



เครื่องวัดรอยร้าวของโลหะด้วยอัลตราโซนิกแสดงผลบนคอมพิวเตอร์
(ULTRASONIC FLAW DETECTOR SHOW RESULTS ON COMPUTER)

นายทวีศักดิ์	พนมเร้งศักดิ์	38012094
นายทิลปชัย	เต็มสุข	38012121
นายสุวัฒน์	วิศวรชวง	38012129

วัน เดือน ปี.....-5.ค.ค.2541
เลขทะเบียน.....038497
เลขเรียกหนังสือ...I.400.68.ก.225.๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038497

ULTRASONIC FLAW DETECTOR SHOW RESULTS ON COMPUTER



Mr. Thaweesak Panomrerngsak 38012094

Mr. Sinchai Turmsuk 38012121

Mr. Suwat Wisawachaveng 38012129

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENT ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1997**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

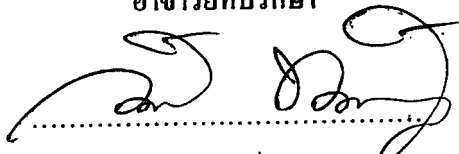
เรื่อง

เครื่องวัดรอยร้าวของโลหะด้วยอัลตราโซนิกแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ

นายทวีศักดิ์	พนมเริงศักดิ์	รหัสประจำตัว	38012094
นายศิลป์ชัย	เต็มสุข	รหัสประจำตัว	38012121
นายสุวัฒน์	วิศวรเขวง	รหัสประจำตัว	38012129

อาจารย์ที่ปรึกษา


(รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Ultrasonic Flaw Detector Show Results On Computer		
Student	Mr. Thaweesak Panomrermsak	Code No.	38012094
	Mr. Sinchai Turmsuk	Code No.	38012121
	Mr. Suwat Wisawachaveng	Code No.	38012129
Thesis Advisor	Associate Prof. Vittaya Tipsuwanporn		
Level of study	Bachelor Of Engineering		
Department	Industrial Instrumentation Of Technology		
Year	1997		

ABSTRACT

This project is to create ultrasonic flaw detector which is a part of non destructive testing. Principally, the refelection of sound waves is used to find position of defect in material and keep data in a computer in order to show exactly the defect evidence.

This project can be divided to 4 parts.

1. Principle of ultrasonic for examining the defect of metal(alloy).
2. Operation and ultrasonic flaw detector circuit .
3. Show results from ultrasonic measurement on computer.
4. Ultrasonic flaw detector testing.

The ultrasonic flaw detector is suitable for the materila's thickness within 8 mm. for example Aluminium, Steel iron etc.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องวัดรอยร้าวของโลหะด้วยอัลตราโซนิกแสดงผลบนคอมพิวเตอร์		
ผู้จัดทำ	นายทวิศักดิ์ พนมเรีงศักดิ์	รหัสประจำตัว	38012094
	นายศิลป์ชัย เต็มสุข	รหัสประจำตัว	38012121
	นายสุวัฒน์ วิสวเซวง	รหัสประจำตัว	38012129
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร		
ระดับการศึกษา	ปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม		
ภาควิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2540		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างเครื่องวัดรอยร้าวของโลหะด้วยอัลตราโซนิกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive testing) จะใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงมาหาตำแหน่งของรอยร้าว รอยตำหนิ และสิ่งแปลกปลอมในเนื้อโลหะ แล้วใช้คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลที่วัดได้เป็นหลักฐานว่าชิ้นงานที่ตรวจมีข้อบกพร่องจริง

ปริญญานิพนธ์นี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน

1. หลักการอัลตราโซนิกที่ใช้วัดรอยร้าวของโลหะ
2. การทำงานและวงจรอัลตราโซนิกที่จะไปวัดรอยร้าว
3. การนำผลที่ได้จากหัววัดอัลตราโซนิกมาแสดงผลทางคอมพิวเตอร์
4. การนำเครื่องวัดรอยร้าวด้วยอัลตราโซนิกไปทดสอบบนชิ้นงานทดสอบหาตำแหน่ง

รอยร้าวหรือจุดบกพร่อง

ขอบเขตของการใช้งานของเครื่องนี้เหมาะกับงานที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 8 มิลลิเมตร โลหะที่มีความเหมาะสมในการวัดได้แก่ อะลูมิเนียม เหล็กกล้า เป็นต้น

บทนำ

จากการทดสอบตรวจสอบหารอยร้าว รอยตำหนิ หรือสิ่งแปลกปลอมภายในชิ้นงานที่ทำด้วยโลหะนั้น ในอดีตทำได้ยาก นั่นคือ ต้องมีการทำลายชิ้นงานทำให้เสียเวลาเพราะการสุมหา อีกทั้งในกรณีที่ชิ้นงานนั้นไม่มีรอยร้าว รอยตำหนิ หรือสิ่งแปลกปลอมภายในจริงก็จะเป็นการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ถึงกระนั้นก็ตาม ถ้าการสุมหาชิ้นงานที่มีรอยร้าว นั้นเกิดการผิดพลาดคือ สุมหาชิ้นงานแล้วไม่พบรอยร้าว ทำให้อาจมีชิ้นงานบางชิ้นที่มีรอยร้าวผ่านการตรวจสอบออกมาได้ เมื่อมีการนำชิ้นงานที่มีรอยร้าวภายในนำไปใช้งาน อาจก่อให้เกิดอันตรายจากชิ้นงานนั้นเช่น รางรถไฟ ถ้ารางรถไฟเกิดร้าวภายในอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ ชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ ถ้ามีรอยร้าวอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ เป็นต้น

การทดสอบตรวจสอบหารอยร้าวของโลหะแบบไม่ทำลายจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวมาโดยอาศัยหลักการของอัลตราโซนิกในการหารอยร้าว รอยตำหนิ หรือสิ่งแปลกปลอม อีกทั้งอัลตราโซนิกไม่เป็นอันตรายในการใช้งานอีกด้วย แต่เครื่องวัดอัลตราโซนิกธรรมดาไม่สามารถเก็บผลการทดสอบได้ ซึ่งในบางครั้งผลการวัดและตรวจสอบนั้นอาจจะต้องนำมาเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อไว้ใช้อ้างอิงในภายหลังได้ จึงเกิดแนวความคิดในการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยเก็บค่าที่วัดได้จากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งสามารถนำมาแสดงผลทางคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลได้

โดยปรวิญญาณีพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน

1. หลักการอัลตราโซนิกที่มาใช้วัดรอยร้าวของโลหะ
2. การทำงานและวงจรอัลตราโซนิกที่จะไปวัดรอยร้าว
3. การนำผลที่ได้จากหัววัดอัลตราโซนิกมาแสดงผลทางคอมพิวเตอร์
4. การนำเครื่องวัดรอยร้าวอัลตราโซนิกไปทดสอบบนชิ้นงานทดสอบหาค่าแห่งรอยร้าวหรือจุดบกพร่อง

ขอบเขตของการใช้งานเครื่องวัดรอยร้าวของโลหะด้วยอัลตราโซนิกแสดงผลบนคอมพิวเตอร์เครื่องนี้ คือชิ้นงานจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 8 มิลลิเมตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการหารอยร้าว รอยตำหนิ หรือสิ่งแปลกปลอมภายในชิ้นงานที่เป็นโลหะ
2. เพื่อศึกษาการเก็บข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล
3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปศึกษาเพิ่มเติมและสามารถประยุกต์ใช้ในรุ่นต่อไปได้

ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถนำสัญญาณที่ได้จากหัววัดอุณหภูมิมาแสดงผลบนคอมพิวเตอร์
2. สามารถเก็บข้อมูลเพื่อไปใช้เป็นหลักฐานได้
3. สามารถวัดหาความหนาของโลหะได้
4. สามารถวัดหาระยะห่างของรอยร้าวได้

ปัญหาและอุปสรรค

1. รูปสัญญาณรอยร้าวที่ได้ยังมีขนาดเล็กอยู่และมีสัญญาณรบกวนบ้าง
2. ความถี่ที่ใช้ในการต่อวงจรมีความถี่สูงมากทำให้การเดินสายภายในเครื่องต้องระวัง
3. ชิ้นงานที่มีรอยร้าวจริงนั้นหาได้ยาก
4. การเลือกใช้ตระกูลไอซีต้องเป็นแบบสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ เช่น ตระกูล High speed CMOS (74HCXXX) เป็นต้น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	I
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทนำ	III
หลักการของอุตสาหกรรมไรโซนาที่นำไปใช้วัดรอยร้าวของโลหะ	
บทที่ 1 คลื่นเสียงอุตสาหกรรมไรโซนา	1
1.1 คำนิยาม	1
1.2 คุณสมบัติของคลื่นอุตสาหกรรมไรโซนา	1
1.3 การใช้ประโยชน์ของคลื่นอุตสาหกรรมไรโซนา	3
บทที่ 2 การตรวจสอบรอยร้าวของโลหะด้วยคลื่นอุตสาหกรรมไรโซนา	4
2.1 วิธีการหารอยร้าวโดยปล่อยคลื่นแนวตั้งฉาก	5
2.2 การหารอยร้าวโดยการส่งคลื่นแนวทำมุม	6
2.3 วิธีทดสอบโดยสัมผัส	7
2.4 การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบโดยการถ่ายภาพรังสี	8
การทำงานและวงจรของอุตสาหกรรมไรโซนาที่จะไปวัดรอยร้าวของโลหะ	
บทที่ 3 การทำให้เกิดคลื่นอุตสาหกรรมไรโซนาที่จะไปวัดรอยร้าวของโลหะ	11
3.1 การทำให้เกิดคลื่นอุตสาหกรรมไรโซนาและวิธีการรับคลื่น	11
3.2 ชนิดการสั่นสะเทือน	12
บทที่ 4 คุณสมบัติของคลื่นอุตสาหกรรมไรโซนา	17
4.1 ความเร็วของคลื่นเสียง	17
4.2 ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่น	17
4.3 การสะท้อนของคลื่นเมื่อคลื่นตกกระทบในแนวตั้งฉาก	18
4.4 สารช่วยการสัมผัส	19
4.5 สนามในบริเวณใกล้และความสามารถในการชี้ทิศ	22
บทที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดอุตสาหกรรมไรโซนา	26
5.1 แนวคิดการออกแบบวงจร	26
5.2 วงจรกำเนิดสัญญาณอะอสซิลเลเตอร์และโมโนสเตเบิล	28
5.3 วงจรสวิตช์ และ อาร์-ซี ดีเฟอเรนเชียลบัฟเฟอร์	32

	หน้า
การนำผลที่ได้จากหัววัดอุณหภูมิมาแสดงผลทางคอมพิวเตอร์	
บทที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของฮาร์ดแวร์	36
6.1 แนวคิดในการออกแบบวงจร	36
6.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	38
6.3 หน่วยความจำชั่วคราวและวงจรนับเลขฐานสอง	49
6.4 การอินเตอร์เฟสพอร์ทขนานและการเลือกข้อมูลครั้งละ 4 บิต	52
6.5 ผังการทำงานของโปรแกรม	55
การนำเครื่องวัดรอยร้าวด้วยอุณหภูมิไปทดสอบหาตำแหน่งรอยร้าวและข้อบกพร่อง	
บทที่ 7 การทดสอบเครื่องอุณหภูมิและ โปรแกรม	55
การทดลองที่ 1 การปรับ Calibrate	60
การทดลองที่ 2 การวัดหาระยะห่างของรอยร้าวจาก Calibration Block	69
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

บทที่ 1

คลื่นเสียงอุลตราโซนิก

1.1) คำนิยาม

คำว่าคลื่นเสียงอุลตราโซนิกโดยทั่วไปจะหมายถึง “ คลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้ ” สำหรับคลื่นเสียงซึ่งมนุษย์สามารถจะได้ยินหรือรับรู้ได้นั้นจะมีความถี่อยู่ระหว่าง 20-20,000 Hz (Hz เป็นหน่วยความถี่มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที) แต่ที่ความถี่ 20,000 Hz นั้นคนบางคนอาจจะได้ยินหรือไม่ได้ยินก็ได้ขึ้นอยู่กับอายุและคุณสมบัติส่วนบุคคลอื่นๆ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปคลื่นเสียงอุลตราโซนิกจะถูกนิยามไว้ว่าเป็น เสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 Hz หรือ 20 kHz

บางท่านอาจจะเคยได้ทราบว่ามีแมลงบางชนิด และสัตว์จำพวกค้างคาวสามารถปล่อยและรับคลื่นเสียงในช่วงอุลตราโซนิกได้ ในแง่ของปรากฏการณ์ทางกายภาพแล้ว คลื่นเสียงซึ่งมีความถี่สูงหรือต่ำกว่า 20 kHz จะมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกันเลย แต่ที่กำหนดให้เสียงมีความถี่เกินกว่า 20 kHz เป็นคลื่นอุลตราโซนิกนั้นก็เพื่อความสะดวกในการเรียกชื่อเท่านั้นเอง

1.2) คุณสมบัติจำเพาะของคลื่นอุลตราโซนิก

รูปที่ 1.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นเสียงในตัวกลางที่เป็นตัวแทนของก๊าซของเหลว และของแข็งซึ่งได้แก่อากาศ (ความเร็วคลื่นเสียง 340 m/s) น้ำ (1500 m/s) และเหล็กกล้า (5,900 m/s) ตามลำดับนอกจากนั้นยังแสดงความถี่และความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับจากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่า

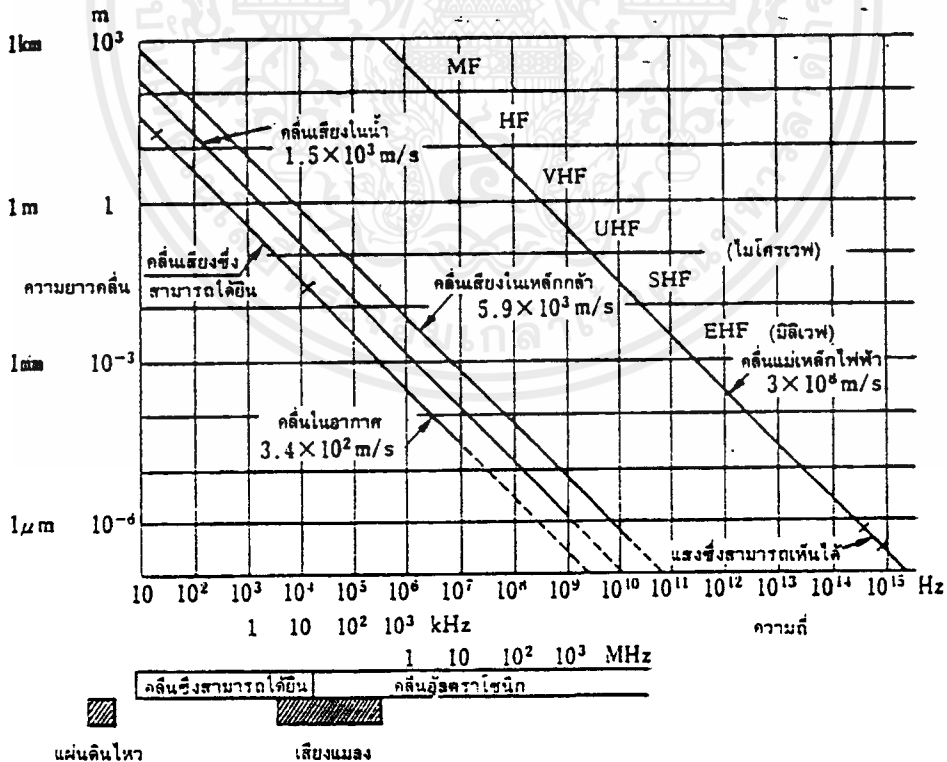
- 1) เมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วคลื่นเสียงจะมีความเร็วช้ากว่ามากในอัตราส่วน $(0.5 - 10) \times 10^5$ เท่า
- 2) ดังนั้นคลื่นเสียงจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก
- 3) การที่คลื่นเสียงจะส่งผ่านจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้นั้นจำเป็นจะต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่าน แต่สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วไม่จำเป็น ถึงแม้ว่าในสุญญากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ยังส่งผ่านไปได้
- 4) ทั้งคลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้ ยกเว้นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 10^3 kHz ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นอุลตราโซนิกจะไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางอากาศได้

5) สำหรับในน้ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำมากๆ (ต่ำกว่า 30 kHz) จึงจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่ว่าสำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้โดยง่าย

6) สำหรับโลหะ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นสั้นมากๆ (ต่ำกว่า 10^{-9} m หรือ กัมมันตรังสี) เท่านั้นจึงจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่ว่าสำหรับคลื่นเสียงแล้วสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางโลหะไปได้ดีกว่าและไกลกว่า (ลึกกว่า) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย

7) ในกรณีของคลื่นเสียงจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายเหมือนอย่างเช่นคลื่นกัมมันตรังสี พวกรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา

8) พลังงานอันเกิดจากคลื่นเสียงอุตสาหกรรมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิตได้นั้น จะต้องมียกเว้นกว่า 0.1 W/cm^2 (หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) แต่ว่าพลังงานของคลื่นเสียงอุตสาหกรรมที่ใช้กับการทดสอบแบบไม่ทำลาย หรือใช้ในทางการแพทย์นั้นจะมีค่าต่ำกว่า 0.1 mW/cm^2 (หน่วยเป็นมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องห่วงว่าคลื่นอุตสาหกรรมจะมีผลร้ายต่อร่างกายอย่างไร



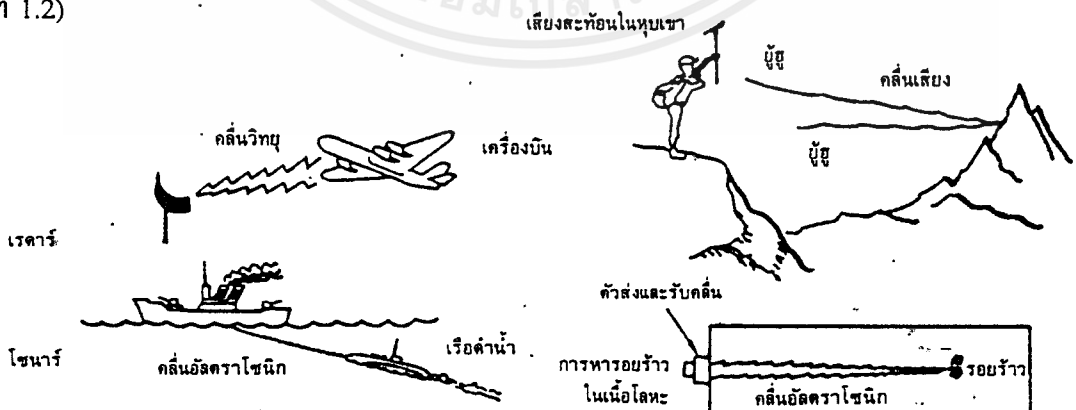
รูปที่ 1.1 กราฟเปรียบเทียบความถี่และความยาวของคลื่นเสียงกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3) การใช้ประโยชน์จากคลื่นอุลตราโซนิก

ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้คลื่นอุลตราโซนิกในอุตสาหกรรมแขนงต่างๆ อย่างมากมาย เช่น การล้างทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก (สำหรับชิ้นส่วนนาฬิกา, แว่นตา, เครื่องเพชรพลอย และอาหาร ฯลฯ) การใช้คลื่นอุลตราโซนิกในการผลิต (วัสดุที่แข็งแต่เปราะเช่น พวกเพชร เป็นต้น) การเชื่อมด้วย คลื่นอุลตราโซนิก (สำหรับแผ่นเหล็กบาง, ลวดเส้นเล็กๆ หรือในการต่อเชื่อมเส้นลวดในชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) การใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในการทำให้สันสะท้อน (เช่น ในการทำให้เกรนของโลหะเล็กลง, การไล่ฟองอากาศ เป็นต้น) ตัวอย่างการใช้งานของคลื่นอุลตราโซนิกที่ยกตัวอย่างมาทั้งหมดนี้ อาศัยพลังงานที่เกิดจากคลื่นมาใช้ประโยชน์โดยตรง เหมือนกับการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในลักษณะทางไฟฟ้ากำลัง

นอกจากการนำพลังงานที่เกิดจากคลื่นอุลตราโซนิกมาใช้ให้เป็นประโยชน์โดยตรงแล้วยังมีวิธีการอีกอย่างหนึ่งซึ่งใช้คลื่นอุลตราโซนิกเป็นตัวกลางในการตรวจหาข้อมูลหรือข่าวสารของเนื้อวัตถุในตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไป ซึ่งเปรียบเสมือนการใช้ประโยชน์จากไฟฟ้าในลักษณะของไฟฟ้าสื่อสาร ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำเอาคลื่นอุลตราโซนิกมาใช้ประโยชน์ในทางทหารตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยทางทหารเรือ ซึ่งจะใช้เครื่องมือนี้ในการค้นหาตำแหน่งของเรือดำน้ำของศัตรู (ในลักษณะเดียวกับการค้นหาตำแหน่งของเครื่องบินโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเรดาร์) ตัวอย่างของการใช้คลื่นอุลตราโซนิกในการหาตำแหน่งของเรือดำน้ำ หรือการหารอยร้าวในเนื้อวัตถุที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยหลักการเดียวกันทั้งหมดคือ การสะท้อนกลับของคลื่น เหมือนอย่างเช่นการสะท้อนกลับของเสียงตะโกนหรือเสียงก้องในหุบเขา สำหรับเครื่องมือสำหรับตรวจจับวัตถุซึ่งอยู่ใต้น้ำเช่น เครื่องตรวจจับเรือใต้น้ำ เครื่องมือตรวจหาฝูงปลา เครื่องวัดความลึกของท้องทะเลและเครื่องตรวจชั้นดินใต้สมุทรเหล่านี้ จะถูกเรียกรวม ๆ กันว่า เครื่องโซนาร์ (Sonar) (ดูรูปที่ 1.2)



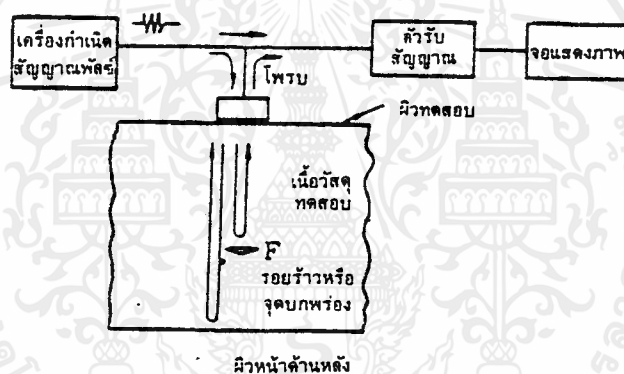
รูปที่ 1.2 การหารอยร้าวในเนื้อของโลหะด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
มีหลักการเหมือนกับเรดาร์โซนาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจหารอยร้าวของโลหะโดยคลื่นเสียงอุลตราโซนิก

วิธีการตรวจหารอยร้าวโดยใช้คลื่นเสียงอุลตราโซนิกนี้มีอยู่ด้วยกันสามวิธีคือ วิธีที่ใช้การสะท้อนกลับของสัญญาณพัลส์, วิธีที่ให้คลื่นส่งผ่าน และวิธีเรโซแนนซ์ ในสามวิธีนี้วิธีการที่ใช้กันมากที่สุดก็คือวิธีที่ใช้การสะท้อนกลับของสัญญาณพัลส์ (รูปที่ 2.1 ประกอบ) และเป็นวิธีการที่ใช้ใน โรงงาน นี้ด้วย



รูปที่ 2.1 หลักการของการสะท้อนกลับของสัญญาณพัลส์

ในวิธีที่ใช้การสะท้อนกลับของสัญญาณพัลส์นี้ สัญญาณพัลส์ช่วงสั้นๆจะถูกส่งเข้าไปในเนื้อของวัตถุ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปถูกกับรอยร้าวภายในก็จะสะท้อนกลับออกมา ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ จากขนาดของคลื่นสะท้อนนี้ทำให้ประมาณขนาดของรอยร้าวได้ และจากระยะเวลาตั้งแต่คลื่นถูกปล่อยออกไปจนสะท้อนกลับออกมาทำให้สามารถคำนวณหาความลึกของรอยร้าวได้ด้วย

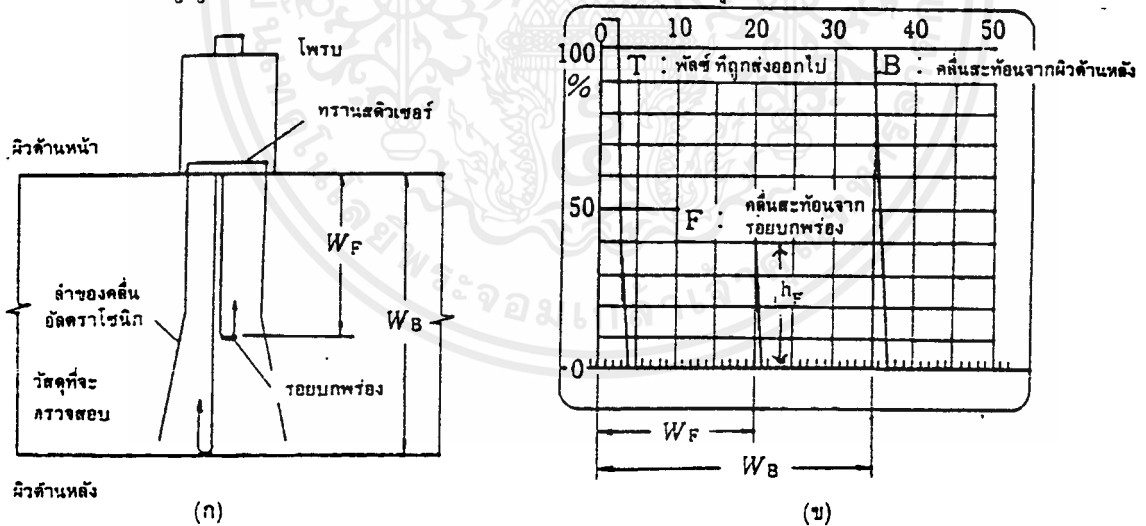
เนื่องจากรอยร้าวในโลหะที่ต้องการตรวจจับนั้นมีขนาดประมาณ 4-5 mm จึงต้องใช้ความถี่ประมาณ 1-5 MHz ซึ่งจะมี ความยาวคลื่นในโลหะเท่ากับขนาดของรอยร้าว

ผลจากการทดสอบหารอยร้าวโดยคลื่นอุลตราโซนิกนี้ จะถูกแสดงเป็นรูปสองมิติในจอโทรทัศน์สำหรับแสดงผล ลักษณะของการแสดงผลแบบพื้นฐานซึ่งมีการใช้มากที่สุด (A-scope) ก็คือการแสดงผลที่แกนนอนของกราฟ ในจอซึ่งแสดงผลจากซ้ายไปขวาหมายถึงเวลาที่ผ่านไป และแกนตั้งของกราฟแสดงถึงขนาดหรือความเข้มของสัญญาณของคลื่นสะท้อนกลับที่ตรวจจับได้ คลื่นอุลตราโซนิกที่ใช้ในการตรวจสอบจะถูกส่งหรือตรวจจับโดยตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทำด้วยผลึกควอตซ์หรือเซรามิก) บรรจุอยู่ในกล่องที่ทำหน้าที่เป็นโพรบตัวทรานสดิวเซอร์นี้เมื่อให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าลงไปจะทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกขึ้นและในทางตรงกันข้ามเมื่อได้รับคลื่นอัลตราโซนิกก็จะก่อให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นเช่นกัน วิธีการซึ่งใช้ทรานสดิวเซอร์เพียงชุดเดียวในการส่งและตรวจจับคลื่นจะเรียกว่า วิธีการโพรบเดี่ยว (Single Probe Technique) และวิธีการใช้ในการส่งและตรวจจับคลื่นเรียกว่า วิธีการสองโพรบ (Double Probe Technique) นอกจากนี้ยังมีการเรียกวิธีการตรวจสอบโดยดูจากทิศทางของการปล่อยคลื่นผ่านไปในเรื่องวัสดุได้อีกดังนี้คือ วิธีการหารอยร้าวโดยปล่อยคลื่นตั้งฉาก และ วิธีการหารอยร้าวโดยปล่อยคลื่นแนวทำมุม (กับผิวของชิ้นวัสดุที่ตรวจสอบนั้น) ซึ่งใน โครงงานนี้จะใช้วิธีการโพรบเดี่ยว และวิธีการหารอยร้าวโดยปล่อยคลื่นตั้งฉาก ส่วนอีกวิธีจะไม่กล่าวถึง

2.1) วิธีการหารอยร้าวโดยปล่อยคลื่นแนวตั้งฉาก (Normal Beam Testing)

รูปที่ 2.2 ก) แสดงถึงการตรวจหารอยร้าวโดยการส่งคลื่นอัลตราโซนิกในแนวตั้งฉากกับแนวผิวของชิ้นวัสดุที่ตรวจสอบ ถ้าในชิ้นวัสดุมีรอยร้าวหรือจุดบกพร่องอยู่ คลื่นอัลตราโซนิกบางส่วนจะสะท้อนกลับเมื่อกระทบและจะถูกตรวจจับโดยทรานสดิวเซอร์ รูปที่ 2.2 ข) แสดงถึงตัวอย่างของสัญญาณบนจอภาพแสดงผลเมื่อคลื่นไปกระทบกับจุดบกพร่องและสะท้อนกลับออกมา

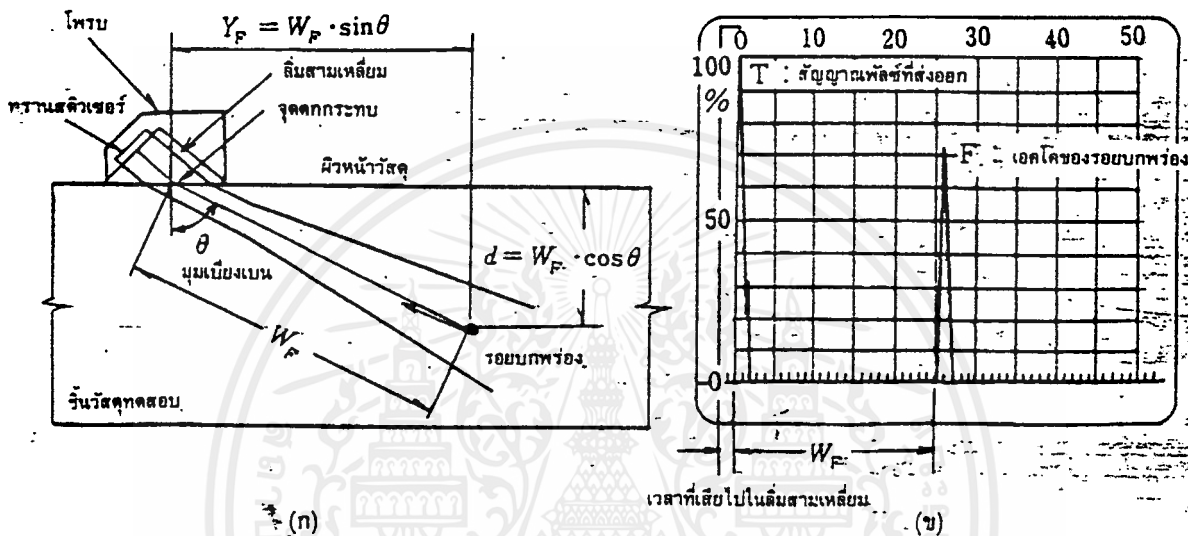


รูปที่ 2.2 การตรวจสอบโดยส่งคลื่นในแนวตั้งฉาก และลักษณะของสัญญาณที่ได้รับ

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าระหว่างสัญญาณพัลส์ที่ถูกส่งออกไป (Transmitted Pulse, T) กับคลื่นสะท้อนกลับจากผิวด้านหลังของชิ้นวัสดุ (Back Echo, B) จะมีคลื่นสะท้อนกลับอันเนื่องมาจากรอยร้าวในเนื้อวัสดุ (Defect Echo, F) เกิดขึ้นด้วย และจากความสูงของสัญญาณ F นี้จะสามารถคำนวณหาขนาดของรอยร้าวได้ นอกจากนี้จากระยะระหว่างเวลาที่เริ่มปล่อยสัญญาณจนถึงเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับเมื่อไปกระทบกับรอยร้าวและผิวด้านหลังของชิ้นวัสดุ (W_F และ W_B ในรูป)

ทำให้สามารถวัดความลึกของรอยร้าวและขนาดความหนาของชิ้นวัสดุได้ สำหรับชิ้นวัสดุที่ไม่มีจุดบกพร่องอยู่ในเนื้อจะไม่ปรากฏคลื่นสะท้อนกลับ F อย่างในกรณีของรูปที่ 2.2 (ข) เลย

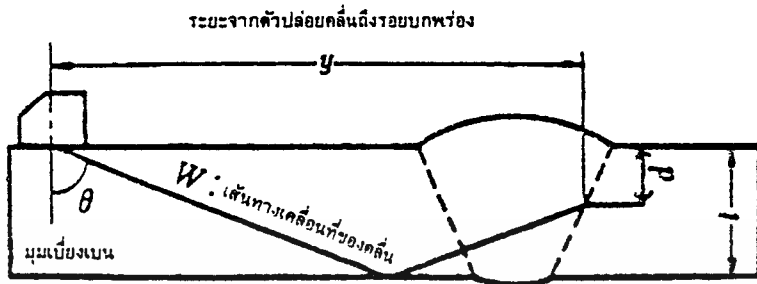
2.2) วิธีการหารอยร้าวโดยการส่งคลื่นแนวทำมุม (Angle Beam Testing)



รูปที่ 2.3 วิธีการทดสอบแบบคลื่นแนวทำมุมและลักษณะสัญญาณที่ได้รับ

วิธีการส่งคลื่นแนวทำมุมนี้ (ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ) คลื่นอัลตราโซนิกในแนวนอนจะถูกส่งเข้าสู่ชิ้นวัตถุที่จะทำการทดสอบโดยทำมุมกับชิ้นวัตถุนั้น เมื่อคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในเนื้อของวัตถุกระทบกับรอยร้าวหรือจุดบกพร่องก็จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับ ทำให้ได้รับสัญญาณปรากฏบนจอภาพแสดงผลเหมือนอย่างที่เราได้ดูรูปที่ 2.3 (ข) จากระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ถูกส่งออกไปจนกระทั่งสะท้อนกลับออกมา (W_F ในรูป) ทำให้สามารถรู้ถึงระยะห่างระหว่างจุดที่คลื่นส่งออกไปจนถึงจุดที่มีรอยร้าวอยู่ (Beam Path Distance) ถ้าทราบค่าของมุมตกกระทบ (ระหว่างแนวตั้งฉากของผิวของชิ้นวัตถุกับแนวที่ส่งคลื่นเข้าสู่ชิ้นวัตถุ) แล้วจะทำให้สามารถคำนวณหาระยะจากจุดที่เริ่มส่งคลื่นเข้าสู่วัตถุจนถึงจุดที่อยู่บนรอยร้าวที่ตรวจพบ (ระยะ Y_F) และความลึกของรอยร้าว (d) ได้โดยอาศัยความรู้ทางตรีโกณมิติ การตรวจสอบโดยวิธีปล่อยคลื่นในแนวทำมุมนี้แตกต่างจากการตรวจโดยปล่อยคลื่นในแนวตั้งฉากตรงที่จะไม่มีคลื่นสะท้อนกลับอันเนื่องมาจากผิวด้านหลังของชิ้นวัสดุปรากฏบนจอแสดงผลเลย

อนึ่ง ยังมีวิธีการทดสอบอีกวิธีหนึ่งที่อาศัยหลักการเดียวกัน แต่ให้คลื่นสะท้อนกับด้านหลังของชิ้นวัตถุหนึ่งครั้งก่อนทำการวัด (ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ)



รูปที่ 2.4 วิธีการวัดโดยการสะท้อน 1 ครั้ง

ระยะระหว่างจุดส่งคลื่นถึงรอยร้าว

$$y = W \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

ความลึกของรอยบกพร่อง(วิธีการวัดโดยตรงตามรูป2.3)

$$d = W \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

ความลึกของรอยบกพร่อง(วิธีให้สะท้อนหนึ่งครั้งตามรูป2.4)

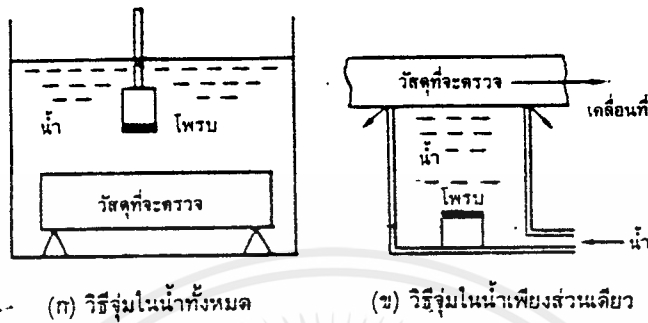
$$d = 2t - W \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2.3)$$

2.3) วิธีทดสอบโดยวิธีสัมผัส (Contact Method)

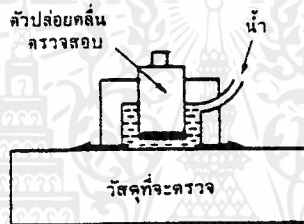
ในการทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกดังกล่าวนี้ ถ้าหากว่าระหว่างตัวทรานสดิวเซอร์และผิวของชิ้นวัสดุไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง หรือมีช่องว่างเกิดขึ้น จะทำให้การส่งผ่านคลื่นจากตัวทรานสดิวเซอร์ไปยังชิ้นวัสดุเลวลงดังนั้นก็มักจะหาสารบางชนิดที่ผิวด้านหน้าของชิ้นวัสดุที่จะตรวจสอบ (เช่น ทาด้วยน้ำมันเครื่อง เป็นต้น) และกดตัวทรานสดิวเซอร์เบาๆ ให้ชิดกับผิวหน้าของชิ้นวัสดุเวลาตรวจสอบ การทำเช่นนี้เรียกว่าการทดสอบโดยวิธีสัมผัสโดยตรงซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในโรงงานนี้

นอกจากการสัมผัสโดยตรงโดยวิธีนี้แล้วยังมีวิธีซึ่งให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านชั้นของน้ำก่อนที่จะส่งต่อไปยังชิ้นวัสดุ รูปที่ 2.5 (ก) แสดงวิธีการทดสอบโดยการจุ่มชิ้นวัสดุที่จะทดสอบลงในน้ำทั้งหมด (Full Immersion Method) แล้วจึงให้ตัวโพรบซึ่งถูกจุ่มลงในน้ำเช่นกัน ทำการส่งอัลตราโซนิกออกไปตรวจสอบ วิธีการตรวจสอบนี้คลื่นจะสามารถส่งผ่านไปได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าวิธีการสัมผัสโดยตรงที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่เนื่องจากการที่ต้องจุ่มวัสดุที่จะตรวจสอบลงในถึงน้ำทั้งหมดจึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบวัสดุบางชนิดที่มีขนาดใหญ่ได้ดังนั้นก็ยังมีอีกวิธีการหนึ่งซึ่งทำให้ตัวทรานสดิวเซอร์ถูกแช่อยู่ในอ่างน้ำซึ่งมีระดับปริมาตรพอแล้ววางวัสดุลงบนปากขอบอ่างน้ำนี้ (Partial Gap Method) (ดูรูปที่ 2.5 (ข) ประกอบ) เวลาจะตรวจสอบหรือไม่ก็ใช้วิธีการตรวจสอบที่

เรียกว่า Gap Method (ดูรูปที่ 2.6 ซึ่งให้คลื่นอัลตราโซนิกเคลื่อนที่ผ่านชั้นบางๆ ของน้ำซึ่งคั่นอยู่ระหว่างตัวโพรบและผิวของวัสดุ) ซึ่งวิธีการหลังนี้ใช้กับการตรวจสอบต่างๆ อย่างมากมาย และมีขอบเขตการใช้งานกว้างกว่าวิธีการทดสอบแบบจุ่มน้ำมาก



รูปที่ 4.7 วิธีตรวจสอบในน้ำ



รูปที่ 2.6 วิธีตรวจสอบโดยใช้ Gap น้ำ

2.4) การเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบโดยการถ่ายภาพรังสี (Radiographic Testing)

ในการตรวจรอยเชื่อมโดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นในอดีตได้มีการใช้วิธีการทดสอบแบบถ่ายภาพรังสี (RT) กันมากแต่ว่าในปัจจุบันได้มีการใช้วิธีทดสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิก (UT) ในการตรวจสอบรอยเชื่อมมากขึ้นทุกที เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

(ก) ความสามารถของเครื่องมือตรวจสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิกสูงขึ้น จนสามารถนำไปใช้ในการทดสอบรอยเชื่อมได้

(ข) เกิดจากความจำเป็นที่มีวัสดุบางประเภทไม่สามารถตรวจสอบโดยวิธี RT ได้จึงต้องใช้วิธี UT ในการตรวจสอบ

(ค) การทดสอบโดยวิธี UT ง่ายกว่าวิธี RT

(ง) มีวัสดุบางประเภทที่จำเป็นจะต้องใช้วิธีทดสอบแบบ UT และ RT ร่วมกัน

นอกจากนี้ ในแง่ทางเทคนิคนั้นมีรอยบกพร่องบางประเภทซึ่งตรวจสอบได้ยากโดยวิธี RT แต่สามารถตรวจพบได้ง่ายโดยวิธี UT ส่วนในแง่ทางเศรษฐกิจนั้นวิธีการตรวจสอบแบบ UT ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาน้อยมากและไม่ต้องใช้วัสดุราคาแพงในการตรวจสอบจึงประหยัดกว่า ทำให้มีการนำวิธีการตรวจสอบแบบ UT มาใช้แทนที่การตรวจสอบแบบ RT มากขึ้นเรื่อยๆ

ในการตรวจสอบแบบ RT นั้นความหนาสูงสุดของชิ้นวัสดุทดสอบที่เป็นโลหะสำหรับเครื่อง linac ซึ่งมีความสามารถในการส่งผ่านของรังสีสูงสุด จะมีความหนาเพียง 50 เซนติเมตรเท่านั้นแต่สำหรับวิธี UT แล้วความสามารถจะสูงกว่าและจะสามารถตรวจวัสดุโลหะบางชนิดที่มีความหนาถึงหลายเมตรได้ และเวลาในการทดสอบนั้นก็สั้นมาก จึงทำให้สามารถเปลี่ยนการทดสอบให้เป็นแบบอัตโนมัติได้โดยง่าย

เนื่องการทดสอบโดยวิธี RT นั้นอาศัยการส่งรังสีทะลุผ่านวัสดุ ดังนั้นในการตรวจสอบจึงจำเป็นต้องเข้าถึงผิวสองด้านที่จะตรวจสอบนั้น(คืออุปกรณ์กำเนิดรังสีเอกซ์เรย์อยู่ที่ผิวข้างหนึ่งและฟิล์มเอกซ์เรย์อยู่ที่ผิวด้านตรงข้าม) แต่ว่าการตรวจสอบโดยวิธี UT นั้นต้องอาศัยการสะท้อนกลับของคลื่น ดังนั้นการตรวจสอบจึงกระทำได้ทั่วถึงจากผิวหน้าของวัสดุนั้น

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้เป็นข้อดีของการตรวจสอบโดยวิธี UT ทั้งสิ้น แต่ข้อเสียของการตรวจสอบโดยวิธีนี้ก็มิเช่นนั้น กล่าวคือ ผลการตรวจสอบโดยวิธี RT นั้นอยู่ในลักษณะของแผ่นฟิล์มซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้อย่างถาวรได้ และลักษณะของรอยร้าวหรือจุดบกพร่องที่ปรากฏอยู่บนแผ่นฟิล์มจะเหมือนที่ เกิดจริงในเนื้อวัสดุทุกประการ แต่ผลการตรวจสอบโดยวิธี UT นั้นจะปรากฏอยู่บนจอแสดงภาพในขณะที่ทำการทดสอบเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะสามารถเก็บผลของการทดสอบนี้โดยใช้เครื่องมือบันทึกผลบางชนิดได้ก็ตาม ผลการทดสอบก็ไม่ได้แสดงถึงลักษณะของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริงในเนื้อของวัสดุ จึงต้องอาศัยการคำนวณของตัวเลขในการตีความหมายของผลการทดสอบอีกทีหนึ่ง จึงนับว่าเป็นข้อเสียของการทดสอบโดยวิธีนี้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการตรวจหารอยร้าวโดยคลื่นอัลตราโซนิก

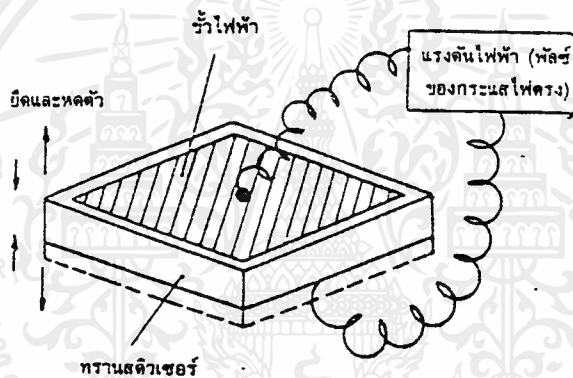
	วัสดุที่จะตรวจสอบ	วิธีการที่ใช้ตรวจสอบ	วิธีการสัมผัสของตัวโพรบ
ประเภท ของ วัสดุ	วัสดุเชิงสำเร็จรูปโลหะ	คลื่นแนวตั้งฉาก	สัมผัสโดยตรง,สัมผัสบางส่วน
	แผ่นเหล็กหนา	คลื่นแนวตั้งฉาก	สัมผัสโดยตรง,Gap Method
	แผ่นเหล็กบาง	คลื่นแนวตั้งฉาก (Double Crystal Prob) ⁽¹⁾	สัมผัสโดยตรง
	(หนากว่า 5 mm)	Plate Wave ⁽²⁾	สัมผัสโดยตรง
	แผ่นเหล็กบาง	(Wheel Type Probe) ⁽³⁾	
	(บางกว่า 5 mm)	คลื่นแนวทำมุม	จุ่มในน้ำ, สัมผัสบางส่วน
	ท่อเหล็กไร้ตะเข็บ	คลื่นแนวทำมุม	Gap Method
	ท่อเหล็กเชื่อม	คลื่นแนวตั้งฉาก,	สัมผัสโดยตรง,สัมผัสบางส่วน
	เหล็กรีด	คลื่นแนวทำมุม	
	เหล็กหล่อและเหล็ก	คลื่นแนวตั้งฉาก	สัมผัสโดยตรง
รอยเชื่อม	ตีขึ้นรูป	คลื่นแนวทำมุม	
	เหล็กรีดและเหล็กตีขึ้นรูป	คลื่นแนวตั้งฉาก	สัมผัสโดยตรง,สัมผัสบางส่วน
	เหล็กอัลลอยผสมต่างๆ	คลื่นแนวทำมุม	
	ข้อต่อแบบคอชน	คลื่นแนวทำมุม	สัมผัสโดยตรง,Gap Method
	ข้อต่อรูปตัวที	คลื่นแนวตั้งฉาก	สัมผัสโดยตรง
		คลื่นแนวทำมุม	
	ข้อต่อมุม	คลื่นแนวตั้งฉาก	สัมผัสโดยตรง
		คลื่นแนวทำมุม	
	ข้อต่อแบบ Nozzle	คลื่นแนวตั้งฉาก,	สัมผัสโดยตรง
		คลื่นแนวทำมุม	

บทที่ 3

วิธีการทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกและชนิดของคลื่น

3.1) การทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกและวิธีรับคลื่น

วิธีการทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกนั้นมักจะใช้สารประเภทไพเอโซอิเล็กทริก(Piezo-Electric Method) เช่น ผลึกควอทซ์ , Barium , Titanate , Lead , Zirconit , Ceramic เป็นต้น วิธีการทำตัวทรานสดิวเซอร์(ตัวให้กำเนิดคลื่น) จากสารเหล่านี้ทำได้โดยการตัดชิ้นส่วนของสารเหล่านี้ให้ได้ขนาดซึ่งก่อให้เกิดเรโซแนนซ์ของคลื่นในความถี่ตามต้องการ

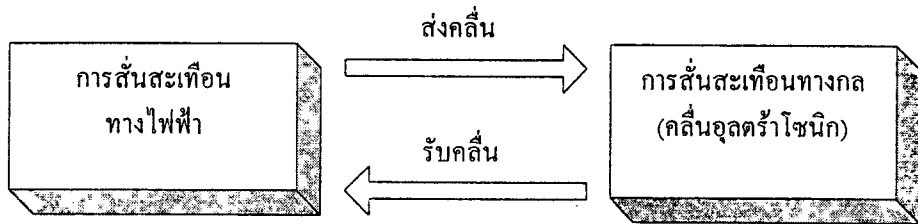


รูปที่ 3.1 หลักการเกิดคลื่นอุลตราโซนิก

การทำให้เกิดคลื่นจะทำได้โดยการเคลือบผิวสองด้านของตัวทรานสดิวเซอร์ด้วยเงินเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าเมื่อส่งพัลส์ (Pulse) ของไฟกระแสดตรงเข้าสู่ตัวทรานสดิวเซอร์นี้จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนทางด้านความหนา อันเนื่องมาจากการยืดและหดของตัวทรานสดิวเซอร์เอง จะเห็นได้ว่าการสั่นของกระแสไฟฟ้าจะถูกตัวทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนเป็นการสั่นทางกลและการสั่นสะเทือนนี้เองจะถูกส่งไปยังชิ้นวัสดุที่จะตรวจสอบในรูปของคลื่นอุลตราโซนิก (ดูรูปที่ 3.1)

ในทางกลับกัน ถ้าหากมีการสั่นสะเทือนทางกลที่มีความถี่สูงส่งมายังตัวทรานสดิวเซอร์จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วทั้งสองของทรานสดิวเซอร์ โดยมีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นที่เข้ามา และเกิดความต่างศักย์แปรผันตามความเข้มของคลื่นนั้น กล่าวคือ คลื่นความสั่นสะเทือนทางกลจะถูกแปลงเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นการตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิกด้วย

กล่าวโดยสรุปวิธีการทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกและวิธีการตรวจจับคลื่นเป็นปรากฏการณ์เดียวกันแต่ใช้ขั้นตอนตรงกันข้ามกัน

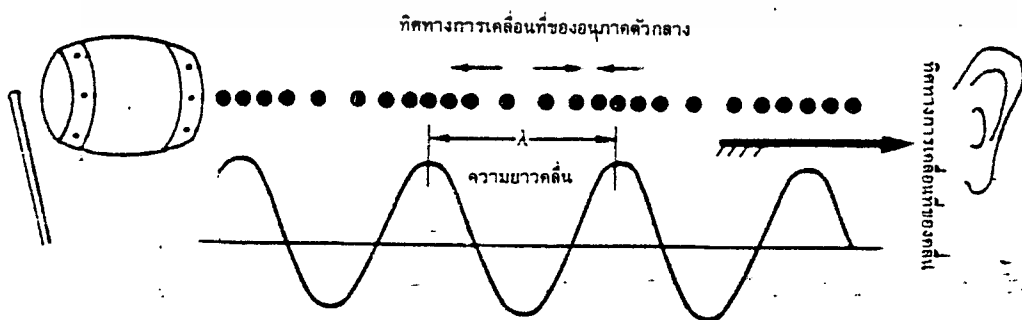


ในทางปฏิบัติเครื่องมือตรวจหารอยร้าวโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส่วนใหญ่มักใช้ตัวทรานสดิวเซอร์ตัวเดียว ทั้งในการรับและการส่งคลื่นอัลตราโซนิก

3.2) ชนิดของการสั่นสะเทือน

เวลาที่กลองถูกตีแผ่นหนังของกลองที่ซึ่งอยู่จะยุบเข้าไปในตัวกลองเล็กน้อย แต่เนื่องจากการเคลื่อนที่ของหนังกลองเป็นไปอย่างรวดเร็วมากจนทำให้อนุภาคของอากาศที่อยู่ด้านหน้าของแผ่นหนังเคลื่อนที่ตามไปด้วยไม่ทันจึงเกิดสภาพคล้ายสูญญากาศขึ้นในบริเวณนั้นชั่วระยะเวลาหนึ่ง แต่เนื่องจากว่าหนังกลองที่ยุบตัวลงนั้นเริ่มเคลื่อนที่กลับเข้ามาด้านหน้า ทำให้อากาศที่อยู่ในบริเวณนั้นเริ่มอัดตัวตามจนมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นสภาพอากาศซึ่งอยู่ชิดกับแผ่นหนังมีส่วนที่มีความหนาแน่นมากและน้อยกว่าอากาศส่วนอื่นจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคลื่นเสียงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเคลื่อนที่ของแผ่นหนังนั้น

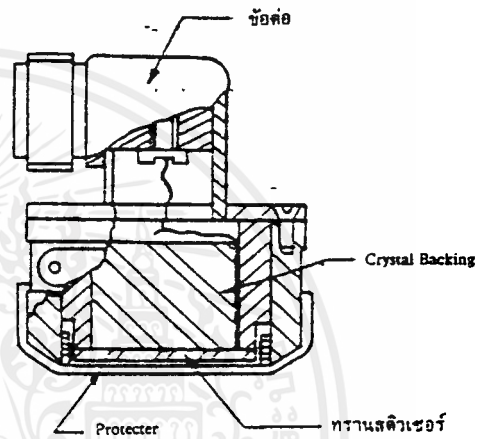
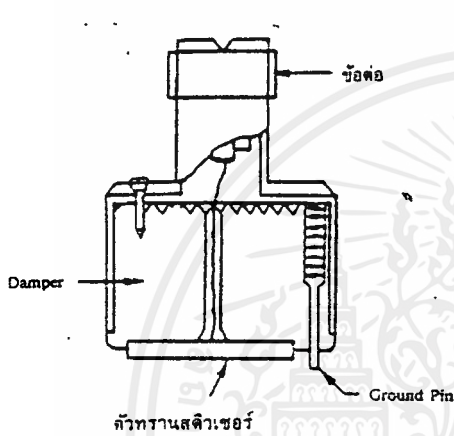
ส่วนของอากาศที่มีความหนาแน่นมากกว่าและน้อยกว่าปกติดังกล่าวนี้ ถ้าหากว่ามีช่วงระยะห่างคงที่แล้วละก็ จะเปรียบได้กับคลื่นน้ำระหว่างยอดคลื่นแต่ละยอด ซึ่งวิ่งไล่ตามกันไปโดยที่ช่วงระยะห่างระหว่างคลื่นแต่ละลูกมีค่าคงที่ ดังนั้นในกรณีของอากาศระยะห่างอากาศส่วนที่มีความหนาแน่นมากไปจนถึงส่วนที่มีความหนาแน่นมากถัดไปจะเรียกว่าความยาวของคลื่นเสียงนั้น (ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ)



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น
และของอนุภาคตัวกลางของคลื่นตามแนวยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ในกรณีของคลื่นเสียงนี้ ตัวคลื่นจะเคลื่อนที่ไปในแนวทิศทางเดียวกับการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของอากาศ จึงเรียกคลื่นชนิดนี้ว่า คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave หรือ คลื่น L) และคลื่นอุลตราโซนิกถูกส่งจากหัวทรานสดิวเซอร์โดยทั่วไปจะเป็นคลื่นตามยาวนี้จะออกมาในแนวตั้งฉากกับผิวของชิ้นวัสดุ และทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการนี้จะถูกเรียกว่า โพรบแนวตั้งฉาก (ดูรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 ประกอบ)

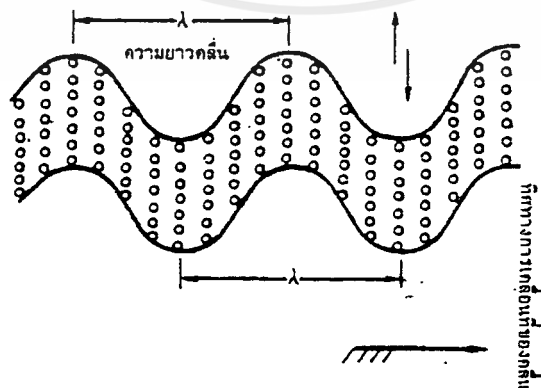


รูปที่ 3.3 โพรบแนวตั้งฉากแบบผลึกควอตซ์

รูปที่ 3.4 โพรบแนวตั้งฉากแบบเซรามิก

คลื่นตามยาวไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในตัวกลางที่เป็นก๊าซ, ของเหลวหรือของแข็งได้ แต่ว่าสำหรับของแข็งแล้ว เนื่องจากมีความต้านทานต่อแรงเฉือน (Shearing Force) ด้วย ดังนั้นในการตรวจสอบจึงสามารถใช้ คลื่นแนวขวาง (Shear Wave) กับของแข็งได้ด้วย คลื่นตามแนวขวางนี้ อนุภาคในตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปจะเคลื่อนในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น

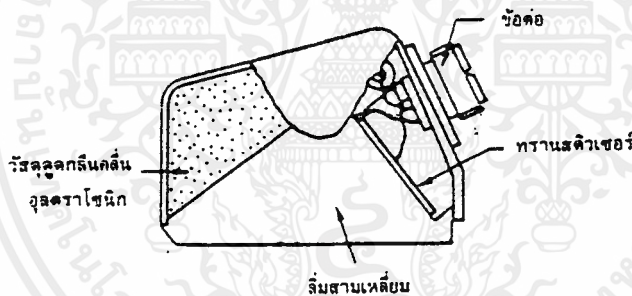
ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง และทิศทางของคลื่นสำหรับคลื่นในแนวขวาง

ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวางแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าคลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง คลื่นตามแนวขวางนี้จะมียู่งเฉพาะในของแข็ง และไม่ปรากฏในตัวกลางซึ่งเป็นของเหลวหรือก๊าซ

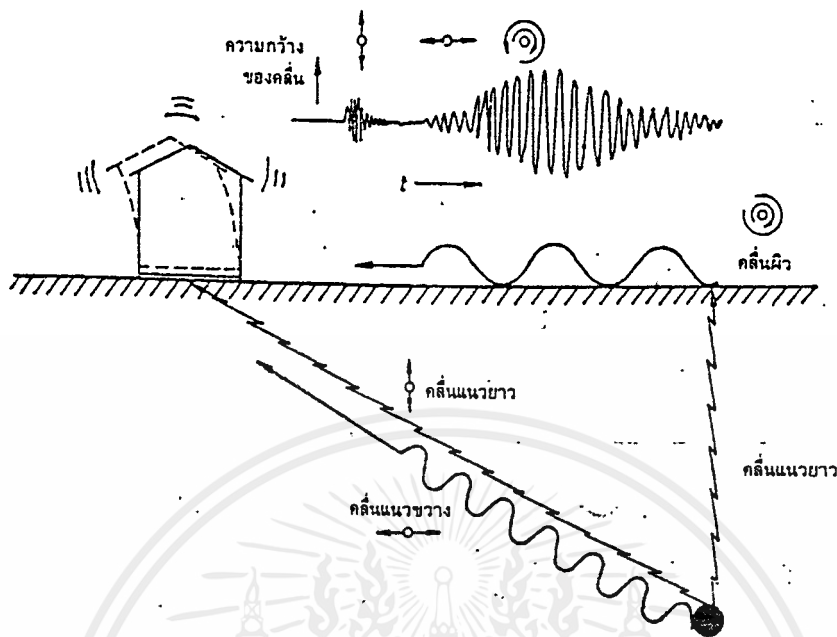
รูปที่ 3.6 แสดงรูปของเครื่องตรวจหารอยบกพร่องแบบส่งคลื่นในแนวทำมุม ซึ่งส่วนประกอบภายในของโพรบประเภทนี้จะมีลิ้มสามเหลี่ยมทำด้วยเรซินสังเคราะห์(เช่น พวกร Acrylic) ที่ผิวด้านหนึ่งจะมีตัวทรานสดิวเซอร์ซึ่งส่งคลื่นอัลตราโซนิกติดอยู่ เมื่อคลื่นอัลตราโซนิกถูกส่งออกจากตัวทรานสดิวเซอร์ ส่วนที่เป็นคลื่นแนวยาวจะเคลื่อนที่ไปในลิ้มสามเหลี่ยมแล้วหักเหเข้าสู่วัสดุสัมผัส ปกติในการตรวจสอบโดยวิธีทำมุมกับผิวนี้คลื่นที่เคลื่อนที่เข้าไปภายในเนื้อวัสดุจะมีเฉพาะตามแนวขวางที่เกิดขึ้นตอนคลื่นหักเหเท่านั้น สำหรับส่วนที่เป็นคลื่นตามแนวยาวจะถูกสะท้อนกลับที่ผิวสัมผัสกับชิ้นวัสดุ คลื่นที่สะท้อนกลับมานี้จะเป็นสัญญาณรบกวนเข้าสู่ทรานสดิวเซอร์ได้ เพื่อป้องกันคลื่นรบกวนนี้จึงทำให้ต้องมีการใส่วัสดุคูกคลื่นอัลตราโซนิกไว้ที่ผิวด้านหนึ่งของลิ้มสามเหลี่ยม



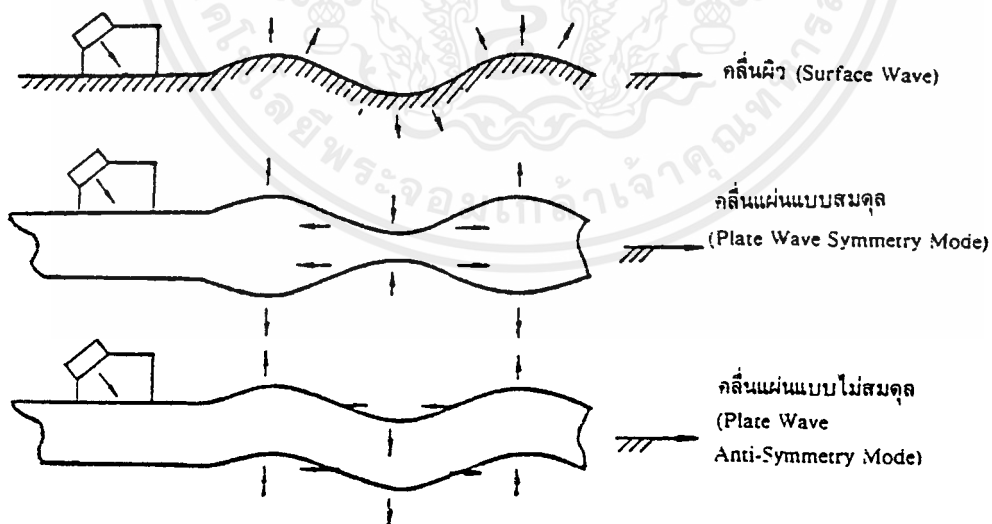
รูปที่ 3.6 โพรบในแนวทำมุม (Angle Probe)

คลื่นที่เคลื่อนที่ไปภายในของแข็งนั้น นอกจากคลื่นในแนวขวางและคลื่นในแนวยาวที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว ยังมีคลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามผิวของของแข็งซึ่งเรียกว่า คลื่นผิว (Surface Wave) และคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแผ่นของแข็งบางๆ ทั้งแผ่นพร้อมกันซึ่งเรียกว่า คลื่นแผ่น (Plate Wave) เกิดขึ้นอีกด้วย

ในการเกิดแผ่นดินไหวคลื่นความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยคลื่นทั้งสามชนิด คือ คลื่นแนวยาว , คลื่นแนวขวาง และ คลื่นผิว เนื่องจากคลื่นทั้งสามมีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างกัน ดังนั้นจุดที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวจะรู้สึกถึงการสั่นสะเทือนถึง 3 ครั้ง อันเนื่องมาจากคลื่นแนวยาว คลื่นแนวขวาง และ คลื่นผิว ตามลำดับ แต่สำหรับจุดที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวแล้วจะรู้สึกถึงการสั่นสะเทือนเพียงครั้งเดียวเนื่องจากคลื่นทั้งสามมาถึงพร้อมกัน

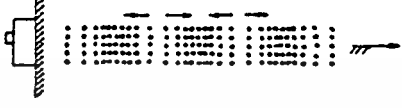


รูปที่ 3.7 ชนิดของคลื่นที่เกิดเนื่องจากแผ่นดินไหว



รูปที่ 3.8 คลื่นผิวและคลื่นแผ่น

ตารางที่ 3.1 ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิก (Mode)

ชนิด	ลักษณะการสั่นสะเทือนและทิศทางการเคลื่อนที่	หมายเหตุ
คลื่นแนวยาว	อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่ขนานกับทิศของคลื่น การเคลื่อนไหวของอนุภาคตัวกลาง ทิศทางของคลื่น โพรบตั้งฉาก (Normal Probe) 	ในน้ำและอากาศจะมีเฉพาะคลื่นตามแนวยาว
คลื่นแนวขวาง	อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศของคลื่น ทิศทางของคลื่น โพรบทำมุม (Angle Probe)  การเคลื่อนไหวของอนุภาคตัวกลาง	จะปรากฏอยู่ในตัวกลางของแข็งเท่านั้น และมีความเร็วประมาณครึ่งหนึ่งของคลื่นแนวยาว

บทที่ 4

คุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิก

4.1) ความเร็วของคลื่นเสียง

ตามที่ได้ศึกษากันมาจกตำราในสถานศึกษาต่าง ๆ นั้น ความเร็วของเสียงในอากาศจะมีค่าเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วในน้ำ (ที่ 20°C) จะมีค่าเท่ากับ 1,500 เมตรต่อวินาที และความเร็วของคลื่นแนวยาวในโลหะจะมีค่าเท่ากับ 5,900 เมตรต่อวินาที จากตัวเลขเหล่านี้พอจะสรุปได้ว่าความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางใดๆ จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางนั้นด้วย

บางคนอาจเคยมีประสบการณ์เกี่ยวกับการสังเกตการเคลื่อนที่ของรถไฟคือ ในขณะที่รถไฟเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ ก่อนที่จะได้ยินเสียงของรถไฟจะได้ยินเสียงของล้อที่กระทบกับรางมาตามรางรถไฟที่เป็นเหล็กนั้นก่อน ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเสียงส่งผ่านมาตามรางเหล็กได้เร็วกว่าการส่งผ่านในอากาศถึง 20 เท่า

4.2) ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่น

ความยาวคลื่นของเสียงจะถูกกำหนดโดยความเร็วและความถี่ของคลื่นนั้น ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าให้คลื่นแนวยาวเคลื่อนที่ไปในตัวกลางโลหะด้วยความถี่ 1 MHz (10⁶ Hz) เนื่องจากความเร็วของคลื่นตามแนวยาวในเนื้อโลหะมีค่าเท่ากับ 5,900 m/s (หมายความว่าในทุกๆ 1 วินาที คลื่นจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง 5,900 เมตร) ดังนั้น ถ้าให้ λ (แลมดา) แทนค่าความยาวคลื่นของเสียงในเนื้อโลหะแล้ว ค่า λ นี้จะคำนวณได้จาก

$$\lambda = \frac{5,900}{10^6} = \frac{5,900 \times 10^3}{10^6} = \frac{5.9 \times 10^6}{10^6} = 5.9 \text{ mm}$$

กล่าวคือ ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 5.9 mm ถ้าความถี่ของเสียงเปลี่ยนไปเป็น 2 MHz ตามวิธีการคำนวณนี้แล้ว ความยาวคลื่นจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง คือ 2.95 mm

ถ้าให้ C แทนค่าความเร็วของคลื่นเสียง แล้วให้ f แทนค่าความถี่ของคลื่นเสียงแล้ว ความยาวคลื่นจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\lambda = C/f \tag{4.1}$$

สมการนี้นอกจากจะใช้คำนวณเกี่ยวกับคลื่นเสียง (คลื่นความยืดหยุ่นของวัสดุ) แล้ว ยังสามารถใช้คำนวณเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ด้วย ในกรณีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า C จะมีค่าเท่ากับความเร็วของแสง (3×10¹⁰ cm/s)

ตารางที่ 4.1 ความเร็วเสียงและความยาวคลื่นที่มีความถี่ 1 MHz ในวัสดุชนิดต่างๆ

	คลื่นแนวยาว		คลื่นแนวขวาง	
	ความเร็วเสียง ($\times 10^3$ m/s)	λ (mm)	ความเร็วเสียง ($\times 10^3$ m/s)	λ (mm)
อลูมิเนียม	6.26	6.26	3.08	3.08
เหล็ก	5.90	5.90	3.23	3.23
ทองแดง	4.70	4.70	2.26	2.26
กระจกอินทรี	2.72	2.72	1.46	1.46
น้ำ (20°C)	1.48	1.48	ในตัวกลางที่เป็นของเหลว และก๊าซจะไม่มีคลื่นใน แนวขวาง	
น้ำมันหม้อแปลง	1.39	1.39		
กลีเซอริน	1.92	1.92		
อากาศ	0.34	0.34		

ตารางที่ 4.1 แสดงความเร็วของคลื่นเสียงและความยาวคลื่นอัลตราโซนิกในตัวกลางต่างๆ เมื่อคลื่นนั้นมีความถี่ 1 MHz ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการรู้ความยาวคลื่นสำหรับคลื่นความถี่ 5 MHz ให้หารตัวเลขความยาวคลื่นในตาราง (สำหรับคลื่นความถี่ 1 MHz) ด้วย 5 ก็จะได้ค่าความยาวคลื่นตามต้องการ

4.3) การสะท้อนของคลื่นเมื่อคลื่นตกกระทบในแนวตั้งฉาก

ตามที่ได้กล่าวแล้วว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปถูกจุดบกพร่องหรือรอยร้าวหรือผิวด้านตรงข้ามของวัสดุจะเกิดการสะท้อนกลับ จุดบกพร่องหรือผิวด้านหลังของวัสดุนี้ กล่าวรวมกันก็คือ เนื้อของวัสดุที่ขาดความต่อเนื่องหรือเป็นรอยต่อระหว่างตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ไปกับตัวกลางอื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบในแนวตั้งฉากกับรอยต่อของตัวกลางต่างชนิดนี้ คลื่นส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านต่อไป และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้าไปในตัวกลางเดิมอีก อัตราส่วนของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับและส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านต่อไปจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเสียงที่เรียกว่า อิมพีแดนซ์เสียง (Acoustic Impedance) ของตัวกลางทั้งสองนั้น

อิมพีแดนซ์เสียง, Z นี้เป็นผลคูณระหว่างความเร็วของเสียงในตัวกลางนั้นกับความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แน่นในตัวกลาง, p หรือจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Z = C \times p \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

ที่รอยต่อของตัวกลางสองชนิด ถ้าให้ Z_1 และ Z_2 เป็นอิมพีแดนซ์เสียงของตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับแล้วสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของความดันเสียง r (Reflection of Sound Pressure)

ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความดันของเสียงส่วนที่สะท้อนกลับ P_r ต่อความดันของเสียงทั้งหมดที่ตกกระทบ P_o จะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$r = \frac{P_r}{P_o} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

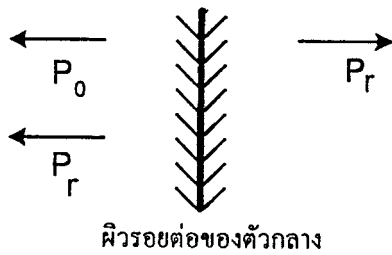
ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราจินตนาการระนาบรอยต่อในเนื้อโลหะเดียวกันขึ้นมาอันหนึ่ง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบระนาบนี้จะไม่มีการสะท้อนกลับ ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสองข้างของระนาบจินตนาการนี้เป็นเนื้อของตัวกลางเดียวกันทำให้ $Z_1 = Z_2$ จากการแทนค่าในสมการ (4.2) จะได้ $r=0$ การคำนวณนี้ทำให้ทราบว่าสำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวกลางชนิดเดียวกันแล้ว คลื่นจะไม่สะท้อนกลับ แต่เคลื่อนที่ผ่านไปทั้งหมด

สำหรับในกรณีของการสะท้อนของคลื่นที่ผิวด้านหลังของชิ้นวัสดุนั้น ถ้าหากทำด้วยโลหะแล้วค่าอิมพีแดนซ์เสียงของอากาศจะน้อยกว่าค่าอิมพีแดนซ์เสียงของเนื้อโลหะมาก ($Z_1 > Z_2$) ดังนั้นจากสมการ (4.6) r หรืออัตราส่วนของการสะท้อนกลับของคลื่นจะมีค่าเกือบจะเท่ากับ 100%

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวัสดุต่างๆ และสัมประสิทธิ์การสะท้อนของความดันเสียงระหว่างตัวกลางเหล่านี้ (คิดเป็น %) ยกตัวอย่างเช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างเหล็กและน้ำมีค่าเท่ากับ 94% ตามตารางหมายความว่า ถ้าให้ชิ้นวัสดุที่เป็นเหล็กจุ่มอยู่ในน้ำ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่มาในเนื้อเหล็กมากระทบกับผิวเหล็กส่วนที่สัมผัสกับน้ำแล้ว 94% ของคลื่นเสียงจะสะท้อนกลับเข้าไปในเนื้อเหล็ก

4.4) สารช่วยการสัมผัส (Couplant)

การหารอยร้าวโดยให้ตัวโพรบสัมผัสกับชิ้นวัสดุโดยตรงนั้น ได้มีการใช้ของเหลว(ในบางกรณีอาจจะเป็นของแข็ง)ทาที่ผิวสัมผัสของวัสดุเพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างตัวทรานสดิวเซอร์และผิววัสดุเป็นการช่วยให้คลื่นส่งผ่านไปได้โดยสะดวก ของเหลวเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า สารช่วยการสัมผัส (Couplant) (อ่านหัวข้อที่ 2.3 วิธีทดสอบโดยสัมผัสประกอบ)



รูปที่ 4.1 การสะท้อนและส่งผ่านไปของคลื่นอุลตราโซนิก

ตารางที่ 4.2 อัตราการสะท้อน r (%) ของคลื่นแนวยาวซึ่งตกกระทบในแนวตั้งฉาก

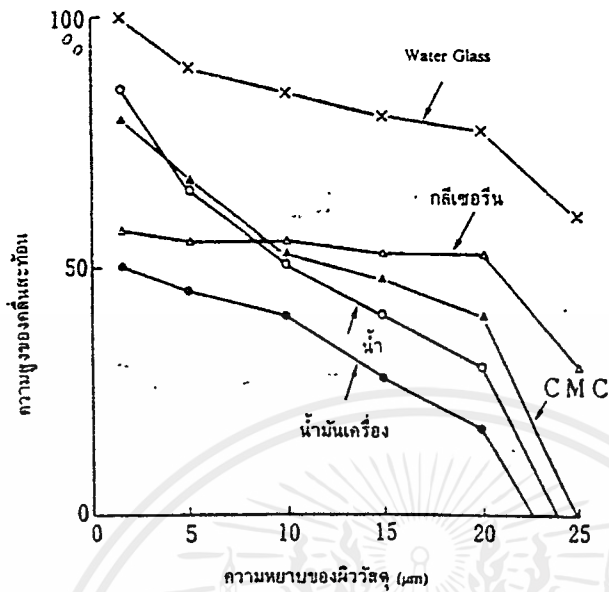
ชนิดของวัสดุ	อิมพีแดนซ์เสียง ($10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$)	อากาศ	น้ำมัน	น้ำ	กลีเซอริน Resin	Acry	เหล็ก
อลูมิเนียม	16.9	100	86	84	75	68	48
เหล็ก	45.4	100	94	94	90	87	
Acry Resin	3.2	100	42	36	14		
กลีเซอริน	2.4	100	30	23			
น้ำ(20°C)	1.5	99.9	7				
น้ำมัน	1.3	99.9					
อากาศ	4×10^{-4}						

สารช่วยการสัมผัสนี้สำหรับผิวเรียบอาจจะเป็นพวกน้ำมัน เช่น น้ำมันเครื่องหรือน้ำก็ได้ แต่ถ้าในกรณีของวัสดุที่มีผิวขรุขระ ไม่ราบเรียบเนื่องจากการตีขึ้นรูป หรือสำหรับวัสดุผิวโค้งแล้ว กลีเซอริน หรือ Water Glass* ซึ่งมีอิมพีแดนซ์เสียงสูงจะเป็นสารที่ช่วยในการสัมผัสได้ดีกว่า

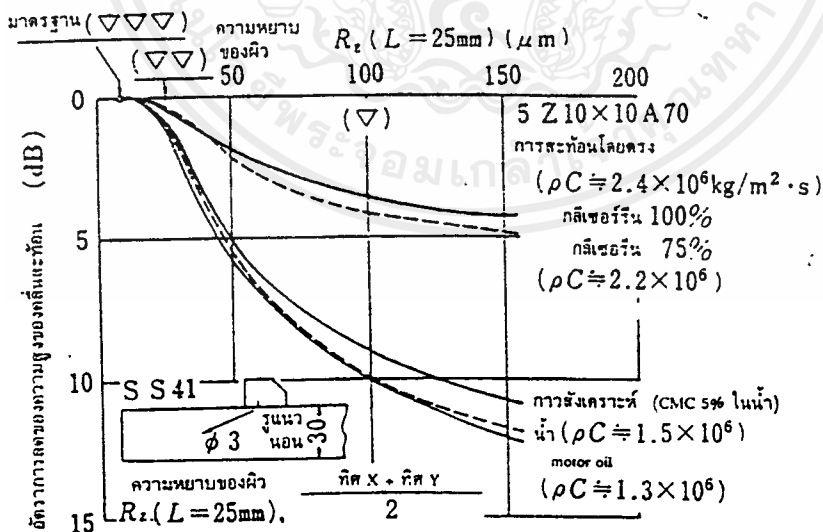
สำหรับวัสดุที่มีผิวในแนวเอียงหรือแนวตั้งฉาก ในการตรวจสอบหารอยร้าวของผิวในสภาพดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยในการสัมผัส ซึ่งมีความหนืดสูง เช่น พวกกาวสังเคราะห์** กาวจากแป้ง หรือพวกไข (Grease) ช่วยในการตรวจสอบ (ดูรูปที่ 4.2 และ 4.3 ประกอบ)

* เป็น Silicie Alkaline ขายกันในสภาพสารละลายเข้มข้น มีลักษณะใสและเหนียวเมื่อปล่อยให้แห้งในอากาศจะมีลักษณะแข็งคล้ายแก้ว

** เป็นกาวสังเคราะห์ที่มี Sodium Glycol เป็นวัสดุหลัก ชื่อทางการค้าคือ CMC เวลาใช้จะละลายด้วยน้ำหรือกลีเซอรินก่อน



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของความหยาบของผิววัสดุต่อความสูงของคลื่นสะท้อนเมื่อคลื่นตกเป็นมุมฉากกับผิว (กรณีของโพรบที่ตั้งฉากที่ไม่มีชั้นยึดหยุ่นหุ้มอยู่ และความถี่เป็น 5 MHz)

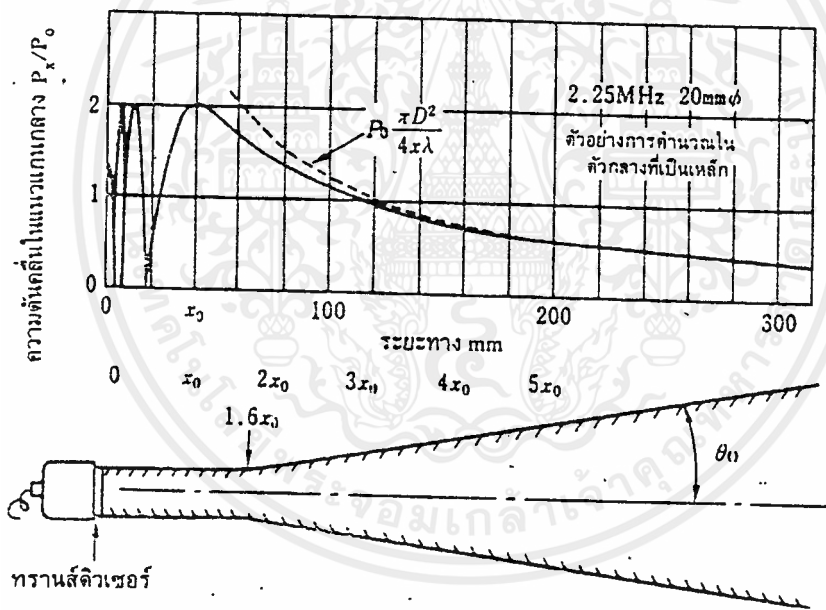


รูปที่ 4.3 ผลกระทบของความหยาบของผิววัสดุต่อความสูงของคลื่นสะท้อนเมื่อคลื่นตกในแนวทำมุมกับผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

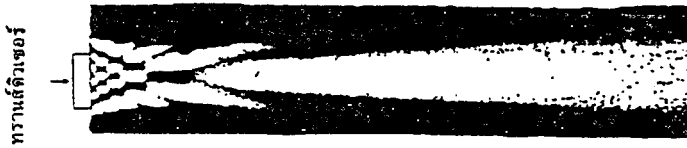
4.5) สนามในบริเวณใกล้และความสามารถในการชี้ทิศ (Near Field and Directivity)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าตัวทรานสดิวเซอร์ที่เป็นตัวให้กำเนิดคลื่นเสียงนั้นจะมีลักษณะเป็นแผ่นวัสดุบางๆ และส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นกลม เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าตรงไปที่วัสดุจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นลงทำให้เกิดคลื่น การสั่นสะเทือนของแผ่นวัสดุนี้จะคล้ายกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ทำให้คลื่นที่ได้จากการสั่นสะเทือนนี้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันเป็นลำขนานมีขนาดเท่ากับขนาดของแผ่นวัสดุกลมนี้ แต่ทว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปได้ระยะหนึ่งจนลักษณะการเคลื่อนที่แบบลูกสูบ (Piston Movement) อ่อนแรงลงแล้วจะพบว่าคลื่นเริ่มแตกกระจายแยกตัวบานออกจากกัน (ดูรูปที่ 4.3)



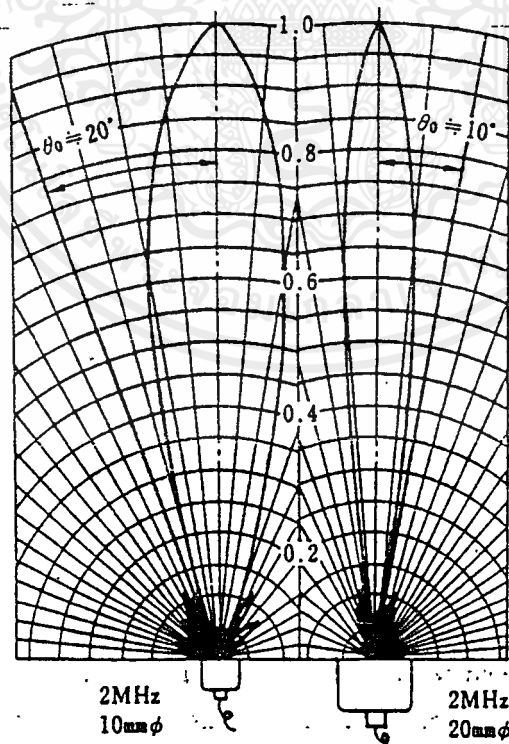
รูปที่ 4.3 ลำคลื่นเสียงซึ่งเกิดจากตัวทรานสดิวเซอร์

ตามรูประยะทางการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นลำขนานคือ X_0 จะเรียกว่า ระยะของสนามบริเวณใกล้ระยะ X_0 ที่กล่าวนี้ การกระจายของความดันของคลื่นเสียงเป็นไปอย่างสลับซับซ้อน ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการสอดแทรกกันเอง (Self Interference) ของคลื่น ทำให้ความดันของคลื่นเสียงบนแนวแกนที่คลื่นเคลื่อนที่ไปมีค่าสูงต่ำไม่แน่นอน แต่ทว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเลยระยะ X_0 คลื่นจะมีระยะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากขึ้นเรื่อยๆ (ดูรูปที่ 4.4 ประกอบ)



รูปที่ 4.4 ลักษณะของลำคลื่นจากตัวทรานส์มิเตอร์(ส่วนที่มีสีขาวจะมีความดันเสียงสูง)

จากระยะ X_0 ออกไปอีกจนถึงระยะ 1.6 เท่าของ X_0 คลื่นเสียงอุลตราโซนิกจะบานขยายออกด้วยมุม θ_0 ซึ่งจะหมายความว่าความดันของคลื่นเสียงจะมีค่าสูงสุดที่บริเวณแกนกลางของการเคลื่อนที่ แต่ความดันของคลื่นเสียงนี้จะมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ แนวที่เส้นขอบนอกซึ่งทำมุม θ_0 มุม θ_0 มีชื่อเรียกว่ามุมถ่างออก ถ้ามุม θ_0 นี้มีค่าน้อยจะมีความสามารถในการชี้ทิศสูง (ดูรูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการชี้ทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

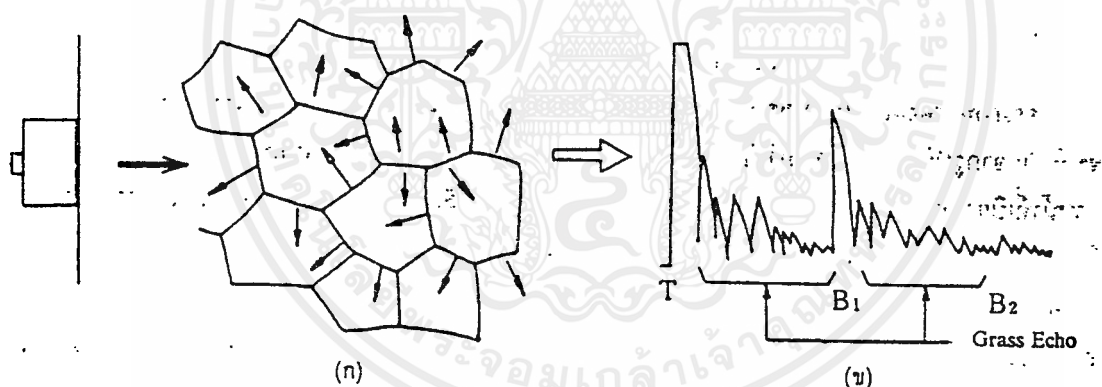
ถ้าให้ความดันเฉลี่ยของคลื่นเสียงที่บริเวณส่วนหน้าของตัวส่งคลื่นมีค่าเป็น P_o และความดันคลื่นเสียงในระยะทาง X ใดๆ บนแกนกลางมีค่าเป็น P_x แล้ว P_x จะสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$P_x = \frac{\pi D^2 P_o}{4\lambda X}$$

$$= \frac{A}{\lambda} \cdot \frac{P_o}{X} \quad \text{.....(4.4)}$$

(มีข้อแม้ว่า $X > X_o$)

จะเห็นได้ว่าความดันของคลื่นจะแปรผกผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดของตัวส่งคลื่น ($A = \pi D^2/4$) กับความยาวคลื่นและระยะทาง X การที่ความดันคลื่นแปรผกผันกับระยะทางนี้เองทำให้คลื่นเสียงเมื่อเคลื่อนตัวไกลออกไปจะมีกำลังลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางนั้น (Divergence Loss)



รูปที่ 4.6 การอ่อนกำลังและการกระจัดกระจายของคลื่นอุลตราโซนิกที่ขอบเกรนของผลึก (Crystal Grain Boundary)

ถ้าให้เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวคลื่นส่งเป็น D (mm), ความยาวคลื่นเป็น λ (mm), ความเร็วคลื่นเป็น C (mm/s), และความถี่ของคลื่นเป็น f (Hz) แล้วจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$X_o = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4C} \quad \text{.....(4.5)}$$

$$\sin \theta_o = \frac{1.2 \lambda}{D} = \frac{1.2 C}{D \cdot f} \quad \text{.....(4.6)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สมการค่าประมาณ : } \theta_0 = 70 \frac{\lambda}{D} \quad \text{.....(4.7)}$$

เนื่องจากเนื้อโลหะนั้นเป็นการจับเข้าด้วยกันของเกรนโลหะ ถ้าเกรนในเนื้อโลหะนี้ถ้ามีขนาดใหญ่มาๆดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.24 (ก) จะทำให้คลื่นอัลตราโซนิกเกิดการสะท้อนที่รอยต่อระหว่างเกรนหรือขอบเกรน(Grain Boundary) แล้วการจัดกระจายอ่อนกำลัง การกระจายของคลื่นที่รอยระหว่างเกรนนี้จะปรากฏเป็นคลื่นสะท้อนบนจอแสดงผลของเครื่องมือตรวจสอดดังรูปที่ 4.24(ข) จึงมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Grass Echo การที่คลื่นอัลตราโซนิกอ่อนกำลังลงโดยวิธีนี้จะเรียกว่า การอ่อนกำลังการจัดกระจาย (Attenuation by Scattering) กล่าวโดยสรุปเมื่อคลื่นอัลตราโซนิกเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใดๆ คลื่นจะอ่อนกำลังโดยปรากฏการณ์สองอย่างคือ โดยการถ่างออกของลำคลื่น และ โดยการกระจายการจัดกระจายดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

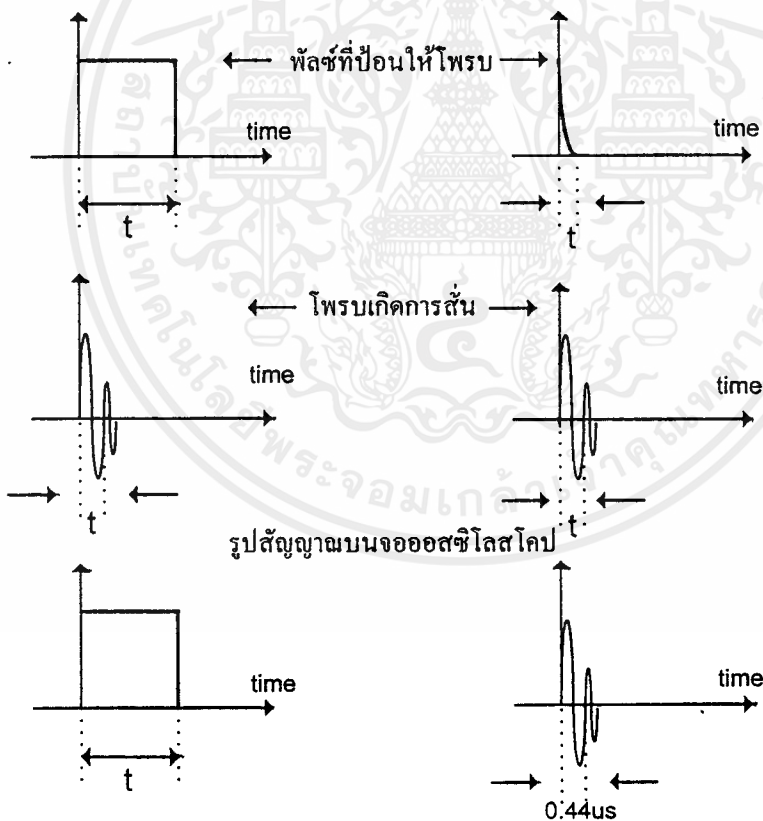


บทที่ 5

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดออสซิลโลสโคป

5.1) แนวคิดในการออกแบบวงจร

จากหัวข้อ 3.1 ทำให้เกิดคลื่นออสซิลโลสโคปและวิธีการรับคลื่นการให้พัลส์แก่โพรบจำเป็นต้องกำหนดความกว้างของโพรบ และพัลส์ที่ให้อาจเป็นสัญญาณต่อเนื่อง เหตุที่ต้องกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ เมื่อโพรบได้รับสัญญาณจะปรากฏสัญญาณไซน์เวฟ (sine wave) ตามคุณลักษณะของหัวโพรบ (Spect) ที่ใช้งานในโครงการนี้ใช้ความถี่ 2.25 MHz นั่นคือสัญญาณพัลส์จะต้องหายไปก่อนที่จะเกิดสัญญาณไซน์เวฟ มิฉะนั้นสัญญาณที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปจะเป็นรูปสัญญาณพัลส์ ดูรูป 5.1 ประกอบ ซึ่งพัลส์ในรูปที่ 5.1 ข) เราจะเรียกว่า อิมพัลส์ (Impulse)

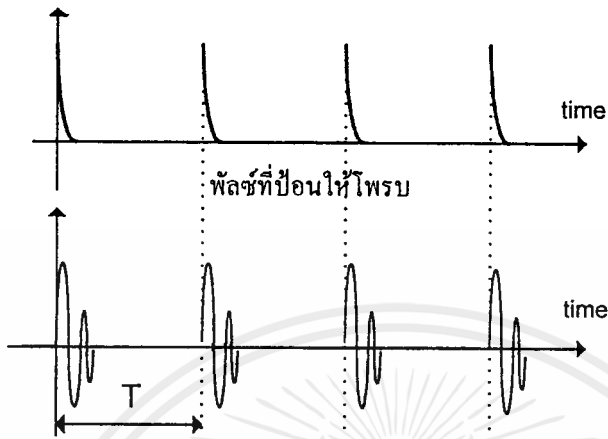


ก) เมื่อ $t \gg 1/2.25 \text{ MHz} = 0.444 \mu\text{S}$

ข) เมื่อ $t \ll 1/2.25 \text{ MHz} = 0.444 \mu\text{S}$

รูปที่ 5.1 ลักษณะของพัลส์ที่ป้อนให้โพรบ

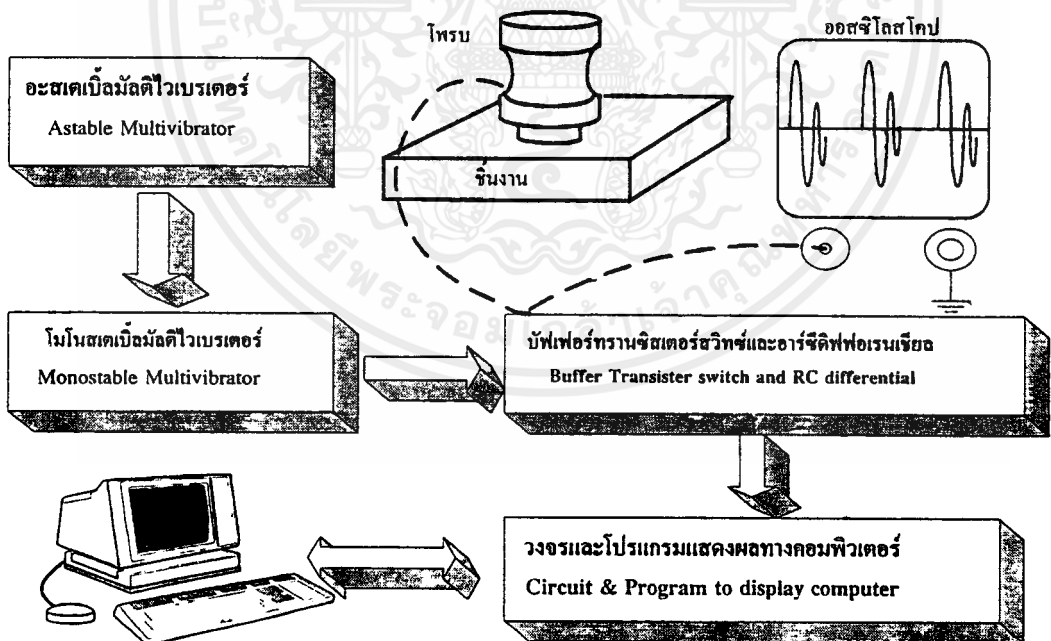
รูปสัญญาณที่จะให้ปรากฏ ตลอดเวลาบนจอออสซิลอโคปต้องเป็นรูปสัญญาณที่เป็นรายคาบ นั้นหมายถึงเราจะให้อิมพัลส์เป็นรายคาบ (periodic) แก่โฟรบ ตามรูป 5.2



รูปสัญญาณที่ปรากฏบนออสซิลอโคป

รูปที่ 5.2 สัญญาณรายคาบจากหัวโฟรบ

ในการกำหนดค่า T ในรูป 5.2 เราจะกำหนดการใช้งาน (Application) ว่าเราจะนำไปใช้ตรวจกับโลหะใด ความหนาเท่าไร ซึ่งจะอธิบายในส่วนต่อไป

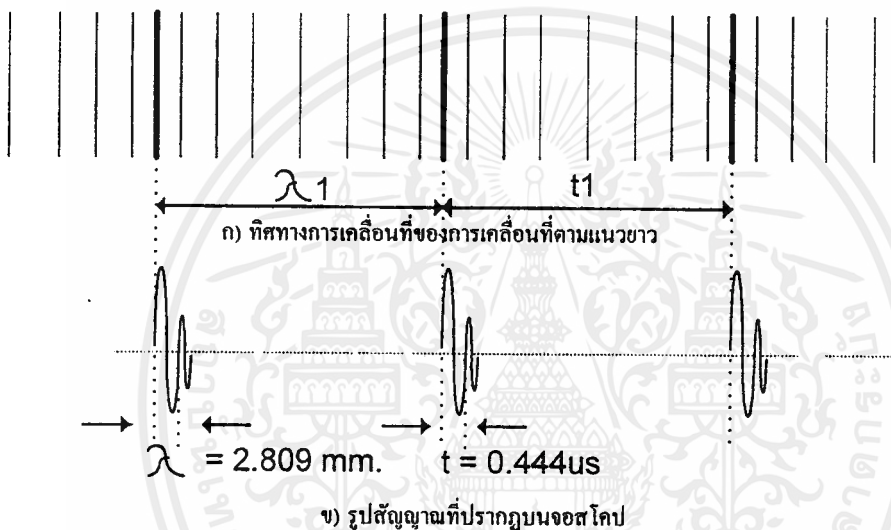


รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดรอยร้าวด้วยอัลตราโซนิกแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2) วงจรกำเนิดสัญญาณอะสเตเบิลและโมนอสเตเบิล

จากรูปที่ 5.3 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่เป็นรายการตลอดเวลาเพื่อที่จะให้ออสซิลโลสโคปสามารถจับสัญญาณได้ การกำหนดความกว้างของพัลส์จะพิจารณาจากหัวข้อ 4.2 ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่น ในโครงการนี้เราใช้อัลตราโซนิก 2.25 MHz ในการวัดหารอยร้าวหรือตำหนิของชิ้นงาน ชิ้นงานที่เราทดสอบคือ อะลูมิเนียมซึ่งมีค่าความเร็วของเสียง 6,260 m/s นั้นหมายความว่าในทุกๆ 1 วินาที คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง 6,260 เมตร จากสมการที่ 4.1 $\lambda = C / f$ หรือ $\lambda = Ct$



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ λ กับ T

จากรูปที่ 5.4 T ที่เราอ่านได้ (หน่วยเป็นวินาที) เอาไปแทนในสมการ 4.1 ค่าที่ได้คือ λ หน่วยเป็นเมตร ซึ่งค่า λ นี้สามารถนำไปหาความหนาของชิ้นงานได้ โดย

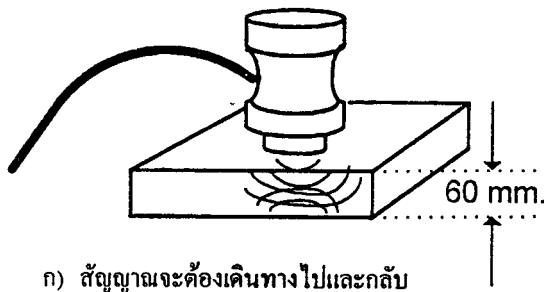
$$\text{ความหนาของชิ้นงาน} = \lambda / 2 \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

นั่นหมายความว่าถ้าเรากำหนด ความหนาสูงสุดที่หัวอัลตราโซนิกสามารถวัดได้ขึ้นมา เราก็สามารถหา T ได้โดยสมการ 5.1 ในชิ้นงานทดสอบเราวัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ได้ค่า 60 mm เป็นอะลูมิเนียม ฉะนั้น แทนค่าลงในสมการ 5.1

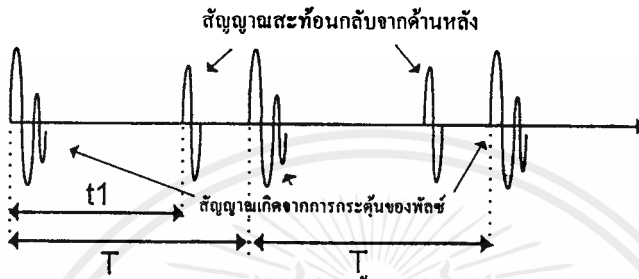
$$\begin{aligned} \lambda &= 60 \text{ mm} * 2 \\ \lambda &= 120 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(5.2) \end{aligned}$$

เราเอาค่า λ ในสมการ 5.2 แทนในสมการ 4.1 $\lambda = Ct$

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{120 \text{ mm}}{6,260 \text{ m/s}} \\ t_1 &= 0.0191 \text{ ms} \quad \dots\dots\dots(5.3) \end{aligned}$$



ก) สัญญาณจะต้องเดินทางไปและกลับ



ข) สัญญาณกระตุ้นในแต่ละครั้งของช่วงเวลา T

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ในการกระตุ้นสัญญาณ

ในทางปฏิบัติค่าของ T จะมากกว่าประมาณ 20 - 30 เท่าของ t_1 มิฉะนั้นสัญญาณในการกระตุ้นครั้งใหม่จะไปทับกับสัญญาณสะท้อนกลับจากด้านหลัง (Back echo Signal) (อยู่ในหัวข้อ 2.1)

ในที่นี้ให้ $T \approx 30 t_1$ นั่นคือ

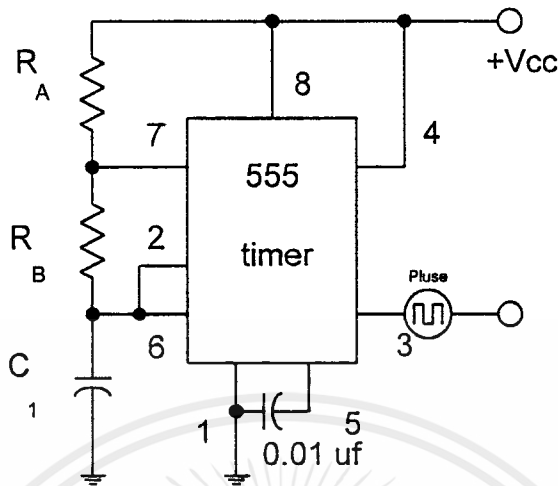
$$T = 30 * 0.0191 \text{ mS}$$

$$T = 0.573 \text{ mS} \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

ค่าที่ในสมการ 5.4 จะเอาเป็นตัวกำหนดคาบเวลาของวงจรสแตเบิลนั้นคือ

$$T_{osc} = T + T_{off} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

ในโครงการนี้เราใช้ไอซีเบอร์ 555 ทำวงจรอสเตเบิลซึ่งเป็นไอซีที่ได้รับความนิยมอีกไอซีหนึ่ง การทำงานดูได้จากเอกสารอ้างอิง ส่วนการต่อใช้งานแสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งจะใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในการกำหนดช่วงเวลา T_{osc} ถ้าให้ $T = T_{off}$



รูปที่ 5.6 แสดงการต่อใช้งานไอซี 555

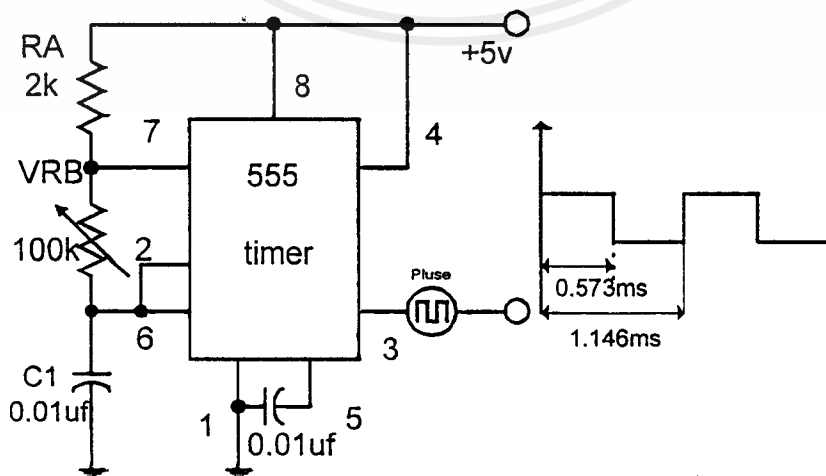
เรากำหนดให้ $R_A = 2\text{k}\Omega$ และ $C_1 = 0.01\text{ }\mu\text{F}$

จากสมการใน 5.6 แทนลงในสมการ 5.7 จะได้

$$\begin{aligned}
 872.6\text{ Hz} &= \frac{1.44}{(2\text{k}\Omega + 2R_B) 0.01\text{ }\mu\text{F}} \\
 2\text{k}\Omega + 2R_B &= 165.024\text{ k}\Omega \\
 2R_B &= 163.024\text{ k}\Omega \\
 R_B &= 81.512\text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติ R_B ที่ใช้เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้นั้นคือ VR_B

เราอาจใช้มากกว่า $81.512\text{ k}\Omega$ โดยกำหนด $VR_B \approx 100\text{ k}\Omega$ เราสามารถเขียนวงจรนี้ให้สมบูรณ์ได้เป็นดังนี้

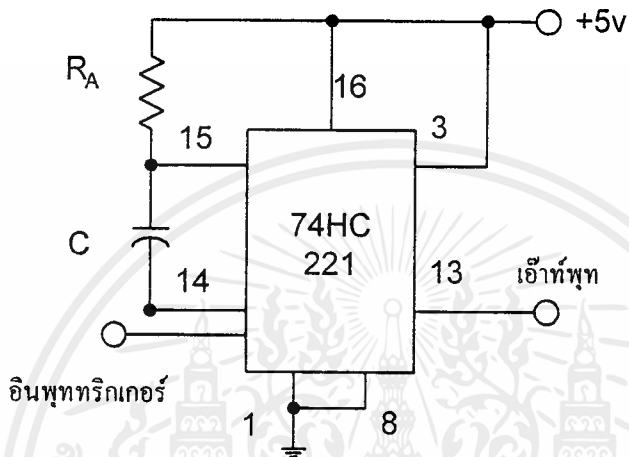


รูปที่ 5.7 วงจรอะสเตเบิล และรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรโมโนสเตเบิล เป็นวงจรที่เพิ่มความสามารถให้กับการกระตุ้นหัวโพรบ สามารถลดช่วงเวลาการเปิด(Ton)ได้ โครงงานนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74HC221 เป็นคูเอดโมโนสเตเบิลรายละเอียดสามารถดูได้จากเอกสารท้ายเล่ม รูปที่ 5.8 แสดงการต่อใช้งานของไอซีเบอร์ 74HC221 เมื่อสัญญาณมาทริกที่เป็นขอบขาขึ้น ไอซี 74HC221 จะให้พัลส์ช่วงเวลา Ton ตามสมการ 5.8

$$T_{on} = R_A \cdot C \quad \dots\dots\dots (5.8)$$



รูปที่ 5.8 แสดงการต่อใช้งานไอซี 74HC221

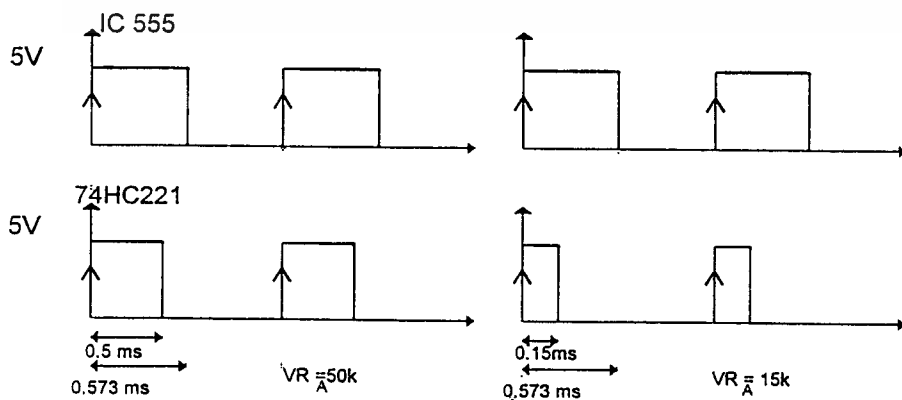
เรากำหนดให้ช่วงเวลาการเปิด(Ton)ของสัญญาณ $T_{on} = 573 \mu s$ และกำหนดให้ $C = 0.01 \mu F$ เราสามารถหาค่า R_A ได้ผลเป็นจากสมการ 5.8

$$T_{on} = R_A \cdot C$$

$$R_A = 573 \mu s / 0.01 \mu F$$

$$R_A = 57.3 k\Omega \quad \dots\dots\dots 5.9$$

ค่า R_A ที่ใช้ในทางปฏิบัติเราจะใช้ $V_{R_A} \approx 50 k\Omega$ ในการปรับช่วงเวลาเปิด(Ton)ของวงจร 74HC221



รูปที่ 5.9 แสดงการปรับช่วงเวลาเปิด(Ton)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3) บัฟเฟอร์ วงจรสวิตช์ และอาร์-ซี ดีฟเฟอร์เรนเชียล

จากแนวคิดในการออกแบบวงจรหัวข้อ 5.1 การทำให้สัญญาณจากวงจรโมโนสเตเบิล กลายเป็นอิมพัลส์ เราจะกำหนดจาก อาร์-ซี ดีฟเฟอร์เรนเชียล โดยที่ขนาดของแอมพลิจูดจะมากกว่า 10 Volts ขึ้นไป ก่อนที่จะแสดงถึงสัญญาณอิมพัลส์ จะขออธิบายถึงจุดกำเนิดอิมพัลส์กันก่อน

ฟังก์ชันหน่วยขั้นบันได (Unit Step Function) มีความหมายทางทฤษฎีวงจรไฟฟ้า คือ

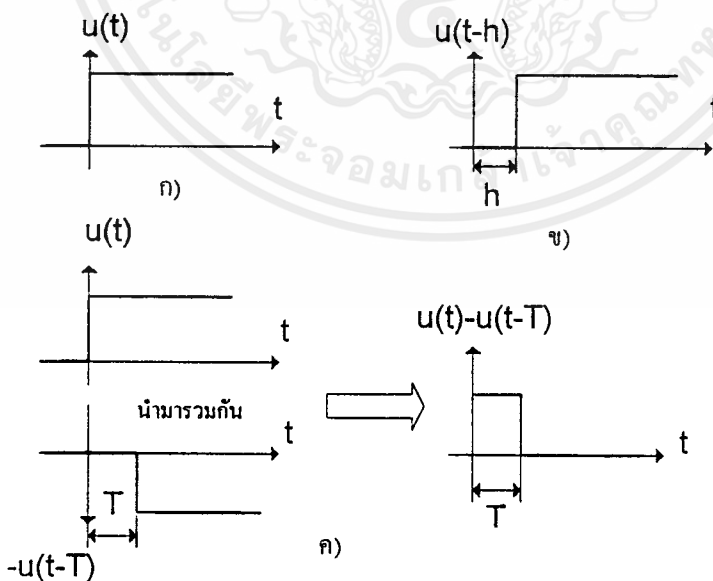
$$\begin{aligned} u(t) &= 1 & ; & t > 0 \\ &= 0 & ; & t < 0 \end{aligned} \quad \dots\dots (5.10)$$

รูปร่างของฟังก์ชันขั้นบันได แสดงได้ด้วยรูป 5.10 ก) จะสังเกตได้ว่าฟังก์ชันนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าทันทีทันใดที่เวลา $t = 0$ หรือ อาจกล่าวได้ว่าฟังก์ชันนี้ มีความไม่ต่อเนื่อง(Discontinuity) ที่เวลา $t = 0$ ดังนั้น ที่เวลานี้ เราจึงไม่สามารถบอกค่าที่แน่นอนของฟังก์ชันได้

ลักษณะตามรูป 5.10 ข) แสดงรูปของฟังก์ชันหน่วยขั้นบันไดที่ถูกเลื่อนเวลาให้เกิดซ้ำไปจากเดิม h วินาที ซึ่งเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่า $u(t-h)$ โดยที่

$$\begin{aligned} u(t-h) &= 1 & ; & t-h > 0 \text{ หรือ } t > h \\ &= 0 & ; & t-h < 0 \text{ หรือ } t < h \end{aligned} \quad \dots\dots (5.11)$$

ส่วนในรูป 5.10 ค) เป็นพัลส์ขั้นบันไดที่มีทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลง เป็นลักษณะของพัลส์



รูปที่ 5.10 แสดงฟังก์ชันหน่วยขั้นบันได

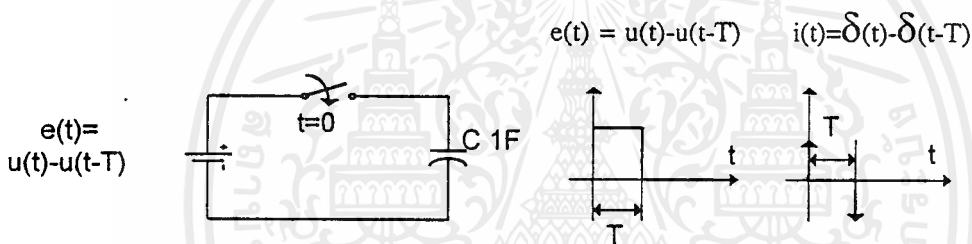
ฟังก์ชันหน่วยอิมพัลส์ จากฟังก์ชันหน่วยขั้นบันได อนุพันธ์ของฟังก์ชันหน่วยขั้นบันได สามารถแสดงเป็นตัวแปร $\delta(t)$ (เรียกว่าอิมพัลส์ฟังก์ชัน)

$$\delta(t) = \frac{du(t)}{dt} \quad \text{..... (5.12)}$$

นั่นถ้าเราต้องการสัญญาณอิมพัลส์ เราต้องการหาอุปกรณ์ที่สร้างสัญญาณอิมพัลส์ จากสมการตัวเก็บประจุในสมการ 5.13

$$i(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt} \quad \text{..... (5.13)}$$

คือ เรากำหนด ฟังก์ชันหน่วยขั้นบันไดให้กับสมการใน 5.13 กระแสที่ได้ $i(t)$ จะเป็นฟังก์ชันหน่วยอิมพัลส์สามารถแสดงในรูปที่ 5.11

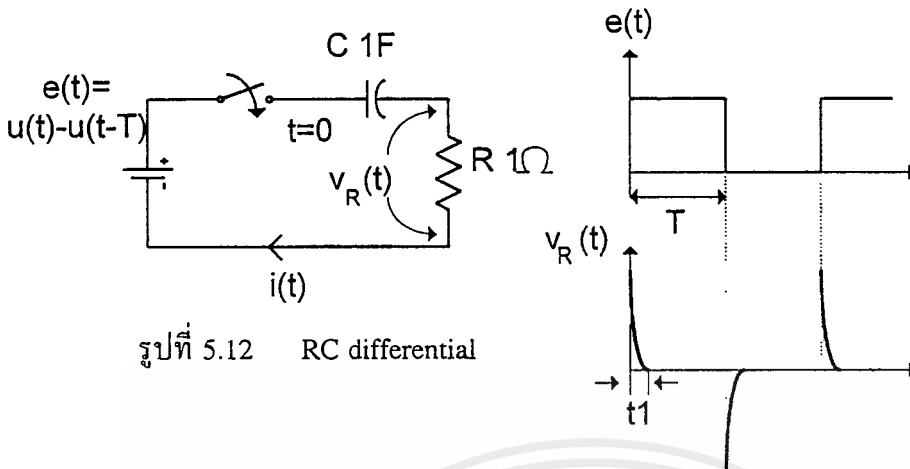


รูปที่ 5.11 แสดงเมื่อเราป้อนฟังก์ชันขั้นบันไดกับตัวเก็บประจุ

นั่นคือ

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{de(t)}{dt} \\ &= \frac{d(u(t) - u(t-T))}{dt} \\ i(t) &= \delta(t) - \delta(t-T) \quad \text{..... (5.14)} \end{aligned}$$

ในสมการ 5.14 นั้นเป็นกระแสที่เป็นฟังก์ชันแบบอินพัลส์เราไม่สามารถที่จะนำไปกระตุ้นหัวโพรบได้ การกระตุ้นหัวโพรบจะต้องใช้ แรงดัน นั่นคือเราจะต้องต่อตัวต้านทานเพิ่มในวงจร รูปที่ 5.11 วงจรที่ได้เป็น เป็นวงจร อาร์-ซี ดิฟเฟอเรนเชียล



รูปที่ 5.12 RC differential

เราสามารถหาค่า $i(t)$ ในรูปที่ 5.12 จากสมการ KVL

$$V_C(t) + V_R(t) = e(t)$$

$$(1/C) \int i(t) dt + Ri(t) = u(t) - u(t-T)$$

สามารถใช้ ดี-โอเปอเรเตอร์ (D operator) จัดรูปให้เป็นสมการอนุพันธ์จะได้เป็น

$$i(t) + RC \frac{di(t)}{dt} = C \frac{d[u(t) - u(t-T)]}{dt}$$

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC} i(t) = \frac{1}{R} \frac{d[u(t) - u(t-T)]}{dt} \quad \dots (5.15)$$

จากสมการอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับหนึ่ง

$$\frac{dy}{dx} + P(x)y = Q(x)$$

คำตอบทั่วไป (General Solution) คือ

$$y e^{\int P(x) dx} = \int Q(x) e^{\int P(x) dx} dx$$

นั่นคือสมการ 5.15 เป็น สมการอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับ หนึ่งดังนี้

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC} i(t) = \frac{1}{R} [\delta(t) - \delta(t-T)]$$

คำตอบทั่วไปของสมการข้างบนคือ

$$i(t) e^{\int (1/RC) dt} = \frac{1}{R} \int [\delta(t) - \delta(t-T)] e^{\int (1/RC) dt} dt + K$$

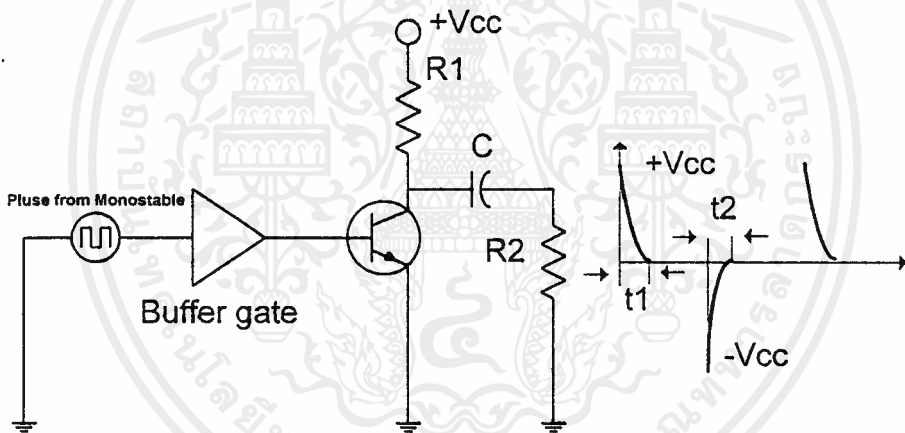
$$i(t) e^{(t/RC)} = \frac{1}{R} \left\{ \int \delta(t) e^{(t/RC)} dt - \int \delta(t-T) e^{(t/RC)} dt \right\} + K$$

นั่นคือ เราจะได้คำตอบทั่วไปคือ

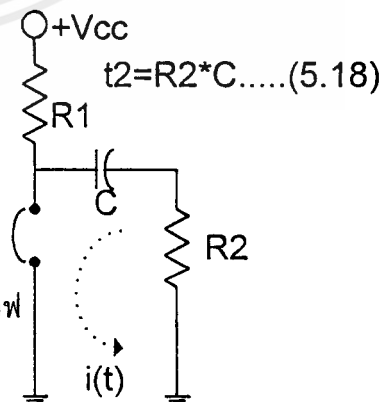
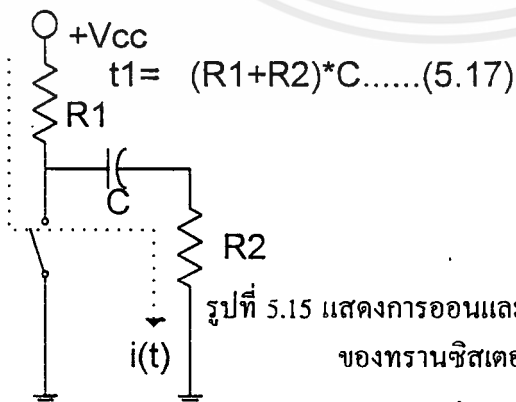
$$i(t) = Re^{-t/RC} \left\{ \int \delta(t) e^{(t/RC)} dt - \int \delta(t-T) e^{(t/RC)} dt \right\} + Ke^{-t/RC} \dots (5.16)$$

เมื่อเปรียบเทียบจากสมการ 5.14 กับสมการ 5.16 และรูปสัญญาณ รูปที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12 จะเห็นได้ $i(t)$ สมการ 5.16 จะมีค่า RC เราเรียกว่า ค่าเวลาคงที่ (Time Constant) การกำหนดให้เป็น $\tau_1 = RC$ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 5.12 เมื่อเราได้กระแสคือ $i(t)$ นำไปคูณกับ R เราจะได้ $V_r(t) = Ri(t)$ นั่นคือแรงดันที่เราจะนำไปป้อนให้กับโพรบ โดยค่า τ_1 นั้นจะต้องน้อยกว่า $0.444 \mu s$ ตามแนวคิดในหัวข้อ 5.1

การทำให้อิมพัลส์มีขนาดพอที่จะขับหัวโพรบเราจึงใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นสวิทช์ในการขับให้มีขนาดแรงดันที่มากพอจะทำให้หัวโพรบทำงาน ในรูปที่ 5.13 สามารถพิจารณาค่า τ_1 และ τ_2 ได้ ตามสมการ 5.16 และ 5.17 ตามลำดับ



รูปที่ 5.13 การต่อทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์ ในการขับหัวโพรบ



รูปที่ 5.15 แสดงการออนและออฟของทรานซิสเตอร์

บทที่ 6

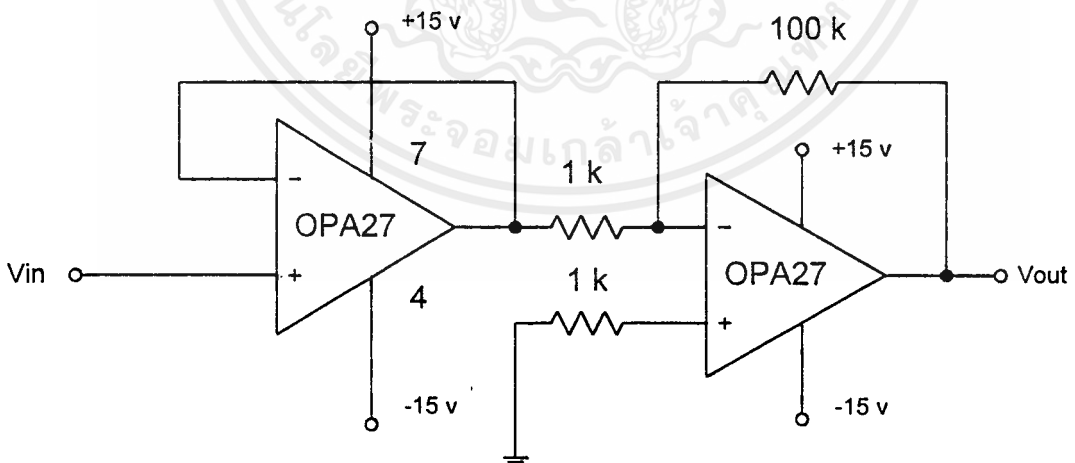
วงจรแสดงผลทางคอมพิวเตอร์

6.1) แนวคิดในการออกแบบวงจร

จากหัวข้อ 2.4 การเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบโดยการถ่ายภาพรังสีจากข้อเสียของอุลตราโซนิกที่ไม่สามารถเก็บผลของการทดสอบได้ ถึงแม้เก็บผลทดสอบได้ แต่การทดสอบไม่ได้แสดงถึงลักษณะของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจริง ในเนื้อของวัสดุ จึงต้องอาศัยการคำนวณของตัวเลขในการตีความหมายของผลการทดสอบอีกที

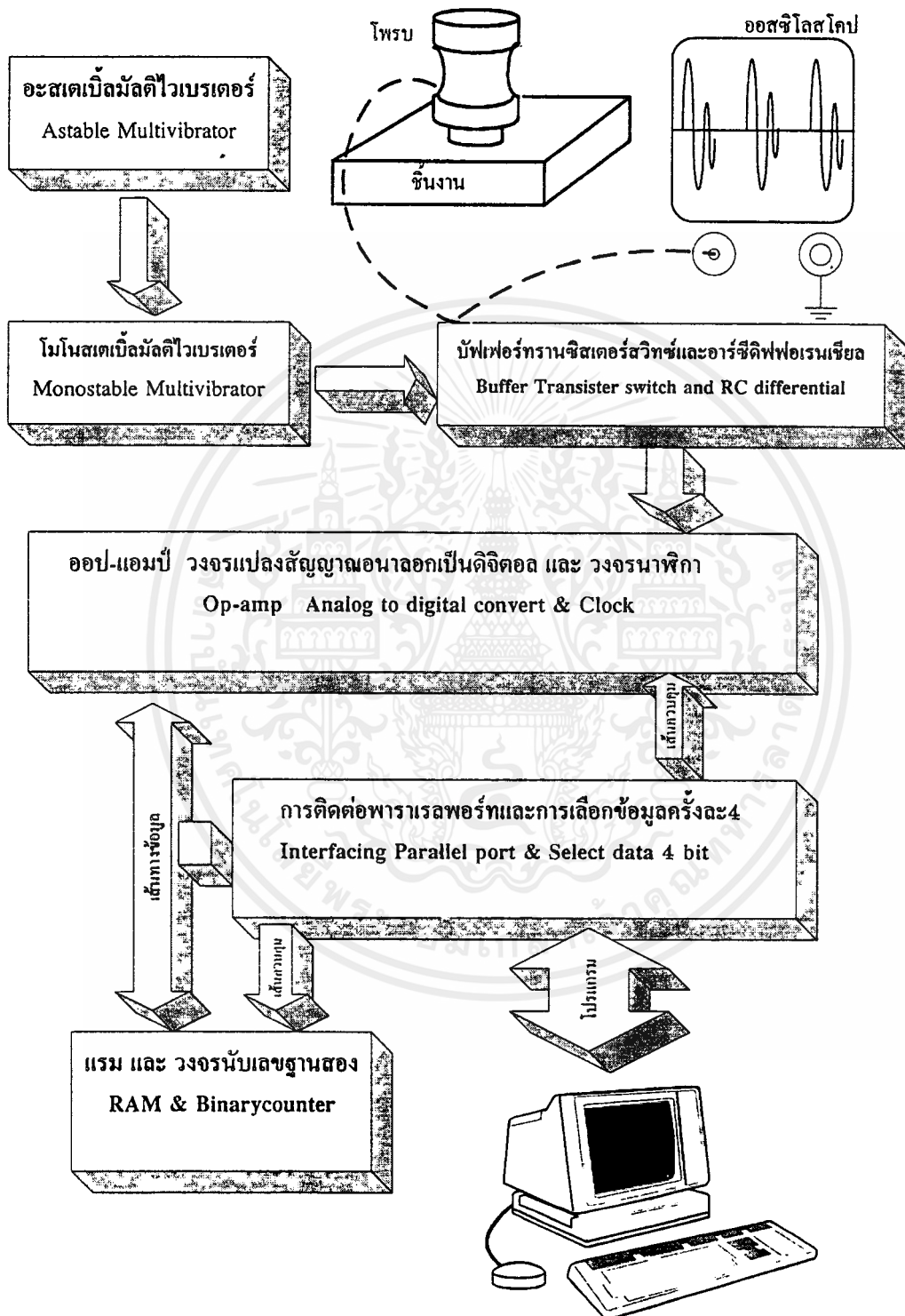
จากข้อเสียข้างต้นทำให้เกิดแนวคิดในการเก็บผลจากการทดสอบหรือวัดชิ้นงานให้เป็นข้อมูลทางดิจิทัล (Data digital) โดยสามารถนำผลที่ได้ไปแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของไฟล์ (Files) อีกทั้งยังสามารถนำมาเปรียบเทียบกันระหว่าง การตรวจวัดชิ้นงานที่ดีกับชิ้นงานที่เสีย ทำให้ง่ายต่อการพิจารณาในการยอมรับการตรวจสอบชิ้นงานนั้น จากรูปที่ 2.2 สัญญาณที่ได้มีขนาดประมาณ 0.2 Volts (เป็นค่าของสัญญาณสะท้อนกลับ Back echo) นำมาขยายอีกครั้งด้วย ออป-แอมป์

เราเลือกใช้ออป-แอมป์ที่ขยายสัญญาณเครื่องมือวัด (Op-Amp instrumentation amplifier) จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6.1 เรากำหนดแรงดันเข้าที่พุทประมาณ 2 Volts นั่นคือ ในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 วงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด

จากวงจรในรูปที่ 6.1 สามารถขยายสัญญาณ V_{in} เพิ่มขึ้นประมาณ 100 เท่า แต่ในทางปฏิบัติอาจจะได้ไม่ถึง 100 เท่า เมื่อสัญญาณมีขนาดใหญ่เพียงพอ ประมาณ 2 โวลต์ ก็สามารถนำไปแปลงสัญญาณอนาล็อก

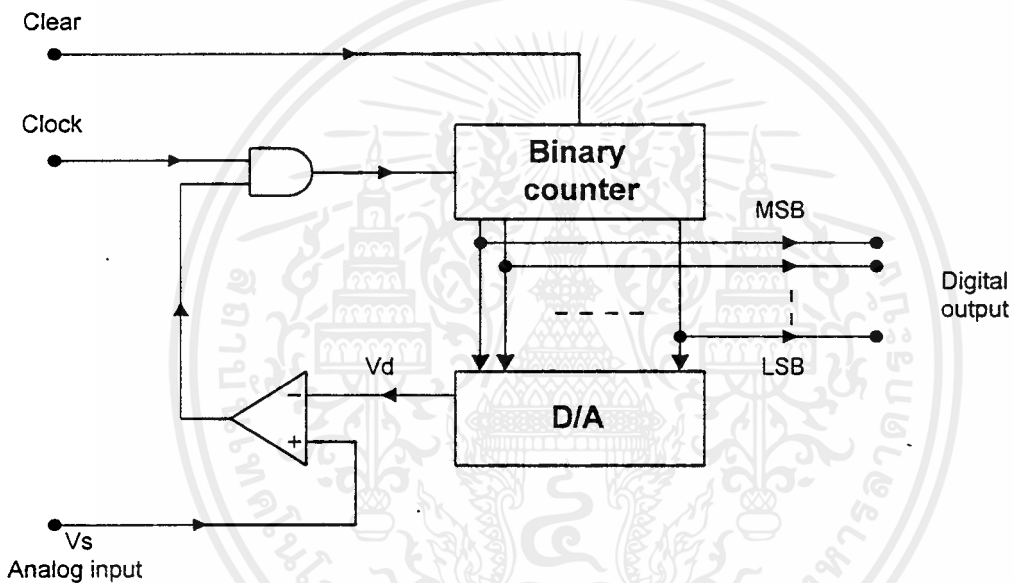


รูปที่ 6.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดรอยร้าวของโลหะด้วยอัลตราโซนิกแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

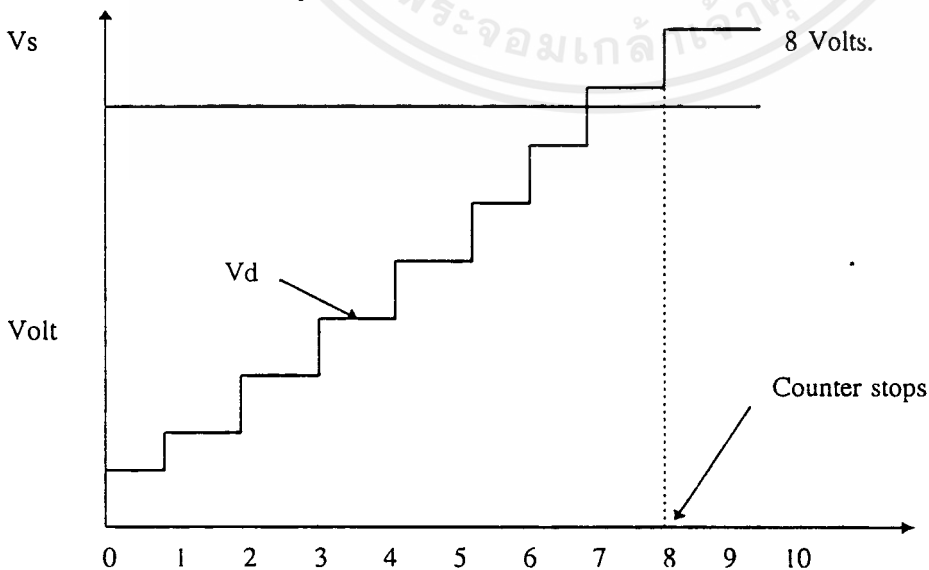
6.2) การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ข้อมูลทางฟิสิกส์ ส่วนมากต้องการที่จะทำให้อยู่ในรูปสัญลักษณ์ ดิจิตอลโดยปกติรูปสัญญาณไฟฟ้า จะปรากฏอยู่ในรูปสัญญาณอนาลอกดังเช่นการแสดงผลต่างทางอุณหภูมิโดยค่าที่ได้มาจากเทอร์โมคัปเปิ้ล (Termo Couple) การแสดงความตึงเครียด (Strain) โดยได้ค่ามาจากสแตนเกจบริดจ์ (Strain Gauge Bridge) การแสดงค่าความหนาของชิ้นงานได้จากอัลตราโซนิก

ดังนั้นจึงต้องการอุปกรณ์ในการเปลี่ยนรูปสัญญาณอนาลอกไปเป็นรูปสัญญาณดิจิตอล เราจะพิจารณา อุปกรณ์เอทุติ คอนเวอร์เตอร์ (A/D Convector) ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 การใช้ A/D Converter เป็นตัว Counter



รูปที่ 6.4 Counter ramp waveform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปวงจรเราป้อนสัญญาณอนาลอกอินพุตเป็นแรงดันไฟตรง จากระบบจะทำงานเป็นแบบลำดับ ต่อเนื่องโดยสัญญาณนาฬิกา (Clock) จะต้องผ่าน And Gate

ปกติแอนเกทจะปิดอยู่ และจะเปิดเป็นแบบชั่วคราวค่อยๆได้ระดับขึ้นไป (Linear Ramp) ดูรูปที่ 6.4 ประกอบ

แอนเกทยังจะเปิดอยู่จนกระทั่ง ระดับแรงดันที่ได้ขึ้นไปจาก 0 Volt จนถึงแรงดันอ้างอิงของตัวเปรียบเทียบ (Comparator) ซึ่งระดับแรงดันที่อ้างอิงก็คือ สัญญาณอนาลอกที่ต้องการเปลี่ยนเป็นดิจิตอลในที่นี้คือ แรงดันไฟตรง

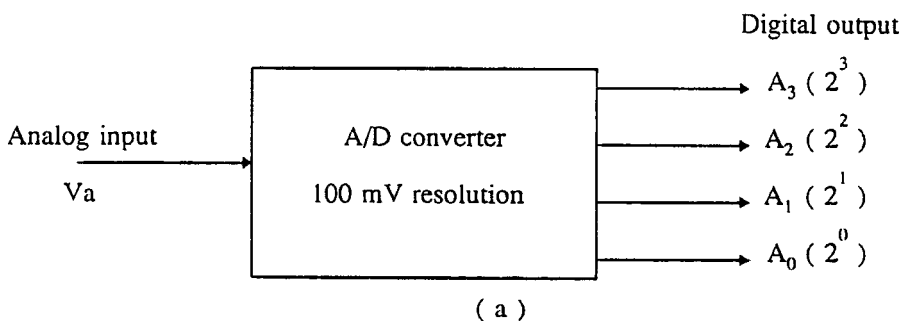
จำนวนพัลส์ที่ผ่านจากแอนเกทจะเป็นสัดส่วนกันกับแรงดันของสัญญาณอนาลอก แต่แรงดันเปลี่ยนตามเวลา วงจรไม่สามารถที่จะแปลงข้อมูลให้เป็นแรงดันอ้างอิงต่อเนื่องได้ (แรงดันที่ได้จากวงจรดีทิวเอ) แต่วงจรแบบนี้ต้องการข้อมูลอนาลอกที่เป็นช่วงค่าสูงสุดของแรงดันอนาลอกคือจำนวนพัลส์ n จำนวน

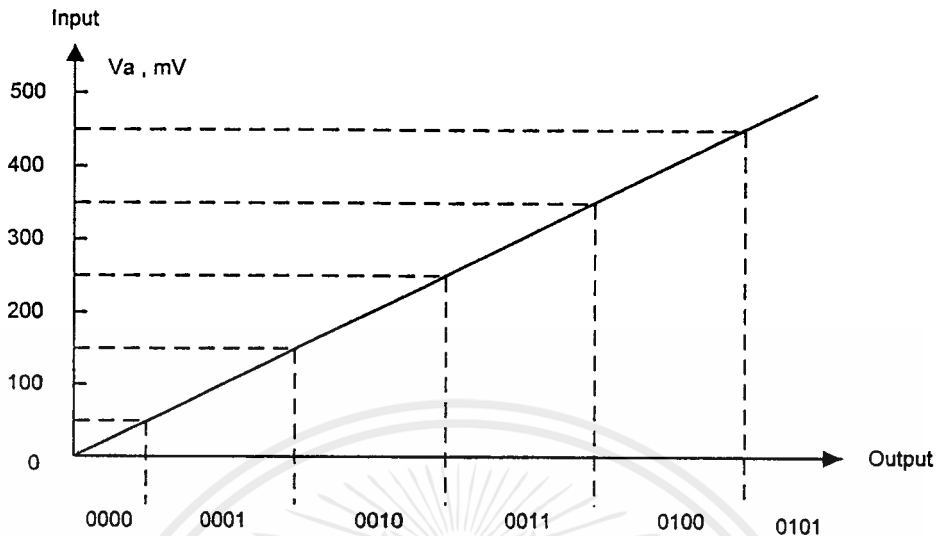
จำนวนพัลส์ชัดเจน ได้นั้น ควรจะทำให้ n มากและไม่เปลี่ยนแปลงจะต้องใช้ 2 ช่วงของจำนวนพัลส์ที่ออกมาแล้ว ที่ต้องเอาจำนวน n พัลส์ ที่เกิดมาแล้ว 2 ช่วงเวลา เพราะในช่วงแรกจะเกิดการผิดพลาดของเวลามอดดูเลต (Time Modulate)

ความถี่ที่เกิดบ่อยๆ จะมีค่าเท่ากัน ที่น้อยกว่าจะทำให้จำนวน n และอัตราสุ่มตัวอย่างใหม่ (Sampling Rate) ซึ่งในเวลานั้นๆ อัตราที่เกิดขึ้นบ่อยๆ จะมีมากจะปล่อยช่วงเวลาที่ให้กลับวงจรใช้เวลากลับเป็นแรงดันในระหว่างการสุ่มตัวอย่าง

ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

ควอนไทส์เตชัน เออเรอ(Quantitation error) เป็นสิ่งที่ต้องมีอยู่ในทุกตัวของ A/D converter จากรูปที่ 6.5 (a) แสดงถึง A/D Converter 4 bit มีความละเอียด (resolution) 1 นัย / 100 mV รูปที่ 6.5(b)แสดงระดับสัญญาณอนาลอกและเอาท์พุทดิจิตอลซึ่งผลที่ได้จะเป็นย่านของสัญญาณอนาลอกอินพุต





(b)

รูปที่ 6.5 A/D converter : (a) สัญลักษณ์ (b). Quantization Error

จากตัวอย่าง แรงดันอนาล็อกระหว่าง 50 mV-250 mV ก็จะทำให้เอาต์พุต 0001 ระหว่าง 150 mV-250 mV ให้เอาต์พุต 0010 ดังนั้นถ้าเรามีสัญญาณ 1 นัย เอาต์พุตแต่ละย่านเป็น 100 mV ในอินพุตขณะนั้น ถ้าเอาต์พุตออก 0011 และค่านี้เป็นอินพุตของ D/A (ภายในวงจร Analog-To-Digital converter มี D/A ประกอบด้วย) ค่าของ D/A ที่แปลงมาคือ 300 mV อย่างไรก็ตามพวกเราทราบว่าค่าแรงดันอินพุตอยู่ในช่วง 250 mV-350 mV ดังนั้นค่า Quantization error ในลักษณะนี้คือ 50 mV (นั่นคือแรงดันอินพุตจะเท่ากับ $300 \text{ mV} + 50 \text{ mV} = 350 \text{ mV}$ และ $300 \text{ mV} - 50 \text{ mV} = 250 \text{ mV}$)

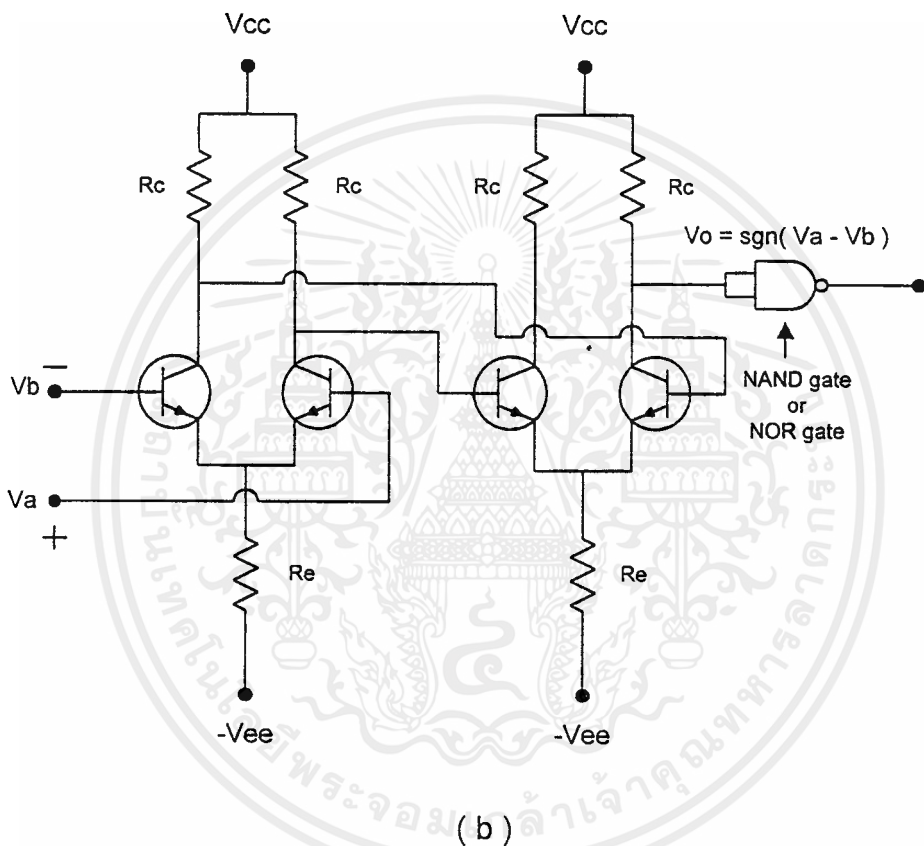
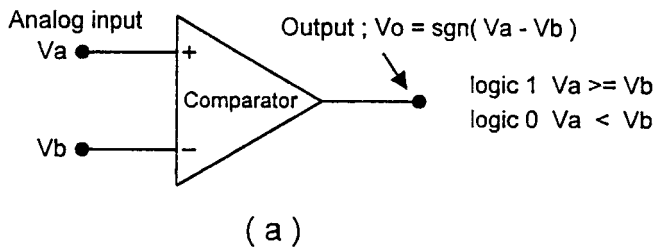
ซึ่งคือ $+ 1/2 \text{ LSB}$ แต่ในทางปฏิบัติอาจผิดพลาดมากกว่า $+ 1/2 \text{ LSB}$ เพราะขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของแรงดันอ้างอิง

อนาล็อก คอมพารेเตอร์ (ANALOG COMPARATORS)

ทุกเทคนิคที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นต้องมีการใช้ตัวเปรียบเทียบ (Comparator) รูปที่ 6.6 (a) แสดงรูปสัญลักษณ์ของตัวเปรียบเทียบอนาล็อก แรงดันอนาล็อก 2 แรงดัน (V_a และ V_b) ที่เข้าไปในตัวเปรียบเทียบคืออินพุต และ แรงดันไบนารี คือ เอาต์พุต

ถ้าอินพุต $V_a \geq V_b$ จะได้สัญญาณ High (logic 1) และ

ถ้าอินพุต $V_a < V_b$ จะได้สัญญาณ Low (logic 0)



รูปที่ 6.6 Analog comparator : (a) สัญลักษณ์ ; (b) schematic

ในรูปที่ 6.6(b) แสดงตัวเปรียบเทียบอนาล็อก ซึ่งประกอบด้วย ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ (Difference Amp) ตามด้วยลอจิก (Logic Gate) ถ้าเอาต์พุตที่ตั้งใจให้คือระดับแรงดัน TTL แล้วลอจิกเกตจะถูกนำมาทำเป็นตัว Inverter และที่ใช้กันบ่อยๆ คือ NAND gate และ NOR gate

ANALOG-TO-DIGITAL FLASH CONVERTER

A/D flash converter คือ A/D แบบหนึ่งโดยเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็น N-bit ที่ขนาน (ก่อนข้างจะเป็นลำดับ) ผลที่เป็น N-bit ขนานได้นั้นวิธีการใช้ได้น้อยมาก (น้อยกว่า 2 แบบแรกมาก) จนเปรียบเป็นแฟลชที่ใช้ในกล้องถ่ายรูป โดยมันสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกภายใน 8 bit ใช้เวลาน้อยกว่า 1 ns

ในรูปที่ 6.7 แสดง A/D flash converter ใช้ตัวเปรียบเทียบ (comparator) $2^8-1=255$ ตัว และ รีจิสเตอร์เพิ่มขึ้น

จึงต้องใช้เทคโนโลยี (Intergration) แบบ VLSI (Very Large Scale Intergration)และ VHSIC มีผลทำให้ทำงานเร็วขึ้น แต่ขนาดวงจรเล็กลง

เราพิจารณา A/D ที่แสดงในรูปที่ 6.7 เป็นตัวอย่างง่าย ๆ ในการพิจารณา

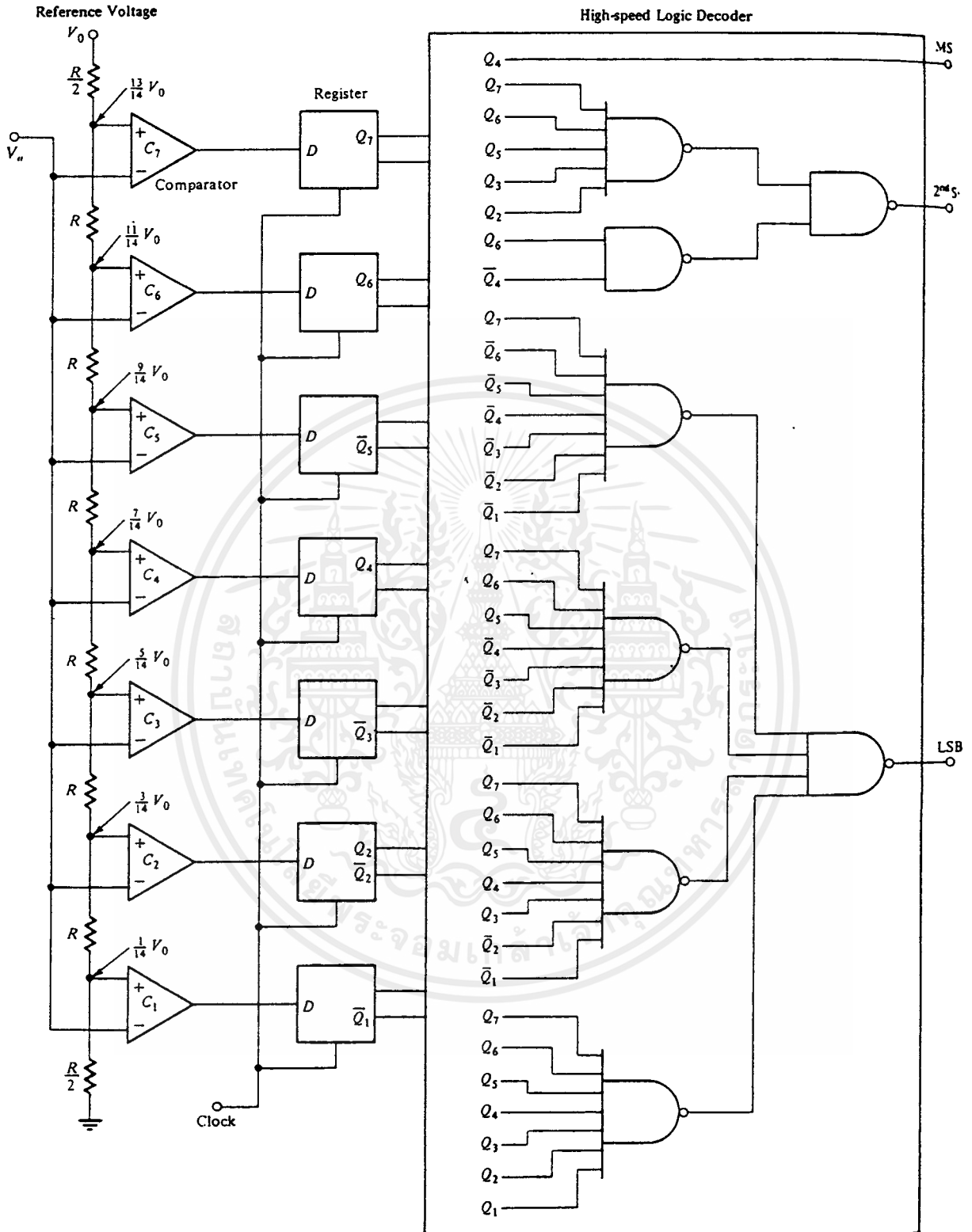
วงจรที่ใช้คำนวณต่อเป็นวงจรแบบ Resistor Divider Network ทำเป็นระดับแรงดันอ้างอิงในแต่ละตัวเปรียบเทียบ (Comparator) C_1 ถึง C_7 สัญญาณอนาลอกจะเข้าไปในตัวเปรียบเทียบของแต่ละตัวในวงจรนี้ V_a เป็นค่าที่จำกัดระหว่าง $-1/14 V_0$ ถึง $15/14 V_0$ ถ้า V_a ต่กระหว่าง $5/14 V_0$ และ $7 V_0/ 14$ Volts ตัวเปรียบเทียบ C_1 , C_2 และ C_3 จะให้เอาต์พุตโวลต์เกจที่แสดงระดับเป็น “1” ตาราง 6.1 แสดงถึงค่า V_a ที่เป็นไปตามใช้ทั้งหมด ค่าที่อ่านได้แสดงจากตารางความจริง 6.1

$$\begin{aligned}
 1. \quad & SB = C_4 \\
 2. \quad & \text{Seconnd bit} = \frac{C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7 + C_4 \cdot C_6}{C_2 \cdot C_3 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7 + C_4 \cdot C_6} \\
 & = \frac{(C_2 \cdot C_3 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7)(C_4 \cdot C_6)}{(C_2 \cdot C_3 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7)(C_4 \cdot C_6)} \\
 3. \quad & LSM = \frac{(C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7)(C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7)(C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5)}{(C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7)}
 \end{aligned}$$

Input Analog Voltage		Comparator Outputs							Output Logic		
$V_a >$	$V_a <$	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	MSB	Second Bit	LSB
$-V_0/14$	$V_0/14$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$V_0/14$	$3V_0/14$	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$3V_0/14$	$5V_0/14$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
$5V_0/14$	$7V_0/14$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
$7V_0/14$	$9V_0/14$	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
$9V_0/14$	$11V_0/14$	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
$11V_0/14$	$13V_0/14$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
$13V_0/14$	$15V_0/14$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.1 ตารางความจริง (Truth table)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 A/D flash converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 6.7 ลอจิกฟังก์ชัน (Logic Function) เหล่านี้ใช้ส่งเสริมให้วงจรดิจิทัลความเร็วสูง สมบูรณ์

ใน A/D converter 3 bit ที่แสดงนี้สามารถผิดพลาด (Error) ได้ประมาณ $+V_o/14$ และ $-V_o/14$ ในวิธีปฏิบัติค่าผิดพลาดของ 8 bit A/D converter นี้จะลดลงเสมอ เช่นกันค่าผิดพลาดในระบบหนึ่งสามารถจะมีค่าจำกัดได้ $+V_o/510$ และ $-V_o/510$

คุณลักษณะบางอย่างในการนำมาใช้งาน

คุณลักษณะบางอย่างที่ต้องทราบเพื่อการพิจารณาเลือกใช้ที่ถูกต้อง

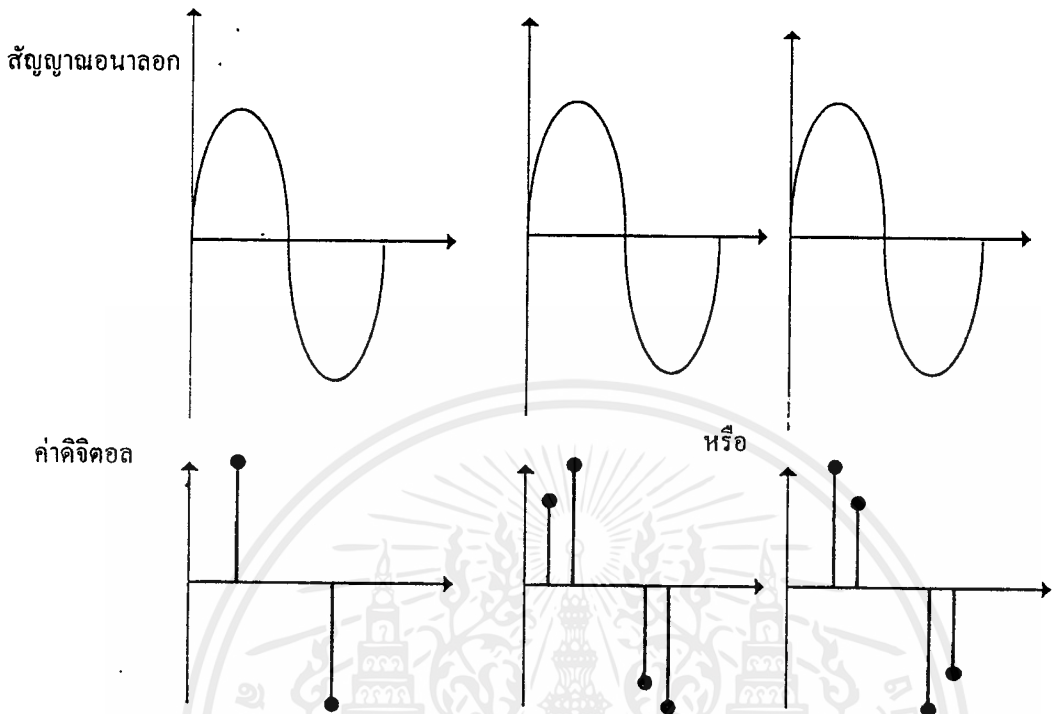
1. Input Signal คือแรงดันสูงสุดที่ยอมให้อินพุตเข้ามาที่ขาอินพุตแบบยูนิโพลาร์(Unipolar) 0-10 Volts หรือแบบอินพุตแบบไบโพลาร์ (Bipolar) +5, +10 Volts , etc

2. Conversion time ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวแปลง (converter) ตัวแปลงขนานแบบความเร็วสูง (Ultrafast parallel converter) มีเวลาในการเปลี่ยนแปลงในช่วง 10-60 nS , ซักเช็สซิฟอะพริออคซิเมชัน (Successive Approximation) อยู่ในช่วง 1 -100 μ S

3. Output format รูปแบบที่หาได้รวมทั้งขาอินพุต ยูนิโพลาร์ไบนารี , ออฟเซตไบนารี (offset Binary) , one-and-twos-complement และความหลากหลายของรหัสเอาต์พุตของวงจรจะออกแบบให้อินเตอร์เฟส (Interface) ได้โดยตรงกับ TTL, ECL ,หรือ COMS

4. Accuracy ความเที่ยงตรงมีค่าความผิดพลาดของทั้งส่วนอนาลอกและดิจิทัลของระบบรวมอยู่ด้วย ดิจิตอลจะผิดพลาดตรงควอนไทซ์ที่ใช้กันคือ $+1/2$ LSB ส่วนอนาลอกความผิดพลาดจะเกิดที่ตัวเปรียบเทียบ แหล่งจ่ายอื่น ตัวต้านทาน ฯลฯ ความเที่ยงตรงที่ต้องการจะต้องคำนึงถึงจำนวนบิตควรจะตรงกัน ตัวอย่าง พิจารณาตัวแปลง (converter) 10 bit กับอนาลอกอินพุตอยู่ในช่วง 0 ถึง +10 Volts. Quantization error เป็น $(1/2)^{10} * 10 \text{ Volts} = 9.76 \text{ mV} \cong 10 \text{ mV}$ ถ้าสมมติว่า เราต้องการให้ค่าความผิดพลาด (error) เท่ากับ 10 mV ค่าความผิดพลาดทั้งหมดจะเท่ากับ 20 mV เทียบกับอินพุต ในกรณีนี้ ระบบการทำงานเหมือน 9 bit A/D converter ตัวหนึ่งซึ่งเป็นอิสระจากค่าความผิดพลาดอนาลอก เพราะว่า 9 bit A/D converter หนึ่งตัวมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ $(1/2)^9 * 10 \text{ Volts} = 19.53 \text{ mV} \cong 20 \text{ mV}$

เนื่องจากโครงงานนี้ต้องการแปลงสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่ประมาณ 2.25 MHz หรือ 0.444 μ S นั้นหมายความว่าถ้าเราให้สัญญาณนาฬิกา แก่ เวกเตอร์ ที่ 0.444 μ S เราจะได้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดดัง รูป 6.8 ก แต่ถ้าเราลดค่าของสัญญาณนาฬิกาลงนั้นคือเราจะได้ค่าจากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

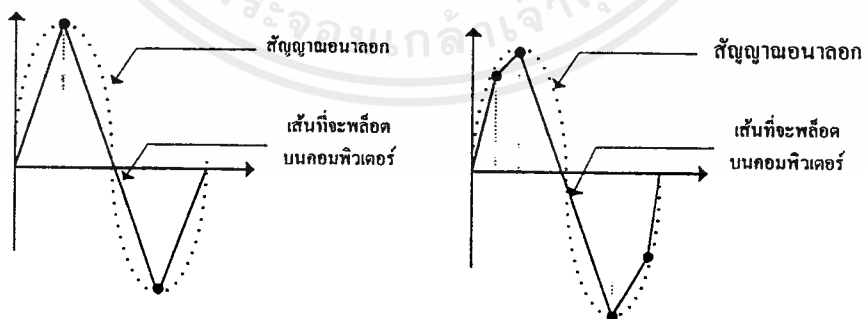
ก) สัญญาณนาฬิกา 0.444 μs ข) สัญญาณนาฬิกา 0.222 μs

รูปที่ 6.8 แสดงอัตราการสุ่ม

(แบบสุ่ม) 2ค่า สัญญาณนาฬิกาที่ทำให้ค่าจากการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เรียกว่า อัตราการสุ่ม (Sampling rate)

ในการนำค่า ดิจิตอลไปพล็อตบนจอคอมพิวเตอร์เราจำเป็นต้องได้ค่าจากการสุ่มอย่างน้อย 2 ค่า เมื่อพล็อตออกมาแล้วเราจะได้รูปสัญญาณ ดังรูปที่ 6.9



ก) เมื่อค่าจากการสุ่มมีค่าเดียว

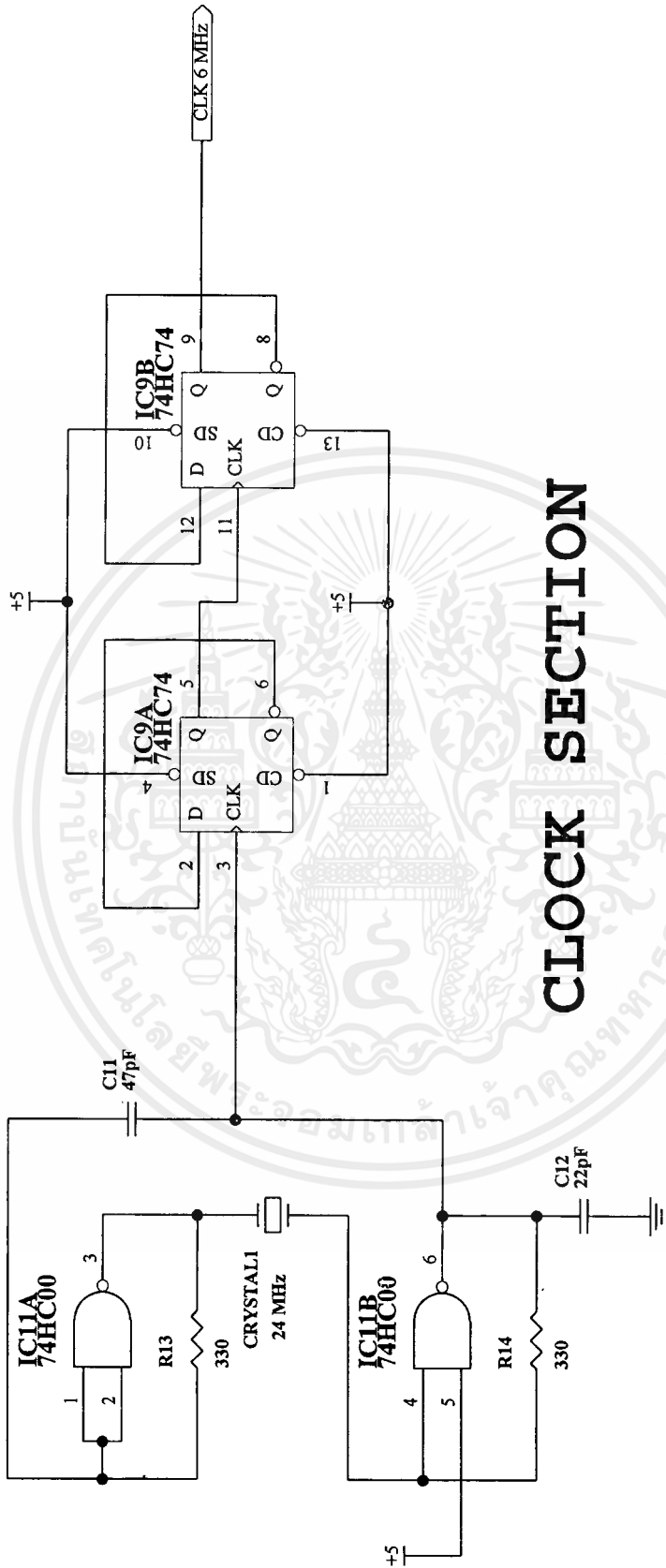
ข) เมื่อค่าจากการสุ่มมี 2 ค่า

รูปที่ 6.9

ถ้าค่าจากการสุ่มยิ่งมากๆ จะทำให้สัญญาณที่ได้ใกล้เคียงกับรูปสัญญาณอนาล็อกเดิมมากที่สุด หมายความว่าเราต้องใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่สูงเป็นหลายเท่า ซึ่งในทางปฏิบัติการใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่สูงจะมีปัญหามากในการต่อวงจร การที่จะเลือกในการต่อวงจรร่วม

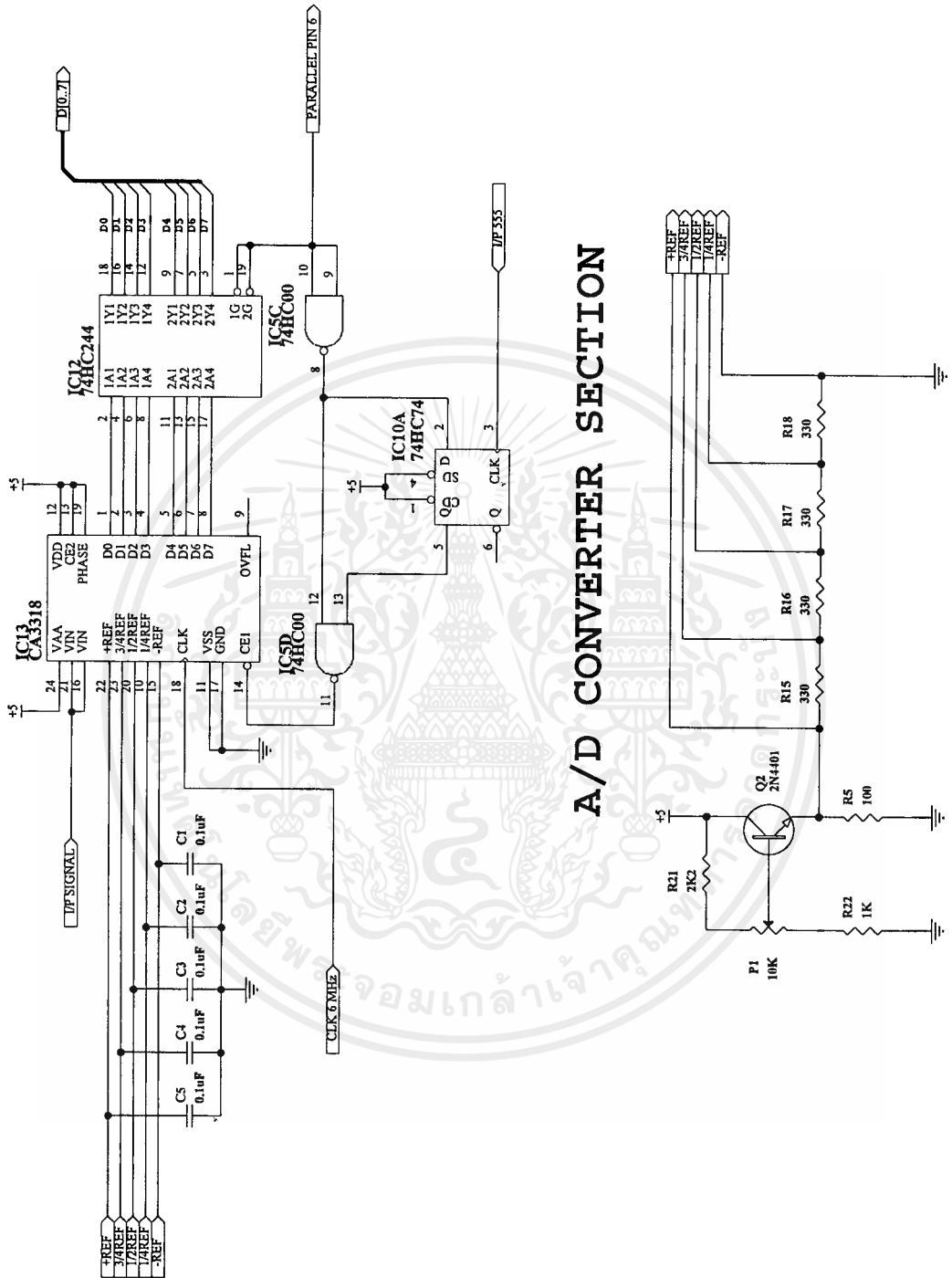
โครงการนี้ในการทดลองใช้โฟโต้บอร์ดทดลองทำให้ไฟสามารถใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่สูงเกิน 10 MHz หรือ 100 μ S จึงแสดงทดลองที่ 6 MHz หรือ 166 μ S จึงได้จากการสุ่ม ประมาณเท่ากับ 2 ค่า การเลือกใช้ไอซี เอชดีคอนเวอร์เตอร์เราเลือกใช้เบอร์ CA3318 เนื่องจากมีคุณสมบัติข้อที่ว่าสามารถวิเคราะห์สัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ซึ่งตรงกับที่เราต้องการอีกทั้งการสุ่มตัวอย่างสูงเพียงพอกลับที่เราต้องการ

สัญญาณนาฬิกาที่เราจะสร้างเป็นวงจรจำเป็นต้องเลือกอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้เร็วอีกทั้งต้องไม่มีปัญหาเกี่ยวกับอิมพีแดนซ์ในการต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่น เราจึงเลือกอุปกรณ์ในตระกูล 74 HCXX เพราะเป็น High speed CMOS ทำงานได้เร็วถึง 40 MHz อีกทั้งอินพุตอิมพีแดนซ์สูงและเอาต์อิมพีแดนซ์ต่ำ แสดงในรูปที่ 6.10 และ 6.11



รูปที่ 6.10 CLOCK SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 A/D CONVERTER SECTION

รูปที่ 6.11 A/D CONVERTER SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3) หน่วยความจำชั่วคราวและวงจรนับเลขฐานสอง

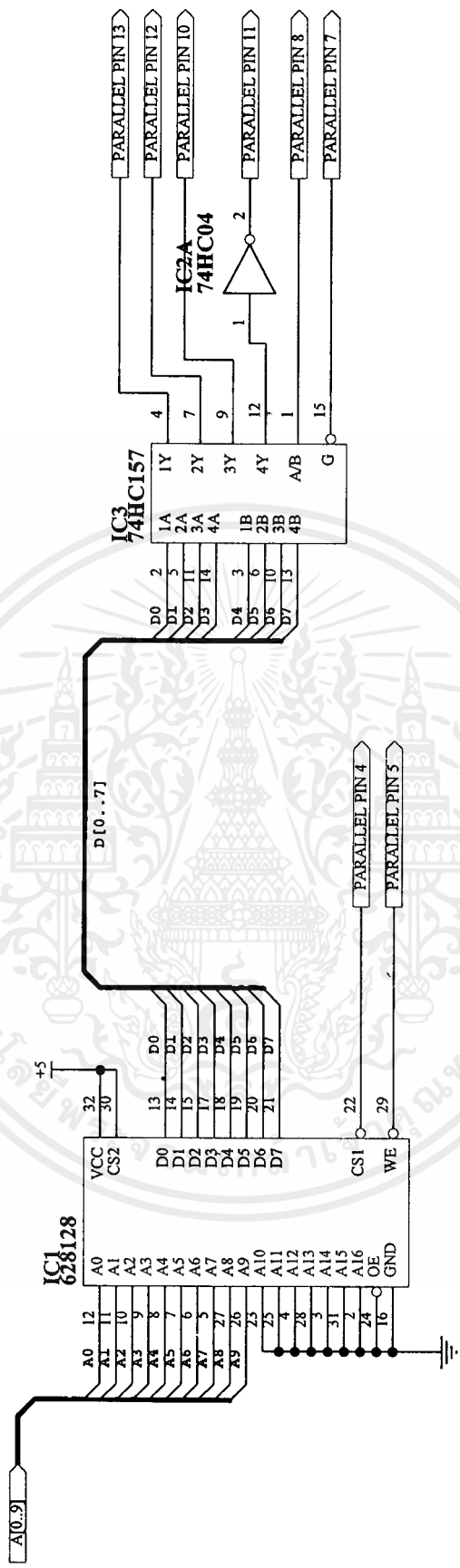
ในการเก็บข้อมูลจากการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนั้นเก็บลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ได้ทันที เนื่องจากสัญญาณพิก้าที่ใช้ในวงจรเอพูดีมีความเร็วสูง(conversion time ต่ำ) คอมพิวเตอร์ไม่สามารถเก็บค่าที่เกิดจากการแปลงได้ทันที

เราจำเป็นต้องมีหน่วยความจำชั่วคราวในการเก็บข้อมูลไว้ก่อน โดยคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวควบคุมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและหน่วยความจำชั่วคราว

เรากำหนดให้ว่า ขาเอ๊าท์พุทของพอร์ทขนานมากำหนดให้สามารถ หรือ ไม่สามารถ (Enable or Disable) ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และ กำหนดโหมดการทำงานของหน่วยความจำชั่วคราว ในโหมดอ่าน ส่วนขาอินพุทของพอร์ทขนานจะเป็นส่วนรับข้อมูลจากหน่วยความจำชั่วคราวโดยจะกำหนดให้ทำงานในโหมดการเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำชั่วคราว ข้อมูลที่ได้มาจะถูกนำมาเก็บไว้ในตัวแปรอาร์เรย์(Arrays)ซึ่งข้อมูลนี้จะนำไปพล็อตบนจอคอมพิวเตอร์ และหาค่าความหนาของชั้นงาน

การเก็บข้อมูลจะต้องมีการเลื่อนตำแหน่ง(Address)เราจะใช้วงจรไบนารีเค๊าท์เตอร์(Binary counter)เป็นตัวเลื่อนตำแหน่งในการเก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวควบคุมในการนับโดยจะมีขาอินพุทพอร์ทขนานมาเป็นตัวตรวจสอบการนับว่านับครบแล้วหรือยัง

ทั้งหมดที่กล่าวมาจะใช้โปรแกรมภาษาCในการควบคุมการทำงานของพอร์ทขนานพร้อมทั้งนำข้อมูลที่ได้มาพล็อตบนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะอธิบายการควบคุมการทำงานด้วย โฟลว์ชาร์ต (Flow chart) ในบทหลัง รูปที่ 6.12 แสดงการต่อหน่วยความจำชั่วคราว และ รูปที่ 6.13 แสดงการต่อวงจรนับเลขฐาน 2

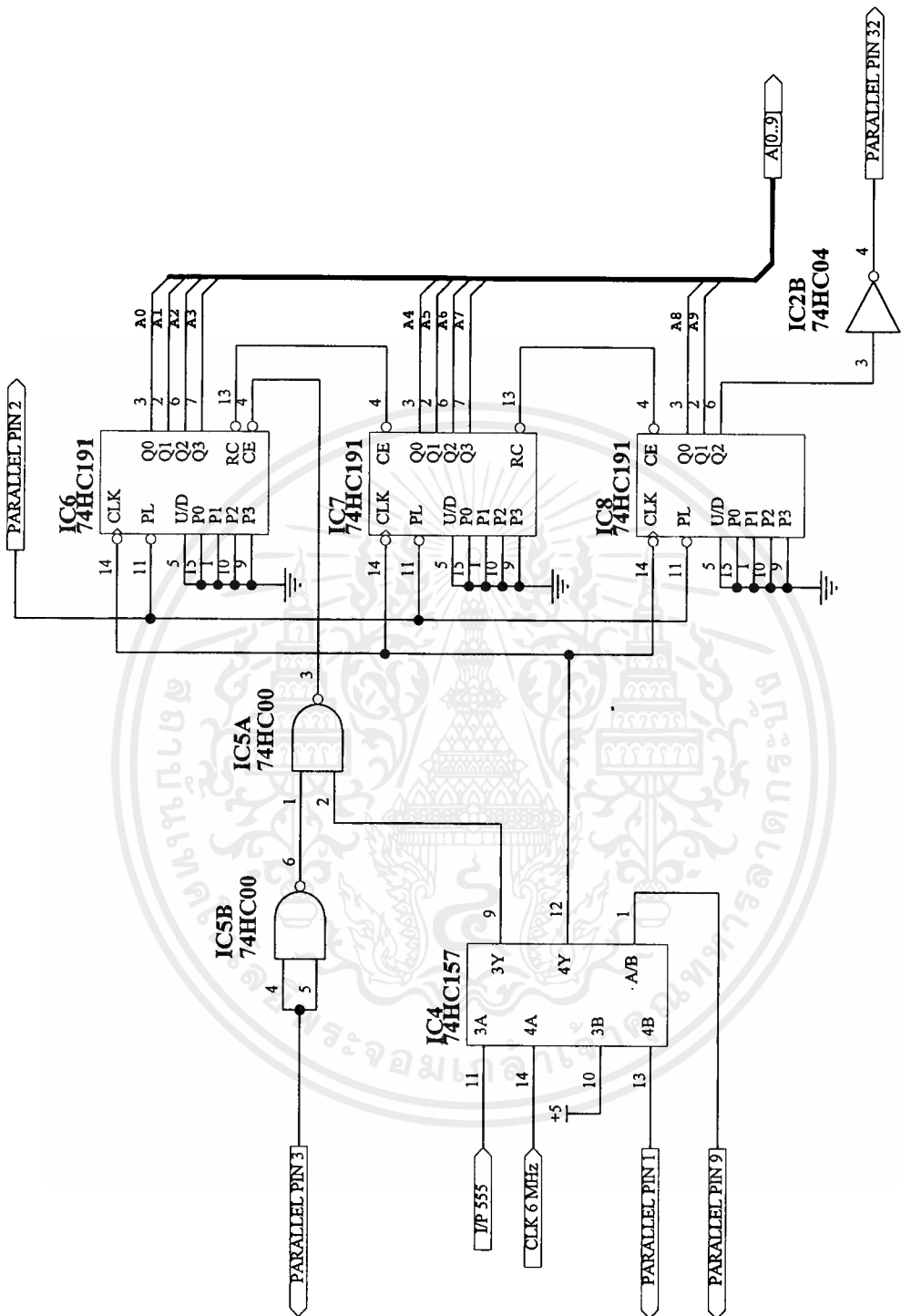


SRAM SECTION

SELECT DATA SECTION

รูปที่ 6.12 SRAM SECTION & SELECT DATA SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BINARY COUNTER SECTION

รูปที่ 6.13 BINARY COUNTER SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

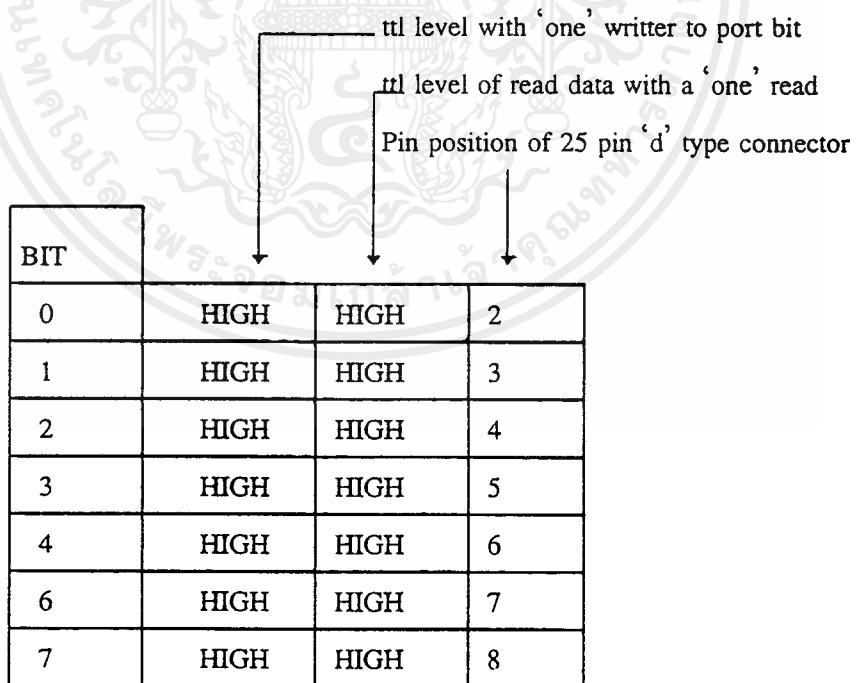
6.4) การอินเตอร์เฟสพอร์ทขนานและการเลือกข้อมูลครั้งละ 4 bit

พอร์ทเอ้าท์พอร์ทขนาด 8 บิต

รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต บนพอร์ทขนาน มีค่าพอร์ทแอดเดรสเท่ากับ 0378 หรือ 0278 (เลขฐาน 16) ในกรณีที่เรากำลังใช้การ์ดแล้วเอ้าท์พอร์ทของรีจิสเตอร์ 25.ขา แบบ D ดังแสดงในรูปที่ 6.14 ด้วยเหตุนี้เราสามารถส่งข้อมูลมาที่ขาของคอนเน็คเตอร์ได้โดยตรงโดยการใช้คำสั่ง OUT เขียนข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรสนี้ ข้อมูลที่ส่งมาที่พอร์ทแอดเดรสนี้จะมีค่าเหมือนเดิมคือถ้าส่ง 1 มาที่บิตใดๆของพอร์ทนี้ ข้อมูลที่ขาคอนเน็คเตอร์จะมีระดับสัญญาณแบบ TTL เป็น High (ในกรณีที่ของรีจิสเตอร์ตัวอื่นข้อมูลที่บางบิตจะถูกคอมพลีเมนต์ดังจะอธิบายต่อไป) อนึ่งเราสามารถอ่านข้อมูลที่เรเอาท์พอร์ทออกไปที่คอนเน็คเตอร์กลับเข้ามาทางรีจิสเตอร์อินพุทซึ่งมีค่าพอร์ทแอดเดรสค่าเดียวกัน จุดประสงค์ของการอ่านข้อมูลกลับเข้ามานี้ก็เพื่อตรวจสอบว่า ข้อมูลเอ้าท์พอร์ทที่ส่งออกไปจะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงไปโดยอุปกรณ์ภายนอกหรือไม่ ในกรณีที่อุปกรณ์ภายนอกส่งข้อมูลออกมาขณะที่เราอ่านข้อมูลกลับเข้าไปตรวจสอบนั้น ข้อมูลทั้งสองชุดจะ OR กัน

Base address ne 0378

Mode IED card ne address 0278



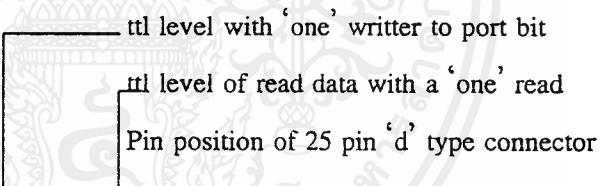
รูปที่ 6.14 พอร์ทเอ้าท์พอร์ทขนาด 8 บิต

เอ้าท์พอร์ทขนาด 4 บิต

รีจิสเตอร์ขนาด 5 บิต มีค่าพอร์ทแอดเดรสเท่ากับ 037A หรือ 027A (เลขฐาน 16) ในกรณีที่เรากำลังใช้การ์ดแล้ว, บิตเอ๊าท์พุท 4 บิต จะถูกต่อเข้ากับคอนเน็คเตอร์ 25 ขาแบบ D ส่วนบิตที่เหลือคือบิตที่ 4 จะใช้ในการ enable และ disable การขอทำการอินเตอร์รัพท์ระดับ 7 เอ๊าท์พุทของรีจิสเตอร์เอ๊าท์พุทที่ส่งออกไปจากคอนเน็คเตอร์สามารถอ่านกลับเข้ามาได้โดยใช้คำสั่ง IN กับพอร์ทแอดเดรสเดียวกัน สำหรับพอร์ทนี้สัญญาณเอ๊าท์พุทจะต่างไปจากพอร์ทอื่นคือ ในบิตที่ 0 , 1 , 3 สัญญาณเอ๊าท์พุทจะถูก Complement จากสัญญาณเดิม ลักษณะของขาคอนเน็คเตอร์ที่กำกับบิตต่างๆ และลักษณะของสัญญาณเอ๊าท์พุทแสดงไว้ในรูปที่ 6.15 โดยอาศัยการใช้คำสั่ง IN เราสามารถอ่านข้อมูลที่ปรากฏที่ขา 1 , 14 , 16 , 17 และบิต IRQ กลับเข้ามาได้ในกรณีที่วงจรภายนอกไม่ได้ขับสัญญาณใดๆ กับขาเหล่านี้ ข้อมูลที่อ่านกลับเข้ามาจะเหมือนกับข้อมูลที่ส่งออกไปเนื่องจากบิตเอ๊าท์พุททั้ง 4 บิตที่ถูกต่อเข้ากับขาคอนเน็คเตอร์ซึ่งเป็นแบบ Open-Collector ดังนั้นเราสามารถใช้นั้นเป็นอินพุทได้ ถ้าเอ๊าท์พุทรีจิสเตอร์ถูกกำหนดให้ส่งระดับสัญญาณ TTL เป็น High ทุกๆบิต บิตเหล่านี้อาจเป็น Low ได้ถ้ามีสัญญาณป้อนเข้ามาที่บิตเหล่านี้ได้ เมื่อเราใช้คำสั่ง IN เราจะทราบข้อมูลของวงจรภายนอกจากบิตเหล่านี้

Base address ne 037A

Mode IED card ne address 027A



BIT	ttl level with 'one' writter to port bit	ttl level of read data with a 'one' read	Pin position of 25 pin 'd' type connector
0	LOW	LOW	1
1	LOW	LOW	14
2	HIGH	HIGH	16
3	LOW	LOW	17
4	Enabled irq7		Enabled irq7 bit
5	not used		
6	not used		
7	not used		

รูปที่ 6.15 ลักษณะของพอร์ทอินพุท/ เอ๊าท์พุทและขากับบิตต่างๆ 4 บิต

อินพุทขนาด 5 บิต

รีจิสเตอร์อินพุทขนาด 5 บิต ที่พอร์ทนี้มีค่าแอดเดรสเท่ากับ 0379 และ 0279 (เลขฐานสิบหก) ในกรณีที่แก้ไขการ์ดแล้ว สำหรับลักษณะสัญญาณและขาเท่ากับบิตต่างๆแสดงไว้ในรูปที่ 6.16 เราใช้พอร์ทนี้ในการอ่าน real-time status ของอุปกรณ์เพื่อส่งไปให้ตัวประมวลผล (processor)

Base address ne 379
Mode IED card ne address 027G

ttl level of read data with a 'one' read
Pin position of 25 pin 'd' type connector

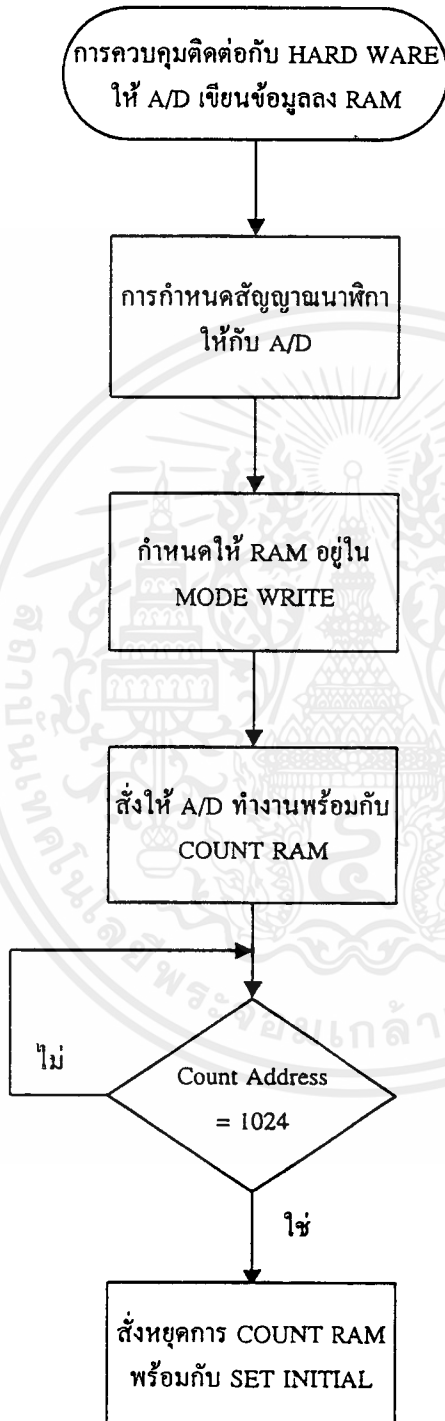
BIT		
0 not used	-	-
1 not used	-	-
2 not used	-	-
3	HIGH	15
4	HIGH	13
5	HIGH	12
6	HIGH	10
7	LOW	11

รูปที่ 6.16 ลักษณะของพอร์ทอินพุทขนาด 5 บิตและขาเท่ากับ

การเลือกข้อมูลครั้งละ 4 บิต

เนื่องจากเราสามารถอินพุทพอร์ทได้แค่ครั้งละ 5 บิต เราต้องใช้ 1 บิตในการตรวจสอบการนับตำแหน่งจากวงจรนับเลขฐาน 2 นั่นคือเราเหลือขาอินพุทเพียง 4 บิตดังนั้นเราอาศัยตัวเลือกข้อมูล 4 บิตมาทำการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง(เบอร์ IC 74HC157) โดยใช้พอร์ทเอาพุทมาควบคุมการเลือกข้อมูลเข้ามาซึ่งทั้งหมดจะต้องสัมพันธ์กัน เราใช้โปรแกรมภาษา C มาเป็นตัวควบคุม รูปที่ 6.12 แสดงการต่อตัวเลือกข้อมูล 4 บิตกับหน่วยความจำชั่วคราว

6.5) ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 6.17 Flow chart การควบคุมการติดต่อฮาร์ดแวร์โดยให้เก็บค่าจาก A/D ลง RAM

ในการควบคุมติดต่อให้ A/D เขียนข้อมูลลง RAM เราจะใช้ Address port 378 (ในโปรแกรมกำหนดไว้คือ output_8bit = 0x378) โดยเราใช้ D0 เป็นตัว Reset Binary counter เพื่อให้ Counter เริ่มนับที่ 0 จนถึง 3ff(1024) และ Address port 37a (ในโปรแกรมกำหนดไว้คือ output_4bit = 0x37a) เป็นตัวกำหนดสัญญาณนาฬิกา ซึ่งในหัวข้อ 6.3 ได้กล่าวไว้แล้วซึ่งสัญญาณนาฬิกาที่ว่านี้ คือ

1) ได้มาจาก 74HC00 ความถี่ประมาณ 6Mhz

2) ได้มาจาก โปรแกรม

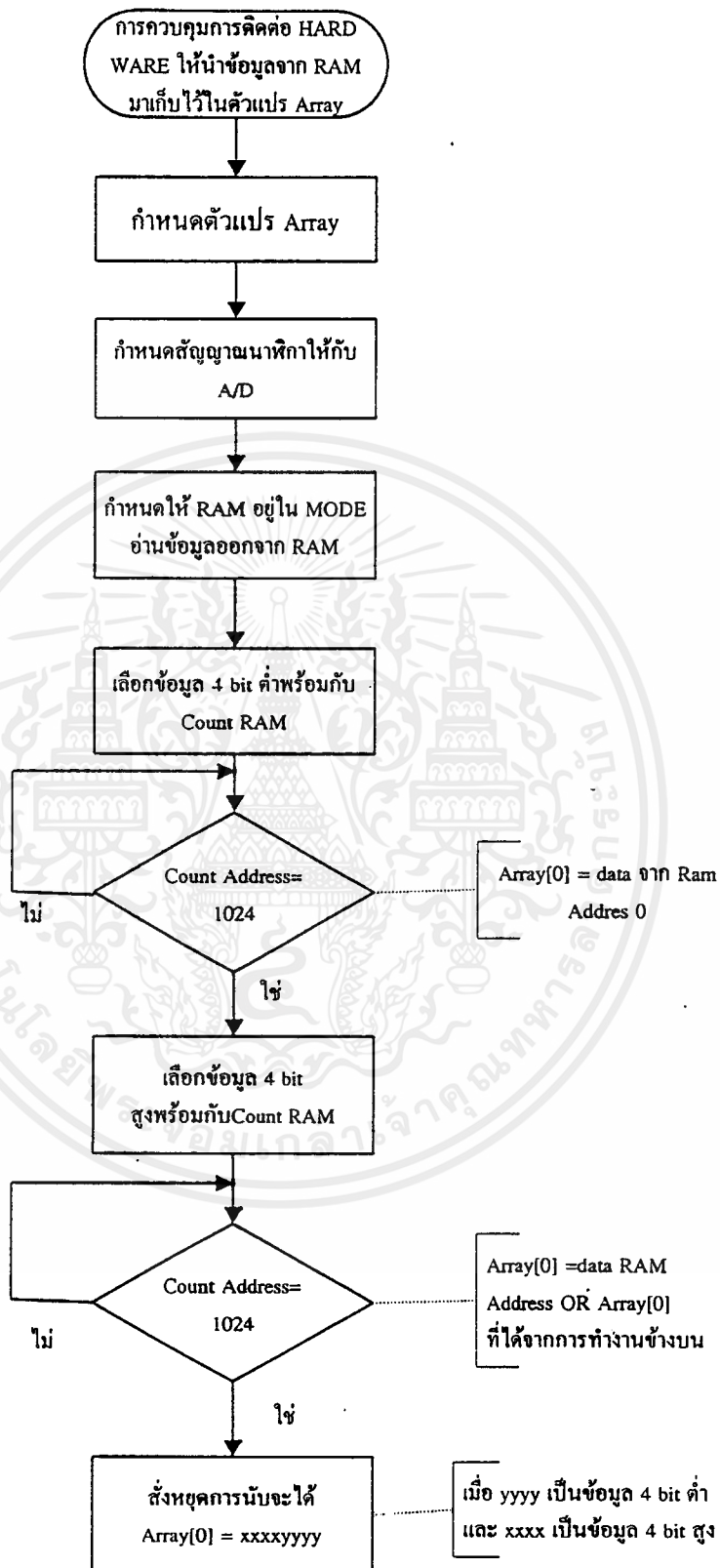
โดยเราจะใช้ 74HC157 เป็นตัวกำหนดโดยได้จากสัญญาณกำหนดมาจาก Address port 37a เมื่อเสร็จกระบวนการข้างต้นเราจะได้ข้อมูลอยู่ใน RAM

จากรูปที่ 6.18 เราจะได้ข้อมูลจาก RAM มาเก็บไว้ในตัวแปร Array ซึ่งค่าที่ได้จาก Array พร้อมที่จะนำไปพล็อตบนจอคอมพิวเตอร์

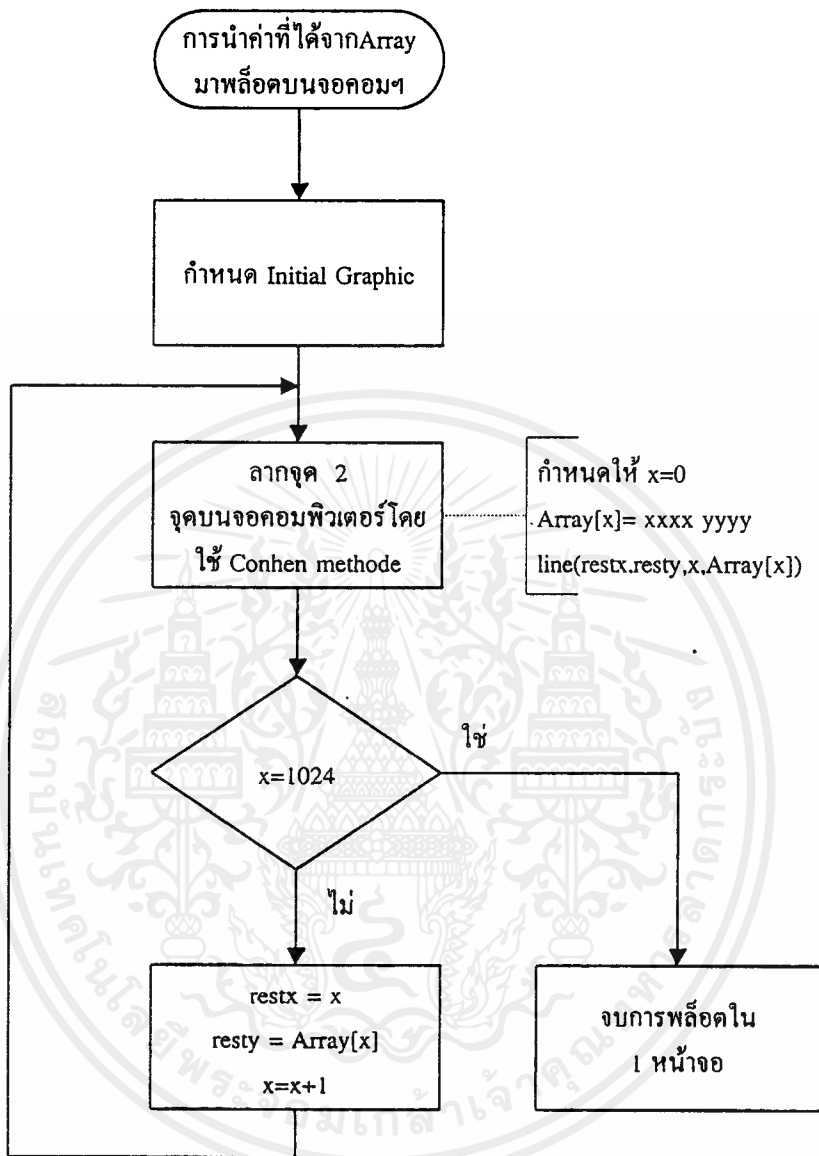
ในการพล็อตข้อมูลเราจะต้องใช้ Cohen Sutherland Clipping methode เป็นการกำหนดขนาดของสัญญาณที่จะพล็อตซึ่งเนื้อหาของการใช้ Cohen methode อ่านได้จากภาคผนวก

ข้อมูลที่ได้จาก Array นั้นสามารถนำไปเก็บข้อมูลเป็น file ได้ โดยเราจะกำหนดเป็นฟังก์ชันขึ้นมาในโปรแกรม

อนึ่งรูปแบบของกราฟฟิกส์ในโครงงานนี้จะใช้เมาส์เป็นตัวเลือกฟังก์ชันต่างๆ ที่มีอยู่ในโปรแกรม ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้จากโปรแกรมเอง และรูปแบบของกราฟฟิกส์นั้นสามารถดูภาพประกอบได้จาก บทที่ 7 การทดสอบเครื่องอุตสาหกรรม



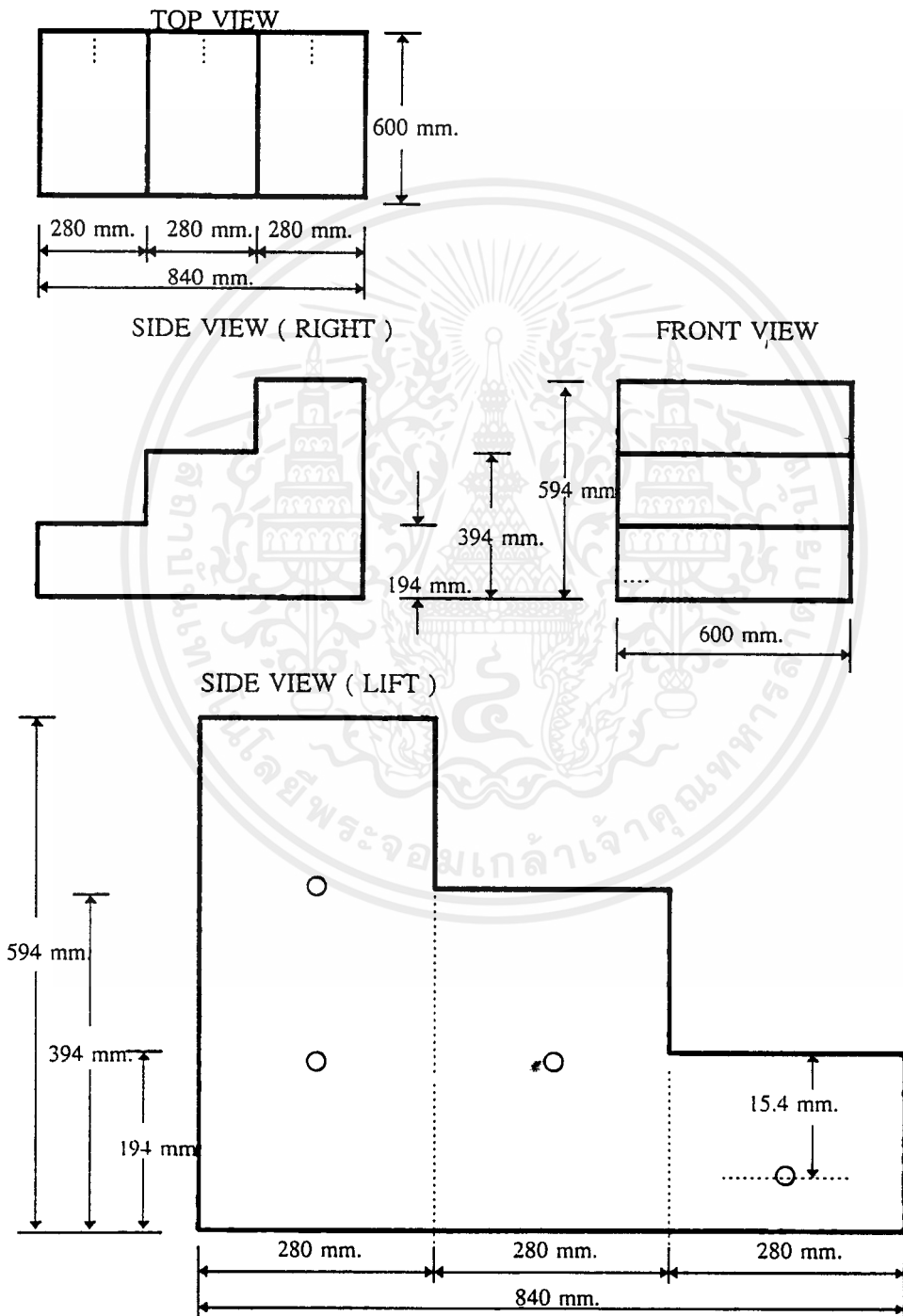
รูปที่ 6.18 Flow chart การอ่านข้อมูลจาก RAM มาเก็บไว้ในตัว Array



รูปที่ 6.19 Flow chart การนำค่าจาก Array มาพล็อตบนจอคอมพิวเตอร์

บทที่ 7

การทดสอบเครื่องอุตสาหกรรมและProgram



รูปที่ 7.1 Calibration Block ; Aluminium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1

การปรับ Calibrate

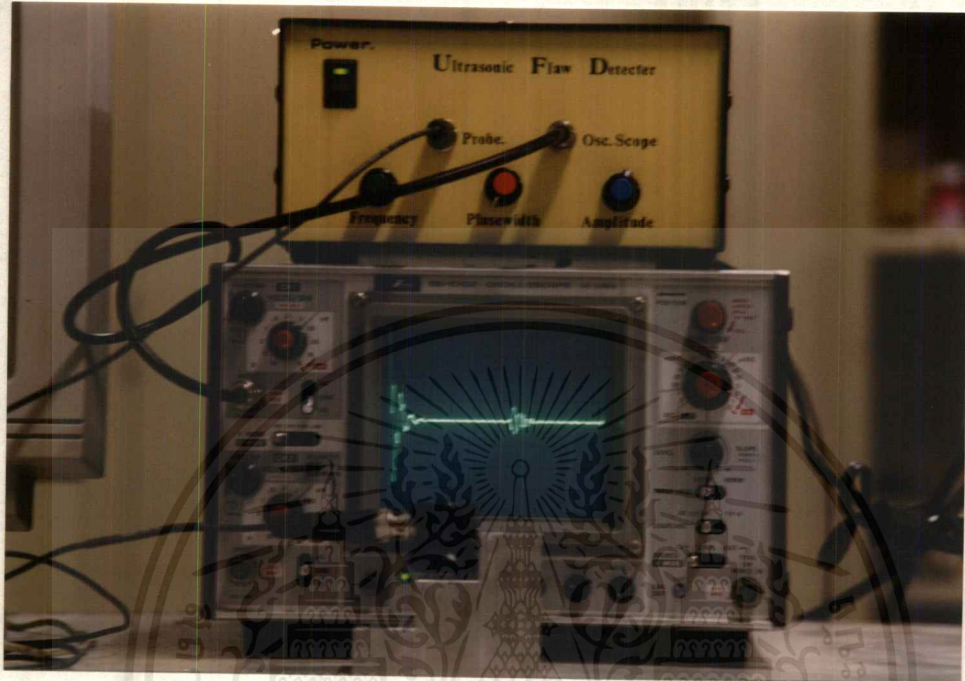
1.1 นำเครื่องอัลตราโซนิกไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในขั้นที่ 1 ด้านที่ไม่มีรู แล้วทำการปรับ Calibrate ให้ได้ค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับขนาดของแท่น Calibration Block

∴ เมื่อทำการ Calibrate จาก Program แล้วจะได้ค่า Calibrate Constant = 0.073

1.2 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ได้ทำการปรับ Calibrate แล้วในข้อ 1.1 ไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในขั้นที่ 2 บันทึกผลที่วัดได้และหาค่าความหนาที่แสดงจาก Program เทียบกับผลที่แสดงบนจอ Oscilloscope



รูปที่ 7.2 รูปที่ได้จาก Program

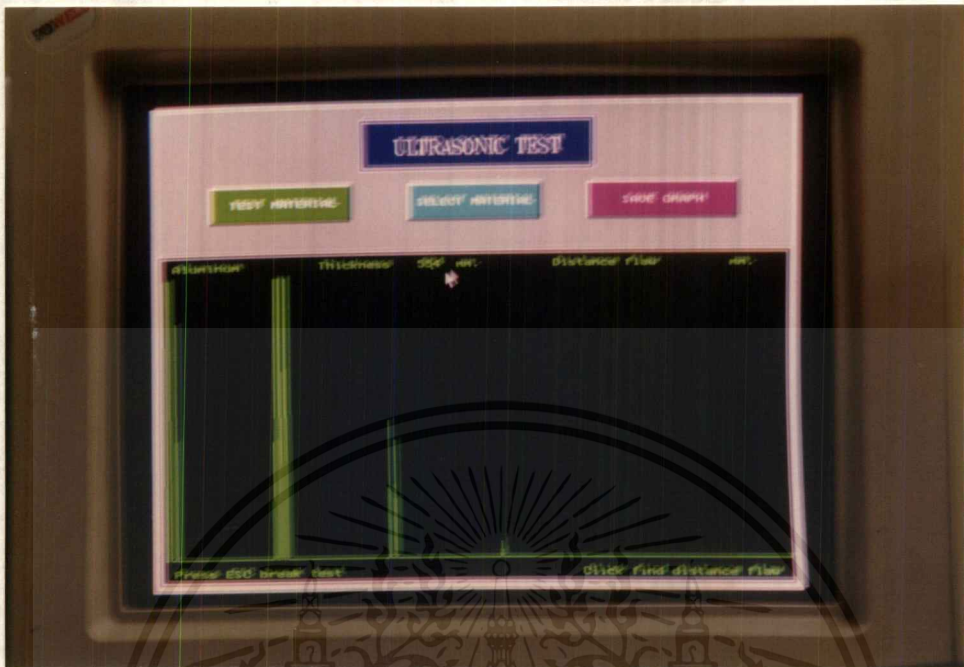


รูปที่ 7.3 รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.5 Volts/Div. ; 2 μ Sec/Div.

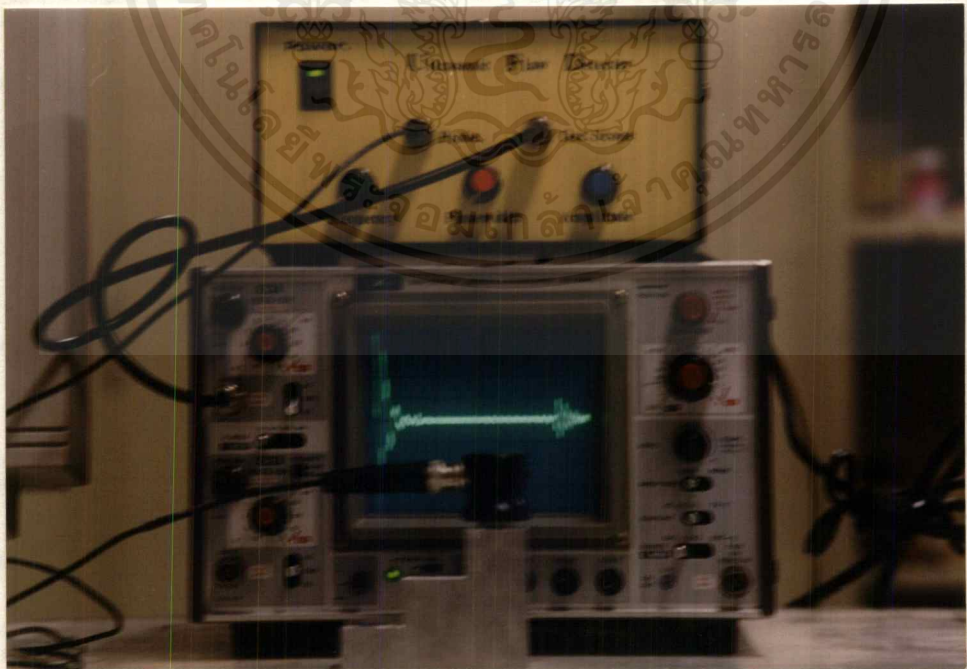
ค่าความหนาที่อ่านได้จาก Program = 36.9 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเทียบกับค่าจริงเมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ขั้นที่ 1 = 6.35 %

1.3 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ได้ทำการปรับ Calibrate แล้วในข้อ 1.1 ไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในขั้นที่ 3 บันทึกผลที่วัดได้และหาค่าความหนาที่แสดงจาก Program เทียบกับผลที่แสดงบนจอ Oscilloscope



รูปที่ 7.4 รูปที่ได้จาก Program



รูปที่ 7.5 รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.2 Volts/Div. ; 2 μ Sec/Div.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

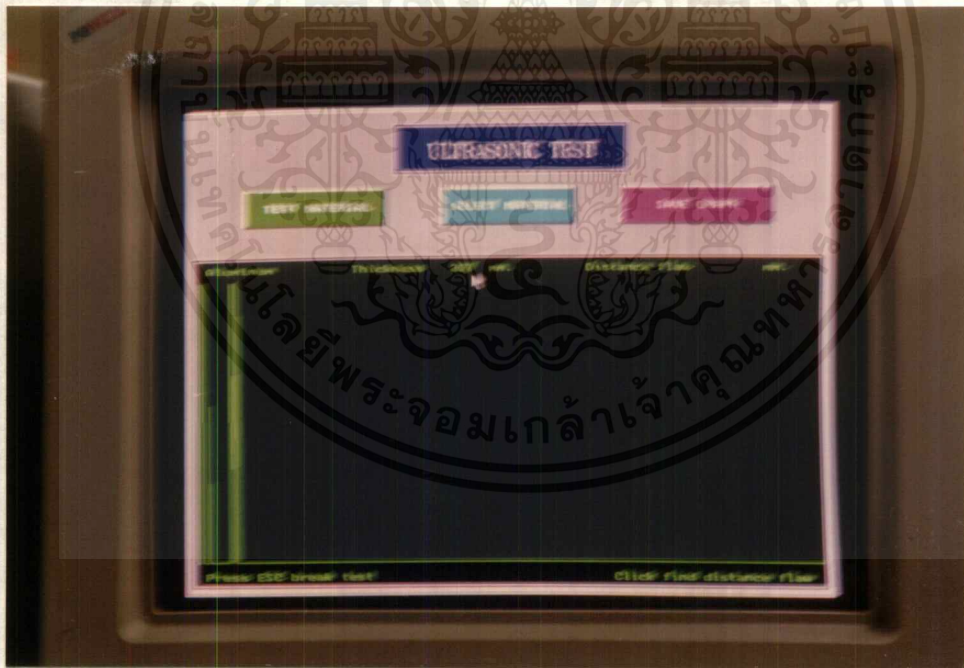
ค่าความหนาที่อ่านได้จาก Program = 55.4 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเทียบกับค่าจริงเมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ชั้นที่ 1 = 6.73 %

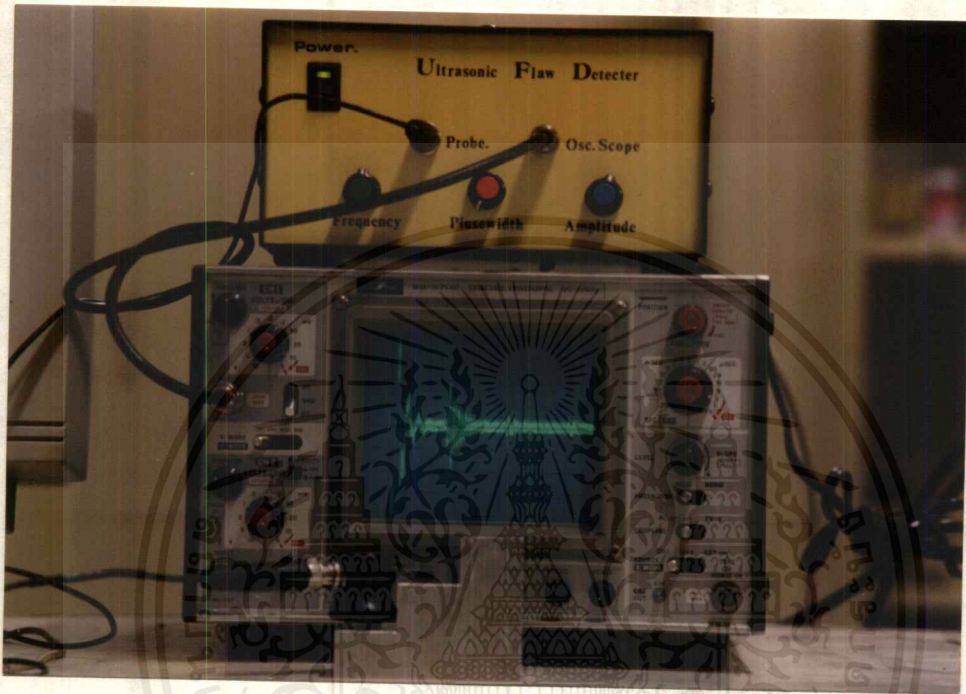
1.4 นำเครื่องอัลตราโซนิกไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในชั้นที่ 2 ด้านที่ไม่มีรู แล้วทำการปรับ Calibrate ให้ได้ค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับขนาดของแท่น Calibration Block

∴ เมื่อทำการ Calibrate จาก Program แล้วจะได้ค่า Calibrate Constant = 0.078

1.5 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ได้ทำการปรับ Calibrate แล้วในข้อ 1.4 ไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในชั้นที่ 1 บันทึกผลที่วัดได้และหาค่าความหนาที่แสดงจาก Program เทียบกับ ผลที่แสดงบนจอ Oscilloscope



รูปที่ 7.6 รูปที่ได้จาก Program

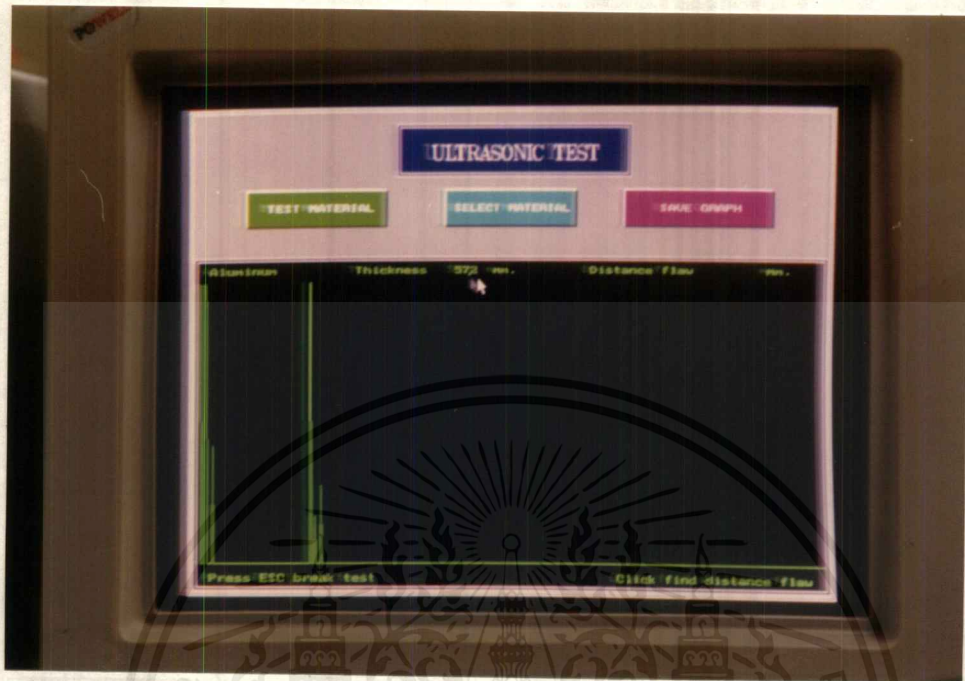


รูปที่ 7.7 รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.5 Volts/Div. ; 1 μ Sec/Div.

ค่าความหนาที่อ่านได้จาก Program = 20.7 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเทียบกับค่าจริงเมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ขั้นที่ 2 = 6.7 %

1.6 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ได้ทำการปรับ Calibrate แล้วในข้อ 1.4 ไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในขั้นที่ 3 บันทึกผลที่วัดได้และหาค่าความหนาที่แสดงจาก Program เทียบกับ ผลที่แสดงบนจอ Oscilloscope



รูปที่ 7.8 รูปที่ได้จาก Program

รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.2 Volts/Div. ; 2 μ Sec/Div. (ดูรูปที่ 7.5 ประกอบ)

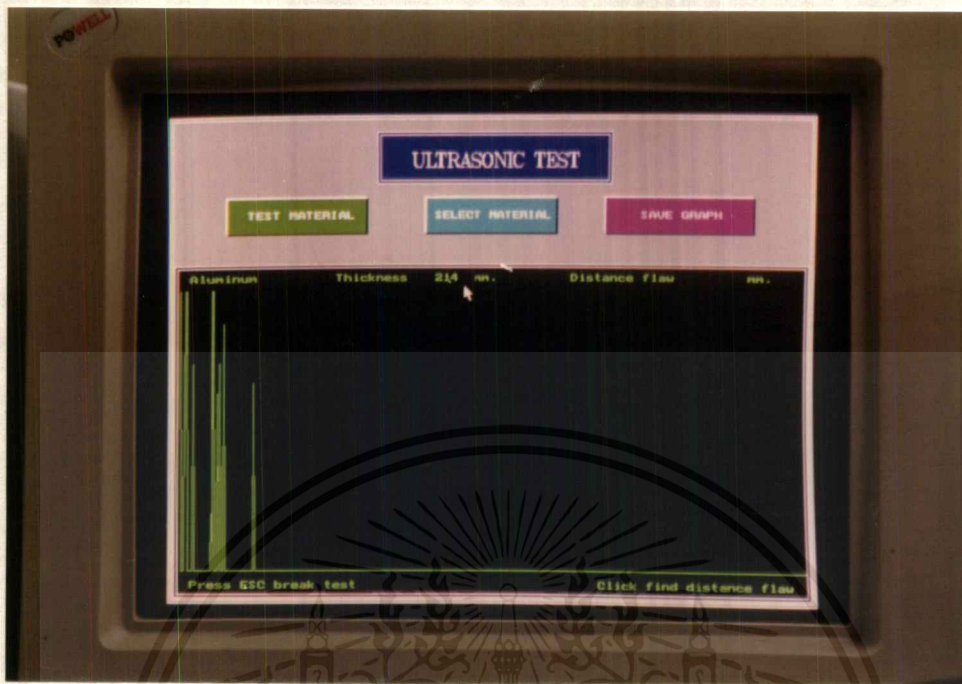
ค่าความหนาที่อ่านได้จาก Program = 57.2 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเทียบกับค่าจริงเมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ขั้นที่ 2 = 3.7 %

1.7 นำเครื่องอัลตราโซนิกไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในขั้นที่ 3 ด้านที่ไม่มีรู แล้วทำการปรับ Calibrate ให้ได้ค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับขนาดของแท่น Calibration Block

$\therefore$ เมื่อทำการ Calibrate จาก Program แล้วจะได้ค่า Calibrate Constant = 0.0805

1.8 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ได้ทำการปรับ Calibrate แล้วในข้อ 1.7 ไปทำการวัดที่แท่น Calibration Block ในขั้นที่ 1 บันทึกผลที่วัดได้และหาค่าความหนาที่แสดงจาก Program เทียบกับผลที่แสดงบนจอ Oscilloscope



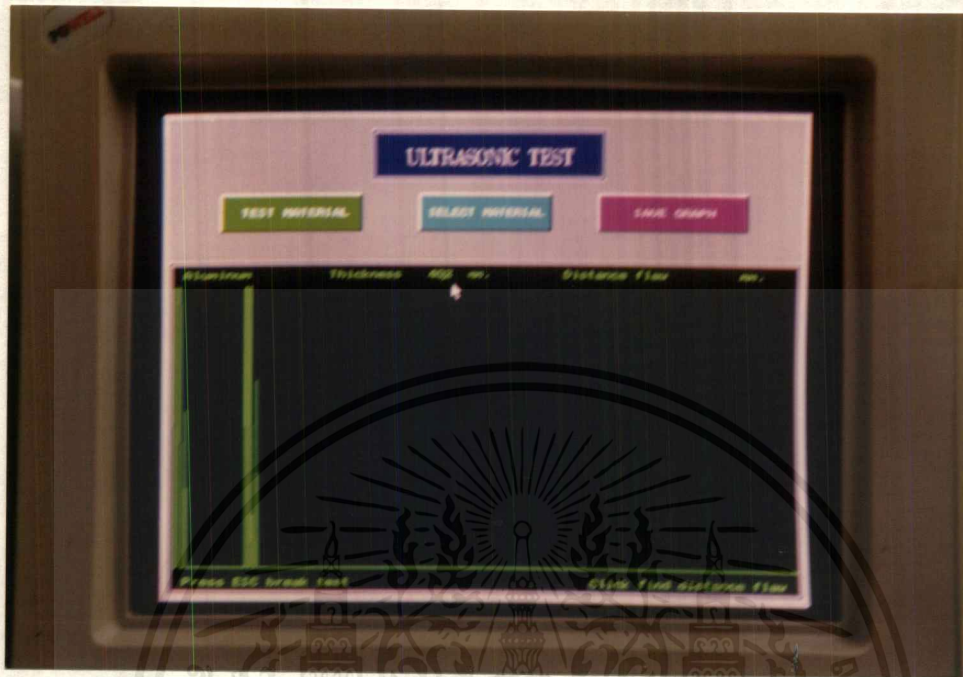
รูปที่ 7.9 รูปที่ได้จาก Program

รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.5 Volts/Div. ; 1 μ Sec/Div. (รูปที่ 7.7 ประกอบ)

ค่าความหนาที่อ่านได้จาก Program = 21.4 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเทียบกับค่าจริงเมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ชั้นที่ 3 = 10.3 %

1.9 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ได้ทำการปรับ Calibrate แล้วในข้อ 1.7 ไปทำการวัดที่แผ่น Calibration Block ในชั้นที่ 2 บันทึกผลที่วัดได้และหาค่าความหนาที่แสดงจาก Program เทียบกับผลที่แสดงบนจอ Oscilloscope



รูปที่ 7.10 รูปที่ได้จาก Program

รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.5 Volts/Div. ; 2 μ Sec/Div. (ดูรูปที่ 7.3 ประกอบ)

ค่าความหนาที่อ่านได้จาก Program = 40.2 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเทียบกับค่าจริงเมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ชั้นที่ 3 = 2.03 %

1.10 นำค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ที่ผิดพลาดจากการวัดเมื่อทำการปรับ Calibrate ที่ Calibration Block ในแต่ละชั้นมาทำการเปรียบเทียบ

เมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ในชั้นที่ 1

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดจากการวัด Calibration Block ในชั้นที่ 2 = 6.35 %

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดจากการวัด Calibration Block ในชั้นที่ 3 = 6.73 %

เมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ในชั้นที่ 2

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดจากการวัด Calibration Block ในชั้นที่ 1 = 6.7 %.

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดจากการวัด Calibration Block ในชั้นที่ 3 = 3.7 %

เมื่อทำการปรับ Calibrate จาก Calibration Block ในชั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดจากการวัด Calibration Block ในขั้นที่ 1 = 10.3 %

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดจากการวัด Calibration Block ในขั้นที่ 2 = 2.03 %

1.11 สรุปผลการทดลอง

การปรับ Calibrate จากแท่นอะลูมิเนียมที่มีขนาดคงที่นั้น เราจะกำหนดค่าที่วัดได้จากเวอร์เนียร์คาลิเบรเตอร์ เป็นค่าที่ไว้อ้างอิงจากค่าที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ โดยเราเลือกค่าที่มี ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเป็นค่าที่ใช้ในการปรับ Calibrate จากโปรแกรม ซึ่งค่าที่ผิดพลาดน้อยที่สุด จากการทดลองขั้นที่ 2 คือค่าผิดพลาด $(6.7+3.7)/2 = 5.2\%$ จะให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจะนำค่าในการปรับ Calibrate นี้ไปทำการทดลองในการทดลองที่ 2 โดยกำหนดใน File control.h `#define calibrate_constant 0.078`

ซึ่งค่าที่ผิดพลาดนี้อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้จากสาเหตุดังนี้

1. เกิดจาก Hardware เนื่องจาก Clock ที่ใช้ยังมีความถี่สูงไม่เพียงพอ คือ ถ้าความถี่สูงก็จะทำให้ค่าความหนาที่คำนวณจากคอมพิวเตอร์ผิดพลาดน้อยลงอีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ก็ได้
2. เนื่องจากโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมมักจะเป็นโลหะผสม เช่น เหล็กทำเครื่องมือ (Tool steel) ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติ Acoustic impedance ของโลหะนั้นเปลี่ยนไปนั่นคือ จะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดไป

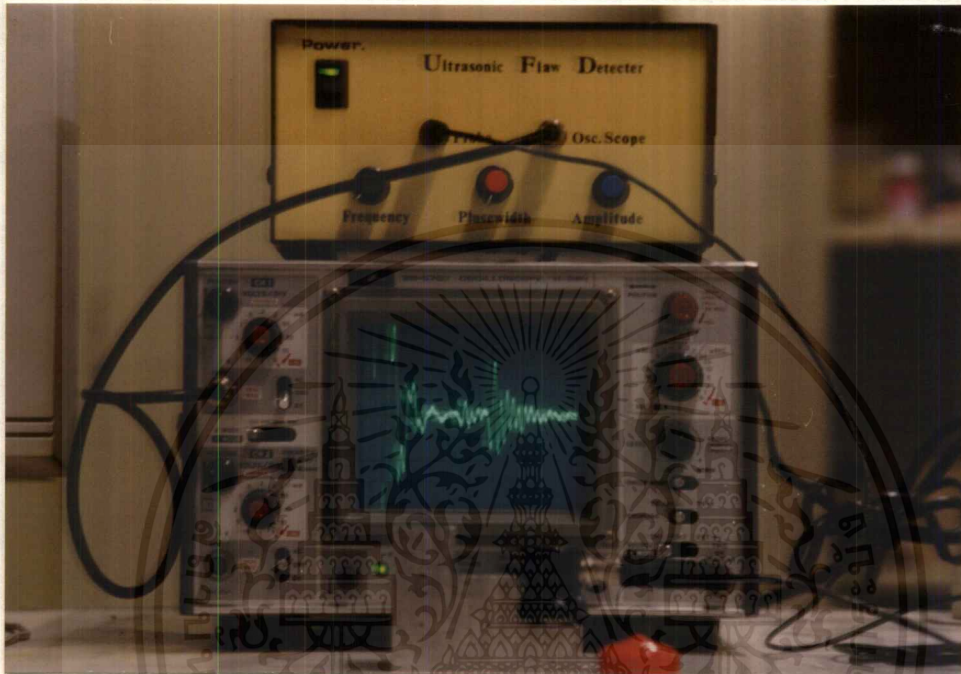
การทดลองที่ 2

การวัดระยะห่างของรอยร้าวจาก Calibration Block

2.1 นำเครื่องอัลตราโซนิกที่ผ่านการ Calibrate แล้วไปทำการวัดหาระยะห่างของรอยร้าวจาก Calibration Block ในขั้นที่ 1 ด้านที่ทำการเจาะรูไว้ซึ่งเป็นการจำลองรอยร้าวที่เกิดขึ้นในงานบันทึกผลที่แสดงแล้วอ่านค่าระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้จาก Program และจาก Oscilloscope



รูปที่ 7.11 รูปที่ได้จาก Program

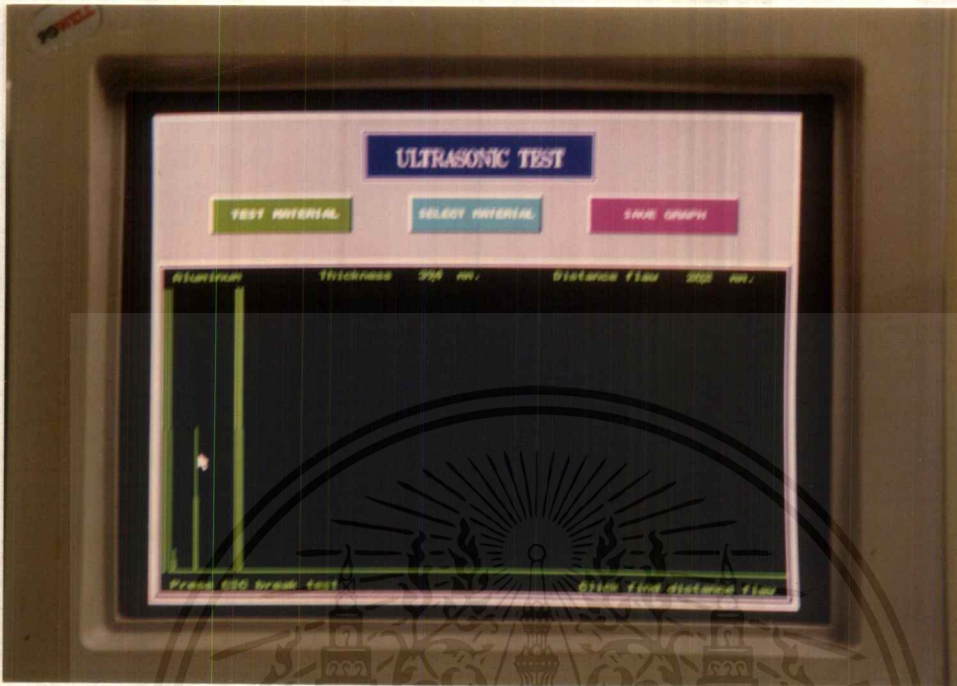


รูปที่ 7.12 รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.1 Volts/Div. ; 1 μ Sec/Div.

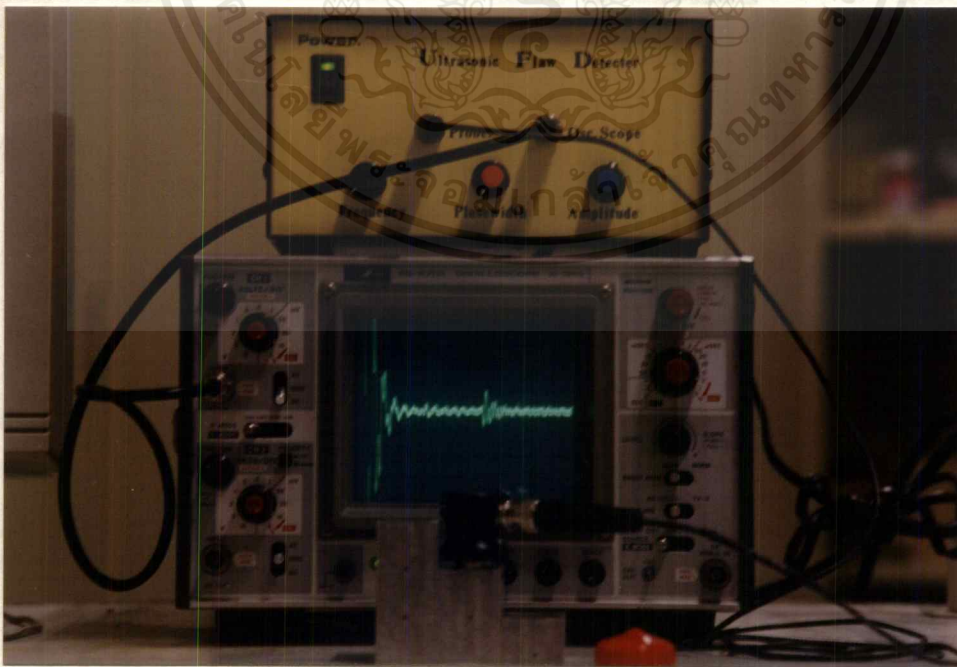
ค่าระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้จาก Program = 15.8 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ผิดพลาดของระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้เทียบกับระยะห่างของรอยร้าว
จริงจาก Calibration Block = 2.59 %

2.2 ทำการวัดหาระยะห่างของรอยร้าวจาก Calibration Block ในขั้นที่ 2 ด้านที่ทำการเจาะ
รูไว้ซึ่งเป็นการจำลองรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชิ้นงานบันทึกผลที่แสดงแล้วอ่านค่าระยะห่างของรอยร้าว
ที่วัดได้จาก Program และจาก Oscilloscope



รูปที่ 7.13 รูปที่ได้จาก Program



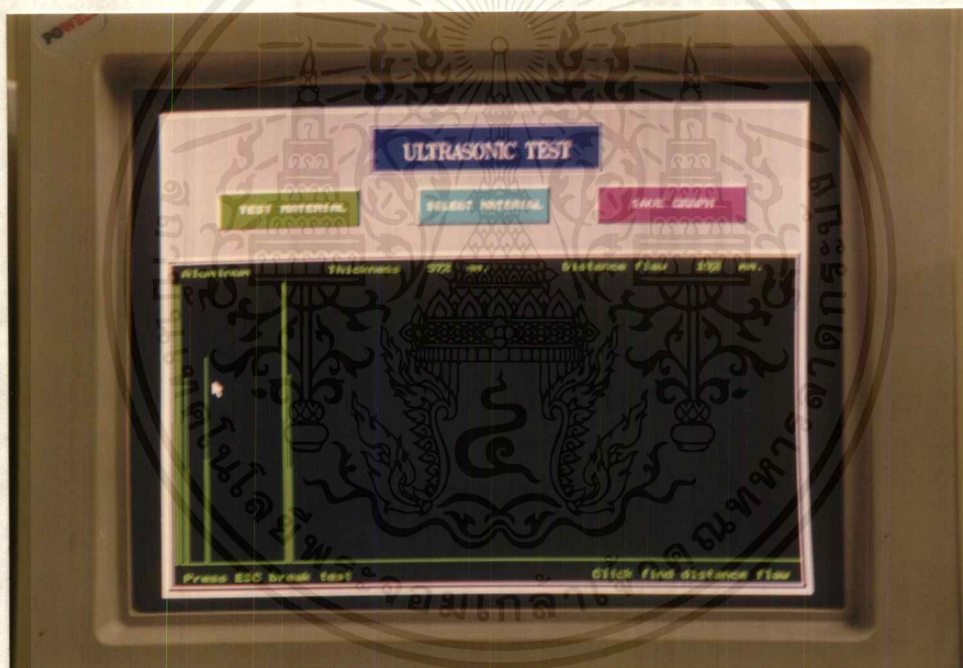
รูปที่ 7.14 รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.1 Volts/Div. ; 2 μ Sec/Div.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้จาก Program = 20.2 mm.

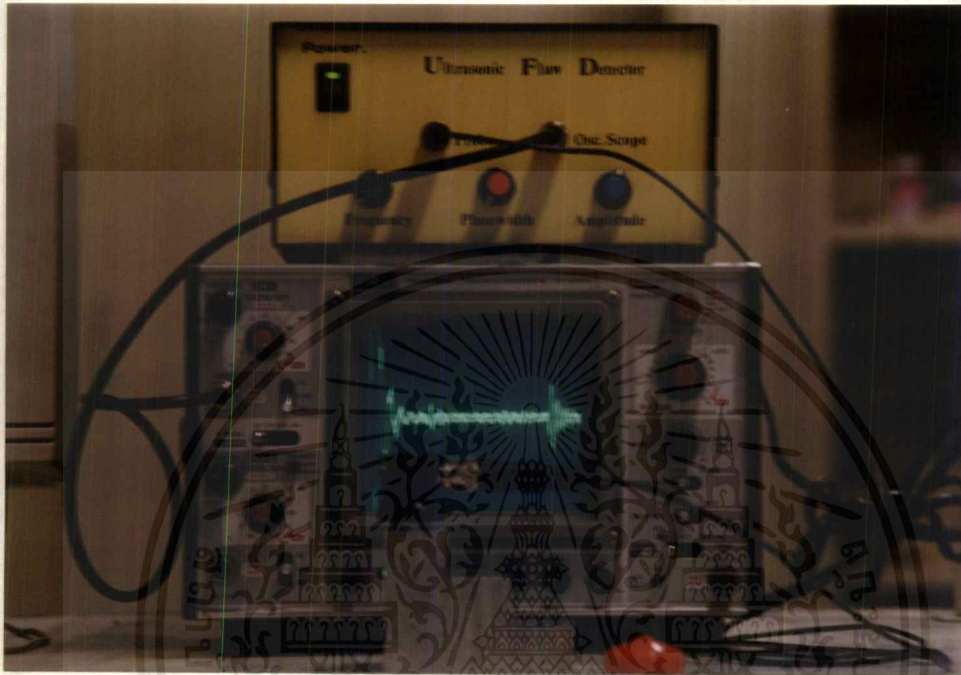
ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ผิดพลาดของระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้เทียบกับระยะห่างของรอยร้าวจริงจาก Calibration Block = 1 %

2.3 ทำการวัดหาระยะห่างของรอยร้าวจาก Calibration Block ในขั้นที่ 3 ด้านที่ทำการเจาะรูไว้ซึ่งเป็นการจำลองรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชิ้นงานบันทึกผลที่แสดงแล้วอ่านค่าระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้จาก Program และจาก Oscilloscope



รูปที่ 7.15 รูปที่ได้จาก Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.16 รูปที่ได้จาก Oscilloscope ; Range 0.1 Volts/Div. ; 2 μ Sec/Div.

ค่าระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้จาก Program = 19.2 mm.

ค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดของระยะห่างของรอยร้าวที่วัดได้เทียบกับระยะห่างของรอยร้าวจริงจาก Calibration Block = 4 %

2.4 สรุปผลการทดลอง

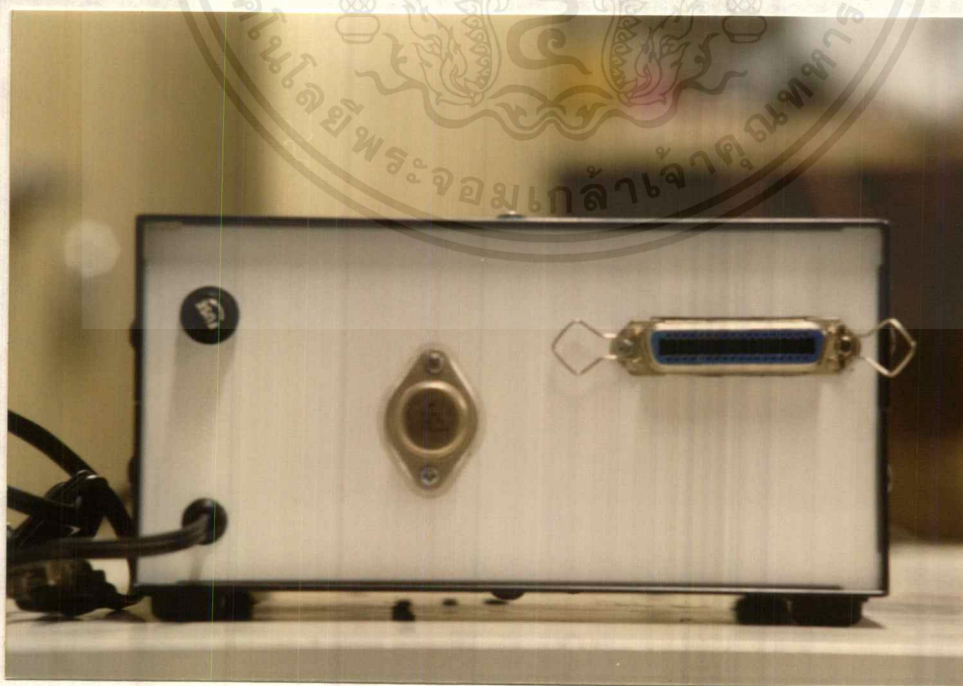
จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้ในขั้นที่ 2 มีค่าเปอร์เซ็นต์(%)ผิดพลาดน้อยที่สุดเนื่องจากเราปรับ Calibrate ที่ขั้นที่ 2 ยิ่งถ้าเรานำไปวัดหาระยะห่างของรอยร้าวที่ความหนาของโลหะมากๆ แล้วค่าความผิดพลาดก็จะเพิ่มมากขึ้น และถ้าเรานำไปวัดหาระยะห่างของรอยร้าวที่ความหนาของโลหะน้อยกว่าที่ปรับ Calibrate แล้วค่าความผิดพลาดก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้น ก่อนที่จะนำไปทำการวัดจึงควรที่จะทำการปรับ Calibrate ก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

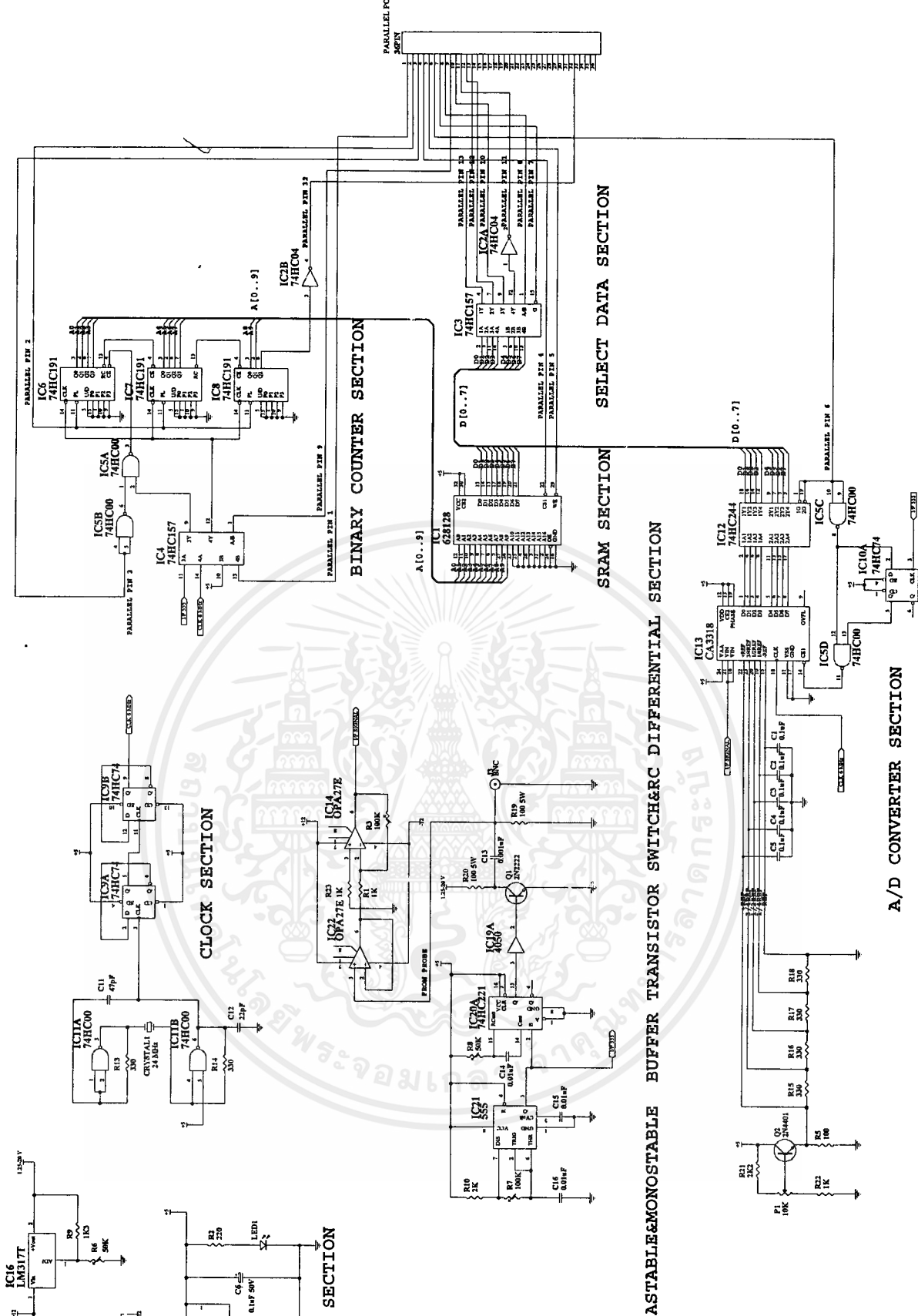


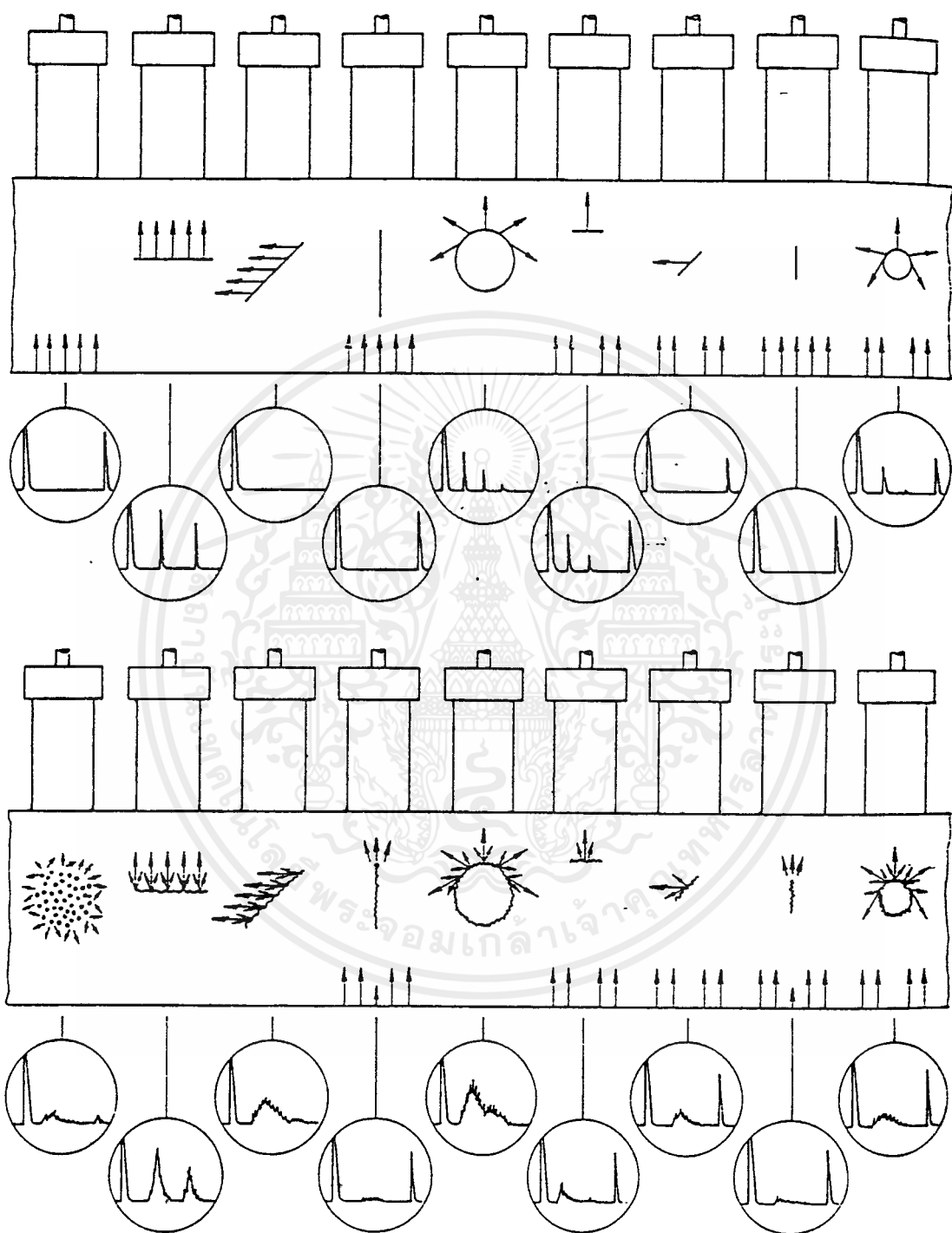
ภาพเครื่อง Ultrasonic Flaw Detector ; ด้านหน้า



ภาพเครื่อง Ultrasonic Flaw Detector ; ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



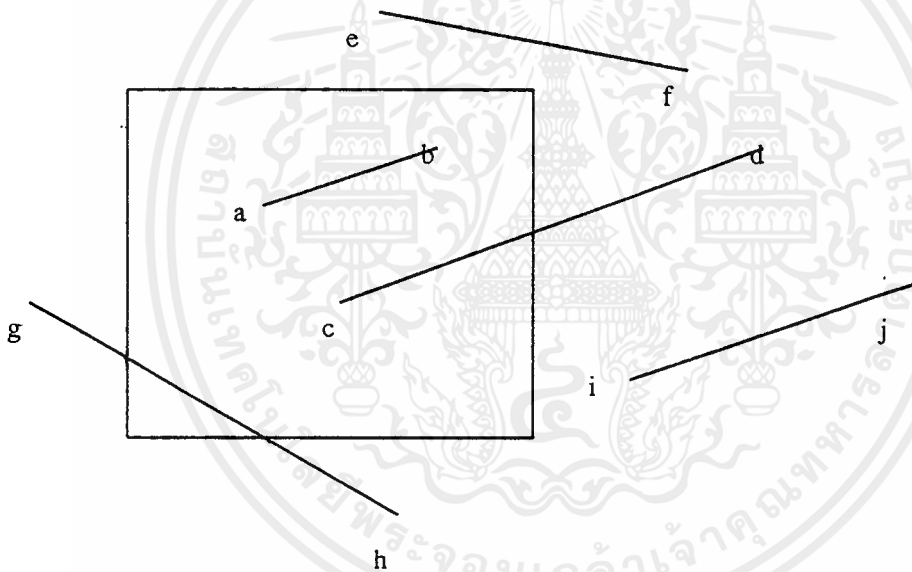


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขริบเส้น

จากรูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งต่างๆ ของเส้นซึ่งอาจจะอยู่ได้ทั้งภายในกรอบของหน้าต่างหรืออาจจะตัดกับเส้นกรอบหรืออยู่บนกรอบก็ได้ ตัวอย่างเช่น เส้น ab จะอยู่ภายในกรอบส่วนเส้น ef และ ij อยู่ภายนอกกรอบ เส้น cd จุด c อยู่ในกรอบแต่ละจุด d อยู่ภายนอกกรอบ ส่วนเส้น gh จุด g และ h อยู่ภายนอกกรอบแต่ละส่วนของเส้นบางส่วนอยู่ภายในกรอบ

เนื่องจากภาพที่ซับซ้อนอาจจะประกอบไปด้วยเส้นจำนวนมากจึงต้องมีวิธีตรวจสอบสำหรับการขริบเส้นที่สีความเร็วสูงจึงสามารถแสดงภาพในหน้าต่างได้อย่างรวดเร็ววิธีการที่ใช้มีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีโคเฮน-ซูเธอร์แลนด์ (Cohen-Sutherland Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบว่าเส้นอยู่ภายในหรือภายนอกได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นวิธีที่นำไปใช้ในระบบกราฟิกส์มากที่สุดวิธีหนึ่ง

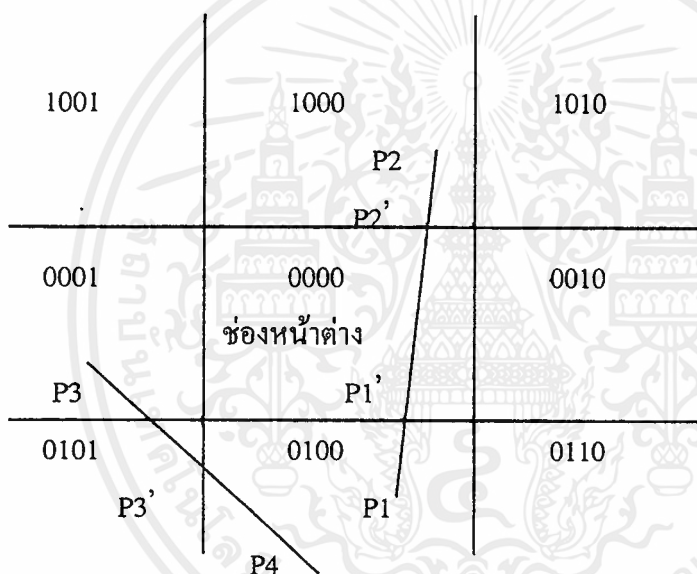


รูปที่ 3.10 ส่วนของเส้นในตำแหน่งต่างๆ เมื่อตัดกับหน้าต่าง

วิธีโคเฮน-ซูเธอร์แลนด์

สำหรับวิธีการนี้เราจะแบ่งระบบพิกัดโลกออกเป็นพื้นที่ 9 ส่วน โดยมีพื้นที่ตรงกลางเป็นช่องหน้าต่าง และพื้นที่ 8 ส่วนคั่นพื้นที่รอบๆ ช่องหน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 แต่ละส่วนจะมีรหัสแทนเป็นเลขฐานสองจำนวน 4 บิต ดังที่กำหนดในรูปที่ 3.11 จุดพิกัดซึ่งตกอยู่ในพื้นที่ใดก็就会被กำหนดให้มีรหัสรหัสตามพื้นที่นั้น รหัสทั้ง 9 รหัสมีความดังนี้

รหัส 0110 หมายถึง จอดอยู่ในตำแหน่งทาง ล่าง-ขวา ของช่องหน้าต่าง



รูปที่ 3.11 การแบ่งพื้นที่ของระบบฟิสิกส์โลกเพื่อใช้ในการบริบโดยวิธีโคเฮน-ซูเธอร์แลนด์

การอ้างถึงบิตแต่ละบิตในรหัสจะเป็นดังนี้ หลักหน่วยของรหัสจะเป็นบิต 1 หลักต่อมาก็เป็น บิต 2, บิต 3, และบิต 4 เช่น รหัส 1000 บิต 1, 2 และ 3 เป็น 0 ส่วนบิต 4 เป็น 1 เป็นต้นแต่ละบิตสัมพันธ์กับตำแหน่งซึ่งเปรียบเทียบกับช่องหน้าต่างดังนี้

- บิต 1 - ช้าย (ถ้าค่าบิต 1 เป็น 1 หมายถึง อยู่ทางซ้ายของช่องหน้าต่าง)
 บิต 2 - ขวา (ถ้าค่าบิต 2 เป็น 1 หมายถึง อยู่ทางขวาของช่องหน้าต่าง)
 บิต 3 - ล้าง (ถ้าค่าบิต 3 เป็น 1 หมายถึง อยู่ทางล้างของช่องหน้าต่าง)
 บิต 4 - บน (ถ้าค่าบิต 4 เป็น 1 หมายถึง อยู่ทางบนของช่องหน้าต่าง)

ค่าของแต่ละบิตในรหัสอาจจะเป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ ขึ้นอยู่กับผลของการเปรียบเทียบค่าพิกัดปลายของเส้น (endpoint coordinate values) กลับของเขตของช่องหน้าต่าง เช่น บิต 1 (ซ้าย) จะถูกกำหนดค่าต่างให้เป็น 1 เมื่อค่า X ของค่าพิกัดปลายน้อยกว่าค่า X ของช่องหน้าต่าง ($X < XW_{min}$) อีก 3 บิตก็ใช้วิธีเปรียบเทียบทำนองเดียวกัน สำหรับภาษาซี ซึ่งสามารถจัดการกับบิตได้ การกำหนดรหัสให้กับจุดพิกัดปลายของเส้นทำได้ดังนี้

1. คำนวณหาผลต่างของค่าพิกัดปลายของเส้นกับขอบเขตของช่องหน้าต่าง
2. ใช้ผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งอาจจะเป็นค่าบวกหรือค่าลบไปกำหนดค่า 1 หรือ 0 ให้กับ

บิตต่างๆของรหัส กล่าวคือ

- ถ้า $x - xw_{min} < 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ทางซ้ายของช่องหน้าต่าง บิตหนึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นค่า 1

- ถ้า $x - xw_{min} \geq 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ภายในหรือบนขอบเขตของช่องหน้าต่าง บิต 1 จะถูกกำหนดค่าให้เป็น 0

- ถ้า $xw_{max} - x < 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ทางขวาของช่องหน้าต่างบิต 2 จะถูกกำหนดให้เป็นค่า 1

- ถ้า $xw_{max} - x \geq 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ภายในหรือบนขอบเขตของช่องหน้าต่าง บิตที่ 2 จะถูกกำหนดให้เป็นค่า 0

- ถ้า $yw_{max} - y < 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ข้างล่างช่องหน้าต่างบิตที่ 3 จะถูกกำหนดให้เป็นค่า 1

- ถ้า $yw_{max} - y \geq 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ภายในหรือบนขอบเขตของช่องหน้าต่าง บิตที่ 3 จะถูกกำหนดให้เป็นค่า 0

- ถ้า $y - yw_{min} < 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ข้างบนช่องหน้าต่างบิตที่ 4 จะถูกกำหนดให้เป็นค่า 1

- ถ้า $y - yw_{min} \geq 0$ แสดงว่าจุดพิกัดอยู่ภายในหรือบนขอบเขตของช่องหน้าต่าง บิตที่ 4 จะถูกกำหนดให้เป็นค่า 0

หมายเหตุ เราจะใช้ระบบพิกัดของจอภาพเป็นระบบอ้างอิง (จุดกำเนิด (0,0) อยู่ที่มุมบนซ้าย)

เมื่อเราสามารถกำหนดรหัสให้กับจุดพิกัดปลายของทุกๆจุดแล้ว เราสามารถตรวจสอบได้ว่าเส้นใดบ้างที่อยู่ภายในช่องหน้าต่างทั้งเส้นหรือภายนอกช่องหน้าต่างทั้งเส้น โดยดูจากรหัสถ้าจุดพิกัดปลายของเส้นนั้นมีรหัสเป็น 0000 ทั้งคู่ (เส้นนั้นมีจุดพิกัดปลาย 2 จุด) แสดงว่าเส้นเส้นนั้นอยู่ภายในช่องหน้าต่างแน่นอน และถ้ารหัสของจุดพิกัดทั้งคู่มีค่าของบิตที่ตำแหน่งตรงกันเป็น 1 เช่น 1001 กับ 1010 จะเห็นว่าบิต 4 เป็น 1 เหมือนกัน แสดงว่าเส้นเส้นนี้อยู่ภายนอก

ช่องหน้าต่างแน่นอนซึ่งเราจะขริบออกไปได้เลย วิธีการตรวจสอบง่ายๆ ทำได้โดยการ AND กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือนำรหัสของจุดพิกัดทั้งคู่ของเส้นนั้นมาทำการ AND กัน ถ้าผลที่ได้ไม่เป็น 0000 ก็สรุปได้ทันทีว่าเส้นเส้นนั้นอยู่ภายนอกช่องหน้าต่าง

มีเส้นบางเส้นที่ไม่สามารถบอกได้ทันทีว่าอยู่ในหรือภายนอกช่องหน้าต่าง เช่น เส้นที่ปรากฏในรูปที่ 3.11 (เส้น P3P4 และ P1P2) การตรวจสอบเส้นเหล่านี้จะอาศัยการตัดกันของขอบเขตของช่องหน้าต่างกับเส้น ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

เราจะอธิบายวิธีการโดยอ้างอิงเส้นในรูปที่ 3.11 เริ่มจากเส้น P1P2 จะตรวจสอบว่าจุด P1 อยู่ตรงพื้นที่ส่วนใด โดยเทียบกับขอบเขตซ้าย ขวา ล่าง และ บนตามลำดับ ซึ่งในที่นี้จะพบว่า จุด P1 อยู่ข้างล่างช่องหน้าต่าง จากนั้นก็หาจุดตัดของเส้นกับขอบเขตล่างซึ่งให้เป็นจุด P1' เส้น P1P1' จะถูกตัดออกไปเหลือเพียงเส้น P1'P2 ต่อไปก็ตรวจสอบว่า จุด P2 อยู่ตรงพื้นที่ส่วนใด พบว่าอยู่ข้างบนของช่องหน้าต่าง คำนวณหาจุดตัดกับเส้นของขอบเขตบนได้จุด P2' เส้น P1'P2' จะถูกเก็บเป็นภาพเส้นที่เหลือหลังจากการขริบแล้วสำหรับเส้น P3P4 ก็จัดการได้โดยวิธีเดียวกันตรวจสอบว่าจุด P3 อยู่ทางซ้ายของช่องหน้าต่าง หาจุดตัดกับเส้นขอบเขตซ้ายได้จุด P3' เส้น P3P3' ถูกตัดออกไป เหลือเพียงเส้น P3'P4 ซึ่งเมื่อนำไปตรวจสอบต่อก็จะพบว่าอยู่ข้างล่างช่องหน้าต่างจึงขริบออกได้ สำหรับการคำนวณหาจุดตัดกับเส้นขอบเขตหาได้จากสมการเส้นตรง เส้นตรงที่มีจุดพิกัดปลายเป็น (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) ค่าพิกัด y ของจุดตัดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$y = y_1 + m(x - x_1)$$

โดยที่ x อาจจะกำหนดให้เป็น xw_min หรือ xw_max ก็ได้ค่าความลาดชัน m หาได้จากสมการ

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

ในทำนองเดียวกันเราต้องหาค่าพิกัด x ของจุดตัด ก็สามารถหาได้จากสมการ

$$x = x_1 + \frac{(y - y_1)}{m}$$

โดยที่ y อาจจะกำหนดให้เป็น yw_min หรือ yw_max ก็ได้

December, 1993

Features

- CMOS Low Power with SOS Speed (150mW Typ.)
- Parallel Conversion Technique
- 15MHz Sampling Rate (67ns Conversion Time)
- 8-Bit Latched Tri-State Output with Overflow Bit
- ± 1 LSB Accuracy (Typ.)
- Single Supply Voltage (4V to 7.5V)
- 2 Units in Series Allow 9-Bit Output
- 2 Units in Parallel Allow 30MHz Sampling Rate

Applications

- TV Video Digitizing (Industrial/Security/Broadcast)
- High-Speed A/D Conversion
- Ultrasound Signature Analysis
- Transient Signal Analysis
- High Energy Physics Research
- High Speed Oscilloscope Storage/Display
- General Purpose Hybrid ADCs
- Optical Character Recognition
- Radar Pulse Analysis
- Motion Signature Analysis
- μ P Data Acquisition Systems

Description

The CA3318C is a CMOS parallel (FLASH) analog-to-digital converter designed for applications demanding both low power consumption and high speed digitization.

The CA3318 operates over a wide full scale input voltage range of 4V up to 7.5V with maximum power consumption depending upon the clock frequency selected. When operated from a 5V supply at a clock frequency of 15MHz, the typical power consumption of the CA3318 is 150mW.

The intrinsic high conversion rate makes the CA3318 ideally suited for digitizing high speed signals. The overflow bit makes possible the connection of two or more CA3318s in series to increase the resolution of the conversion system. A series connection of two CA3318s may be used to produce a 9-bit high speed converter. Operation of two CA3318s in parallel doubles the conversion speed (i.e., increases the sampling rate from 15MHz to 30MHz).

256 paralleled auto balanced voltage comparators measure the input voltage with respect to a known reference to produce the parallel bit outputs in the CA3318.

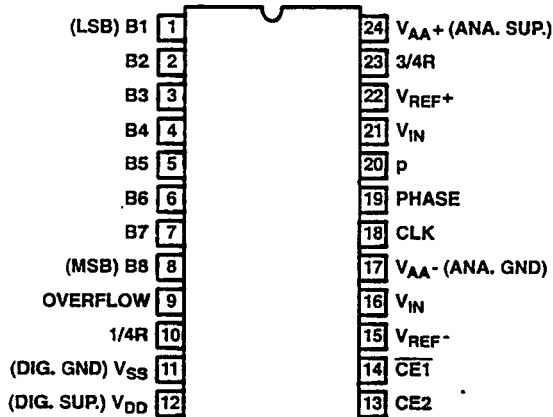
255 comparators are required to quantize all input voltage levels in this 8-bit converter, and the additional comparator is required for the overflow bit.

Ordering Information

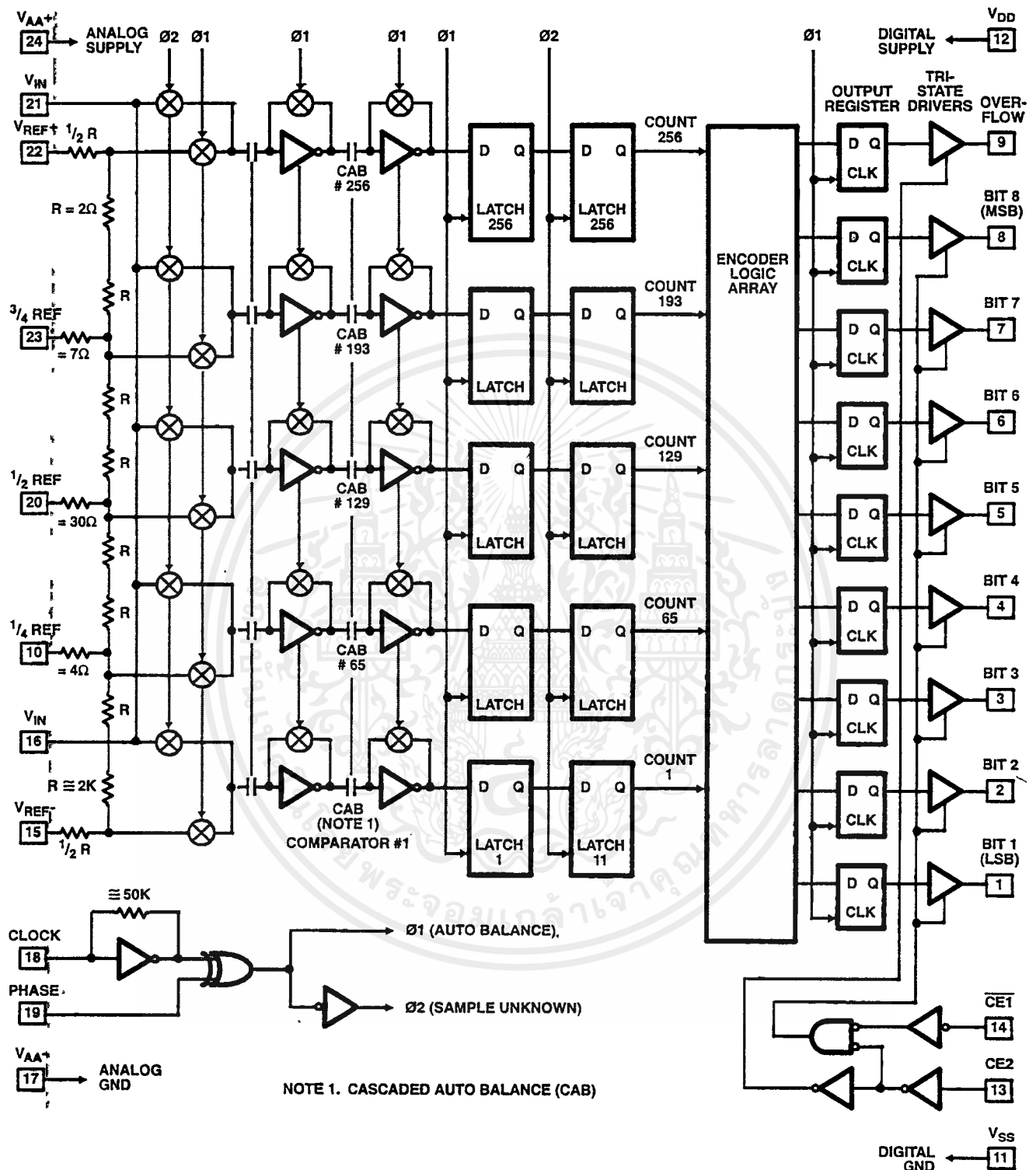
PART NUMBER	LINEARITY (INL)	SAMPLING RATE	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
CA3318CE	± 1.5 LSB	15MHz (67ns)	-40°C to +85°C	24 Lead Plastic DIP
CA3318CM	± 1.5 LSB	15MHz (67ns)	-40°C to +85°C	24 Lead Plastic SOIC
CA3318CD	± 1.5 LSB	15MHz (67ns)	-40°C to +85°C	24 Lead Ceramic DIP

Pinout

CA3318C (PDIP, CDIP, SOIC)
TOP VIEW



Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications CA3318C

Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range (V_{DD} or V_{AA+}) -0.5V to +8V
(Referenced to V_{SS} or V_{AA-} Terminal, Whichever is More Negative)
Input Voltage Range
CE2 and CE1 V_{AA-} -0.5V to V_{DD} + 0.5V
Clock, Phase, V_{REF-} , 1/2 Ref. V_{AA-} -0.5V to V_{AA+} + 0.5V
Clock, Phase, V_{REF+} , 1/4 Ref. V_{SS-} -0.5V to V_{DD} + 0.5V
 V_{IN} , 3/4 REF, V_{REF+} V_{AA-} -0.5V to V_{AA+} + 7.5V
Output Voltage Range, ... V_{SS} - 0.5V to V_{DD} + 0.5V
Bits 1-8, Overflow (Outputs Off)
DC Input Current $\pm 20\text{mA}$
Clock, Phase, CE1, CE2, V_{IN} , Bits 1-8, Overflow
Operating Voltage Range (V_{DD} or V_{AA+}) 4V Min to 7.5V Max
Recommended V_{AA+} Operating Range $V_{DD} \pm 1\text{V}$
Recommended V_{AA-} Operating Range $V_{SS} \pm 1\text{V}$
Storage Temperature Range -65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10s) +265°C

Thermal Information

Thermal Resistance
Ceramic DIP Package θ_{JA} 58°C/W θ_{JC} 11°C/W
Plastic DIP Package 60°C/W -
Plastic SOIC Package 75°C/W -
Maximum Power Dissipation 0.67W
Operating Temperature Range (T_A) -40°C to +85°C
Junction Temperature
Ceramic Package +175°C
Plastic Package +150°C

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

Electrical Specifications At +25°C, $V_{AA+} = V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{REF+} = 6.4\text{V}$, $V_{REF-} = V_{AA-} = V_{SS}$, CLK = 15MHz,
All Reference Points Adjusted, Unless Otherwise Specified.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SYSTEM PERFORMANCE					
Resolution		8	-	-	Bits
Integral Linearity Error		-	-	± 1.5	LSB
Differential Linearity Error		-	-	+1, -0.8	LSB
Offset Error, Unadjusted	$V_{IN} = V_{REF-} + 1/2 \text{ LSB}$	-0.5	4.5	6.4	LSB
Gain Error Unadjusted	$V_{IN} = V_{REF+} - 1/2 \text{ LSB}$	-1.5	0	1.5	LSB
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Maximum Input Bandwidth	(Note 1) CA3318C	2.5	5.0	-	MHz
Maximum Conversion Speed	CLK = Square Wave	15	17	-	MSPS
Signal to Noise Ratio (SNR) $= \frac{\text{RMS Signal}}{\text{RMS Noise}}$	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 100\text{kHz}$	-	47	-	dB
	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 4\text{MHz}$	-	43	-	dB
Signal to Noise Ratio (SINAD) $= \frac{\text{RMS Signal}}{\text{RMS Noise+Distortion}}$	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 100\text{kHz}$	-	45	-	dB
	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 4\text{MHz}$	-	35	-	dB
Total Harmonic Distortion, THD	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 100\text{kHz}$	-	-46	-	dBc
	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 4\text{MHz}$	-	-36	-	dBc
Effective Number of Bits (ENOB)	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 100\text{kHz}$	-	7.2	-	Bits
	$F_S = 15\text{MHz}$, $f_{IN} = 4\text{MHz}$	-	5.5	-	Bits
Differential Gain Error	Unadjusted	-	2	-	%
Differential Phase Error	Unadjusted	-	1	-	%
ANALOG INPUTS					
Full Scale Range, V_{IN} and (V_{REF+}) - (V_{REF-})	Notes 2, 4	4	-	7	V
Input Capacitance, V_{IN}		-	30	-	pF
Input Current, V_{IN} , (See Text)	$V_{IN} = 5.0\text{V}$, $V_{REF+} = 5.0\text{V}$	-	-	3.5	mA
REFERENCE INPUTS					
Ladder Impedance		270	500	800	Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในองค์กรของคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

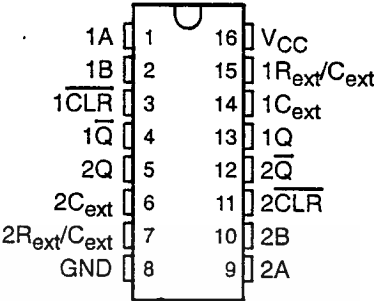
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221
DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS
WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS

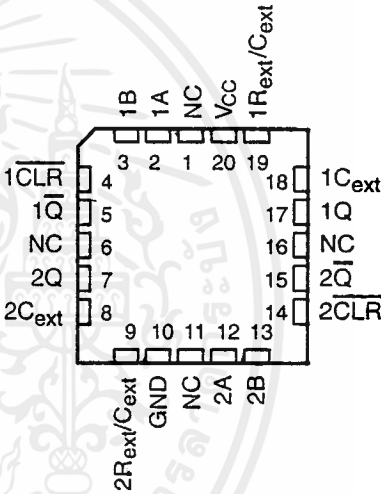
SDL3213 – DECEMBER 1983 – REVISED MAY 1994

- Dual Versions of Highly Stable SN54121 and SN74121 One Shots on a Monolithic Chip
- SN54221 and SN74221 Demonstrate Electrical and Switching Characteristics That Are Virtually Identical to the SN54121 and SN74121 One Shots
- Pinout Is Identical to the SN54123, SN74123, SN54LS123, SN74LS123
- Overriding Clear Terminates Output Pulse
- Package Options Include Plastic Small-Outline (D) Packages, Ceramic Chip Carriers (FK) and Flat Packs (W), and Standard Plastic (N) and Ceramic (J) 300-mil DIPs

SN54221, SN54LS221 ... J OR W PACKAGE
SN74221 ... N PACKAGE
SN74LS221 ... D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54LS221 ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

TYPE	TYPICAL POWER DISSIPATION (mW)	MAXIMUM OUTPUT PULSE LENGTH (s)
SN54221	130	21
SN74221	130	28
SN54LS221	23	49
SN74LS221	23	70

description

The '221 and 'LS221 are monolithic dual multivibrators with performance characteristics virtually identical to those of the '121. Each multivibrator features a negative-transition-triggered input and a positive-transition-triggered input either of which can be used as an inhibit input.

Pulse triggering occurs at a particular voltage level and is not directly related to the transition time of the input pulse. Schmitt-trigger input circuitry (TTL hysteresis) for B input allows jitter-free triggering from inputs with transition rates as slow as 1 V/s, providing the circuit with excellent noise immunity of typically 1.2 V. A high immunity to V_{CC} noise of typically 1.5 V is also provided by internal latching circuitry.

Once fired, the outputs are independent of further transitions of the A and B inputs and are a function of the timing components, or the output pulses can be terminated by the overriding clear. Input pulses can be of any duration relative to the output pulse. Output pulse length can be varied from 35 ns to the maximums shown in the above table by choosing appropriate timing components. With $R_{ext} = 2 \text{ k}\Omega$ and $C_{ext} = 0$, an output pulse of typically 30 ns is achieved which can be used as a dc-triggered reset signal. Output rise and fall times are TTL compatible and independent of pulse length. Typical triggering and clearing sequences are illustrated as a part of the switching characteristics waveforms.

Pulse-width stability is achieved through internal compensation and is virtually independent of V_{CC} and temperature. In most applications, pulse stability is only limited by the accuracy of external timing components.

SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221
DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS
WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS

SDLS213 – DECEMBER 1983 – REVISED MAY 1994

description (continued)

Jitter-free operation is maintained over the full temperature and V_{CC} ranges for more than six decades of timing capacitance (10 pF to 10 μ F) and more than one decade of timing resistance (2 k Ω to 30 k Ω for the SN54221, 2 k Ω to 40 k Ω for the SN74221, 2 k Ω to 70 k Ω for the SN54LS221, and 2 k Ω to 100 k Ω for the SN74LS221). Throughout these ranges, pulse width is defined by the relationship: $t_w(out) = C_{ext}R_{ext} \ln 2 \approx 0.7 C_{ext}R_{ext}$. In circuits where pulse cutoff is not critical, timing capacitance up to 1000 μ F and timing resistance as low as 1.4 k Ω can be used. Also, the range of jitter-free output pulse widths is extended if V_{CC} is held to 5 V and free-air temperature is 25°C. Duty cycles as high as 90% are achieved when using maximum recommended R_T . Higher duty cycles are available if a certain amount of pulse-width jitter is allowed.

The variance in output pulse width from device to device is typically less than $\pm 0.5\%$ for given external timing components. An example of this distribution for the '221 is shown in Figure 2. Variations in output pulse width versus supply voltage and temperature for the '221 are shown in Figures 3 and 4, respectively.

Pin assignments for these devices are identical to those of the SN54123/SN74123 or SN54LS123/SN74LS123 so that the '221 or 'LS221 can be substituted for those products in systems not using the retrigger by merely changing the value of R_{ext} and/or C_{ext} ; however, the polarity of the capacitor will have to be changed.

The SN54221 and SN54LS221 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74221 and SN74LS221 are characterized for operation from 0°C to 70°C .

FUNCTION TABLE
(each monostable multivibrator)

INPUTS			OUTPUTS	
CLR	A	B	Q	$\bar{Q}$
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	$\uparrow$	$\square^\ddagger$	$\sqcap^\ddagger$
H	$\downarrow$	H	$\square^\ddagger$	$\sqcap^\ddagger$
$\uparrow\uparrow$	L	H	$\square^\ddagger$	$\sqcap^\ddagger$

$\uparrow$ This condition is true only if the output of the latch formed by the two NAND gates has been conditioned to the logic 1 state prior to CLR going high. This latch is conditioned by taking either A high or B low while CLR is inactive (high).

$\ddagger$ Pulsed-output patterns are tested during AC switching at 25°C with $R_{ext} = 2\text{ k}\Omega$, and $C_{ext} = 80\text{ pF}$.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณ และอาจารย์วิชิต ศิริโชติ คณะวิทยาศาสตร์ คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ขอขอบพระคุณ นายประดิษฐ์ ทวีทรัพย์(พี่หน้อย) และ นายภาวิน โกมลวิภาต(เจนหรือเป๊ะ) ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม ขอขอบพระคุณ คุณวิเชียร หอมแก่นจันทร์ จากบริษัท Bangkok Spring Industrial Co.,Ltd. ที่ให้ตัวอย่างชิ้นงาน ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ มา ณ. ที่นี้ด้วย ซึ่งหากมีข้อบกพร่องและความผิดพลาดของโครงการนี้ คณะผู้จัดทำขอน้อมรับผิดและขออภัยมาไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายทวีศักดิ์

พนมเริงศักดิ์

นายศิลป์ชัย

เดิมสุข

นายสุวัฒน์

วิสมแขวง



บรรณานุกรม

ฟูจิชิ ซาโตะ ; การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Testing) ; สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)

มานพ ตันตระกูล ; งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม ; สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)
ดร.วิทยา เรืองพรวิสุทธิ ; คู่มือโปรแกรมภาษา C สำหรับผู้เริ่มต้น ; บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

ธันวา ศรีประโม่ง ; การเขียนโปรแกรมภาษา C สำหรับวิศวกรรม ; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหา
นคร พิมพ์ครั้งที่ 4 ปี พ.ศ. 2539

ธานินทร์ ธารศาสนวงศ์ , ทินกร ดู่ก ; การอินเทอร์ IBM PC ; ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์
Robert boylested and Louis ; Electronic device and circuit theory ; Printice-Hall ; Inc. 1992

