

เครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิค

ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT

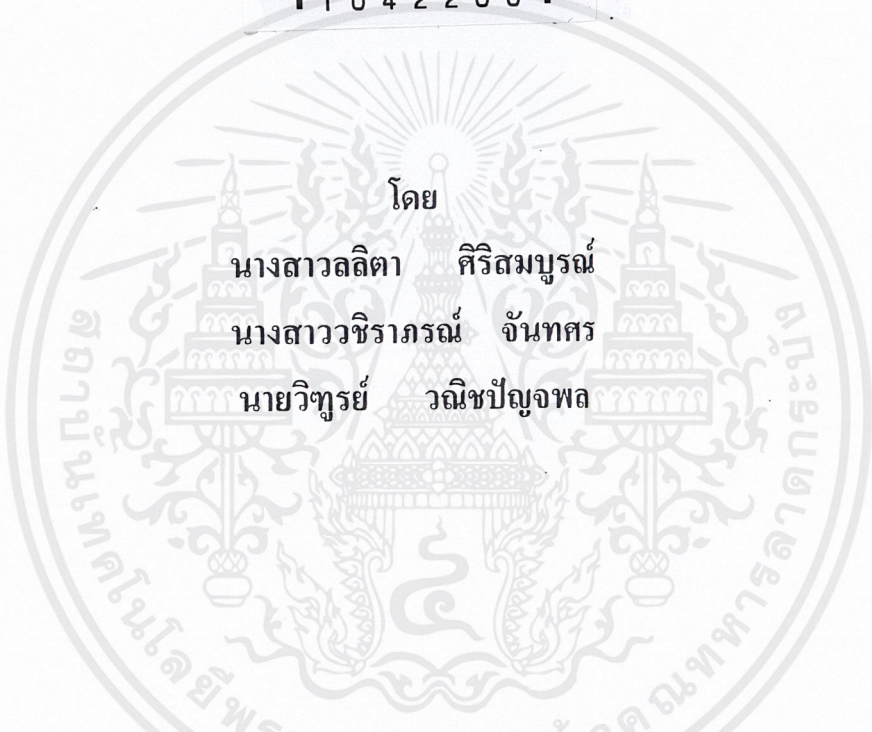


โดย

นางสาวลลิตา ศิริสมบูรณ์

นางสาวชिरาภรณ์ จันทสร

นายวิฑูรย์ วณิชปัญจพล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 42200
วัน, เดือน, ปี 15 พ.ค. 2545

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

641205102

เครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT

โดย

นางสาวลลิตา ศิริสมบุญ 40010651

นางสาวชिरาภรณ์ อินทสร 40010662

นายวิฑูรย์ วณิชปัญจพล 40010727

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สมเกียรติ ฤกษ์วัลญญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT

ผู้จัดทำ

1.นางสาวลลิตา ศิริสมบูรณ์ 40010651

2.นางสาววชิราภรณ์ จันทสร 40010662

3.นายวิฑูรย์ วณิชปัญจพล 40010727

.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สมเกียรติ อุกษ์วรัญญู)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT

โดย นางสาวลลิตา ศิริสมบูรณ์ 40010651
นางสาวชिरาภรณ์ จันทสร 40010662
นายวิฑูรย์ วณิชปัญญาพล 40010727

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองและทำการสร้างเครื่องวัดระยะทางโดยชุดรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่อัลตราโซนิกความถี่ 40 kHz โดยการนำคุณสมบัติของคลื่นที่มีการสะท้อนกลับเมื่อส่งไปกระทบเป้าหมายมาประยุกต์ใช้ แล้วจึงนำสัญญาณที่รับได้ต่อเข้าวงจร A/D converter เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และต่อ Serial port เข้ากับเครื่อง PC แล้วจึงทำการคำนวณระยะทางโดยใช้โปรแกรมคำนวณระยะทางพร้อมทั้งแสดงผลของการวัดระยะทางออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

ABSTRACT

This project learns , tests and constructs “Ultrasonic Distance Measurement” that the transmitter and receiver are in Ultrasonic frequency range (40 kHz) by using the property of reflection when signal against the objects. After that transmits signal to A/D converter circuit to convert Analog signal to Digital signal and then connects to computer by serial port, finally calculates distance by program and displays the distance output on monitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 คลื่นอัลตราโซนิก(Ultrasonic Wave)	2
2.2 เบี่ยงโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์(piezo electric transducer)	8
2.3 วงจร โมโนสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์	18
2.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	27
2.5 การสื่อสารแบบอนุกรม	40
2.6 มาตรฐานพอร์คอนุกรมแบบ RS-232	41
บทที่3 การคำนวณและการสร้าง	43
3.1 ภาคเครื่องรับส่งอัลตราโซนิก	43
3.2 ภาค A/D Converter (Analog to Digital)	46
3.3 ภาคคอนโทรลเลอร์	47
3.4 ภาคหน่วยความจำ	49
3.5 ภาคการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	49
3.6 ภาคโปรแกรมและวิธีการคำนวณระยะทาง	49
บทที่4 การทดลองและผลการทดลอง	55
บทที่5 บทสรุปและวิจารณ์	61
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก	1
รูปที่ 2.1 แสดงแพทเทิร์นของคลื่นเสียงรอบๆแหล่งกำเนิดเสียง	3
รูปที่ 2.2 แสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก (piezo electric effect)	8
รูปที่ 2.3 แสดงผลึกควอตซ์และลักษณะการตัดผลึก	12
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแรงที่มากระทำกับแผ่นซิมเปิลเพลท	13
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบ ไบมอร์ฟหรือเบนเดอร์	14
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซโหมคคอมเพรสชัน-เอ็กซ์เพนชันและทวิสเตอร์	14
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบสแต็ก	15
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	18
รูปที่ 2.9 วงจรเบื้องต้นของ โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	19
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนของการปรับค่าแรงดันคร่อม	19
รูปที่ 2.11 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ชนิดคอลเลคเตอร์คัปปลิ่ง	20
รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_{B2} เนื่องจากตัวเก็บประจุ C_1	21
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ส่วนต่างๆเมื่อมีการทริกวงจร	22
รูปที่ 2.14 วงจรทริก โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	23
รูปที่ 2.15 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ชนิดอิมิตเตอร์คัปปลิ่ง	24
รูปที่ 2.16 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ปรับความกว้างของพัลส์	25
รูปที่ 2.17 การใช้โอปแอมป์เป็นวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	26
รูปที่ 2.18 วงจรภายในไอซี	27
รูปที่ 2.19 วงจรพื้นฐานของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบขนาน	28
รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	29
รูปที่ 2.21 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิตอลด้วยวิธีความชันเดียว	30
รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลอย่างง่ายเชิงดำเนินการ	30
รูปที่ 2.23 กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรรูปที่ 2.21	32
รูปที่ 2.24 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิตอลด้วยวิธีความชันคู่	33
รูปที่ 2.25 กราฟแรงดันไฟฟ้า V_0	34
รูปที่ 2.26 แผนภาพวงจร ADC แบบวิธีประมาณสี่บิต	36
รูปที่ 2.27 กราฟแรงดันไฟฟ้า	37
รูปที่ 2.28 แผนภาพวงจร ADC แบบแฟลช	38
รูปที่ 2.29 วงจร ADC แบบการติดตาม	39
รูปที่ 2.30 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

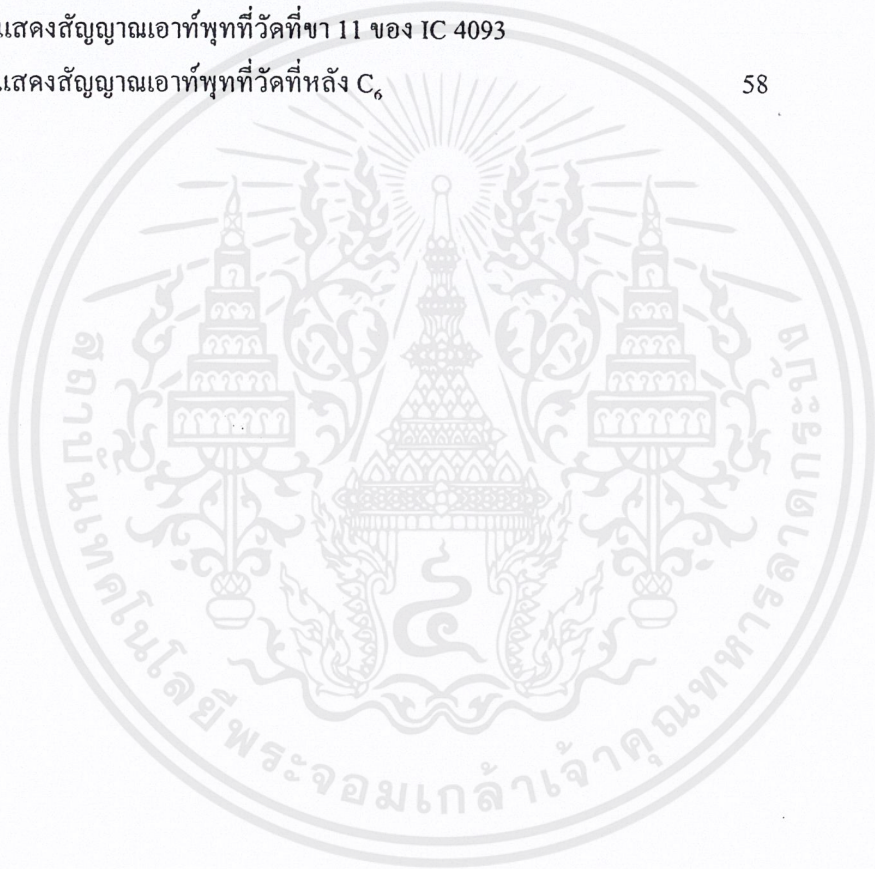
สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอัตราไซนิกในตัวกลางต่างๆ	6
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความไวของประจุและค่าความไวของโวลเตจ ของเปียโซอิเล็กทริก	11
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของเปียโซอิเล็กทริก	15
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงแรงดันของอนาลอกอินพุต	27
ตารางที่ 2.5 ค่าความจริงของ Y_0, Y_1, Y_2, b_0, b_1	38
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการวิเคราะห์ทาง	59



สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟรูปที่ 4.1 Ch1:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 4 ของ IC 40106	55
กราฟรูปที่ 4.2 Ch1:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 3 ของ IC 4020 Ch2:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 6 ของ IC 40106	56
กราฟรูปที่ 4.3 Ch1:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 6 ของ IC 40106 Ch2:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 3 ของ IC 4093	57
กราฟรูปที่ 4.4 Ch1:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 3 ของ IC 4093 Ch2:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 11 ของ IC 4093	57
กราฟรูปที่ 4.5 Ch1:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 11 ของ IC 4093 Ch2:แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่หลัง C ₆	58

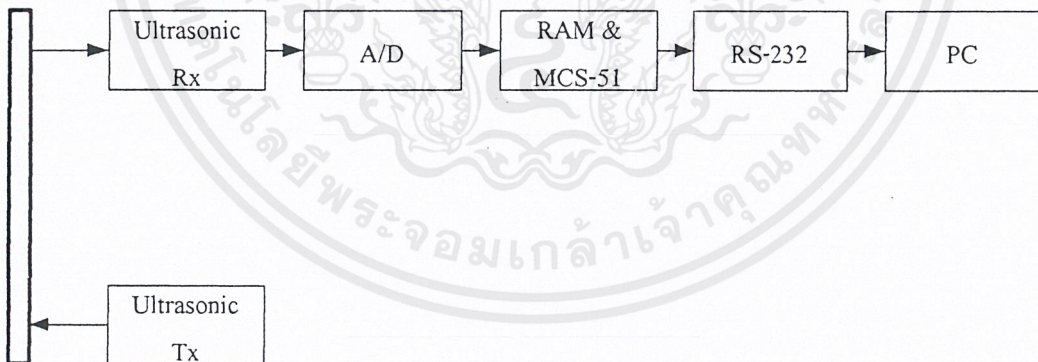


บทที่ 1

บทนำ

ความจริงแล้วการวัดระยะทางไม่ใช่เรื่องยากหากมีเครื่องมือวัดที่เหมาะสมด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ทำให้สามารถวัดระยะทางได้สะดวกและละเอียดยิ่งขึ้นกว่าการวัดในสมัยโบราณซึ่งทำการวัดโดยใช้การประมาณจากความยาวของแขนมนุษย์ สำหรับระยะทางสั้นๆอาจทำการวัดด้วยไม้บรรทัดหรือสายวัดระยะทาง หากเป็นระยะทางไกลๆอาจใช้อุปกรณ์วัดระยะทางโดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก โดยเฉพาะท่านที่ต้องวัดระยะห่างของวัตถุ หรือความสูงของเพดานบ่อยๆเช่น ช่างไม้ หรือช่างก่อสร้าง ที่ต้องทำการวัดขนาดของความกว้างยาวและสูงของห้องแล้ว การใช้ตลับเมตรหรือสายวัดเมตรคงจะทำได้ไม่ค่อยสะดวกนัก ยิ่งถ้าต้องการวัดความสูงของเพดานด้วยแล้วยิ่งทำได้ลำบากมากเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิกนี้จะช่วยเพิ่มความสะดวกและแม่นยำยิ่งขึ้น เมื่อท่านต้องการวัดหารอยรั้วของท่อที่ต้องการก็สามารถใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำนี้ได้เช่นกัน

ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์ชิ้นนี้เป็นการประยุกต์การใช้งานของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ของเครื่องรับและเครื่องส่งให้มีจำนวนมากยิ่งขึ้นก่อนที่จะนำมาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์แล้วแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข และสามารถเก็บข้อมูลไว้ใช้อ้างอิงตามความต้องการต่างๆได้ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำและทันสมัยมาก ซึ่งหลักการทำงานต่างๆของอุปกรณ์ได้แสดงดังบล็อกไดอะแกรมข้างล่างนี้



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

เครื่องวัดระยะทางโดยใช้อัลตราโซนิก

2.1 คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic wave)

2.1.1 ความหมายของคลื่นอัลตราโซนิก

อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้ว หูของมนุษย์จะได้ยินเสียงในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz อัลตราโซนิกที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป

2.1.2 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก ที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ในตัวกลางนั้น ๆ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. คลื่นตามยาว (*longitudinal wave*) เป็นลักษณะของคลื่นซึ่งทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นและเบาบางสลับกันไป และจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นนี้ในแต่ละปริมาตรของอนุภาค คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลวและก๊าซได้ โดยมาก ถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้ว จะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ ได้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

2. คลื่นตามขวาง (*transverse wave*) คือ คลื่นที่ทุก ๆ จุดบนคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางซึ่งคลื่นเดินทางไปในทิศทางหนึ่ง ๆ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซได้

คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดชั่วลบและชั่วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไปเพียงทิศทางเดียวเช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องมาจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

3. คลื่นผิวหน้า (*surface wave*) เป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่านั้น แต่ยังมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วยจึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวอน ด้วยเหตุนี้ คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

2.1.3 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก

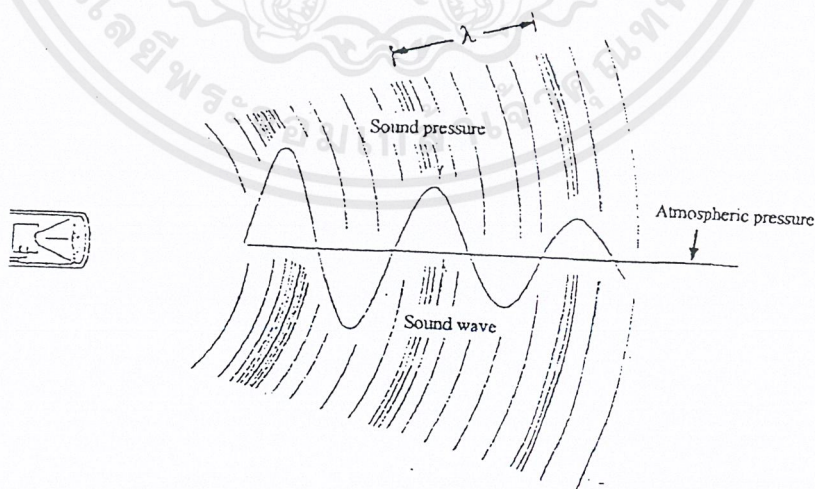
อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นย่านอัลตราโซนิก กระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical wave) คลื่นอัลตราโซนิกสามารถถูกสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ในที่นี้จะใช้ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric transducer) โดยจะทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล และมีความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) คงที่อยู่ค่าหนึ่ง สำหรับแบบเพียโซอิเล็กทริกนี้ เป็นแบบที่นิยมเพราะราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลทหรือการแกว่งที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่น ภายใน 1 วินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกันนี้ เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 kHz มันก็จะมีความถี่เดียวกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทาง 1 รอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive compression) หรือการบางเบาของอากาศ (rarefaction)

การอัด คือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของ โมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของ โมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของการอัดและการเบาบางรอบ ๆ แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงและแสดงความยาวคลื่นที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.1 แพทเทอร์นของการอัดและการเบาบางของคลื่นเสียงที่อยู่รอบ ๆ แหล่งกำเนิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะระหว่างการอัดที่สมบูรณ์และระยะระหว่างการเบาบางของคลื่น จะแสดงถึงความยาวคลื่นของคลื่น (λ)

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$v = f\lambda \quad (2.1)$$

v = ความเร็วที่คลื่นสามารถเดินทางได้ในตัวกลาง (m/s)

f = ความถี่ของคลื่น (Hz)

2.1.5 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นเหนือเสียงหรือคลื่นอัลตราโซนิก ที่เดินทางในตัวกลางที่ต่างกันย่อมจะมีความเร็วในการเดินทางผ่านตัวกลางนั้น ๆ แตกต่างกันด้วย โดยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางหรือก๊าซ แรงดันของก๊าซ เมื่อกำหนดให้คลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นก๊าซ รวมทั้งอุณหภูมิในขณะนั้น สำหรับทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นในตัวกลางที่เป็นก๊าซเหล่านั้น สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v = (\gamma P / \rho)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (2.2)$$

v = ความเร็วที่คลื่นอัลตราโซนิกสามารถเดินทางได้ในก๊าซ (m/s)

γ = ค่าอัตราส่วนของความร้อนของก๊าซที่แรงดันคงที่ต่อความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (adiabatic bulk modulus : อากาศมี = 1.4)

P = ความดันของก๊าซในหน่วย pascal (ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเล = 1.0135×10^6 pascal)

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3) : อากาศมี $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่เป็นพื้นฐาน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ค่า Adiabatic bulk modulus ของอากาศเป็น 1.4 และเมื่อแทนลงไปในความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.2) ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในอากาศก็จะเป็นดังสมการ

$$v = (1.4 P / \rho)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (2.3)$$

สำหรับก๊าซในอุดมคติจะมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิและแรงดันดังนี้

$$PV = RT \quad (2.4)$$

R = Molar gas constant (Newton – m /Kelvin)

T = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Kelvin)

V = ปริมาตรของก๊าซ (m³)

P = ความดันของก๊าซ (Newton / m²)

ความดันดั่งสมการที่ (2.4)สามารถแทนในรูปของความสัมพันธ์ดังนี้

$$P = \rho RT/M \quad (\text{Newton/m}^2) \quad (2.5)$$

เมื่อมวล M เป็นมวล โมเลกุลของก๊าซ และจากความสัมพันธ์ดั่งสมการที่ (2.5) เมื่อนำไปแทนกลับที่ความสัมพันธ์ดั่งสมการที่ (2.2) จะได้สมการที่ (2.6) จากสมการที่(2.6)เราจะได้ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคในอากาศ ความเร็วของคลื่นในก๊าซอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซและอุณหภูมิ โดยเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงความดัน ดังนั้นความเร็วของคลื่นที่ยอดเขาก็ควรจะเหมือนกันที่เชิงเขาถ้าอุณหภูมิเท่ากัน ในทางปฏิบัติ ที่กล่าวมานี้จะเป็นจริงสำหรับความสัมพันธ์ดั่งสมการที่ (2.2) โคนความดันของก๊าซและความหนาแน่นของก๊าซจะลดลงเมื่อความสูงนั้นสูงกว่าระดับน้ำทะเลมากยิ่งขึ้นและผลของความกดดันทางบรรยากาศจะมีผลต่อความเร็วของคลื่นเพียงเล็กน้อยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคที่ยอมรับได้ในอากาศที่อุณหภูมิปกติ จะมีความสัมพันธ์ดั่งสมการ

$$v = 331.45 + 0.607 t \quad (\text{m/s}) \quad (2.6)$$

$$v = 1,052.03 + 1.106 \quad (\text{ft/s}) \quad (2.7)$$

โดย t = อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

F = อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์

สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากกว่า 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะใช้ความสัมพันธ์ดั่งสมการข้างล่างนี้

$$v = 331.45 (T/273)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (2.8)$$

T = อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GAS	VELOCITY (m/s)
1. AIR (0 องศาเซลเซียส)	331.45
2. ARGON	319
3. CORBON MONOXIDE	338
4. CORBON DIOXIDE	259
5. HELIUM	965
6. HYDROGEN	1,284
7. METHANE	430
8. NEON	430
9. NITROGEN	435
10. OXYGEN	435
11. STREAM (134 องศาเซลเซียส)	494

ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในก๊าซต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

2.1.6 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่น ซึ่งจะมีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางของการเดินทางของคลื่นภายในเวลา 1 วินาที

2.1.7 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อคลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มไป เนื่องมาจากการดูดซับของตัวกลาง หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เพราะความไม่ต่อเนื่องภายในตัวกลาง (non homogeneous) และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ถูกดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของตัวกลาง ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ งาน ยิ่งความถี่สูงพลังงานก็จะยิ่งถูกดูดซับไปมาก ดังนั้นคลื่นอัลตราโซนิกที่นำมาใช้งาน โดยมากจะมีความถี่จำกัดอยู่ไม่เกิน 50 kHz หากความถี่สูงกว่านี้แล้ว เมื่อคลื่นเดินทางไปในอากาศในระยะทางไกล ๆ ความแรงของคลื่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากสาเหตุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ความแรงของคลื่นสะท้อนกลับมีขนาดไม่แรงพอที่จะทำให้เครื่องรับทำงานได้ หมายถึง ยิ่งคลื่นอัลตราโซนิกมีความถี่สูงขึ้นเพียงใดเครื่องมือการทำงานก็จะยิ่งสั้นลง

2.1.8 การแยกแยะ

การแยกแยะหรือ รีโซลูชัน (resolution) ของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อน สามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกแยะความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อน 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน การแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด

1. การแยกแยะทางด้านข้าง (azimuth resolution) หรือการแยกแยะตามแนวอาซิมุทเป็นความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อัน ซึ่งวางในแนวนอนและตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่นใน ระยะที่เท่ากัน และขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นที่ใช้ส่ง ซึ่งก็คือคลื่นอัลตราโซนิกนั่นเอง

2. การแยกแยะตามแนวแกนของลำคลื่น (range resolution) เป็นการวัดความสามารถในการแยก ความแตกต่างของเป้า 2 อัน ตามแนวแกนของลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนดโดยความยาวของพัลส์คลื่นสะท้อน ของคลื่นอัลตราโซนิกจากเป้าเล็ก ๆ ในทางอุดมคติ ซึ่งพัลส์ต้องสั้น เพราะถ้าพัลส์ยาวเกินไป พัลส์คลื่น สะท้อนจากเป้าที่ระยะสั้น ๆ จะมาถึงตัวรับก่อนที่พัลส์ของตัวมันจะหมดไป ซึ่งจะทำให้คลื่นสะท้อนเกิดการชนกัน

2.1.9 ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถกำหนดจุดที่คลื่นจะเดินทางไปยัง เป้าหมายได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่อง เปิดที่ให้คลื่นออกมากของตัวที่ให้กำเนิดคลื่นเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดคลื่นเสียง โดยทั่วไปมากมาย คลื่นที่หักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดคลื่นนั้น ๆ แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่าน อัลตราโซนิก เช่น 40 kHz ซึ่งจะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น และจะเล็กกว่าช่อง เปิดที่ให้เสียงลอดออกมา ที่ความถี่นี้ คลื่นจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่ เราเรียกว่า มีทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกก่อให้เกิดประโยชน์ที่เราจะ สามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) , เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) , เครื่องวัดความหนาของวัตถุ , เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ ท้องทะเล (sonar) , เครื่องหาตำแหน่งอวัยวะภายในร่างกาย หรือใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดย ความถี่ที่ใช้ จะขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าการใช้งานจำเป็นต้องให้คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็จะถูกจำกัดอยู่ที่ความถี่ไม่เกิน 50 kHz เพราะที่ความถี่สูงกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นได้เพิ่ม มากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งาน ด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz – 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz ก็มีการนำไปใช้ในหลาย ๆ ด้าน โดยตัวกลางที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านตัวกลางที่ไม่ใช่อากาศ

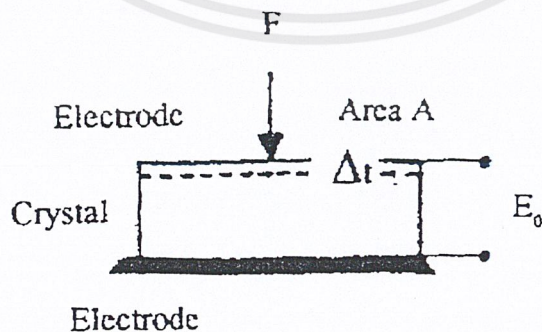
2.2 เปียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (piezo-electric transducer)

ทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียง และก็เป็นอุปกรณ์ที่ทำการรับคลื่นเสียงที่เข้ามาแล้วแปลงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ดังนั้นในการทำงานจึงต้องมีทรานสดิวเซอร์ 2 ตัว โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งและตัวรับอย่างละตัว ในระบบเดียวกัน ซึ่งทรานสดิวเซอร์จะมีความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) อยู่ค่าหนึ่งและจะต้องใช้คู่กันเสมอ ทรานสดิวเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะมีรูปร่างและลักษณะเหมือนกันทุกอย่างและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก เราสามารถจะรู้ได้ว่าตัวไหนเป็นตัวส่งหรือตัวรับได้ โดยดูจากอักษรท้ายเบอร์ เช่น MA40A5S คือตัวส่ง “S” หมายถึง Sender MA40A5R คือตัวรับ “R” หมายถึง Receiver แต่ในวงจร สัญลักษณ์ของตัวส่งจะเหมือนรูปลำโพง หรือเขียนว่า Tx ซึ่งหมายถึง Transmitter และตัวรับจะเขียนในรูปลำโพง หรือเขียนว่า Rx ซึ่งหมายถึง Receiver

ทรานสดิวเซอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยมากจะมีความถี่เรโซแนนท์ให้เลือกใช้ตั้งแต่ค่า 23 kHz จนถึง 40kHz แต่ส่วนมากที่นำมาใช้และพบเห็นบ่อย คือ ค่า 23 kHz , 25 kHz และ 40 kHz โดยที่ค่าความถี่ 40 kHz เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากค่าความถี่นี้ การเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิคจะดีกว่าที่ความถี่อื่น ๆ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่ในเฉพาะทรานสดิวเซอร์ที่เป็นแบบเปียโซอิเล็กทริก เพราะเป็นแบบที่นำมาใช้ในการดำเนินงานจริงในโครงการนี้

2.2.1 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก

เปียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ไดอิเล็กทริกแบบ คริสตัล (solid crystalline dielectric) ดังในรูปที่ (2.2) ซึ่งก็จะเกิดความเค้นภายในคริสตัลและทำให้แลทธิสของคริสตัลผิดรูปไป เช่น พวกควอทซ์ เป็นต้น ผลก็คือ ประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลทธิสเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด (displacement) ของประจุบวกและลบในทิศทางเปลี่ยนไป การกระจัดของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามของคริสตัลเรียกว่า ผลของเปียโซอิเล็กทริก (piezo-electric effect)



Piezoelectric effect

รูปที่ 2.2 แสดงผลของเปียโซอิเล็กทริก (piezo-electric effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอก แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ แสดงได้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = dF \quad (\text{coulomb}) \quad (2.9)$$

Q = ขนาดของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (coulomb)

d = ค่าความไวของประจุ (charge sensitivity)(coulomb/newton)

F = ขนาดของแรงที่ทำให้คริสตัลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt

ค่าความเค้นและความเครียดภายในคริสตัลสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\zeta = Y\sigma \quad (2.10)$$

Y = ค่ายังส์โมดูลัส (Young's modulus) (Newton/m²)

σ = ความเครียด ($\sigma = \Delta t/t$)

ζ = ความเค้น ($\zeta = F/A$)

Δt = ระยะที่เกิดจากการสั่นของแท่งคริสตัล (m)

t = ความหนาของแท่งคริสตัล (ระยะระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด) (m)

A = พื้นที่ของคริสตัลบนด้านที่เป็นอิเล็กโทรด (m²)

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.11) เราสามารถสร้างความสัมพันธ์แบบใหม่ได้ คือ

$$F = \Delta t Y A / T \quad (\text{Newton}) \quad (2.11)$$

และจากความสัมพันธ์ดังสมการที่(2.11)เมื่อนำไปแทนกลับลงในความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.9)จะได้ว่าค่าประจุบนผิวของคริสตัลที่ถูกเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับระยะที่เกิดจากการสั่นของแท่งคริสตัล ดังนี้

$$Q = d A Y \Delta t / t \quad (\text{coulomb}) \quad (2.12)$$

ประจุบนผิวอิเล็กโทรดที่ถูกเหนี่ยวนำ จะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้ ซึ่งก็หมายความว่าถ้าประจุบนผิวของคริสตัลที่ถูกเหนี่ยวนำมากขึ้น โวลเตจคร่อมก็จะมากตามไปด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_0 = Q / C \quad (\text{volt}) \quad (2.13)$$

E_0 = โวลเตจตกคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด (volt)

C = ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด (farad)

ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดนี้ เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิดของสารกึ่งตัวนำหรือวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้ วัสดุต่างชนิดกันก็จะมีค่า C ต่างกัน

$$C = \epsilon A / T \quad (\text{farad}) \quad (2.14)$$

ϵ = ค่าสัมบูรณ์ของการซึมซาบของวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก (absolute permittivity) (farad/m)

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.9), (2.13) และ (2.14) เราสามารถแสดงค่าโวลเตจตกคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดได้ใหม่ดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้

$$E_0 = d F t / \epsilon A \quad (\text{volt}) \quad (2.15)$$

หรือ

$$E_0 = g F t / A = g t P \quad (\text{volt}) \quad (2.16)$$

g = ค่าความไวของโวลเตจ (voltage sensitivity ; $g = d / \epsilon$) (volt-m/newton)

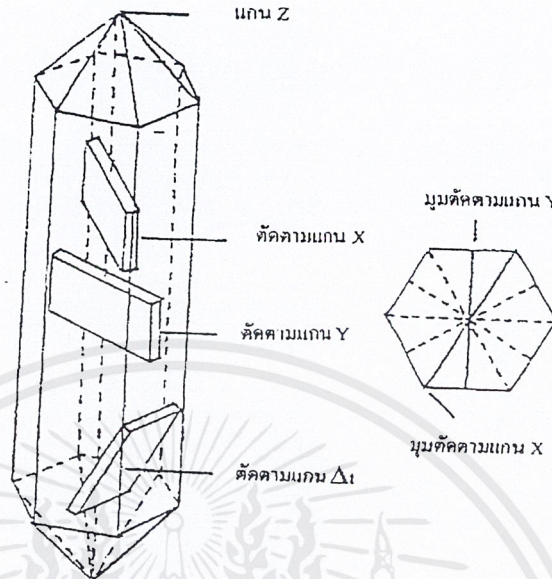
P = ความดันที่กระทำต่อวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก;

$$P = F / A \quad (\text{Newton/m}^2)$$

MATERIAL	ORIENTATION	CHARGE SENSITIVITY(d) (Coulomb/Newton)	VOLTAGE SENSITIVITY (g) (Volt -m/Newton)
1. Quartz	X cut :length along Y length longitudinal	2.25×10^{-12}	0.055
	X cut :thickness longitudinal	-2.04	-0.050
	Y cut :thickness shear	4.4	0.108
2.Rochelle salt	X cut 45° : length longitudinal	435	0.098
	Y cut 45° :length longitudinal	-78.4	-0.29
3.Ammonium Dihydrogen Phosphate	Z cut 0° :face shear	48	0.354
	Z cut 45° :length longitudinal	24	0.177
4.Commercial Barium Titanate Ceramic	Parallel to polarization	130-160	0.0106
	perpendicular to polarization	-56	0.0042-0.0053

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความไวของประจุและค่าความไวของโวลเตจของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก
ที่ต่างชนิดกัน และผลที่เกิดจากแนวการตัดที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงผลึกควอทซ์ และลักษณะการตัดผลึก

ชิ้นส่วนของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric element) จะมีการตัดแบบต่าง ๆ เพื่อผลทางด้านความไวของประจุโวลเตจ โดยการตัดก็ถือตามวิธีตัดตามแนวแกนต่าง ๆ ดังรูปที่ (2.3)

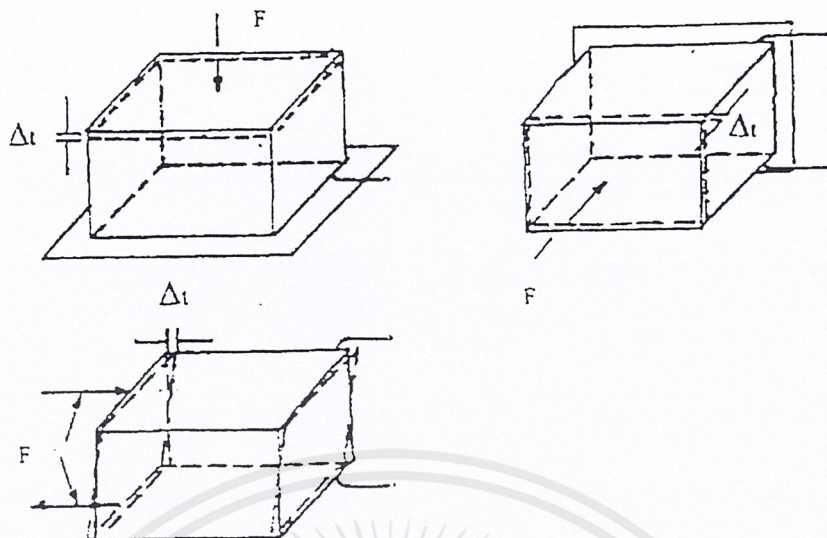
วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ควอทซ์ (Quartz), ทัวร์มาลีน โรเชลล์ ซอลท์ (Tourmaline Rochelle Salt), แอมโมเนียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ammonium Dihydrogen Phosphate ;ADP) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตัลที่เป็นเพียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่พวกวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไตทานาต หรือ เซรามิก เป็นต้น จะต้องนำมาทำการอบคริสตัลภายใต้แรงดัน และวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟ DC หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าแล้ว ก็จะมีขึ้นตามแนวทิศทางของสนามและประพจน์ความคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตัล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ รวมไปถึงทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.2.2 ลักษณะการปฏิบัติตัวของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

สามารถแยกโหมดการทำงาน (mode of operation) ได้เป็นดังนี้

1. ซิมเปิลเพลท (simple plate) เป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำกับแผ่นเพลทในทิศทางต่าง ๆ กันทำให้เกิดการขยับตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปได้ ดังรูปที่ (2.4)

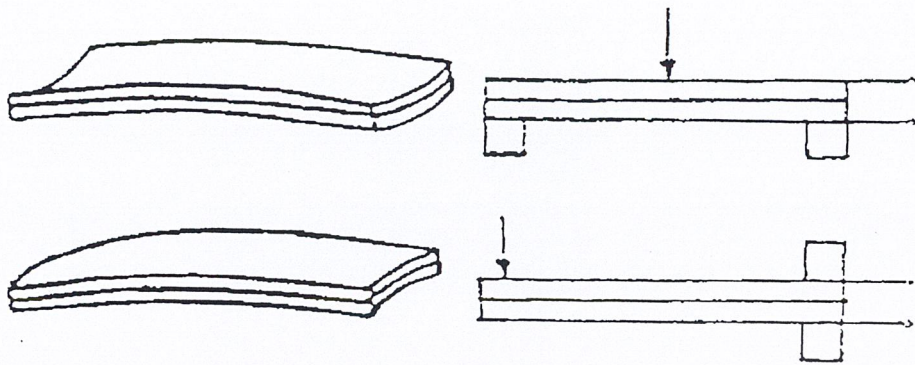
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแรงที่มากกระทำกับแผ่นซึมเปียกผลทในทิศทางต่าง ๆ กัน จนทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป

2 .สแต็ก (stack หรือ multiple arrangement) เป็นการนำเอาชิ้นส่วนเปียกโซลิตเลทริคมาต่อกันในลักษณะโหมคของคอมเพรสชัน - เอ็กซ์แพนชัน (compression - expansion mode) ดังแสดงในรูปที่ (2.5) โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้อาตัพทโวลเตจ (output voltage) ออกมาสูงที่แรงกดดันเดียวกัน หรือถ้าเอามาต่อขนานกันก็จะได้อาตัพทอิมพีแดนซ์ (output impedance) ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะต่าง ๆ ได้ ดังนี้คือ ไบมอร์ฟ หรือ เบนเดอร์ (bimorphs, bender) :ประกอบด้วยเพลทแบบ ทรานสเวอร์ส เอ็กซ์แพนดิ้ง 2 อัน (transverse expanding) ติดกันไว้อย่างแน่นหนา ซึ่งเมื่อป้อนแรงดันให้แก่มันก็จะเกิดการโค้งงอ และการโค้งงอของชิ้นส่วนนี้ เป็นสาเหตุก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด ดังแสดงในรูปที่ (2.6a) และ (2.6b) ซึ่งรูป (2.6a) เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนเปียกโซลิตเลทริคไว้บนขาตั้งที่อยู่กับที่และมีแรง F มากกระทำที่ตรงกลางแผ่น ส่วนในรูปที่ (2.6b) จะเป็นการติดตั้งวัสดุเปียกโซลิตเลทริค โดยที่มีการยึดปลายของวัสดุเพียงด้านเดียวในลักษณะที่เท่าแขน ระบบนี้เป็นที่ใช้บ่อยในโฟโนกราฟฟิคอัพคาทริจ (phonographic pickup cartridge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



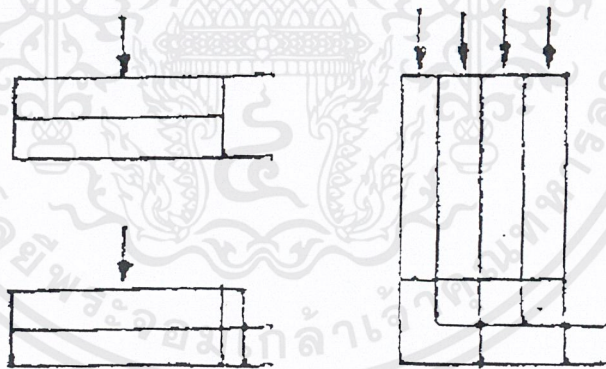
(a.)

(b.)

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบไบมอร์ฟ หรือ เบนเดอร์ โดยที่มีแรงมากระทำกับวัสดุ

(a.) แสดงการติดตั้งวัสดุบนขาตั้งที่อยู่กับที่ โดยมีแรง F ใด ๆ มากระทำกับวัสดุ ณ จุดกึ่งกลางของวัสดุ และผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากระทำ

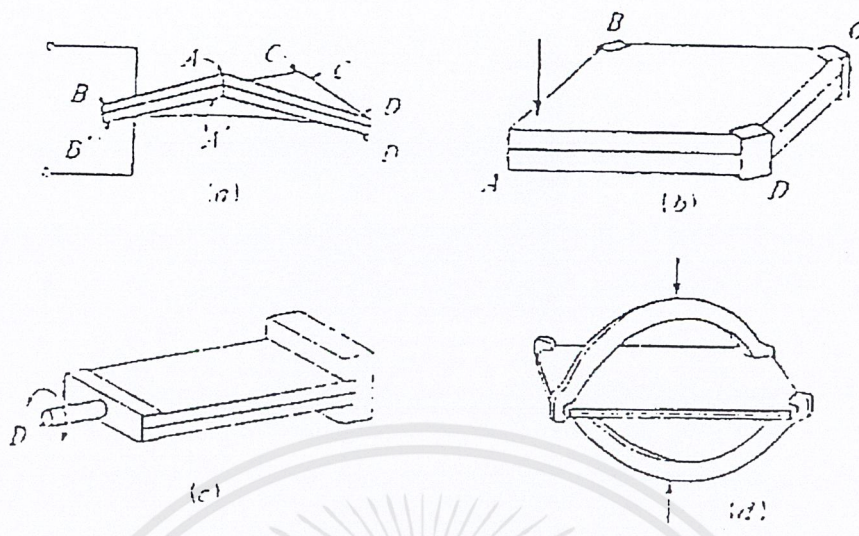
(b.) แสดงการติดตั้งวัสดุที่มีจุดยึดที่ปลายข้างหนึ่ง โดยมีแรงมากระทำที่ปลายอีกด้านหนึ่ง และผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากระทำ



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในโหมดของ (a) คอมเพรสชั่น - เอ็กซ์เทนชัน (b) ทวิสเตอร์ (twister) :

ในรูปที่ (2.7) แสดงเพลทแบบเฟส เชียร์ (face-shear plate) 2 อัน วางประกบกันอย่างแน่นหนา ถ้าจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้แก่แผ่นเพลททั้งสองแล้ว มันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระ การขยายตัวจะมีมาก การขยายตัวก็จะเป็นไปในแนวเส้นทแยงมุม AC โดยที่ $A'C'$ ขยายตัว ทำนองเดียวกันกับเส้นทแยงมุม BD ขยายตัวและ $B'D'$ ประกบกันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบสแต็ค ในลักษณะของทวิสเตอร์

PHYSICAL PROPERTY	UNITS	QUARTZ (X-CUT)	LITHIUM SULPHATE	BARIUM TITANATE
1.Density	10^3 kg/m^3	2.65	2.06	5.5
2.Velocity	10^3 m/s	5.45	5.44	4.49
3.Acoustic impedance	$10^6 \text{ kg / m}^2\text{-s}$	14.4	11.2	24.7
4.Young's modulus	$10^{10} \text{ Newton/m}^2$	7.9	6.1	11.1
5.Dielectric constant	Relative to vacuum	4.57	10.3	1,250
6. Piezoelectric constant	10^{-12}	2.25	16	145
7.Mechanical Quality	-	10^6	-	450
8.Factor temperature	C	575	75	115

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ทรานสดิวเซอร์แบบเจนเนอเรชัน แอกชัน (generation-action transducer) – ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก
2. ทรานสดิวเซอร์แบบมอเตอร์ แอกชัน (motor-action transducer) ใช้เป็นตัวส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ ในทั้ง 2 กรณี ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับขนาดของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

2.2.4 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

สำหรับทางด้านตัวส่งเมื่อทรานสดิวเซอร์ได้รับสัญญาณแรงดันมาครบคร่อม จะทำให้ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกโก่งงอ ทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้น ถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วง ๆ (pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชิ้นสาร โก่งงอมากขึ้นหรือทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้น โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะลดลงประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชิ้นสารตรงกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงยิ่งกว่านี้

ส่วนการทำงานของทางด้านรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับทางด้านตัวส่ง คือ เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชิ้นสารเข้ามา ก็จะทำให้ชิ้นสารโก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารตัวรับ

คุณสมบัติโดยทั่วไปอย่างหนึ่งของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก คือ มีความต้านทานต่อไฟตรงสูงมากและอาจจะสูงถึง 100 M-ohm เลยก็ได้ เรียกว่าถ้านำเอามัลติมิเตอร์ (multimeter) ธรรมดาที่ตั้งสเกลวัดค่าความต้านทางสูง ๆ เข้มจะไม่กระดิกเลย แต่อย่างไรก็ตาม ในขณะที่มันทำงานความต้านทานต่อไฟฟ้าสลับจะลดลง

2.2.5 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

ซึ่งพอจะสรุปเป็นแนวทางการใช้งานได้ดังนี้

1. ไม่ควรให้ทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบกระเทือนหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันคร่อมตัวมันได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้
3. ความถี่เรโซแนนท์ หรือความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดของทรานสดิวเซอร์แบบ 40 kHz ที่มีขายกันโดยทั่วไป จะผิดพลาดไปไม่เกิน บวกหรือลบ 1 kHz และมีแถบความถี่ (bandwidth) ประมาณ 4.5 kHz สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 kHz สำหรับตัวรับ จะเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิใช้งานของทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวเบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวของตัวรับหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็จะลดลงไปประมาณ 10 dB เช่นกัน ดังนั้นการใช้งานที่เป็น การควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องคลื่นอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นอัลตราโซนิกนี้ สามารถสะท้อนกับกำแพงและวัตถุที่อยู่ภายในห้องได้ ทำให้คลื่นเข้าไปหาตัวรับได้หลายทิศทาง

คลื่นอัลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้ โดยการใช้เลนส์ที่เรียกว่า พลานอคอนเคฟเลนส์ (plano-concave lens) วางข้างหน้าตัวทรานสดิวเซอร์แต่การทำให้เป็นลำแคบนี้ จะทำให้ระยะการทำงานสั้นลง การทำให้คลื่นเป็นลำแคบนี้เหมาะสำหรับทรานสดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นที่มีความถี่สูงและเหมาะสำหรับใช้ในทางการแพทย์ (ultrasound) โดยใช้ความถี่ตั้งแต่ $1-10$ MHz

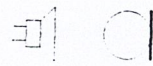
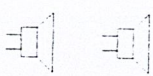

6. ในกรณีใช้งานตัวรับ จำเป็นต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติตัวต้านทานนี้ควรจะมีค่า อยู่ในช่วง 10 k Ω ถึง 100 k Ω จากการทดลองว่า ถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 k Ω มาเป็น 10 k Ω ความไวของตัวรับจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีกความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อยเพื่อ เพื่อให้ตัวรับมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ

7. ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลทางด้านไฟฟ้า กระแสสลับ เพื่อให้ลักษณะผลตอบแทนทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

2.2.6 สัญลักษณ์ของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เนื่องจากทรานสดิวเซอร์ตัวส่งถูกออกแบบให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ตัวมันออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก หน้าที่ของมันจึงคล้ายๆเป็นลำโพง ส่วนตัวรับถูกออกแบบจะง ให้แปลงคลื่นเสียงในย่านความถี่อัลตราโซนิกที่มากกระทบที่ตัวมันให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้ายๆกับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันดังแบบที่ 1 ในรูปที่ 2.8 แต่ก็มีหนังสือบางเล่มเขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับตัวส่งเป็นลำโพงหรือไมโครโฟนอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนอักษรย่อว่า Tx (Transmitter), Rx (Receiver) กำกับอยู่ด้วยหรืออาจจะใช้คำพูดกำกับให้ชัดเจนไปเลย ที่ต้องใช้สัญลักษณ์เหมือนกันก็เพราะว่า หน้าตาของตัวส่งและตัวรับที่ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานคู่กันนั้นเหมือนกัน แต่มีเบอร์

กำกับมาให้รู้ที่ด้านข้างว่าตัวใดเป็นตัวส่งตัวใดเป็นตัวรับ และคุณสมบัติของทั้งสองตัวนั้นคล้ายคลึงกันมากจนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลายประเภทการใช้งาน

1. 
2. 
3. 

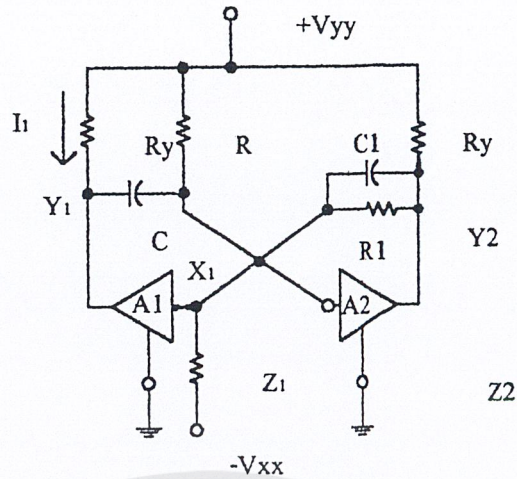
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ

2.3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ มีลักษณะพิเศษคือ มันจะเปลี่ยนสถานะไปชั่วขณะหลังจากที่มีการทรiggerเกิดขึ้นและจะเปลี่ยนแปลงกลับเข้าสู่สถานะเสถียรอย่างเดิม ดังนั้นเราจึงอาจเรียกชื่อวงจรได้อีกอย่างหนึ่งว่า วงจรวันช็อต (one shot), ซิงเกิลไซเคิล (single cycle) ยูนิไวเบรเตอร์ (univibrator) ลักษณะรูปแรงดันเอาต์พุตที่วงจรสร้างขึ้นมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่เป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรพัลส์

2.3.1 ลักษณะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

โคเดแกรมวงจรโมโนสเตเบิลแสดงให้เห็นดังรูปที่ (2.9) อุปกรณ์ A_1 และ A_2 จะเป็นหลอดหรือทรานซิสเตอร์ก็ได้ สำหรับกรณีที่ใช้ทรานซิสเตอร์ npn ขั้วแรงดันไฟเลี้ยง V_{cc} จะเป็นบวก และ V_{ee} จะเป็นลบ

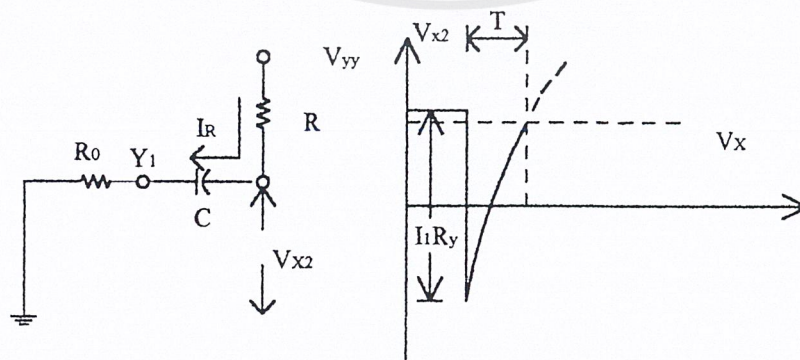


รูปที่ 2.9 วงจรเบื้องต้นของโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์

เราสมมติว่าถ้าทำการจัดค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกระทั่งวงจรอยู่ในสถานะเสถียร หรือ A_2 อยู่ในสถานะอิมิตัว ส่วน A_1 อยู่ในสถานะคัทออฟ การอิมิตัวของ A_2 เนื่องจากกระแสไบแอสที่มาจาก V_{yy} ผ่าน R เข้าสู่ขา X_2 ของ A_2 ดังนั้นที่ขา X_2 นี้จะมีแรงดันใกล้เคียงกราวนด์ (กรณีทรานซิสเตอร์จะมีค่าแรงดันเท่ากับ V_{Besat} ประมาณ 0.7 โวลท์) ส่วนทางด้าน Y_1 จะมีค่าแรงดันใกล้เคียง V_{yy} ทั้งนี้เพราะ A_1 อยู่ในสถานะคัทออฟ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจึงมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $V_{yy} - V_{x2}$

ถ้าหากว่าเราทำการทริกที่ขา X_2 เพื่อให้ A_2 กลับมาอยู่ในภาวะคัทออฟ แรงดันที่ Y_2 จะมีค่าสูงขึ้น และจะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ V_{yy} การคืบปลีจจาก Y_2 จะต่อเข้าไปยัง X_1 ทำให้ A_1 นำกระแส เกิดกระแส I_1 ไหลผ่าน R_y เป็นผลทำให้แรงดันที่จุด Y_1 ลดต่ำลงอีก $I_1 R_y$ เนื่องจากแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้ แรงดันที่ X_2 จึงพลอยลดลงไปทางลบยิ่งขึ้น

วงจรจะคงอยู่ในสถานะนี้เพียงชั่วขณะ (A_1 อิมิตัว A_2 คัทออฟ) ทั้งนี้เพราะตัวเก็บประจุจะปรับค่าแรงดันคร่อมตัวมันใหม่ การปรับค่าจะเกิดในลักษณะการไหลของกระแสจาก V_{yy} ผ่านตัวต้านทาน R ตัวเก็บประจุ C และความต้านทานขณะอิมิตัวของ A_1 ลักษณะของวงจรแสดงให้เห็นดังรูปที่ (2.10)



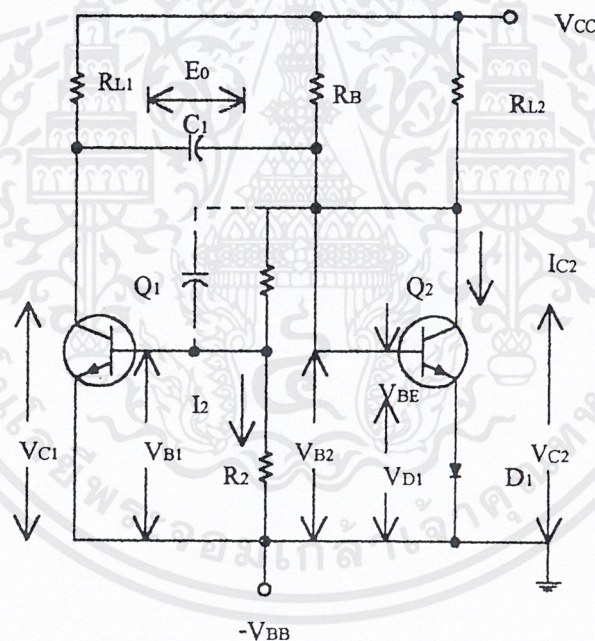
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนของการปรับค่าแรงดันคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เกิดการทรานส์เฟอเรนซ์ แรงดัน V_{x2} จะลดลงด้วยค่าการลดลงของ V_{y1} คือ $I_1 R_y$ และหลังจากนั้นก็จะมีกระแสจาก V_{yy} ประจุให้กับ C ทำให้แรงดัน V_{x2} มีค่าสูงขึ้น ลักษณะการประจุแรงดันนี้จะมีค่าเป็นเส้นเอ็กโพเนนเชียลด้วยค่าคงตัวเวลา $T = C(R_0 + R)$ และเมื่อแรงดันที่ V_{x2} มีค่าสูงจนเพียงพอที่จะทำให้ A_2 เริ่มนำกระแสได้ใหม่ A_2 ก็จะนำกระแสและป้อนกลับมาทำให้ A_1 คัทออฟ และจะคงสถานะเช่นนั้นต่อไป

2.3.2 วงจรโมโนสเตเบิลชนิดคอลลเลกเตอร์คัปปลิง

วงจร โมโนสเตเบิลชนิดคอลลเลกเตอร์คัปปลิงที่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.11 การที่เราใช้ชื่อว่า เป็นชนิดคอลลเลกเตอร์คัปปลิงก็เพราะว่าคอลลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 คัปปลิงผ่าน R_1 และ R_2 ไปยังเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ในภาวะปกติที่ยังไม่มีการทรานส์เฟอเรนซ์ ส่วนกระแสเบส (I_{B2}) จะมาจากแรงดันไฟเลี้ยง V_{CC} ป้อนเข้าทรานซิสเตอร์ Q_2 โดยผ่านต้านทาน R_B นั่นคือทรานซิสเตอร์ Q_2 จะอยู่ในสภาวะนำกระแสตลอดเวลา และขณะนี้เองไดโอด D_1 จะได้รับการไบแอสตรงโดยไม่เกี่ยวข้องกับ Q_2 การต่อ D_1 ก็เพื่อความมุ่งหมายบางประการที่ได้กล่าวต่อไป

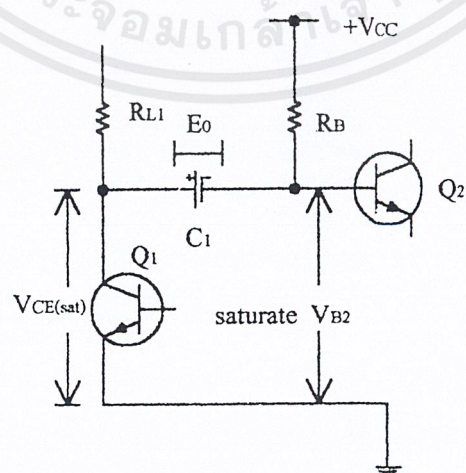


รูปที่ 2.11 วงจรโมโนสเตเบิลชนิดคอลลเลกเตอร์คัปปลิง

ในขณะที่ Q_2 อยู่ในสภาวะอิ่มตัว แรงดันที่คอลลเลกเตอร์ของ Q_2 จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $V_{C_{csat}} + V_{D1}$ โดยคิดเทียบกับกราวด์ แรงดันที่เบสของ Q_1 หาได้โดยคิดค่าแรงดันตกคร่อม $R_1 + R_2$ ซึ่งมาจากแรงดันคอลลเลกเตอร์ของ Q_2 กับ $-V_{BB}$ แต่เนื่องจาก V_{C2} มีค่าใกล้เคียงแรงดันกราวด์ ดังนั้นแรงดัน V_{B1} จึงมีค่าเป็นลบทำให้ Q_1 อยู่ในสภาวะคัทออฟอย่างแน่นอน

เมื่อ Q_1 อยู่ในสภาวะคัทออฟ กระแสคอลเลคเตอร์จะมีค่าน้อยมากจนคิดได้ว่าเป็นศูนย์ นั่นคือจะไม่มีแรงดันตกคร่อม RL_1 และแรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ Q_1 จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับแรงดัน V_{CC} เมื่อพิจารณาทางด้าน Q_2 บ้าง แรงดัน V_{B2} ของทรานซิสเตอร์ Q_2 จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $V_{BE} + V_{D1}$ แรงดันทางด้านขวาของตัวเก็บประจุ C_1 จะเป็นแรงดัน V_{B2} และแรงดันทางด้านซ้ายของตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับ V_{CC} ดังนั้นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 หรือ E_0 จะมีค่าเท่ากับ $V_{CC} - V_{B2}$ ถ้าทำการทริกให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 อิมิตัวชั่วขณะหนึ่ง แรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ Q_1 อิมิตัวชั่วขณะหนึ่ง แรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ Q_1 จะลดลงเกือบมีค่าเท่ากับแรงดันกราวด์ ตัวเก็บประจุ C_1 จะยังไม่คายประจุ แรงดันทางด้านซ้ายของตัวเก็บประจุจะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ V_{Cesat} นั่นคือแรงดันทางขวาของตัวเก็บประจุจะยังคงมีแรงดันเท่ากับ $V_{Cesat} - E_0$ แรงดันที่เบสของ Q_2 จะมีค่าเท่ากับ $V_{Cesat} - E_0$ ด้วยจะเป็นผลทำให้ Q_2 คัทออฟทันที เมื่อ Q_2 คัทออฟกระแส IC_2 ก็จะมีค่าน้อยมาก ทำให้แรงดัน V_{C2} มีค่าเพิ่มขึ้น และป้อนกลับมาให้เบสของ Q_1 ทำให้ Q_1 นำกระแสยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมานี้พอสรุปได้ว่าในช่วงเวลาที่มีการทริกทรานซิสเตอร์ Q_2 จะคัทออฟและ Q_1 จะอิมิตัวแต่การดำรงสถานะนี้จะดำรงสถานะได้ชั่วขณะหนึ่งการเปลี่ยนสถานะกลับคืนเข้าสู่สถานะเสถียรแสดงให้เห็นดังรูป 2.12 ก่อนที่สัญญาณพัลซ์มาทริกให้ Q_1 นำกระแสหรืออิมิตัว แรงดันที่เบส $v_{B1} = -v$, $v_{C1} = V_{CC}$, $V_{B2} = 1.4$ โวลท์ $V_{C2} = 0.9$ โวลท์ ครั้นเมื่อทริกให้ Q_1 นำกระแสแรงดัน $V_{B1} = 0.7$, $V_{C1} = 0.2$, $V_{B2} = (V_{C1} - E_0) = -E_0$, $V_{C2} = V_{CC}$ ในขณะที่ Q_2 กำลังอยู่ในสภาวะคัทออฟนั้น แรงดันส่วนอื่นที่กล่าวมาแล้วจะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงยกเว้นแรงดัน V_{B2} แรงดัน V_{B2} นี้ขึ้นกับตัวเก็บประจุ C_1 เพราะตัวเก็บประจุ C_1 จะคายประจุผ่าน R_B แรงดัน E_0 คร่อม C_1 ในตอนเริ่มแรกจะมีค่าบวกทางขั้วด้านซ้าย และมีค่าเป็นลบทางด้านขวา กระแส I จะไหลผ่านไปทางด้านขวาของตัวเก็บประจุ C_1 ใหม่ นั่นคือ แรงดัน V_{B2} จะค่อย ๆ มีค่าสูงขึ้นสูงขึ้นเดิมเริ่มจากแรงดัน $V_{Cesat} - E_0$ เข้าสู่แรงดันกราวด์ ครั้นเมื่อการคายประจุจนทำให้แรงดันเบส V_{B2} สูงขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่งที่ทำให้แรงดันเบสอิมิตเตอร์ของ Q_2 เกิดการไบแอสตรงทำให้มีกระแส I_{C2} และ V_{C2} จะมีค่าลดลงเมื่อ V_{C2} มีค่าลดลง มันจะเป็นผลทำให้ V_{B1} พลดลดลงตาม ในที่สุดทรานซิสเตอร์ Q_2 จะนำกระแสและ Q_1 จะคัทออฟและจะอยู่อย่างนี้ต่อไป

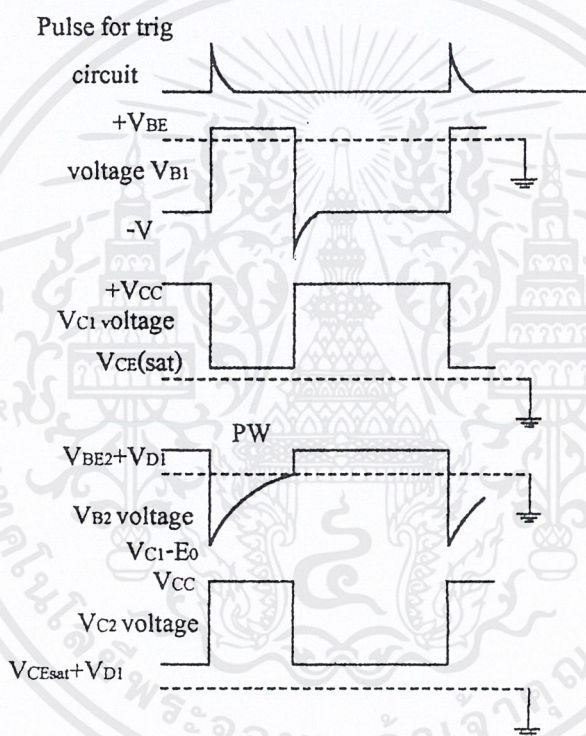


รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_{B2} เนื่องจากตัวเก็บประจุ C_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ (2.13) แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเมื่อมีการทริกวงจร ในขณะที่ทรานซิสเตอร์กลับเข้าสู่สถานะสมดุลย์ ส่วนของแรงดัน V_{B1} จะมีลักษณะของสไปท์เกิดขึ้น การเกิดสไปท์นี้เกิดเนื่องจากเราเติมตัวเก็บประจุ C_2 ลงไปในวงจร ตัวเก็บประจุ C_2 ลงไปในวงจร ตัวเก็บประจุ C_2 นี้เราเรียกว่าเป็น ตัวเพิ่มความเร็ว (speed up capacitor)

จากการที่เราทริกวงจร เราจะเห็นว่าลักษณะของการเปลี่ยนแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวจะอยู่ในลักษณะกลับกัน ดังนั้นเราสามารถต่อออกไปใช้งานได้สองแบบ ค่าความกว้างของพัลส์ (PW) จะขึ้นอยู่กับอัตราการคายประจุของตัวเก็บประจุ C_1 นั่นคือขึ้นอยู่กับค่าของ C_1 และ R_B เป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ เราก็สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้

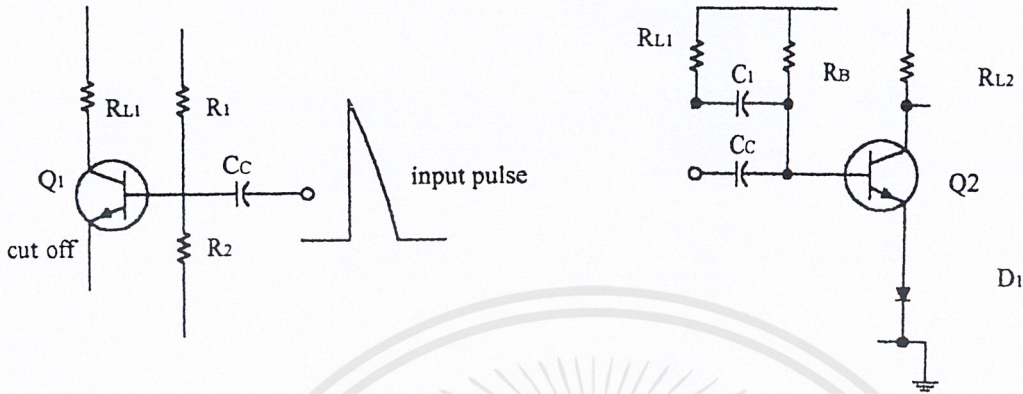


รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเมื่อมีการทริกวงจร

2.3.3 การทริกวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์

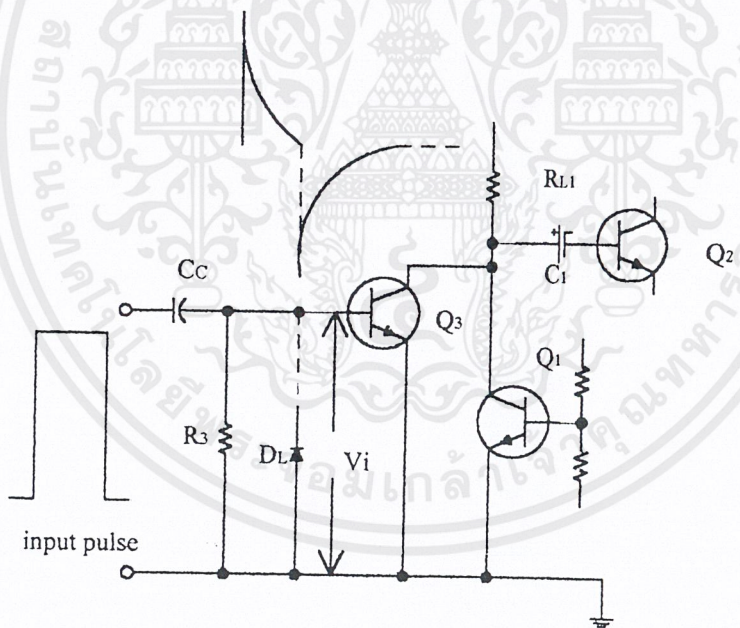
การทริกวงจรโมโนสเตเบิลก็คือ การกระทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ในสภาวะอิมิต์ กลับมาเป็นคัทออฟ หรือกระทำที่ตัวทรานซิสเตอร์คัทออฟให้อิมิต์ การทริกจึงอาศัยพัลส์ซึ่งจะเป็นชนิดพัลส์บวกหรือลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับการทริกที่ส่วนใดของวงจรและตัวทรานซิสเตอร์ตัวใด รูปที่ 2.14 (ก) เป็นการนำเอาพัลส์บวกต่อคัปลิ่งเข้าส่วนเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่คัทออฟเพื่อให้อิมิต์กลับมาอิมิต์ ส่วนรูปที่

2.14 (ข) เป็นการทริกที่เบสของทรานซิสเตอร์ที่อิมิตัว เราจึงใช้พัลส์ลบ ซึ่งลักษณะของพัลส์จะไปทำให้ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนสถานะจากอิมิตัวมาเป็นคัทออฟ



(ก). การทริกด้วยพัลส์บวก

(ข).การทริกด้วยพัลส์ลบ



(ค). การใช้ทรานซิสเตอร์ Q3 ประกอบเป็นวงจรถริก

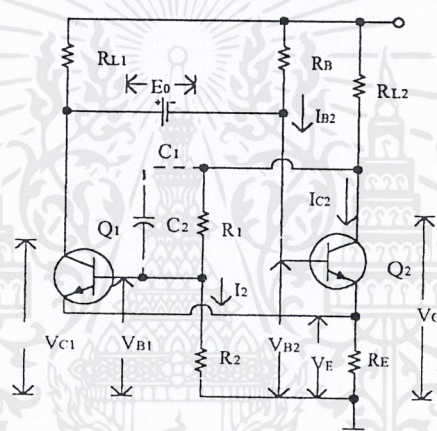
รูปที่ 2.14 วงจรถริกวงจรมอนอสเตเบิลพัลส์ไวมัลติไวเบเรเตอร์

วงจรถริกที่ให้ประสิทธิภาพการทริกได้ดีวิธีหนึ่ง คือการใช้ทรานซิสเตอร์ประกอบในวงจรถริก ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.14 (ค) C_c และ R_3 ประกอบกันเป็นวงจรถริกเฟอเรนซิเอเตอร์ เพื่อเปลี่ยนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

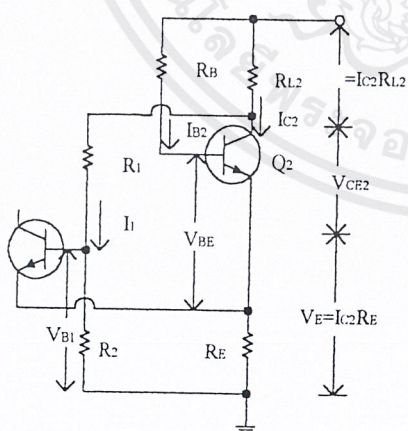
สัญญาณพัลส์ที่เหลื่อมให้เป็นพัลส์แหลม ๆ ไดโอด D_2 ใส่ไว้สำหรับตัดพัลส์ลบซึ่งอาจจะมีและจะไปกระทำให้เกิดพัลส์ตรงรอยต่อระหว่างเบส-อิมิตเตอร์ของ Q_3 ในขณะที่ไบแอสกลับ ครั้นเมื่อ Q_3 ได้รับพัลส์เข้าที่เบสแรงดันคอลเลกเตอร์ของมันจะลดลงจนถึง V_{Cesat} ซึ่งจะทำให้ Q_1 ซึ่งแต่เดิมคัทออฟกลับกลายเป็นอิมิตต์ได้

2.3.4 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ชนิดอิมิตเตอร์คัทปลิง

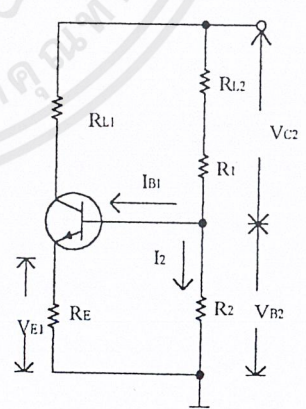
วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่กล่าวมาแล้วนั้น เราต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรทั้งบวกและลบซึ่งไม่เหมาะในบางโอกาส สำหรับในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงวิธีการที่จะเติมตัวต้านทาน R_E เพื่อเป็นการช่วยไบอัสให้วงจรใช้แรงดันไฟเลี้ยงแต่เพียง V_{CC} เท่านั้น นอกจากนี้การเพิ่มตัวต้านทาน R_E ให้กับวงจรทำให้ทรานซิสเตอร์อิมิตต์ได้ง่ายขึ้นเป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์กระทำเป็นสวิตช์ที่ความเร็วได้สูงกว่า



(ก). วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ชนิดอิมิตเตอร์คัทปลิง



(ข). วงจรเมื่อ Q2 อิมิตต์ Q1 คัทออฟ



(ค). วงจรเมื่อ Q2 อิมิตต์ Q1 คัทออฟ

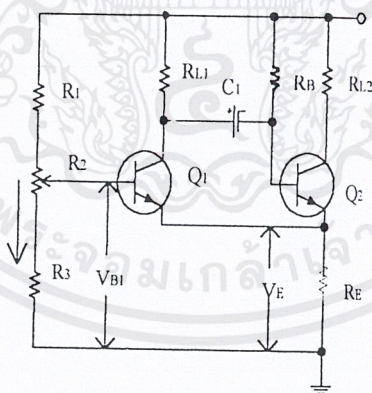
รูปที่ 2.15 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ชนิดอิมิตเตอร์คัทปลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เข้าใจการทำงานของวงจรได้ดียิ่งขึ้นเราจะอธิบายอ้างถึงวงจรในรูปที่ (2.15) ทรานซิสเตอร์ Q_2 อยู่ในภาวะอิ่มตัวเนื่องจากกระแสไบแอส I_{B2} ที่ไหลมาจาก $+V_{CC}$ ผ่าน R_B ดังนั้นจึงมีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 ซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_E แรงดันตกคร่อมคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ของ Q_2 จะมีค่าเท่ากับ V_{CEsat} ซึ่งมีค่าประมาณ 0.2 โวลต์ แรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ Q_2 นี้จึงมีผลทำให้แรงดัน V_{B1} ของ Q_1 มีค่าต่ำกว่าแรงดัน V_E เป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 อยู่ในภาวะคัทออฟ (ดูรูปที่ 2.15 (ข)) และเมื่อ Q_1 คัทออฟจะทำให้แรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ Q_1 มีค่าประมาณเท่ากับ V_{CC} แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ E_0 จึงมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $V_{CC} - V_{B2}$

ครั้นเมื่อ Q_1 ได้รับการทริกให้อิ่มตัว Q_2 ก็จะมาอยู่ที่คัทออฟ รูปวงจรแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.15 (ค) ในขณะการทริกกำลังดำเนินการ แรงดันคอลเลคเตอร์ของ Q_1 จะลดลงและประจุที่มีอยู่ในตัวเก็บประจุ C_1 ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้ แรงดันคร่อม C_1 จึงทำให้แรงดันเบสของ Q_2 ลดลงจนทำให้ Q_2 คัทออฟ แรงดันคอลเลคเตอร์ของ Q_2 จึงมีค่าสูงขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการไบแอสไปที่ Q_1 ยิ่งมากขึ้นจนทำให้ Q_1 ยิ่งอิ่มตัวยิ่งขึ้น ในขณะนี้แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะพยายามกลับมาสู่ระดับใหม่ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตัวเก็บประจุจะค่อยๆ เปลี่ยนจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงมีผลทำให้แรงดัน V_{B2} สูงขึ้นจนถึงระดับมากกว่าแรงดัน V_E พอเพียงที่จะทำให้ Q_2 นำกระแสซึ่งจะทำให้วงจรกลับมาอยู่ในสถานะเดิมคือ Q_2 นำกระแส และ Q_1 คัทออฟ

ตัวเก็บประจุ C_2 ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่มีหน้าที่เพิ่มความเร็วในการทำงานของวงจรในการเปลี่ยนสถานะเช่นเดียวกับวงจรคอลเลคเตอร์คัปปลิงที่กล่าวถึงแล้ว



รูปที่ 2.16 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ปรับความกว้างของพัลส์

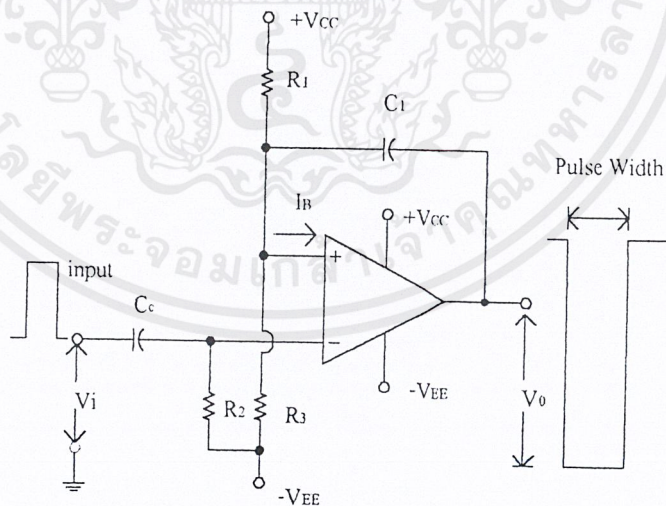
ในการออกแบบวงจรก็คล้ายคลึงกับการออกแบบวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ชนิดคอลเลคเตอร์คัปปลิง แต่สำหรับการปรับแต่งช่วงความกว้างของพัลส์เราทำได้โดยการต่อวงจรในลักษณะที่แสดงในรูปที่ (2.16) ซึ่งเป็นการปรับค่าแรงดัน V_{B1} ด้วยตัวต้านทาน R_2 วงจรจะได้รับการออกแบบเพื่อว่าค่าสูงสุดของระดับแรงดัน V_{B1} มีค่าน้อยกว่าค่าปกติของแรงดัน V_{B2} ครั้นเมื่อ Q_1 ได้รับการทริกให้

กระแสแรงดันคอลลีคเตอร์ของ Q_1 จะลดลง ประจุที่อยู่ใน C_1 จะทำให้ V_{B2} มีค่าต่ำกว่าค่า V_{B1} Q_2 จึงอยู่ในภาวะคัทออฟ จนกระทั่ง C_1 คายประจุทำให้แรงดัน V_{B2} มีค่าสูงขึ้นจนมากกว่า V_{B1} อีกครั้งหนึ่ง

2.3.5 การใช้ออปแอมป์เป็นวงจรมอนอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

วงจรมอนอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์ยังเป็นวงจรที่ได้รับการประยุกต์มาจากออปแอมป์ได้ ลักษณะของวงจรแสดงให้เห็นดังรูปที่ (2.17) ขาอินเวอร์ตติ้งอินพุทของออปแอมป์ต่อลงกราวนด์โดยการผ่านตัวต้านทาน R_3 ส่วนขาอนอินเวอร์ตติ้งอินพุทได้รับแรงดันไบแอสที่มีค่าสูงกว่ากราวนด์ด้วยตัวต้านทาน R_1 และ R_2 เนื่องจากแรงดันที่ขาอนอินเวอร์ตติ้งอินพุทมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้ง ดังนั้นแรงดันเอาต์พุทจะมีค่าอ้อมตัวโดยประมาณเท่ากับ V_{CC} ตัวเก็บประจุที่ต่อในลักษณะป้อนกลับจึงได้รับการประจุทำให้แรงดันทางด้านต่อกับเอาต์พุทมีค่าสูงกว่าแรงดันทางด้านต่อกับอินพุท

ครั้นแรงดัน V_1 ได้รับการป้อนเข้าโดยมีแรงดันบวกมากกว่าระดับแรงดันที่ขาอนอินเวอร์ตติ้งแรงดันเอาต์พุทก็จะสวิทช์อย่างรวดเร็วลดลงจนมีแรงดันเกือบเท่ากับแรงดัน $-V_{EE}$ แรงดันพัลส์ที่ป้อนเข้ามาที่อินพุทนี้จะทำให้แรงดันที่ขาอนอินเวอร์ตติ้งพลอยมีค่าลดลงด้วย โดยจะลดลงมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $(-V_{EE}) - E_0$ ดังนั้นเอาต์พุทจะยังมีค่าเป็นลบรอจนกระทั่งการคายประจุของ C_1 จะคายผ่าน R_1 และ R_2 นั่นคือแรงดันทางด้านซ้ายของตัวเก็บประจุจะค่อยๆ สูงขึ้น และเมื่อแรงดันทางด้านซ้ายของตัวเก็บประจุหรือขาอนอินเวอร์ตติ้งมีค่าสูงกว่าแรงดันกราวนด์ทางด้านขาอนอินเวอร์ตติ้ง เอาต์พุทก็จะสวิทช์กลับไปทางด้านแรงดันประมาณ $+V_{CC}$ และจะเสถียรภาพอยู่เช่นนั้นรอการทริกที่อินพุทต่อไป



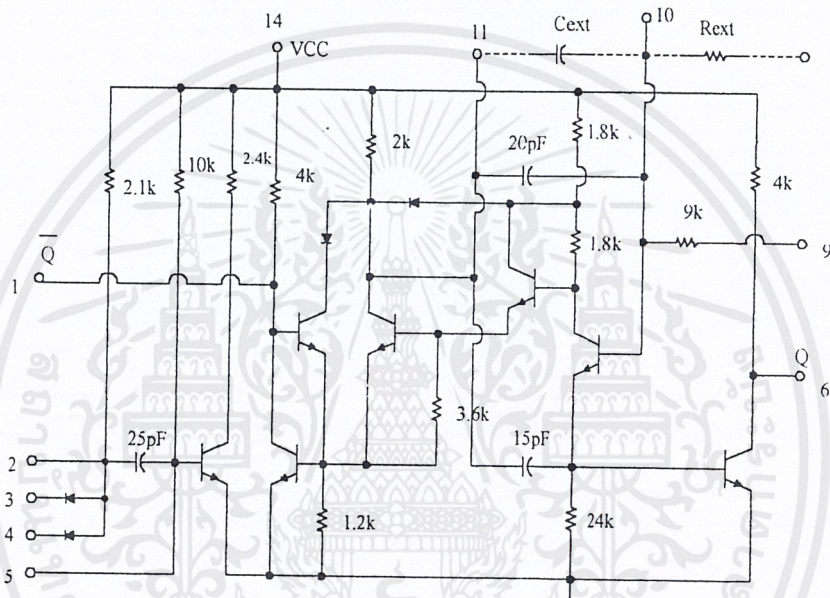
รูปที่ 2.17 การใช้ออปแอมป์เป็นวงจรมอนอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

2.3.6 ไอซีวงจรมอนอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

ในปัจจุบันการออกแบบวงจรประยุกต์ใช้งานเป็นไปได้ง่ายขึ้น เพราะเรามีไอซีที่ทำหน้าที่แทนวงจรที่ยากซับซ้อน สำหรับวงจรมอนอสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์เราก็มีไอซีที่เมื่อต้องการใช้งานเราแค่เสียบเป็นเอกสารที่ส่งมาให้แล้วหรือที่เราจะหาซื้อได้เองโดยไม่ต้องซื้อชิ้นส่วนประกอบ การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุอย่างละหนึ่งตัวเพื่อกำหนดความกว้างของพัลส์ และต่อแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรก็จะทำงานเป็นวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้ทันที

รูปที่ 2.18 เป็นวงจรภายในของไอซีเบอร์ MC951/MC851 ซึ่งเป็นไอซีวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แรงดันไฟเลี้ยงจะต่อป้อนเข้าทางขา 14 และขา 7 ขาเอาต์พุตจะเป็นขา 1 และขา 6 ซึ่งให้อาต์พุตที่กลับเฟสตรงข้ามกัน ส่วนอินพุตที่ใช้ในการทริกได้นั้น คือ ขา 2, 3, 4, 5 ซึ่งมีไว้ให้เลือกการทริกแบบต่างๆ ส่วนตัวต้านทาน R_{ext} และ C_{ext} จะเป็นตัวกำหนดความกว้างของพัลส์ ซึ่งความกว้างของพัลส์โดยประมาณหาได้จาก $PW \approx 0.5 R_{ext} (C_{ext} + 20) ns$ เมื่อ R_{ext} มีหน่วยเป็น $k\Omega$ C_{ext} มีหน่วยเป็น Pf



รูปที่ 2.18 วงจรภายในไอซี

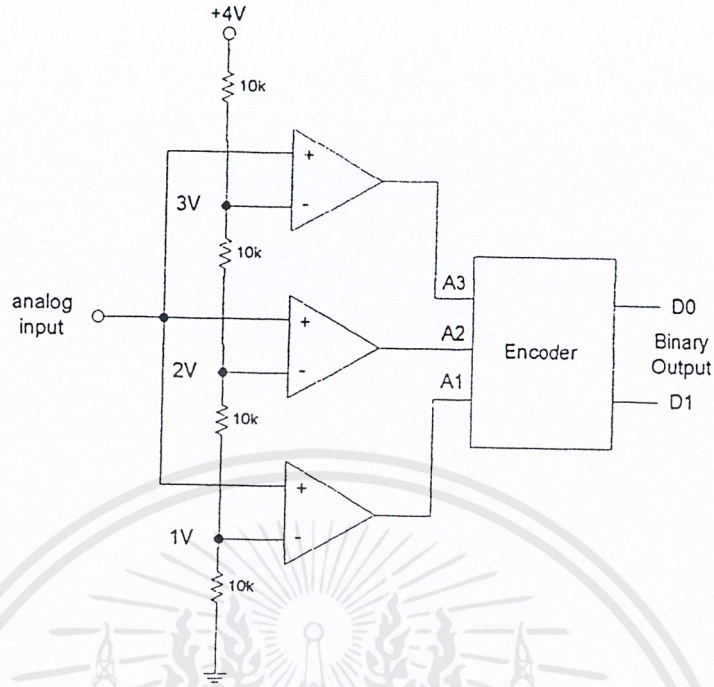
2.4 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

2.4.1 พื้นฐานการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบขนาน

อนาลอกอินพุต (โวลท์)	เอาต์พุตตัวเปรียบเทียบ			เอาต์พุตเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D0
0 - 1	0	0	0	0	0
1 - 2	1	0	0	0	1
2 - 3	1	1	0	1	0
3 - 4	1	1	1	1	1

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าของเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงแรงดันของอนาลอกอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 วงจรพื้นฐานของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบขนาน

จากตารางที่ (2.4) จะเห็นว่า ตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวจะให้เอาต์พุตเป็น “1” ก็เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงของตัวเปรียบเทียบแต่ละตัว ซึ่งมีค่าแตกต่างและถ้าแรงดันอินพุตมีค่าอยู่ในช่วง 3-4 โวลต์ (แรงดันอ้างอิง +4 โวลต์) จะทำให้ตัวเปรียบเทียบทั้ง 3 ตัวให้เอาต์พุตเป็น “1” ทั้งหมด เอาต์พุตจากตัวเปรียบเทียบทั้งหมดจะส่งเข้าไปที่วงจรเข้ารหัส เพื่อทำให้เป็นสัญญาณดิจิตอลระบบเลขฐานสองต่อไป

จากรูปที่ (2.19) นี้ วงจรจะตอบสนองแรงดันอินพุตที่เป็นอนาลอก 4 ระดับ แต่ละระดับมีความแตกต่าง 1 โวลต์ ดังนั้น ความละเอียด (Resolution) ของวงจรนี้มีขนาด 2 บิต เราสามารถหาความละเอียดของวงจรได้จากจำนวนของตัวเปรียบเทียบ คือ

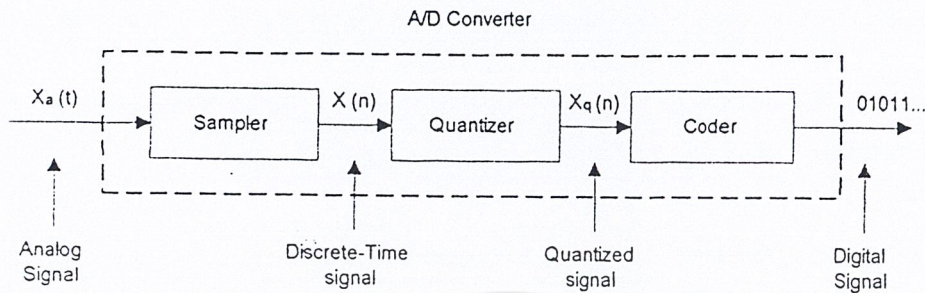
$$\text{จำนวนตัวเปรียบเทียบ} = 2^n - 1 \quad (2.17)$$

เมื่อ n คือ ความละเอียด

เช่นต้องการความละเอียดขนาด 8 บิต จะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบถึง 255 ตัว (แทนค่า $n = 8$) จากลักษณะการต่อตัวเปรียบเทียบให้ขนานกันเพื่อให้รับสัญญาณอินพุตได้พร้อมๆ กัน เราจึงเรียกวงจรนี้ว่า วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอลแบบขนาน (Parallel A/D converters) และเนื่องจากมันสามารถตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาลอก และแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแบบแฟลช (Flash A/D converters)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการตามรูปที่ 2.20 คือ



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ก. การสุ่มสัญญาณ (*sampling*) การสุ่มสัญญาณเป็นขั้นตอนแรกของการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอล โดยวงจรสุ่มสัญญาณจะตรวจจับขนาดของสัญญาณอนาลอกที่ถูกส่งตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยทั่วไปมักจะวัดขนาดในรูปของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแท้จริงแล้วกระบวนการสุ่มสัญญาณเป็นกระบวนการตรวจวัดค่าแรงดันของสัญญาณที่ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งมีคาบการตรวจจับคงที่ สัญญาณที่ผ่านกระบวนการสุ่มแล้ว จะเก็บรูปแบบของสัญญาณต้นฉบับก่อนที่จะถูกสุ่มได้อย่างสมบูรณ์เพียงใดขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการสุ่ม ซึ่งจะต้องมีค่าไม่น้อยไปกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณต้นฉบับ สมมติว่าความถี่ที่ใช้ในการสุ่มมีค่าเป็น f_s เฮิรตซ์ และความถี่สูงสุดของสัญญาณต้นฉบับมีค่าเป็น B กล่าวได้ว่าสัญญาณที่ถูกสุ่มแล้วจะยังคงเก็บรายละเอียดของสัญญาณต้นฉบับไว้ได้ครบถ้วน คราบใดที่อัตราการสุ่ม f_s มีค่ามากกว่า $2B$ ซึ่งสามารถใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดึงสัญญาณต้นฉบับกลับคืนมาได้ที่เครื่องรับปลายทาง ในทางกลับกัน หากอัตราการสุ่ม f_s มีค่าน้อยกว่า $2B$ ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลของสัญญาณต้นฉบับไป

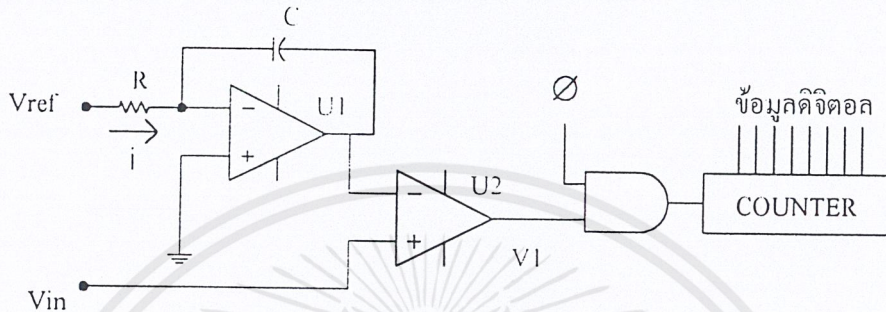
ข. การเทียบระดับแรงดัน (*quantizing*) การเทียบระดับแรงดันเป็นกระบวนการในการนำสัญญาณที่ถูกสุ่มแล้วมาจัดกลุ่มภายในระดับซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงๆ เรียกว่าช่วงควอนไทซ์ (*quantizing interval*) แต่ละช่วงจะถูกแทนค่าด้วยค่าคงที่มีชื่อเรียกว่าค่าควอนไทซ์ ซึ่งระดับค่าควอนไทซ์ในสถานีต้นทางและสถานีปลายทางจะเหมือนกันทุกประการ โดยทั่วไปขั้นตอนการเทียบระดับแรงดันจะเกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสสัญญาณอย่างมาก การจัดระดับควอนไทซ์มีจุดประสงค์หลักเพื่อปรับค่าแรงดันของสัญญาณที่ผ่านกระบวนการสุ่มสัญญาณมาแล้ว ให้ลงตัวกับค่าแรงดันมาตรฐานจำนวนหนึ่ง ที่ถูกกำหนดเตรียมไว้ โดยต้องตรงกับระดับควอนไทซ์แต่ละค่า เพื่อทำการแปลงเป็นรหัสไบนารี

ค. การเข้ารหัส (*coding*) ตัวเข้ารหัส (*coder*) ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนค่าที่ได้จากการควอนไทซ์เป็นรหัสที่เป็นซีควีนซ์ของไบนารี (*Binary Sequence*) เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณพัลส์ที่เหมาะสมกับการส่งสัญญาณต่อไป

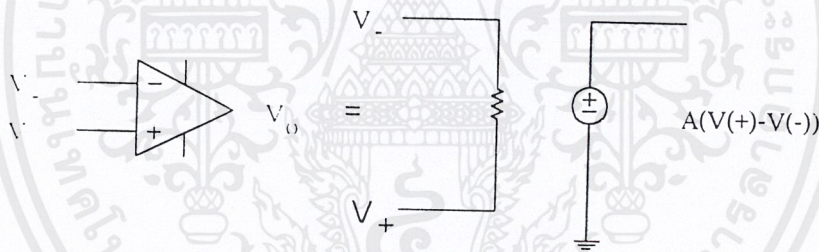
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีหลักการทำงานดังนี้

2.4.1. **วิธีความชันเดียว**หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นแบบวงจรรนับ (Counter) เพราะในวงจรจะใช้ค่าที่นับได้จากวงจรรนับ ซึ่งเป็นค่าเลขฐานสองที่สัมพันธ์กับค่าของสัญญาณอนาลอกที่เข้ามาซึ่งวงจรแปลงมาเป็นค่าดิจิตอลที่แปลงได้ แผนภาพวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิตอลด้วยวิธีความชันเดียว ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิตอลด้วยวิธีความชันเดียว



รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลอย่างง่ายของวงจรขยายเชิงดำเนินการ

U1 ในวงจรรูปที่ 2.21. เป็นวงจรขยายเชิงปฏิบัติการ (Operational Amplifier, OP-AMP) ซึ่งมีวงจรสมมูล(Equivalent Circuit) อย่างง่ายดังรูปที่ 2.22 OP-AMP เป็นวงจรที่ขยายผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามาทางขาสัญญาณเข้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าดังในรูปที่ 2.22 อัตราขยายของ OP-AMP ในอุดมคติมีอัตราขยายสูงเป็นอนันต์ ($A=\infty$) และความต้านทานขาเข้า (R_{in}) มีค่าเป็นอนันต์เช่นกัน ดังนั้นกระแสที่จะไหลเข้าไปทางขาสัญญาณเข้าทั้งสองขาจึงมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขาสัญญาณเข้าของ OP-AMP มีค่าเป็น 0 โวลต์ คือแรงดันไฟฟ้าที่ขาสัญญาณเข้าทั้งสองมีค่าเท่ากัน OP-AMP มีค่าเป็น 0 โวลต์ คือแรงดันไฟฟ้าที่ขาสัญญาณเข้าทั้งสองมีค่าเท่ากัน OP-AMP เป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานมากในวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก จึงควรจำคุณสมบัติในอุดมคติและการทำงานของ OP-AMP จะทำให้เข้าใจวงจรแปลงสัญญาณแบบต่างๆ ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรรูปที่ 2.21 V_{ref} เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่มีแรงดันคงที่ค่าหนึ่ง กระแส I ที่ไหลจาก V_{ref} ผ่านตัวต้านทาน R ไปยังขาสัญญาณเข้าแบบกลับเฟส (-) ของ OP-AMP จะไม่ไหลเข้าไปยัง OP-AMP ดังที่กล่าวมาแล้วว่าความต้านทานขาเข้าของ OP-AMP มีค่าเป็นอนันต์ ดังนั้นกระแส I ทั้งหมดจะไหลไปยังตัวเก็บประจุ C ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ

$$v_o = v_- - \frac{1}{C} \int i dt - v_c(0) \quad (2.18)$$

$V_c(0)$ เป็นแรงดันไฟฟ้าที่คงอยู่ที่ตัวเก็บประจุ ก่อนที่กระแสจะไหลเข้าไปยังตัวเก็บประจุกระแสมีค่าเท่ากับ

$$i = \frac{V_{Ref} - V_-}{R} \quad (2.19)$$

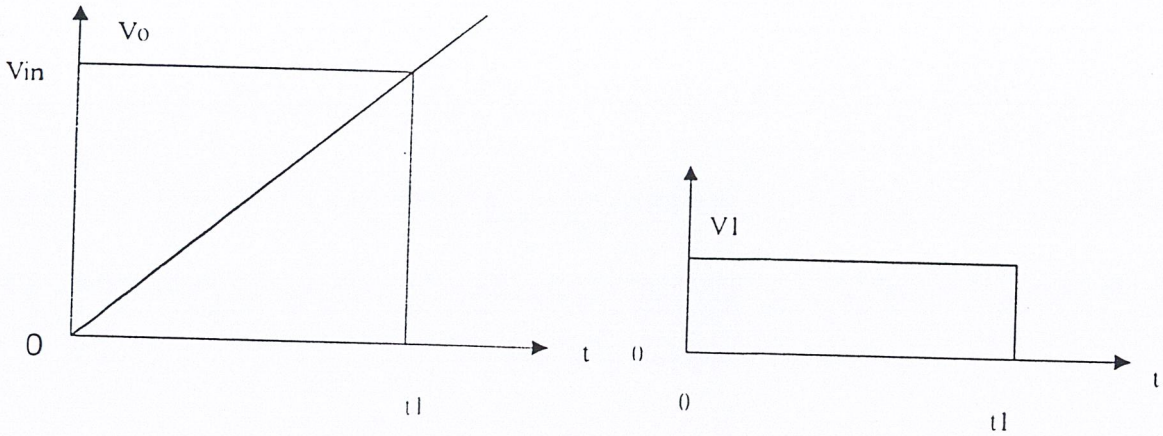
เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างขา V_- กับ V_+ มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ซึ่งในวงจรรูปที่ 2.40 มี V_+ ต่ออยู่กับกราวด์ ดังนั้น $V_- = V_+ = 0$ โวลต์ จากสมการ (2.19) เขียนได้

$$i = \frac{V_{Ref}}{R} \quad (2.20)$$

จากสมการ (2.20) แสดงให้เห็นว่ากระแสมีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อแทนค่ากระแสในสมการ (2.18) และ $V = 0$ โวลต์ จะได้

$$v_o = \frac{-V_{Ref}t}{RC} - V_c(0) \quad (2.21)$$

ถ้า V_{ref} มีค่าเป็นลบ และให้ตอนเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้า $V_c(0)$ มีค่าเป็น 0 โวลต์ แรงดันไฟฟ้า v_o ในสมการ (2.21) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาเป็นแบบเส้นตรงดังในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรรูปที่ 2.21

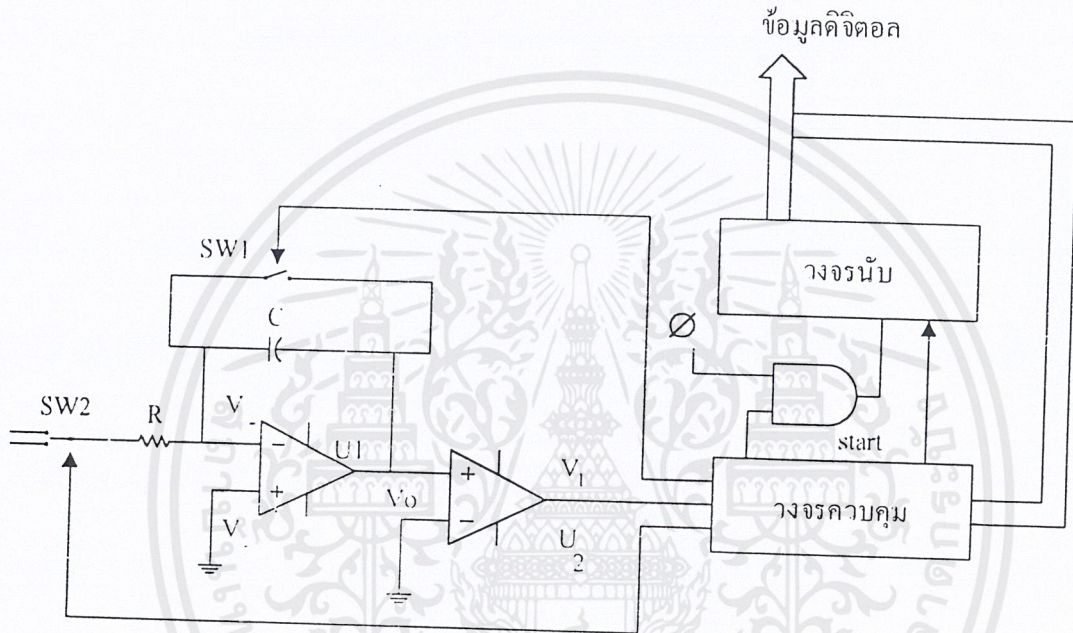
ให้ในคอนเริ่มต้นคือที่เวลา $t=0$ วินาที ตัวเก็บประจุถูกทำให้คายประจุออกจนหมด แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็น 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า V_o จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ และวงจรนับจะถูกรีเซทให้มีค่าเป็น 0 ด้วย ขณะนี้สัญญาณ V_1 ที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณ U_2 ในรูปที่ 2.21 จะมีสถานะลอจิกเป็น “1” เนื่องจาก V_{in} มีค่ามากกว่า V_o สัญญาณ \emptyset ซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่คงที่จะถูก AND กับลอจิก “1” จากสัญญาณออกของ U_2 ทำให้สัญญาณที่ออกจากเกต AND มีรูปสัญญาณและความถี่เหมือนกับสัญญาณ \emptyset ที่ป้อนเข้าไป ซึ่งวงจรนับจะทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่ออกมาจากเกต AND นี้ ในขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้า V_o จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่ตามสมการ (2.21) จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้า V_o มีค่ามากกว่า V_{in} เล็กน้อย ก็จะทำให้ระดับลอจิก V_{in} ที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณกลับมามีสถานะลอจิก “0” ซึ่งจะทำให้ไม่มีสัญญาณไปเข้าวงจรนับ ดังนั้นค่าที่วงจรถับจะไม่เพิ่มขึ้นค่าที่นับได้ครั้งสุดท้ายจะเป็นข้อมูลที่สัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้า V_{in} ที่ป้อนเข้ามายังวงจร ถ้า V_{in} มีค่าน้อยเวลาที่ใช้ให้ V_o มีค่าเพิ่มจนกระทั่งมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า V_{in} ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้า V_{in} มีค่ามากก็จะใช้เวลามาก ค่าที่วงจรถับทำการนับได้จึงแปรผันโดยตรงกับเวลาหรือค่า V_{in} นั้นเอง อย่างไรก็ตามค่าที่นับได้ไม่ได้แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า V_{in} โดยตรงเสมอไป

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลด้วยวิธีความชันเดี่ยว ดังวงจรในรูปที่ 2.21 แม้ว่า จะเป็นวงจรที่ง่ายแต่ความผิดพลาดก็เกิดขึ้นได้มากเช่นกัน จากสมการ (2.21) ค่าแรงดัน V_o จะขึ้นกับ V_{Ref} , R และ C ซึ่ง V_{Ref} จะต้องมียุทธศาสตร์ที่มากมาย และ R กับ C โดยทั่วไปจะมีค่าแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ดังนั้นอัตราการเพิ่มของแรงดันไฟฟ้า V_o จะไม่คงที่ทุกครั้งที่ใช้งานหรือตลอดเวลาที่ใช้งาน อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปขณะใช้งาน ค่าที่ได้จากวงจรถับจึงได้ค่าไม่คงที่แม้ว่าจะป้อนแรงดันไฟฟ้า V_{in} เข้าไปเท่าเดิมก็ตาม จึงได้มีการออกแบบ ADC วิธีใหม่ เรียกว่าวิธีความชันคู่ (DUAL Slope) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วิธีความชันคู่ (Dual Slope)

วงจร ADC แบบวิธีความชันคู่ ใช้วงจรนับเพื่อนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณความถี่คงที่เช่นเดียวกับวิธีความชันเดี่ยว และค่าจากวงจรมับที่นับได้เป็นค่าสัมพันธ์กับระดับของสัญญาณอนาลอกเช่นเดียวกัน แต่วงจร ADC แบบวิธีความชันเดี่ยว โดยวงจร ADC แบบวิธีความชันคู่จะอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุในเวลาคงที่หนึ่ง ด้วยกระแสจากแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแปลงเป็นค่าดิจิทัล แล้วให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกด้วยอัตราคงที่ วงจร ADC แบบวิธีความชันคู่ มีดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัลด้วยวิธีความชันคู่

สัญญาณ \emptyset ในวงจรรูปที่ 2.24 มีความถี่คงที่ ถูกส่งไปยังเกต AND เพื่อ AND กับสัญญาณ Start ที่มาจากวงจรควบคุม สัญญาณ Start จะควบคุมให้มีสัญญาณ \emptyset ไปเข้าวงจรนับหรือไม่ การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.24 เริ่มต้นโดยวงจรควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังส่วนต่างๆ เพื่อให้เกิดการทำงานดังนี้

1. ส่งสัญญาณ Reset ไปยังวงจรมับเพื่อให้ค่าที่นับได้ในวงจรเป็น 0
2. ส่งสัญญาณไปยังสวิทช์ SW₁ ให้ลัดวงจร ดังนั้นประจุที่คงค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ C จะถูกคายออกไป ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็น 0 โวลต์ จากนั้นสัญญาณควบคุมจะให้สวิทช์ SW₁ เปิดวงจรออก ขณะนี้แรงดันไฟฟ้า V_o จะมีค่า

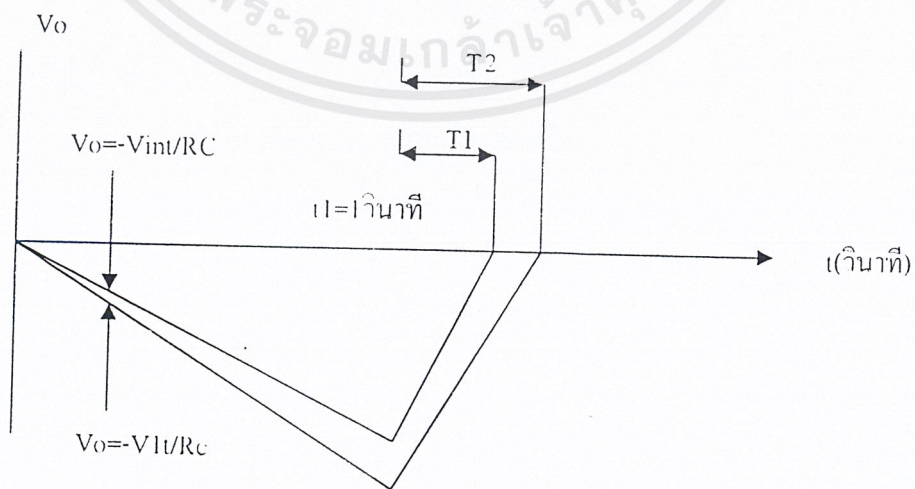
$$V_o = V_- - V_c = 0 \quad \text{โวลต์} \quad (2.22)$$

เมื่อ V_c เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ

3. วงจรควบคุมจะบังคับให้สวิทช์ SW_2 เลื่อนมาที่ตำแหน่ง V_{in} ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัล ต่อเข้ากับตัวต้านทาน R แรงดันไฟฟ้า V_0 ที่ออกจาก $U1$ จะมีค่าตามสมการ (2.21) แต่เนื่องจากในตอนเริ่มต้นมีการทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุตามข้อ (2) ดังนั้น $V_c(0)$ โวลต์ จึงเขียนสมการของแรงดันไฟฟ้า V_0 ได้ใหม่ตามสมการ (2.22)

$$V_0 = \frac{-V_{in}t}{RC} \quad (2.23)$$

ให้ V_{in} ในสมการ (2.23) มีค่ามากกว่า 0 โวลต์ (V_{in} เป็นบวก) แรงดันไฟฟ้า V_0 จะมีค่าลดลงด้วยอัตราคงที่ตามเวลาดังในรูปที่ 2.25 และสัญญาณออกจากวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) $U2$ ไปวงจรควบคุมยังคงมีสถานะลอจิก “0” วงจรควบคุมจะให้สัญญาณ Start เป็นลอจิก “1” เพื่อให้มีสัญญาณนาฬิกาออกจากเกต AND ไปเข้าวงจรนับ วงจรนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ ϕ จนถึงเวลาหนึ่งที่กำหนดไว้เช่น $t_1 = 1$ วินาที ขณะนั้นแรงดันไฟฟ้า V_0 ที่ออกจาก OP-AMP $U1$ จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับค่าแรงดันไฟฟ้า V_{in} ที่ป้อนเข้าไปตามสมการ (2.23) จากนั้นวงจรควบคุมจะตั้งให้สวิทช์ SW_2 เลื่อนตำแหน่งไปยัง V_{ref} ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าตรงข้ามกับ V_{in} เช่น ถ้า V_{in} มีค่าน้อยกว่า 0 โวลต์ V_{ref} ก็จะต้องมีค่ามากกว่า 0 โวลต์ และวงจรควบคุมจะรีเซ็ตให้วงจรนับมีค่าเป็น 0 อีกครั้งหนึ่ง ขณะนี้แรงดันไฟฟ้า V_0 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าที่เวลา $t=1$ วินาทีด้วยอัตราคงที่ โดยไม่ขึ้นกับว่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแปลงเป็นค่าดิจิทัลจะมีค่าเป็นอย่างไรดังในรูปที่ 2.44 แรงดันไฟฟ้า V_0 นี้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งมากกว่า 0 โวลต์ สัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบ $U2$ จะเป็นลอจิก “1” ซึ่งทำให้วงจรควบคุมส่งสัญญาณ Start มีสถานะลอจิก “0” ออกมา ทำให้ไม่มีสัญญาณนาฬิกาไปเข้ายังวงจรนับ ดังนั้นวงจรนับจะไม่มีค่าเปลี่ยนแปลง ค่าที่นับได้เป็นค่าดิจิทัลมีค่าน้อยก็จะใช้เวลาในการคายประจุจนหมดน้อยกว่ากรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแปลงมีค่ามากกว่าซึ่งหมายความว่าค่าที่นับได้ในกรณีแรงดันไฟฟ้าน้อยจะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากจัดว่าเป็นความสัมพัทธ์แบบ Monotonicity



รูปที่ 2.25 กราฟแรงดันไฟฟ้า V_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่เวลา t_1 ขณะนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเป็น $-V_{in} t_1 / RC$ เมื่อสวิตช์ SW_2 เลื่อนไปยังตำแหน่ง V_{Ref} แรงดันไฟฟ้า V_o จะมีค่าตามสมการ (2.22) เท่ากับ

$$V_o = \frac{-V_{Ref} t}{RC} - \frac{V_{Ref} t_1}{RC} = \frac{-V_{Ref} t}{RC} + \frac{V_{in} t_1}{RC} \quad (2.24)$$

ที่เวลา $t = T_1$ แรงดันไฟฟ้า V_o จะมีค่าเป็น 0 โวลต์

$$0 = \frac{-V_{Ref} t}{RC} T_1 + \frac{V_{in} t_1}{RC} \quad (2.25)$$

$$T = \frac{V_{in} t_1}{V_{Ref}} = K V_{in} \quad \text{โดย} \quad K = \frac{t_1}{V_{Ref}} \quad (2.26)$$

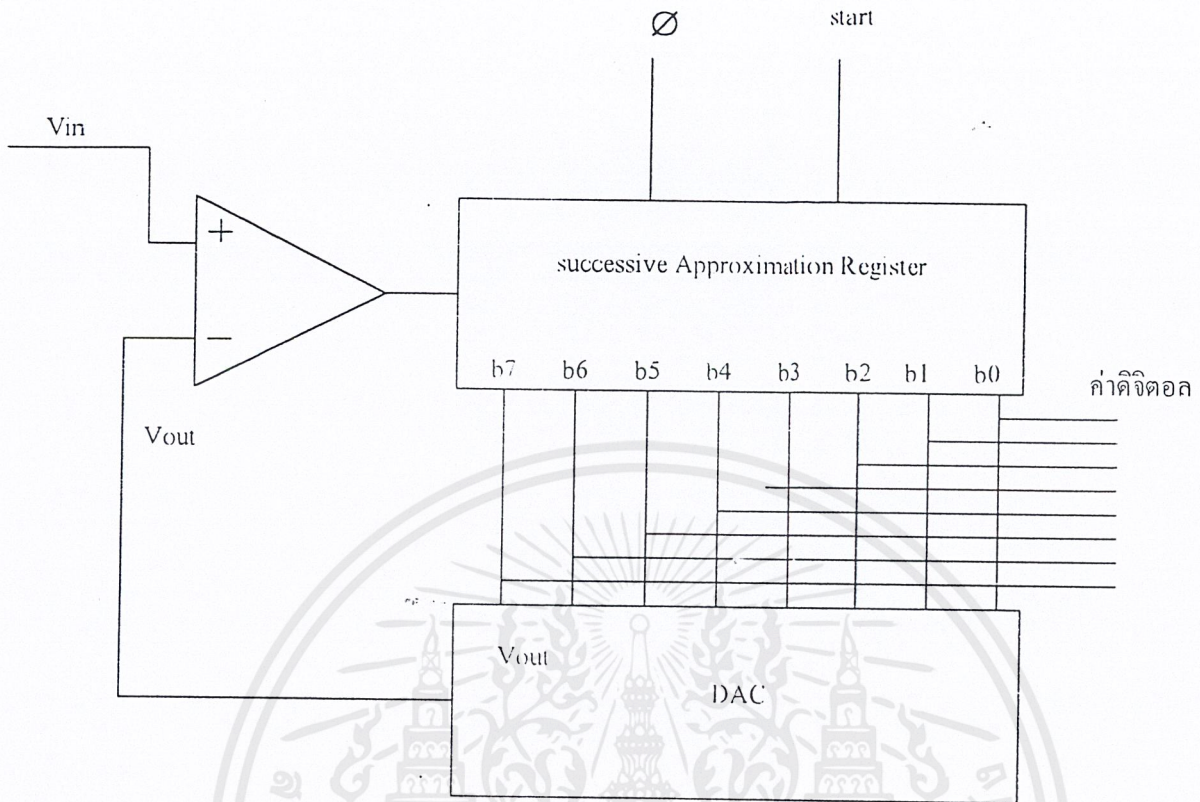
จะเห็นว่าช่วงเวลานับตั้งแต่สวิตช์ SW_2 เลื่อนมายังตำแหน่ง V_{Ref} จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้า V_o มีค่าเป็นศูนย์ จะขึ้นกับค่าแรงดันไฟฟ้า V_{in} และ V_{Ref} เท่านั้น ไม่ขึ้นกับค่าความต้านทาน และตัวเก็บประจุ C ซึ่งดีกว่าวิธีความชันเดียว

ในช่วงเวลาการอัดประจุของตัวเก็บประจุจากแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลด้วยเวลาคงที่ในช่วงแรกนั้น ถ้าใช้วงจรตั้งเวลาให้มีค่าตามที่กำหนดก็จะทำให้วงจรยุ่งยากขึ้น ดังนั้นโดยทั่วไปจะใช้วิธีกำหนดเวลาจากค่าที่วงจรมับได้ เช่น เมื่อวงจรมับได้ค่า 10,000 ทั้งที่ความถี่ของสัญญาณมีค่าคงที่ เมื่อกำหนดให้นับถึงค่าหนึ่งก็เสมือนว่าเป็นการกำหนดเวลาคงที่ที่ต้องการ ค่าที่นับได้จะถูกป้อนกลับมายังวงจรควบคุม ทำให้วงจรควบคุมรู้ว่าได้เวลาตามที่กำหนดก็สั่งให้สวิตช์ SW_2 เลื่อนไปอยู่ตำแหน่ง V_{REF} แล้วจึงทำงานต่อไป

วงจร ADC ทั้งแบบความชันเดียวและแบบความชันคู่ มีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือเวลาที่ใช้ในการแปลงระดับสัญญาณอนาลอกเป็นค่าดิจิทัล ที่เรียกว่าเวลาการแปลงผัน (Conversion Time) จะขึ้นกับระดับของสัญญาณอนาลอก ถ้ายิ่งแรงดันมีค่ามากเวลาการแปลงผันก็จะมีค่ามาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในบางวงจร เช่น ในคอมพิวเตอร์ จึงได้มีการออกแบบวงจร ADC ที่มีเวลาการแปลงผันคงที่ เรียกว่าแบบประมาณสืบเนื่อง (Successive Approximation)

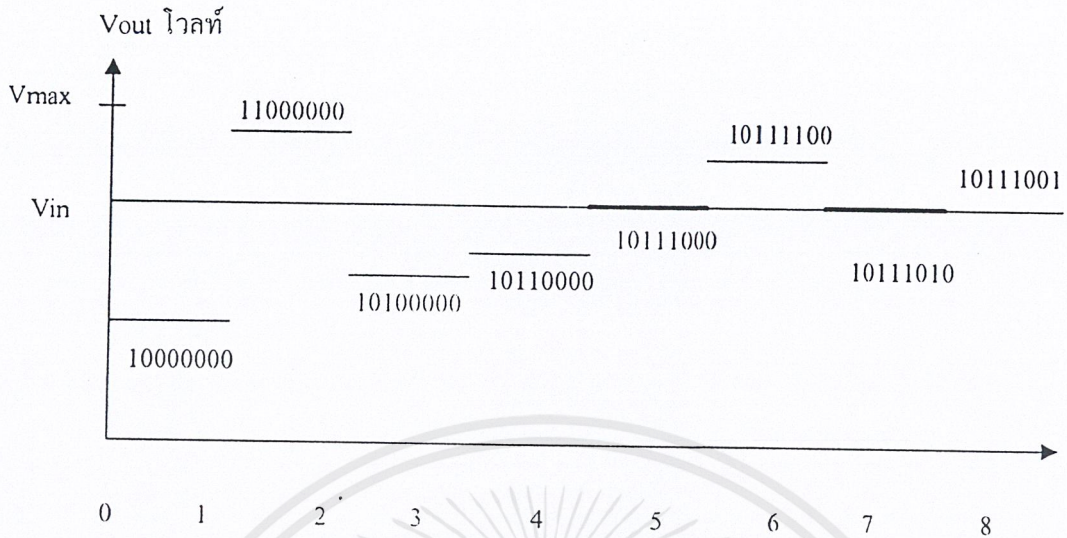
2.4.3 วิธีประมาณสืบเนื่อง (Successive Approximation)

วงจร ADC แบบวิธีประมาณสืบเนื่อง มีการแปรผันคงที่จึงมีการนำมาใช้งานกันมาก รวมทั้งมีการผลิตออกมาเป็นวงจรรวมหลายเบอร์ แผนภาพการทำงานของวงจร แบบวิธีประมาณสืบเนื่อง มีดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แผนภาพวงจร ADC แบบวิธีประมาณสืบเนื่อง

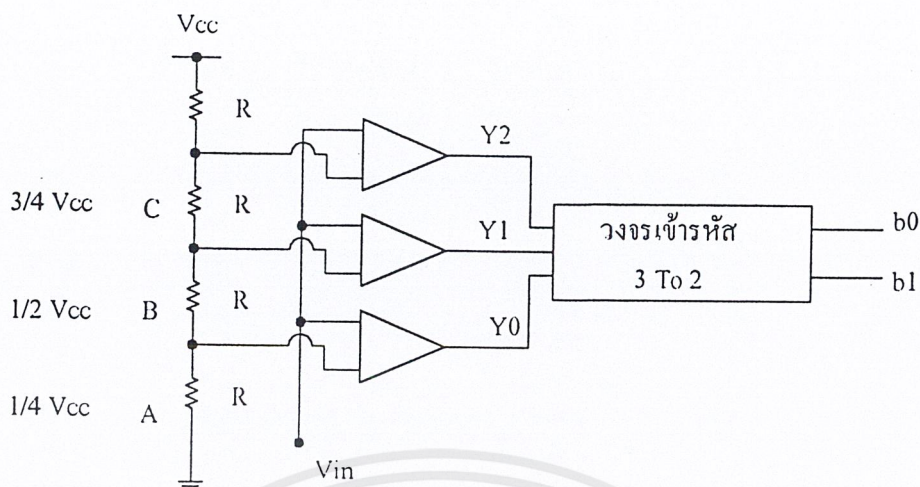
การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.26 เริ่มต้นโดยการป้อนสัญญาณเริ่มต้นให้กับวงจร Successive Approximation Register (SAR) ซึ่งมีสัญญาณออก 8 บิตคือบิต b_0 ถึง b_7 โดยบิต b_7 เป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit,MSB) จะถูกรีเซ็ตให้มีสัญญาณออกเป็น 10000000₂ สัญญาณออกทั้ง 8 บิตถูกต่อเข้ากับวงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter,DAC) เพื่อแปลงข้อมูลจาก SAR ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าอนาล็อกออกทางขา V_{out} เมื่อป้อนข้อมูล 10000000₂ เข้าไปยัง DAC จะให้สัญญาณออก V_{out} มาเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัด แรงดันไฟฟ้านี้จะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบ U1 เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้า V_{in} ที่ต้องการแปลงเป็นค่าดิจิทัล ถ้า V_{in} มีค่ามากกว่า V_{out} ก็จะคงค่าบิต b_7 ให้เป็น 1 แต่ถ้า $V_{in} < V_{out}$ จะรีเซ็ตให้บิต b_7 เป็น "0" ไซเคิลแรกในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 กราฟแรงดันไฟฟ้า V_{out}

แรงดันไฟฟ้า V_{in} มีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัด ซึ่งมีค่าสูงสุด V_{max} และค่าต่ำสุด 0 โวลต์ ในไซเคิลถัดไปของสัญญาณ ϕ คือไซเคิลที่ 2 วงจร SAR จะทำให้บิต b_6 มีค่าเป็น 1 แล้ววงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า V_{out} กับ V_{in} ถ้า $V_{in} > V_{out}$ ก็จะคงค่าบิต b_6 ให้เป็น 1 ไว้ แต่ถ้า $V_{in} < V_{out}$ ก็จะให้บิต b_6 เท่ากับ 0 การทำงานซ้ำเช่นนี้ในบิตถัดไปแต่ละไซเคิลจนกระทั่งครบ 8 บิต จะได้ค่าที่ออกมาจากวงจร SAR เป็นค่าดิจิทัลที่เหมือนกับค่าของสัญญาณอนาล็อก V_{in} ที่ป้อนเข้ามา วิธีการเช่นนี้เรียกว่าวิธีการประมาณสี่เนื่อง เนื่องจากวงจรจะสร้างค่าประมาณขึ้นมาเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่ต้องการแปลงสี่เนื่องกันไปเป็นลำดับ เวลาการแปลงผันในวงจร ADC แบบวิธีการประมาณสี่เนื่องจะขึ้นกับจำนวนบิตของค่าดิจิทัลที่ต้องการ แต่ไม่ขึ้นกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแปลง ดังนั้นตัวอย่างค่าดิจิทัลที่ต้องการมี 8 บิต ก็ต้องใช้เวลา 8 ไซเคิลของสัญญาณ ϕ ดังนั้นถ้าวงจรยังทำงานกับสัญญาณ ϕ ที่มีความถี่ได้สูงมากเท่าไร เวลาที่ใช้ในการแปลงผันก็จะยิ่งน้อยลงแต่จำนวนไซเคิลยังคงเดิม

แม้วงจร ADC แบบวิธีการประมาณการสี่เนื่องจะสามารถทำงานได้ในเวลาที่คงที่ แต่ความเร็วยังไม่สูงมาก เนื่องจากการทำงานต้องสัมพันธ์กับจำนวนไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ยังมีวงจร ADC อีกแบบหนึ่งที่มีความเร็วสูงกว่าแบบวิธีการประมาณสี่เนื่อง เรียกว่า ADC แบบแฟลช (Flash)



รูปที่ 2.28 แผนภาพวงจร ADC แบบแฟลช

2.4.4 วิธีการแบบแฟลช (Flash)

วงจร ADC แบบแฟลชเป็นวงจร ADC ที่มีความเร็วสูงสุด มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.27 สัญญาณ V_{in} ในรูปเป็นสัญญาณที่ต้องการแปลงเป็นค่าดิจิทัล สัญญาณ V_{in} นี้ต่อเข้ากับขาบวกของวงจรเปรียบเทียบทุกตัว ซึ่งมีสัญญาณออกเป็น Y_0 , Y_1 และ Y_2 แรงดันไฟฟ้า V_{cc} จะถูกต่อกับตัวต้านทาน 4 ตัว แต่ละตัวมีค่า R ต่ออนุกรมกัน เพื่อแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ทำให้จุด A, B และ C มีแรงดันไฟฟ้าเป็น $V_{cc}/4$, $V_{cc}/2$, $3V_{cc}/4$ ค่าของ V_{in} จะทำให้สัญญาณ Y_0 , Y_1 และ Y_2 มีสถานะลอจิกเป็นไปตามตารางที่ 2.5

V_{in}	Y_2	Y_1	Y_0	b_0	b_1
$V_{in} < \frac{V_{cc}}{4}$	0	0	0	0	0
$\frac{V_{cc}}{4} \leq V_{in} < \frac{V_{cc}}{2}$	0	0	1	0	1
$\frac{V_{cc}}{2} \leq V_{in} < \frac{3V_{cc}}{4}$	0	1	1	1	0
$\frac{3V_{cc}}{4} \leq V_{in} < V_{cc}$	1	1	1	1	1

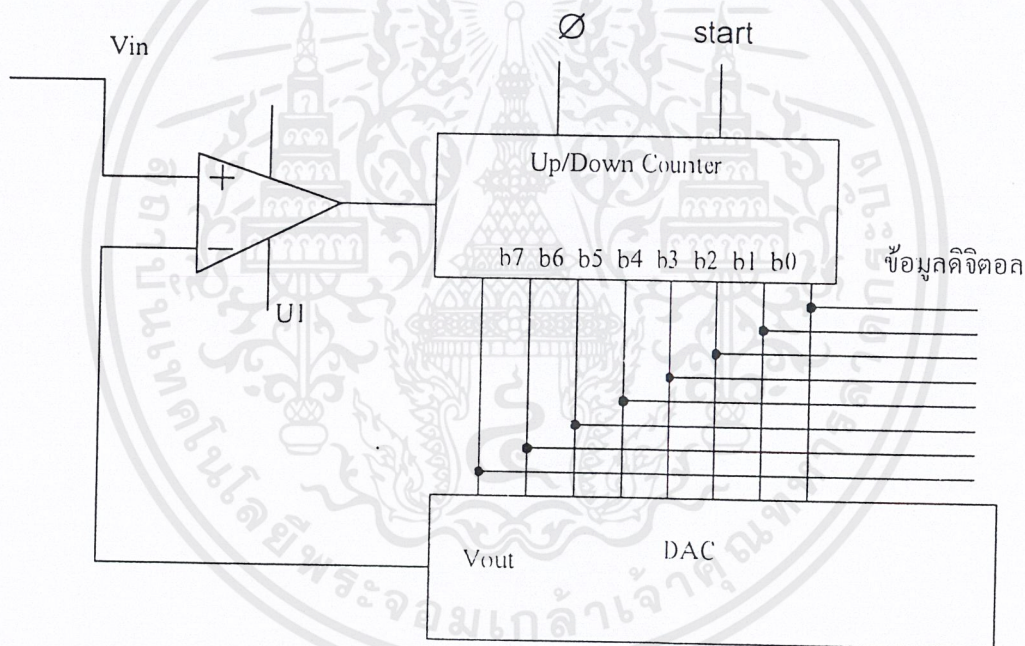
ตารางที่ 2.5 ค่าความจริงของ Y_0 , Y_1 , Y_2 , b_0 , b_1

ตัวอย่างเช่น ถ้าแรงดัน V_{in} มีค่าอยู่ระหว่าง $V_{cc}/4$ กับ $V_{cc}/2$ จะทำให้ $Y_0 = "1"$, $Y_1 = "0"$ และ $Y_2 = "0"$ เวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อให้ค่าดังกล่าวจะเท่ากับเวลาหนึ่งในการทำงานของวงจรเปรียบเทียบเท่านั้น สถานะลอจิกที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบ (Y_0 , Y_1 , Y_2) ถูกป้อนเข้าไปยังวงจรเข้ารหัส 3 to 2 เพื่อให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ค่าที่ออกมาคือ $b_7 b_6$ อยู่ในรูปของเลขฐาน 2 ดังในตารางค่าความจริงเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสมีค่าไม่มาก ดังนั้นวงจรนี้ทำงานได้เร็วมาก ข้อเสียของวงจรนี้คือถ้าจำนวนบิตของเลขฐาน 2 มากขึ้นก็จะต้องใช้จำนวนของวงจรเปรียบเทียบมากขึ้น เช่น ถ้าต้องการแปลงข้อมูลสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 256 ตัว ซึ่งต้องใช้ไฟเลี้ยงวงจรมากและมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ADC แบบแฟลชก็ทำงานได้เร็วที่สุด

2.4.5 วิธีการแบบการติดตาม (Tracking)

ถ้าสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาและต้องการแปลงเป็นค่าดิจิทัลตลอดเวลา การใช้ ADC เช่นแบบวิธีการประมาณสลับเนื่องจากใช้เวลาการแปรผันมากเกินไปที่ต้องการ และแบบแฟลชอาจมีราคาแพงหรือขนาดใหญ่ จะสามารถใช้วงจร ADC แบบการติดตาม (Tracking) ซึ่งมีแผนภาพวงจรดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 วงจร ADC แบบการติดตาม

วงจรในรูปที่ 2.29 คล้ายกับวงจร ADC แบบวิธีการประมาณสลับเนื่องในรูปที่ 2.25 แตกต่างกันในรูปที่ 2.29 ใช้วงจรนับขึ้นลงแทนวงจร SAR การทำงานของวงจรในรูปที่ 2.29 เริ่มต้นด้วยการป้อนสัญญาณ Start ให้กับวงจรนับขึ้นลง วงจรนับขึ้นลงจะรีเซ็ตค่าให้เป็น 0 ค่าที่นับได้จากวงจรนับถูกต่อเข้ากับวงจร DAC เพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกไปต่อเข้ากับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ U_1 ถ้าผลการเปรียบเทียบเป็น 1 แสดงว่าค่าจากวงจรนับทำให้แรงดัน V_{out} จาก DAC ยังมีค่าน้อยกว่า V_{in} วงจรนับจะต้องนับสัญญาณ \emptyset เพิ่มขึ้นอีก 1 แต่ถ้าผลการเปรียบเทียบเป็น 0 แสดงว่าแรงดันไฟฟ้า V_{out} จาก DAC มีค่ามากกว่า V_{in} ดังนั้นวงจรนับขึ้นลงจะต้องนับสัญญาณ \emptyset แรงดันไฟฟ้าจาก DAC จะถูกเปรียบเทียบกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

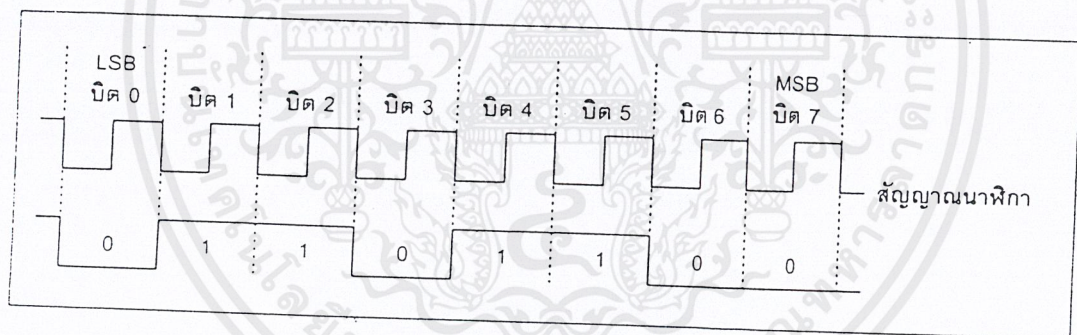
สัญญาณ V_{in} ตลอดเวลา ดังนั้นวงจรนับจะเพิ่มหรือลดค่าตลอดเวลา ตามค่าของ V_{in} ที่เปลี่ยนแปลงไป และค่าที่ได้จากวงจรนับขึ้นลงในขณะนั้นก็คือค่าดิจิทัลของระดับสัญญาณ V_{in} ในบางครั้งที่มีสัญญาณ V_{in} มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว วงจรนับอาจทำงานเพิ่มค่าไม่ทันก็อาจทำให้เกิดค่าผิดพลาดได้ ดังนั้นต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของ V_{in} ด้วยในการออกแบบ

2.5 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

2.5.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส

จะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือชิปฮาร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูลและกราวด์ ดังรูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงไทม์มิงไคอะแกรมของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.30 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม

2.5.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

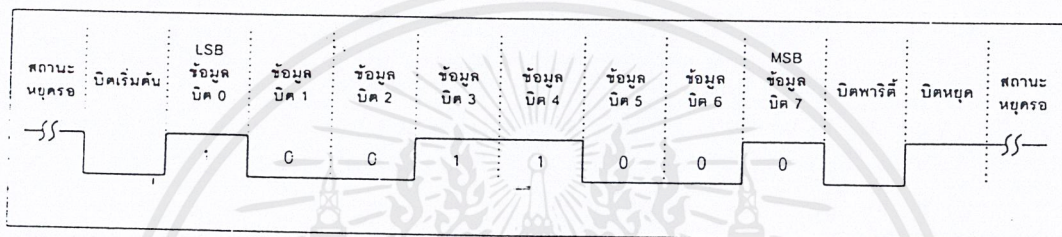
การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากันซึ่งเรียกลักษณะนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่าอัตราการถ่ายทอข้อมูลหรือบอดเรต(Baudrate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (Bit per second: bps) รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต

รูปที่ 2.31 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสซึ่งเมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่ง data จะมีสถานะลอจิก “1” ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา data มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต ซึ่งจะเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้นจากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่งอาจจะมีจำนวนบิต 5,6,7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขา data ดำมีสถานะลอจิก 1 อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว



รูปที่ 2.31 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

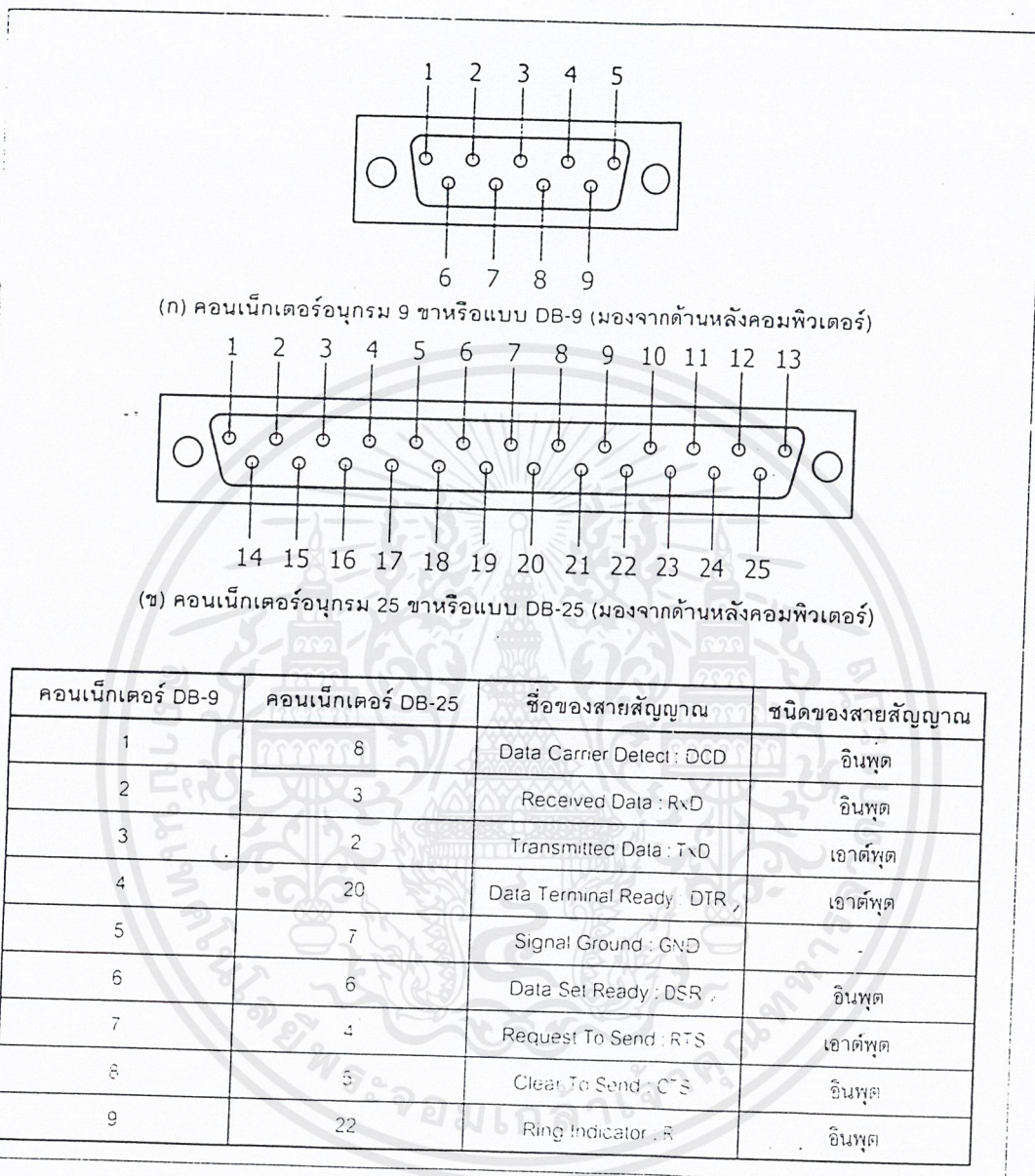
2.6 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็คเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้สังเกตเห็นได้ชัดคือ คอนเน็คเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็คเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็คเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE สำหรับการใช้งานบนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร



รูปที่ 2.32 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

2.6.1 คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ซึ่งคอนเน็คเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ (2.32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

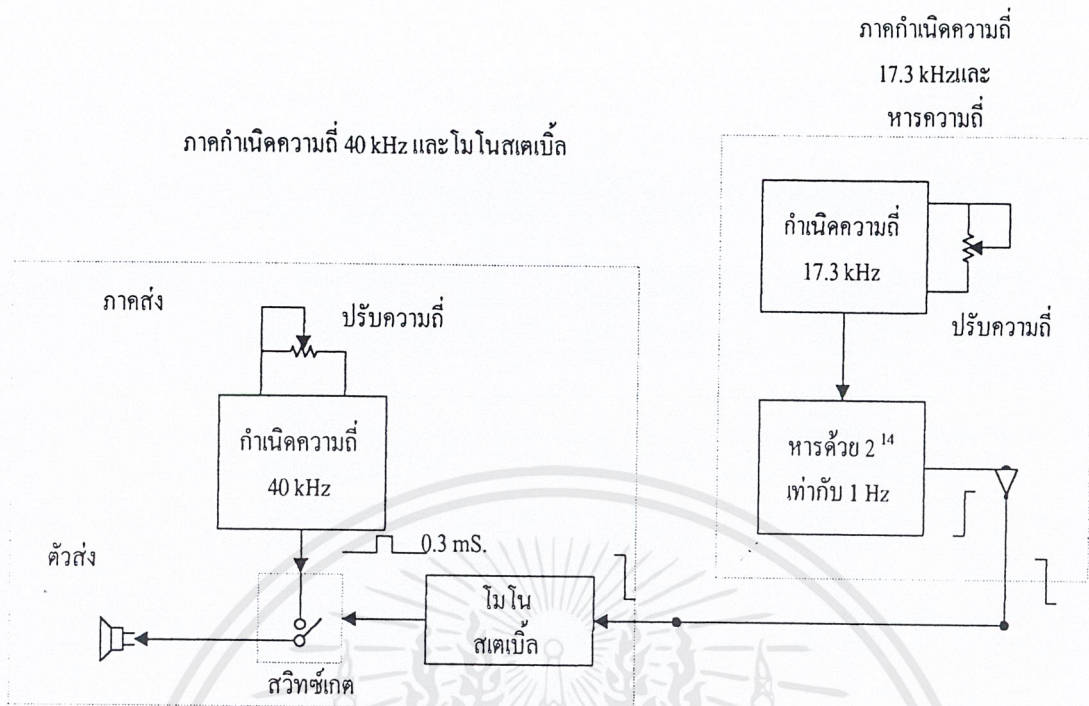
บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

โครงการเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิกชิ้นนี้ประกอบไปด้วยภาคส่งซึ่งจะทำหน้าที่ส่งคลื่น 40 กิโลเฮิร์ตซ์ออกไป 12 พัลส์ใน 1 จังหวะการส่ง โดยพัลส์ที่ส่งออกไปจะสะท้อนกับวัตถุและรับสัญญาณโดยตัวรับเมื่อรับสัญญาณได้แล้วสัญญาณจะถูกขยายหลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปเข้า A/D แล้ว A/D จะทำการ Sampling สัญญาณ ทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำการส่งการให้นำข้อมูลไปเก็บใน RAM ได้ โดยในที่นี้เราใช้ A/D ที่มีความถี่ในการ Sampling เท่ากับ Clock ที่เราป้อนให้คือประมาณ 400 kHz เมื่อข้อมูลไบনারีถูกนำเข้ามาเก็บใน RAM ขนาด 8K เบอร์ IC6264 จนกระทั่งข้อมูลใน RAM เต็มซึ่งจะดูได้จากการแสดงสถานะของ LED เมื่อข้อมูลใน RAM เต็มแล้วเราจะทำการส่งคำสั่งจากเครื่อง PC ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งข้อมูลจาก RAM ไปเก็บเป็น File ในเครื่อง PC โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยมี RS-232 เป็นตัวปรับแรงดันเมื่อเราสามารถเก็บข้อมูลเป็น File ข้อมูลได้แล้วจึงทำการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะทำการคำนวณระยะทางโดยอาศัย File ข้อมูลที่ได้ โดยรายละเอียดในการสร้างและการคำนวณวงจรในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ภาคเครื่องรับ-ส่งอัลตราโซนิก

3.1.1 ภาคส่ง



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง

3.1.1.1 ภาคกำเนิดความถี่ 17.3 kHz และหารความถี่

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าส่วนแรกของภาคส่งคือภาคกำเนิดความถี่ 17.3 kHz และหารความถี่ จากรูปที่ 3.2 ส่วนกำเนิดความถี่ 17.3 kHz ประกอบด้วย IC3/2 , IC3/3 , C₆ , R₉ , R₁₀ , VR₃ โดยที่ VR₃ เป็นตัวปรับให้มีค่าความถี่ให้ได้ 17.3 kHz เนื่องจากความเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 346 m/s ที่สภาวะอุณหภูมิปกติ(25 องศาเซลเซียส) แต่ระยะทางจากเครื่องถึงวัตถุเป็นสองเท่าจึงหาร 2 ดังนั้นความเร็วที่ใช้งานที่เท่ากับความถี่ที่ใช้งานเท่ากับ

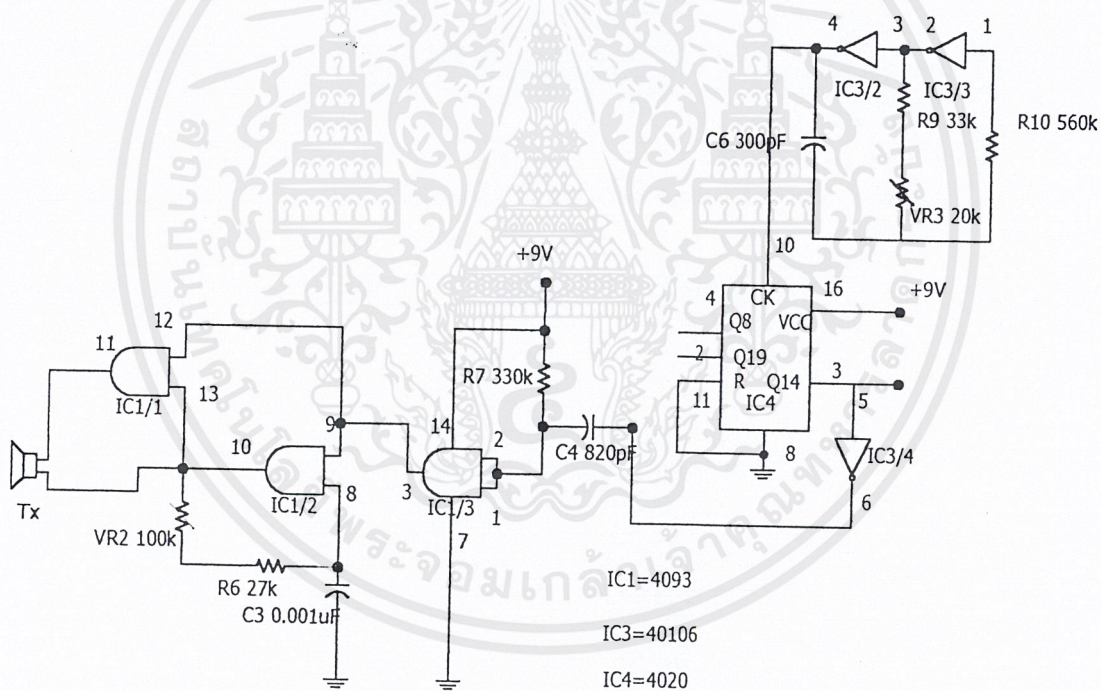
$$= \frac{34,600(cm / s)}{2}$$

$$= 17300(cm / s); Hz$$

สัญญาณความถี่ 17.3 kHz นี้จะถูกต่อเข้ากับ IC4 ซึ่งเป็นวงจรหาร 2¹⁴ (17,300/2¹⁴) จะทำให้เอาท์พุทที่ขา 3 (Q₁₄) มีความถี่ประมาณ 1 Hz โดยส่วนขอบขาขึ้นของ Q₁₄ จะทำการกลับสัญญาณโดย IC3/4 เป็นสัญญาณขอบขาลงส่งสัญญาณควบคุมวงจร ไมโครสเตเบิลเพราะวงจร ไมโครสเตเบิลจะทำงานเมื่อมีสัญญาณขอบขาลงมาทริก

3.1.1.2 ภาคกำเนิดความถี่ 40 kHz และโมโนสเตเบิล

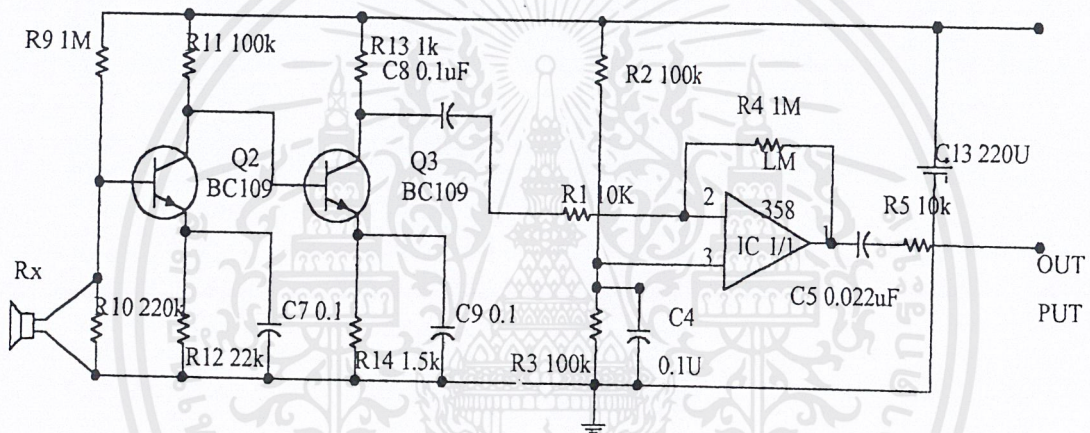
ส่วนที่สองของบล็อกโคเดแกรมรูปที่ 3.1 คือส่วนกำเนิดความถี่ 40 kHz และ โมโนสเตเบิล จากรูปที่ 3.2 ภาคกำเนิดความถี่ 40 kHz ประกอบด้วยเกต IC1/1 และ IC1/2 ร่วมกับ C_3, R_6, VR_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบบริดจ์สามารถปรับความถี่ได้โดย VR_2 โดยต้องปรับความถี่ให้ใกล้เคียง 40 kHz มากที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ตัวส่งอัลตราโซนิกสูงสุดตัวส่งอัลตราโซนิก (Tx) ต่ออยู่ระหว่างเกตทั้งสอง เพื่อให้ได้แรงดันไฟสลับป้อน ให้ตัวส่งมีค่า 18 Vp-p แต่ป้อนแรงดันไฟเลี้ยง 9V. วงจรกำเนิดความถี่จะควบคุมโดยวงจรโมโนสเตเบิล ซึ่งประกอบไปด้วย IC1/3, R_7, C_4 ซึ่งวงจรโมโนสเตเบิลในส่วนนี้จะทำหน้าที่ส่งพัลส์ไปควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ 40 kHz ของภาคส่งทำงานเป็นเวลาประมาณ 0.3 ms ในระหว่างนี้ตัวส่งก็จะส่งคลื่น 40 kHz ออกไป 12 พัลส์ใน 1 จังหวะการส่ง และสามารถปรับความถี่ได้โดย VR_2 โดยต้องปรับความถี่ให้ใกล้เคียง 40 kHz มากที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ตัวส่งอัลตราโซนิกสูงสุด



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของภาคส่ง

3.1.2 ภาครับ

จากรูปที่ 3.3 วงจรภาครับส่วนแรก ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัวคือ Q_2, Q_3 ทั้งหมดนี้ถูกจัดวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter) ตัวต้านทาน R_9, R_{10} ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน ไบอัสไฟตรง (DC bias) ให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q_2 และทำให้อิมพีแดนซ์ด้านขาเข้า (input impedance) ของวงจรขยาย Q_1 มีค่าอิมพีแดนซ์สูงเหมาะที่จะต่อเข้าทรานสดิวเซอร์ทางด้านรับ (R_x) หรือตัวแปลงสัญญาณนั่นเอง ซึ่งจะทำให้หน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับมา ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_3 ถูกต่อเข้ากับขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 โดยตรง เป็นการต่อเชื่อมสัญญาณระหว่างวงจรแต่ละภาคแบบดีซีคัปเปิล (DC couple) เพื่อต้องการให้อัตราการขยายสัญญาณแรงดันมีค่าสูงขึ้น (High Voltage Amplification) ส่วนสัญญาณที่ออกจากขาคอลเลคเตอร์ของ Q_3 จะถูกส่งผ่านตัวเก็บประจุ C_8 ไปยังวงจรขยายส่วนที่สองซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณเอซีอยู่อีกหนึ่งชุดซึ่งก็คือ IC1/1 ซึ่งจะมีอัตราขยาย 100 เท่ากำหนดโดย R_1 กับ R_4



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาครับ

หลังจากรับสัญญาณสะท้อนเข้ามาและทำการขยายสัญญาณแล้ว จะเป็นหน้าที่ส่วนของวงจร A/D ที่จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล และไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลดิจิทัลที่ได้เข้าไปยังหน่วยความจำ (RAM) และส่งผ่านข้อมูลจาก RAM เข้าไปเก็บเป็นไวด์เป็น File ในคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งวงจรรวมของส่วนที่ทำงานดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.4 และรายละเอียดของการทำงานในแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

3.2 ภาค A/D (Analog to Digital)

สัญญาณสะท้อนที่ได้จะถูกนำมาแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลโดยเพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเก็บข้อมูลที่ได้เข้าไปไว้ใน RAM ได้ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถกระทำได้โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลหรือที่เรียกว่า A/D (Analog to Digital Converter) หรือ ADC จากรูปที่ 3.4 การออกแบบวงจรในโครงการนี้เราเลือกใช้ ADC0804 ที่ออกแบบให้สามารถใช้งานร่วมกับตัวไมโคร

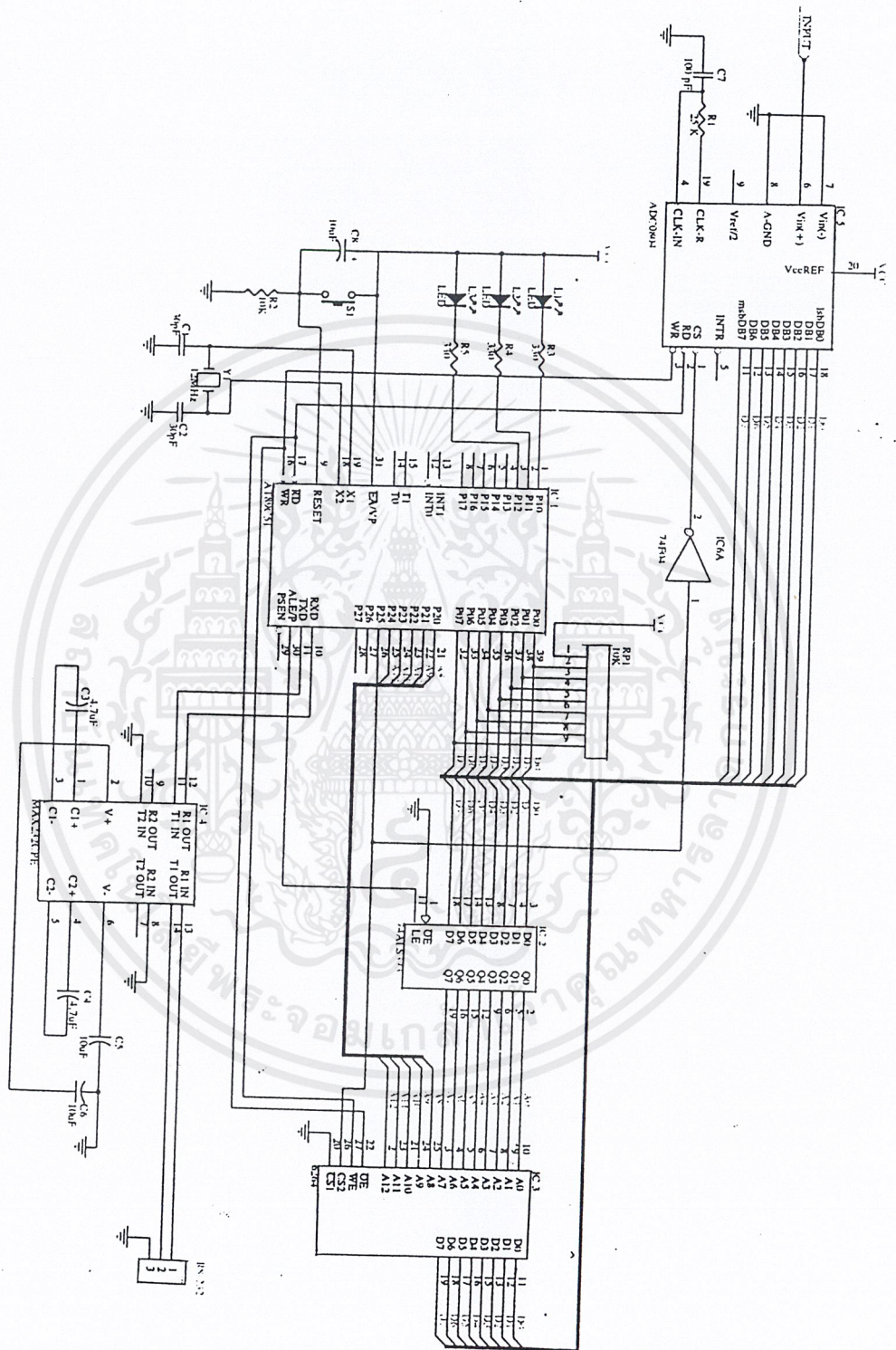
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง ซึ่งเป็น A/D คอนเวอร์เตอร์ (Converter) ซึ่งจะมีจำนวนระดับของการควอนไทซ์ (Quantize) ที่ละเอียดถึง 256 ค่า มีขนาดของข้อมูลดิจิทัล 8 บิต ตามรูปที่ 3.4 A/D จะทำการ Sampling สัญญาณอินพุตที่เข้ามาไปเรื่อยๆ ด้วยความถี่ในการ Sampling เท่ากับ clock ที่เราป้อนให้คือ ประมาณ 400 KHz โดยข้อมูลที่ทำการแปลงแล้วก็จะถูกแลตช์ (Latch) ไว้โดย 74ALS373 โดยจะทำหน้าที่พักข้อมูลไว้เพื่อไม่ให้ข้อมูลสูญหายไประหว่างที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ทำการระบุนแอดเดรสให้กับ RAM

3.3 ภาคคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ส่วนของคอนโทรลเลอร์จะเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะส่วนนี้ต้องทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของส่วนฮาร์ดแวร์ จากรูปที่ 3.4 การออกแบบของโครงงานนี้เลือกใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51 โดยในส่วนนี้เราจะทำการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลจาก A/D เข้ามาเก็บใน RAM และส่งข้อมูลออกจาก RAM ซึ่งแผนผังแสดงการทำงานของ โปรแกรมในส่วนนี้แสดง ได้ดังรูปที่ 3.5





รูปที่ 3.4 แสดงวงจรรวมของ A/D วงจรหน่วยความจำและไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ภาคหน่วยความจำ (RAM-Memory)

ภาคหน่วยความจำของส่วนฮาร์ดแวร์จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเก็บบันทึกข้อมูล ที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณ A/D ในการออกแบบวงจรส่วนนี้จะใช้หน่วยความจำแรม (Random Access Memory:RAM) เพื่อทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจากคุณสมบัติของแรมที่สามารถเขียนข้อมูลซ้ำได้ ทำให้สามารถนำมาใช้งานในการเก็บบันทึกค่าซ้ำใหม่ได้ตลอดเวลา โดยข้อมูลที่เก็บไว้จะคงอยู่เสมอเมื่อมีไฟเลี้ยงจ่ายให้กับตัวแรม จากรูปที่ 3.6 การออกแบบแบบเลือกใช้ ไอซีเบอร์ 6264 ซึ่งเป็นไอซีหน่วยความจำ มีบัส(Bus) ข้อมูลขนาด 8 บิต และความจุขนาด 64 Kbit (8 byte)

การต่อใช้งานแรม จะทำการต่อค่าบัสของแรมกับค่าบัสของตัวคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถทำการติดต่อข้อมูลถึงกันได้ โดยจะมีแอดเดรสบัสทำหน้าที่ระบุตำแหน่งของข้อมูลที่ได้ทำการจัดเก็บไว้ โดยจะใช้แอดเดรสบัส A0-A13 ในการระบุแอดเดรสของแรมขนาด 8 กิโลไบต์ โดยแอดเดรสไบต์ต่ำ จะได้จากการแลทซ์แอดเดรสจากค่าบัส ส่วนขาสัญญาณการอ่านและเขียนแรมจะต่อมาจากคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลของแรม

3.5 ภาคการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Interfacing)

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านเอาท์พุทไบนารีบิตที่ได้จาก A/D เข้ามาเก็บใน RAM จนกระทั่งเมื่อข้อมูลเต็ม RAM แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดใน RAM ผ่าน serial port RS-232 โดยในตัวคอนโทรลเลอร์จะมีส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมอยู่แล้ว แต่ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์จะต้องทำการปรับระดับแรงดันของพอร์ตก่อนเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารได้ โดยจากรูปที่ 3.6 การออกแบบในโครงการนี้จะใช้ไอซี MAX232 ซึ่งไอซีตัวนี้ออกแบบมาเพื่อเป็นตัวปรับระดับสัญญาณของพอร์ตสื่อสารอนุกรม ระหว่างตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์

การต่อใช้งาน จะต่อขาสัญญาณ RX และ TX จากคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นขาต่อใช้งานสำหรับการติดต่อสื่อสารอนุกรม ไปยังไอซี MAX232 ซึ่งจะทำหน้าที่ในการปรับระดับสัญญาณของข้อมูล ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ในส่วนนี้ เราจะทำการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะทำการโหลดข้อมูลจาก RAM ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเข้าไปเก็บเป็น file ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งผังแสดงการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

3.6 ภาคการคำนวณโดยโปรแกรม

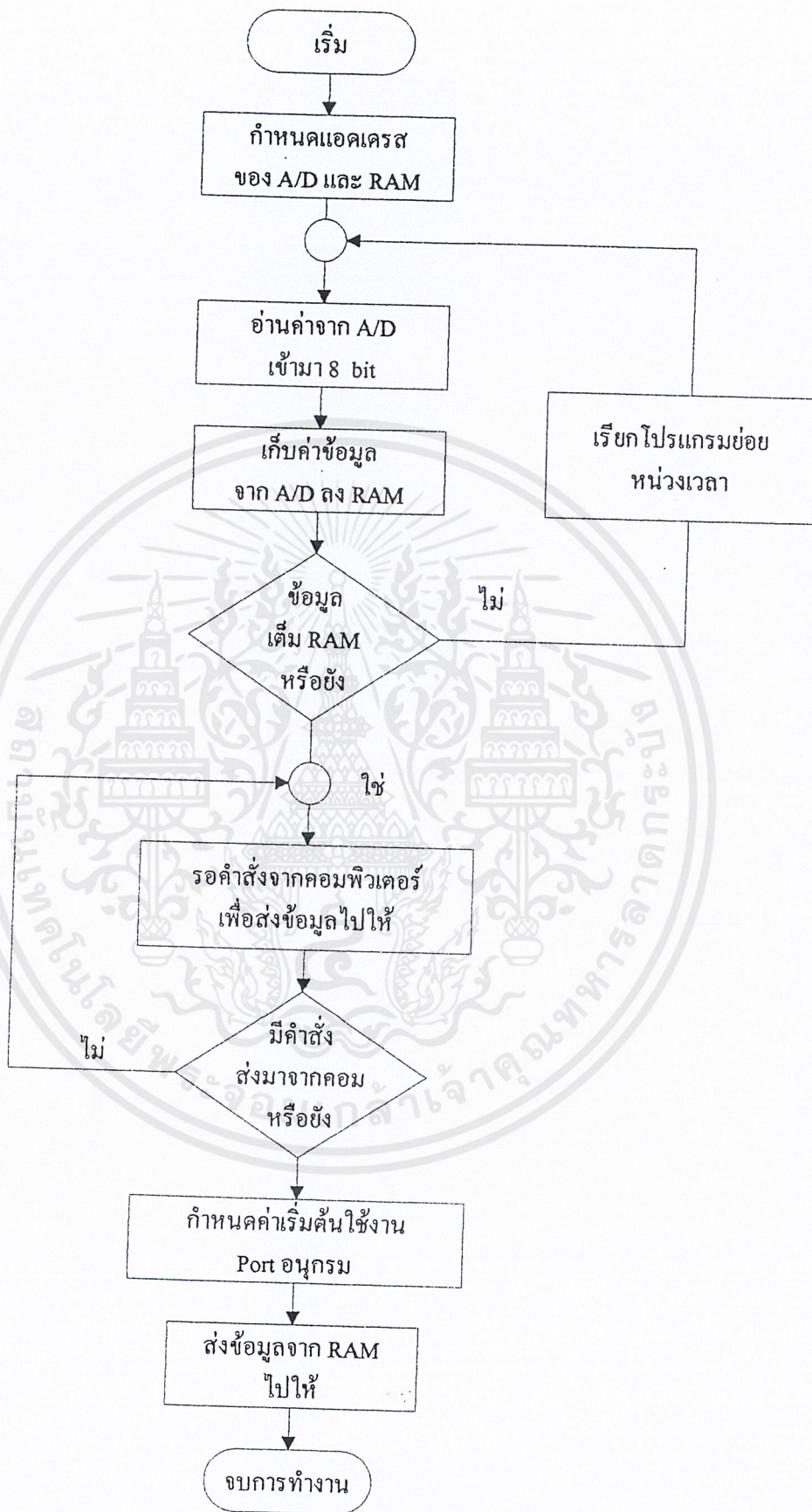
หลังจากทำการเก็บข้อมูลเป็น file ในคอมพิวเตอร์ได้แล้ว ก็ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะใช้ในการคำนวณระยะทาง โดยผังแสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าระยะทางแสดงดังรูปที่ 3.7 และมีหน้าจอการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ซึ่งหลังจากที่โปรแกรมเปรียบเทียบค่าข้อมูลแต่ละไบต์ที่เข้ามากับค่า Threshode Voltage ที่กำหนดไว้แล้วจนพบบิต 1 ติดกัน 3 ครั้ง (เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นช่วงที่มีคลื่นสะท้อนเข้ามาแล้ว) ก็จะนับบิตทุกๆบิตที่รับเข้ามาไปด้วยแล้วเก็บในตัวแปรชื่อ count (ซึ่งแต่ละบิตจะหมายถึงการ Sampling แต่ละครั้ง) แล้วนำมาคำนวณระยะทางได้ตามสมการดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะทาง} &= (\text{อัตราเร็วเสียง} \times \text{เวลาที่เสียงเดินทาง}) / 2 \\
 &= (340 \text{ (m/s)} \times \text{จำนวนคาบเวลาในการ Sampling}) / 2 \\
 &= (340 \times (\text{ค่าในตัวแปร count} / \text{ความถี่ในการ Sampling})) / 2 \\
 &= (340 \times (\text{ค่าในตัวแปร count} / 400 \times 10^3)) / 2 \\
 \text{ระยะทาง} &= (0.0009 \times \text{ค่าในตัวแปร count}) / 2
 \end{aligned}$$

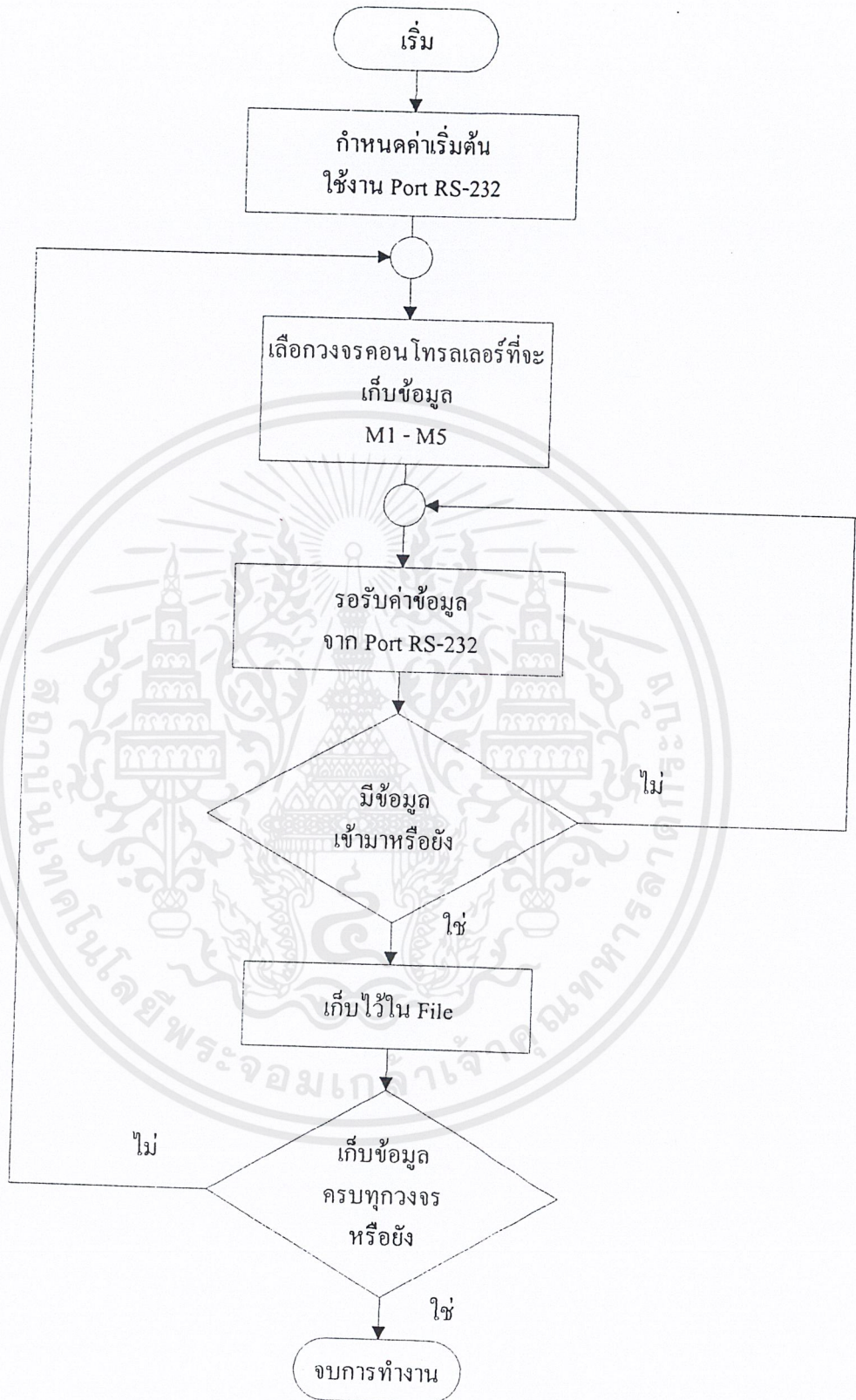


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



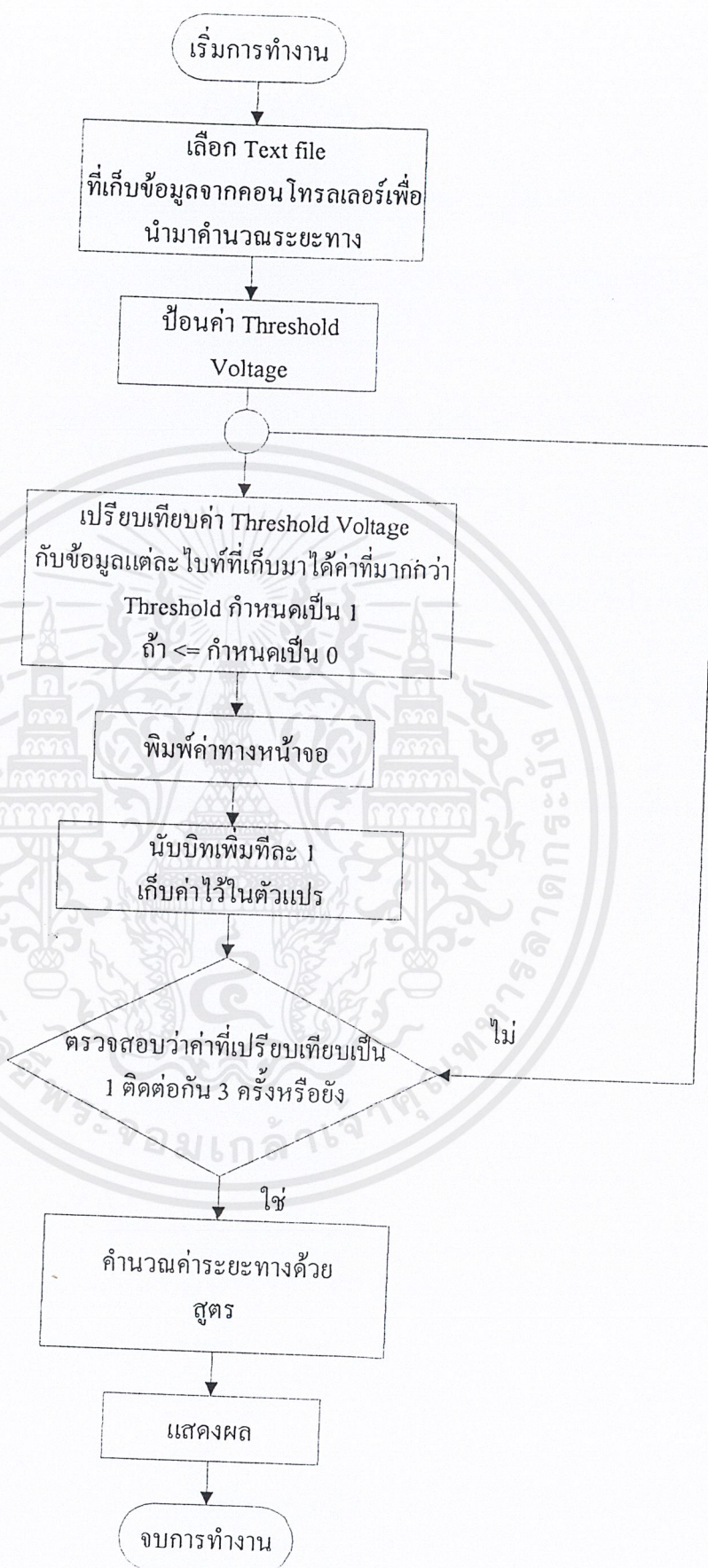
รูปที่ 3.5 ผังงานแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเก็บข้อมูลจาก A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



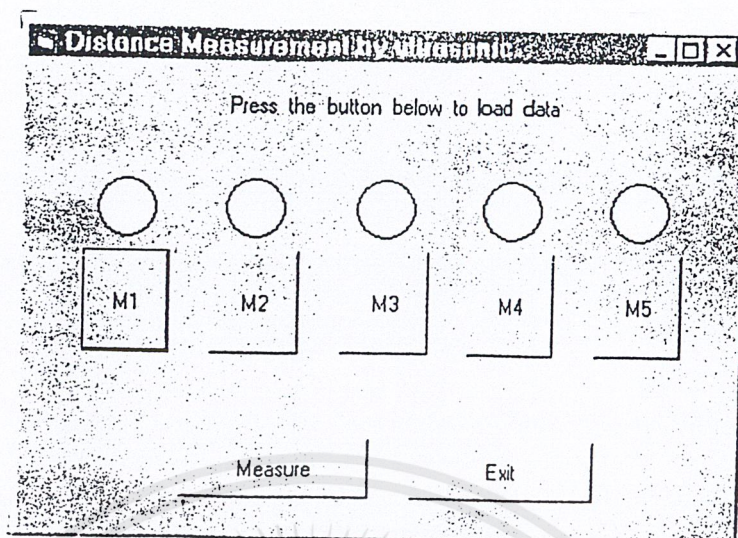
รูปที่ 3.6 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมโหลดข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

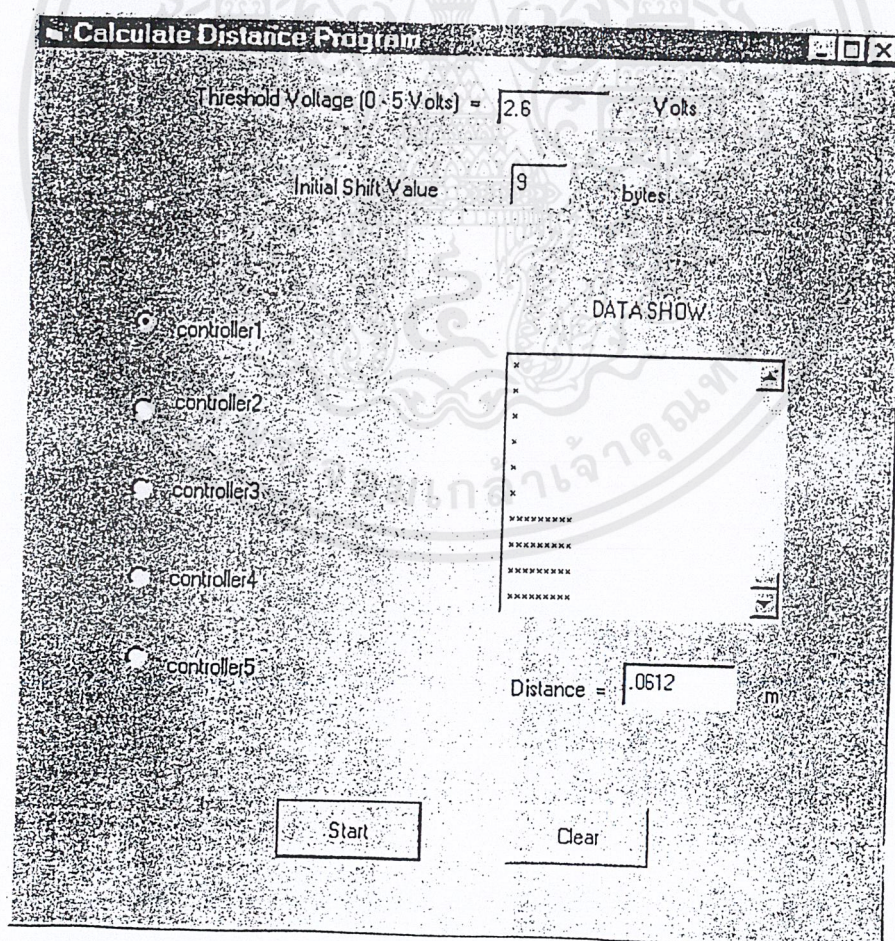


รูปที่ 3.7 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อชิงรางวัลชนะเลิศในการแข่งขันโครงงานนวัตกรรมระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ประจำปี 2564 ซึ่งผู้ชนะเลิศได้รับอนุญาตให้เผยแพร่ผลงานของตนได้โดยไม่จำกัดวงจำกัด อย่างไรก็ตามห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงหน้าจอโปรแกรมที่ใช้ในการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะโหลด



รูปที่ 3.9 แสดงจอภาพการป้อนค่า Threshold Voltage, Initial Shift Value และการคำนวณค่าระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าตีพิมพ์เผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

เครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

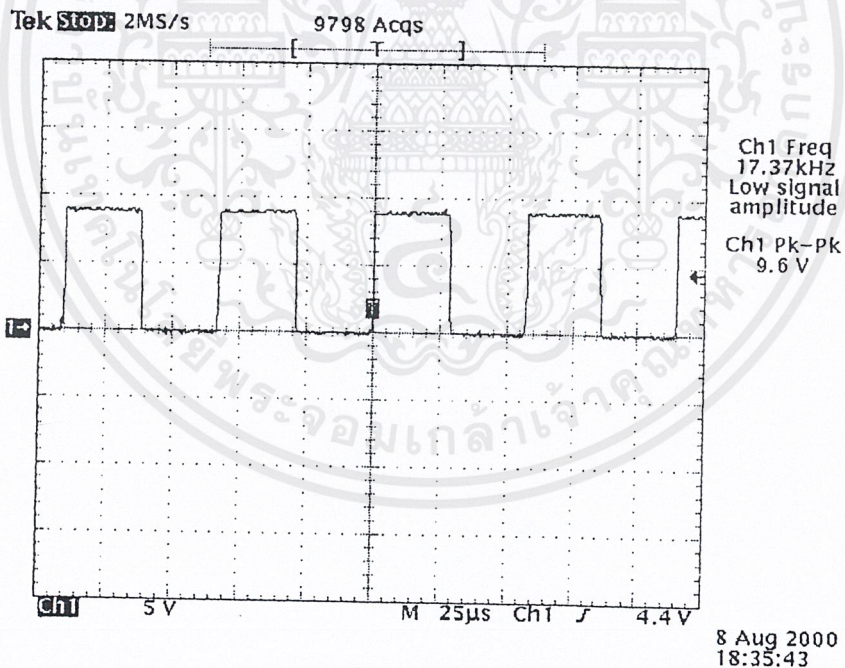
4.1 วงจรกำเนิดความถี่ 17.3 kHz

วัตถุประสงค์ เพื่อสร้างสัญญาณความถี่ 17.3 kHz เพื่อเป็นสัญญาณทริกป้อนให้กับวงจรภาคส่ง
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.2 ในภาคผนวก
2. ต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟตรง +9V
3. ใช้ Tektronix วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 4 ของ IC3/2
4. ปรับค่าที่ VR3 ให้ได้ความถี่ 17.3 kHz ตามต้องการ
5. บันทึกผลการทดลองโดยกดปุ่ม Run ที่ Tektronix

ผลการทดลอง

จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังที่แสดงในกราฟข้างล่างนี้



กราฟรูปที่ 4.1 Ch 1: แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 4 ของ IC40106 ในวงจรกำเนิดความถี่ ซึ่งกำเนิดสัญญาณความถี่ 17.3 kHz เพื่อใช้เป็นสัญญาณทริกให้กับวงจรผลิตความถี่ 40 kHz

4.2 วงจรภาคส่งกำเนิดความถี่ 40 kHz

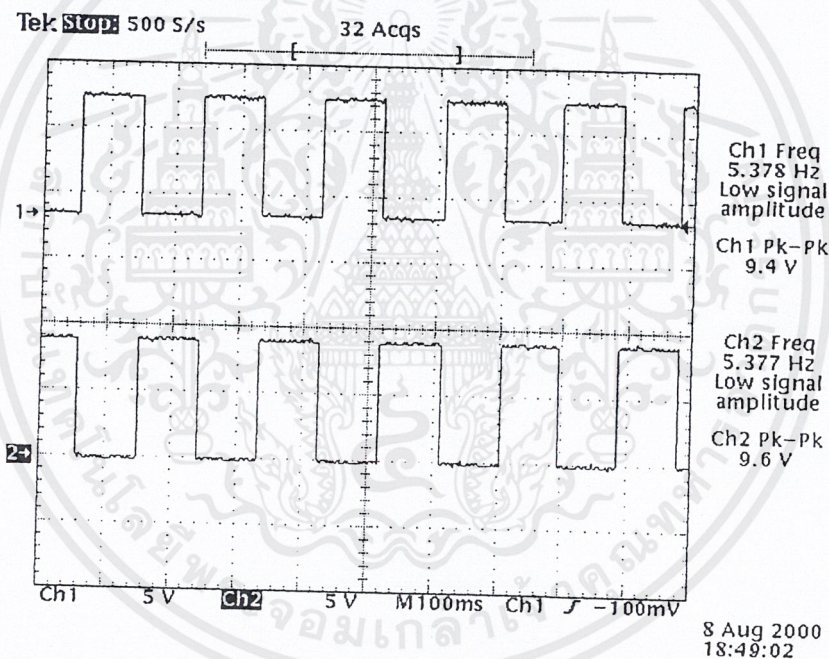
วัตถุประสงค์ เพื่อสร้างสัญญาณความถี่ 40 kHz (Ultrasonic Frequency) ส่งไปสะท้อนกับวัตถุแล้วสะท้อนกลับเข้าวงจรรับ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.2 ในภาคผนวก
2. ต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟตรง +9V
3. ใช้ Tektronix วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในกราฟ
4. บันทึกผลการทดลองโดยกดปุ่ม Run ที่ Tektronix

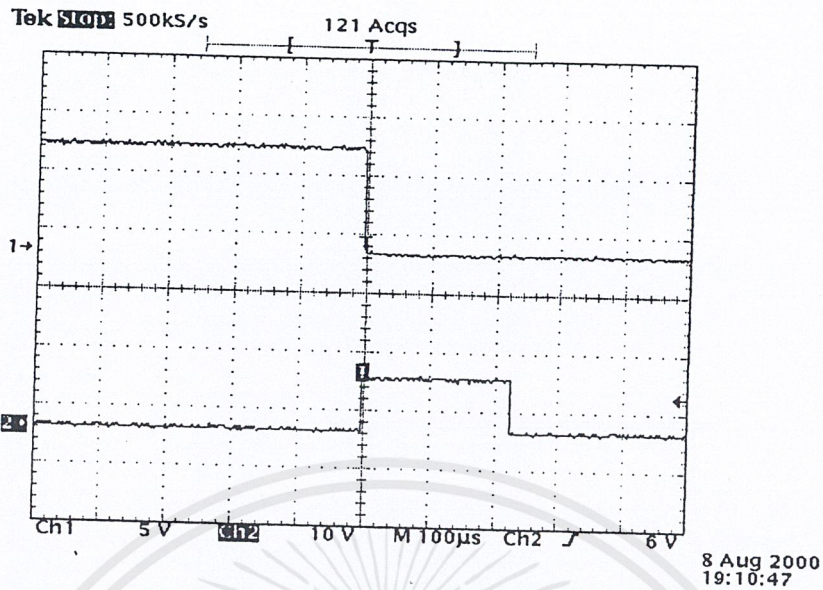
ผลการทดลอง

จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังที่แสดงในกราฟข้างล่างนี้

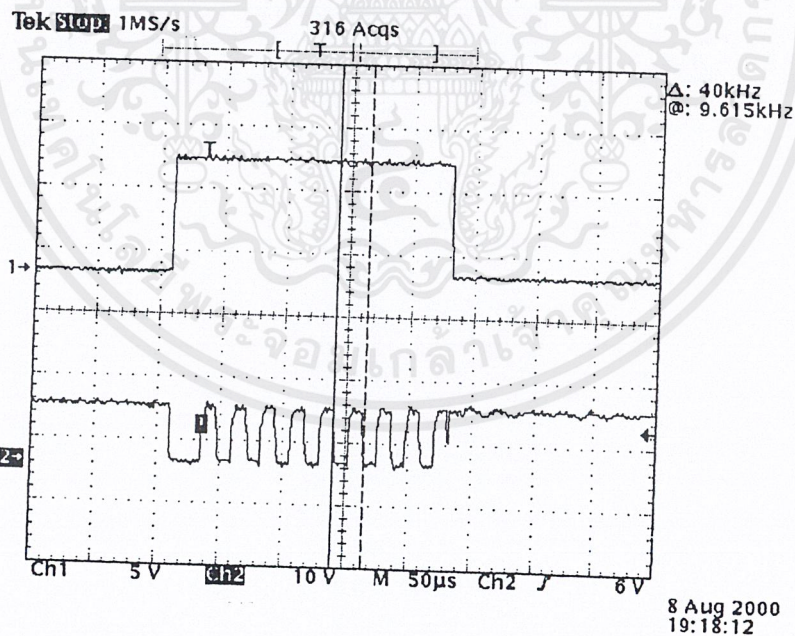


กราฟรูปที่ 4.2 Ch 1 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 3 ของ IC4020 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ 17.3 kHz ด้วย 2^{14}

Ch 2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 6 ของ IC40106 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากการกลับเฟสสัญญาณจาก Ch1 เพื่อนำไปทริกวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ให้เริ่มทำงาน



กราฟรูปที่ 4.3 Ch 1 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 6 ของ IC40106 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากการกลับเฟสสัญญาณจาก Ch1 เพื่อนำไปทริกวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ให้เริ่มทำงาน Ch 2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 3 ของ IC4093 ซึ่งเป็นสัญญาณจากวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่จะไปทริกวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ให้ผลิตสัญญาณส่งออกไป



กราฟรูปที่ 4.4 Ch 1 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 3 ของ IC4093 ซึ่งเป็นสัญญาณจากวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่จะไปทริกวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ให้ผลิตสัญญาณส่งออกไป Ch 2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 11 ของ IC4093 ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ 40 kHz ก่อนที่จะถูกส่งออกไปโดยทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรภาครับความถี่ 40 kHz

วัตถุประสงค์ เพื่อรับสัญญาณความถี่ 40 kHz และทำการขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งสัญญาณเข้าไปที่

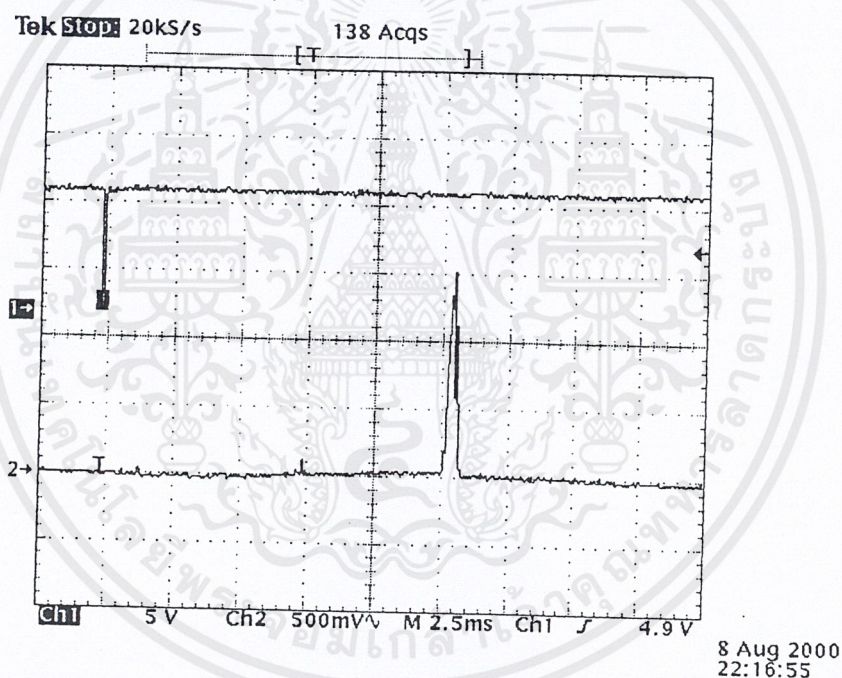
วงจร A/D

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.3 ดังแสดงในภาคผนวก
2. ต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟตรง +9V
3. ใช้ Tektronix วัดสัญญาณเอาต์พุตที่หลัง C6
4. บันทึกผลการทดลอง โดยกดปุ่ม Run ที่ Tektronix

ผลการทดลอง

จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังที่แสดงในกราฟข้างล่างนี้



กราฟรูปที่ 4.5 Ch 1 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่ขา 11 ของ IC4093 ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ 40 kHz ก่อนที่จะถูกส่งออกไปโดยทรานซิสเตอร์

Ch 2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่วัดที่หลัง C6 ซึ่งเป็นสัญญาณที่เกิดจากการขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายแล้ว

4.4 ผลการวัดระยะทาง

ตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงการวัดค่าระยะทางจากเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิกที่ระยะทางต่างกัน พร้อมทั้งแสดงค่าความแตกต่างและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

ระยะทางจริง(cm)	ระยะทางที่วัดได้(cm)	ค่าแตกต่าง(cm)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
5	7	2	40
10	12	2	20
15	17	2	13.33
20	23	3	15
25	28	3	12
30	32	2	6.66
35	39	4	11.43
40	46	6	15
45	49	4	8.88
50	54	4	8
55	60	5	9.09
60	65	5	8.33
65	70	5	7.69
70	76	6	8.57
75	80	5	6.66
80	86	6	7.5
85	92	7	8.23
90	96	6	6.66
95	102	7	7.37
100	106	6	6
105	114	9	8.57
110	117	7	6.36
115	122	7	6.08
120	130	10	8.33
125	132	7	5.6
130	138	8	6.15
135	145	10	7.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

140	148	8	5.71
145	154	9	6.21
150	159	9	6
155	164	9	5.81
160	171	11	6.87
165	176	11	6.67
170	180	10	5.88
180	192	12	6.66
190	206	16	8.42
200	215	15	7.5
210	230	20	9.52
220	238	18	8.18
230	248	18	7.82
240	257	17	7.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

ในส่วนของวงจรรับส่งคลื่นอัลตราโซนิก สามารถส่งและรับคลื่นอัลตราโซนิกได้ในระยะประมาณ 5 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ยังสามารถรับสัญญาณอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุได้ดี เพราะสัญญาณยังมีความแรงพอ แต่เนื่องจากสัญญาณที่รับได้ก็ยังคงถือว่า มีความแรงน้อยมาก จึงได้ทำการเพิ่มวงจรขยายเข้าไปทางด้านเครื่องรับ ซึ่งทำให้การรับสัญญาณมีประสิทธิภาพดีขึ้น และได้มีการเพิ่มจำนวนของเครื่องรับและเครื่องส่ง โดยมีจำนวนเครื่องรับ 3 ตัวและเครื่องส่ง 5 ตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการคำนวณระยะทางให้มีความละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้นโดยการนำสัญญาณที่รับได้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยแต่ก็ยังคงพบปัญหาคือเรื่องการกำหนด Threshold Voltage เพื่อใช้เปรียบเทียบค่า สัญญาณจากเครื่องรับอัลตราโซนิกที่เข้าสู่ A/D นั้น ว่าเป็นคลื่นอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับมาหรือเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการปรับปรุง โดยในการเขียนโปรแกรมได้กำหนดให้ป้อนค่า Threshold Voltage ได้โดยไม่กำหนดค่าไว้ตายตัวเนื่องจาก จะได้ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมเพื่อให้ ผลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นในสภาวะที่อาจมีสัญญาณรบกวนมากและอีกปัญหาในการใช้งานเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิกคือ คลื่นอัลตราโซนิกจากเครื่องส่ง จะสะท้อนเข้าเครื่องรับก่อนที่จะไปสะท้อนกลับจากวัตถุที่เราต้องการ วิธีแก้ไขปัญหานี้ เราได้ทำการนำแผ่นฉนวนมากั้นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งก็ช่วยแก้ปัญหานี้ได้คือพอสมควร

ในส่วนของวงจร A/D และ วงจรหน่วยความจำนั้นในตอนแรกไม่สามารถทดสอบได้ว่าสามารถเก็บค่าที่ได้จากวงจร A/D เข้าไปในแรมได้หรือไม่เนื่องจากไม่ทราบว่าปัญหามาจากทางด้านฮาร์ดแวร์หรือว่าซอฟต์แวร์แต่จากการศึกษาอย่างละเอียดหลายๆรอบและตรวจสอบความถูกต้องของส่วนต่างๆจึงพบว่าปัญหาเกิดจากตัวโปรแกรมที่เขียนขึ้นซึ่งเป็นภาษา(Visual Basic)แต่ก็ใช้เวลาานมากกว่าจะแก้ไขได้และยังมีปัญหาในส่วนของระยะทางที่คำนวณได้ยังมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ซึ่งในขณะนี้กำลังทำการศึกษาและหาทางแก้ไขปัญหานี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****Program Get Data from ADC*****
                                ORG 0000H
DATAMEM                          EQU 0000H                ;EXTERNAL RAM
ADC_ADDR                         EQU 2000H                ;ADC ADDRESS
                                JMP MAIN

;*****delay*****
DELAY:                          MOV R2,#080H
DWAIT:                          DJNZ R2,DWAIT
                                RET

;*****main program*****

MAIN:                            MOV DPTR,#DATAMEM
GETDATA:                        MOV R0,DPL
                                MOV R1,DPH
                                CALL DELAY                ;DELAY FOR READ DATA
                                MOV DPTR,#ADC_ADDR
                                MOVX A,@DPTR              ;READ DATA FROM ADC
                                MOV DPL,R0
                                MOV DPH,R1
                                MOVX @DPTR,A             ;SAVE DATA TO RAM
                                INC DPTR
                                MOV A,DPH
                                CJNE A,#1FH,GETDATA
SENDATA:                        CLR P1.1
                                SETB P1.2
                                MOV A,PCON
                                CLR ACC.7
                                MOV PCON,A               ;SMOD=0 OF MODE 1
                                MOV SCON,#01010000B     ;DEFINE MODE 1
                                MOV TMOD,#20H           ;USE TIMER 1 MODE 2
                                MOV TH1,#-3             ;ASSIGN BAUD RATE=960
                                SETB TR1                ;BEGIN TIMER 1

WAIT1:                          JNB RI,WAIT1
                                CLR RI
                                MOV A,SBUF
                                MOV DPTR,#DATAMEM
J1:                              MOVX A,@DPTR                ;READ DATA FROM RAM
                                MOV SBUF,A
WAIT2:                          JNB TI,WAIT2
                                CLR TI
                                INC DPTR
                                MOV A,DPH
                                CJNE A,#04H,J1

WAIT3:                          JNB RI,WAIT3
                                CLR RI
                                MOV A,SBUF
                                MOV DPH,#04H
                                MOV DPL,#01H
J2:                              MOVX A,@DPTR                ;READ DATA FROM RAM
                                MOV SBUF,A
WAIT4:                          JNB TI,WAIT4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                CLR TI
                INC DPTR
                MOV A,DPH
                CJNE A,#08H,J2

WAIT5:          JNB RI,WAIT5
                CLR RI
                MOV A,SBUF
                ;CJNE A,#41H,WAIT5
                MOV DPH,#08H
                MOV DPL,#01H
J3:             MOVX A,@DPTR                                ;READ DATA FROM RAM
                MOV SBUF,A
WAIT6:          JNB TI,WAIT6
                CLR TI
                INC DPTR
                MOV A,DPH
                CJNE A,#0CH,J3

WAIT7:          JNB RI,WAIT7
                CLR RI
                MOV A,SBUF
                ;CJNE A,#41H,WAIT7
                MOV DPH,#0CH
                MOV DPL,#01H
J4:             MOVX A,@DPTR                                ;READ DATA FROM RAM
                MOV SBUF,A
WAIT8:          JNB TI,WAIT8
                CLR TI
                INC DPTR
                MOV A,DPH
                CJNE A,#10H,J4

WAIT9:          JNB RI,WAIT9
                CLR RI
                MOV A,SBUF
                ;CJNE A,#41H,WAIT9
                MOV DPH,#10H
                MOV DPL,#01H
J5:             MOVX A,@DPTR                                ;READ DATA FROM RAM
                MOV SBUF,A
WAIT10:         JNB TI,WAIT10
                CLR TI
                INC DPTR
                MOV A,DPH
                CJNE A,#14H,J5

WAIT11:         JNB RI,WAIT11
                CLR RI
                MOV A,SBUF
                ;CJNE A,#41H,WAIT11
                MOV DPH,#14H
                MOV DPL,#01H
J6:             MOVX A,@DPTR                                ;READ DATA FROM RAM
                MOV SBUF,A
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WAIT12:          JNB TI, WAIT12
                  CLR TI
                  INC DPTR
                  MOV A, DPH
                  CJNE A, #18H, J6

WAIT13:          JNB RI, WAIT13
                  CLR RI
                  MOV A, SBUF
                  ; CJNE A, #41H, WAIT13
                  MOV DPH, #18H
                  MOV DPL, #01H

J7:              MOVX A, @DPTR                      ; READ DATA FROM RAM
                  MOV SBUF, A

WAIT14:          JNB TI, WAIT14
                  CLR TI
                  INC DPTR
                  MOV A, DPH
                  CJNE A, #1CH, J7

WAIT15:          JNB RI, WAIT15
                  CLR RI
                  MOV A, SBUF
                  ; CJNE A, #41H, WAIT15
                  MOV DPH, #1CH
                  MOV DPL, #01H

J8:              MOVX A, @DPTR                      ; READ DATA FROM RAM
                  MOV SBUF, A

WAIT16:          JNB TI, WAIT16
                  CLR TI
                  INC DPTR
                  MOV A, DPH
                  CJNE A, #1FH, J8

                  CLR P1.0
                  CLR P1.2

                  END
    
```

*****Program Load Data from Controller (RS-232)*****

```
Dim H As Integer
Dim I As Integer
Dim J As Integer
Dim DataIn As Variant
```

```
Private Sub Form_Load()
    MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
    MSComm1.CommPort = 1
    MSComm1.InputLen = 0
    MSComm1.InBufferSize = 1024
    MSComm1.InputMode = comInputModeText
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.RThreshold = 1023
    H = 0
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
    Open "a:\Measure1.txt" For Append As #1
    MSComm1.Output = "A "
    H = 1
    I = 1
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
    Open "a:\Measure2.txt" For Binary As #1
    MSComm1.Output = "A "
    H = 2
    I = 1
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
    Open "a:\Measure3.txt" For Append As #1
    MSComm1.Output = "A "
    H = 3
    I = 1
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
    Open "a:\Measure4.txt" For Append As #1
    MSComm1.Output = "A "
    H = 4
    I = 1
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Open "a:\Measure5.txt" For Append As #1
    MSComm1.Output = "A "
    H = 5
    I = 1

End Sub

Private Sub Command6_Click()

    Form2.Show
End Sub
Private Sub Command7_Click()
    End
End Sub
Private Sub MSComm1_OnComm()

    If MSComm1.CommEvent = comEvReceive Then
        If H = 1 Then
            If I <= 8 Then
                DataIn = MSComm1.Input
                Print #1, DataIn
                If I = 6 Then
                    Close #1
                MsgBox "Data from controller1 was saved in 'a:\Measure1.txt '", vbOKOnly
                Shape1.FillColor = &HFF&
                H = 0
            End If
            I = I + 1
        End If
    End If

    If H = 2 Then
        If I <= 8 Then
            DataIn = MSComm1.Input
            Print #1, DataIn
            If I = 6 Then
                Close #1
            MsgBox "Data from controller2 was saved in 'a:\Measure2.txt '", vbOKOnly
            Shape2.FillColor = &HFF&
            H = 0
        End If
        I = I + 1
    End If

    If H = 3 Then
        If I <= 8 Then
            DataIn = MSComm1.Input
            Print #1, DataIn
            If I = 6 Then
                Close #1
            MsgBox "Data from controller3 was saved in 'a:\Measure3.txt '", vbOKOnly
            Shape3.FillColor = &HFF&

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        H = 0
    End If
    I = I + 1

End If
End If

If H = 4 Then
    If I <= 8 Then
        DataIn = MSComm1.Input
        Print #1, DataIn
        If I = 6 Then
            Close #1
            MsgBox "Data from controller4 was saved in 'a:\Measure4.txt '", vbOKOnly
            Shape4.FillColor = &HFF&
            H = 0
        End If
        I = I + 1
    End If
End If

If H = 5 Then
    If I <= 8 Then
        DataIn = MSComm1.Input
        Print #1, DataIn
        If I = 6 Then
            Close #1
            MsgBox "Data from controller1 was saved in 'a:\Measure5.txt '", vbOKOnly
            Shape5.FillColor = &HFF&
            H = 0
        End If
        I = I + 1
    End If
End If

MSComm1.Output = "A "
End If
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*****Program Calculate Distance*****

```
Dim TVolt As Single
Dim DVolt As Variant
```

```
Private Sub Text1_Change()
    TVolt = Val(Text1.Text)
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
Dim count As Integer
Dim shift As Integer
Dim tag As Integer
Dim fso As New FileSystemObject
Dim Data As TextStream
Dim D As String
```

```
    shift = Val(Text2.Text)
    count = 0
    tag = 0
    If Option1.Value = True Then
        Set Data = fso.OpenTextFile("a:\Measure1.txt", ForReading, False)
        Data.Skip (shift)
        Do While (tag < 4) And (count < 6140)
            count = count + 1
            D = Data.Read(1)
            DVolt = Val(D)
            If DVolt <= TVolt Then
                List1.AddItem "0"
            Else
                List1.AddItem "1"
                tag = tag + 1
            End If
        Loop
        Data.Close
    End If
```

```
    If Option2.Value = True Then
        Set Data = fso.OpenTextFile("a:\Measure2.txt", ForReading, False)
        Data.Skip (shift)
        Do While (tag < 4) And (count < 6140)
            count = count + 1
            D = Data.Read(1)
            DVolt = Val(D)
            If DVolt <= TVolt Then
                List1.AddItem "0"
            Else
                List1.AddItem "1"
                tag = tag + 1
            End If
        Loop
        Data.Close
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Option3.Value = True Then
    Set Data = fso.OpenTextFile("a:\Measure3.txt", ForReading, False)
    Data.Skip (shift)
    Do While (tag < 4) And (count < 6140)
        count = count + 1
        D = Data.Read(1)
        DVolt = Val(D)
        If DVolt <= TVolt Then
            List1.AddItem "0"
        Else
            List1.AddItem "1"
            tag = tag + 1
        End If
    Loop
    Data.Close
End If

If Option4.Value = True Then
    Set Data = fso.OpenTextFile("a:\Measure4.txt", ForReading, False)
    Data.Skip (shift)
    Do While (tag < 4) And (count < 6140)
        count = count + 1
        D = Data.Read(1)
        DVolt = Val(D)
        If DVolt <= TVolt Then
            List1.AddItem "0"
        Else
            List1.AddItem "1"
            tag = tag + 1
        End If
    Loop
    Data.Close
End If

If Option5.Value = True Then
    Set Data = fso.OpenTextFile("a:\Measure5.txt", ForReading, False)
    Data.Skip (shift)
    Do While (tag < 4) And (count < 6140)
        count = count + 1
        D = Data.Read(1)
        DVolt = Val(D)
        If DVolt <= TVolt Then
            List1.AddItem "0"
        Else
            List1.AddItem "1"
            tag = tag + 1
        End If
    Loop
    Data.Close
End If

If tag = 4 Then
    Call Calculate(count)
Else
    MsgBox "ERROR : Can't Calculate the Distance", vbOKOnly

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD40106B Types

CMOS Hex Schmitt Triggers

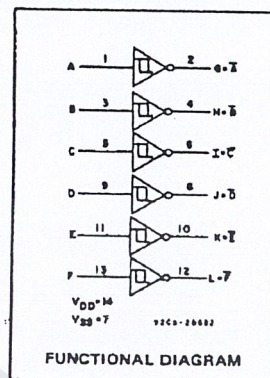
High-Voltage Types (20-Volt Rating)

Features:

- Schmitt-trigger action with no external components
- Hysteresis voltage (typ.) 0.9 V at $V_{DD} = 5\text{ V}$, 2.3 V at $V_{DD} = 10\text{ V}$, and 3.5 V at $V_{DD} = 15\text{ V}$
- Noise immunity greater than 50%
- No limit on input rise and fall times
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of $1\ \mu\text{A}$ at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Low V_{DD} to V_{SS} current during slow input ramp
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators



■ CD40106B consists of six Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as an inverter with Schmitt-trigger action on the input. The trigger switches at different points for positive- and negative-going signals. The difference between the positive-going voltage (V_P) and the negative-going voltage (V_N) is defined as hysteresis voltage (V_H) (see Fig.6). The CD40106B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic package (E suffix), and in chip form (H suffix).

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

- DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})
 Voltages referenced to V_{SS} Terminal) -0.5V to +20V
- INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS -0.5V to $V_{DD} + 0.5\text{V}$
- DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT $\pm 10\text{ mA}$
- POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D):
 For $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$ 500mW
 For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ Derate Linearity at $12\text{ mW}/^\circ\text{C}$ to 200 mW
- DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR
 FOR $T_A = \text{FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)}$ 100mW
- OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A) -55°C to $+125^\circ\text{C}$
- STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg}) -65°C to $+150^\circ\text{C}$
- LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):
 At distance $1/16 \pm 1/32$ Inch ($1.59 \pm 0.79\text{ mm}$) from case for 10s max $+265^\circ\text{C}$

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For T_A Full Package-Temperature Range)	3	18	V

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, Input $t_r, t_f = 20\text{ ns}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}\Omega$

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	LIMITS		UNITS	
		V_{DD} (V)	TYP.		MAX.
Propagation Delay Time: t_{PHL} t_{PLH}		5	140	280	ns
		10	70	140	
		15	60	120	
Transition Time: t_{THL} t_{TLH}		5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	
Input Capacitance, C_{IN}	Any Input		5	7.5	pF

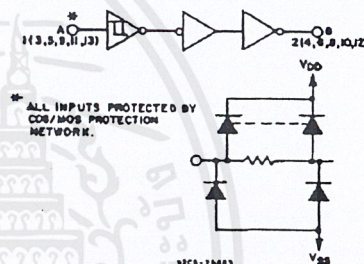


Fig.1 - Logic diagram (1 of 6 Schmitt triggers).

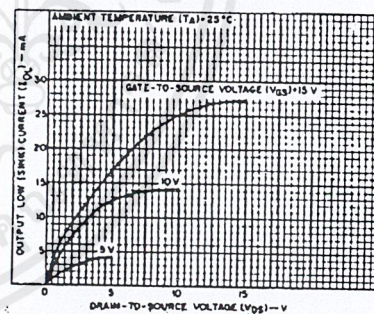


Fig.2 - Typical output low (sink) current characteristics.

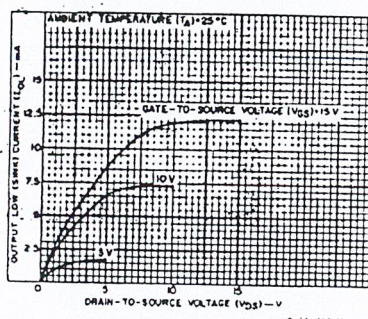


Fig.3 - Minimum output low (sink) current characteristics.

CD40106B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	+85	+125	+25			
								Min.	Typ.	Max.	
Quiescent Device Current, I _{DD} Max.	-	0,5	5	1	1	30	30	-	0,02	1	μA
	-	0,10	10	2	2	60	60	-	0,02	2	
	-	0,15	15	4	4	120	120	-	0,02	4	
	-	0,20	20	20	20	600	600	-	0,04	20	
Positive Trigger Threshold Voltage V _P Min.	-	-	5	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,9	-	V.
	-	-	10	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	5,9	-	
	-	-	15	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	8,8	-	
V _P Max.	-	-	5	3,6	3,6	3,6	3,6	-	2,9	3,6	V.
	-	-	10	7,1	7,1	7,1	7,1	-	5,9	7,1	
	-	-	15	10,8	10,8	10,8	10,8	-	8,8	10,8	
Negative Trigger Threshold Voltage V _N Min.	-	-	5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,9	-	V
	-	-	10	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,9	-	
	-	-	15	4	4	4	4	4	5,8	-	
V _N Max.	-	-	5	2,8	2,8	2,8	2,8	-	1,9	2,8	V
	-	-	10	5,2	5,2	5,2	5,2	-	3,9	5,2	
	-	-	15	7,4	7,4	7,4	7,4	-	5,8	7,4	
Hysteresis Voltage V _H Min.	-	-	5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	-	V
	-	-	10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,3	-	
	-	-	15	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	3,5	-	
V _H Max.	-	-	5	1,6	1,6	1,6	1,6	-	0,9	1,6	V
	-	-	10	3,4	3,4	3,4	3,4	-	2,3	3,4	
	-	-	15	5	5	5	5	-	3,5	5	
Output Low (Sink) Current, I _{OL} Min.	0,4	0,5	5	0,64	0,61	0,42	0,36	0,51	1	-	mA
	0,5	0,10	10	1,6	1,5	1,1	0,9	1,3	2,6	-	
	1,5	0,15	15	4,2	4	2,8	2,4	3,4	6,8	-	
Output High (Source) Current, I _{OH} Min.	4,6	0,5	5	-0,64	-0,61	-0,42	-0,36	-0,51	-1	-	mA
	2,5	0,5	5	-2	-1,8	-1,3	-1,15	-1,6	-3,2	-	
	9,5	0,10	10	-1,6	-1,5	-1,1	-0,9	-1,3	-2,6	-	
	13,5	0,15	15	-4,2	-4	-2,8	-2,4	-3,4	-6,8	-	
Output Voltage Low-Level, V _{OL} Max.	-	5	5	0,05			-	0	0,05	-	V
	-	10	10	0,05			-	0	0,05	-	
	-	15	15	0,05			-	0	0,05	-	
Output Voltage High Level, V _{OH} Min.	-	0	5	4,95			4,95	5	-	-	V
	-	0	10	9,95			9,95	10	-	-	
	-	0	15	14,95			14,95	15	-	-	
Input Current, I _{IN} Max.	-	0,18	18	±0,1	±0,1	±1	±1	-	±10 ⁻⁵	±0,1	μA

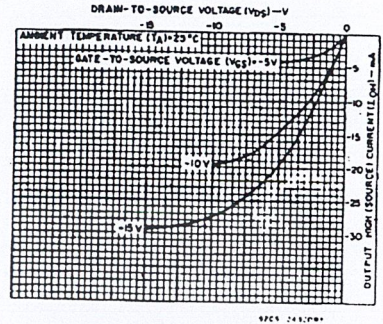


Fig. 4 - Typical output high (source) current characteristics.

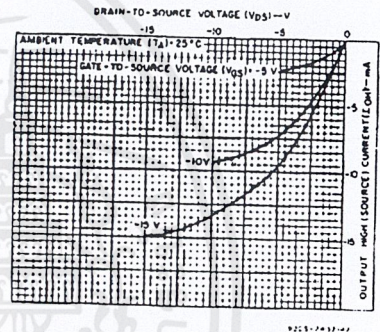


Fig. 5 - Minimum output high (source) current characteristics.

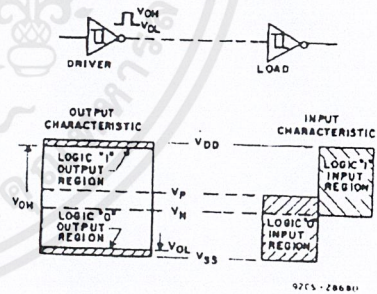
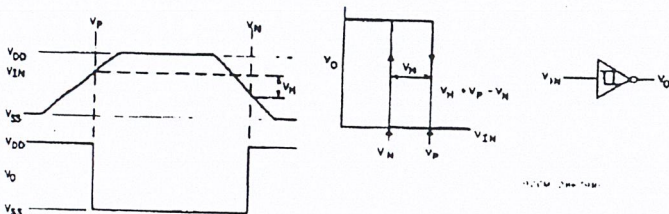


Fig. 7 - Input and output characteristics.



a) Definition of V_P, V_N, V_H b) Transfer characteristics of 1 of 6 gates.
Fig. 6 - Hysteresis definition, characteristics, and test set-up.

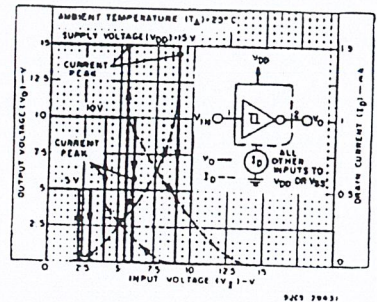


Fig. 8 - Typical current and voltage transfer characteristics.

3
COMMERCIAL CMOS
HIGH VOLTAGE ICs

CD40106B Types

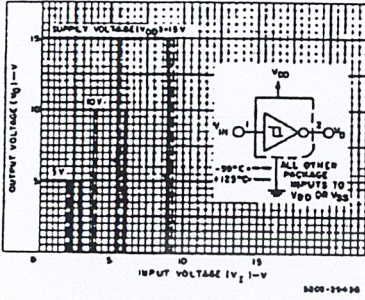


Fig. 9 - Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature.

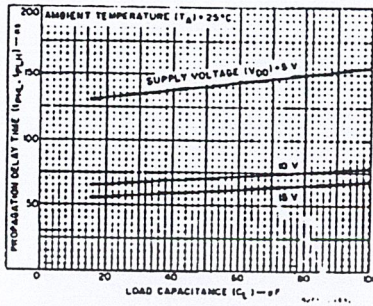


Fig. 10 - Typical propagation delay time as a function of load capacitance.

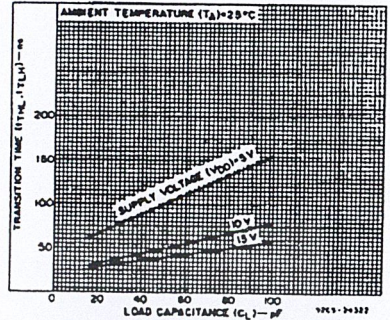


Fig. 11 - Typical transition time as a function of load capacitance.

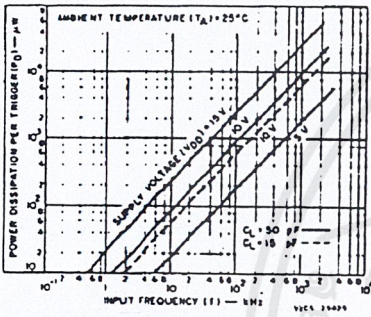


Fig. 12 - Typical power dissipation per trigger as a function of input frequency.

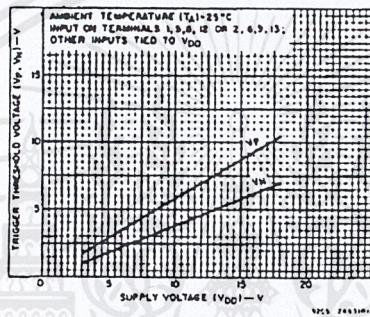


Fig. 13 - Typical trigger threshold voltage as a function of supply voltage.

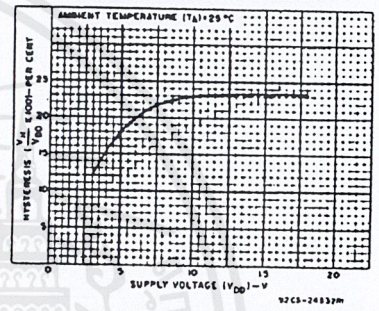


Fig. 14 - Typical per cent hysteresis as a function of supply voltage.

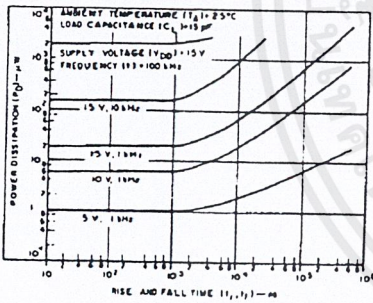


Fig. 15 - Typical power dissipation as a function of rise and fall times.

APPLICATIONS

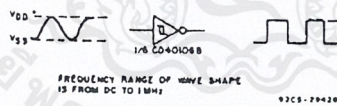


Fig. 16 - Wave shaper.

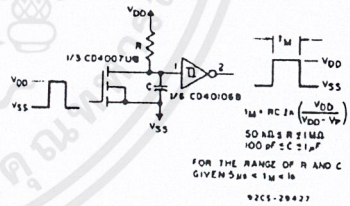


Fig. 17 - Monostable multivibrator.

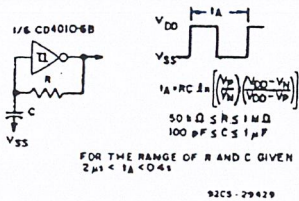


Fig. 18 - Astable multivibrator.

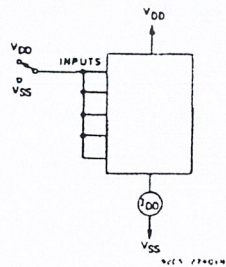


Fig. 19 - Quiescent device current test circuit.

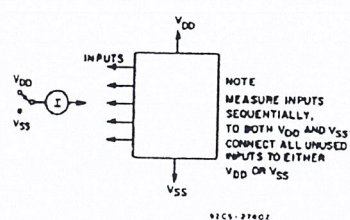


Fig. 20 - Input current test circuit.

CD40106B Types

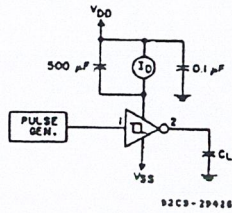
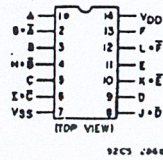
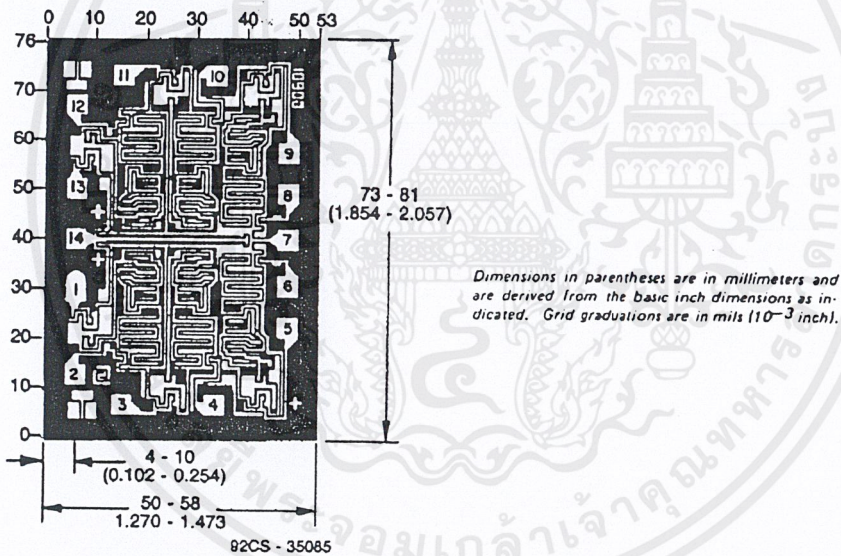


Fig.21 - Dynamic power dissipation test circuit.



TERMINAL ASSIGNMENT



Dimensions and Pad Layout for CD40106BH

3
COMMERCIAL CMOS
HIGH VOLTAGE ICs

CD4093B Types

CMOS Quad 2-Input NAND Schmitt Triggers

High-Voltage Types (20 Volt Rating)

CD4093B consists of four Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as a two-input NAND gate with Schmitt-trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive- and negative-going signals. The difference between the positive voltage (V_P) and the negative voltage (V_N) is defined as hysteresis voltage (V_H) (see Fig. 2).

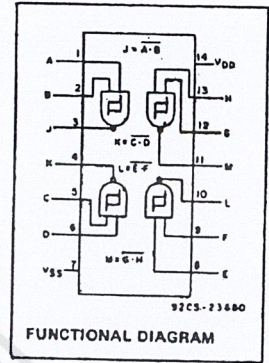
The CD4093 types are supplied in a 14-lead hermetic dual-in-line ceramic package (F suffix), 14-lead dual-in-line plastic package (E suffix), 14-lead dual-in-line plastic small-outline package (M), and in chip form (H suffix). Add the suffix 96 to the M package for tape and reel.

Features:

- Schmitt-trigger action on each input with no external components
- Hysteresis voltage typically 0.9 V at $V_{DD} = 5\text{ V}$ and 2.3 V at $V_{DD} = 10\text{ V}$
- Noise Immunity greater than 50%
- No limit on input rise and fall times
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μA at 18 V over full package-temperature range, 100 nA at 18 V and 25°C
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators
- NAND logic



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges.

CHARACTERISTIC	MIN.	MAX.	UNITS
Supply Voltage Range (T_A = Full Package Temp. Range)	3	18	V

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD}) Voltages referenced to V_{SS} Terminal	-0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	-0.5V to $V_{DD} + 0.5\text{V}$
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	$\pm 10\text{ mA}$
PACKAGE THERMAL IMPEDANCE, θ_{JA} (See Note 1):	
E package	80°C/W
M package	86°C/W
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR	
$FORT_A$ = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A)	-55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg})	-65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):	
At distance $1/16 \pm 1/32$ inch ($1.59 \pm 0.79\text{ mm}$) from case for 10s max	+265°C

NOTE 1: Package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51.

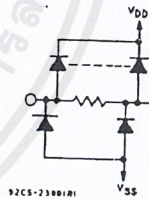
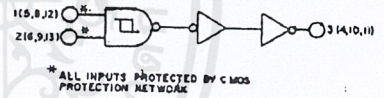


Fig. 1 - Logic diagram - 1 of 4 Schmitt triggers.

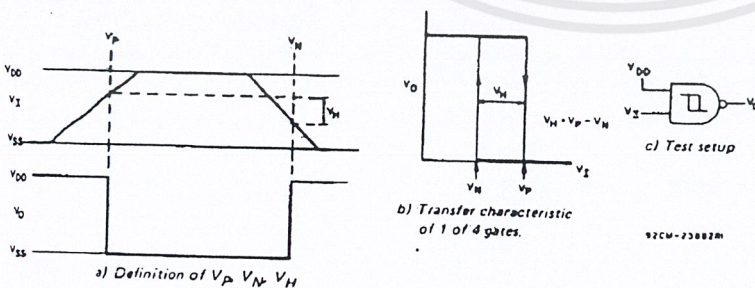


Fig. 2 - Hysteresis definition, characteristic, and test setup.

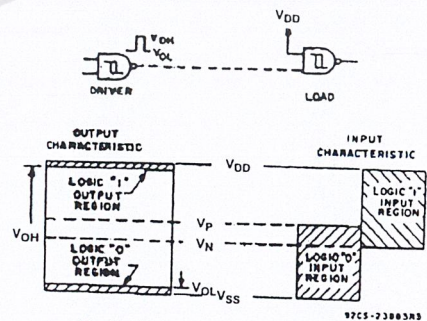


Fig. 3 - Input and output characteristics.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

CD4093B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	+85	+125	+25			
								MIN.	TYP.	MAX.	
Quiescent Device Current, I _{DD} Max.	-	0.5	5	1	1	30	30	-	0.02	1	μA
	-	0.10	10	2	2	60	60	-	0.02	2	
	-	0.15	15	4	4	120	120	-	0.02	4	
	-	0.20	20	20	20	600	600	-	0.04	20	
Positive Trigger Threshold Voltage V _p Min.	-	a	5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.9	-	V
	-	a	10	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	5.9	-	
	-	a	15	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	8.8	-	
	-	b	5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	3.3	-	
	-	b	10	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	7	-	
	-	b	15	8.3	6.3	6.3	6.3	6.3	9.4	-	
V _p Max.	-	a	5	3.6	3.6	3.6	3.6	-	2.9	3.6	V
	-	a	10	7.1	7.1	7.1	7.1	-	5.9	7.1	
	-	a	15	10.8	10.8	10.8	10.8	-	8.8	10.8	
	-	b	5	4	4	4	4	-	3.3	4	
	-	b	10	8.2	8.2	8.2	8.2	-	7	8.2	
	-	b	15	12.7	12.7	12.7	12.7	-	9.4	12.7	
Negative Trigger Threshold Voltage V _N Min.	-	a	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.9	-	V
	-	a	10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.9	-	
	-	a	15	4	4	4	4	4	5.8	-	
	-	b	5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.3	-	
	-	b	10	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	5.1	-	
	-	b	15	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	7.3	-	
V _N Max.	-	a	5	2.8	2.8	2.8	2.8	-	1.9	2.8	V
	-	a	10	5.2	5.2	5.2	5.2	-	3.9	5.2	
	-	a	15	7.4	7.4	7.4	7.4	-	5.8	7.4	
	-	b	5	3.2	3.2	3.2	3.2	-	2.3	3.2	
	-	b	10	6.8	6.6	6.6	6.6	-	5.1	6.8	
	-	b	15	9.6	9.6	9.6	9.6	-	7.3	9.6	
Hysteresis Voltage V _H Min.	-	a	5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	-	V
	-	a	10	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.3	-	
	-	a	15	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.5	-	
	-	b	5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	-	
	-	b	10	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.3	-	
	-	b	15	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.5	-	
V _H Max.	-	a	5	1.6	1.6	1.6	1.6	-	0.9	1.6	V
	-	a	10	3.4	3.4	3.4	3.4	-	2.3	3.4	
	-	a	15	5	5	5	5	-	3.5	5	
	-	b	5	1.6	1.6	1.6	1.6	-	0.9	1.6	
	-	b	10	3.4	3.4	3.4	3.4	-	2.3	3.4	
	-	b	15	5	5	5	5	-	3.5	5	

^a Input on terminals 1,5,8,12 or 2,4,9,13; other inputs to V_{DD}.

^b Input on terminals 1 and 2, 5 and 8, 8 and 9, or 12 and 13; other inputs to V_{DD}.

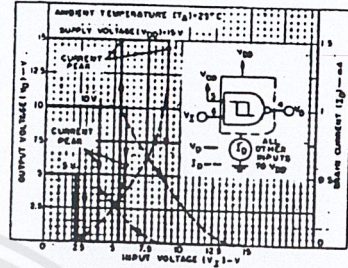


Fig. 4 - Typical current and voltage transfer characteristics.

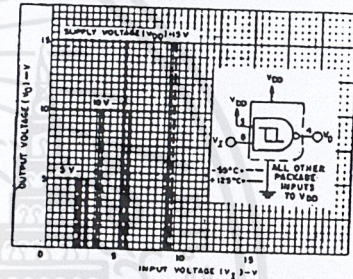


Fig. 5 - Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature.

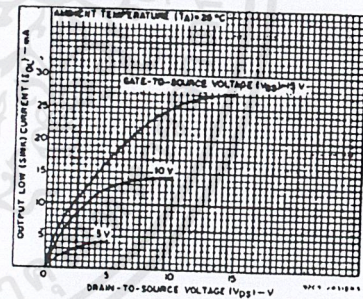


Fig. 6 - Typical output low (sink) current characteristics.

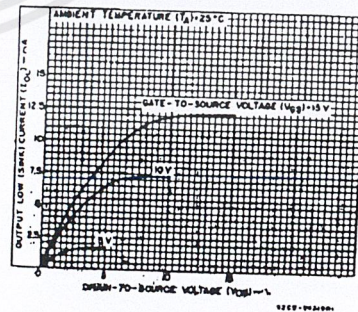


Fig. 7 - Minimum output low (sink) current characteristics.

CD4093B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	+85	+125	+25			
								MIN.	TYP.	MAX.	
Output Low (Sink) Current, I _{OL} Min.	0.4	0.5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	-	mA
	0.5	0.10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	-	
	1.5	0.15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	-	
Output High (Source) Current, I _{OH} Min.	4.6	0.5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	-	mA
	2.5	0.5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	-	
	9.5	0.10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	-	
	13.5	0.15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	-	
Output Voltage Low-Level, V _{OL} Max.	-	0.5	5	0.05			-	0	0.05	-	V
	-	0.10	10	0.05			-	0	0.05	-	
	-	0.15	15	0.05			-	0	0.05	-	
Output Voltage High-Level, V _{OH} Min.	-	0.5	5	4.95			4.95	5	-	-	V
	-	0.10	10	9.95			9.95	10	-	-	
	-	0.15	15	14.95			14.95	-	-	-	
Input Current, I _{IN} Max.	-	0.18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	±10 ⁻⁵	±0.1	μA

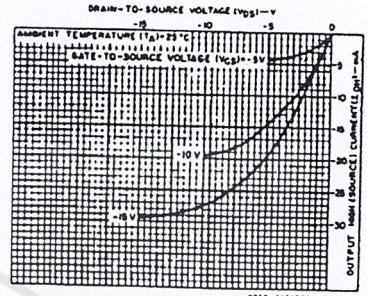


Fig. 8 - Typical output high (source) current characteristics.

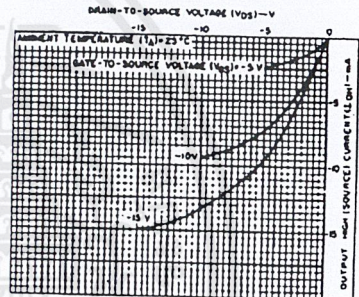


Fig. 9 - Minimum output high (source) current characteristics.

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At $T_A = 25^\circ\text{C}$; Input $t_r, t_f = 20\text{ ns}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}\Omega$

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
		V _{DD} VOLTS	TYP.	MAX.	
Propagation Delay Time: t _{PHL} t _{PLH}	Any Input	5	190	380	ns
		10	90	180	
		15	65	130	
Transition Time, t _{THL} t _{TLH}	Any Input	5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	
Input Capacitance, C _{IN}	Any Input	5	7.5	pF	

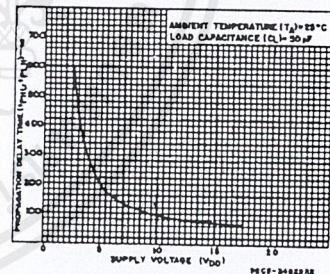


Fig. 10 - Typical propagation delay time vs. supply voltage.

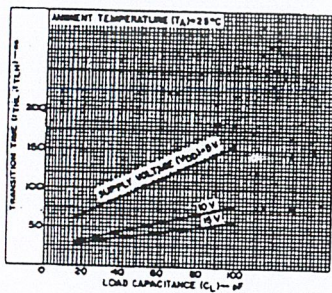


Fig. 11 - Typical transition time vs. load capacitance.

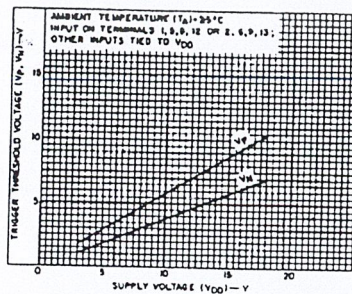


Fig. 12 - Typical trigger threshold voltage vs. V_{DD}

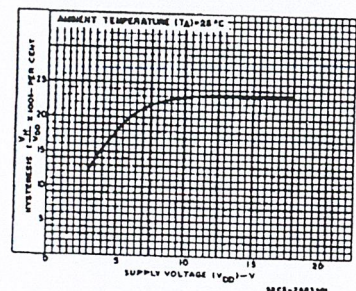


Fig. 13 - Typical per cent hysteresis vs. supply voltage.

CD4093B Types

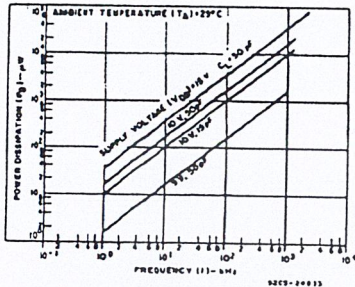


Fig. 14 - Typical power dissipation vs. frequency characteristic.

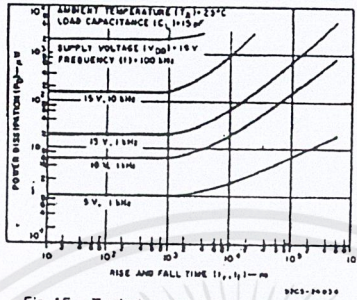


Fig. 15 - Typical power dissipation vs. rise and fall times.

APPLICATIONS

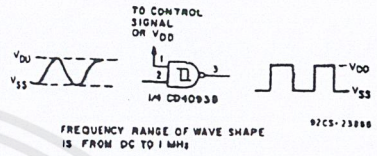


Fig. 16 - Wave shaper.

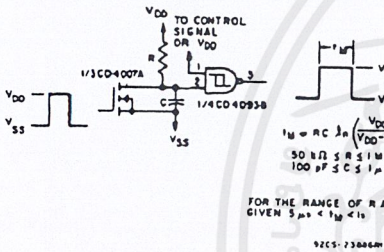


Fig. 17 - Monostable multivibrator.

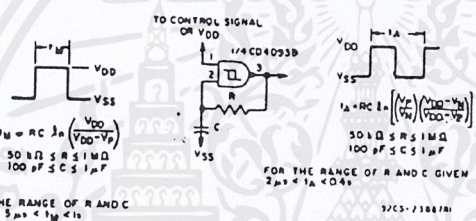


Fig. 18 - Astable multivibrator.

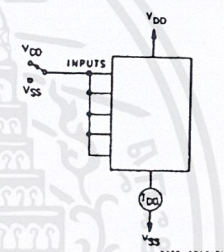


Fig. 19 - Quiescent device current test circuit.

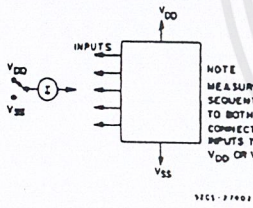
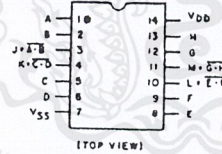


Fig. 20 - Input current test circuit.



TERMINAL ASSIGNMENT

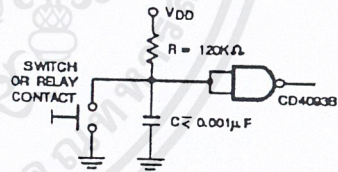
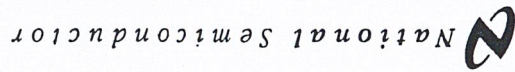


Fig. 21 - Contact Debouncer

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

November 1999



ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805
8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS800A derivative control bus with TRI-STATE[®] output latches. I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

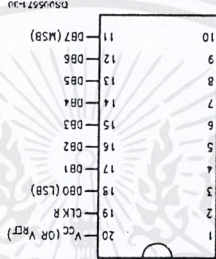
Key Specifications

- Resolution
- Total error
- Conversion time
- 8 bits
- ± 1 LSB and ± 1 LSB
- 100 μ s

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{CC} , 2.5 V_{CC} , or analog span adjusted voltage reference

Connection Diagram

ADC080X
Dual-In-Line and Small Outline (SO) Packages



See Ordering Information

Ordering Information

TEMP RANGE		PACKAGE OUTLINE	
0°C TO 70°C	ADC0802LCWM	M20B—Small Outline	
0°C TO 70°C	ADC0804LCN	M20A—Molded DIP	
-40°C TO +85°C	ADC0801LCN	ADC0804LCJ	ADC0803LCN
	ADC0802LCN		
	ADC0801LCN		

TR-STATE is a registered trademark of National Semiconductor Corp.
Z-800 is a registered trademark of Zilog Corp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

Note 7: The \overline{CS} input is assumed to bracket the \overline{WR} strobe input and therefore timing is dependent on the \overline{WR} pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the \overline{WR} pulse (see timing diagrams).

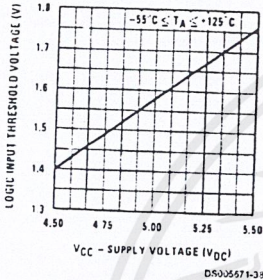
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 7.

Note 9: The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .

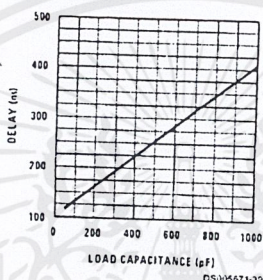
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Typical Performance Characteristics

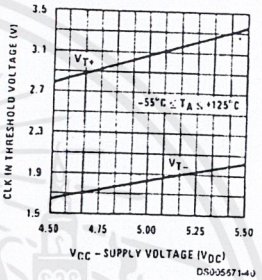
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



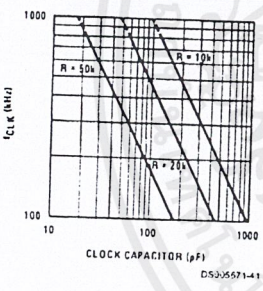
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



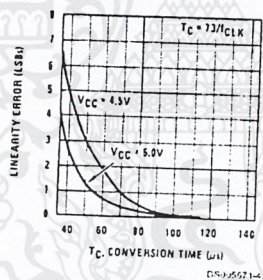
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



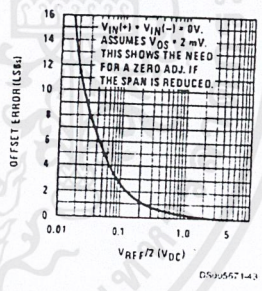
f_{CLK} vs. Clock Capacitor



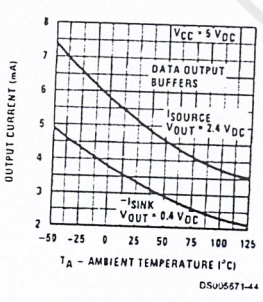
Full-Scale Error vs Conversion Time



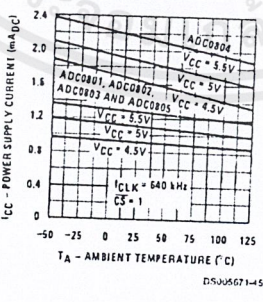
Effect of Unadjusted Offset Error vs. V_{REF/2} Voltage



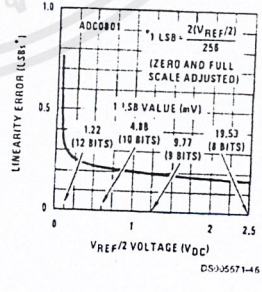
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low V_{REF/2} Voltages



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

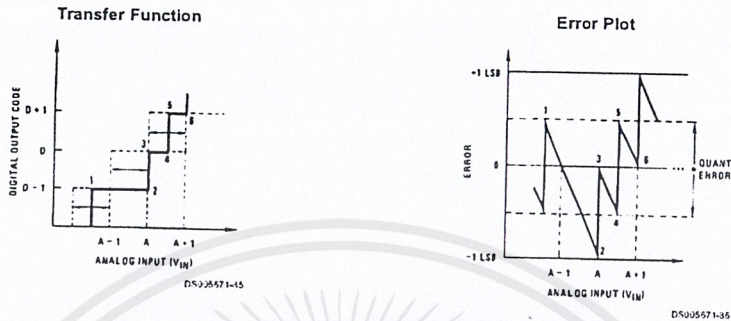


FIGURE 3. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter
Accuracy = $\pm 1/2$ LSB

2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

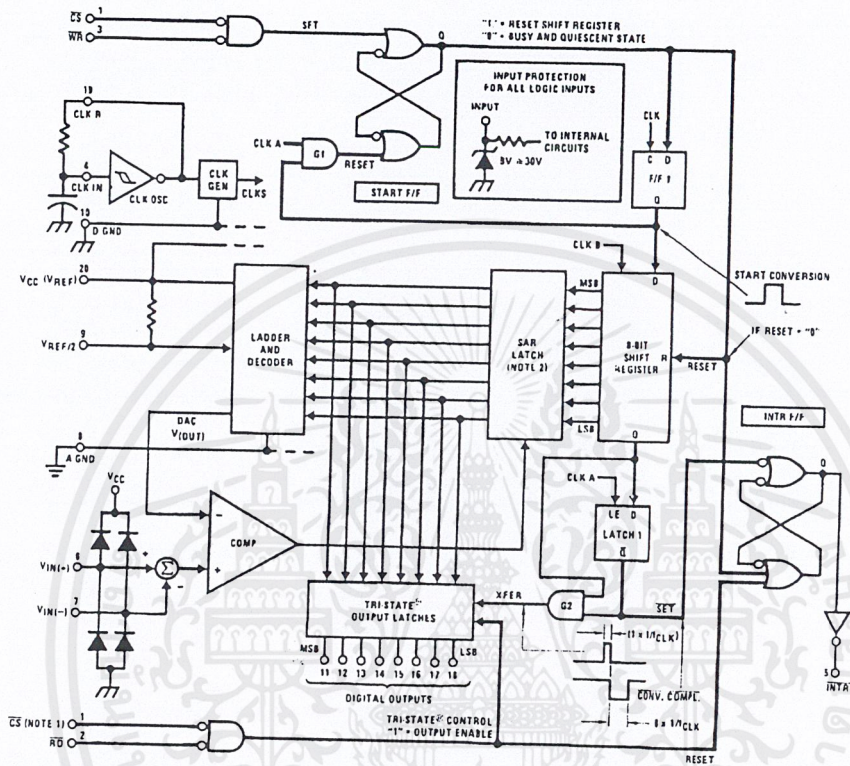
The ADC0801 series contains a circuit equivalent of the 256R network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match the analog difference input voltage $[V_{IN}(+) - V_{IN}(-)]$ to a corresponding tap on the R network. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles) a digital 8-bit binary code (1111 1111 = full-scale) is transferred to an output latch and then an interrupt is asserted (INTR makes a high-to-low transition). A conversion in process can be interrupted by issuing a second start command. The device may be operated in the free-running mode by connecting INTR to the WR input with $\overline{CS} = 0$. To ensure start-up under all possible conditions, an external \overline{WR} pulse is required during the first power-up cycle.

On the high-to-low transition of the \overline{WR} input the internal SAR latches and the shift register stages are reset. As long as the \overline{CS} input and \overline{WR} input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition.

A functional diagram of the A/D converter is shown in Figure 4. All of the package pinouts are shown and the major logic control paths are drawn in heavier weight lines.

The converter is started by having \overline{CS} and \overline{WR} simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the Interrupt (INTR) F/F and inputs a "1" to the D flop, F/F1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of F/F1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either \overline{WR} or \overline{CS} is a "1") the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would momentarily be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This logic therefore allows for wide \overline{CS} and \overline{WR} signals and the converter will start after at least one of these signals returns high and the internal clocks again provide a reset signal for the start F/F.

Functional Description (Continued)



Note 13: \overline{CS} shown twice for clarity.

Note 14: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 4. Block Diagram

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR search) it appears as the input to the D-type latch, LATCH 1. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the TRI-STATE output latches. When LATCH 1 is subsequently enabled, the Q output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the INTR input signal.

Note that this SET control of the INTR F/F remains low for 8 of the external clock periods (as the internal clocks run at 1/4 of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled (\overline{CS} and \overline{RD} both held low), the INTR output will still signal the end of conversion (by a high-to-low transition), because the SET input can control the Q output of the INTR F/F even though the RESET input is constantly at a "1" level in this operating mode. This INTR output will therefore stay low for the duration of the SET signal, which is 8 periods of the external clock frequency (assuming the A/D is not started during this interval).

When operating in the free-running or continuous conversion mode (INTR pin tied to \overline{WR} and \overline{CS} wired low — see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the INTR signal. This resets the SHIFT REGISTER

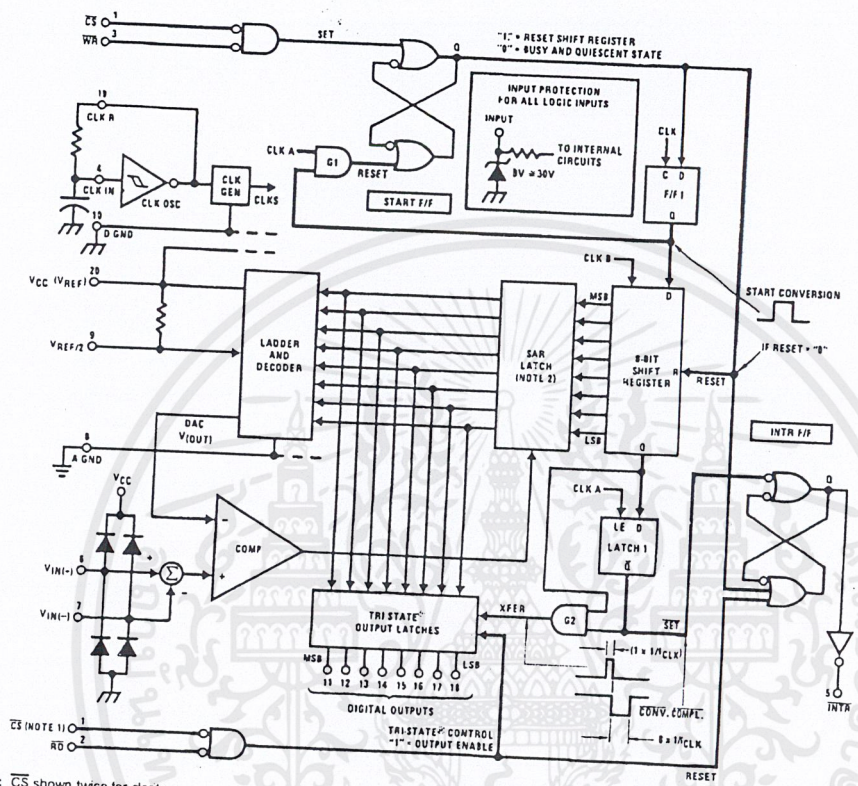
which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the Q output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting INTR output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

When data is to be read, the combination of both \overline{CS} and \overline{RD} being low will cause the INTR F/F to be reset and the TRI-STATE output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

2.1 Digital Control Inputs

The digital control inputs (\overline{CS} , \overline{RD} , and \overline{WR}) meet standard TTL logic voltage levels. These signals have been renamed when compared to the standard A/D Start and Output Enable labels. In addition, these inputs are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the \overline{CS} input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function is obtained by an active low pulse applied at the \overline{WR} input (pin 3) and the Output Enable function is caused by an active low pulse at the \overline{RD} input (pin 2).

Functional Description (Continued)



Note 13: \overline{CS} shown twice for clarity.
 Note 14: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 4. Block Diagram

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR search) it appears as the input to the D-type latch, LATCH 1. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the TRI-STATE output latches. When LATCH 1 is subsequently enabled, the Q output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the INTR input signal.

Note that this \overline{SET} control of the INTR F/F remains low for 8 of the external clock periods (as the internal clocks run at $1/4$ of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled (\overline{CS} and \overline{RD} both held low), the INTR output will still signal the end of conversion (by a high-to-low transition), because the \overline{SET} input can control the Q output of the INTR F/F even though the RESET input is constantly at a "1" level in this operating mode. This INTR output will therefore stay low for the duration of the \overline{SET} signal, which is 8 periods of the external clock frequency (assuming the A/D is not started during this interval).

When operating in the free-running or continuous conversion mode (INTR pin tied to \overline{WR} and \overline{CS} wired low — see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the INTR signal. This resets the SHIFT REGISTER

which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the Q output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting INTR output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

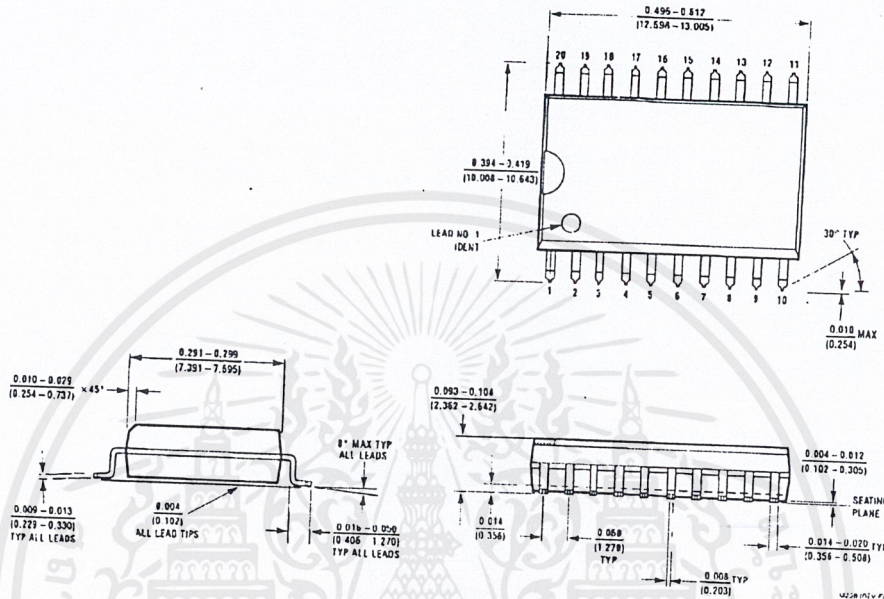
When data is to be read, the combination of both \overline{CS} and \overline{RD} being low will cause the INTR F/F to be reset and the TRI-STATE output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

2.1 Digital Control Inputs

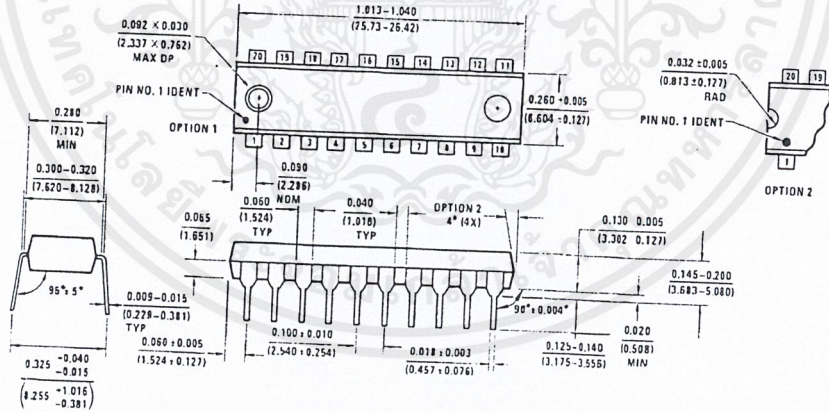
The digital control inputs (\overline{CS} , \overline{RD} , and \overline{WR}) meet standard TTL logic voltage levels. These signals have been renamed when compared to the standard A/D Start and Output Enable labels. In addition, these inputs are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the \overline{CS} input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function is obtained by an active low pulse applied at the \overline{WR} input (pin 3) and the Output Enable function is caused by an active low pulse at the \overline{RD} input (pin 2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



SO Package (M)
 Order Number ADC0802LCWM or ADC0804LCWM
 NS Package Number M20B



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number ADC0801LCN, ADC0802LCN,
 ADC0803LCN, ADC0804LCN or ADC0805LCN
 NS Package Number N20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้