

การหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน
POSITION MEASUREMENT OF THE MOVING OBJECT BY
VIBRATION SIGNALS



โดย

นางสาว วิภาสรี วณิชปัญจพล

นาย ศิษฏ์ วะชังเงิน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42471
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน
POSITION MEASUREMENT OF THE MOVING OBJECT BY
VIBRATION SIGNALS



โดย
นางสาว วิภาศิริ วณิชปัญญพล
นาย ศิษฏ์ ะซังเงิน

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. ดร. วันชัย รีวรจ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาคำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน

Position measurement of the moving object by vibration signals

ผู้จัดทำ

นางสาว วิภาสรี วณิชปัญจพล

นาย ศิษฏ์ วะชังเงิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร. วันชัย ธีรวัชร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน

นางสาว วิภาสรี วนิชปัญจพล

นาย ศิษณุ วัชชังเงิน

รศ.ดร. วันชัย ธีรวิภา อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นจากการศึกษาวิธีการหาตำแหน่งของวัตถุ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นที่บริเวณนั้น และอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆกัน จะตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือนได้ในเวลาที่ต่างกัน จากหลักการดังกล่าว นำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในตระกูลเอ็มซีเอส 52 และแสดงตำแหน่งของวัตถุทาง 7 เซกเมนต์ (seven segments)

Abstract

This thesis presents the concept of the object's position measurement by using the vibration signal of the moving object , which each vibration sensors can measure the vibration signal in the different time. This design being based on microcontroller signal processing (MCS 52) and display by the seven segments.

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้าที่
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ (Piezoelectric Sensor)	3
2.2 ลักษณะการปฏิบัติตัวของเพียโซอิเล็กทริก	5
2.3 แบบจำลองทางกล	6
2.4 ลักษณะของเพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์	7
2.5 ผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Response)	12
2.6 ป้อนยั้งแกว่ง	16
3. การคำนวณและการสร้าง	18
3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)	18
3.2 ซอฟต์แวร์ (Software)	21
4. สรุปและวิจารณ์	25
4.1 ทางกล	25
4.2 วงจรไฟฟ้า	28
4.3 การคำนวณและโปรแกรม	28
4.4 สรุปผลการทดลอง	28
5. แนวทางการพัฒนา	30
ภาคผนวก ก	31
ภาคผนวก ข	52
กิตติกรรมประกาศ	74
หนังสืออ้างอิง	75

สารบัญรูป

ชื่อรูป	หน้าที่
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วย สัญญาณการสั่นสะเทือน	2
รูปที่ 2.2 แสดงระบบการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการ สั่นสะเทือน	2
รูปที่ 2.3 แสดงผลึกควอตซ์(Quartz)และการตัด	5
รูปที่ 2.4 แสดงแอ็กซีลิโรมิเตอร์ (Accelerometer) ทั้ง 3 แบบ	6
รูปที่ 2.5 แสดงแบบจำลองทางกล และ แบบจำลองอิสระ (Free Body Diagram)	6
รูปที่ 2.6 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอม (Op-amp) , โวลต์เฟโรวอร์ (Voltage Follower) , อินเวอร์ตติง (Inverting) ที่มีค่าเกน และ นอนอินเวอร์ตติง (Non - inverting) ที่มีค่าเกน	8
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรชาร์จแอมพลิไฟเออร์ (Charge Amplifier) ซึ่งต่ออยู่กับเพียโซ อิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)	9
รูปที่ 2.8 แสดงโบดไดอะแกรม (Bode Diagram) ของเพียโซอิเล็กทริก	
(a) เขียนกราฟโดยใช้สเกลลอ็อก	10
(b) เขียนกราฟโดยใช้สเกลลินเนียร์ลอ็อก	11
รูปที่ 2.9 แสดงระบบทรานสดิวเซอร์ของบิวท์อิน (Built in) โวลต์เฟโรวอร์	11
รูปที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองของชาร์จแอมพลิไฟเออร์ต่อสัญญาณด้านเข้า	13
รูปที่ 2.11 แสดงการทดสอบชาร์จแอมพลิไฟเออร์โดยสัญญาณกระแทก	
(a) แสดงวงจรทดสอบ (Test Circuit)	14
(b) แสดงรูปคลื่นของอินพุตโวลต์เฟโรวอร์	15
รูปที่ 2.12 แสดงเอาต์พุตของชาร์จแอมพลิไฟเออร์	
(a) แบบดูอัป (Look up Response)	15
(b) แบบผลตอบสนองเทรกกิง (Tracking Response)	15
(c) แบบผลตอบสนองของตัวกรองความถี่ 10 kHz	16
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า	18
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรชาร์จแอมพลิไฟเออร์	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อรูป	หน้าที่
รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่	19
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	20
รูปที่ 3.5 แสดงแบบจำลองระนาบที่รองรับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่และตัวแปรต่างๆ	21
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนแสดงผล	23
รูปที่ 3.7 แสดงโฟลชาร์ต (Flow Chart) การทำงานของโปรแกรม	24
รูปที่ 4.1 แสดงขนาดและส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ	25
รูปที่ 4.2 แสดงการประกอบส่วนต่างๆของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ	26
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสัมผัสที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 2 ได้รับ	26
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสัมผัสที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 และ 3 ได้รับ	27
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสัมผัสที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 และ 4 ได้รับ	27
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสัมผัสที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 4 ได้รับ	27

สารบัญตาราง

ชื่อตาราง	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก	4
ตารางที่ 2.2 แสดงการหาความผิดพลาดจาก T (time Constant) ที่เรารู้ค่า โดยสัญญาณด้านเข้าต่างกัน	14
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนโดยการจำลองการทำงาน	29

การหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน

1. บทนำ

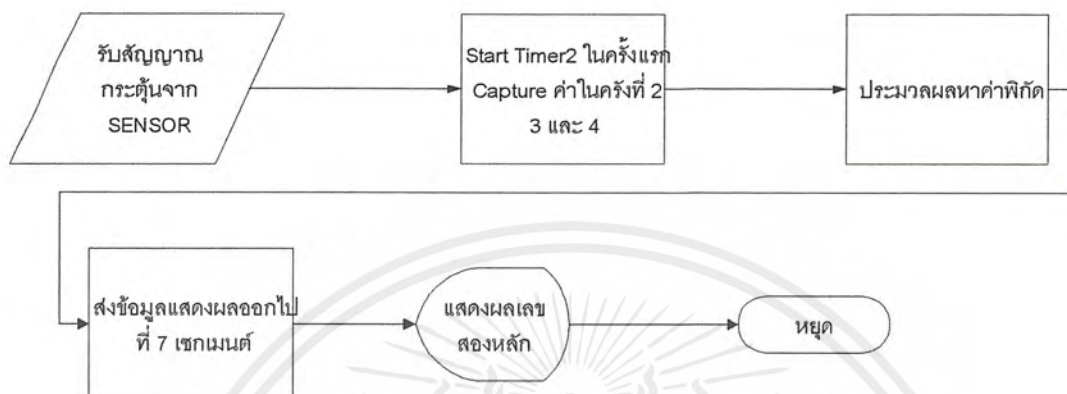
ปัจจุบันระบบการวัดความสั่นสะเทือนในอุตสาหกรรมเป็นการเฝ้าตรวจสอบสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และนำสัญญาณที่บันทึกไว้ ไปเป็นข้อมูลในการพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่อง และใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งยังเป็นการตรวจสอบเครื่องจักรโดยไม่จำเป็นต้องถอด หรือทำลายชิ้นส่วนของเครื่องจักรนั้นอีกด้วย

การทดสอบการสั่นสะเทือนต้องใช้ทรานสดิวเซอร์ (transducer) วัดการเคลื่อนไหวนั้น มีวิธีการวัดแตกต่างกัน เช่น เลเซอร์빔สแกนนิ่งสคีม (laser beam scanning schemes) , ออปติคัล ไฟเบอร์ (optical fiber) , แมกเนติก เซ็นเซอร์ (magnetic sensors) ซึ่งมีราคาแพงและถูกจำกัดให้ใช้งานเฉพาะอย่าง จึงมีอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่มีราคาถูก คือ เพียโซอิเล็กทริก เซ็นซิง ทรานสดิวเซอร์ (piezoelectric sensing transducer) ใช้เป็นแอ็กซีลิโรมิเตอร์ (accelerometer) และ ฟอสซ์ เกด (force gages) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีขนาดเล็กมีความแข็งแรงมากและให้ผลลัพธ์ดี แต่ต้องใช้ชาร์จแอมป์ไฟเออร์ (charge amplifier) เป็นตัวจ่ายพลังงานให้

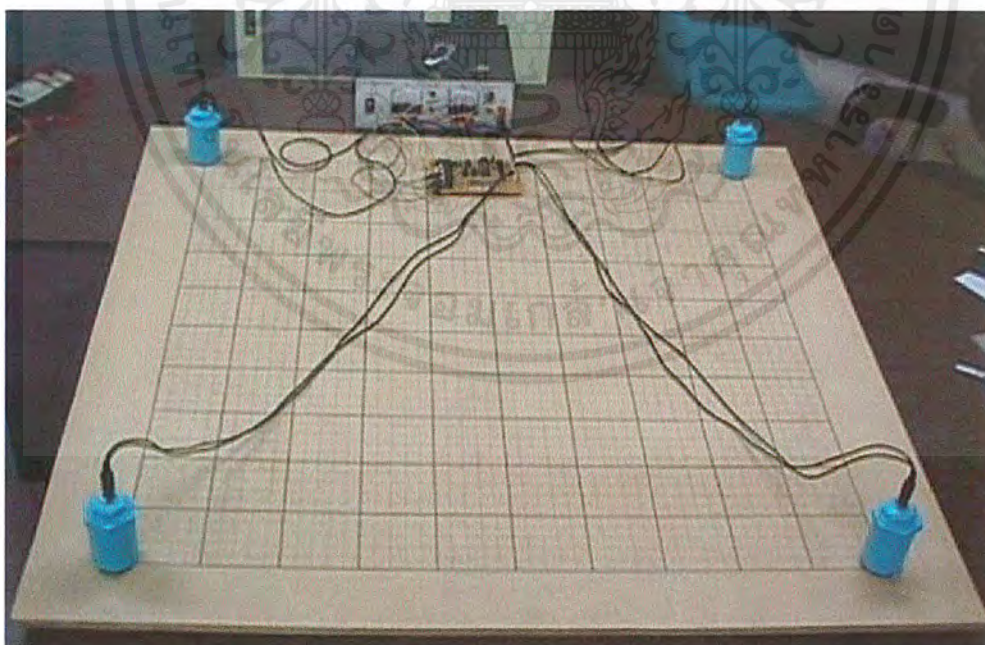
จากหลักการเบื้องต้น นำมาใช้ในการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ตรวจจับหาตำแหน่งวัตถุตกบนระนาบ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งานในเบื้องต้น สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์อื่นต่อไปในอนาคต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนนั้น หลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นแสดงเป็นรูปของระบบได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงระบบการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ เมื่อมีแรงมากระทำบนคริสตอล (crystal) การแทนที่ของคริสตอลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในทางกลับกันถ้ามีแรงดันไฟฟ้ามาป้อน ให้กับคริสตอลแล้วนั้น คริสตอลก็จะเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม

วัสดุประเภทคริสตอลนี้จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ ในการวัดระดับสูงๆ เช่น การวัดแรงดันชั่วขณะที่ความถี่สูง โดยทั่วไปแล้วจะใช้ควอตซ์(Quartz)ที่มนุษย์ผลิตขึ้น เพราะควอตซ์ตามธรรมชาติมีความบริสุทธิ์น้อยกว่านั่นเอง

เมื่อป้อนแรงกลให้เพียโซอิเล็กทริก จะทำให้เกิดความเค้น (stress) ในคริสตอล และทำให้ผลึกคริสตอลผิดรูปไป ผลคือ ประจุเปลี่ยน การผิดรูปร่างของผลึกทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ ของประจุบวก และลบภายในผลึกเปลี่ยน การแทนที่ของประจุภายใน จะเท่ากับประจุภายนอก ของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) ที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของผิวประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ(induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ

$$Q = d \times F \quad \text{คูลอมบ์}$$

โดย d = ค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.1

F = แรงที่ทำให้คริสตอลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt

ประจุเหนี่ยวนำเขียนอยู่ในทอมของระยะ t คือ

$$Q = d \times sY \times (\Delta t/t)$$

โดย s = พื้นที่ของคริสตอล (เมตร²)

t = ความหนาของคริสตอล (เมตร)

Y = ค่ายังส์โมดูลัส (Young of modulus) (นิวตัน/เมตร²)

ประจุที่อิเล็กโทรดจะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นโดยสมการ

$$E_c = Q/C$$

โดย C = ค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างอิเล็กโทรด (ฟารัด)

ϵ = ค่าเพอร์มิทิวตี้ (Permittivity)

ดังนั้นเอาที่พหุโวลต์เตจจะเป็น

$$E_0 = \frac{d \times t \times F}{\epsilon \times a} = \frac{g \times t \times F}{a} = g \times t \times P$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชาใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

 g = ค่าคงที่ของคริสตอล ดูจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก

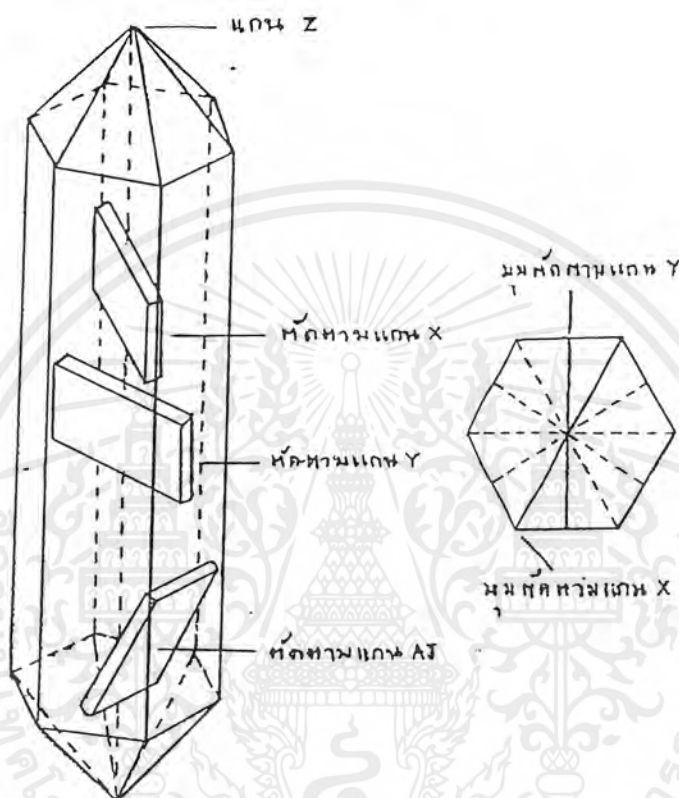
Material	Orientation	Charge Sensitivity d , $\frac{\text{coulomb} / \text{m}^2}{\text{newton} / \text{m}^2}$	Voltage Sensitivity g , $\frac{\text{volt} / \text{m}^2}{\text{newton} / \text{m}^2}$
Quartz	X cut; length along Y	2.25*10 ⁻¹²	0.055
	length longitudinal		
	X cut; thickness	-2.04	-0.050
	longitudinal		
	Y cut;	4.4	0.108
	Thickness shear		
Rochelle salt	X cut 45 degrees;	435	0.098
	length longitudinal		
	Y cut 45 degrees;	-78.4	-0.29
Ammonium dihydrogen phosphate	Length longitudinal		
	Z cut 0 degrees;	48	0.354
	Face shear		
	Z cut 45 degrees	24	0.177
Commercial barium titanate ceramics	// to polarization	130 to 160	0.0106
	⊥ to polarization	-56	0.0042 to 0.0053

ชิ้นส่วนเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric elements) จะมีการตัดแบบต่างๆเพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่างกัน ดังรูปที่ 2.3

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมีหลายชนิดเช่น ควอตซ์, เทอร์มาลีน (Tourmaline), เกลือโรเชล (Rochelle Salt), อัมมอนียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ammonium dihydrogen Phosphate, ADP), ลิเทียม ซัลเฟต (Lithium Sulphate), เบอร์ลิเทียม ไททานเนท (Berium Titanate) และ ลีด ซิงโครเนท ไททานเนท (Lead Zirconate Titanate, LZT) โดยทั่วไปแล้วผลึกควอตซ์และคริสตอลที่เป็นเพียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่วัสดุพวกเพียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียมไททานเนต เซรามิก จะต้องนำมาทำกรอบคริสตอลภายใต้ความดัน และวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟฟ้ากระแสตรงมาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกวางในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามที่ทิศทางของสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟ้า และประพฤติกรรมตามสมบัติของเพียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจาก วัสดุสังเคราะห์ ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตอล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 2.3 แสดงผลึกควอตซ์และการตัด

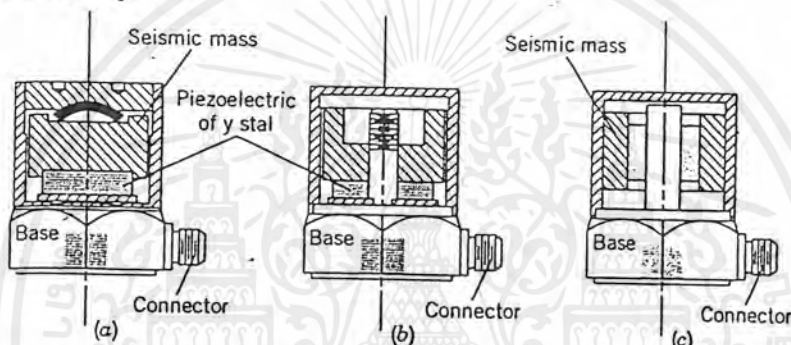
2.2 ลักษณะการปฏิบัติตัวของเพียโซอิเล็กทริก (Mode of Operation)

(2.2.1) จิมเปิลเพลท (Simple Plate) เป็นเพียโซอิเล็กทริกชิ้นเดียว โดยมีแรงมากระทำต่อเพลท ในทิศทางต่างๆทำให้เกิดการขยุ้มตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป

(2.2.2) มัลติเปิล อาร์เรจเมนต์ (Multiple arrangement , Stacks) สามารถนำเอาชิ้นส่วนเพียโซอิเล็กทริกมาต่อกันในลักษณะ compress-expansion mode โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้อาห์พุทโวลต์เดจออกมาสูง ที่แรงกดอันเดียวกัน หรือเอามาต่อขนานกัน ก็จะได้อาห์พุทอิมพีแดนซ์ (impedance) ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว

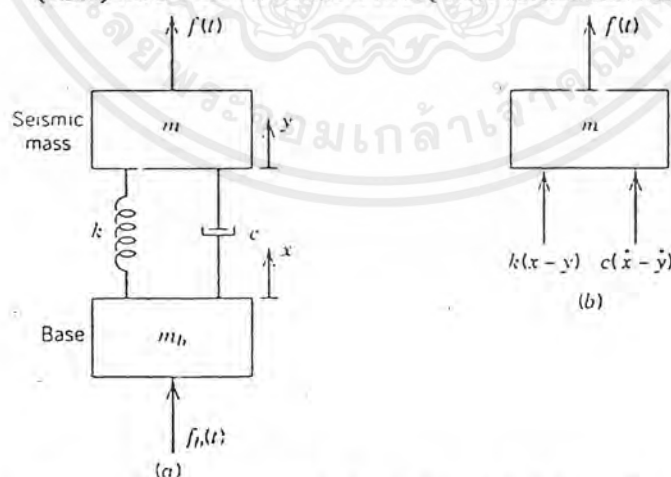
2.3 แบบจำลองทางกล (Mechanical Model)

แอกซีลิโรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีขนาดเล็ก , ช่วงเซ็นซิวิตี (sensitivity) กว้าง , ช่วงความถี่ใช้งาน กว้างซึ่งเทียบกับเครื่องทรานสดิวอื่นแล้วไม่ด้อยเท่า แอกซีลิโรมิเตอร์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ สเตรน เกจ (strain gages) และ เพียโซอิเล็กทริกคริสตอล แต่ชนิดหลังเป็นที่นิยมมากกว่า เพราะมีน้ำหนักเบา , เซ็นซิวิตีสูง , และสามารถหาค่าความถี่ธรรมชาติได้ง่ายมาก ซึ่งมีทั้งหมด 3 แบบ โดยในแต่ละแบบประกอบด้วย ฐาน , เพียโซอิเล็กทริกคริสตอล และ มวลถ่วง (seismic mass) บรรจุอยู่ใน คังดั่งป้องกันการสั่นสะเทือน (protective case) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง แอกซีลิโรมิเตอร์ทั้ง 3 แบบ คือ (a) ไอโซเลต คอมเพรสชัน (Isolated Compression) , (b) ซิงเกิลเอนด์ คอมเพรสชัน (Single-ended Compression) และ (c) เชียร์ (Shear)

(2.3.1) แบบจำลองทางกลเบื้องต้น (Basic Mechanical Model)



รูปที่ 2.5 แสดง (a) แบบจำลองทางกล (Mechanical Model) (b) แบบจำลองอิสระ (Free Body Diagram)

จากรูปที่ 2.5 (b) นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum F = ma \quad \text{เมื่อ } a = y'', \quad y - x = z \quad \text{เพราะฉะนั้น } z = y - x$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ได้} \quad f(t) + k(x - y) + c(\dot{x} - \dot{y}) &= m\ddot{a} \\
 f(t) - k(z) - c\dot{z} - m\ddot{x} &= m\ddot{y} - m\ddot{x} \\
 f(t) - m\ddot{x} &= m\ddot{z} + c\dot{z} + kz \quad \text{-----(1)}
 \end{aligned}$$

ที่มวล m (มวลถ่วง) มีแรงเฉื่อย (inertia), แคมป์ (damping), แรงสปริง (spring forces) และมีแรง $f(t)$ เป็นค่าคงที่ ถ้า $x = X(0)e^{j\omega t}$ ได้ $z = Z(0)e^{j\omega t}$ ด้วย เพราะฉะนั้น สมการที่ (1) ได้

$$Z_0 = \frac{-m\omega^{2 \times 0}}{k - m\omega^{2+jc\omega}} = \frac{-m\omega^{2 \times 0}}{k(1 - r^{2+j2dr})} \quad \text{-----(2)}$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนความถี่ไคเมนชันเลส (Dimensionless Frequency Ratio)

d คือ อัตราส่วนแคมป์ไคเมนชันเลส (Dimensionless Damping Ratio)

สมการที่ (2) เป็นผลตอบสนองต่อแรงกระตุ้นมาตรฐาน (standard forced vibration response) และถ้า $-\omega^{2 \times 0} = a_0$ เป็นขนาดของมวลมาตรฐานแล้ว ได้

$$Z_0 = \frac{ma_0}{k - m\omega^{2+jc\omega}} = \frac{ma_0}{k(1 - r^{2+j2dr})} = H(\omega)a_0$$

$$\text{ได้} \quad H(\omega) = \frac{m}{k - m\omega^{2+jc\omega}} = \frac{m}{k(1 - r^{2+j2dr})}$$

ถ้าความถี่ต่ำกว่าธรรมชาติของการทรานส์ดิวเซอร์ แล้วขนาดของ Z_0 คือ

$$Z_0 = ma_0 / k$$

เมื่อคิดแรงเฉื่อย ($m\omega^2$) แคมป์ ($c\omega$) เทียบกับ สติฟเนส (stiffness) มีค่าน้อยมาก ไม่นำมาคิด

2.4 ลักษณะของเพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ (Piezoelectric Sensor Characteristics)

(2.4.1) วงจรพื้นฐานและออปแอม (Op-amp)

เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์สร้างประจุชนิดหนึ่งที่ต้องใช้อินพุตอิมพีแดนซ์ สูงมากเป็นอุปกรณ์ต่อเชื่อม ระหว่างซาร์จแอมป์ไฟเออร์และวงจรโวลต์เดเทฟอโรเวอร์ สร้างเอาต์พุตโวลต์เดเทที่นำไปวัดและบันทึกได้

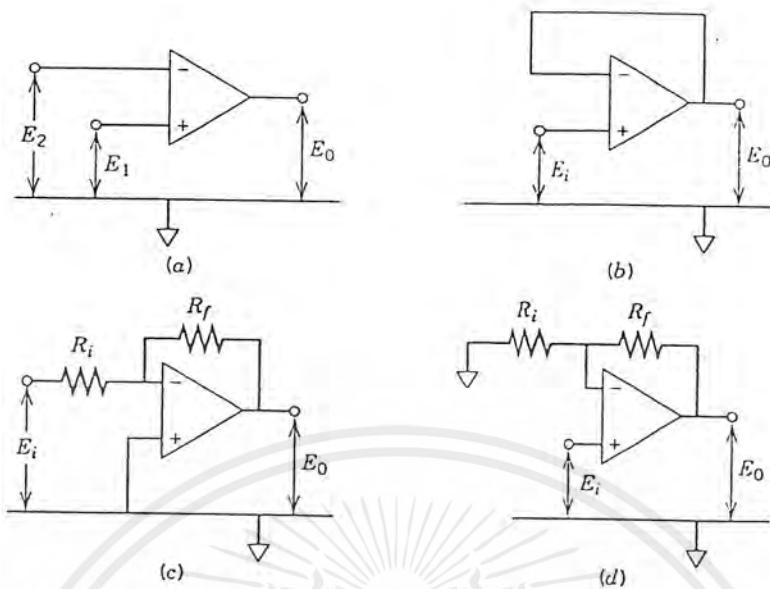
$$\text{จากความสัมพันธ์} \quad E = q/c \quad \text{และ} \quad I = q'$$

$$\text{เพราะฉะนั้นได้} \quad E = IR = Rq' \quad \text{และ} \quad E = LI' = Lq''$$

พิจารณารูปที่ 2.6 (a) ได้ความสัมพันธ์ของอินพุตโวลต์เดเทและเอาต์พุตโวลต์เดเท เป็นดังสมการ

$$E_0 = G(E_1 - E_2)$$

เมื่อ G คือ โอเพนลูปเกน ซึ่งปกติมีค่ามาก ($G > 100,000$)



รูปที่ 2.6 (a) แสดงสัญลักษณ์ของออปแอม , (b) แสดงโวลต์เดเทฟอโรเวอร์ ,

(c) แสดงอินเวอร์ตดิ้งที่มีค่าเกน (inverting with gain) และ

(d) แสดงนอนอินเวอร์ตดิ้งที่มีค่าเกน (noninverting with gain)

จากรูปที่ 2.6 (b) วงจรโวลต์เดเทฟอโรเวอร์ มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$E_0 = E_i$$

ความได้เปรียบของวงจรโวลต์เดเทฟอโรเวอร์ คือ มีค่าความต้านทานภายในสูงมากๆ และมีค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ = 0 และมีกำลังสูงพอที่จะจ่ายไปในสายยาวๆ ได้ จึงเหมาะกับการใช้เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์

จากรูปที่ 2.6 (c) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้ $E_0 = (-R_f / R_i) E_i$

จากรูปที่ 2.6 (d) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้ $E_0 = (1 / R_f R_i) E_i$

(2.4.2) ความไวของประจุ

ผลึกเพียโซอิเล็กทริกสร้างประจุเมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นในตัวผลึก ซึ่งขึ้นกับทิศทางที่สัมพันธ์กับระนาบของผลึกด้วย ในที่นี้จะไม่สนใจในรายละเอียด แต่จะสนใจความสัมพันธ์ของประจุที่สร้างขึ้นกับการเปลี่ยนรูปของผลึก เพราะฉะนั้นได้

$$q = S_e Z \quad \text{-----}(3)$$

เมื่อ S_e คือ ความไวในการสร้างประจุ (ขึ้นกับวัสดุที่ใช้, พื้นที่ภาคตัด และความยาว)

Z คือ ระยะจากแนวอ้างอิง

จากสมการที่ (3) ให้ความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับค่า Z โดยลักษณะขีดหุ้ยนของเพียโซอิเล็กทริกได้ว่า

$$\text{จาก } f = kZ \quad \text{และ} \quad m\ddot{a} = kZ$$

$$Z = (m/k)a = Ka$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

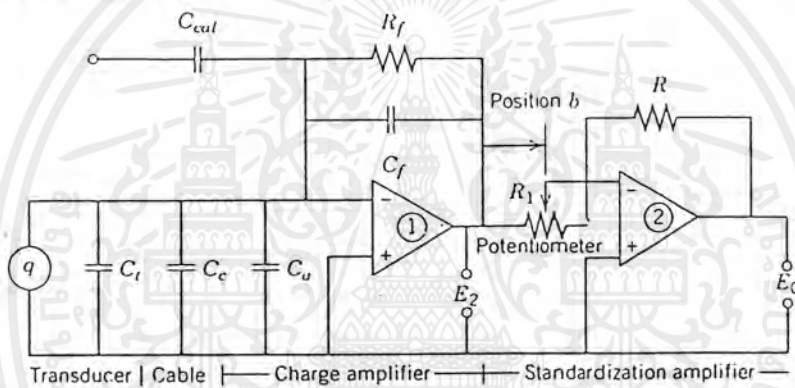
ดังนั้นสมการที่ (3) ได้

$$q = S_z Ka = S_q a$$

(เราพิจารณาให้การเกิดประจุเป็นเชิงเส้นกับความเร่งตลอดในการอธิบาย)

(2.4.3) ชาร์จแอมป์ไฟเออร์

วงจรชาร์จแอมป์ไฟเออร์ประกอบด้วย ออปแอม 2 ตัวต่อกัน ดังรูปที่ (2.5) โดยออปแอมตัวแรกใช้ขยายประจุ และเปลี่ยนประจุเป็นโวลต์เดท, V_z โดยมี R_f , C_f เป็นส่วนฟีดแบก (feedback) มี C_{cul} เป็นประจุที่ใช้เคลิบชั้น (calibration) เมื่อรู้ค่าโวลต์เดทที่ใส่เข้าไป ซึ่งจะไม่มีผลต่อการทำงานปกติเพราะมันไม่สัมพันธ์กับกราวด์ ส่วนออปแอมตัวที่ 2 ใช้ปรับ โวลต์เดท เช่น จีทีวีดี (voltage sensitivity) และมีอินพุตริซิสแตนซ์ (resistance) $R_1 = bR$ เมื่อ b เป็นตำแหน่งบน โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) มีค่าตั้งแต่ 0-1



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรชาร์จแอมป์ไฟเออร์ซึ่งต่ออยู่กับเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

มีค่า R_f และ C_f โดย R_f มีผลน้อยมากต่อระบบ (สังเกต เราต้องรักษาจุดต่อเชื่อมให้สะอาดอยู่เสมอ เพื่อที่จะได้ไม่มีค่าความต้านทานต่ำไปขนานกับ C_f เพราะความสกปรกเป็นเหตุให้การวัดมีความผิดพลาดมาก) เกเบิ้ล มีค่าคาปาซิแตนซ์, C_c ส่วนออปแอมมีค่าคาปาซิแตนซ์, C_u เพราะฉะนั้นในส่วนแรกมี $C_{total} = C_f + C_c + C_u$ ได้สมการดิฟเฟอเรนเชียล ดังนี้

$$b \left(\frac{C}{G_1} + C_f \left(1 + \frac{1}{G_1} \right) \right) E + b \left(1 + \frac{1}{G_1} \right) \frac{E}{R_f} = S_q a \quad \text{-----}(4)$$

เมื่อ G_1 เป็น โอเพนลูปเกน

b เป็น ค่าความต้านทานของเกน ของ ออปแอมตัวที่ 2

สามารถลดรูปสมการที่ (4) ได้เป็น $E + \frac{E}{R_f C_{eq}} = \left(\frac{S_q}{b C_{eq}} \right) a$ -----(5)

ค่าประจุสมมูล $C_{eq} = \frac{C}{G_1} + C_f = C_f \left(1 + \frac{C}{C_f G_1} \right)$ -----(6)

จากสมการที่ (6) C มีผลน้อยมากในการวัด เพราะว่า $C/C_f G_1$ น้อยมากเมื่อ

เทียบกับ 1 และ $G_1 \gg 100,000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$C_{eq} = C_f$$

สมการที่ (5) ได้ว่า

$$E + E/R_f C_f = (S_q/bC_f)\alpha \quad \text{-----}(7)$$

จากปริมาณข้างต้น ได้ค่าโวลต์เดทเซ็นซิวิตี เป็น

$$S_v = (S_q/b)(1/C_f) = S_q^*/C_f \quad \text{-----}(8)$$

S_q เป็นค่าความไวในการสร้างประจุมาตรฐาน จากสมการที่ (8) ตัวแปรที่สำคัญคือ b และ C_f , b ใช้เปลี่ยนค่า $S_q \rightarrow S_q^*$ โดยทำให้ b มีค่าเป็นจำนวนเท่าของ S_q ทำให้ S_q^* มีค่า 1, 10, 100 pC/unit เมื่อกำหนดค่า b จะหา C_f ที่ทำให้ช่วง S_v กว้างขึ้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่ b มีค่า 10 ถึง 50,000 pC ตามลำดับ 1, 2, 5, 10

ผลตอบสนองของความถี่อินพุต,เอาต์พุต (Input , Output Frequency Response) ของ ทรานสดิวเซอร์ จะกำหนดโคไซน์มูคิวว่า $A = A_0 e^{j\omega x}$ และ เอาท์พุต $E = E_0 e^{j\omega x}$ แทนค่าลงในสมการที่ (7), (8) ได้

$$E_0 = \left(\frac{jR_f C_f \omega}{1 + jR_f C_f \omega} \right) S_v a_0$$

เมื่อ

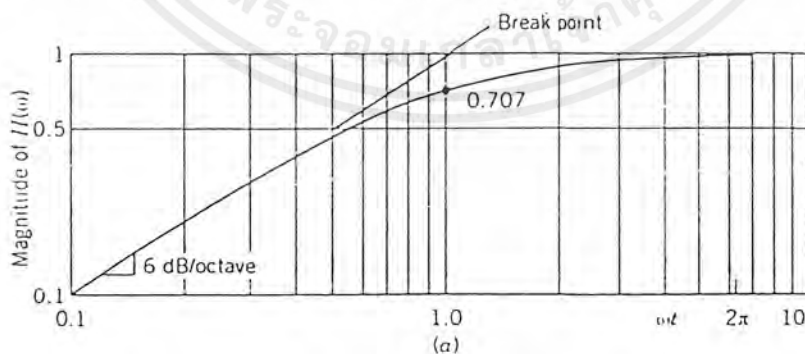
$R_f C_f$ = ค่าเวลาคงที่ (time constant) ซึ่งเป็นไปตาม FRF

$$\begin{aligned} H(\omega) &= \frac{E_0}{S_v a_0} = \frac{jR_f C_f \omega}{1 + jR_f C_f \omega} \\ &= \left(\frac{\omega \times T}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \right) e^{j\theta} \end{aligned} \quad \text{-----}(9)$$

เมื่อ

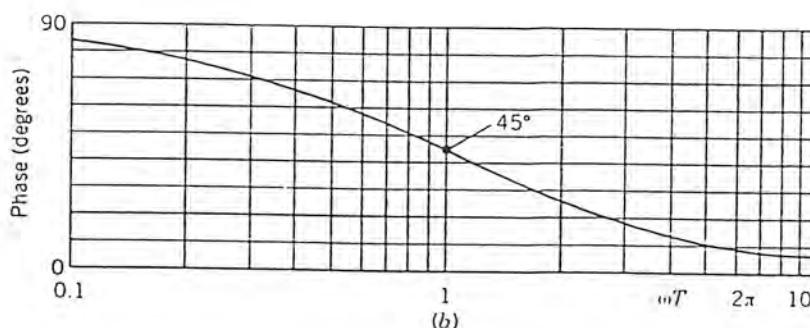
$$T = R_f C_f, \quad \theta = (T/2) - \tan(T\omega)$$

นำสมการที่ (9) มาเขียนโบดพอด (Bode Plot) ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโบดโคอะแกรมของเพียโซอิเล็กทริก ที่ความถี่ต่ำ (piezoelectric low frequency)

โดย (a) เขียนกราฟโดยใช้สเกลล็อก (Logmagnitude plot)



รูปที่ 2.8 แสดงโบคไดอะแกรมของเพียโซอิเล็กทริก ที่ความถี่ต่ำ (piezoelectric low frequency)

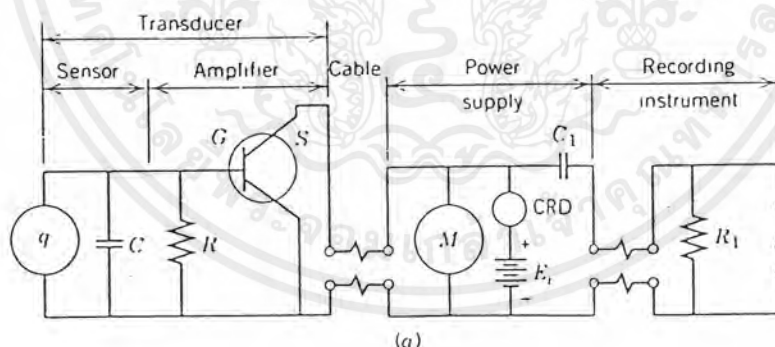
โดย (b) เขียนกราฟโดยใช้ลินเนียร์ล็อก (Linear log phase plot)

สังเกต เส้นแอสซิมโทต (Asymptote) มีความชัน 6 dB/octave คัดเส้นเกณฑ์ 1 เป็นจุดเบรกพอยต์ (break point)

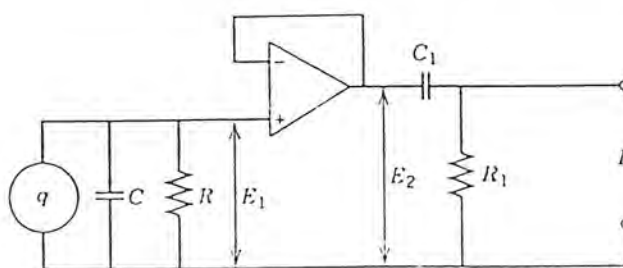
ซาร์จแอมป์ไฟเออร์ มีข้อได้เปรียบหลายประการ คือ

- (1). สมรรถนะของระบบถูกควบคุมโดย ค่าคาปาซิแตนซ์, C , และค่าความต้านทานภายใน, R_i ซึ่งไม่ ขึ้นกับ C ของทรานสดิวและเคเบิล
- (2). เอาท์พุตโวลต์เคต เช่นชิตวิตี ทำเป็นค่าต่างๆ เช่น 1, 10, 100 โดยการปรับตำแหน่งของ b
- (3). ช่วงของ โวลต์เคต เช่นชิตวิตี ปรับได้ด้วย C_i

(2.4.4) บิวท์อินโวลต์เคตฟอลโลเวอร์ (Built in voltage follower)



(a)



(b)

รูปที่ 2.9 แสดงระบบทรานสดิวเซอร์ของวงจรบิวท์อินโวลต์เคตฟอลโลเวอร์ โดย (a) วงจรไฟฟ้า

(b) วงจรไฟฟ้าสมมูลย์ (equivalent circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิวท์อินโวลต์เตจฟอโรเวอร์ จะสร้างมาคู่กับ ทรานสดิวเซอร์ โดยอยู่ในตัวกล่อง เลข จากรูปที่ 2.9 มีสายเคเบิล 2 เส้นเชื่อม วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า กับ แอมป์ไฟเออร์ และกับเร การบันทึกค่า (recording) ถ้าเคเบิลมีค่าความจุ C ถูกจำกัดจากผลของคาปาซิแตนซ์ทางเอาต์พุต (อิมพีแดนซ์มีค่าต่ำ) ด้านบิวท์อินโวลต์เตจฟอโรเวอร์ทั้ง C และ R ของแอมพลิไฟเออร์ จะไม่มีผล กระทบจากสิ่งแวดลอม เช่น อุณหภูมิ เพราะส่วนประกอบทั้ง 2 อยู่ข้างใน กล่องทรานสดิว เซอร์(Transducer housing) และค่าทั้งสองให้ค่าโวลต์เตจเซ็นซิวิตี

จากรูปที่ 2.9 (a) อธิบายโดยวงจรไฟฟ้าสมมูล ได้ดังรูป (b) มอสเฟตแอมพลิไฟเออร์ (MOSFET Amplifier) ถูกแทนที่ด้วย โวลต์เตจเกน 1 ที่มีสมการคิฟเฟอเรนเชียล ด้านอินพุต คือ

$$E_i + (E_i / RC) = S_q / Ca = S_v \alpha \quad \text{-----(10)}$$

$$\text{ทางด้านเอาต์พุต คือ } E + (E / R_1 C_1) = E_2 = E_1 \quad \text{-----(11)}$$

แทนสมการที่ (10) ลงในสมการที่ (11) ได้

$$H(\omega) = \frac{CE_0}{S_q \alpha_0} = \left(\frac{jRC_1 \omega}{1 + jRC_1 \omega} \right) \left(\frac{jRC \omega}{1 + jRC \omega} \right) \quad \text{-----(12)}$$

โดย $T = RC$ และ $T_1 = R_1 C_1$

T ควรจะมีค่ากว้างมาก แต่อย่างไรก็ดีกระแสแอมพลิไฟเออร์ จะถูกจำกัดด้วยค่า R และโวลต์เตจ เซ็นซิวิตี (สมการที่ 10) กำหนดค่า C , T จะอยู่ในช่วง 0.5-2,000 วินาที ค่า เวลาคงที่ภายนอก T_1 ถูกควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ C_1 ถูกกำหนดโดยเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ 10 ไมโครฟารัด และค่า R_1 ถูกเลือกโดยผู้ใช้ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-1 เมกกาโอห์ม เพราะฉะนั้น T_1 อยู่ ในช่วง 0.1-10 วินาที มีขนาดและเฟสตามสมการที่ (12)

บิวท์อินโวลต์เตจฟอโรเวอร์ มีประโยชน์ ดังนี้

- (1). กำหนดค่า S_v เพราะฉะนั้น โวลต์เตจเกน , ช่วงสวิดซ์ ให้ปรับได้
- (2). ค่าความจุของเคเบิลและความยาว ไม่มีผลต่อเอาต์พุต
- (3). สัญญาณมีโวลต์เตจสูงและสัญญาณรบกวนต่ำ
- (4). วงจรจ่ายพลังงาน สามารถเปลี่ยนเป็นแบตเตอรี่ได้
- (5). ต่อโดยตรงกับอุปกรณ์ภายนอกที่สามารถอ่านค่าได้

2.5 ผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient response)

แบ่งตามชนิดของโหลดได้ดังนี้

(2.5.1) ผลตอบสนองของวงจรเพียโซอิเล็กทริกต่อสัญญาณชั่วขณะ

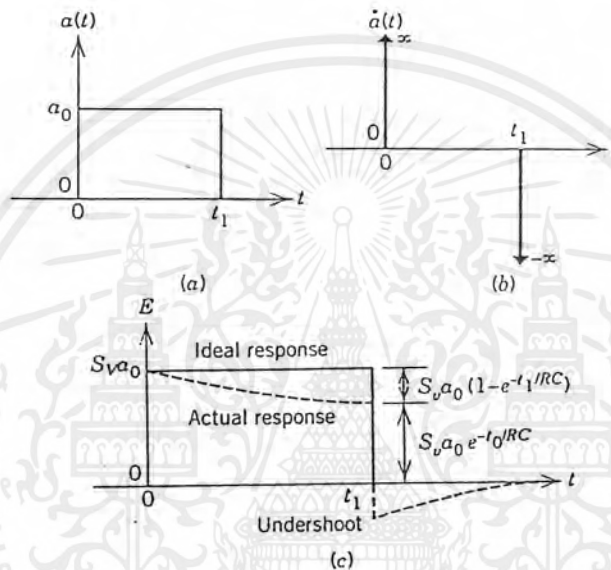
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ DC จะถูกจำกัดออกเหลือเฉพาะ สัญญาณ AC สมการลักษณะของการขยายประจุเป็นดังนี้

$$E + \frac{E}{RC} = S_v a \quad S_v a$$

เมื่อ S_v คือ โวลต์เคตเซ็นซิวิตี ได้คำตอบดังนี้

$$E = S_v e^{(-t/RC)} \int_0^t e^{(-\partial/RC)} a(\partial) d\partial \quad \text{-----(13)}$$



รูปที่ 2.10 แสดงผลตอบสนองของอาร์ซีแอมพลิไฟเออร์ ต่อสัญญาณอินพุต (a) เพลาต์ชั่วขณะ (transient pulse) , (b) อนุพันธ์ของเพลาต์ (derivative of pulse) และ (c) แรงดันค่านออก(output voltage)

พิจารณาการลดทอนที่ สัญญาณความถี่ต่ำ โดยให้สเตปอินพุต (input step) คาบเวลา T_1 ตามรูปที่ 2.10 (a) สมการที่ (13) นำไปหาอนุพันธ์ของอินพุต และแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 (b) ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการ

$$a' = a_0 \delta(\partial) - a_0 \delta(\partial - t_1) \quad \text{-----(14)}$$

แทนสมการที่ (14) ลงในสมการที่ (13) ได้

$$E = S_v a_0 [(u(t)e^{(-t/RC)} - u(t-t_1)e^{-(t-t_1)/RC})] \quad \text{-----(15)}$$

รูปที่ 2.10 (c) แสดงผลตอบสนองทางไฟฟ้าของสมการที่ (15) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ Decay $(1 - e^{(-t/RC)})$ และ อันเดอร์ชูท (undershoot) ประมาณค่าความผิดพลาดจากการกระจาย $1 - e^{(-t/RC)}$ ได้

$$\eta_{(max)} = \frac{t_1}{RC} (1 - \frac{1}{2}(\frac{t_1}{RC}) + \frac{1}{6}(\frac{t_1}{RC})^2 - \dots)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่า $\frac{t_1}{RC}$ น้อยๆ $\eta_{(\max)} = \frac{t_1}{RC}$

หรือ $T = RC = \frac{t_1}{\eta_{(\max)}}$

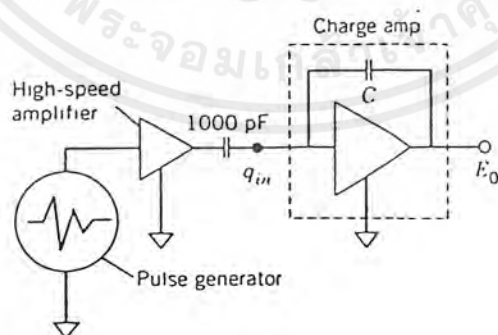
พิจารณาตารางที่ 2.2 พบว่าสัญญาณสามเหลี่ยมจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในการใช้งาน $T = RC$ จะไม่ใช่ค่าคงที่เวลาของเซ็นเซอร์ทั้งหมด แต่จะเป็น $T_c = \frac{T_1 T}{(T_1 + T)}$

ตารางที่ 2.2 แสดงการหาความผิดพลาดจาก T (time constant) ที่รู้ค่า โดยสัญญาณด้านเข้าต่างๆกัน

Pulse Shape	Time Constant		
	2% Error	5% Error	10% Error
Rectangular pulse	$50t_1$	$20t_1$	$10t_1$
Triangular pulse	$25t_1$	$10t_1$	$5t_1$
Half-sine pulse	A: $16t_1$ B: $31t_1$	A: $6t_1$ B: $12t_1$	A: $3t_1$ B: $6t_1$

Source: From J. W. Dally, W. F. Riley, and K. G. McConnell, *Instrumentation for Engineering Measurements*, 2nd ed., copyright © 1993 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission.)

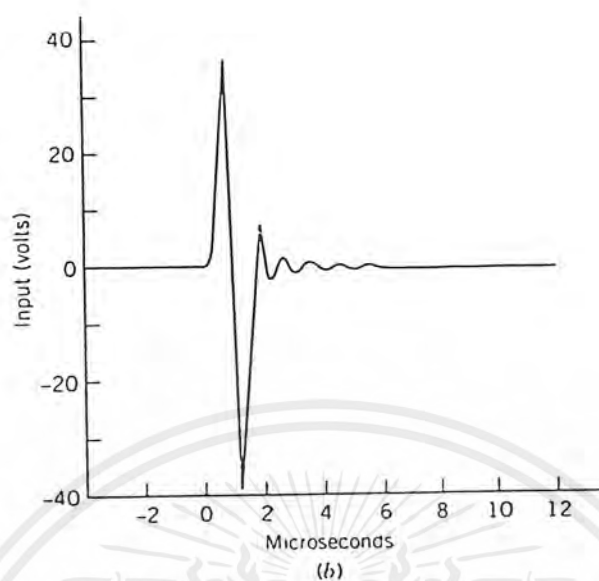
(2.5.2) ผลตอบสนองต่อช็อกโหลด (Response with Shockload)



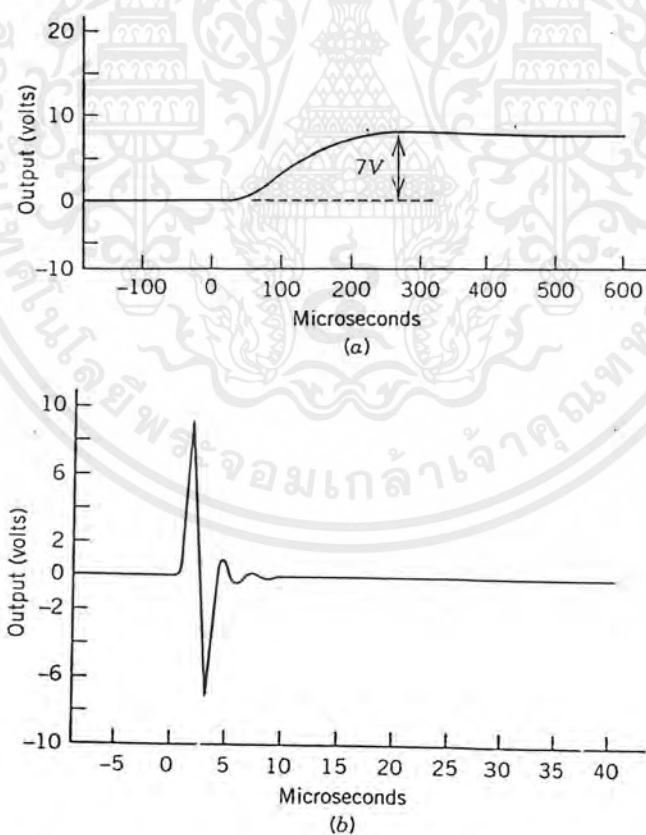
(a)

รูปที่ 2.11 แสดงการทดสอบ ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ โดยสัญญาณช็อก (a) วงจรทดสอบ (test circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

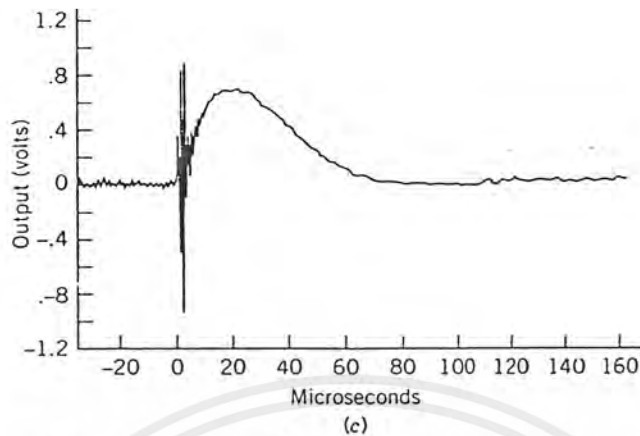


รูปที่ 2.11 แสดงการทดสอบ ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ โดยสัญญาณกระแสแตก (b) รูปแบบคลื่นของแรงดันด้านเข้า (input voltage waveform)



รูปที่ 2.12 แสดงเอาต์พุตของชาร์จแอมพลิไฟเออร์ (a) แบบผลตอบสนองล็อกอัพ (Lock-up Response) , (b) แบบผลตอบสนองเทรคกิ้ง (Tracking Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงเอาต์พุตของชาร์จแอมพลิไฟเออร์ (c) แบบผลตอบสนองของฟิลเตอร์ 10 kHz

ไพโรช็อกโหลด (Pyrochockload) จะมีความถี่สูง ใช้ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ในการหาสัญญาณเอาต์พุตของ "ริงกิ้ง" สไปซ์ ("Ringing" spikes) ที่ความถี่สูง

รูปที่ 2.11 (a) เป็นวงจรที่ให้เอาต์พุตรูปที่ 2.11 (b) พบว่าเอาต์พุตสูงถึง ± 40 โวลต์ในเวลา 1 ไมโครวินาที ความถี่ของโหลดประมาณ 300 กิโลเฮิรตซ์ $C = 1$ ไมโครฟารัด เพื่อสร้างประจุให้กับอินพุต V_{out} จะเป็นคังรูปที่ 2.12 (a) โดยผลตอบสนองที่ดีจะเป็นคังรูปที่ 2.12 (b) และผลตอบสนองที่ถูกลดทอนแสดงในรูปที่ 2.12 (c) โดยใช้ฟิลเตอร์ 10 กิโลเฮิรตซ์ จะเห็นว่า ไม่ใช่ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ทุกตัวจะทำงานได้ดี

2.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ในการออกแบบเซ็นเซอร์ต้องการให้สามารถใช้งานได้ในช่วงกว้าง แต่ปัจจัยภายนอกจะเป็นผลให้ลดประสิทธิภาพการทำงานลง ซึ่งจะกล่าวโดยสรุปดังนี้

(2.6.1) ความเครียดที่ตัวฐาน

การยึดเซ็นเซอร์กับฐาน อาจทำให้เกิดความเครียดบนตัวฐานได้ เช่น ดัดเซ็นเซอร์บนปุ่มที่เกิดขึ้นบนฐาน พื้นผิวที่ไม่เรียบจะก่อให้เกิดเอาต์พุตได้แม้ยังไม่มีอินพุตเข้ามา ตามมาตรฐาน ISO และ ANSI กำหนดให้ความเครียดที่ฐาน อยู่ในระดับ $250 \mu\epsilon$

ในการศึกษาของ แมคคอนเนล (Mc Connell) และ แคปปา (Cappa) พบว่า การลดลงของความเครียดที่ฐาน จะเพิ่มความถี่ธรรมชาติในการสั่นที่ โหลดเดียวกัน

(2.6.2) สัญญาณรบกวนในสายไฟ

แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ สัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็ก , กราวนด์ลูป (ground loop) และ ปรากฏการณ์ ไตรโบอิเล็กทริก (triboelectric effect)

สัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็ก เกิดจากสายไฟฟ้าที่ใช้จ่ายกำลัง ซึ่งมีกระแสมาก จะสร้างสนามแม่เหล็กรอบๆสาย และเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสรบกวนในสายสัญญาณที่อยู่ใกล้ๆ จึงแนะนำให้หุ้มสายสัญญาณและเดินสายห่างจากสายกำลัง และส่วนการส่งกำลังทั้งหมด

กราวด์รูป เกิดจากแรงดัน กราวด์ที่ต่างกันของชาร์จแอมพลิไฟเออร์ และตัวแอ็กซีลิโรมิเตอร์ ทำให้มีกระแสไหล ทั้งที่ไม่มีสัญญาณด้านเข้า วิธีแก้ไข คือ แยกเซ็นเซอร์กับชาร์จแอมพลิไฟเออร์ออกจากกันทางไฟฟ้า หรือพยายามให้ใช้กราวด์ร่วมกัน

ปรากฏการณ์ไครโบอิเล็กทริก เกิดจากการเสียดสีที่เกิดขึ้นในสายเคเบิล อาจเป็นการเสียดสีกัน หรือขาดของแกนสายเคเบิล ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อสายเกิดการขยับตัว

(2.6.3) ความชื้นและความสกปรก

ความชื้นและสิ่งสกปรก บริเวณจุดต่อเชื่อมทั้งหลายจะเป็นสาเหตุให้เกิดการช็อตของวงจร หรือเกิดค่าคาปาซิแตนซ์ที่ไม่ต้องการ และทำให้การวัดผิดพลาดได้ จึงควรทำความสะอาดจุดต่อเชื่อมด้วย อะซิโตนและแอลกอฮอล์ให้สะอาดทุกครั้ง

(2.6.4) การนำทรานสดิวเซอร์ไปวัด

ทำความสะอาดที่วัด และใช้แว็กซ์บางชนิด ทาลงก่อนที่จะนำเซ็นเซอร์เข้าไปวัด ในบางงานจะกำหนดช่วงอุณหภูมิการใช้งานของแว็กซ์นี้ด้วย

(2.6.5) การแผ่รังสีของสารนิวเคลียร์

(2.6.6) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นต้นเหตุของค่าความผิดพลาดมากมาย อย่างแรก คือ มีผลกับเซ็นซิวิตีของเซ็นเซอร์ สองมีผลกับ S_v โดยการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้ S_v เปลี่ยนแปลงด้วย สามอุณหภูมิที่สูงมากๆอาจทำลายคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ โดยทั่วไปจะทนความร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส ถ้าสูงกว่านี้สารเพียโซอิเล็กทริกจะกลายเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดขั้ว และจะเกิดการเสียหายถาวร

(2.6.7) มวลของทรานสดิวเซอร์

ถ้ามากเกินไปอาจก่อให้เกิดความถี่ธรรมชาติของตัวเองขึ้น และถ้ามวลของโหลดที่สัมผัสค่าใกล้เคียงกับตัวมัน จนทำให้ความถี่ธรรมชาติ ลดลง 2 ถึง 3 % ควรลดน้ำหนักทรานสดิวเซอร์ลง

(2.6.8) ความไวทางคานขวางของเซ็นเซอร์

จากบทก่อนๆที่กล่าวแล้ว จะเห็นได้ว่า เราควรหลีกเลี่ยงการเกิดแรงเฉือนบนตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งอาจมาจากความยืดหยุ่นของฐานหรือโครงสร้าง

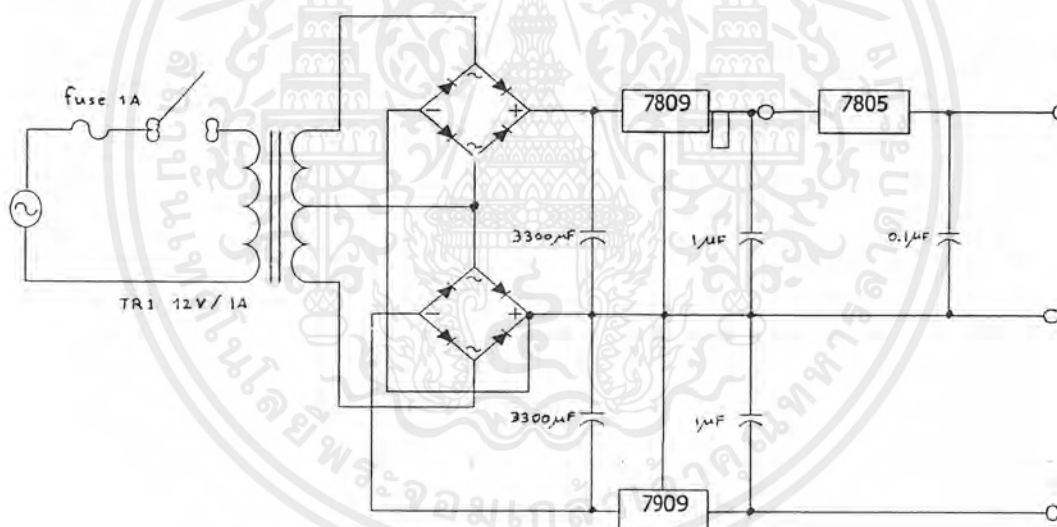
3. การคำนวณและการสร้าง

แบ่งส่วนประกอบทั้งหมดออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ฮาร์ดแวร์(Hardware) ประกอบด้วย วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า, เซ็นเซอร์ , ไมโครคอนโทรลเลอร์ , และส่วนแสดงผล อีกส่วนคือ ซอร์ฟแวร์ (Software) ประกอบด้วย ส่วนตรวจจับสัญญาณ , ส่วนคำนวณ และส่วนแสดงผล

3.1 ฮาร์ดแวร์

(3.1.1) วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า

การใช้งานในส่วนนี้ ต้องจ่ายพลังงานให้วงจร 2 ส่วน โดยส่วนแรก คือ วงจรเซ็นเซอร์ ต้องจ่ายแรงดันให้ ± 9 โวลต์ และส่วนที่สอง คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนแสดงผล ต้องจ่ายแรงดันให้ $+5$ โวลต์ ได้วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้า

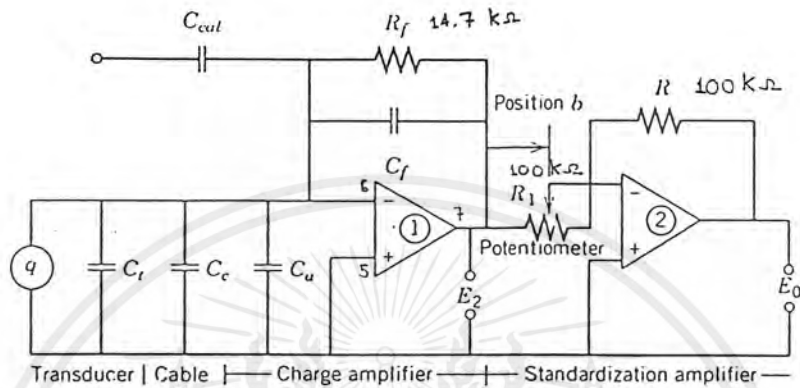
จากรูป หม้อแปลง T_1 ขนาด 220/12 โวลต์ , 0.5 แอมแปร์ จ่ายไฟกระแสสลับผ่าน วงจรเรียงกระแส (rectifier) เกิดริปล (Ripple) เล็กน้อย ประมาณ 2 % แล้วนำไปต่อผ่านวงจรคงค่าแรงดัน (regulator) เบอร์ 7809 และ 7909 เพื่อปรับแรงดันลงเป็น $+9$ โวลต์ และ -9 โวลต์ ตามลำดับ หลังจากนั้นต่อวงจรคงค่าแรงดัน 7805 เพื่อปรับแรงดันลงเป็น $+5$ โวลต์ เพื่อนำไปใช้ต่อไป

(3.1.2) เซ็นเซอร์

จากลักษณะการสร้างประจุของสารเพียโซอิเล็กทริก และ ความต้านทานกระแส

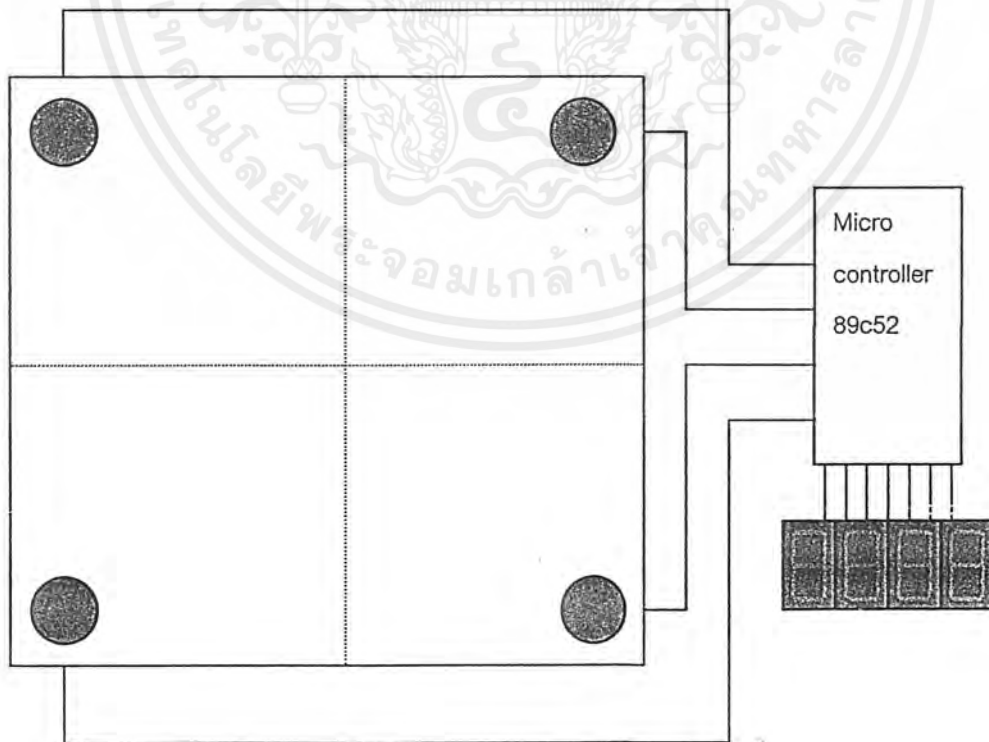
ไฟตรงขณะที่ยังไม่มี การสร้างประจุมีค่าสูงมาก จึงออกแบบสร้างวงจรโวลต์เคฟอโรเวอร์ โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้มอสเฟต ที่มีค่าความต้านทานภายในสูง จากคอนเดนเซอร์ (condensor) ของไมค์โครโฟน ซึ่งสามารถส่งแรงดันออกมา ผ่านวงจรขยายปรับค่าได้ขยายสัญญาณให้มีค่าโวลต์เตตสูง พอที่จะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ต่อไป ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงวงจร ชาร์จแอมพลิไฟเออร์

ในการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่นั้น ต้องใช้เซ็นเซอร์ทั้งหมด 4 จุด ดังรูปที่ 3.3 เพื่อจะตรวจจับสัญญาณได้ ในเวลาต่างๆกัน และนำผลต่างของสัญญาณส่งเข้าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณต่อไป

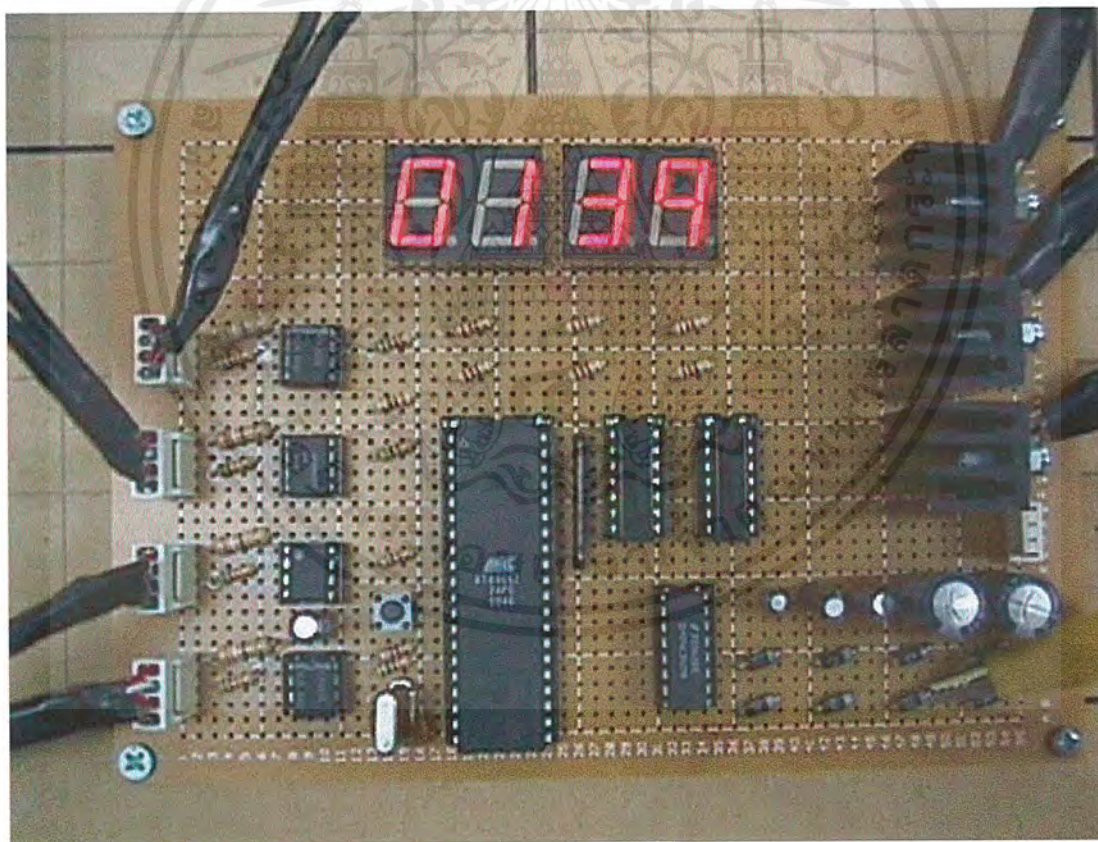


รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3.1.3) ไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณจากเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัวที่ได้ จะผ่านวงจรเปรียบเทียบ (comparator) โดยสัญญาณที่มีขนาดมากกว่า 0.1 โวลต์ จะมีค่าลอจิก 1 และวงจรเปรียบเทียบจะสร้างสัญญาณขนาด 5 โวลต์ และส่งไปยังพอร์ต 1 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการคำนวณ ได้ค่าตำแหน่งของวัตถุ และส่งค่าที่ได้ออกมาทางพอร์ต 0 ซึ่งมีค่าความต้านทานแบบพูลอัพ (R pull up) ขนาด 10 กิโลโอห์ม ต่ออยู่ พอร์ต 0.0 ถึง 0.3 เป็นรหัสฐานสอง ของเลขตำแหน่งในแต่ละหลักของส่วนแสดงผล ส่วน พอร์ต 0.4 ถึง 0.7 เป็นพอร์ตที่ใช้ในการกระตุ้นให้แต่ละหลักของแสดงผลทำงาน ค่ารหัสฐานสอง ที่ออกจาก พอร์ต 0.0 ถึง 0.4 จะเข้าสู่วงจรแปลงรหัสฐานสองเป็นรหัส 7 เซกเมนต์ ทั้ง 7 ตัวและผ่าน อินเวอร์สเตอร์ (เพราะใช้ 7 เซกเมนต์แบบคอมมอนแคโทด common cathode) ก่อนที่จะเข้าสู่จอ 7 เซกเมนต์ และแสดงผลตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ที่ทำได้ต่อไป



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

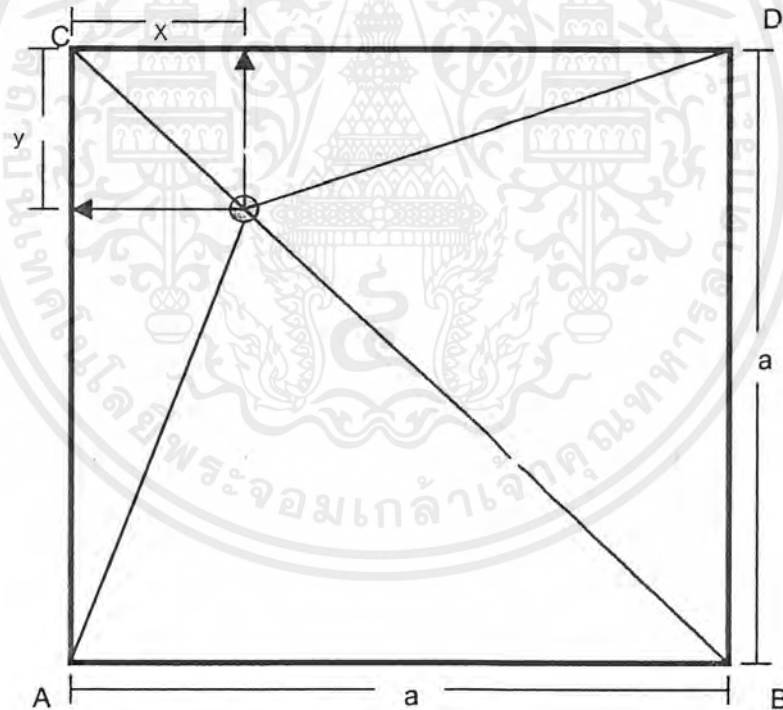
3.2 ซอร์พแวร์

(3.2.1) ส่วนตรวจจับสัญญาณ

การกระตุ้นของสัญญาณในเซ็นเซอร์แต่ละตัวนั้น ไม่พร้อมกัน ในส่วนนี้จึงใช้การวนรูป เพื่อเช็คหาการกระตุ้นครั้งแรกของสัญญาณก่อน แล้วจึงเริ่มจับเวลา เมื่อสัญญาณถูกที่ 2 , 3 และ 4 เดินทางมาถึงเซ็นเซอร์ตัวที่เหลือ จะเกิดการกระตุ้นของสัญญาณเพื่อเก็บค่าเวลาที่ได้ (จะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับระยะห่างของจุดที่วัดมุมมีการเคลื่อนที่กับตำแหน่งของเซ็นเซอร์แต่ละตัว) เก็บค่าที่ได้ไว้ในตัวแปร `anss_3` ถึง `anss_8` จัดเก็บค่าตัวแปรใหม่เพื่อที่จะส่งไปยังภาคคำนวณ พร้อมทั้งส่งค่าสถานะ (เก็บในตัวแปร `stts`) เพื่อบอกลำดับก่อนหลังของสัญญาณด้วย

(3.2.2) ส่วนการคำนวณ

จากข้อมูลของความแตกต่างในเชิงเวลาของเซ็นเซอร์แต่ละตัว สามารถนำมาคำนวณโดยอาศัยหลักการพื้นฐานดังที่จะอธิบายต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 แสดงแบบจำลองระนาบที่รองรับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ และตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

จากรูปคำนวณได้ดังนี้

$$|CO|^2 = (Vt_c)^2 = X^2 + Y^2$$

$$|AO|^2 = V^2(t_c + t_a)^2 = X^2 + (A - Y)^2$$

$$|DO|^2 = V^2(t_c + t_d)^2 = (A - X)^2 - Y^2$$

$$|BO|^2 = V^2(t_c + t_b)^2 = (A - X)^2 + (A - Y)^2$$

$$V^2(2t_c t_a + t_a^2) = A^2 - 2AY$$

$$V^2(2t_c t_d + t_d^2) = A^2 - 2AX$$

$$V^2(2t_c t_b + t_b^2) = 2A^2 - 2A(X + Y)$$

$$2t_c t_a + t_a^2 + 2t_c t_d + t_d^2 = 2t_c t_b + t_b^2$$

$$t_c = \frac{t_b^2 - (t_a^2 + t_d^2)}{2(t_a + t_d - t_b)}$$

$$t_c = \frac{t_a t_d}{t_a + t_d - t_b} - \frac{t_a + t_d + t_b}{2}$$

ขั้นต่อไปนำค่า t_c ที่ได้มาคำนวณหาค่า X, Y ดังนี้

$$\text{จาก } V^2 t_d^2 + 2V^2 t_c t_d = A^2 - 2AX$$

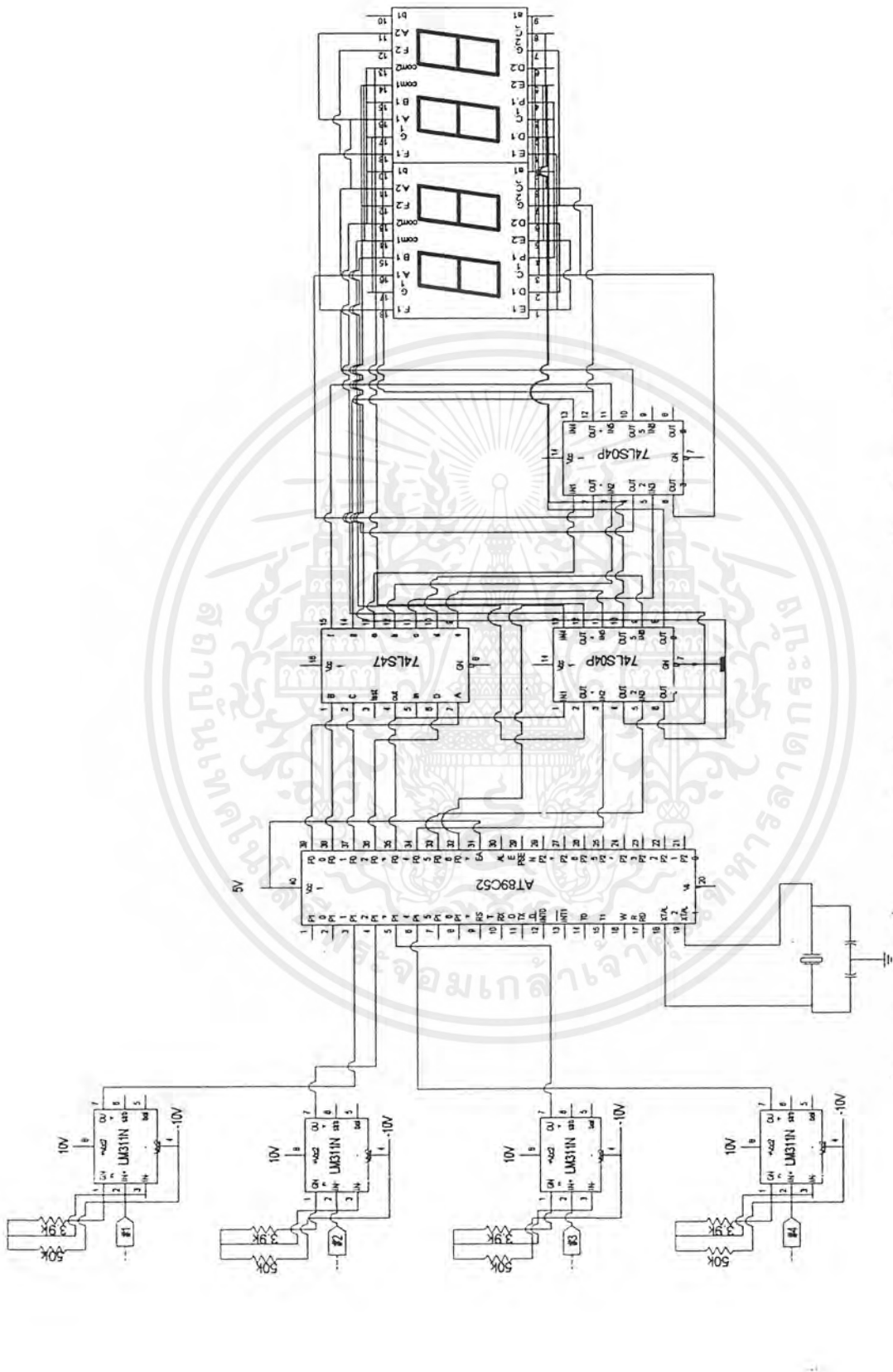
$$X = \frac{A}{2} - \frac{V^2(t_d^2 + 2t_c t_d)}{2A}$$

$$Y = \frac{A}{2} - \frac{V^2(t_a^2 + 2t_c t_a)}{2A}$$

นำข้อมูลที่ได้จากส่วนแรกมาทำการคำนวณในลักษณะเดียวกับข้างต้น จากนั้นทำการหาค่าพิคัดจริงบนระนาบ แล้วส่งผลที่ได้ไปยังโปรแกรมส่วนแสดงผลต่อไป

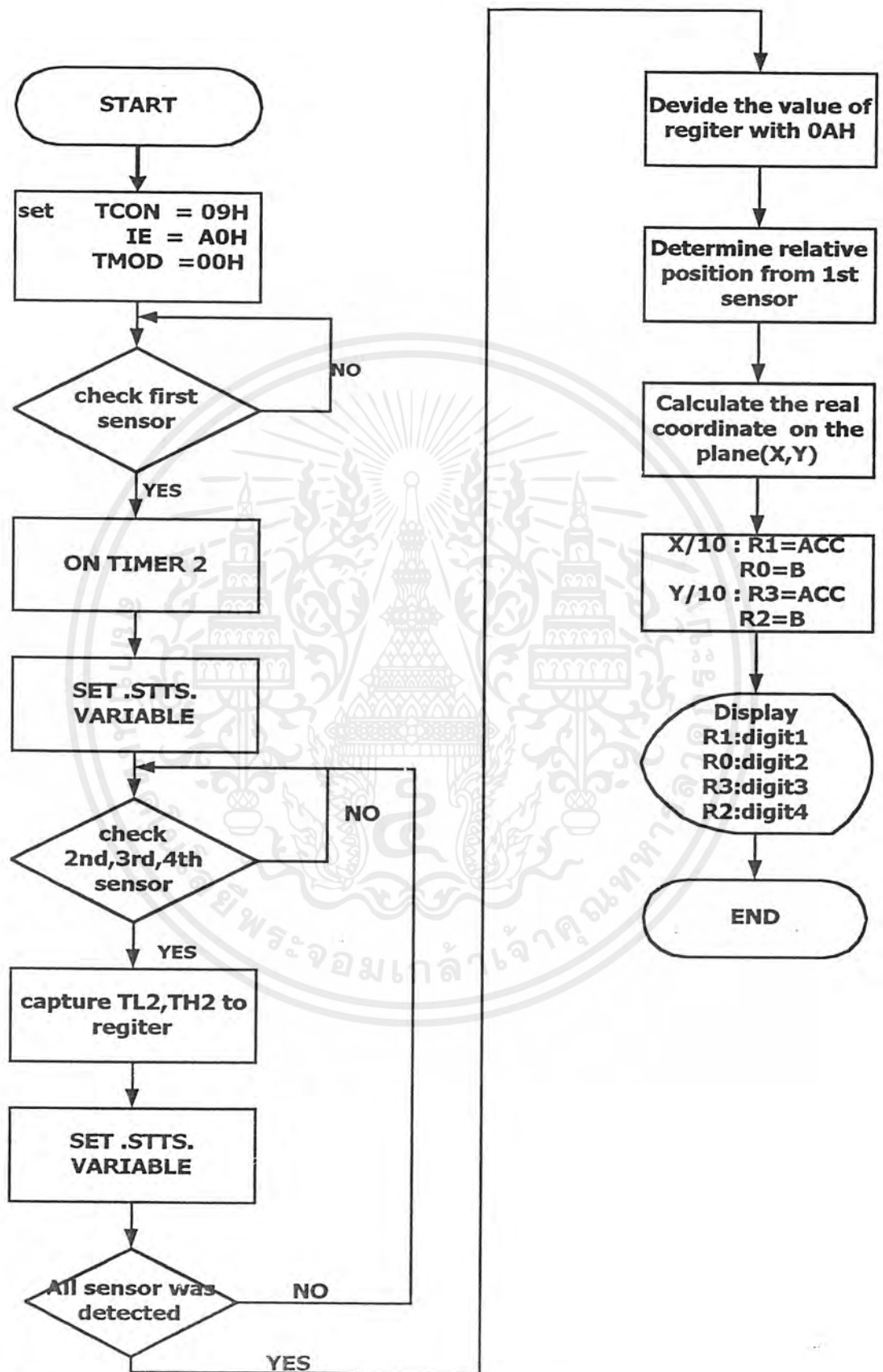
(3.2.3) ส่วนแสดงผล

เนื่องจากค่าพิคัดที่หาได้นั้น จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 99 ดังนั้นจึงใช้ 10 หาร แล้วให้ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในหลักแรก และเศษแสดงในหลักที่สองของส่วนแสดงผล และทำในลักษณะเดียวกันนี้กับพิคัดในแกน Y และทำการวนรูปคำตอบที่ได้เพื่อการแสดงผลที่ 7 เซกเมนต์



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรทั้งหมดของอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ ไมโครโปรเซสเซอร์ และส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงโฟลชาร์ด (Flow Chard) การทำงานของโปรแกรม

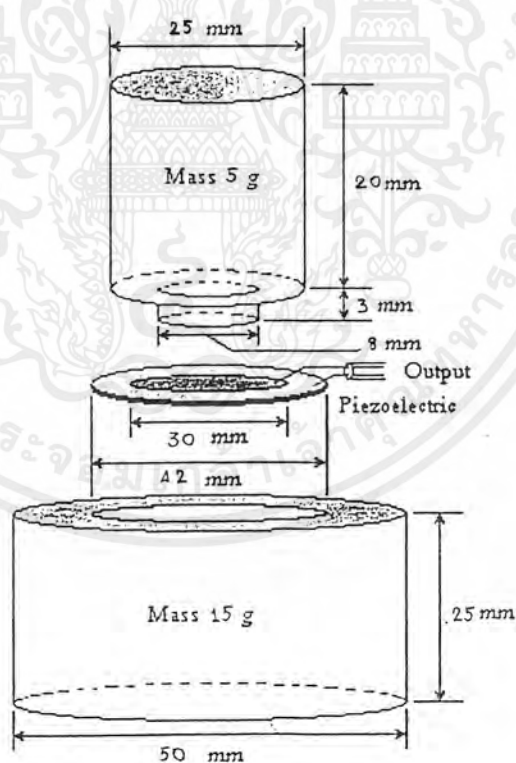
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุปและวิจารณ์

ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณนี้ พบปัญหาซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

4.1 ทางกล

ในการดักจับสัญญาณด้วยเซ็นเซอร์ ยังพบว่าเซ็นเซอร์ต้องมีการออกแบบส่วนขยายสัญญาณทางกลด้วยเพราะตัวเซ็นเซอร์ไม่มีมวลมากพอในการเปลี่ยนรูปร่าง เพื่อสร้างสัญญาณที่มีโวลต์เคตสูงมากพอ จึงแก้ไขด้วยการทำการออกแบบส่วนขยายทางกลขึ้น คือเพิ่มมวลที่ฐานและมวลที่ด่วงด้านบนของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ดังรูปที่ 4.1 อีกส่วนหนึ่งคือ สัญญาณรบกวนจากภายนอก เช่น ลม , การสะเทือนของอุปกรณ์รอบข้าง เป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เซ็นเซอร์รับได้ จึงแก้ไขโดยการสร้างกล่องครอบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณไว้ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

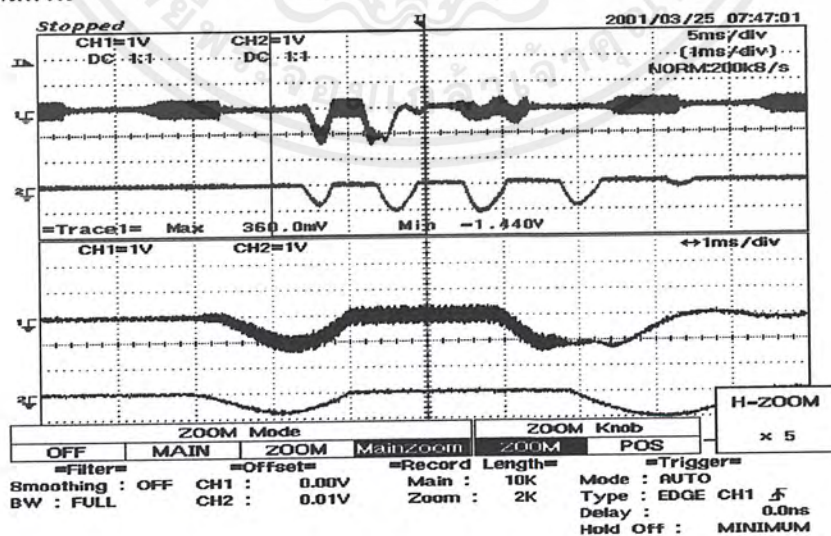


รูปที่ 4.1 แสดงขนาดและส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ



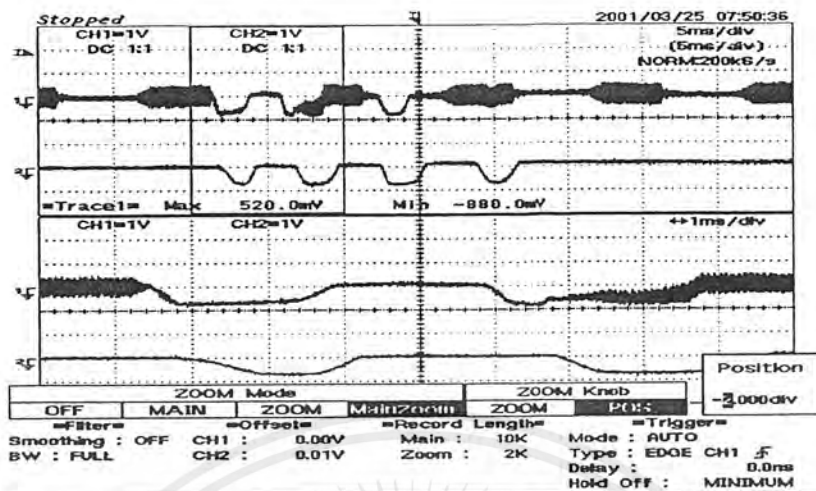
รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (ที่ใช้จริง)

เมื่อสัญญาณสั่นสะเทือนเคลื่อนที่ในเนื้อไม้ ซึ่งเป็นระบบที่มีความเร็วของคลื่นในเนื้อไม้ สัมพันธ์กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้น , อุณหภูมิ , ความหนาแน่น เป็นต้น จะนั้นในการใช้งานแต่ละครั้งจึงต้องทำการปรับค่า(แคลิเบรต)ทุกครั้ง การปรับค่าความไวในการรับสัญญาณของเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัว เริ่มจากเปรียบเทียบสัญญาณที่เซ็นเซอร์แต่ละคู่ได้รับ เมื่อตำแหน่งเซ็นเซอร์ทั้งสองห่างจากตำแหน่งวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนเท่ากัน โดยการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์แต่ละคู่ได้ผลดังนี้

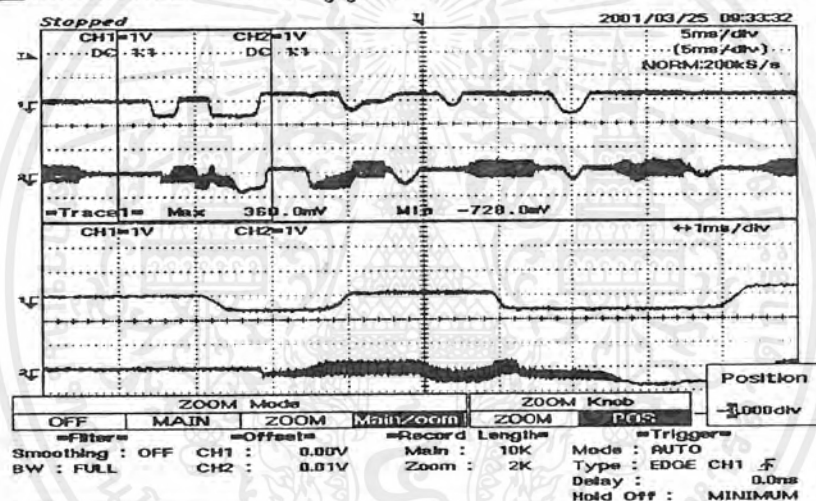


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 2 ได้รับ

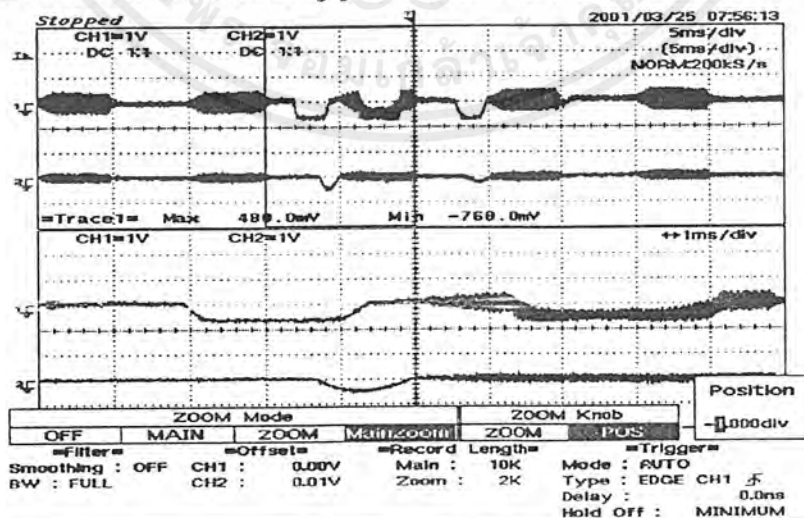
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 และ 3 ได้รับ



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 และ 4 ได้รับ



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 4 ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมา เมื่อทราบว่าเซ็นเซอร์ตัวใดมีความไวในการรับสัญญาณมาก หรือ น้อยกว่า นำค่าผลต่างที่หาได้ไปเพิ่มค่าหรือหักออก เพื่อให้ความไวในการรับสัญญาณของเซ็นเซอร์ทุกตัวเท่ากัน ซึ่งทำได้โดยการเขียนโปรแกรม

4.2 วงจรไฟฟ้า

เนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารเพียโซอิเล็กทริก คือ มีค่าความต้านทานภายในสูงมาก ทำให้วงจรขยายสัญญาณที่นำมาต่อมัน ต้องออกแบบให้มีค่าความต้านทานภายในสูงด้วยเช่นกัน เพื่อที่จะได้รับสัญญาณจากเพียโซอิเล็กทริกได้ ซึ่งจากการศึกษาและทดลองพบว่า ควรใช้คอนเดนเซอร์เซอร์ (condensor) ของไมโครโฟนขนาดเล็ก (ไม่คัลอย)

นอกจากนั้นยังมีสัญญาณรบกวนจากภาคกำลังด้วย จึงต้องแยกวงจร , สายส่งสัญญาณออกจากกัน และสัญญาณที่ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องมีความต่างศักย์สูงกว่า 3.5 โวลต์ (เมื่อเทียบกับกราวด์) จึงต้องใช้วงจรเปรียบเทียบกับเพื่อปรับระดับสัญญาณก่อนเข้าพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ในที่นี้ คือ พอร์ต 1

4.3 การคำนวณและ โปรแกรม

ปัญหาจะเกิดกับการใช้งานในบางคำสั่ง เช่น คำสั่งที่ทำงานกับข้อมูลทำได้เพียงครั้งละ 2 ไบต์ เท่านั้น จึงทำให้ต้องลดความละเอียดในการคำนวณลง ซึ่งตำแหน่งของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

และในการใช้ภาษาแอสเซมบลีคำนวณทางคณิตศาสตร์ ต้องเขียนโปรแกรมเองทุกขั้นตอน โปรแกรมที่ได้จึงมีขนาดใหญ่และซับซ้อน อีกทั้งใช้เรขาคณิตเป็นพื้นฐานในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ ซึ่งหากเกิดการผิดพลาดกับสัญญาณตัวใดตัวหนึ่ง อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ในบางกรณีจึงต้องทำการทดสอบหลายๆครั้งเพื่อหาคำคำตอบที่ถูกต้องที่สุด

4.4 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองโดยใช้การจำลองการทำงาน หรือ ซิมูเลท (simulate) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก เนื่องมาจากในการจำลองการทำงานนั้น มีคุณลักษณะของเซ็นเซอร์ทุกตัวเหมือนกันหมด จึงเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ แต่จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี จากการเลือกสุ่มตำแหน่งของวัตถุตกทั้ง 14 ตำแหน่ง พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนบ้าง แต่น้อยมาก (โดยเฉพาะในตำแหน่งที่ไม่ใช่ขอบของระนาบ) ได้ผลดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการสั้น
สะท้อนโดยการจำลองการทำงาน

พิกัด(X,Y)	T1	T2	T3	T4	STTS	T2-T1	T3-T1	T4-T1	Result
(0,0)	0	100	100	141	1B	100	100	100	(1,1)
(20,0)	20	80	101	128	1B	60	82	108	(25,08)
(50,0)	50	50	111	111	1B	0	61	61	(50,08)
(90,0)	10	90	100	134	4E	80	90	124	(90,02)
(0,30)	30	70	104	122	27	40	74	92	(01,31)
(50,30)	58	58	86	86	1B	0	27	27	(50,35)
(100,30)	30	70	104	122	72	40	74	92	(99,31)
(50,50)	70	70	70	70	1B	0	0	0	(50,50)
(0,80)	20	80	101	128	8D	60	81	108	(08,75)
(30,90)	31	70	94	114	B1	39	63	82	(30,89)
(45,85)	47	57	96	101	B1	9	48	53	(45,86)
(75,90)	27	75	93	117	E4	48	66	90	(74,89)
(95,20)	20	80	97	124	72	59	76	103	(92,22)
(65,75)	43	69	82	99	E4	26	39	56	(67,78)

เมื่อ T1 , T2 , T3 , T4 คือ เวลาที่สัญญาณการสั้นสะท้อนเดินทางจากจุดที่วัตถุตกมาถึง
เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 , 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ

STTS คือ ค่าที่บอกสถานะว่าเซ็นเซอร์ตัวใดได้รับสัญญาณเป็นตัวที่ 1 , 2 , 3
และ 4 โดยกำหนดให้ 2 bit แรกแทนสถานะของเซ็นเซอร์ที่ได้รับ
สัญญาณเป็นตัวที่ 1 ส่วน 2 bit ต่อมาแทนสถานะของเซ็นเซอร์ตัว
ที่ 2 จนครบทั้ง 8 bit โดยกำหนดให้สถานะของเซ็นเซอร์ A , B , C
, D คือ 00 , 01 , 10 และ 11 ตามลำดับ

เมื่อทำการปรับค่า เพื่อให้ความไวในการรับสัญญาณของเซ็นเซอร์แต่ละตัวใกล้เคียงกัน พบว่า แม้
จะมีการปรับค่าแล้ว แต่ค่าตำแหน่งที่ได้ยังมีความผิดพลาดบ้าง (แต่น้อยมาก) ซึ่งเกิดจากปัจจัยอื่นๆ
ที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความแม่นยำในการปล่อยวัตถุคบนระนาบของผู้ทดลอง , ลักษณะ
ทางกายภาพของแต่ละจุดของระนาบไม่เหมือนกัน (ความโค้ง , เงาของระนาบ , ความชื้นในเนื้อ
ระนาบ) ซึ่งทำให้การเดินทางของสัญญาณคลาดเคลื่อนไปได้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

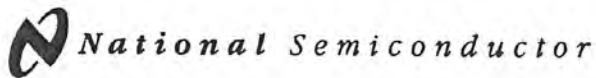
5. แนวทางการพัฒนา

สรุปแนวทางการพัฒนาต่อไปนี้

- (1). อาจเปลี่ยนอัลกอริทึมในการคำนวณใหม่ เพื่อให้ได้ผลการหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ได้แม่นยำและรวดเร็วกว่าเดิม
- (2). ในที่นี้ใช้ภาษาแอสเซมบลีการคำนวณ อาจยุ่งยาก สามารถเปลี่ยนมาใช้ภาษาอื่น หรือเปลี่ยนการคำนวณแบบอื่น เช่น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่น หรือ ใช้การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ เป็นต้น
- (3). การจับเวลาเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณถูกกระตุ้นนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วคลื่นในเนื้อไม้ที่ใช้ทำระนาบ อาจเปลี่ยนมาใช้วิธีอื่น เช่น วัคแอมพลิฟายด์ หรือ มอดูเลต (modulate) สัญญาณแล้วตรวจสอบองศาหน้าคลื่น (detect phase) เป็นต้น
- (4). อาจปรับปรุงวงจรขยายสัญญาณให้ดีขึ้น เพื่อลดสัญญาณรบกวนและให้รูปคลื่นที่ดีขึ้น
- (5). เปลี่ยนเซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นอย่างอื่น เพื่อปรับให้ลักษณะของสัญญาณที่เซ็นเซอร์ส่งออกมานั้นตรงกับความต้องการในการนำไปใช้ เช่น ความร้อน , แสง เป็นต้น
- (6). อุปกรณ์ชุดนี้อาจประยุกต์ใช้งานร่วมกันกับแขนกล หรืออุปกรณ์ชนิดอื่น เพื่อจัดการกับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่นั้น ตามแต่จุดประสงค์ที่ต้องการนำไปใช้
- (7). นำไปประยุกต์ใช้การงานด้านอื่น เช่น งานตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย , เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวในสถานคุมขังนักโทษ เป็นต้น
- (8). สามารถพัฒนาต่อ เป็นการหาตำแหน่งของวัตถุใน 3 มิติได้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



June 1989

54LS04/DM54LS04/DM74LS04 Hex Inverting Gates

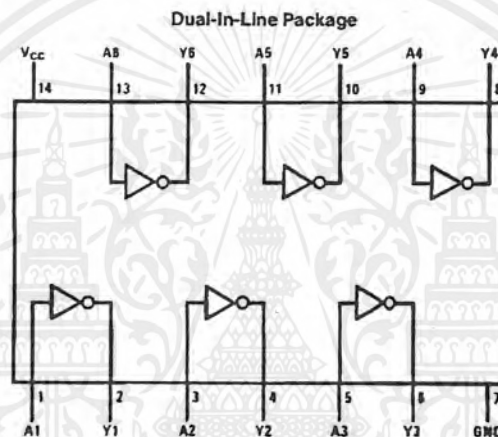
General Description

This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function.

Features

- Alternate Military/Aerospace device (54LS04) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram



TL/F/6345-1

Order Number 54LS04DMQB, 54LS04FMQB, 54LS04LMQB, DM54LS04J, DM54LS04W, DM74LS04M or DM74LS04N
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Input	Output
A	Y
L	H
H	L

H = High Logic Level

L = Low Logic Level

54LS04/DM54LS04/DM74LS04 Hex Inverting Gates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note)

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

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	
DM54LS and 54LS	-55°C to +125°C
DM74LS	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	DM54LS04			DM74LS04			Units
		Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V_{CC}	Supply Voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	2			2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage			0.7			0.8	V
I_{OH}	High Level Output Current			-0.4			-0.4	mA
I_{OL}	Low Level Output Current			4			8	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	-55		125	0		70	°C

Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OH} = \text{Max}, V_{IL} = \text{Max}$	DM54 2.5	3.4		V
			DM74 2.7	3.4		
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OL} = \text{Max}, V_{IH} = \text{Min}$	DM54 0.25	0.25	0.4	V
			DM74 0.35	0.35	0.5	
		$I_{OL} = 4 \text{ mA}, V_{CC} = \text{Min}$	DM74 0.25	0.25	0.4	
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 7 \text{ V}$			0.1	mA
I_{IH}	High Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 2.7 \text{ V}$			20	μA
I_{IL}	Low Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 0.4 \text{ V}$			-0.36	mA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	$V_{CC} = \text{Max}$ (Note 2)	DM54 -20		-100	mA
			DM74 -20		-100	
I_{CCH}	Supply Current with Outputs High	$V_{CC} = \text{Max}$		1.2	2.4	mA
I_{CCL}	Supply Current with Outputs Low	$V_{CC} = \text{Max}$		3.6	6.6	mA

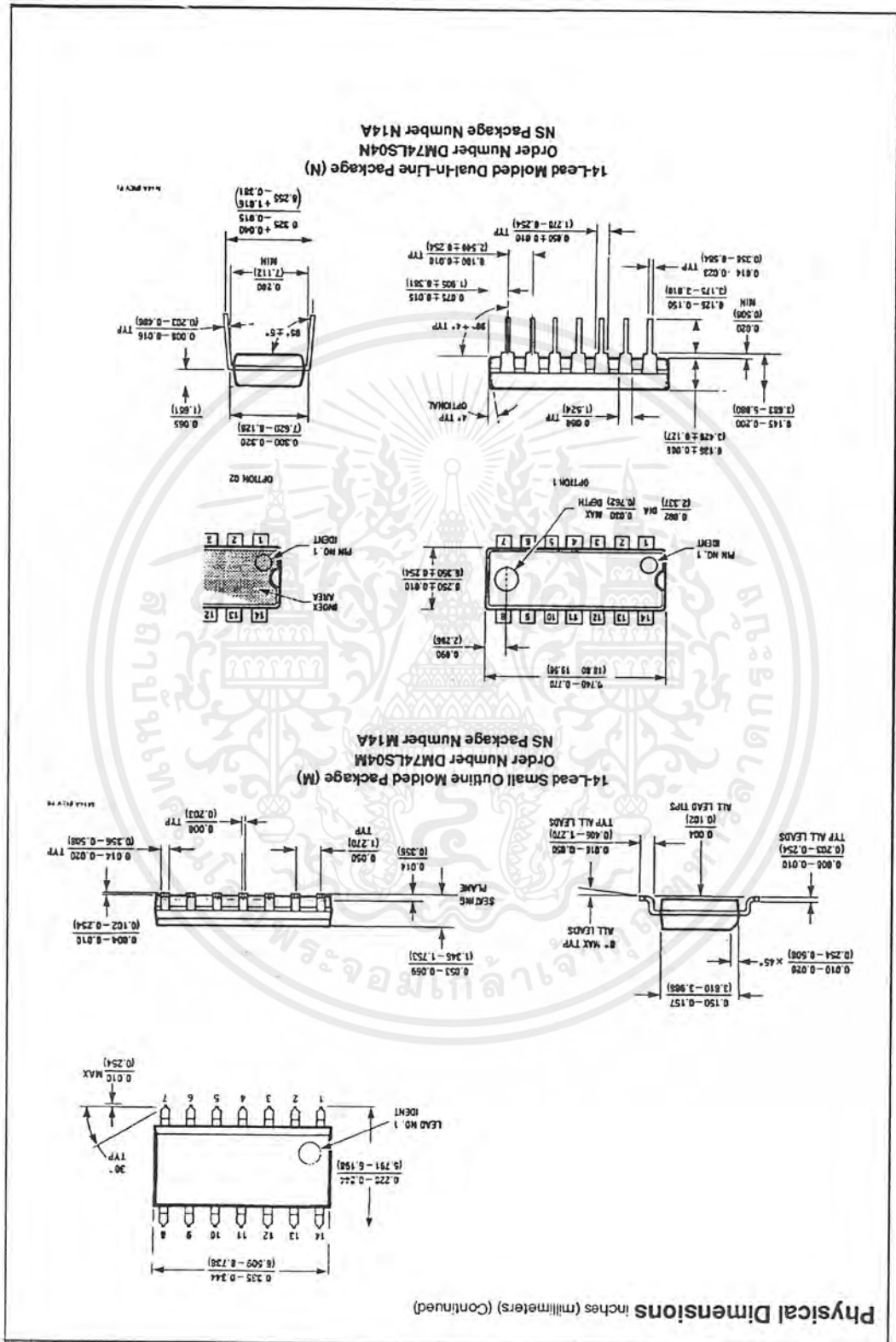
Switching Characteristics at $V_{CC} = 5 \text{ V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

Symbol	Parameter	$R_L = 2\text{ k}\Omega$				Units
		$C_L = 15\text{ pF}$		$C_L = 50\text{ pF}$		
		Min	Max	Min	Max	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	3	10	4	15	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	3	10	4	15	ns

Note 1: All typicals are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[illegible]

14-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number 54LS04FMQB or DM54LS04W
NS Package Number W14B

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Europe

Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tvm2.nsc.com

Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 18 80

**National Semiconductor
Hong Kong Ltd.**
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1800
Fax: (852) 2738-9960

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408



October 1992

DATA SHEET

80C32/80C52

CMOS SINGLE-CHIP
8 BIT MICROCONTROLLER

- 80C32 : ROMLESS VERSION OF THE 80C52
- 80C32/80C52 : 0 TO 12 MHz
- 80C32/80C52-1 : 0 TO 16 MHz

80C32-S/80C52-S : 0 TO 20 MHz
 80C32/80C52-L : 0 TO 6 MHz WITH $2.7 V < V_{CC} < 5.5 V$
 80C52F : 80C52 WITH PROTECTED ROM

FEATURES

- POWER CONTROL MODES
- 256 x 8 BIT RAM
- 8 K BYTES OF ROM (80C52)
- 32 PROGRAMMABLE I/O LINES
- THREE 16 BIT TIMER/COUNTER
- 64 K PROGRAM MEMORY SPACE
- FULLY STATIC DESIGN
- HIGH PERFORMANCE SAJI VI CMOS PROCESS
- BOOLEAN PROCESSOR
- 6 INTERRUPT SOURCES
- PROGRAMMABLE SERIAL PORT
- 64 K DATA MEMORY SPACE
- TEMPERATURE RANGE : COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AUTOMOTIVE AND MILITARY

INTRODUCTION

MHS's 80C52 and 80C32 are high performance CMOS versions of the 8052/8032 NMOS single chip 8 bit μC and is manufactured using a self-aligned silicon gate CMOS process (SAJI VI).

The fully static design of the MHS 80C52/80C32 allows to reduce system power consumption by bringing the clock frequency down to any value, even DC, without loss of data.

The 80C52 retains all the features of the 8052 : 8 K bytes of ROM ; 256 bytes of RAM ; 32 I/O lines ; three 16 bit timers ; a 6-source, 2-level interrupt structure ; a

full duplex serial port ; and on-chip oscillator and clock circuits.

In addition, the 80C52 has two software-selectable modes of reduced activity for further reduction in power consumption. In the Idle Mode the CPU is frozen while the RAM, the timers, the serial port, and the interrupt system continue to function. In the Power Down Mode the RAM is saved and all other functions are inoperative.

The 80C32 is identical to the 80C52 except that it has no on-chip ROM.

The information contained herein is subject to change without notice. No responsibility is assumed by MATRA MHS SA for using this publication and/or circuits described herein : nor for any possible infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80C32/80C52

INTERFACE

PIN CONFIGURATION

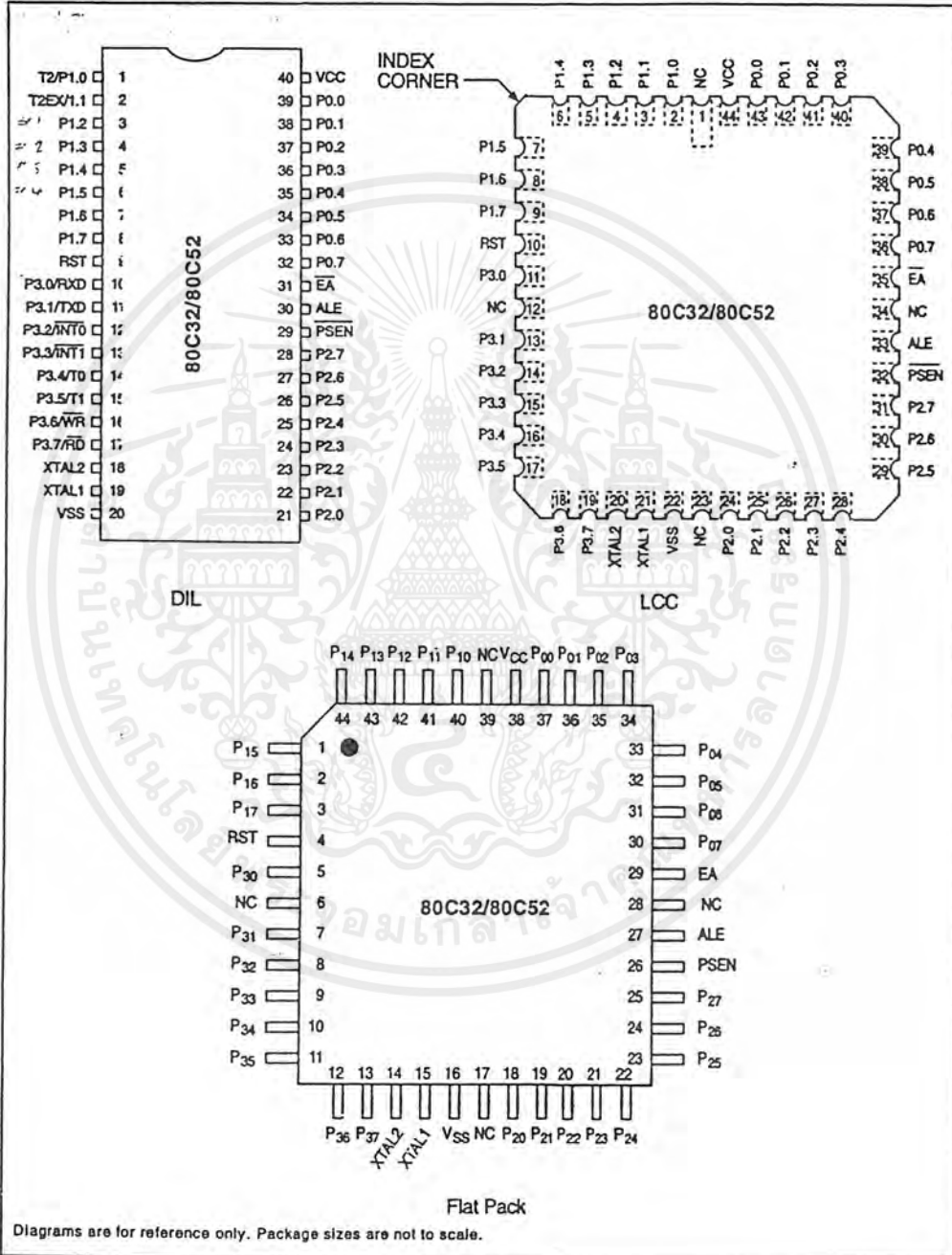


Figure 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80C32/80C52

PIN DESCRIPTION

V_{ss}

Circuit Ground Potential.

V_{cc}

Supply voltage during normal, Idle, and Power Down operation.

PORT 0

Port 0 is an 8 bit open drain bi-directional I/O port. Port 0 pins that have 1's written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.

Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external Program and Data Memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1's. Port 0 also outputs the code bytes during program verification in the 80C52. External pullups are required during program verification. Port 0 can sink eight LS TTL inputs.

PORT 1

Port 1 is an 8 bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 1 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (IIL, on the data sheet) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address byte during program verification. In the 80C52, Port 1 can sink/source three LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without external pullups.

2 inputs of PORT 1 are also used for timer/counter 2:

P1.0 [T2]: External clock input for timer/counter 2.

P1.1 [T2EX]: A trigger input for timer/counter 2, to be reloaded or captured causing the timer/counter 2 interrupt.

PORT 2

Port 2 is an 8 bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 2 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (IIL, on the data sheet) because of the internal pullups. Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program Memory and during accesses to external Data Memory that use 16 bit addresses (MOVX @DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1's. During accesses to external Data Memory that use 8 bit addresses (MOVX @Ri), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

It also receives the high-order address bits and control signals during program verification in the 80C52. Port 2 can sink/source three LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without external pullups.

PORT 3

Port 3 is an 8 bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 3 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can

be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (IIL, on the data sheet) because of the pullups. It also serves the function of various special features of the MHS 51 Family, as listed below.

Port Pin	Alternate Function
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (Timer 0 external input)
P3.5	T1 (Timer 1 external input)
P3.6	WR (external Data Memory write strobe)
P3.7	RD (external Data Memory read strobe)

Port 3 can sink/source three LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without external pullups.

RST

A high level on this for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. An internal pull-down resistor permits Power-On reset using only a capacitor connected to V_{cc}.

ALE

Address Latch Enable output for latching the low byte of the address during accesses to external memory. ALE is activated as though for this purpose at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency except during an external data memory access at which time on ALE pulse is skipped. ALE can sink/source 8 LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without an external pullup.

PSEN

Program Store Enable output is the read strobe to external Program Memory. PSEN is activated twice each machine cycle during fetches from external Program Memory. (However, when executing out of external Program Memory, two activations of PSEN are skipped during each access to external Data Memory). PSEN is not activated during fetches from internal Program Memory. PSEN can sink/source 8 LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without an external pullup.

EA

When EA is held high, the CPU executed out of internal Program Memory (unless the Program Counter exceeds 1FFFH). When EA is held low, the CPU executes only out of external Program Memory. EA must not be floated.

XTAL1

Input to the inverting amplifier that forms the oscillator. Receives the external oscillator signal when an external oscillator is used.

XTAL2

Output of the inverting amplifier that forms the oscillator, and input to the internal clock generator. This pin should be floated when an external oscillator is used.

FUNCTIONAL DESCRIPTION

BLOCK DIAGRAM

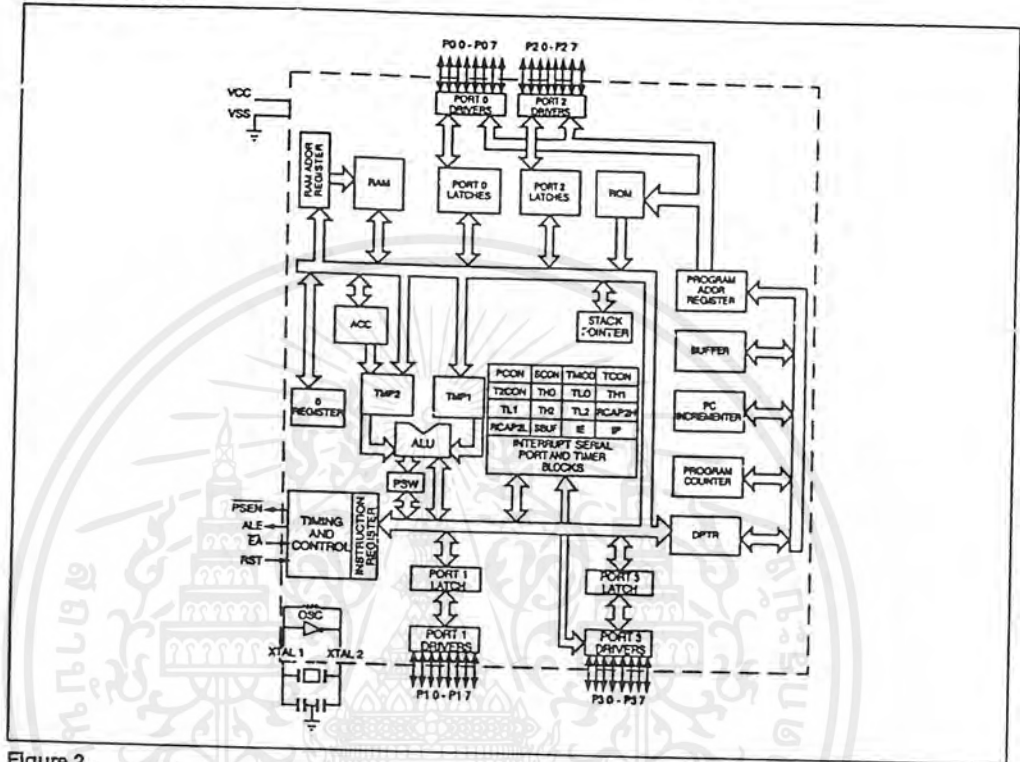


Figure 2.

IDLE AND POWER DOWN OPERATION

Figure 3 shows the internal Idle and Power Down clock configuration. As illustrated, Power Down operation stops the oscillator. Idle mode operation allows the interrupt, serial port, and timer blocks to continue to function while the clock to the CPU is gated off. These special modes are activated by software via the Special Function Register, PCON. Its hardware address is 87H. PCON is not bit addressable.

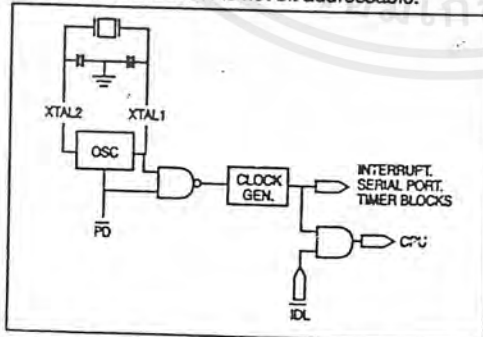


Figure 3 : Idle and Power Down Hardware.

PCON : Power Control Register

(MSB)

(LSB)

SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL
------	---	---	---	-----	-----	----	-----

Symbol Position Name and Function

SMOD	PCON.7	Double Baud rate bit. When set to a 1, the baud rate is doubled when the serial port is being used in either modes 1, 2 or 3.
-	PCON.6	(Reserved)
-	PCON.5	(Reserved)
-	PCON.4	(Reserved)
GF1	PCON.3	General-purpose flag bit.
GF0	PCON.2	General-purpose flag bit.
PD	PCON.1	Power Down bit. Setting this bit activates power down operation.
IDL	PCON.0	Idle mode bit. Setting this bit activates idle mode operation.

80C32/80C52

When an I/O pin on Ports 1, 2 or 3 is used as an input, the user should be aware that the external circuit must sink current during the logical 1-to-0 transition. The maximum sink current is specified as I_{TL} under the D.C. Specifications. When the input goes below approximately 2 V, T3 turns off to save ICC current. Note, when returning to a logical 1, T2 is the only internal pullup that is on. This will result in a slow rise time if the user's circuit does not force the input line high.

OSCILLATOR CHARACTERISTICS

XTAL1 and XTAL2 are the input and output respectively, of an inverting amplifier which is configured for use as an on-chip oscillator, as shown in figure 5. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used.

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be driven while XTAL2 is left unconnected as shown in figure 6. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum high and low times specified on the Data Sheet must be observed.

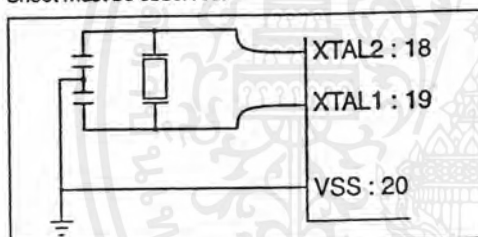


Figure 5 : Crystal Oscillator.

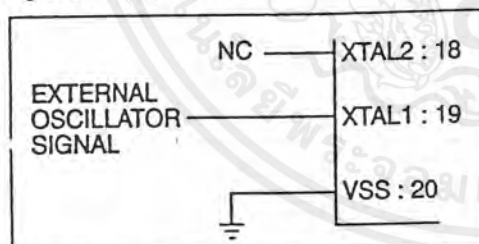


Figure 6 : External Drive Configuration.

HARDWARE DESCRIPTION

Same as for the 80C51, plus a third timer/counter :

TIMER/EVENT COUNTER 2

Timer 2 is a 16 bit timer/counter like Timers 0 and 1, it can operate either as a timer or as an event counter. This is selected by bit C/T2 in the Special Function Register T2CON (Figure 1). It has three operating modes: "capture", "autoloading" and "baud rate generator", which are selected by bits in T2CON as shown in Table 2.

RCLK + TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-bit auto-reload
0	1	1	16-bit capture
1	X	1	baud rate generator
X	X	0	(off)

Table 2 : Timer 2 Operating Modes.

In the capture mode there are two options which are selected by bit EXEN2 in T2CON; If EXEN2 = 0, then Timer 2 is a 16 bit timer or counter which upon overflowing sets bit TF2, the Timer 2 overflow bit, which can be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, then Timer 2 still does the above, but with the added feature that a 1-to-0 transition at external input T2EX causes the current value in the Timer 2 registers, TL2 and TH2, to be captured into registers RCAP2L and RCAP2H, respectively. (RCAP2L and RCAP2H are new Special Function Register in the 80C52). In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set, and EXF2, like TF2, can generate an interrupt.

The capture mode is illustrated in Figure 7.

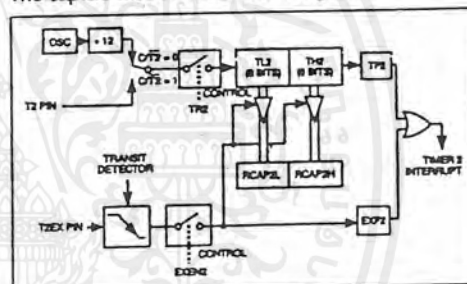


Figure 7 : Timer 2 In Capture Mode.

In the auto-reload mode there are again two options, which are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, then when Timer 2 rolls over it does not only set TF2 but also causes the Timer 2 register to be reloaded with the 16 bit value in registers RCAP2L and RCAP2H, which are preset by software. If EXEN2 = 1, then Timer 2 still does the above, but with the added feature that a 1-to-0 transition at external input T2EX will also trigger the 16 bit reload and set EXF2.

The auto-reload mode is illustrated in Figure 8.

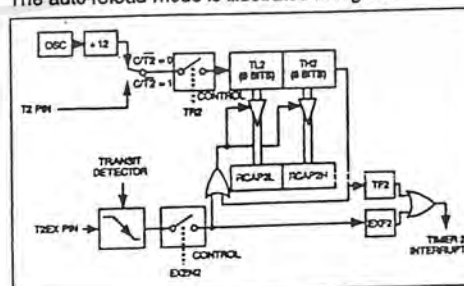


Figure 8 : Timer In Auto-Reload Mode.

80C32/80C52

(MSB)				(LSB)			
TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2

The baud rate generator mode is selected by : RCLK = 1 and/or TCLK = 1.

Symbol	Position	Name and Significance
TF2	T2CON.7	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 OR TCLK = 1.
EXF2	T2CON.6	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software.
RCLK	T2CON.5	Receive clock flag. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	T2CON.4	Transmit clock flag. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	T2CON.3	Timer 2 external enable flag. When set, allows capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	T2CON.2	Start/stop control for Timer 2. A logic 1 starts the timer.
C/T2	T2CON.1	Timer or counter select. (Timer 2) 0 = Internal timer (OSC/12) 1 = External event counter (falling edge triggered).
CP/RL2	T2CON.0	Capture/Reload flag. When set, captures will occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. When cleared, auto reloads will occur either with Timer 2 overflows or negative transition at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK = 1 or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias :

C = commercial 0°C to 70°C

I = industrial - 40°C to +85°C

Storage Temperature - 65°C to + 150°C

Voltage on V_{CC} to V_{SS} - 0.5 V to + 7 VVoltage on Any Pin to V_{SS} - 0.5 V to V_{CC} + 0.5 V

Power Dissipation 1 W**

** This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package

* Notice

Stresses at or above those listed under * Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

T_A = 0°C to + 70°C ; V_{CC} = 5 V ± 10 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 20 MHz.T_A = - 40°C to 85°C ; V_{CC} = 5 V ± 10 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 16 MHz.

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V _{IL}	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V _{CC} - 0.1	V	
V _{IH}	Input High Voltage (Except XTAL and RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH1}	Input High Voltage (RST and XTAL1)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{OL}	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.3	V	I _{OL} = 100 µA
			0.45	V	I _{OL} = 1.6 mA (note 3)
			1.0	V	I _{OL} = 3.5 mA
V _{OL1}	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.3	V	I _{OL} = 200 µA
			0.45	V	I _{OL} = 3.2 mA (note 3)
			1.0	V	I _{OL} = 7.0 mA
V _{OH}	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	V _{CC} - 0.3		V	I _{OH} = - 10 µA
		V _{CC} - 0.7		V	I _{OH} = - 30 µA
		V _{CC} - 1.5		V	I _{OH} = - 60 µA
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0, ALE, PSEN)	V _{CC} - 0.3		V	I _{OH} = - 200 µA
		V _{CC} - 0.7		V	I _{OH} = - 3.2 mA
		V _{CC} - 1.5		V	I _{OH} = - 7.0 mA
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)		C - 50	µA	V _{in} = 0.45 V
			I - 60		
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	µA	0.45 < V _{in} < V _{CC}
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 650	µA	V _{in} = 2.0 V
IPD	Power Down Current		50	µA	V _{CC} = 2.0 V to 6 V (note 2)
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
CIO	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	f _c = 1 MHz, T _A = 25°C
ICC	Power Supply Current				(notes 1, 2)
	Active Mode 12 MHz		22	mA	
	16 MHz		28	mA	
	20 MHz		34	mA	
	Idle Mode 12 MHz		7	mA	
	16 MHz		9	mA	
	20 MHz		11	mA	

80C32/80C52

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Ambient Temperature Under Bias :

A = Automotive - 40°C to + 125°C

Storage Temperature..... - 65°C to + 150°C

Voltage on Any Pin to V_{SS} - 0.5 V to V_{CC} + 0.5 VVoltage on V_{CC} to V_{SS} - 0.5 V to 6.5 V

Power Dissipation..... 1 W

* Notice

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

T_A = - 40° to 125°C ; V_{CC} = 5 V ± 10 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 12 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V _{IL}	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V _{CC} - 0.1	V	
V _{IH}	Input High Voltage (Except XTAL and RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH1}	Input High Voltage (XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{OL}	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.3	V	I _{OL} = 100 µA
			0.45	V	I _{OL} = 1.6 mA (note 3)
			1.0	V	I _{OL} = 3.5 mA
V _{OL1}	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.3	V	I _{OL} = 200 µA
			0.45	V	I _{OL} = 3.2 mA (note 3)
			1.0	V	I _{OL} = 7.0 mA
V _{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)		V _{CC} - 0.3	V	I _{OH} = - 10 µA
			V _{CC} - 0.7	V	I _{OH} = - 30 µA
			V _{CC} - 1.5	V	I _{OH} = - 60 µA
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode, ALE, PSEN)		V _{CC} - 0.3	V	I _{OH} = - 200 µA
			V _{CC} - 0.7	V	I _{OH} = - 3.2 mA
			V _{CC} - 1.5	V	I _{OH} = - 7.0 mA
I _{IL}	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		- 75	µA	V _{in} = 0.45 V
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 750	µA	V _{in} = 2.0 V
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	µA	0.45 < V _{in} < V _{CC}
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C _{IO}	Pin Capacitance		10	pF	Test Freq = 1 MHz, T _A = 25°C
IPD	Power Down Current		75	µA	V _{CC} = 2 V to 5.5 V
I _{CC}	Power supply current Active mode 12 MHz Idle mode 12 MHz		25	mA	V _{CC} = 5.5 V
			10	mA	V _{CC} = 5.5 V

80C32/80C52

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambiant Temperature Under Bias :

M =Military - 55°C to + 125°C
 Storage Temperature - 65°C to + 150°C
 Voltage on Any Pin to V_{SS} - 0.5 V to VCC + 0.5 V
 Voltage on V_{CC} to V_{SS} - 0.5 V to 6.5 V
 Power Dissipation..... 200 mW

* Notice

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended period may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

T_A = - 55° to 125°C ; V_{SS} = 0 V ; VCC = 5 V ± 10 % ; F = 0 to 12 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
VIL	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 VCC - 0.1	V	
VIH	Input High Voltage (Except XTAL ¹ , RST)	0.2 VCC + 0.9	VCC + 0.5	V	
VIH1	Input High Voltage (XTAL1, RST)	0.7 VCC	VCC + 0.5	V	
VOL	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3)		0.45	V	IOL = 1.6 mA (note 3)
VOL1	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.45	V	IOL = 3.2 mA (note 3)
VOH	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)	2.4 0.75 VCC 0.9 VCC		V V V	IOH = - 60 µA IOH = - 25 µA IOH = - 10 µA
VOH1	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode, ALE, PEN)	2.4 0.75 VCC 0.9 VCC		V V V	IOH = - 800 µA IOH = - 300 µA IOH = - 80 µA
IIL	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		- 75	µA	Vin = 0.45 V
ITL	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 750	µA	Vin = 2 V
ILI	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	µA	0.45 < Vin < VCC
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
CIO	Pin Capacitance		10	pF	Test Freq = 1 MHz, T _A = 25°C
IPD	Power Down Current		75	µA	VCC = 2 V to 5.5 V
ICC	Power supply current Active mode 12 MHz Idle mode 12 MHz		25 10	mA mA	VCC = 5.5 V VCC = 5.5 V

80C32/80C52**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS***

Ambiant Temperature Under Bias :

C = commercial 0°C to 70°C

I = industrial - 40°C to +85°C

Storage Temperature - 65°C to + 150°C

Voltage on V_{CC} to V_{SS} - 0.5 V to + 7 VVoltage on Any Pin to V_{SS} - 0.5 V to V_{CC} + 0.5 V

Power Dissipation 1 W**

** This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package

*** Notice**

Stresses at or above those listed under * Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICST_A = - 40° to 85°C ; V_{CC} = 2.7 V to 5.5 V ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 6 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V _{IL}	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V _{CC} - 0.1	V	
V _{IH}	Input High Voltage (Except XTALs and RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH1}	Input High Voltage to RST for Reset	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH2}	Input High Voltage to XTAL1	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{PD}	Power Down Voltage to V _{CC} in PD Mode	2.0	6.0	V	
V _{OL}	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.45	V	I _{OL} = 800 µA (note 3)
V _{OL1}	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.45	V	I _{OL} = 1.6 mA (note 3)
V _{OH}	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	0.9 V _{CC}		V	I _{OH} = - 10 µA
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode), ALE, PSEN	0.9 V _{CC}		V	I _{OH} = - 80 µA
I _{IL}	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		C - 50 I - 60	µA	V _{in} = 0.45 V
I _{LI}	Input Leakage Current		± 10	µA	0.45 < V _{in} < V _{CC}
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 650	µA	V _{in} = 2.0 V
I _{PD}	Power Down Current		50	µA	V _{CC} = 2.0 V to 5.5 V (note 2)
R _{RST}	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C _{IO}	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	f _c = 1 MHz, T _A = 25°C

MAXIMUM ICC (mA)

	OPERATING (NOTE 2)			IDLE (NOTE 2)		
FREQ. V _{CC}	2.7 V	4.5 V	5.5 V	2.7 V	4.5 V	5.5 V
1 MHz	1.2 mA	2 mA	2.5 mA	600 µA	1.2 mA	1.6 mA
6 MHz	5 mA	8.5 mA	11 mA	1.6 mA	3.8 mA	4 mA

80C32/80C52

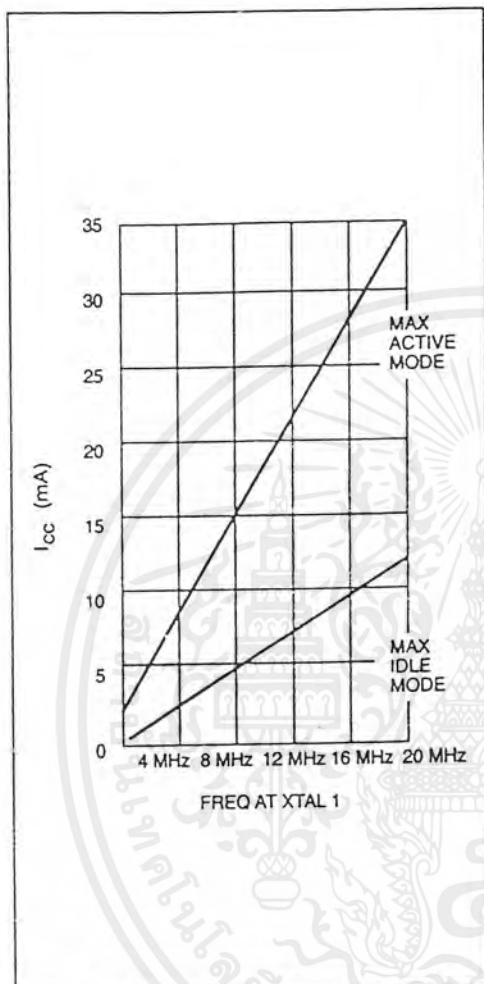


Figure 9 : ICC vs. Frequency. Valid only within frequency specifications of the device under test.

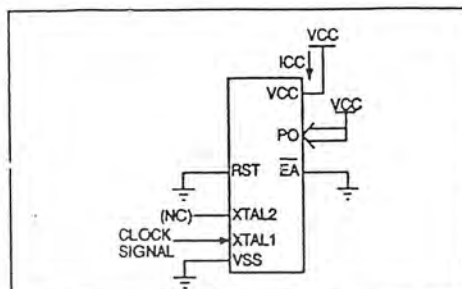


Figure 10 : ICC Test Condition, Idle Mode. All other pins are disconnected.

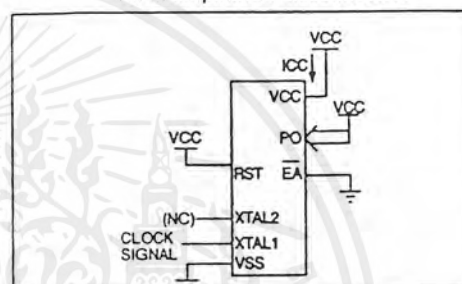


Figure 11 : ICC Test Condition, Active Mode. All other pins are disconnected.

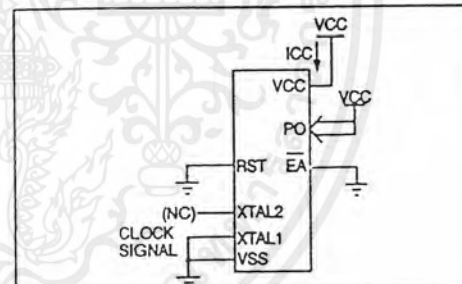


Figure 13 : ICC Test Condition, Power Down Mode. All other pins are disconnected.

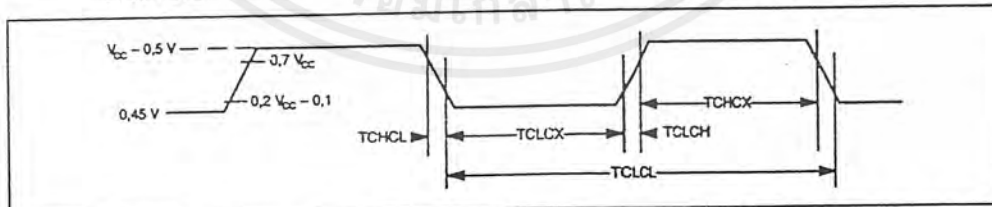


Figure 12 : Clock Signal Waveform for ICC Tests in Active and Idle Modes. TCLCH = TCHCL = 5 ns.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80C32/80C52

Note 1 : ICC max is given by :

Active Mode : $ICCMAX = 1.5 \times FREQ + 4$

Idle Mode : $ICCMAX = 0.15 \times FREQ + 1$

where FREQ is the external oscillator frequency in MHz. ICCMAX is given in mA. See figures 9 through 13 for ICC test conditions.

Note 2 : ICC is measured with all output pins disconnected ; XTAL1 driven with TCLCH, TCHCL = 5 ns, VIL = VSS + .5 V, VIH = VCC - .5 V ; XTAL2 N.C. ; EA = RST = Port 0 = VCC. ICC would be slightly higher if a crystal oscillator used.

Idle ICC is measured with all output pins disconnected ; XTAL1 driven with TCLCH, TCHCL = 5 ns, VIL = VSS +

.5 V, VIH = VCC - .5 V ; XTAL2 N.C ; Port 0 = VCC ; EA = RST = VSS.

Power Down ICC is measured with all output pins disconnected ; EA = PORT 0 = VCC ; XTAL2 N.C. ; RST = VSS.

Note 3 : Capacitance loading on Ports 0 and 2 may cause spurious noise pulses to be superimposed on the VOLS of ALE and Ports 1 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins make 1 to 0 transitions during bus operations. In the worst cases (capacitive loading 100 pF), the noise pulse on the ALE line may exceed 0.45 V may exceed 0.45 V with maxi VOL peak 0.6 V. A Schmitt Trigger use is not necessary.

EXPLANATION OF THE AC SYMBOL

Each timing symbol has 5 characters. The first character is always a "T" (stands for time). The other characters, depending on their positions, stand for the name of a signal or the logical status of that signal. The following is a list of all the characters and what they stand for.

Example :

TAVLL = Time for Address Valid to ALE low.

TLLPL = Time for ALE low to PSEN low.

A : Address.

C : Clock.

D : Input data.

H : Logic level HIGH.

I : Instruction (program memory contents).

L : Logic level LOW, or ALE.

P : PSEN.

O : Output data.

R : READ signal.

T : Time.

V : Valid.

W : WRITE signal.

X : No longer a valid logic level.

Z : Float.

AC PARAMETERS :

$T_A = 0$ to $+70^\circ\text{C}$; VSS = 0 V ; VCC = 5 V $\pm$ 10 % ; 0 to 20 MHz

$T_A = -40$ to $+85^\circ\text{C}$; VSS = 0 V ; VCC = 5 V $\pm$ 10 % ; 0 to 16 MHz

$T_A = -55$ to $+125^\circ\text{C}$; VSS = 0 V ; VCC = 5 V $\pm$ 10 % ; 0 to 12 MHz

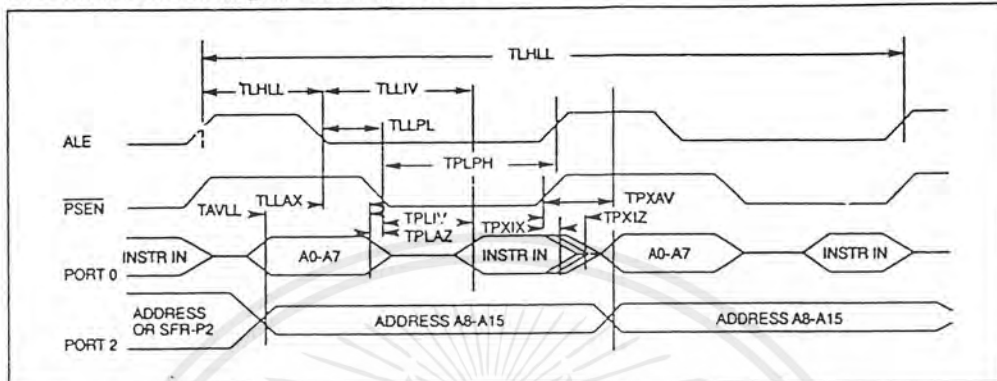
(Load Capacitance for PORT0, ALE and PSEN = 100 pF ; Load Capacitance for all other outputs = 80 pF).

EXTERNAL PROGRAM MEMORY CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	0 TO 12 MHz		16 MHz		20 MHz	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
TLHLL	ALE pulse width	2TCLCL-40		110		70	
TAVLL	Address Valid to ALE	TCLCL-40		30		25	
TLLAX	Address Hold After ALE	TCLCL-30		35		25	
TLLIV	ALE to Valid Instr In		4TCLCL-100		185		140
TLLPL	ALE to PSEN	TCLCL-30		45		30	
TPLPH	PSEN Pulse Width	3TCLCL-45		165		130	
TPLIV	PSEN to Valid Instr IN		3TCLCL-105		125		80
TPXIX	Input Instr Hold After PSEN	0		0		0	
TPXIZ	Input Instr Float After PSEN		TCLCL-25		22		10
TPXAV	PSEN to Address Valid	TCLCL-8		55		45	
TAVIV	Address to Valid Instr In		5TCLCL-105		230		180
TPLAZ	PSEN Low to Address Float		10		10		10

80C32/80C52

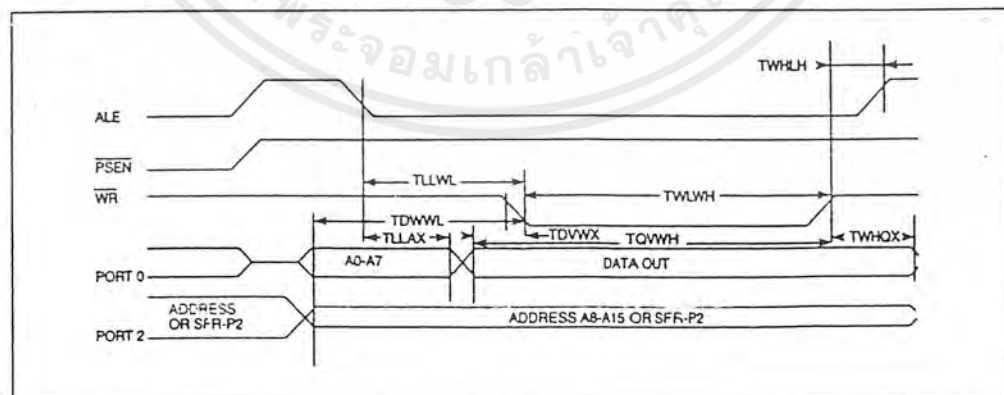
EXTERNAL PROGRAM MEMORY READ CYCLE



EXTERNAL DATA MEMORY CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	0 TO 12 MHz		16 MHz		20 MHz	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
TRLRH	RD Pulse Width	6TCLCL-100		340		260	
TWLWH	WR Pulse Width	6TCLCL-100		340		260	
TRLDV	RD to Valid Data In		5TCLCL-165		240		180
TRHDX	Data Hold After RD	0		0		0	
TRHDZ	Data Float After RD		2TCLCL-60		90		70
TLLDV	ALE to Valid Data In		8TCLCL-150		435		360
TAVDV	Address to Valid Data In		9TCLCL-165		480		400
TLLWL	ALE to WR or RD	3TCLCL-50	3TCLCL+50	150	250	125	185
TAVWL	Address to WR or RD	4TCLCL-130		180		170	
TQVWX	Data Valid to WR Transition	TCLCL-50		15		10	
TQVWH	Data Set-Up to WR High	7TCLCL-150		380		310	
TWHQX	Data Hold After WR	TCLCL-50		40		30	
TRLAZ	RD Low to Address Float		0		0		0
TWHLH	RD or WR High to ALE High	TCLCL-40	TCLCL+40	35	90	30	65

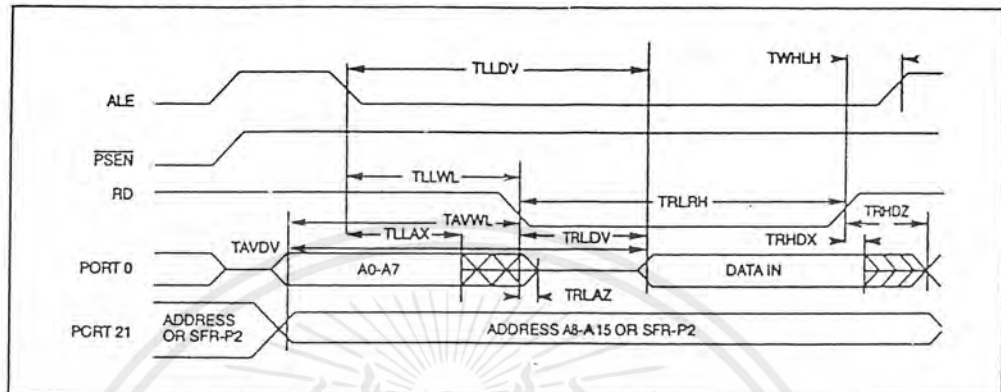
EXTERNAL DATA MEMORY WRITE CYCLE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80C32/80C52

EXTERNAL DATA MEMORY READ CYCLE

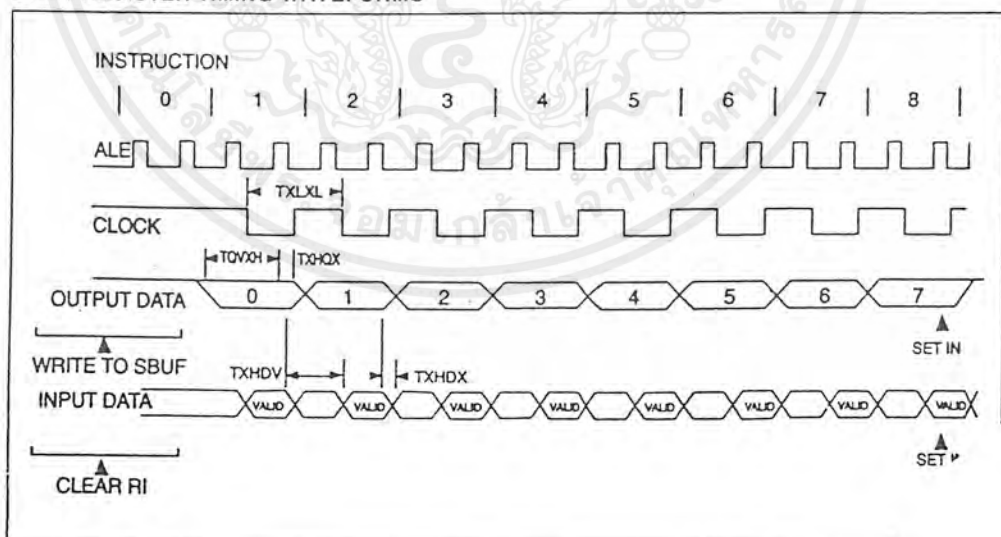


SERIAL PORT TIMING – SHIFT REGISTER MODE

 $T_A = 0 \text{ to } +70^\circ\text{C}; V_{SS} = 0 \text{ V}; V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 10\%; 0 \text{ to } 20 \text{ MHz}$
 $T_A = -40 \text{ to } +85^\circ\text{C}; V_{SS} = 0 \text{ V}; V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 10\%; 0 \text{ to } 16 \text{ MHz}$
 $T_A = -55 \text{ to } +125^\circ\text{C}; V_{SS} = 0 \text{ V}; V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 10\%; 0 \text{ to } 12 \text{ MHz}$

SYMBOL	PARAMETER	0 TO 12 MHz		16 MHz		20 MHz	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
TXLXL	Serial port clock cycle time	12TCLCL		750		600	
TQVHX	Output data setup to clock rising edge	10TCLCL-133		563		450	
TXHGX	Output data hold after clock rising edge	2TCLCL-117		63		50	
TXHDX	Input data hold after clock rising edge	0		0		0	
TXHDV	Clock rising edge to input data valid		10TCLCL-133		563		450

SHIFT REGISTER TIMING WAVEFORMS





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

; *****
;
;       Project Piezoelectric Sensors
;
; *****

    stts    equ    0040h
    ans_1   equ    0050h
    ans_2   equ    0051h
    ans_3   equ    0052h
    ans_4   equ    0053h
    an_0    equ    0030h
    anss_3   equ    0032h
    anss_4   equ    0033h
    anss_5   equ    0034h
    anss_6   equ    0035h
    anss_7   equ    0036h
    anss_8   equ    0037h
    an_1     equ    0020h
    an_2     equ    0021h
    carry1   equ    0024h
    carry2   equ    0025h
    org      00h
    mov      p1,#0ffh;

; ***** Setting *****

set:   mov      t2con,#09h
        mov      tmod,#00h
        mov      tl2,#00h
        mov      th2,#00h
        clr      rs0
        clr      rs1
        mov      acc,#00h
        mov      b,#00h

; ***** Starting *****

sens1: jnb      p1.2,sens2
        setb     t2con.2

        mov      r0,#00h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov r1,#00h
setb acc.0
inc b
mov stts,#00h
jmp detect2
sens2: jnb p1.3,sens3
      setb t2con.2
mov r2,#00h
mov r3,#00h
setb acc.1
inc b
mov stts,#40h
jmp detect3
sens3: jnb p1.4,sens4
      setb t2con.2
mov r4,#00h
mov r5,#00h
setb acc.2
inc b
mov stts,#80h
jmp detect4
sens4: jnb p1.5,sens1
      setb t2con.2
mov r6,#00h
mov r7,#00h
setb acc.3
inc b
mov stts,#0c0h
jmp detect1
; ***** Capture Timing *****
detect1: jnb p1.2,detect2
        jnb acc.0,detect2
        mov rcap2l,tl2
        mov rcap2h,th2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov r0,rcap2l
mov r1,rcap2h
inc b
jb b.1,one_2
jb b.2,one_4
bfir: orl a,#00000001b
setb p1.6
jmp detect2
detect2:jnb p1.3,detect3
jb acc.1,detect3
mov rcap2l,tl2
mov rcap2h,th2
mov r2,rcap2l
mov r3,rcap2
inc b
jb b.1,sec_2
jb b.2,sec_4
bsec: orl a,#00000010b
setb p1.6
jmp detect3
detect3: jnb p1.4,detect4
jb acc.2,detect4
mov rcap2l,tl2
mov rcap2h,th2
mov r4,rcap2l
mov r5,rcap2h
inc b
jb b.1,thi_2
jb b.2,thi_4
bthi: orl a,#00000100b
setb p1.6
jmp detect4
detect4: jnb p1.5,detect1
jb acc.3,detect1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    mov    rcap2l,tl2
    mov    rcap2h,th2
    mov    r6,rcap2l
    mov    r7,rcap2h
    inc    b
    jnb    b.1,fou_2
    jnb    b.2,fou_4
bfou:  rl    a,#00001000b
        jmp    detect1
one_2:  jnb    b.0,one_3
        mov    anss_3,r0
        mov    anss_4,r1
        jmp    bfir
one_3:  mov    anss_5,r0
        mov    anss_6,r1
        jmp    bfir
one_4:  mov    anss_7,r0
        mov    anss_8,r1
        orl    stts,#00h
        setb   acc.0
        jmp    call
sec_2:  jnb    b.0,sec_3
        mov    anss_3,r2
        mov    anss_4,r3
        orl    stts,#10h
        jmp    bsec
sec_3:  mov    anss_5,r2
        mov    anss_6,r3
        orl    stts,#04h
        jmp    bsec
sec_4:  mov    anss_7,r2
        mov    anss_8,r3
        orl    stts,#01h
        setb   acc.1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        jmp  cal1
thi_2:  jb   b.0,thi_3
        mov  anss_3,r4
        mov  anss_4,r5
        orl  stts,#20h
        jmp  bthi
thi_3:  mov  anss_5,r4
        mov  anss_6,r5
        orl  stts,#08h
        jmp  bthi
thi_4:  mov  anss_7,r4
        mov  anss_8,r5
        orl  stts,#02h
        setb acc.2
        jmp  cal1
fou_2:  jb   b.0,fou_3
        mov  anss_3,r6
        mov  anss_4,r7
        orl  stts,#30h
        jmp  bfou
fou_3:  mov  anss_5,r6
        mov  anss_6,r7
        orl  stts,#0ch
        jmp  bfou
fou_4:  mov  anss_7,r6
        mov  anss_8,r7
        orl  stts,#03h
        setb acc.3
        jmp  cal1
; ***** Calculation *****
cal1:   mov  a,stts
        anl  a,#0f0h
        cjne a,#10h,cal2
        mov  a,anss_3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

subb  a,#10h
mov   carry1.0,c
mov   anss_3,a
mov   a,anss_4
subb  a,carry1
subb  a,#01h
mov   anss_4,a
mov   a,anss_5
add   a,#0c0h
mov   carry1.0,c
mov   anss_5,a
mov   a,anss_6
add   a,carry1
add   a,#03h
mov   anss_6,a
mov   a,anss_7
add   a,#30h
mov   carry1.0,c
mov   anss_7,a
mov   a,anss_8
add   a,carry1
add   a,#00h
mov   anss_8,a
jmp   cal0
cal2:  cjne  a,#20h,cal3
mov   a,anss_5
subb  a,#10h
mov   carry1.0,c
mov   anss_5,a
mov   a,anss_6
subb  a,carry1
subb  a,#01h
mov   anss_6,a
mov   a,anss_3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    add    a,#0c0h
    mov    carry1.0,c
    mov    anss_3,a
    mov    a,anss_4
    add    a,carry1
    add    a,#03h
    mov    anss_4,a
    mov    a,anss_7
    add    a,#30h
    mov    carry1.0,c
    mov    anss_7,a
    mov    a,anss_8
    add    a,carry1
    add    a,#00h
    mov    anss_8,a
    jmp    cal0
cal3:  cjne  a,#40h,cal4
    mov    a,anss_3
    add    a,#10h
    mov    carry1.0,c
    mov    anss_3,a
    mov    a,anss_4
    add    a,carry1
    add    a,#01h
    mov    anss_4,a
    mov    a,anss_5
    add    a,#20h
    mov    carry1.0,c
    mov    anss_5,a
    mov    a,anss_6
    add    a,carry1
    add    a,#01h
    mov    anss_6,a
    mov    a,anss_7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

add a,#0b0h
mov carry1.0,c
mov anss_7,a
mov a,anss_8
add a,carry1
add a,#04h
mov anss_8,a
jmp cal0
cal4:  cjne a,#70h,cal5
mov a,anss_5
add a,#10h
mov carry1.0,c
mov anss_5,a
mov a,anss_6
add a,carry1
add a,#01h
mov anss_6,a
mov a,anss_3
add a,#20h
mov carry1.0,c
mov anss_3,a
mov a,anss_4
add a,carry1
add a,#01h
mov anss_4,a
mov a,anss_7
add a,#0b0h
mov carry1.0,c
mov anss_7,a
mov a,anss_8
add a,carry1
add a,#04h
mov anss_8,a
jmp cal0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cal5:  cjne  a,#80h,cal6
        mov  a,anss_3
        subb a,#0c0h
        mov  carry1.0,c
        mov  anss_3,a
        mov  a,anss_4
        subb a,carry1
        subb a,#03h
        mov  anss_4,a
        mov  a,anss_5
        subb a,#70h
        mov  carry1.0,c
        mov  anss_5,a
        mov  a,anss_6
        subb a,carry1
        subb a,#03h
        mov  anss_6,a
        mov  a,anss_7
        subb a,#0b0h
        mov  carry1.0,c
        mov  anss_7,a
        mov  a,anss_8
        subb a,carry1
        subb a,#04h
        mov  anss_8,a
        jmp  cal0

cal6:  cjne  a,#0b0h,cal7
        mov  a,anss_5
        subb a,#0c0h
        mov  carry1.0,c
        mov  anss_5,a
        mov  a,anss_6
        subb a,carry1
        subb a,#03h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov  anss_6,a
mov  a,anss_3
subb a,#70h
mov  carry1.0,c
mov  anss_3,a
mov  a,anss_4
subb a,carry1
subb a,#03h
mov  anss_4,a
mov  a,anss_7
subb a,#0b0h
mov  carry1.0,c
mov  anss_7,a
mov  a,anss_8
subb a,carry1
subb a,#04h
mov  anss_8,a
jmp  cal0
cal7: cjne a,0d0h,cal8
mov  a,anss_3
subb a,#20h
mov  carry1.0,c
mov  anss_3,a
mov  a,anss_4
subb a,carry1
subb a,#01h
mov  anss_4,a
mov  a,anss_5
add  a,#70h
mov  carry1.0,c
mov  anss_5,a
mov  a,anss_6
add  a,carry1
add  a,#03h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

mov  anss_6,a
mov  a,anss_7
subb a,#30h
mov  carry1.0,c
mov  anss_7,a
mov  a,anss_8
subb a,carry1
subb a,#00h
mov  anss_8,a
jmp  cal0
cal8: mov  a,anss_5
subb a,#20h
mov  carry1.0,c
mov  anss_5,a
mov  a,anss_6
subb a,carry1
subb a,#01h
mov  anss_6,a
mov  a,anss_3
add  a,#70h
mov  carry1.0,c
mov  anss_3,a
mov  a,anss_4
add  a,carry1
add  a,#03h
mov  anss_4,a
mov  a,anss_7
subb a,#30h
mov  carry1.0,c
mov  anss_7,a
mov  a,anss_8
subb a,carry1
subb a,#00h
mov  anss_8,a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        jmp    cal0
cal0:   setb   rs0
        setb   rs1
        mov    a,anss_3
        call   div1
        mov    a,anss_4
        call   div2
        call   cal
        mov    anss_3,a
        mov    a,anss_5
        call   div1
        mov    a,anss_6
        call   div2
        call   cal
        mov    anss_5,a
        mov    a,anss_7
        call   div1
        mov    a,anss_8
        call   div2
        call   cal
        mov    anss_7,a
        jmp    aa_a
div1:   mov    b,#10h
        div    ab
        mov    r0,a
        mov    r1,b
        ret
div2:   mov    b,#10h
        div    ab
        mov    r2,a
        mov    r3,b
        ret
carry:  mov    a,r4
        inc    a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov r4,a
ret
cal:  mov a,r2
      mov b,#24h
      mul ab
      mov r4,b
      mov r5,a
      mov a,r3
      mov b,#02h
      mul ab
      add a,r5
      mov carry1.0,c
      mov r5,a
      mov a,b
      add a,carry1
      add a,r4
      mov r4,a
      mov a,r3
      mov b,#1ch
      mul ab
      mov r6,b
      mov r7,a
      mov a,r0
      mov b,#10h
      mul ab
      add a,r7
      add a,r1
      mov carry1.0,c
      mov r7,a
      mov a,b
      add a,carry1
      add a,r6
      mov r6,a
      mov a,r2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov  b,#08h
mul  ab
mov  r0,b
mov  r1,a
mov  a,r7
subb a,r1
mov  carry1.0,c
mov  r7,a
mov  a,r6
subb a,carry1
subb a,r0
mov  r6,a
mov  b,#1ch
mul  ab
add  a,r7
mov  carry1.0,c
mov  r7,a
mov  a,b
add  a,carry1
mov  b,#02h
mul  ab
mov  r1,a
mov  a,r7
mov  b,#72h
div  ab
mov  r7,a
mov  a,r6
mov  b,#02h
mul  ab
add  a,r7
add  a,r5
add  a,r4
add  a,r1
ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

aa_a:  mov  a,anss_3
        add  a,anss_5
        subb a,anss_7
        mov  r0,a
        mov  a,anss_3
        mov  b,anss_5
        mul  ab
        mov  r2,b
        mov  r1,a
        mov  a,r2
        mov  b,r0
        div  ab
        mov  r5,a
        mov  r2,b
        mov  a,#0ffh
        mov  b,r0
        div  ab
        mov  r4,a
        mov  r3,b
        mov  b,r2
        mul  ab
        mov  r4,a
        mov  a,r3
        mov  b,r2
        mul  ab
        add  a,r1
        mov  r1,a
        mov  r5,b
        mov  a,#0FFh
        mov  b,r0
        div  ab
        mov  b,r5
        mul  ab
        mov  r5,a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    a,r1
mov    b,r0
div    ab
add    a,r5
add    a,r4
add    a,#01h
mov    r4,a
mov    a,anss_3
add    a,anss_5
add    a,anss_7
mov    carry1.0,c
mov    b,#02h
div    ab
mov    r3,a
mov    a,carry1
mov    b,#7fh
mul    ab
add    a,r3
mov    r3,a
mov    a,r4
subb   a,r3
mov    an_0,a
mov    a,stts
anl    a,#11000000b
cjne   a,#00h,two
mov    a,stts
anl    a,#00110000b
cjne   a,#10h,y_end
jmp    x_end
two:   cjne   a,#01000000b,three
mov    a,stts
anl    a,#00110000b
cjne   a,#00h,y_end
jmp    x_end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
three:  cjne a,#10000000b,four
```

```
        mov a,stts
```

```
        anl a,#00110000b
```

```
        cjne a,#00110000b,y_end
```

```
        jmp x_end
```

```
four:   mov a,stts
```

```
        anl a,#00110000b
```

```
        cjne a,#00100000b,y_end
```

```
        jmp x_end
```

```
x_end:  mov r0,an_0
```

```
        mov r1,anss_3
```

```
        mov r2,anss_5
```

```
        mov r3,anss_7
```

```
        call posx
```

```
        mov an_1,a
```

```
        mov r1,anss_5
```

```
        mov r2,anss_3
```

```
        call posx
```

```
        mov an_2,a
```

```
        jmp coor
```

```
y_end:  mov r0,an_0
```

```
        mov r1,anss_3
```

```
        mov r2,anss_5
```

```
        mov r3,anss_7
```

```
        call posx
```

```
        mov an_2,a
```

```
        mov r1,anss_5
```

```
        mov r2,anss_3
```

```
        call posx
```

```
        mov an_1,a
```

```
coor:   mov a,stts
```

```
        anl a,#11000000b
```

```
        cjne a,#00h,two2
```

```
        jmp xpos
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
two2:  cjne a,#40h,thre3
```

```
        mov a,#64h
```

```
        mov b,an_1
```

```
        subb a,b
```

```
        mov an_1,a
```

```
        jmp xpos
```

```
thre3:  cjne a,#80h,fou4
```

```
        mov a,#64h
```

```
        mov b,an_2
```

```
        subb a,b
```

```
        mov an_2,a
```

```
        jmp xpos
```

```
fou4:   mov a,#64h
```

```
        mov b,an_1
```

```
        subb a,b
```

```
        mov an_1,a
```

```
        mov a,#64h
```

```
        mov b,an_2
```

```
        subb a,b
```

```
        mov an_2,a
```

```
        jmp xpos
```

```
posx:   mov a,r1
```

```
        mov b,#02h
```

```
        mul ab
```

```
        mov b,r0
```

```
        mul ab
```

```
        mov r5,b
```

```
        mov r4,a
```

```
        mov a,r1
```

```
        mov b,r1
```

```
        mul ab
```

```
        mov r7,b
```

```
        add a,r4
```

```
        mov r4,a
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov  carry1.0,c
mov  a,r7
add  a,carry1
add  a,r5
mov  r5,a
mov  r7,#00h
mov  b,#04h
div  ab
mov  r6,a
mov  a,b
mov  b,#032h
mul  ab
add  a,r4
mov  carry2.0,c
mov  r4,a
mov  a,r7
add  a,b
add  a,carry2
mov  r7,a
mov  b,#06h
mov  a,r5
mul  ab
add  a,r4
mov  carry1.0,c
mov  r4,a
mov  a,r7
add  a,b
add  a,carry1
mov  r7,a
mov  b,#038h
mul  ab
add  a,r4
mov  b,#0c8h
div  ab

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

add a,r5
add a,r6
add a,r7
mov r4,a
mov a,#32h
subb a,r4
ret

; ***** Get Coordinate *****
xpos:  mov b,#0ah
       mov a,an_1
       div ab
       mov r0,a
       mov r1,b
ypos:  mov b,#0ah
       mov a,an_2
       div ab
       mov r2,a
       mov r3,b

; ***** Display 7 Segment *****
display: clr p0.4 ; digit 1 of 7 seg.
         clr p0.5 ; digit 2 of 7 seg.
         clr p0.6 ; digit 3 of 7 seg.
         clr p0.7 ; digit 4 of 7 seg.
         mov ans_1,r0
         mov ans_2,r1
         mov ans_3,r2
         mov ans_4,r3
         setb rs0 ;set use reg. bank 3
         setb rs1
digit1: mov a,ans_1
         orl a,#10h
         mov p0,a
         call delay
         clr p0.4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digit2:  mov  a,ans_2
         orl  a,#20h
         mov  p0,a
         call delay
         clr  p0.5

digit3:  mov  a,ans_3
         orl  a,#40h
         mov  p0,a
         call delay
         clr  p0.6

digit4:  mov  a,ans_4
         orl  a,#80h
         mov  p0,a
         call delay
         clr  p0.7
         jmp  digit1

delay:   push 00h
         mov  r0,#0ffh
         djnz r0,$
         pop  00h
         ret
         end

```

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณแม่ , คุณยาย , น้องที่น่ารัก ที่ให้ความรักและเป็นกำลังใจอันยิ่งใหญ่ ตลอดทั้งชีวิต
ขอขอบคุณ รศ.ดร.วันชัย ธีรจุฑา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา และแนะนำสิ่งต่างๆจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาควบคุมที่ให้คำสอนและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณสมชาย สุภาพ (พี่เต๋า) สำหรับข้อมูลต่างๆที่ใช้ทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้ง
ประสบการณ์และคำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณมากค่ะ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคนในภาค สำหรับมิตรภาพอันดีที่ช่วยสร้างกำลังใจให้มากมาย , ขอใจ
สำหรับขนมทุกชิ้น , อุปกรณ์ทุกอย่างที่ให้หยิบยืม , รอยยิ้ม เสียงหัวเราะที่มีให้กันเสมอ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆห้อง PROCESS ทุกคนที่อยู่ด้วยกัน ทำงานด้วยกันด้วยความครื้นเครง “ เพื่อน
กันสำนักห้อง PROCESS ”

ขอขอบคุณ ทุกคนที่มีส่วนผลักดันให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลง ขอใจจริงๆ

ขอขอบคุณ โชคชะตาที่พาให้มาศึกษา ณ สถานที่อันเต็มไปด้วยความทรงจำเช่นนี้

นางสาว วิภาสรี วณิชปัญญพล

นาย ศิษฏ์ วัชังเงิน

หนังสืออ้างอิง

1. Mc Connell , K.G. , " Vibration Testing : Theory & Practice " , JOHN WILEY & SON INC , 161 p. , 1995
2. กฤษดา ใจเย็น , " รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอมพิวเตอร์ " , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 69 หน้า , 2539
3. MHS , "ARCHITECTURAL OVERVIRW OF THE MHS C51 FAMILY " , MHS 80C52 , 145 p. , 1992
4. ชีรศิลป์ ทุมวิภาต สุมาลี อุณหวนิชย์ สมชาย สุภาพ , " ปริญญานิพนธ์เรื่องการหาตำแหน่งของวัตถุตก " , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2539
5. บริษัท National เซมิคอนดักเตอร์ , " Analog Linear Ampliler " , WWW. National.com , 2001