peak-to-peak noise, calibration should be performed at lower output word rates. Also, to minimize digital noise near the devices, the user should wait for each calibration step to be completed before reading or writing to the serial port.

For maximum accuracy, calibrations should be performed for offset and gain for each gain setting (selected by changing the G2-G0 bits of the configuration register). And if factory calibration is performed using the system calibration capabilities of the CS5525/26, the offset and gain register contents can be read by the system microcontroller and recorded in EEPROM. These same calibration words can then be uploaded into the offset and gain registers of the converters when power is first applied to the system, or when the gain range is changed.

Two final tips include two ways to determine when calibration is complete: 1) wait for SDO to fall. It falls to logic 0 if the PF (Port Flag) bit of the configuration register is set to logic 1; or 2) poll the DF (Done Flag) bit in the configuration register which is set at completion of calibration. Whichever method is used, the calibration control bits (CC2-CC0) will return to logic 0 upon completion of any calibration.

### Limitations in Calibration Range

System calibration can be limited by signal headroom in the analog signal path inside the chip as discussed under the **Analog Input** section of this data sheet. System calibration can also be limited by the intrinsic gain errors of the instrumentation amplifier and the modulator. For gain calibrations

the input signal can be reduced to the point in which the gain register reaches its upper limit of 2.0 (decimal) [FFFFFF Hex] (this is most likely to occur with an input signal approximately 1/2 the nominal range). Alternatively, the input signal can be increased to a point in which the modulator reaches its one's density upper limit of 80% (this is most likely to occur with an input signal approximately 1.5 times the nominal range). Also, for full scale inputs larger than the nominal full scale value of the range selected, there is some voltage at which the various internal circuits may saturate due to limited amplifier headroom (this is most likely to occur on the 100 mV range setting when NBV = -1.8 V).

### Analog Output Latch Pins

The A3-A0 pins of the converters mimic the D23-D20 bits of the configuration register. A3-A0 can be used to control multiplexers and other logic functions outside the converter. The outputs can sink or source at least 1 mA, but it is recommended to limit drive currents to less than 2  $\mu$ A to reduce self-heating of the chip. These outputs are powered from VA+, hence, their output voltage for a logic 1 will be limited to the VA+ voltage.

### Serial Port Interface

The CS5525/26 serial interface consist of four pins, SCLK, SDO, SDI, and  $\overline{CS}$ . The  $\overline{CS}$  pin must be held low (logic 0) before SCLK transitions can be recognized by the port logic. The SDO output will be held at high impedance any time  $\overline{CS}$  is a logic 1.

If the  $\overline{CS}$  pin is tied low, the port can function as a three wire interface.

The SCLK input is designed with a Schmitt-trigger input to allow an optoisolator with slower rise and fall times to directly drive the pin.

The SDO output is capable of sinking or sourcing up to 5 mA to directly drive an optoisolator LED. SDO will have less than a 400 mV loss in the drive voltage when sinking or sourcing 5mA.

### Serial Port Initialization

The serial port is initialized to the command mode whenever a power-on reset is performed inside the converter, when the port initialization sequence is completed, or whenever a command byte, data word sequence is completed. The port initialization sequence involves clocking 15 (or more) bytes of all 1's, followed by one byte with the following bit contents (11111110). This sequence places the chips in the command mode where it waits for a valid command.

### Performing Conversions (With PF bit = 0)

Setting the SC (Single Conversion) bit of the command word to a logic 1 with the CB bit = 1, all other command bits = 0, the CS5525/CS5526 will perform one conversion. At the completion of the conversion the DF (Done Flag) bit of the configuration register will be set to a logic 1. The user can read the configuration register to determine if the DF bit is set. If DF has been set, a command can be issued to read the conversion data register to obtain the conversion data word. The DF bit of the configuration register will be cleared to logic 0 when the data register, the gain register, the offset register, or the set-up registers are read. Reading only the configuration register will not clear the DF flag bit.

If an SC command is issued to the converters while they are performing a conversion, the filter will restart a convolution cycle to perform a new conversion.

### Performing Conversions (With PF bit = 1)

Setting the PF bit of the configuration register to a logic 1 enables the SDO output pin to behave as a flag signal whenever conversions are completed. This eliminates the need for the user to read the DF flag bit of the configuration register to determine if the conversion data word is available.

If the SC (Single Conversion) command is issued (SC = 1, CB= 1, all other command bits = 0) the SDO pin will go low at the completion of a conver-

sion. The user would then issue 8 SCLKs (with SDI = logic 0) to clear the SDO flag. Upon the falling edge of the 8th SCLK, the SDO pin will present the first bit (MSB) of the conversion word. 24 SCLKs (high, then low) are required to read the conversion word from the port. The user must not give an explicit command to read the conversion data register when the PF bit is set to logic 1. The data conversion word must be read before a new command can be entered (if the SC command is used with PF = 1).

If the CC (Continuous Conversion) command is issued (CC = 1, CB = 1, all other command bits = 0) the SDO pin will go low at the completion of a conversion. The user would then issue 8 SCLKs (with SDI = logic 0) to clear the SDO flag. Upon the falling edge of the 8th SCLK, the SDO pin will present the first bit (MSB) of the conversion word. 24 SCLKs (high, then low) are required to read the conversion word from the port. The user must not give an explicit command to read the conversion data register when the PF bit is set to logic 1. When operating in the continuous conversion mode, the user need not read every conversion. If the user does nothing after SDO falls, SDO will rise one XIN clock cycle before the next conversion word is available and then fall again to signal that another conversion word is available. If the user begins to clear the SDO flag and read the conversion data, this action must be finished before the conversion cycle which is occurring in the background is complete if the user wants to be able to read the new conversion data.

To exit the continuous conversion mode, issue any valid command to the SDI input when the SDO flag falls. If a CC command is issued to the converter while it is performing a conversion, the filter will restart a convolution cycle to perform a new conversion.

## Output Word Rate Selection

The WR2-WR0 bits of the configuration register set the output conversion word rate of the converters as shown in Table 2. The word rates indicated in the table assume a master clock of 32.768 kHz. Upon reset the converters are set to operate with an output word rate of 15.0 Hz.

## Clock Generator

The CS5525/26 include a gate which can be connected with an external crystal to provide the master clock for the chips. They are designed to operate using a low-cost 32.768 kHz “tuning fork” type crystal. The 32.768 kHz crystal should be connected as shown in Figure 18. Lead lengths should be minimized to reduce stray capacitance.

The converters will operate with an external (CMOS compatible) clock with frequencies up to three times the typical crystal frequency of 32.768 kHz. Figure 17 details the converter’s performance at increased clock rates.

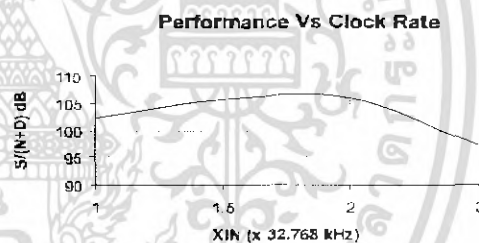
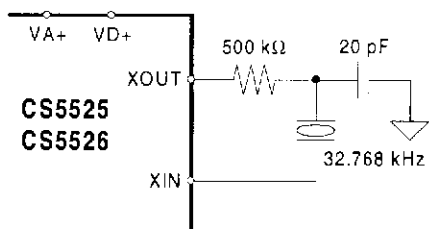


Figure 17. High Speed Clock Performance

The 32.768 kHz crystal is normally specified as a time-keeping crystal with tight specifications for both initial frequency and for drift over temperature. To maintain excellent frequency stability, these crystals are specified only over limited operating temperature ranges (i.e. -10 °C to +60 °C). However, applications with the CS5525/26 don’t generally require such tight tolerances. When 32.768 kHz tuning fork crystals are used, it is recommended that protection components, an external resistor and capacitor as shown in Figure 18, be used.



**Figure 18. Tuning Fork Crystal Connection Diagram**

### Digital Filter

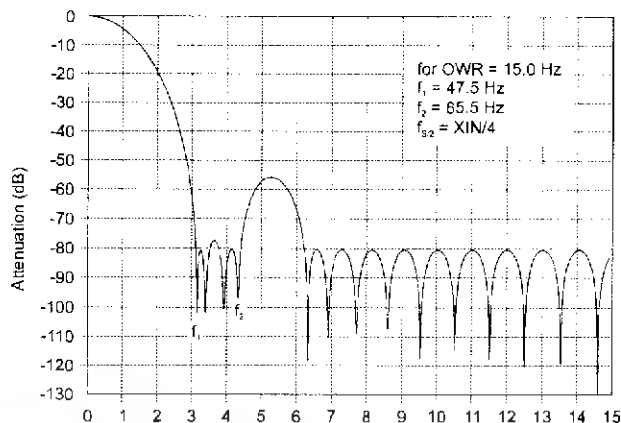
The CS5525/26 have eight different linear phase digital filters which set the output word rates (OWRs) as stated in Table 2. These rates assume that XIN is 32.768 kHz. Each of the filters has a magnitude response similar to that shown in Figure 19. The filters are optimized to settle to full accuracy every conversion and yield better than 80 dB rejection for both 50 and 60 Hz with output word rates at or below 15.0 Hz.

The converter's digital filters scale with XIN. For example with an output word rate of 15 Hz, the filter's corner frequency is typically 12.7 Hz. If XIN is increased to 64.536 kHz the OWR doubles and the filter's corner frequency moves to 25.4 Hz.

### Output Coding

The CS5525/26 output data in binary format when operating in unipolar mode and in two's complement when operating in bipolar mode.

The output conversion word is 24 bits, or three bytes long, as shown in Table 5. The MSB is output



**Figure 19. Filter Response**  
(Normalized to Output Word Rate = 1)

first followed by the rest of the data bits in descending order. For the CS5525 the last byte is composed of bits D7-D4, which are always logic 1; D3-D2, which are always logic 0; and bits D1-D0 which are the two flag bits. For the CS5526 the last byte includes data bits D7-D4, D3-D2 which are always logic 0 and the two flag bits.

The OF (Overrange Flag) bit is set to a logic 1 any time the input signal is: 1) more positive than positive full scale, 2) more negative than zero (unipolar mode), 3) more negative than negative full scale (bipolar mode). It is cleared back to logic 0 whenever a conversion word occurs which is not overranged.

The OD (Oscillation Detect) bit is set to a logic 1 any time that an oscillatory condition is detected in the modulator. This does not occur under normal operating conditions, but may occur whenever the input

### Output Conversion Data CS5525 (16 bits + flags)

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
MSB	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LSB	1	1	1	1	0	0	OD	OF

### Output Conversion Data CS5526 (20 bits + flags)

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
MSB	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LSB	0	0	OD	OF

**Table 5. Data Conversion Word**

**CS5525 16-Bit Output Coding**
**CS5526 20-Bit Output Coding**

Unipolar Input Voltage	Offset Binary	Bipolar Input Voltage	Two's Complement	Unipolar Input Voltage	Offset Binary	Bipolar Input Voltage	Two's Complement
$>(VFS-1.5 \text{ LSB})$	FFFF	$>(VFS-1.5 \text{ LSB})$	7FFF	$>(VFS-1.5 \text{ LSB})$	FFFFF	$>(VFS-1.5 \text{ LSB})$	7FFFF
VFS-1.5 LSB	FFFF ----- FFFE	VFS-1.5 LSB	7FFF ----- 7FFE	VFS-1.5 LSB	FFFFF ----- FFFFE	VFS-1.5 LSB	7FFFF ----- 7FFFE
VFS/2-0.5 LSB	8000 ----- 7FFF	-0.5 LSB	0000 ----- FFFF	VFS/2-0.5 LSB	80000 ----- 7FFFF	-0.5 LSB	00000 ----- FFFFF
+0.5 LSB	0001 ----- 0000	$-VFS+0.5 \text{ LSB}$	8001 ----- 8000	+0.5 LSB	00001 ----- 00000	$-VFS+0.5 \text{ LSB}$	80001 ----- 80000
$<(+0.5 \text{ LSB})$	0000	$<(-VFS+0.5 \text{ LSB})$	8000	$<(+0.5 \text{ LSB})$	00000	$<(-VFS+0.5 \text{ LSB})$	80000

Note: VFS in the table equals the voltage between ground and full scale for any of the unipolar gain ranges, or the voltage between  $\pm$  full scale for any of the bipolar gain ranges. See text about error flags under overrange conditions.

**Table 6. 5525/26 Output Coding**

to the converters is extremely overranged. If the OD bit is set, the conversion data bits can be completely erroneous. The OD flag bit will be cleared to logic 0 when the modulator becomes stable. Table 6 illustrates the output coding for the CS5525/26.

### Power Consumption

The CS5525/26 accommodate four power consumption modes: normal, low power, standby, and sleep. The normal mode, the default mode, is entered after a power-on-reset and typically consumes 9.4 mW. The low power mode is an alternate mode that reduces the consumed power to 4.9 mW. It is entered by setting bit D16 (the low power mode bit) in the configuration register to logic 1. Since the converter's noise performance improves with increased power consumption, slightly degraded noise or linearity performance should be expected in the low power mode. The final two modes are referred to as the power save modes. They power down most of the analog portion of the chips and stop filter convolutions. The power save modes are entered whenever the PS/R bit and the CB bit of the

command word are set to logic 1. The particular power save mode entered depends on state of bit D4 (the Power Save Select bit) in the configuration register. If D4 is logic 0, the converters enter the standby mode reducing the power consumption to 1.2mW. The standby mode leaves the oscillator and the on-chip bias generator running. This allows the converters to quickly return to the normal or low power mode once the PS/R bit is set back to a logic 1. If D4 in the configuration register and CB and PS/R in the command word are set to logic 1, the sleep mode is entered reducing the consumed power to less than 500  $\mu$ W. Since the sleep mode disables the oscillator, approximately a 500ms oscillator start-up delay period is required before returning to the normal or low power mode.

### PCB Layout

The CS5525/26 should be placed entirely over an analog ground plane with both the AGND and DGND pins of the device connected to the analog plane. Place the analog-digital plane split immediately adjacent to the digital portion of the chip.

**PIN DESCRIPTIONS**

ANALOG GROUND	<b>AGND</b>	1	20	<b>VREF+</b> VOLTAGE REFERENCE INPUT
POSITIVE ANALOG POWER	<b>VA+</b>	2	19	<b>VREF-</b> VOLTAGE REFERENCE INPUT
DIFFERENTIAL ANALOG INPUT	<b>AIN+</b>	3	18	<b>CS</b> CHIP SELECT
DIFFERENTIAL ANALOG INPUT	<b>AIN-</b>	4	17	<b>SDI</b> SERIAL DATA INPUT
NEGATIVE BIAS VOLTAGE	<b>NBV</b>	5	16	<b>A3</b> LOGIC OUTPUT
LOGIC OUTPUT	<b>A0</b>	6	15	<b>A2</b> LOGIC OUTPUT
LOGIC OUTPUT	<b>A1</b>	7	14	<b>SDO</b> SERIAL DATA OUTPUT
CHARGE PUMP DRIVE	<b>CPD</b>	8	13	<b>VD+</b> POSITIVE DIGITAL POWER
CRYSTAL IN	<b>XIN</b>	9	12	<b>DGND</b> DIGITAL GROUND
CRYSTAL OUT	<b>XOUT</b>	10	11	<b>SCLK</b> SERIAL CLOCK INPUT

**Clock Generator**
**XIN; XOUT - Crystal In; Crystal Out, Pins 9, 10.**

A gate inside the chip is connected to these pins and can be used with a crystal to provide the master clock for the device. Alternatively, an external (CMOS compatible) clock can be supplied into the XIN pin to provide the master clock for the device.

**Control Pins and Serial Data I/O**
 **$\overline{\text{CS}}$  - Chip Select, Pin 18.**

When active low, the port will recognize SCLK. When high the SDO pin will output a high impedance state.  $\overline{\text{CS}}$  should be changed when SCLK = 0.

**SDI - Serial Data Input, Pin 17.**

SDI is the input pin of the serial input port. Data will be input at a rate determined by SCLK.

**SDO - Serial Data Output, Pin 14.**

SDO is the serial data output. It will output a high impedance state if  $\overline{\text{CS}} = 1$ .

**SCLK - Serial Clock Input, Pin 11.**

A clock signal on this pin determines the input/output rate of the data for the SDI/SDO pins respectively. This input is a Schmitt trigger to allow for slow rise time signals. The SCLK pin will recognize clocks only when  $\overline{\text{CS}}$  is low.

**A0, A1, A2, A3 - Logic Outputs, Pin 6, 7, 15, 16.**

The logic states of A0-A3 mimic the states of the D20-D23 bits of the configuration register. Logic Output 0 = AGND, and Logic Output 1 = VA+.

### ***Measurement and Reference Inputs***

#### **AIN+, AIN- - Differential Analog Input, Pins 3, 4.**

Differential input pins into the device.

#### **VREF+, VREF- - Voltage Reference Input, Pins 20, 19.**

Fully differential inputs which establish the voltage reference for the on-chip modulator.

#### **NBV - Negative Bias Voltage, Pin 5.**

Input pin to supply the negative supply voltage for the 20X gain instrumentation amplifier. May be tied to AGND if AIN+ and AIN- inputs are centered around +2.5 V; or it may be tied to a negative supply voltage (-2.1 V typical) to allow the amplifier to handle low level signals more negative than ground.

#### **CPD - Charge Pump Drive, Pin 8.**

Square wave output used to provide energy for the charge pump.

### ***Power Supply Connections***

#### **VA+ - Positive Analog Power, Pin 2.**

Positive analog supply voltage. Nominally +5 V.

#### **VD+ - Positive Digital Power, Pin 13.**

Positive digital supply voltage. Nominally +3.0 V or +5 V.

#### **AGND - Analog Ground, Pin 1.**

Analog Ground.

#### **DGND - Digital Ground, Pin 12.**

Digital Ground.

## SPECIFICATION DEFINITIONS

### Linearity Error

The deviation of a code from a straight line which connects the two endpoints of the A/D Converter transfer function. One endpoint is located 1/2 LSB below the first code transition and the other endpoint is located 1/2 LSB beyond the code transition to all ones. Units in percent of full-scale.

### Differential Nonlinearity

The deviation of a code's width from the ideal width. Units in LSBs.

### Full Scale Error

The deviation of the last code transition from the ideal  $[(V_{REF+}) - (V_{REF-}) - 3/2 \text{ LSB}]$ . Units are in LSBs.

### Unipolar Offset

The deviation of the first code transition from the ideal (1/2 LSB above the voltage on the AIN- pin.). When in unipolar mode (U/B bit = 1). Units are in LSBs.

### Bipolar Offset

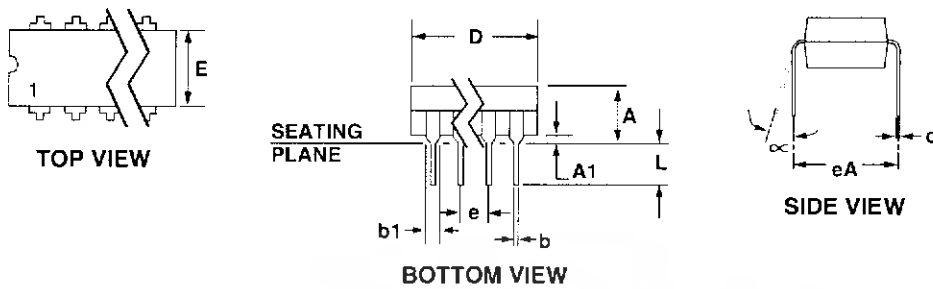
The deviation of the mid-scale transition (111...111 to 000...000) from the ideal (1/2 LSB below the voltage on the AIN- pin). When in bipolar mode (U/B bit = 0). Units are in LSBs.

## ORDERING GUIDE

Model Number	Linearity Error (Max)	Temperature Range	Package
CS5525-AP	±0.003%	-40°C to +85°C	20-pin 0.3" Plastic DIP
CS5525-AS	±0.003%	-40°C to +85°C	20-pin 0.2" Plastic SSOP
CS5526-BP	±0.0015%	-40°C to +85°C	20-pin 0.3" Plastic DIP
CS5526-BS	±0.0015%	-40°C to +85°C	20-pin 0.2" Plastic SSOP

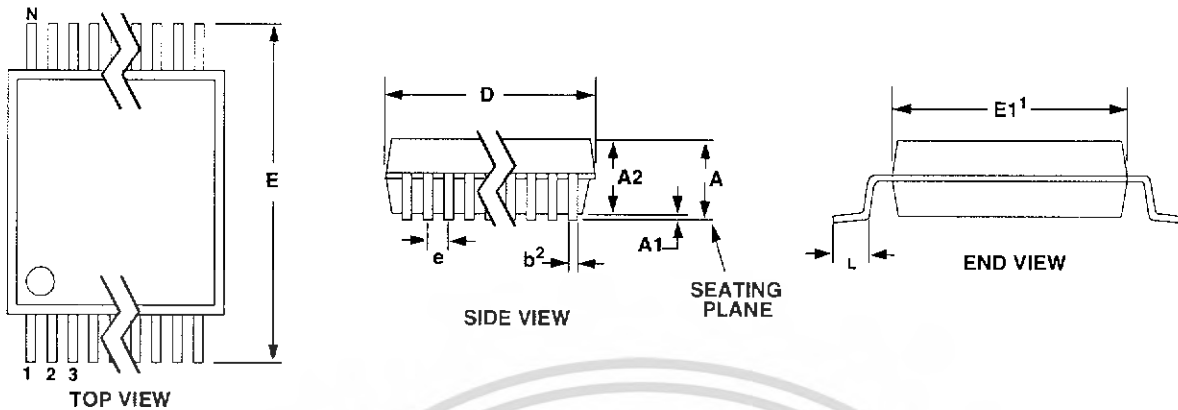
SPI™ is a trademark of Motorola Inc., Microwire™ is a trademark of National Semiconductor Corp.

## 20 PIN PLASTIC (PDIP) PACKAGE DRAWING



DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.155	0.180	3.94	4.57
A1	0.020	0.040	0.51	1.02
b	0.015	0.022	0.38	0.56
b1	0.050	0.065	1.27	1.65
c	0.008	0.015	0.20	0.38
D	0.960	1.040	24.38	26.42
E	0.240	0.260	6.10	6.60
e	0.095	0.105	2.41	2.67
eA	0.300	0.325	7.62	8.25
L	0.125	0.150	3.18	3.81
$\alpha$	0°	15°	0°	15°

- Notes:
1. Positional tolerance of leads shall be within 0.25mm (0.010in.) at maximum material condition, in relation to seating plane and each other.
  2. Dimension eA to center of leads when formed parallel.
  3. Dimension E does not include mold flash.

**20 PIN SSOP PACKAGE DRAWING**


DIM	INCHES		MILLIMETERS		NOTE
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	--	0.084	--	2.13	
A1	0.002	0.010	0.05	0.25	
A2	0.064	0.074	1.62	1.88	
b	0.009	0.015	0.22	0.38	2,3
D	0.272	0.295	6.90	7.50	1
E	0.291	0.323	7.40	8.20	
E1	0.197	0.220	5.00	5.60	1
e	0.024	0.027	0.61	0.69	
L	0.025	0.040	0.63	1.03	
$\infty$	0°	8°	0°	8°	

- Notes:
1. "D" and "E1" are reference datums and do not include mold flash or protrusions, but do include mold mismatch and are measured at the parting line, mold flash or protrusions shall not exceed 0.20 mm per side.
  2. Dimension "b" does not include dambar protrusion/intrusion. Allowable dambar protrusion shall be 0.13 mm total in excess of "b" dimension at maximum material condition. Dambar intrusion shall not reduce dimension "b" by more than 0.07 mm at least material condition.
  3. These dimensions apply to the flat section of the lead between 0.10 and 0.25 mm from lead tips.

---

## Contacting Cirrus Logic Support

For all product questions and inquiries contact a Cirrus Logic Sales Representative.  
To find one nearest you go to [www.cirrus.com](http://www.cirrus.com)

---

### IMPORTANT NOTICE

Cirrus Logic, Inc. and its subsidiaries ("Cirrus") believe that the information contained in this document is accurate and reliable. However, the information is subject to change without notice and is provided "AS IS" without warranty of any kind (express or implied). Customers are advised to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability. No responsibility is assumed by Cirrus for the use of this information, including use of this information as the basis for manufacture or sale of any items, or for infringement of patents or other rights of third parties. This document is the property of Cirrus and by furnishing this information, Cirrus grants no license, express or implied under any patents, mask work rights, copyrights, trademarks, trade secrets or other intellectual property rights. Cirrus owns the copyrights associated with the information contained herein and gives consent for copies to be made of the information only for use within your organization with respect to Cirrus integrated circuits or other products of Cirrus. This consent does not extend to other copying such as copying for general distribution, advertising or promotional purposes, or for creating any work for resale.

An export permit needs to be obtained from the competent authorities of the Japanese Government if any of the products or technologies described in this material and controlled under the "Foreign Exchange and Foreign Trade Law" is to be exported or taken out of Japan. An export license and/or quota needs to be obtained from the competent authorities of the Chinese Government if any of the products or technologies described in this material is subject to the PRC Foreign Trade Law and is to be exported or taken out of the PRC.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). CIRRUS PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN AIRCRAFT SYSTEMS, MILITARY APPLICATIONS, PRODUCTS SURGICALLY IMPLANTED INTO THE BODY, LIFE SUPPORT PRODUCTS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS (INCLUDING MEDICAL DEVICES, AIRCRAFT SYSTEMS OR COMPONENTS AND PERSONAL OR AUTOMOTIVE SAFETY OR SECURITY DEVICES). INCLUSION OF CIRRUS PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK AND CIRRUS DISCLAIMS AND MAKES NO WARRANTY, EXPRESS, STATUTORY OR IMPLIED, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR PARTICULAR PURPOSE, WITH REGARD TO ANY CIRRUS PRODUCT THAT IS USED IN SUCH A MANNER. IF THE CUSTOMER OR CUSTOMER'S CUSTOMER USES OR PERMITS THE USE OF CIRRUS PRODUCTS IN CRITICAL APPLICATIONS, CUSTOMER AGREES, BY SUCH USE, TO FULLY INDEMNIFY CIRRUS, ITS OFFICERS, DIRECTORS, EMPLOYEES, DISTRIBUTORS AND OTHER AGENTS FROM ANY AND ALL LIABILITY, INCLUDING ATTORNEYS' FEES AND COSTS, THAT MAY RESULT FROM OR ARISE IN CONNECTION WITH THESE USES.

Cirrus Logic, Cirrus, and the Cirrus Logic logo designs are trademarks of Cirrus Logic, Inc. All other brand and product names in this document may be trademarks or service marks of their respective owners.