



เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก

TRIAXIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER



- |              |                  |          |
|--------------|------------------|----------|
| 1. นาย จีระ  | วงศ์อนันต์ชัย    | 35102090 |
| 2. นาย นิพล  | พรหมศรี          | 35102100 |
| 3. นาย ปัญญา | คูจิริระประเสริฐ | 35102105 |

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง **034891**

ปีการศึกษา 2537

เรื่องวัดความสันเสเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพิโซอิเล็กตริก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก  
TRIAXIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER

ผู้จัดทำ

- |    |           |               |          |
|----|-----------|---------------|----------|
| 1. | นาย จีระ  | วงศ์อนันต์ชัย | 35102090 |
| 2. | นาย นิพล  | พรหมศรี       | 35102100 |
| 3. | นาย ปิญญา | คูจระประเสริฐ | 35102105 |

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก

TRIAXIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER

นาย จีระ วงศ์อนันต์ชัย 35102090

นาย นิพล พรหมศรี 35102100

นาย ปัญญา กุจิระประเสริฐ 35102105

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก ใช้ PiezoBEAM จำนวน 2 ตัว ทำการวัดความสั่นสะเทือนได้สองจุด เป็นเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรขนาดเล็ก ช่วงการวัดของ PiezoBEAM อยู่ระหว่าง  $\pm 50$  g PiezoBEAM Accelerometer เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนซึ่งอาศัยหลักการของพิโซอิเล็กทริกคือทำการเปรียบเทียบอัตราเร่งของความสั่นสะเทือนต่อค่าแรงโน้มถ่วงของโลกและให้เอาท์พุทเป็นประจุไฟฟ้าออกมาตามอัตราส่วนแรงที่กระทำ ผ่านวงจรแปลงค่าประจุเป็นแรงดัน 0 ถึง 5 โวลท์ มีวงจรเกณฑ์การขยายผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลรับอินพุท 6 channel และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS232 ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีโปรแกรมประมวลผล โปรแกรมที่ใช้เขียนด้วยภาษาซีเพื่อประมวลผลข้อมูลของระดับความสั่นสะเทือน ทำการสุ่มค่า 220 ค่า สำหรับหาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยของช่วงการวัด ความสามารถทางด้านซอฟต์แวร์ยังสามารถนำข้อมูลค่ามาแสดงหน้าจอ การพิมพ์กราฟออกทางเครื่องพิมพ์ การเปรียบเทียบกราฟเพื่อบอกถึงการบำรุงรักษา พล็อตกราฟ โดยรับค่าแบบต่อเนื่อง พล็อตกราฟโดยรับข้อมูลที่ละชุด สามารถแสดงกราฟทุก channel พร้อมกัน เครื่องจักรที่มีส่วนประกอบของเครื่องยนต์หรือมอเตอร์จะเกิดความสั่นสะเทือนระดับหนึ่ง โดยเครื่องวัดนี้สามารถจะเก็บข้อมูลได้เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ทำการตรวจสอบภายหลังแล้วนำมาพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของเครื่องจักร เพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ล่วงหน้าว่าเครื่องจักรจะเกิดผิดปกติเมื่อใดหรือจะต้องทำการซ่อมบำรุงหรือไม่ ทำให้เราสามารถป้องกันความผิดปกติของเครื่องจักรก่อนเหตุการณ์นั้นได้ ทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้สม่ำเสมอตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TRIAxIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER

JEERA WONGANANCHAI 35102090

NIPON PROMSEE 35102100

PANYA KUJIRAPRASERT 35102105

ADVISER

WIDHAYA THIPSUWUNPORN

ACADEMIC YEAR 1994

### Abstract

This thesis is an application of triaxial accelerometer to measure vibration shock and acceleration of machine. In measurement is used two piezoBEAM sensor for measure acceleration of a small machine at different position. Measuring range of piezoBEAM is between  $\pm 50$  g. PiezoBEAM sensor use principle of piezoelectric that the force acting on measuring element is proportional to acceleration in accordance with Newton's law:  $F=ma$ . An electric charge is generated proportional to the force. The output signal from sensor is converted into proportional voltage about 0.5 volts by external amplifier. The output signal is converted into digital by analog to digital converter with 8 channel multiplexer. The triaxial piezoelectric accelerometer interfaces with the microcontroller 8031. The microcontroller use for sending data to microcomputer via RS 232 serial port. Microcomputer use C language software to process, sampling data. This software is used to find maximum, minimum and average level of measuring range and it can display, print, compare the old data for indication repair condition to user. The graph plot from continuous or single data which can be selected and display all channels simultaneously. Motor and engines effects cause the acceleration of machine that generally have any level which could be measured and stored. For predict the variation of acceleration level or frequency that we know the trouble on machine and we could be analysis to improve or repair machine. Hence, we can protect machine before it failure which it can work all the time.

## สารบัญ

### บทคัดย่อ

### ABSTRACT

บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 การนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนไปใช้ในงานอุตสาหกรรม.....	1
1.2 ลักษณะการใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนในโรงงานอุตสาหกรรม.....	5
1.3 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	8
2.1 ทฤษฎีทรานสดิวเซอร์พิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer).....	8
2.2 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนชนิด 3 แกน (Triaxial Accelerometer).....	12
2.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A to D converter).....	17
2.4 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	22
บทที่ 3 การออกแบบแลห้กการทำงาน.....	31
3.1 ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องวัดความสั่นสะเทือน.....	31
3.2 หลักการทำงานทั่วไป.....	31
3.3 การเขียนโปรแกรมภาษาซีในการสื่อสารแบบอนุกรม.....	46
3.4 การเขียนโปรแกรมแอสเซมบลีสำหรับการส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	54
3.5 โปรแกรมควบคุมและแสดงผลทางกราฟฟิก.....	58
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	66
4.1 จุดประสงค์.....	66
4.2 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวัดความสั่นสะเทือน.....	66
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....	103
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1	แผนผังการซ่อมบำรุง.....	2
รูปที่ 1.2	การกำหนดจุดตรวจวัดและตำแหน่งบนเครื่องจักร.....	3
รูปที่ 1.3	การนำไมโครโปรเซสเซอร์มาประกอบการแสดงผล.....	4
รูปที่ 1.4	การใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนตรวจวัดสภาพมอเตอร์ บันทึก สะสมข้อมูล.....	6
รูปที่ 1.5	ตัวอย่างการวัดวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน.....	7
รูปที่ 2.1	Piezoelectric Transducer.....	9
รูปที่ 2.2	วงจรสมมูลย์ของ Piezoelectric Transducer.....	11
รูปที่ 2.3	การใช้ความต้านทานอนุกรมเพื่อเพิ่มค่า Time Constant.....	12
รูปที่ 2.4	เซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ออกแบบตามแรงอัด.....	13
รูปที่ 2.5	การทำให้มีมคิครูปรางจะเกิดประจุ.....	14
รูปที่ 2.6	เซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ออกแบบด้วย PiezoBEAM.....	15
รูปที่ 2.7a	beam ที่งอเนื่องจากความเร่ง $a_z$ ในทิศทางขึ้นบน.....	15
รูปที่ 2.7b	beam ที่งอเนื่องจากความเร่ง $a_z$ ในทิศทางลงข้างล่าง.....	15
รูปที่ 2.7c	การหมุนของตัวเซ็นเซอร์รอบ ๆ แกน Y.....	15
รูปที่ 2.8a	beam A และ B ที่โค้งงอภายใต้ความเร่งเชิงเส้น.....	16
รูปที่ 2.8b	ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ที่โค้งงอภายใต้การหมุนรอบแกน Y.....	16
รูปที่ 2.9	วงจรที่ใช้วัดความเร่งเชิงมุมและความเร่งในการหมุนพร้อมๆ กัน.....	16
รูปที่ 2.10	บล็อกไดอะแกรมของระบบ Data Acquisition.....	17
รูปที่ 2.11	การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	18
รูปที่ 2.12	ความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ.....	19
รูปที่ 2.13	วงจรการสุ่มและคงค่า.....	20
รูปที่ 2.14	วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดิแบบ successive approximation.....	21
รูปที่ 2.15	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรเอทูดิแบบใช้การประมาณค่า.....	22
รูปที่ 2.16	การส่งตัวอักษร 8 บิต แบบ asynchronous.....	23
รูปที่ 2.17	ตัวจับเวลา 1 ทำงานในโหมด 2 แบบโหลดใหม่ 8 บิต.....	26
รูปที่ 3.1	แสดงทิศทางที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้.....	32
รูปที่ 3.2	Triaxial Accelerometer.....	34
รูปที่ 3.3	แสดงภาพตัดขวางของ PiezoBEAM.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4	Cable.....	36
รูปที่ 3.5	แสดงการติดตั้งสายที่ถูกต้อง.....	37
รูปที่ 3.6	Coupler.....	38
รูปที่ 3.7	แสดงโครงสร้างวงจรของ coupler.....	40
รูปที่ 3.8	Block Diagram.....	41
รูปที่ 3.9	แสดง Timing Diagram ของ ADC0808 .....	42
รูปที่ 3.10	แสดงการต่อขาสัญญาณ RS232.....	43
รูปที่ 3.11	inverting amplifier.....	45
รูปที่ 3.12	วงจรรวมสัญญาณ.....	46
รูปที่ 3.13	วงจรบัฟเฟอร์.....	46
รูปที่ 3.14	แสดง title ของโปรแกรม.....	59
รูปที่ 3.15	แสดงเมนูหลักของโปรแกรม.....	60
รูปที่ 3.16	แสดงส่วนโพลดิเพิ่มข้อมูล.....	60
รูปที่ 3.17	แสดงส่วนพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์.....	61
รูปที่ 3.18	แสดงส่วนกรอกรายละเอียด.....	62
รูปที่ 3.19	แสดงส่วนเลือกลักษณะการทดสอบเครื่องจักร.....	62
รูปที่ 3.20	แสดงลักษณะหน้าจอของการทดสอบเครื่องจักร.....	63
รูปที่ 3.21	แสดงลักษณะหน้าจอที่เพิ่มสเกลให้ละเอียดขึ้น.....	63
รูปที่ 3.22	แสดงส่วนเปรียบเทียบข้อมูล.....	64
รูปที่ 3.23	แสดงขณะออกจากโปรแกรม.....	65
รูปที่ 4.1a	เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง.....	68
รูปที่ 4.1b	แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM ที่ตำแหน่ง A.....	69
รูปที่ 4.1c	แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM ที่ตำแหน่ง B.....	69
รูปที่ 4.1d	แสดงการใช้งานเครื่องวัดความสั่นสะเทือน.....	70
รูปที่ 4.2a	แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1.....	71
รูปที่ 4.2b	แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2.....	71
รูปที่ 4.2c	แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3.....	72
รูปที่ 4.2d	แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4.....	72
รูปที่ 4.2e	แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5.....	73
รูปที่ 4.2f	แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3a แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนระหว่าง X1 กับ X2 ที่เวลาเดียวกัน และ โหลดเท่ากัน .....	75
รูปที่ 4.3b แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนระหว่าง Y1 กับ Y2 ที่เวลาเดียวกัน และ โหลดเท่ากัน .....	76
รูปที่ 4.3c แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนระหว่าง Z1 กับ Z2 ที่เวลาเดียวกัน และ โหลดเท่ากัน .....	77
รูปที่ 4.4a แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน X1,CH1 ที่ เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3_t2.tac.....	78
รูปที่ 4.4b แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน Y1,CH2 ที่ เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3_t2.tac.....	79
รูปที่ 4.4c แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน Z1,CH3 ที่ เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3_t2.tac.....	79
รูปที่ 4.4d แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน X2,CH4 ที่ เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3_t2.tac.....	80
รูปที่ 4.4e แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน Y2,CH5 ที่ เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3_t2.tac.....	80
รูปที่ 4.4f แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน Z2,CH6 ที่ เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3_t2.tac.....	81
รูปที่ 4.5 แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM บนมอเตอร์หินเจียร์ไน.....	82
รูปที่ 4.6a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1.....	83
รูปที่ 4.6b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2.....	83
รูปที่ 4.6c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3.....	84
รูปที่ 4.6d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4.....	84
รูปที่ 4.6e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5.....	85
รูปที่ 4.6f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6.....	85
รูปที่ 4.7a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1.....	86
รูปที่ 4.7b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2.....	87
รูปที่ 4.7c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3.....	87
รูปที่ 4.7d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4.....	88
รูปที่ 4.7e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6.....	89
รูปที่ 4.8 สภาพของตลับลูกปืนที่มีอาการผิดปกติ.....	90
รูปที่ 4.9a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1.....	90
รูปที่ 4.9b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2.....	91
รูปที่ 4.9c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3.....	91
รูปที่ 4.9d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4.....	92
รูปที่ 4.9e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5.....	92
รูปที่ 4.9f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6.....	93
รูปที่ 4.10 แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM บนเครื่องยนต์และหม้อกรอง.....	94
รูปที่ 4.11 แสดงการวัดความสั่นสะเทือนขณะถอดปลั๊กหัวเทียนของ เครื่องยนต์ออก 2 หัว.....	95
รูปที่ 4.12a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1.....	95
รูปที่ 4.12b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2.....	96
รูปที่ 4.12c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3.....	96
รูปที่ 4.12d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4.....	97
รูปที่ 4.12e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5.....	97
รูปที่ 4.12f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6.....	98
รูปที่ 4.13 แสดงการวัดความสั่นสะเทือนขณะ ไม่ได้ทำการถอดหัวเทียน.....	99
รูปที่ 4.14a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1.....	99
รูปที่ 4.14b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2.....	100
รูปที่ 4.14c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3.....	100
รูปที่ 4.14d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4.....	101
รูปที่ 4.14e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5.....	101
รูปที่ 4.14f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6.....	102
รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของ B แกน X2,CH4 ที่สภาวะตลับลูก ปืนปกติคือไฟล์ g5.tac กับตลับลูกปืนมีอาการผิดปกติคือไฟล์ g2.tac.....	104
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของ B แกน Y2,CH5 ที่สภาวะตลับลูก ปืนปกติคือไฟล์ g5.tac กับตลับลูกปืนมีอาการผิดปกติคือไฟล์ g2.tac.....	105
รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของ B แกน Z2,CH6 ที่สภาวะตลับลูก ปืนปกติคือไฟล์ g5.tac กับตลับลูกปืนมีอาการผิดปกติคือไฟล์ g2.tac.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 การนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

##### 1.1.1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

สิ่งที่วิศวกรซ่อมบำรุงปรารถนาก็คือ ต้องการให้เครื่องจักรทำงานได้ตามปกติเดินเรียบ สม่ำเสมอมีประสิทธิภาพและเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด จึงต้องมีการวางแผนระบบการซ่อมบำรุงต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน โดยมีเป้าหมายหลักคือ

1. ลดข้อขัดข้องหรือจัดปัญหาการทำงานของเครื่องจักรให้หมดไป โดยเพิ่มความมั่นใจในการทำงานของเครื่องจักรให้สูงขึ้น
2. ถ้าหลีกเลี่ยงการหยุดเครื่องจักรไม่ได้ ก็ต้องพยายามลดเวลาการหยุดเครื่องจักรให้น้อยที่สุด โดยวางแผนการซ่อมบำรุง กำลังแรงงาน และอะไหล่อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ลดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุง ศึกษาหาวิธีการซ่อมบำรุงสมัยใหม่ เพื่อนำไปสู่การประหยัดและเพิ่มผลผลิต

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว มีเทคนิคการซ่อมบำรุงอย่างหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศ ก็คือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ในขณะที่ประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำได้ใช้วิธีการนี้มานานกว่า 20 ปีทีเดียว

เทคนิคการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันก็คือ การบำรุงรักษาล่วงหน้าก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดการชำรุดขัดข้องกะทันหันในระหว่างการผลิต โดยออกแบบวางแผนทั้งทางด้านการหล่อลื่น การตรวจสอบสภาพเครื่องจักร การวัดการเสื่อมคุณภาพ ตลอดจนการทำความสะอาดเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ เช่น ทุกสัปดาห์ ทุกเดือน หรือทุก 6 เดือน ตามความเหมาะสมของเครื่องจักรแต่ละชนิด

ในการวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องจักรการกำหนดเวลาซ่อมบำรุง เป็นเรื่องที่สำคัญมากถ้ากำหนด ช่วงเวลาการซ่อมถี่เกินไปจะทำให้เกิดการสิ้นเปลือง และในทางตรงกันข้ามถ้ากำหนดเวลาการซ่อมบำรุงห่างเกินไป เครื่องจักรอาจเกิดการขัดข้องเสียหายก่อนที่จะมีการซ่อมบำรุง ดังนั้นความเหมาะสมในการกำหนดช่วงความถี่ในการซ่อมบำรุงควรพิจารณาจากองค์ประกอบต่าง ๆ รวมกัน เช่น กำเเนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักร สภาพการใช้งาน ประวัติความขัดข้องที่ผ่านมาและการซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นต้น

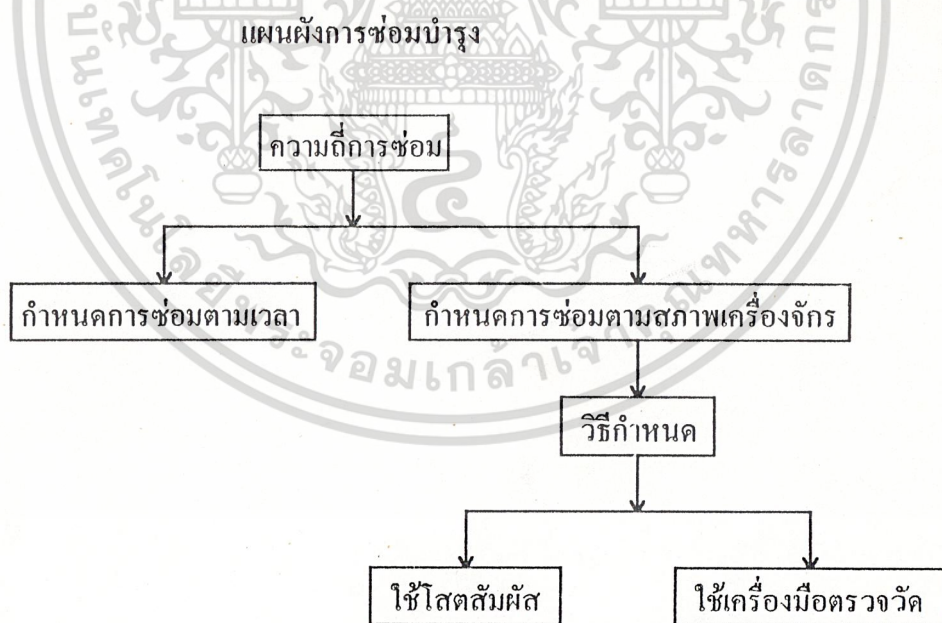
### 1. กำหนดการซ่อมบำรุงตามเวลา

เป็นการซ่อมบำรุงโดยใช้เวลาทำงานของเครื่องจักรเป็นความถี่-ห่างของการกำหนดเวลา เช่น การกวาดชั้นฆ่าสกรู การเปลี่ยนชิ้นส่วน การทำความสะอาดเครื่องจักรเป็นการซ่อมบำรุงแก้ปัญหาเล็ก ๆ ก่อนที่จะเกิดการเสียหายขัดข้องขนาดใหญ่ โดยมักจะได้รับคำแนะนำจากหนังสือคู่มือกำกับเครื่องจักร การกำหนดความถี่การซ่อมบำรุงวิธีนี้เหมาะสำหรับการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักร ที่อยู่ภายในและไม่สามารถตรวจจากสภาพภายนอกได้ เช่น การเปลี่ยนซีล การกวาดชั้นฆ่าสกรูภายใน การตรวจสอบการแตกร้าววาล์วหรือ การซ่อมใหญ่มอเตอร์ การล้างทำความสะอาดภายในขดลวด เป็นต้น

### 2. กำหนดการซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพ

การกำหนดการซ่อมวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถใช้ประโยชน์สูงสุดจากการใช้งานของเครื่องจักรเมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ทำงานจนกระทั่งเสื่อมสภาพลง ก็ควรจะซ่อมบำรุงรักษาหรือปรับปรุงให้กลับคืนสู่สภาพเดิมหรือดีขึ้น

การกำหนดความถี่การซ่อมบำรุงวิธีนี้ เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่สามารถตรวจวัดการเสื่อมสภาพได้ เช่น ตรวจวัดความร้อน เสียง ความสั่นสะเทือน เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แผนผังการซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

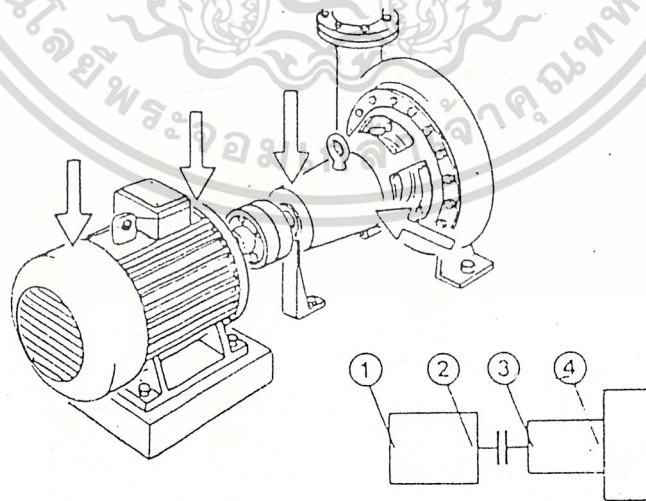
### 1.1.2 วิธีการวัดการเสื่อมสภาพ

ตรวจวัดการเสื่อมสภาพด้วยความรู้สึกลึก:

เป็นวิธีการพื้นฐานแบบง่าย ๆ โดยใช้ประสาทสัมผัส ประสพการณ์จากการสังเกตและความรู้สึกที่คลุกคลีอยู่กับเครื่องจักรนั้น ๆ เช่น ร้อนผิดปกติ เสียงคัง สั่น มีกลิ่นผิดปกติการตรวจวัดการเสื่อมสภาพวิธีนี้โอกาสผิดพลาดจะมีมาก เนื่องจากสัมผัสแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ไม่สามารถบันทึกเป็นข้อมูลได้ แต่ข้อดีก็คือ เหมาะสำหรับการตรวจวัดการเสื่อมสภาพในระยะเริ่มแรก

ตรวจวัดการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องมือวัด:

เป็นผลมาจากการวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีอันรวดเร็ว มีการออกแบบผลิตเครื่องมือวัดต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ทำให้ได้ผลการตรวจวัดถูกต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน สามารถเก็บเป็นข้อมูลประวัติ ใช้ประเมินการเสื่อมสภาพและวิเคราะห์ว่าเครื่องจักรอยู่ในสภาพใดและสามารถพยากรณ์ว่า จะใช้งานเครื่องจักรต่อไปได้อีกนานเท่าใด การบำรุงรักษาวิธีนี้เรียกว่า "การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์"

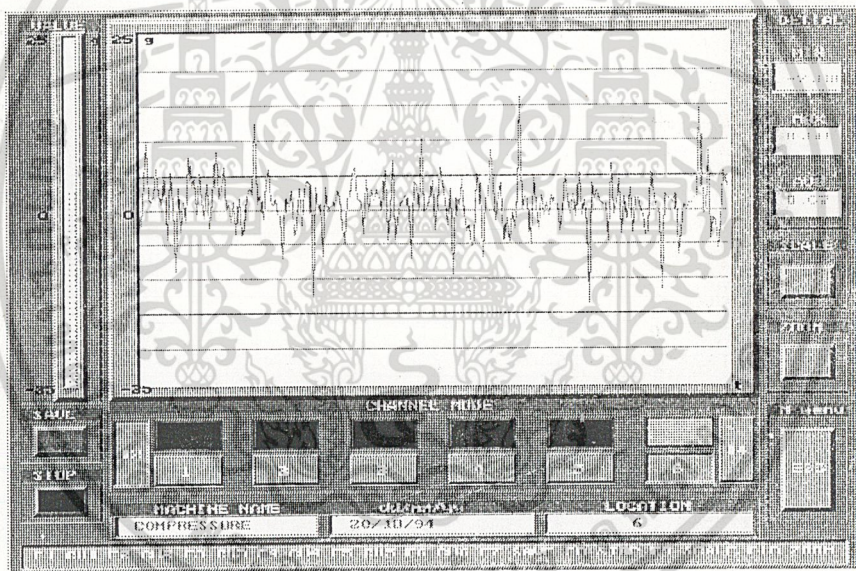


รูปที่ 1.2 การกำหนดจุดตรวจวัด และตำแหน่งบนเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.3 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ หมายถึงการบำรุงรักษาโดยการตรวจวัดการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เพื่อตรวจวัดแนวโน้มสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องจักรทำงานทำให้ทราบ ว่าเครื่องจักรทำงานอยู่ในสภาพใด เพื่อคาดคะเนการซ่อมบำรุงล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดบันทึก วิเคราะห์ผล และแก้ไขปัญหาซึ่งข้อดีที่ชัดเจนของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์คือ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงประมาณ 20% และทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า เพื่อให้งานบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบงาน และติดตามความเจริญก้าวหน้าของเครื่องมือวัด และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ปัจจุบันระบบไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาท อย่างมากในการประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัดเกือบทุกประเภท



รูปที่ 1.3 การนำไมโครคอมพิวเตอร์มาประกอบการแสดงผล

จากรูปเป็นผลที่ได้จากเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน (Accelerometer) ที่ใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการตรวจวัด บันทึกข้อมูล แสดงแนวโน้มการเสื่อมสภาพเครื่องจักร และรายงานด้วยตัวเลข รูปกราฟ มีความสะดวก รวดเร็ว และใช้งานง่ายนอกจากนี้แล้วการใช้เครื่องมือวัดอื่น ๆ เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือฟังเสียงคลื่น ความถี่สูง เครื่องมือวิเคราะห์ผลการสึกหรอหรือเครื่องมือตรวจสอบสภาพลบลูกปืน จะทำให้ได้ข้อมูลเฉพาะอย่างที่จะเห็นแนวโน้มการผิดปกติที่เด่นชัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนมาใช้กับวิธีการบำรุงรักษา

ก่อนที่จะกำหนดช่วงเวลา ความถี่ในการตรวจวัดสภาพเครื่องจักรควรมีผังขบวนการของระบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจในการปฏิบัติ ลักษณะของขั้นตอนทั่ว ๆ ไปแบ่งได้ดังนี้

**ขั้นตอนแรก** : การพิจารณาความเป็นไปได้ของเครื่องจักร ที่จะกำหนดให้เป็นการบำรุงรักษาตามการเสื่อมสภาพ การดูประวัติเครื่องจักร จำนวนแบบของเครื่องจักร ความสำคัญต่อขบวนการผลิต ชนิด และความถี่ของการขัดข้อง และแนวโน้มที่จะเกิดการขัดข้องอีก

**ขั้นตอนที่สอง** : การเลือกเครื่องจักรที่สามารถตรวจวัดควบคุมได้ง่ายและความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ร่วมกับวิธีการบำรุงรักษา

**ขั้นตอนที่สาม** : พิจารณาว่าจะวัดอย่างไรและตรงจุดใด โดยการเลือกตำแหน่งที่ดีที่สุดที่บอกสภาพการขัดข้องของเครื่องจักร ส่วนใหญ่จะเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดการผิดปกติ เช่น ใกล้กับคลัทช์ลูกปืน แทนเครื่องจักร หน้าแปลนต่อกำลัง เป็นต้น

**ขั้นตอนที่สี่** : เป็นการกำหนดระยะเวลาที่จะตรวจวัดบ่อยมากน้อยเพียงใด

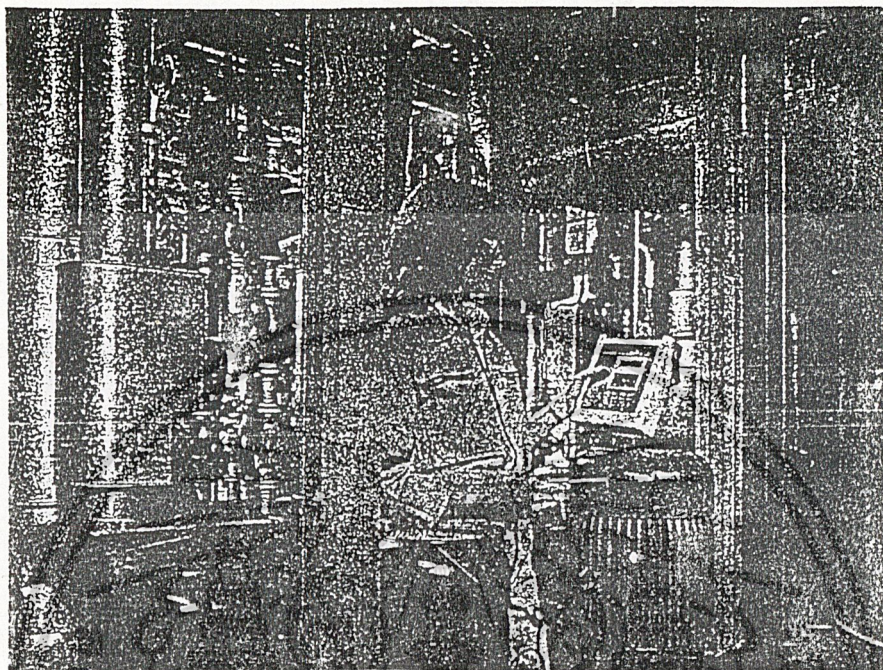
**ขั้นตอนที่ห้า** : เป็นการกำหนดระดับหรือค่าพิกัดการตรวจวัด แสดงระดับการทำงานปกติของเครื่องจักร

**ขั้นตอนที่หก** : เป็นการกำหนดเส้นหรือขอบเขตความรุนแรงแต่ละระดับ เช่น อาจแบ่งเป็นระดับปกติดี พอใช้ และต้องแก้ไข โดยอ้างอิงจากระดับมาตรฐานแต่ละประเภทของเครื่องจักร

สรุปขั้นตอนการเตรียมการระยะแรกเริ่มจาก การกำหนดช่วงเวลาการตรวจวัด การทำแผนการตรวจวัด การเก็บรวบรวมข้อมูลและบันทึก การวิเคราะห์ผล เพื่อจะหาสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

### 1.2 ลักษณะการใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนในโรงงานอุตสาหกรรม

เป็นเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ปกติเครื่องจักรทำงานโดยได้รับแรงขับเคลื่อนจากเครื่องต้นกำลัง ซึ่งอาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์ กังหันจะทำให้เครื่องจักรเกิดความสั่นสะเทือนในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดได้และเก็บข้อมูลนั้นไว้เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดภายหลัง เพื่อพิจารณาอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร ความไม่สมดุลหรือการติดตั้งเครื่องจักรที่ไม่ตรงแนวศูนย์ (Misalignment) ปกติการเปลี่ยนแปลงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการผิดปกติของเครื่องจักร การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสั่นสะเทือนหรือความถี่ จะทราบถึงระดับรุนแรงของปัญหาว่าจะต้องแก้ไขอย่างไร



รูปที่ 1.4 การใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือน ตรวจวัดสภาพมอเตอร์ บ้านทีก สะสมข้อมูล  
การวิเคราะห์ประมวลผล

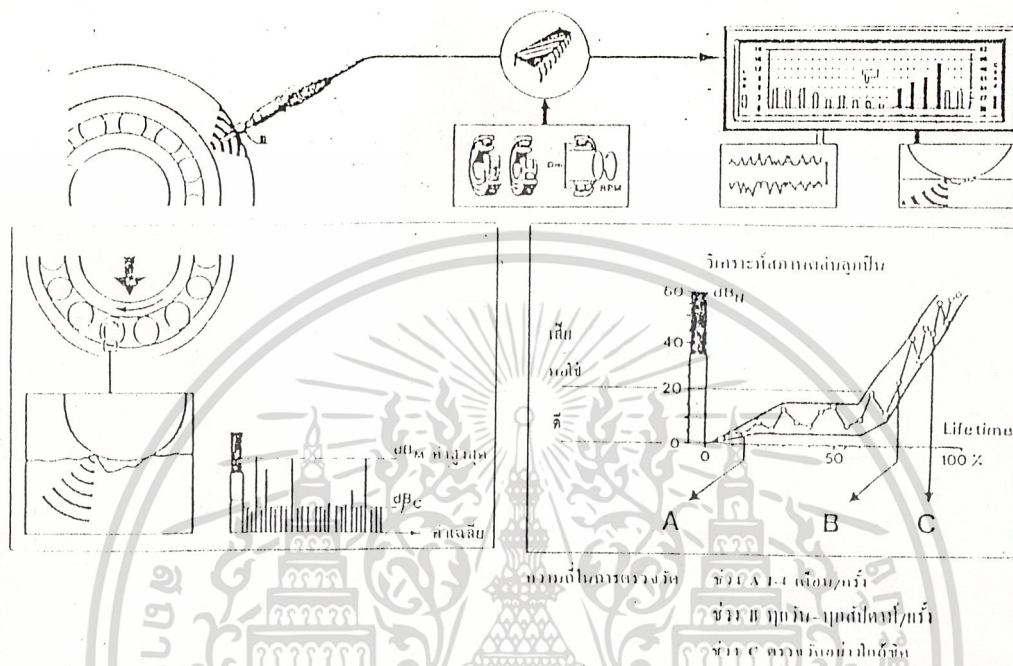
เครื่องวัดความสั่นสะเทือนในปัจจุบัน จะแบ่งการวิเคราะห์ประมวลผลแสดงผลได้เป็น  
2 แบบคือ

1. เป็นเครื่องมือวัดทำรวม (Overall) วัดระดับความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรทั้งหมด  
แสดงผลในรูปของค่าตัวเลข ถ้าความสั่นสะเทือนเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ผ่านมา จนถึงระดับ  
อันตรายก็จะสร้างสัญญาณเตือนให้ทราบ

2. เป็นแบบวิเคราะห์ประมวลผลในรูปของสเปกตรัมความถี่ความสั่นสะเทือน ของส่วน  
ประกอบในเครื่องจักรทั้งหมด แยกระดับความสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ ทำให้ทราบรายละเอียด  
และสาเหตุความสั่นสะเทือนที่ผิดปกติว่าเกิดจากส่วนประกอบใด

ในโครงการชิ้นนี้เป็นการวัดวิเคราะห์แบบแรก คือวัดค่าความของระดับความสั่นสะเทือน  
เป็นตัวเลขและเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลการวัดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 ตัวอย่างการวัดวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน

1.3 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกนด้วยพิโซอิเล็กทริก

โครงการเครื่องวัดความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก 1 (PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER) โดยใช้เซ็นเซอร์คือผลึกพิโซอิเล็กทริกชนิดที่วัดได้แกนเดียวซึ่งค่าที่ออกมา นั้นมีค่าไม่แม่นยำเท่าที่ควรเนื่องจากความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดทิศทางเดียว แต่อาจเกิดได้รอบทิศทางซึ่งค่าความสั่นสะเทือนที่ไม่แม่นยำจะมีผลต่อการวิเคราะห์เครื่องจักรเป็นอย่างมาก อีกทั้งโครงการเดิมเมื่อต้องการจะวัดหลายๆตำแหน่งก็ต้องเคลื่อนย้ายทำให้เกิดความยุ่งยากและการ ขยายทางฮาร์ดแวร์ก็ทำได้ยาก ดังนั้นโครงการเครื่องวัดความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก 2 จึงเกิดขึ้นซึ่งเน้นถึงการพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เป็นสำคัญ อีกทั้งง่ายต่อการนำไปใช้ งานและแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์รวมทั้งการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ฉะนั้นโครงการนี้จึง ใช้เซ็นเซอร์ที่เป็นผลึกพิโซอิเล็กทริกชนิด 3 แกน ซึ่งจะทำให้ค่าที่ออกมามีความแม่นยำกว่าและ ง่ายต่อการขยายในอนาคตเพราะสามารถรับอินพุตได้ถึง 8 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีทรานสดิวเซอร์พิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer)

เมื่อใดก็ตามที่วัตถุของแข็งที่มีรูปร่างแน่นอน ถูกทำให้เสียรูปไป ภายในตัวมันจะเกิดประจุไฟฟ้าหากมีการนำไปใช้จะมีผลกระทบย้อนกลับนั่นคือวัตถุจะเสียรูปเชิงกลเป็นผลตอบสนองการกระทำนี้ให้ชื่อว่า ปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect) หลักการสำคัญของการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical) คือ การนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ทั้ง 2 ทิศทาง คือ ถ้าอินพุตเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกลแล้วให้สัญญาณทางไฟฟ้าเป็นเอาต์พุต ก็จะเป็นพื้นฐานของเครื่องมือทั่ว ๆ ไป ที่ใช้สำหรับวัดความเร่ง ความเร็ว และความดัน สามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ วิธีการกำเนิดกำลังไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง กระแสต่ำ เช่นการใช้ในการจุดระเบิดเครื่องยนต์ (Spark-ignition) และ การกรองฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (electrostatic dust filter) ในทางกลับกันถ้าอินพุต เป็น สัญญาณทางไฟฟ้า แล้วให้การเปลี่ยนแปลงทางกลเป็นเอาต์พุตจะใช้ในการ สั่นสะเทือนที่มีค่าน้อย ๆ (small vibration shaker) ระบบโซนาร์ สำหรับเสียง (sonar system for acoustic ranging) ตัวตรวจจับทิศทาง อุปกรณ์การตรวจสอบอุลตราโซนิก โดยไม่ทำลาย (ultrasonic nondestructive) และอื่น ๆ อีกมากมาย

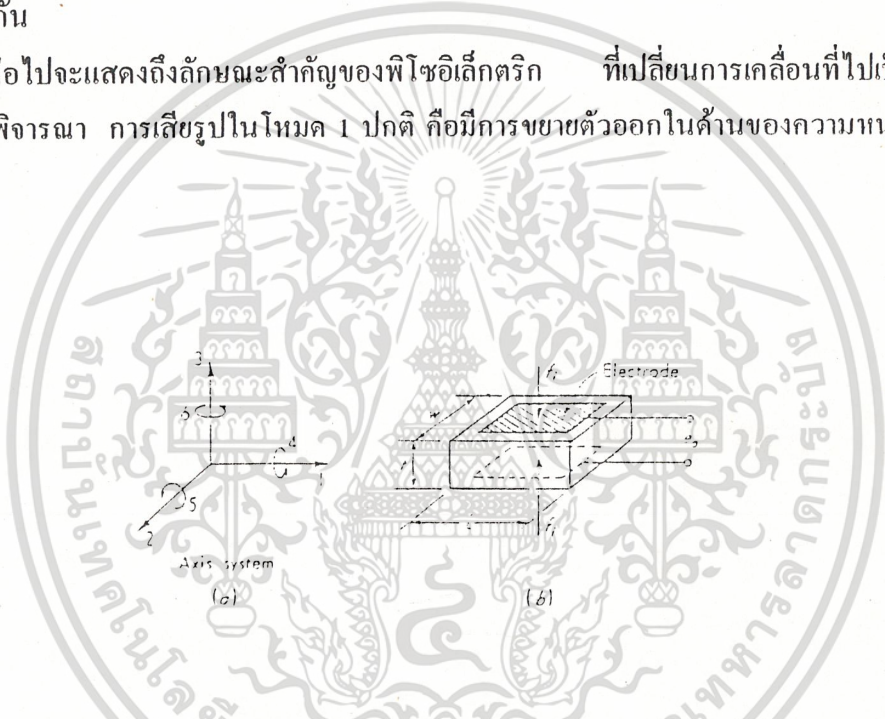
วัสดุที่แสดงออกถึงลักษณะความสำคัญ และผลกระททำของพิโซอิเล็กทริก แบ่งได้ 3 กลุ่มตามธรรมชาติ คือ ควอตซ์ (quartz) ดีเกลือ (rochelle salt) และทิตเนียมซัลไฟด์ (titanium sulfur, ammonium dihydrogen phosphase) โดย การแยกขั้วเซรามิกที่เป็นไฟฟ้า (ferro electric) เช่น barium titanate และแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ที่มีรูปร่างแน่นอน เหตุเพราะ โครงสร้างที่ไม่สมมาตรตามธรรมชาติวัตถุที่เป็นผลึกจะแสดงปฏิกิริยาออกมา ถึงแม้จะไม่มีขบวนการใดๆ สำหรับเซรามิกซ์ที่เป็นไฟฟ้า จะต้องถูกแยกขั้วเทียบโดยวิธีใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความเข้มมาก ๆ ให้กับวัตถุ (ขณะที่ถูกให้ความร้อนสูง ๆ มีอุณหภูมิเหนือจุดคูรี (curie point) ของวัสดุนั้น) และทำให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ขณะที่ยังมีสนามนั้นอยู่เมื่อสนามภายนอกถูกนำออกไปจากวัสดุที่เย็นแล้วการ โพลาริซที่ยังคงเหลือจะถูกเก็บไว้ภายในและวัสดุนั้นจะแสดงผลของพิโซอิเล็กทริก ผลของพิโซอิเล็กทริกสามารถถูกทำให้เกิดผลตอบสนอง (หรือเป็นสาเหตุ) การเสียรูปเชิงกลของวัสดุในโหมดต่าง ๆ กัน เช่น การขยายออกของความหนา ตามขวาง แรงเฉือนตามความหนา แรงเฉือนที่ผิว จุดคูรี คือ อุณหภูมิเหนือจุดที่วัสดุนั้น สูญเสียความเป็นไฟฟ้า มันถูกจำกัดอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่วัสดุนั้นจะสามารถถูกใช้ได้ โหมดของผลจากการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับการรูปร่าง และการหาทิศทางของตัววัตถุ ซึ่งสัมพันธ์กับแกนผลึก และตำแหน่งของอิเล็กโทรด (electrode) อิเล็กโทรดที่เป็นโลหะจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถูกทำให้เป็นแผ่น — วางบนผิวหน้าของวัสดุพิโซอิเล็กทริกที่เลือกไว้ เพื่อที่จะนำสายสัญญาณซึ่งสามารถใช้ติดกับแผ่นโลหะ สำหรับการนำประจุไฟฟ้าเข้าหรือออก เริ่มจากการที่วัสดุพิโซอิเล็กทริกเป็นฉนวนไฟฟ้า แล้วแผ่นอิเล็กโทรดก็จะกลายเป็นตัวเก็บประจุ อุปกรณ์พิโซอิเล็กทริก ใช้สำหรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ทางกลไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังนั้นอาจจะคิดได้ว่าเป็นการกำเนิดประจุไฟฟ้าและตัวเก็บประจุ การเสียดรูปเชิงกลทำให้เกิดประจุ ประจุนี้เป็นผลทำให้ปรากฏแรงดันค่าหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นไปตามกฎสำหรับตัวเก็บประจุ  $E = Q/C$  ผลของพิโซอิเล็กทริกคือทิศทางและความไว ในแรงตึงนั้น จะทำให้เกิดข้อของแรงดันจำกัด ขณะที่มีการกดอัดในด้านตรงข้ามกัน

ต่อไปจะแสดงถึงลักษณะสำคัญของพิโซอิเล็กทริก ที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ไปเป็นแรงดัน โดยการพิจารณา การเสียดรูปในโหมด 1 ปกติ ก็มีการขยายตัวออกในด้านของความหนา ดังรูปที่ 2.1(a)



รูปที่ 2.1 Piezoelectric transducer

มีค่าคงที่ 2 กลุ่มหลัก ค่าคงที่  $g$  และ  $d$  จะถูกนำมาพิจารณา สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ barium titanate และมีการขยายของความหนา ค่า  $g$  ที่เกี่ยวข้องจะเป็น  $g_{33}$  แสดงได้ดังนี้

$$g_{33} = \frac{\text{สนามไฟฟ้าในทิศทาง } 3}{\text{ความเค้นที่ให้ในทิศทาง } 3} = \frac{e_o / t}{f_i / wl}$$

ความเค้นที่ให้ในทิศทาง 3

ดังนั้นถ้าเรารู้ค่า  $g$  สำหรับวัสดุที่โง่มาและในทิศทาง  $e$  เราสามารถคำนวณแรงดันทางออกต่อ หน่วยได้ สำหรับ barium titanate จะมีค่า  $Q = 12 \times 10^{-3}$  (V/m) (N/m<sup>2</sup>) และเป็น  $50 \times 10^{-3}$  สำหรับควอตซ์ ตัวอย่างเช่น ผลึกควอตซ์หนา 0.1 มีความไว 0.88 V/(lb/in<sup>2</sup>) จะแสดงให้เห็นว่า มีแรงดันทางออกมากขณะที่มีความเค้นเพียงเล็กน้อยแรงที่ถูกใช้ไปจะก่อให้เกิดประจุไฟฟ้า  $d$  แสดงได้ดังนี้

$$d_{33} = \frac{\text{ประจุที่เกิดขึ้นในทิศทาง 3}}{\text{แรงที่ให้ในทิศทาง 3}} = \frac{Q}{f_i}$$

ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว  $d_{33}$  สามารถคำนวณได้จาก  $g_{33}$  ถ้ารู้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของ วัสดุ  
จะได้

$$C = \frac{\epsilon w l}{t}$$

$$g_{33} = \frac{\text{สนามไฟฟ้า}}{\text{ความเค้น}} = \frac{e_o w l}{t f_i} = \frac{e_o C}{\epsilon f_i} = \frac{Q}{\epsilon f_i} = \frac{d_{33}}{\epsilon}$$

$$d_{33} = \epsilon g_{33}$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของควอตซ์ประมาณเท่ากับ  $4.06 \times 10^{-11}$  F/m และสำหรับ Barium titanate คือ  $1.250 \times 10^{-11}$  สำหรับควอตซ์จะได้

$$d_{11} = g_{11} = (4.06 \times 10^{-11})(50 \times 10^{-3}) = 2.03 \text{ pC/N}$$

(ตัวห้อยเป็น 11 เพราะว่าในควอตซ์ การขยายออกของความหนาจะอยู่ในแกนผลึกเรียกว่า แกน 1) บางครั้งต้องการแสดงค่าแรงดันหรือประจุทาง เอาท์พุท ในเทอมของการเบี่ยงเบนของคริสตัล เริ่มตั้งแต่การเสีรูปเป็นเหตุให้เกิดประจุ เราต้องรู้ค่า modulus ของความยืดหยุ่นซึ่งเท่ากับ  $8.6 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup> สำหรับควอตซ์ และ  $12 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup> สำหรับ Barium titanate

หลังจากนั้นเราจะทำการพิจารณา อุปกรณ์พีโซอิเล็กตริก เป็นทรานสดิวเซอร์ระยะขจัด (displacement transducer) จุดประสงค์หลักคือวัดแรงดัน การสั้น ความเร่ง แต่เราจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปเป็นแรงดัน จำเป็นต้องพิจารณาให้ ทรานสดิวเซอร์ สายนำสัญญาณ (cable) และแอมพลิฟายด์ (amplifier) เป็น 1 หน่วย ค่าอิมพีแดนซ์ของทรานสดิวเซอร์โดยทั่วไปจะมีค่าสูงมาก ส่วนแอมพลิฟายด์นั้น โดยปกติชนิดที่มี อิมพีแดนซ์สูงจะใช้สำหรับเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) มากกว่า อัตราขยายโวลเตจ ปกติจะใช้ ชาร์จแอมพลิฟายด์ (charge amplifier) ค่าความจุไฟฟ้าของสายนำสัญญาณมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะสายนำสัญญาณที่มีความยาวของสายมาก ๆ สำหรับตัว ทรานสดิวเซอร์เดี่ยว ๆ นั้น ถ้ามีการเบี่ยงเบนทาง static  $X_s$  เกิดขึ้นและยังคงอยู่ แรงดันปลายจะถูกทำให้มากขึ้น แต่จะมีการสูญเสียประจุออกไปโดยตลอดที่ความต้านทานรั่วไหล (leakage resistance) ของ ทรานสดิวเซอร์ เริ่มที่ความต้านทานรั่วไหล โดยทั่วไปแล้วจะมีค่ามาก ( $\times 10^{11}$  โอห์ม) การสูญเสียจะช้ามาก บางทีเป็นการยอมให้ตอบสนองกึ่งสถิต (quasi-static) น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม เมื่ออุปกรณ์วัดแรงดันภายนอกที่มีอิมพีแดนซ์ทางเข้าต่ำถูกติดเข้ากับทรานซิวเซอร์ ประจุไฟฟ้าจะถูกปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการเบี่ยงเบนทางสถิต ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช้การวัดแบบสถิต ระบบที่ใช้ในทางการค้าจะใช้ทรานซิวเซอร์แบบควอตซ์ที่มีค่าความต้านทานร่วไหลสูงมาก จะมีผลรวมความต้านทานทั้งหมด  $10^{14}$  โอห์ม ซึ่งจะทำให้มีการร่วไหลช้า ๆ อย่างมีประสิทธิภาพในการวัด แบบสถิต

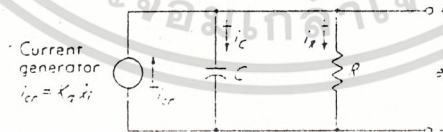
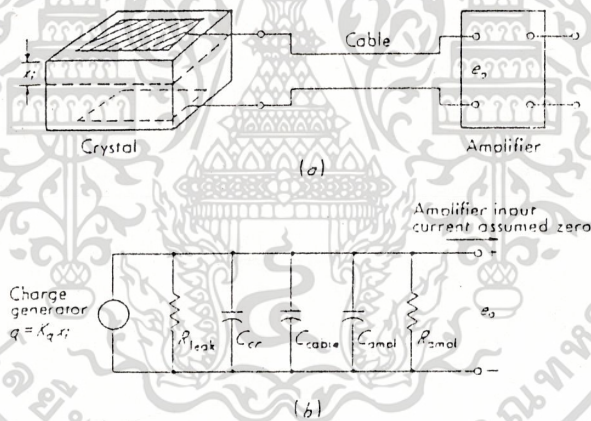
พิจารณารูป 2.2 ประจุที่เกิดจากผลึกแสดงได้ดังนี้

เมื่อ

$$q = K_q X_i$$

$$K_q = C \quad \text{cm}$$

$$X_i = \text{การเบี่ยงเบน, cm}$$



$$R \triangleq \frac{R_{cmol} R_{leak}}{R_{cmol} + R_{leak}} \approx R_{cmol}$$

$$C \triangleq C_{cr} + C_{cable} + C_{cml}$$

(c)

รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของ piezoelectric transducer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R และค่า C ในรูป 2.2 (b) สามารถนำมารวมได้ดังรูป

$$i_{cr} = \frac{dq}{dt} = K_q \frac{x_i}{dt}$$

เราจะเขียนได้ว่า

$$i_{cr} = i_c + i_r$$

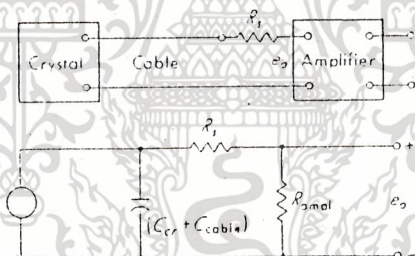
$$e_o = e_c = \int \frac{I_c dt}{C} = \int \frac{(I_{cr} - I_r) dt}{C}$$

$$C \frac{de_o}{dt} = i_{cr} - i_r = K_q \frac{dx_i}{dt} - \frac{e_o}{R}$$

$$\frac{e_o(D)}{x_i} = \frac{\tau KD}{\tau D + 1}$$

เมื่อ  $K =$  ความไว  $= \frac{K_q}{C}$  V/cm

$\tau =$  time constant RC, sec



( $R_{mat}$  and  $C_{mat}$  assumed negligible)

$$K \cong \frac{K_q}{C} \left( \frac{R_{ompl}}{R_{ompl} + R_1} \right)$$

$$\tau \cong (R_{ompl} + R_1) C$$

$$C \cong C_{cr} + C_{cable}$$

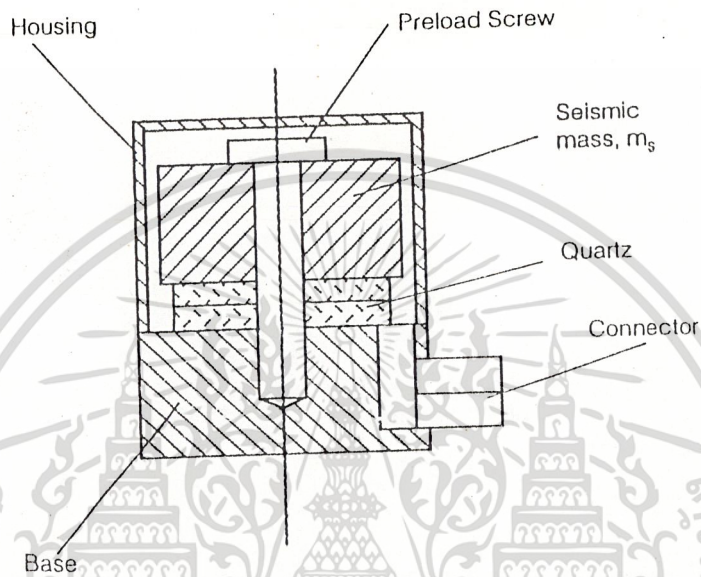
รูปที่ 2.3 การใช้ความต้านทานอนุกรมเพื่อเพิ่มค่า time constance

### 2.2 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนชนิด 3 แกน ( Triaxial Accelerometer)

ทรานสดิวเซอร์ พิโซอิเล็กทริก จะใช้วัดแรง ความดัน และความเร่ง ซึ่งหลักการพื้นฐานของพิโซอิเล็กทริก คือการทำให้คริสตอลที่มีลักษณะเหมือนควอตซ์ ( SiO<sub>2</sub> ) มีรูปร่างผิดไปทางกลจะเป็นผลทำให้ค่าประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นสัญญาณประจุจะถูกเปลี่ยนและขยายให้เป็นสัญญาณแรงดันแบบอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานกับสัญญาณรบกวนการสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์แบบทดลอง ผลของทรานสดิวเซอร์ที่ดีต้องมีความไวสูงและมีมวลเล็ก ทรานสดิวเซอร์ piezoeBEAM ออกแบบให้มีความแม่นยำถูกต้องตามความต้องการ



รูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ออกแบบตามแรงอัด

### 2.2.1 ความเร่งเชิงเส้น (LINEAR ACCELERATION)

อาศัยหลักการของนิวตันจะได้สมการคือ

$$F = m_s \times a \Rightarrow a = \frac{F}{m_s}$$

แสดงว่าตัวเซ็นเซอร์วัดความเร่งสามารถจะทำได้เป็นทรานสดิวเซอร์ของแรงภายใต้ความเร่งมวลที่เกิดการสั่นไหว  $m$  ที่ถูกทำบนผลึกคริสตัลและประจุที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเร่ง นี่คือการหลักการของการอัดตัวของทรานสดิวเซอร์ รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างในการออกแบบ

### 2.2.2 การออกแบบที่แตกต่างกันที่ต้องพิจารณา

ตัวเซ็นเซอร์วัดความเร่งใช้กับโครงสร้างที่มี 1 แกนหรือ 3 แกน เพื่อวัดส่วนประกอบที่มีความเร่งพร้อมกันในระบบพิกัดฉาก เซ็นเซอร์พีโซอิเล็กทริก เป็นทั้งระบบที่มีอิมพีแดนซ์สูงกับเอาท์พุทที่มีสัญญาณประจุและระบบที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ซึ่งจะมีตัวเปลี่ยนสัญญาณประจุเป็นสัญญาณแรงดันอยู่ภายใน การออกแบบระบบที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำมีข้อดีเมื่อทรานสดิวเซอร์ถูกใช้ในการวัดที่มีย่านคงที่ ตัวอย่างเช่น การมอนิเตอร์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ในห้องทดลองที่มี

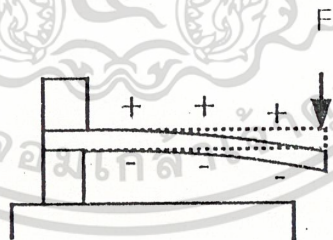
ย่านการเคลื่อนที่สูงๆของประจุที่ใช้บ่อยๆ น่าจะถูกเลือกใช้ เพราะการวัดในย่านนี้สะดวกที่จะเลือก การขยายประจุ

### 2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความไวของเซ็นเซอร์กับมวลที่มีการสั่นไหว

ความไวของเซ็นเซอร์วัดความเร่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับมวลที่มีการสั่นไหว ความไวที่มากขึ้นของเซ็นเซอร์เป็นพฤติกรรมของมวล ไม่สามารถยอมรับได้กับการใช้งานทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการวัดโครงสร้างที่เบา การเพิ่มขึ้นของมวลจะมีความสัมพันธ์กับเซ็นเซอร์ที่หนักขึ้นซึ่งจะทำให้มันเปลี่ยนคุณสมบัติทางไดนามิกส์ของโครงสร้างที่พิจารณา การเพิ่มขึ้นของมวลจะทำให้ความถี่รีโซแนนซ์เปลี่ยนและคุณสมบัติในการแดมป์(Damp)เปลี่ยนไป ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างจะยุ่งยากจึงทำให้เกิดการลดมวลโครงสร้างของเซ็นเซอร์ที่เพิ่มขึ้นลง ความยุ่งยากที่สำคัญคือการเพิ่มมวลจะทำให้เกิดโหลดที่คงที่และไม่เป็นการกระจายโหลดให้ทั่ว โครงสร้างการวัดพฤติกรรมทางไดนามิกส์ของโครงสร้างที่เบา ตัวเซ็นเซอร์จำเป็นต้องมีความแม่นยำและมีความไวสูง ในการใช้งานกับโครงสร้างที่มีการสั่นเพียงเล็กน้อย ระยะการเคลื่อนที่น้อย ดังนั้นความเร่งที่ได้ก็ต้องน้อยด้วย

### 2.2.4 หลักการของ PiezoBEAM

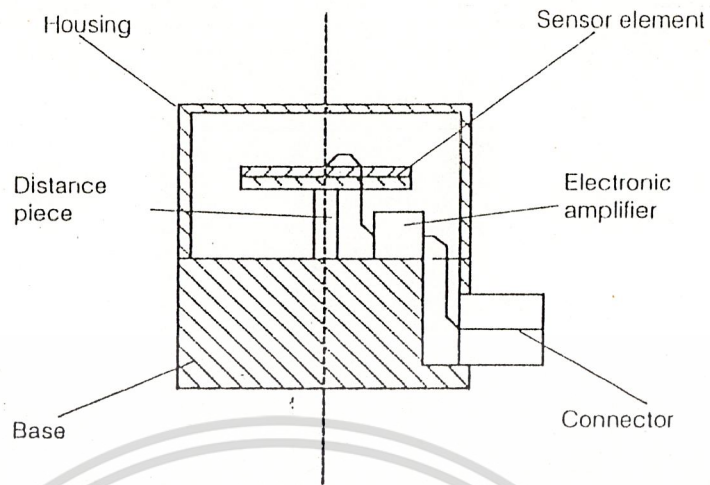
การออกแบบ PiezoBEAM ซึ่งประกอบด้วย piezoceramic beam 2 อันประกบติดกันทำเป็นตัวเซ็นเซอร์ ตัวบีม (beam) จะประกบติดกันสองชั้น ปกติตัวบีมจะมีสองขั้วที่ต่อทางไฟฟ้า การโค้งงอของตัวบีม จะเป็นผลให้เกิดประจุไฟฟ้า วงจรขยายทางอิเล็กทรอนิกส์จะทำการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันของตัวเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทำให้บีมชนิดรูปร่างจะเกิดประจุขึ้น

ตัวบีม จะมีความไวเป็นเชิงเส้นกับความเร่งเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 2.7a-c ในกรณีของความเร่งในรูปที่ 2.7a ประจวบจะเกิดขึ้นหรือถูกควบคุมที่ด้านบนของบีม และประจุลบจะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของบีม ประจวบจะถูกเปลี่ยนให้มีสัดส่วนกับสัญญาณแรงดันโดยตัวขยายประจุภายใน สำหรับความเร่งที่เหมือนกันนี่จะเป็นจริงในทิศทางตรงกันข้ามดังรูปที่ 2.7b อย่างไรก็ตามเมื่อเซ็นเซอร์ถูกหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาในรูปที่ 2.7c เอาท์พุทครึ่งหนึ่งของบีม จะถูกหักล้างจากอีกด้านหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

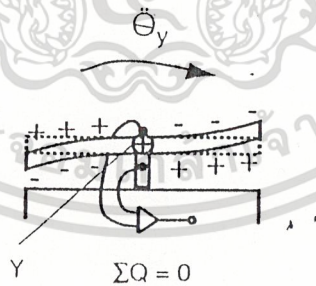


รูปที่ 2.6 เซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ออกแบบด้วย PiezoBEAM



รูปที่ 2.7a beam ที่งอ เนื่องจาก ความเร่ง  $a_z$  ในทิศทางขึ้นข้างบน

รูปที่ 2.7b beam ที่งอ เนื่องจาก ความเร่ง  $a_z$  ในทิศทางลงข้างล่าง



รูปที่ 2.7c การหมุนของตัวเซ็นเซอร์รอบๆแกน Y

2.2.5 ความเร่งเชิงมุม (ANGULAR ACCELERATION)

จะเห็นได้ว่า เซ็นเซอร์วัดความเร่งเหมือนกับเซ็นเซอร์ piezoBEAM ที่ใช้ในการวัดเพิ่มขึ้น เป็น 3 ทิศทางที่อิสระต่อกัน เพื่อหาความเร่งที่เป็นเชิงเส้นในระบบพิกัดฉาก X,Y และ Z การวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ต้องใช้ 6 ทิศทางที่อิสระต่อกันคือ 3 ทิศทางในการเคลื่อนที่ และ 3 ทิศทางใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุน ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบได้จากการคำนวณด้วยการทดลอง ด้วยเหตุผลนี้จึงมีการขยายแบบของทรานสดิวเซอร์ piezoBEAM ด้วยแบบซึ่งสามารถวัดความเร่งในการหมุนได้ด้วย

### 2.2.6 ระบบ TAP

ระบบ TAP (Translation Angular PiezoBEAM) คือระบบการเคลื่อนที่เชิงมุม เป็นพื้นฐานในการพิจารณาระบบ piezoBEAM ที่มี 2 บีม ถูกหุ้มด้วยฉนวนทางไฟฟ้า ใช้ในการวัดประจุบนแกนเดียวกัน บีมทั้งสองมีขั้วเหมือนกันและขั้วของแกนตั้งฉากกับบีม ในกรณีของความเร่งที่เป็นเชิงเส้น TAP เป็นคุณสมบัติมาตรฐานของ piezoBEAM

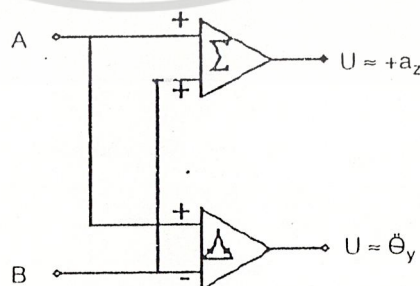


รูปที่ 2.8a beam A และ B ที่โค้งงอภายใต้ความเร่งเชิงเส้น

รูปที่ 2.8b ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ที่โค้งงอภายใต้การหมุนรอบแกน Y

ประจุที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเร่งที่จ่ายให้ อย่างไรก็ตามความเร่งในทิศทางตามเข็มนาฬิกาของเซ็นเซอร์รอบแกน Y บีม A ทางด้านซ้ายจะโค้งงอลง และ บีม B ทางด้านขวาจะโค้งงอขึ้น ดูรูปที่ 2.8 b ดังนั้นเป็นผลให้สัญญาณที่ได้เป็นสัดส่วนกับความเร่งเชิงมุม

ตัวเซ็นเซอร์จะมีวงจรอินทิเกรตแอมป์อยู่ซึ่งจะทำการเปลี่ยนประจุเป็นแรงดัน สัญญาณที่จะส่งถ่ายจะเป็นสัญญาณแรงดันที่สอดคล้องกับเชิงเส้น และการเคลื่อนที่เชิงมุมของตัวเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรที่ใช้วัดความเร่งเชิงมุมและความเร่งในการหมุนพร้อมๆกัน

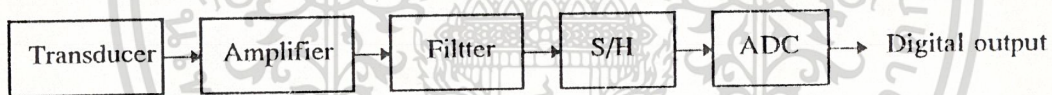
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAP ของ 2 บีม จะถูกปรับแต่งให้สมบูรณ์และมีความยาวเท่ากัน เพื่อป้องกันสัญญาณเชิงเส้นใดๆ ในการหมุนรอบแกน Z และการกำจัดสัญญาณการหมุนในระหว่างการเคลื่อนที่ในแนว Z การปรับสำหรับการวัดความคลาดเคลื่อนจะทำให้ได้ด้วยสัญญาณในขบวนการวัด ตัวเซ็นเซอร์และตัวขยายที่ออกแบบไว้เป็นระบบ

PiezoBEAM Accelerometer ที่มีใช้เป็นส่วนหนึ่งของพิโซอิเล็กทริก ที่มีการขยายประจุแบบไฮบริดเพื่อที่จะทำงานได้ตามที่คาดหวังและมีเสถียรภาพตัวเซ็นเซอร์ต้องมีความแม่นยำกับสัญญาณที่มีระดับสูง มีอิมพีแดนซ์ต่ำ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็นสัดส่วนกับการกระตุ้นที่จ่ายให้ เพราะว่ามันมีน้ำหนักเบาและมีความไวสูง เหมาะสมที่สุดกับการวัดความสั่นสะเทือนและการออกซิเลทในโครงสร้างของเครื่องจักร และใช้ในการวิเคราะห์ได้ดี

### 2.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A to D Converter)

ระบบการรับข้อมูล (Data Acquisition) จากอุปกรณ์อนาลอกเพื่อนำมาประมวลผลนั้น จำเป็นต้องใช้การอินเทอร์เฟซวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากทรานซิวเซอร์ 1 ตัวหรือมากกว่า ให้เป็นสัญญาณในรูปของดิจิตอล ซึ่งจะมีส่วนประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้ แอมพลิฟายล์ วงจรสุ่มและคงค่า (Sample and Hold circuit) มัลติเพลกเซอร์ และวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter หรือ ADC)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบ Data Acquisition

ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

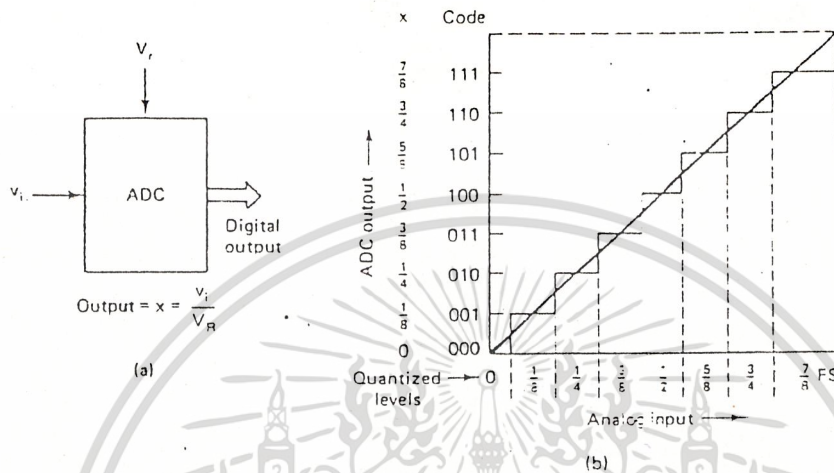
วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นการทำงานแบบอัตราส่วน อนาลอกอินพุต  $V_i$  จะเปลี่ยนแปลงเป็นเศษส่วน  $X$  โดยการเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_r$  ในรูปที่ 2.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ถ้าทางเอาต์พุตเป็น  $n$  บิต ระดับความละเอียดของเอาต์พุตจะเป็น  $2^n$  ความละเอียดของบิตต่ำสุดจะเป็น

$$Q = LSB = \frac{FS}{2^n}$$

Q คือ ค่าควอนตัม      LSB คือ บิตนัยสำคัญต่ำสุด

FS คือ ค่า Full Scale      n คือ จำนวนบิต

รูปที่ 2.11b แสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าของ ADC ขนาด 3 บิต ขนาด LSB เป็น  $1/8$  ของ FS สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้จาก  $0 - 7/8$  ของ FS ที่ค่าเอาต์พุต 111 และจะเกิดค่าผิดพลาดได้  $\pm 1/2$  LSB



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

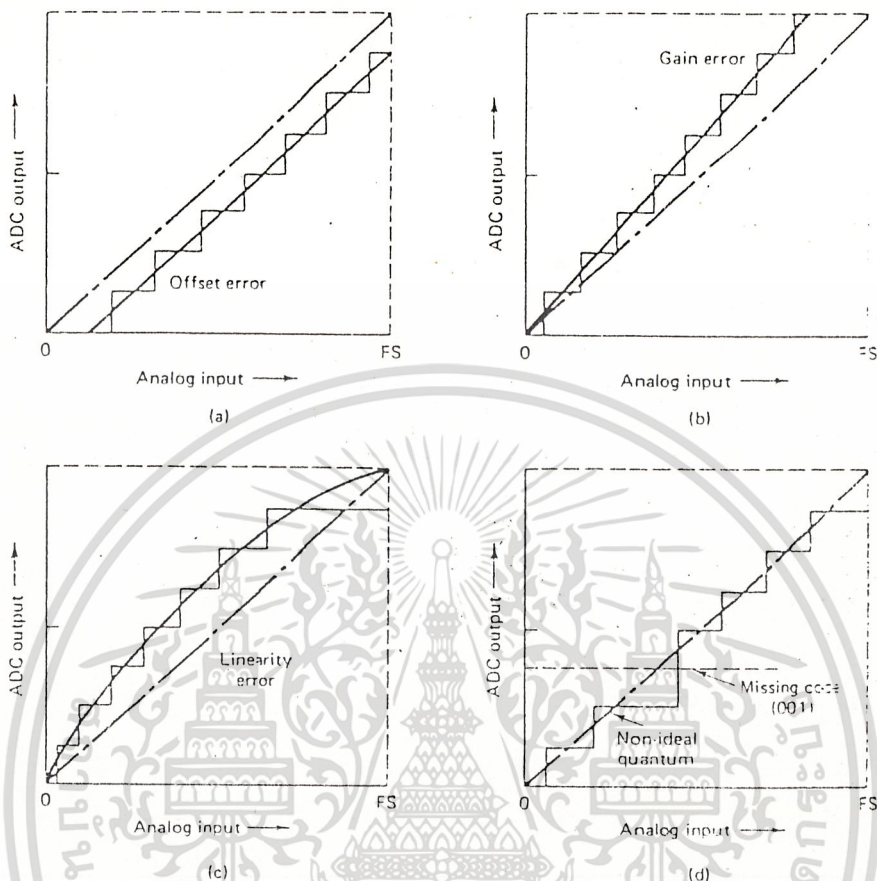
(a) ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต

(b) คุณสมบัติของ ADC ขนาด 3 บิต

ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ

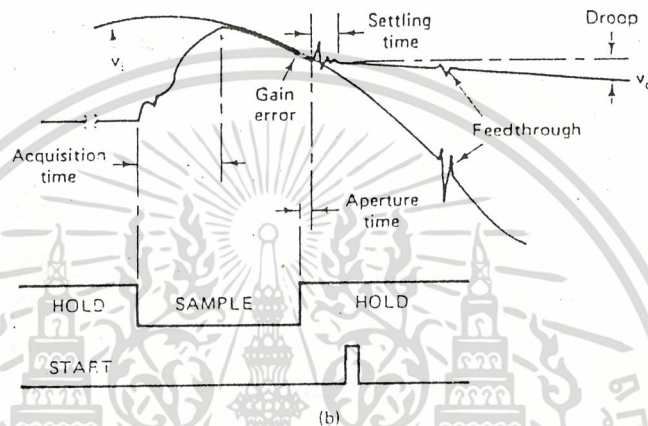
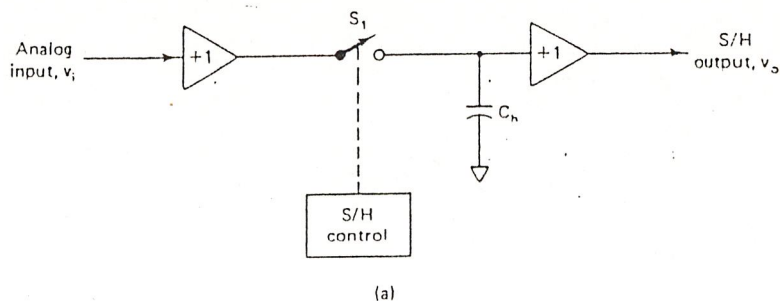
ค่าเอาต์พุตที่ได้ อาจเกิดการเบี่ยงเบนได้เมื่อพิจารณาจาก ค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของเอาต์พุต ซึ่งจะคลาดเคลื่อนจากค่าอินพุตในอุดมคติ (Ideal Input) ในรูปที่ 2.12a เกิดออฟเซต (offset) หรือ Zero error ความลาดชันของ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน จะมีระยะห่างจากค่าอินพุตในอุดมคติ รูปที่ 2.12b แสดงถึง Gain error

ADC ในท้องตลาดโดยทั่วไปจะมีออฟเซต และ gain error อยู่เล็กน้อยซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยการปรับแต่ง และนอกจากนี้ยังมีความผิดพลาดไม่เป็นเชิงเส้นอีกสองอย่างคือ ในรูปที่ 2.12c Integral linearity error ซึ่งเป็นการเบี่ยงเบนสูงที่สุดของ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน และรูปที่ 2.12d Differential linearity error



รูปที่ 2.12 ความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ การสุ่มและการคงค่า (Sample and hold)

วงจรเอ็ดต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณหรือที่เรียกว่า conversion time เพื่อ เปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณอนาลอกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาการแปลง เอาท์พุทของวงจรเปลี่ยนสัญญาณอาจเกิดความผิดพลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ เพื่อใช้จับสัญญาณอนาลอกที่จุดเริ่มของการเปลี่ยนสัญญาณ แล้วเก็บไว้ในตัวเก็บประจุระหว่างช่วงเวลาการแปลง หลังจากที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้น จึงจับสัญญาณอนาลอกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้งเป็นเช่นนี้ต่อ ๆ ไป เราจึงมักได้พบเห็นวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณปรากฏคู่กับวงจรเอ็ดเสมอ



รูปที่ 2.13 วงจรการสุ่มและการคงค่า

(a) รูปแสดงวงจรการสุ่มและการคงค่า

(b) รูปแสดงสัญญาณ

**การอินเตอร์เฟสกับไมโครโปรเซสเซอร์**

การอินเตอร์เฟสกับเอ็ดดีนั้น ไมโครโปรเซสเซอร์มีหน้าที่ 3 อย่าง อย่างแรกคือสั่งให้ เอ็ดดีเริ่มทำการแปลงสัญญาณ อย่างที่สองคือ ตรวจสอบสถานะของข้อมูล (สาย DATA READY) จนกว่าการเปลี่ยนสัญญาณจะเสร็จสิ้นลง ส่วนอย่างสุดท้ายคือ อ่านข้อมูลอินพุตที่เป็นดิจิตอล การสั่งงานไมโครโปรเซสเซอร์นั้นต้องให้มันทำงานตามลำดับและมีคาบเวลาที่เหมาะสมสำหรับเอ็ดดี แต่ละตัวด้วย

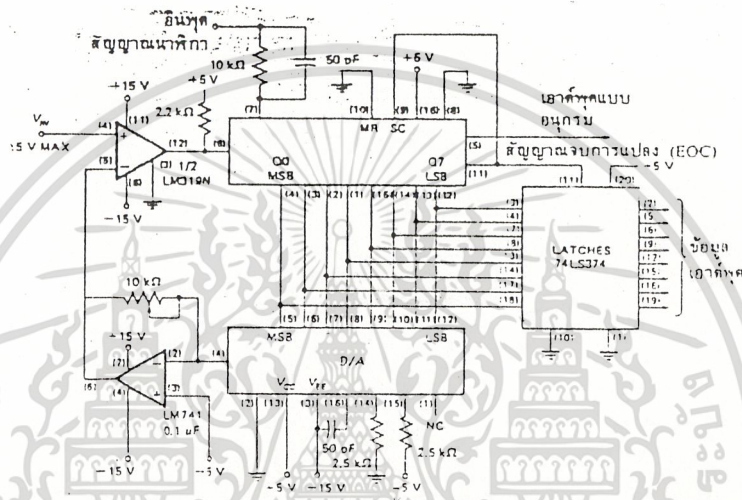
**วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบใช้การประมาณค่า**

**(Successive Approximation A/D Converter)**

วงจรเอ็ดดีแบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะความละเอียด 8 บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก ตัวอย่างเช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรมันต้องใช้พัลส์ถึง 256 ลูก วงจร SA (Successive Approximation) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14 หัวใจของวงจรคือ SAR (successive approximation register) ซึ่งมีการทำงานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ พัลส์ลูกแรกจะทำการส่งบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไปยังดีทิวเอ โดย SAR จะรอสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งทำการตรวจสอบว่าเอาต์พุทของวงจรดีทิวเอมากกว่า หรือน้อยกว่าแรงดันอินพุท  $V_{in}$  ถ้าเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบมีระดับ "high" เอาต์พุทของดีทิวเอ จึงต่ำกว่า  $V_{in}$  SAR จะทำการเก็บบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้ ถ้าเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ "low" เอาต์พุทของดีทิวเอจึงมากกว่า  $V_{in}$  SAR จะทำการรีเซตบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้น



รูปที่ 2.14 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ successive approximation

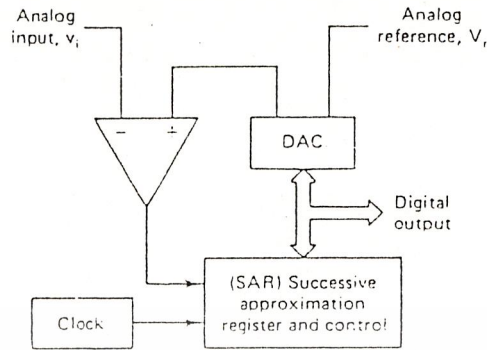
พัลส์ลูกต่อมาก็จะทำงานเช่นเดียวกัน โดยบิตที่ได้คือ บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา SAR ทำงานแบบนี้ไปจนถึงบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด แต่ละบิตใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวเมื่อครบทุกบิตแล้ว SAR ก็ทำการส่งสัญญาณ EOC (end of conversion) ออกไป

สัญญาณ EOC เป็นตัวบอกว่าสายสัญญาณเอาต์พุทที่ขนานกันมาทุกเส้นมีข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอินพุทครบถ้วนแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังอินพุทที่เป็นจุดเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณการเปลี่ยนสัญญาณก็จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ADC ยังสามารถส่งเอาต์พุทดิจิทัลแบบอนุกรมได้อีกด้วย ขึ้นอยู่กับการควบคุมของ SAR

วงจรในรูปที่ 2.14 ใช้แรงดันอินพุทสูงสุด  $\pm 5$  โวลต์ อินพุทแบบไม่กลับของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (current to voltage converter) ต่อเข้ากับ  $-5$  โวลต์แทนที่จะต่อลงกราวด์ เป็นการยกระดับแรงดันอนาล็อกจาก  $-5$  โวลต์ ถึง  $+5$  โวลต์ แทน  $0$  ถึง  $10$  โวลต์ สัญญาณไฟสลักรูปขานจึงสามารถต่อโดยตรงเข้ากับอินพุทของเอ็ดดีทิวเอนี้ได้

วงจรแปลงเอ็ดดีทิวเอชนิดนี้มีความเร็วสูง และความละเอียดสูง จึงเป็นวงจรที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกโคแอดเวอร์ของวงจรเอ็ดซีแบบใช้การประมาณค่า  
**2.4 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม**

การส่งข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลไปยัง คอมพิวเตอร์ นั้นต้องผ่าน วงจรหนึ่งๆ เพื่อรับข้อมูลแบบขนานจากเอ็ดซี แล้วส่งออกมาเป็นแบบอนุกรมเพื่อส่งไปยัง คอมพิวเตอร์ วงจรควบคุมในโครงการนี้ใช้ตัว ไมโครโปรเซสเซอร์ 51 (ตระกูล MCS51) เบอร์ 8031

**การต่อเชื่อมแบบอนุกรม**

พอร์ตอนุกรมเป็นแบบ full Duplex สามารถที่จะรับและส่งพร้อมกันได้ โดยทำหน้าที่เป็น บัพเฟอร์การรับ หมายถึงพอร์ตสามารถที่จะรับไบต์ที่สอง ก่อนที่ตัวแรกจะถูกรับไปจากรีจิสเตอร์ ตัวรับ อย่างไรก็ตามไบต์ตัวแรกจะต้องถูกอ่านไปก่อนที่ช่วงเวลาการรับไบต์ตัวที่สองจะสิ้นสุด มิฉะนั้นไบต์ตัวแรก จะถูกซ่อนและสูญหายไปได้ในพอร์ตอนุกรมรีจิสเตอร์ตัวรับและตัวส่งจะเข้า ถึงติดต่อกัน ตัวรีจิสเตอร์ SBUF ใน SFR <special function register> แม้ว่าทางโครงสร้างรีจิส เตอร์ทั้งสองจะแยกกัน อยู่ก็ตาม

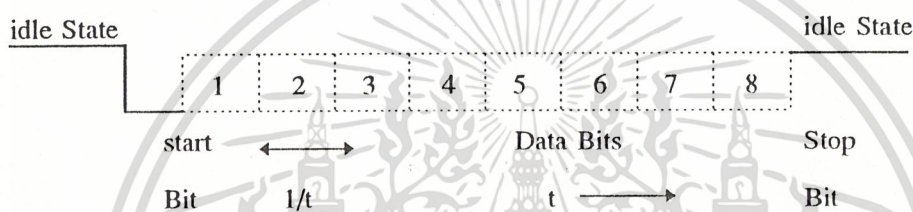
พอร์ตอนุกรมของ MCS51 สามารถเลือกทำงานได้ 4 โหมด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงส่วนที่ใช้ กือ

**การทำงานโหมด 1 : Standard 8-bit UART**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการส่งข้อมูลขนาด 10 บิตผ่านช่องทาง TXD หรือรับเข้ามาผ่าน RXD โดยรูปแบบบิตจะประกอบด้วย 1 บิต Start เป็น '0' แปรบิตข้อมูล LSB เป็นตัวแรกที่รับและส่งข้อมูลนี้ และอีก 1 บิต Stop มีค่า '1' การรับบิต Stop จะนำไปเก็บที่บิต RB8 ของ SFR รีจิสเตอร์ SCON อัตราบิตแปรผันได้ตามการตั้งตัวจับเวลา

ข้อมูลจำนวน 10 บิต ผ่านช่องทาง TXD (หรือรับผ่าน RXD ในที่นี้จะกล่าวถึงการส่งผ่านข้อมูลเพียงอย่างเดียว) ประกอบด้วย Start บิต ข้อมูล 8 บิต และบิต Stop ดังรูป การรับบิต Stop จะส่งเข้า RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON การตั้งอัตราบิตความเร็วของบิตจะแปรผันได้ ในตัวจับเวลา 1 รูปที่ 2.16 แสดงถึงการใช้งานในโหมด 1 พร้อมกับแผนภูมิเวลาสำหรับการส่งและรับ



รูปที่ 2.16 การส่งตัวอักษร 8 bit แบบ asynchronous

การส่งจะเริ่มงานด้วยคำสั่งที่ใช้ SBUF เป็นรีจิสเตอร์รับข้อมูล สัญญาณ "write to sbuf" ก็จะบรรจุค่า '1' เข้าไปในคำสั่งที่ 9 ในรีจิสเตอร์การเคลื่อนส่ง และแฟล็กในหน่วยควบคุมการส่ง (tx control block) ก็จะแสดงการถูกร้องขอให้ส่งข้อมูล การส่งข้อมูลจะส่งที่ช่วง s1p1 ของ วัฏจักรแมชชีน และจะตามด้วยบิตตัวต่อมาในช่วงเวลาของสัญญาณนาฬิกาที่หารด้วย 16 ถูกตั้งที่ตัวนับแต่ละบิตจะถูกซิงค์ด้วยการหาร 16 ของตัวนับ ไม่ใช่สัญญาณ "write to sbuf"

การส่งจะเริ่มด้วยการส่ง active สัญญาณ send และใส่บิต Start เข้าที่ TXD ช่วงเวลา นั้น 1 บิต สัญญาณข้อมูลก็จะ active ซึ่งก็จะ enable การส่งบิตออกจากรีจิสเตอร์ การเคลื่อนส่งออกไป ยังขา TXD พัลส์เลื่อนตัวบิตแรกจะเกิดขึ้นหลังเวลาการทำงานแล้ว 1 บิต

ขณะที่ข้อมูลเลื่อนออกทางขา ค่า '0' จะถูกใส่เข้าทางซ้าย เมื่อ MSB ของข้อมูล 1 ไบต์ อยู่ที่ตำแหน่งเอาท์พุท ของรีจิสเตอร์ตัวเลื่อน ขณะนั้นค่า '1' จะเริ่มถูกเข้าเป็นตำแหน่งที่ 9 ที่เอาท์พุท หลังจากที MSB ถูกส่งไปและทุกตำแหน่งเมื่อถูกส่งไปแล้ว ทีเหลือในรีจิสเตอร์การเคลื่อนจะเป็น '0' หมด สถานะแฟล็กในหน่วยควบคุมการส่ง (tx control unit) ก็จะเลื่อนเป็นตัวสุดท้าย และส่งสัญญาณ send คิสเอเบิลและการเซต e1 จะเกิดขึ้น ช่วงเวลาที่ 10 ของการหาร 16 หลังการส่งสัญญาณ Strobe "write to SBUF"

### อัตราบ็อด

อัตราบ็อดในโหมด 1 ถูกกำหนดได้ด้วยค่าอัตรา overflow ที่เกิดขึ้น จากการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ TH1 เป็นตัวสร้างอัตราบ็อด

อัตราบ็อดสามารถคำนวณจาก อัตรา overflow ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างเวลา 1 และค่าบิตใน SMOD เป็นดังนี้

$$\text{อัตราบ็อด} = \frac{(2^{\text{smod}} \times \text{อัตรา overflow ของตัวจับเวลา 1})}{32}$$

$$= \frac{(2^{\text{smod}}) \times (\text{ความถี่ออสซิลเลเตอร์})}{32 \times 12 \times (256 - \text{TH1})}$$

รายละเอียดของรีจิสเตอร์ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลอนุกรม

#### Accumulator (ACC)

Acc ที่มีขนาด 8 บิต เป็นแอกคิวมิวเลเตอร์ ใช้เป็นตัวกลางถ่ายทอด ข้อมูลในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก IO

#### Port 1

รีจิสเตอร์ P1 ของกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR) เป็นตัวรีจิสเตอร์ที่เลขชี้ค่าของพอร์ต 1 ขณะใช้งานต่อกับ A

#### Port 3

ขณะใช้งาน ส่งข้อมูลผ่านช่องทาง P3 ไปยัง RS 232

#### Program Status Word : รีจิสเตอร์แสดงสถานะโปรแกรม

เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงผลที่ได้หลังจากการใช้คำสั่งต่าง ๆ และใช้เป็นกลุ่มเลือกการทำงาน ของรีจิสเตอร์กลุ่มต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังตาราง

CY	AC	FO	RS1	RS0	OV	—	P
----	----	----	-----	-----	----	---	---

ตารางที่ 2.1 PSW : Program Status Word (PSW)

- CY PSW7 แพลกตัวทด จะเซต หรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ ระหว่างผลลัพธ์ หลังการใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์ หรือ ตรรกศาสตร์ที่แน่นอน
- AC PSW6 แพลกตัวทอของ Auxiliary จะเซต หรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ระหว่าง การบวกและลบ ที่แสดงผลจากการทดหรือยืมจากบิตที่ 3 ของ ACC
- FO PSW5 แพลก<sub>0</sub> จะเซต หรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้กำหนดสถานะจากแพลกนี้เอง
- RS1 PSW4 รีจิสเตอร์ควบคุมการเลือกแบงก์ ด้วยค่า RS และ RS0
- RS0 PSW3 จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์เพื่อเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ทำงานในแต่ละแบงก์ โดยปรับค่าใน RS1 และ RS0 ให้อินาเปิดคลุมลักษณะการเลือกแบงก์ดังต่อไปนี้
- | RS1 | RS0 | เลือกแบงก์ | ค่าแอดเดรส |
|-----|-----|------------|------------|
| 0   | 0   | แบงก์ 0    | 00H-07H    |
| 0   | 1   | แบงก์ 1    | 08H-0FH    |
| 1   | 0   | แบงก์ 2    | 10H-17H    |
| 1   | 1   | แบงก์ 3    | 18H-1FH    |
- OV PSW2 แพลก Overflow จะเซตหรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ระหว่างการใช้คำสั่งที่แสดงถึง การเกิดลักษณะOverflowทางคณิตศาสตร์
- PSW2 บิตสำรอง จะไม่สามารถเซต หรือเคลียร์ด้วยผู้ใช้เพราะสำรองไว้สำหรับผู้สร้าง
- P PSW0 จะเซต หรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ในแต่ละวัฏจักรคำสั่ง แสดงถึงตัวเลขค่า '1' ในแต่ละบิตของ Accumulator

### Serial Data Buffer

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกเป็นบัฟเฟอร์การส่ง และอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์การรับ เมื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเข้าบัฟเฟอร์การส่งซึ่งเป็นตัวจัดการส่งข้อมูล แบบอนุกรม

### Control register

กลุ่ม SFR ที่เป็น IE, TMOD, TCON, SCON และ PCON จะประกอบด้วยบิตที่ใช้ในการควบคุม และแสดงสถานะของการทำงานในระบบอินเทอร์รัพต์ ตัวจับเวลา/ตัวนับจะกล่าวถึงต่อไป

### ตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter)

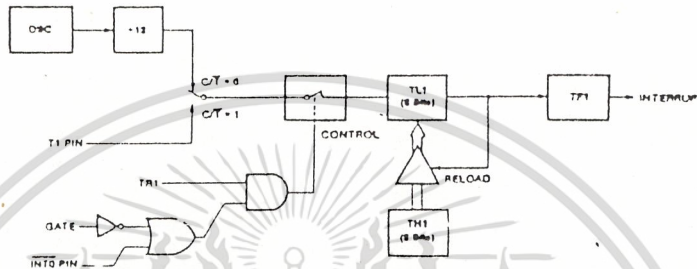
MCS 51 มี 16 บิต ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2 ตัวคือ

#### Timer/Counter

กำหนดให้ทำงานเป็นตัวจับเวลาโดยการเคลียร์รีจิสเตอร์ TMOD ในกลุ่ม SFR ในฟังก์ชันของ Timer ตัวรีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าทุก ๆ วัฏจักรเมซซิ่งประกอบด้วย 12 คาบของ Oscillator

อัตราการทำงานแต่ละครั้งจะกินเวลาเป็น 1/12 ของความถี่ Oscillator เลือกทำงานได้ 4 โหมด ตั้งแต่ 0-3 ในที่นี้เราใช้โหมด 2

โหมด 2 มีการทำงานโดยการกำหนดให้ตัวนับ 8 บิต TL1 แต่โหลดใหม่โดยอัตโนมัติใหม่ทุกครั้ง เมื่อมีการ overflow จาก TL1 ดังรูป ไม่เพียงแต่ TF1 จะปรับเป็น 1 แต่ TL1 จะถูกโหลดโดยอัตโนมัติจากค่าที่เก็บไว้ใน TH1



รูปที่ 2.17 ตัวจับเวลา 1 ทำงานในโหมด 2 แบบโหลดใหม่ 8 บิต

GATE	C/T	MI	MO	GATE	C/T	MI	MO
------	-----	----	----	------	-----	----	----

ตารางที่ 2.2 TMOD : Timer/Counter Mode Control Register



- GETE : ควบคุมเกต เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นอินพุต ตัวจับเวลา/ตัวนับเท่านั้น ขณะที่ขา INTX มีสถานะสูงและควบคุม TRx ใน TCON จะถูกเซตเป็น '1' เมื่อตัวนับภายในถูกเคลียร์ให้อินพุต เมื่อไรก็ตามที่บิตควบคุม TRx ถูกเซตเป็น '1'
- C/T : เลือกการทำงานแบบตัวจับเวลาหรือตัวนับ ถ้าเป็น '0' จะเลือกทำงานเป็นตัวจับเวลา(โดยใช้สัญญาณนาฬิกาภายในเป็นสัญญาณเข้าอ้างอิงถึง) ถ้าเป็น '1' จะเป็นการทำงานแบบตัวนับและรับสัญญาณเข้าที่ขา Tx

MI	MO	การทำงาน
0	0	ทำงานแบบตัวจับเวลาของ MCS-51 ใช้ TLx เป็นตัวป้อนบิตอีก 5 บิต
0	1	การใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต จะใช้ THx และ TLx เป็นตัวนับ ไม่มี Prescaler
1	0	การโหลดขนาด 8 บิต โดยอัตโนมัติที่ตัวนับและตัวจับเวลาโดยใช้ THx เก็บค่าที่ตั้งไว้ และจะถ่ายเข้าไปที่ TLx ใหม่ทุกครั้งที่เกิด Overflow คือ TLx ถูกนับเป็น 0 หมด
1	1	ตัวจับเวลา 0 ทำงาน โดยให้ TLO และ TH0 เป็นตัวนับแยกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ตาราง 2.3 TCON : Timer/Counter Control Register

TF1	TCON.7	ตัวจับเวลา 1 แฟล็กเป็น '1' เมื่อเกิด Overflow ถูกเซตเป็นหนึ่งด้านฮาร์ดทางสัญญาณ เมื่อตัวจับเวลา/ตัวนับ Overflow และจะเคลียร์ตัวเองเมื่ออินเทอร์รัพต์ไปแล้ว
TR1	TCON.6	ตัวจับเวลา 1 เป็นตัวควบคุมบิตให้เริ่มทำงาน จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะมาทำให้ ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 เริ่มหรือหยุดการทำงาน
TF0	TCON.5	ตัวจับเวลา 0 แฟล็กเป็น '1' เมื่อเกิด Overflow ถูกเซตเป็นหนึ่งด้านฮาร์ดแวร์เมื่อตัวจับเวลา/ตัวนับ Overflow เคลียร์ตัวเองเมื่ออินเทอร์รัพต์แล้ว
TR0	TCON.4	ตัวจับเวลา 0 เป็นตัวควบคุมบิตให้เริ่มทำงาน จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะมาทำให้ตัวจับเวลา/ตัวนับ
IE1	TCON.3	อินเทอร์รัพต์ 1 เป็นแฟล็กขอสัญญาณเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อสัญญาณขอการอินเทอร์รัพต์ปรากฏเข้าที่ขา INT1 และเคลียร์เมื่อการทำงานอินเทอร์รัพต์สิ้นสุด
IT1	TCON.2	อินเทอร์รัพต์ 1 รูปแบบการควบคุมบิต จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะเป็นตัวกำหนดให้การกระตุ้นอินเทอร์รัพต์จากภายนอกที่ขอบขาสูง หรือระดับแรงดันต่ำ โดย ถ้า IT=0 จะควบคุมด้วยอินเทอร์รัพต์ระดับแรงดันต่ำ
IE0	TCON.1	อินเทอร์รัพต์ 0 เป็นแฟล็กขอสัญญาณเซตด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อสัญญาณขอการอินเทอร์รัพต์ปรากฏเข้าที่ขา INTO และเคลียร์เมื่อการทำงานอินเทอร์รัพต์สิ้นสุด
IT0	TCON.0	อินเทอร์รัพต์ 0 เป็นรูปแบบการควบคุมบิตจะเซต หรือเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะทำการกระตุ้นอินเทอร์รัพต์จากภายนอกเป็นแบบขอบขาสูง หรือเป็นแบบระดับแรงดันต่ำ

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

ตารางที่ 2.4 SCON : เรจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ SM0, SM1 เป็นตัวกำหนดการใช้โหมดต่าง ๆ ของพอร์ตอนุกรมดังนี้

SM0	SM1	โหมด	ลักษณะการทำงาน	อัตราบิต
0	0	0	เลื่อนเรจิสเตอร์	fosc/12
0	1	1	8-บิต UART	แปรผันได้ตามการเลือกตัวจับเวลา
1	0	2	9-บิต UART	fosc/64 หรือ fosc/32
1	1	3	9-บิต UART	แปรผัน

\* UART : Universal Asynchronous Receiver/Transceiver

SM2 ควบคุมอีนามเบิล การใช้โปรเซสเซอร์หลายตัวในการสื่อสารซึ่งกันและกัน ในโหมด 2 และ 3 ถ้า SM2 เซตเป็น 1 ดังนั้น RI จะต้องไม่แอ็คทีฟ ถ้ามีการรับบิตที่เก้า ทำให้บิต RS8 นี้เป็น 0 ในโหมด 1 ถ้า SM2 เซตเป็น 1 ดังนั้น RI จะไม่แอ็คทีฟถ้า STOP บิตไม่ถูกรับโหมด 0 SM2 ควรมีค่าเท่ากับ 0

REN ตัวอีนามเบิลอนุกรมการรับ เซตเป็น '1' ด้วยโปรแกรมในการเลือกอีนามเบิลการรับและเป็น '0' ด้วยโปรแกรม เมื่อให้เป็นคิสเทอเบิล

TB8 เป็นตัวข้อมูลบิตที่ 9 ซึ่งจะถูส่งในโหมด 2 และ 3 ซึ่งจะให้เป็น '1' หรือ '0' ได้ด้วยการโปรแกรม

RB8 ในโหมด 2 และ 3 ข้อมูลบิตที่เก้าถูกรับไปในโหมด 1 ถ้า SM2=0 RB8 จะกลายเป็น STOP บิตที่ถูกรับไปในโหมด 0 RB8 ไม่ใช่

TI เป็นแฟลกอินเตอร์รัพต์การส่ง เซตด้วยฮาร์ดแวร์คือที่สัญญาณปลายช่วงเวลาของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือที่จุดเริ่มต้นของบิต STOP ในโหมดอื่น ในการส่งแบบอนุกรมของทุกโหมดจะต้องเคลียร์บิตนี้ด้วยโปรแกรมหลังการส่ง RI เป็นแฟลกอินเตอร์รัพต์การรับเซตด้วยฮาร์ดแวร์ คือสัญญาณที่ปลายช่วงเวลาของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือที่จุดครึ่งทางของช่วงบิต STOP ในโหมดอื่นของการรับแบบอนุกรม ยกเว้นกรณีใช้ SM2 จะต้องเคลียร์บิตด้วยโปรแกรมหลังการรับ

การอินเตอร์รัพต์ตัวจับเวลา 0 และตัวจับเวลา 1 จะทำงานได้ด้วยค่าของแฟลก TFO และ TF1 ที่เซตเป็น 1 เมื่อค่าในเรจิสเตอร์ของตัวจับเวลา/ตัวนับถูกเพิ่มจากหนึ่งหมดทุกบิต กลายเป็นศูนย์หมดทุกบิต การตั้งอินเตอร์รัพต์ของตัวจับเวลา 0 จะตั้งให้ทำงานอินเตอร์รัพต์ไม่ได้ ถ้าให้ทำงานในโหมด 3 หลังจากการเกิดอินเตอร์รัพต์ตัวจับเวลาแฟลกดังกล่าวจะถูกเคลียร์ให้เป็น 0 เมื่อฮาร์ดแวร์บนชิปเข้าไปทำงานในโปรแกรมบริการของการอินเตอร์รัพต์ตัวจับเวลาแล้ว

EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

ตารางที่ 2.5 รีจิสเตอร์การอินเตอร์รัพต์อีนามเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ตำแหน่งบิต	ฟังก์ชัน
EA	IE.7	จะคิเสเบิ้ลการอินเตอรร์รพต์ทั้งหมด ถ้า EA=0 จะไม่มีการอินเตอรร์รพต์ในการตอบรับ ถ้า EA=1 สามารถที่จะอินเตอรร์รพต์ได้ โดยแต่ละแหล่งอินเตอรร์รพต์ จะมีอิสระในการเซตหรือเคลียร์ให้อีนาเบิ้ลแต่ละบิตก่อนได้
-	IE.6	สำรอง
ET2	IE.5	จะอีนาเบิ้ลหรือคิเสเบิ้ลอินเตอรร์รพต์ Overflow ของตัวจับเวลา 2 ถ้า ET=0 การอินเตอรร์รพต์ตัวจับเวลา 2 จะคิเสเบิ้ล
ES	IE.4	จะอีนาเบิ้ลหรือคิเสเบิ้ลอินเตอรร์รพต์พอร์ตอนุกรม ถ้า ES=0 การอินเตอรร์รพต์พอร์ตอนุกรมจะคิเสเบิ้ล
ET1	IE.3	จะอีนาเบิ้ลหรือคิเสเบิ้ลอินเตอรร์รพต์ Overflow ของตัวจับเวลา 1 ถ้า ET1=0 การอินเตอรร์รพต์ตัวจับเวลา 1 จะคิเสเบิ้ล
EX1	IE.2	จะอีนาเบิ้ลหรือคิเสเบิ้ลอินเตอรร์รพต์จากภายนอก 1 ถ้า EX1=0 การอินเตอรร์รพต์จากภายนอก 1 จะคิเสเบิ้ล
ET0	IE.1	จะอีนาเบิ้ลหรือคิเสเบิ้ลอินเตอรร์รพต์ Overflow ของตัวจับเวลา 0 ถ้า ET0=0 การอินเตอรร์รพต์ตัวจับเวลา 0 จะคิเสเบิ้ล
EX0	IE.0	จะอีนาเบิ้ลหรือคิเสเบิ้ลอินเตอรร์รพต์จากภายนอก 0 (INT0) ถ้า EX0=0 การอินเตอรร์รพต์จากภายนอก 0 จะคิเสเบิ้ล

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

ตารางที่ 2.6 PCON : Power Control Register

SMOD	PCON.7	เป็นการตั้งอัตราบอดเร็วเป็นสองเท่า เมื่อเซตเป็น 1 อัตราบอดจะเป็นสองเท่าเมื่อพอร์ตอนุกรมถูกให้ทำงานที่โหมด 1,2 หรือ 3
-	PCON.6	สำรอง
-	PCON.5	สำรอง
-	PCON.4	สำรอง
GF1	PCON.3	ใช้เป็นแฟลกบิตตามจุดประสงค์ทั่วไป
GF0	PCON.2	ใช้เป็นแฟลกบิตตามจุดประสงค์ทั่วไป
PD	PCON.1	บิตการเลือกพลังงานตก บิตนี้ถูกเซตเมื่อเลือกทำงานในโหมดพลังงานตก
IDL	PCON.0	บิตการเลือกแบบอุคมคติ บิตนี้ถูกเซตเมื่อเลือกทำงานในโหมดอุคมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรีจิสเตอร์ตัวนี้เราใช้บิตเดียว คือ SMOD = "0" ค่า K=1 ถ้า SMOD = "1" ค่า K=2 ใช้สำหรับการคำนวณ อัตราบ๊อค รีจิสเตอร์ไม่สามารถใช้คำสั่ง SETB ได้เพราะฉะนั้นต้องใช้วิธีการ OR (Set) หรือ AND (Clear)

### โปรแกรมการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

เป็นการกำหนดตัว MCS 51 ใช้พอร์ตอนุกรมส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 9600 บ๊อค ที่ความถี่ oscillator 11.0592 MHz โดยโปรโตคอลแต่ละข้อมูลที่ส่งจะเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต

เริ่มต้นจากเซตการส่งอยู่ในโหมด 1 8 บิต UART SM0, SM1 = 01 คิสมอบีลการรับข้อมูล REN = 0 ตัวจับเวลา 1 จะถูกโปรแกรมเป็นแบบ auto-reload เพื่อให้ได้ 9600 บ๊อค ค่าใน TH1 = FAH(250)

$$TH1 = \frac{256 - (K \times \text{Osc Freq})}{348 \times \text{baud rate}}$$

ถ้า SMOD=0 , K=1

ถ้า SMOD=1 , K=25

ได้ TH1 เท่ากับ FAH หรือ 250 เนื่องจากใช้ SMOD เป็น 1 ค่า K เป็น 2

$$\text{อัตราบ๊อค} = \frac{(2^{\text{smod}} \times \text{อัตรา overflow ของตัวจับเวลา 1})}{32}$$

$$= \frac{(2^{\text{smod}}) \times (\text{ความถี่ออสซิลเลเตอร์})}{32 \times 12 \times (256 - TH1)}$$

แทนค่าต่าง ๆ เข้าไปคือ SMOD = 1

ความถี่ออสซิลเลเตอร์ = 11.592 MHz

$$TH1 = 250$$

จะได้อัตราบ๊อคที่ 9600 บ๊อคพอดี

## บทที่ 3

### การออกแบบและหลักการทํางาน

#### 3.1 ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องวัดความสั่นสะเทือน

ดังที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้าแล้วว่าการวัดความสั่นสะเทือนนั้น สามารถแบ่งการวัดได้เป็น สองแบบคือ วัดค่ารวม และวัดวิเคราะห์ค่าที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ในโครงการนี้ได้วัดเป็นค่ารวม เพื่อหาระดับความสั่นสะเทือนโดยรวม

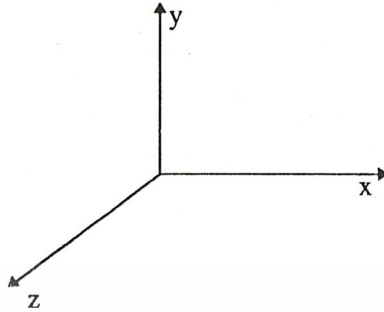
ตัวอย่างในการวัดความสั่นสะเทือนก็จะแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ อย่างแรกการสั่นสะเทือนที่ไม่ต่อเนื่อง จะเกิดขึ้นชั่วขณะ เช่นการสั่นสะเทือนของการเกิดแผ่นดินไหวซึ่งมีชื่อของเครื่องมือวัดว่า Seismograph จะต้องทำการวัดอยู่ตลอดเวลา เพื่อสังเกตและตรวจสอบการเกิดแผ่นดินไหวรวมทั้งโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวอีกด้วย อย่างที่สองเป็นการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ อันได้แก่ การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรต่าง ๆ การวัดความสั่นสะเทือนในประเภทนี้สามารถวัดเพื่อดูค่าระดับความสั่นสะเทือนเมื่อใดก็ได้ไม่ต้องคอยตรวจสอบตลอดเวลา ตัวอย่างเครื่องมือวัดประเภทนี้คือ Vibration Meter และ Accelerometer

ในโครงการนี้จะกล่าวถึงการวัดความสั่นสะเทือนแบบต่อเนื่อง และเป็นการวัดค่ารวม จะบอกถึงระดับความสั่นสะเทือน ของตัวอย่างที่ใช้วัดนั้น ๆ ตัวอย่างที่นำมาวัดโดยมากคือ เครื่องจักร เครื่องยนต์ ซึ่งจะมีการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสั่นสะเทือนอยู่ตลอด นอกจากนี้ยังใช้วัดความสั่นสะเทือนใด ๆ ได้อีกด้วย เช่น การแกว่งของมือ แขน จากแรงกระแทก เป็นต้น

การวัดความสั่นสะเทือนและสามารถนำไปใช้งานได้นั้น จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเอาไว้ และนำข้อมูลจากการวัดมาเปรียบเทียบได้ เพื่อจะพิจารณาถึงความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การศึกษาวิจัย การบำรุงรักษาเครื่องจักร ดังที่ได้กล่าวเอาไว้ใน บทที่ 1

#### 3.2 หลักการทํางานทั่วไป

โครงการนี้มีชื่อว่าเครื่องวัดความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริกแบบ 3 แกน กล่าวคือ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความสั่นสะเทือนด้วย เซนเซอร์แบบผลึกพิโซอิเล็กทริก ซึ่งจะวัดค่าความสั่นสะเทือนได้ในหน่วย g (gravity :  $1g = 9.80665 \text{ m} \times \text{s}^{-2}$ ) มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 50 g และในโครงการนี้ยังสามารถนำเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริกแบบ 3 แกน นี้ไปตรวจสอบและบันทึกค่าความสั่นสะเทือนได้ทั้ง 3 มิติกล่าวคือ ทั้งแกน x ,y,z



รูปที่ 3.1 แสดงทิศทางที่เซนเซอร์สามารถวัดได้

เมื่อเซนเซอร์แบบผลึกพิโซอิเล็กทริกแบบ 3 แกน ได้รับแรงที่กระทำหรือมีแรงกดต่อตัวเซนเซอร์ ก็จะทำให้ค่าประจออกมาอย่างน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำทั้ง 3 ทิศทาง ประจุไฟฟ้าที่ได้จะผ่านวงจรเพื่อให้แปลงเป็น โวลเตจออกมา โวลเตจที่ได้นี้จะมีค่าน้อยมากจึงต้องผ่านวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองความถี่เพื่อให้ได้ระดับโวลเตจที่มาตรฐานและความสั่นสะเทือนอยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการ วงจรที่กล่าวถึงนี้จะรวมอยู่ใน Coupler ซึ่งเป็นส่วนของการขยายสัญญาณและกรองความถี่สัญญาณขั้นต้น ค่าที่ได้ทางแกน x,y และ z จะมีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากแรงที่กระทำกับตัวเซนเซอร์อยู่ในทิศทางที่แตกต่างกัน โวลเตจจาก Coupler จะผ่านวงจรขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง โดยในส่วนนี้ค่าในแกน x,y และ z จะมีค่าการขยายที่แตกต่างกันเพื่อให้สัญญาณดียิ่งขึ้นหลังจากนั้นจะส่งผ่านไปให้วงจรเอชดีเพื่อแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล ในส่วนของเอชดีนี้สามารถจะเลือกเซนเนลได้ คือสามารถที่จะเลือกสัญญาณมาทำการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลได้หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณไปให้ส่วนที่แปลงข้อมูลแบบขนานเป็นแบบอนุกรมและส่งข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้โมโครโปรเซสเซอร์ ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 ซึ่งต้องใช้ EPROM เป็นตัวโปรแกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์รับค่าข้อมูลนั้นและนำค่ามาประมวลผล หาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ของช่วงการวัดรวมถึงแสดงกราฟ การเก็บข้อมูล และการเปรียบเทียบข้อมูล

สาเหตุที่เลือกใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพราะว่าในการนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนไปใช้งานจริงนั้น คอมพิวเตอร์จะติดตั้งอยู่ในห้องควบคุมส่วนเครื่องจักรที่ต้องการวัดจะอยู่ห่างออกไป เมื่อตัวเซนเซอร์และอุปกรณ์การวัดกับส่วนประมวลผลและแสดงผลจะอยู่ห่างกันจึงต้องใช้การสื่อสารที่สามารถส่งข้อมูลในระยะทางไกลได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเรื่องสายนำสัญญาณ ซึ่งต้องการ เพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ TXD,RXD และ GND ในมาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-232 จะมีการปรับแรงดันให้เป็น  $\pm 15$  Vdc เพื่อให้สื่อสารในระยะทางที่ไกลขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดความสั่นสะเทือนมีดังนี้

### 1. Acceleration Sensor

Acceleration Sensor ที่ใช้ในการทดลองนี้มีชื่อทางการค้าว่า PiezoBEAM Triaxial Accelerometer แบบ 8692B ลักษณะเด่นก็คือ มีขนาดกระทัดรัด น้ำหนักเบา มีความไวในการทำงานสูง สามารถวัดได้พร้อมกัน 3 แกนทั้งแกน x,y และ z ซึ่งลักษณะเหล่านี้มีความสำคัญในการวัดความสั่นสะเทือน และการเปลี่ยนแปลงทางกล

เป็น Acceleration sensors ที่มีความไวสูง และมีการขยายประจุภายในตัวมีเอาต์พุต แบบ อิมพีแดนซ์ต่ำเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ ตรวจสอบ เพราะมีความไวสูงถึง 100 mV/g ทั้งที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 15 กรัม) วิธีการวัดคือให้ตัว acceleration sensor ติดกับวัตถุที่ต้องการวัดได้โดยตรง

หน่วยในการวัดค่าความสั่นสะเทือนคือค่า g (gravity)

$$1 \text{ g} = 9.80665 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ ms}^{-2} = 0.1019 \text{ g}$$

### การทำงาน

แรงสั่นสะเทือนที่ถูกทำให้เกิดขึ้น ในแนวตั้งฉากกับ Accelerometer ที่ติดอยู่กับฐานนั้นจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณประจุ ที่เป็นสัดส่วนกันโดยวัสดุที่เป็นแผ่นสำหรับตรวจจับ และสัญญาณประจุนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงภายในให้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย วงจรขยายขนาดเล็กซึ่งจะได้เป็นแรงดันที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ

### การใช้งาน

เนื่องจาก PiezoBEAM Triaxial Accelerometer มีน้ำหนักเบา โครงสร้างเล็ก ความไวสูง จึงเหมาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์กับการตรวจสอบ ทดสอบ Vibration และ Oscillation ในโครงสร้างทางกล

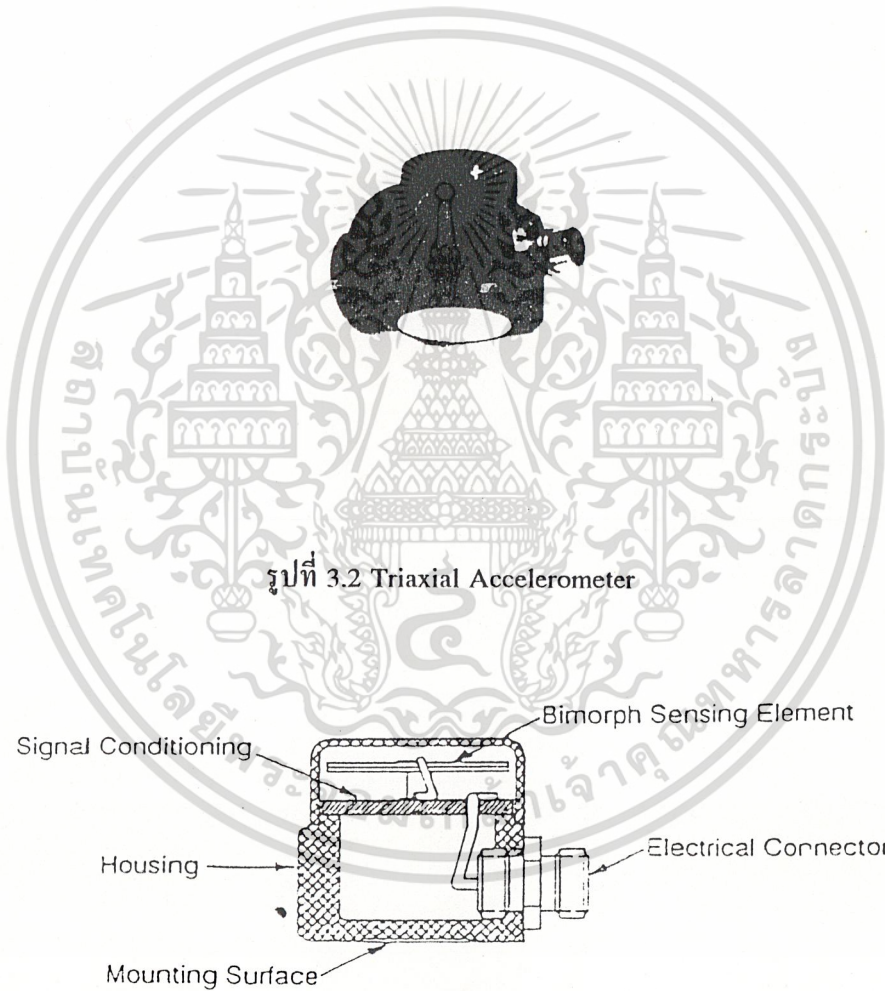
### ลักษณะของตัวเซนเซอร์

PiezoBEAM Triaxial Accelerometer ประกอบด้วย Transducer ที่มีโครงสร้างเป็น Aluminium แข็ง มีผลึก Piezoelectric ภายในและส่วนขยายประจุ เมื่อ Piezotron Accelerometer ทั้งหมดมีสัญญาณโวลเตจที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำเป็นสัดส่วนกับความเร่งที่จ่ายให้ ทำให้เอาต์พุตที่ได้ของ Accelerometer มีความไวสูง Couplers ทั้งหมดใช้เป็น power supply และตัวกำเนิดสัญญาณให้กับ Transducer สำหรับสายที่ใช้ต่อเชื่อมระหว่าง PiezoBEAM กับ Coupler เป็นสาย Coaxial ธรรมดา (ไม่จำเป็นต้องใช้สายที่มี high insulating และสัญญาณรบกวนต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโดยทั่วไป

- น้ำหนักเบา
- ความไวสูง
- ให้ค่าถูกต้อง
- ความไวต่อความถี่ที่ฐานต่ำ
- ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน



รูปที่ 3.2 Triaxial Accelerometer

รูปที่ 3.3 แสดงภาพตัดขวางของ PiezoBEAM

ข้อมูลทางเทคนิค

Type	8692B50
Range	g ±50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Overload vibration	g	$\pm 80$
shock ( $\leq 0.2$ ms)	g	10,000
Sensitivity	mV/g	100
$\pm 5\%$ at 100 Hz, 3 $g_{rms}$		
Threshold, nom	$\mu g_{rms}$	1000
Linearity, nom	%	$\pm 1$
Time constant, nom	s	1
Resonant frequency (mounted)	KHz	$\approx 22$
Frequency range ( $\pm 5\%$ )	Hz	0.5 ... 5K
Phase shift		
4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	$\angle^\circ$	(<5)
Transverse sensitivity	%	$\leq 1$
Base strain sensitivity	g/ $\mu\epsilon$	<0.001
at 250 $\mu\epsilon$		
Operating temperature range	$^\circ\text{C}$	0 ... 65
Storage temperature range	$^\circ\text{C}$	-23 ... 93
Temperature coefficient	/C	+0.02
of sensitivity		
Supply current	mA	2 ... 18
Supply voltage	VDC	20 ... 30
Output bias voltage	VDC	$11 \pm 3$
Output impedance	$\Omega$	<100
Input impedance	K $\Omega$	>100
Output voltage, full scale	V	$\pm 5$
Output current	mA	2
at 4 mA supply		
Sensitivity change	%	$\pm 1$
in function of the supply		
current, 2 ... 8 mA, typ.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

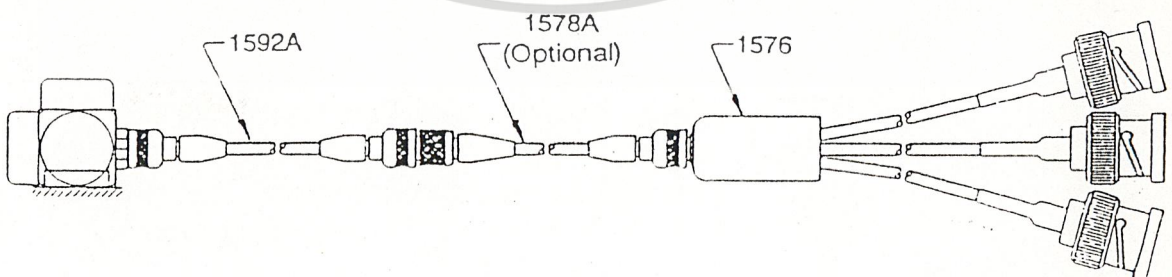
Mass	g	14.5
Ground insulation	MΩ	10
Housing material	Aluminium	hard anodized
Magnetic holding force, nom	N	12.2

### การติดตั้ง

การติดตั้ง PiezoBEAM รุ่น 8692B50 นั้นควรติดตั้งบนวัสดุที่เป็นเหล็กหรือวัสดุที่เป็นแม่เหล็ก เนื่องจากบริเวณผิวของตัวมันเป็นแม่เหล็กถาวรทำให้ผิวของ PiezoBEAMแนบกับผิวของเครื่องจักรที่ทำการวัดได้ดี ซึ่งทำให้สามารถวัดอินพุตในระดับต่ำ ๆ ได้ แต่ค่าที่วัดได้อาจจะได้รับผลกระทบจากผิวที่ทำการวัดที่ขรุขระหรืออินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการติดตั้งจึงต้องมีการตรวจเช็คโดยคุณผลหลาย ๆ ครั้ง โดยรับแรงกระทำในสภาวะที่เหมือนๆ กันจนมีผลที่ออกมาใกล้เคียงกันถ้าใช้ Petro wax ควรใช้กับผิวที่แบนราบและระวังไม่ให้ Triaxial Accelerometer หล่นมาได้ เพราะจะทำให้เสียหาย พื้นผิวที่ติดนั้นต้องราบเรียบ ต้องสะอาดไม่ชื้นหรือมีเศษของคราบมันต่าง ๆ และต้องตั้งฉากกับ Triaxial Accelerometer

### 2. สายเคเบิล

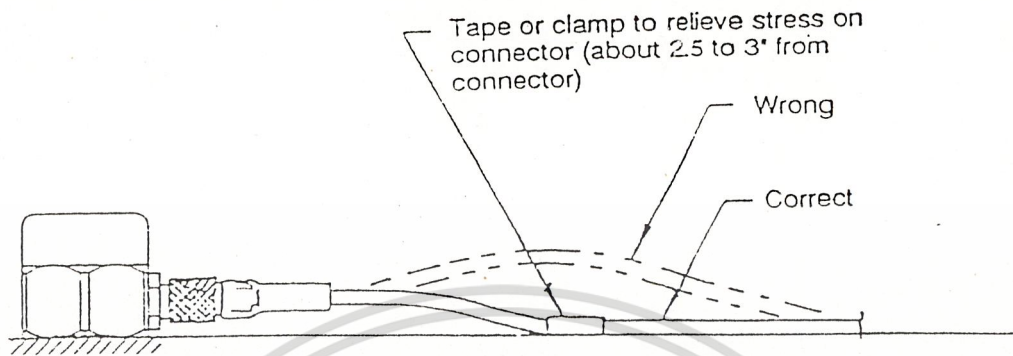
สำหรับ Triaxial Accelerometer ใช้หัวต่อแบบ ultra-miniature ซึ่งมี 4 pin ในที่นี้เราเลือกใช้สายเคเบิล ชนิด 1592A (มีความยาว 2 เมตร) ต่อโดยตรงกับตัวมันเอง เมื่อต้องการขยายให้สายยาวขึ้นก็ใช้สายเคเบิลรุ่น 1578A และสายเคเบิลที่เป็นตัวจ่ายรุ่น 1576 ซึ่งมีหัวต่อแบบ BNC 3 หัวที่ใช้ต่อกับสายรุ่น 1592A และจะอินเทอร์เฟสโดยตรงกับ coupler รุ่นใดๆก็ได้ของ KISTLER



รูปที่ 3.4 Cable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งสายเคเบิล ต้องอยู่ใกล้ ๆ กับ Triaxial Accelerometer อยู่บนผิวเดียวกัน จะช่วยลดการเคลื่อนที่ระหว่าง Triaxial Accelerometer connector กับ สายเคเบิลค้ำรูป



รูปที่ 3.5 แสดงการติดสายที่ถูกต้อง

### การดูแลรักษา

ต้องคอยระมัดระวังไม่ให้ Triaxial Accelerometer ตกส่วน connector และผิวต้อง สะอาด ปราศจากไขมันหรือกราบมัน พื้นผิวของ Triaxial Accelerometer มีสารเคลือบไว้ ซึ่งทำให้ Triaxial Accelerometer นี้มีความเหนียวแต่ว่าเปราะ การทำความสะอาดให้ใช้ Freon TF spray ฉีดทำความสะอาด และต้องระวังไม่ให้ถูกของมีคม เช่น ไขควง มีด เพราะจะทำให้เกิดรอยที่ Triaxial Accelerometer ได้

เมื่อไม่ใช้ Triaxial Accelerometer แล้วต้องเก็บไว้ในกล่องอุปกรณ์ตลอดเวลา

### 3. PiezoTron Coupler

ควอทซ์ทรานสดิวเซอร์ จะเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางกลของความดัน แรง และการสั่นสะเทือน ให้กลายเป็น ประจุไฟฟ้า ประจุที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนกับแรงที่เกิดขึ้นบนผลึกคริสตัล

วงจรรีเลคทรอนิกส์ขนาดเล็กถูกสร้างไว้ในตัวของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณประจุที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งกำเนิดโดยผลึกคริสตัลให้กลายเป็นสัญญาณแรงดันระดับสูงที่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเอาท์พุทต่ำกว่า 100 โอห์ม สามารถใช้กับสายเคเบิลเดี่ยว สายเคเบิลคู่หรือโคแอกเซียล ระหว่าง ทรานสดิวเซอร์ กับ coupler ที่อยู่ไกลออกไป

การเปลี่ยนแปลงในการวัดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ จะเป็นที่ยอมรับกันมาก ในทางอุดมคติไม่ว่าสายเคเบิลจะมีความยาวมาก หรือมีการเคลื่อนที่ หรือในที่ที่มีความชื้นสูงหรือแม้แต่บรรยากาศที่เป็นพิษ ก็สามารถใช้อุปกรณ์เหล่านี้ได้อยู่ เครื่องมือนี้จะกำจัดปัญหาต่าง ๆ ของ อิมพีแดนซ์สูง และให้ค่าความถี่ตอบสนองในช่วงที่ตีออกมา

### ระบบการวัดของ PiezoTron

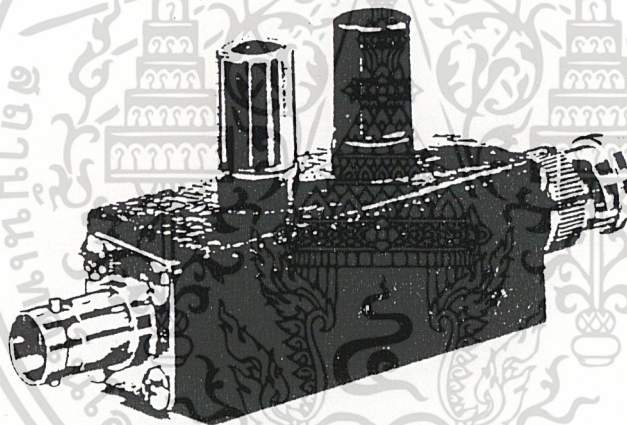
ระบบการวัดของ PiezoTron จะประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ ที่มีวงจรถอดสัญญาณสัญญาณไฟฟ้าอยู่ใน coupler อุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่าและสายเคเบิลที่เหมาะสม

จุดประสงค์หลักของ coupler ในระบบการวัด คือ เป็นแหล่งจ่ายให้กับ PiezoTron ทรานสดิวเซอร์ ซึ่งมีค่ากระแสที่และส่งสัญญาณจาก ทรานสดิวเซอร์ไปยังอุปกรณ์อ่านค่าซึ่งต่ออยู่ด้วย กัน การต่อนี้สามารถเป็นได้ทั้ง AC และ DC ขึ้นอยู่กับชนิดของ coupler ที่เลือกมา

ทรานสดิวเซอร์ต้องได้รับกระแสที่ระหว่าง 2-18 mA จาก coupler ค่าระดับคงที่ของกระแสสามารถคำนวณจากความยาวสายเคเบิลที่ใช้

### Coupler ชนิดที่เลือกใช้

coupler แบบที่ใช้รุ่น 5108 จะเป็นแหล่งจ่ายที่มีค่ากระแส สำหรับตัวเปลี่ยนแปลงอิมแดนซ์ ภายในตัว ทรานสดิวเซอร์ สำหรับตัว coupler นั้นต้องการแหล่งจ่าย DC 24-32 โวลท์



รูปที่ 3.6 Coupler

### ลักษณะเฉพาะ

#### Input Characteristics

Constant Feed Current	mA	4
Full Scale Signal	Vpp	20

#### Transfer Characteristics

Gain		1
Frequency Range( $\pm 5\%$ )	Hz..kHz	0.07...>200

(with 1 meg load & 10 VPP) \*

#### Input/output Coupling

AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Output Characteristics

Full Scale Signal Voltage	V <sub>PP</sub>	20
Current	mA	-
Impedance	Ω	100 (in series with 47 μF)
Power Source external		24-32 V DC 4 mA

## Physical

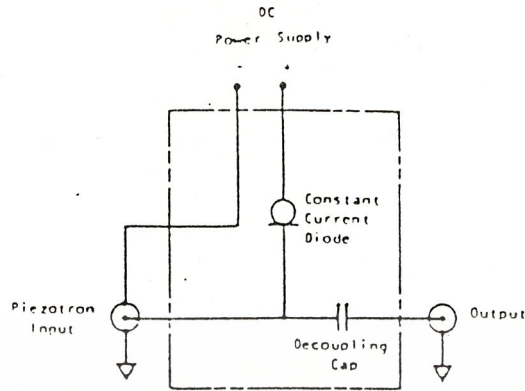
Size	L×H×W inch	3.8×1.7×1.1
Weight	g	65
Connectors		
Input		BNC (neg)
Output		BNC (pos)
Power		banana jacks
Front Panel Meter		no
Environmental		
Operating temperature	°C	0 to 50

\*การตอบสนองความถี่สูง สามารถคำนวณได้จากกระแส ระดับสัญญาณ ความยาวของสายเคเบิล ตามสมการ

$$f_{\max} \text{ kHz} = \frac{32 \times (\text{piezo input current (mA)} - 1 \text{ mA})}{\text{cable capacitance}(\mu\text{F}) \times \text{signal amplitude (Vpp)}}$$

## การทำงาน

Coupler ประกอบด้วย current diode ที่จำกัดกระแสไว้ที่ 4 mA และคอนเด็นเซอร์ C เป็นตัวกั้นไฟ DC เพื่อกำจัดโวลต์เดจไบแอสของทรานสดิวเซอร์ จากสัญญาณที่วัดได้ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างวงจรของ coupler

#### การติดตั้ง

Coupler จะถูกติดตั้งไว้ในที่ที่ปลอดภัย จะต้องระมัดระวังไม่ให้อุณหภูมิเกินที่กำหนดไว้ และต้องไกลจากการ shock และการสั่นที่มากเกินไป สายสัญญาณต้องอยู่ในเส้นทางที่จะต้องหลีกเลี่ยง จากการโค้งงอที่ไม่จำเป็น

#### การดูแลรักษา

Coupler ไม่จำเป็นต้องมีการดูแลตลอดเวลาเพียงแต่ต้องเก็บไว้ในที่ที่สะอาด ไม่มีความชื้น และทำความสะอาดด้วย Freon TF spray เท่านั้น

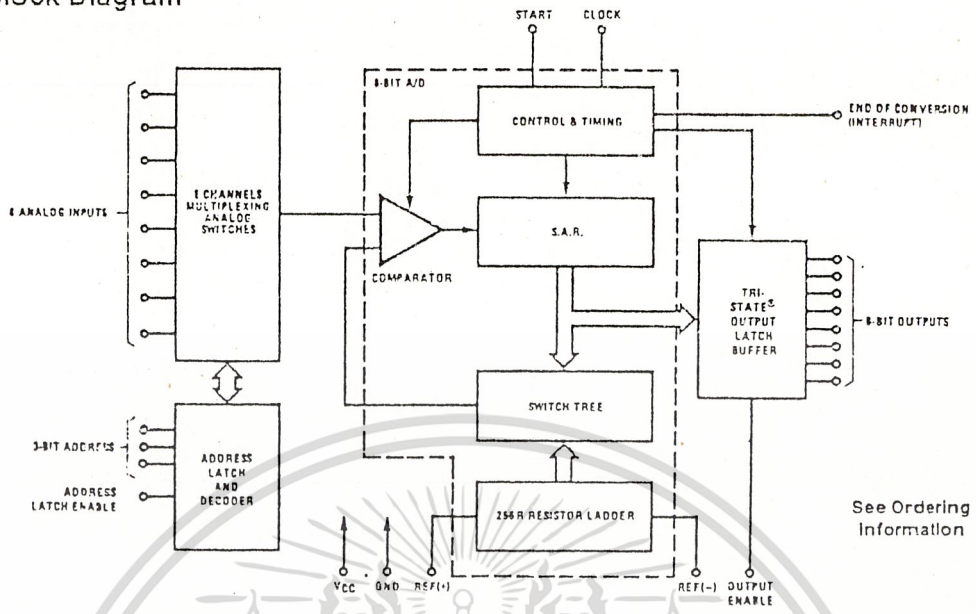
#### 4. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ในโครงการนี้ใช้ชิพเบอร์ ADC 0808 ซึ่งเป็นแบบ Successive Approximation ขนาด 8 บิต มีตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 8 ตัว ระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงที่พอเหมาะคือ ประมาณ 100  $\mu$ sec เพราะเซนเซอร์ที่ใช้สามารถรับค่าข้อมูลได้ในช่วงความถี่ 0.5 ถึง 5000 Hz หรือ 0.2 ms ถึง 2 Sec และนอกจากนี้ ยังมีข้อดีอื่น ๆ ดังนี้

- สามารถเชื่อมต่อเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ได้อย่างสะดวก ไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์อื่น ๆ อีกและมี access time 135 ns
- สามารถใช้งานเป็นแบบอัตราส่วนกับแรงดันกระแสตรง 5 V<sub>DC</sub> หรือแรงดันอ้างอิงอนาลอก ที่ปรับค่าได้
- ไม่ต้องมีการปรับ zero หรือ full-scale
- การแยกช่อง 8 ช่อง ด้วย address logic
- สามารถต่อร่วมได้ทั้งอุปกรณ์แบบ MOS และ TTL
- สามารถรับอินพุตได้ในช่วง 0-5 โวลต์
- มีค่าความผิดพลาด  $\pm 1/2$  LSB
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 125 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



See Ordering Information

TL/H/5672-1

รูปที่ 3.8 Block Diagram

การแยกช่องรับสัญญาณ

ไอซี ADC0808 มีตัวแยกรับสัญญาณอินพุต 8 ช่อง อินพุตของแต่ละช่องจะถูกเลือกโดยตัวถอดรหัสแอดเดรส ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะอินพุตสำหรับการเลือกแอดเดรสไลน์ของแต่ละช่อง แอดเดรสจะถูกเลขที่เข้าไปในตัวถอดรหัสขณะเปลี่ยนจากสถานะต่ำไป สูง ของสัญญาณแอดเดรส

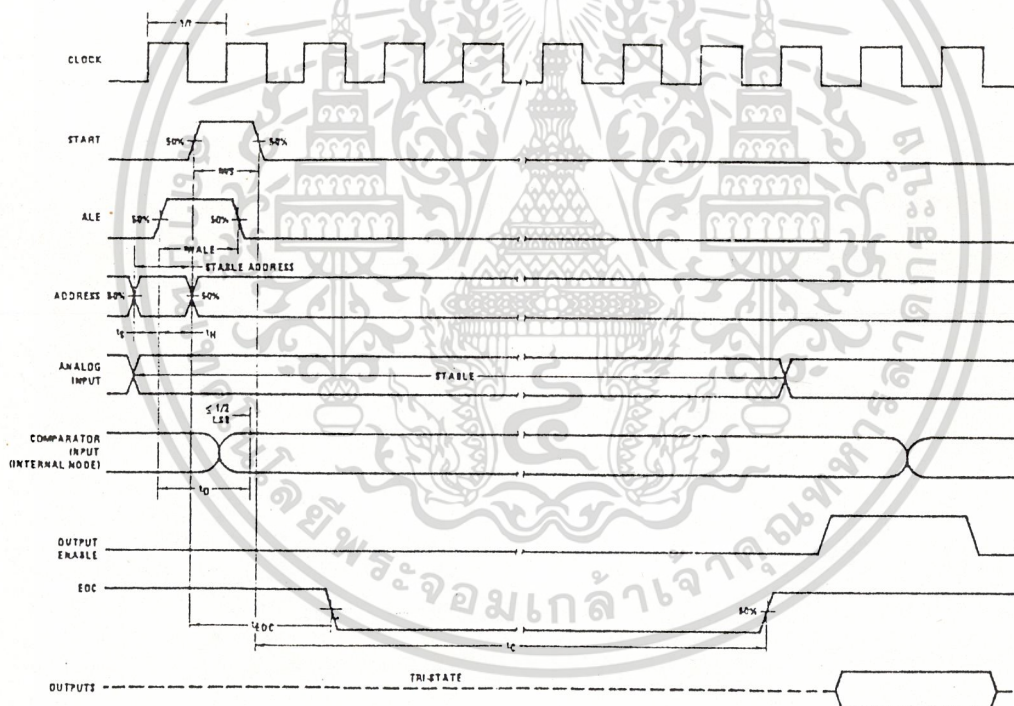
SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

ตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเปลี่ยนสัญญาณ

หัวใจของชิพเคียวที่มีระบบรับข้อมูลคือตัวเปลี่ยนอนาลอกเป็นดิจิตอล 8 บิต ตัวเปลี่ยนสัญญาณถูกออกแบบให้มีความเร็ว ความแม่นยำ การเปลี่ยนที่ช้าๆ ตลอดย่านอุณหภูมิกว้างๆ ตัวเปลี่ยนสัญญาณเป็นส่วนหนึ่งของ 3 ส่วนใหญ่ คือ 256R ladder network, successive approximation register (SAR) และ ตัวเปรียบเทียบ ซึ่งสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะเป็นดิจิตอลที่เป็นบวก การเปลี่ยนสัญญาณจะเริ่มทำที่ขอบขาลงของ pulse เริ่มการเปลี่ยน ขณะที่ทำการเปลี่ยนจะถูกอินเตอร์รัพท์โดยการรับ pulse เริ่มการเปลี่ยนอันใหม่ เมื่อการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องสำเร็จแล้วก็จะมีสัญญาณ EOC (end-of-conversion) ออกไปเป็นอินพุทของ SC (start conversion) สัญญาณ EOC จะเป็นลอจิกต่ำอยู่ระหว่างสัญญาณนาฬิกาถูกที่ 0 ถึงถูกที่ 8 ก่อนสัญญาณขอขาขึ้นของการเริ่มเปลี่ยน ส่วนสำคัญที่สุดของตัวแปลง A/D คือ ตัวเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.9 แสดง Timing Diagram ของ ADC0808

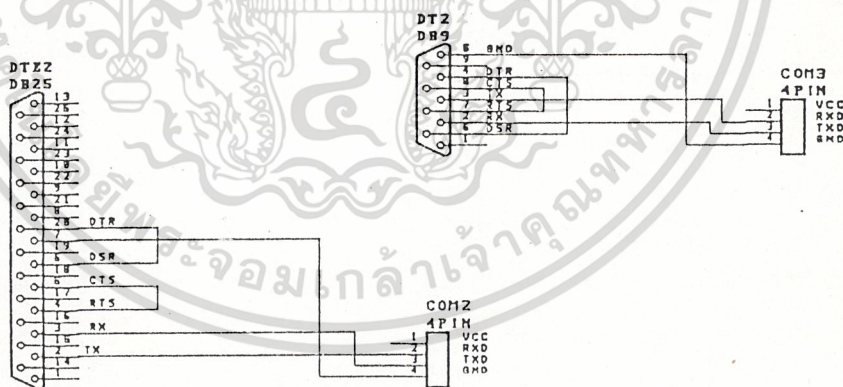
ADC จะรับอินพุทเข้ามาทั้ง 8 ขาที่ และจะถูกเลือกที่ละอินพุทขึ้นอยู่กัับแอดเดรสที่รับเข้ามา เมื่อเลือกอินพุทได้แล้วก็จะทำการแปลง ซึ่งระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงประมาณ  $100 \mu\text{sec}$  โดยไมโครโปรเซสเซอร์ให้สัญญาณ WR แก่เอทูดิ เพื่อเริ่มทำการเปลี่ยนแปลงค่าอนาลอกอินพุท ในช่วงการเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่สามารรถรับค่าข้อมูลดิจิตอล เพราะหากรับข้อมูลเข้าไปจะเป็นข้อมูลที่ผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันคือต่อขา EOC กับไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อจะรับข้อมูลได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเมื่อการเปลี่ยนแปลงเสร็จสิ้นไปแล้วนั้นก็จะต้องมีการหน่วงเวลาไม่ต่ำกว่า 100  $\mu$ sec แล้วจึงให้สัญญาณ RD แก่เอทิวตี้เพื่อทำการรับข้อมูลจากเอทิวตี้ไมโครโปรเซสเซอร์ เพราะว่าสัญญาณข้อมูลโดยปกติจะมีสถานะเป็น High Impdanc หรือ TRI STATE ซึ่งไม่สามารถรับข้อมูลได้ จนกว่าจะมีสัญญาณ RD ให้แก่เอทิวตี้ เมื่อรับข้อมูลได้แล้วอาจจะมีการหน่วงเวลาอีกเพื่อให้ได้คาบเวลาการสุ่มตามที่ต้องการ

### 5. ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS 51

ในโครงการนี้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS 51 เบอร์ 8031 ทำการรับข้อมูลจากเอทิวตี้ และทำการจัดรูปแบบข้อมูลให้เป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS 232 และส่งไปยังคอมพิวเตอร์ IBM PC ประมวลผลและแสดงผลต่อไป โดยใช้อัตราบิตที่ 9600 การให้ค่าเริ่มต้นแก่ MCS 51 ได้กล่าวไว้ในรายละเอียดของบทที่ 2

การต่อสายสัญญาณ RS 232 ระหว่าง MCS 51 และคอมพิวเตอร์ใช้เพียงสามเส้นเท่านั้นคือ RXD, TXD และ GND ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและประหยัดสายนำสัญญาณ ในกรณีที่ต้องใช้สายนำสัญญาณที่ยาว โดยจะไม่เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลขึ้นมา เพราะได้ต่อขาสัญญาณที่ต้องตรวจสอบข้อมูลของคอมพิวเตอร์ไว้ด้วยกัน (โดยต่อขา RTS กับ CTS และขา DSR กับ DTR) รูปที่ 3.10 แสดงการต่อคอมพิวเตอร์ทั้งแบบ 25 ขาและ 9 ขา



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อขาสัญญาณ RS 232

สำหรับวงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนเพื่อส่งสัญญาณอนุกรม ได้แสดงในภาคผนวกก็จะเป็นวงจร ที่ปรับระดับแรงดันที่เหมาะสมเพราะสัญญาณ TXD และ RXD สำหรับการส่งและรับข้อมูลอนุกรมมีระดับสัญญาณ TTL แต่สัญญาณแรงดัน RS 232 ของจะอยู่ในช่วง  $\pm 15$  โวลต์ จึงต้องมีวงจรอินเทอร์เฟส เพื่อจัดระดับสัญญาณให้เหมาะสม จากวงจรที่แสดงสามารถปรับระดับสัญญาณได้  $\pm 8$  โวลต์ ซึ่งเพียงพอกับการสื่อสารข้อมูลในระยะที่ไม่ไกลนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. แหล่งจ่ายแรงดัน

ในเครื่องวัดความสั่นสะเทือนเครื่องนี้ได้จัดทำแหล่งจ่ายให้แก่วงจรด้วย คือมีแหล่งจ่าย 4 ระดับแรงดัน 30 โวลต์ให้กับ Coupler ระดับแรงดัน 5 โวลต์จ่ายให้กับวงจรเอพูดีและ MCS 51 และระดับแรงดันบวกลบ 15 โวลต์จ่ายให้กับออปแอมป์ ใช้หม้อแปลงจำนวนสองตัว หม้อแปลงตัวหนึ่งขนาด 24 Vac มาผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM317 ได้แรงดันประมาณ 30 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับ Coupler (ต้องการระดับแรงดัน 24 ถึง 32 Vdc) และแรงดันระดับ 9 Vac มาผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM 7805 ได้ระดับแรงดันที่ 5 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่วงจรเอพูดี และ วงจร MCS 51 (ดูรูปวงจรในภาคผนวก) หม้อแปลงตัวที่สองใช้ขนาด 18,18 Vac มาผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ผ่านเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM78015 ได้แรงดันบวก 15 Vdc ผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ผ่านเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM7915 ได้แรงดันลบ 15 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับออปแอมป์

การคำนวณค่าความต้านทานที่ใช้กับวงจรเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM 317 ดูจากค่าชี้ที่จะมีสมการคือ

$$V_o = 1.25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj} \times R_2$$

สามารถละค่า  $I_{adj}$  ได้เพราะมีค่าน้อยมาก (เป็น  $\mu A$ )

$$\text{เมื่อ } R_1 = 240 \ \Omega$$

$$R_2 = 5.6 \ \text{K}\Omega$$

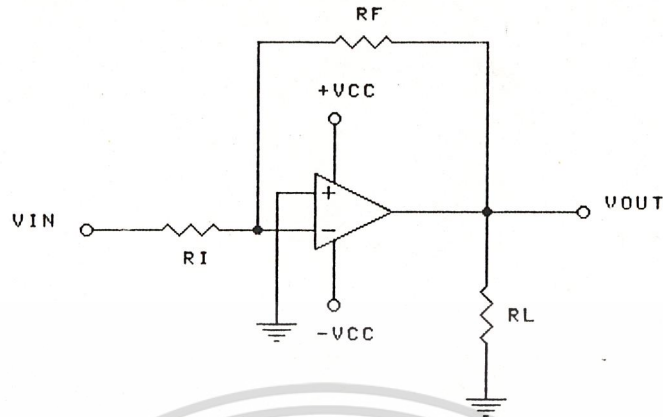
$$\text{จะได้ } V_o = 30 \ \text{V}$$

สำหรับ LM 7805, LM 7815, LM 7915 ต้องให้อินพุตมากกว่าด้านเอาต์พุตประมาณ 3 โวลต์ หากป้อนแรงดันอินพุตน้อยกว่านี้อาจทำให้ได้เอาต์พุตไม่ถึงตามต้องการทำให้วงจรเอพูดี MCS51 และออปแอมป์ทำงานผิดพลาดหรืออาจไม่ทำงานได้

## 7. วงจรขยายสัญญาณ วงจรรวมสัญญาณและวงจรบัฟเฟอร์

วงจรรวมขยายหมายถึงวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุตที่มีค่าน้อยๆ ให้ขนาดสัญญาณทางเอาต์พุตมีขนาดสูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่งสัญญาณที่ว่าเป็นนี้อาจเป็นได้ทั้งกระแสหรือแรงดัน ในลักษณะเดียวกัน วงจรรวมขยายของออปแอมป์ก็คือวงจรที่มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก และยังมีลักษณะของการขยายเป็นเชิงเส้น นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตต่ออินพุตจะคงที่เสมอ และนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัว วงจรขยายที่ใช้เป็นแบบ voltage controlled voltage sources แบบ inverting amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 inverting amplifier

ซึ่งค่าอัตราขยายที่ได้คือ

$$A_v = -\frac{R_F}{R_{IN}}$$

นั่นคือ 
$$V_{OUT} = -\left(\frac{R_F}{R_{IN}}\right)V_{IN}$$

เช่น ต้องการอัตราขยาย 5 เท่า

เมื่อกำหนดให้  $R_{IN} = 10\text{ K}$  ฉะนั้น  $R_F$  ที่ใช้ในวงจรคือ 50 k

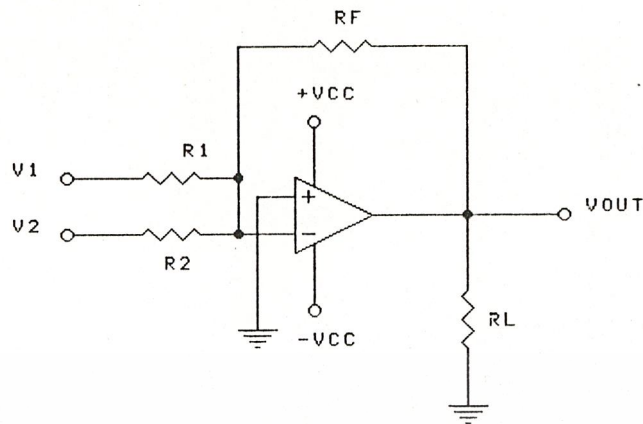
วงจรรวมสัญญาณหรือวงจรวกแรงดัน การทำงานของวงจรมี สามารถอธิบายโดยใช้หลักที่ว่า ผลรวมเชิงพีชคณิตของกระแส ณ จุดกราวด์เสมือนจะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุต ซึ่งมีขนาดเท่าผลคูณของ  $R_F$  กับผลรวมของกระแสเหล่านี้ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจึงเปรียบเสมือนผลรวมเชิงพีชคณิตของแรงดันอินพุตทั้งหมดด้วย

นั่นคือ 
$$V_{รวม} = I_F R_F = (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)R_F$$

จะได้ว่า

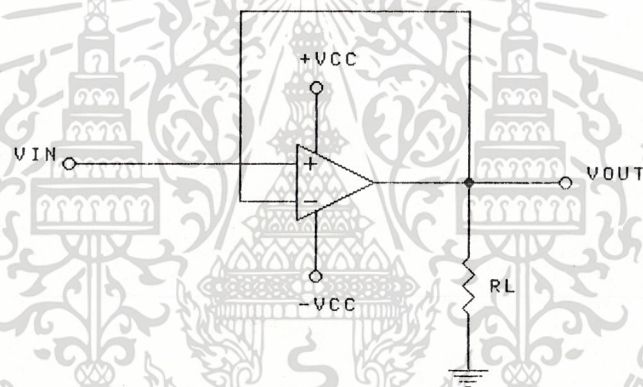
$$V_{OUT} = -\left(\frac{R_F}{R_1}V_1 + \frac{R_F}{R_2}V_2 + \dots + \frac{R_F}{R_n}V_n\right)$$

ในกรณีที่ต้องการให้ผลรวมนี้ถูกขยายด้วยค่าขยายค่าหนึ่งก็สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทาน



รูปที่ 3.12 วงจรรวมสัญญาณ

ส่วนวงจรบัฟเฟอร์คือวงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้วงจรแบบ non-inverting หรือ inverting ก็ได้



รูปที่ 3.13 วงจรบัฟเฟอร์

### 3.3 การเขียนโปรแกรมภาษาซี ในการสื่อสารแบบอนุกรม การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมอะซิงโครนัส

ก่อนที่จะได้เรียนรู้การทำงานของพอร์ตแบบอนุกรมนั้น ควรจะทำความเข้าใจกับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (asynchronous) เสียก่อน ในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านพอร์ตแบบอนุกรมครั้งละ 1 บิต ซึ่งแตกต่างจากการส่งแบบขนานที่ส่งครั้งละ 1 ไบต์และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสแต่ละไบต์นั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากัน จึงได้ชื่อว่าการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ในการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลแต่ละไบต์จะประกอบด้วย

1. บิตเริ่มต้น (start bit) จำนวน 1 บิต
2. บิตข้อมูล (data bit) จำนวน 7 หรือ 8 บิต
3. พาริตีบิต (parity bit) (จะมีหรือไม่มีก็ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. บิตสิ้นสุด (stop bit) จำนวน 1 หรือ 2 บิต

สถานะของสายส่งในขณะที่ไม่มีสัญญาณจะมีสถานะสูง ข้อมูลบิตใดที่มีค่า 0 จะทำให้สายส่งมีสถานะต่ำ ข้อมูลบิตใดที่มีค่า 1 จะทำให้สายส่งมีสถานะสูง บิตเริ่มต้นใช้สำหรับบอกจุดเริ่มต้นของไบต์ข้อมูล โดยทำให้สถานะของสายส่งมีค่าต่ำเป็นเวลา 1 รอบ จากนั้นจะเป็นบิตข้อมูลตามด้วยพาริตีบิตซึ่งจะมีหรือไม่มีก็ได้ สุดท้ายคือบิตสิ้นสุด ซึ่งจะมี 1 หรือ 2 บิต ก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าใช้เท่าไร พาริตีบิตหากมีในไบต์ข้อมูลก็จะทำหน้าที่ตรวจเช็คความผิดพลาดของข้อมูล พาริตีมีค่า 2 อย่างเป็นทางการคือ เป็นคู่ หรือคี่ (even or odd) ถ้าเป็นคู่หมายความว่า เมื่อรวมพาริตีบิตแล้ว จำนวนบิตข้อมูลที่เป็นค่า 1 มีจำนวนคู่ และถ้าเป็นคี่หมายความว่า เมื่อรวมพาริตีบิตแล้วจำนวนบิตข้อมูลที่เป็นค่า 1 มีจำนวนคี่

อัตราการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น อัตราบิต ( baud: bit per second ) ค่าอัตราบิตที่ต่ำที่สุดที่ใช้กันคือ 300 บิต ซึ่งจะใช้กันในโมเด็มรุ่นเก่า ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับ IBM PC สามารถใช้ค่าอัตราบิตได้สูงถึง 19200 บิต แต่ที่ใช้ใน โครงานานี้จะใช้อัตราบิต 9600 บิต

#### มาตรฐาน RS-232

การที่จะเข้าใจว่าปัญหาหากมายที่เกิดขึ้นกับพอร์ตแบบอนุกรมนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร และทำไมถึงเกิดขึ้นได้ จะต้องเข้าใจถึงมาตรฐานของการสื่อสารแบบอนุกรมอะซิงโครนัสของ RS-232 มากพอสมควร

พอร์ตแบบอนุกรมส่วนใหญ่ จะมีรูปร่างขึ้นอยู่กับมาตรฐานของ RS-232 คือมีขา 25 ขา ที่คอนเน็กเตอร์แต่ละปลายสายส่ง ถึงแม้ว่าจะมีขาจำนวนเท่ากัน แต่พอร์ตส่วนใหญ่จะมีสัญญาณที่ไม่เหมือนสัญญาณของ RS-232 ทั้งหมด เพราะว่าบางสัญญาณไม่จำเป็นต้องใช้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

สัญญาณ	ชื่อย่อ	หมายเลขขา
Request to send	RTS	4
Clear to send	CTS	5
Data set ready	DSR	6
Data terminal ready	DTR	20
Transmit data	TxD	2
Receive data	RxD	3
Ground	GRD	7

#### ตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณทั้งหมดมีมากกว่านี้ เพราะว่าแรกเริ่มนั้น พอร์ตแบบอนุกรมถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับโมเด็ม ดังนั้นเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่น บางสัญญาณจึงไม่จำเป็นเพราะสัญญาณเหล่านี้มีใช้เพื่อเป็นข้อตกลงระหว่างโมเด็มในคอมพิวเตอร์ว่า

1. คอมพิวเตอร์จะไม่ส่งข้อมูลให้กับโมเด็ม ก่อนที่โมเด็มจะพร้อมส่งข้อมูล
2. คอมพิวเตอร์จะไม่อ่านข้อมูลจากโมเด็ม ก่อนที่โมเด็มจะพร้อม

### ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล (framing error) คือความผิดพลาดของการส่งข้อมูล ที่เกิดจากสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองด้านมีค่าไม่เท่ากัน เพราะว่าจากการทำงานของพอร์ตแบบอนุกรม เมื่อพอร์ตได้รับบิตเริ่มต้น ก็จะสุ่มอ่านค่าจากส่วนรับข้อมูล จาก 1 ครั้งต่อ 1 รอบ เพื่ออ่านบิตต่อไป ซึ่งระยะเวลาในการสุ่มอ่านแต่ละรอบ กำหนดได้จากอัตราบิต ถ้าหากว่าคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องมีสัญญาณนาฬิกาไม่ตรงกัน คอมพิวเตอร์ด้านรับก็จะอ่านข้อมูลจากส่วนรับข้อมูลของตนช้าเกินไป หรือเร็วเกินไป ก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ด้านส่ง ทำให้เกิดความผิดพลาดของกรอบข้อมูลขึ้น

### ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็กกิง

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็กกิง (hardware handshaking) คือวิธีที่ใช้ในการรับข้อมูลแบบอนุกรมผ่านพอร์ตอนุกรม โดยจะต้องตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์ด้านการรับข้อมูลว่าพร้อมที่จะมีการรับข้อมูลหรือไม่ เมื่อคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะส่งข้อมูลให้ดังนั้นข้อมูลจะต้องไม่ถูกส่งออกไปจนกว่าสัญญาณพร้อมรับข้อมูลส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ด้านรับ สัญญาณพร้อมรับข้อมูลของคอมพิวเตอร์ด้านรับคือ clear to send (CTS)

โปรแกรมจำลองการรับส่งข้อมูล จะมีรูปแบบดังนี้คือ

```
do {
    while ( not CTS ) wait;
    send ( byte );
} while ( byte to send );
```

หมายความว่า จะมีการตรวจสอบสถานะ CTS ตลอดเวลาว่าพร้อมจะรับข้อมูลหรือไม่ ถ้าไม่พร้อม ก็จะรอไปเรื่อยๆแต่ถ้าพร้อมก็จะส่งข้อมูลไปให้ จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆตลอดที่ยังมีข้อมูลที่จะต้องส่งอยู่

### ปัญหาของการสื่อสาร

เพื่อที่จะให้การสื่อสารเป็นไปอย่างถูกต้อง สัญญาณหลายๆสัญญาณถูกใช้เพื่อตรวจสอบดูว่าข้อมูลไบต์ต่อไปจะถูกส่งมาเมื่อใด แต่ต่อมาเมื่อมีการสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์สัญญาณบาง

สัญญาณ ได้ถูกตัดทิ้งไปเพื่อว่าสายสัญญาณจะได้ลดน้อยลงและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสายส่ง สัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเหลือเพียง GND, TXD และ RXD ซึ่งในทางทฤษฎีเมื่อคอมพิวเตอรืแล้ว เมื่อคอมพิวเตอรืที่ส่งข้อมูลคอมพิวเตอรือีกตัวจะต้องพร้อมรับข้อมูลแต่เมื่อลดสายสัญญาณลงแล้วจะทำให้ปัญหาตามมามากมาย ที่ยุ่งยากปัญหาหนึ่งคือปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับ (overrun error)

### ปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับ

เมื่อการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมใช้สายเพียง 2 สายนั้นจะต้องใช้กรรมวิธีพิเศษเล็กน้อยเพื่อให้พอร์ตตัวส่งเข้าใจว่าพอร์ตด้านรับพร้อมที่จะรับข้อมูลเสมอโดยการต่อ 6,8 และ 20 ของคอนเน็คเตอร์เข้าด้วยกัน วิธีเช่นนี้เป็นการตัดฮาร์ดแวร์เซคกิ้งไปนั่นเอง

แต่การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดข้อมูลถูกเขียนทับได้ง่าย ซึ่งก็คือความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลอย่างหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากการที่คอมพิวเตอรืเครื่องส่ง ส่งข้อมูลใหม่มาให้คอมพิวเตอรืด้านรับ ในขณะที่คอมพิวเตอรืด้านรับยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล เนื่องจากในขณะนั้นข้อมูลเดิมยังไม่ได้อ่านเข้าไป แต่ข้อมูลใหม่ถูกส่งกลับมาแล้วข้อมูลเดิมจึงถูกเขียนทับ ไปจึงเกิดเป็นความผิดพลาดของข้อมูลขึ้นได้

### การใช้งานพอร์ตอนุกรมผ่านไบออส (BIOS)

การใช้งานพอร์ตอนุกรมทำได้ 3 วิธี ผ่านทางคอส ผ่านทางไบออส และการเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ตอนุกรมโดยตรง

การเรียกพอร์ตอนุกรมผ่านทางคอสนั้นไม่เหมาะสมเท่าใดนักเพราะว่าคอสไม่มีวิธีที่จะตรวจสอบสถานะของการรับส่งตัวพอร์ตอนุกรม

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมโดยตรงนั้นคงไม่จำเป็นเพราะวิธีที่ง่ายกว่าคือ การใช้ผ่านไบออสอินเตอร์รัพต์หมายเลข 14 ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนต่างดังนี้

### การเตรียมสถานะเริ่มต้นของพอร์ต

ในการเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมเราสามารถทำได้โดยผ่านอินเตอร์รัพต์หมายเลข 14 ฟังก์ชันหมายเลข 0 โดยมีรีจิสเตอร์ AH เป็นตัวผ่านค่าหมายเลขของฟังก์ชันรีจิสเตอร์ AL ผ่านค่ารหัสที่จะตั้งสถานะของพอร์ตอนุกรม โดยมีความหมายแต่ละบิตดังตาราง 3.3

หมายเลขประจำบิต	ความหมาย
7,6,5	อัตรารับส่งข้อมูล 000 = 110 baud 001 = 150 baud 010 = 300 baud 011 = 600 baud 100 = 1200 baud 101 = 2400 baud 110 = 4800 baud 111 = 9600 baud
4,3	พาริตี 00 หรือ 10 = ไม่มีพาริตี 01 = พาริตีคู่ 11 = พาริตีคี่
2	จำนวนของบิตสิ้นสุด 0 = 1 บิตสิ้นสุด 1 = 2 บิตสิ้นสุด
1,0	จำนวนบิตในข้อมูล 1 ไบต์ 10 = 7 บิต 11 = 8 บิต

ตารางที่ 3.3

ตัวอย่างการใช้รหัสเพื่อเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรม เช่น อัตราบอด 9600 มีพาริตีคู่ มี 1 บิตสิ้นสุดและใช้ 8 บิตต่อ 1 ไบต์ข้อมูล จะได้รูปแบบดังตาราง 3.4

บิตที่	7	6	5	4	3	2	1	0
รหัส	1	1	1	1	1	0	1	1

ตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะมีพอร์ตอนุกรมได้มากถึง 7 พอร์ตโดยหมายเลขพอร์ตที่จะใช้สามารถกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ DX พอร์ตแรก ( COM 1 ) มีหมายเลข 0 พอร์ตต่อไปหมายเลข 1 เช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆดังตัวอย่างการรับส่งสถานะของพอร์ต

```
void init_port(port,code)
int port;
unsigned char code;
{
union REG r;
r.x.dx = port; /* หมายเลขพอร์ตอนุกรม*/
r.h.ah = 0; /* เรียกฟังก์ชันหมายเลข 0 ทำหน้าที่เตรียมสถานะ*/
r.h.al = code; /* รหัสตั้งสถานะเริ่มต้น */
int86 ( 0x14,&r,&r);
}
```

#### การส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม 1 ไบต์

อินเตอร์รัพต์หมายเลข 14 ฟังก์ชันหมายเลข 1 ของไบออสทำหน้าที่ส่งข้อมูล 1 ไบต์ ออกจากพอร์ตอนุกรม หมายเลขของพอร์ตอนุกรมที่จะทำการส่งข้อมูลสามารถกำหนดได้ผ่านรีจิสเตอร์ DX ข้อมูลที่จะทำการส่งอยู่ในรีจิสเตอร์ AL เมื่อทำการส่งเสร็จเรียบร้อยแล้วสถานะการส่งข้อมูลจะปรากฏในรีจิสเตอร์ AH เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบว่าการส่งข้อมูลถูกต้องหรือไม่

#### ตัวอย่างโปรแกรมส่งข้อมูล 1 ไบต์

```
void sport( port,c )
int port;
char c;
{
union REGS r;
r.x.dx = port; /*กำหนดหมายเลขพอร์ต*/
r.h.al = c; /*ตัวอักษรที่ต้องการส่ง*/
r.h.ah = 1; /*ฟังก์ชันหมายเลข 1 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล 1 ไบต์*/
int86(0x14,&r,&r);
if ( r.h.ah & 128 ){ /*ตรวจดูบิตที่ 7*/
```

```
printf( "send error in serial port " );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
exit ( 1 );
```

```
)
```

```
)
```

### การตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม

ฟังก์ชันหมายเลข 3 ของอินเทอร์พรีตหมายเลข 14 ของไบออสใช้ตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม รีจิสเตอร์ DX ใช้สำหรับหมายเลขพอร์ตที่จะตรวจสอบสถานะของพอร์ต สามารถแปลความหมายได้จากรหัสที่ปรากฏในรีจิสเตอร์ AH และ AL ดังตารางที่ 3.5 และ 3.6

สถานะของสายส่ง (AH)	
ความหมายของแต่ละบิตเมื่อมีค่าเป็น 1	ตำแหน่งของบิต
Data Ready	0
Overrun Error	1
Parity Error	2
Framing Error	3
Break-Detect Error	4
Transfer hold-register empty	5
Transfer shift-register empty	6
Time-out Error	7

ตารางที่ 3.5

สถานะของโมเด็ม (AL)	
ความหมายของแต่ละบิตเมื่อมีค่าเป็น 1	ตำแหน่งของบิต
Change in clear-to-send	0
Change in data-set-ready	1
Trailing-edge ring detector	2
Change in line signal	3
Clear-to-send	4
Data-set-ready	5
Ring indicator	6
Line signal detector	7

ตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การรับข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม 1 ไบต์

จะเห็นว่าสัญญาณสถานะต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้งานกับโมเด็มคั้งนั้นเมื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์อื่นจึงลดความสำคัญลง แต่ยังมีสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งที่มีความสำคัญมากคือ Data Ready ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่า เมื่อไหร่ที่ข้อมูลถูกรับเข้ามาและพร้อมที่จะถูกอ่านไปเก็บ ดังตัวอย่างของการอ่านข้อมูลจากพอร์ตโดยจะใช้สถานะ Data Ready

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้โดยการเรียกผ่านไบออส อินเทอร์รัพต์ หมายเลข 14 ฟังก์ชันหมายเลข 2 รีจิสเตอร์ DX ใช้สำหรับกำหนดหมายเลขพอร์ต ข้อมูลที่อ่านได้จะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ AL เมื่อมีการอ่านข้อมูล สถานะของข้อมูลและพอร์ตจะสามารถตรวจดูได้ที่บิตที่ 7 ของรีจิสเตอร์ AH

ฟังก์ชัน rport() มีหน้าที่อ่านเข้ามา 1 ไบต์

```
rport ( port )
int port; /*หมายเลขพอร์ต*/
{
union REGS r ;
/*รอกันกว่าจะได้รับตัวอักษร*/
while (! ( check_stat ( port ) & 256 ))
if ( kbhit ( ) ) { /*ยกเลิกเมื่อมีการกดคีย์*/
getch ( );
exit ( 1 );
}
r.x.dx = port ; /*กำหนดหมายเลขพอร์ต*/
r.h.ah = 2 ; /*ฟังก์ชันหมายเลข 2 ทำหน้าที่อ่านตัวอักษร */
int86 ( 0x14,&r,&r );
printf ( " read error " );
return r.h.al ;
}
```

การทำงานของฟังก์ชันนี้คือจะรอกันกระทั่งข้อมูลถูกรับมาผ่านพอร์ตอนุกรมแล้วส่งค่าอักษรกลับมา แต่ว่าการทำงานเช่นนี้อาจทำให้โปรแกรมไม่หลุดจากลูปการทำงานดังนั้นจึงต้องตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรมเสียก่อน โดยใช้ฟังก์ชัน kbhit ( ) เพื่อกดคีย์ใดๆออกจากลูปได้ หากไม่มีข้อมูลใดๆแต่ถ้ามีข้อมูลรับเข้ามา ฟังก์ชันก็จะผ่านไปเรียกอินเทอร์รัพต์เพื่ออ่านข้อมูลเข้า

มาและเช่นเดียวกับการส่งข้อมูลบิต 7 ของรีจิสเตอร์ AH ใช้บอกว่าการอ่านข้อมูลมีข้อผิดพลาดหรือไม่

### 3.4 การเขียนโปรแกรมแอสเซมบลีสำหรับการส่งข้อมูลอนุกรม

การทำงานของโปรแกรม SERIAL PORT INTERFACING นี้จะรับข้อมูลจาก ADC0808 ซึ่งเป็นค่าที่วัดจากพิโซอิเล็กทริก เช่น เซอร์ เพื่อทำการส่งข้อมูลนี้ไปยังพีซีเพื่อประมวลผลและแสดงผล

ใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรม บอร์ด V-31 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 โดยใช้การส่งในโหมด 1 โดยข้อมูลที่ส่งนี้มีขนาด 8 บิต โดยมีบิตสตาร์ทหนึ่งบิตและบิตสตอปหนึ่งบิต

การทำงานของโปรแกรมนั้นจะให้รับตัวอักษรทาง serial port เพื่อทำการเลือก channel โดยกำหนดให้

channel 1	ตัวอักษรคือ	“a”
channel 2	ตัวอักษรคือ	“b”
channel 3	ตัวอักษรคือ	“c”
channel 4	ตัวอักษรคือ	“d”
channel 5	ตัวอักษรคือ	“e”
channel 6	ตัวอักษรคือ	“f”

หลังจากเลือก channel โดยใช้ขา P3.3, P3.4 และ P3.5 เป็นตัวเลือกแล้ว ก็จะให้ส่งสัญญาณ WRITE ไปยังไอซี ADC0808 เพื่อทำการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาลอกเป็นดิจิตอล หลังจากนั้นแล้วขา READ จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่เปลี่ยนเป็นดิจิตอลออกมา ขา READ จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลตลอด และขาพอร์ต P3.2 จะทำการเช็คขา EOC ของไอซี ADC0808 ว่าทำการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาลอกเป็นดิจิตอลเสร็จแล้ว ก็จะทำการเคลื่อนย้ายข้อมูลจากเอดีซีที่มีขา PORT 1 และจะรอรับข้อมูล 1 ไบต์ จาก PC ข้อมูล 1 ไบต์ เพื่อจะบอกให้รู้ว่าเริ่มส่งข้อมูลได้ และส่งออกทางพอร์ตอนุกรมเพื่อส่งข้อมูลไปยัง PC และจะวนกลับไปรับตัวอักษรเพื่อทำการเลือก channel ใหม่

โปรแกรมแอสเซมบลีสำหรับการส่งข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

ส่วนเริ่มต้น เป็นส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม เมื่อทำการ Reset หรือ Power on ก็จะมีโปรแกรมที่นี้

ส่วนให้ค่าเริ่มต้น เป็นการให้ค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ และมีการเลือกใช้ bank 2 กำหนดค่าต่างๆ ในการส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม

ส่วนของการรับค่า มีการส่งค่ามาจากพีซี ทำการเช็คว่ามีค่าส่งหรือไม่ เมื่อมีการเช็คว่ามีค่าส่งแล้วก็จะทำการเก็บค่าไว้ใน ACC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือก channel ทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆกับ ACC ถ้าเท่ากับค่าใน ACC ก็จะทำการเลือก channel ตามที่กำหนด

ส่วนของการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยจะเซทให้ขา WR มีค่าเป็น 1 หลังจากนั้นจะทำการเช็คขาของ EOC ว่ามีการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาลอกเป็นดิจิตอลเสร็จแล้วหรือยัง หลังจากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลที่เป็นดิจิตอลออกมาโดยให้ขา RD อ่านค่าตลอด

ส่วนของการเก็บข้อมูล เมื่ออ่านข้อมูลเป็นดิจิตอลเสร็จแล้วก็เก็บข้อมูล 8 บิตจาก ADC0808 ไปเก็บไว้ใน ACC

ส่วนของการรับ/ส่งข้อมูล ทำการตรวจเช็คว่ามีพีซีพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ หลังจากนั้นก็จะส่งข้อมูลออกไป ก็จะกลับไปรับข้อมูลใหม่เพื่อทำการเลือก channel อีกครั้ง

```

;
;
; SERIAL PORT INTERFACING
;
; PROJECT : TRIAXIAL ACCELEROMETER
; BY MR. JIRA WONGANANCHAI 35102090
; MR. NIPON PROMSEE 35102100
; MR. PANYA KUJIRAPRASERT 35102105
; *****
;-----Start-----
;
; ORG 0000H
; MOV R1,00H
; POWER_ON : DJNZ R1,POWER_ON
; INIT_REG : MOV A,#00H ;Clear accumulator
; MOV PSW,#10H ;Choose bank 2
;-----Initial regiter-----
;
; SERIAL : CLR EA ;Disable interrupt
; ORL PCON,#80H ;K=2
; MOV TMOD,#20H ;8 bit reload
; MOV SCON,#52H ;Serial 8 bit
; MOV TH1,#0FAH ;Set baud rate =9600
; SETB TR1 ;Start timer1
; SETB P3.7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLR P3.6
```

```
-----Receieve data for select-----
```

```
RX 1 BYTE : JNB RI,$           ;Wait until RI='1'
```

```
CLR RI
```

```
MOV A,SBUF
```

```
-----Select chanel-----
```

```
CH1 : CJNE A,#"a",CH2 ;If A="a" then CH1 selected
```

```
CLR P3.3
```

```
CLR P3.4
```

```
CLR P3.5
```

```
CALL WR
```

```
JMP RX1BYTE
```

```
CH2 : CJNE A,#"b",CH3 ;If A="b" then CH2 selected
```

```
CLR P3.3
```

```
CLR P3.4
```

```
SETB P3.5
```

```
CALL WR
```

```
JMP RX1BYTE
```

```
CH3 : CJNE A,#"c",CH4 ;If A="c" then CH3 selected
```

```
CLR P3.3
```

```
SETB P3.4
```

```
CLR P3.5
```

```
CALL WR
```

```
JMP RX1BYTE
```

```
CH4 : CJNE A,#"d",CH5 ;If A="d" then CH4 selected
```

```
CLR P3.3
```

```
SETB P3.4
```

```
SETB P3.5
```

```
CALL WR
```

```
JMP RX1BYTE
```

```
CH5 : CJNE A,#"e",CH6 ;If A="e" then CH5 selected
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB P3.3
CLR P3.4
CLR P3.5
CALL WR
JMP RX1BYTE
CH6 : CJNE A,#"f",RX1BYTE      ;If A="f" then CH6 selected
SETB P3.3
CLR P3.4
SETB P3.5
CALL WR
JMP RX1BYTE
-----Write data-----
WR : SETB P3.6
NOP
NOP
CLR P3.6
CALL EOC
CALL ADC
RET
-----Check end of conversion-----
EOC : JB P3.2,$                ;Wait EOC='1'
RET
-----Transmit 1 byte to serial port-----
ADC : MOV A,P1                  ;Save 1 byte
JNB TI,$                        ;Wait until TI='1'
CLR TI
MOV SBUF,A
RET
-----End of program-----
END_PG : END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 โปรแกรมควบคุมและแสดงผลทางกราฟฟิกของเครื่องวัดความสั้นสะเทือนแบบ 3 แกน

ในโครงการนี้ใช้โปรแกรมภาษาซีในการเขียนโปรแกรมการแสดงผล การเก็บข้อมูล การเปรียบเทียบข้อมูล การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การควบคุมเลือก channel การประมวลผลข้อมูลตลอดจนการพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ ดังโปรแกรมในภาคผนวก

การใช้งานและหลักการทำงานของโปรแกรมควบคุมและแสดงผลของเครื่องวัดความสั้นสะเทือน

ในโครงการนี้โปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลักๆ หลายฟังก์ชันด้วยกันดังนี้คือ

1. ฟังก์ชัน เริ่มต้น โปรแกรม ( MAIN ( ) ) เป็นส่วนของโปรแกรมที่เมื่อเริ่มใช้งาน โปรแกรมจะต้องเข้ามาทำงานในส่วนนี้ทุกครั้งตลอดไป

2. ฟังก์ชัน แสดงเมนูหลักและเลือกเมนู ( MAIN\_MENU ( ), BEGIN ( ) ) เป็นส่วนของโปรแกรมที่เมื่อผ่านส่วนของฟังก์ชันเริ่มต้นโปรแกรมมาแล้ว โปรแกรมจะให้เข้ามาส่วนนี้เพื่อให้ผู้ใช้เลือกที่จะทำงานต่อไปในฟังก์ชันอื่นๆ (LOAD, PRINT, TEST, COMPARE, QUIT)

3. ฟังก์ชัน LOAD DATA เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เมื่อเลือกเข้าฟังก์ชันนี้แล้วจะสามารถเรียกข้อมูลเก่าที่เก็บไว้มาดูหรือแสดงผลได้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่างๆ ของข้อมูล

4. ฟังก์ชัน PRINT DATA เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นเดียวกับส่วนของฟังก์ชัน LOAD DATA ซึ่งเมื่อเลือกมาทำงานในส่วนนี้แล้วจะเป็นการพิมพ์ข้อมูลจากที่เก็บไว้ ออกทางเครื่องพิมพ์ เพื่อทำเป็นรายงานหรือประกอบคำบรรยาย

5. ฟังก์ชัน TEST MACHINE เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันซึ่งเมื่อเลือกเข้ามาทำงานในส่วนนี้ จะเป็นการตรวจสอบหรือบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ machine ซึ่งจะทำการตรวจสอบได้ทั้งการตรวจสอบแบบต่อเนื่องหรือแบบครั้งเดียว ที่ละ channel หรือพร้อมกันหมดทุก channel

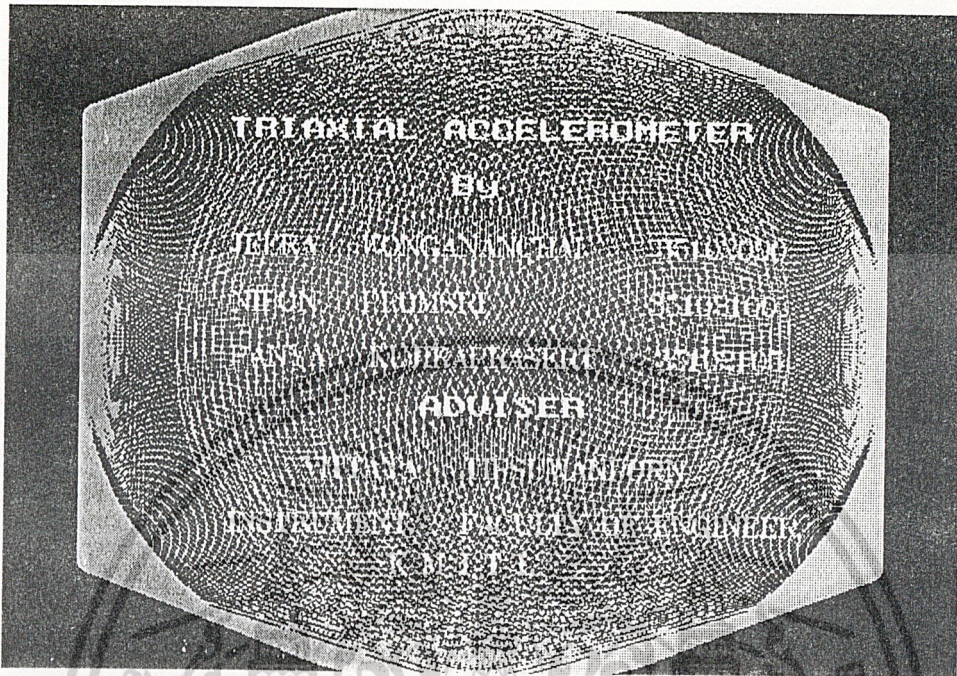
6. ฟังก์ชัน COMPARE DATA เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันเมื่อเลือกเข้ามาทำงานในส่วนนี้และจะเป็นการ นำข้อมูลเก่าที่เก็บไว้มาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลเก่าและข้อมูลใหม่หรือข้อมูลเก่ากับข้อมูลเก่าแต่ต่างตำแหน่งกันต่าง channel กัน

7. ฟังก์ชัน QUIT เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่ต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันเมื่อเลือกเข้าทำงานในส่วนนี้จะออกจาก โปรแกรมควบคุมและแสดงผลเครื่องวัดความสั้นสะเทือน

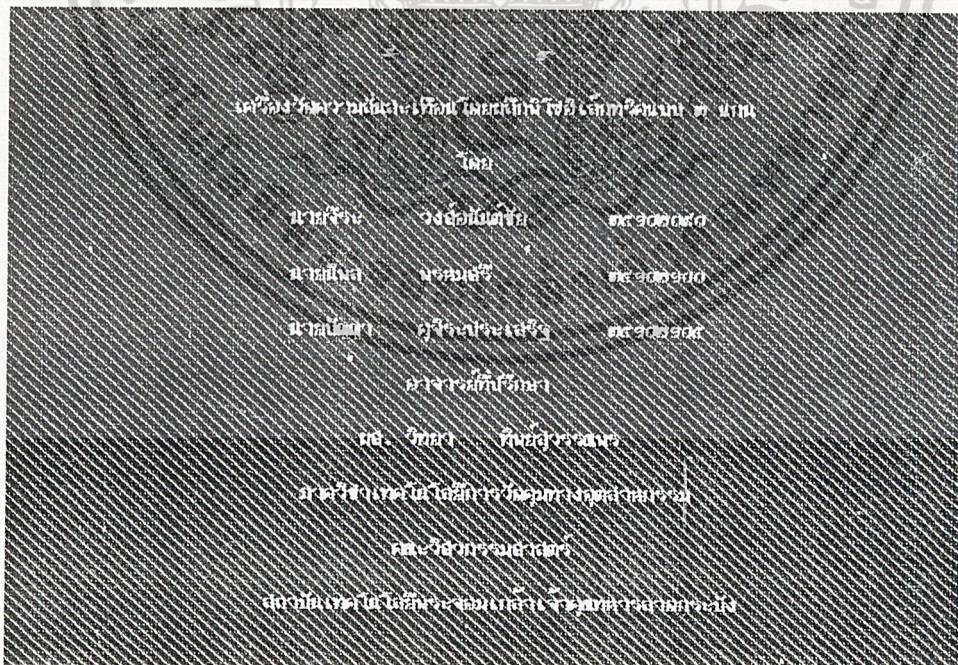
การใช้งาน

เป็นไปตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.เข้าโปรแกรมใช้งานควบคุมเครื่องวัดความสั่นสะเทือนใช้ไฟล์ TRXACC.EXE



(a)

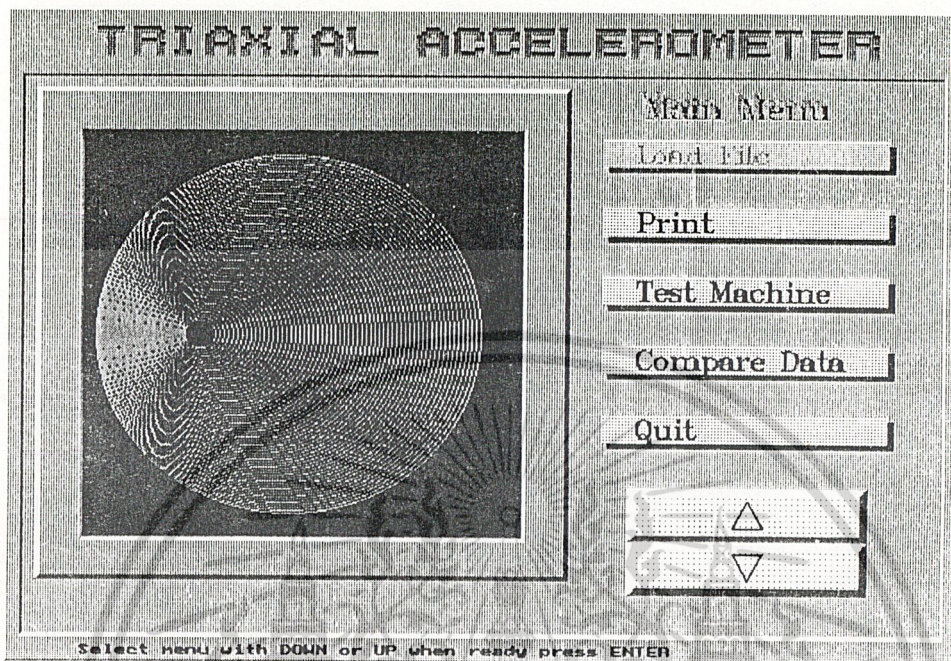


(b)

รูปที่ 3.14 แสดง title ของโปรแกรม

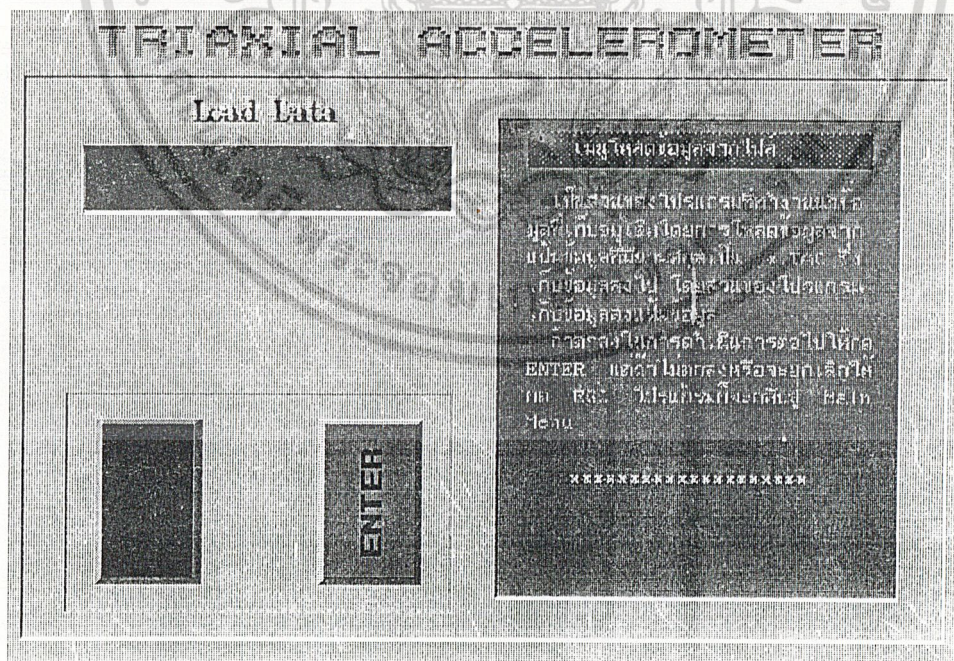
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.เลือกการใช้งานจากเมนูหลัก ( MAIN MENU )



รูปที่ 3.15 แสดงเมนูหลักของโปรแกรม

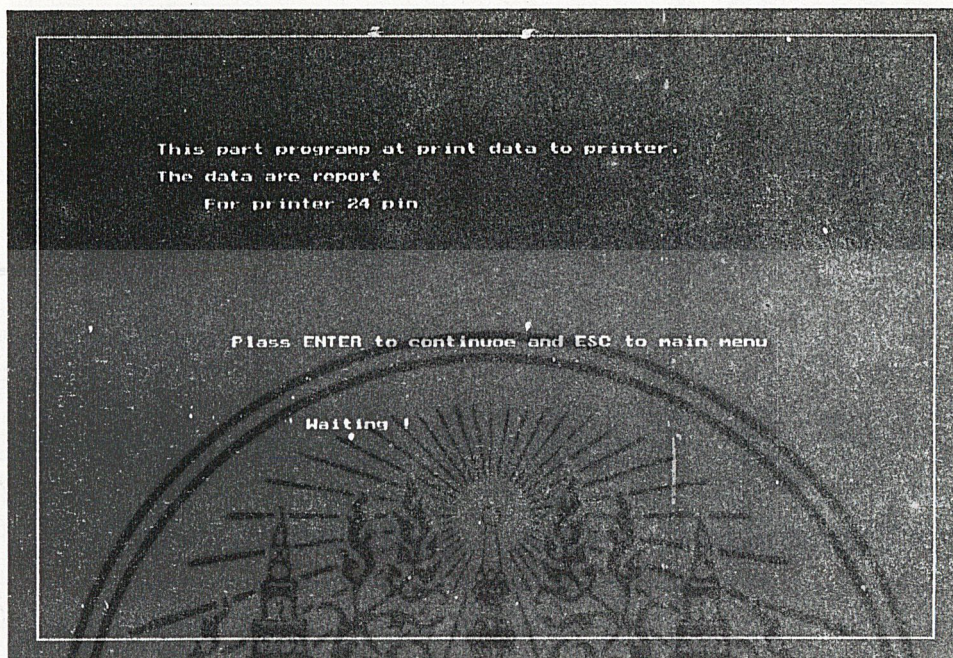
3. ถ้าเลือกโหลดข้อมูลเก่า



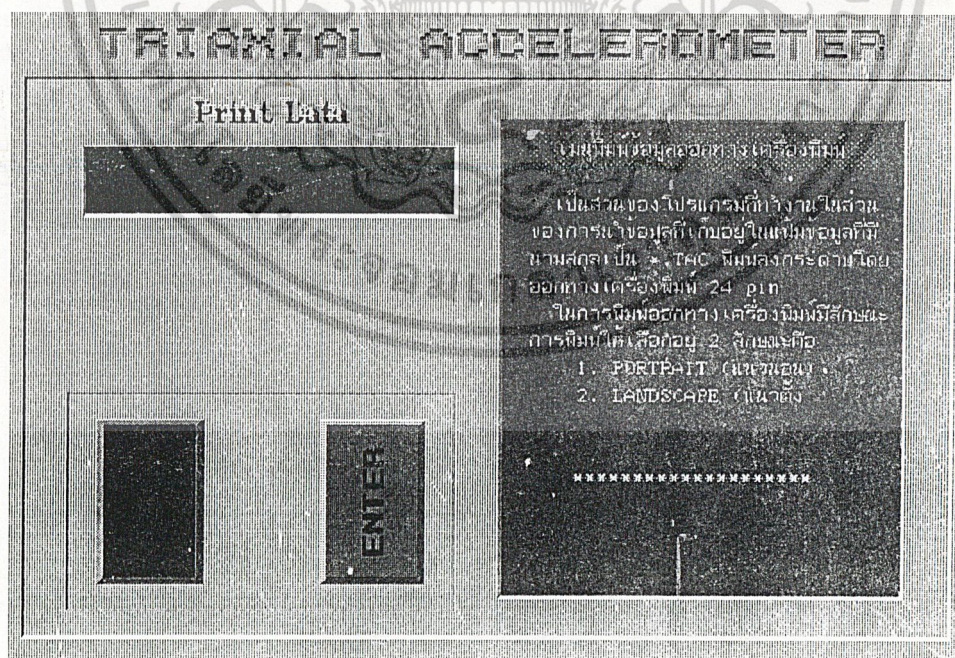
รูปที่ 3.16 แสดงส่วนโหลดเพิ่มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ถ้าเลือกพิมพ์ข้อมูล



(a)

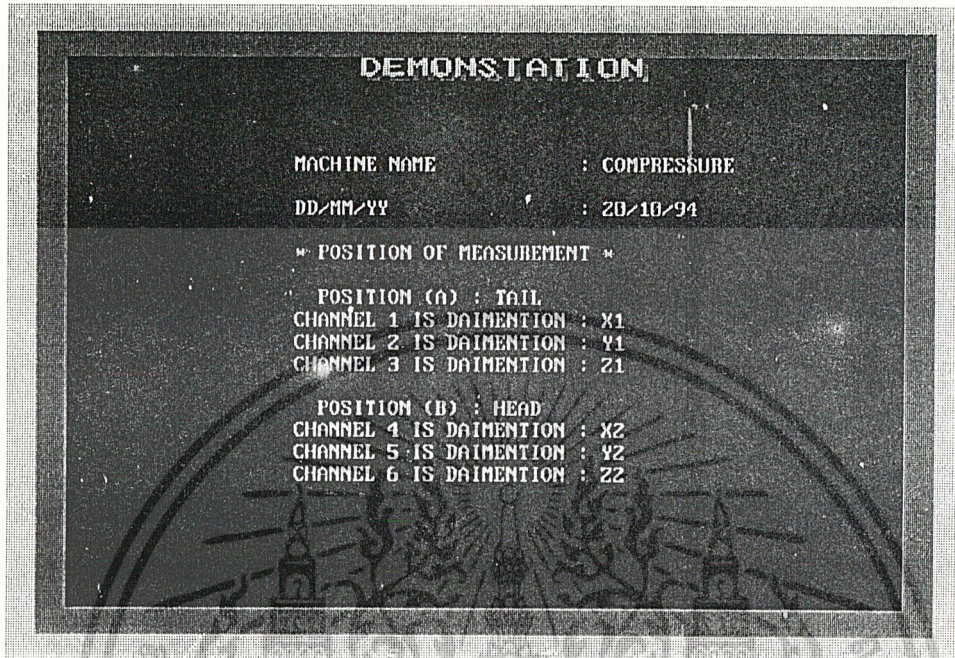


(b)

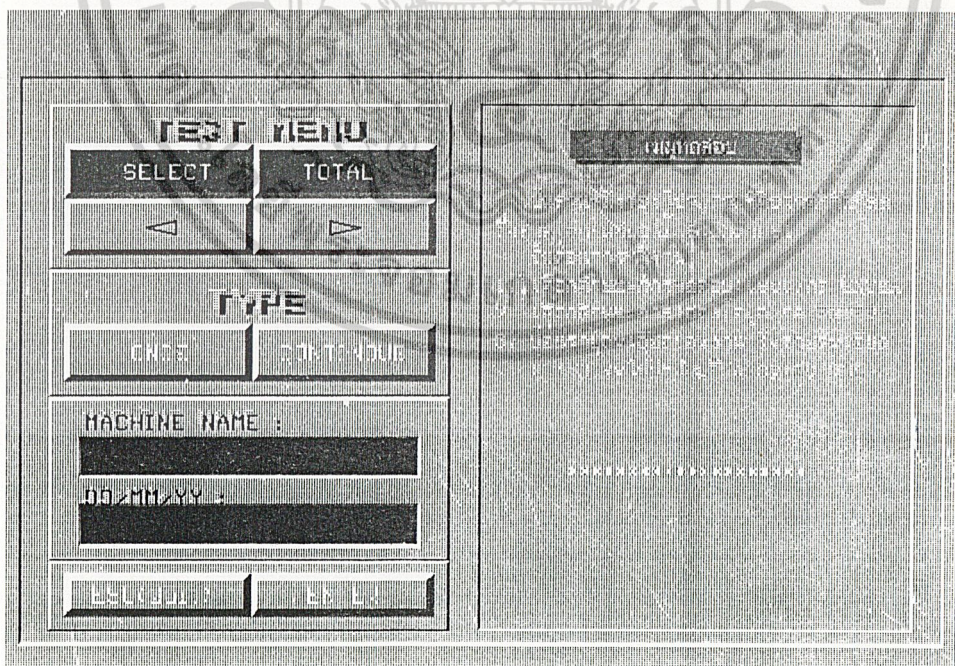
รูปที่ 3.17 แสดงส่วนพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้าเลือก TEST MACHINE ต้องกรอกรายละเอียดต่างๆให้ครบเพื่อสะดวกในการตรวจสอบข้อมูล

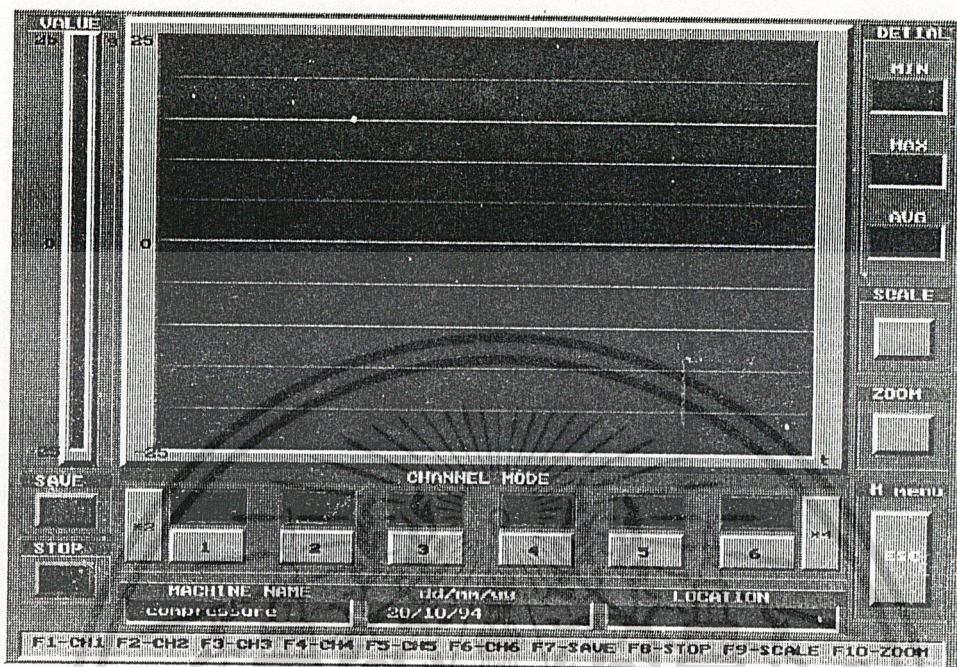


รูปที่ 3.18 แสดงส่วนกรอกรายละเอียด

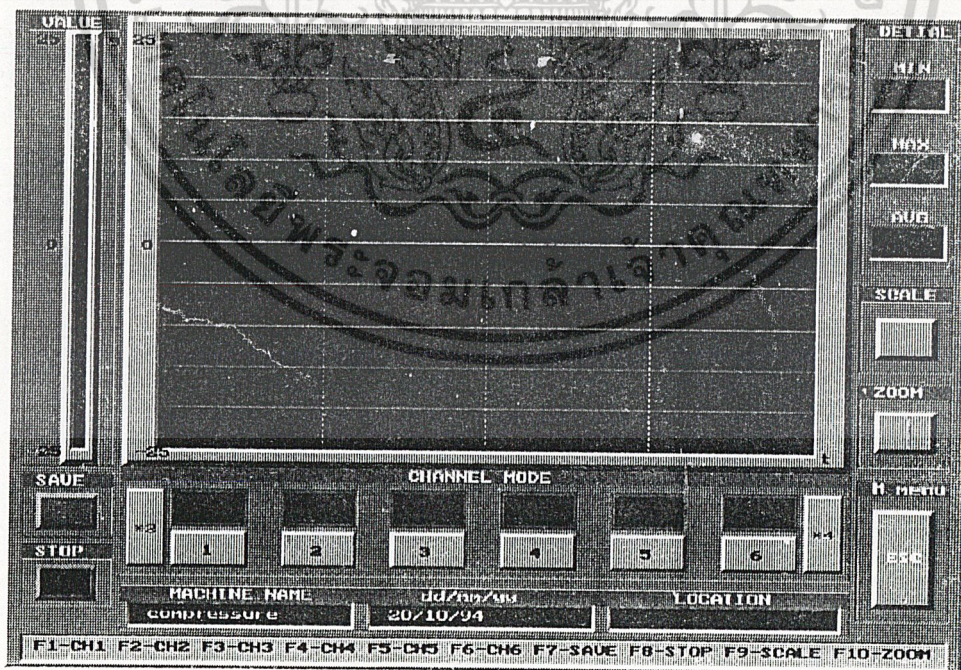


รูปที่ 3.19 แสดงส่วนเลือกลักษณะการทดสอบเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



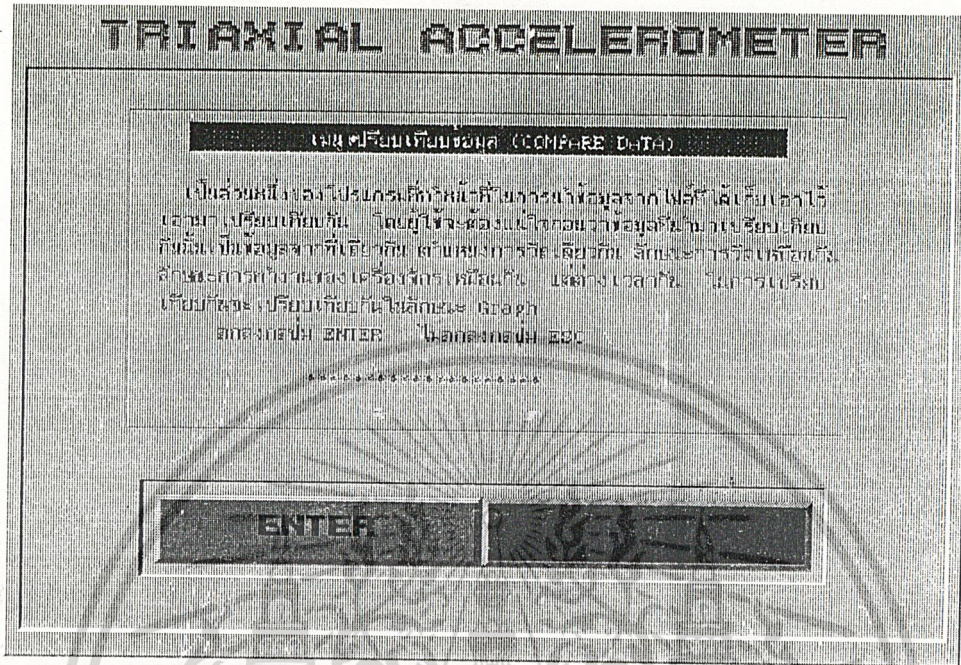
รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะหน้าจอของการทดสอบเครื่องจักร



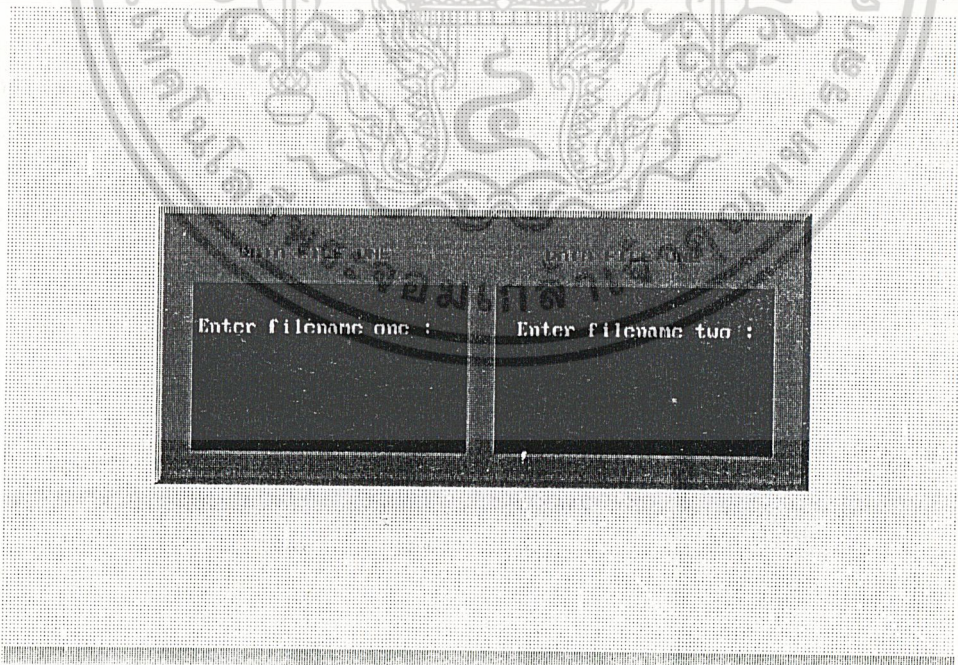
รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะหน้าจอที่เพิ่มสเกลให้ละเอียดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.ถ้าเลือก COMPARE DATA



(a)



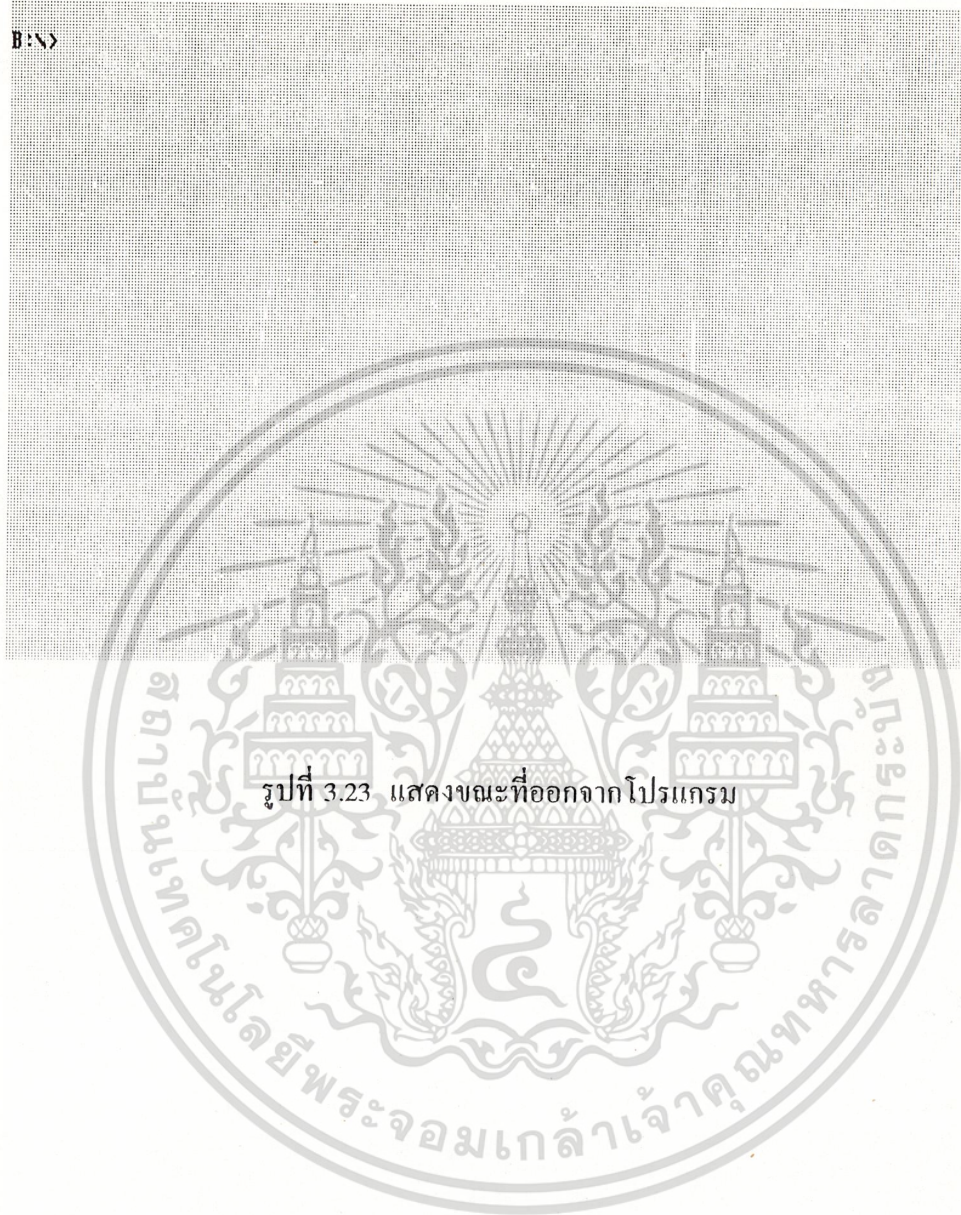
(b)

รูปที่ 3.22 แสดงส่วนเปรียบเทียบข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. ถ้าเลือก QUIT จะออกจากโปรแกรมไปสู่จุดส

B: >



รูปที่ 3.23 แสดงขณะทีออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 จุดประสงค์

สามารถใช้กราฟแสดงผลของการสั่นสะเทือน

1. สามารถแสดงให้เห็นว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแต่ละแกนไม่เท่ากัน ภายใต้การวัดที่จุดเดียวกัน
2. เพื่อแสดงให้เห็นว่าการวัดความสั่นสะเทือน 2 ตำแหน่ง ภายใต้เครื่องจักรตัวเดียวกัน ค่าระดับการสั่นสะเทือนย่อมต่างกัน
3. เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่จุดเดียวกัน ในระยะเวลาต่างกันไม่มาก ภายใต้การทำงานปกติและมีโหลดที่ค่าหนึ่งๆจะมีค่าระดับการสั่นสะเทือนคงที่
4. เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่จุดเดียวกัน ในระยะเวลาต่างกันมาก ภายใต้การทำงานปกติและมีโหลดที่ค่าหนึ่งๆค่าระดับการสั่นสะเทือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของเครื่องจักร
5. เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่จุดเดียวกัน ในเวลาต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับเครื่องจักร จะทำให้ระดับความสั่นสะเทือนเปลี่ยนแปลงไป
6. สามารถสรุปได้ว่าค่าระดับความสั่นสะเทือนที่วัดได้นั้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของเครื่องจักรนั้นๆ

#### 4.2 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวัดความสั่นสะเทือน มีลำดับดังนี้

1. เลือกเครื่องจักรที่ต้องการวัดความสั่นสะเทือน พร้อมทั้งกำหนดจุดที่ต้องการวัดทำความสะอาดพื้นผิวของส่วนที่จะวัดให้สะอาดและแห้ง
2. ติดตั้ง PiezoBeam และเคเบิลให้ถูกต้องพร้อมทั้งต่อเข้ากับ Coupler เข้ากับหัวBNC ของเครื่องวัดความสั่นสะเทือนโดยกำหนดให้ CH1=X1,CH2=Y1 และ CH3=Z1 เป็นการวัดที่ตำแหน่ง A CH4=X2,CH5=Y2 และ CH6=Z2 เป็นการวัดที่ตำแหน่ง B พร้อมทั้งต่อ Supply +30 Vdc
3. เสียบปลั๊กไฟให้กับเครื่องวัดความสั่นสะเทือนและเปิดสวิทช์เอาคอนเน็คเตอร์ DB9 ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ซึ่งในโครงการนี้ได้เสตไว้ COM 1
4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC เรียกใช้โปรแกรม TRXACC.EXE เพื่อทำการใช้งานในการวัดการสั่นสะเทือน
5. เลือกเมนูการใช้งานตามต้องการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 เมนูทดสอบเครื่องจักร ซึ่งจะเลือกได้ 2 แบบ คือ การทดสอบแบบทีละ channel และ การทดสอบแบบทุก channel

5.2 เมนูรับค่าจาก sensor และพล็อตกราฟทีละชุด ชุดละ 220 ค่า ซึ่งเป็นข้อมูลขณะวัดและ จะประมวลผลแสดงค่า maximum, minimum, average ของข้อมูลชุดนั้นๆ และสามารถเก็บข้อมูลได้ ตามต้องการ

5.3 เมนูรับค่าจาก sensor และพล็อตกราฟแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นค่าขณะวัดและจะประมวลผลทุกๆ 220 ค่า พร้อมกับแสดงค่า maximum, minimum, average ของข้อมูล ตลอดการวัดและ สามารถเก็บข้อมูลได้ตามต้องการ

5.4 ขณะทำการวัดสามารถจะเลือกเมนูเพิ่มเติมได้อีกคือ

5.4.1 เมนูหยุดชั่วคราว เป็นเมนูซึ่งหยุดการรับค่าขณะที่เลือกเมนูนี้อยู่

5.4.2 เมนูเพิ่มสเกล เป็นเมนูซึ่งจะทำให้สเกลหน้าจอละเอียดยิ่งขึ้น

5.5 เมนูโหลดข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลเก่า จะสามารถเรียกข้อมูลเก่าจากแฟ้มข้อมูลที่เก็บไว้มา ดูหรือแสดงผลและแสดงรายละเอียดต่างๆ ของข้อมูล

5.6 เมนูพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ เมื่อเลือกเข้าทำงานในเมนูนี้ จะสามารถพิมพ์ข้อมูล จากที่เก็บไว้ ออกทางเครื่องพิมพ์

5.7 เมนูเปรียบเทียบข้อมูล จะสามารถเรียกข้อมูลที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลที่ต่างกันมาเปรียบเทียบกัน

5.8 เมนูออกจากโปรแกรม

ในการตรวจสอบเครื่องจักรแต่ละครั้งควรมีข้อมูลและรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชื่อเครื่องจักรที่จะทำการตรวจสอบ
2. วันที่ทำการตรวจสอบเครื่องจักร
3. จุดหรือตำแหน่งบนเครื่องจักรที่ทำการตรวจสอบ
4. รายละเอียดของตำแหน่งที่ตรวจสอบ

ในการทดลองในโครงการนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอนคือ

ตอนที่ 1 ทดลองวัดความสัมพันธ์ของแต่ละแกนโดยกำหนดให้  $CH1=X1, CH2=Y1$  และ  $CH3=Z1$  เป็นการวัดที่ตำแหน่ง A  $CH4=X2, CH5=Y2$  และ  $CH6=Z2$  เป็นการวัดที่ตำแหน่ง B

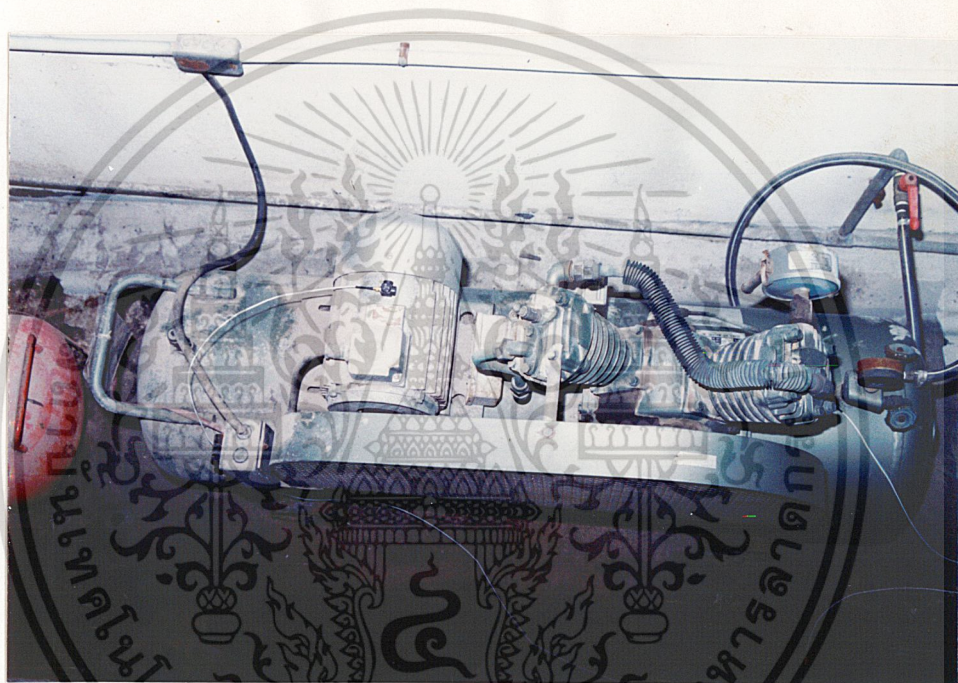
ตอนที่ 2 ทดลองวัดความสัมพันธ์ของแต่ละตำแหน่ง ภายใต้เครื่องจักรตัวเดียวกันที่ เวลาเดียวกัน

ตอนที่ 3 ทดลองวัดความสัมพันธ์ของเครื่องจักรที่จุดเดียวกัน ในระยะเวลาที่ต่างกัน ไม่มาก ภายใต้การทำงานปกติและมีโหลดทำกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

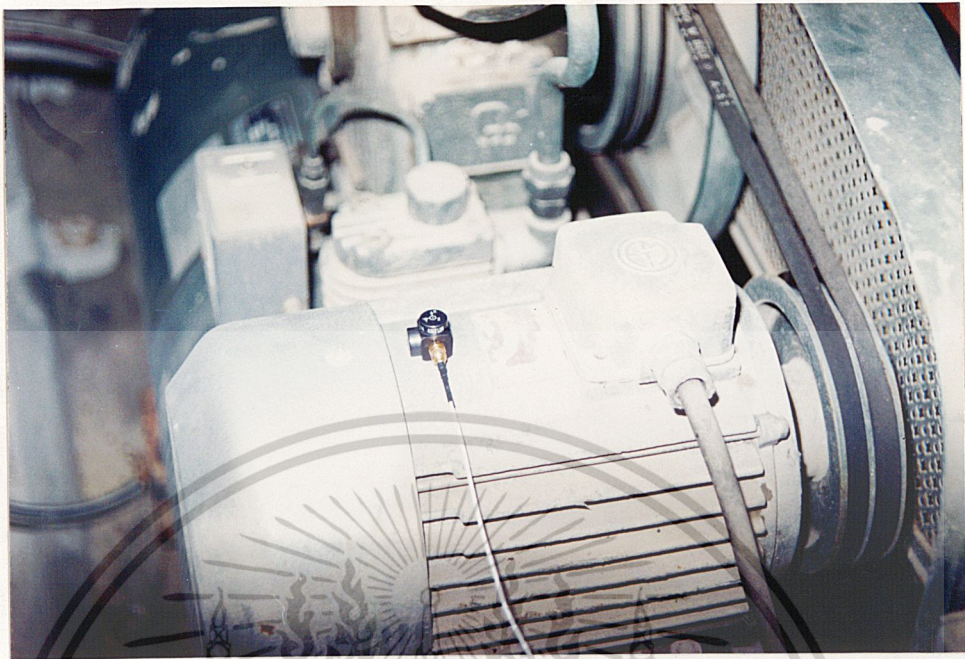
เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 การทดลองนี้ เป็นมอเตอร์บีบลม ชนิด 3 เฟสขนาด 3 แรงม้า

ความสามารถพิเศษทางด้านซอฟต์แวร์จะถูกนำมาใช้ในการทดลองด้วย ความสามารถพิเศษได้แก่ การนำข้อมูลเข้ามาแสดงหน้าจอ การพิมพ์กราฟออกทางเครื่องพิมพ์ การเปรียบเทียบกราฟ พล็อตกราฟโดยรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง พล็อตกราฟโดยรับข้อมูลที่ละชุด หยุดชั่วคราว แสดงค่า min,max และ average แสดงกราฟทีละ 6 channel เมนูเพิ่มสเกล วิธีใช้สามารถเลือกได้จากเมนู



รูปที่ 4.1a เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

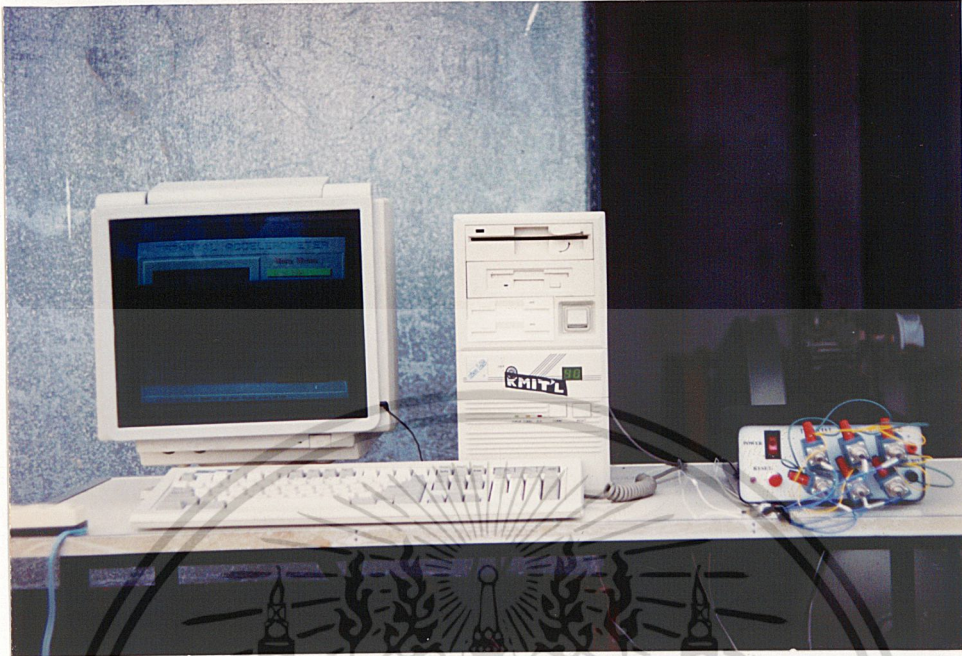


รูปที่ 4.1b แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM ที่ตำแหน่ง A



รูปที่ 4.1c แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM ที่ตำแหน่ง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1d แสดงการใช้งานเครื่องวัดความสั่นสะเทือน

การทดลองตอนที่ 1

จุดประสงค์

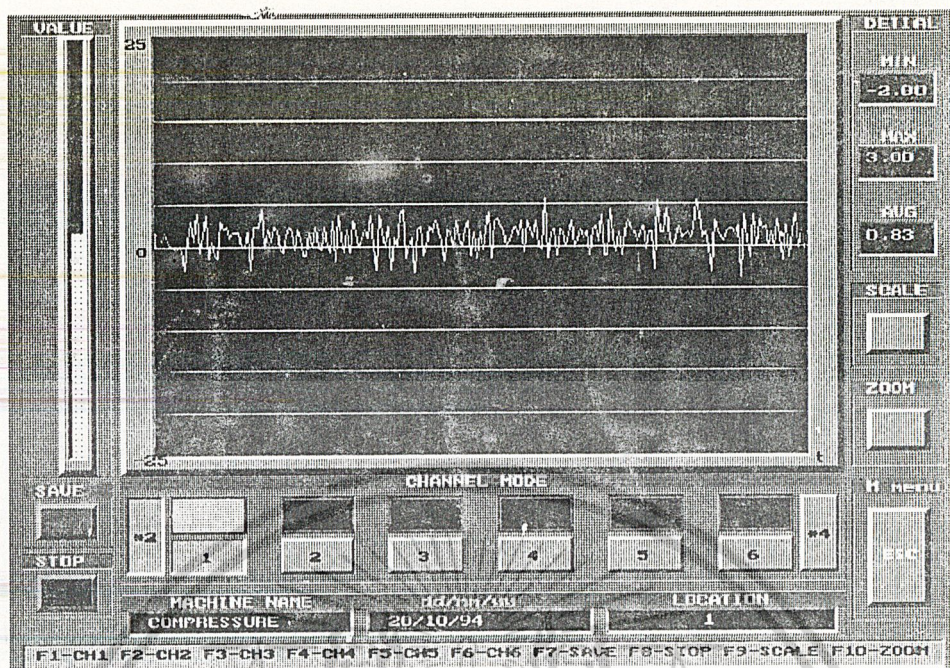
เพื่อแสดงให้เห็นว่าการวัดความสั่นสะเทือน 2 ตำแหน่ง ภายใต้เครื่องจักรตัวเดียวกันค่าระดับความสั่นสะเทือนย่อมต่างกัน(โพลสเท่ากัน)

ขั้นตอนการทดลอง

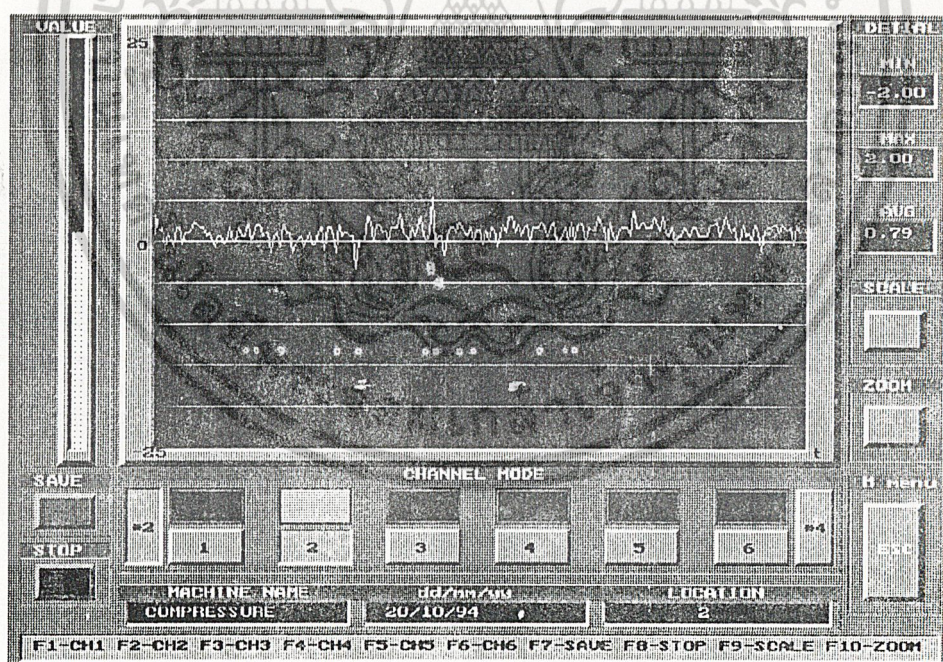
1. ติดตั้ง PiezoBEAM เข้ากับเครื่องจักรที่ตำแหน่ง A และ B ตามรูป 4.1a
2. เลือกเมนูทดสอบแบบทุก channel
3. ทำการวัดและสังเกตผล (รูปที่แสดงได้ทำการขยายสเกล 2 เท่า)
4. ออกจากเมนูทดสอบแบบทุก channel และเลือกแบบทดสอบทีละ channel
5. เลือกเมนูชนิดรับข้อมูลต่อเนื่อง

ผลการทดลองตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

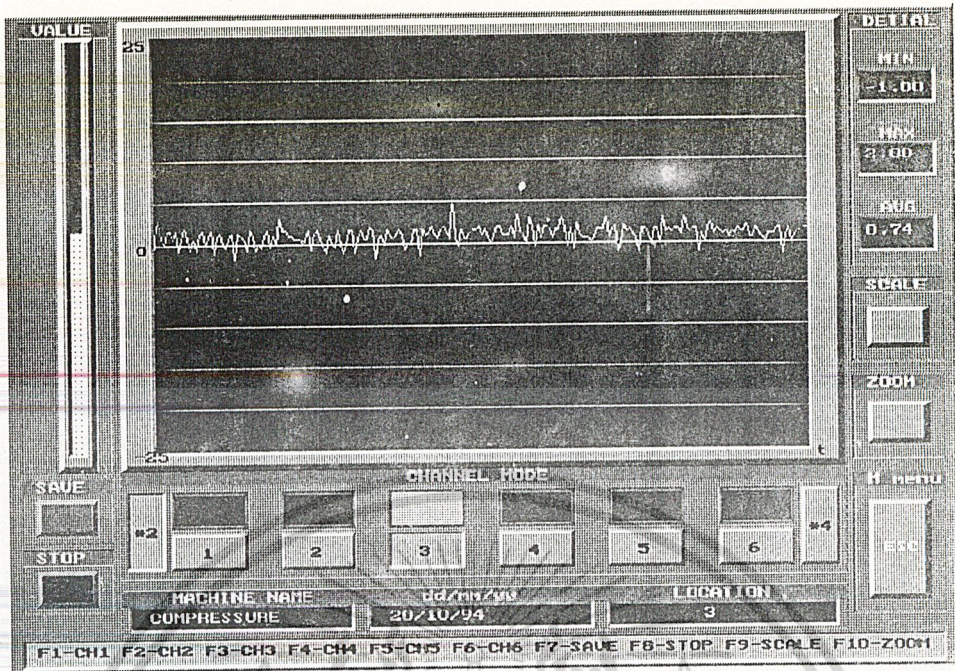


รูปที่ 4.2a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1, CH1

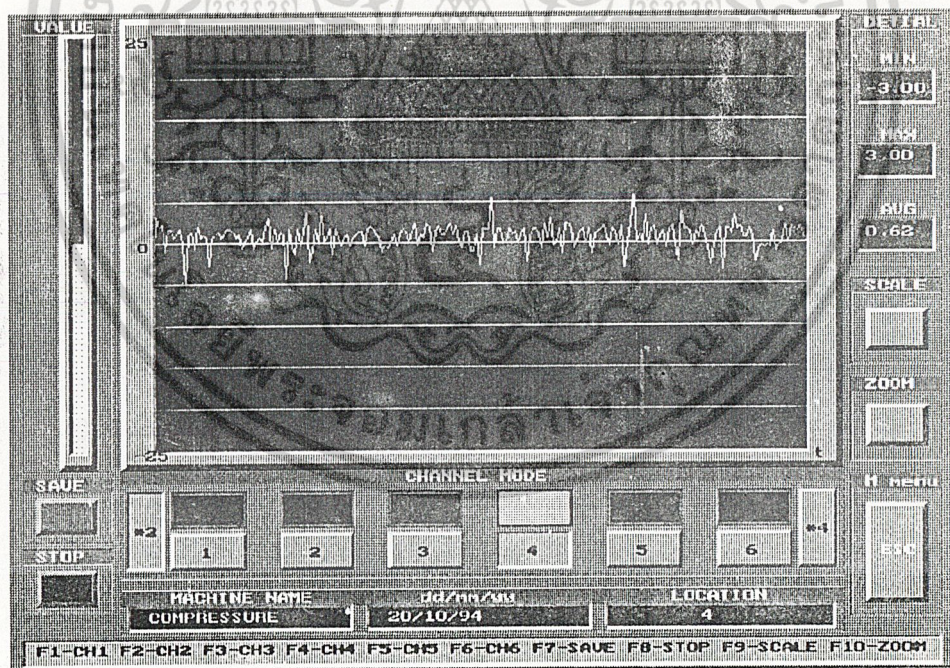


รูปที่ 4.2b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1, CH2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

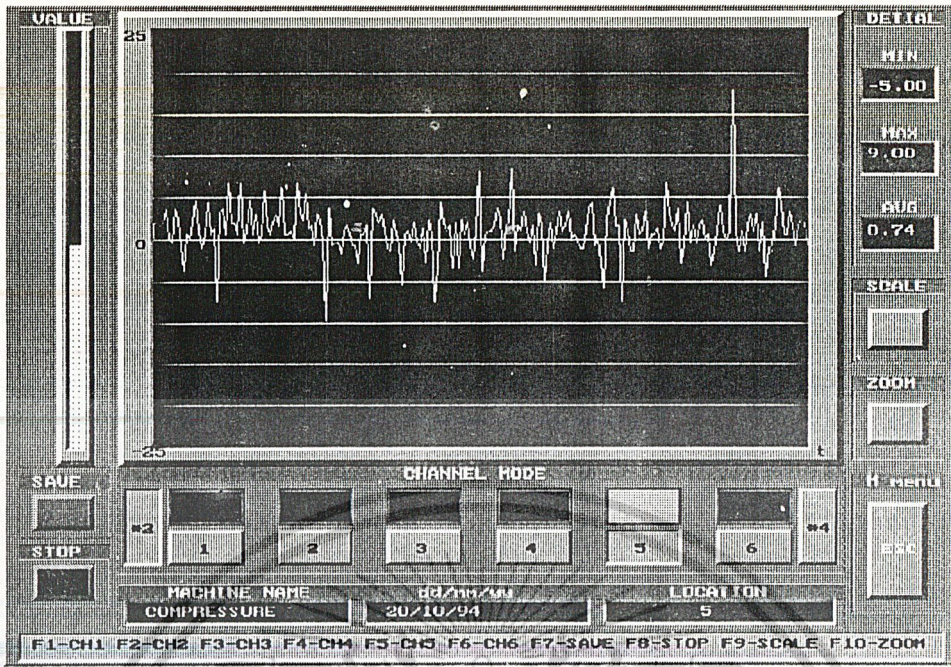


รูปที่ 4.2c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1, CH3

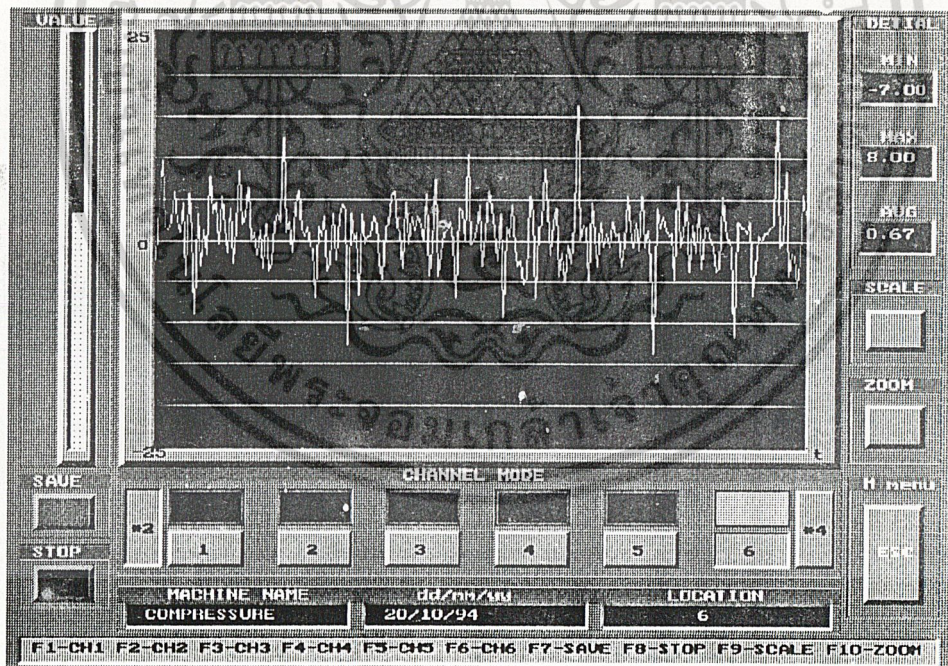


รูปที่ 4.2d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2, CH4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2, CH5



รูปที่ 4.2f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2, CH6

การทดลองตอนที่ 2

จุดประสงค์

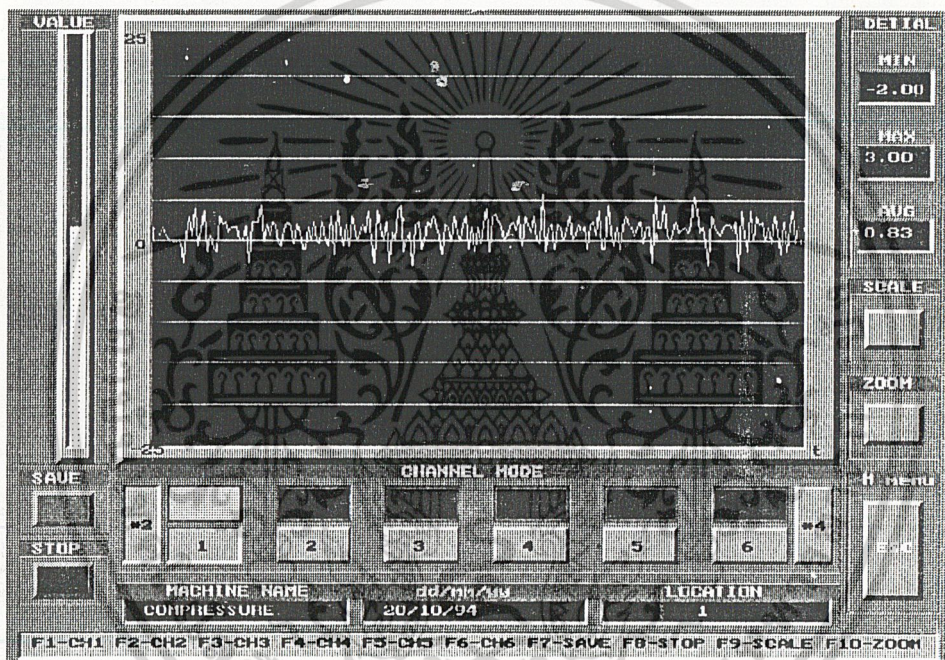
เพื่อแสดงให้เห็นว่าการวัดความสั่นสะเทือน 2 ตำแหน่ง ที่ต่างกันมีค่าระดับความสั่น

เอกสารนี้สะเทือนไม่เท่ากันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

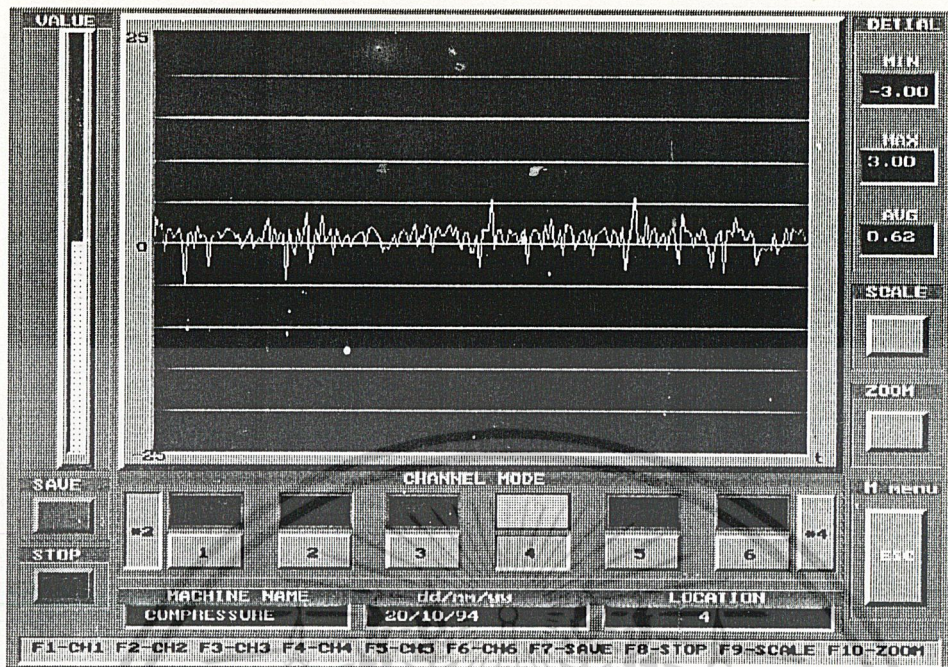
### ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งPiezoBEAM เข้ากับเครื่องจักรที่ตำแหน่ง A และ B ตามรูป 4.1a
2. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ channel
3. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง
4. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel
5. เลือกเมนูการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง X1กับX2,Y1กับY2 และ Z1กับZ2

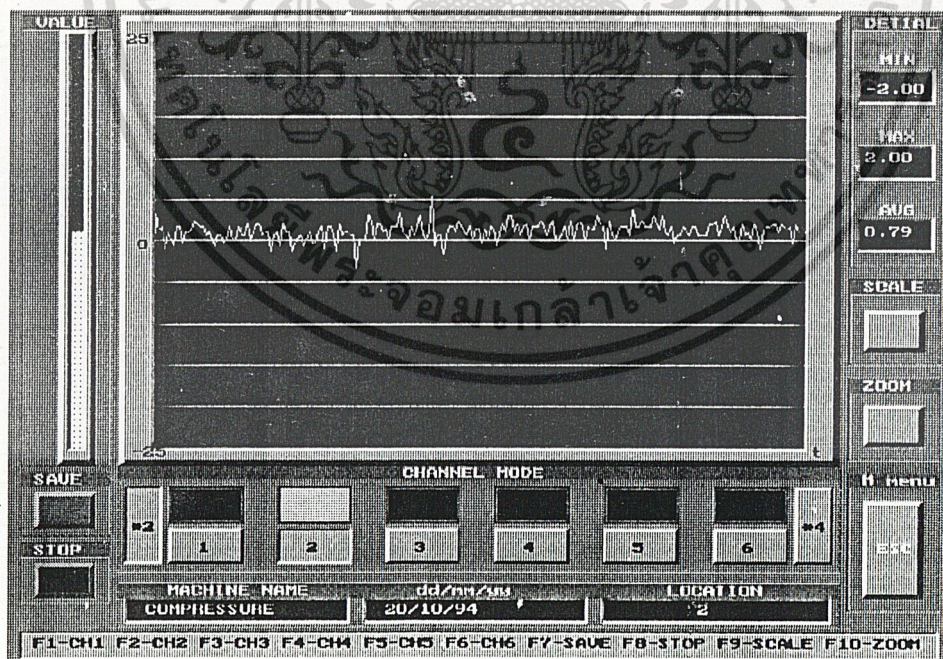
ผลการทดลองตอนที่ 2



(a) แสดงกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน X1, CH1

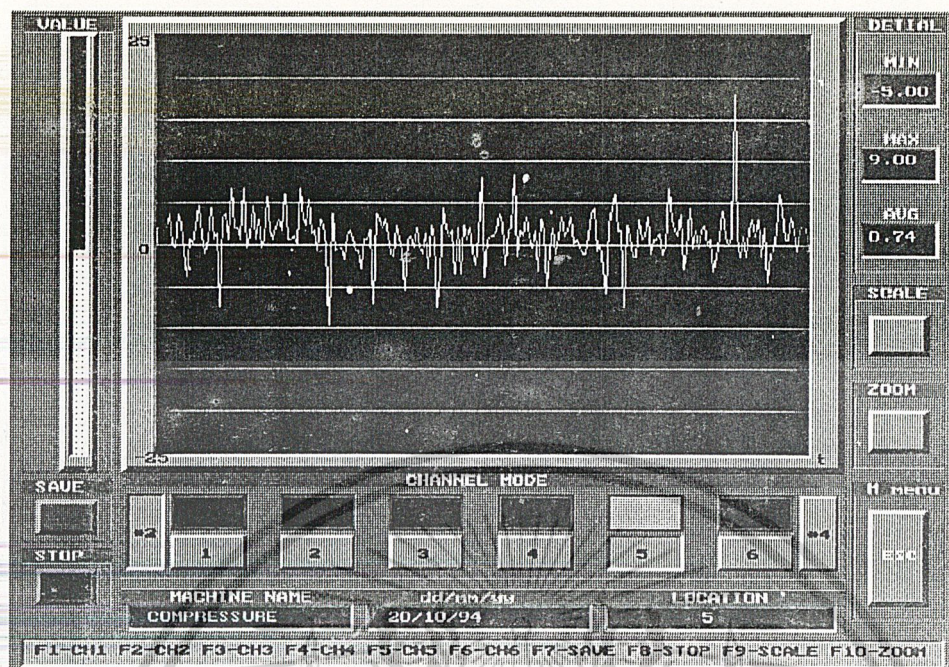


(b) กราฟแสดงการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน X2, CH4  
รูปที่ 4.3a แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนระหว่าง X1 กับ X2 ที่เวลาเดียวกัน  
และโหนดเท่ากัน

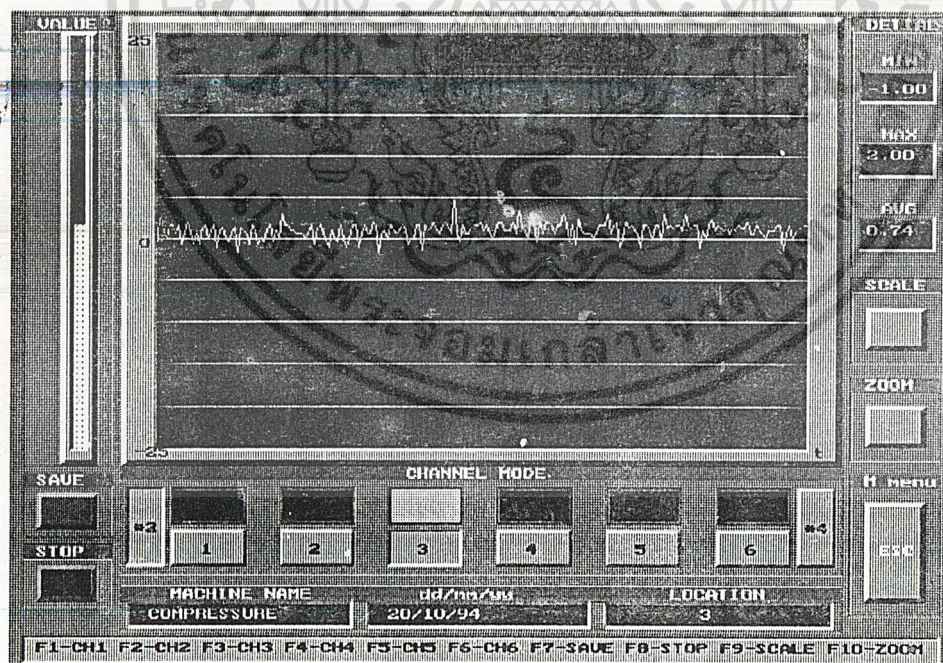


(a) แสดงกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน Y1, CH2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

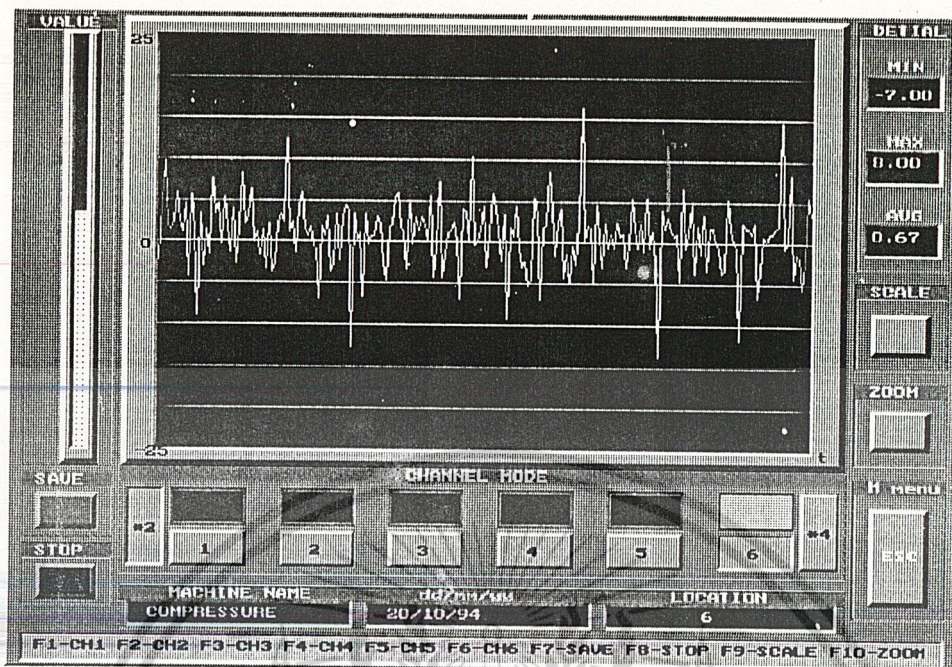


(b) กราฟแสดงการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน Y2, CH5  
รูปที่ 4.3b แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนระหว่าง Y1 กับ Y2 ที่เวลาเดียวกัน  
และโหนดเท่ากัน



(a) แสดงกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน Z1, CH3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) กราฟแสดงการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน Z2, CH6  
รูปที่ 4.3c แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนระหว่าง Z1 กับ Z2 ที่เวลาเดียวกัน  
และไหลคเท่ากัน

หมายเหตุ รูปที่แสดงได้ทำการขยายสเกล 2 เท่า ทุกรูป

### การทดลองตอนที่ 3

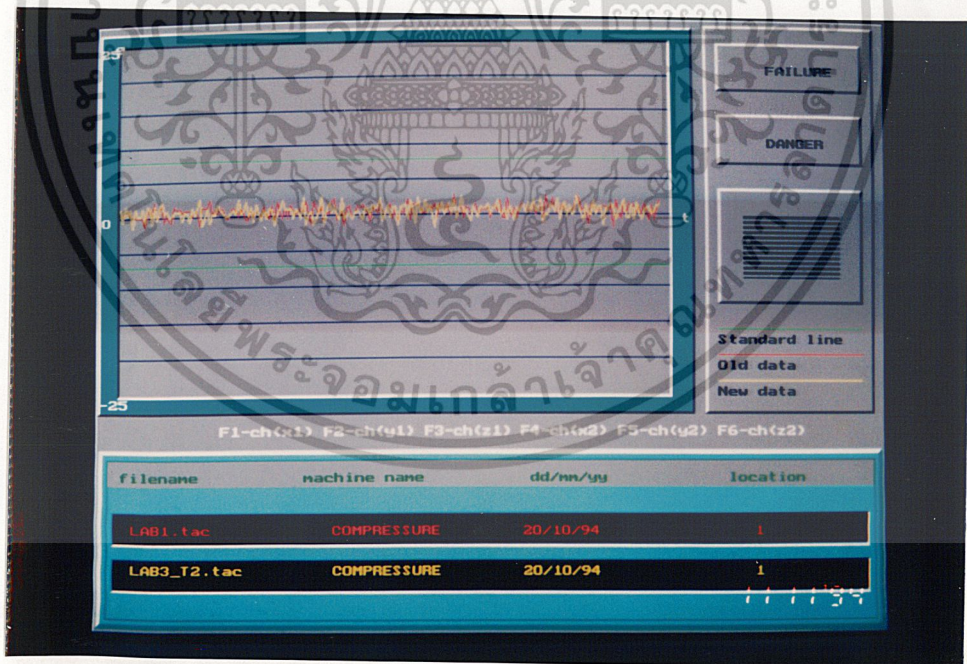
#### จุดประสงค์

เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระดับการสั่นสะเทือนที่จุดเดียวกันในระยะเวลาต่างกันไม่มากภายใต้ โหลดค่าหนึ่งๆ จะมีค่าระดับความสั่นสะเทือนคงที่

#### ขั้นตอนการทดลอง

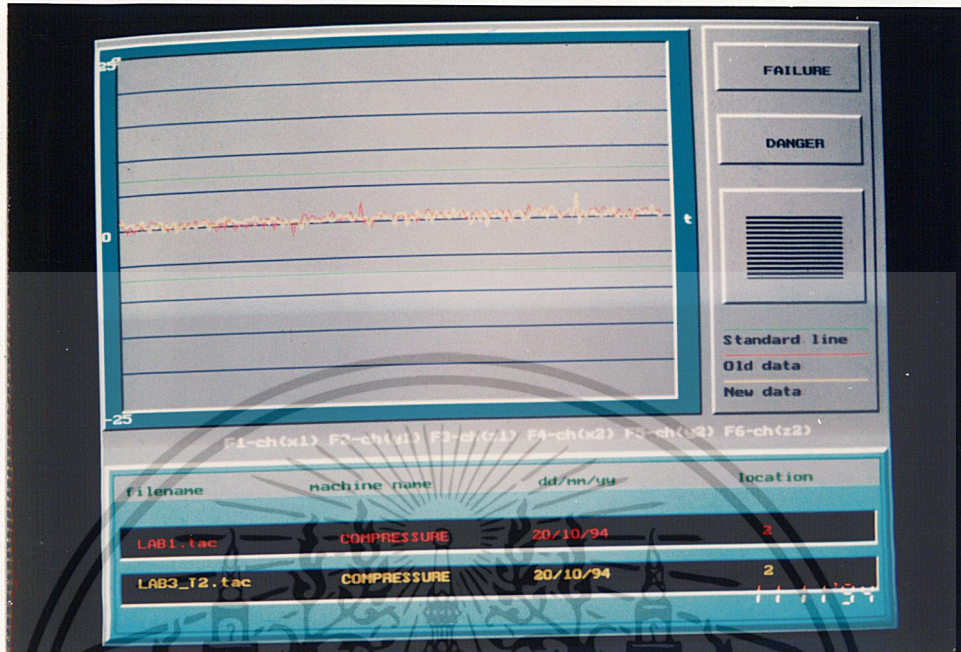
1. ติดตั้ง PiezoBEAM เข้ากับเครื่องจักรที่ตำแหน่ง A และ B ดังรูปที่ 4.1a
2. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ channel
3. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง
4. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel ที่ช่วงเวลา T1 การทำงานของเครื่องจักรปกติ
5. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel ที่ช่วงเวลา T2 การทำงานของเครื่องจักรปกติ
6. เลือกเมนูการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง X1 ที่ช่วงเวลา T1 กับ X1 ที่ช่วงเวลา T2 Y1 ที่ช่วงเวลา T1 กับ Y1 ที่ช่วงเวลา T2 Z1 ที่ช่วงเวลา T1 กับ Z1 ที่ช่วงเวลา T2

#### ผลการทดลองตอนที่ 3

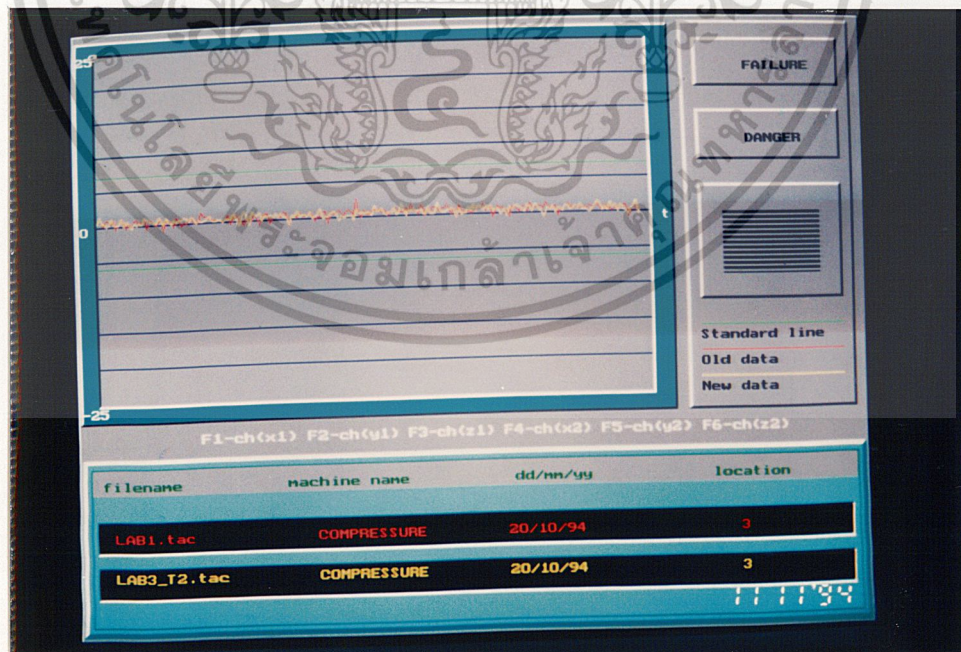


รูปที่ 4.4a แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน X1, CH1 ที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3\_t2.tac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



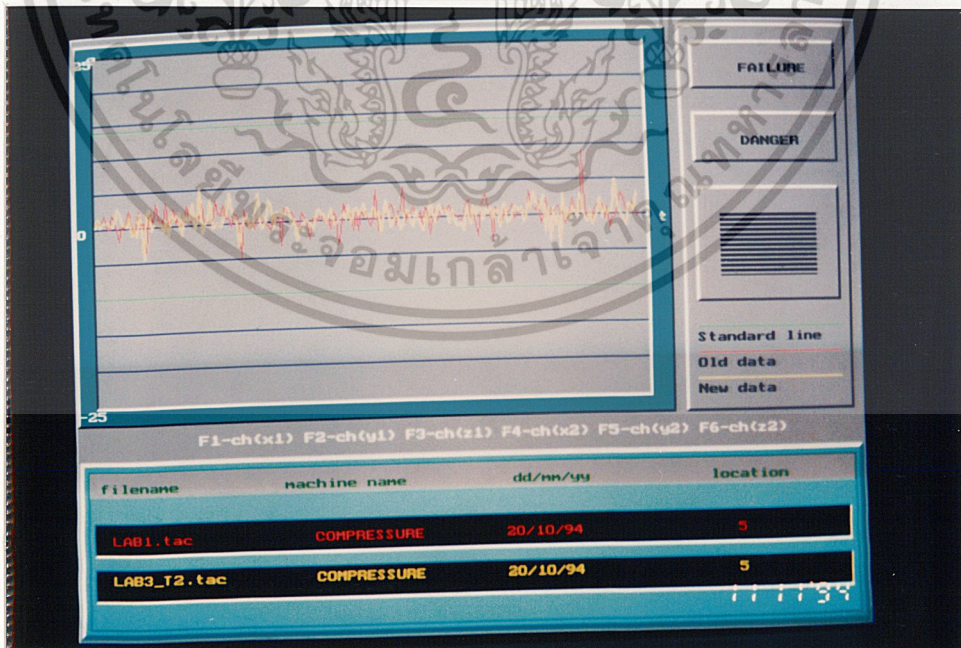
รูปที่ 4.4b แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน Y1, CH2 ที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3\_t2.tac



รูปที่ 4.4c แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง A แกน Z1, CH3 ที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3\_t2.tac เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการนำเสนอเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4d แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน X2, CH4 ที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3\_t2.tac



รูปที่ 4.4e แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน Y2,

CH5 ที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3\_t2.tac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4f แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของตำแหน่ง B แกน Z2, CH6 ที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ lab1.tac กับเวลา T2 เป็นไฟล์ lab3\_t2.tac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### การทดลองตอนที่ 4

เป็นการวัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์หินเจียร์ในที่มีขนาดดังนี้

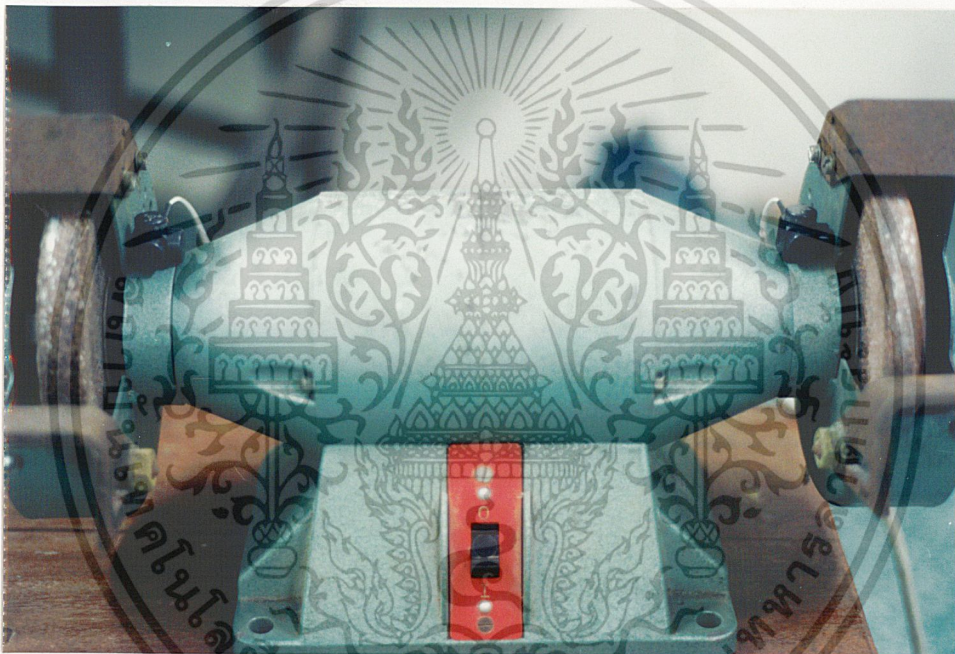
-แรงดัน 220 V 1 เฟส

-กระแส 2 A

-กำลังไฟฟ้า 420 W

-ความเร็วรอบ 3000 rpm

การติดตั้ง PiezoBEAM กำหนดให้ตัวที่หนึ่งทำการวัดทางด้านซ้าย (ตำแหน่ง A) และตัวที่สอง (ตำแหน่ง B) ทำการวัดทางด้านขวา



รูปที่ 4.5 แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM บนมอเตอร์หินเจียร์

#### การทดลองตอนที่ 4.1

##### จุดประสงค์

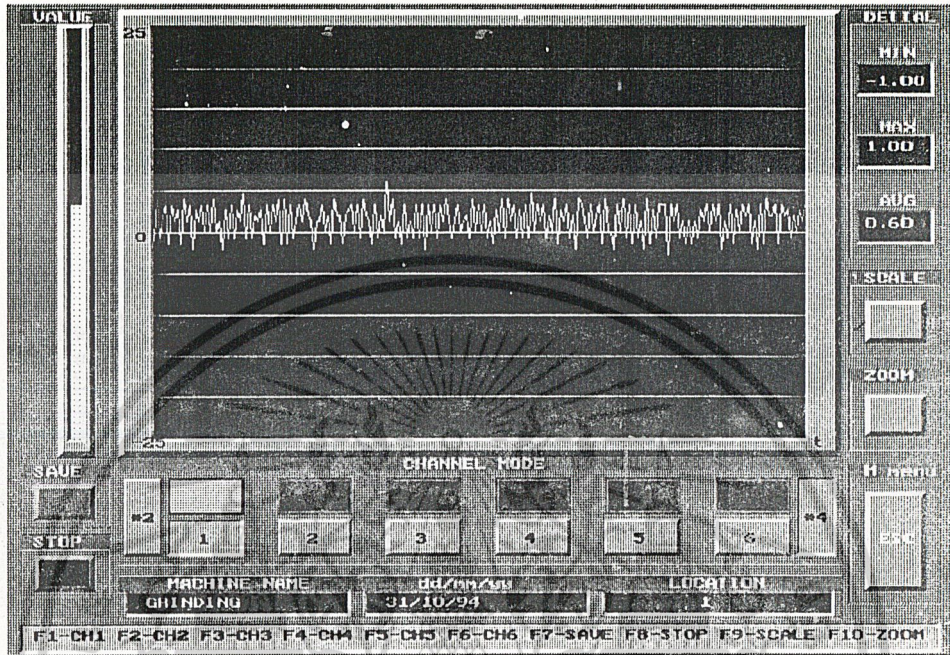
เพื่อวัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์หินเจียร์ในที่มีตลับลูกปืนทางด้านซ้ายและขวามีสภาพใหม่

##### ขั้นตอนการทดลอง

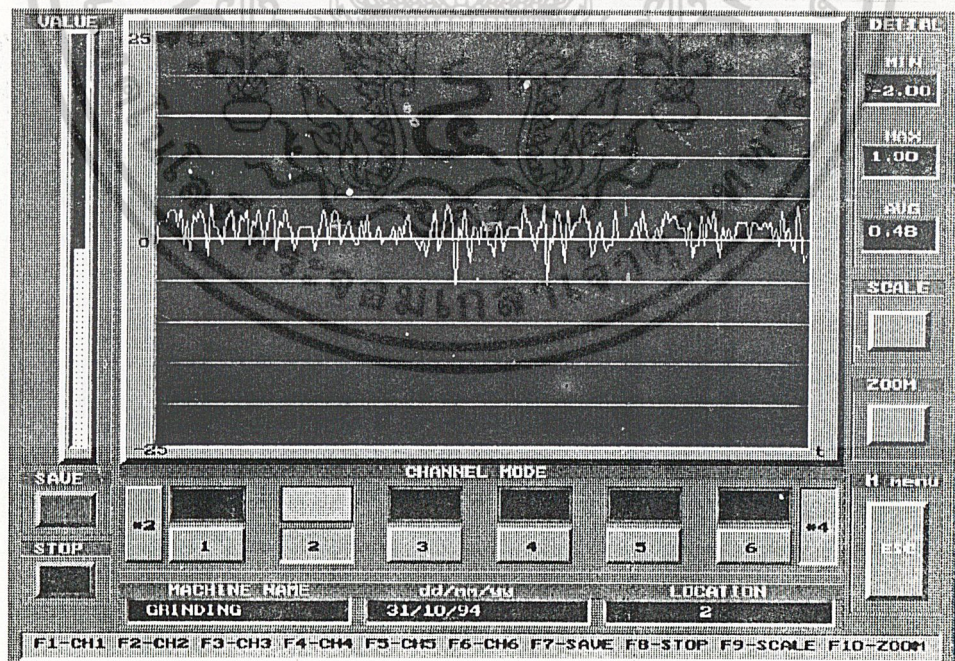
1. ติดตั้ง PiezoBEAM ตามรูป 4.5
2. เลือกเมนูทดสอบที่ละ channel
3. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel  
ผลการทดลองตอนที่ 4.1

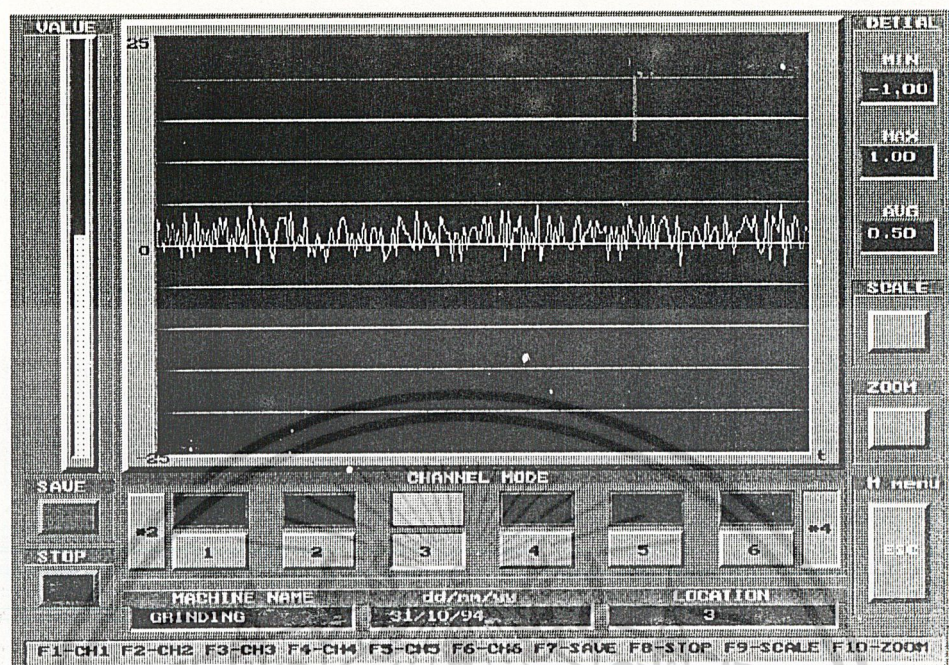


รูปที่ 4.6a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1, CH1

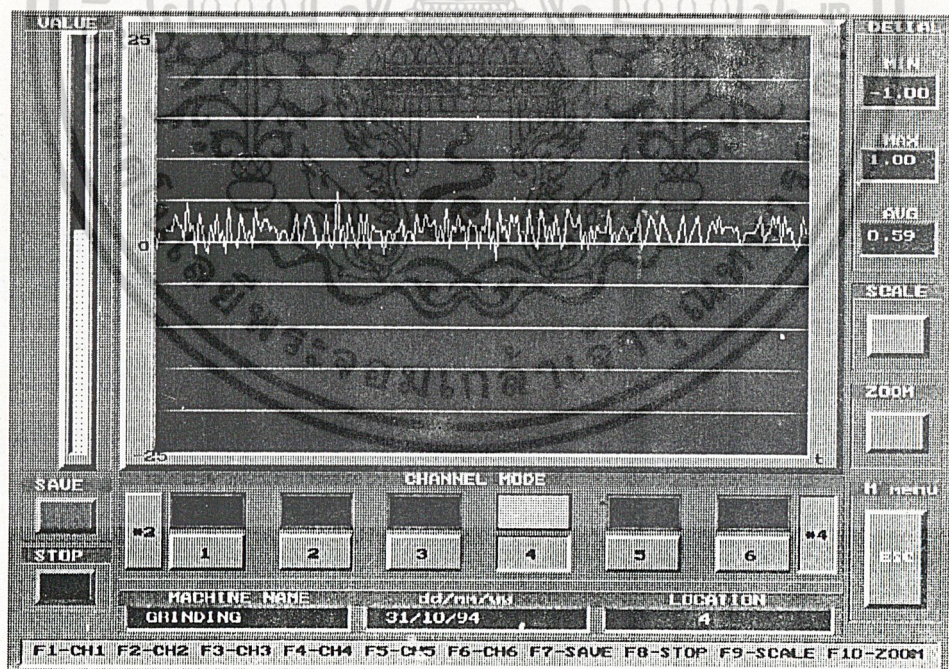


รูปที่ 4.6b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1, CH2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

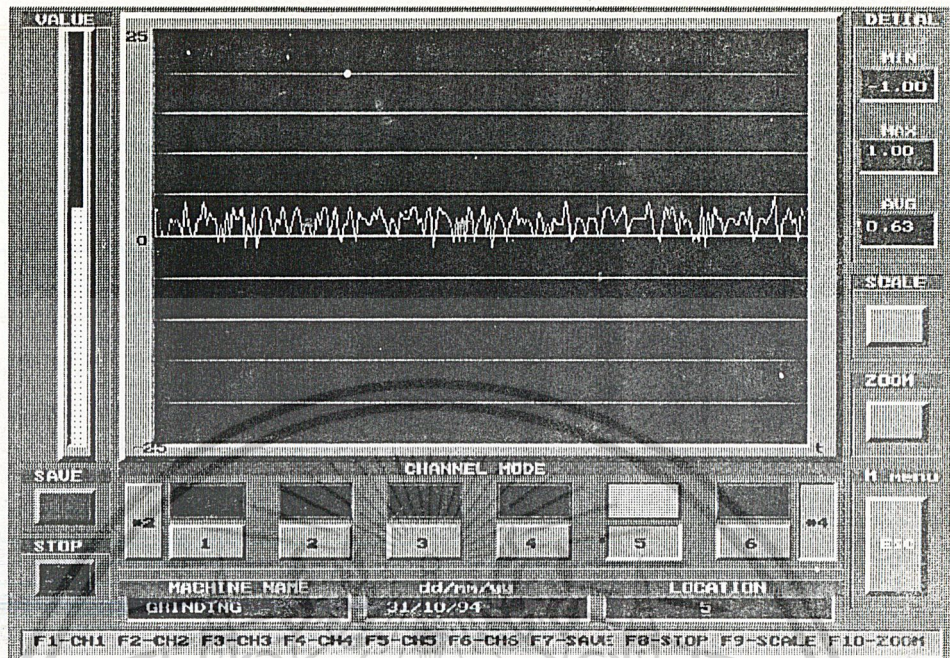


รูปที่ 4.6c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1, CH3

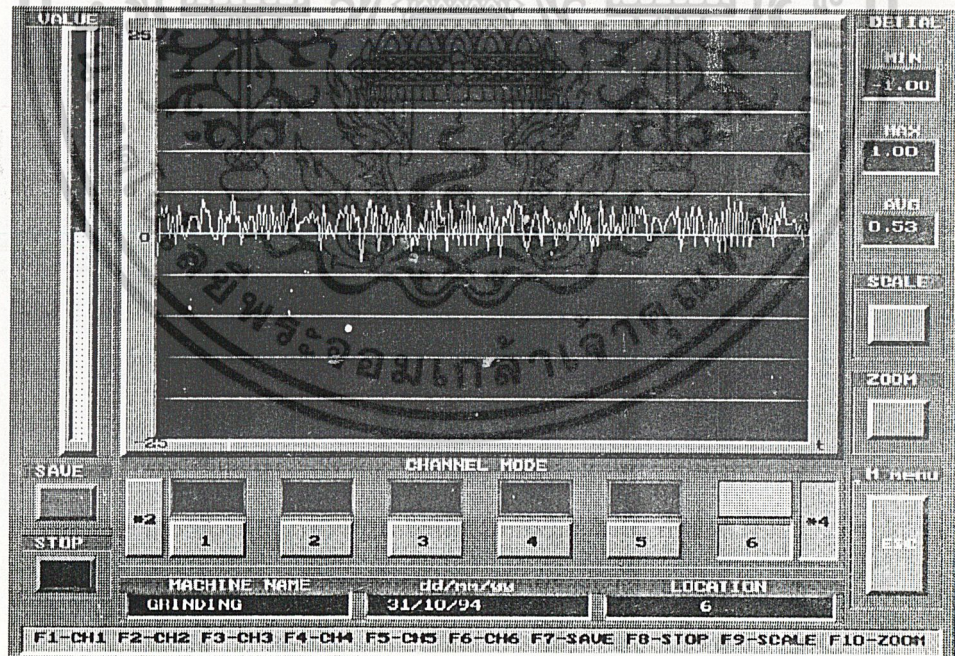


รูปที่ 4.6d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2, CH4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2, CH5



รูปที่ 4.6f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2, CH6  
หมายเหตุ รูปที่แสดงทำการขยาย 4 เท่าทุกรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองตอนที่ 4.2

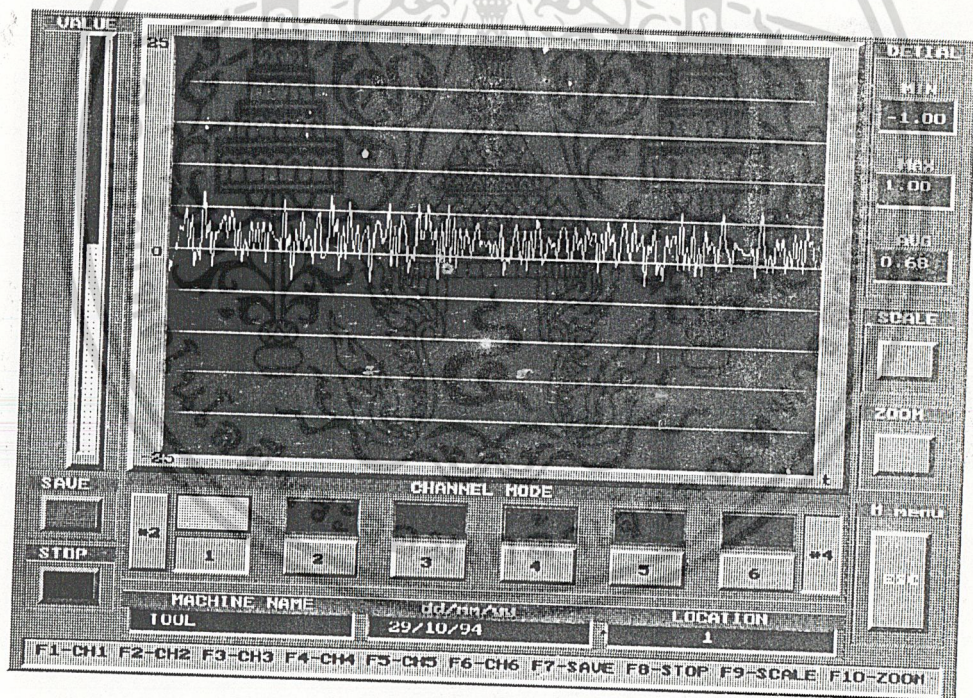
### จุดประสงค์

เป็นการวัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์หินเจียรในที่มีตลับลูกปืนทางด้านซ้ายสภาพใหม่ และตลับลูกปืนทางด้านขวาที่มีอายุการใช้งานมากแล้ว

### ขั้นตอนการทดลอง

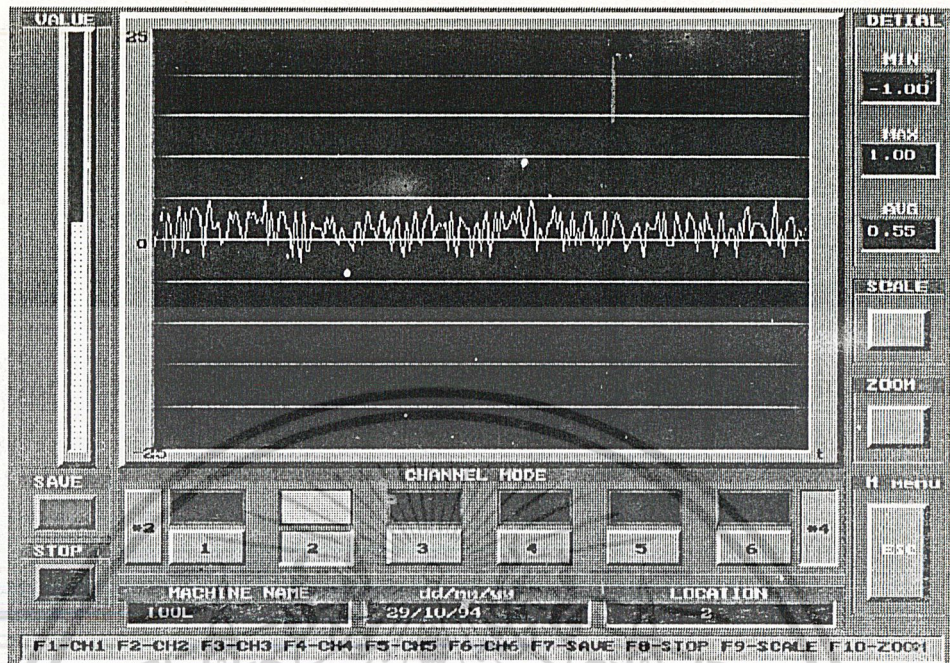
1. ทำการใส่ตลับลูกปืนที่มีอายุการใช้งานมาใส่ทางด้านขวาของมอเตอร์หินเจียรใน
2. ติดตั้ง PiezoBEAM ตามรูป 4.5
3. เลือกเมนูทดสอบที่ละ channel
4. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง
5. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel

### ผลการทดลองตอนที่ 4.2

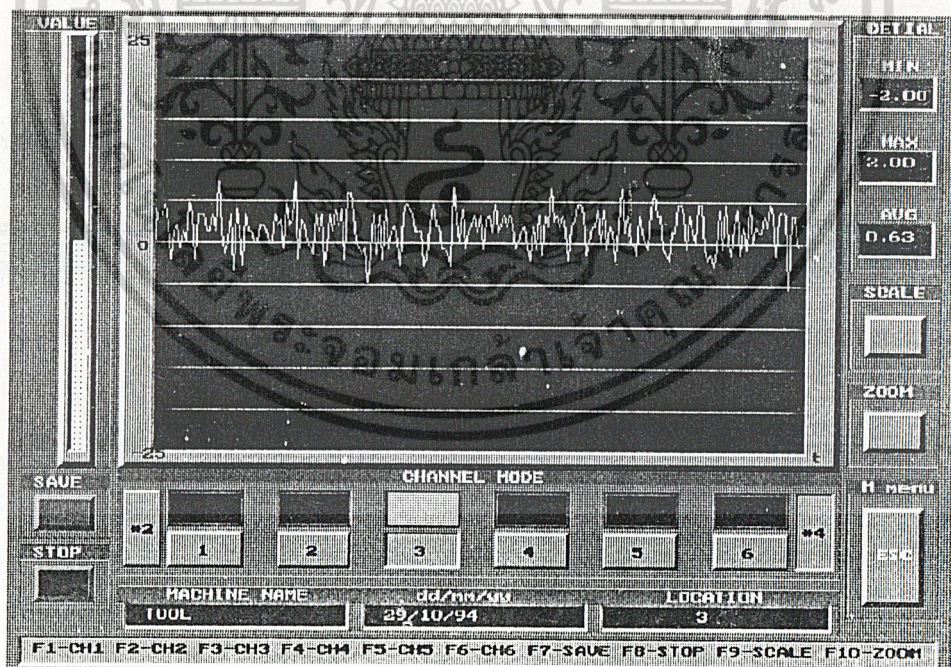


รูปที่ 4.7a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1, CH1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

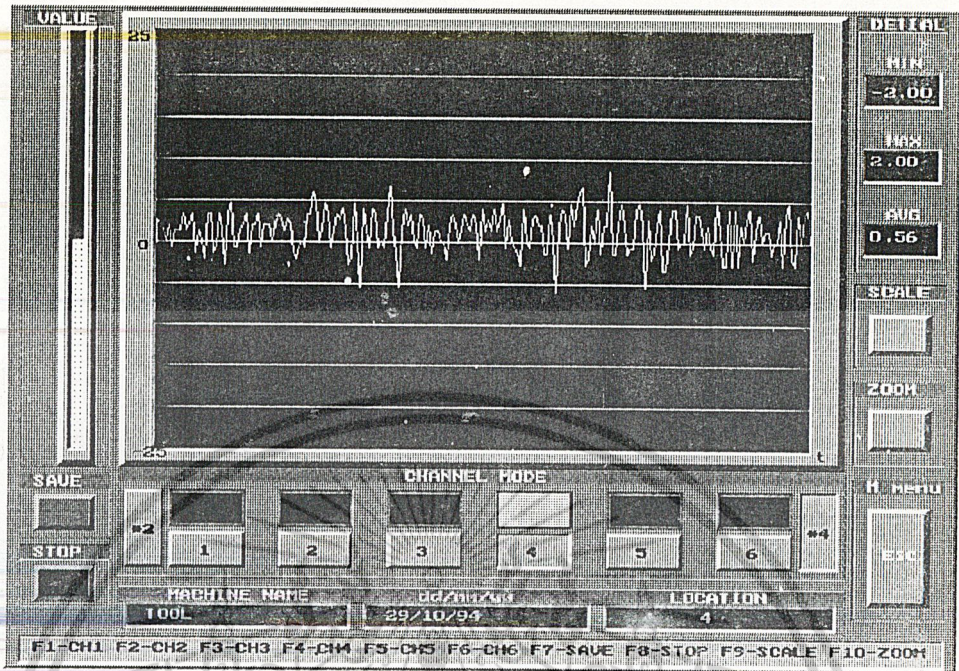


รูปที่ 4.7b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1, CH2

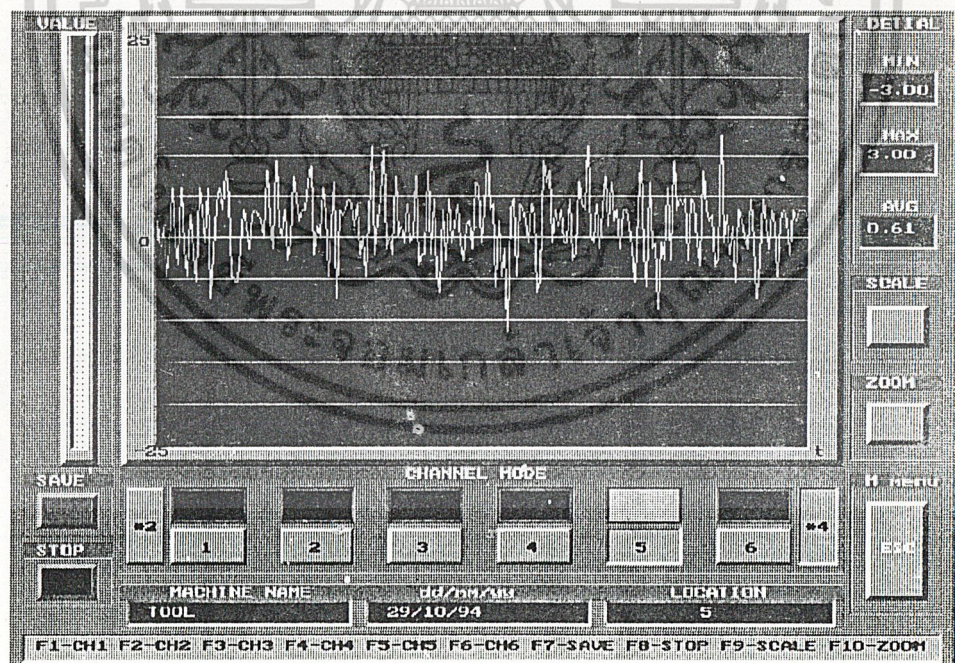


รูปที่ 4.7c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1, CH3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

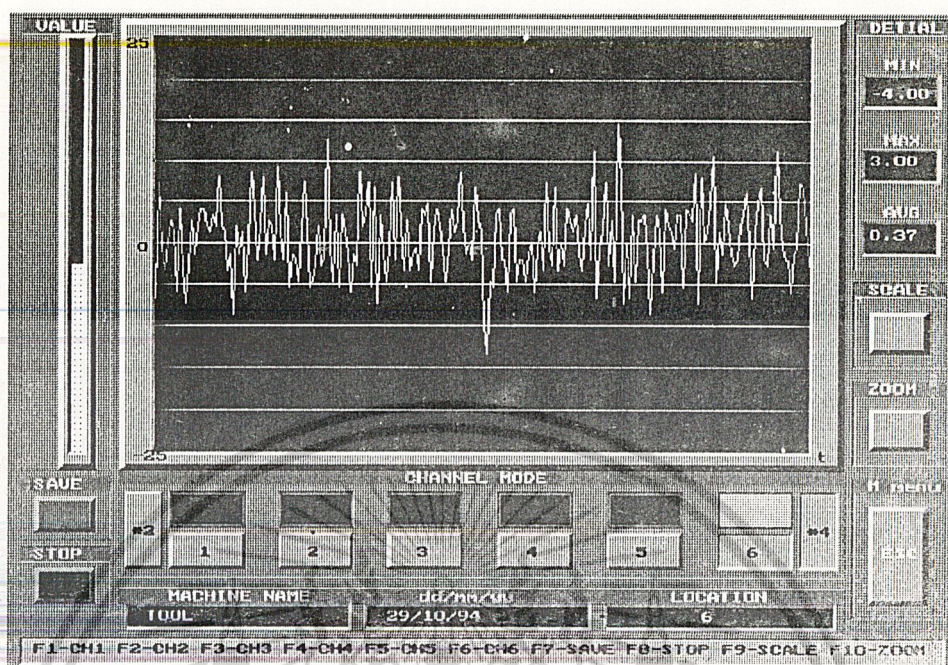


รูปที่ 4.7d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2, CH4



รูปที่ 4.7e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2, CH5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



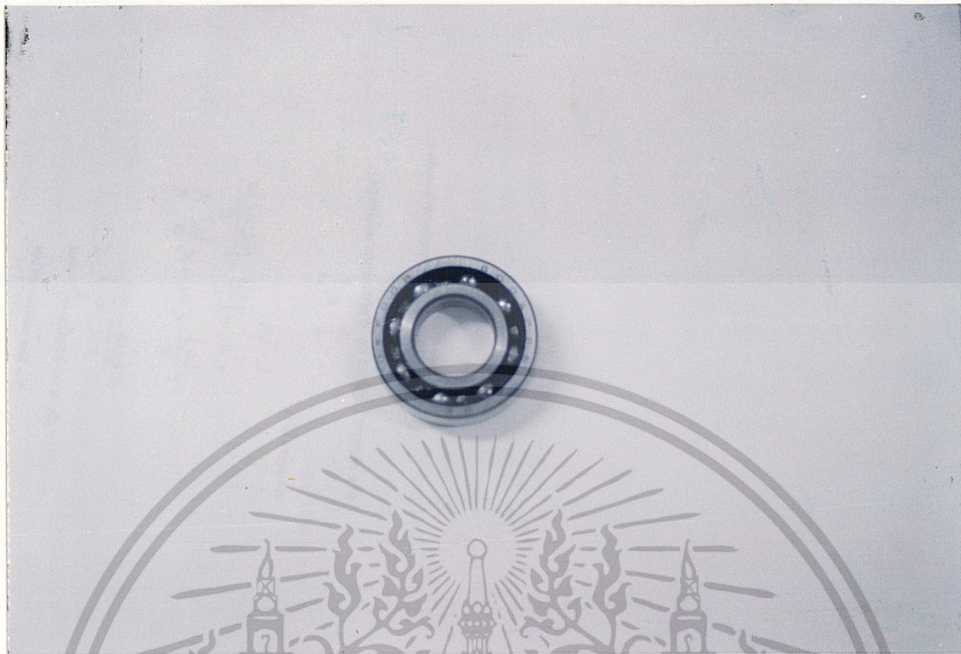
รูปที่ 4.7f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2, CH6  
หมายเหตุ รูปที่แสดงทำการขยาย 4 เท่าทุกรูป

#### การทดลองตอนที่ 4.3

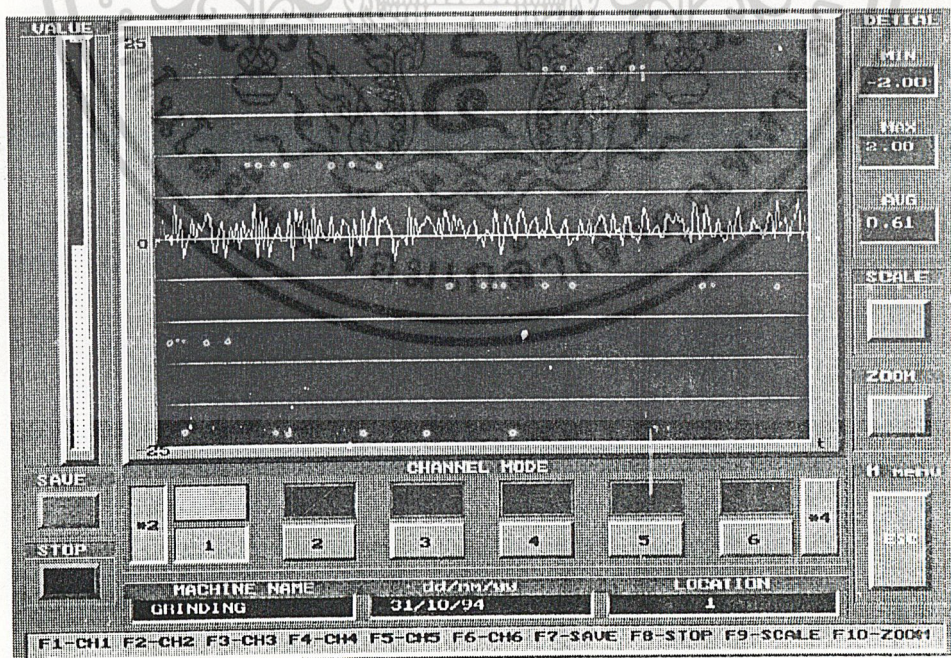
จุดประสงค์ เป็นการวัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์หินเจียร ในที่มีตลับลูกปืนทางด้าน  
ซ้ายสภาพใหม่และตลับลูกปืนทางด้านขวาที่มีสภาพผิดปกติ  
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการใส่ตลับลูกปืนที่มีสภาพผิดปกติมาใส่ทางด้านขวาของมอเตอร์หินเจียร ใน
2. ติดตั้ง PiezoBEAM ตามรูป 4.5
3. เลือกเมนูทดสอบที่ละ channel
4. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง
5. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

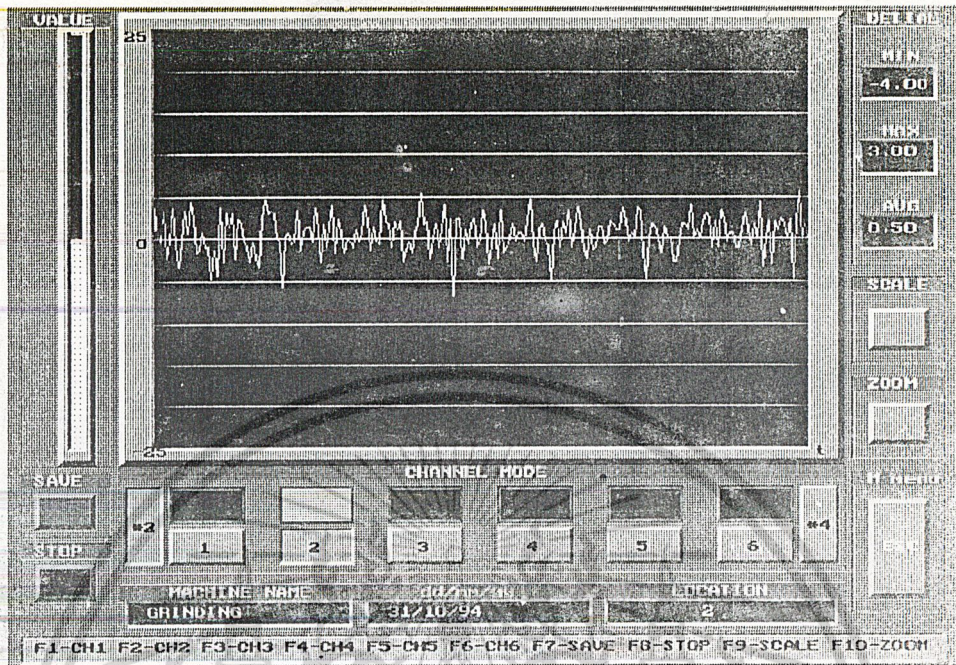


รูปที่ 4.8 สภาพของตลับลูกปืนที่มีอาการผิดปกติ  
ผลการทดลองตอนที่ 4.3

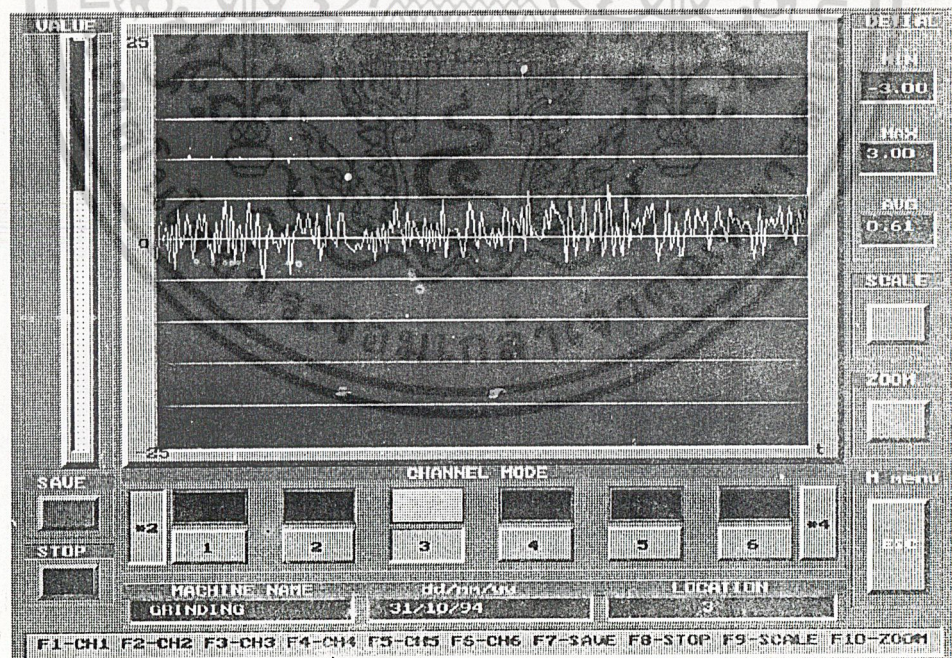


รูปที่ 4.9a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกนX1, CH1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

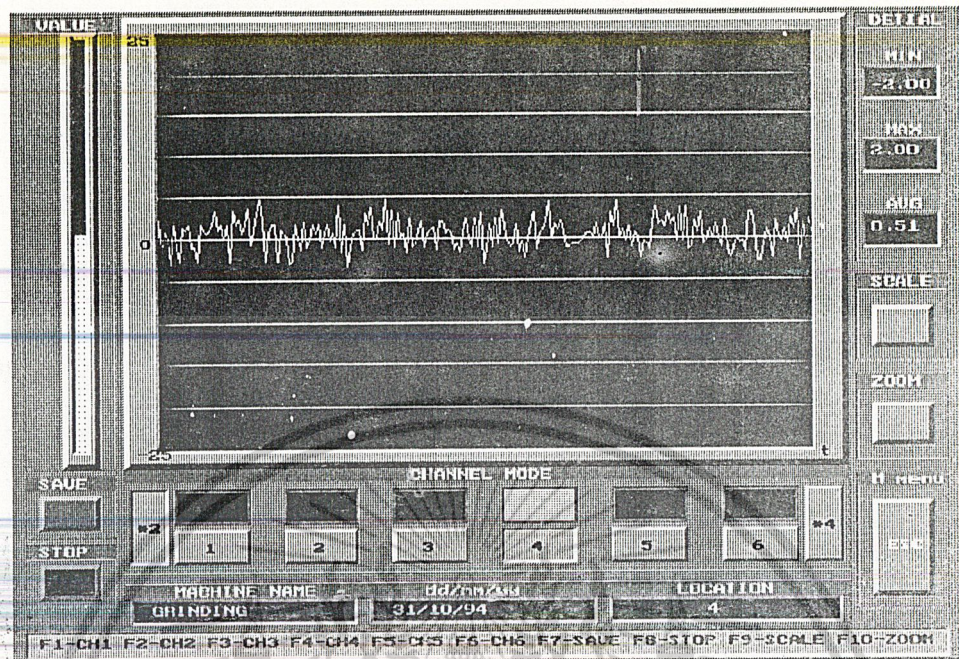


รูปที่ 4.9b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1, CH2

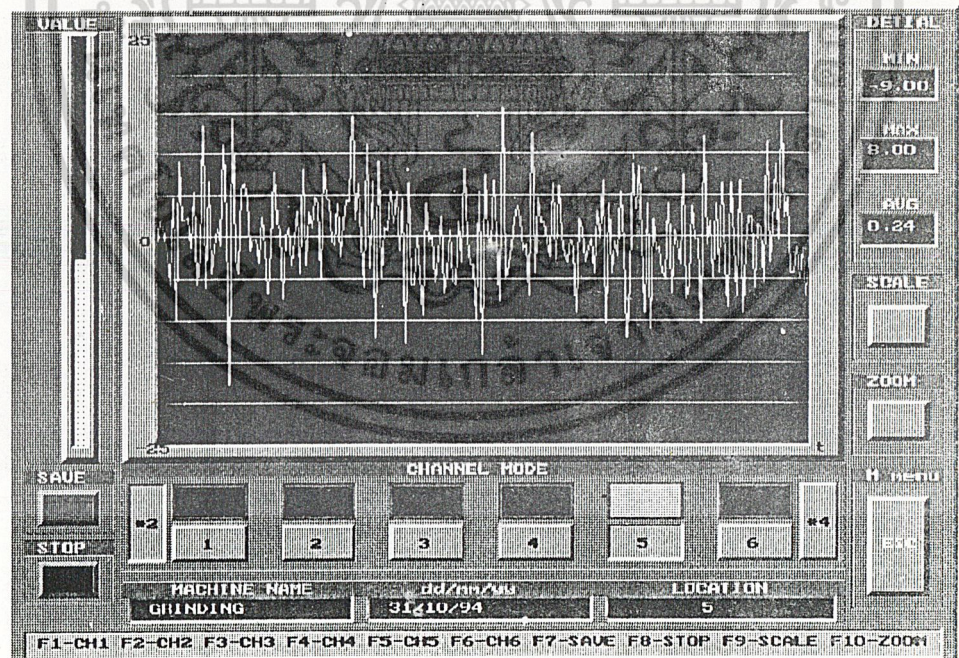


รูปที่ 4.9c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1, CH3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

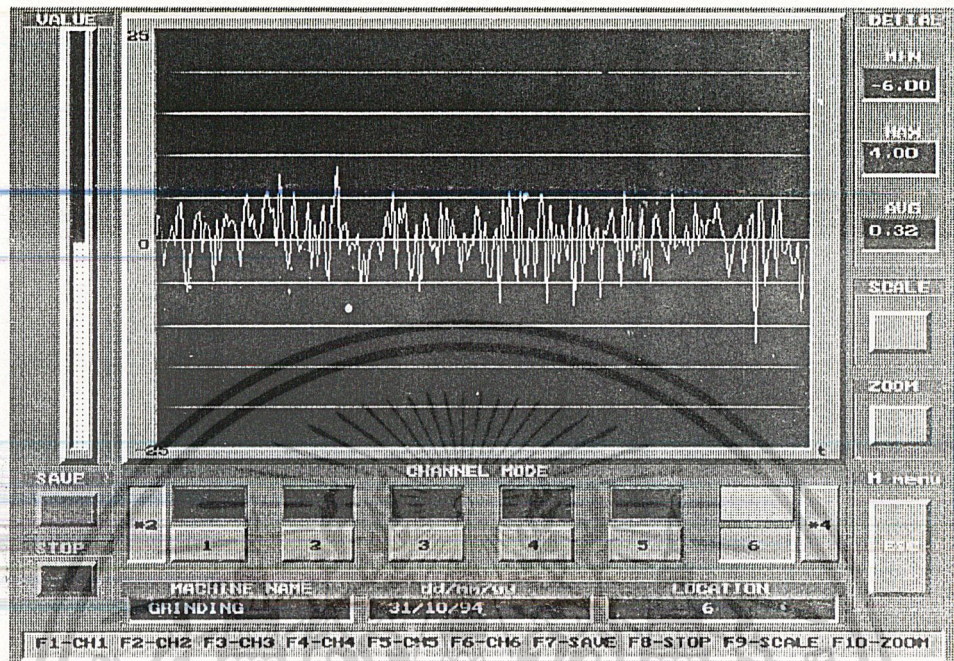


รูปที่ 4.9d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2, CH4



รูปที่ 4.9e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2, CH5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

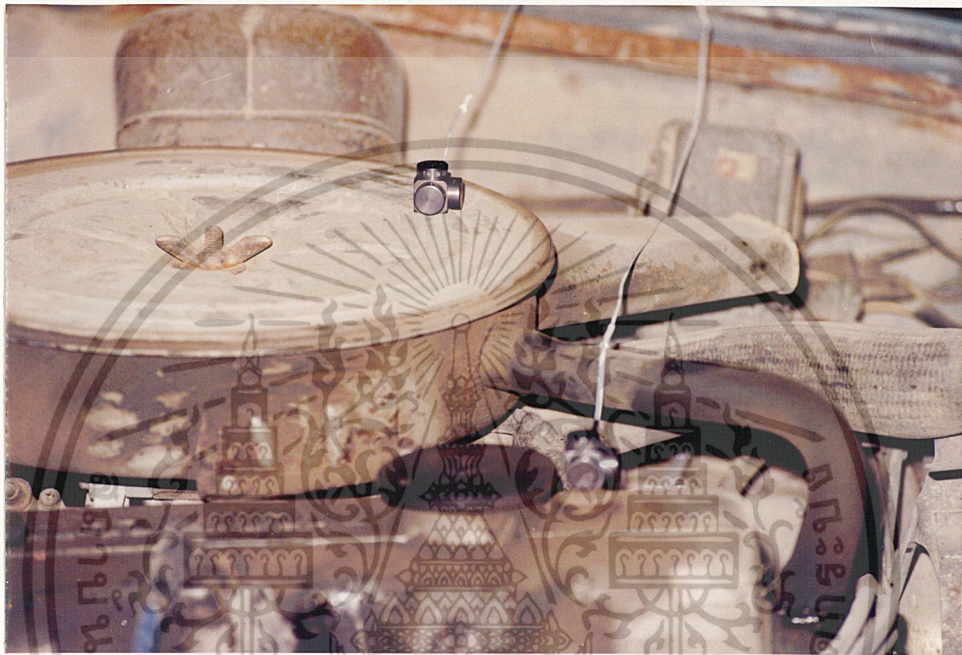


รูปที่ 4.9f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2, CH6  
หมายเหตุ รูปที่แสดงทำการขยาย 2 เท่าทุกรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองตอนที่ 5

เป็นการวัดความสัมพันธ์ของเครื่องยนตร์รถยนต์ที่อัตราความเร็วรอบของเครื่องยนตร์ประมาณ 1500 rpm การติดตั้ง PiezoBEAM กำหนดให้ตัวที่หนึ่งทำการวัดที่หม้อกรองและตัวที่สองทำการวัดที่เครื่องยนตร์



รูปที่ 4.10 แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM บนเครื่องยนตร์และหม้อกรอง

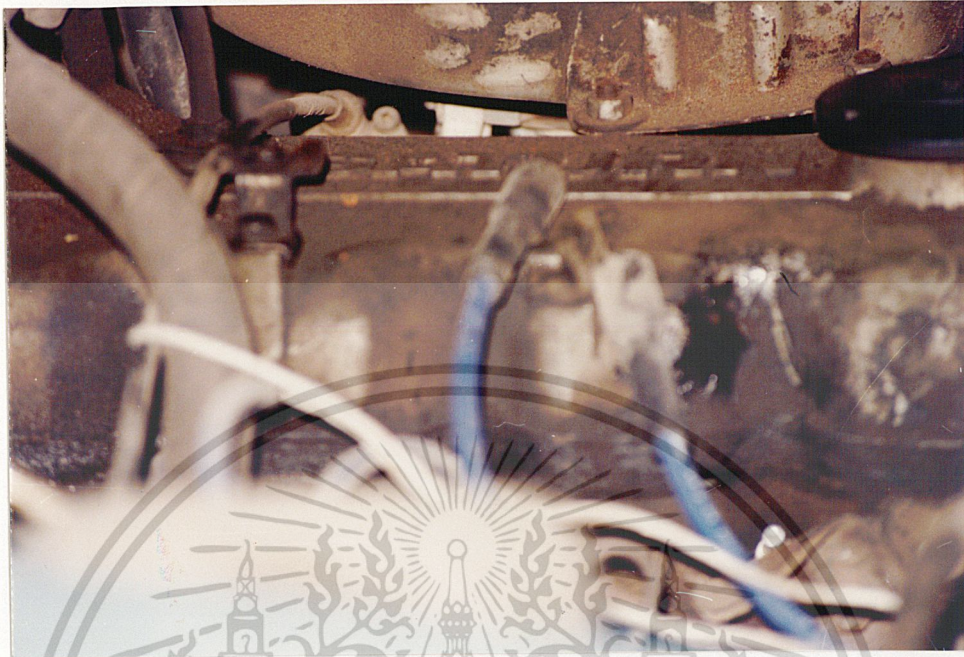
### การทดลองตอนที่ 5.1

จุดประสงค์ เป็นการวัดความสัมพันธ์ของเครื่องยนตร์รถยนต์โดยทำการถอดปลั๊กหัวเทียนออก 2 หัว แล้วทำการเร่งความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm

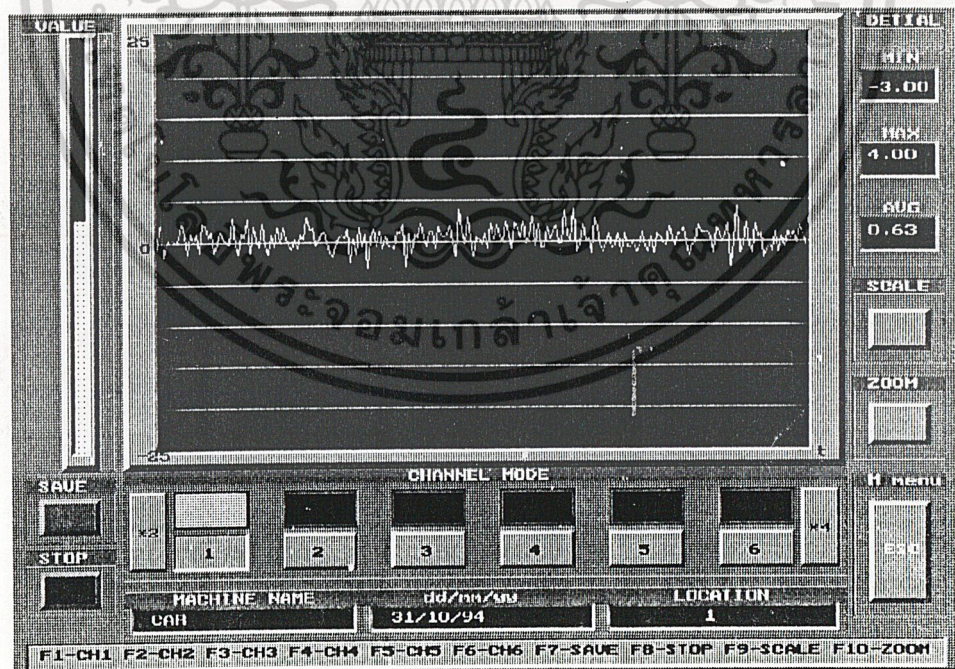
#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการถอดปลั๊กหัวเทียนของรถยนต์ออกดังรูปที่ 4.11
2. ติดตั้ง PiezoBEAM ตามรูป 4.10
- 3.. เลือกเมนูทดสอบที่ละ channel
4. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง
5. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel
6. ทำการเร่งเครื่องยนตร์ประมาณ 1500 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

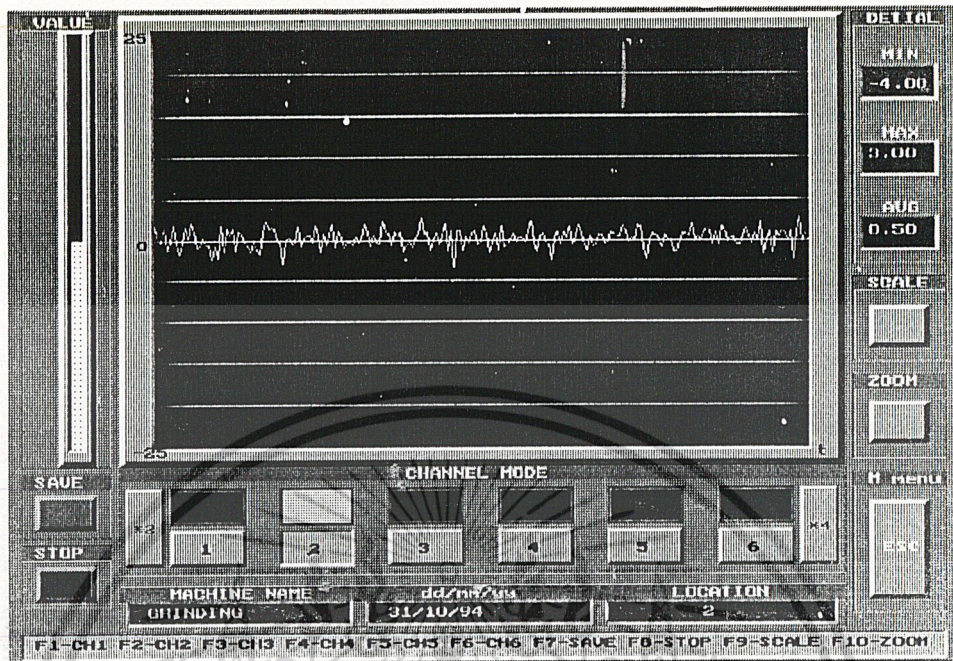


รูปที่ 4.11 แสดงการวัดความสั่นสะเทือนขณะถอดปลั๊กหัวเทียนของเครื่องยนต์ออก 2 หัว ผลการทดลองตอนที่ 5.1

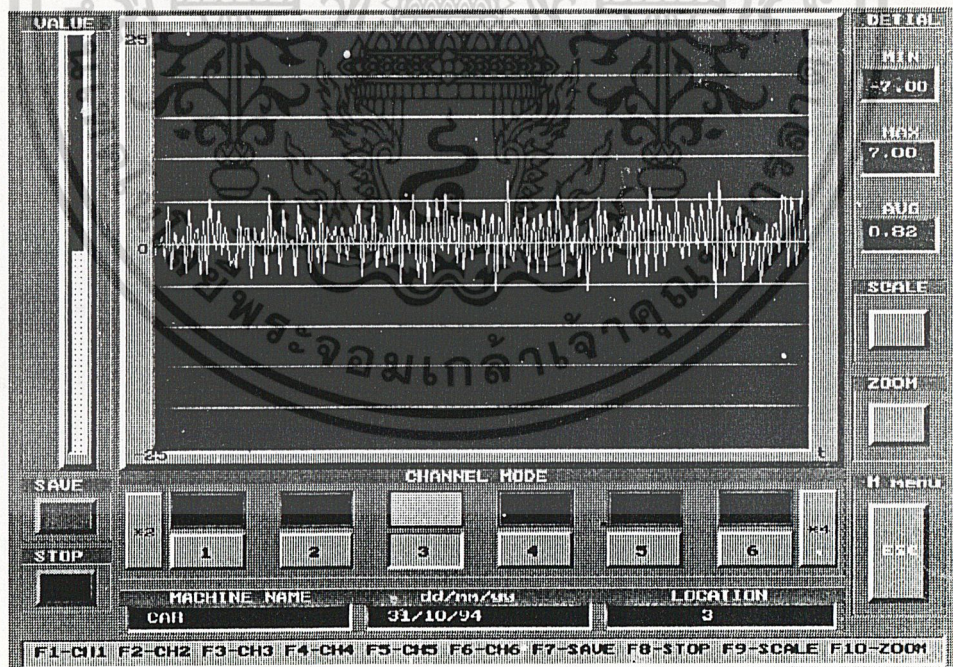


รูปที่ 4.12a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

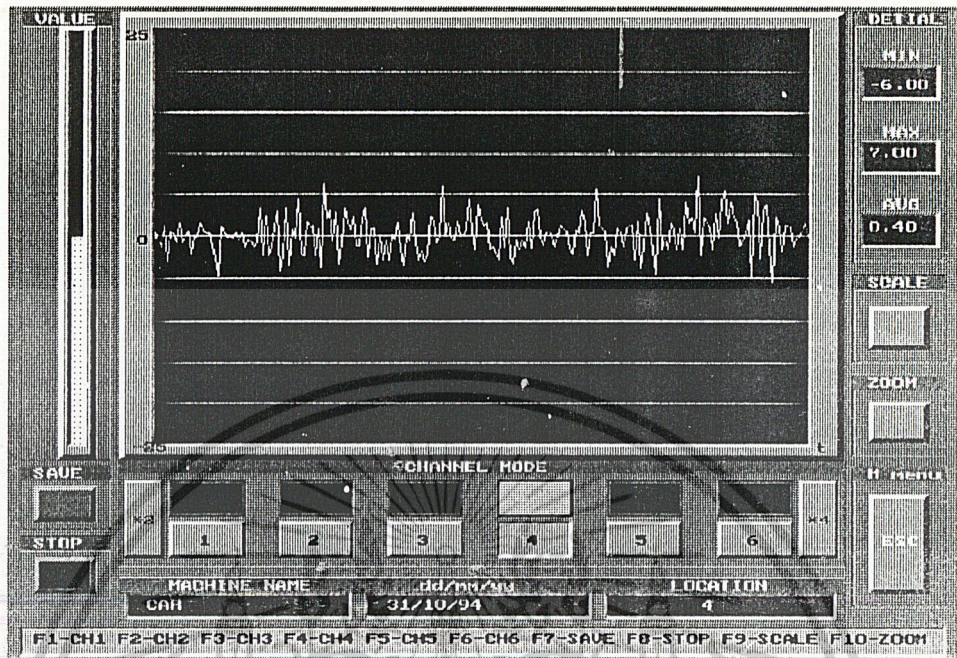


รูปที่ 4.12b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2

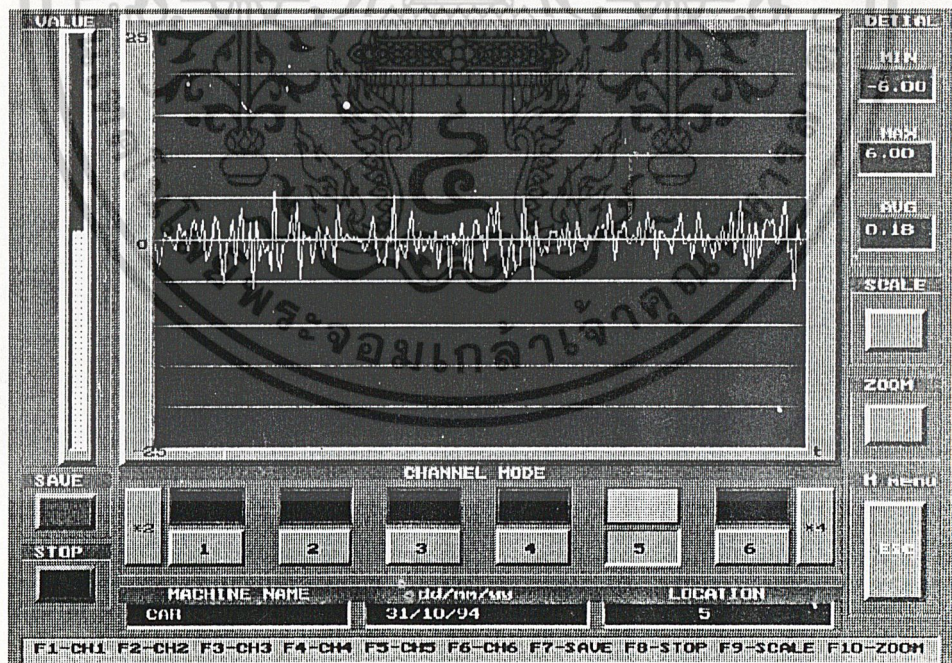


รูปที่ 4.12c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

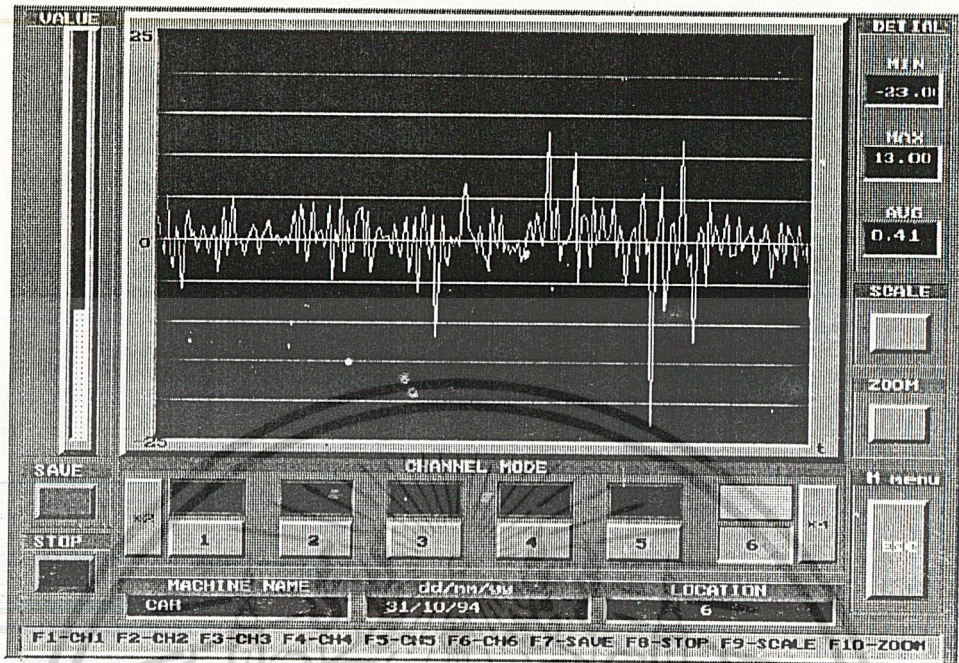


รูปที่ 4.12d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4



รูปที่ 4.12e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6

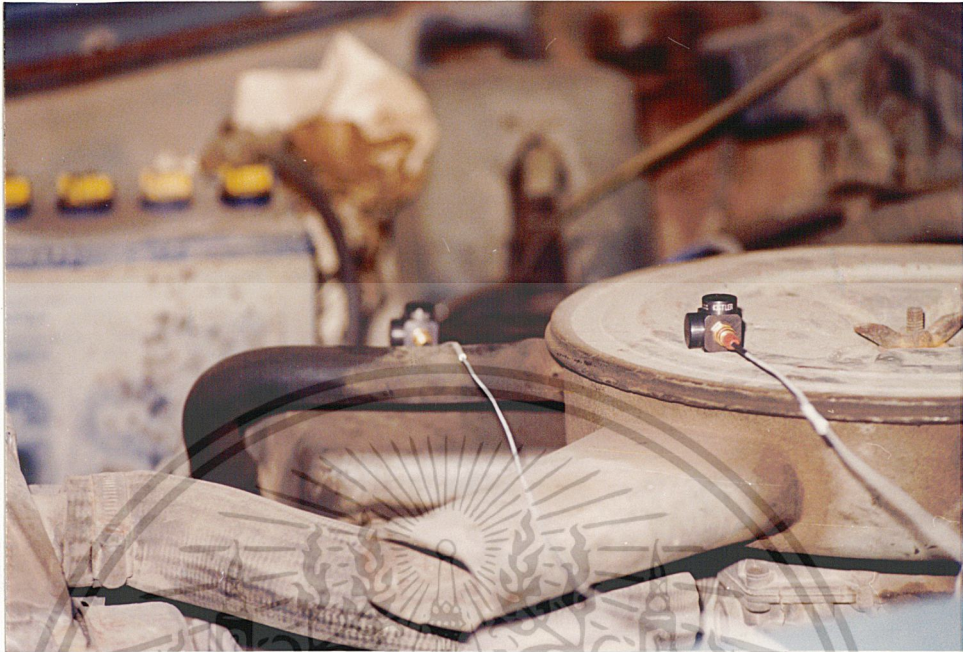
การทดลองตอนที่ 5.2

จุดประสงค์ เป็นการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์รถยนต์โดยทำการต่อปลั๊กหัวเทียนที่ถอดออกแล้วทำการเร่งความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm

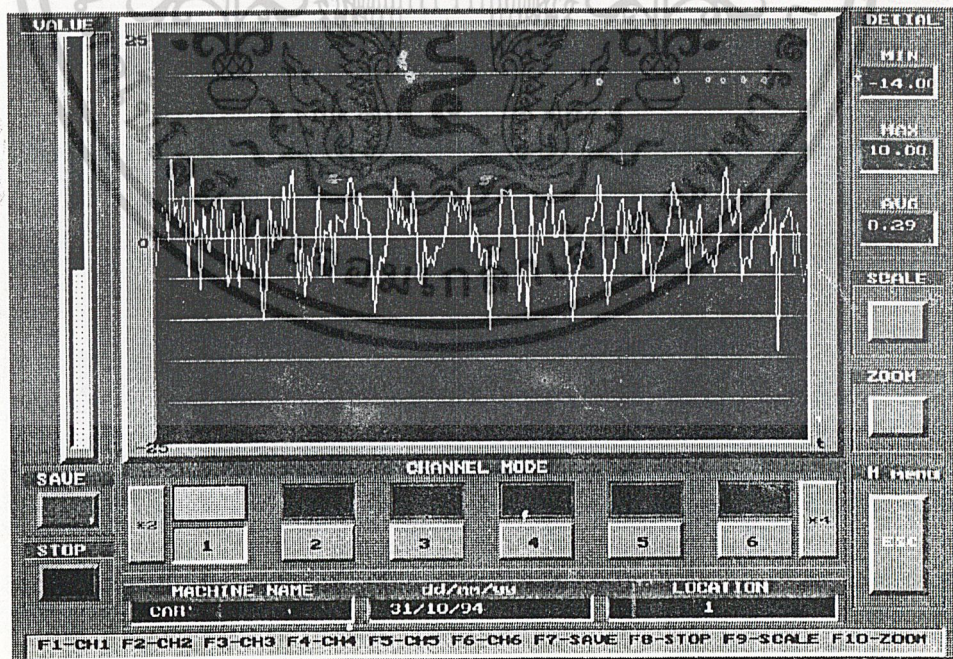
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการสวมปลั๊กหัวเทียนที่ถอดออกของรถยนต์ดังรูปที่ 4.13
2. ติดตั้ง PiezoBEAM ตามรูป 4.10
3. เลือกเมนูทดสอบที่ละ channel
4. เลือกเมนูชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง
5. บันทึกข้อมูลทั้งหมด 6 channel
6. ทำการเร่งเครื่องรถยนต์ประมาณ 1500 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

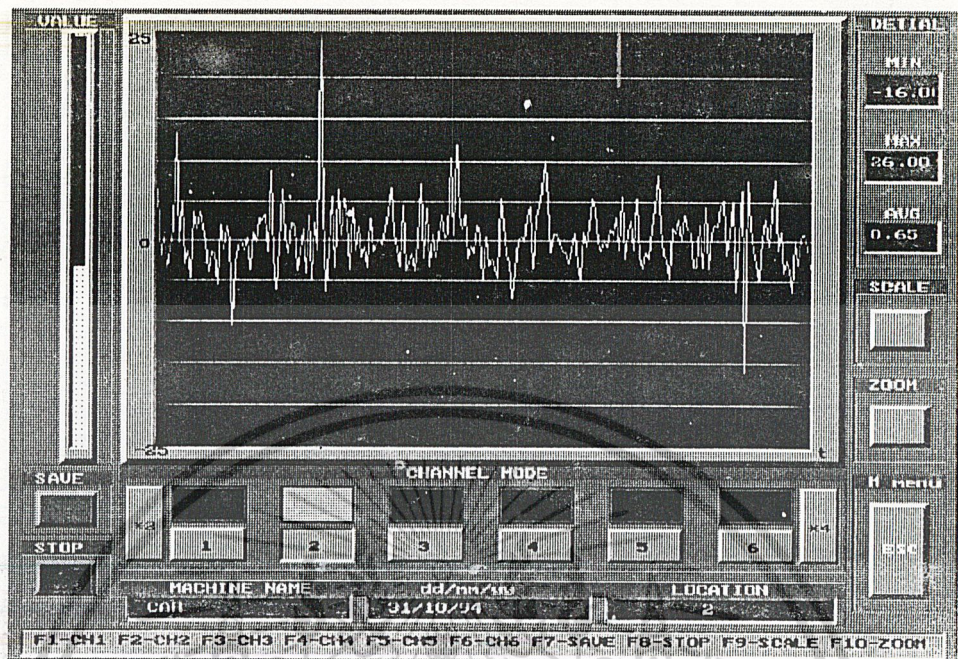


รูปที่ 4.13 แสดงการวัดความสั่นสะเทือนขณะไม่ได้ทำการถอดหัวเทียน  
ผลการทดลองตอนที่ 5.2

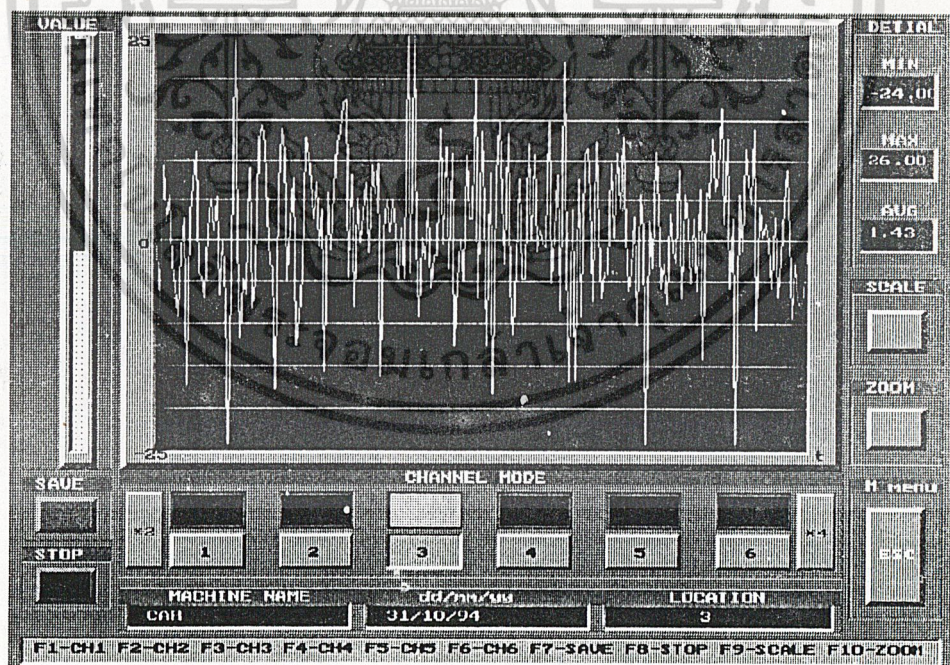


รูปที่ 4.14a แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน X1,CH1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

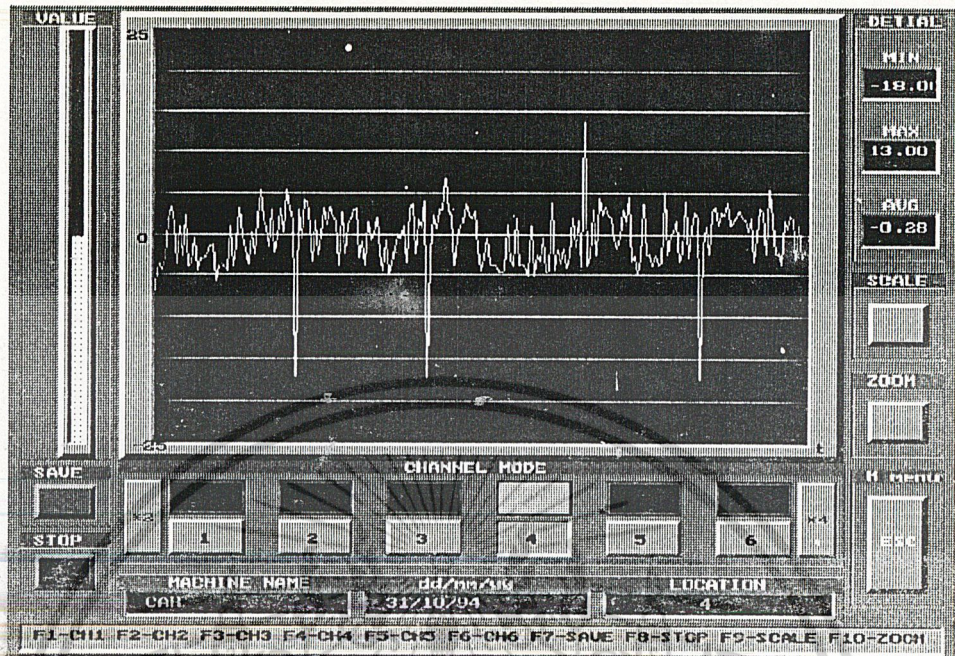


รูปที่ 4.14b แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Y1,CH2

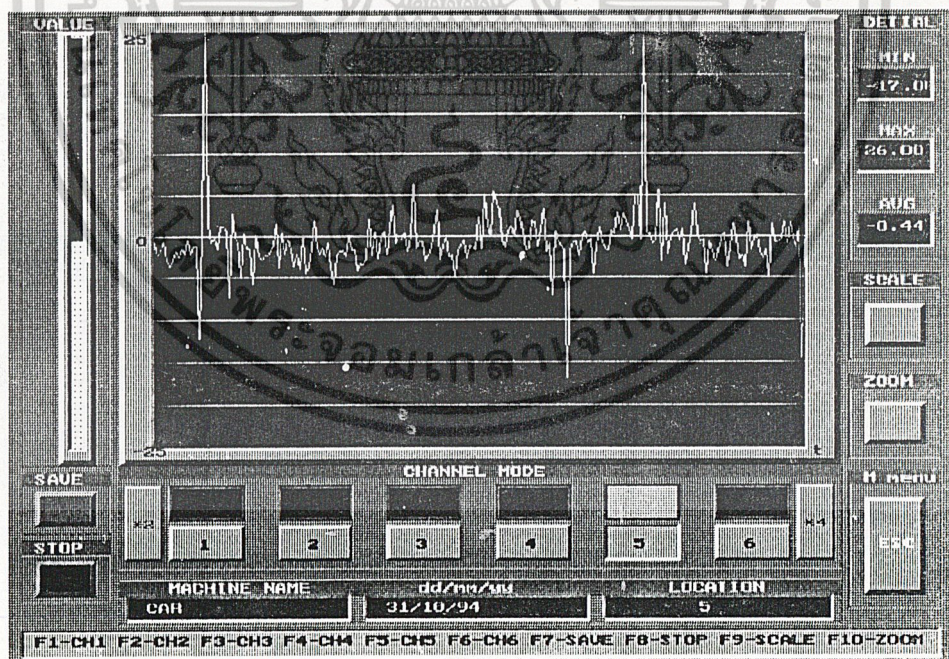


รูปที่ 4.14c แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง A แกน Z1,CH3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

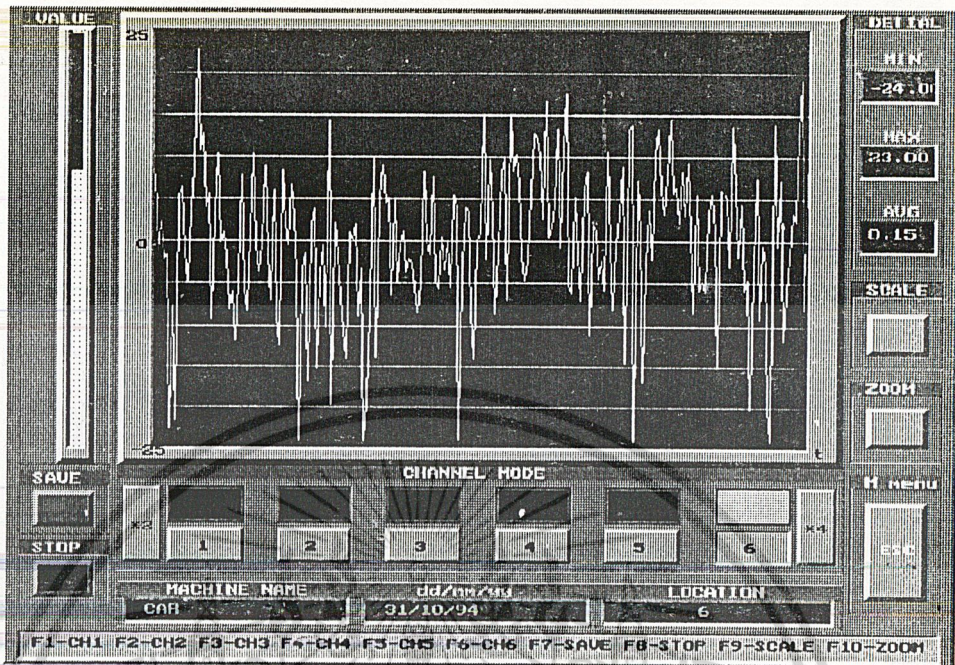


รูปที่ 4.14d แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน X2,CH4



รูปที่ 4.14e แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Y2,CH5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14f แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง B แกน Z2,CH6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

#### สรุปการทดลองที่ 1

จากกราฟแสดงการวัดการสั่นสะเทือนที่จุด A และ B ที่เครื่องจักรซึ่งเป็นปั๊มลมตัวเดียวกัน โดยที่จุด A และ B ติดตั้งต่างตำแหน่งกันบนเครื่องจักรตัวนี้ผลของการวัดซึ่งแสดงเป็นกราฟดังผลการทดลองในตอนที่ 1 นั้นระดับกราฟที่แสดงการสั่นสะเทือนของ  $X1, Y1, Z1, X2, Y2$  และ  $Z2$  มีค่าไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงพอสรุปได้ว่าเป็นเพราะทิศทางที่เกิดการสั่นสะเทือนต่างกัน ระดับการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางต่างกัน จึงทำให้ระดับความสั่นสะเทือนที่วัดได้มีค่าไม่เท่ากัน

#### สรุปการทดลองที่ 2

จากกราฟแสดงการวัดการสั่นสะเทือนที่จุด A และ B ของเครื่องจักรปั๊มลมตัวเดียวกันต่างตำแหน่ง โดยนำค่าระดับความสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับระหว่างแกน  $X1$  กับ  $X2, Y1$  กับ  $Y2, Z1$  กับ  $Z2$  ซึ่งจะได้ค่ากราฟระดับความสั่นสะเทือนที่ต่างกันทั้ง ๆ ที่แกนหรือทิศทางการวัดเหมือนกันแต่ต่างตำแหน่งการวัดเท่านั้น จึงพอสรุปได้ว่าหากมีการวัดที่เหมือนกันแต่ตำแหน่งการวัดคนละตำแหน่งระดับความสั่นสะเทือนที่วัดได้แตกต่างกัน

#### สรุปการทดลองที่ 3

กราฟแสดงการเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่จุด A และ B ที่เวลา  $T1$  กับ  $T2$  เป็นการวัดภายใต้การทำงานปกติ แต่เวลาต่างกันไม่มาก กราฟการสั่นสะเทือนจะมีค่าใกล้เคียงกันเพราะฉะนั้นการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรใดๆภายใต้การทำงานปกติ ค่าระดับการสั่นสะเทือนย่อมเท่ากัน ยกเว้นกรณีในช่วงเวลาการวัดมีระยะห่างยาวนานความสั่นสะเทือนอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากอายุการใช้งานของเครื่องจักร

#### สรุปการทดลองที่ 4

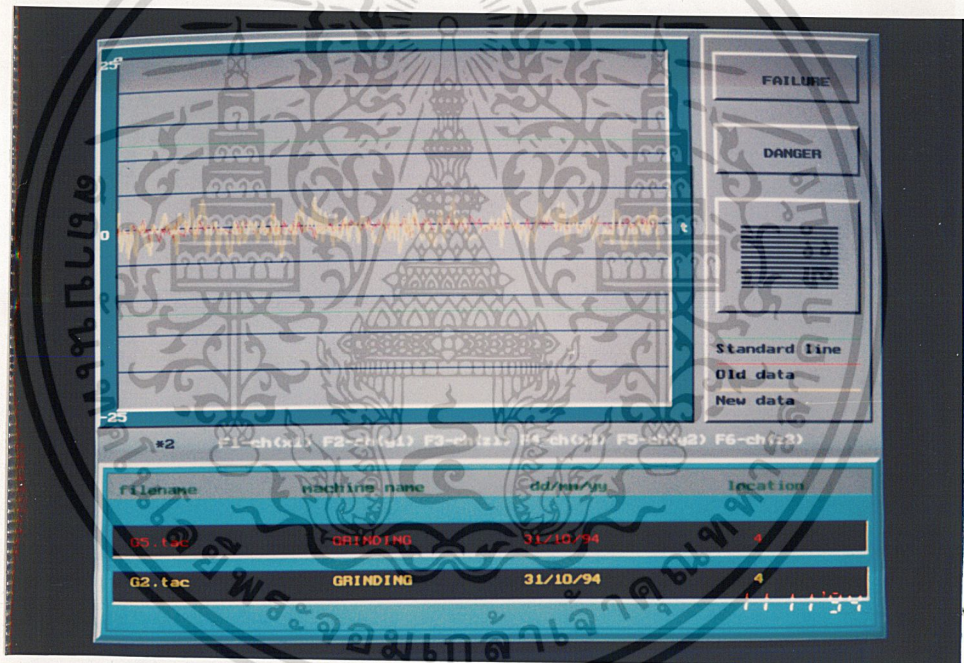
กราฟของการทดลองที่ 4.1 จะมีค่าระดับความสั่นสะเทือนน้อยเนื่องจากการวัดความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนที่มีสภาพใหม่

กราฟของการทดลองที่ 4.2 ค่าระดับความสั่นสะเทือนของ PiezoBEAM ตัวที่หนึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวที่สองเนื่องจาก PiezoBEAM ตัวที่หนึ่งทำการวัดความสั่นสะเทือนตลับลูกปืนที่มีสภาพดี ส่วน PiezoBEAM ตัวที่สองทำการวัดความสั่นสะเทือนตลับลูกปืนที่มีอายุการใช้งานมากแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟของการทดลองที่ 4.3 ค่าระดับความสั่นสะเทือนของ PiezoBEAM ตัวที่หนึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวที่สองโดยเห็นได้ชัดเจน เนื่องจาก PiezoBEAM ตัวที่หนึ่งทำการวัดความสั่นสะเทือนตลับลูกปืนที่มีสภาพดี ส่วน PiezoBEAM ตัวที่สองทำการวัดความสั่นสะเทือนตลับลูกปืนที่มีอาการผิดปกติ

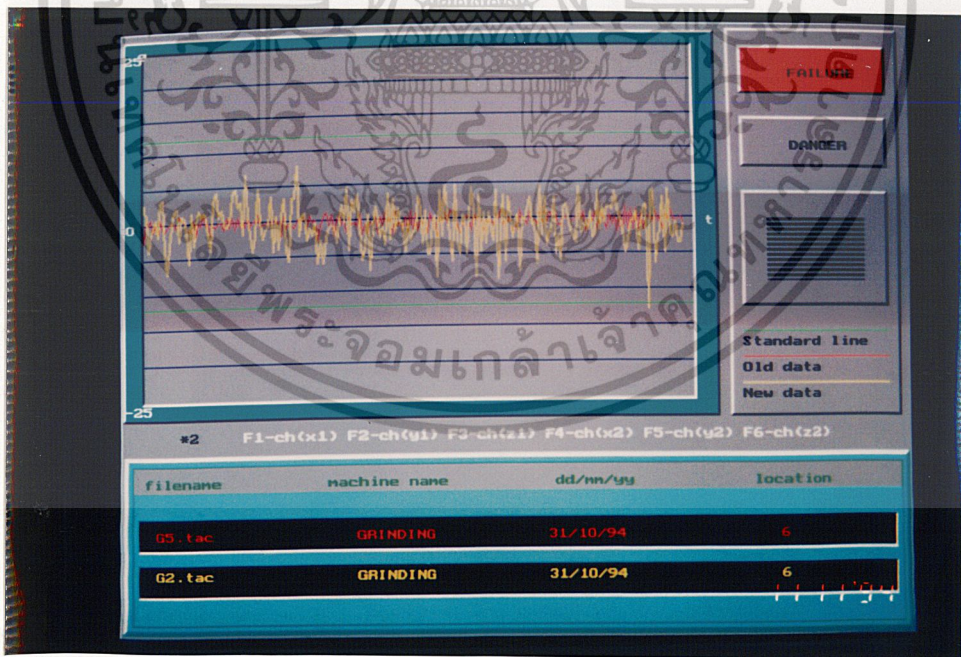
เพื่อให้เห็นการใช้งานชัดเจนควรใช้คำสั่งเปรียบเทียบผลการทดลองตอนที่ 4.1 กับ 4.3 ซึ่งสามารถเลือก range ของค่า  $g$  ได้ กำหนดจำนวนครั้งการเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ ถ้าเกิดเหตุการณ์ไม่เกินกว่าที่ตั้งไว้ PC ก็จะแสดงว่าควรจะทำการวางแผนซ่อมบำรุงรักษา แต่ถ้าจำนวนเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นสูงกว่าที่ตั้งค่าไว้ PC ก็จะแสดงว่าควรทำการซ่อมทันทีทันใดดังแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของ B แกน X2, CH4 ที่สภาวะตลับลูกปืนปกติคือไฟล์ g5.tac กับตลับลูกปืนมีอาการผิดปกติคือไฟล์ g2.tac



รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของ B แกน Y2, CH5 ที่สภาวะ  
 ตลับลูกปืนปกติคือไฟล์ g5.tac กับตลับลูกปืนมีอาการผิดปกติคือไฟล์ g2.tac



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบกราฟการสั่นสะเทือนของ B แกน Z2, CH6 ที่สภาวะ  
 ตลับลูกปืนปกติคือไฟล์ g5.tac กับตลับลูกปืนมีอาการผิดปกติคือไฟล์ g2.tac

หมายเหตุ รูปที่แสดงทำการขยาย 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปการทดลองที่ 5

กราฟการทดลองที่ 5.1 ค่าระดับความสั่นสะเทือนมีค่าไม่สูงมากนักเนื่องจากเครื่องยนต์ทำงานเพียงแค่สองสูบทำให้ความสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์มีค่าน้อยมากขณะเร่งความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm

กราฟการทดลองที่ 5.2 ค่าระดับความสั่นสะเทือนมีค่าสูงมากเนื่องจากเครื่องยนต์ทำงานครบทุกสูบทำให้ความสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์มีค่าสูงมากขณะทำการเร่งความเร็วรอบประมาณ 1500 rpm

### สรุปการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 5 ตอนพอจะสรุปการวัดความสั่นสะเทือนในโครงการนี้ดังนี้

1. ค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ทำการวัดในทิศทางที่เหมือนกัน แต่แตกต่างกันตำแหน่งการวัดกัน ค่าความสั่นสะเทือนจะแตกต่างกันยกเว้นกรณีที่เครื่องจักรบางเครื่องอาจจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก
2. ค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ทำการวัดในทิศทางที่ต่างกัน แม้จะทำการวัดในระดับเดียวกันหรือจุดเดียวกันค่าระดับความสั่นสะเทือนจะแตกต่างกัน
3. ค่าการวัดความสั่นสะเทือนในทิศทางที่เหมือนกันจุดการวัดเดียวกัน เวลาที่ทำการวัดแต่ละครั้งแตกต่างกันไม่มาก ค่าการวัดจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน
4. กราฟความสั่นสะเทือนที่ได้ต้องทำการเปรียบเทียบกันเพื่อให้เห็นความแตกต่าง กราฟการทดลองที่ 4.2 ,4.3 ต้องทำการเปรียบเทียบกับกราฟการทดลองที่ 4.1 เนื่องจากกราฟของการทดลองที่ 4.1 แสดงสภาพของตลับลูกปืนที่มีสภาพปกติ ส่วนกราฟของการทดลองที่ 4.2 แสดงสภาพของตลับลูกปืนที่มีอายุการใช้งาน ส่วนกราฟของการทดลองที่ 4.3 แสดงสภาพของตลับลูกปืนที่มีอาการผิดปกติ ทำการเปรียบเทียบทั้ง 6 channel เนื่องจากตลับลูกปืนข้างหนึ่งมีอาการผิดปกติหรือมีอายุการใช้งานจะส่งผลต่อความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนอีกด้านหนึ่งด้วย
5. กราฟความสั่นสะเทือนของการทดลองที่ 5 ทำการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่าง กราฟการทดลองที่ 5.1 เป็นการถอดปลั๊กหัวเทียนออกสองหัวเปรียบเทียบกราฟการทดลองที่ 5.2 เป็นการทำงานของเครื่องยนต์ครบทุกสูบ ทำให้เห็นความสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์แตกต่างกันขณะเร่งความเร็วรอบ
6. เครื่องจักรไม่มีความผิดปกติ ( ในโครงการนี้ใช้  $\pm 5,10$  g ) PC ก็จะไม่แสดงผลทางหน้าจอ แต่ถ้าค่านั้นเกินกว่าจะยอมรับได้คือมากกว่าหรือน้อยกว่า  $\pm 5,10$  g และจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติมีค่าน้อยกว่าจำนวนที่ตั้งค่าไว้ PC ก็จะแสดงผลทางหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราบว่ามีอาการผิดปกติกับเครื่องจักร ซึ่งจะต้องนำวางแผนการซ่อมบำรุงรักษา แต่จำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์มีค่ามากกว่าที่ตั้งไว้ก็ต้องทำการซ่อมบำรุงทันทีทันใด

#### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 1-5 จะเห็นได้ว่าโครงการนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะสามารถตรวจสอบสภาพปกติและผิดปกติของเครื่องจักร เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร ก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดการเสียหาย แต่โครงการนี้ยังใช้งานไม่ได้ดีกับเครื่องจักรที่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนสูง เช่นเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูงๆ เพราะการสุ่มค่าของโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์ เนื่องจากเวลาในการสุ่มค่า (Sampling time) ของส่วนฮาร์ดแวร์กับค่าที่เกิดขึ้นไม่สามารถทำงานให้พอดีกันได้ ดังนั้นค่าที่รับเข้ามาจึงมีความผิดพลาด เหตุนี้จึงต้องมีการพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์ต่อไปอีก โดยใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์คือ A to D ที่มีความเร็วในการทำงานมากกว่านี้ เพื่อให้สามารถรับค่าได้ถูกต้อง

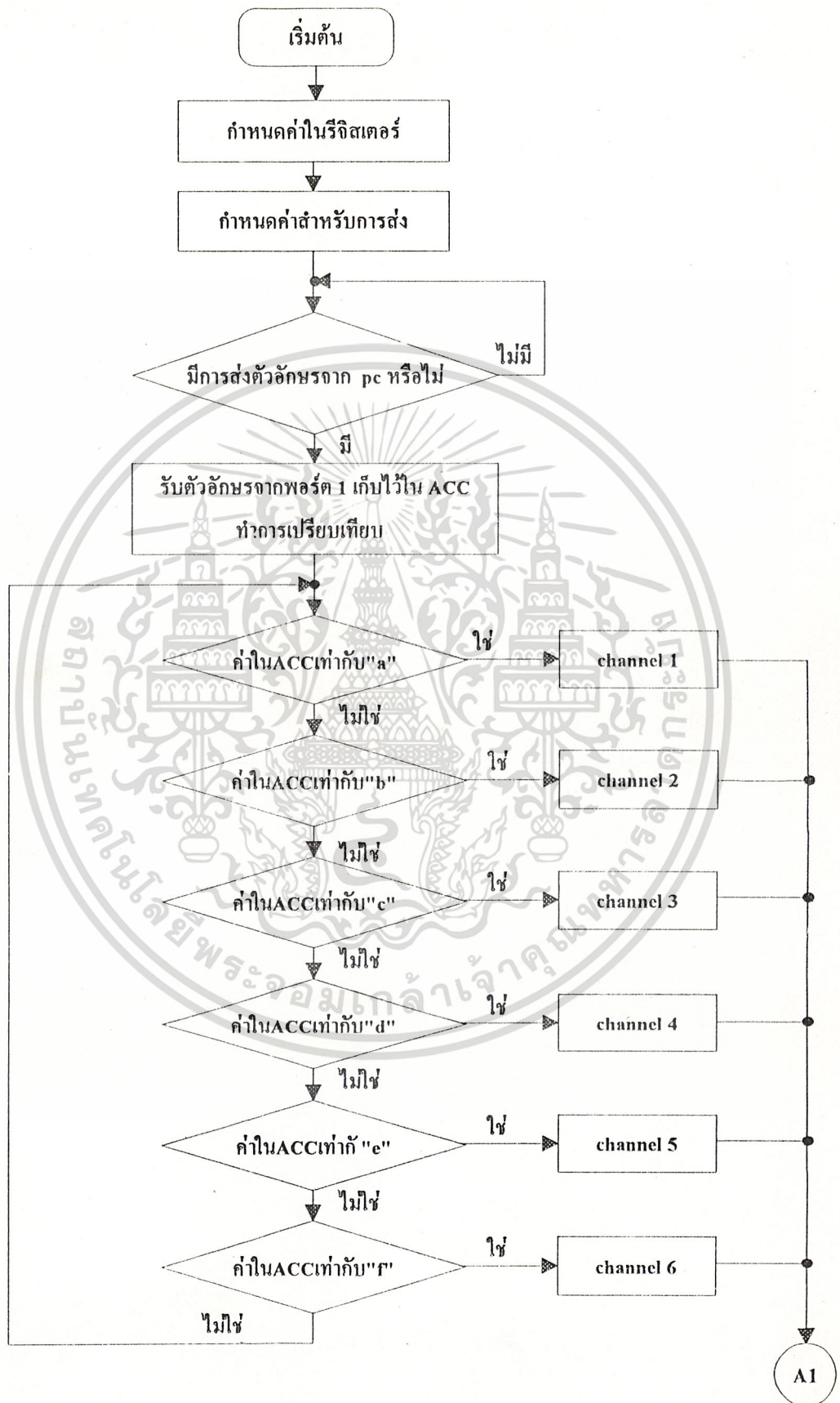


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



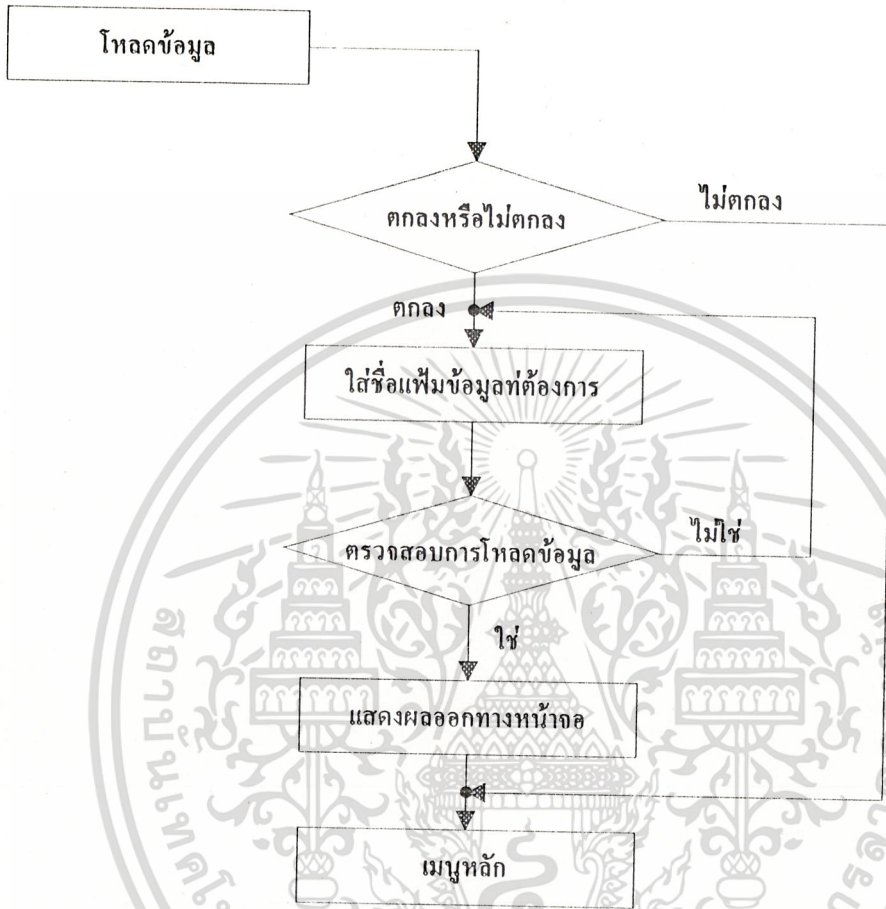
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



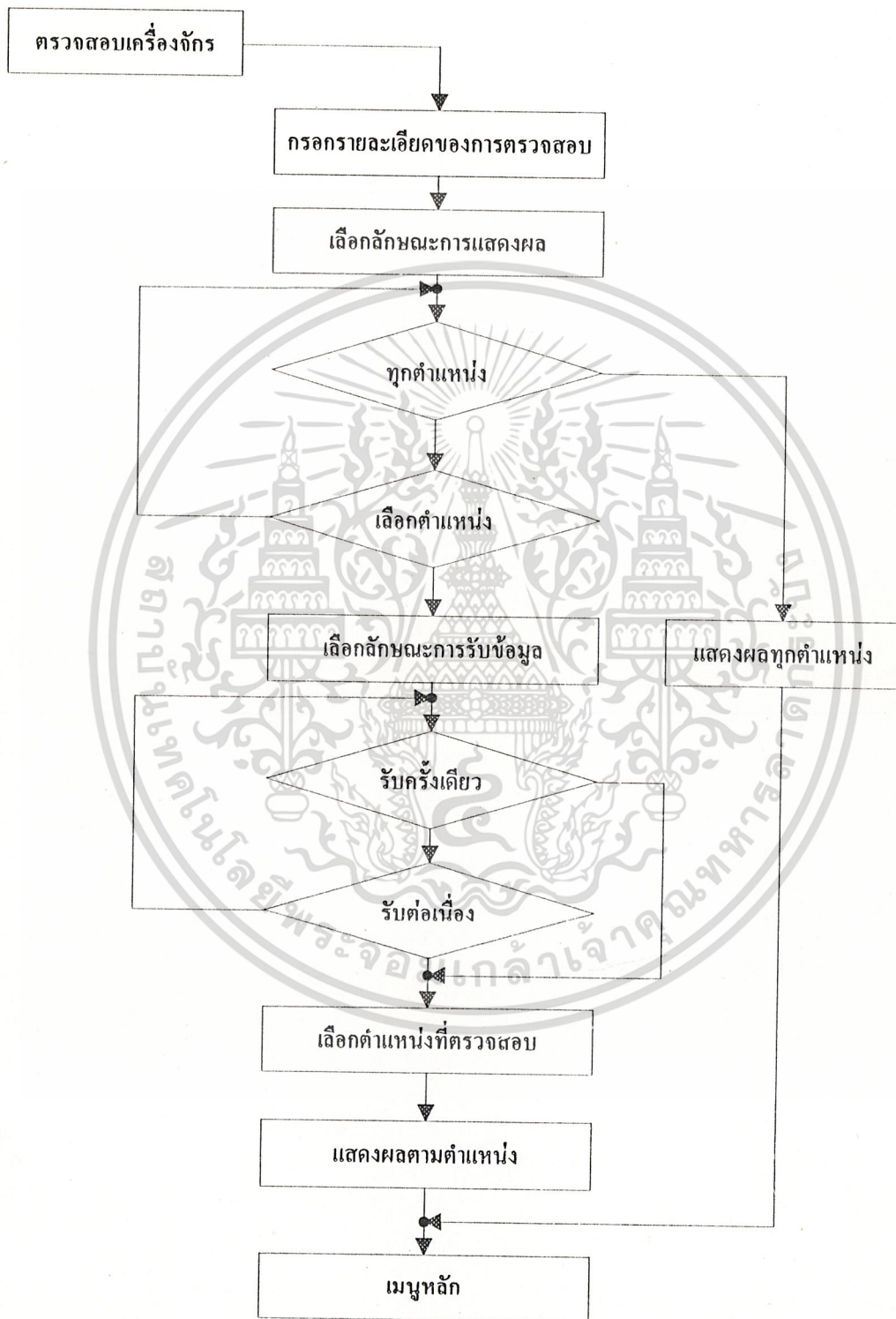
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



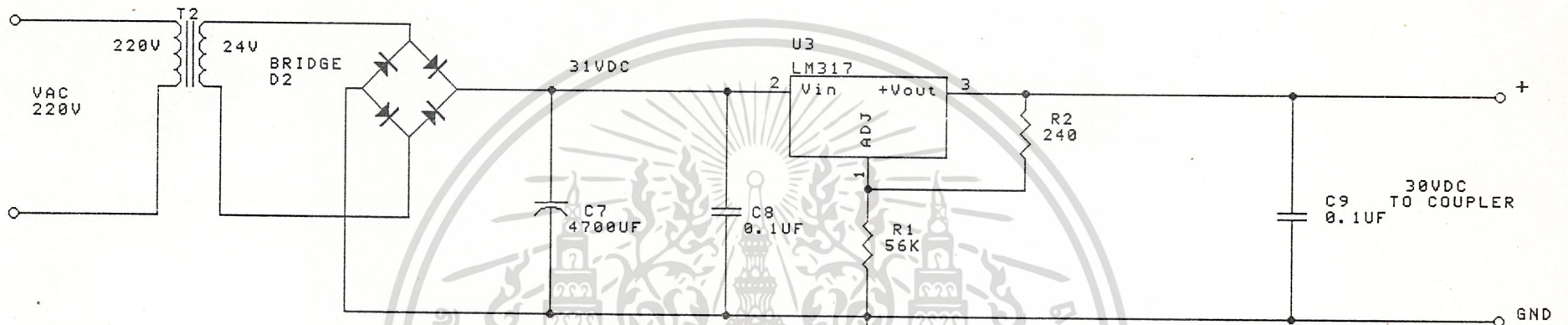
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



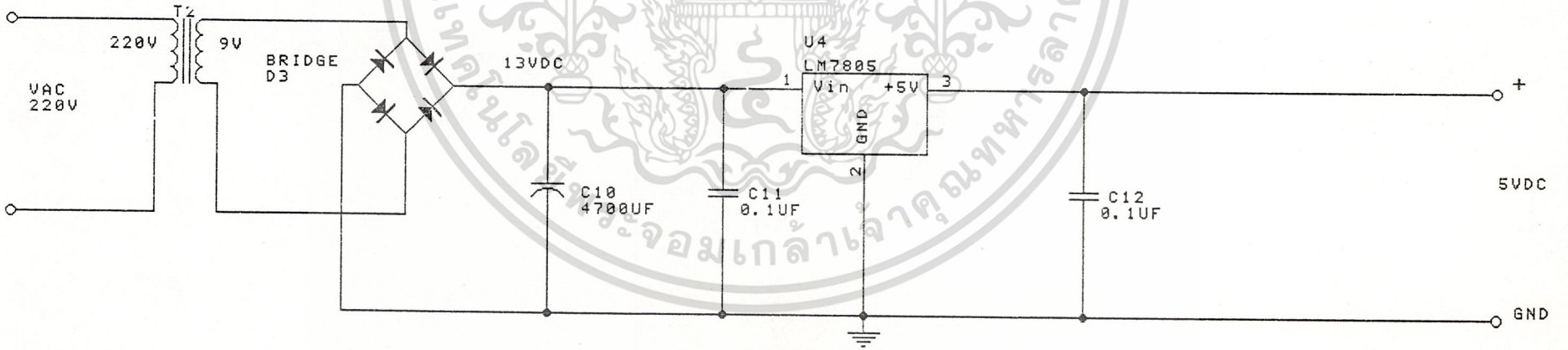
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



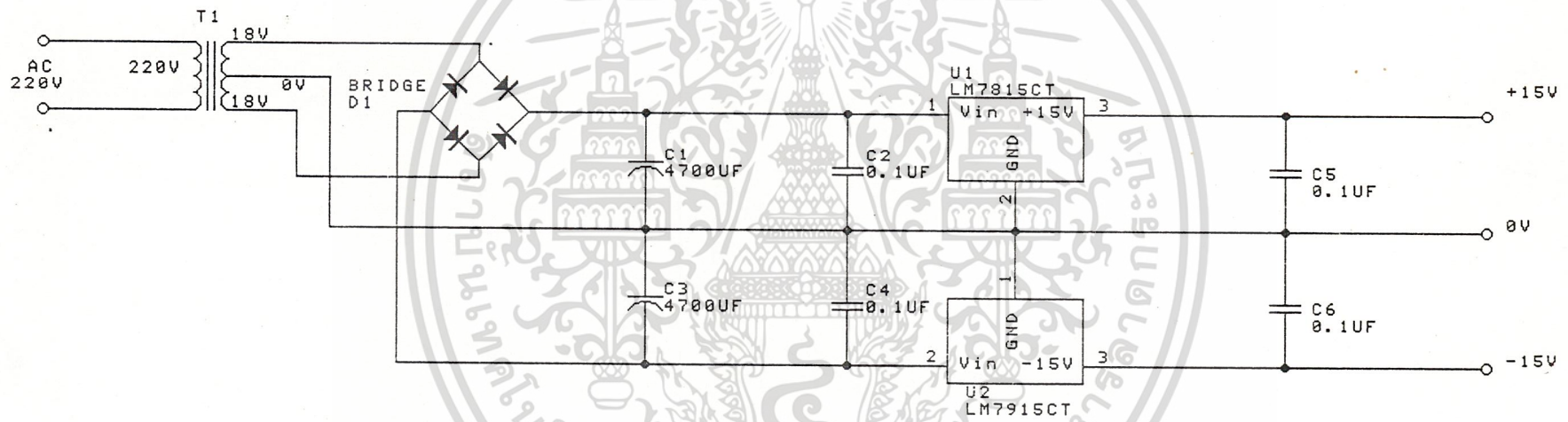
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



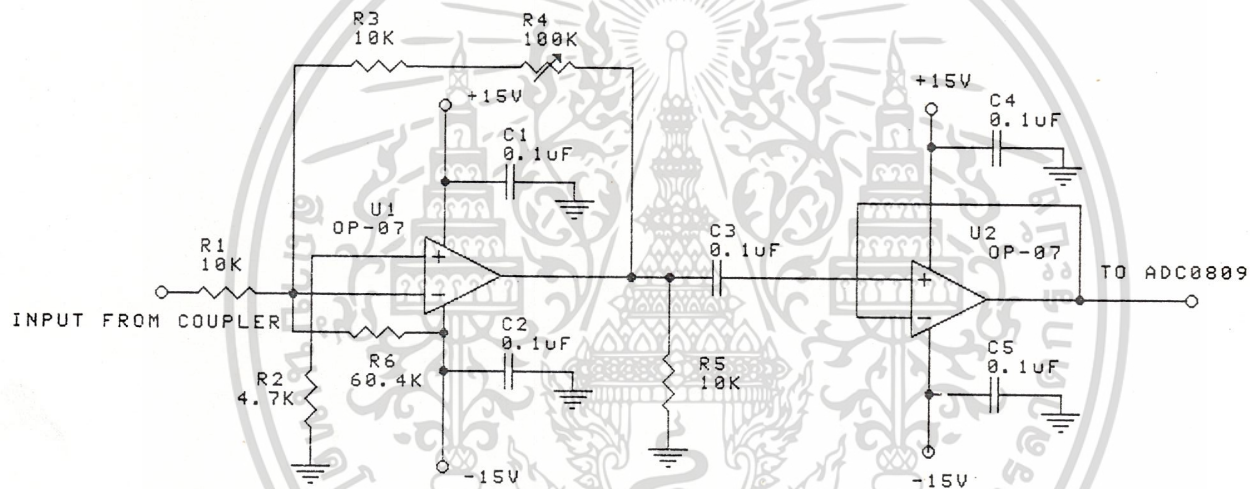
POWER SUPPLY 30V



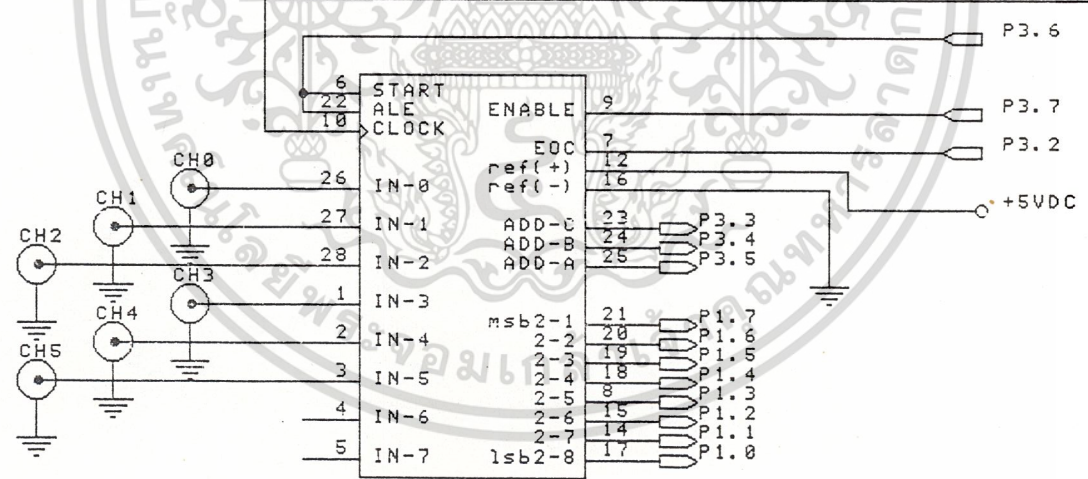
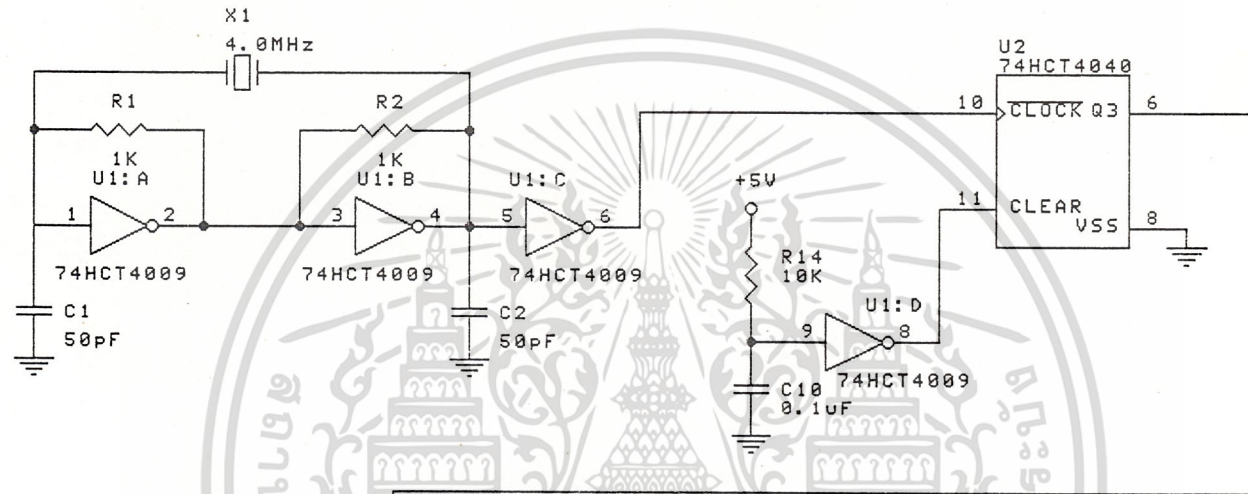
POWER SUPPLY 5V



POWER SUPPLY  $\pm 15V$

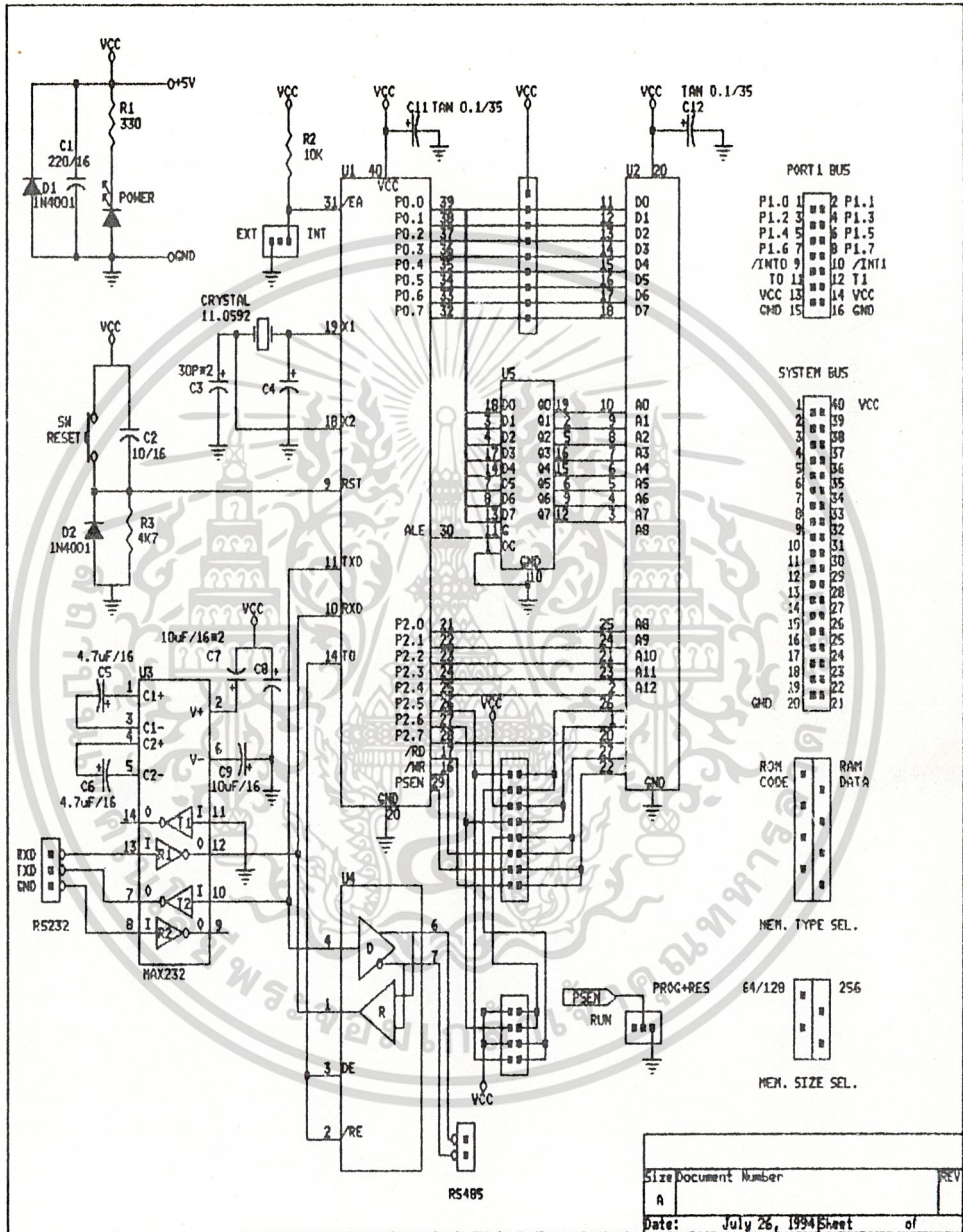


SIGNAL AMPLIFIER CIRCUIT FOR EACH CHANNEL



U3  
ADC0808

ANALOG TO DIGITAL CIRCUIT



รูปแสดง วงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nr. 8.8692 Ed. 8.90 P 1 ... 2  
 Type

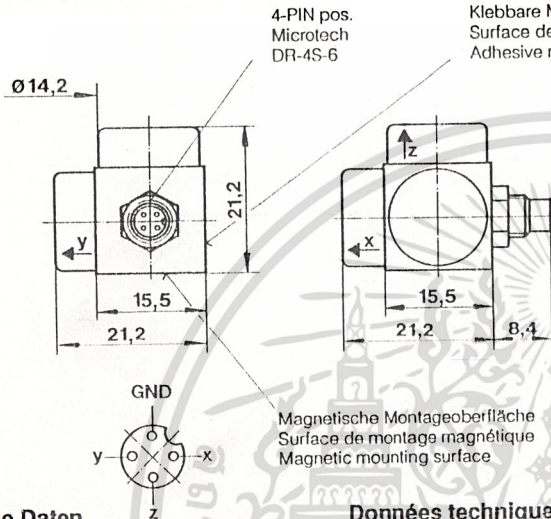
**PiezoBEAM®-Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer**  
**Accéléromètre PiezoBEAM® triaxial**  
**PiezoBEAM® Triaxial Accelerometer**

**8692B5, 8692B50**

Hochempfindlicher Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer mit eingebautem Ladungsverstärker und niederohmigem Spannungsausgang. Haupteinsatzgebiet ist die mehrkanalige Modalanalyse. Trotz leichter Bauweise (15 g) hohe Empfindlichkeit (100, 1000 mV/g). Der masselosierte Aufnehmer wird direkt auf das Messobjekt aufgeklebt. Kompatibel zu allen im Programm stehenden Kupplern.

Accéléromètre triaxial avec sensibilité élevée, amplificateur de charge intégré et tension de sortie à basse impédance. Utilisation principale en analyse modale. Sensibilité élevée (100, 1000 mV/g), malgré construction légère (15 g). Le capteur isolé par rapport à la masse est collé directement sur l'objet à mesurer. Compatible avec tous les coupleurs disponibles.

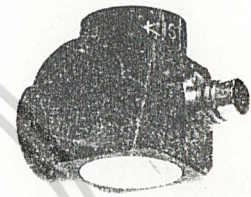
Triaxial accelerometer with high sensitivity, built-in charge amplifier and low-impedance voltage output. Main application field is modal analysis. High sensitivity (100, 1000 mV/g) despite lightweight construction (15 g). The ground insulated transducer is glued directly onto the object to be measured. Compatible with all couplers available in the program.



Klebbare Montageoberfläche  
 Surface de montage adhésive  
 Adhesive mounting surface

4-PIN pos.  
 Microtech  
 DR-4S-6

Magnetische Montageoberfläche  
 Surface de montage magnétique  
 Magnetic mounting surface



1 : 1

**Technische Daten**

**Données techniques**

**Technical Data**

Typ	Type	Type		8692B5	8692B50
<b>Bereich</b>	<b>Gamme</b>	<b>Range</b>	g	±5	±50
<b>Überlast</b> Vibration Schock (≤0,2 ms)	<b>Surcharge</b> Vibration Choc (≤0,2 ms)	<b>Overload</b> Vibration Shock (≤0,2 ms)	g g	±8 7000	±80 10 000
<b>Empfindlichkeit</b> ±5 % bei 100 Hz, 3 g <sub>rms</sub>	<b>Sensibilité</b> ±5 % à 100 Hz, 3 g <sub>rms</sub>	<b>Sensitivity</b> ±5 % at 100 Hz, 3 g <sub>rms</sub>	mV/g	1000	100
<b>Ansprechschwelle, nom.</b>	<b>Seuil de réponse, nom.</b>	<b>Threshold, nom.</b>	μg <sub>rms</sub>	120	1000
<b>Linearität, nom.</b>	<b>Linéarité, nom.</b>	<b>Linearity, nom.</b>	%	±1	±1
<b>Zeitkonstante, nom.</b>	<b>Constante de temps, nom.</b>	<b>Time constant, nom.</b>	s	1	1
<b>Resonanzfrequenz (montiert)</b>	<b>Fréquence de résonance (monté)</b>	<b>Resonant frequency (mounted)</b>	kHz	≈9	≈22
<b>Frequenzbereich (±5 %)</b>	<b>Gamme de fréquence (±5 %)</b>	<b>Frequency range (±5 %)</b>	Hz	0,5 ... 2 k	0,5 ... 5 k
<b>Phasenverschiebung</b> 4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	<b>Déphasage</b> 4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	<b>Phase shift</b> 4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	∠°	<5	(<5)
<b>Seltenempfindlichkeit</b>	<b>Sensibilité latérale</b>	<b>Transverse sensitivity</b>	%	≤1	≤1
<b>Basisdehnungsempfindlichkeit</b> bei 250 με	<b>Sensibilité de sollicitation à l'extension</b> à 250 με	<b>Base strain sensitivity</b> at 250 με	g/με	<0,001	<0,001
<b>Betriebstemperaturbereich</b>	<b>Gamme de température d'utilisation</b>	<b>Operating temperature range</b>	°C	0 ... 65	0 ... 65
<b>Lagerungstemperaturbereich</b>	<b>Gamme de température de stockage</b>	<b>Storage temperature range</b>	°C	-23 ... 93	-23 ... 93
<b>Temperaturkoeffizient</b> der Empfindlichkeit	<b>Coefficient de température</b> de la sensibilité	<b>Temperature coefficient</b> of sensitivity	%/°C	-0,01	+0,02
<b>Speisestrom</b>	<b>Courant d'alimentation</b>	<b>Supply current</b>	mA	2 ... 18	2 ... 18
<b>Speisespannung</b>	<b>Tension d'alimentation</b>	<b>Supply voltage</b>	VDC	20 ... 30	20 ... 30
<b>Ausgangsruhespannung</b>	<b>Tension de repos</b>	<b>Output bias voltage</b>	VDC	11 ±3	11 ±3
<b>Ausgangs impedanz</b>	<b>Impédance de sortie</b>	<b>Output impedance</b>	Ω	<500	<100
<b>Eingangs impedanz</b>	<b>Impédance d'entrée</b>	<b>Input impedance</b>	kΩ	>100	>100
<b>Ausgangsspannung, Vollbereich</b>	<b>Tension de sortie, pleine gamme</b>	<b>Output voltage, full scale</b>	V	±5	±5
<b>Ausgangsstrom</b> bei 4 mA-Speisung	<b>Courant de sortie</b> avec alimentation 4 mA	<b>Output current</b> at 4 mA supply	mA	2	2
<b>Empfindlichkeitsänderung</b> in Abhängigkeit des Speisestroms, 2 ... 8 mA, typ.	<b>Changement de la sensibilité</b> en fonction du courant d'alimentation, 2 ... 8 mA, typ.	<b>Sensitivity change</b> in function of the supply current, 2 ... 8 mA, typ.	%	±1	±1
<b>Masse</b>	<b>Masse</b>	<b>Mass</b>	g	14,5	14,5
<b>Masselösung</b>	<b>Isolation par rapport à la masse</b>	<b>Ground insulation</b>	MΩ	10	10
<b>Gehäusewerkstoff</b>	<b>Matériau du boîtier</b>	<b>Housing material</b>	Aluminium, hard anodized		
<b>Magnetische Haltekraft, nom.</b>	<b>Force retenante magnétique, nom.</b>	<b>Magnetic holding force, nom.</b>	N	12,2	12,2

1 g = 9,80665 m · s<sup>-2</sup>; 1 m · s<sup>-2</sup> = 0,1019... g; 1 inch = 25,4 mm; 1 Nm = 0,73756... lbf·ft; 1 g = 0,03527... oz

**Beschreibung**

Der PiezoBEAM®-Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer besteht im wesentlichen aus dem Aufnehmergehäuse aus hart eloxiertem Aluminium, einem piezoelektrischen Messelement und einem eingebauten Ladungsverstärker.

Am Ausgang des hochempfindlichen Aufnehmers steht wie bei allen Piezotron®-Beschleunigungsaufnehmern ein niederohmiges Spannungssignal zur Verfügung, das proportional zur Beschleunigung ist.

Für die Speisung und Signalaufbereitung können alle im Programm befindlichen Kuppler verwendet werden.

**Anwendung**

Wegen seines leichten Gewichts, seinen kleinen Abmessungen und seiner hohen Empfindlichkeit eignet sich der PiezoBEAM®-Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer besonders gut für Vibrations- und Schwingungsuntersuchungen an Strukturen sowie für die Modalanalyse.

**Montage**

Es sind zwei Montagearten möglich:

- Mit dem internen Magneten
- Klebmontage mittels Petro-Wachs

**Zubehör**

- Petro-Wachs: Typ 8432
- Verteilerkabel: Typ 1576  
4-Pol-Stecker – 3 x BNC pos., l = 0,2 m
- Verbindungskabel: Typ 1592  
4-Pol-Kupplung – 4-Pol-Kupplung, l = 2 m

**Description**

L'accéléromètre PiezoBEAM® triaxial est composé principalement du boîtier en aluminium anodisé dur, de l'élément de mesure piézo-électrique et d'un amplificateur de charge incorporé.

Tout comme pour les accéléromètres à Piezotron®, un signal de tension à basse impédance, proportionnel à l'accélération, est disponible à la sortie de cet accéléromètre très sensible.

Tous les coupleurs du programme peuvent être utilisés pour l'alimentation et le traitement des signaux.

**Application**

A cause de son poids réduit, de ses dimensions réduites et de sa sensibilité élevée, l'accéléromètre PiezoBEAM® triaxial est tout spécialement recommandé pour investigations de vibrations et d'oscillations dans structures mécaniques ainsi que pour l'analyse modale.

**Montage**

Deux méthodes de montage sont possibles:

- Montage à l'aide de l'aimant incorporé
- Collage avec Petrowax

**Accessoires**

- Cire Petrowax: type 8432
- Câble de distribution: type 1576  
connecteur à 4 poles – 3 x BNC pos., l = 0,2 m
- Câble de connexion: type 1592  
prise à 4 pôles – prise à 4 pôles, l = 2 m

**Description**

The PiezoBEAM® triaxial accelerometer consists of the transducer housing made of hard anodized aluminium, a piezoelectric measuring element and a built-in charge amplifier.

As with all Piezotron® accelerometers, a low-impedance voltage signal, proportional to the applied acceleration, is available at the output of this highly sensitive accelerometer.

All couplers available in the program can be used for power supply and signal processing.

**Application**

Because of its low weight, low profile and high sensitivity, the PiezoBEAM® triaxial accelerometer is especially well suited for investigations of vibrations and oscillations in mechanical structures as well as for modal analysis.

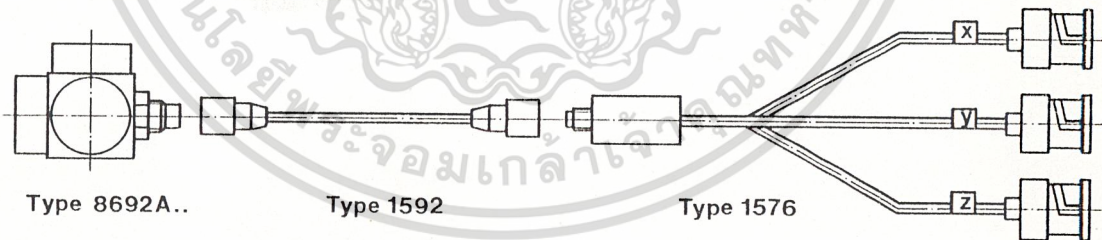
**Mounting**

Two mounting methods are possible:

- Mounting with built-in magnet
- Adhesive mounting with Petro wax.

**Accessories**

- Petro wax: Type 8432
- Interconnect cable: Type 1576  
4-pin jack – 3 x BNC pos., l = 0,2 m
- Connecting cable: Type 1592  
4-pin jack ... 4-pin jack, l = 2 m



PIEZOTRON-KUPPLER  
COUPLEURS PIEZOTRON  
PIEZOTRON COUPLERS

Nr. 12.021 Ed. 12.82 P. 1...4  
Type

5108, 5112, 5116, 5120

Kuppler zur Speisung von Piezotron-Aufnehmern mit Konstantstrom und zur Signalaufbereitung (Zweileiter-System). Vier Typen für verschiedene Anforderungen. Ausführungen für externe Speisung, Batterie- und Netzspeisung, sowie mit Filtern und einstellbarer Verstärkung. Möglichkeit zur Überwachung des Aufnehmerstromkreises.

Piezotron® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Kistler Instrumente AG, Winterthur.

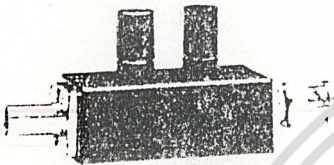
Coupleurs pour l'alimentation de capteurs Piézo-tron avec un courant constant et pour la conversion du signal (système à deux conducteurs). Quatre modèles pour des exigences différentes sont disponibles. Il existe des coupleurs pour une alimentation extérieure, une alimentation assurée par les batteries ou par le réseau ainsi qu'avec des filtres et un amplificateur réglable. Possibilité de surveillance du circuit du capteur.

Piezotron® est une marque déposée de Kistler Instrumente AG, Winterthur.

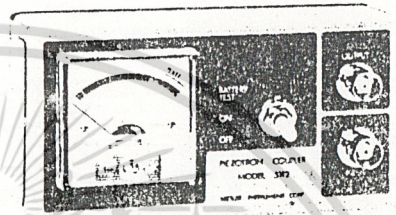
Piezotron couplers serve to power Piezotron transducers with a constant current and perform signal conditioning (two-wire system). Piezotron couplers come in four models to meet a wide range of requirements. They are either externally, battery or mains powered, incorporate plug-in filters (depending on model) and an adjustable amplifier feature. Monitoring of the transducer power circuit is also possible.

Piezotron® is the registered trademark of Kistler Instrumente AG, Winterthur.

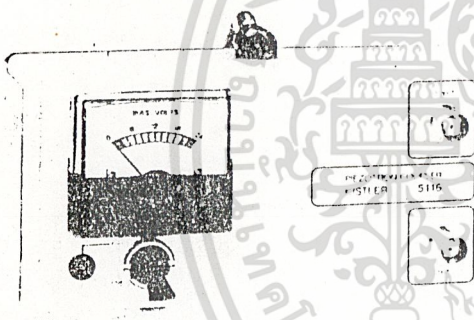
Type 5108



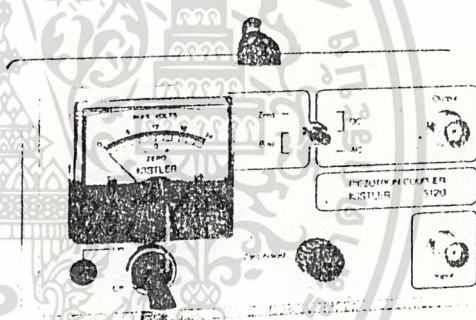
Type 5112



Type 5116



Type 5120



TECHNISCHE DATEN

DONNEES TECHNIQUES

TECHNICAL DATA

	Speisestrom Ccurrent Current	Verstärkung Gain Gain	Frequenzbereich (±5%) Gamme de fréquence (±5%) Frequency range (±5%)	Filter Filtre Filter	Ausgangs- impedanz Impédance de sortie Output impedance	Spannungs- versorgung Alimentation Power supply	Abmessungen Dimensions Dimensions	Masse Masse Mass
Type	mA	-	Hz...kHz	-	Ω	V	mm	g
5108	4	1	0,07... >200	-	100 b)	24...32 = c)	100 × 45 × 30	65
5112	2	1	0,07... >200	-	100 bi)	3 × 9V = d)	120 × 65 × 55	300
5116	2...18	1	0,07...200 a)	a)	20	220/110 ≈	150 × 75 × 85	585
5120	2...18	0,5...5	0...180 a)	a)	20	220/110 ≈	150 × 75 × 85	525

Betriebstemperaturbereich °C 0...50

a) ohne Filter, für Filter siehe «ZUBEHÖR»

b) in Serie mit 47 μF

c) durch externe Spannungsquelle

d) Typ IEC 6F22 (Transistorbatterie)

Température d'utilisation °C 0...50

a) sans filtre, pour filtres voir «ACCESSOIRES»

b) en série avec 47 μF

c) alimentation externe

d) type IEC 6F22 (pile transistor)

Operating temperature range °C 0...50

a) without filter, for filters see «ACCESSORIES»

b) in series with 47 μF

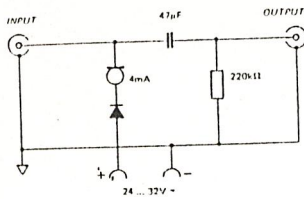
c) external power supply

d) type IEC 6F22 (transistor battery)

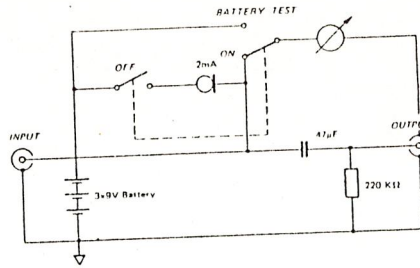
Kistler Instrumente AG, CH-8408 Winterthur, Switzerland, Tel. (052) 83 11 11 Kistler Instrument Corp., Amherst NY 14120, USA, Phone (716) 691-5100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

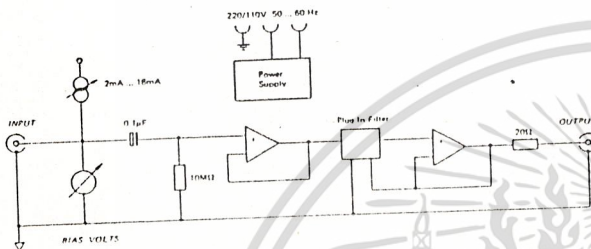
## Type 5108



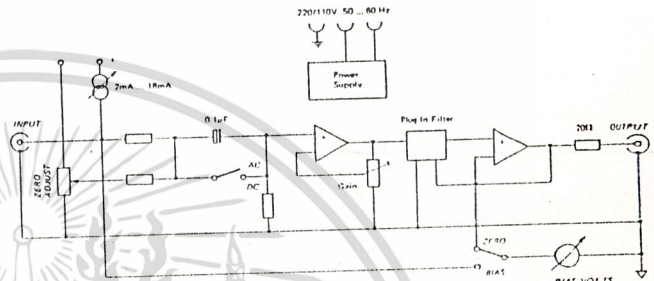
## Type 5112



## Type 5116



## Type 5120



## KUPPLER TYP 5108

Dieser Kuppler benötigt eine externe Speisung, die nicht stabilisiert zu werden braucht, d.h. es können z.B. einfache Netzteile oder Fahrzeugbatterien eingesetzt werden. Der Kuppler ist mit einem Verpolschutz ausgestattet.

Das Instrument kann dank seiner geringen Abmessungen direkt auf ein Anzeigergerät, z.B. ein Oszilloskop aufgesteckt werden. Da Wechselspannungskopplung verwendet wird, ist die Aufnehmerspannung dem Ausgangssignal nicht überlagert.

## KUPPLER TYP 5112

Für die Speisung dieses Kupplers werden drei 9V-Batterien benötigt. Um deren Lebensdauer zu vergrößern, wird ein Speisestrom von nur 2mA verwendet. Mit dem eingebauten Zeigerinstrument kann der Aufnehmerkreis auf Kurzschluss und Unterbrechung überwacht sowie ein Batterietest durchgeführt werden. Da Wechselspannungskopplung verwendet wird, ist die Aufnehmerspannung dem Ausgangssignal nicht überlagert.

## KUPPLER TYP 5116

Dieser Kuppler ist netzgespeist, verfügt über eine einstellbare Konstantstromquelle und kann mit verschiedenen Filtern ausgerüstet werden. Mit dem eingebauten Zeigerinstrument kann der Aufnehmerkreis auf Kurzschluss und Unterbrechung überwacht werden. Da Wechselspannungskopplung verwendet wird, ist die Aufnehmerspannung dem Ausgangssignal nicht überlagert.

## KUPPLER TYP 5120

Dieser Kuppler entspricht in seinen Eigenschaften dem Typ 5116, bietet jedoch folgende Vorteile: Der Typ 5120 kann sowohl mit Wechsel- als auch mit Gleichspannungskopplung betrieben werden, was besonders für Aufnehmer mit langer Zeitkonstante geeignet ist. Der Nullpunkt ist dabei zwischen  $\pm 2,5V$  einstellbar. Zusätzlich ist die Verstärkung des Kupplers zwischen 0,5 und 5 einstellbar.

## COUPLEUR TYPE 5108

Ce coupleur requiert une alimentation extérieure qui peut être non stabilisée: il peut s'agir, par exemple, de simple alimentations électriques ou de batteries de voiture. Le coupleur est muni d'une sécurité contre l'inversion des pôles.

Grâce à ses dimensions compactes, l'instrument peut être monté directement sur un indicateur, par exemple sur un oscilloscope. Comme le couplage s'effectue avec une tension alternative, la tension de repos du capteur ne se superpose pas au signal de sortie.

## COUPLEUR TYPE 5112

L'alimentation de ce coupleur requiert trois batteries de 9V. Pour prolonger leur durée, un courant électrique de seulement 2mA est utilisé. L'affichage incorporé permet de surveiller tout court-circuit et toute interruption dans le circuit du capteur et de contrôler la batterie. Comme le couplage s'effectue avec une tension alternative, la tension de repos du capteur ne se superpose pas au signal de sortie.

## COUPLEUR TYPE 5116

Ce coupleur est alimenté par le réseau, dispose d'une source de courant constant réglable et peut être muni de différents filtres. L'affichage incorporé permet de surveiller tout court-circuit et toute interruption dans le circuit du capteur. Comme le couplage s'effectue avec une tension alternative, la tension de repos du capteur ne se superpose pas au signal de sortie.

## COUPLEUR TYPE 5120

Ce coupleur possède les mêmes qualités que le type 5116 mais présente les avantages suivants: le type 5120 fonctionne avec un couplage par tension alternative ou par tension continue, ce qui convient surtout aux capteurs à longue constante de temps. La position zéro est réglable entre  $\pm 2,5V$ . En outre, l'amplification du coupleur est réglable entre 0,5 et 5.

## COUPLER MODEL 5108

Power for this coupler is derived externally and does not need stabilising, i.e. it can be supplied by car batteries or from the mains, for example. Internal protection is provided to prevent damage due to false polarity connections.

The instrument's small size and compact shape permit easy, direct attachment to indicating instruments, eg. an oscilloscope. The Type 5108 is AC coupled, thereby eliminating the transducer bias voltage from the measured signal.

## COUPLER MODEL 5112

Three 9-volt batteries power this coupler. To extend the life of the batteries, the coupler operates at a current of only 2 mA. A pointer meter is incorporated in the coupler, indicating the integrity of the transducer circuit and the battery condition. The Type 5112 is AC coupled, thereby eliminating the transducer bias voltage from the measured signal.

## COUPLER MODEL 5116

The Type 5116 coupler is a line powered coupler equipped with an adjustable constant current source and may be equipped with various filters. A pointer meter is incorporated in the coupler, indicating the integrity of the transducer circuit. The Type 5116 is AC coupled, thereby eliminating the transducer bias voltage from the measured signal.

## COUPLER MODEL 5120

The Type 5120 coupler incorporates all the features of the Type 5116, and offers the following advantages: The Type 5120 can be either AC or DC coupled, which is particularly suitable for transducers with a long time constant. The zero point is adjustable between  $\pm 2,5V$ . Furthermore, the coupler's amplification can be set between 0,5 and 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FUNKTIONSBESCHREIBUNG

Alle Kuppler besitzen Stromquellen. Diese ist bei den Typen 5116 und 5120 einstellbar. Der Strom dient der Energieversorgung des Impedanzwandlers im Piezotron-Aufnehmer. Dieser ist über ein gewöhnliches, zweiadriges Kabel anschliessbar, über welches auch das Messsignal zum Kuppler gelangt (Zweileiter-System).

Die wechsellspannungsgekoppelten Typen 5108, 5112 und 5116 entfernen den meist unerwünschten Gleichspannungsanteil des Messsignals, der von der Gleichstromversorgung des Aufnehmers stammt. Der Typ 5120 lässt sowohl Gleich- als auch Wechsellspannungskopplung zu.

Wechsellspannungskopplung (AC) wird für dynamische Messungen verwendet, Gleichspannungskopplung (DC) erlaubt eine quasistatische Kalibrierung einiger Piezotron-Aufnehmer.

Die Typen 5116 und 5120 können mit Tiefpassfiltern ausgestattet werden, siehe «ZUBEHÖR».

## BETRIEB

Den Kuppler mit Betriebsenergie versorgen, siehe «TECHNISCHE DATEN». Die netzgespeisten Kuppler sind auf die auf der Unterseite angegebene Spannung eingestellt. Zur Umstellung dieser Spannung sowie zum Sicherungsaustausch ist das Gerät von der Unterseite her zu öffnen (Achtung: spannungsführende Teile).

Anschluss des Piezotron-Aufnehmers an die Buchse *Input* mit beliebigem Kabel, z.B. Typ 1761A..., siehe «ZUBEHÖR». Hochisolierende und rauscharme Kabel sind nicht notwendig.

Anschluss eines Verbindungskabels zwischen der Buchse *Output* und einem Anzeige- oder Registriergerät, z.B. mit dem Kabel Typ 1601B... Der Typ 5108 kann direkt auf ein Anzeigegerät gesteckt werden. Soll an diesen Kuppler dennoch ein Kabel angeschlossen werden, kann dafür z.B. das Kabel Typ 1603B... verwendet werden.

Beim Typ 5120 kann der Nullpunkt des Ausgangssignals mit dem Potentiometer *Zero Adjust* eingestellt und in der Stellung *Zero* des Schalters angezeigt werden.

## EINGANGSKREISÜBERWACHUNG

Die Eingangskreisüberwachung erfolgt durch Messen des Gleichspannungsanteils des Aufnehmersignals durch ein Voltmeter. Wird der Typ 5108 verwendet, muss ein Voltmeter dem Aufnehmer parallel geschaltet werden. Bei den restlichen Kupplern kann das eingebaute Instrument verwendet werden. Beim Typ 5120 ist auf *Bias* zu schalten.

Eine Anzeige zwischen 0 und 3V bzw. über 20V (rote Felder) bedeutet Kurzschluss bzw. Unterbrechung des Aufnehmerkreises, eine Anzeige zwischen 3 und 20V (grünes Feld) bedeutet normalen Betrieb.

## KOPPLUNG

Die Typen 5108, 5112 und 5116 sind wechsellspannungsgekoppelt (AC). Der Typ 5120 ist je nach Stellung des Schalters wechsellspannungs- bzw. gleichspannungsgekoppelt AC bzw. DC.

## EINSTELLUNG DER VERSTÄRKUNG

Die Kuppler Typ 5108, 5112 und 5116 haben die fixe Verstärkung 1. Der Typ 5120 ist werkseitig ebenfalls auf Verstärkung 1 eingestellt, doch kann diese im Bereich 0,5...5 geändert werden. Dazu ist die Rückwand abzunehmen (Achtung: spannungsführende Teile) und das sich ganz links oben befindliche Potentiometer zu justieren. Zur Bestimmung der Verstärkung wird ein Generator 1V/1000 Hz an den Eingang *Input* angeschlossen und die Spannung am Ausgang *Output* gemessen.

## DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

Tous les coupleurs possèdent une source de courant. Pour les types 5116 et 5120, elle est réglable. Le courant sert à l'alimentation énergétique du convertisseur d'impédance dans le capteur Piézotron. Celui-ci peut être raccordé à un câble ordinaire à deux conducteurs par lequel le signal parvient aussi au coupleur (système à deux conducteurs).

Les coupleurs types 5108, 5112 et 5116 avec un couplage par tension alternative suppriment la tension continue du signal qui provient de l'alimentation en courant continu du capteur. Le coupleur type 5120 permet un couplage par tension continue ou par tension alternative.

Le couplage par tension alternative (AC) est utilisé pour les mesures dynamiques; le couplage par tension continue (DC) permet un étalonnage quasistatique de quelques capteurs Piézotron.

Les coupleurs type 5116 et 5120 peuvent être munis de filtres passe-bas, cf. «ACCESSOIRES».

## FONCTIONNEMENT

Alimenter le coupleur en courant électrique, cf. «DONNEES TECHNIQUES». Les coupleurs alimentés par le réseau sont réglés sur la tension indiquée à la partie inférieure. Le changement de cette tension et des fusibles doit s'effectuer en ouvrant l'appareil par la partie inférieure. (Attention: pièces sous tension).

Raccordement du capteur Piézotron à la douille *Input* par un câble ordinaire par exemple le type 1716A..., cf. «ACCESSOIRES». Les câbles avec une grande isolation et traitement contre le bruit de fond ne sont pas nécessaires.

Raccordement d'un câble de connexion entre la douille *Output* et un indicateur ou enregistreur, par exemple par le câble type 1601B... Le coupleur type 5108 peut être monté directement sur un indicateur. Si un câble doit être raccordé à ce coupleur, il faut employer, par exemple, le câble type 1603B...

Pour le coupleur type 5120, le point *Zero* du signal de sortie peut être réglé avec le potentiomètre *Zero Adjust* et indiqué à la position *Zero* du commutateur.

## SURVEILLANCE DU CIRCUIT DE L'ENTREE

La surveillance du circuit de l'entrée s'effectue en mesurant avec un voltmètre la tension continue du signal du capteur. Si le coupleur type 5108 est utilisé, un voltmètre doit être branché parallèlement au capteur. Quant aux autres coupleurs, l'instrument intégré peut être utilisé. Pour le coupleur type 5120, il faut commuter sur *Bias*.

Une indication située entre 0 et 3V, respectivement à plus de 20V (zones rouges) signifie un court-circuit, respectivement une interruption du circuit du capteur; une indication située entre 3 et 20V (zone verte) signifie un fonctionnement normal.

## COUPLAGE

Les coupleurs types 5108, 5112 et 5116 sont couplés par une tension alternative (AC). Le coupleur 5120 est couplé par une tension alternative ou continue en fonction de la position AC ou DC du commutateur.

## REGLAGE DE L'AMPLIFICATION

Les coupleurs types 5108, 5112 et 5116 ont une amplification fixe réglée sur 1. Le coupleur type 5120 comprend aussi une amplification réglée à l'usine sur 1, mais elle peut être variée entre 0,5 et 5. Dans ce but, il faut enlever le dos de l'appareil (attention: pièces sous tension) et ajuster le potentiomètre situé en haut tout à gauche. Pour déterminer l'amplification, un générateur de 1V/1000 Hz est raccordé à l'entrée *Input* et la tension est mesurée à la sortie *Output*.

## DESCRIPTION OF FUNCTION

All couplers have constant currents which are adjustable in the case of the Types 5116 and 5120. The current powers the impedance converter in the Piezotron transducer. The transducer can be connected via a conventional 2-lead cable, which is also used to transmit the measured signal to the coupler (two-wire system).

The AC coupled models Type 5108, 5112 and 5116 eliminate the - in most cases undesirable - DC voltage from the measured signal originating from the transducer's DC power supply. The Type 5120 can be either AC or DC coupled.

AC coupling is used for dynamic measurements, whereas DC coupling allows quasistatic calibration of some Piezotron transducers.

The Types 5116 and 5120 may be equipped with low-pass filters, see «ACCESSORIES».

## OPERATION

Apply power to the coupler, see «TECHNICAL DATA». The mains powered couplers are to be set at the voltage indicated on their bottom. Open the instrument from the bottom to change the voltage or replace the fuses. (Caution: live conductors!)

Connect the Piezotron transducer to the *Input* socket with any cable, e.g. type 1761A..., see «ACCESSORIES». Highly insulated and low-noise cables are not essential.

Attach a connecting cable between the *Output* socket and an indicating or recording instrument, e.g. with a Type 1601B cable. The Type 5108 can be connected directly to an indicating instrument. Should, however, a cable be connected to this coupler, use the cable Type 1603B..., for example.

On the Type 5120, the zero point of the measured signal can be set by means of the *Zero Adjust* potentiometer and is indicated in the *Zero* position.

## INPUT CIRCUIT MONITORING

The input circuit is monitored by determining the DC voltage of the transducer signal through a voltmeter. When using a Type 5108 coupler, connect the voltmeter parallel to the transducer. In the case of the other couplers, use the incorporated meter. When using the Type 5120 coupler, switch to *Bias*.

A reading of between 0 and 3V (red sector) indicates that the input circuit is shortcircuit or open, a reading of between 3V and 20V (green sector) indicates normal operation.

## COUPLING

The Types 5108, 5112 and 5116 are AC coupled. Depending on the switch setting, the 5120 coupler can be either AC or DC coupled.

## SETTING THE AMPLIFICATION

The couplers Types 5108, 5112 and 5116 have a fixed amplification factor of 1. The model 5120 is factory set at 1, but the amplification factor may subsequently be altered between 0,5 and 5. For altering the amplification, remove the back panel (caution: live connectors), and adjust the potentiometer located in the top left-hand corner. A generator 1V/1000 Hz is connected to the *Input* end and the voltage at the *Output* end is measured to determine the amplification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## EINSTELLUNG DER STROMQUELLE

Die Kuppler Typ 5108 und 5112 haben eine fix eingestellte Stromquelle von 4 mA bzw. 2 mA. Die Typen 5116 und 5120 sind werksseitig ebenfalls auf 4 mA eingestellt, doch kann dies im Bereich 2...18 mA geändert werden. Eine Erhöhung des Speisestroms ist nur bei Auftreten von hochfrequenten Signalen und gleichzeitig langen Kabeln notwendig. Dazu ist die Rückwand abzunehmen (Achtung: spannungsführende Teile) und das sich in der linken unteren Ecke befindliche Potentiometer zu justieren. Dazu ist ein Amperemeter zwischen den Eingang *Input* und die Elektronikmasse zu schalten. Falls Piezotron-Aufnehmer mit Strömen von mehr als 4 mA betrieben werden, muss eine Einschränkung ihres Betriebstemperaturbereichs in Kauf genommen werden.

Die folgende Tabelle gibt die höchste brauchbare Signalfrequenz in Abhängigkeit von Speisestrom und Kabellänge (Kabelkapazität) an:

## Maximale Signalfrequenz

	2m/200pF	5m/500pF	10m/1nF	20m/2nF	50m/5nF	100m/10nF	200m/20nF	500m/50nF	1000m/100nF
2 mA	320 kHz	130	65	30	13	6,5	3	1,3	0,6
4 mA	960 kHz	390	190	100	38	20	10	3,8	2
8 mA	2250 kHz	900	450	225	90	45	20	9	4,5
18 mA	5500 kHz	2200	1100	550	220	110	55	22	11

## REGLAGE DE LA SOURCE DU COURANT

Les coupleurs types 5108 et 5112 ont une source de courant réglée à l'usine à 4 mA respectivement 2 mA. Les coupleurs 5116 et 5120 ont aussi un courant de 4 mA, mais celui-ci peut être réglé entre 2 et 18 mA. Une augmentation du courant d'alimentation est seulement nécessaire si des signaux de haute fréquence apparaissent et en même temps avec des longs câbles. Dans ce but, il faut enlever le dos de l'appareil (attention: pièces sous tension) et ajuster le potentiomètre situé en bas dans le coin gauche. En outre, il faut brancher un ampèremètre entre l'entrée *Input* et la masse de l'électronique. Au cas où les capteurs Piezotron fonctionnent avec un courant dépassant 4 mA, il faut tenir compte d'un abaissement de leur température de fonctionnement.

Le tableau suivant indique la fréquence de signal maximale utilisable en fonction du courant d'alimentation et de la longueur (capacité) de câble.

## Fréquence du signal maximale

## SETTING THE CURRENT SOURCE

The coupler Types 5108 and 5112 have a current source factory set at 4 mA and 2 mA respectively. The Types 5116 and 5120 are also powered by 4 mA, but this can be altered in the range of 2...18 mA. Increasing the current is only necessary when high-frequency signals are transmitted via long cables. When altering the current, remove the back panel (caution: live conductors), and set the potentiometer located in the bottom left-hand corner. In addition, connect an ammeter between the *Input* and electronics ground. Should Piezotron transducers need to be powered by a current higher than 4 mA, the operating temperature range is reduced.

The following table indicates the highest useful signal frequency as a function of current and cable length (cable capacity).

## Maximum Signal Frequency

## ZUBEHÖR

## Kabel

Typ 1761A2	l = 2 m
Typ 1761A5	l = 5 m
Typ 1761A10	l = 10 m
Typ 1761Asp...m	l = ...m

## Tiefpassfilter (auf Anfrage)

Typ/Type	-1 dB bei/à/at	-3 dB bei/à/at	-20 dB bei/à/at
5316	96 kHz $\pm 20\%$	180 kHz $\pm 10\%$	470 kHz $\pm 20\%$
5316A... a)	0,54 · fc $\pm 20\%$	fc $\pm 10\%$	2,6 · fc $\pm 20\%$
5318A... b)	0,54 · fc $\pm 20\%$	fc $\pm 10\%$	2,6 · fc $\pm 20\%$

a) fc gemäss Reihe E6: 1 kHz...220 kHz  
b) fc gemäss Reihe E6: 10 Hz...680 Hz

## ACCESSOIRES

## Câbles

Typ 1761A2	l = 2 m
Typ 1761A5	l = 5 m
Typ 1761A10	l = 10 m
Typ 1761Asp...m	l = ...m

## Filtres passe-bas (selon demande)

## ACCESSORIES

## Cables

Type 1761A2	l = 2 m
Type 1761A5	l = 5 m
Type 1761A10	l = 10 m
Type 1761Asp...m	l = ...m

## Low-pass Filters (on request)

## Filtre d'encoches

## 6dB/octave (selon demande)

Typ/Type	Sperrfrequenz Fréquence de blocage Notch frequency	Für Aufnehmer Pour capteur For transducer	-3 dB bei -3 dB à -3 dB at
5320A1	540 $\pm 30$ kHz	603B	260 $\pm 10$ kHz
5320A2	160 $\pm 5$ kHz	601A	67 $\pm 5$ kHz
5320A3	42 $\pm 2$ kHz	8002 (808A)	17 $\pm 2$ kHz
5320A4	60 $\pm 3$ kHz	8044 (805A)	26 $\pm 3$ kHz
5320A8	100 $\pm 10$ kHz	606A	50 $\pm 5$ kHz
5320A9	315 $\pm 15$ kHz	602A, 601B	125 $\pm 10$ kHz

## Kerbfilter

(Bandsperrfilter) 6dB/Oktave (auf Anfrage)

## Notch filters

6dB/octave (on request)

## LIEFERFORMEN UND LIEFERUMFANG

Typ 5108 Piezotron-Kuppler für Fremdspeisung (24...32 V DC)  
Typ 5112 Piezotron-Kuppler mit Batterie-speisung  
Typ 5116 Piezotron-Kuppler mit Netzspeisung, Filter einsetzbar  
Typ 5120 Piezotron-Kuppler mit Netzspeisung, einstellbare Verstärkung, Filter einsetzbar

Lieferumfang: Siehe Angaben auf Preisliste.

## COMMANDE ET FOURNITURE

Typ 5108 Coupleur Piezotron, alimentation externe (24...32 V DC)  
Typ 5112 Coupleur Piezotron, alimentation par piles  
Typ 5116 Coupleur Piezotron, alimenté par réseau, filtre à insérer  
Typ 5120 Coupleur Piezotron, alimenté par réseau, gain ajustable, filtre à insérer

Etendu de la fourniture: selon prix-courant.

## SUPPLY FORMS AND SCOPE OF DELIVERY

Typ 5108 Piezotron Coupler, externally powered (24...32 V DC)  
Typ 5112 Piezotron Coupler, battery powered  
Typ 5116 Piezotron Coupler, line powered, filter to be inserted  
Typ 5120 Piezotron Coupler, line powered, adjustable gain, filter to be inserted

Scope of delivery: see data on the price list.



## ADC0808/ADC0809 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

### General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

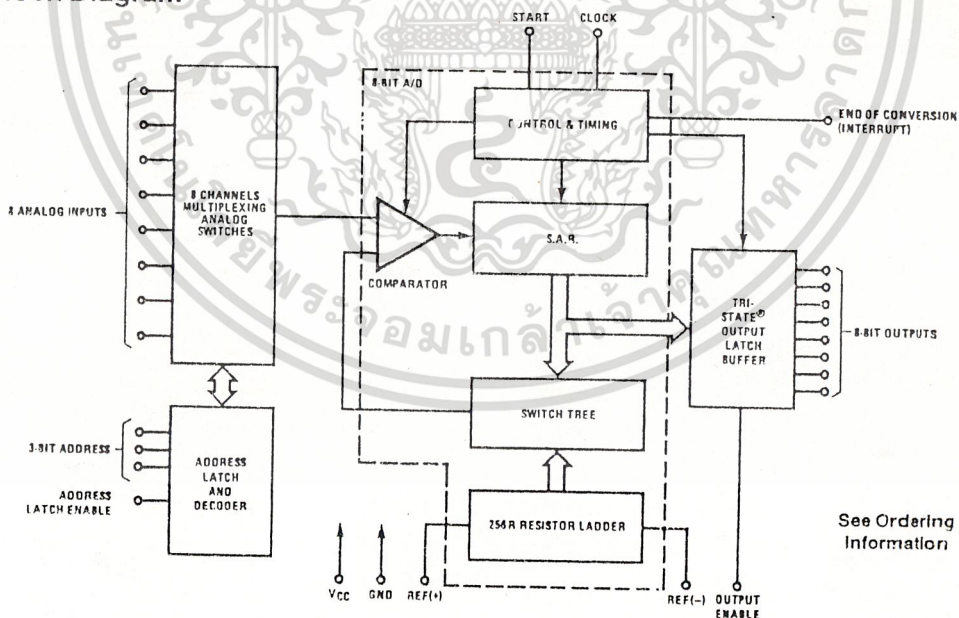
### Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub> or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

### Key Specifications

- Resolution 8 Bits
- Total Unadjusted Error  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- Single Supply 5 V<sub>DC</sub>
- Low Power 15 mW
- Conversion Time 100  $\mu$ s

### Block Diagram



See Ordering Information

TL/H/5672-1

### Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3V$ )
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	-0.3V to +15V
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	400V

### Operating Conditions (Notes 1 & 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0808CJ	-55°C $\leq T_A \leq$ +125°C
ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0809CCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
Range of $V_{CC}$ (Note 1)	4.5 $V_{DC}$ to 6.0 $V_{DC}$

### Electrical Characteristics

Converter Specifications:  $V_{CC} = 5$   $V_{DC} = V_{REF+}$ ,  $V_{REF(-)} = \text{GND}$ ,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  and  $f_{CLK} = 640$  kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0808	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C			$\pm 1/2$	LSB
		$T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 3/4$	LSB
ADC0809	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C			$\pm 1$	LSB
		$T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			$\pm 1 1/4$	LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		k $\Omega$
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND - 0.10		$V_{CC} + 0.10$	$V_{DC}$
$V_{REF(+)}$	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		$V_{CC}$	$V_{CC} + 0.1$	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		$V_{CC}/2 - 0.1$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2 + 0.1$	V
$V_{REF(-)}$	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
$I_{IN}$	Comparator Input Current	$f_c = 640$ kHz, (Note 6)	-2	$\pm 0.5$	2	$\mu\text{A}$

### Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ 4.5V  $\leq V_{CC} \leq$  5.5V, -55°C  $\leq T_A \leq$  +125°C unless otherwise noted ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75  $\leq V_{CC} \leq$  5.25V, -40°C  $\leq T_A \leq$  +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>ANALOG MULTIPLEXER</b>						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 5V$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$		10	200	nA $\mu\text{A}$
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	-200 -1.0	-10		nA $\mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics** (Continued)

**Digital Levels and DC Specifications:** ADC0808CJ  $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$ ,  $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$  unless otherwise noted  
 ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV,  $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CONTROL INPUTS</b>						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC} - 1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 15V$			1.0	$\mu A$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 0$	-1.0			$\mu A$
$I_{CC}$	Supply Current	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$		0.3	3.0	mA
<b>DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)</b>						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC} - 0.4$			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
$I_{OUT}$	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	$\mu A$

**Electrical Characteristics**

**Timing Specifications**  $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$ ,  $V_{REF(-)} = GND$ ,  $t_r = t_f = 20 \text{ ns}$  and  $T_A = 25^{\circ}C$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{WS}$	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_{WALE}$	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_s$	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_H$	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_D$	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0 \Omega$ (Figure 5)		1	2.5	$\mu S$
$t_{H1}, t_{H0}$	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_{1H}, t_{0H}$	OE Control to HI-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_c$	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$ , (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	$\mu S$
$f_c$	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
$t_{EOC}$	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		$8 + 2 \mu S$	Clock Periods
$C_{IN}$	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs, (Note 12)		10	15	pF

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 2:** All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

**Note 3:** A zener diode exists, internally, from  $V_{CC}$  to GND and has a typical breakdown voltage of  $7 V_{DC}$ .

**Note 4:** Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute  $0V_{DC}$  to  $5V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of  $4.900 V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

**Note 5:** Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

**Note 6:** Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

**Note 7:** The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

**Note 8:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Functional Description

**Multiplexer.** The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table I shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE I

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

### CONVERTER CHARACTERISTICS

#### The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed

to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network (*Figure 1*) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached + 1/2 LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

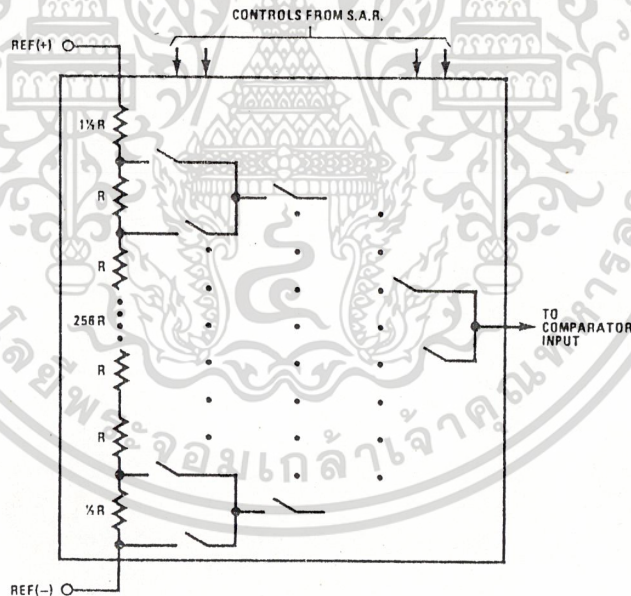


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

TL/H/5672-2

### Functional Description (Continued)

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the

comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

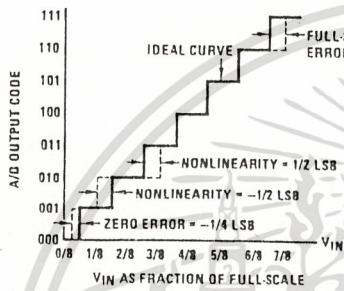


FIGURE 2. 3-bit A/D Transfer Curve

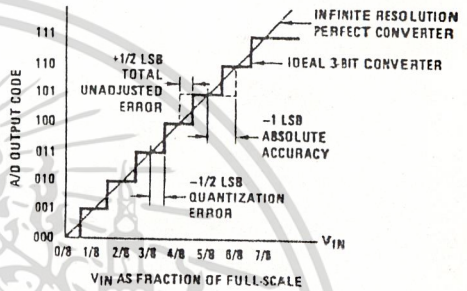


FIGURE 3. 3-bit A/D Absolute Accuracy Curve

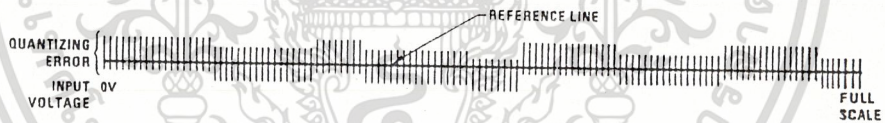
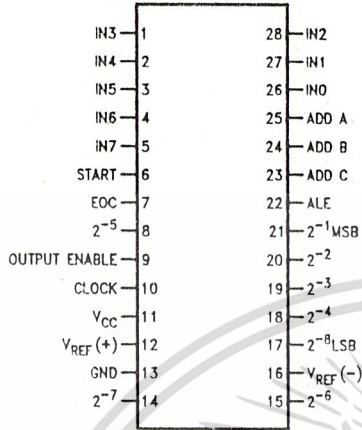


FIGURE 4. Typical Error Curve

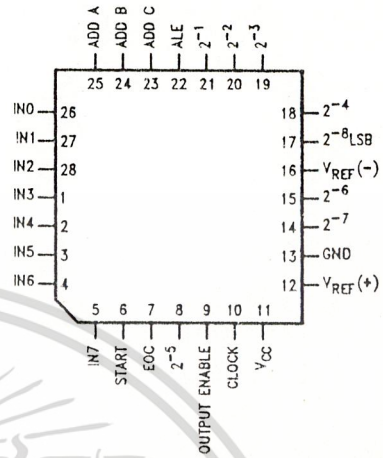
TL/H/5672-3

### Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



Molded Chip Carrier Package



TL/H/5872-11

Order Number ADC0808CCN, ADC0809CCN,  
ADC0808CCJ or ADC0808CJ  
See NS Package J28A or N28A

TL/H/5872-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV  
See NS Package V28A

### Timing Diagram

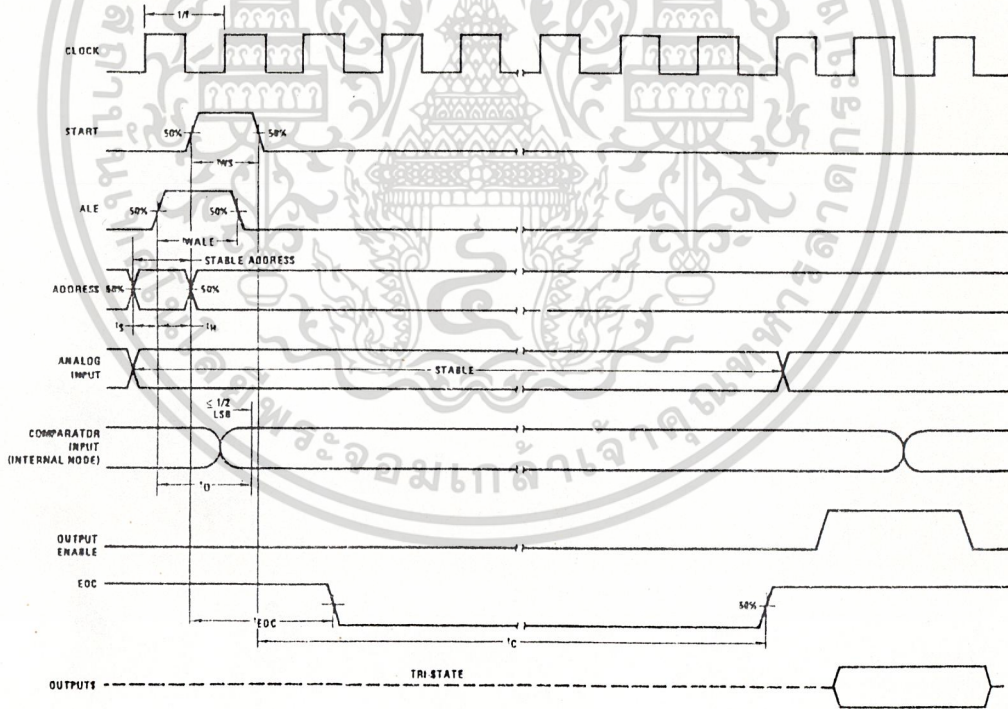


FIGURE 5

TL/H/5872-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

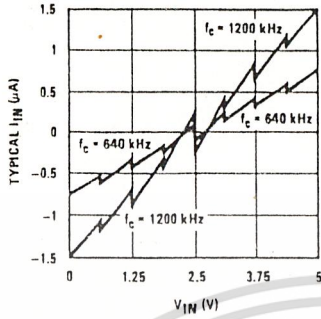


FIGURE 6. Comparator  $I_{IN}$  vs  $V_{IN}$  ( $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ )

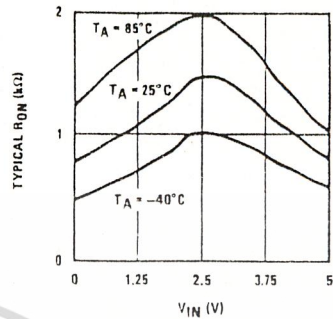
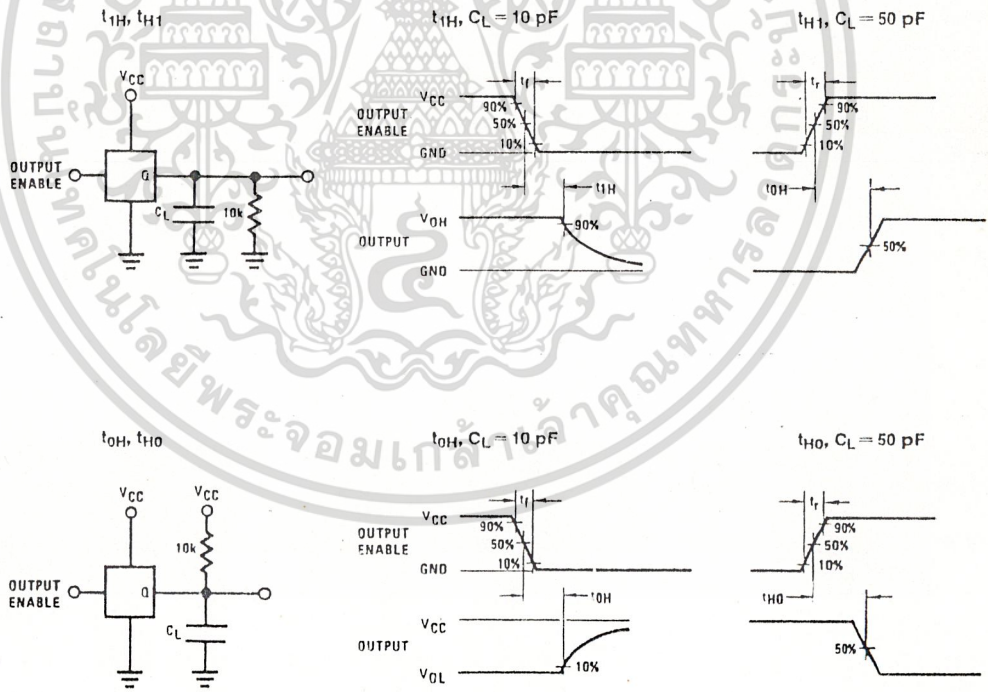


FIGURE 7. Multiplexer  $R_{ON}$  vs  $V_{IN}$  ( $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ )

TL/H/5672-5

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams



TL/H/5672-6

FIGURE 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Applications Information

### OPERATION

#### 1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{fs} - V_Z} = \frac{D_X}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (1)$$

$V_{IN}$  = Input voltage into the ADC0808

$V_{fs}$  = Full-scale voltage

$V_Z$  = Zero voltage

$D_X$  = Data point being measured

$D_{MAX}$  = Maximum data limit

$D_{MIN}$  = Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if  $V_{CC} = V_{REF} = 5.12V$ , then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

#### 2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

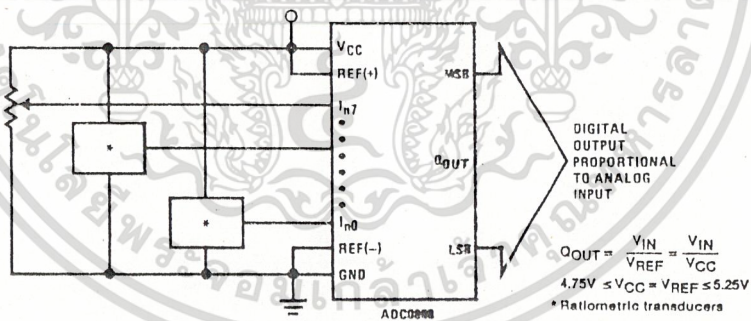


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

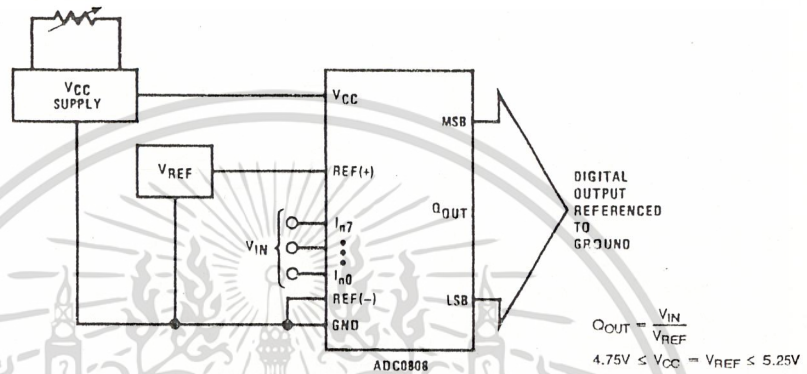
TL/H/5672-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

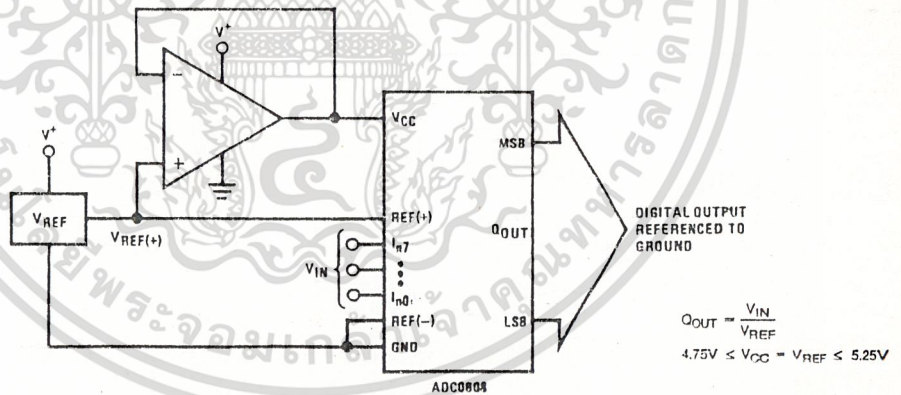
**Applications Information** (Continued)

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10  $\mu$ F output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed  $V_{CC}$  and ground, respectively, but they can be symmetrically less than  $V_{CC}$  and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about  $V_{CC}/2$  since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.



**FIGURE 10: Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply**



**FIGURE 11: Ground Referenced Conversion System with Reference Generating  $V_{CC}$  Supply**

TL/H/5672-8

Applications Information (Continued)

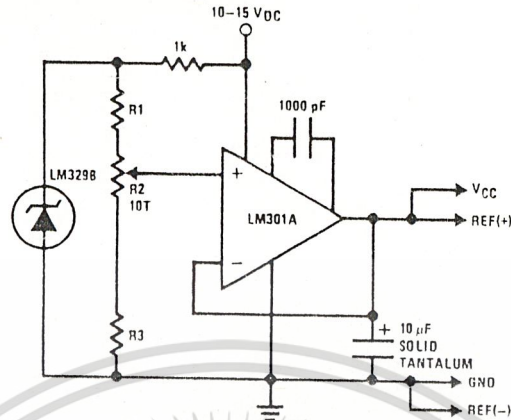


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

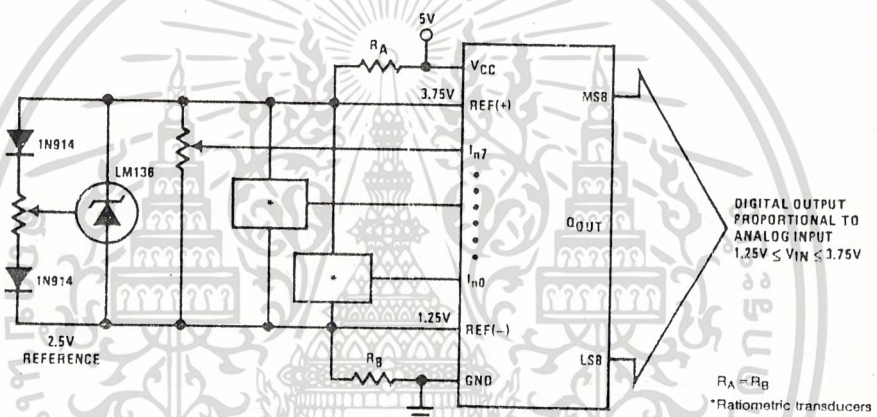


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

TL/H/5672-9

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N + 1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[ \frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[ \frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

where:  $V_{IN}$  = Voltage at comparator input

$V_{REF(+)}$  = Voltage at Ref (+)

$V_{REF(-)}$  = Voltage at Ref (-)

$V_{TUE}$  = Total unadjusted error voltage (typically

$V_{REF(+)} \div 512$ )

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

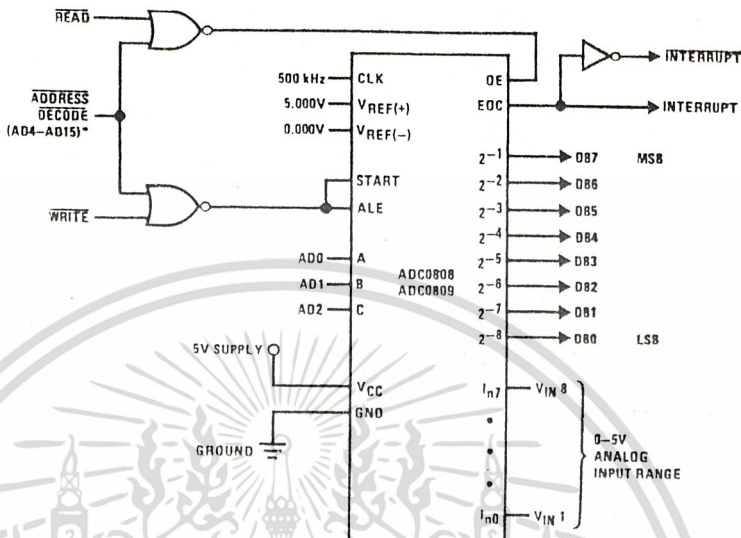
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with  $V_{IN}$  as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application



\*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

TL/H/5672-10

MICROPROCESSOR INTERFACE TABLE

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA•φ2•R/W	VMA•φ•R/W	IRQA or IRQB (Thru PIA)

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	± 1/2 LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	± 1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

### General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of -5V, -12V, and -15V. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting, safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a resistor divider. The low quiescent current drain of

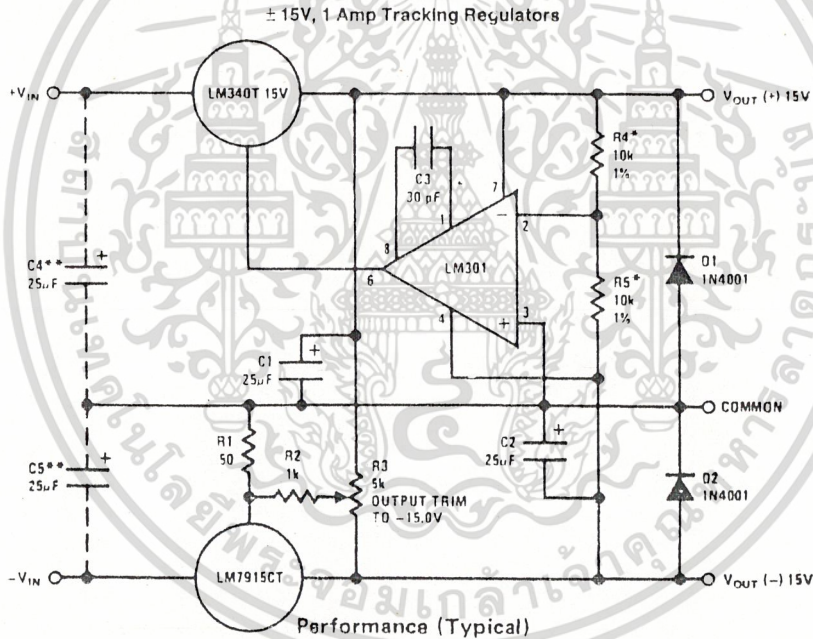
these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM137 data sheet.

### Features

- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% preset output voltage

### Typical Applications



	(- 15)	(+ 15)
Load Regulation at $\Delta I_L = 1A$	40 mV	2 mV
Output Ripple, $C_{IN} = 3000 \mu F$ , $I_L = 1A$	100 $\mu V_{rms}$	100 $\mu V_{rms}$
Temperature Stability	50 mV	50 mV
Output Noise $10 Hz \leq f \leq 10 kHz$	150 $\mu V_{rms}$	150 $\mu V_{rms}$

\*Resistor tolerance of R4 and R5 determine matching of (+) and (-) outputs.

\*\*Necessary only if raw supply filter capacitors are more than 3" from regulators.

TL/H/7340-1

### Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage ( $V_O = 5V$ )	-35V
( $V_O = 12V$ and $15V$ )	-40V

Input-Output Differential  
( $V_O = 5V$ )  
( $V_O = 12V$  and  $15V$ )

Power Dissipation (Note 1)

Operating Junction Temperature Range

Storage Temperature Range

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

Internally

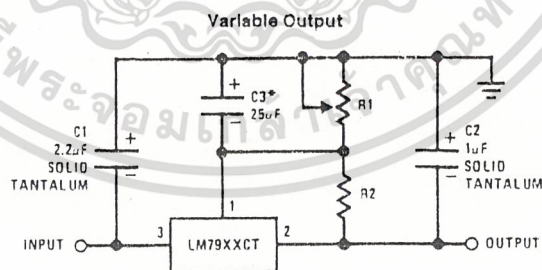
0°C to

-65°C to

**Electrical Characteristics** Conditions unless otherwise noted:  $I_{OUT} = 500$  mA,  $C_{IN} = 2.2$   $\mu$ F,  $C_{OUT} = 10$   $\mu$ F,  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ , Power Dissipation  $\leq 1.5$ W.

Part Number		LM7905C			
Output Voltage		5V			
Input Voltage (unless otherwise specified)		-10V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $5\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{ A}$ , $P \leq 15\text{ W}$	-4.8 -4.75	-5.0 ( $-20 \leq V_{IN} \leq -7$ )	-5.2 -5.25
$\Delta V_O$	Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Note 2)		8 ( $-25 \leq V_{IN} \leq -7$ ) 2 ( $-12 \leq V_{IN} \leq -8$ )	50 15
$\Delta V_O$	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Note 2) $5\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1.5\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 750\text{ mA}$		15 5	100 50
$I_Q$	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		1	2
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	With Line With Load, $5\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{ A}$		( $-25 \leq V_{IN} \leq -7$ )	0.5 0.5
$V_n$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ Hz}$		125	
	Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$	54	66 ( $-18 \leq V_{IN} \leq -8$ )	
	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{OUT} = 1\text{ A}$		1.1	
$I_{OMAX}$	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2	
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5\text{ mA}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$		0.4	

### Typical Applications (Continued)



TL/H/7340-2

\*Improves transient response and ripple rejection. Do not increase beyond 50  $\mu$ F.

$$V_{OUT} = V_{SET} \left( \frac{R1 + R2}{R2} \right)$$

Select R2 as follows:

LM7905CT	300 $\Omega$
LM7912CT	750 $\Omega$
LM7915CT	1k

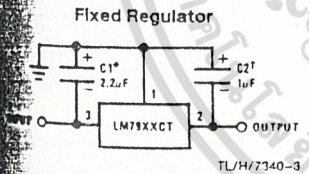
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics** (Continued) Conditions unless otherwise noted:  $I_{OUT} = 500 \text{ mA}$ ,  $C_{IN} = 2.2 \mu\text{F}$ ,  $C_{OUT} = 1 \mu\text{F}$ ,  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ , Power Dissipation = 1.5W.

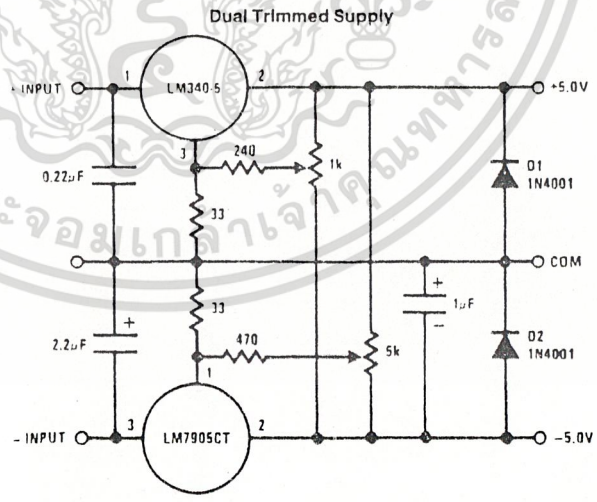
Part Number		LM7912C			LM7915C			Units
Output Voltage		12V			15V			
Input Voltage (unless otherwise specified)		-19V			-23V			
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $5 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$ , $P \leq 15 \text{ W}$	-11.5	-12.0	-12.5	-14.4	-15.0	-15.6	V
		-11.4		-12.6	-14.25		-15.75	V
		$(-27 \leq V_{IN} \leq -14.5)$			$(-30 \leq V_{IN} \leq -17.5)$			V
Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Note 2)		5	80		5	100	mV
		$(-30 \leq V_{IN} \leq -14.5)$			$(-30 \leq V_{IN} \leq -17.5)$			V
			3	30		3	50	mV
		$(-22 \leq V_{IN} \leq -16)$			$(-26 \leq V_{IN} \leq -20)$			V
Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Note 2)		15	200		15	200	mV
	$5 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1.5 \text{ A}$		15	200		15	200	mV
	$250 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 750 \text{ mA}$		5	75		5	75	mV
Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		1.5	3		1.5	3	mA
Quiescent Current Change	With Line			0.5			0.5	mA
	With Load, $5 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$			0.5			0.5	mA
Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}$		300			375		$\mu\text{V}$
Ripple Rejection	$f = 120 \text{ Hz}$	54	70		54	70		dB
		$(-25 \leq V_{IN} \leq -15)$			$(-30 \leq V_{IN} \leq -17.5)$			V
Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{OUT} = 1 \text{ A}$		1.1			1.1		V
Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2			2.2		A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5 \text{ mA}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$		-0.8			-1.0		$\text{mV}/^\circ\text{C}$

Note 1: For calculations of junction temperature rise due to power dissipation, thermal resistance junction to ambient ( $\theta_{JA}$ ) is  $50^\circ\text{C}/\text{W}$  (no heat sink) and  $5^\circ\text{C}/\text{W}$  (with heat sink).  
 Note 2: Regulation is measured at a constant junction temperature by pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects must be taken into account.

**Typical Applications** (Continued)

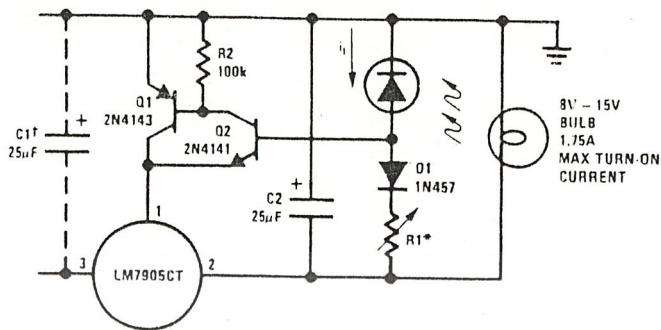


TL/H/7340-3  
 Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25  $\mu\text{F}$  aluminum electrolytic may be substituted.  
 Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25  $\mu\text{F}$  aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.  
 For output capacitance in excess of 100  $\mu\text{F}$ , a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.



TL/H/7340-4

Typical Applications (Continued)

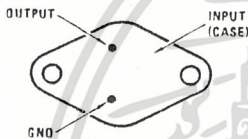


TL/H/7340-9

brightness increases until  $i_i = 5V/R1$  ( $i_i$  can be set as low as 1  $\mu A$ )  
 necessary only if raw supply filter capacitor is more than 2" from LM7905CT

Connection Diagrams

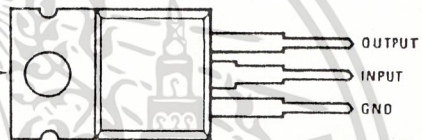
TO-3 Package



Bottom View

Order Number LM7905CK, LM7912CK or LM7915CK  
 See NS Package Number KC02A

TO-220 Package



Top View

Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT  
 See NS Package Number TO3B

TL/H/7340-10

TL/H/7340-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM78XX Series Voltage Regulators

### General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number

of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

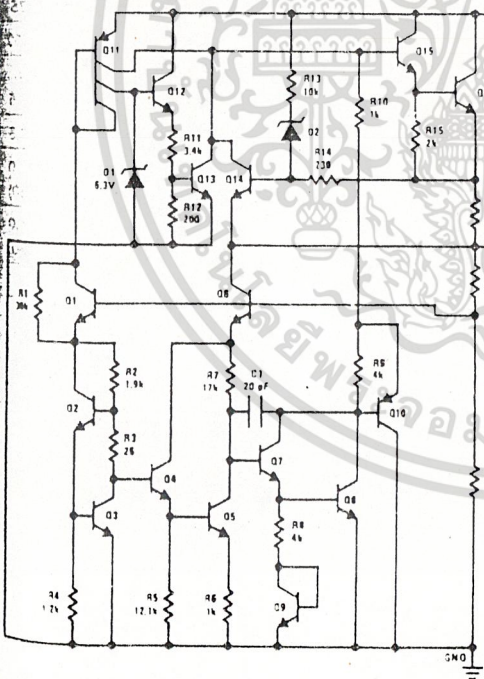
### Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

### Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

### Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7746-1

Metal Can Package  
TO-3 (K)  
Aluminum

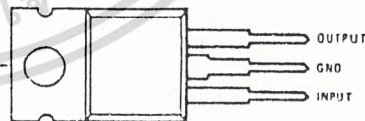


TL/H/7746-2

Bottom View

Order Number LM7805CK,  
LM7812CK or LM7815CK  
See NS Package Number KC02A

Plastic Package  
TO-220 (T)



TL/H/7746-3

Top View

Order Number LM7805CT,  
LM7812CT or LM7815CT  
See NS Package Number T03B

### Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage ( $V_O = 5V, 12V$  and  $15V$ ) 35V  
 Internal Power Dissipation (Note 1) Internally Limited  
 Operating Temperature Range ( $T_A$ )  $0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$

Maximum Junction Temperature  
 (K Package)  
 (T Package)

Storage Temperature Range  $-65^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$   
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)  
 TO-3 Package K  
 TO-220 Package T

### Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

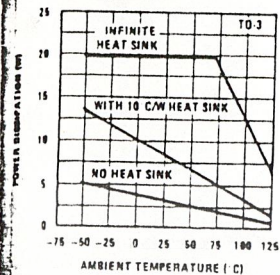
Output Voltage			5V			12V			15V		
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V		
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6
		$P_D \leq 15\text{ W}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$ $V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.7
			(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$ )		(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$ )		(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )				
$\Delta V_O$	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}, T_J = 25^\circ\text{C}$		3	50		4	120		4	150
		$\Delta V_{\text{IN}}$		(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$ )		(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )		(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )			
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50			120			150
		$\Delta V_{\text{IN}}$		(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$ )		(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$ )		(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )			
		$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$			50			120			150
		$\Delta V_{\text{IN}}$		(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$ )		(14.6 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$ )		(17.7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )			
$\Delta V_O$	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$		10	50		12	120		12	150
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$			25			60			75
		$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$									
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50			120		150	
$I_Q$	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$			8			8			8
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			8.5			8.5			8.5
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			0.5			0.5			0.5
		$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$			1.0			1.0			1.0
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$ )		(14.8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$ )		(17.9 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )		
		$I_O \leq 500\text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			1.0			1.0			1.0
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$ )		(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )		(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$ )		
$V_N$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$		40			75			90	
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$	Ripple Rejection	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500\text{ mA}$	62	80		55	72		54	70	
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$				62		55		54	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$			(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 18$ )		(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$ )		(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 28.5$ )		
$R_O$	Dropout Voltage Output Resistance Short-Circuit Current Peak Output Current Average TC of $V_{\text{OUT}}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{\text{OUT}} = 1\text{ A}$		2.0			2.0			2.0	
		$f = 1\text{ kHz}$			8			18			19
		$T_J = 25^\circ\text{C}$			2.1			1.5			1.2
		$T_J = 25^\circ\text{C}$			2.4			2.4			2.4
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}, I_O = 5\text{ mA}$			0.6			1.5			1.8
$V_{\text{IN}}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$		7.5			14.6			17.7	

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically  $4^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case and  $35^\circ\text{C}/\text{W}$  case to ambient. Thermal resistance of the TO-18 package (T) is typically  $4^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case and  $50^\circ\text{C}/\text{W}$  case to ambient.

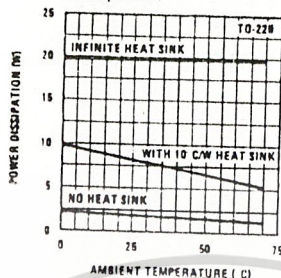
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of  $0.22\ \mu\text{F}$ , and a capacitor across the output of  $0.1\ \mu\text{F}$ . All characteristics except voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ( $t_w \leq 10\text{ ms}$ , duty cycle  $\leq 5\%$ ). Output voltage changes due to changes in temperature must be taken into account separately.

Typical Performance Characteristics

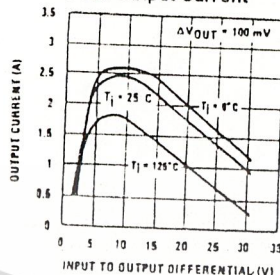
Maximum Average Power Dissipation



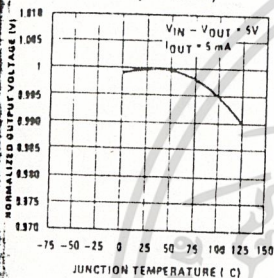
Maximum Average Power Dissipation



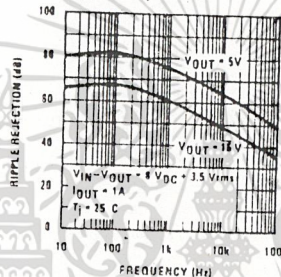
Peak Output Current



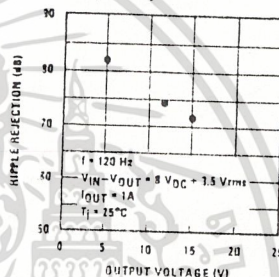
Output Voltage (Normalized to 1V at Tj = 25°C)



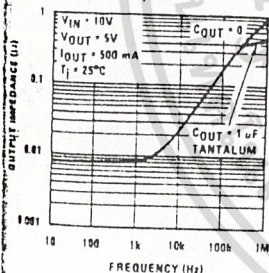
Ripple Rejection



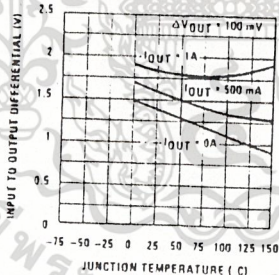
Ripple Rejection



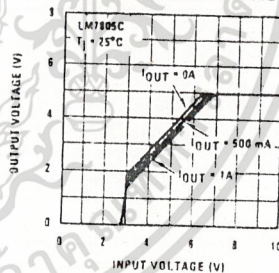
Output Impedance



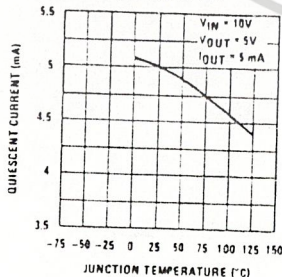
Dropout Voltage



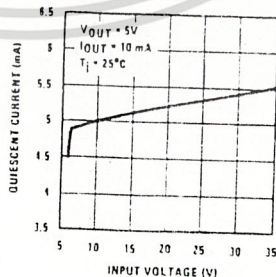
Dropout Characteristics



Quiescent Current



Quiescent Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LM117A/LM117/LM317A/LM317

## 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

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

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

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

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

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

The LM117 series devices with a "K" suffix are packaged in standard TO-3 transistor packages, while those with an "H" suffix are in a solid Kovar-base TO-39 transistor package. The LM117A and LM117 are rated for operation from -55°C to +150°C, the LM317A from -40°C to +125°C, and the LM317 from 0°C to +125°C. The LM317AT and the LM317T are available in a TO-220 plastic package and the LM317MP in a TO-202 plastic package.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

### LM117 Series Packages and Power Capability

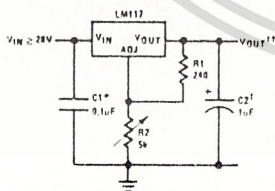
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
MP	TO-202	2W	0.5A

### Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM117A, LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM117A, LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117A, LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- 100% electrical burn-in
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications

#### 1.2V-25V Adjustable Regulator



TL/H/9063-1

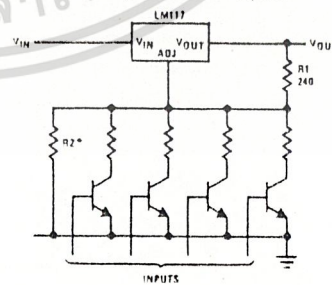
Full output current not available at high input-output voltages

\*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

\*Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1 µF to 1000 µF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}(R2)$$

#### Digitally Selected Outputs



TL/H/9063-2

\*Sets maximum V<sub>OUT</sub>

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 2)

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C
ESD Tolerance (Note 5)	3 kV

**Operating Temperature Range**

LM117A/LM117	-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

**Preconditioning**

Thermal Limit Burn-In	All Devices 100%
-----------------------	------------------

**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA. (Note 3)

Parameter	Conditions	LM117A			LM117			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V	
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.02	%/V	
			<b>0.01</b>	<b>0.02</b>		<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.3		0.1	0.3	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>		<b>0.3</b>	<b>1</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		<b>0.2</b>	<b>5</b>		<b>0.2</b>	<b>5</b>	μA	
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		<b>1</b>			<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		<b>3.5</b>	<b>5</b>		<b>3.5</b>	<b>5</b>	mA	
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V	K Package	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
		H Package	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V	K Package	0.3	0.4		0.3	0.4		A
		H Package	0.15	0.2		0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		<b>65</b>			<b>65</b>		dB	
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF		<b>66</b>	<b>80</b>		<b>66</b>	<b>80</b>	dB	
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 125°C, 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3		2.3	3	°C/W	
	H Package		12	15		12	15	°C/W	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		°C/W	
	H Package		140			140		°C/W	

**Electrical Characteristics** (Continued)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and  $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ . (Note 3)

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	<b>1.20</b>	<b>1.25</b>	<b>1.30</b>	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			<b>0.01</b>	<b>0.02</b>		<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	%/V	
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			<b>0.3</b>	<b>1</b>		<b>0.3</b>	<b>1.5</b>	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			<b>50</b>	<b>100</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	$\mu\text{A}$	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		<b>0.2</b>	<b>5</b>		<b>0.2</b>	<b>5</b>	$\mu\text{A}$	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		<b>1</b>			<b>1</b>		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		<b>3.5</b>	<b>10</b>		<b>3.5</b>	<b>10</b>	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K and T Package H Package P Package		<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>3.4</b>	A
			<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
						<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K and T Package H Package P Package		0.15	0.4		0.15	0.4		A
		0.075	0.2		0.075	0.2		A	
					0.075	0.2		A	
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		<b>65</b>			<b>65</b>		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$		<b>66</b>	<b>80</b>		<b>66</b>	<b>80</b>	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$ , 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3		2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package					7		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package					80		$^\circ\text{C/W}$	

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

**Note 2:** Refer to RETS117AH drawing for the LM117AH, the RETS117H drawing for the LM117H, the RETS117AK drawing for the LM117AK, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

**Note 3:** Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and TO-202, and 20W for the TO-3 and TO-220.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3 and TO-220 packages and 0.5A for the TO-39 and TO-202 packages. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

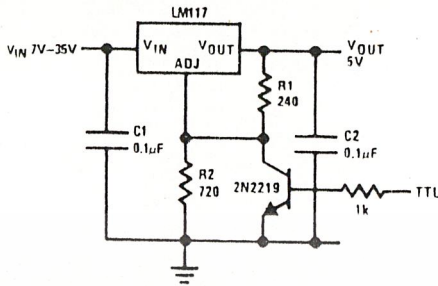
**Note 4:** Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

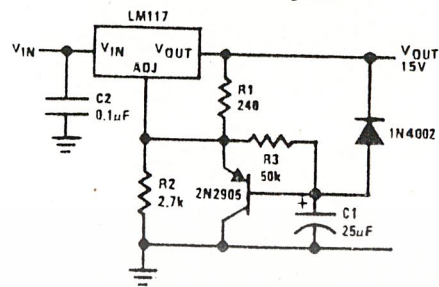
5V Logic Regulator with Electronic Shutdown\*



\*Min. output  $\approx 1.2V$

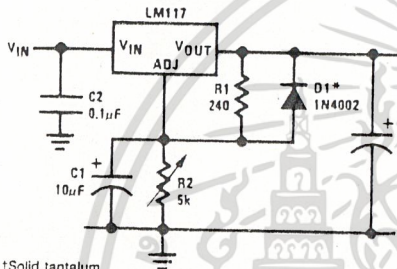
TL/H/9063-3

Slow Turn-On 15V Regulator



TL/H/9063-9

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

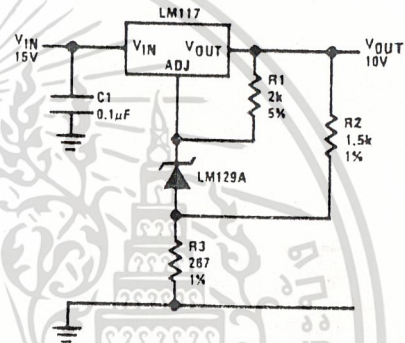


†Solid tantalum

\*Discharges C1 if output is shorted to ground

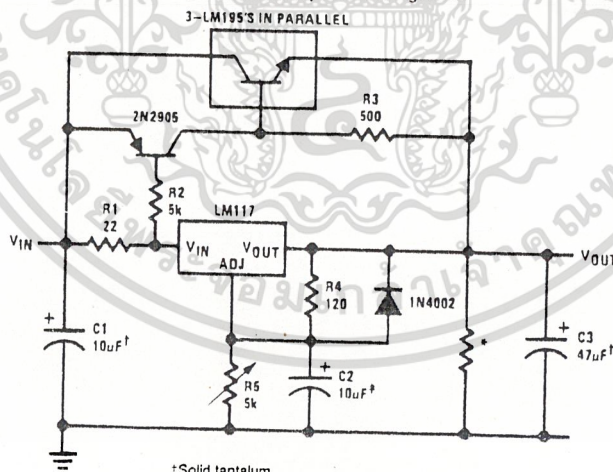
TL/H/9063-10

High Stability 10V Regulator



TL/H/9063-11

High Current Adjustable Regulator



†Solid tantalum

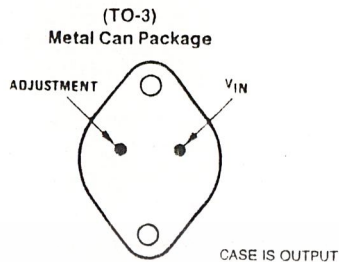
\*Minimum load current = 30 mA

‡Optional—improves ripple rejection

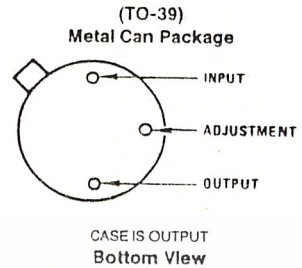
TL/H/9063-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Connection Diagrams** (See Physical Dimension section for further information)



TL/H/9063-30



TL/H/9063-31

Bottom View

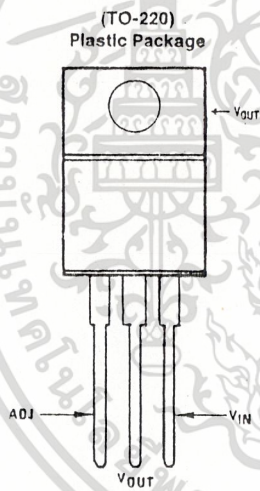
Order Number LM117AH, LM117H, LM317AH or LM317H  
See NS Package Number H03A

Steel Packages

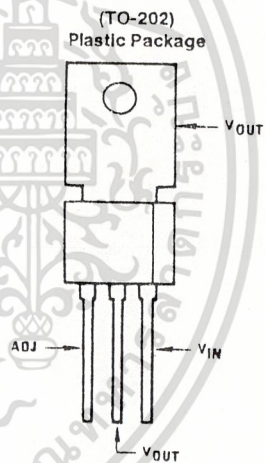
Order Number LM117AK STEEL, LM117K STEEL,  
LM317AK STEEL or LM317K STEEL  
See NS Package Number K02A

Aluminum Packages

Order Number LM317AKC or LM317KC  
See NS Package Number KC02A



TL/H/9063-32



TL/H/9063-33

Front View

Front View

Order Number LM317AT or LM317T  
See NS Package Number T03B

Order Number LM317MP  
See NS Package Number P03A

## OP-07 Low Offset, Low Drift Operational Amplifier

### General Description

The OP-07 has very low input offset voltage (25  $\mu\text{V}$  max. for OP-07A) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current ( $\pm 2$  nA for OP-07A) and high open-loop gain (300 V/mV for OP-07A). The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain applications.

The wide input voltage range of  $\pm 13\text{V}$  minimum combined with high CMRR of 110 dB and high input impedance provide high accuracy in the non-inverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at high closed-loop gains.

Stability of offsets and gain with time or variation in temperature is excellent.

The OP-07 is available in TO-99 metal can, ceramic or molded DIP.

For improved specifications, see the LM607.

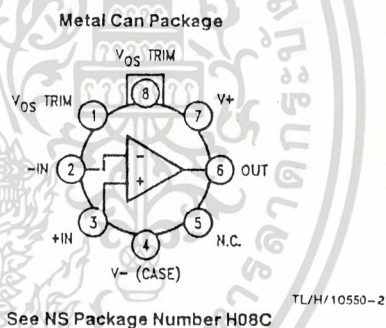
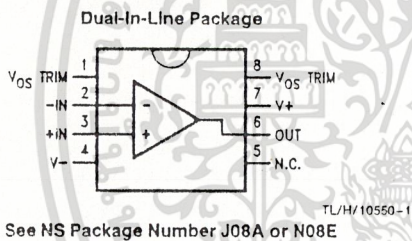
### Features

- Low  $V_{OS}$  25  $\mu\text{V}$  Max
- Low  $V_{OS}$  Drift 0.6  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  Max
- Ultra-Stable vs Time 1.0  $\mu\text{V}/\text{Month}$  Max
- Low Noise 0.6  $\mu\text{Vp-p}$  Max
- Wide Input Voltage Range  $\pm 14\text{V}$
- Wide Supply Voltage Range  $\pm 3\text{V}$  to  $\pm 18\text{V}$
- Fits 725/108A/308A, 741, AD510 Sockets
- Replaces the  $\mu\text{A}714$

### Applications

- Strain Gauge Amplifiers
- Thermocouple Amplifiers
- Precision Reference Buffer
- Analog Computing Functions

### Connection Diagrams



### Ordering Information

$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{OS\text{Max}}$ ( $\mu\text{V}$ )	H08C TO-99	Package J08A CERDIP	N08E Plastic	Operating Temperature Range
25	OP-07AJ*	OP-07AZ*		MIL
75	OP-07EJ	OP-07EZ	OP-07EP	COM
75	OP-07J*	OP-07Z*		MIL
150	OP-07CJ	OP-07CZ	OP-07CP	COM
150	OP-07DJ		OP-07DP	COM

\*For devices processed in total compliance to military specifications refer to RETSOP07X for OP-07.

## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	±22V
Internal Power Dissipation (Note 5)	500 mW
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage (Note 6)	±22V
Output Short-Circuit Duration	Continuous

Storage Temperature Range

J and Z Packages

P Package

Lead Temperature (Soldering, 60 sec.)

Junction Temperature

-65°C to +150°C

-65°C to +125°C

-65°C to +125°C

## Operating Temperature Range

OP-07A, OP-07,

OP-07E, OP-07C, OP-07D

-55°C to +125°C

0°C to +125°C

## Electrical Characteristics

Unless otherwise specified,  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ . **Boldface** type refers to limits over  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ .

Symbol	Parameter	Conditions	OP-07A			OP-07		
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	(Note 1) (Note 1)		10 <b>25</b>	25 <b>60</b>		30 <b>60</b>	75 <b>200</b>
$\Delta V_{OS}/t$	Long-Term Input Offset Voltage Stability	(Note 2)		0.2	1.0		0.2	1.0
$I_{OS}$	Input Offset Current			0.3 <b>0.8</b>	2.0 <b>4</b>		0.4 <b>1.2</b>	2.8 <b>5.6</b>
$I_B$	Input Bias Current			±0.7 <b>±1</b>	±2.0 <b>±4</b>		±1.0 <b>±2</b>	±3.0 <b>±6</b>
$e_{np-p}$	Input Noise Voltage	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		0.35	0.6		0.35	0.6
$e_n$	Input Noise Voltage Density	$f_O = 10$ Hz (Note 3)		10.3	18.0		10.3	18.0
		$f_O = 100$ Hz (Note 3)		10.0	13.0		10.0	13.0
		$f_O = 1000$ Hz (Note 3)		9.6	11.0		9.6	11.0
$i_{np-p}$	Input Noise Current	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		14	30		14	30
$i_n$	Input Noise Current Density	$f_O = 10$ Hz (Note 3)		0.32	0.80		0.32	0.80
		$f_O = 100$ Hz (Note 3)		0.14	0.23		0.14	0.23
		$f_O = 1000$ Hz (Note 3)		0.12	0.17		0.12	0.17
$R_{IN}$	Input Resistance Differential-Mode	(Note 4)	30	80		20	60	
$R_{INCM}$	Input Resistance Common-Mode			200			200	
IVR	Input Voltage Range		±13.0 <b>±13.0</b>	±14.0 <b>±13.5</b>		±13.0 <b>±13.0</b>	±14.0 <b>±13.5</b>	
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	110 <b>106</b>	126 <b>123</b>		110 <b>106</b>	126 <b>123</b>	
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		4 <b>5</b>	10 <b>20</b>		4 <b>5</b>	10 <b>20</b>
$A_{VO}$	Large-Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10V$	300	500		200	500	
		$R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10V$	<b>200</b>	<b>400</b>		<b>150</b>	<b>400</b>	
		$R_L \geq 500\Omega$ , $V_O = \pm 0.5V$ , $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	150	400		150	400	
$V_O$	Output Voltage Swing	$R_L \geq 10$ k $\Omega$	±12.5	±13.0		±12.5	±13.0	
		$R_L \geq 2$ k $\Omega$	±12.0	±12.8		±12.0	±12.8	
		$R_L \geq 2$ k $\Omega$	<b>±12.0</b>	<b>±12.6</b>		<b>±12.0</b>	<b>±12.6</b>	
		$R_L \geq 1$ k $\Omega$	±10.5	±12.0		±10.5	±12.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics** (Continued)

Unless otherwise specified,  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ . **Boldface** type refers to limits over  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$

Symbol	Parameter	Conditions	OP-07A			OP-07			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Slew Rate	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3		0.1	0.3		$V/\mu s$
	Closed-Loop Bandwidth	$A_{VCL} = +1$ (Note 3)	0.4	0.6		0.4	0.6		MHz
	Open-Loop Output Resistance	$V_O = 0, I_O = 0$		60			60		$\Omega$
	Power Consumption	$V_S = \pm 15V$ , No Load $V_S = \pm 3V$ , No Load		75 4	120 6		75 4	120 6	mW
	Offset Adj. Range	$R_P = 20\text{ k}\Omega$		$\pm 4$		$\pm 4$			mV
$V_{OS}$	Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 3)		<b>0.2</b>	<b>0.6</b>		<b>0.3</b>	<b>1.3</b>	$\mu V/^\circ C$
$V_{OS}$	With External Trim	$R_P = 20\text{ k}\Omega$ (Note 4)		<b>0.2</b>	<b>0.6</b>		<b>0.3</b>	<b>1.3</b>	$\mu V/^\circ C$
$I_{OS}$	Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		<b>5</b>	<b>25</b>		<b>8</b>	<b>50</b>	$pA/^\circ C$
	Average Input Bias Drift	(Note 3)		<b>8</b>	<b>25</b>		<b>13</b>	<b>50</b>	$pA/^\circ C$

† OP-07A grade  $V_{OS}$  is measured approximately one minute after application of power. For all other grades  $V_{OS}$  is measured approximately 0.5 second after application of power.

‡ Long-Term Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of  $V_{OS}$  vs time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the first hour of operation, changes in  $V_{OS}$  during the first 30 operating days are typically  $2.5\ \mu V$ . Parameter is sample tested.

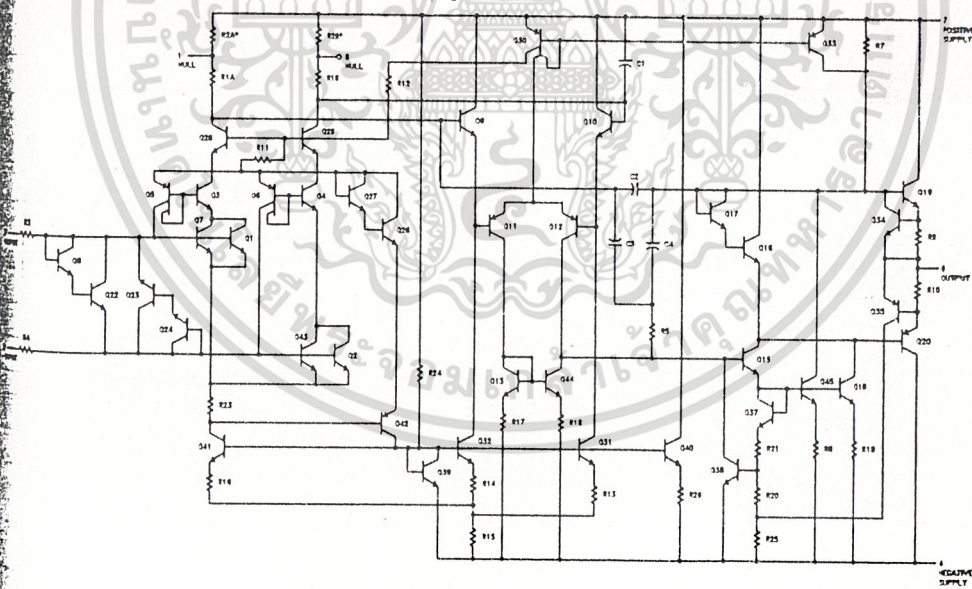
\* Sample tested.

† Guaranteed by design.

‡ The typical  $\theta_{JA}$  of the H08 (TO-99) package is  $155^\circ C/W$ , the J08 (CERDIP) package is  $92^\circ C/W$  and the N08 (Molded DIP) is  $100^\circ C/W$ . The typical  $\theta_{JC}$  of H08 package is  $17.5^\circ C/W$ . All numbers apply for packages soldered directly into an etched circuit board.

§ For supply voltages of less than  $\pm 22V$ , the maximum input voltage is 0.5V beyond either supply.

**Simplified Schematic**



R1 and R2 are electronically trimmed on chip at the factory for minimum offset voltage.

TL/H/10550-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

Unless otherwise specified,  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ . **Boldface** type refers to limits over  $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$

Symbol	Parameter	Conditions	OP-07E			OP-07C		
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	(Note 1)		30 <b>45</b>	75 <b>130</b>		60 <b>85</b>	150 <b>250</b>
$V_{OS/t}$	Long-Term $V_{OS}$ Stability	(Note 2)		0.3	1.5		0.4	2.0
$I_{OS}$	Input Offset Current			0.5 <b>0.9</b>	3.8 <b>5.3</b>		0.8 <b>1.6</b>	6.0 <b>8.0</b>
$I_B$	Input Bias Current			$\pm 1.2$ <b><math>\pm 1.5</math></b>	$\pm 4.0$ <b><math>\pm 5.5</math></b>		$\pm 1.8$ <b><math>\pm 2.2</math></b>	$\pm 7.0$ <b><math>\pm 9.0</math></b>
$e_{np-p}$	Input Noise Voltage	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		0.35	0.6		0.38	0.65
$e_n$	Input Noise Voltage Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		10.3 10.0 9.6	18.0 13.0 11.0		10.5 10.2 9.8	20.0 13.5 11.5
$i_{np-p}$	Input Noise Current	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		14	30		15	35
$i_n$	Input Noise Current Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		0.32 0.14 0.12	0.80 0.23 0.17		0.35 0.15 0.13	0.90 0.27 0.18
$R_{IN}$	Input Resistance Differential-Mode	(Note 4)	15	50		8	33	
$R_{INCM}$	Input Resistance Common-Mode			160			120	
IVR	Input Voltage Range		$\pm 13.0$	$\pm 14.0$		$\pm 13$	$\pm 14$	
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	106 <b>103</b>	123 <b>123</b>		100 <b>97</b>	120 <b>120</b>	
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$ $V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		5 <b>7</b>	20 <b>32</b>		7 <b>10</b>	32 <b>51</b>
$A_{VO}$	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 2$ k $\Omega$ $R_L \geq 500\Omega$ , $V_O = \pm 0.5V$ , $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	200 <b>180</b> 150	500 <b>450</b> 400		120 <b>100</b> 100	400 <b>400</b> 400	
$V_O$	Output Voltage Swing	$R_L \geq 10$ k $\Omega$ $R_L \geq 2$ k $\Omega$ $R_L \geq 2$ k $\Omega$ $R_L \geq 1$ k $\Omega$	$\pm 12.5$ $\pm 12.0$ <b><math>\pm 12.0</math></b> $\pm 10.5$	$\pm 13.0$ $\pm 12.8$ <b><math>\pm 12.6</math></b> $\pm 12.0$		$\pm 12.0$ $\pm 11.5$ <b><math>\pm 11.0</math></b> $\pm 12.0$	$\pm 13.0$ $\pm 12.8$ <b><math>\pm 12.6</math></b> $\pm 12.0$	
SR	Slew Rate	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3		0.1	0.3	
BW	Closed-Loop Bandwidth	$A_{vCL} = +1$ (Note 3)	0.4	0.6		0.4	0.6	
$R_O$	Output Resistance	$V_O = 0$ , $I_O = 0$		60			60	
$P_d$	Power Consumption	$V_S = \pm 15V$ , No Load $V_S = \pm 3V$ , No Load		75 4	120 6		80 4	150 8
	Offset Adj. Range	$R_P = 20$ k $\Omega$		$\pm 4$			$\pm 4$	
TCV <sub>OS</sub>	Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 4)		<b>0.3</b>	<b>1.3</b>		<b>0.5</b>	<b>1.8</b>
TCV <sub>OSn</sub>	With External Trim	$R_P = 20$ k $\Omega$ (Note 4)		<b>0.3</b>	<b>1.3</b>		<b>0.4</b>	<b>1.6</b>
TCI <sub>OS</sub>	Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		<b>8</b>	<b>35</b>		<b>12</b>	<b>50</b>
TCI <sub>B</sub>	Average Input Bias Current Drift	(Note 3)		<b>13</b>	<b>35</b>		<b>18</b>	<b>50</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics**

unless otherwise specified,  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ . **Boldface** type refers to limits over  $0^\circ C \leq T_A \leq + 70^\circ C$

Parameter	Conditions	OP-07D			Units
		Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 1)		60 <b>85</b>	150 <b>250</b>	$\mu V$
Long-Term $V_{OS}$ Stability	(Note 2)		0.5	3.0	$\mu V/Mo$
Input Offset Current			0.8 <b>1.6</b>	6.0 <b>8.0</b>	nA
Input Bias Current			$\pm 2.0$ <b><math>\pm 3.0</math></b>	$\pm 12.0$ <b><math>\pm 14.0</math></b>	nA
Input Noise Voltage	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		0.38	0.65	$\mu Vp-p$
Input Noise Voltage Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		10.5 10.3 9.8	20.0 13.5 11.5	$nV/\sqrt{Hz}$
Input Noise Current	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		15	35	$pAp-p$
Input Noise Current Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		0.35 0.15 0.13	0.90 0.27 0.18	$pA/\sqrt{Hz}$
Input Resistance Differential-Mode	(Note 4)	7	31		$M\Omega$
Input Resistance Common-Mode			120		$G\Omega$
Input Voltage Range		$\pm 13$	$\pm 14$		V
Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	94 <b>94</b>	110 <b>106</b>		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		7 <b>10</b>	32 <b>51</b>	$\mu V/V$
Large Signal Voltage Gain	$R_L \leq 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10V$ $R_L = 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 500\Omega$ , $V_O = \pm 0.5V$ , $V_S \pm 3V$ (Note 4)	120 <b>100</b>	400 <b>400</b> 400		V/mV
Output Voltage Swing	$R_L \geq 10$ k $\Omega$ $R_L \geq 2$ k $\Omega$ $R_L \geq 2$ k $\Omega$ $R_L \geq 1$ k $\Omega$	$\pm 12.0$ $\pm 11.5$ <b><math>\pm 11.0</math></b> $\pm 12.6$ $\pm 12.0$	$\pm 13.0$ $\pm 12.8$ <b><math>\pm 12.6</math></b> $\pm 12.0$		V
Slew Rate	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3		$V/\mu s$
Closed-Loop Bandwidth	$A_{VCL} = +1$ (Note 3)	0.4	0.6		MHz
Output Resistance	$V_O = 0$ , $I_O = 0$		60		$\Omega$
Power Consumption	$V_S = \pm 15V$ , No Load $V_S = \pm 3V$ , No Load		30 4	150 8	mW
Offset Adj. Range	$R_p = 20$ k $\Omega$		$\pm 4$		mV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 4)		<b>0.7</b>	<b>2.5</b>	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	$R_p = 20$ k $\Omega$ (Note 4)		<b>0.7</b>	<b>2.5</b>	$\mu V/^\circ C$
Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		<b>12</b>	<b>50</b>	$pA/^\circ C$
Average Input Bias Current Drift	(Note 3)		<b>18</b>	<b>50</b>	$pA/^\circ C$

OP-07A grade  $V_{OS}$  is measured approximately one minute after application of power. For all other grades  $V_{OS}$  is measured approximately 0.5 second after application of power.

Long-Term Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of  $V_{OS}$  vs Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the first hour of operation, changes in  $V_{OS}$  during the first 30 operating days are typically 2.5  $\mu V$ . Parameter is sample tested.

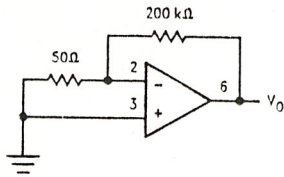
Sample Tested.

Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

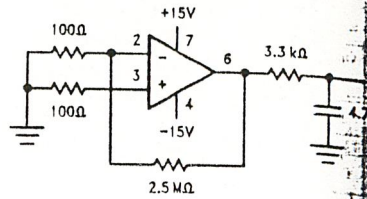
Test Circuits

Offset Voltage Test Circuit

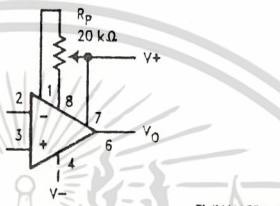


TL/H/10550-4

Low Frequency Noise Test Circuit



Optional Offset Nulling Circuit



TL/H/10550-5



**SCL4009UB Inverting**  
**SCL4010B Non-Inverting**



**CMOS**  
**HEX BUFFERS/CONVERTERS**

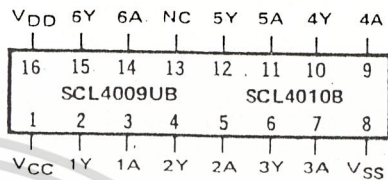
**FEATURES**

- ◆ Direct Drive of 2 TTL/DTL Loads
- ◆ Operation from Single or Dual Supplies
- ◆ All Inputs Diode-Protected

**DESCRIPTION**

The SCL4009UB and SCL4010B are single-chip monolithic silicon integrated circuits containing eighteen N-Channel and twelve P-Channel enhancement-mode MOS transistors connected to form six independent buffer/converter configurations. These devices are designed for use as hex CMOS-to-DTL or TTL logic level converters or hex CMOS current drivers. Conversion ranges are from CMOS logic operating at 3Vdc to 18Vdc supply levels to DTL or TTL logic operating at 3Vdc to 6Vdc supply levels. Conversion to logic output levels greater than 6Vdc is permitted providing  $V_{CC} \leq V_{DD}$ .

**CONNECTION DIAGRAM**  
 (all packages)



**Add Suffix for Package:**

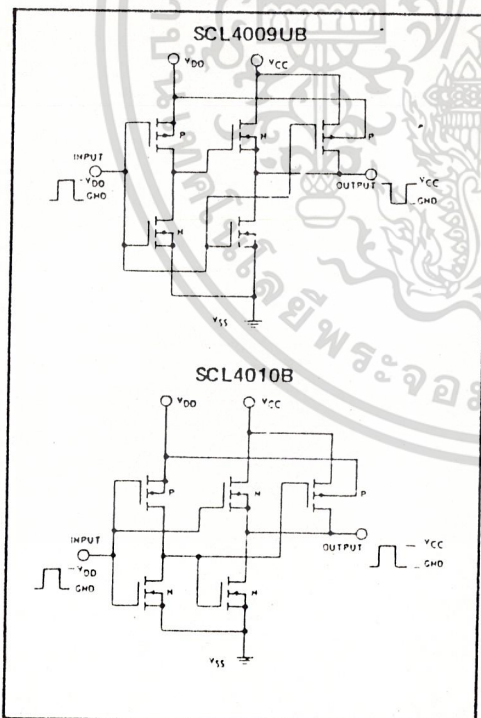
- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

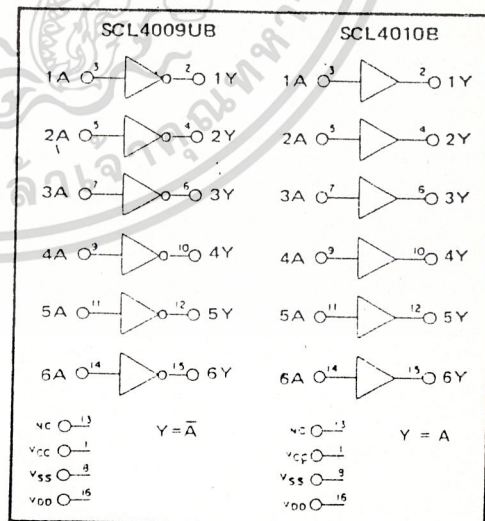
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
	$V_{CC} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
	$V_{CC} \leq V_{DD}$		
Operating Temperature	$T_A$		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

**SCHEMATIC DIAGRAMS**



**LOGIC DIAGRAMS**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS <sup>1, 3</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>DD</sub>	V <sub>INi</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	5	1.0	—	0.005	1.0	—	30	μA <sub>dc</sub>
			10	2.0	—	0.01	2.0	—	60	
			15	4.0	—	0.02	4.0	—	120	
MINIMUM INPUT HIGH VOLTAGE SCL4009UB	V <sub>IH</sub>	V <sub>OL</sub> = 0.5V V <sub>OH</sub> = 1.0V V <sub>OL</sub> = 1.5V I <sub>O</sub> ≤ 1μA	5	4.0	—	2.75	4.0	—	4.0	Vdc
			10	8.0	—	5.5	8.0	—	8.0	
			15	12.0	—	8.25	12.0	—	12.0	
MAXIMUM INPUT LOW VOLTAGE SCL4009UB	V <sub>IL</sub>	V <sub>OH</sub> = 3.6V V <sub>OH</sub> = 7.2V V <sub>OH</sub> = 10.8V I <sub>O</sub> ≤ 1μA	5	1.0	—	1.0	2.25	—	1.0	Vdc
			10	2.0	—	2.0	4.5	—	2.0	
			15	3.0	—	3.0	6.75	—	3.0	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I <sub>OL</sub>	V <sub>OL</sub> = 0.4V V <sub>OL</sub> = 0.5V V <sub>OL</sub> = 1.5V V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	5	3.8	—	3.0	4.0	—	2.2	mA <sub>dc</sub>
			10	10.0	—	8.0	10	—	5.6	
			15	30	—	24	36	—	16	
E device	I <sub>OL</sub>	V <sub>OL</sub> = 0.4V V <sub>OL</sub> = 0.5V V <sub>OL</sub> = 1.5V V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	5	3.6	—	3.0	4.0	—	2.4	mA <sub>dc</sub>
			10	9.6	—	8.0	10	—	6.4	
			15	28	—	24	36	—	20	

NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device  
= -40°C for E device.

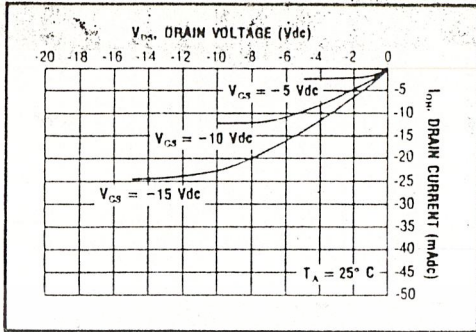
T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device  
= + 85°C for E device.

<sup>3</sup> V<sub>CC</sub> = V<sub>DD</sub>

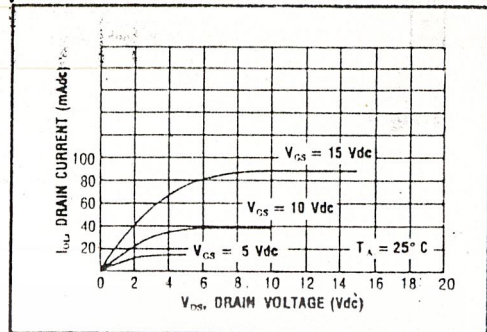
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	V <sub>CC</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
PROPAGATION DELAY TIME Driving CMOS	t <sub>PLH</sub>	5	—	60	120	ns	
		10	—	35	70		
		15	—	28	56		
	Driving TTL/DTL	5	5	—	45	90	ns
		10	5	—	20	40	
		15	5	—	15	30	
Driving CMOS	t <sub>PHL</sub>	5	—	30	60	ns	
		10	—	18	36		
		15	—	12	24		
	Driving TTL/DTL	5	5	—	35	70	ns
		10	5	—	15	30	
		15	5	—	10	20	
OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH</sub>	5	—	150	300	ns	
		10	—	75	150		
		15	—	60	120		
	t <sub>THL</sub>	5	—	30	60	ns	
		10	—	20	40		
		15	—	12	24		
INPUT CAPACITANCE SCL4009UB SCL4010B	C <sub>IN</sub>	—	—	10	15	pF	
		—	—	5	7.5		

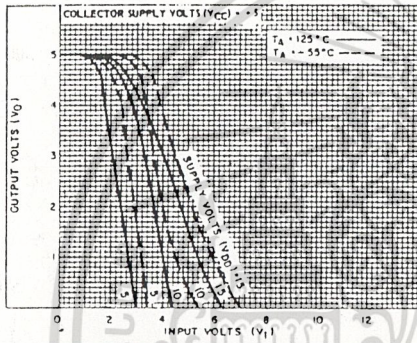
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



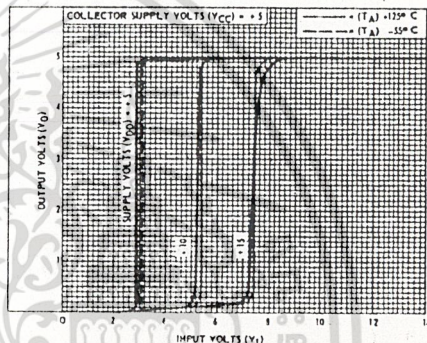
Typical P-Channel Source Current Characteristics



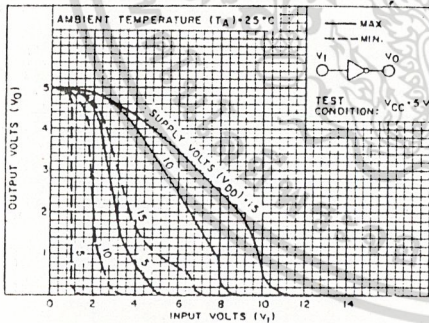
Typical N-Channel Sink Current Characteristics



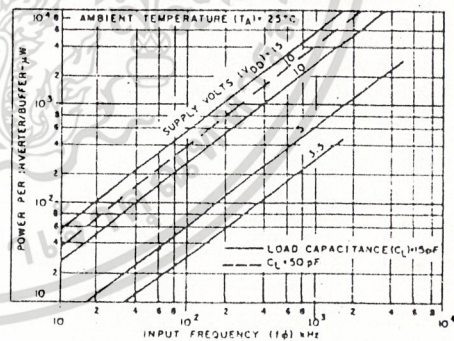
Typ. voltage transfer characteristics as function of temperature – SCL4009UB



Typ. voltage transfer characteristics as function of temperature – SCL4010B



Min. & max. voltage transfer characteristics – SCL4009UB



Typ. dissipation characteristics – SCL4009UB, SCL4010B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4040AB



CMOS  
12-STAGE BINARY COUNTER

FEATURES

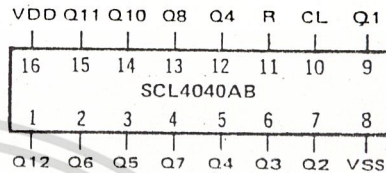
- ◆ 12 Fully Static Stages
- ◆ All 12 Buffered Outputs Available
- ◆ Common Reset Line
- ◆ 8MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ All Inputs Buffered

DESCRIPTION

The SCL4040AB consists of 12-ripple-carry binary counter stages with appropriate input buffers and reset circuitry. The counter is reset to its "all 0's" state by a high level on the Reset input. The counter is advanced one count on the negative-going transition of each input pulse. Isolation from external noise and the effects of loads is provided by output buffering.

Applications include time delay circuits, counter controls, and frequency dividers.

CONNECTION DIAGRAM  
(all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

TRUTH TABLE

Clock	Reset	Output State
	0	No Change
	0	Advance to next state
x	1	All Outputs are low

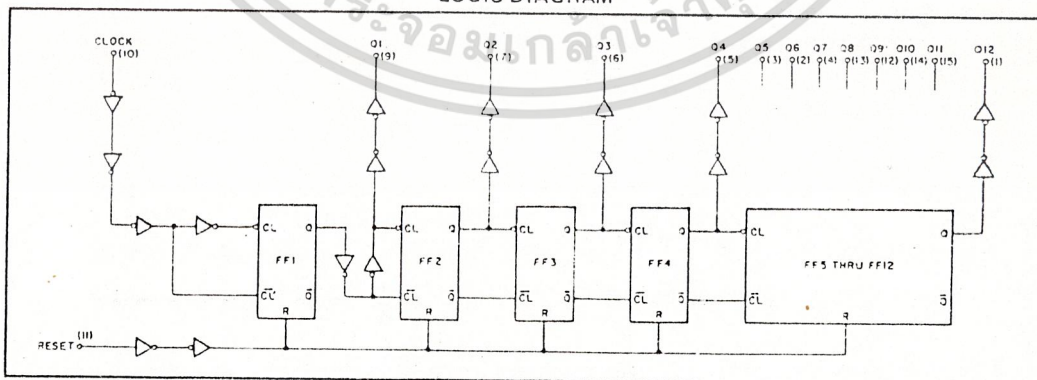
X = Don't Care

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	$T_A$		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units			
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.				
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>DD</sub>	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	5	5	–	0.05	5	–	150	μA <sub>dc</sub>			
			10	10	–	0.1	10	–	300				
			15	15	–	0.2	20	–	600				
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	I <sub>OH</sub>	V <sub>OH</sub> =4.6V V <sub>OH</sub> =9.5V V <sub>OH</sub> =13.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	5	–0.15	–	–0.12	–0.5	–	–0.08	–	mA <sub>dc</sub>		
			10	–0.37	–	–0.3	–1.15	–	–0.21	–			
			15	–1.25	–	–1.0	–4.5	–	–0.69	–			
			E device	5	–0.14	–	–0.12	–0.5	–	–0.10		–	mA <sub>dc</sub>
				10	–0.35	–	–0.3	–1.15	–	–0.25		–	
				15	–1.2	–	–1.0	–4.5	–	–0.85		–	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I <sub>OL</sub>	V <sub>OL</sub> =0.4V V <sub>OL</sub> =0.5V V <sub>OL</sub> =1.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	5	0.15	–	0.12	0.5	–	0.08	–	mA <sub>dc</sub>		
			10	0.37	–	0.3	1.0	–	0.21	–			
			15	1.25	–	1.0	5.8	–	0.69	–			
			E device	5	0.14	–	0.12	0.5	–	0.10		–	mA <sub>dc</sub>
				10	0.35	–	0.3	1.0	–	0.25		–	
				15	1.2	–	1.0	5.8	–	0.85		–	

NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = –55°C for C, D, F, H device.

= –40°C for E device.

T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.

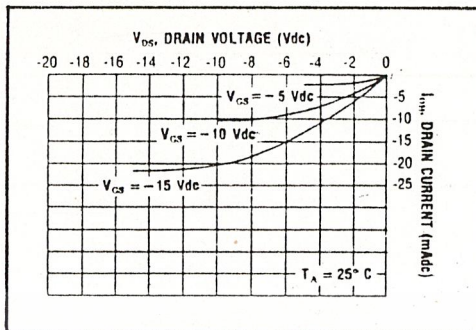
= +85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

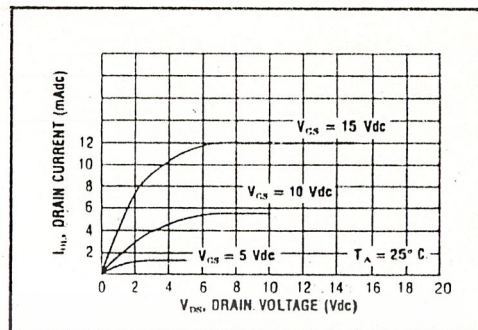
PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
<b>CLOCKED OPERATION</b>						
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q1	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	–	200	400	ns
		10	–	100	200	
		15	–	80	160	
Q <sub>i</sub> to Q <sub>i+1</sub>	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	–	150	300	ns
		10	–	75	150	
		15	–	60	120	
OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	5	–	180	360	ns
		10	–	90	180	
		15	–	65	130	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW <sub>CL</sub>	5	–	100	200	ns
		10	–	50	100	
		15	–	40	80	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f <sub>CL</sub>	5	2.0	4.0	–	MHz
		10	4.0	8.0	–	
		15	5.0	10.0	–	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME	t <sub>rCL</sub> , t <sub>fCL</sub>	5	15	–	–	μs
		10	15	–	–	
		15	5	–	–	
<b>RESET OPERATION</b>						
PROPAGATION DELAY TIME	t <sub>PHL</sub>	5	–	300	600	ns
		10	–	150	300	
		15	–	120	240	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW <sub>R</sub>	5	–	150	300	ns
		10	–	75	150	
		15	–	50	120	
RESET REMOVAL TIME	t <sub>rem</sub>	5	–	250	500	ns
		10	–	125	250	
		15	–	100	200	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4040AB

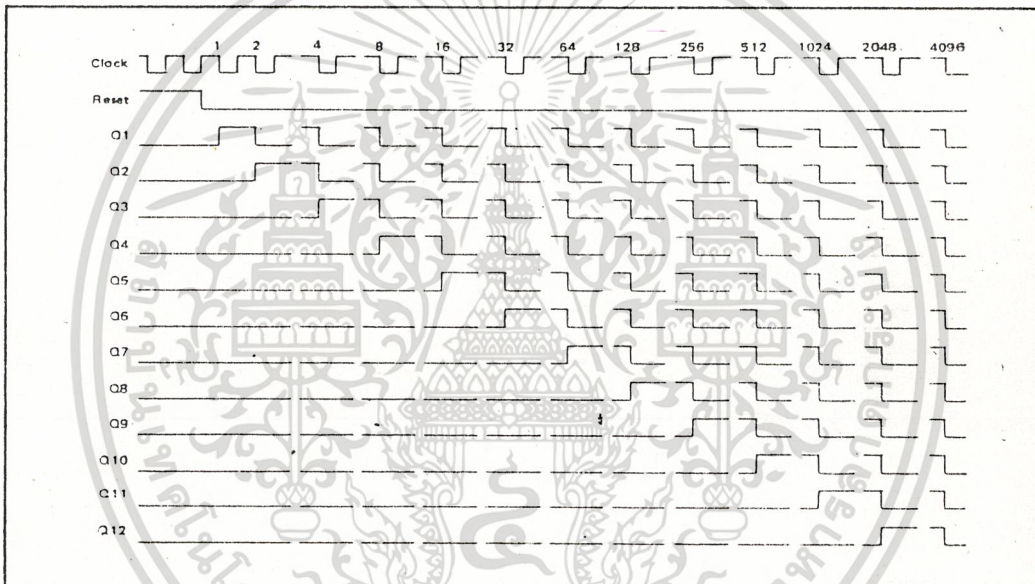


Typical P-Channel Source Current Characteristics

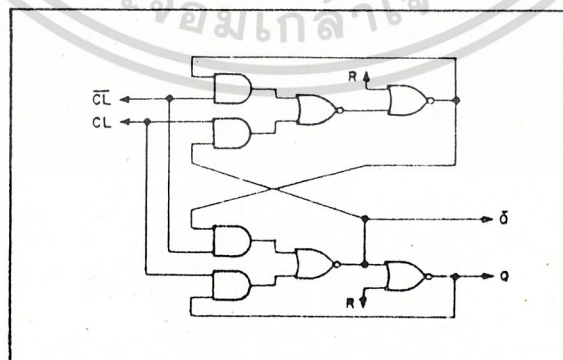


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

TIMING DIAGRAM



TYPICAL COUNTER STAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณ วิทยา เกษมุตติ ที่ทำการชุมสายโทรศัพท์ระหว่างประเทศ การสื่อสารฯ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำรวมทั้งจัดหาอุปกรณ์บางส่วนในการสร้างโครงการ

ขอบคุณ พ่อ แม่และเครือญาติ อาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆนักศึกษา ภาควัดคุมฯ ทุกคน สำหรับกำลังใจและคำปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. วินัย เวชวิทชายล้ง, “การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์”, วารสารเทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม ฉบับที่ 87, 2535.
2. พิพัฒน์ เล้าสงคราม, “การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 213 หน้า, 2535.
3. สุเจตน์ จันทร์ชัย, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051”, โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2536.
4. นรินทร์ เนาวประทีป, “ออปแอมป์ 741”, โครงการตำราเรียน PHYSICS CENTER 183 หน้า.
5. มัณฑนา ปราการสมุทร, “การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี”, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 345 หน้า, 2534.
6. ชันวา ศรีประโมง, “การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม”, โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 739 หน้า, 2537.
7. คู่มือไอซี CMOS 4000 SERIES, บริษัทซีเอ็ลยูเคชั่น จำกัด, 306 หน้า, 2535.
8. “เครื่องวัดความต้านสะเทือนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก”, ปรินูญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535
9. “National Semiconductor”, National Semiconductor Corp., U.S.A.
10. “V-31 User’s manual”, SILA RESEARCH CO.,LTD., 2536.
11. Roger T. Stevens and Christopher D. Watkins, “Advanced Graphics Programming in C and C<sup>++</sup>”, Prentice Hall Inc., 541 p., 1991.
12. Ben Ezzell, “Graphics Programming in Turbo C 2.0”, Borland International, 568 p., 1988.
13. “Operating Instructions PiezoBEAM Accelerometers”, Kistler Instrumente AG Winterthur, Schweiz.
14. Andrew D. Dimarogonos and Sam Haddad, “Vibration for engineers”, Prentice Hall 749 p., 1992.