

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

ปริญญาโท เครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้  
คลื่นอัลตราโซนิกส์

THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS USE ULTRASONICS

- |              |                           |              |          |
|--------------|---------------------------|--------------|----------|
| ชื่อนักศึกษา | 1. นายจินตวัฒน์ ทองคำ     | รหัสประจำตัว | 39031404 |
|              | 2. นายชัยยุทธ์ คนดี       | รหัสประจำตัว | 39031409 |
|              | 3. นายปรกรณ์ รุ่งเรือง    | รหัสประจำตัว | 39031416 |
|              | 4. นายสรายุติ อำนวยศักดิ์ | รหัสประจำตัว | 39031434 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

- |                              |
|------------------------------|
| 1. อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม  |
| 2. อาจารย์วรวิทย์ สมหา       |
| 3. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี |



คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม	
อาจารย์วรวิทย์ สมหา	
อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี	
อาจารย์อำพล ทองระอา	
อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	

วันเดือนที่สอบ วันที่ 14 ธันวาคม 2540 เวลา 10.00 น. ถึง 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เลขหม..... 91 15  
เลขทะเบียน..... 30128  
วัน, เดือน, ปี..... 8 ส.ย. 2541



ภาควิชารับรองแล้ว  
.....  
..... (เทพหัสดิน ณ อยุธยา)  
..... ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
..... เดือน..... พศ. 41

# ปริญญานิพนธ์

เครื่องตรวจสอบรอยบกร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์  
THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS USE ULTRASONICS



นายจันทวัฒน์ ทองคำ  
นายชัยยุทธ์ คนดี  
นายปกรณ์ รุ่งเรือง  
นายสรายุติ อำนวยศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์  
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องตรวจสอบรอยบกร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์  
THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS USE ULTRASONICS

## ผู้จัดทำ

1. นายจันทวัฒน์ ทองคำ
2. นายชัยยุทธ์ คนดี
3. นายปกรณ์ รุ่งเรือง
4. นายสรายุติ อำนวยศักดิ์

## อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม .....  
(อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม)

ลงนาม .....  
(อาจารย์วรวีทย์ สมหา)

ลงนาม .....  
(อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี)

## หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรม

ลงนาม .....  
(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์

THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS USE ULTRASONICS

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย
2. เพื่อศึกษาการใช้ภาษาซีในการเขียน โปรแกรมควบคุมระบบให้เข้าใจ และใช้งานได้
3. เพื่อศึกษาการใช้การตรวจสอบด้วยวิธีการกระแสไหลวนในการทดสอบอลูมิเนียม
4. เพื่อสร้างชุดต้นแบบเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะ
5. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องต้นแบบให้มีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ ต่อไป

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเข้าใจวิธีการตรวจสอบรอยบกพร่อง และความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์
2. เพื่อสามารถออกแบบเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่อง และความหนาของโลหะด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์
3. เพื่อสามารถสร้างเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่อง และความหนาของโลหะด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์ได้

# เครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์

นายจันทวัฒน์ ทองคำ

นายชัยยุทธ์ คนดี

นายปกรณ์ รุ่งเรือง

นายสรายุติ อำนวยศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

นายวิสุทธิ์ อธิพรธรรม

นายวรวิทย์ สมหา

นายสุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

ปีการศึกษา 2540

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการพัฒนาเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องของโลหะโดยใช้หลักการของคลื่นอัลตราโซนิคส์ ซึ่งเป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายแบบหนึ่งที่สามารถส่งผ่านของคลื่นอัลตราโซนิคส์ไปใช้ในเนื้อโลหะ ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิคส์ จะออกจากหัวทดสอบ จากการตรวจสอบพบว่าหากชิ้นงานที่ถูกนำมาตรวจสอบ มีรอยบกพร่องเกิดขึ้น จะทำให้ช่วงเวลาสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นเร็วกว่าปกติ ซึ่งจะเป็นผลให้ค่าช่วงเวลาที่หัวทดสอบ จะเกิดความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นด้วย และในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้ทฤษฎีดังกล่าวเพื่อสร้างเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่อง โดยผ่านสัญญาณที่ให้จากหัวทดสอบมาทำการประมวลผล เพื่อทำการแสดงผลทางจอเครื่องคอมพิวเตอร์

# THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS DETECTOR USE ULTRASONICS

MR.JINTAWAT	THONGKUM
MR.CHAIYUT	KONDEE
MR.PAKORN	RUNGRUANG
MR.SARAYUT	AMNUAISAK

## ADVISORS

MR.WISUIT	ATIPORNTUM
MR.WORAWIT	SOMHA
MR.SURAPONG	SIRIPONGDEE

1997

## ABSTRACT

This thesis presents the development of the metal object crack and thickness by using Ultrasonics. It's non destructive testing. A probe will send ultrasonic pulse to the object and receive the reflected pulse from the object. When the object has crack, that delay time change from normal.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ซึ่งได้รับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำปรึกษาจากท่านอาจารย์วรวิทย์ สมหา , อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี และ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน เป็นอย่างมากที่ได้ให้ความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการมาโดยตลอด นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่สุด ซึ่งทำให้ได้รับการศึกษามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คือบิดาและ มารดา และสุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอยกความดีที่ได้กระทำมา จงน้อมนำสู่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 การทดสอบวัสดุด้วยอัลตราโซนิคส์	3
2.1.1 วัตถุประสงค์การตรวจสอบวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์	3
2.1.2 ความรู้พื้นฐาน	3
2.1.3 การเปรียบเทียบความเร็วคลื่น	6
2.1.4 การเกิดมุมคลื่นตามขวางวิกฤติ	9
2.1.5 หลักการอุปกรณ์เครื่องทดสอบวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์	13
2.1.6 ปฏิกริยาไฟฟ้าเปียโซ	13
2.1.7 หัวสัมผัสเลื่อน	15
2.1.8 ขนาดของตัวส่งคลื่น	16
2.2 การทดสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์	20
2.2.1 การวัดด้วยคลื่นวิ่งผ่าน	20
2.2.2 การวัดด้วยคลื่นสะท้อน	21
2.3 การพิจารณาผลการทดสอบชิ้นงานลักษณะต่างๆ	23
2.3.1 การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบนราบ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.2 การทดสอบหาจุดบกพร่องในเนื้อโลหะแบนราบ	24
2.3.3 การทดสอบที่แท่งทรงกระบอก	26
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	<b>27</b>
3.1 ฮาร์ดแวร์	27
3.1.1 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ ไอซี 555	28
3.1.2 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	30
3.1.3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี TTL	33
3.1.4 วงจรบัฟเฟอร์	34
3.1.5 วงจรทรานซิสเตอร์สวิทช์	35
3.1.6 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณแรงดัน	35
3.1.7 หัวทดลอง	36
3.1.8 วงจรแสดงผลทางคอมพิวเตอร์	37
3.1.9 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	45
3.2 ซอฟต์แวร์	47
3.3 ส่วนแสดงผลในส่วนนี้จะแสดงเมนูชื่อ โครงการและผู้ร่วมงาน	47
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>48</b>
4.1 การทดลองและทดสอบหัวทดลอง	48
4.2 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์	52
4.3 การทดลองทั้งระบบ	55
4.4 การทดลองใช้งานโปรแกรม	56
<b>บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา</b>	<b>59</b>
5.1 บทสรุป	59
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	60
5.2.1 ปัญหา	60

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.2.2 แนวทางแก้ไข	60
5.3 แนวทางในการพัฒนา	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผังการทำงานและโปรแกรม	61
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของอุปกรณ์	103
บรรณานุกรม	110
ประวัติผู้แต่ง	111



## สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 การสั่นสะเทือนของสปริง ที่ปลายติดปากกาเส้นโค้ง	3
รูปที่ 2.2 คลื่นเสียงที่ไม่มีการหน่วงคลื่นค่า $A = \text{คงที่}$	4
รูปที่ 2.3 คลื่นเสียงที่ไม่มีการหน่วงคลื่นค่า $A$ จะน้อยลงเรื่อย ๆ	4
รูปที่ 2.4 คลื่นตามยาว ในอากาศที่เกิดจากการใช้ผนังเมมเบรนอัดให้สั่นสะเทือน เป็นคลื่น	5
รูปที่ 2.5 คลื่นตามยาว (longitudinal wave) ในสารเนื้อโลหะที่ไม่จำกัดขอบเขต	5
รูปที่ 2.6 คลื่นตามขวาง (transverse wave) ในสารเนื้อโลหะที่ไม่จำกัดขอบเขต	5
รูปที่ 2.7 คลื่นเสียงในเนื้อโลหะที่แตกต่างกัน ( $P_E = \text{คลื่นเสียงตกกระทบ}$ $P_R = \text{คลื่น}$ เสียงสะท้อนกลับ $P_D = \text{คลื่นเสียงผ่าน}$ )	7
รูปที่ 2.8 คลื่นเสียงผ่านเนื้อโลหะเป็นมุมเอียง	8
รูปที่ 2.9 การเกิดคลื่นตามขวางและคลื่นตามยาวด้วยการหักเหและสะท้อนกลับ	10
รูปที่ 2.10 การเกิดการสะท้อนกลับหมด (total reflection) ของคลื่นตามขวาง	10
รูปที่ 2.11 หลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเปียโซ (Piezo electric effect) ของผลึก	13
รูปที่ 2.12 แผนภาพหลักการวงจรของเครื่องอัลตราโซนิคส์	14
รูปที่ 2.13 ระยะห่างระหว่างหัวสัมผัสเลื่อนและตำหนิ $= a$ ความเร็วคลื่นจะ เท่า กับ $\frac{c}{2}$ จาก เวลาที่คลื่น วิ่งไปกลับ $= t$ จะได้ค่า $a = \frac{c}{2} \cdot t$	15
รูปที่ 2.14 ลักษณะของรูปร่างลำคลื่นของตัวส่งคลื่น (transducer) ในเหล็กกล้า $D = 20$ มิลลิเมตร $\lambda = 3$ มิลลิเมตร ( $N = 33$ มิลลิเมตร $V_{.6} = 4.3^\circ$ )	15
รูปที่ 2.15 ขนาดของตัวส่งคลื่น	16
รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในหัวสัมผัสเลื่อนฉายคลื่นตรง	16
รูปที่ 2.17 ลักษณะของรูปร่างลำคลื่นและขนาด : $D = 24$ มิลลิเมตร $\lambda = 3$ มิลลิเมตร ได้ค่า $N = 48$ มิลลิเมตร	17
รูปที่ 2.18 ขนาดและรูปร่างคลื่นที่ใช้งาน	17
รูปที่ 2.19 (ก) ลักษณะลำคลื่นเสียงที่กระจายจากหัวสัมผัสเลื่อนอย่างธรรมชาติ	18

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.19 (ข) - (ง) หัวสัมผัสเลื่อน มีขนาดของตัวส่งคลื่นเท่ากัน (ก) และ (จ) อิทธิพลของความถี่คลื่นเสียงความถี่และขนาดตัวส่งคลื่นที่มีผล ต่อขนาดระยะฉายคลื่นใกล้ และรูปร่างของลำคลื่นเสียง	18
รูปที่ 2.20 ลักษณะคลื่นสัญญาณเสียง ที่ปรากฏบนจอภาพเมื่อหัวส่งคลื่นมีระยะ เวลาเดินทางในสารเนื้อ โลหะ ( $t_v$ ) ต่างกัน โดยมีระยะเวลาเดินทางในชั้น ทดสอบเท่า ๆ กัน (ก) ใช้ค่าเดซิเบลสูง (ข) เหมาะสำหรับการทดสอบ ใช้ความถี่ต่ำ เช่น ยาง (ค) $t_v > t_w$ ใช้ในการวัดระหว่าง 2 คลื่นสัญญาณ ติดตาม (ง) $t_v > t_w$ ใช้ในการวัดระหว่าง Echo Interface และคลื่น สะท้อนกลับ ที่ 1 (จ) เหมาะกับการวัดการกักร่อน	18
รูปที่ 2.21 ลักษณะตำหนิและสัญญาณที่ปรากฏบนจอภาพ	19
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างการวัดชิ้นงานด้วยหัวรับและหัวส่ง	20
รูปที่ 2.23 การเกิดคลื่นสะท้อนซ้ำหลายครั้ง (Multi - Echo)	22
รูปที่ 2.24 การเกิดคลื่นสะท้อนจากจุดบกพร่อง	22
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการสะท้อนของคลื่นในการทดสอบชิ้นงาน	23
รูปที่ 2.26 การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบบราบ	24
รูปที่ 2.27 (ก) การทดสอบหาจุดบกพร่องในเนื้อโลหะแบนราบ	24
รูปที่ 2.27 (ข) การทดสอบหาจุดบกพร่องในเนื้อโลหะแบนราบ	25
รูปที่ 2.27 (ค) การทดสอบหาจุดบกพร่องในเนื้อโลหะแบนราบ	25
รูปที่ 2.28 (ก) เมื่อไม่มีจุดบกพร่อง (ข) เมื่อมีจุดบกพร่อง	26
รูปที่ 3.1 ผังงานการทำงานของตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนา ของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์	27
รูปที่ 3.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555	28
รูปที่ 3.3 วงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลคเตอร์ ดับเบิล ในสภาวะปกติไม่มี สัญญาณพัลส์กระตุ้นจากภายนอกมาควบคุมการทำงานสภาวะนี้ ทรานซิสเตอร์ $Q_1 = \text{off}$ และ $Q_2 = \text{on}$	30

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.4 รูปคลื่น $V_{C1}$ , $V_{B1}$ , $V_{C2}$ , $V_{B2}$ ของวงจร โมโนสเตเบิลในสภาวะปกติ และสภาวะที่ได้รับสัญญาณกระตุ้น	31
รูปที่ 3.5 กระแสคายประจุของ $C_1$ เมื่อทำการกระตุ้นเบสของ $Q_1$ ด้วยพัลซ์บวก ทำให้ $Q_1 = on$ , $Q_2 = off$	32
รูปที่ 3.6 วงจร โมโนสเตเบิล ที่ใช้ไอซีทีทีแอล 74221	34
รูปที่ 3.7 วงจร Buffer	34
รูปที่ 3.8 วงจร Transister Switch Differential	35
รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณ	36
รูปที่ 3.10 โครงสร้างของหัวทดสอบ	36
รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ	37
รูปที่ 3.12 ผังงานการทำงานของเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์แสดงผลบนคอมพิวเตอร์	38
รูปที่ 3.13 การใช้ A/D converter เป็นตัว counter	39
รูปที่ 3.14 A/D converter (ก) สัญลักษณ์ (ข) ควอนไทส์เดชั่น เอ เรอ	40
รูปที่ 3.15 แอนาลอก คอมพารเตอ์	41
รูปที่ 3.16 ผังวงจรส่วนการรสร้างสัญญาณคล็อก (clk)	43
รูปที่ 3.17 A/D CONVERTER SECTION	43
รูปที่ 3.18 SRAM SECTION & SELECT DATA SECTION	44
รูปที่ 3.19 (ก) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	46
รูปที่ 3.19 (ข) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	46
รูปที่ 4.1 โครงสร้างภายในของหัวทดสอบ	48
รูปที่ 4.2 ลักษณะของหัวทดสอบ	49
รูปที่ 4.3 ชิ้นงานโลหะทดสอบ	49
รูปที่ 4.4 การตรวจหารอยบกพร่องของชิ้นงาน	51
รูปที่ 4.5 การทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบ	53

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 10 มิลลิเมตร	53
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 15 มิลลิเมตร	54
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 20 มิลลิเมตร	54
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 25 มิลลิเมตร	55
รูปที่ 4.10 ผังงานทดลองทั้งระบบ	55
รูปที่ 4.11 ลักษณะหน้าจอหลังจากเรียกโปรแกรม PROJECT.EXE	56
รูปที่ 4.12 การใช้เมนู START TEST	57
รูปที่ 4.13 การใช้งานเมนู SAVE GRAPH	58
รูปที่ 4.14 การใช้งานเมนู OBJECT	58

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความเร็วคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวาง	6
ตารางที่ 2.2 ความเร็วคลื่นเสียงและความหนาแน่นของโลหะ	11
ตารางที่ 2.3 ความเร็วคลื่นเสียงและความหนาแน่นของอโลหะ	12
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เกิดจากการป้อนแรงดัน 20 โวลต์	51
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่เกิดจากการป้อนแรงดัน 25 โวลต์	51
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่เกิดจากการป้อนแรงดัน 30 โวลต์	52



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป จำเป็นต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อหาคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์และขบวนการผลิต นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจซ่อมบำรุงวัสดุหรือเครื่องมือต่างๆ ได้ สำหรับการทดสอบดังกล่าวสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ การทดสอบแบบทำลาย และการทดสอบแบบไม่ทำลาย อย่างไรก็ตามจะกล่าวถึงเฉพาะ การทดสอบแบบไม่ทำลายเพราะข้อดีของวิธีนี้คือ จะไม่ทำให้วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเสียหาย ดังนั้นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายจึงเหมาะที่จะใช้ในการตรวจสอบ และซ่อมบำรุงอีกด้วย การทดสอบแบบไม่ทำลายมักจะใช้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานทดสอบ เช่น แสง ความร้อน ไฟฟ้า หรือ อำนาจแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามโครงสร้างที่ผิดปกติ การทดสอบแบบไม่ทำลายนี้มีหลายวิธี เช่น การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Testing), การตรวจสอบโดยใช้วิธีเส้นแรงรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก (Flux Leakage), การตรวจสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิกส์ (Ultrasonics Testing) ซึ่งการทดสอบที่ยกตัวอย่างมาทั้ง 3 วิธี มีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกัน การทดสอบด้วยสายตานั้นสะดวก ไม่ต้องมีอุปกรณ์ประกอบ แต่มีข้อด้อยอยู่ที่ความล่าช้า และไม่สามารถตรวจสอบรอยบกพร่องใต้ผิวได้ ส่วนการตรวจสอบโดยวิธีวัดเส้นรั่วไหลของสนามแม่เหล็กนั้นเหมาะสำหรับ การตรวจสอบโลหะชนิดที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก (Ferro-Magnetic) ส่วนวิธีการทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์นั้น เป็นวิธีที่สามารถใช้สำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะชนิดใดก็ได้ เช่น กระจก ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งโลหะเหล่านี้จะตรวจหารอยบกพร่องได้ยากกว่าโลหะชนิดที่มีความเป็นแม่เหล็ก ดังนั้นกลุ่มที่ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เล็งเห็นความสำคัญในส่วนนี้จึงได้จัดทำโครงการเรื่อง เครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ (The Metal Object Crack and Thickness Detector Using Ultrasonics) ขึ้นมา และได้ทำการกำหนดขีดความสามารถของโครงการไว้ดังต่อไปนี้

## 1.2 ชีตความสามารถของโครงการงาน

ในการตรวจหารอยบกพร่องและความหนาของโลหะ โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์ และใช้ส่วนของฮาร์ดแวร์ร่วมกับส่วนของซอฟต์แวร์ เพื่อที่จะไปใช้ให้เกิดประโยชน์และอำนวยความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องมือดังนี้

- 1.สามารถตรวจสอบความหนาของโลหะได้
- 2.สามารถตรวจสอบรอยบกพร่องของโลหะได้
- 3.สามารถแสดงผลในรูปของกราฟเส้นทางหน้าจอกอมพิวเตอร์

## 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้มีการรวบรวมข้อมูลรายละเอียด ทั้งทฤษฎี , หลักการทำงาน, การออกแบบ และการสร้างวงจรที่ใช้งาน และการจัดทำคู่มือการใช้งาน ซึ่งมีเนื้อหาโดยสังเขปของแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์, ชีตความสามารถของโครงการงาน และเนื้อหาโดยสังเขปของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการพื้นฐาน ของการตรวจสอบด้วย คลื่นอัลตราโซนิคส์, คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิคส์, เครื่องมือตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์, โพรบสำหรับตรวจสอบพื้นผิวโลหะและการวิเคราะห์ สัญญาณตรวจสอบ

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างในส่วนของฮาร์ดแวร์ดังนี้ วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ วงจรบัฟเฟอร์เกท วงจรทรานซิสเตอร์ สวิทช์ดิฟเฟอเรนเชียล โพรบอัลตราโซนิคส์ วงจรขยายแรงดัน วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล ส่วนของซอฟต์แวร์มีดังนี้ โปรแกรมสำหรับแสดงผลทางหน้าจอ, โปรแกรมสำหรับแสดงผลทางเครื่องพิมพ์, โปรแกรมสำหรับบันทึกข้อมูลที่วัดได้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุปปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และหลักการ

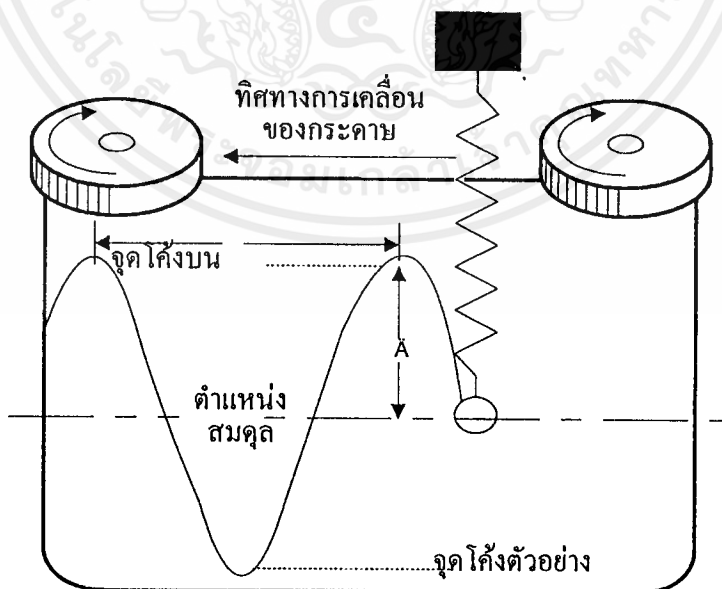
#### 2.1 การทดสอบวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing)

##### 2.1.1 วัตถุประสงค์การตรวจสอบวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อ

- หาค่าหนีในเนื้อวัสดุ
- หาค่าแห่งตำหนิในเนื้อวัสดุ
- วิเคราะห์ประเภทของตำหนิ
- ประเมินผลประเภทของตำหนิ

##### 2.1.2 ความรู้พื้นฐาน

คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีความถี่ ( $f$ )  $> 20$  KHz ขึ้นไป (เป็นคลื่นที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้) จึงได้มีการนำคลื่นอัลตราโซนิกระหว่าง 0.5 - 10 MHz มาทำการทดสอบวัสดุแบบไม่ทำลาย วัสดุที่สามารถนำคลื่นเสียงได้จะสามารถนำมาทดสอบหาตำหนิด้วยคลื่นอัลตราโซนิกได้



รูปที่ 2.1 การสั่นสะเทือนของสปริง ที่ปลายติดปากกาลากเส้น โค้งขึ้น-ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 เป็นการจำลองการเกิดคลื่นเสียงเช่นเดียวกัน จากเส้นโค้งขึ้นลงที่มีระยะความสูง ความกว้าง ของความโค้งเท่าๆกันจะได้จำกัดความดังต่อไปนี้

แอมพลิจูด (amplitude) (A) เป็นระยะกึ่งกลางของความสูงเส้นโค้งคลื่น

เวลาเกิดคลื่น (time period) (T) เวลาการเกิดคลื่นจากส่วนโค้งบนสุดไปยังอีกส่วนโค้งบนสุดถัดไป

ความถี่ (frequency) (f) : จำนวนการขึ้นลงของคลื่นเส้นโค้ง คิดเป็น 1 ครั้ง (oscillation) ต่อ 1 วินาที มีหน่วยเป็น Hz (Hertz)  $\text{Hz} = 1/\text{s}$

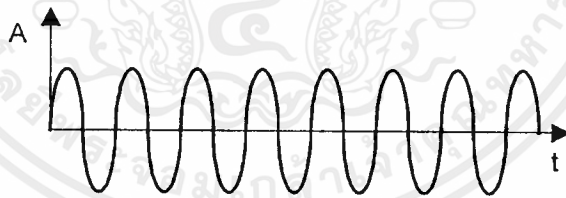
$$1 \text{ Hertz (Hz)} = 1 \text{ ครั้ง/วินาที}$$

$$1 \text{ Kilohertz (KHz)} = 1000 \text{ Hz}$$

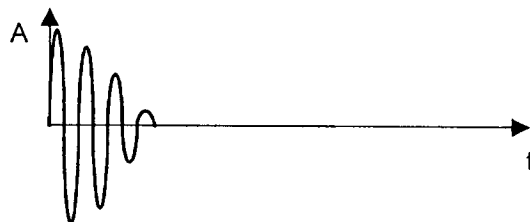
$$1 \text{ Megahertz (MHz)} = 1000000 \text{ Hz}$$

$$\therefore f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

คลื่นเสียงที่ไม่มีการหน่วงคลื่น ค่า A = คงที่ ดังรูปที่ 2.2 และคลื่นเสียงที่มีการหน่วงคลื่น ค่า A จะน้อยลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.3



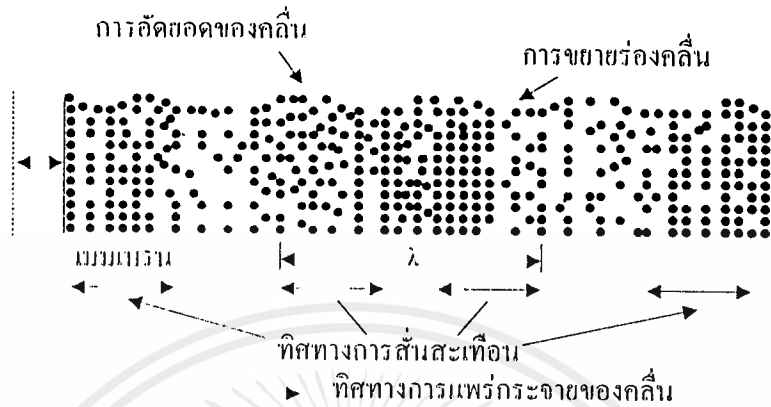
รูปที่ 2.2 คลื่นเสียงที่ไม่มีการหน่วงคลื่น ค่า A = คงที่



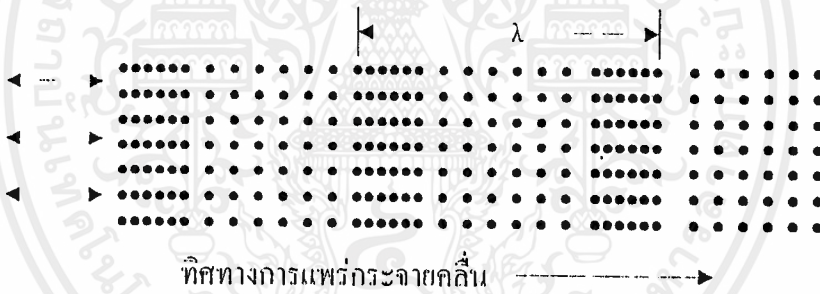
รูปที่ 2.3 คลื่นเสียงที่มีการหน่วงคลื่น ค่า A จะน้อยลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

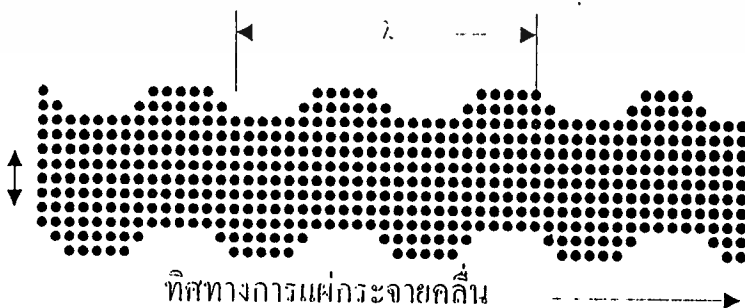
## ประเภทของคลื่นเสียง



รูปที่ 2.4 คลื่นตามยาว ในอากาศที่เกิดจากการใช้หนังเมมเบรนอัดให้สั่นสะเทือนเป็นคลื่น



รูปที่ 2.5 คลื่นตามยาว (longitudinal wave) ในเนื้อ โลหะที่ไม่จำกัดขอบเขต



รูปที่ 2.6 คลื่นตามขวาง (transverse wave) ในเนื้อ โลหะที่ไม่จำกัดขอบเขต

คลื่นที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 2.4, รูปที่ 2.5, รูปที่ 2.6 จะเกิดมีความเร็วคลื่นเสียง หน่วย m/s ความเร็วนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลาง ค่าคงที่ของวัสดุ ความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่นเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.2)$$

$c$  = ความเร็วคลื่นเสียง หน่วย m/s

$\lambda$  = ความยาวคลื่น หน่วย m

$f$  = ความถี่ หน่วย s (วินาที)

### 2.1.3 การเปรียบเทียบความเร็วคลื่น

ตัวกลางที่คลื่นเสียงผ่านได้เช่น คอนกรีต เหล็ก ทองแดง จะไม่เท่ากัน และในเนื้อโลหะหนึ่ง คลื่นตามยาวจะมีความเร็วคลื่นมากกว่าคลื่นตามขวางเสมอ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

$$c_l > c_t \quad (2.3)$$

ตารางที่ 2.1 ความเร็วคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวาง

วัสดุ	$c_l$ [m/sec]	$c_t$ [m/sec]
อลูมิเนียม	6300-6340	3080-3130
เหล็กหล่อ	4600	2160-2650
ทองแดง	4700	2260
ทองเหลือง	3800-4400	2050-2120
เหล็กกล้าไม่เจือ	5920	3255
แบเรียมไตทานด	6050	-
เปอस्पек (perspex)	2740	1430
พีวีซี (PVC) แข็ง	2250	1060
น้ำ	1480	-
น้ำมัน	-1250 - 1740	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ ความยาวคลื่น  $\lambda$  ของคลื่นตามยาว มีความถี่  $f = 2 \text{ MHz}$  ฉายคลื่นเข้าไปในเหล็กไม้เจือ

$$c_{\text{Lst}} = 5920 \text{ m/s}$$

จากตารางที่ 2.1 ความเร็วคลื่นของเหล็กกล้าไม้เจือ

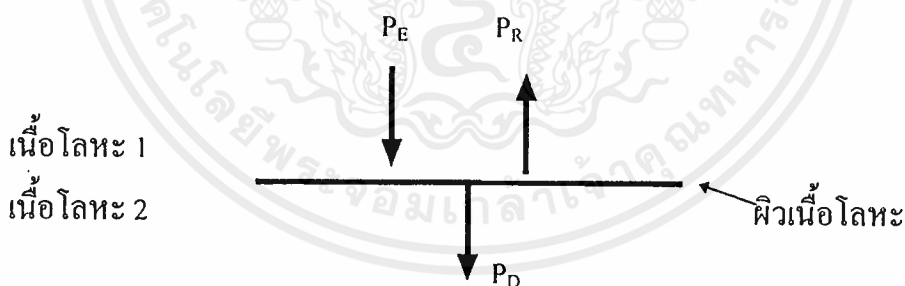
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.4)$$

$$c_{\text{Lst}} = 5920 \text{ m/s} = 5920 \cdot 10^3 \text{ มิลลิเมตร/s}$$

$$f = 2 \text{ MHz} = 2 \cdot 10^6 \text{ 1/s}$$

$$\lambda = \frac{5920 \cdot 10^3 \text{ (mm/s)}}{2 \cdot 10^6 \text{ (1/s)}} = 2.96 \text{ มิลลิเมตร}$$

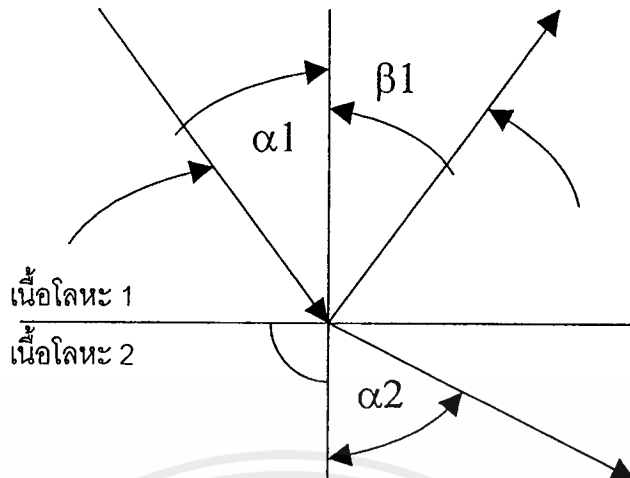
ความยาวคลื่นในเหล็กกล้าไม้เจือ  $\lambda = 2.96 \text{ มิลลิเมตร}$



รูปที่ 2.7 คลื่นเสียงในเนื้อ โลหะที่แตกต่างกัน ( $P_E$  = คลื่นเสียงตกกระทบ

$P_R$  = คลื่นเสียง สะท้อนกลับ  $P_D$  = คลื่นเสียงผ่าน)

จากรูปที่ 2.7 ในการตกกระทบของคลื่น เสียงที่ผ่านเนื้อโลหะ 1 ไปยังเนื้อโลหะที่ 2 จะเกิดคลื่นส่วนหนึ่งที่สะท้อนกลับ คลื่นอีกส่วนหนึ่งจะผ่านเข้าไป เช่น แสงอาทิตย์ผ่านอากาศกระทบผิวน้ำ



รูปที่ 2.8 คลื่นเสียงผ่านเนื้อโลหะเป็นมุมเอียง

กฎการสะท้อนของคลื่น

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad (2.5)$$

และ

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_1} = \frac{c_1}{c_1} \quad (2.6)$$

โดยที่

$c_1$  = ความเร็วคลื่นในเนื้อโลหะที่ 1

$c_1$  = ความเร็วคลื่นของประเภทคลื่นต่างๆ ในเนื้อโลหะที่ 1

$c_2$  = ความเร็วคลื่นในเนื้อโลหะที่ 2

$\alpha_1$  = มุมคลื่นตกกระทบ ( $^\circ$ )  $\alpha_2$  = มุมคลื่นหักเหในเนื้อโลหะที่ 2 ( $^\circ$ )

$\beta_1$  = มุมคลื่นสะท้อนกลับ ( $^\circ$ )

คลื่นบางชนิดเช่น คลื่นตามยาวที่ฉายผ่านเนื้อโลหะของแข็ง 2 ชนิดจะเกิดคลื่นสะท้อนกลับในเนื้อโลหะที่ 1 และคลื่นหักเหในเนื้อโลหะที่ 2 กลายเป็นคลื่นตามยาว และคลื่นตามขวาง ดังรูปที่ 2.9 ในเนื้อโลหะที่มีเนื้อเดียวกัน (homogeneous) จะเกิดคลื่นตามขวางที่มีความเร็วมุมสะท้อนกลับ มุมหักเหของคลื่นน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

$$\begin{array}{l} \beta_{1L} = \text{มุมสะท้อนกลับ} \\ \alpha_{2L} = \text{มุมหักเห} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \beta_{1L} \\ \alpha_{2L} \end{array}} \right\} \text{ของคลื่นตามยาว}$$

$$\begin{array}{l} \beta_{1T} = \text{มุมสะท้อนกลับ} \\ \alpha_{2T} = \text{มุมหักเห} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \beta_{1T} \\ \alpha_{2T} \end{array}} \right\} \text{ของคลื่นตามขวาง}$$

$$\begin{array}{l} \text{—————} = \text{คลื่นตามยาว} \\ \text{+ + + +} = \text{คลื่นตามขวาง} \end{array}$$

### การเกิดคลื่นตามขวาง

อัตราส่วนความเข้มของคลื่นตามยาว และคลื่นตามขวาง หลังจากสะท้อนหรือหักเห จะไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่อย่างใด แต่จะขึ้นอยู่กับขอบเขตมุมตกกระทบของคลื่นที่โต โดยมุมตกกระทบ  $\alpha_1 > 0^\circ$  เสมอ ดังรูปที่ 2.9

#### 2.1.4 การเกิดมุมคลื่นตามขวางวิกฤติ

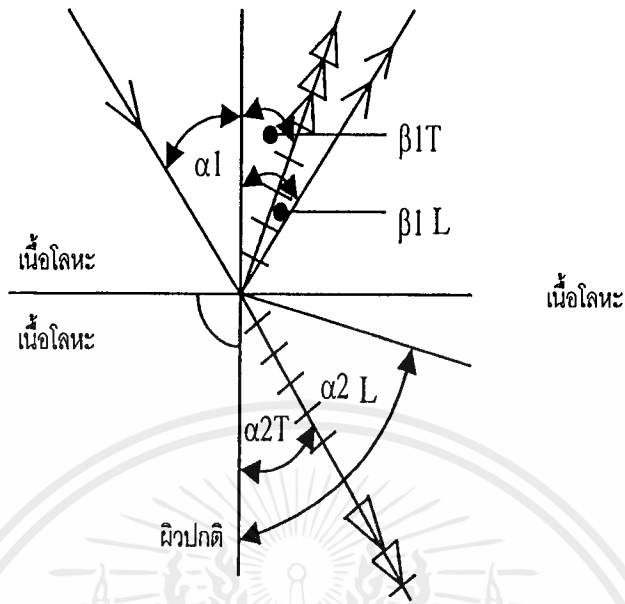
ถ้ามุมตกกระทบของคลื่น =  $27.1^\circ$  จากคลื่นที่ฉายผ่านน้ำไปตกกระทบเหล็กกล้า คลื่นตามยาวจะสะท้อนกลับ เป็นมุม  $27.1^\circ$  ส่วนคลื่นตามขวางจะเกิดหักเหอยู่ในแนวระนาบอยู่ระหว่างผิวน้ำและเหล็ก การสะท้อนกลับหมด (total reflection) ดังรูปที่ 2.10

$$\text{สมการพิสูจน์} \quad \sin \alpha_1 = \frac{c_{1T}}{c_{2T}} \cdot \sin \alpha_{2T} \quad (2.7)$$

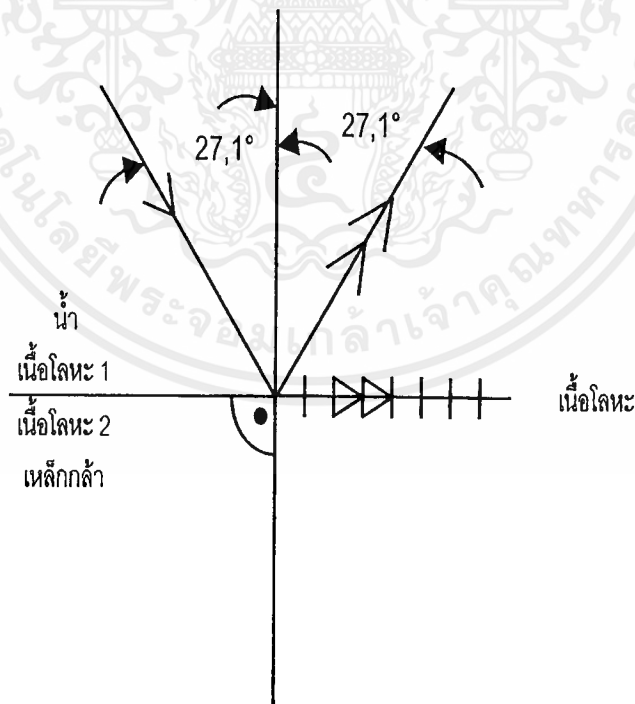
$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= \frac{1480 \text{ m/s}}{3255 \text{ m/s}} \cdot \sin 90^\circ \\ \therefore \alpha_1 &= 27.1^\circ \end{aligned}$$

ความเร็วเสียงและความหนาของโลหะ และความหนาของโลหะ ซึ่งมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโลหะ และอโลหะ ดังตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การเกิดคลื่นตามขวางและคลื่นตามยาวด้วยการหักเหและสะท้อนกลับ



รูปที่ 2.10 การเกิดการสะท้อนกลับหมด (total reflection) ของคลื่นตามขวาง

ตารางที่ 2.2 ความเร็วคลื่นเสียงและความหนาแน่นของโลหะ

โลหะ (metals)	$c_L$ (m/s)	$c_T$ (m/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
อลูมิเนียม	6200-6400	3130	2,7
อลูมิเนียมซินเตอร์	6500	ไม่มีข้อมูล	2,7
ทองเหลือง	3830-4250	2050-2200	8,1-8,5
เหล็กหล่อ	3500-5800	2200-3200	6,9-7,3
ทองแดง	4600-4750	2260-2300	8,9
โลหะแข็ง	6800-7300	4000-4700	11,0-15,0
เหล็ก	5850-5900	3230	7,7-7,86
ตะกั่ว	2160-2400	700	11,3-11,4
ปรอท	1450	-	13,6
โมลิบดีนัม	6280-6420	3360	10,2
นิกเกิล	5600-5894	2960-3219	8,8
นิกเกิลเงิน	4760	2160	8,4
เงิน	3600-3790	1590-1760	10,5
เหล็กกล้าออสเทนไนต์	5500-6100	3250-3450	7,8
เหล็กกล้าอะลูมิเนียม	5900-6100	3190-3350	7,7-7,86
ดีบุก	3210-3320	1530-1670	7,3
ทังสเตน	5183-5460	2620-2860	19,1-19,3
สังกะสี	4120-4170	2350-2410	7,1

ตารางที่ 2.3 ความเร็วคลื่นเสียงและความหนาแน่นของโลหะ

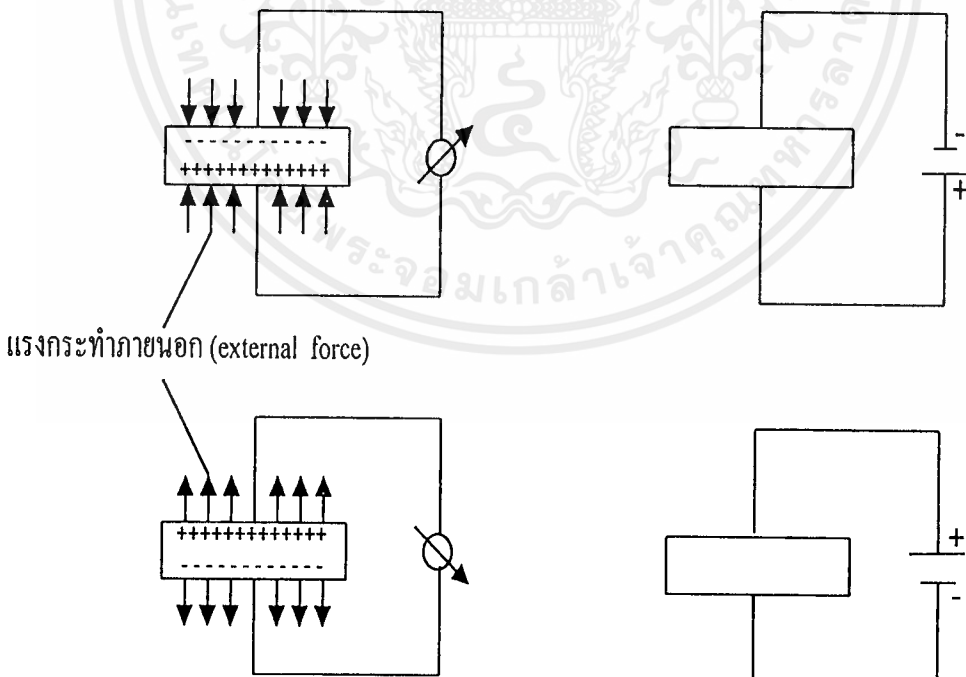
โลหะ (metals)	$c_L$ (m/s)	$c_T$ (m/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
อีพ็อกซีเรซิน	2400-2900	1100	1,1-1,25
แก้วมุกกุ	5260-5660	2960-3420	2,5-3,6
แก้วฟลินต์	3760-4800	2220-2950	3,0-4,6
แก้วควอตซ์	5570	3520	2,6
แกรไฟต์อัด	1100-3900	ไม่มีข้อมูล	1,8-2,35
พาราฟินแข็ง	2200	ไม่มีข้อมูล	0,83
เปอร์สเปก	2730	1430	1,18
โพลีเอไมด์	2200-2600	1100-1200	1,1-1,2
โพลีสไตรีน	2350	1150	1,06
กระเบื้องเคลือบ	4750-6700	3000-3950	2,4
ยางแข็ง	2300	ไม่มีข้อมูล	1,2
ยางอ่อน	1480	ไม่มีข้อมูล	0,9
เทฟลอน	1350	550	2,2
ของเหลว	-	-	-
น้ำมันดีเซล (20°C)	1250	-	0,8
กลีเซอริน (20°C)	1920	-	1,26
น้ำมันเปโตรล (15°C)	1395	-	0,79-0,82
น้ำ (20°C)	1483	-	1,0

### 2.1.5 หลักการอุปกรณ์เครื่องทดสอบวัสดุด้วยคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิคส์

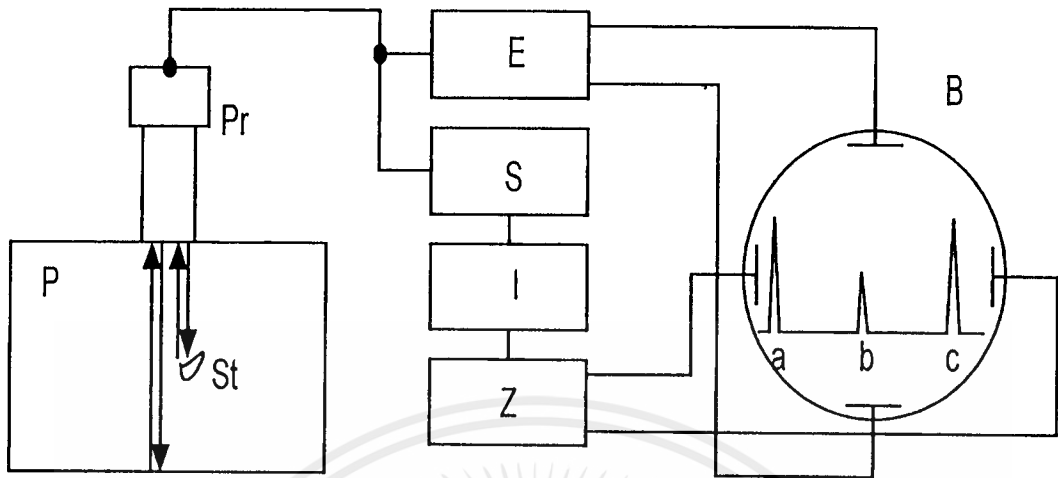
อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยเครื่องอัลตราโซนิคส์ สายตรวจสอบ(cable)หัวสัมผัสเลื่อน (probe) การให้กำเนิดคลื่นเสียงส่วนใหญ่จะใช้หลักการปฏิกิริยากระตุ้นทางแมกนีโต (magneto strictive effect) และปฏิกิริยาไฟฟ้าเปียโซ (piezo electric effect) ในที่นี้จะกล่าวไว้เพียงหลักการเดียวโดยย่อ

### 2.1.6 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเปียโซ (Piezo electric effect)

ผลึกวัสดุ เช่น ควอตซ์ จะมีคุณสมบัติ เมื่อให้ภาระดึงหรืออัดจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวของผลึก ลักษณะทิศทางของแรงที่ตรงกันข้ามกันจะทำให้เกิดประจุบวกและลบขึ้น เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับหลักการปฏิกิริยาเปียโซ จะมีลักษณะตรงกันข้ามกล่าวคือ เมื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ กับผิวของผลึก จะทำให้ผลึกเกิดการดึงหรือกดเข้าหากันดังรูปที่ 2.11 เมื่อให้ผลึกรับภาระดังที่กล่าวมาจะทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคส์ตามยาว (longitudinal) ได้ ในทางปฏิบัติจริงส่วนใหญ่จะใช้ ผลึกชิ้นเดียวเป็นตัวส่ง และ รับคลื่นซึ่งเรียกวธีการนี้ว่าพัลส์ เอก โค (pulsecho)



รูปที่ 2.11 หลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเปียโซ (Piezo electric effect) ของผลึก



รูปที่ 2.12 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิคส์

คำอธิบายสัญลักษณ์อักษรย่อ

B = หลอดภาพ (รังสี) แคโทด (cathode ray tube (CRT))

P = ชิ้นทดสอบ (test piece)

St = ตำแหน่งในชิ้นงาน (reflector (flaw))

Pr = หัวสัมผัสเลื่อน (probe)

I = ตัวกำเนิดคลื่นสัญญาณ (pulse generator)

Z = ปุ่มปรับคลื่นสัญญาณตามแนวอน (time-base generator(sweep))

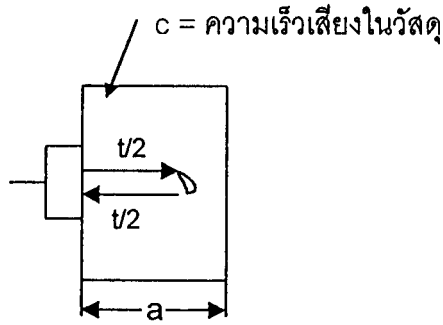
S = ตัวจ่ายสัญญาณ (transmitter)

E = ตัวรับคลื่นสัญญาณ (receiver)

a = คลื่นสัญญาณเริ่มต้น (transmitter pulse)

b = คลื่นสัญญาณตำแหน่ง

c = คลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ (back wall echo)

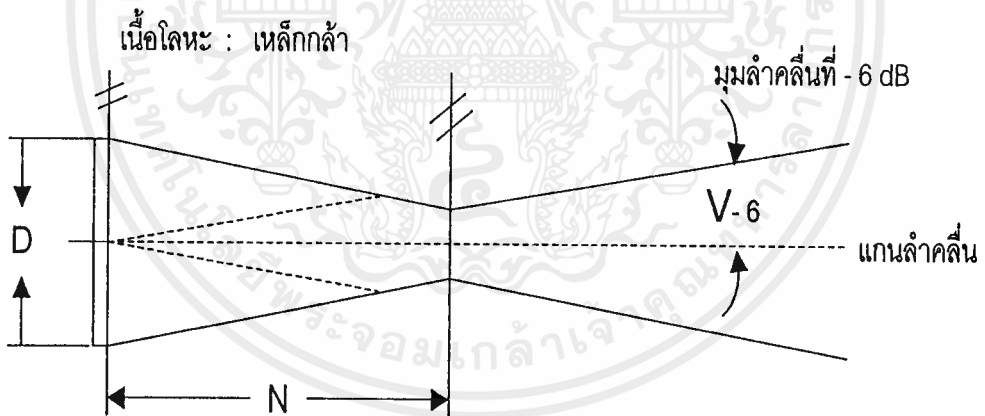


รูปที่ 2.13 ระยะห่างระหว่างหัวสัมผัสเลื่อนและตำแหน่ง = a ความเร็ว

คลื่นจะเท่ากับ  $\frac{c}{2}$  จากเวลารวมที่คลื่น วิ่งไปกลับ = t จะได้ค่า

$$a = \frac{c}{2} \cdot t$$

### 2.1.7 หัวสัมผัสเลื่อน (probe)



D = ขนาด (ผลึก) ตัวส่งคลื่น  $\phi$  (มิลลิเมตร)

N = ระยะจายคลื่นใกล้ (near field length) (มิลลิเมตร)

$V_{-6}$  = มุมลำคลื่น ( $^{\circ}$ )

รูปที่ 2.14 ลักษณะของรูปร่างลำคลื่น ของตัวส่งคลื่น(transducer)ในเหล็กกล้า

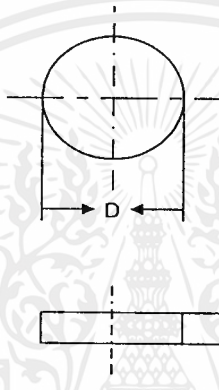
D = 20 มิลลิเมตร  $\lambda = 3$  มิลลิเมตร (N = 33 มิลลิเมตร  $v_{-6} = 4.3^{\circ}$ )

### 2.1.8 ขนาดของตัวส่งคลื่น (transducer)

คลื่นความถี่อัลตราโซนิกจะขึ้นอยู่กับความหนาของตัวส่งคลื่น  $d$  (เป็นธาตุเพียโซ)

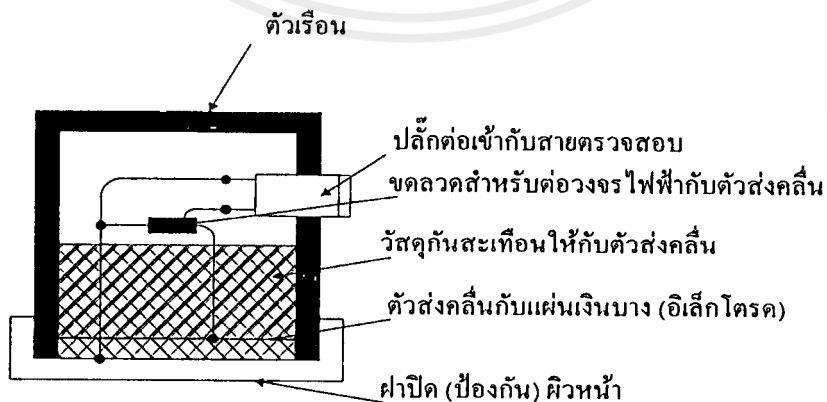
$$d = \frac{c}{2} \cdot f \quad (2.8)$$

เมื่อ  $f$  = ความถี่  $c$  = ความเร็วคลื่นในวัสดุทำตัวส่งคลื่น



รูปที่ 2.15 ขนาดของตัวส่งคลื่น

ขนาด  $\phi D$  สำหรับหัวสัมผัสเลื่อนฉายคลื่นตรงมีค่า  $D = 24$  มิลลิเมตร (20 มิลลิเมตร) และ  $D = 10$  มิลลิเมตร (หัวสัมผัสเลื่อนขนาดเล็ก)

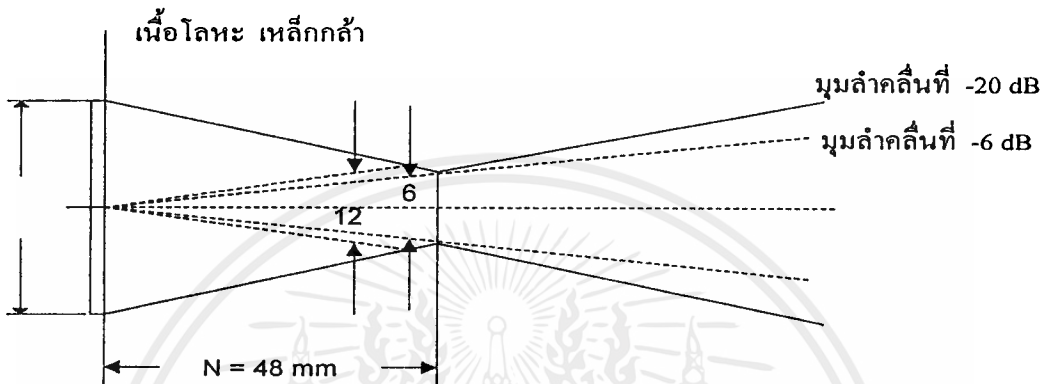


รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในหัวสัมผัสเลื่อนฉายคลื่นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

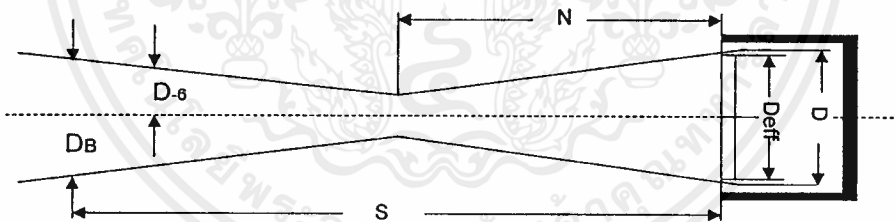
$N$  = ระยะฉากคลื่นใกล้ในวัสดุ (near field length) จะมีความสัมพันธ์  $\phi$   $D$  และความยาวคลื่น  $\lambda$  ในเนื้อวัสดุดังนี้

$$N = \frac{D^2}{4} \cdot \lambda \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.17 ลักษณะของรูปร่างลำคลื่นและขนาด :  $D = 24$  มิลลิเมตร  $\lambda = 3$  มิลลิเมตร ได้ค่า

$N = 48$  มิลลิเมตร



$v_{-6}$  = มุมลำคลื่นที่  $-6 \text{ dB}$

เมื่อ  $S$  = ระยะโซนิก (มิลลิเมตร)

$D_{\text{eff}}$  = ตัวส่งคลื่นปฏิกิริยา (effective transducer)

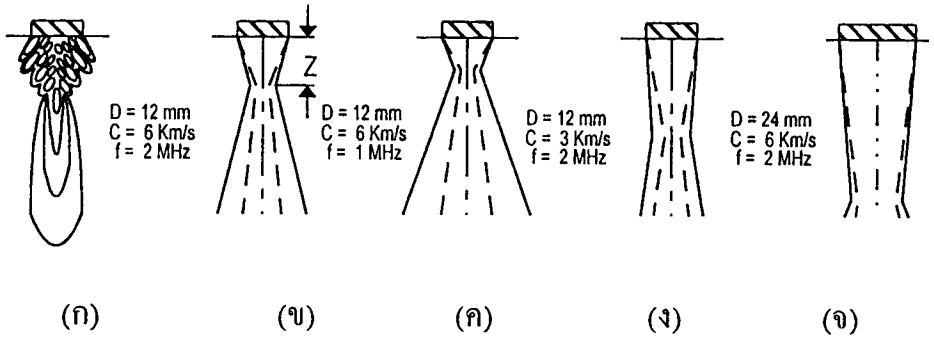
$D_{\text{eff}} = 0,95 \cdot D$

$D_B$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางลำคลื่น

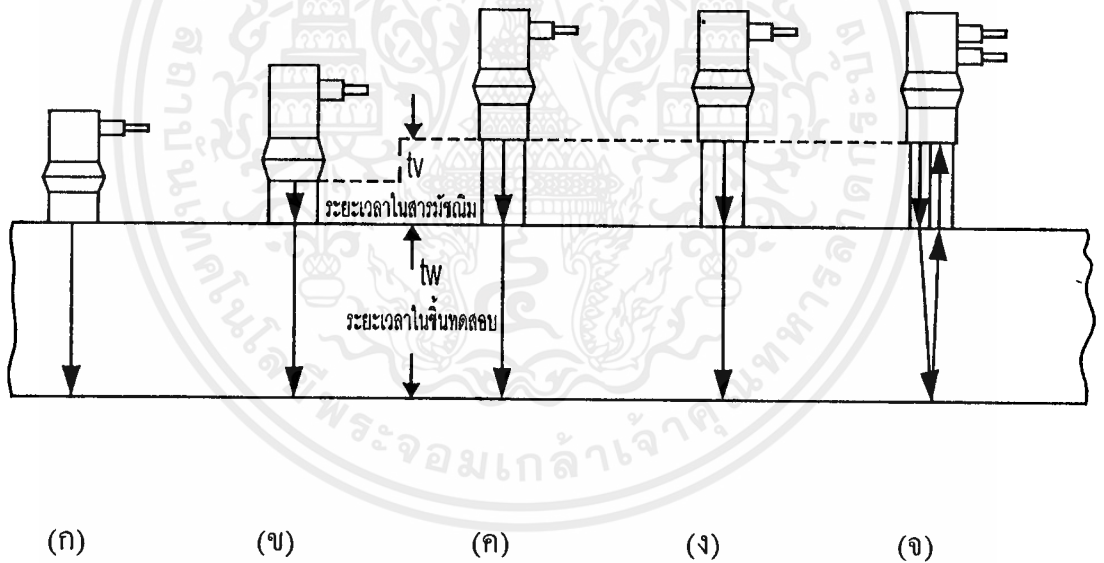
$$|D_B|_{-6 \text{ dB}} \approx \lambda \cdot \frac{5}{D}$$

รูปที่ 2.18 ขนาดและรูปร่างคลื่นที่ใช้งาน

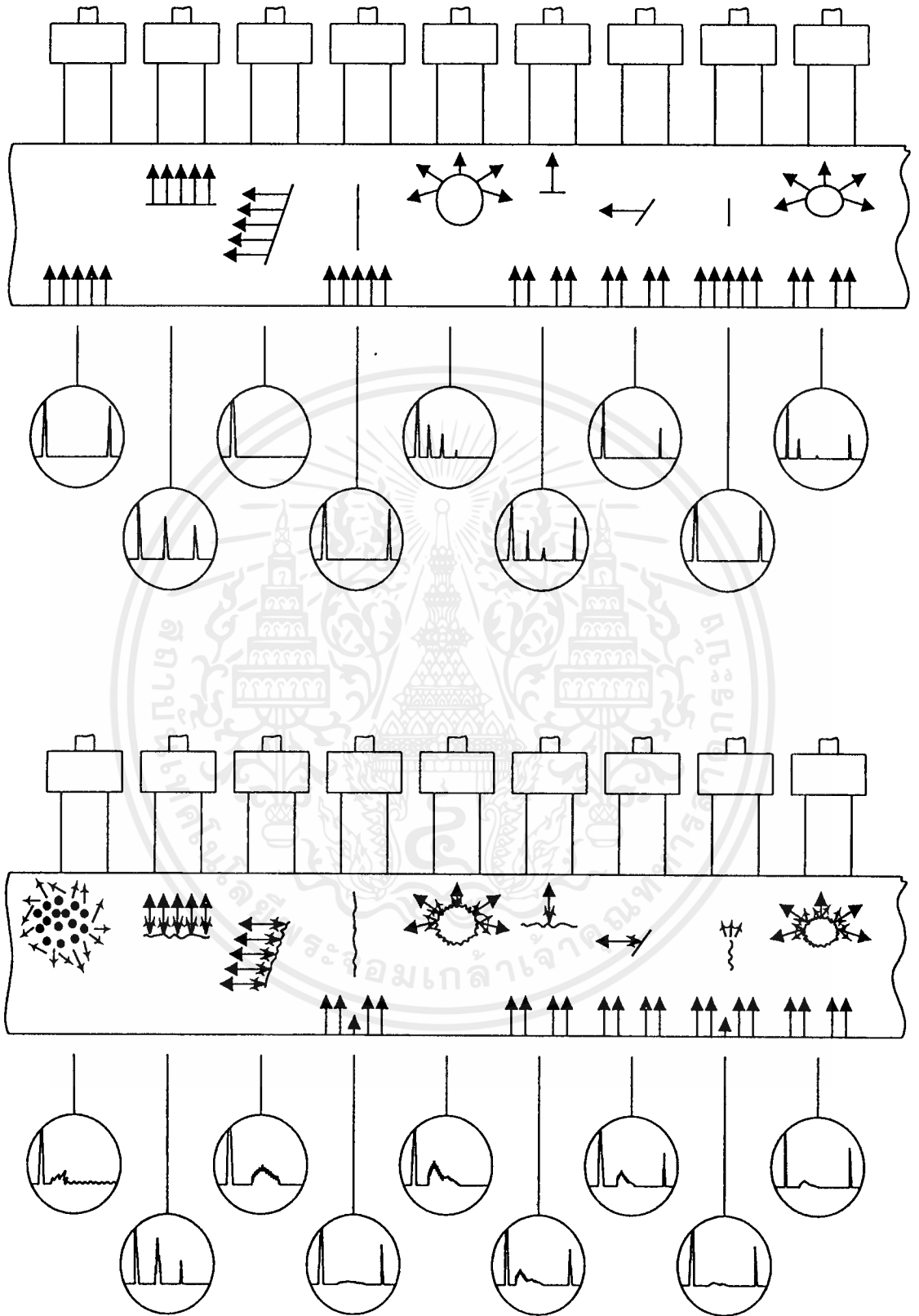
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 (ก) ลักษณะลำคลื่นเสียงที่กระจายจากหัวสัมผัสเลื่อนอย่างธรรมชาติ (ข) ถึง (ง) หัวสัมผัสเลื่อนขนาดของตัวส่งคลื่นเท่ากัน ( $D = 12$  มิลลิเมตร) (ค) และ (ง) แสดงอิทธิพลของความเร็วคลื่นเสียง ความถี่และขนาดตัวส่งคลื่นที่มีผลต่อขนาดระยะฉายคลื่น ไกล่ (N) และรูปร่างของลำคลื่นเสียง



รูปที่ 2.20 ลักษณะคลื่นสัญญาณเสียง ที่ปรากฏบนจอภาพเมื่อหัวส่งคลื่นมีระยะเวลาเดินทางในเนื้อโลหะ ( $t_v$ ) ต่างกัน โดยมีระยะเวลาเดินทางในชั้นทดสอบเท่าๆกัน (ก) ให้ค่าเดซิเบลสูง (ข) เหมาะสำหรับการทดสอบใช้ความถี่ต่ำ เช่นยง (ค)  $t_v > t_w$  ใช้ในการวัดระหว่าง 2 คลื่นสัญญาณติดตาม (ง)  $t_v > t_w$  ใช้ในการวัดระหว่าง Echo Interface และคลื่นสะท้อนกลับที่ 1 (จ) เหมาะกับการวัดการกัดกร่อน



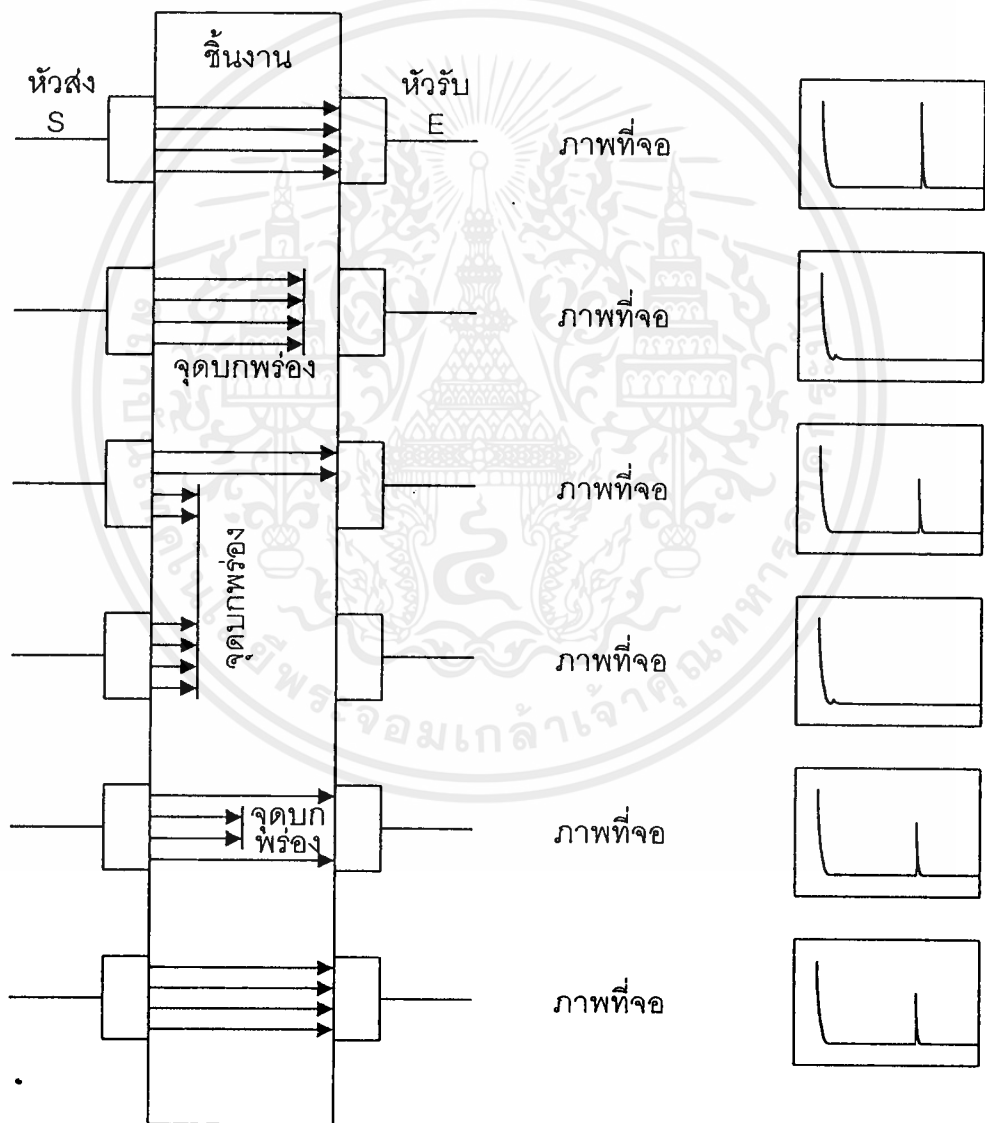
รูปที่ 2.21 ลักษณะตำหนิและสัญญาณที่ปรากฏบนจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การทดสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์

ดังที่กล่าวไว้ในทฤษฎีเบื้องต้น ว่าเมื่อคลื่นส่งออกไปกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น จุดบกพร่องในวัสดุ คลื่นส่วนหนึ่งจะวิ่งผ่านไปและส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ ดังนั้นในการทดสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์ เราจึงสามารถแยกวิธีการทดสอบได้สองวิธี ใช้วัดโดยวิธีให้คลื่นเสียงวิ่งผ่าน และวัดด้วยคลื่นสะท้อนกลับ

### 2.2.1 การวัดด้วยคลื่นวิ่งผ่าน



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างการวัดชิ้นงานด้วยหัวรับและหัวส่ง

การวัดวิธีนี้ต้องใช้หัวส่งคลื่น วัสดุหนึ่งและหัวรับคลื่น วัสดุอีกด้านหนึ่งที่อยู่ตรงข้ามซึ่งเรียกว่าหัวรับและ หัวส่ง ความเข้มของคลื่นเสียงจะลดลงเมื่อกระทบกับสิ่งบกพร่องในเนื้อวัสดุ ทั้งนี้คลื่นบางส่วนจะสะท้อนกลับและอีกส่วนหนึ่งจะวิ่งกลับ หรือคลื่นสะท้อนกลับทั้งหมด หรืออาจถูกคลื่นหายไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.22

วิธีการนี้จะบอกไม่ได้ทันทีว่า ตำแหน่งของจุดบกพร่องอยู่ลึกแค่ไหน นอกจากนั้นการวางหัวรับและหัวส่งจะต้องให้ตรงกันพอดี

### 2.2.2 การวัดด้วยคลื่นสะท้อน

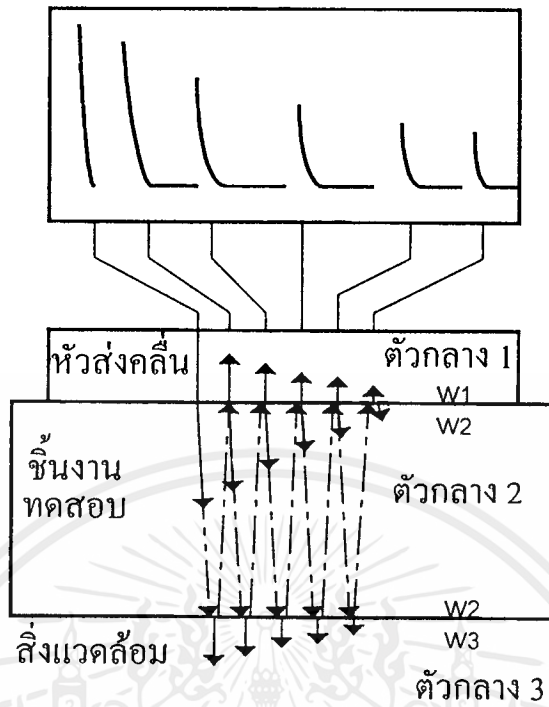
การวัดโดยวิธีนี้ จะทำให้หัวรับและหัวส่งจะเป็นตัวเดียวกัน โดยที่คลื่นวิ่งไปกระทบจุดบกพร่องในเนื้อวัสดุแล้ว จะสะท้อนกลับมายังตำแหน่งที่ส่งคลื่นอีก คลื่นที่สะท้อนกลับมานี้จะอ่อนกำลังกว่าคลื่นที่ส่งออกไปมาก

ในขณะที่คลื่นวิ่งไปในวัสดุจนถึงขอบด้านหลังของวัสดุนั้นก็จะสะท้อนกลับมาหมด หรือสะท้อนกลับมาเพียงบางส่วน ถ้าผิวหน้าอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวส่งคลื่น ก็จะสะท้อนกลับมาที่เดิมอีกในระยะเวลาอันสั้น

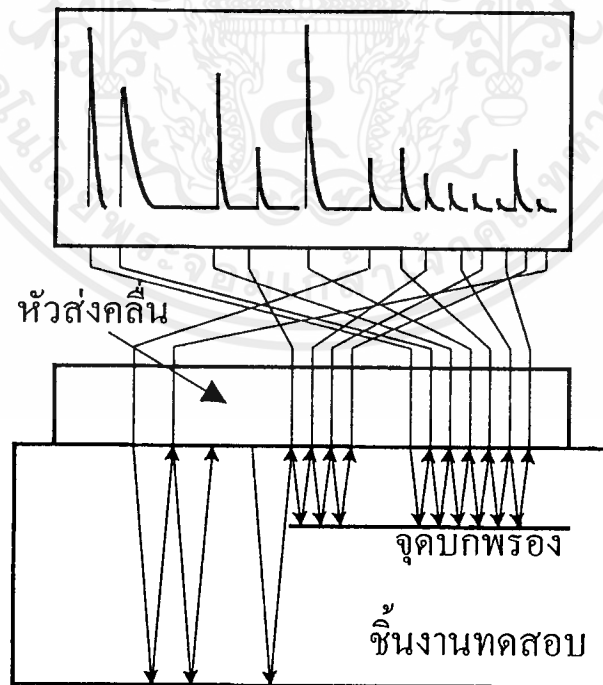
ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วเสียงของวัสดุที่วัดและระยะห่างจาก หัวส่งคลื่นบางส่วนจะเลยขึ้นไปกระทบกับผลึกของหัวส่งคลื่น ทำให้เกิดการยึดหดตัวของผลึกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ขึ้นตามหลักการของ Piezoelectric effect แต่พลังงานของคลื่นทั้งหมดที่สะท้อนกลับมาไม่ได้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปยังผิวด้านตรงข้ามอีกเป็นครั้งที่สอง หรืออาจจะสะท้อนกลับไปกลับมาต่อเนื่องกันหลายๆครั้ง ทำให้เกิดการสะท้อนซ้ำหลายครั้ง (Multi-Echo) ขึ้นดังรูปที่ 2.23

คลื่นซ้ำหลายครั้งนี้จะไม่เกิดขึ้นเฉพาะการสะท้อนจากด้านหลังเท่านั้นแต่จะเกิดขึ้นที่จุดบกพร่องได้เช่นกัน แสดงรูปที่ 2.24

เนื่องจากวิธีการนี้สามารถวัดระยะห่างระหว่างหัวส่งกับผิวสะท้อนได้ หรือสามารถกำหนดตำแหน่งสะท้อนได้ จึงนิยมใช้ในการทดสอบวัสดุมาก ดังรูปที่ 2.25 เป็นตัวอย่างการสะท้อนของคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงานทดสอบ

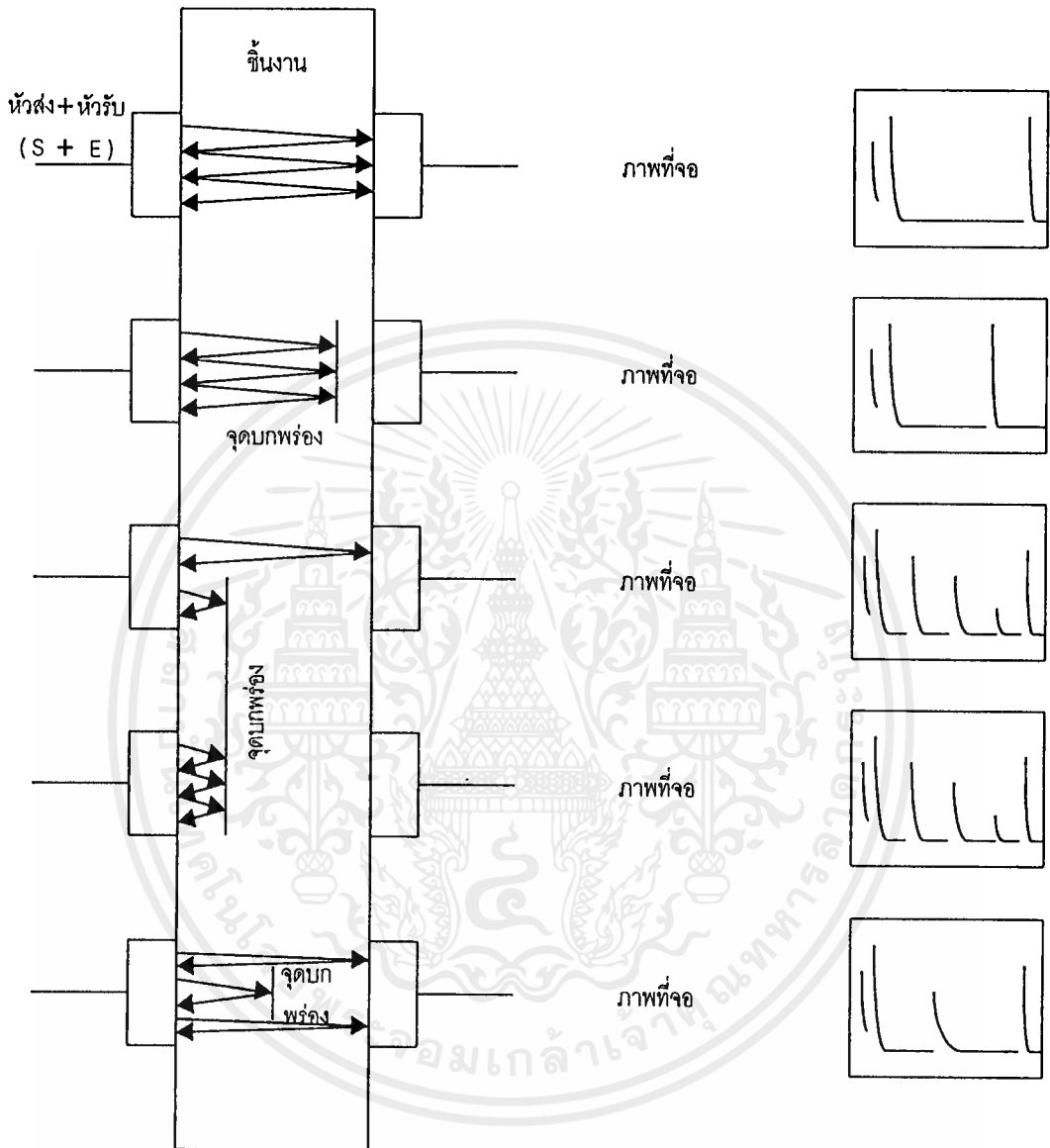


รูปที่ 2.23 การเกิดคลื่นสะท้อนซ้ำหลายครั้ง (Multi-Echo)



รูปที่ 2.24 การเกิดคลื่นสะท้อนจากจุดบัพพร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



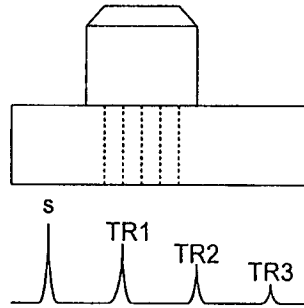
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการสะท้อนของคลื่นในการทดสอบชิ้นงาน

## 2.3 การพิจารณาผลการทดสอบชิ้นงานลักษณะต่างๆ

### 2.3.1 การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบนราบ

โดยใช้หัวทดสอบตรง (คลื่น Longitudinal Wave) ผลการวัดจะอ่านค่าได้โดยตรงจากภาพในจอ ตามมาตราส่วนที่ตั้งไว้ดังรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบนราบ

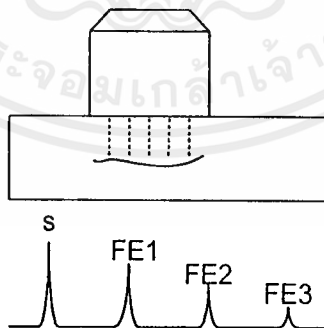
S = ตำแหน่งคลื่นส่งออก

TR = คลื่นสะท้อนกลับจากด้านหลัง (ครั้งที่ 1,2,3.....)

### 2.3.2 การทดสอบหาจุดบกพร่องในเนื้อโลหะแบนราบ

โดยใช้หัวทดสอบตรง (คลื่น Longitudinal wave) ผลการวัดจะมีสองลักษณะคือ

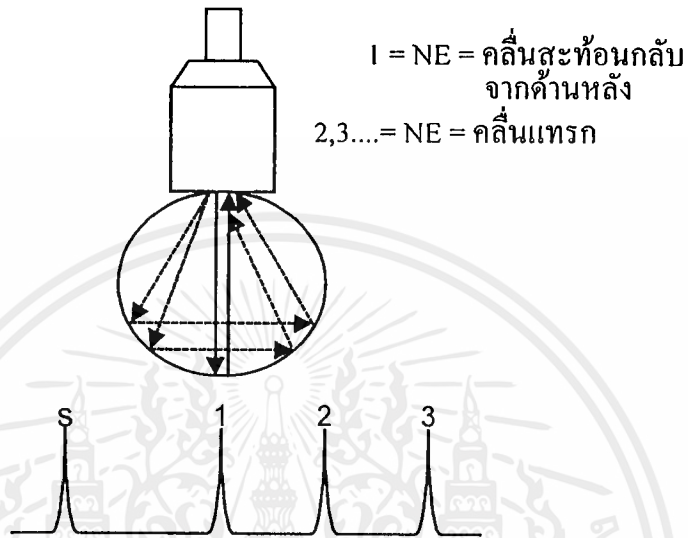
ก) ถ้าจุดบกพร่องเป็นบริเวณกว้างกว่ากลุ่มคลื่นที่ส่งออก คลื่นสะท้อนกลับทั้งหมด จะมาจากจุดบกพร่องเท่านั้นดังรูปที่ 2.27 (ก)



รูปที่ 2.27 (ก) การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบนราบ

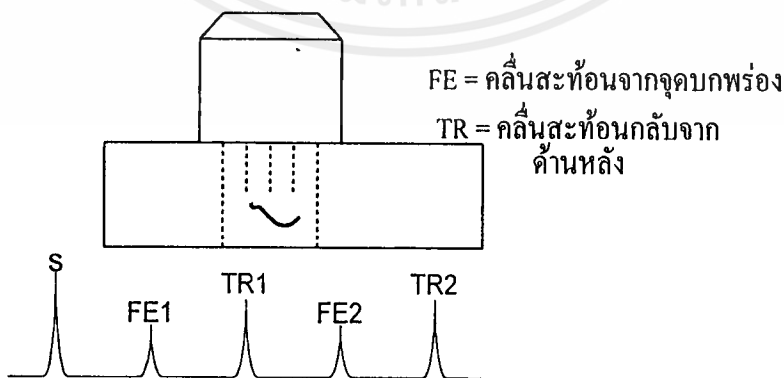
FE = คลื่นสะท้อนกลับจากจุดบกพร่อง (ครั้งที่ 1,2,3 .....)

ข) วัดเส้นผ่าศูนย์กลาง ถ้าวางหัวทดสอบ ที่ผิวโค้งบนทรงกระบอก คลื่นจะวิ่งกระทบผิวตรงข้ามกับจุดส่งคลื่นส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งจะกระทบผิวส่วนอื่นบนส่วน โค้ง และสะท้อนกลับมายังหัวทดสอบ จะทำให้เกิดคลื่นแทรกขึ้นดังรูปที่ 2.27 (ข)



รูปที่ 2.27 (ข) การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบนราบ

ค) จุดบกพร่องเป็นจุดหรือบริเวณแคบกว่ากลุ่มคลื่นที่ส่งออก คลื่นสะท้อนกลับจะเป็นทั้งจากด้านหลัง TR และคลื่นสะท้อนจากจุดบกพร่อง ดังรูปที่ 2.27 (ค)

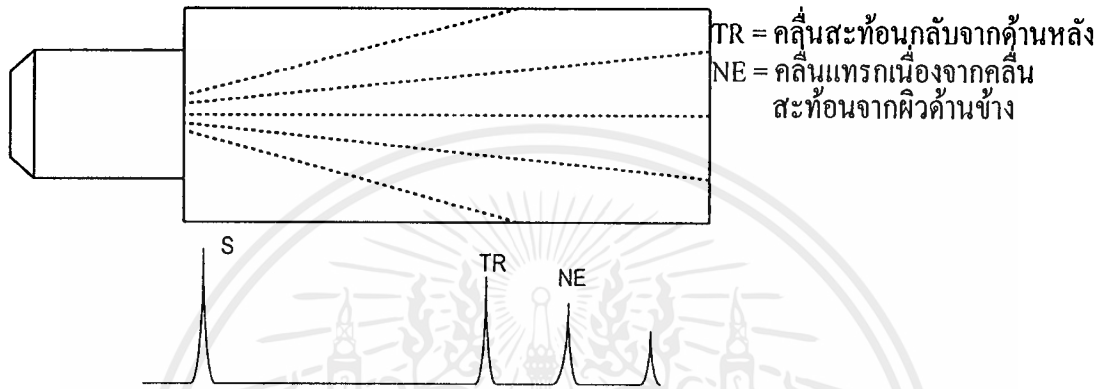


รูปที่ 2.27 (ค) การทดสอบวัดความหนาของชิ้นงานแบนราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

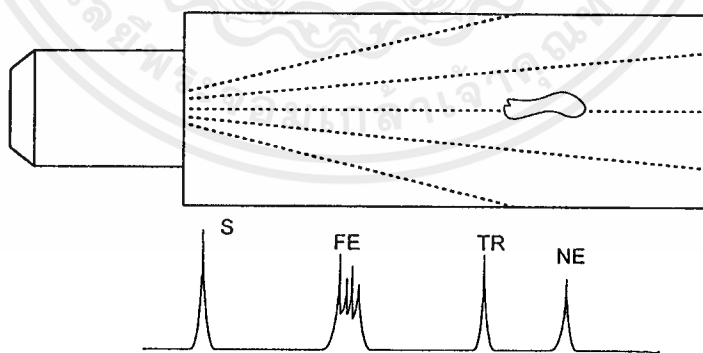
### 2.3.3 การทดสอบที่แท่งทรงกระบอก (โดยใช้หัวทดสอบตรง คลื่น Longitudinal )

ก) วัดความยาว เนื่องจากการแพร่ตัวของคลื่นกระจายแบบทรงกรวย ดังนั้น ส่วนหนึ่งของคลื่นจะพุ่งตรงไปยังผิวตรงข้ามของทรงกระบอก และอีกส่วนหนึ่งจะกระทบกับผิวด้านข้างของทรงกระบอก ทำให้เกิดคลื่นแทรกดังรูปที่ 2.28 (ก) และ (ข)



รูปที่ 2.28 (ก) เมื่อไม่มีจุดบกพร่อง

NE = คลื่นแทรกเนื่องจากคลื่นสะท้อนจากผิวด้านข้าง

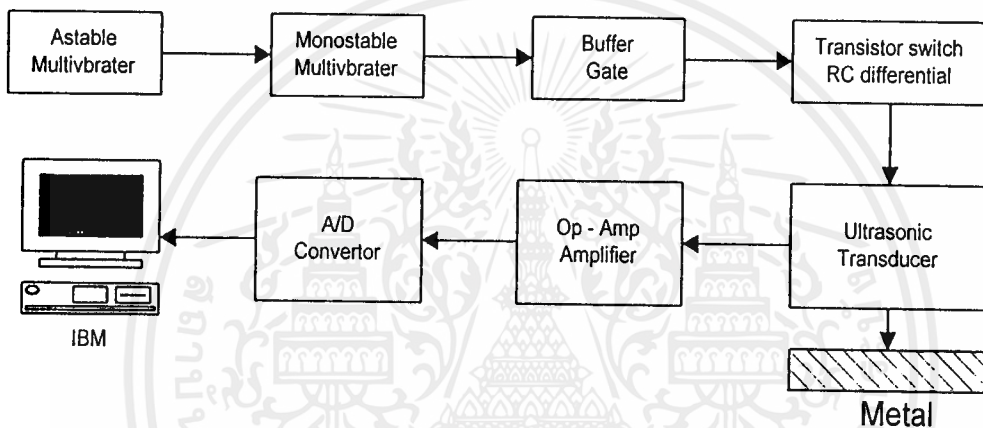


รูปที่ 2.28 (ข) เมื่อมีจุดบกพร่อง

## บทที่ 3

### การออกแบบและการสร้าง

ในส่วนของการออกแบบและการสร้างเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.1 ผังงานการทำงานของตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

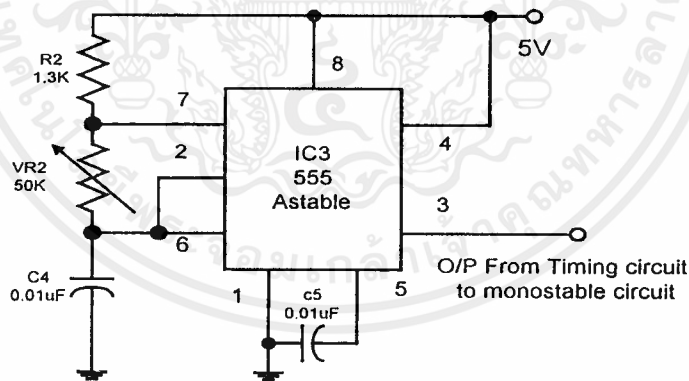
#### 3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ในส่วนฮาร์ดแวร์จะมีการทำงานตามผังงานดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้ วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Astable Multivibrator) จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square wave) และจะส่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ให้กับวงจร โมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator) ซึ่งจะเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง แต่จะให้สัญญาณเอาต์พุตเพียงลูกเดียว เมื่อมีสัญญาณกระตุ้น จากนั้นก็จะทำการส่งสัญญาณให้กับวงจรบัฟเฟอร์เกต (Buffer Gate) ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ได้จากวงจรโมโนสเตเบิลให้กับวงจรทรานซิสเตอร์สวิทช์ดิฟเฟอเรนเชียล (Transistor switch differential) และ จะทำ

หน้าที่ป้องกันไม่ให้สัญญาณไหลย้อนกลับไปในทิศทางเดิม สำหรับวงจรทรานซิสเตอร์สวิทช์ ดิฟเฟอเรนเชียล ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและส่งให้กับวงจร RC-Differential เพื่อสร้างสัญญาณที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณ Impulse ป้อนสัญญาณให้โพรบทดสอบ โพรบก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณผ่านไปยังชิ้นงานทดสอบ และคอยรับสัญญาณการสะท้อนกลับ ซึ่งสัญญาณที่ได้ ก็จะถูกส่งไปขยายในวงจร Amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น และส่งให้กับวงจรแปลงสัญญาณ แอนาลอกเป็นดิจิทัล และส่งไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลทางจอภาพ หรือพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

### 3.1.1 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ ไอซี 555

วงจรอะสเตเบิลที่ใช้ ไอซี เบอร์ 555 (555 Astable Multivibrator) ทำได้โดยต่อขา 2 (Trigger input) เข้ากับขา 6 (Threshold) ซึ่งต่อ  $C_A$  อยู่ เพื่อให้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงของ  $C_A$  ป้อนเข้ากระตุ้นการทำงานของวงจรแทนสัญญาณกระตุ้นภายนอก พิจารณาจากรูปที่ 3.2 และเพิ่ม  $R_B$  อนุกรมกับ  $R_A$  เป็นตัวต้านทานที่ใช้ในการเก็บและคายประจุของ  $C_A$  โดยต่อเข้ากับขา 7 (Discharge)



รูปที่ 3.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555

การทำงานของวงจร เมื่อ  $V_{CA}$  ต่ำกว่า  $\frac{1}{3} V_{CC}$  แรงดันที่ขาลบของออปแอมป์เปรียบเทียบกับแรงดันตัวที่ 2 จะต่ำกว่าแรงดันที่ขาบวก (เพราะ  $V_{C3} = \frac{1}{3} V_{CC}$ ) เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็น high และฟลิปฟลอปจะอยู่ในสถานะ Set ทำให้  $\bar{Q}$  เป็น low ขณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_1$  จะ off และ  $C_A$  จะทำการเก็บประจุผ่าน  $R_A$  และ  $R_B$  เมื่อ  $C_A$  เก็บประจุจนแรงดันเท่ากับ  $\frac{2}{3} V_{cc}$  ที่ขาบวกของออปแอมป์เปรียบเทียบกับแรงดันตัวที่ 1 (ต่อกับ  $C_A$  ที่ขา 6) จะมีแรงดันต่ำกว่าที่ขาลบ (เท่ากับ  $V_{(R_2+R_3)} = \frac{2}{3} V_{cc}$ ) เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็น high ทำให้สถานะของฟลิปฟลอปเป็นรีเซต ผลคือ  $\bar{Q} = \text{high}$  และทรานซิสเตอร์  $Q_1 = \text{on}$  ทำให้  $C_A$  คายประจุผ่าน  $Q_1$  ที่  $R_B$  และ  $C_A$  จะคายประจุจนกระทั่ง แรงดัน  $V_{CA} = \frac{1}{3} V_{cc}$  ที่จุดนี้เอาท์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 2 เป็น high ทำให้เอาท์พุทของฟลิปฟลอปเป็น low ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จะ off อีกครั้ง กระบวนการนี้จะเกิดต่อเนื่องตลอดไปผลที่ได้รับคือ  $V_o$  ที่ขา 3 ของไอซี 555 เป็นรูปพัลส์ สี่เหลี่ยมที่มี  $PW = T_1$  ดังรูปที่ 3.2

การออกแบบวงจร อะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ IC 555 คือ การคำนวณค่า  $R_A$ ,  $R_B$  และ  $C_A$  ที่เหมาะสมกับความถี่ของ  $V_o$  ที่ต้องการโดยที่  $C_A$  เก็บประจุจะมีกระแส  $I_c$  ผ่าน  $(R_A+R_B)$  จากแรงดัน  $\frac{1}{3} V_{cc}$  จนถึง  $\frac{2}{3} V_{cc}$  (ดูจากรูปที่ 3.2) ดังนั้น  $E_o$  (Initial Voltage) เท่ากับ  $\frac{1}{3} V_{cc}$  และ  $e_c = \frac{2}{3} V_{cc}$  แรงดันที่จ่ายให้กับตัวเก็บประจุ  $E = V_{cc}$  จาก

$$t = R.C. \ln \frac{(E - E_o)}{(E - e_c)} \quad (3.1)$$

$$t_1 = 0.693 .C_A.(R_A+R_B) \quad (3.2)$$

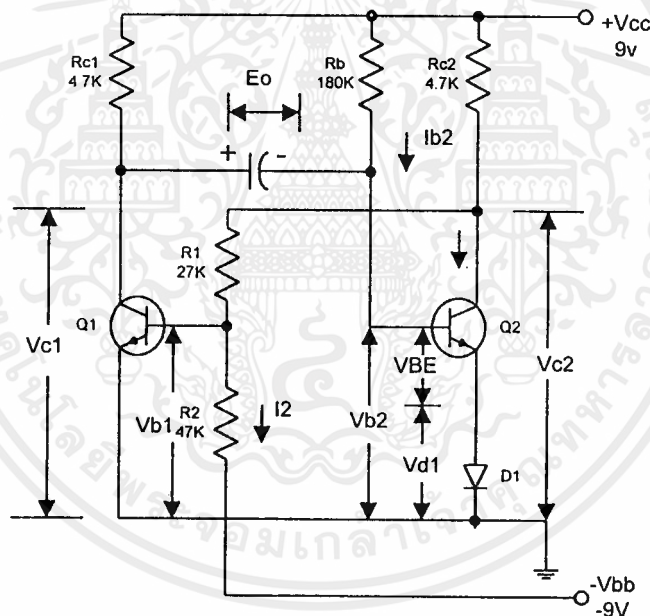
และเมื่อ  $C_A$  คายประจุค่าของ  $E_o = \frac{2}{3} V_{cc}$ ,  $e_c = \frac{2}{3} V_{cc}$  และแทนค่าเหล่านี้ในสมการ 3.1 จะได้ว่า

$$t_2 = 0.693 .C_A.R_B \quad (3.3)$$

จากสมการ 3.2 จะพิจารณาได้ในรูปที่ 3.2 กระแสในการเก็บประจุจะไหลผ่าน  $(R_A+R_B)$  แต่เมื่อพิจารณาสมการ 3.3 จะเห็นว่ากระแสในการคายประจุจะผ่านเฉพาะ  $R_B$  และไหลเข้าขา 7 (discharge) ของ ไอซี 555

### 3.1.2 วงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

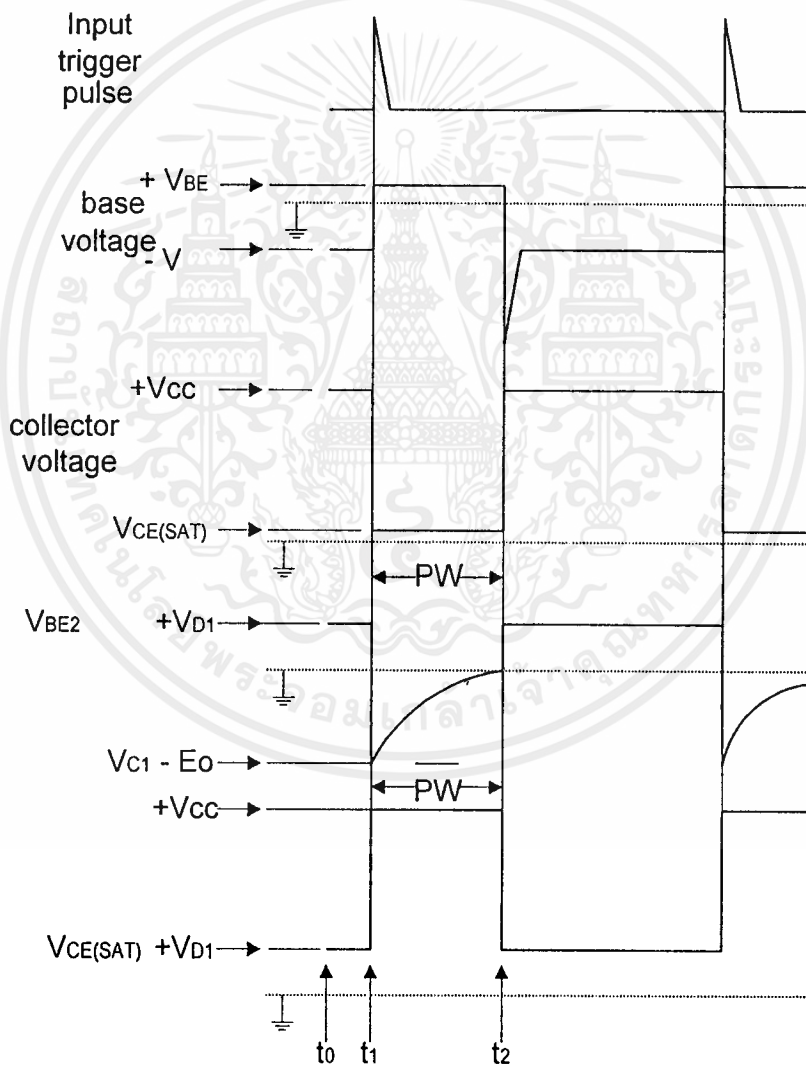
วงจรมัลติไวเบรเตอร์ คือ วงจรที่ใช้สร้างรูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยม มี 3 ชนิด คือ วงจรโมนอสเตเบิล (Monostable) วงจรไบสเตเบิล (Bistable) และวงจรอะสเตเบิล (Astable) วงจรโมนอสเตเบิล หรือวงจรวันช็อต (one - shot Multivibrator) เป็นวงจรที่สร้างหรือกำเนิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมครั้งละ 1 พัลส์ โดยต้องมีสัญญาณพัลส์กระตุ้น (Trigger Pulse) จากภายนอกเป็นตัวกำหนดจำนวนของพัลส์เอาต์พุต และพัลส์สี่เหลี่ยมที่กำหนดได้จากวงจรโมนอสเตเบิลสามารถกำหนด PW ของสัญญาณได้ วงจรโมนอสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์ดับเบิล คือวงจรที่ต่อคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งไปที่เบสของทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจร โมนอสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์ ดับเบิล ในสภาวะปกติไม่มี สัญญาณพัลส์ กระตุ้นจากภายนอก มาควบคุมการทำงาน สภาวะนี้ ทรานซิสเตอร์  $Q_1 = \text{off}$  และ  $Q_2 = \text{on}$

การทำงานของวงจรในสภาวะปกติ วงจรโมนอสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์ดับเบิล ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ที่เบสของ  $Q_2$  ต่อกับความต้านทาน  $R_B$  และต่อไบแอสกับ  $+V_{cc}$  ดังนั้นจึงมีกระแสเบสไหลเข้า  $Q_2 (I_{B2})$  ดังนั้นในสภาวะปกติ  $Q_2$  จะนำกระแสในสภาวะอิ่มตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

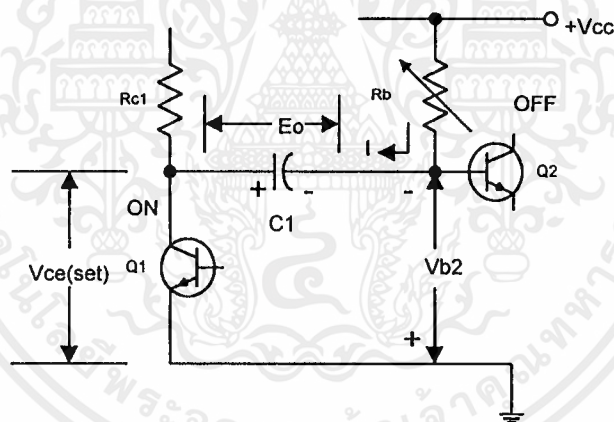
( $Q_2 = \text{on}$ ) ดังนั้น  $V_{c2} = V_{CE(\text{Sat})} + V_{D1}$  (ไดโอด  $D_1$  ต่อเพื่อป้องกันรอยต่ออิมิตอร์ และเบสของ  $Q_2$ ) และในสภาวะปกติที่จะเกิดแรงดันไฟฟ้าประจูดอยู่ใน  $C_1$  มีค่าเท่ากับ  $E_0$  ( $E_0 = V_{CC} - V_{B2}$ ) ดังรูปที่ 3.3 ที่เบสของ  $Q_1$  จะต่อ  $R_1$  ไปที่คอลเลกเตอร์ของ  $Q_2$  และจะต่อ  $R_2$  เข้ากับแหล่งจ่ายไบแอสลบ ( $-V_{BB}$ ) ทำให้  $Q_1$  ไม่นำกระแส ( $Q_1 = \text{off}$ ) ผลคือ  $V_{C1} = V_{CC}$  สรุปในสภาวะปกติ  $Q_1 = \text{off}$ ,  $Q_2 = \text{on}$  และสัญญาณเอาต์พุตของวงจรคือ  $V_{c2} = V_{CE(\text{Sat})} + V_{D1}$  (จะอยู่สูงกว่าระดับจุดเดิมเล็กน้อย) และ  $V_{B2} = V_{BE} + V_{D1}$  ซึ่งจะมีค่าเป็นลบประมาณว่า  $V_{B2} = V_{C1} - E_0$  ไม่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่าน  $R_{c1}$  ทำให้  $V_{C1} \approx V_{CC}$



รูปที่ 3.4 รูปคลื่น  $V_{c1}$ ,  $V_{B1}$ ,  $V_{C2}$ ,  $V_{B2}$  ของวงจร โมโนสเตเบิลในสภาวะปกติและสภาวะที่ได้รับสัญญาณกระตุ้น

การทำงานของวงจรในสถานะที่ได้รับสัญญาณกระตุ้น สัญญาณกระตุ้นหรือสัญญาณทรigger ที่จะบังคับให้วงจรโมโนสเตเบิลในรูปที่ 3.4 ทำงานได้ จะใช้พัลส์ทรigger แบบบวก (Positive going Trigger Pulse) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

สัญญาณกระตุ้นที่เป็นพัลส์บวกดังแสดงในรูปที่ 3.4 ต้องป้อนให้กับเบสของ  $Q_1$  เพื่อให้  $Q_1$  เปลี่ยนสถานะจาก off เป็น on เมื่อป้อนพัลส์บวกทรigger ที่เบสของ  $Q_1$  ที่เวลา  $t_1$  ในรูปที่ 3.4 ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จะเปลี่ยนสถานะการทำงานจาก off เป็นสถานะนำกระแสอิ่มตัว (on) ทันที ทำให้แรงดันคอลเลกเตอร์ของ  $Q_1$  ( $V_{c1}$ ) เท่ากับ  $V_{CE(Sat)} \approx 0.2V$  และแรงดันเบสของ  $Q_1 = V_{B1} = V_{BF(sat)} = 0.7V$  ขณะนี้  $C_1$  จะคายประจุผ่าน  $R_B$  มายังคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ของ  $Q_1$  (เนื่องจากศักดาไฟฟ้าของคอลเลกเตอร์  $Q_1 \approx 0V$ ) เมื่อสังเกตที่เบสของ  $Q_1$  ( $V_{B2}$ ) จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่มีค่าเป็นลบ ( $V_{c1} - E_o \approx E_o$ ) เนื่องจากแรงดัน  $E_o$  ที่  $C_1$  ถูกคายประจุออกมา ระยะเวลาในการคายประจุของ  $C_1$  ที่ผ่าน  $R_B$  แสดงในรูปที่ 3.5



รูป 3.5 กระแสคายประจุของ  $C_1$  เมื่อทำการกระตุ้นเบสของ  $Q_1$  ด้วยพัลส์บวกทำให้  $Q_1 = on$  ,  $Q_2 = off$

ในขณะที่สัญญาณพัลส์บวกถูกป้อนเข้าที่เบสของ  $Q_1$  และทำให้  $Q_1 = on$  ในสถานะนี้  $Q_2$  จะหยุดนำกระแส (off) ทันทีเช่นกัน เนื่องจาก  $I_{B2}$  จะไม่ไหลเข้าเบสของ  $Q_2$  (กระแสที่มาจาก  $V_{CC}$  จะผ่าน  $R_B$  ผ่าน  $C_1$  และแรงดันที่อิมิตเตอร์ของ  $Q_1$  แทน) ดังนั้น  $I_{B2} = 0$  ทำให้  $Q_2 = off$  ผลคือแรงดัน  $V_{C2} = +V_{CC}$  สถานะที่  $Q_2 = off$  และ  $Q_1 = on$  นี้จะเกิดเป็นช่วงเวลาชั่งเดียวเท่านั้น (ช่วง  $t_1 - t_2 = PW$ ) ซึ่งคือช่วงเวลาความกว้างของพัลส์เอาต์พุต (PW) ของ  $Q_2$  นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา  $t_2$  เป็นจุดที่  $C_1$  คายประจุหมด ( $E_0 = 0V$ ) สังเกตจากรูป ที่แรงดัน  $V_{B2} = 0V$  (ที่เวลา  $t_2$ ) เนื่องจาก  $E_0 = 0V$  ทำให้ความต้านทานของ  $C_1$  มีค่าเท่ากับศูนย์โอห์ม จะเกิดกระแสไหลเข้าเบสของ  $Q_1$  อีกครั้ง แต่จะเริ่มไหลจาก  $V_{CC}$  ผ่าน  $R_{C1}$ , ผ่าน  $C_1$  เข้าเบสของ  $Q_2$  ทำให้  $Q_2$  ที่หยุดนำกระแส (off) อยู่ เริ่มนำกระแสเหมือนสภาวะปกติอีกครั้งหนึ่งผลคือแรงดันเอาต์พุตของวงจร ( $V_{C2} = V_{CE(sat)} + V_{D1}$ ) แรงดันที่เบสของ  $Q_2$  ( $V_{B2} = V_{BE(sat)} + V_{D1}$ ) และเมื่อ  $Q_2 = on$  จะเกิดกระแส  $I_{C2}$  ผ่าน  $R_{C2}$  และคอลเลกเตอร์ของ  $Q_2$  กระแสเบสของ  $Q_1$  ที่เคยผ่าน  $R_1$  หลังจากได้รับสัญญาณพัลซ์บวกที่เวลา  $t_1$  จะเท่ากับศูนย์ ( $I_{B1} = 0$ ) ทำให้  $Q_1 = off$  อีกครั้งหนึ่ง

สรุป ที่เวลา  $t_2$ ,  $C_1$  จะมีแรงดันเท่ากับ  $0V$  ทำให้  $Q_2 = on$ ,  $Q_1 = off$  การทำงานของวงจรกับสภาวะปกติอีกครั้งหนึ่ง

### 3.1.3 วงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ที่ใช้ไอซีทีทีแอล

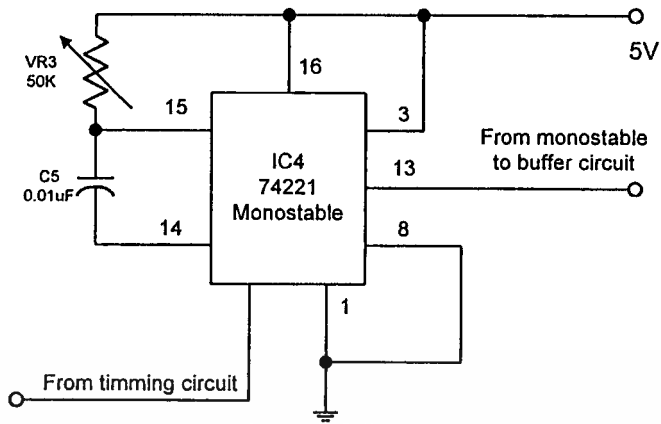
เป็นอีกวงจรหนึ่งที่ถูกนิยมนำใช้กันมาก คือใช้ไอซีทีทีแอล เบอร์ 74221 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 วงจรนี้ใช้  $V_{CC}$  เท่ากับ  $+5V$  ต่อเข้าที่ขา 14 และที่ขา 7 ต่อลงจุดดิน (GND) เอาต์พุตมี 2 ชุดคือ เอาต์พุตปกติ (Q) และเอาต์พุตแบบกลับสัญญาณ (Q) ที่ขา 6 และขา 1 อินพุตทริกเกอร์มี 3 ขาคือชุดที่ 1 เป็นอินพุตที่รับสัญญาณพัลซ์ลบคือขา  $V_{CC}$  A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> (ขา 3,4) ซึ่งรับสัญญาณพัลซ์ลบขนาดไม่เกิน  $-1.4V$  ชุดที่ 2 คืออินพุตที่รับพัลซ์บวกขนาดไม่เกิน  $+1.55V$  (ที่ขา B, ขา 5 ของไอซี) การกำหนดค่าความกว้างของพัลซ์ ที่เอาต์พุตเป็นดังสมการ

$$PW = 0.7 \cdot C_T R_T \quad (3.4)$$

$$V_{O(max)} = +5V$$

$$V_{O(min)} = 0V$$

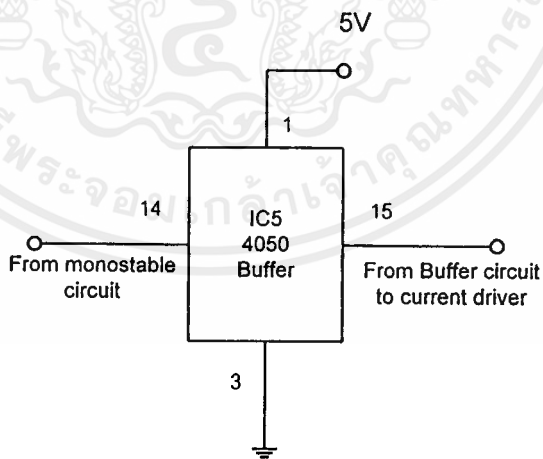
$C_T$  และ  $R_T$  คือ ค่าตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานที่ต่อภายนอก เพื่อกำหนด PW โดยปกติตาม Data sheet ของ 74221 ค่า PW สูงสุดจะอยู่ระหว่าง 30-35 นาโนเซ็ค โดยต่อ  $R_T$  และ  $C_T$  ที่ ขา 15 และ 14 ดังรูป สำหรับขา 6 คือ  $R_{int}$  เป็นค่าความต้านทานซึ่งต่อภายในไอซีและให้ต่อเข้ากับ  $V_{CC}$  ด้วย ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรโมโนสเตเบิล ที่ใช้ไอซีทีทีแอล 74221

### 3.1.4 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer circuit)

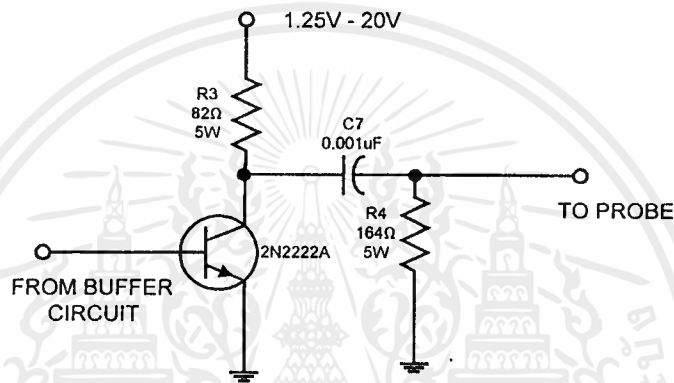
วงจร Buffer gate มีหน้าที่ส่งสัญญาณจากวงจร Monostable Multivibrator ให้กับวงจร Transister Switch Differential และทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณย้อนกลับ จากวงจร Transister Switch Differential กลับไปยังวงจร Monostable



รูปที่ 3.7 วงจร Buffer

### 3.1.5 วงจร Transister Switch Differential

วงจร Transister Switch Differential มีหน้าที่รับสัญญาณที่ป้อนมาจากวงจร Buffer gate มาขยายสัญญาณ โดยค่ากำลังสัญญาณจะขึ้นอยู่กับกระแสแรงดันเข้าขา C ของ Transister โดยจะต้องมี Resister 100Ω ขนาด 5 W. เป็นตัว Drop แรงดัน และจะส่งไปยังขา C เพื่อป้อนให้กับวงจร RC Differential เพื่อสร้างสัญญาณที่มีลักษณะใกล้เคียงสัญญาณ Impulse มากที่สุด เพื่อที่จะนำสัญญาณป้อนให้แก่โพรบ



รูปที่ 3.8 วงจร Transister Switch Differential

### 3.1.6 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณแรงดัน (Amplifier Circuit)

วงจรขยายแรงดันในภาคนี้ ใช้สำหรับขยายแรงดันที่ได้จากโพรบ ให้ได้กระแสเพิ่มขึ้นเพื่อจะส่งสัญญาณที่ขยายแล้วให้กับวงจรแอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อจะนำสัญญาณไปประมวลผลออกทางจอคอมพิวเตอร์

การออกแบบวงจรขยายนี้ ใช้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) โดยใช้ ไอซีเบอร์ TL084

จากรูปที่ 3.9 เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส ซึ่งวงจรนี้มีสูตรในการคำนวณหาอัตราขยายแรงดันได้ดังนี้

$$AV = 1 + \frac{(Rf)}{(Ri)} \quad (3.5)$$

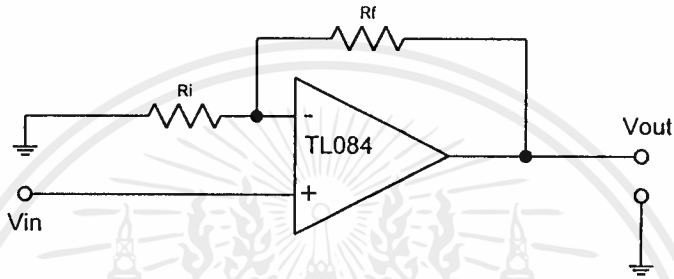
โดยในที่นี้ได้เลือก AV ของวงจรเท่ากับ 31 เท่า

ดังนั้นจึงเลือกค่าของ  $R_f = 30\text{ K}\Omega$  เพราะฉะนั้นจะหาค่า  $R_i$  ได้เท่ากับ

$$31 = 1 + \frac{(30 \times 1000)}{R_i}$$

$$R_i = \frac{(30000)}{(31 - 1)}$$

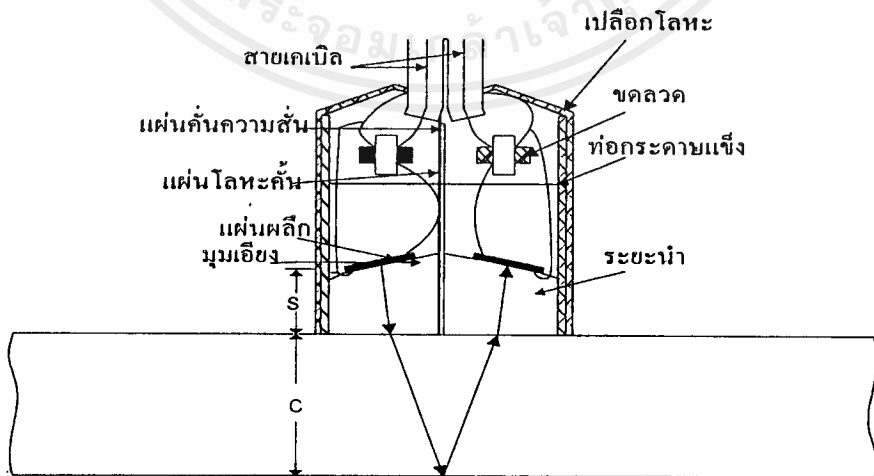
เพราะฉะนั้นจะได้  $R_i = 1\text{ K}\Omega$



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณ

### 3.1.7 โพรบ (Probe)

ทำหน้าที่เมื่อมีสัญญาณจากวงจร Transister Switch Differential จะส่งคลื่นอัลตราโซนิคส์ ผ่านเข้าไปในชิ้นงานทดสอบและรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเพื่อส่งค่าที่รับได้ให้กับวงจร Amplifier ดังรูปที่ 3.10



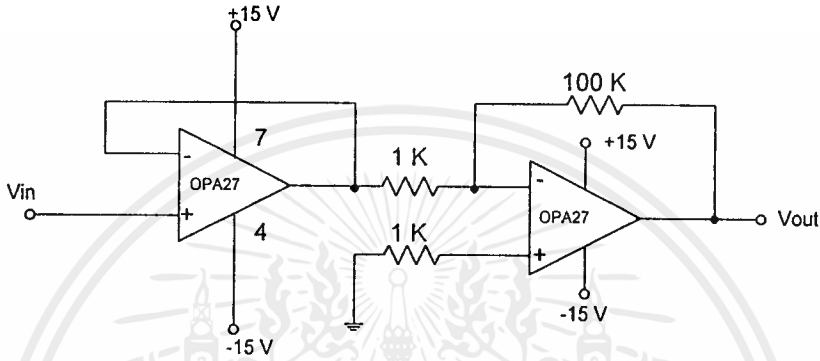
รูปที่ 3.10 โครงสร้างของโพรบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.8 วงจรแสดงผลทางคอมพิวเตอร์

แนวคิดในการออกแบบวงจร

เราเลือกใช้อปแอมป์ที่ขยายสัญญาณจากโพรบ จากผังงานในรูปที่ 3.12 เรากำหนดแรงดันเอาต์พุตประมาณ 2 โวลต์ นั่นคือในรูปที่ 3.11



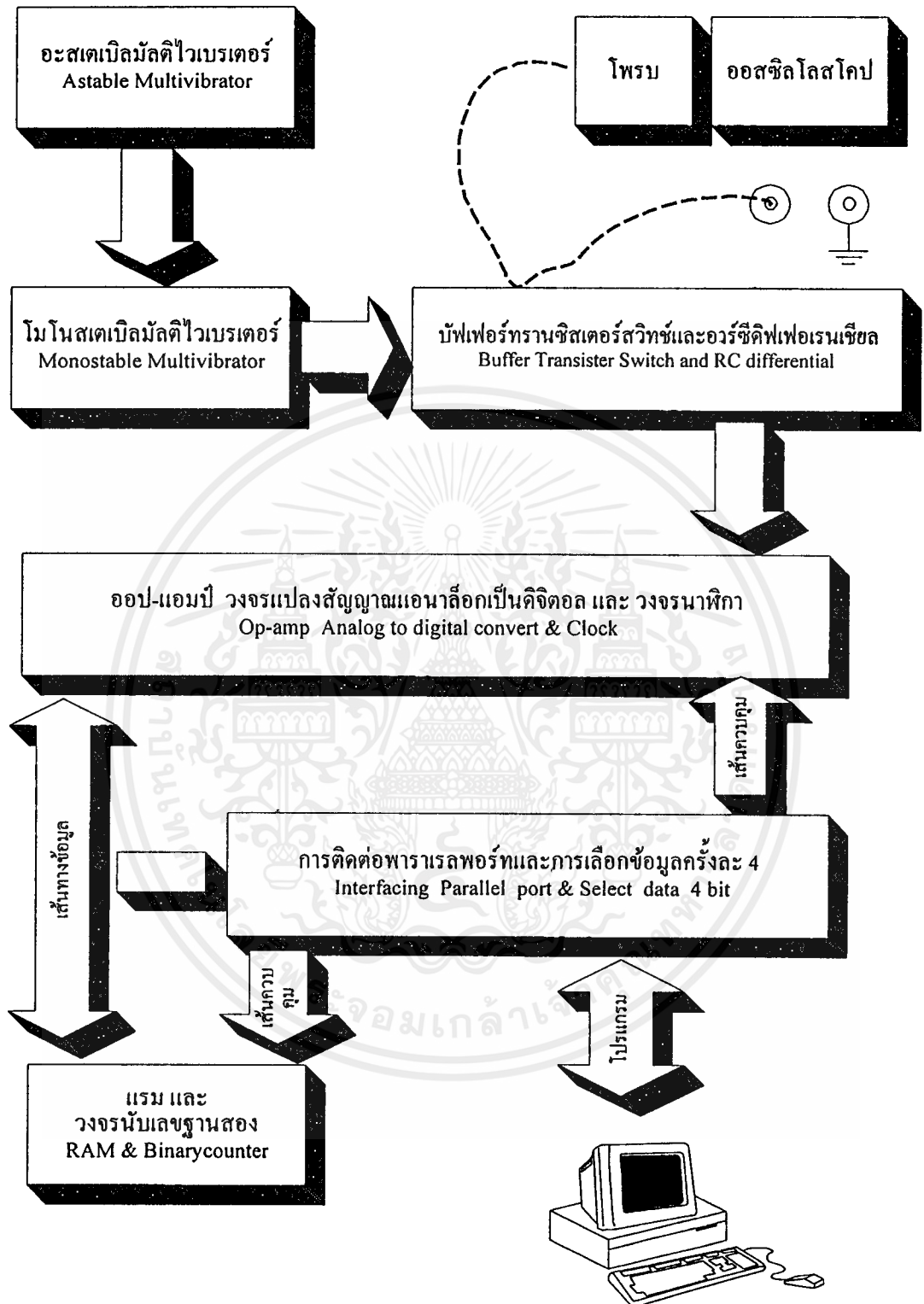
รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ

จากวงจรในรูปที่ 3.11 สามารถขยายสัญญาณ  $V_{in}$  เพิ่มขึ้นประมาณ 100เท่า แต่ในทางปฏิบัติ อาจจะได้ไม่ถึง 100 เท่า เมื่อสัญญาณมีขนาดใหญ่เพียงพอประมาณ 2 โวลต์ ก็สามารถนำไปแปลงสัญญาณ แอนาลอก

การแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล

ข้อมูลทางฟิสิกส์ ส่วนมากต้องการที่จะทำให้อยู่ในรูปสัญลักษณ์ดิจิตอลโดยปกติรูปสัญญาณไฟฟ้า จะปรากฏอยู่ในรูปสัญญาณแอนาลอกดังเช่นการแสดงผลต่างทางอุณหภูมิโดยค่าที่ได้มาจากเทอร์โมคัปเปิ้ล (Termo Couple) การแสดงความตึงเครียด (Strain) โดยได้ค่ามาจากสเตรนเกจบริดจ์ (Strain Gauge Bridge) การแสดงค่าความหนาของชิ้นงานได้จาอัลตราโซนิคส์

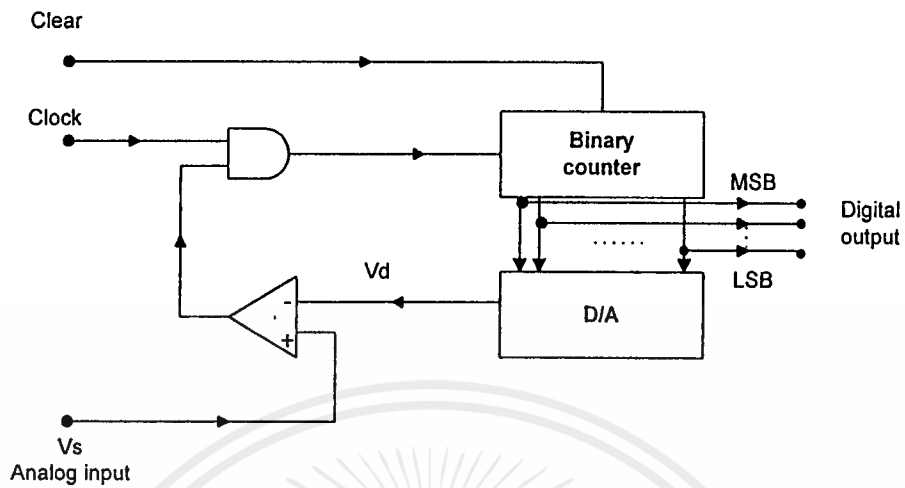
ดังนั้นจึงต้องการอุปกรณ์ในการเปลี่ยนรูปสัญญาณแอนาลอกไปเป็นรูปสัญญาณดิจิตอล เราจะพิจารณา อุปกรณ์เอชดี คอนเวอร์เตอร์ (A/D Converter) ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ฟังงาน การทำงานของเครื่องตรวจสอบรอกบพร้อมและความหนาของ โลหะโดยใช้คลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อัลตราโซนิคส์ แสดงผลบนคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.13 การใช้ A/D Converter เป็นตัว Counter

จากรูปวงจรเราป้อนสัญญาณแอนาลอกอินพุต เป็นแรงดันไฟตรงจากระบบจะทำงานเป็นแบบลำดับต่อเนื่องโดยสัญญาณนาฬิกา จะต้องผ่าน แอนเกต (AND GATE) ปกติแอนเกตจะปิดอยู่ และจะเปิดเป็นแบบชั่วคราว ค่อยๆไต่ระดับขึ้นไป (Linear Ramp) แอนเกตยังคงจะเปิดอยู่จนกระทั่งระดับแรงดันที่ไต่ขึ้นไปจาก 0 โวลต์ จนถึงแรงดันอ้างอิงของตัวเปรียบเทียบ (Comparator) ซึ่งระดับแรงดันที่อ้างอิงก็คือสัญญาณแอนาลอกที่ต้องการเปลี่ยนเป็นดิจิทัล

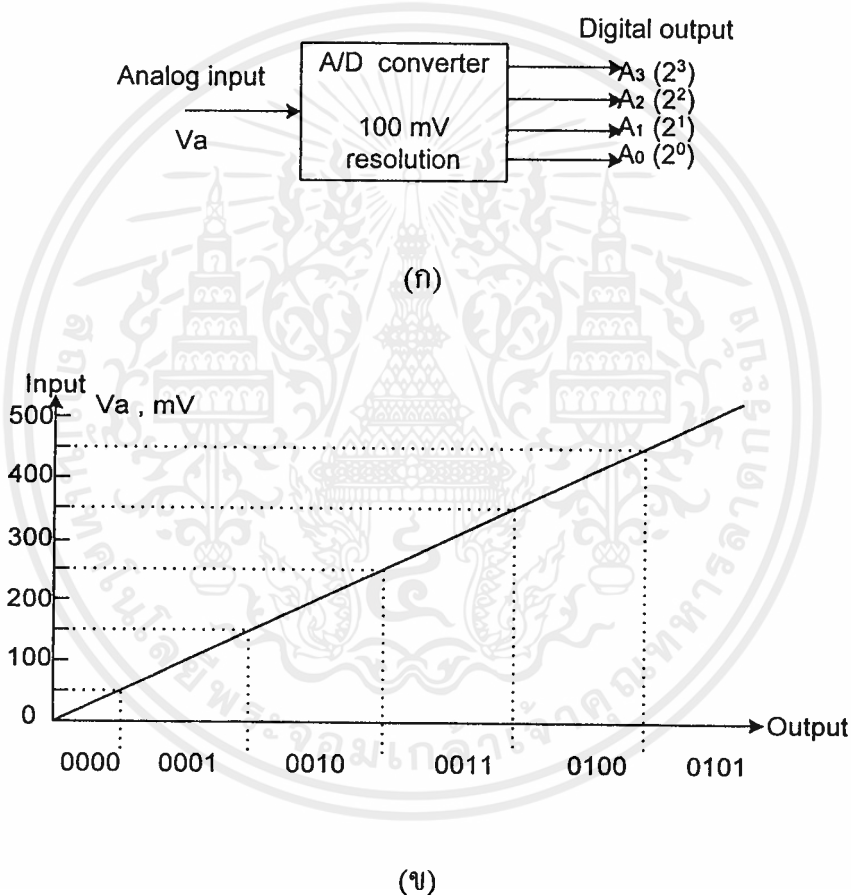
จำนวนพัลส์ที่ผ่านจากแอนเกตจะเป็นสัดส่วนกันกับแรงดันของสัญญาณแอนาลอก แต่แรงดันเปลี่ยนตามเวลา วงจรไม่สามารถที่จะแปลงข้อมูลให้เป็นแรงดันอ้างอิงต่อเนื่องได้ (แรงดันที่ได้จากวงจรดีทิวเอ (D to A) แต่วงจรแบบนี้ต้องการข้อมูลแอนาลอกที่เป็นช่วงค่าสูงสุดของแรงดันแอนาลอกคือ จำนวนพัลส์  $n$  จำนวน

จำนวนพัลส์ที่ชัดเจนได้นั้น ควรจะทำให้  $n$  มากและไม่เปลี่ยนแปลง จะต้องใช้สองช่วงของจำนวนพัลส์ที่ออกมาแล้ว ที่ต้องเอาจำนวน  $n$  พัลส์ที่เกิดขึ้นแล้ว 2 ช่วงเวลา เพราะในช่วงแรกเกิดการผิดพลาดของเวลามอดูเลท

ความถี่ที่เกิดบ่อยๆจะมีค่าเท่ากัน ที่น้อยกว่าจะทำให้จำนวน  $n$  และอัตราสุ่มตัวอย่างใหม่ (Sampling Rate) ซึ่งในเวลานั้นๆอัตราที่เกิดขึ้นบ่อยๆจะมีมาก จะปล่อยช่วงเวลาให้กับวงจรกู้เวลากลับเป็นแรงดันในระหว่างการสุ่มตัวอย่าง

### แอนาลอกทูดิจิตอล (ANALOG -TO -DIGITAL CONVERTER)

ควอนไทเซชัน เออเรอ (Quantitation Error) เป็นสิ่งที่ต้องมีอยู่ในทุกตัวของ A/D converter จากรูปที่ 3.14 (ก) แสดงถึง A/D converter 4 บิต มีความละเอียด (resolution) 1 นัย / 100 มิลลิโวลต์ รูปที่ 3.14 (ข) แสดงระดับสัญญาณแอนาลอกและเอาต์พุตดิจิตอลซึ่งผลที่ได้จะเป็นย่านของสัญญาณแอนาลอกอินพุต



รูปที่ 3.14 A/D converter : (ก) สัญลักษณ์ (ข) Quantitation Error

จากตัวอย่าง แรงดันแอนาลอกระหว่าง 50 มิลลิโวลต์ ถึง 250 มิลลิโวลต์ ก็จะทำให้เอาต์พุต 0001 ระหว่าง 150 มิลลิโวลต์ ถึง 250 มิลลิโวลต์ ให้เอาต์พุต 0010 ดังนั้นถ้าเรามีสัญญาณ 1 นัย เอาต์พุตแต่ละย่านเป็น 100 มิลลิโวลต์ ในอินพุตขณะนั้น ถ้าเอาต์พุตออก 0011 และค่านี้เป็นเอาต์พุตของ D/A (ภายในวงจร Analog - To - Digital converter มี D/A ประกอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย) ค่าของ D/A ที่แปลงมาคือ 300 มิลลิโวลต์ อย่างไรก็ตามพวกเราทราบว่าค่าแรงดันอินพุตอยู่ในช่วง 250 มิลลิโวลต์ ถึง 350 มิลลิโวลต์ ดังนั้นค่า Quantitation Error ในลักษณะนี้คือ 50 มิลลิโวลต์ (นั่นคือแรงดันอินพุตจะเท่ากับ 300 มิลลิโวลต์ + 50 มิลลิโวลต์ = 350 มิลลิโวลต์ และ 300 มิลลิโวลต์ - 50 มิลลิโวลต์ = 250 มิลลิโวลต์)

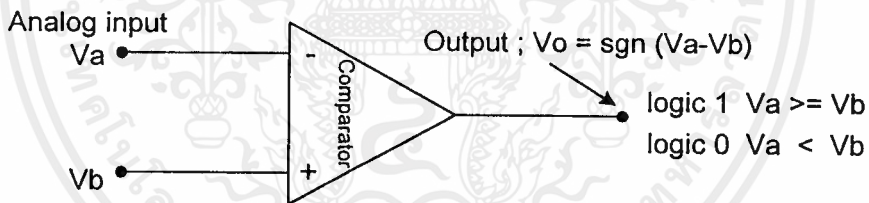
ซึ่งคือ  $+\frac{1}{2}$  LSB แต่ในทางปฏิบัติอาจผิดพลาดมากกว่า  $+\frac{1}{2}$  LSB เพราะขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของแรงดันอ้างอิง

### แอนาล็อก คอมพารเตอร์ (ANALOG COMPARATORS)

ทุกเทคนิคที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นต้องมีการใช้ตัวเปรียบเทียบ (Comparator) รูปที่ 3.15 (ก) แสดงรูปสัญลักษณ์ของตัวเปรียบเทียบแอนาล็อก แรงดันแอนาล็อก 2 แรงดัน ( $V_a$  และ  $V_b$ ) เข้าไปในตัวเปรียบเทียบคืออินพุต และแรงดันไบนารี คือ เอาท์พุต

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

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



(ก)

รูปที่ 3.15 Analog comparator : (ก) สัญลักษณ์

### เอ ทู ดี แฟลชคอนเวอร์เตอร์ (ANALOG - TO - DIGITAL FLASH CONVERTER)

A/D flash converter คือ A/D แบบหนึ่งโดยเปลี่ยนสัญญาณแอนาล็อกเป็น N-bit ที่ขนาน (ก่อนข้างจะเป็นลำดับ) ผลที่เป็น N-bit ขนานได้นั้นวิธีการใช้ได้น้อยมาก (น้อยกว่า 2 แบบแรกมากๆ) จนเปรียบเป็นแฟลชที่ใช้ในกล้องถ่ายรูป โดยมันสามารถแปลงสัญญาณแอนาล็อกภายใน 8 บิต ใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาโนเซ็ค

### คุณลักษณะบางอย่างในการนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะบางอย่างที่ต้องทราบเพื่อการพิจารณาเลือกใช้ที่ถูกต้อง

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

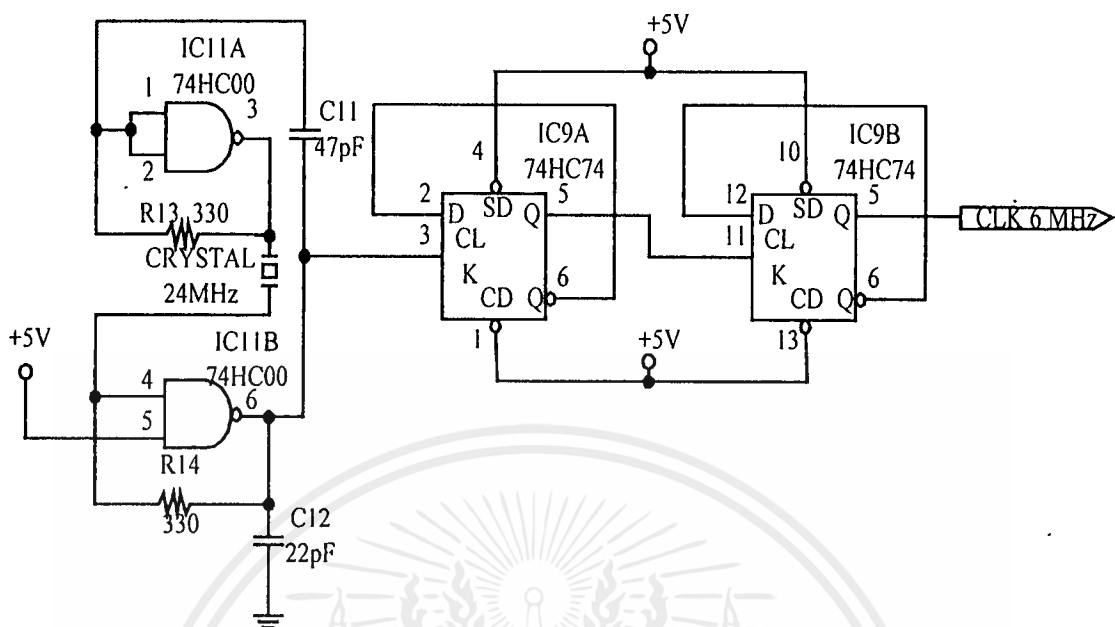
2.Conversion time ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวแปลง (converter) ตัวแปลงขนานแบบความเร็วสูง (Ultrafast parallel converter) มีเวลาในการเปลี่ยนแปลงในช่วง 10-60 นาโนเซ็ค , ซักเซสซิฟ อะพพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation) อยู่ในช่วง 1-100 ไมโครเซ็ค

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

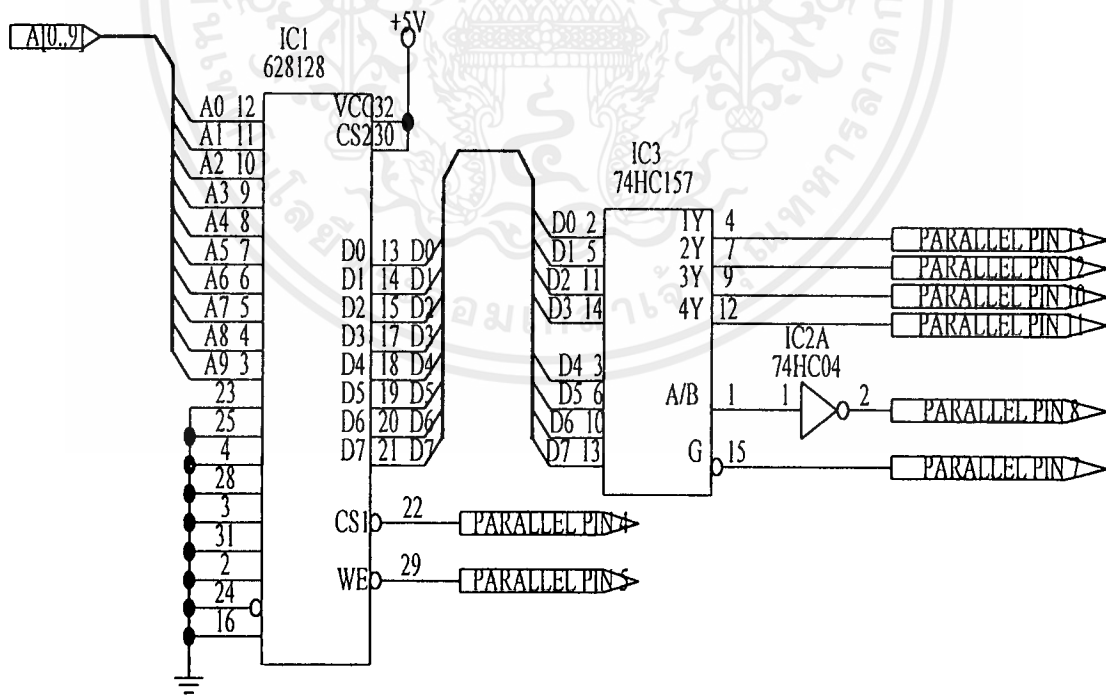
4.Accurracy ความเที่ยงตรงมีค่าความผิดพลาดของทั้งส่วนแอนาลอกและดิจิตอลของระบบรวมอยู่ด้วย ดิจิตอลจะผิดพลาดตรงควอนไทส์ที่ใช้กันคือ  $+\frac{1}{2}$  LSB ส่วนแอนาลอก ความผิดพลาดจะเกิดที่ตัวเปรียบเทียบ แหล่งจ่ายอื่น ฯลฯ ความเที่ยงตรงที่ต้องการจะต้องคำนึงถึงจำนวนบิตควรจะตรงกัน ตัวอย่าง พิจารณาตัวแปลง (converter) 10 บิต กับแอนาลอกอินพุต อยู่ในช่วง 0 ถึง +10 โวลต์. Quantitation Error เป็น  $\frac{1^{10}}{2} * 10$  โวลต์ เท่ากับ 9.76 มิลลิโวลต์ หรือประมาณ 10 มิลลิโวลต์ ถ้าสมมุติว่า เราต้องการให้ค่าความผิดพลาด (error) เท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ ค่าความผิดพลาดทั้งหมดจะเท่ากับ 20 มิลลิโวลต์ เทียบกับอินพุต ในกรณีนี้ ระบบการทำงานเหมือน 9บิต A/D converter ตัวหนึ่งซึ่งเป็นอิสแอนาลอก เพราะว่า 9 บิต A/D converter หนึ่งตัวมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ  $\frac{1^9}{2} * 10$  โวลต์ =19.53 มิลลิโวลต์ หรือประมาณ 20 มิลลิโวลต์

เนื่องจากโครงการนี้ต้องการแปลงสัญญาณแอนาลอกที่มีความถี่ประมาณ 2.25 MHz หรือ 0.444 ไมโครเซ็ค นั้นหมายความว่าค่าที่เราให้สัญญาณนาฬิกาแก่ เอพดี ที่ 0.444 ไมโครเซ็ค เราจะได้ค่าสูงสุดและค่าส่งต่ำสุดดังรูป แต่ถ้าเราลดค่าของสัญญาณนาฬิกาลงนั่นคือเราจะได้ค่าจากการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล

สัญญาณนาฬิกาที่เราจะสร้างเป็นวงจร จำเป็นต้องเลือกอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้เร็วอีกทั้งต้องไม่มีปัญหาเกี่ยวกับอิมพีแดนซ์ในการต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่น เราจึงเลือกอุปกรณ์ในตระกูล 74 HCXX เพราะเป็น High speed cmos ทำงานได้เร็วถึง 40 MHz อีกทั้งอินพุตอิมพีแดนซ์สูงและเอาต์อิมพีแดนซ์ต่ำ แสดงในรูปที่ 3.16 และ 3.17



รูปที่ 3.16 ฟังวงจรส่วนการสร้างสัญญาณคล็อก (clk)



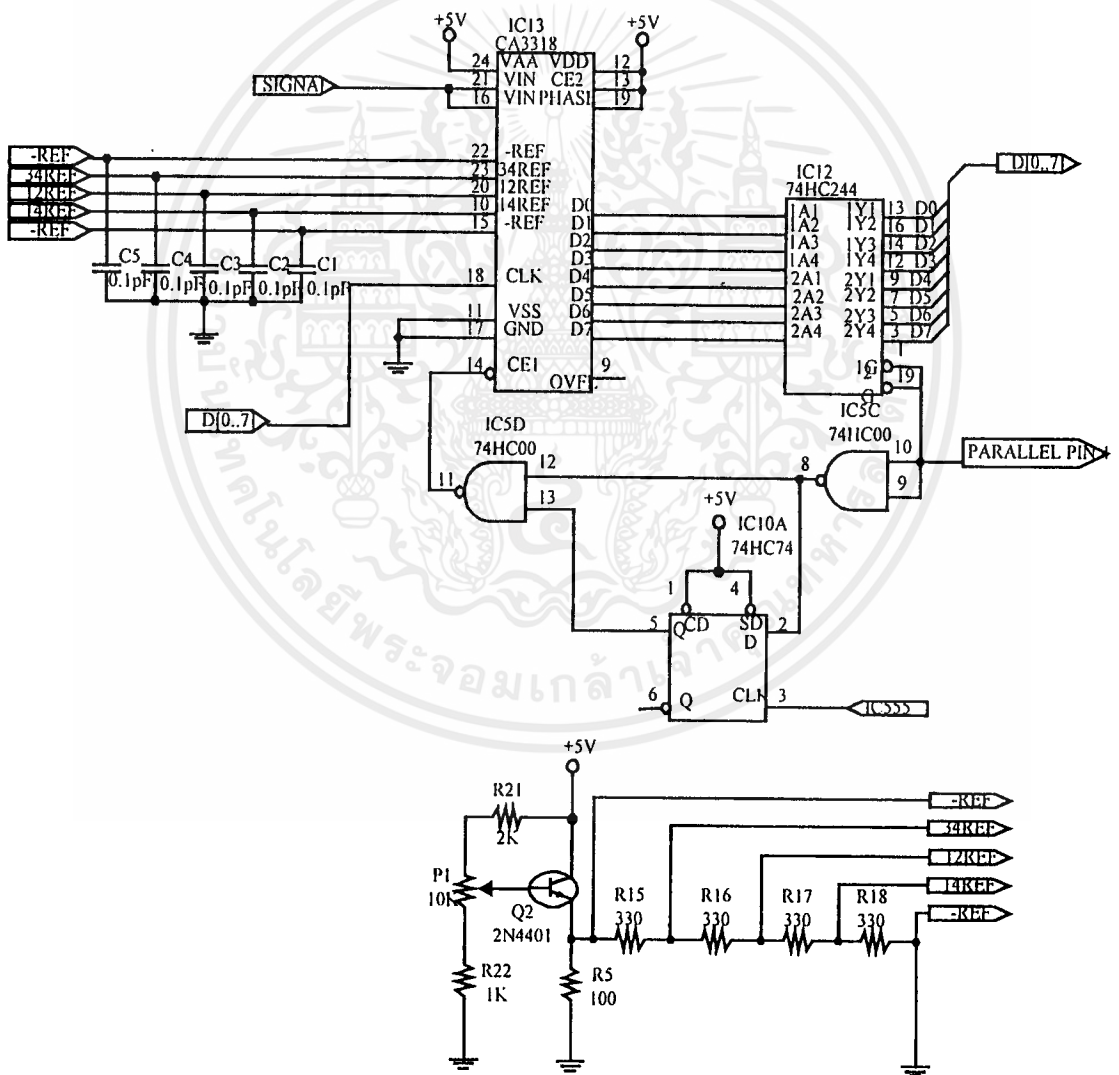
รูปที่ 3.17 A/D CONVERTER SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำชั่วคราวและวงจรนับเลขฐานสอง

ในการเก็บข้อมูลจากการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลนั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนั้นเก็บลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ได้ทันที เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในวงจรเอชดี มีความเร็วสูง (conversion time ต่ำ) คอมพิวเตอร์ไม่สามารถเก็บค่าที่เกิดจากการแปลงได้ทันที

เราจำเป็นต้องมีหน่วยความจำชั่วคราวในการเก็บข้อมูลไว้ก่อน โดยคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวควบคุมการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและหน่วยความจำชั่วคราว



รูปที่ 3.18 SRAM SECTION & SELECT DATA SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

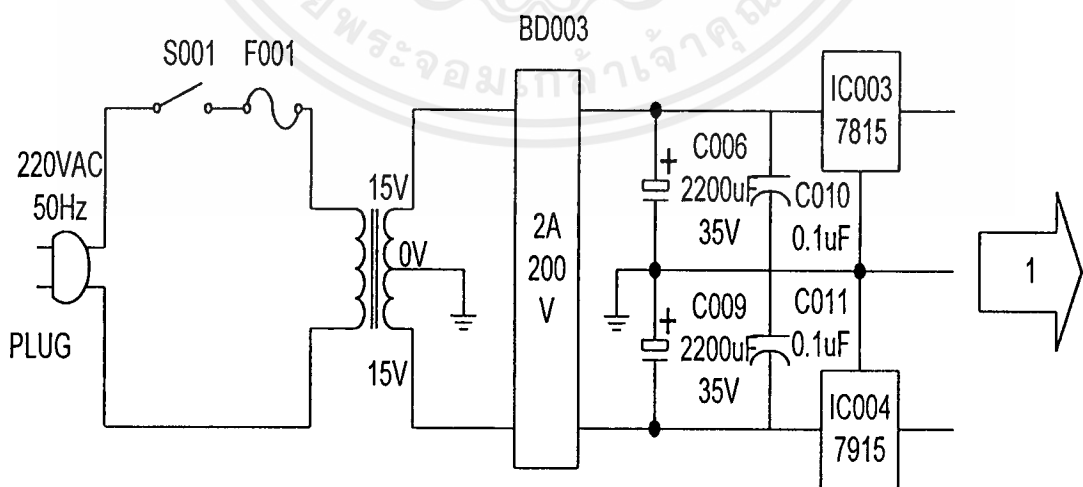
เรากำหนดได้ว่า ขาเอาต์พุตของพอร์ทขนานมากำหนดให้สามารถ หรือ ไม่สามารถ (Enable or Disable) ในการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล และกำหนดโหมดการทำงาน ของหน่วยความจำชั่วคราว ในโหมดอ่าน ส่วนขาอินพุตของพอร์ทขนานจะเป็นส่วนรับข้อมูล จากหน่วยความจำชั่วคราว โดยจะกำหนดให้ทำงานในโหมดการเขียนข้อมูลจากหน่วยความ จำชั่วคราว ข้อมูลที่ได้มาจะถูกนำมาเก็บไว้ในตัวแปรอาร์เรย์ (Arrays) ซึ่งข้อมูลนี้จะนำไป ฟลิตอบนจอคอมพิวเตอร์ และหาค่าความหนาของชิ้นงาน

การเก็บข้อมูลจะต้องมีการเลื่อนตำแหน่ง (Address) เราจะใช้วงจรไบนารีที่เคาท์เตอร์ (Binary counter) เป็นตัวเลื่อนตำแหน่งในการเก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวควบคุมใน การนับโดยจะมีขาอินพุตพอร์ทขนานมาเป็น ตัวตรวจสอบการนับว่านับครบแล้วหรือยัง

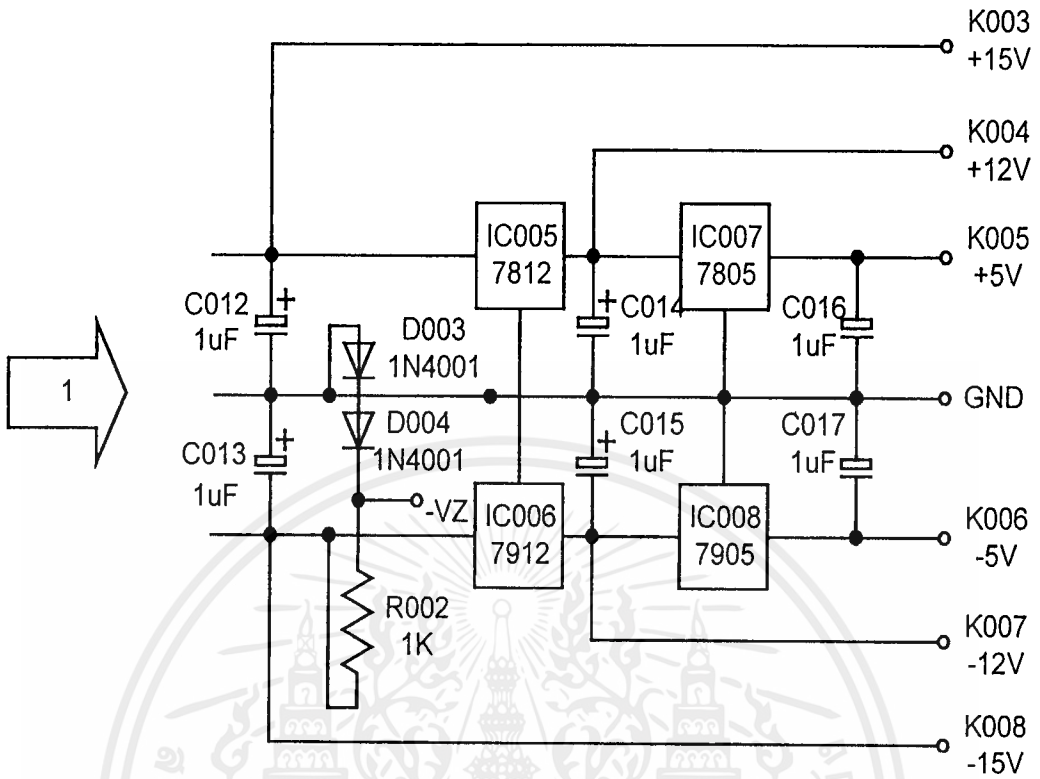
ทั้งหมดที่กล่าวมาจะใช้โปรแกรมภาษา C ในการควบคุมการทำงานของพอร์ทขนาน พร้อมทั้งนำข้อมูลที่ได้ออกมาพล็อตบนจอคอมพิวเตอร์รูปที่ 3.18 แสดงการต่อหน่วยความจำ ชั่วคราว

### 3.1.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

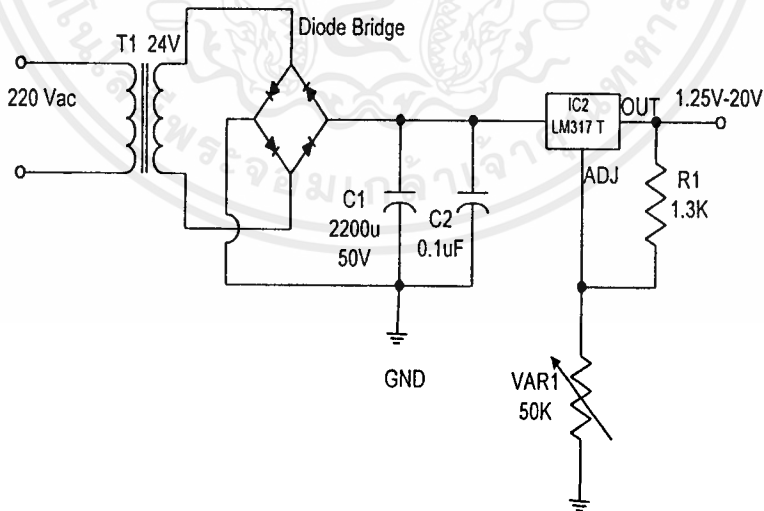
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ IC ตระกูล 78xx และ 79xx ซึ่งเป็น IC ที่ทำหน้าที่ รักษาระดับแรงดัน ในโครงการนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 2 ชุด ชุดแรกใช้ ระดับแรงดัน +5 โวลต์ ซึ่งใน IC เบอร์ 7815 ทำหน้าที่รักษา ระดับแรงดัน ในชุดที่ 2 ใช้ ระดับ 0-24 โวลต์ ซึ่งใช้ IC เบอร์ LM317T เป็นตัวรักษาระดับแรงดัน ดังแสดงใน รูปที่ 3.19 (ก) และ (ข)



รูปที่ 3.19 (ก) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.19 (ก)(ต่อ) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.19 (ข) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ซอฟต์แวร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์ จะมีการทำงานดังนี้

### 3.3 ส่วนแสดงผล ในส่วนนี้จะแสดงเมนูชื่อโครงการและผู้ร่วมงาน

ก) ส่วนแสดงสัญญาณที่ทำการตรวจสอบ ในส่วนนี้ทำหน้าที่แสดงค่าจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นสัญญาณที่จะต้องแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยรูปสัญญาณนี้จะมีการ วิเคราะห์สัญญาณด้วยว่าโลหะทดสอบ มีความบกพร่องตรงไหน ซึ่งสามารถที่จะสังเกตได้จากรูปสัญญาณ โดยจะมีฟังก์ชัน ในการ SAVE

ปุ่ม SAVE ทำการเก็บข้อมูลที่แสดงผลลงไว้ในแผ่นดิสก์ สามารถ SAVE ไฟล์เป็นจุด .ULT และแผ่นดิสก์ที่จะนำมาใช้ในการเก็บ ข้อมูล จะต้องมึเนื้อที่ว่างประมาณ 2 กิโลไบต์

ปุ่ม OPEN จะทำการเปิดไฟล์ที่เก็บอยู่ในบัพเฟอร์ขึ้นมาแสดงทางจอคอมพิวเตอร์

ปุ่ม CLEAR จะทำการลบหน้าจอส่วนที่แสดงผลสัญญาณให้อยู่ในสภาพปกติ

ปุ่ม MAIN MANU จะกลับสู่เมนูหลักหลังทำการตรวจสอบสัญญาณจากชิ้นงาน

ปุ่ม EXIT เมื่อต้องการออกจากส่วนที่แสดงสัญญาณ เพื่อออกไปยังเมนูหลัก

ข) ส่วนออกจากโปรแกรม จะคืนค่าอินเทอร์รัพต์เวกเตอร์เดิมให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ และกำหนดโหมดการแสดงผลจากจอภาพให้เป็นโหมด 80X25 ตัวอักษรจากนั้นจึงจะจบโปรแกรม

## บทที่ 4

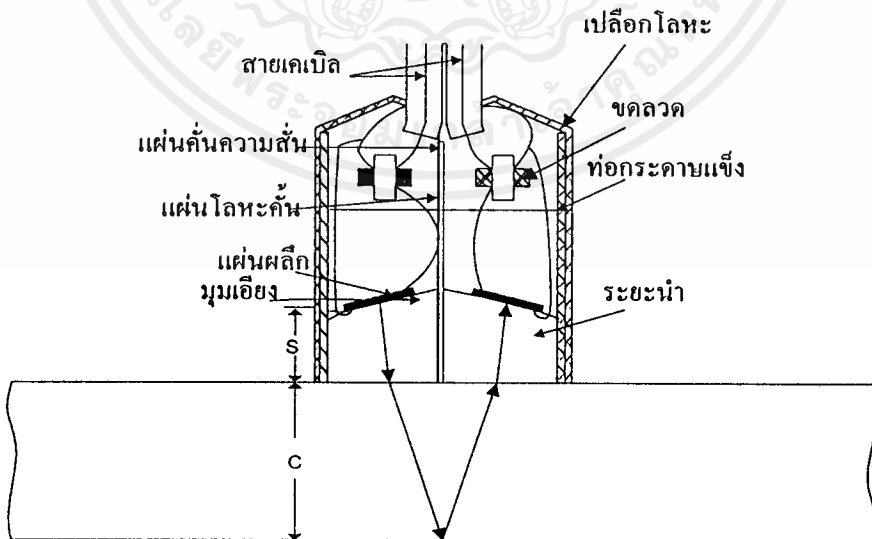
### การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ตามการออกแบบในบทที่ 3 ไปแล้ว เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและทดสอบเครื่องต้นแบบโดยการทดลองและทดสอบเครื่องได้แยกเป็นการทดสอบฮาร์ดแวร์ และทดสอบโดยรวมทั้งระบบ ผลการทดลองสามารถวัดได้จากออสซิลโลสโคปและจอภาพแสดงผลของคอมพิวเตอร์

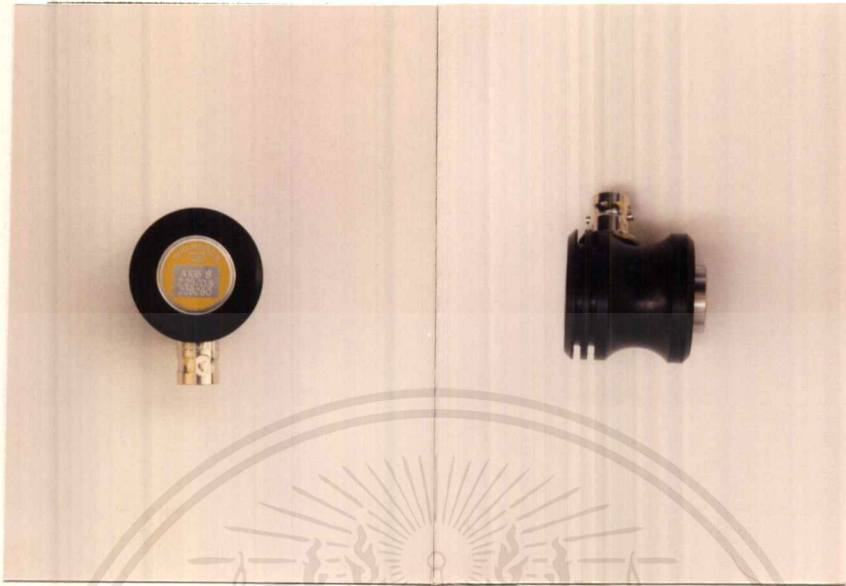
#### 4.1 การทดลองและทดสอบหัวทดสอบ

##### 4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โพรบอัลตราโซนิกส์ ส่วนของโพรบประกอบด้วยหัวทดสอบมีการแยกระบบกันอย่างสมบูรณ์ บรรจุอยู่ในเรือนเดียวกัน ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่ส่งคลื่นและอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่รับระหว่างแผ่นสลักและชิ้นงานจะมีแท่งพลาสติกคั่นอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดระยะนำ (Fore runner) แบบนี้จุดเริ่มต้นของคลื่นจะไม่อยู่ที่จุดศูนย์ ดังเช่นหัวทดสอบตรง แต่จะอยู่เลยไปทางซ้ายมือของภาพที่จอ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างภายในของโพรบ



รูปที่ 4.2 ลักษณะของโพรบ

2. วงจรขับกระแส, วงจร Monostable, วงจร Astable
3. ชิ้นงานทดสอบที่เป็นโลหะ ดังรูปที่ 4.3
4. ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานโลหะทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณ Impulse ที่ผลิตจากวงจร RC Differential ให้กับโพรบ
2. ใช้ เจลทาบริเวณผิวของโลหะทดสอบ เพื่อไม่ให้เกิดช่องอากาศระหว่างโพรบกับโลหะทดสอบ
3. นำโพรบมาแตะบริเวณผิวชิ้นงานทดสอบ
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของโพรบเทียบกับกราวด์

การหาค่าความยาวคลื่นของเสียงในเนื้อโลหะ ( $\lambda$ ) จะคำนวณได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $f$  คือ ความถี่ที่ผลิตจากโพรบมีค่าเท่ากับ 2.25 MHz

$C$  คือ ความเร็วของคลื่นตามแนวยาวในเนื้อโลหะมีค่าเท่ากับ 5920 m/s

$$\begin{aligned} \therefore \lambda &= 5920 \text{ m/s} \times 2.25 \text{ MHz} \\ &= 2.63 \text{ mm} \end{aligned}$$

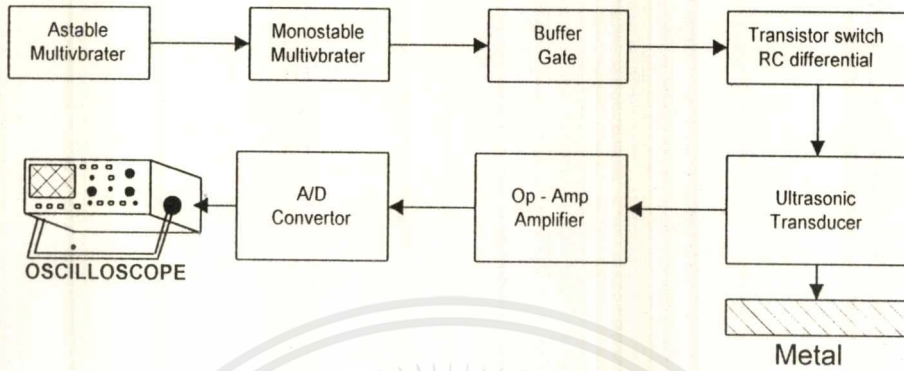
ค่าความยาวคลื่นที่ส่งเข้าไปในเนื้อโลหะมีค่าเท่ากับ 2.63 มิลลิเมตร  
การคำนวณเพื่อหาความหนาของโลหะได้จากสูตร

$$\text{ความหนา} = \lambda \cdot t \quad (4.2)$$

เมื่อ  $t$  คือ ช่วงเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับ

### 5. บันทึกผลการทดลอง

6. ทำการเปลี่ยนระดับแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร Trasistor switch RC differential ตั้งแต่ 20 โวลต์, 25 โวลต์ และ 30 โวลต์ แล้วทำการทดลองตามลำดับขั้นจากข้อ 1 - 5



รูปที่ 4.4 การตรวจหารอยบัพร่องของชิ้นงาน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เกิดจากการป้อนแรงดัน 20 โวลต์

ความหนาของโลหะ ทดสอบ	Time/Div	Volt/Div	ความหนาคำนวณ (mm.)
1 cm.	4 x 1 $\mu$ s.	6 x 0.1 V.	10.520
1.5 cm.	5.4 x 1 $\mu$ s.	5.25 x 0.1 V.	14.202
2 cm.	7.2 x 1 $\mu$ s.	5.1 x 0.1 V.	18.936
2.5 cm.	9 x 1 $\mu$ s.	4.4 x 0.1 V.	23.670

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่เกิดจากการป้อนแรงดัน 25 โวลต์

ความหนาของโลหะ ทดสอบ	Time/Div	Volt/Div	ความหนาคำนวณ (mm.)
1 cm.	4 x 1 $\mu$ s.	6.25 x 0.1 V.	10.520
1.5 cm.	5.4 x 1 $\mu$ s.	6.25 x 0.1 V.	14.202
2 cm.	7.2 x 1 $\mu$ s.	4.4 x 0.1 V.	18.936
2.5 cm.	9 x 1 $\mu$ s.	4.1 x 0.1 V.	23.670

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่เกิดจากการป้อนแรงดัน 30 โวลต์

ความหนาของโลหะทดสอบ	Time/Div	Volt/Div	ความหนาคำนวณ (mm.)
1 cm.	4 x 1 $\mu$ s.	7 x 0.1 V.	10.520
1.5 cm.	5.4 x 1 $\mu$ s.	6.25 x 0.1 V.	14.202
2 cm.	7.2 x 1 $\mu$ s.	5.9 x 0.1 V.	18.936
2.5 cm.	9 x 1 $\mu$ s.	5.25 x 0.1 V.	23.670

จากผลการทดลอง พบว่าการทดลองที่ให้แรงดัน 30 โวลต์ แก่วงจร Transistor switch RC differential มีความชัดเจนมากที่สุดในโครงการนี้จึงเลือกใช้ผลการทดลองในตารางที่ 4.3

#### 4.2 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ IC เบอร์ 555 เป็นวงจร Astable Multivibrator และใช้ IC เบอร์ 74221 เป็นวงจร Monostable Multivibrator และ IC เบอร์ 4050 เป็น Buffer Gate ซึ่งมีลักษณะการต่อใช้งานตามรูปที่ 4.5 และได้ทำการทดลองกับโพรบแบบ Standard contact ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

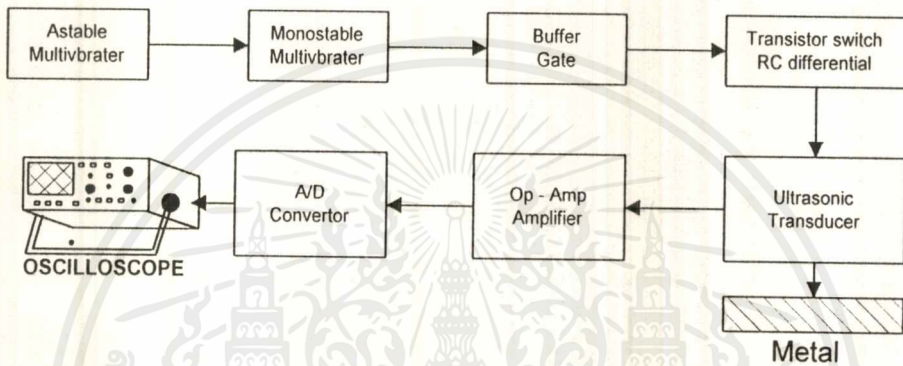
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โพรบแบบ Standard contact
2. วงจรขับกระแส, วงจร Monostable, วงจร Astable
3. ชิ้นงานทดสอบ ที่เป็นโลหะ ดังรูปที่ 4.3
4. ออสซิลโลสโคป

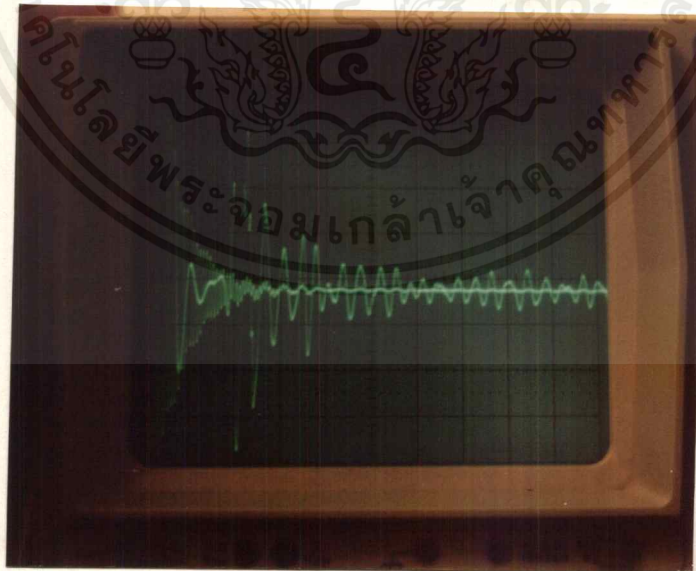
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณ Impulse ที่ผลิตจากวงจร RC Differential ให้กับโพรบ
2. ใช้เจลทาบริเวณของโลหะทดสอบ เพื่อไม่ให้เกิดช่องอากาศระหว่างโพรบกับโลหะทดสอบ

3. นำโพรบมาแตะบริเวณผิวโลหะทดสอบ
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของหัวโพรบเทียบกับกราวด์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เกิดขึ้น เมื่อโพรบตรวจสอบโลหะทดสอบที่มีความหนาแตกต่างกัน
5. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.5 การทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบ

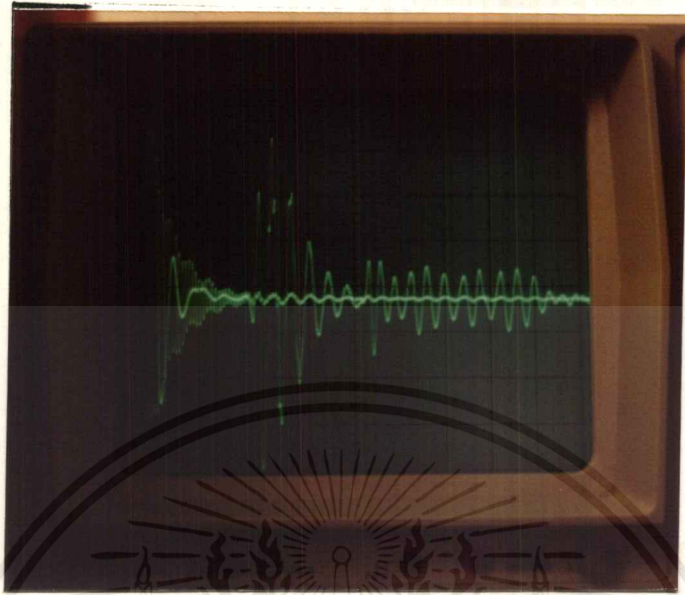


V / DIV 0.1 V

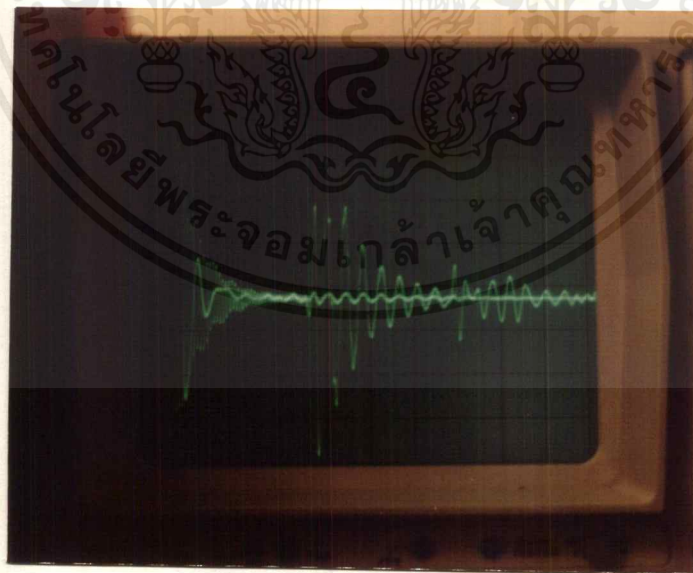
TIME / DIV 1 $\mu$ S

รูปที่ 4.6 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



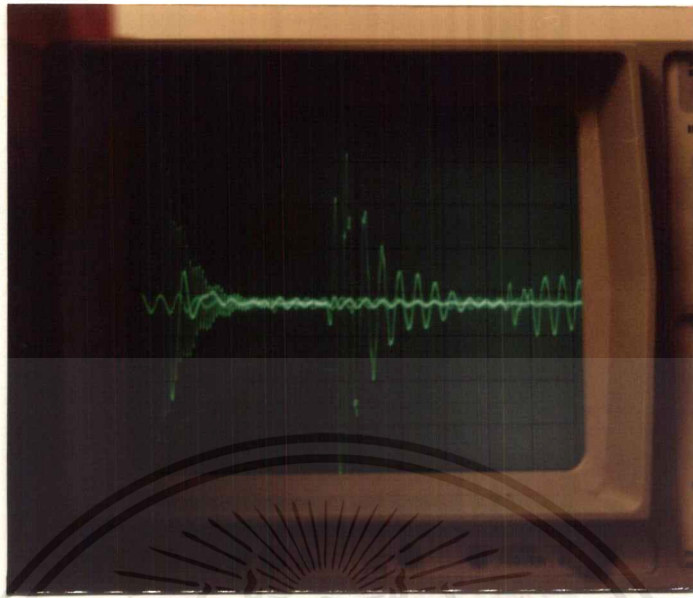
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 15 มิลลิเมตร



V / DIV 0.1 V      TIME / DIV 1 μS

รูปที่ 4.8 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 20 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

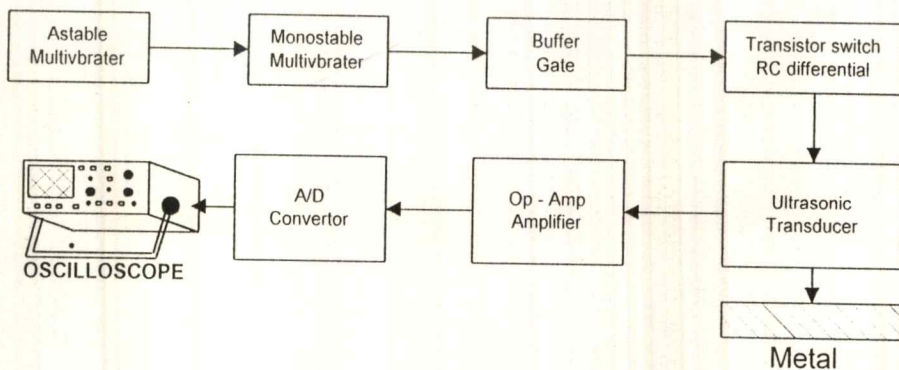


V / DIV 0.1 V      TIME / DIV 1  $\mu$ S

รูปที่ 4.9 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบที่มีความหนา 25 มิลลิเมตร

### 4.3 การทดลองทั้งระบบ

ในส่วนของการทดลองทั้งนี้ระบบ เป็นการทดลองฮาร์ดแวร์ร่วมกับซอฟต์แวร์ ของเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของโลหะ โดยใช้ คลื่นอัลตราโซนิกส์ โดยมีการทำงานดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผังงานทดลองทั้งระบบ

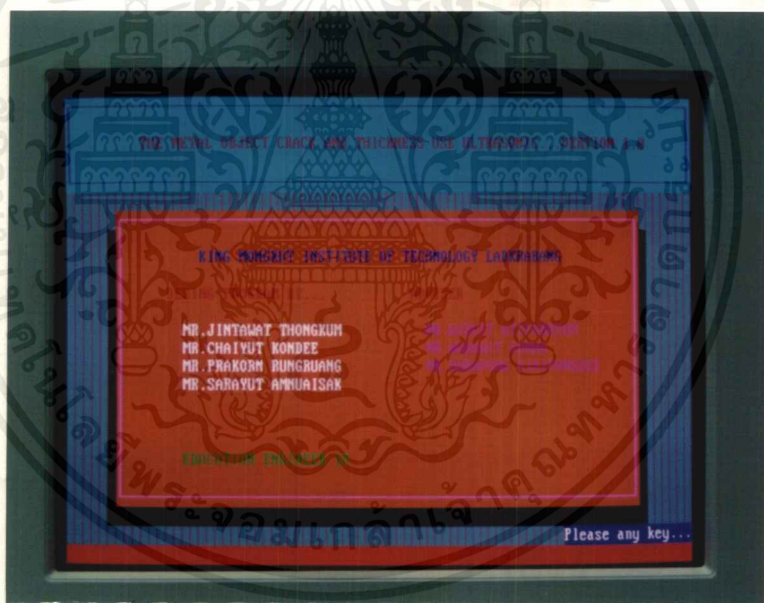
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของโปรแกรมนั้นใช้ TURBO C Version 2 ในการเขียนโปรแกรม เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติดังนี้ Pentium 120, RAM 32 M ใช้จอ 모니터แบบ SVGA

ในการทดลองส่วนซอฟต์แวร์ นั้นจะนำสัญญาณที่วัดได้จากการทดลองฮาร์ดแวร์มาให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นวงจรอินเทอร์เฟซนำสัญญาณไปแสดงผลดังรูปที่ 4.11

#### 4.3.1 การทดลองใช้งานโปรแกรม

สามารถเข้าโปรแกรมได้โดยใช้การเรียกไฟล์ PROJECT.EXE เพื่อใช้โปรแกรมและสามารถทำการเลือกฟังก์ชันการใช้งาน ซึ่งจะมีลักษณะรายละเอียดของเมนูดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะหน้าจอหลังจากเรียกโปรแกรม Project.exe

การใช้งานเมนู START TEST ใช้เมื่อเริ่มทำการตรวจสอบรอยบกพร่องและความหนาของชิ้นงานทดสอบ การใช้งาน OBJECT ก่อนทำการตรวจเช็คโลหะหรืออลูมิเนียม ให้ทำการเลือกค่าของวัสดุก่อนที่จะวัด โดยเรียกเมนู OBJECT เมนู SAVE GRAPH เป็นเมนูที่จะใช้ในการ SAVE LOAD ข้อมูลและออกจากโปรแกรมซึ่งมีเมนูย่อยดังต่อไปนี้

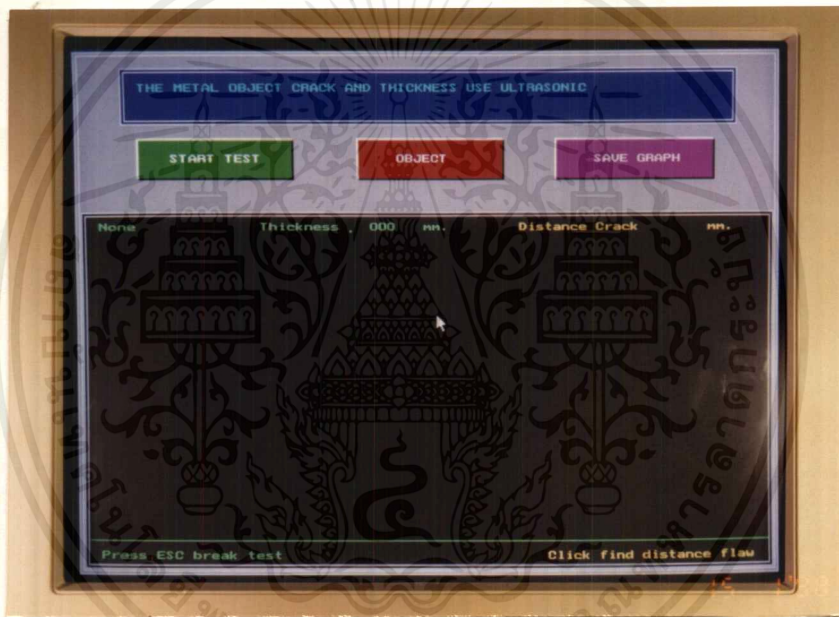
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAIN MENU เป็นปุ่มที่จะกลับคืนสู่เมนูหลักก่อนจะทำการตรวจเช็คชิ้นงาน  
 เมนู SAVE ทำการ เซฟ ข้อมูลที่เราต้องการลงในบัพเฟอร์ เพื่อที่จะนำข้อมูลไปใช้  
 ประโยชน์ต่อไป

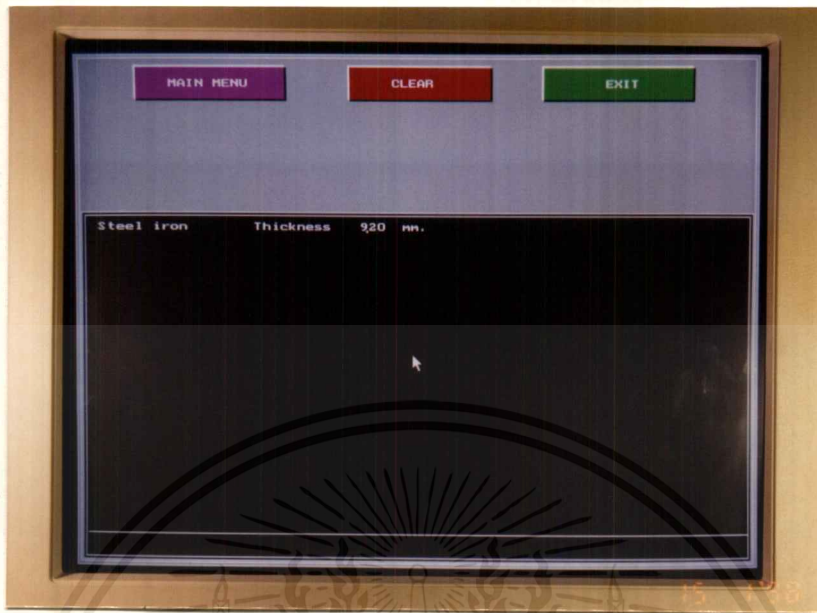
เมนู OPEN ทำการเปิดไฟล์ที่เซฟไว้แล้วเป็นไฟล์จุด ULT ออกมาแสดง

เมนู CLEAR ทำการลบหน้าจอภาพส่วนที่แสดงผลเพื่อทำให้หน้าจอพร้อมที่จะทำการ  
 ตรวจสอบ

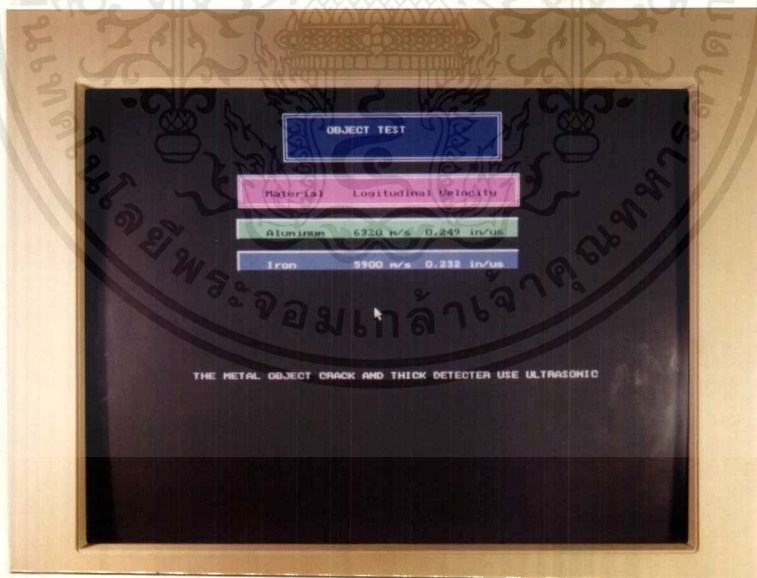
เมนู EXIT ออกจากโปรแกรมเข้าสู่โหมดคอส



รูปที่ 4.12 การใช้งานเมนู START TEST



รูปที่ 4.13 การใช้งานเมนู SAVE GRAPH



รูปที่ 4.14 การใช้งานเมนู OBJECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

การจัดทำเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่อง และความหนาของโลหะในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อศึกษาหลักการของคลื่นอัลตราโซนิคส์ที่นำมาใช้ตรวจสอบโลหะเพื่อจะใช้วิธีนี้ ตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะ เช่น ความหนา, รอยบกพร่อง, รอยบกพร่อง เป็นต้น โดยในโครงการนี้ได้ใช้โลหะทดสอบที่มีความหนาตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึง 25 มิลลิเมตร แต่จริงๆแล้วหัวโพรบที่นำมาใช้ในโครงการนี้สามารถตรวจสอบโลหะที่มีความหนาสูงสุดได้ประมาณ 100 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถตรวจหารอยบกพร่องของชิ้นงานทดสอบที่เป็นโลหะโดยใช้วงจร RC Differential ผลิตส์สัญญาณ RC Differential ขึ้นเพื่อป้อนให้โพรบ โพรบก็จะทำการผลิตคลื่นอัลตราโซนิคส์ ที่มีความถี่ 2.25 เมกะเฮิรตซ์ ออกมา ในการทดลองได้ใช้โลหะทดสอบที่มีระดับความหนาของโลหะทดสอบที่ต่างกัน เพื่อจำลองการทดสอบหาความหนาของโลหะ ผลที่ได้คือ เมื่อนำโพรบมาวัดบริเวณที่มีความหนาของโลหะตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร , 15 มิลลิเมตร , 20 มิลลิเมตร , 25 มิลลิเมตร ที่มีความแตกต่างกันจะเห็นได้ว่าคลื่นอัลตราโซนิคส์ที่สะท้อนกลับมาจะมีความแตกต่างทางด้านช่วงเวลาและแอมพลิจูดเนื่องจากความหนาของ ชิ้นงานไม่เท่ากัน ที่ความหนาของโลหะ 10 มิลลิเมตร จะมีช่วงเวลาในการสะท้อนกลับน้อยและมีแอมพลิจูดสูงเพราะมีการสูญเสียกำลังน้อย ส่วนที่ความหนาของโลหะ 25 มิลลิเมตร ก็จะมีช่วงเวลาในการสะท้อนกลับมากแต่มีแอมพลิจูดน้อย ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน สำหรับรอยบกพร่องที่อยู่ภายในเนื้อโลหะนั้น เมื่อคลื่นไปตกกระทบบริเวณที่มีรอยบกพร่องก็จะทำการสะท้อนกลับเร็วกว่าปกติ จึงทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณ ได้ชัดเจน ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นก็มีความเชื่อถือได้และสอดคล้องตามหลักการที่นำเสนอไว้ อย่างไรก็ตามพบว่าโครงการที่ได้พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดอยู่ และเพื่อให้เห็นคุณลักษณะของเครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคส์ดังกล่าวข้างต้น จึงขอสรุปขอบเขตและคุณลักษณะที่สำคัญไว้ดังนี้

- 1.สามารถหารอยบกพร่องของโลหะได้
- 2.สามารถบอกความแตกต่างของความหนาของโลหะได้

### 3.สามารถแสดงผลบนจอภาพของคอมพิวเตอร์ได้

## 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

### 5.2.1 ปัญหา

การจัดทำ เครื่องตรวจสอบรอยบกพร่อง และความหนาของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์ ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ไม่สามารถหาข้อมูลที่แน่นอนได้จึง ทำให้การทดลองในช่วงแรก ๆ ผิดแนวทางจากการทำงานจริงของคลื่นอัลตราโซนิกส์ ทำให้หัวโพรบไม่สามารถผลิตสัญญาณได้

### 5.2.2 แนวทางแก้ไข

ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม และปรึกษาอาจารย์ ผู้เป็นที่ปรึกษาโครงการเพื่อที่จะหาวงจรต่าง ๆ ที่สามารถผลิตสัญญาณ Impulse ได้ หรือวงจรที่ผลิตสัญญาณให้ใกล้เคียงสัญญาณ Impulse มากที่สุด เพื่อนำมาป้อนให้โพรบ โดยได้เลือกใช้ วงจร RC differential ในการผลิตสัญญาณ

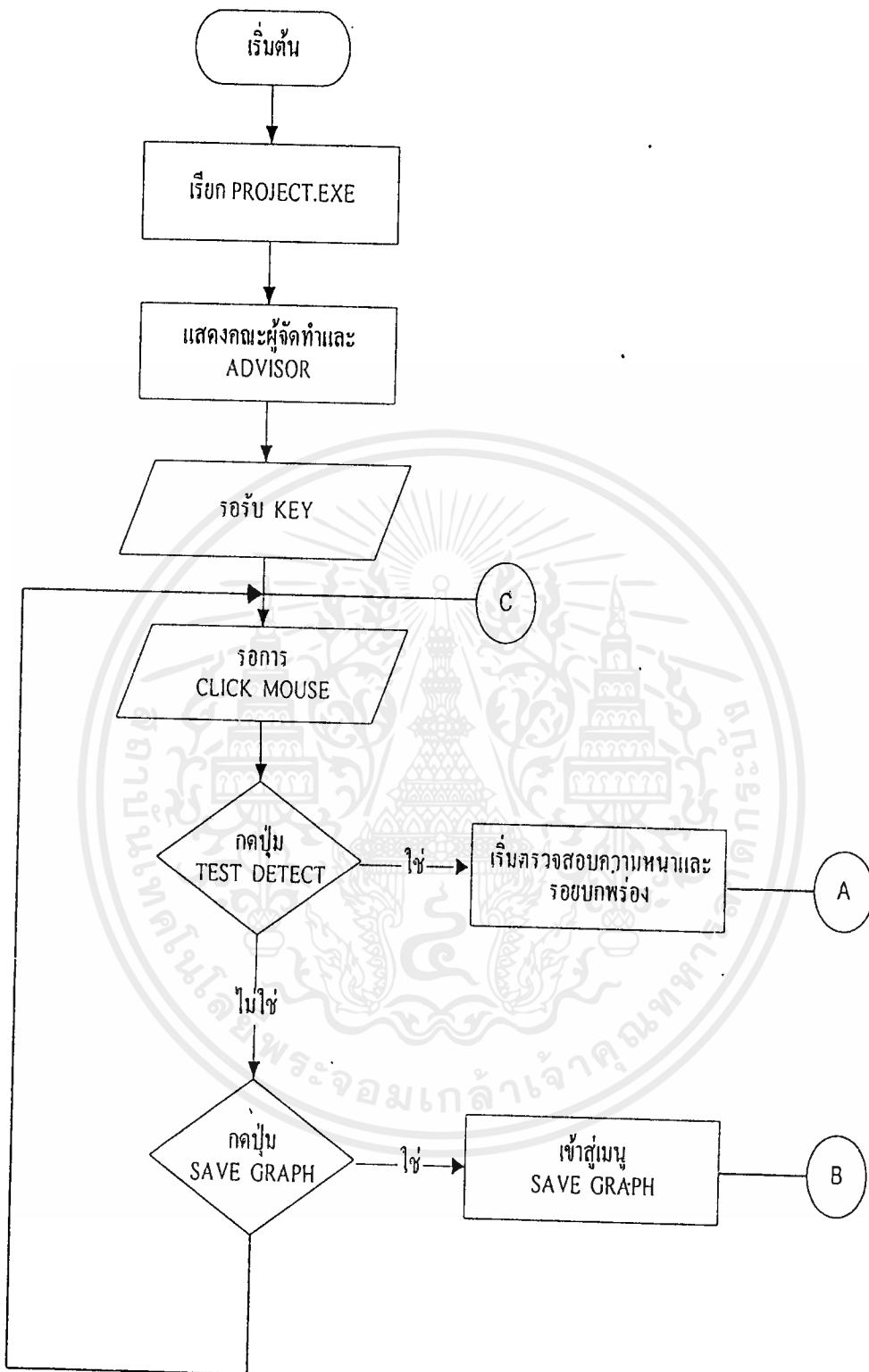
## 5.3 แนวทางในการพัฒนา

ปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำได้พยายามทำให้เครื่องตรวจสอบรอยบกพร่องและหาความหนาของโลหะ โดยใช้วิธีการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ แต่ด้วยระยะเวลาและงบประมาณที่จำกัด ประกอบกับประสบการณ์ของคณะผู้จัดทำ ยังไม่มากพอสำหรับการทำงานนี้จึงทำให้เครื่องที่ได้จัดทำขึ้นมาก ยังมีข้อจำกัด และสมควรที่จะได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกดังต่อไปนี้

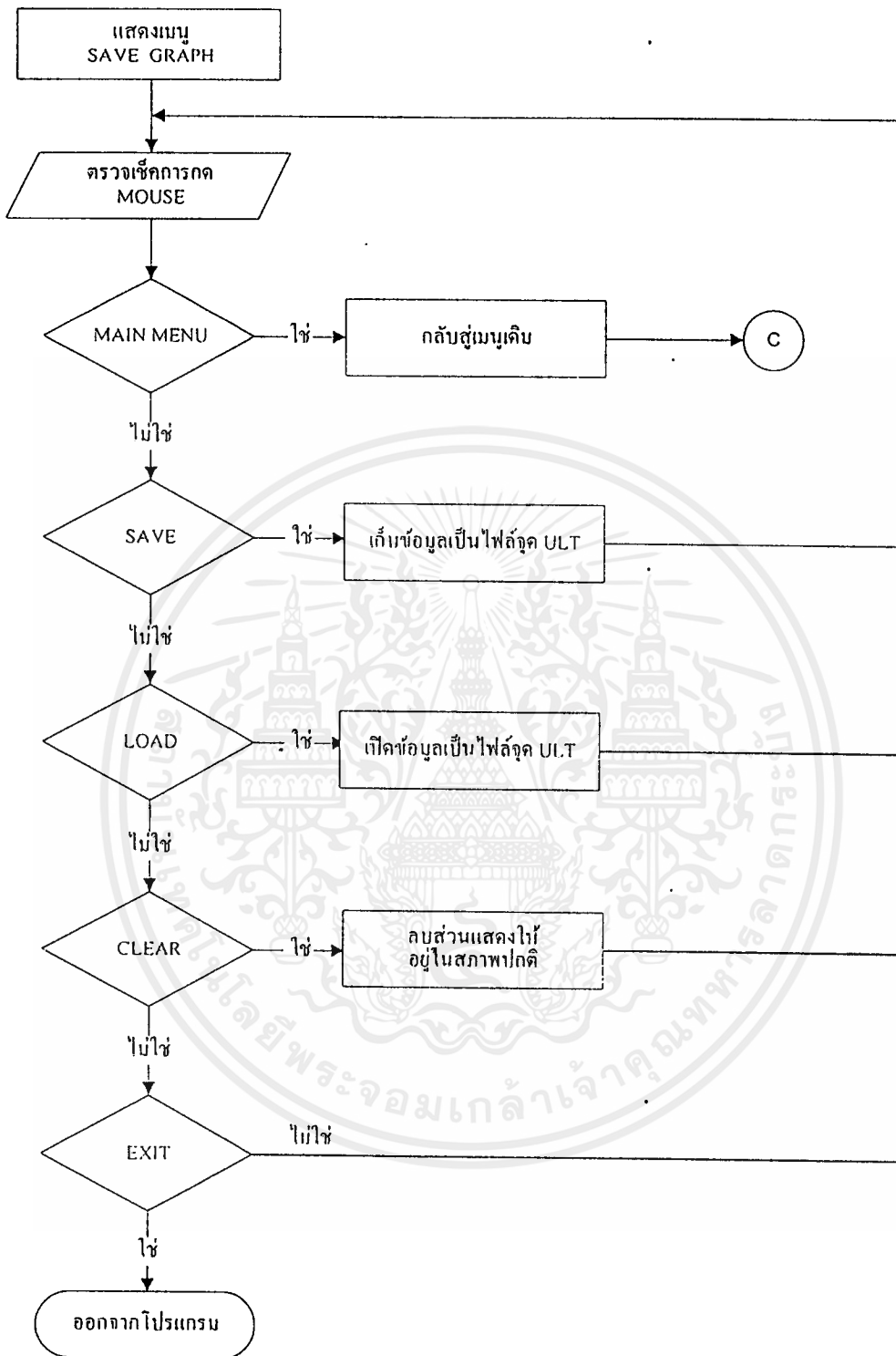
1. เพิ่มदर् Calibrate ให้มีความละเอียดและมีความแม่นยำมากขึ้น
2. ปรับปรุงให้สามารถหารูปร่างของรอยตำหนิได้
3. ปรับปรุงโปรแกรมที่ใช้งาน ให้มีฟังก์ชันการทำงานมากกว่านี้



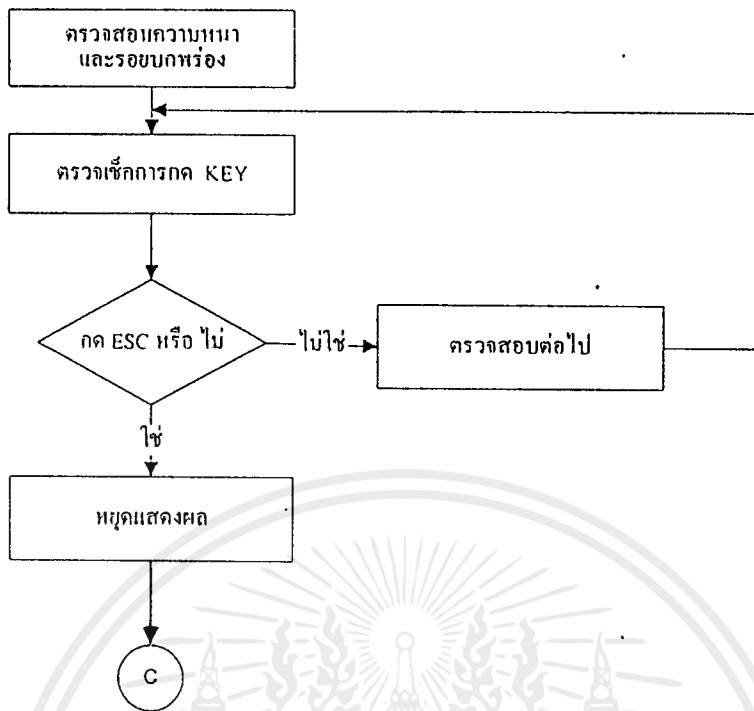
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ผังงาน โปรแกรมส่วนการตรวจเช็คชิ้นงาน



รูปที่ ก.2 ผังงาน โปรแกรมส่วนเซฟกราฟ



รูปที่ ก.3 ผังงาน โปรแกรมการตรวจสอบชิ้นงาน

```

1  /*****
2
3  /*      Main Program      */
4
5  /*****/
6
7  #include <control.h>
8
9  #include <show.h>
10
11 #include <ultra.h>
12
13 #define Alum    6320;
14
15 #define Steel_Iron 5900;
16
17 /***** Declare Global variable *****/
18
19 int vrow,vcol,vpush;
20 extern int buff[1024];
21 extern int distance_flaw;
22 boundwin Win[40];
23 int vmaterial_constant;
24 int numwin=-1;
25
26 /*** Declare Prototypes ***/
27 void Firstscreen(void);
28 void Thirdscreen(void);
29 void Secondscreen(void);
30 void Selectmaterial(void);
31 void Selectfunction(void);
32 void Plotgraphwin(void);
33 void Savemenu(void);
34
35 void TextWindowS(int x1,int y1,int x2,int y2,int fcolor,int bcolor);
36 void TextWindow(int x1,int y1,int x2,int y2.int fcolor,int bcolor);
37
38 /*****/
39
40 /*      Function      */
41
42 /*****/
43
44 void Firstscreen(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
/* Plotwin */ Win[2].x1=55 , Win[2].y1=80, Win[2].x2=190, Win[2].y2=115,
Win[2].color=GREEN, Win[2].fillstyle=1, Win[2].effect=1;
/* Selectwin*/ Win[3].x1=250, Win[3].y1=80, Win[3].x2=385, Win[3].y2=115,
Win[3].color=RED , Win[3].fillstyle=1, Win[3].effect=1;
/* Savewin */ Win[4].x1=435, Win[4].y1=80, Win[4].x2=580, Win[4].y2=115,
Win[4].color=MAGENTA, Win[4].fillstyle=1, Win[4].effect=1;
/* Win of Plot */ Win[5].x1=5, Win[5].y1=145, Win[5].x2=634, Win[5].y2=474,
Win[5].color=BLACK, Win[5].fillstyle=1, Win[5].effect=0;
Mouse_hide_cursor();
cleardevice();
Windows_background(0,0,639,479,LIGHTGRAY,1);
Frame_background(0,0,639,479,WHITE);
Windows_background(40,15,600,65,BLUE,1); Frame_background(40,15,600,65,WHITE);
settextstyle(1,0,1);setcolor(11);
outtextxy(55,29,"THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS USE
ULTRASONIC ");
Windows(Win[2]); settextstyle(0,0,1); outtextxy(74,93," START TEST ");
Windows(Win[3]); outtextxy(285,93,"OBJECT");
Windows(Win[4]); outtextxy(470,93,"SAVE GRAPH");
Windows(Win[5]); Frame(Win[5]); /* Back Window color Black */
setcolor(LIGHTGREEN);
outtextxy(20,459."Press ESC break test");
outtextxy(20,155.vmaterial_text); /* Show name of material*/
outtextxy(160,155,"Thickness");
outtextxy(310,155,"mm.");
setcolor(14);
outtextxy(400,155."Distance Crack");
outtextxy(575,155."mm.");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outtextxy(426,459,"Click find distance flaw");
Windows_background(10,170,630,455,BLACK,1); /* Clear Screen */
setcolor(LIGHTGREEN);
Plot_Screen();
Show_thickness(260,155,231.5,157.5); /* Show graph */
Mouse_on_cursor();
}
void Thirdscreen(void)
{
/* Main */ Win[2].x1=55 , Win[2].y1=12, Win[2].x2=190, Win[2].y2=42,
Win[2].color=MAGENTA, Win[2].fillstyle=1, Win[2].effect=1;
/* clear */ Win[3].x1=435, Win[3].y1=60, Win[3].x2=577, Win[3].y2=90,
Win[3].color=RED, Win[3].fillstyle=1, Win[3].effect=1;
/* Exit */ Win[4].x1=435, Win[4].y1=12, Win[4].x2=577, Win[4].y2=42,
Win[4].color=GREEN, Win[4].fillstyle=1, Win[4].effect=1;
/* Save */ Win[5].x1=55 , Win[5].y1=60, Win[5].x2=190, Win[5].y2=90,
Win[5].color=RED, Win[5].fillstyle=1, Win[5].effect=1;
/* Open */ Win[6].x1=250, Win[6].y1=60, Win[6].x2=385, Win[6].y2=90,
Win[6].color=YELLOW, Win[6].fillstyle=1, Win[6].effect=1;
/* Win of Plot */Win[8].x1=5, Win[8].y1=145, Win[8].x2=634, Win[8].y2=474,
Win[8].color=BLACK, Win[8].fillstyle=1, Win[8].effect=0;
Mouse_hide_cursor();
cleardevice();
Windows_background(0,0,639,479,LIGHTGRAY,1);
Frame_background(0,0,639,479,WHITE);
settextstyle(0,0,1); setcolor(BLACK);
Windows(Win[2]): outtextxy(84.23,"MAIN MENU");
Windows(Win[3]): outtextxy(490.72,"CLEAR");
Windows(Win[4]): outtextxy(494.23,"EXIT");

```

```

Windows(Win[5]); outtextxy(105,72,"SAVE");
Windows(Win[6]); setcolor(1); outtextxy(303,72,"OPEN");
Windows(Win[8]); Frame(Win[8]);          /* Plot screen */
Plot_Screen();                          /* Show graph */
outtextxy(20,155,vmaterial_text);       /* Show name of material*/
outtextxy(160,155,"Thickness");
Windows_background(250,150,300,170,BLACK,1); /* Clear.Tickness */
Show_thickness(260,155,231.5,157.5);
outtextxy(300,155,"mm.");
Mouse_on_cursor();
}
void Selectfunction(void)
{
/* Plotwin */ Win[2].x1=55, Win[2].y1=80, Win[2].x2=190, Win[2].y2=115,
Win[2].color=GREEN, Win[2].fillstyle=1, Win[2].effect=1;
/* Selectwin */ Win[3].x1=250, Win[3].y1=80, Win[3].x2=385, Win[3].y2=115,
Win[3].color=CYAN, Win[3].fillstyle=1, Win[3].effect=1;
/* Savewin */ Win[4].x1=435, Win[4].y1=80, Win[4].x2=580, Win[4].y2=115,
Win[4].color=MAGENTA, Win[4].fillstyle=1, Win[4].effect=1;
/* Win of Plot */ Win[5].x1=5, Win[5].y1=145, Win[5].x2=634, Win[5].y2=474,
Win[5].color=BLACK, Win[5].fillstyle=1, Win[5].effect=0;
do{
/* Click Windows 2-4 go to other menu */
numwin=Windows_click_changedge(2,5,vrow,vcol,vpush);
switch(numwin) /* Jump to other meun */
{
case 2: Plotgraphwin(); numwin=0; break;
case 3: Selectmaterial(); return;
case 4: Savemenu(); break;
}
}

```

```

case 5: numwin=0;
        Mouse_readstatus(&vrow,&vcol,&vpush);
        distance_flaw=vrow;
        Mouse_hide_cursor();
        Windows_background(520,150,570,170,BLACK,1); /* Clear distance flaw
*/
        setcolor(LIGHTGREEN);
        Show_Flaw_distance(533,155,504,157.5);
        Mouse_on_cursor();
    }
} while(!((numwin>=2)&&(numwin<=5)));
}
void Plotgraphwin(void)
{
    Mouse_hide_cursor();
    setcolor(LIGHTGREEN);
    while(Getkbnowait()!=ESC)
    {
        Write_data();
        Read_data();
        Windows_background(10,170,630,455,BLACK,1); /* Clear Screen */
        Plot_Screen();
        Windows_background(250,150,300,170,BLACK,1); /* Clear Tickness */
        Show_thickness(260,155,231.5,157.5);
    }
    Mouse_on_cursor();
}
void Savemenu(void)
{

```

```

int colorplot=9;
Thirdscreen();
do{
    numwin = Windows_click_changedge(2,7,vrow,vcol,vpush);
    switch(numwin)
    {
    case 2: Close_graphic(); Initial_graphic(); Gmouse();
        Mouse_on_cursor(); break;
    case 3: numwin=0; Clear_buff();
        Windows_background(10,170,630,455,BLACK,1); /* Clear Screen */
        Windows_background(250,150,300,170,BLACK,1); /* Clear Tickness */
        Windows_background(520,150,570,170,BLACK,1); /* Clear flaw distance */
        break;
    case 4: Close_graphic();
        clrscr(); exit(0);
    case 5: Mouse_hide_cursor(); save(); numwin=0; Mouse_on_cursor(); break;
    case 6: Mouse_hide_cursor(); open(): numwin=0;
        setcolor(colorplot);
        Plot_Screen();
        Windows_background(250,150,300,170,BLACK,1); /* Clear thickness */
        setcolor(WHITE);
        Show_thickness(270,159,233,161.5);
        colorplot++; Mouse_on_cursor();
        if(colorplot==15) colorplot=9;
        break;
    }
}while(!((numwin>=2)&&(numwin<=6)));
}

void main(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
vmaterial_text="None"; vmaterial_num1="00"; decpnt=2; vmaterial_num2="00";
NOTE();
getch();
Initial_graphic();
cleardevice();
Gmouse();
Mouse_on_cursor();
while(1)
{
Firstscreen();
Selectfunction();
}
}
NOTE(void)
{
clrscr();
TextWindowS(1,1,80,25,CYAN,RED);
TextWindow(1,1,80,5,BLUE,CYAN);
textcolor(RED);
gotoxy(10,3);
printf("THE METAL OBJECT CRACK AND THICKNESS USE
ULTRASONIC...VERTION 1.0 \n");
TextWindow(6,8,74,23,BLACK,BLACK);
TextWindow(7,7,73,22,LIGHTMAGENTA,BROWN);
textcolor(BLUE);
gotoxy(17,9);
printf("KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG");
textcolor(11);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(13,11);
printf("DESING PROGRAM BY...");
textcolor(9);
gotoxy(44,11);
printf("ADVISER");
textcolor(WHITE);gotoxy(15,13);
printf("MR.JINTAWAT THONGKUM");gotoxy(15,14);
printf("MR.CHAIYUT KONDEE");gotoxy(15,15);
printf("MR.PRAKORN RUNGRUANG");gotoxy(15,16);
printf("MR.SARAYUT AMNUAISAK");
textcolor(14);gotoxy(46,13);
printf("MR.WISUIT ATIPORNTUM");gotoxy(46,14);
printf("MR.WORAWIT SOMHA");gotoxy(46,15);
printf("MR.SURAPONG SIRIPONGDEE");
textcolor(GREEN);gotoxy(15,20);
printf("EDUCATION ENGINEER 18");
textbackground(BLUE);
textcolor(WHITE|BLINK);gotoxy(64,24);
printf("Please any key...");
}

```

```

void TextWindow(int x1,int y1,int x2,int y2,int fcolor,int bcolor)

```

```

{
    int x,y;
    textcolor(fcolor);
    textbackground(bcolor);
    for(y=y1+1;y<y2;y++)
    {
        for(x=x1+1;x<x2;x++)
        {

```

```

        gotoxy(x,y);
        patch(0x20);
    }
    gotoxy(x1,y);patch(0xb3);
    gotoxy(x2,y);patch(0xb3);
}
gotoxy(x1+1,y1);
for(x=x1+1;x<x2;x++)patch(0xc4);
gotoxy(x1+1,y2);
for(x=x1+1;x<x2;x++)patch(0xc4);
gotoxy(x1,y1);patch(0xda);
gotoxy(x2,y1);patch(0xbf);
gotoxy(x1,y2);patch(0xc0);
gotoxy(x2,y2);patch(0xd9);
}
void TextWindowS(int x1,int y1,int x2,int y2,int fcolor,int bcolor)
{
    int x,y;
    textcolor(fcolor);
    textbackground(bcolor);
    for(y=y1;y<=y2;y++)
    {
        for(x=x1;x<=x2;x++)
        {
            gotoxy(x,y);
            patch(0xb2);
        }
    }
}
}

```

```

void Seconscreen(void)
{
    /* Topic*/ Win[7].x1=150, Win[7].y1=80, Win[7].x2=460, Win[7].y2=115,
                Win[7].color=LIGHTMAGENTA, Win[7].fillstyle=1, Win[7].effect=0;
    /* Aluminumn */ Win[8].x1=150, Win[8].y1=130, Win[8].x2=460, Win[8].y2=150,
                Win[8].color=LIGHTGREEN, Win[8].fillstyle=1, Win[8].effect=1;
    /* Steel Iron */ Win[9].x1=150, Win[9].y1=165, Win[9].x2=460, Win[9].y2=185,
                Win[9].color=LIGHTBLUE, Win[9].fillstyle=1, Win[9].effect=1;
    Mouse_hide_cursor();
    cleardevice();
    /* Windows_background(0,0,639,479,LIGHTGRAY,1);
    Frame_background(0,0,639,479,WHITE):*/
    Windows_background(200,15,440,65,BLUE,1);
    Frame_background(200,15,440,65,WHITE):
    settextstyle(1,0,2); setcolor(WHITE);
    outtextxy(240,29." OBJECT TEST");
    Win[7].x1=150; Win[7].x2=460; Windows(Win[7]); Frame(Win[7]);
    settextstyle(0,0,1); setcolor(BLACK); outtextxy(180,97."Material Logitudinal Velocity");
    Windows(Win[8]); setcolor(BLACK): outtextxy(180,140."Aluminum 6320 m/s 0.249
in/us");
    Windows(Win[9]); outtextxy(180,175,"Iron 5900 m/s 0.232 in/us");
    outtextxy(100,300,"THE METAL OBJECT CRACK AND THICK DETECTOR USE
ULTRASONIC");
    Mouse_on_cursor();
}
void Selectmaterial(void)
{
    Seconscreen();
    /* Click Windows 8-35 go to other menu*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

do{
    numwin= Windows_click_changedge(8,35,vrow,vcol,vpush);
    switch(numwin)
    {
    case 8: vmaterial_constant=Alum;
        vmaterial_text="Aluminum";
        break;
    case 9: vmaterial_constant=Steel_Iron;
        vmaterial_text="Steel iron";
        break;
    }
}while(!((numwin>=8)&&(numwin<=35)));
}

```



```

/*****/
/* FILE ULTRA.H ENTER WRODS */
/*****/

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

#include <graphics.h>

#define Esc 27

#define Bcksp 8

/* Declare Prototype */

void bcksp_action_file(int *f);
void enter_file_menu(int l,int r,int t,int b);
void outmessage(char *mes,int l,int r,int t,int b);
void out_file(int l,int r,int t,int b);
void clear_file(void);
int final_enter_file(char key, int fl);
int enterfile(int l,int r,int t,int b);
void writefile(int y);
void readfile(int *y);
void outdata(int data,int l,int r,int t,int b);
int savefile(void);
int openfile(void);
void save(void);
void open(void);
FILE *fp;
char tempfile[15];
char file[15];
extern int buff[1024];
char *mes[8]={"OK","CANCEL","NO FILE"."ERR FILE",
"WAIT PLEASE","ERR OPEN"."SAVE FILE OK"."OPEN FILE OK"};

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void bcksp_action_file(int *f)
{
  --*f;
  tempfile[*f]=NULL;
}

void enter_file_menu(int l,int r,int t,int b)
{
  setfillstyle(SOLID_FILL,CYAN);
  bar(l,t-2,r,b+2);
  setcolor(YELLOW);
  rectangle(l,t-2,r,b+2);
  while(!kbhit())
  {
    setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTGRAY);
    bar(l+2,t,r-2,b);
    delay(150);
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(l+2,t,r-2,b);
    delay(150);
  }
}

void outmessage(char *mes,int l,int r,int t,int b)
{
  setcolor(RED);
  settxtstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
  setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
  bar(l+2,t,r-2,b);
  settxtjustify(CENTER_TEXT,CENTER_TEXT);
  settxtstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

moveto((l+r)/2,(t+b)/2);
outtext(mes);
}
void out_file(int l,int r,int t,int b)
{
setcolor(BLUE);
settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
bar(l+2,t,r-2,b);
settextjustify(CENTER_TEXT,CENTER_TEXT);
settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
moveto((l+r)/2,(t+b)/2);
outtext(tempfile);
}
void clear_file(void)
{
int fl;
for(fl=0;fl<=14;++fl)
tempfile[fl]=NULL;
}
int final_enter_file(char key,int fl)
{
int getf,ok=1,cancel=-1,nofile=0,errfile=99;
getf=nofile;
if(fl>0)
{
getf=ok;
}
if(key==Esc)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    getf=cancel;
}
else if(fl==0&&key=='\r')
{
    getf=nofile;
}
else if(fl<0)
{
    getf=errfile;
}
if(getf!=ok) clear_file();
return getf;
}
int enterfile(int l,int r,int t,int b)
{
    char key,keyout;
    int fl=0,getf,loop,out,nofile=99;
    getf=nofile; loop=1; out=0;
    clear_file();
    enter_file_menu(l,r,t,b);
    key=getch();
    while(key!='\r'&&fl<=14&&loop!=out)
    {
        if(((('A'<=key&&key<='Z')||('a'<=key&&key<='z')||('0'<=key&&key<='9')||key=='.'||key=='_'||key=='-'||key=='='&&fl<15)
        {
            tempfile[fl]=key; ++fl;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    out_file(l,r,t,b);
}
else if(key==Bcksp)
{
    bcksp_action_file(&f1);
    out_file(l,r,t,b);
}
else if(key==Esc)
{
    keyout=Esc;
    loop=out;
}
if(loop!=out) key=getch();
}
if(key=='\r')
{
    strcpy(file,tempfile);
}
getf=final_enter_file(keyout,f1);
return getf;
}

void writefile(int y)
{
    fprintf(fp,"%d",(int)y);
    fputc(NULL,fp);
}

void readfile(int *y)
{
    char data[50];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int datai;
fscanf(fp,"%s",data);
*y=atoi(data);
fgetc(fp);
}
void outdata(int data,int l,int r,int t,int b)
{
char str[20];
itoa(data,str,10);
setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
bar(l,t,r,b);
settextjustify(CENTER_TEXT,CENTER_TEXT);
settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
moveto((l+r)/2,(t+b)/2);
outtext(str);
}
int savefile(void)
{
int count=0,y,i;
/* for(i=0;i<=1023;++i) buff[i]=i;*/
if((fp=fopen(file,"w"))!=NULL)
{
outmessage(mes[4],55,190,100,120);
for(i=0;i<1023;++i)
{
y=buff[i];
writefile(y);
++count;
if(count==10)

```

```

    {
        fputc(0x0a,fp);
        count=0;
    }
}

fclose(fp);

outmessage(mes[6],55,190,100,120);
}

else outmessage(mes[5],55,190,100,120);
return 1;
}

int openfile(void)
{
    int count=0,y,i;
    for(i=0;i<1023;++i)
        buff[i]=NULL;
    if((fp=fopen(file,"r"))!=NULL)
    {
        outmessage(mes[4],250,385,100,120);
        for(i=0;i<1023;++i)
        {
            readfile(&buff[i]);
            outdata(buff[i],250,385,100,120);
            delay(1);
            ++count;
            if(count==10)
            {
                fgetc(fp);
                count=0;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
}
fclose(fp);
outmessage(mes[7],250,385,100,120);
getch();
}
else outmessage(mes[5],250,385,100,120);
return 1;
}
void save(void)
{
int check;
check=enterfile(55,190,100,120);
if(check==1) outmessage(mes[0],55,190,100,120);
else if(check==-1) outmessage(mes[1],55,190,100,120);
else if(check==0) outmessage(mes[2],55,190,100,120);
else if(check==99) outmessage(mes[3],55,190,100,120);
if(check==1)
{
savefile();
}
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTGRAY);
bar(55,98,190,122);
}
void open(void)
{
int check;
check=enterfile(250,385,100,120);
if(check==1) outmessage(mes[0],250,385,100,120);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else if(check==-1) outmessage(mes[1],250,385,100,120);  
else if(check==0) outmessage(mes[2],250,385,100,120);  
else if(check==99) outmessage(mes[3],250,385,100,120);  
if(check==1)  
{  
    openfile();  
}  
setfillstyle(SOLID_FILL.LIGHTGRAY);  
bar(250,98,385,122);  
}
```



```

/*****/
/* FILE SHOW.H */
/*****/

#include <process.h>

#define ESC 0x001B

#define ENTER 0x000D

#define Maxx 639

#define Maxy 479

/** Declare Variables from project */

typedef struct{

    int x1; int y1;

    int x2; int y2;

    int color; int fillstyle;

    int effect;

}boundwin;

extern boundwin Win[40];

/**** Declare Protoype */

void Initial_graphic(void);

void Close_graphic(void);

/* Use Mouse_initial() */

void Gmouse(void);

int Mouse_initial(void);

void Mouse_on_cursor(void);

void Mouse_hide_cursor(void);

int Mouse_readstatus(int *x, int *y, int *click);

int Windows_click_changedge(int firstwin, int finalwin,

    int x, int y, int click); /* use Mouse_readstatus */

```

```

int Getkbnowait(void);
void Usesound(int freq, int loop);
void Windows( boundwin point);
void Windows_background(int x1, int y1, int x2, int y2, int color, int fillstyle);
void Frame( boundwin point);
void Frame_background(int x1, int y1, int x2, int y2, int color);
void Edge_unshawdow( boundwin point);
void Edge_shawdow( boundwin point);
/*****/
/*      Function      */
/*****/
void Windows(boundwin point)
{
/* x1 = left x2 = right y1 = top y2 = bottom */
/* colorr = color of background fillstyle= Bacakground windows
/* effect = Style of windows chage_edge= chang effect of.edge*/
setfillstyle( point.fillstyle, point.color);
bar( point.x1, point.y1, point.x2, point.y2);
if (point.effect==1)
{
setcolor(BLACK); line(point.x2,point.y1,point.x2,point.y2);
line(point.x1,point.y2,point.x2,point.y2);
line(point.x2-1,point.y1-1,point.x2-1,point.y2-1);
line(point.x1-1,point.y2-1,point.x2-1,point.y2-1);
setcolor(WHITE); line(point.x1-1.point.y1-1,point.x2-1,point.y1-1);
line(point.x1-1.point.y1-1,point.x1-1,point.y2-1);
line(point.x1-2,point.y1-2,point.x2-2,point.y1-2);
line(point.x1-2,point.y1-2,point.x1-2,point.y2-2);
}
}

```

```

}
void Windows_background(int x1, int y1, int x2, int y2, int color, int fillstyle)
{
    setfillstyle( fillstyle, color);
    bar(x1, y1, x2, y2);
}
void Edge_unshawdow(boundwin point)
{
    Mouse_hide_cursor();
    setcolor(WHITE);  line(point.x2,point.y1,point.x2,point.y2);
                    line(point.x1,point.y2,point.x2,point.y2);
                    line(point.x2-1,point.y1-1,point.x2-1,point.y2-1);
                    line(point.x1-1,point.y2-1,point.x2-1,point.y2-1);
    setcolor(BLACK); line(point.x1-1,point.y1-1,point.x2-1,point.y1-1);
                    line(point.x1-1,point.y1-1,point.x1-1,point.y2-1);
                    line(point.x1-2,point.y1-2,point.x2-2,point.y1-2);
                    line(point.x1-2,point.y1-2,point.x1-2,point.y2-2);
    Mouse_on_cursor();
    return;
}
void Edge_shawdow(boundwin point)
{
    Mouse_hide_cursor();
    setcolor(BLACK);  line(point.x2,point.y1,point.x2,point.y2);
                    line(point.x1,point.y2,point.x2,point.y2);
                    line(point.x2-1,point.y1-1,point.x2-1,point.y2-1);
                    line(point.x1-1,point.y2-1,point.x2-1,point.y2-1);
    setcolor(WHITE); line(point.x1-1,point.y1-1,point.x2-1,point.y1-1);
                    line(point.x1-1,point.y1-1,point.x1-1,point.y2-1);
}

```

```

line(point.x1-2,point.y1-2,point.x2-2,point.y1-2);
line(point.x1-2,point.y1-2,point.x1-2,point.y2-2);

Mouse_on_cursor();

return;
}

void Frame(boundwin point)
{
setcolor(WHITE);
rectangle(point.x1, point.y1, point.x2, point.y2);
rectangle(point.x1+3,point.y1+3,point.x2-3,point.y2-3);
return;
}

void Frame_background(int x1, int y1, int x2, int y2, int color)
{
setcolor(color);
rectangle(x1,y1,x2,y2);
rectangle(x1+3,y1+3,x2-3,y2-3);
return;
}

void Initial_graphic(void)
{
/* Request auto detection */
int gdriver = DETECT,gmode,errorcode;
/* Initialize graphics mode */
initgraph(&gdriver,&gmode,"");
/* Check if error */
errorcode = graphresult();
if (errorcode != grOk) /* an error occurred */
{

```

```

printf(" Grpahics error : %s \n",    grapherrormsg(errorcode));
printf(" Press any key to halt : ");
getch();
exit(1); /* Return with error code */
}
return;
}

void Close_graphic(void)
{
closegraph();
return;
}

void Gmouse(void)
{
if(!Mouse_initial())
    { printf(" Mouse could not be inititalize . \n");
      exit(1);
    }

return;
}

int Mouse_initial(void)
{
union REGS regs;
regs.x.ax =0;
int86(0x33,&regs.&regs);
return regs.x.ax;
}

void Mouse_on_cursor(void)
{

```

```

union REGS regs;
regs.x.ax = 1 ;
int86(0x33,&regs,&regs);
}

int Mouse_readstatus(int *x, int *y, int *click)
{
union REGS regs;
regs.x.ax = 3 ; /* Call function mouse */
int86(0x33,&regs,&regs);
*click=regs.x.bx ;
*x = regs.x.cx;
*y = regs.x.dx;
return 1;
}

void Mouse_hide_cursor(void)
{
union REGS regs;
regs.x.ax = 2 ;
int86(0x33,&regs,&regs);
return;
}

int Windows_click_changedge(int firstwin ,int finalwin, int x, int y, int click)
{
/* firstwin = number begin Windows at change edge
finalwin = number final Windows at change edge
int x = for value input to function Mouse function at = vrow
int y = '-----' = vcol
int click= '-----' = vpush
output int= number windows select interval firstwin to finalwin */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int c;
do{
    Mouse_readstatus(&x,&y,&click);
    }while(click!=1);
    if(click==1)          /* check click */
    for( c= firstwin ; c<=finalwin ; c++)
    {
        if(((y>Win[c].y1)&&(y<Win[c].y2))&&((x>Win[c].x1)&&(x<Win[c].x2)))
        {
            Usesound(350,2);
            Edge_unshawdow(Win[c]):
            do{
                Mouse_readstatus(&x,&y,&click);
            }while(click!=0);          /* check release */
            Usesound(500,1);
            if(((y>Win[c].y1)&&(y<Win[c].y2))&&((x>Win[c].x1)&&(x<Win[c].x2)))
            {
                Edge_shawdow(Win[c]): return c; /* exit program */
            }
            else
                Edge_shawdow(Win[c]);
        }
    }
    return c;
}

int Getkbnowait(void)
{
    union REGS regs:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

regs.h.ah =6 ;
regs.h.dl =0xff;
int86(0x21,&regs.&regs);
return(regs.h.ah);
}

void Usesound(int freq, int loop)
{
unsigned i=0;
unsigned char p;
int j;
union{
    long divisor;
    unsigned char c[2];
}count;
count.divisor=119382/freq;
outportb(67,182);
outportb(66,count.c[0]);
outportb(66,count.c[1]);
p=inportb(97);
outportb(97,p|3);
for(j=0; j<loop; j++)
    for(i=0; i<64000; i++);
    outportb(97,p);
return;
}

```

```

/*****/
/* FILE CONTROL.H This Head file for control */
/*****/

#include "dos.h"

#include "stdio.h"

#include "stdlib.h"

#include "conio.h"

#include "bios.h"

#include "alloc.h"

#include "graphics.h"

#define Output_8bit 0x378
#define Input_5bit 0x379
#define Output_4bit 0x37a
#define centre 449
#define factor_gain 5
#define calibrate_constant 0.078
/* Cohen Sutherlnad bound of windows */
#define Four 4
#define xw_min 10
#define xw_max 630
#define yw_min 170
#define yw_max 450
/* Decalre Golbal variable */
int buff[1024];
int readx,check,decpnt,sign;
int distance_flaw;
float vmaterial_float;
char *vmaterial_text;
char *vmaterial_num1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

char *vmaterial_num2;
extern int vmaterial_constant;
/* Declare Prototype */
void Write_data(void);
void Read_data(void);
void Plot_Screen(void);
/* Cohen sutherland algorithm */
void Encode(int x, int y,int c[Four] );
int Accept(int c1[Four], int c2[Four]);
int Reject(int c1[Four], int c2[Four]);
void Swap(int *x1, int *y1, int *x2, int *y2);
void Suther_clip(int done,int display, int x1, int y1, int x2, int y2);/* use above function */
/* Find Thickness value */
int Find_thickness(int data[]);
void Show_thickness(int x1, int y1, float x2, float y2);
void Clear_buff(void);
/* Find Distance of flaw */
int Distance_flaw(int data[]);
void Show_Flaw_distance(int x1, int y1, float x2, float y2);
/* Write data from A/D to SRAM */
void Write_data(void)
{
int delayx;
outport(Output_8bit.0x7f); /** Initial port ***/
outport(Output_4bit.0x7f); /** Select Hard clock ***/
/** Reset binary counter 74HC191 by D0***/
outport(Output_8bit.0x7e); /** D0 ="0" ***/
for(delayx=0;delayx<2;delayx++ ): /** Delay time ***/
outport(Output_8bit.0x7f); /** Up to binary ready count ***/

```

```

/** Enable SRAM Write Mode by D2 & D3    7654 3210    ***/
output(Output_8bit,0x73);    /* 0111 0011    */

/** Enable A/D & buffer by D4            0110 0011 = 63 ***/
output(Output_8bit,0x63);

/** Start to binary counter ***/
output(Output_8bit,0x61);    /** 0110 0001 = 61 ***/

/** Wait check A10 = "0" ***/
do{
    check =inport(Input_5bit);    /** Check D3 = "0" ***/
}while(((check&0x0f)>>3)!=0);

/** Stop Binary counter by Inital Mode ***/
output(Output_8bit,0xff);    /** Select Software colck ***/
output(Output_4bit,0xff);    /** D0 by 37a = "0" ***/
return;
}

/*****
/*      Read data from SRAM      */
*****/

void Read_data(void)
{
int delayx;

/** Reset binary counter 74HC191 ***/
output(Output_8bit,0xfe);    /** D0 = "0" ***/
for(delayx=0 ; delayx<2 ; delayx++);
output(Output_8bit,0xff);

/** Enable SRAM Read Mode by D2 & D3 and Disable counter ***/
/** Enable Select data & buffer D6 & D5            ***/
output(Output_8bit,0x9b);    /** 7654 3210    ***/

/** 1001 1011 =9B ***/

```

```

/** Enable Binary counter */
output(Output_8bit,0x99);    /** 1001 1001 = 99 */
readx=0;

/** Start Binary counter by PC Port(37a) D1 */
do{
    output(Output_4bit,0xfe);    /** Set D0 Port 37a = "1" */
    buff[readx] = (inport(Input_5bit)>>4)&0x000f;
    readx++;

    output(Output_4bit,0xff);    /** Set D0 Port 37a = "0" */
    check = inport(Input_5bit);    /** Check D3 = "0" */
    }while(((check&0x0f)>>3)!=0);

/** Disable counter for read 4 low bit and Set read 4 high bit by D6 = "1" */
output(Output_8bit,0xdb);    /** 1101 1011 = DB */
/** Reset binary counter 74HC191 For 4 high bit */
output(Output_8bit,0xfe);
for(delayx=0 ; delayx<2 ; delayx++);
output(Output_8bit,0xff);

/** Enable counter D1 = "0" */
output(Output_8bit,0xd9);    /** 1101 1001 = D9 */
readx=0;

/** Start Binary counter for 4 high bit by Sync Pc by D1 */
do{
    output(Output_4bit,0xfe);    /** Set D0 Port 37a = "1" */
    buff[readx] =((inport(Input_5bit)&0x00f0)|buff[readx]);
    readx++;    /** Inport 4 */
    output(Output_4bit,0xff);    /** Set D0 Port 37a = "0" */
    check = inport(Input_5bit);    /** Check D3 = "0" */
    }while(((check&0x0f)>>3)!=0);

return:

```

```

}

/** Plot data to screen */
void Plot_Screen(void)
{
float loop,restx,resty;
restx=0; resty=0;
/** Read data to Plot */
for(loop=0 ; loop<=1024 ; loop++)
{
Suther_clip(0,0,restx, centre-resty, loop, centre-(buff[loop]*factor_gain));
restx=loop; resty=buff[loop]*factor_gain;
}
}
void Suther_clip(int done,int display, int x1, int y1, int x2, int y2)
{
int code1[Four],code2[Four];
float m;
while(!done)
{
Encode(x1,y1,code1);
Encode(x2,y2,code2);
if(Accept(code1,code2)) /* completely inside the window */
{
done =1; display=1;
}
else /* complete outside the window */
{
if (Reject(code1,code2))
{

```

```

done = 1 ;
}
else /* fine intersection */
{
/* make sure that (x1,y1) is outside window */
if((code1[0]==0) && (code1[1]==0) && (code1[2]==0) && (code1[3]==0))
{
Swap(&x1,&y1,&x2,&y2);
}
if(x1!=x2)
m=(y2-y1)/(x2-x1);
if(code1[0]) /* cross left side */
{
y1 = y1+(xw_min-x1)*m;
x1 = xw_min ;
}
else /* crosses right side */
if(code1[1])
{
y1 = y1+(xw_max-x1)*m;
x1 = xw_max;
}
else /* crosses bottom side */
if(code1[2])
{
if(x1==x2) x1=x1;
else x1=x1 +(yw_max-y1)/m ;
y1 = yw_max;
}
}

```

```

else /* crosses top side */
    if(code1[3])
    {
        if(x1==x2) x1= x1;
        else x1=x1+(yw_min-y1)/m ;
        y1 = yw_min;
    }
} /* else Reject */
} /* else Accept */
} /* while*/
if(display)
    line(x1,y1,x2,y2); /* Line to screen */
}
void Encode(int x, int y , int c[Four])
{
    /* use screen coordinate system */
    if(x< xw_min) c[0]=1 ; /* left of window */
    else c[0] = 0;
    if(xw_max< x) c[1]=1; /* right of window */
    else c[1] = 0;
    if(yw_max< y) c[2]=1; /* below the window */
    else c[2] = 0;
    if(y< yw_min) c[3]=1; /* above the window */
    else c[3] = 0;
    return;
}
int Accept( int c1[Four], int c2[Four])
{
    int k,a;

```

```

/* if either has value '1' in its code .
    thus, the line isn't completely in side the window */
a=1;
for( k=0; k<4; k++)
if(c1[k] || c2[k]) a=0;
return(a);
}

int Reject(int c1[Four],int c2[Four])
{
int k,r;
r=0;
for( k=0; k<4; k++)
if(c1[k]&& c2[k]) r=1;
return(r);
}

void Swap( int *x1, int *y1, int *x2, int *y2)
{
int *temp;
*temp = *x2; *x2=*x1; *x1=*temp;
*temp = *y2; *y2=*y1; *y1=*temp;
return;
}

int Find_thickness(int data[])
{
float count,maxy,maxx;
maxy = -32768; /* Set max to minimum value */
for( count=20 ; count<1024 ; count++)
/* If maximum value is less than data. then assign value to max */
if(maxy<data[count])

```

```

    { maxy = data[count] ;
      maxx = count;
    }

distance_flow=maxy; /* Send data to global variable */
return maxx;
}

int Distance_flow(int data[])
{
float count;
for( count=20; count<1024; count++)
if(data[count]>1&&data[count]<distance_flow)
return count;
}

void Show_thickness(int x1, int y1, float x2, float y2)
{
float thickness;
thickness = Find_thickness(buff);
vmaterial_float = ((thickness*calibrate_constant)*vmaterial_constant);
vmaterial_num1 = ecvt(vmaterial_float,3,&decpt,&sign);
outtextxy(x1,y1,vmaterial_num1); outtextxy((x2+(decpt*8)),y2,".");
}

void Show_Flow_distance(int x1, int y1, float x2, float y2)
{
vmaterial_float = ((distance_flow*calibrate_constant)*vmaterial_constant);
vmaterial_num1 = ecvt(vmaterial_float,3,&decpt,&sign);
outtextxy(x1,y1,vmaterial_num1); outtextxy((x2+(decpt*8)),y2,".");
}

void Clear_buff(void)
{

```

```
float loop;  
for(loop=0; loop <= 1024; loop++)  
buff[loop]=0;  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54221/74221 Dual Monostable Multivibrator with Schmitt-Trigger Input

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL						
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package				
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF			
T.I.									SNS4LS221	J	Q			SNS4221	J	Q			SNS4221	J	Q		
FAIRCHILD									SN74LS221	J	Q	ND		SN74221	J	Q	ND						
MOTOROLA																							
N.S.C.																							
PHILIPS																							
SIGNETICS									N74LS221				N74221										
SIEMENS									N74LS221				N74221										
FUJITSU									74LS221														
HTACH									HD74LS221				HD74221										
mitsubishi									M74LS221														
NEC																							
TOSHBA																							

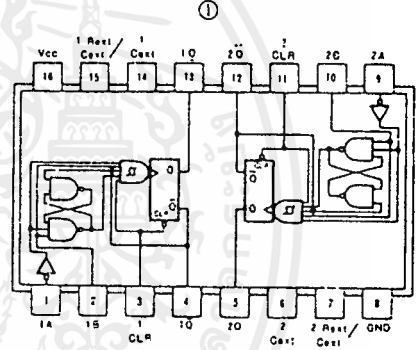
Electrical Characteristics SNS4LS221/SN74LS221

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range			
Supply voltage, V <sub>CC</sub>	7V	operating free air	SNS4LS -55°C to 125°C
Input voltage	7V	temperature range	SN74LS 0°C to 70°C
		Storage temperature range	-65°C to 150°C
recommended operating conditions			
		SNS4LS221	SN74LS221
		MIN NOM MAX	MIN NOM MAX
Supply voltage V <sub>CC</sub>		4.5 5 5.5	4.75 5 5.25
High-level output current I <sub>OH</sub>		-400	-400
Low-level output current I <sub>OL</sub>		4	4
Rate of rise or fall at input pulse dv/dt	Schmitt input B		
	Logic input A		
Mounting width	A or B (input)	40	40
	Clear, (output)	40	40
Clear-injection state setup time t <sub>setup</sub>		15	15
External timing resistance, R <sub>ext</sub>		1.4	70 1.4
External timing capacitance, C <sub>ext</sub>		0	1000 2
Output duty cycle	Load = 2kΩ	50	50
	Load = 10kΩ	90	90
Operating free-air temperature T <sub>a</sub>		55	125 0

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER *	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V <sub>T+</sub> Positive-going threshold voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, A input		1.0	2	V
V <sub>T-</sub> Negative-going threshold voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, A input		0.8	1.0	V
V <sub>T+</sub> Positive-going threshold voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, B input		1.0	2	V
V <sub>T-</sub> Negative-going threshold voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, B input		0.8	0.9	V
V <sub>I</sub> Input clamp voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>I</sub> = -18mA			-1.5	V
V <sub>OH</sub> High-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>O</sub> = -400µA	2.7	3.4		V
V <sub>OL</sub> Low-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OL</sub> = 8mA		0.35	0.5	V
I <sub>I</sub> Input current at maximum input voltage	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 7V			0.1	mA
I <sub>IH</sub> High-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 2.7V			20	µA
I <sub>IL</sub> Low-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0.4V			0.4	mA
I <sub>OS</sub> Short-circuit output current *	V <sub>CC</sub> = MAX			-20	100
				-20	100
I <sub>CC</sub> Supply current	V <sub>CC</sub> = MAX			4	11
				19	27
I <sub>OLH</sub> from A to output Q	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>a</sub> = 25°C, C <sub>ext</sub> = 80pF, R <sub>ext</sub> = 2kΩ			45	10
I <sub>OLH</sub> from B to output Q				35	55
I <sub>OLH</sub> from A to output Q				50	80
I <sub>OLH</sub> from B to output Q				40	65
I <sub>OLH</sub> from Clear to output Q				35	55
I <sub>OLH</sub> from Clear to output Q				44	65
I <sub>out</sub> from A or B to output Q or Q̄	C <sub>ext</sub> = 80pF, R <sub>ext</sub> = 2kΩ	70	120	150	ns
	C <sub>ext</sub> = 0, R <sub>ext</sub> = 2kΩ	20	47	70	ns
	C <sub>ext</sub> = 10nF, R <sub>ext</sub> = 10kΩ	500	670	750	ns
	C <sub>ext</sub> = 2nF, R <sub>ext</sub> = 10kΩ	8	5.9	7.5	ms

Pin Assignment (Top View)



positive logic: Low input to clear resets Q low and Q̄ high regardless of a-c levels at 4 or 8 inputs.

Function Table

\*221, \*LS221 (EACH MONOSTABLE)

CLEAR	INPUTS			OUTPUTS	
	A	B	Q	Q̄	
L	X	X	L	H	
X	H	X	L	H	
X	X	L	L	H	
H	L	↑	[Pulse]	[Pulse]	
H	↑	H	[Pulse]	[Pulse]	

H = high level (steady state)  
 L = low level (steady state)  
 ↑ = transition from low to high level  
 ↓ = transition from high to low level  
 [Pulse] = one high-level pulse  
 [Pulse] = one low-level pulse  
 X = irrelevant

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.  
 ‡ All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>a</sub> = 25°C.  
 \* Not more than one output should be shorted at a time.  
 \* I<sub>OL</sub> = Propagation delay time, low-to-high-level output.  
 \* I<sub>OLH</sub> = Propagation delay time, high-to-high-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SE555-F, T, Y NE555-F, T, Y

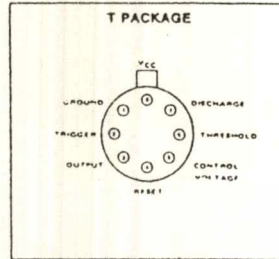
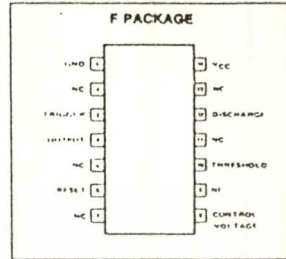
**FEATURES**

- TIMING FROM MICROSECONDS THROUGH HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- HIGH CURRENT OUTPUT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- OUTPUT CAN DRIVE TTL
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER °C
- NORMALLY ON AND NORMALLY OFF OUTPUT

**APPLICATIONS**

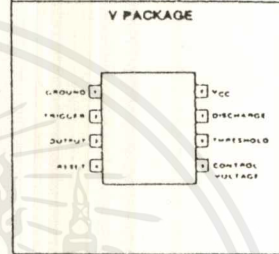
- PRECISION TIMING
- PULSE GENERATION
- SEQUENTIAL TIMING
- TIME DELAY GENERATION
- PULSE WIDTH MODULATION
- PULSE POSITION MODULATION
- MISSING PULSE DETECTOR

**PIN CONFIGURATION**

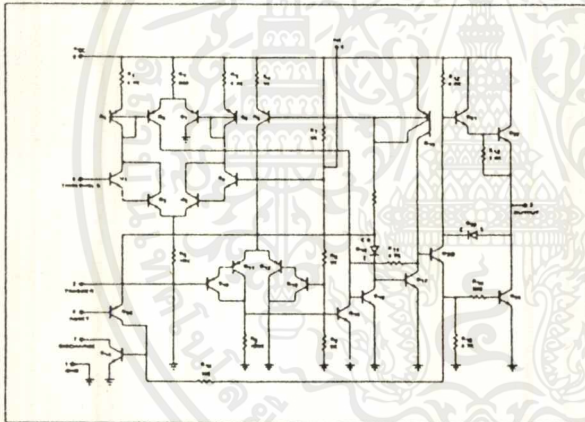


**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

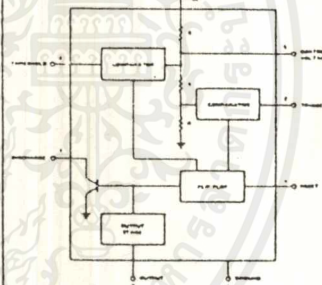
Supply Voltage	SE555	+18V
	NE555	+16V
Power Dissipation		600 mW
Operating Temperature Range	NE555	0°C to +70°C
	SE555	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 60 seconds)		+300°C



**EQUIVALENT CIRCUIT**



**BLOCK DIAGRAM**

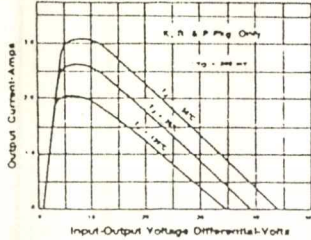


## Three Terminal Positive Regulators

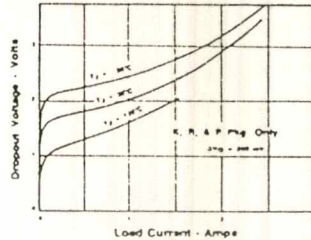
SG7800A/7800AC/7800/7800C/140/240/340

### CHARACTERISTIC CURVES

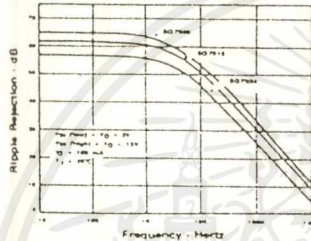
PEAK OUTPUT CURRENT vs INPUT-OUTPUT DIFFERENTIAL



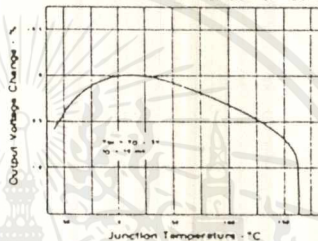
MINIMUM INPUT-OUTPUT VOLTAGE vs. LOAD CURRENT



RIPPLE REJECTION vs. FREQUENCY



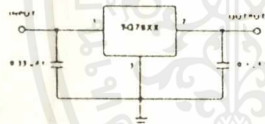
TEMPERATURE COEFFICIENT OF OUTPUT VOLTAGE



Note: Operation at high input voltages is dependent upon load current. When load current is less than 5 mA, output will rise out of regulation as input-output differential increases beyond 30 volts. Note also from curve above that maximum load current is reduced at high voltages. The 50 volt input rating of the SG7800A series refers to ability to withstand high line or transient conditions without damage. Since the regulator's maximum current capability is reduced, the output may fall out of regulation at high input voltages under nominal loading.

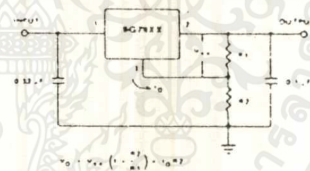
### APPLICATIONS

FIXED OUTPUT REGULATOR

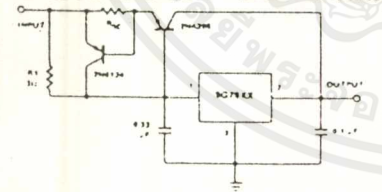


\* INCREASED VALUE OF OUTPUT CAPACITOR IMPROVES SYSTEM TRANSIENT RESPONSE.  
 \* REQUIRED ONLY IF REGULATOR IS LOCATED AN APPRECIABLE DISTANCE FROM POINT OF LOAD.

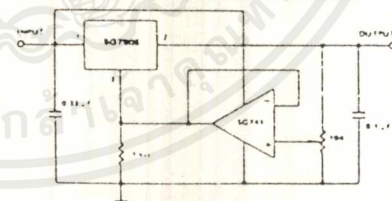
CIRCUIT FOR INCREASING OUTPUT VOLTAGE



HIGH OUTPUT CURRENT, SHORT CIRCUIT PROTECTED



ADJUSTABLE OUTPUT REGULATOR, 7 to 30 VOLTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Three Terminal Positive Regulators

SG7800A/7800AC/7800/7800C/140/240/340

### DESCRIPTION

The SG7800A/7800/140 series of positive regulators offer self contained, fixed-voltage capability with up to 1.5 amps of load current and input voltages up to 50 volts. (SG7800A series only)

These units feature a unique on-chip trimming system to set the output voltages to within  $\pm 1.5\%$  of nominal on the SG7800A series,  $\pm 2.0\%$  on the SG140/240 series, and  $\pm 4.0\%$  on the SG7800/340 series. The SG7800A versions also offer much improved line and load regulation characteristics.

All protective features of thermal shutdown, current limiting, and safe-area control have been designed into these units and since these regulators require only a small output capacitor for satisfactory performance, ease of application is assured.

Although designed as fixed-voltage regulators, the output voltage can be increased through the use of a simple voltage divider. The low quiescent drain current of the device insures good regulation when this method is used.

Product is available in hermetically sealed TO-3, TO-39 and TO-66 power packages as well as the plastic TO-220 package.

### FEATURES

- Output voltage set internally to  $\pm 1.5\%$  on SG7800A
- Input voltage range to 50 volts max. on SG7800A
- Two volt input-output differential
- Excellent line and load regulation
- Foldback current limiting
- Thermal overload protection
- Voltages available — 5V, 6V, 8V, 12V, 15V, 18V, 20V, 24V

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Device Output Voltage	Input Voltage (operating)	7800A Series Input Voltage (transient)*	Input Voltage (Output shorted to ground)
5V	35V	50V	35V
6V	35V	50V	35V
8V	35V	50V	35V
12V	35V	50V	35V
15V	35V	50V	35V
18V	35V	50V	35V
20V	35V	50V	35V
24V	40V	50V	35V

\* see note next page

Operating Junction Temperature Range  
 SG7800A/7800/140 —  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$   
 SG240 —  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$   
 SG7800AC/7800C/340 —  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$   
 Storage Temperature Range —  $-65^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$

### Typical Power/Thermal Characteristics

Package	K (TO-3)	n (TO-66)	P (TO-220)	T (TO-39)
25°C Case Rated Power	20W	15W	15W	2W
25°C Ambient Rated Power	4.3W	3.0W	2.0W	1.0W
Design Current	1.5A	1.5A	1.0A	0.5A
Therm. Res. $\theta_{JC}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	3.0	5.0	3.0	15
9JA ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	35	40	60	120

### SIMPLIFIED SCHEMATIC

### CONNECTION DIAGRAMS

T. Package TO-36

E. Package TO-1

R. Package TO-66

P. Package TO-220

FRONT VIEW

1 - Input  
 2 - Output  
 3 - Ground  
 Tab - Ground

### CHIP LAYOUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**National Semiconductor**

**LM117/LM217/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator**

**General Description**

The LM117/LM217/LM317 are adjustable 3 terminal positive voltage regulators capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

**Features**

- Adjustable output down to 1.2V
- Guaranteed 1.5A output current
- Line regulation typically 0.01%/V
- Load regulation typically 0.1%
- Current limit constant with temperature
- 100% electrical burn-in
- Eliminates the need to stock many voltages
- Standard 3-lead transistor package
- 90 dB ripple rejection

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated far from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejections ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

**Connection Diagrams**

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded.

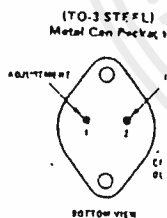
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

The LM117K, LM217K and LM317K are packaged in standard TO-3 transistor packages while the LM117H, LM217H and LM317H are packaged in a solid Kovar base TO-39 transistor package. The LM117 is rated for operation from -55°C to +150°C, the LM217 from -25°C to +150°C and the LM317 from 0°C to +125°C. The LM317T and LM317MP, rated for operation over a 0°C to +125°C range, are available in a TO-220 plastic package and a TO-202 package, respectively.

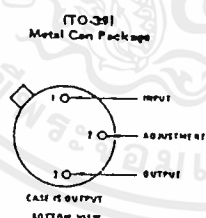
For applications requiring greater output current in excess of 3A and 5A, see LM150 series and LM138 series data sheets, respectively. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

LM117 Series Packages and Power Capability

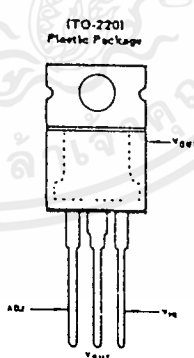
DEVICE	PACKAGE	RATED POWER DISSIPATION	DESIGN LOAD CURRENT
LM117	TO-3	20W	1.5A
LM217	TO-39	2W	0.5A
LM317	TO-220	15W	1.5A
LM317M	TO-202	7.5W	0.6A



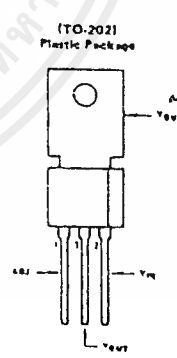
Order Number:  
LM117K STEEL  
LM217K STEEL  
LM317K STEEL  
See Package KO2A



Order Number:  
LM117H  
LM217H  
LM317H  
See Package HO3A



Order Number:  
LM317T  
See Package TO3B



Order Number:  
LM317MP  
See Package PO3A  
Tab Formed Devices  
LM317MP TB  
See Package PO3A

221 Crescent St Waltham MA 02154  
 Tel: 800-225-8330, 617-899-2719  
**PANAMETRICS** Fax: 617-899-1552

TRANSDUCER DESCRIPTION

PART NO.: A106S  
 SERIAL NO.: 228280  
 DESIGNATION: CONTACT  
 FREQUENCY: 2.25 MHz  
 ELEMENT SIZE: .5 in. DIA.

TEST INSTRUMENTATION

PULSER/RECEIVER: PANAMETRICS 5052 UA #1  
 DIGITAL OSCILLOSCOPE: LECROY 9400 -- V 2.06FT 3E0322  
 TEST PROGRAM: IP103-1 VER. 0/5/110 SETUP: DWG. #5979  
 CABLE: RG-58/U LENGTH: 4 FT.

TEST CONDITIONS

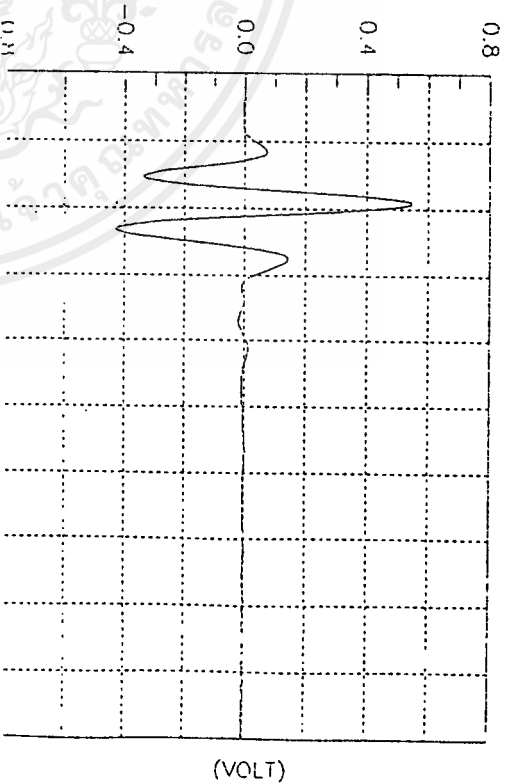
PULSER ENERGY: 1  
 PULSER DAMPING: 100 ohm  
 RECEIVER SETTINGS: 40 dB GAIN / 54dB ATTENUATION  
 TARGET: BACK WALL OF 1.3 in. STEEL

MEASUREMENTS PER ASTM E1065

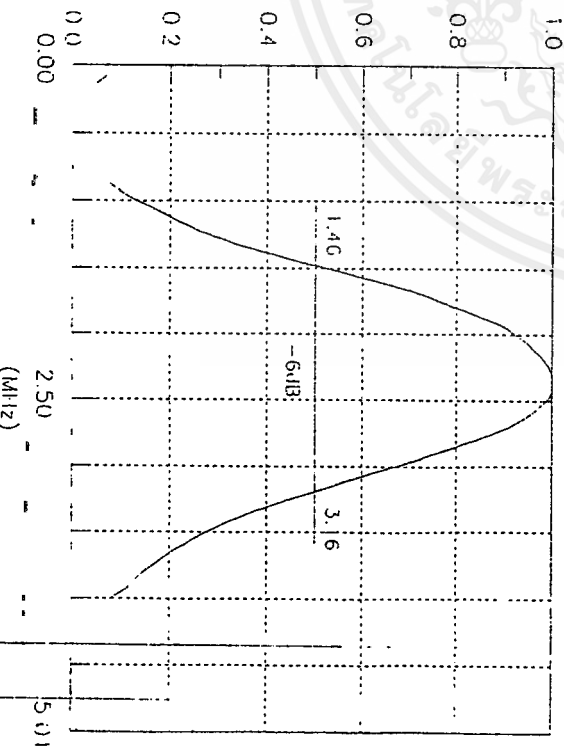
WAVEFORM DURATION:  
 --14DB LEVEL -- 744µS  
 --20DB LEVEL -- 936µS  
 --40DB LEVEL -- 192µS  
 SPECTRUM MEASUREMENTS:  
 CENTER FREQ. ----- 2.31MHz  
 PEAK FREQUENCY -- 2.34MHz  
 --6DB BANDWIDTH -- 73.59 %

COMMENTS:

SIGNAL WAVEFORM



FREQUENCY SPECTRUM



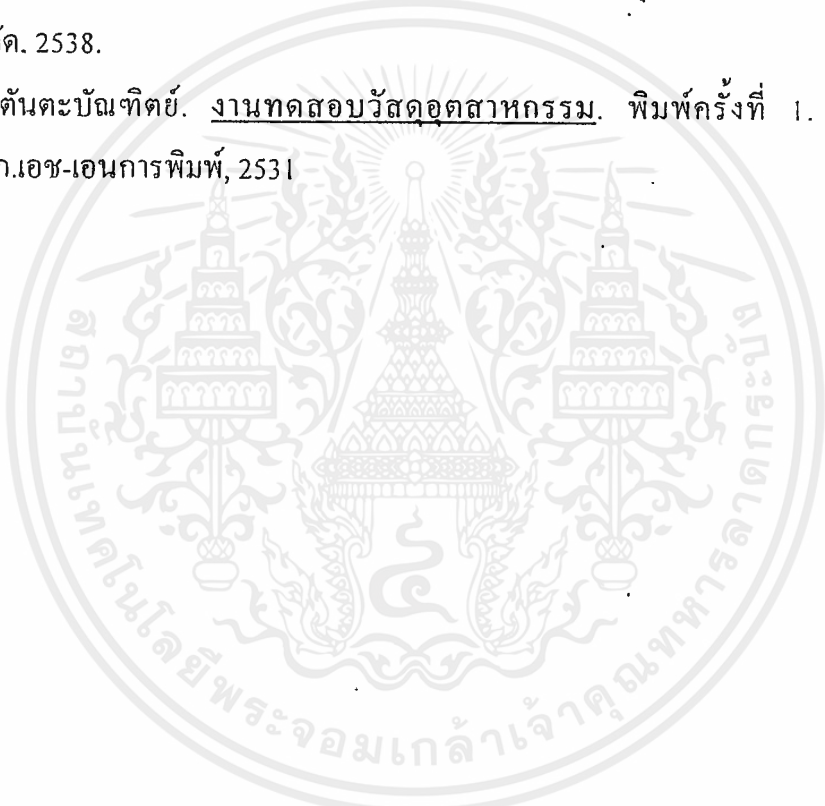
ACCEPTED.  
 TECHNICIAN: (4)

DATE: 12-18-96

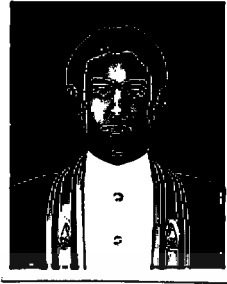
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- 1.นภัทร วัจนเทพินทร์. ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทสยามสปอร์ต ซินดิเคทจำกัด, 2538
- 2.บรรเลง ศรีนิล. การตรวจสอบวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2526
- 3.ฟูจิอิ ซาโตะ. การทดสอบแบบไม่ทำลาย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัทที.พี.ปริ้นท์ จำกัด. 2538.
- 4.มานพ ต้นตะบับทิตย์. งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: หจก.เอช-เอนการพิมพ์, 2531



## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายจันทวัฒน์ ทองคำ
วันเดือนปีเกิด	21 กันยายน พ.ศ.2519
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	31/2 หมู่5 แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250
ที่อยู่ปัจจุบัน	31/2 หมู่5 แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250
โทรศัพท์	721-6144 , 152-559269
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนสุเหร่าทางควาย
มัธยมศึกษา	โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่วมเกล้า
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนเซนต์จอห์น โปลีเทคนิค
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	โรงเรียนเซนต์จอห์น โปลีเทคนิค
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	เราเลือกเกิดไม่ได้ แต่เลือกที่จะเป็นอะไรก็ได้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายชัยยุทธ คนดี
วันเดือนปีเกิด	7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
ภูมิลำเนาเดิม	6 ถนนเพลินฤดี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จังหวัดอุดรธานี 53000
ที่อยู่ปัจจุบัน	6 ถนนเพลินฤดี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จังหวัดอุดรธานี 53000
โทรศัพท์	055-411298 , 01-6108506
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลอุดรธานี
มัธยมศึกษา	โรงเรียนอุดรธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	โรงเรียนเซนต์จอห์น โปลีเทคนิค
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำตัวเป็นคนดีของสังคม

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายปกรณ์ รุ่งเรือง
วันเดือนปีเกิด	25 สิงหาคม พ.ศ. 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ภูมิลำเนาเดิม	79/1 หมู่ 1 ต.ละมอ อ.นาโง จังหวัดตรัง 92170
ที่อยู่ปัจจุบัน	79/1 หมู่ 1 ต.ละมอ อ.นาโง จังหวัดตรัง 92170
โทรศัพท์	075-242045
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัฒนาศึกษา
มัธยมศึกษา	โรงเรียนสวัสดีรัตนภิรมย์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคตรัง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	‘ไม่มีชัยชนะใด ที่จะยิ่งใหญ่ไปกว่าการชนะใจ ตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายสรายุติ	อำนวยการ
วันเดือนปีเกิด	4 มีนาคม พ.ศ. 2519	
สถานที่เกิด	จังหวัดยะลา	
ภูมิลำเนาเดิม	18/1 ถ.อาคารสงเคราะห์ 2 ต.สะเตง อ.เมือง จังหวัดยะลา 95000	
ที่อยู่ปัจจุบัน	18/1 ถ.อาคารสงเคราะห์ 2 ต.สะเตง อ.เมือง จังหวัดยะลา 95000	
โทรศัพท์	-	
ประวัติการศึกษา		
ประถมศึกษา	โรงเรียนนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้	
มัธยมศึกษา	โรงเรียนนิคมพัฒนาวิทย์	
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา	
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา	
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	
ผลงานที่ได้รับรางวัล	รองชนะเลิศอันดับหนึ่ง ในการประกวดสิ่ง ประดิษฐ์รุ่นใหม่ระดับประเทศ ปี 2537	
ทุนการศึกษา	-	
คติพจน์	เส้นทางยังอีกยาวไกลจงก้าวไปให้ถึงจุดหมาย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้