



เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก
TRIAxIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER



โดย
นาย ศักดิ์ดีดา ศรีสันต์
นาย สุชาติ โสภาก
นาย เอกราช ศรีสวัสดิ์

วัน เดือน ปี.....-4.ค.ค.2541
เลขทะเบียน.....038615
เลขเรียกหนังสือ.....T.40085ค.๑1๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร คณะวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
038615

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก
TRIAXIALPIEZOELECTRIC ACCELEROMETER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร คณะวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2540

เครื่องวัดความสั้นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก

โดย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกนด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก

TRIAxIALPIEZOELECTRIC ACCELEROMETER

ผู้จัดทำ

1. นาย ตักคิดดา ศรีสันต์ 38013423
2. นาย สุชาติ โสภา 38013431
3. นาย เอกราช ศรีสวัสดิ์ 38013438

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก
TRIAxIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER

นาย ศักดิ์ดา ศรีสันต์ 38013423

นาย สุชาติ โสภา 38013431

นาย เอกราช ศรีสวัสดิ์ 38013438

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก ใช้พิโซบีม (PiezoBEAM) จำนวน 2 ตัวทำการวัดความสั่นสะเทือนได้สองจุดเป็นเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรขนาดเล็ก ช่วงการวัดของ พิโซบีม (PiezoBEAM) อยู่ระหว่าง ± 50 g PiezoBEAM Accelerometer เป็น เซ็นเซอร์ ที่ใช้ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนซึ่งอาศัยหลักการของ พิโซอิเล็กทริก คือทำการเปรียบเทียบอัตราเร่งของความสั่นสะเทือนต่อค่าแรงโน้มถ่วงของโลก และให้เอาที่พุดเป็นประจุไฟฟ้าออกมาตามอัตราส่วนแรงที่กระทำ ผ่านวงจรแปลงค่าประจุเป็นแรงดัน 0 ถึง 5 โวลท์ มีวงจรเกณฑ์การขยายผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลรับอินพุต 6 channel และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031 ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS232 ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีโปรแกรมประมวลผล โปรแกรมที่ขึ้นเขียนด้วยภาษาซี เพื่อประมวลผลข้อมูลของระดับความสั่นสะเทือน ทำการสุ่มค่า 256 ค่า สำหรับหาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยของช่วงการวัด ความสามารถทางด้านซอฟต์แวร์ยังสามารถนำข้อมูลเข้ามาแสดงหน้าจอกราฟพิมพ์กราฟออกทางเครื่องพิมพ์ การเปรียบเทียบกราฟเพื่อบอกถึงการบำรุงรักษาพล็อตกราฟโดยรับค่าแบบต่อเนื่องพล็อตกราฟรูปสัญญาณและแสดงผลเป็นสเปกตรัมความถี่ จากการรับข้อมูล สามารถเลือกแสดง ผลสเปกตรัม แบบ 1 channel หรือ 3 channel พร้อมกัน เครื่องจักรที่มีส่วนประกอบของเครื่องยนต์ หรือมอเตอร์จะเกิดความสั่นสะเทือนระดับหนึ่ง โดยเครื่องวัดนี้สามารถจะเก็บข้อมูลได้เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ทำการตรวจสอบภายหลัง แล้วนำมาพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของเครื่องจักรเพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ล่วงหน้าว่าเครื่องจักรจะเกิดผิดปกติเมื่อใด หรือจะต้องทำการซ่อมบำรุงหรือไม่ ทำให้เราสามารถป้องกันความผิดปกติของเครื่องจักรก่อนเหตุการณ์นั้นได้ ทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้สม่ำเสมอตลอดเวลา

TRIAxIAL PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER

SAKDA SRISUN 38013423

SUCHAT SOPA 38013431

EKKARACH SRISAWAT 38013438

ADVISER

WIDHA THIPSUWUNPORN

ACADEMIC YEAR 1997

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 ± 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 signal and spectrum graph frequency plot from single data which can be selected display spectrum frequency one channel or three channels(one point) 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

เรื่อง

หน้า

บทคัดย่อ

ABSTRACT

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 การนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนไปใช้ในงานอุตสาหกรรม.....	1
1.1.1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์.....	1
1.1.2 วิธีการวัดการเสื่อมสภาพ.....	3
1.1.3 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์.....	4
1.2 ลักษณะการใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนในโรงงานอุตสาหกรรม.....	6
1.3 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน ด้วยผลึกไพโซอิเล็กทริก.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	9
2.1 ทฤษฎีทรานสดิวเซอร์ไพโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer).....	9
2.2 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนชนิด 3 แกน (Triaxial Accelerometer).....	14
2.2.1 ความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration).....	15
2.2.2 การออกแบบที่แตกต่างกันที่ต้องพิจารณา.....	15
2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความไวของเซ็นเซอร์กับมวลที่มีการสั่นไหว.....	15
2.2.4 หลักการของ PiezoBEAM.....	16
2.2.5 ความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration).....	17
2.2.6 ระบบ TAP.....	18
2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A to D convertor).....	20
2.4 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	26
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงาน.....	36
3.1 ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องวัดความสั่นสะเทือน.....	36
3.2 หลักการทำงานทั่วไป.....	36
ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดความสั่นสะเทือน.....	37
1. Acceleration Sensor.....	38
2. สายเคเบิล.....	41
3. Piezo Tron Coupler.....	42
4. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS 51.....	49
6. แหล่งจ่ายแรงดัน.....	49
7. วงจรขยายสัญญาณ, วงจรรวมสัญญาณ และวงจรมัลติเพล็กซ์.....	50
3.3 การเขียนโปรแกรมภาษาซีในการสื่อสารแบบอนุกรม.....	52
3.4 การเขียนโปรแกรมแอสเซมบลีสำหรับการส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	60
3.5 โปรแกรมควบคุมและแสดงผลทางกราฟฟิกของความถี่.....	65
บทที่ 4 การประมวลสัญญาณ.....	77
4.1 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเวลาต่อเนื่องในโดเมนเวลา.....	77
4.1.1 ตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล.....	77
ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง.....	81
4.2 โดเมนเวลา และโดเมนความถี่.....	83
4.2.1. สเปกตรัม.....	83
4.2.2. โดเมนเวลา.....	83
4.2.3. โดเมนความถี่.....	84
4.3 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเวลาเป็นช่วงในโดเมนความถี่.....	85
4.3.1 การสุ่มตัวอย่าง และการสร้างใหม่สัญญาณเวลาเป็นช่วง ในโดเมนความถี่.....	85
4.3.2 การแปลงฟูริเยอร์เป็นช่วงๆ (DFT).....	88
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT กับการแปลงอื่นๆ.....	89
4.3.4 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเวลาโดยใช้ DFT.....	91
4.4 การออกแบบโดยใช้อนุกรมฟูริเยอร์.....	98
4.4.1 การใช้อนุกรมฟูนิเยอร์จำนวนพจน์คงตัว.....	98
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	105
5.1 จุดประสงค์.....	105
5.2 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวัดความถี่.....	105
การทดลองที่ 1.....	111
การทดลองที่ 2.....	115
การทดลองที่ 3.....	122
การทดลองที่ 4.....	135

การทดลองที่ 5.....	151
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป.....	158
ภาคผนวก	
กิติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 การนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

1.1.1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

สิ่งที่วิศวกรซ่อมบำรุงปรารถนาคือต้องการให้เครื่องจักรทำงานได้ตามปกติเดินเรียบสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพ และเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด จึงต้องมีการวางแผนระบบการซ่อมบำรุงต่างๆ ตามความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน โดยมีเป้าหมายหลักคือ

1. ลดข้อขัดข้องหรือจัดปัญหาการทำงานของเครื่องจักรให้หมดไป โดยเพิ่มความมั่นใจ ในการทำงานของเครื่องจักรให้สูงขึ้น
2. ถ้าหลีกเลี่ยงการหยุดเครื่องจักรไม่ได้ ก็ต้องพยายามลดเวลาการหยุดเครื่องจักรให้น้อยที่สุด โดยวางแผนการซ่อมบำรุง กำลังแรงงานและอะไหล่อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ลดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุง ศึกษาหาวิธีการซ่อมบำรุงสมัยใหม่ เพื่อนำไปสู่การประหยัดและเพิ่มผลผลิต

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว มีเทคนิคการซ่อมบำรุงอย่างหนึ่ง ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศก็คือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ในขณะที่ประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำได้ใช้วิธีการนี้มานานกว่า 20 ปีทีเดียว

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

ในการวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องจักร การกำหนดเวลาซ่อมบำรุง เป็นเรื่องที่สำคัญมากถ้ากำหนดช่วงเวลาการซ่อมถี่เกินไปจะทำให้เกิดการสิ้นเปลือง และในทางตรงกันข้ามถ้ากำหนดเวลาการซ่อมบำรุงห่างเกินไป เครื่องจักรอาจเกิดการขัดข้องเสียหายก่อนที่จะมีการซ่อมบำรุง ดังนั้นความเหมาะสม ในการกำหนดช่วงความถี่ในการซ่อมบำรุงควรพิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ รวมกัน เช่น คำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักร สภาพการใช้งาน ประวัติความขัดข้องที่ผ่านมาและการซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรเป็นต้น

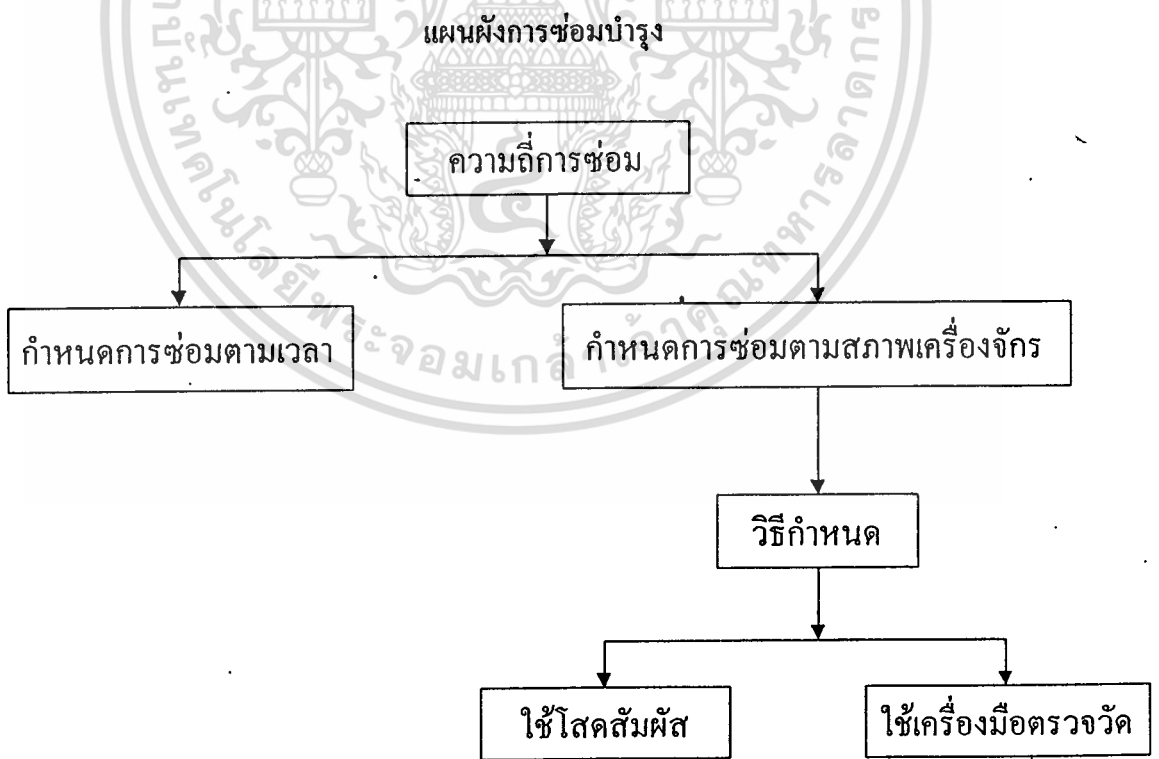
1. กำหนดการซ่อมบำรุงตามเวลา

เป็นการซ่อมบำรุงโดยใช้เวลาการทำงานของเครื่องจักรเป็นความถี่ความห่างของการกำหนดเวลา เช่น การกวาดชั้นฆ่าสกรู การเปลี่ยนชิ้นส่วน การทำความสะอาดเครื่องจักร เป็นการซ่อมบำรุงแก้ปัญหาเล็กๆ ก่อนที่จะเกิดการเสียหายขัดข้องขนาดใหญ่ โดยมักจะได้รับคำแนะนำจากหนังสือคู่มือกำกับเครื่องจักรการกำหนดความถี่การซ่อมบำรุงวิธีนี้เหมาะสำหรับการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรที่อยู่ภายในและไม่สามารถตรวจจากสภาพภายนอกได้ เช่น การเปลี่ยนซีด การกวาดชั้นฆ่าสกรูภายใน การตรวจสอบการแตกร้าวสึกหรอ หรือการซ่อมใหญ่มอเตอร์ การล้างทำความสะอาดภายในขดลวด เป็นต้น

2. กำหนดการซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพ

การกำหนดการซ่อมวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถใช้ประโยชน์สูงสุดจากการใช้งานของเครื่องจักร เมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์ทำงานจนกระทั่งเสื่อมสภาพลงก็ควรจะซ่อมบำรุงรักษาหรือปรับปรุงให้กลับคืนสู่สภาพเดิมหรือดียิ่งขึ้น

การกำหนดความถี่การซ่อมบำรุงวิธีนี้เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่สามารถตรวจวัดการเสื่อมสภาพได้ เช่น ตรวจวัดความร้อน เสียง ความสั่นสะเทือน เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แผนผังการซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

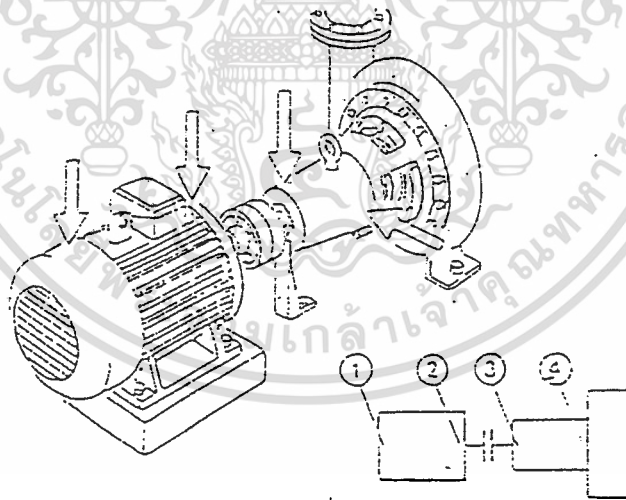
1.1.2 วิธีการวัดการเสื่อมสภาพ

ตรวจวัดการเสื่อมสภาพด้วยความรู้สึก :

เป็นวิธีการพื้นฐานแบบง่ายโดยใช้ประสาทสัมผัส ประสิทธิภาพจากการสังเกต และความรู้สึกที่คลุกคลีอยู่กับเครื่องจักรนั้นๆเช่น ร้อนผิดปกติ เสียงดังสั้นมีกลิ่นผิดปกติการตรวจวัดการเสื่อมสภาพวิธีนี้อาจผิดพลาดจะมีมาก เนื่องจากสัมผัสแต่ละคนมีความแตกต่างกันไม่สามารถบันทึกเป็นข้อมูลได้แต่ข้อดีก็คือเหมาะสำหรับการตรวจวัดการเสื่อมสภาพในระยะเริ่มแรก

ตรวจวัดการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องมือวัด :

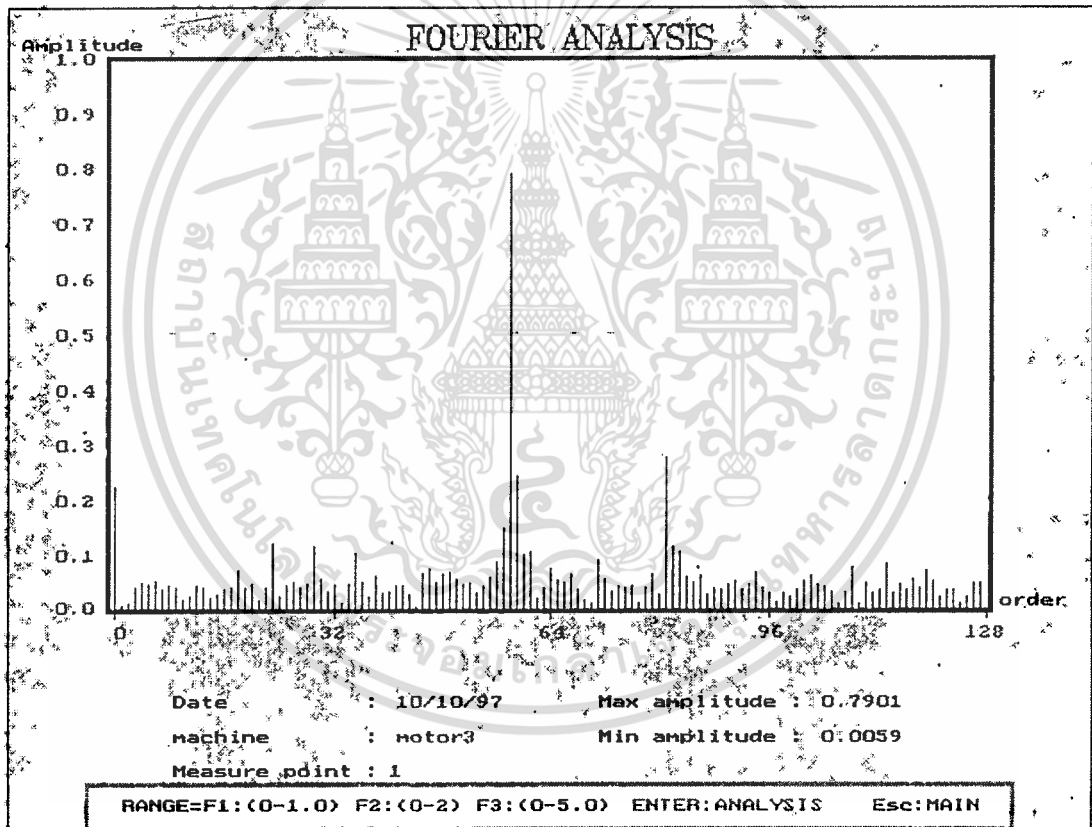
เป็นผลมาจากการวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีอันรวดเร็ว มีการออกแบบผลิตเครื่องมือวัดต่างๆ เป็นจำนวนมาก สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ทำให้ได้ผลการตรวจวัดถูกต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน สามารถเก็บเป็นข้อมูลประวัติใช้ประเมินการเสื่อมสภาพและวิเคราะห์ว่า เครื่องจักรอยู่ในสภาพใดและสามารถพยากรณ์ว่า จะใช้งานเครื่องจักรต่อไปได้อีกนานเท่าใด การบำรุงรักษาวิธีนี้เรียกว่า “การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์”



รูปที่ 1.2 การกำหนดจุดตรวจวัด และตำแหน่งบนเครื่องจักร

1.1.3 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์หมายถึงการบำรุงรักษาโดยการตรวจวัดการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เพื่อตรวจวัดแนวโน้มสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องจักรทำงาน ทำให้ทราบว่าเครื่องจักรทำงานอยู่ในสภาพใด เพื่อคาดคะเนการซ่อมบำรุงล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดบันทึก วิเคราะห์ผล และแก้ไขปัญหาซึ่งข้อดีที่ชัดเจนของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์คือ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงประมาณ 20 % และทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า เพื่อให้งานบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบงาน และติดตามความเจริญก้าวหน้าของเครื่องมือวัด และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานปัจจุบันระบบไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัดเกือบทุกประเภท



รูปที่ 1.3 การนำไมโครคอมพิวเตอร์มาประกอบการแสดงผล

จากรูปที่ 1.3 เป็นผลที่ได้จากเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน (Accelerometer) ที่ใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการตรวจวัด บันทึกข้อมูล แสดงแนวโน้มการเสื่อมสภาพเครื่องจักร และรายงานด้วยตัวเลข รูปกราฟ มีความสะดวกรวดเร็วและใช้งานง่าย นอกจากนี้แล้วการใช้เครื่องมือวัดอื่นๆ เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือฟังเสียงคลื่นความถี่สูง เครื่องมือวิเคราะห์ผลการสึกหรอ เครื่องมือตรวจสอบสภาพลัดถูกปืน จะทำให้ได้ข้อมูลเฉพาะอย่างที่จะเห็นแนวโน้มการผิดปกติที่เด่นชัดขึ้น

ขั้นตอนการนำเครื่องวัดความดันสะท้อนใช้กับวิธีการบำรุงรักษา

ก่อนที่จะกำหนดช่วงเวลาความถี่ในการตรวจวัดสภาพเครื่องจักรควรมีผังขบวนการของระบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจในการปฏิบัติ ลักษณะของขั้นตอนต่างๆ ไปแบ่งได้ดังนี้

ขั้นตอนแรก : การพิจารณาความเป็นไปได้ของเครื่องจักร ที่จะกำหนดให้เป็นการบำรุงรักษาตามการเสื่อมสภาพ การดูประวัติเครื่องจักร จำนวนแบบของเครื่องจักร ความสำคัญต่อขบวนการผลิตชนิดและความถี่ของการขัดข้อง และแนวโน้มที่จะเกิดการขัดข้องอีก

ขั้นตอนที่สอง : การเลือกเครื่องจักรที่สามารถตรวจวัดควบคุมได้ง่ายและความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ร่วมกับวิธีการบำรุงรักษา

ขั้นตอนที่สาม : พิจารณาว่าจะวัดอย่างไรและจุดใด โดยเลือกตำแหน่งที่ดีที่สุด บอกลักษณะการขัดข้องของเครื่องจักรส่วนใหญ่จะเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติ เช่น ใกล้เคียงกับลูกปืน แทนเครื่องจักร หน้าแปลนต่อกำลัง เป็นต้น

ขั้นตอนที่สี่ : เป็นการกำหนดระยะเวลาว่าจะตรวจวัดบ่อยมากน้อยเพียงใด

ขั้นตอนที่ห้า : เป็นการกำหนดระดับหรือค่าพิกัดการตรวจวัดแสดงระดับการทำงานปกติของเครื่องจักร

ขั้นตอนที่หก : เป็นการกำหนดเส้นหรือขอบเขตความรุนแรงแต่ละระดับ เช่น อาจแบ่งเป็นระดับปกติดี พอใช้ และต้องแก้ไข โดยอ้างอิงจากระดับมาตรฐานของแต่ละเครื่องจักร

สรุปขั้นตอนการเตรียมการระยะแรกเริ่มจาก การกำหนดช่วงเวลาการตรวจวัด การทำแผนการตรวจวัด การเก็บรวบรวมข้อมูลและบันทึก การวิเคราะห์ผล เพื่อจะหาสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

1.2 ลักษณะการใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนในโรงงานอุตสาหกรรม

เป็นเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนเครื่องจักรปกติเครื่องจักรจะทำงานโดยได้รับแรงขับเคลื่อนจากเครื่องต้นกำลังซึ่งอาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์ กังหันจะทำให้เครื่องจักรเกิดความสั่นสะเทือนในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดได้เพื่อเก็บข้อมูลไว้เปรียบเทียบค่าภายหลัง เพื่อพิจารณาการผิดปกติของเครื่องจักร ความไม่สมดุลหรือการติดตั้งเครื่องจักรที่ไม่ตรงแนวศูนย์ (Misalignment) ปกติการเปลี่ยนแปลงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการผิดปกติของเครื่องจักรการ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสั่นสะเทือนหรือความถี่ จะทราบถึงระดับรุนแรงของปัญหาว่าจะแก้ไขอย่างไร



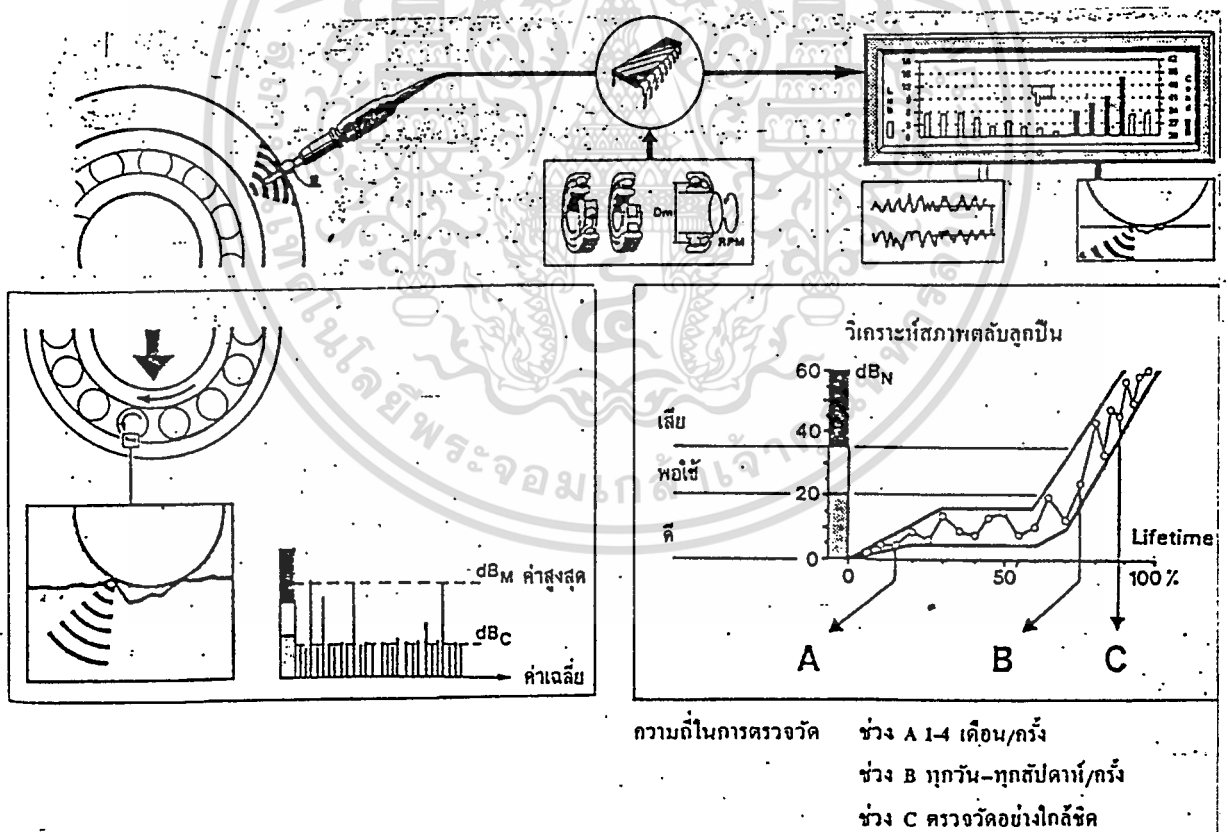
การวิเคราะห์ประมวลผล

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนในปัจจุบัน จะแบ่งการวิเคราะห์ประมวลผลแสดงผลได้เป็น 2 แบบ คือ

1. เป็นเครื่องมือวัดทำรวม (Overall) วัดระดับความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรทั้งหมด แสดงผลในรูปของค่าตัวเลข ถ้าความสั่นสะเทือนเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ผ่านมา จนถึงระดับอันตรายก็ จะสร้างสัญญาณเตือนให้ทราบ

2. เป็นแบบวิเคราะห์ประมวลผลในรูปของ สเปกตรัมความถี่ความสั่นสะเทือน ของส่วน ประกอบในเครื่องจักรทั้งหมด แยกระดับความสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ ทำให้ทราบรายละเอียดและ สาเหตุความสั่นสะเทือนที่ผิดปกติว่าเกิดจากส่วนประกอบใด

ในโครงการงานชิ้นนี้เป็นการวัดวิเคราะห์ทั้งสองแบบข้างต้น คือวัดระดับความสั่นสะเทือนเป็นตัวเลขและเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลการวัดต่อไปพร้อมทั้งวิเคราะห์ประมวลผลในรูป สเปกตรัมความถี่การสั่นสะเทือน



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างการวัดวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกนด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก

โครงการเครื่องที่ใช้ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก(PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER) โดยใช้เซ็นเซอร์คือผลึกพีโซอิเล็กทริกชนิดที่วัดได้แกนเดียวซึ่งค่าที่ออกมาไม่มีค่าไม่แม่นยำเท่าที่ควร เพราะเนื่องจากความสั่นสะเทือนไม่ได้เกิดทิศทางเดียวแต่อาจเกิดได้รอบทิศทาง ซึ่งความสั่นสะเทือนที่ไม่แม่นยำจะมีผลต่อการวิเคราะห์เป็นอย่างมากอีกทั้งโครงการที่ต้องย้ายวัดหลายตำแหน่ง ทำให้ยุ่งยาก และการขยายทางฮาร์ดแวร์ก็ทำได้ยาก ดังนั้นโครงการวัดความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก 2 จึงเกิดขึ้น ซึ่งเน้นการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เป็นสำคัญอีกทั้งง่ายต่อการนำไปใช้งานและแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้ง วิเคราะห์และเปรียบเทียบฉะนั้นโครงการนี้จึงใช้เซ็นเซอร์ที่เป็นผลึกพีโซอิเล็กทริกชนิด 3 แกน ซึ่งจะมีค่าที่แม่นยำกว่าและง่ายต่อการขยายในอนาคต เพราะรับอินพุตได้ 8 ช่อง



บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีทรานสดิวเซอร์พีโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer)

เมื่อใดก็ตามที่วัตถุของแข็งที่มีรูปร่างแน่นอนถูกทำให้เสียรูปไป ภายในตัวมันก็จะเกิดประจุไฟฟ้าหากมีการนำไปใช้จะมีผลกระทบย้อนกลับนั่นคือวัตถุจะเสียรูปเชิงกลเป็นผลตอบสนองการกระทำนี้ให้ชื่อว่า ปรากฏการณ์พีโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect) หลักการสำคัญของการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical) คือ การนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ทั้ง 2 ทิศทาง คือ ถ้าอินพุตเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกลแล้วให้สัญญาณทางไฟฟ้าเป็นเอาต์พุตก็จะเป็นพื้นฐานของเครื่องมือต่างๆ ไป ที่ใช้กับการวัดความเร่ง ความเร็ว ความดัน สามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ วิธีการกำเนิดกำลังไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง กระแสต่ำ เช่นการใช้งานในการเริ่มจุดระเบิดเครื่องยนต์ (Spark-ignition) และการกรองฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (electrostatic dust filter) ในทางกลับกันถ้าอินพุตเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วให้การเปลี่ยนแปลงทางกลเป็นเอาต์พุตจะใช้ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนที่มีค่าน้อยๆ (small vibration shaker) ระบบโซนาร์สำหรับเสียง (sonar system for acoustic ranging) ตัวตรวจจับทิศทาง อุปกรณ์การตรวจสอบอุลตราโซนิก โดยไม่ทำลาย (ultrasonic nondestructive) และอื่นๆ อีกมากมาย

วัสดุที่แสดงออกถึงลักษณะความสำคัญ และผลกระทำของพีโซอิเล็กทริก แบ่งได้ 3 กลุ่มตามธรรมชาติคือ

- ควออต (quartz)
- ดีเกลีอ (rochelle salt)
- คริสตัลสังเคราะห์ (tithium sulfur, ammonium dihydrogen phosphase)

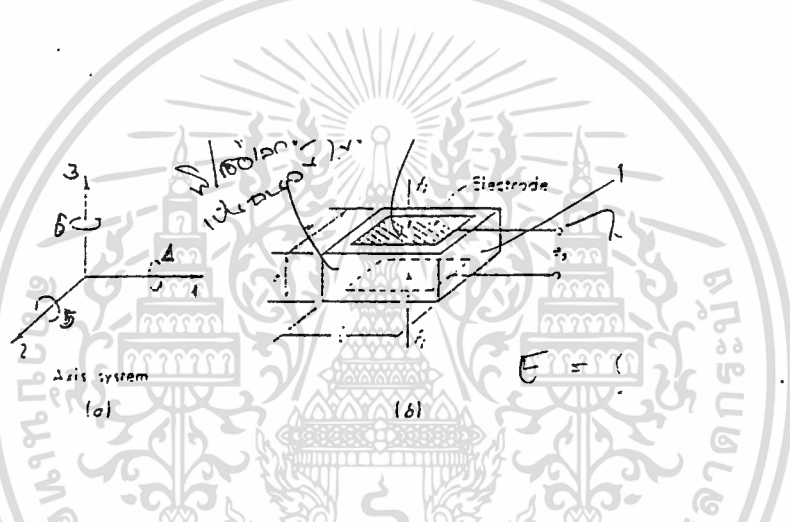
โดยการแยกขั้วเซรามิกที่เป็นไฟฟ้า (ferro eoectric) เช่น barium titnate และ แผ่นฟิล์มโพลิเมอร์ที่มีรูปร่างแน่นอนเหตุผลเพราะโครงสร้างที่ไม่สมมาตรตามธรรมชาติวัตถุที่เป็นผลึกจะแสดงปฏิกิริยาออกมา ถึงแม้จะไม่มีกระบวนการใดๆ สำหรับเซรามิกที่เป็นไฟฟ้า จะต้องถูกแยกขั้วเทียมโดยวิธีใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มมากๆ ให้กับวัตถุ (ขณะที่ถูกให้ความร้อนสูงๆ มีอุณหภูมิเหนือจุดคูรี (curie point) ของวัสดุนั้น) และทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ ขณะที่ยังมีสนามนั้นอยู่เมื่อสนามภายนอกถูกนำออกไปจากวัสดุที่เย็นแล้วการไหลเวียนที่ยังคงเหลือจะถูกเก็บไว้ภายใน และวัสดุนั้นจะแสดงผลของพีโซอิเล็กทริก ผลของพีโซอิเล็กทริก สามารถถูกทำให้เกิดผลตอบสนอง (หรือเป็นสาเหตุ) การเสียรูปเชิงกลของวัสดุในโหมดต่างๆ กัน เช่น การขยายออกของความหนาตามขวางแรงเฉือนตามความหนาแรงเฉือนที่ผิวจุดคูรี คืออุณหภูมิเหนือจุดที่วัสดุนั้นสูญเสียความเป็นไฟฟ้า มันถูกจำกัดอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่วัสดุนั้นจะสามารถถูกใช้ได้ในโหมดของผลจากการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างและการหาทิศทางของตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุซึ่งสัมพันธ์กับแกนผลึก และตำแหน่งของอิเล็กโทรด (electrode) อิเล็กโทรดที่เป็นโลหะ จะถูกทำให้เป็นแผ่น วางบนผิวหน้าของวัสดุพิโซอิเล็กทริกที่เลือกไว้ เพื่อที่จะนำสายสัญญาณซึ่งสามารถใช้ติดกับแผ่นโลหะ สำหรับการนำประจุไฟฟ้าเข้าหรือออก เริ่มจากการที่วัสดุพิโซอิเล็กทริกเป็นฉนวนไฟฟ้าแล้ว แผ่นอิเล็กโทรดก็จะกลายเป็นตัวเก็บประจุ อุปกรณ์พิโซอิเล็กทริกใช้สำหรับการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ทางกลไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าดังนั้นอาจจะคิดได้ว่าเป็นการกำเนิดประจุไฟฟ้าและตัวเก็บประจุ การเสีयरูปเชิงกลทำให้เกิดประจุ ประจุนี้เป็นผลทำให้ปรากฏแรงดันค่าหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรดซึ่งเป็นไปตามกฎสำหรับตัวเก็บประจุ $E = Q/C$ ผลของพิโซอิเล็กทริก คือทิศทางและความไวในแรงดึงนั้นจะทำให้เกิดขั้วของแรงดันจำกัด ขณะที่มีการกดอัดในด้านตรงข้ามกัน

ลักษณะสำคัญของพิโซอิเล็กทริกที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ไปเป็นแรงดันโดยการพิจารณา การเสีयरูปในโหมด 1 ปกติ คือมีการขยายตัวออกในด้านของความหนา ดังรูปที่ 2.1(a)



รูปที่ 2.1 Piezoelectric transducer

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

$$g_{33} = \frac{\text{สนามไฟฟ้าในทิศทาง 3}}{\text{ความเค้นที่ 1 ในทิศทาง 3}} = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_f} \frac{t}{wl}$$

ดังนั้นถ้าเรารู้ค่า g สำหรับวัสดุที่ให้มาและในทิศทาง t เราสามารถคำนวณแรงดันทางออกเอาที่พุด ต่อ หน่วยได้ สำหรับ barium titanate จะมีค่า $Q = 12 \times 10^{-3} \text{ (V/m) (N/m}^2\text{)}$ และเป็น $50 \times 10^{-3} \text{ (V/m) (N/m}^2\text{)}$ สำหรับควอตซ์

ตัวอย่างเช่น ผลึกควอตซ์หนา 0.1 มีความไว $0.88 \text{ V/ (lb/in}^2 \text{)}$ 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

$$C = \frac{e}{t} wl$$

$$g_{33} = \frac{\text{สนามไฟฟ้า}}{\text{ความเค้น}} = \frac{e_0 wl}{t f_i} = \frac{e_0 C}{e f_i} = \frac{Q}{e f_i} = \frac{d_{33}}{e}$$

$$d_{33} = e g_{33}$$

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

$$d_{11} = g_{10} = (4.6 \times 10^{-11})(50 \times 10^{-3}) = 2.03 \text{ pc/N}$$

(ตัวห้อยเป็น 11 เพราะว่าในควอตซ์การขยายออกของความหนาจะอยู่ในแกนผลึกเรียกว่าแกน 1)

บางครั้งต้องการแสดงค่าแรงดันหรือประจุทางเอาท์พุทในเทอมของการเบี่ยงเบนของคริสตัล เริ่มตั้งแต่การเสียรูปเป็นเหตุให้เกิดประจุเราต้องรู้ค่า modulus ของความยืดหยุ่นซึ่งเท่ากับ $8.6 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ สำหรับควอตซ์ และ $12 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ สำหรับ Barium titanate

หลังจากนั้นเราก็จะทำการพิจารณาอุปกรณ์ผลึกพิโซอิเล็กตริกเป็นทรานสดิวเซอร์ระยะขจัด (displacement transducer) จุดประสงค์หลักคือวัดแรงดัน การสั่น ความเร่ง แต่เราจะพิจารณา การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปเป็นแรงดันจำเป็นต้องพิจารณาให้ ทรานสดิวเซอร์ สายนำสัญญาณ (cable) และแอมพลิฟายด์ (amplifier) เป็น 1 หน่วย ค่าอิมพีแดนซ์ของทรานสดิวเซอร์โดยทั่วไปจะมีค่าสูงมาก ส่วนแอมพลิฟายด์นั้น โดยปกติชนิดที่มี อิมพีแดนซ์สูงจะใช้สำหรับเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) มากกว่าอัตราขยายโวลท์เทจ ปกติจะใช้ชาร์จแอมพลิฟายด์ (charge amplifier) ค่าความจุไฟฟ้าของสายนำสัญญาณมีความสำคัญมากโดยเฉพาะสายนำสัญญาณที่มีความยาวของสายหลายๆ สำหรับตัวทรานสดิวเซอร์เดี่ยวๆ นั้น ถ้ามีการเบี่ยงเบนทาง static X_1 เกิดขึ้นและยังคงอยู่ แรงดันปลายจะถูกทำให้มากขึ้น แต่จะมีการสูญเสียประจุออกไปโดยตลอดที่ความต้านทานรั่วไหล (leakage resistance) ของทรานสดิวเซอร์ เริ่มที่ความต้านทานรั่วไหล โดยทั่วไปแล้วจะมีค่ามาก ($\times 10^{11}$ โอห์ม) การสูญเสียจะช้ามาก บางทีเป็นการยอมให้ตอบสนองกึ่งสถิต (quase static) น้อยที่สุด

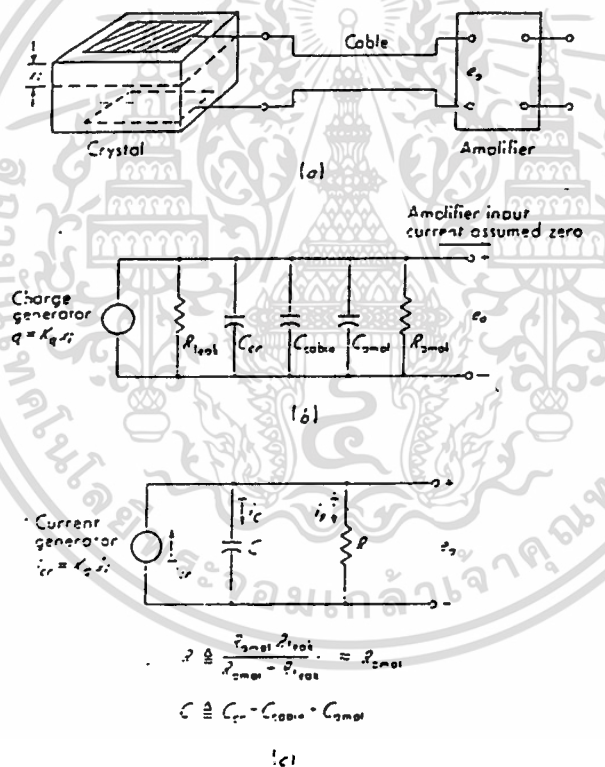
อย่างไรก็ตามเมื่ออุปกรณ์วัดแรงดันภายนอกที่มีอิมพีแดนซ์ทางเข้าต่ำและถูกติดเข้ากับทรานซิวเซอร์ ประจุไฟฟ้าจะถูกปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการเบี่ยงเบนทางสถิต ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช่กับการวัดแบบสถิตระบบที่ใช้ในทางการค้าจะใช้ทรานซิวเซอร์แบบควอตซ์ที่มีความต้านทานรั่วไหลสูงมากจะมีผลรวมความต้านทานทั้งหมด 10^{14} โอห์ม ซึ่งจะทำให้มีการรั่วไหลช้า ๆ อย่างมีประสิทธิภาพในการวัด แบบสถิต พิจารณารูป 2.2 ประจุที่เกิดจากผลึกแสดงได้ดังนี้

เมื่อ

$$q = K_q X_i$$

$$K_q = \text{cm}$$

$$X_i = \text{การเบี่ยงเบน, cm}$$



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ของ piezoelectric transducer

ค่า R และค่า C ในรูป 2.2 (b) สามารถนำมารวมได้ดังรูป

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะเขียนได้ว่า

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

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

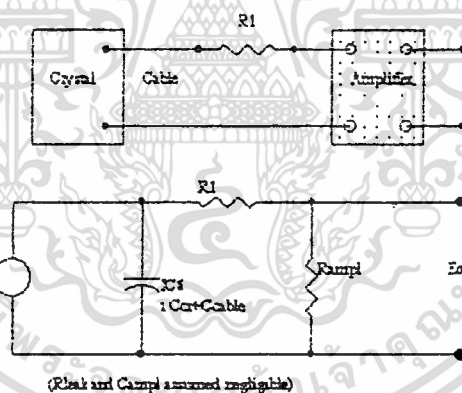
$$C \frac{de_o}{dt} = i_{cr} - i_r = K_q \frac{dx_i}{dt} - \frac{e_o}{R}$$

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

เมื่อ

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

τ = time constant RC, sec



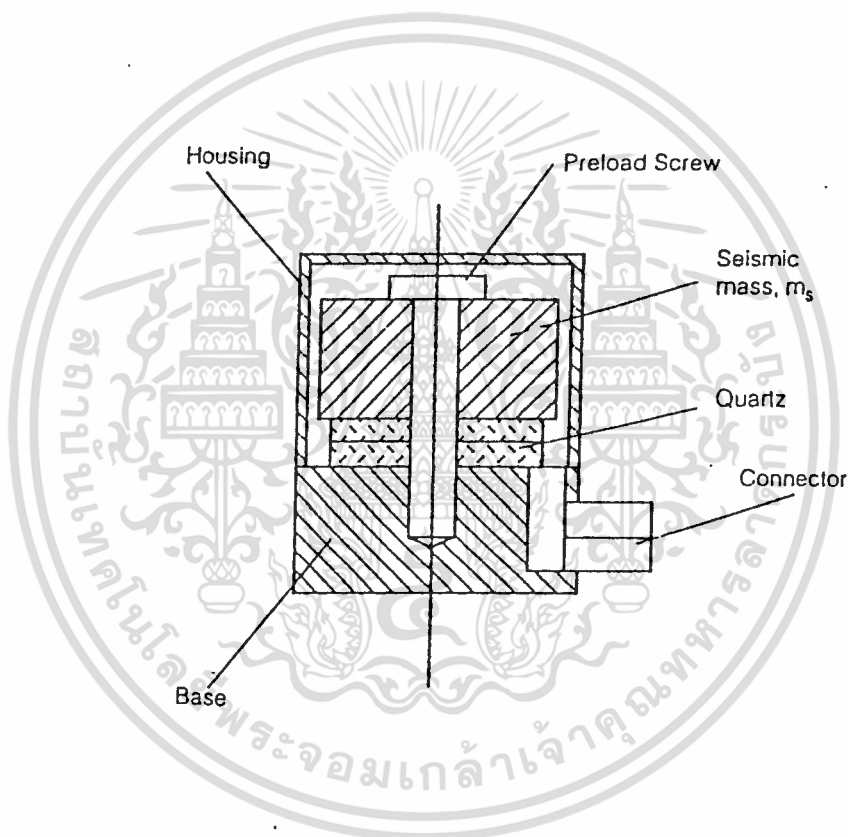
รูปที่ 2.3 การใช้ความต้านทานอนุกรมเพื่อเพิ่มค่า time constance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนชนิด 3 แกน (Triaxial Accelerometer)

ทรานสดิวเซอร์พีโซอิเล็กทริกจะใช้วัดแรง ความดัน และความเร่งซึ่ง หลักการพื้นฐานของพีโซอิเล็กทริก คือการทำให้คริสตอลที่มีลักษณะเหมือนควอร์ต (SiO_2) มีรูปร่างผิดไปทางกลจะเป็นผลทำให้ค่าประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นสัญญาณประจู่จะถูกเปลี่ยนและขยายให้เป็นสัญญาณแรงดันแบบอนาล็อก

เซ็นเซอร์ ถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานกับสัญญาณรบกวนการสั่นสะเทือน และการวิเคราะห์แบบทดลอง ผลของทรานสดิวเซอร์ที่ดีต้องมีความไวสูงและมีมวลเล็ก ทรานสดิวเซอร์ Piezoe BEAM ออกแบบให้มีความแม่นยำถูกต้องตามความต้องการ



รูปที่ 2.4 เซนเซอร์วัดความเร่งที่ออกแบบตามแรงอัด

2.2.1 ความเร่งเชิงเส้น (LINEAR ACCELERATION)

อาศัยหลักการของนิวตันจะได้สมการคือ

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

แสดงว่าตัวเซ็นเซอร์วัดความเร่งสามารถจะทำเป็นทรานสดิวเซอร์ของแรงภายใต้ความเร่งมวลที่เกิดการสั่นไหว m ที่ถูกทำบนผลึกคริสตัลและประจุที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเร่ง นี่คือหลักการของการอัดตัวของทรานสดิวเซอร์ รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างในการออกแบบ

2.2.2 การออกแบบที่แตกต่างกันที่ต้องพิจารณา .

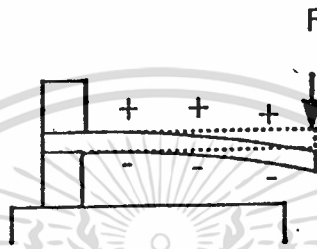
ตัวเซ็นเซอร์วัดความเร่งใช้กับโครงสร้างที่มี 1 แกนหรือ 3 แกนเพื่อวัดส่วนประกอบที่มีความเร่งพร้อมกันในระบบพิกัดฉากเช่น เซอร์พิกโซอิเล็กทริกเป็นทั้งระบบที่มีอิมพีแดนซ์สูงกับเอาต์พุตที่มีสัญญาณประจุและระบบที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ซึ่งจะมีตัวเปลี่ยนสัญญาณประจุเป็นสัญญาณแรงดันอยู่ภายใน การออกแบบระบบที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำมีข้อดีคือเมื่อทรานสดิวเซอร์ถูกใช้ในการวัดที่มีย่านคงที่ตัวอย่างเช่น การมอนิเตอร์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ในห้องทดลองที่มีย่านการเคลื่อนที่สูงๆ ของประจุที่ใช้บ่อยๆ น่าจะถูกเลือกใช้ เพราะการวัดในย่านนี้สะดวกที่จะเลือกการขยายประจุ

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความไวของเซ็นเซอร์กับมวลที่มีการสั่นไหว

ความไวของหัวเซ็นเซอร์วัดความเร่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับมวลที่มีการสั่นไหวที่มากขึ้น ของเซ็นเซอร์เป็นพฤติกรรมของมวล ไม่สามารถยอมรับได้กับการใช้งานทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการวัดโครงสร้างที่เบา การเพิ่มขึ้นของมวลจะมีความสัมพันธ์กับเซ็นเซอร์ที่หนักขึ้นซึ่งจะทำให้มันเปลี่ยนคุณสมบัติทางไดนามิกส์ของโครงสร้างที่พิจารณาการเพิ่มขึ้นของมวลจะทำให้ความถี่รีโซแนนซ์เปลี่ยนและคุณสมบัติในการแดมป์ (Damping) เปลี่ยนไป ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก จึงทำให้เกิดการลดมวลโครงสร้างของเซ็นเซอร์ ที่เพิ่มขึ้นลงความยุ่งยากที่สำคัญ คือการเพิ่มมวลจะทำให้เกิดโหลดที่คงที่ และไม่เป็นการ กระจายโหลดให้ทั่วโครงสร้างการวัดพฤติกรรมทางไดนามิกส์ของโครงสร้างที่เบา ตัวเซ็นเซอร์จำเป็นต้องมีความแม่นยำและมีความไวสูง ในการใช้งานกับโครงสร้างที่มีการสั่นเพียงเล็กน้อย ระยะการเคลื่อนที่น้อย ดังนั้นความเร่งที่ได้ก็ต้องน้อยด้วย

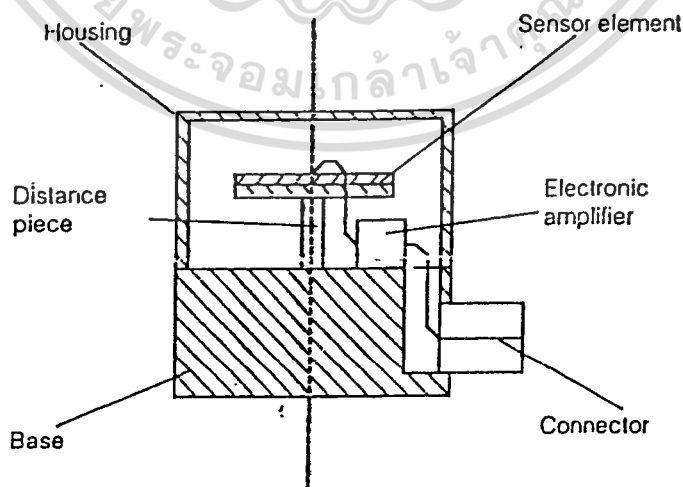
2.2.4 หลักการของ Piezo BEAM

การออกแบบ Piezo BEAM ซึ่งประกอบด้วย piezoceramic beam 2 อันประกอบติดกันทำเป็น ตัวเซ็นเซอร์ ตัวบีม (beam) จะประกอบติดกันสองชั้น ปกติตัวบีมจะมีสองขั้วที่ต่อทางไฟฟ้าการโค้งงอของตัวบีม จะเป็นผลให้เกิดประจุไฟฟ้า วงจรขยายทางอิเล็กทรอนิกส์จะทำการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันของตัวเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทำให้บีมผิดรูปร่างจะเกิดประจุขึ้น

ตัวบีมจะมีความไวเป็นเชิงเส้น กับความเร่งเท่านั้นซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 2.7a-c ในกรณีของความเร่งในรูปที่ 2.7 a ประจุบวกจะเกิดขึ้นหรือถูกควบคุมที่ด้านบนของบีม และประจุลบจะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของบีม ประจุจะถูกเปลี่ยนให้มีสัดส่วนกับสัญญาณแรงดันโดย ตัวขยายประจุภายในสำหรับ ความเร่งที่เหมือนกันนี้จะจริงในทิศทางตรงกันข้ามดังรูปที่ 2.7 b อย่างไรก็ตามเมื่อเซ็นเซอร์ถูก หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาในรูปที่ 2.7 c เอาท์พุทครึ่งหนึ่งของบีม จะถูกหักล้างจากอีกด้านหนึ่ง



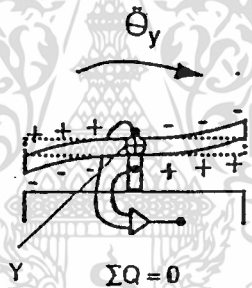
รูปที่ 2.6 เซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ออกแบบด้วย Piezo BEAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 a beam ที่งอเนื่องจากความเร่ง a_z ในทิศทางขึ้นข้างบน

รูปที่ 2.7 b beam ที่งอเนื่องจากความเร่ง a_z ในทิศทางลงข้างล่าง



รูปที่ 2.7c การหมุนของตัวเซ็นเซอร์รอบๆแกน r

2.2.5 ความเร่งเชิงมุม (ANGULAR ACCELERATION)

จะเห็นได้ว่า เซ็นเซอร์วัดความเร่งเหมือนกับเซ็นเซอร์ Piezo BEAM ที่ใช้ในการวัดเพิ่มขึ้นเป็น 3 ทิศทางที่อิสระต่อกัน เพื่อหาความเร่งที่เป็นเชิงเส้นในระบบพิกัดฉาก X,Y และ Z การวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ต้องใช้ 6 ทิศทางที่อิสระต่อกันคือ 3 ทิศทางในการเคลื่อนที่และ 3 ทิศทางในการหมุน ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบได้จากการคำนวณด้วยการทดลองด้วยเหตุผลนี้จึงมีการขยายแบบของทรานสดิวเซอร์ Piezo- BEAM ด้วยแบบซึ่งสามารถวัดความเร่งในการหมุนได้ด้วย

2.2.6 ระบบ TAP

ระบบ TAP (Translation Angular Piezo BEAM) คือระบบการเคลื่อนที่เชิงมุม เป็นพื้นฐานในการพิจารณาระบบ Piezo BEAM ที่มี 2 บีม ถูกหุ้มด้วยฉนวนทางไฟฟ้า ใช้ในการวัดประจุบนแกนเดียวกัน บีมทั้งสองมีหัวของแกนตั้งฉากกับบีม ในกรณีของความถี่ที่เป็นเชิงเส้น TAP เป็นคุณสมบัติมาตรฐานของ Piezo BEAM

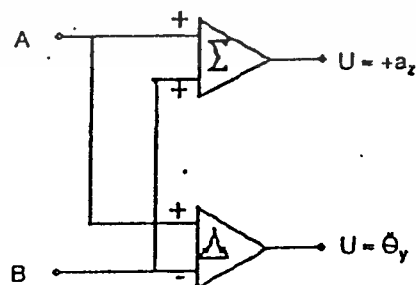


รูปที่ 2.8a beam A และ B ที่โค้งงอภายใต้ความถี่เชิงเส้น

รูปที่ 2.8b ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ที่โค้งงอภายใต้การหมุนรอบแกน Y

ประจุที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับความถี่ที่จ่ายให้ อย่างไรก็ตามความถี่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาของเซ็นเซอร์รอบแกน Y บีม A ทางด้านซ้ายจะโค้งงอลง และ บีม B ทางด้านขวาจะโค้งงอขึ้น รูปที่ 2.8b ดังนั้นเป็นผลให้สัญญาณที่ได้เป็นสัดส่วนกับความถี่เชิงมุม

ตัวเซ็นเซอร์จะมีวงจรอินทิเกรตแอมป์อยู่ซึ่งจะทำการเปลี่ยนประจุเป็นแรงดัน สัญญาณที่จะส่งถ่ายจะเป็นสัญญาณแรงดันที่สอดคล้องกับเชิงเส้น และการเคลื่อนที่เชิงมุมของตัวเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรที่ใช้วัดความถี่เชิงมุมและความถี่ในการหมุนพร้อมๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



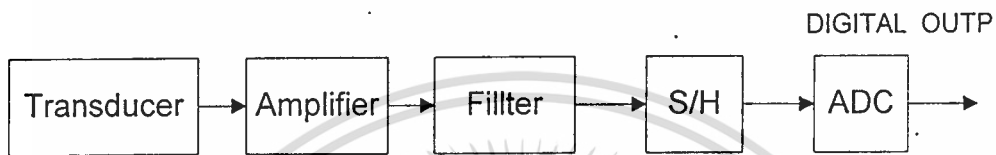
TAP ของ 2 บีม จะถูกปรับแต่งให้สมบูร์ณและมีความยาวเท่ากัน เพื่อป้องกันสัญญาณเชิงเส้นใดๆ ในการหมุนรอบแกนและการกำจัดสัญญาณการหมุนในระหว่างการเคลื่อนที่ในแนว Z การปรับสำหรับการวัดความคลาดเคลื่อนจะทำได้ด้วยสัญญาณในขบวนการวัด ตัวเซ็นเซอร์และตัวขยายที่ออกแบบไว้เป็นระบบ

PiezoBEAM Accelerometer ที่มีใช้เป็นส่วนหนึ่งของฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการขยายประจุแบบไฮบริดเพื่อที่จะทำได้ตามที่คาดหวังและมีเสถียรภาพตัวเซ็นเซอร์ต้องมีความแม่นยำกับสัญญาณที่มีระดับสูง มีอิมพีแดนซ์ต่ำ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็นสัดส่วนกับการกระตุ้นที่จ่ายให้เรารู้ว่ามีน้ำหนักเบาและมีความไวสูงเหมาะสมที่สุดกับการวัดหาความสัมพันธ์และการออสซิลเลทในโครงสร้างของเครื่องจักร และใช้ในการวิเคราะห์ก็ได้



2.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(A to D Converter)

ระบบการรับข้อมูล (Data Acquisition) จากอุปกรณ์อนาลอกเพื่อนำมาประมวลผลนั้น จำเป็นต้องใช้การอินเทอร์เฟซวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ 1 ตัวหรือมากกว่าให้เป็นสัญญาณในรูปดิจิตอลซึ่งจะมีส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ แอมพลิฟายล์ วงจรลุ่มและคงค่า (sample and hold circuit) มัลติเพลกเซอร์ และวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter หรือ ADC)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบ Data Acquisition

ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เป็นการทำงาน แบบอัตราส่วน อนาลอกอินพุต V_i จะเปลี่ยนแปลงเป็นเศษส่วน X โดยการเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_r ในรูป 2.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ถ้าทางเอาต์พุตเป็น n บิต ระดับความละเอียดของเอาต์พุตจะเป็น 2^n ความละเอียดของบิตต่ำสุดจะเป็น

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

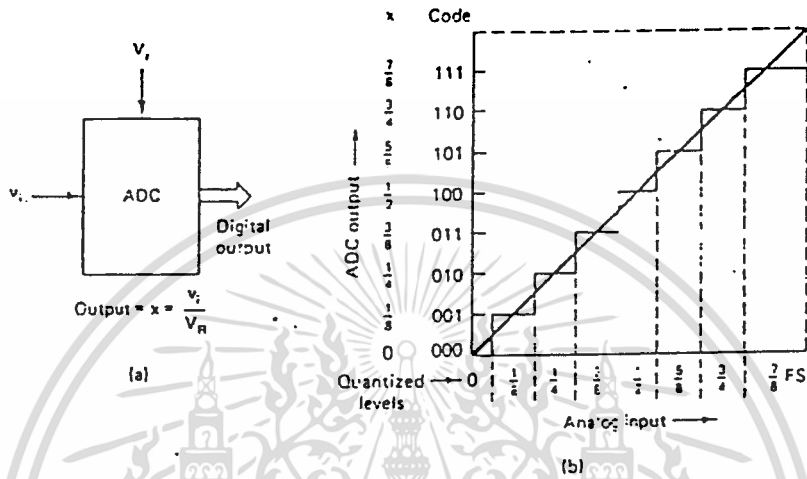
Q คือ ค่าควอนตัม

FS คือ ค่า Full Scale

LSB คือ บิตนัยสำคัญ ต่ำสุด

n คือ จำนวนบิต

รูปที่ 2.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ในการแปลงค่าของ ADC ขนาด 3บิต ขนาด LSB เป็น $1/8$ เท่าของ FS สามารถเปลี่ยนค่าได้จาก $0 - 7/8$ ของ FS ที่ค่าเอาต์พุต 111 และจะเกิดค่าผิดพลาดได้ $\pm 1/2 LSB$



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

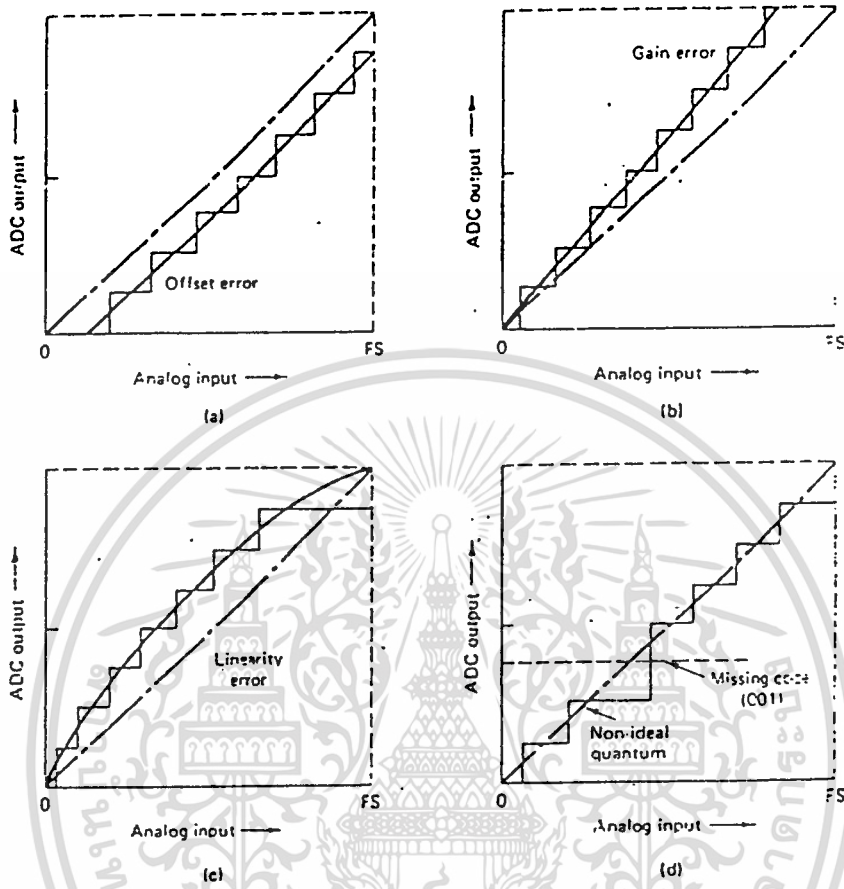
(a) ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต

(b) คุณสมบัติของ ADC ขนาด 3 บิต

ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ

ค่าเอาต์พุตที่ได้ อาจเกิดการเบี่ยงเบนได้เมื่อพิจารณาจาก ค่าทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของเอาต์พุต ซึ่งจะคลาดเคลื่อนจากค่าอินพุตในอุดมคติ (Ideal Input) ในรูปที่ 2.12a เกิดออฟเซ็ท(offset) หรือ Zero error ความลาดชันของ ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันจะมีระยะห่างจากค่าอินพุตในอุดมคติ รูปที่ 2.12b แสดงถึง Gain error

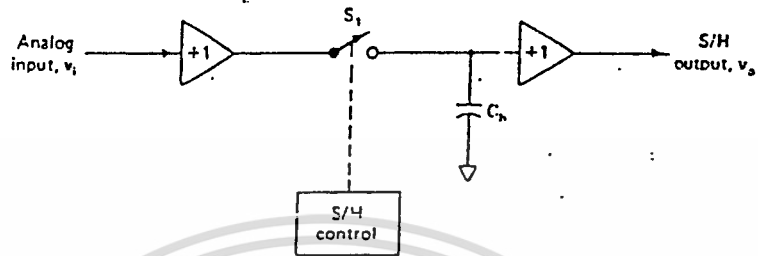
ADC ในท้องตลาดโดยทั่วไปจะมีออฟเซ็ท และ gain error อยู่เล็กน้อยซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยการปรับแต่งและนอกจากนี้ยังความผิดพลาดไม่เป็นเชิงเส้นอีกสองอย่าง คือในรูปที่ 2.12c Iniearity error ซึ่งเป็นการเบี่ยงเบนสูงที่สุดของ ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน และรูปที่ 2.12d Differential linearity error



รูปที่ 2.12 ความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ

การสุ่มและการคงค่า (Sample and hold)

วงจรเอชดี ต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณ (conversion time) เพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่เหมาะสมถ้าสัญญาณอนาลอกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของวงจรเปลี่ยนสัญญาณอาจเกิดความผิดพลาดจึงต้องมีการป้องกันด้วยวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ เพื่อใช้จับสัญญาณอนาลอกที่จุดเริ่มของการเปลี่ยนสัญญาณ แล้วเก็บไว้ประจวบระหว่างช่วงเวลาการแปลง หลังจากที่ทำกรเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้น จึงจับสัญญาณอนาลอกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้ง เป็นเช่นนี้ต่อไปเราจึงมักได้พบเห็นวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณปรากฏคู่กับวงจรเอชดีเสมอ



รูปที่ 2.13 วงจรการสุ่มและการคงค่า

(a) รูปแสดงวงจรการสุ่มและการคงค่า

(b) รูปแสดงสัญญาณ

การอินเตอร์เฟสกับไมโครโปรเซสเซอร์

การอินเตอร์เฟสกับ ADC นั้น ไมโครโปรเซสเซอร์มีหน้าที่ 3 อย่างคือ

- 1) สั่งให้ ADC เริ่มทำการแปลงสัญญาณ
- 2) ตรวจสอบสถานะข้อมูล (สาย DATA READY) จนกว่าการเปลี่ยนสัญญาณจะเสร็จสิ้นลง
- 3) อ่านข้อมูลอินพุตที่เป็นดิจิตอลการสั่งงานไมโครโปรเซสเซอร์นั้นจะ ต้องให้มีการทำงาน

ตามลำดับ และมีคาบเวลาที่เหมาะสมสำหรับเอพดี แต่ละตัวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

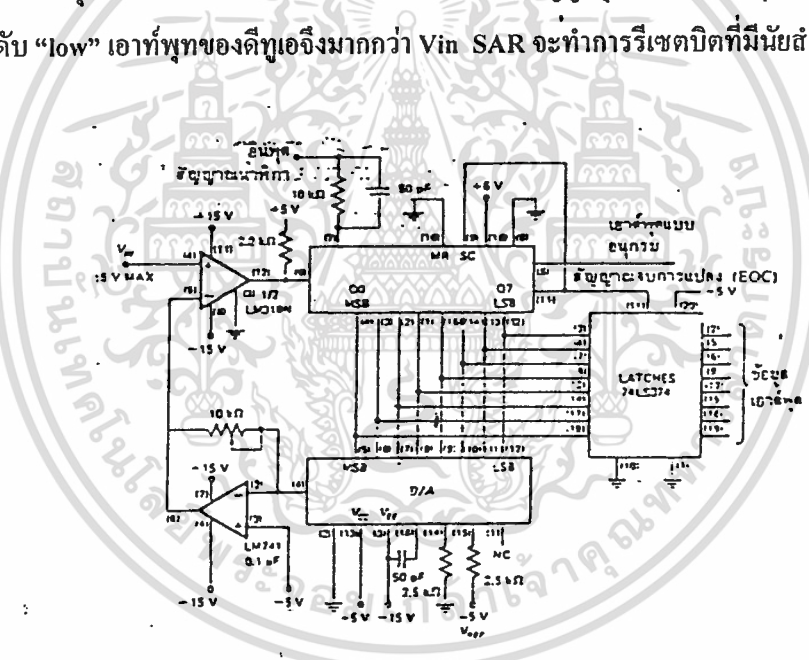
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบใช้การประมาณค่า

(Successive Approximation A/D Converter)

วงจรเอชดีแบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะความละเอียด 8 บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก ตัวอย่างเช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูกในขณะที่แบบใช้วงจรนับต้องใช้พัลส์ถึง 256 ลูก วงจร SA (Successive Approximation) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14 หัวใจของวงจรคือ SAR (Successive Approximation register) ซึ่งมีการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ลูกแรกจะทำการส่งบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไปยังดีพิวโด้ SAR จะรอสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งทำการตรวจสอบว่าเอาต์พุตของวงจรดีพิวโด้มากกว่า หรือน้อยกว่าแรงดันอินพุต V_{in} SAR จะทำการเก็บบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้ ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ "low" เอาต์พุตของดีพิวโด้จึงมากกว่า V_{in} SAR จะทำการรีเซตบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้น



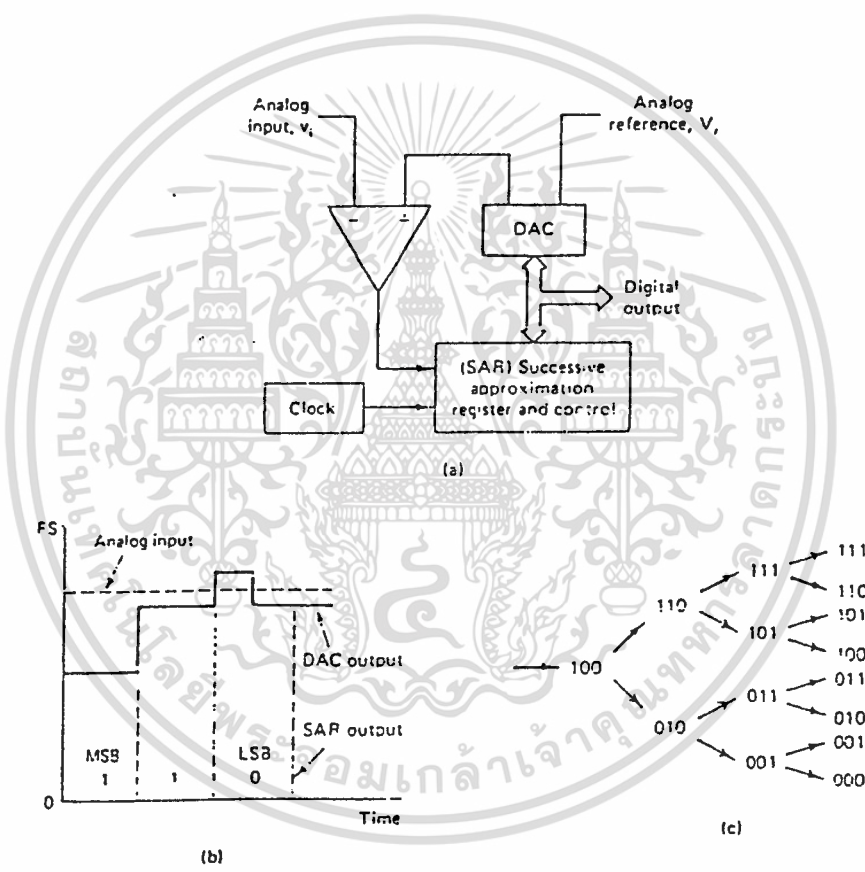
รูปที่ 2.14 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ Successive Approximation

พัลส์ลูกต่อมาก็จะทำงานเช่นกัน โดยบิตที่ได้คือ บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา SAR ทำงานแบบนี้ไปจนถึงบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด แต่บิตที่ใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวเมื่อครบทุกบิตแล้ว SAR ก็ทำการส่งสัญญาณ EOC (end of conversion) ออกไป

สัญญาณ EOC เป็นตัวบอกว่าสายสัญญาณเอาต์พุตที่ ขนานกันมาทุกเส้นมีข้อมูลดิจิตอลของสัญญาณอินพุตครบถ้วนแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังอินพุตที่เป็นจุดเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณการเปลี่ยนสัญญาณก็จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ADC ยังสามารถส่งเอาต์พุตดิจิตอลแบบอนุกรมได้อีกด้วยขึ้นอยู่กับการควบคุมของ SAR

วงจรในรูปที่ 2.14 ใช้แรงดันอินพุตสูงสุด ± 5 โวลต์ อินพุตแบบไม่กลับเฟส ของออปอิมพีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (current to voltage converter) ต่อเข้ากับ -5 โวลต์ ถึง $+5$ โวลต์ แทน 0 ถึง 10 โวลต์สัญญาณไฟสถับรูปขายนจึงสามารถต่อโดยตรงเข้ากับอินพุตของเอทุติววงจรนี้ได้

วงจรแปลงเอทุติชนิดนี้จะมีควมเร็วสูง และความละเอียดสูงจึงเป็นวงจรมานำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรเอทุติแบบใช้การประมาณค่า

2.4 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การส่งข้อมูลจากวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลไปยัง คอมพิวเตอร์นั้นต้องผ่านวงจรเพื่อรับข้อมูลแบบขนานจากเอพดี แล้วส่งออกมาเป็นแบบอนุกรมเพื่อส่งไปยังคอมพิวเตอร์ วงจรควบคุมในโครงการนี้ใช้ตัว ไมโครโปรเซสเซอร์ 51 (ตระกูล MCS 51)เบอร์ 8031

การต่อเชื่อมแบบอนุกรม

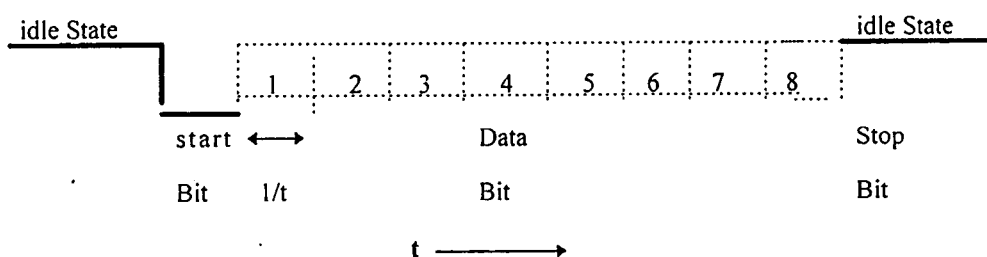
พอร์ตอนุกรมเป็นแบบ full Duplex สามารถที่จะรับและส่งพร้อมกันได้ โดยทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์การรับหมายถึง พอร์ตสามารถที่จะรับไบต์ ที่สองก่อนที่ตัวแรกจะถูกรับไป จากรีจิสเตอร์ตัวรับ อย่างไรก็ตาม ไบต์ตัวแรกจะต้อง ถูกซ่อนและ สูญหายไปได้ในพอร์ตอนุกรมรีจิสเตอร์ตัวรับและตัวส่ง จะเข้าถึงติดต่อกันตัวรีจิสเตอร์ SBUF ใน SFR<special function register> แม้ว่าทางโครงสร้างรีจิสเตอร์ทั้งสองจะแยกกันอยู่ก็ตาม

พอร์ตอนุกรมของ MCS 51 สามารถเลือกทำงานได้ 4 โหมด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงส่วนที่ใช้คือ การทำงานโหมด 1: Standard 8-bit UART

เป็นการส่งข้อมูลขนาด 10 บิตผ่านออกทาง 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 อัตราบิต แปรผันได้ตามการตั้งตัวจับเวลา

ข้อมูลจำนวน 10 บิต ผ่านออกทาง TXD (หรือรับผ่าน RXD ในที่นี้จะกล่าวถึงการส่งผ่านข้อมูลเพียงอย่างเดียว)ประกอบด้วย Start บิตข้อมูล 8 บิต 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งจะเริ่มงานด้วยคำสั่งที่ใช้ SBUF เป็นรีจิสเตอร์รับข้อมูล สัญญาณ "write to sbuf" ก็จะบรรจุค่า '1' เข้าไปในคำสั่งที่ 9 ในรีจิสเตอร์การเคลื่อนส่ง และแฟล็กในหน่วยควบคุมการส่ง (tx control block) ก็จะแสดงการถูกร้องขอให้ส่งข้อมูล การส่งข้อมูลจะส่งในช่วง slp1 ของ วัฏจักรแมชชีน และจะตามด้วยบิตตัวต่อมาในช่วงเวลาของสัญญาณนาฬิกาที่หารด้วย 16 ถูกตั้งที่ตัวนับแต่ละบิตจะถูกซิงค์ด้วยการหาร 16 ของตัวนับไมโครสัญญาณ "write to sbuf"

การส่งจะเริ่มด้วยการส่ง active สัญญาณ send และใส่บิต Start เข้าที่ TXD ช่วงเวลานั้น 1 บิต สัญญาณข้อมูลก็จะ active ซึ่งก็จะ enable การส่งบิตออกจากรีจิสเตอร์ การเคลื่อนส่งออกไปยังขา TXD พัลส์เลื่อนตัวบิตแรกจะเกิดขึ้นหลังเวลาการทำงานแล้ว 1 บิต

ขณะที่ข้อมูลเคลื่อนออกทางขวา ค่า '0' จะถูกใส่เข้าทางซ้าย เมื่อ MSB ของข้อมูล 1 ไบต์ อยู่ที่ตำแหน่งเอทพุท ของรีจิสเตอร์ตัวเลื่อน ขณะนั้นค่า '1' จะเริ่มถูกเข้าเป็นตำแหน่งที่ 9 ที่เอทพุท หลังจาก MSB ถูกส่งไปและตำแหน่งเมื่อถูกส่งไปแล้ว ที่เหลือในรีจิสเตอร์การเคลื่อนจะเป็น '0' หมด สถานะแฟล็กในหน่วยควบคุมการส่ง (tx control block) ก็จะเลื่อนเป็นตัวสุดท้าย และส่งสัญญาณ send ดิสเอเบิลและการเซต t1 จะเกิดขึ้น ช่วงเวลาที่ 10 ของการหาร 16 หลังการส่งสัญญาณ Strobe "write to SBUF"

อัตราบ็อด

อัตราบ็อดในโหมด 1 ถูกกำหนดได้ด้วยค่าอัตรา overflow ที่เกิดขึ้นจากการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ TH1 เป็นตัวสร้างอัตราบ็อด

อัตราบ็อดสามารถคำนวณจาก อัตรา overflow ที่เกิดขึ้นในตัวจับเวลา 1 และค่าบิตใน SMOD เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราบ็อด} &= \frac{(2^{\text{smod}} \times \text{อัตรา overflow ของตัวจับเวลา 1})}{32} \\ &= \frac{(2^{\text{smod}})}{32} \times \frac{(\text{ความถี่ออสซิลเลเตอร์})}{12 \times (256 - \text{TH1})} \end{aligned}$$

รายละเอียดของรีจิสเตอร์ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลอนุกรม

Accumulator (ACC)

ACC ที่มีขนาด 8 บิต เป็นแอกคิวมิวเลเตอร์ ใช้เป็นตัวกลางถ่ายทอด ข้อมูลในการติดต่อกับ อุปกรณ์ภายนอก IO

Port 1

รีจิสเตอร์ P1 ของกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR) เป็นตัวรีจิสเตอร์ที่เลขค่าของพอร์ต 1 ขณะใช้งานต่อกับ A

Port 3

ขณะใช้งาน ส่งข้อมูลผ่านออกนอกทาง P3 ไปยัง RS 232

Program Status Word : รีจิสเตอร์แสดงสถานะโปรแกรม

เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงผลที่ได้หลังจากการใช้คำสั่งต่างๆ และใช้เป็นกลุ่มเลือกใช้งานการทำงานของรีจิสเตอร์กลุ่มต่างๆ มีรายละเอียดดังตาราง

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

ตารางที่ 2.1 PSW : Program Status Word (PSW)

CY	PSW 7	แฟล็กตัวทวดจะเซตหรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ระหว่างผลลัพธ์หลังการใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์หรือ ตรรกศาสตร์ที่แน่นอน
AC	PSW 6	แฟล็กตัวทวดของ Auxiliary จะเซต หรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ระหว่างการบวกและการลบที่แสดงผลจากการทดหรือยืมจากบิตที่ 3 ของ ACC
FO	PSW5	แฟล็ก 0 จะเซต หรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่ใช้กำหนดสถานะจากแฟล็กนี้เอง
RS1	PSW4	รีจิสเตอร์ตัวควบคุมการเลือกแบงก์ ด้วยค่า RS และ RS0
RS0	PSW3	จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์เพื่อเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ทำงานในแต่ละแบงก์โดยปรับค่าใน RS1 และ RS0 ให้อินาเบิลคุณสมบัติการเลือกแบงก์ดังต่อไปนี้

RS1	RS0	เลือกแบงก์	กำหนดแอดเดรส
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 จะเซตหรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ระหว่างการใช้คำสั่งที่แสดงถึงการเกิดลักษณะ overflow ทางคณิตศาสตร์
- PSW2 บิตสำรอง จะไม่สามารถเซต หรือเคลียร์ด้วยผู้ใช้เพราะสำรองไว้สำหรับผู้สร้าง
- P PSW0 จะเซต หรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ในแต่ละวัฏจักรคำสั่ง แสดงถึงตัวเลขค่า "1" ในแต่ละบิตของ Accumulator

Serial Data Buffer

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกเป็นบัฟเฟอร์การส่ง และอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์การรับเมื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเทเข้า บัฟเฟอร์การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

Control register

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

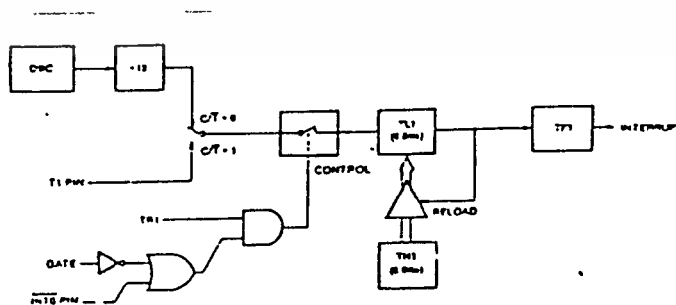
ตัวจับเวลา / ตัวนับ (Timer / Counter)

MCS 51 มี 16 บิต Timer/Counter มี 2 ตัวคือ Timer/Counter 0 และ Timer/Counter 1 ขณะที่แต่ละตัวของ Timer/Counter สามารถที่จะติดตั้งให้ทำงานเป็นทั้ง Timer หรือ Counter ก็ได้

การกำหนด Timer/Counter ให้ทำงานเป็นตัวจับเวลา

การกำหนดให้ทำงานเป็นตัวจับเวลาโดยการเคลียร์รีจิสเตอร์ TMOD ในกลุ่ม SFR ในฟังก์ชัน ของ Timer ตัวรีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าทุก ๆ วัฏจักรเมกซ์ซินประกอบด้วย 12 คาบของ Oscillator อัตราการนับแต่ละครั้งจะกินเวลาเป็น 1/12 ของความถี่ Oscillator เลือกทำงานได้ 4 โหมดตั้งแต่ 0-3 ในที่นี้เราใช้โหมด 2

โหมด 2 มีการทำงานโดยการกำหนดให้ตัวนับ 8 บิต TL1 แต่โหลดใหม่โดยอัตโนมัติใหม่ทุกครั้ง เมื่อมีการ overflow จาก TL1 ดังรูปที่ 2.17 ไม่เพียงแต่ TF1 จะปรับเป็น 1 แต่ TL1 จะถูกโหลดโดยอัตโนมัติจากค่าที่เก็บไว้ใน TH1



รูปที่ 2.17 ตัวจับเวลา 1 ทำงานในโหมด 2 แบบโหลดใหม่ 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
------	-----	----	----	------	-----	----	----

ตารางที่ 2.2 TMOD : Timer/Counter Mode Counter Register

<-----Timer R1-----><-----Timer R0----->

GETE :ควบคุมเกต เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็น อินาเปิด ตัวจับเวลา/ตัวนับ เท่านั้น ขณะที่ขา

INTX มีสถานะสูงและขาควบคุม TRx ใน TCON จะถูกเซตเป็น '1' เมื่อตัวนับภายใน ถูกเคลียร์ให้อินาเปิด เมื่อไรก็ตามที่บิตควบคุม TRx ถูกเซตเป็น '1'

C/T : เลือกการทำงานแบบตัวจับเวลาหรือตัวนับ ถ้าเป็น '0' จะเลือกทำงานเป็นตัวจับเวลา (โดยใช้สัญญาณนาฬิกาภายในเป็นสัญญาณเข้าอ้างอิงถึง) ถ้าเป็น '1' จะเป็นการทำงานแบบตัวนับและรับสัญญาณเข้าที่ขา Tx

M1	M0	การทำงาน
0	0	การทำงานแบบตัวจับเวลาของ MCS-51 ใช้ TLx เป็นตัวป้อนบิตอีก 5 บิต
0	1	การใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต จะใช้ THx และ TLx เป็นตัวนับไม่มี Prescaler
1	0	การไหลลดขนาด 8 บิต โดยอัตโนมัติที่ตัวนับและตัวจับเวลาโดยใช้ Tix เก็บค่าที่ตั้งไว้และจะถ่ายเข้าไปที่ Tix ใหม่ทุกครั้งที่เกิด Overflow คือ Tix ถูกนับเป็น '0' หมด
1	1	Timer 0 ทำงาน โดยให้ TLO และ THO เป็นตัวนับแยกกัน

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

ตาราง 2.3 TCON : Timer/control Register

TF1	TCON.7	ตัวจับเวลา 1 แฟล็กเป็น '1' เมื่อเกิด Overflow ถูกเซตเป็นหนึ่งด้าน ฮาร์ดแวร์ทางสัญญาณเมื่อ ตัวจับเวลา/ตัวนับ Overflow และจะเคลียร์เมื่ออินเทอร์รัพต์ไปแล้ว
TR1	TCON.6	ตัวจับเวลา 1 เป็นตัวควบคุมบิตให้เริ่มทำงาน จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะมา ทำให้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 เริ่มหรือหยุดการทำงาน
TF0	TCON.5	ตัวจับเวลา 0 แฟล็กเป็น '1' เมื่อเกิด Overflow ถูกเซตเป็นหนึ่งด้านฮาร์ดแวร์เมื่อตัวจับเวลา/ตัวนับ Overflow เคลียร์ตัวเองเมื่ออินเทอร์รัพต์แล้ว
TR0	TCON.4	ตัวจับเวลา 0 เป็นตัวควบคุมบิตให้เริ่มทำงาน จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะมา ทำให้ ตัวจับเดินมาจับเวลา/ตัวนับ
IE1	TCON.3	อินเทอร์รัพต์ 1 เป็นแฟล็กขอสัญญาณเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อสัญญาณขอการอินเทอร์รัพต์ปรากฏเข้าที่ขา INT1 และเคลียร์เมื่อการทำงานอินเทอร์รัพต์สิ้นสุด
IT1	TCON.2	อินเทอร์รัพต์ 1 รูปแบบการควบคุมบิต จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะเป็นตัวกำหนดให้การกระตุ้น อินเทอร์รัพต์จากภายนอกที่ขอบขาสูง หรือระดับแรงดันต่ำ โดย ถ้า IT=0 จะควบคุมด้วย อินเทอร์รัพต์ ระดับแรงดันต่ำ
IE0	TCON.1	อินเทอร์รัพต์ 0 เป็นแฟล็กขอสัญญาณเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อสัญญาณขอการอินเทอร์รัพต์ปรากฏเข้าที่ขา INT0 และเคลียร์เมื่อการทำงานอินเทอร์รัพต์ สิ้นสุด
IT0	TCON.0	อินเทอร์รัพต์ 0 เป็นรูปแบบการควบคุมบิตจะเซต หรือเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์ที่จะทำการกระตุ้น อินเทอร์รัพต์ จากภายนอกเป็นแบบขอบขาสูง หรือเป็นแบบระดับแรงดันต่ำ

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

ตารางที่ 2.4 SCON : จิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม

โดยที่ SM0,SM1 เป็นตัวกำหนดการใช้โหมดต่างๆ ของพอร์ตอนุกรมดังนี้

SM0	SM1	โหมด	ลักษณะการทำงาน	อัตราบิต
0	0	0	เลื่อนรีจิสเตอร์	osc/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 ควบคุมอีน่าเบิ้ล การใช้โปรเซสเซอร์หลายตัวในการสื่อสารซึ่งกันและกัน
-ในโหมด 2 และ 3 ถ้า SM2 เซตเป็น 1 ดังนั้น RI จะต้องไม่แอ็คทีฟ ถ้ามีการรับบิตที่ 9 ทำให้บิต RS8 นี้เป็น 0
-ในโหมด 1 ถ้า SM2 เซตเป็น 1 ดังนั้น RI จะไม่แอ็คทีฟถ้า STOP บิตไม่ถูกรับ
-ในโหมด 0 SM2 ควรมีค่าเท่ากับ 0
- REN ตัวอีน่าเบิ้ล อนุกรมการรับ เซตเป็น '1' ด้วยโปรแกรมในการเลือก อีน่าเบิ้ล การรับและเป็น '0' ด้วยโปรแกรมเมื่อให้เป็น ดิสเอเบิ้ล
- TB8 เป็นตัวข้อมูลบิตที่ 9 ซึ่งจะถูกส่งในโหมด 2 และ 3 ซึ่งจะทำให้เป็น '1' หรือ '0' ได้ด้วยการโปรแกรม
- RB8 -ในโหมด 2 และ 3 ข้อมูลบิตที่ 9 ถูกรับไป
-ในโหมด 1 ถ้า SM2=0 RB8 จะกลายเป็น STOP บิตที่ถูกรับไป
-ในโหมด 0 RB8 จะไม่ใช้
- TI เป็นแฟล็กอินเตอร์รัพต์ การส่งเซตด้วยฮาร์ดแวร์คือที่สัญญาณปลายช่วงเวลาของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือที่จุดเริ่มต้นของบิต STOP ในโหมดอื่น ในการส่งแบบอนุกรมของทุก โหมดจะต้องเคลียร์บิตนี้ด้วย โปรแกรมหลังการส่ง RI เป็นแฟล็กอินเตอร์รัพต์ การรับเซตด้วยฮาร์ดแวร์ คือสัญญาณที่ปลายช่วงเวลาของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือที่จุดครึ่งทางของช่วงบิต STOP ในโหมดอื่นของการรับแบบอนุกรมยกเว้นกรณีใช้ SM2 จะต้อง เคลียร์ด้วยโปรแกรมหลังการรับ

การอินเทอร์รัพต์ ตัวจับเวลา 0 และ ตัวจับเวลา 1 จะทำงานได้ด้วยค่าของแฟล็ก TF0 และ TF1 ที่เซตเป็น 1 เมื่อค่าในรีจิสเตอร์ของตัวจับเวลา/ตัวนับ ถูกเพิ่มจากหนึ่งหมดทุกบิต กลายเป็น '0' หมดทุกบิต การตั้งอินเทอร์รัพต์ของตัวจับเวลา 0 จะตั้งให้ทำงานอินเทอร์รัพต์ไม่ได้ ถ้าให้ทำงานใน โหมด 3 หลังจากการเกิดอินเทอร์รัพต์ตัวจับเวลาแฟล็กดังกล่าวจะถูกเคลียร์ให้เป็น '0' เมื่อฮาร์ดแวร์ บนชิปเข้าไปทำงานในโปรแกรมบริการของการอินเทอร์รัพต์ตัวจับเวลาแล้ว

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

ตารางที่ 2.5 รีจิสเตอร์การอินเทอร์รัพต์ อีนาเบิล

สัญลักษณ์	ตำแหน่งบิต	ฟังก์ชัน
EA	IE.7	จะดีสเอเบิลการอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด ถ้า EA=0 จะไม่มีการอินเทอร์รัพต์ ในการตอบรับ ถ้า EA=1 สามารถที่จะอินเทอร์รัพต์ ได้โดยแต่ละแหล่ง อินเทอร์รัพต์ จะมีอิสระในการเซตหรือเคลียร์ให้อีนาเบิล แต่ละ บิตก่อนได้
-	IE.6	สำรอง
ET2	E.5	จะอีนาเบิลหรือจะดีสเอเบิลอินเทอร์รัพต์ Overflow ของตัวจับเวลา 2 ถ้า ET=0 การอินเทอร์รัพต์ ตัวจับเวลา 2 จะดีสเอเบิล
ES	IE.4	จะอีนาเบิลหรือดีสเอเบิล อินเทอร์รัพต์พอร์ตอนุกรม ถ้า ES = 0 การอิน เทอร์รัพต์ พอร์ตอนุกรมจะดีสเอเบิล
ET1	IE.3	จะอีนาเบิลหรือดีสเอเบิล อินเทอร์รัพต์ Overflow ของตัวจับเวลา 1 ถ้า ET1=0 การอินเทอร์รัพต์ ตัวจับเวลา 1 จะดีสเอเบิล
EX1	IE.2	จะอีนาเบิลหรือดีสเอเบิล การอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 1 ถ้า EX1=0 การอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 1 จะดีสเอเบิล
ET0	IE.1	จะอีนาเบิลหรือจะดีสเอเบิลอินเทอร์รัพต์ Overflow ของตัวจับเวลา 0 ถ้า ET0=0 การอินเทอร์รัพต์ตัวจับเวลา 0 จะดีสเอเบิล
EX0	IE.0	จะอีนาเบิลหรือดีสเอเบิล การอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 0 (INT0) ถ้า EX0=0 การอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 0 จะดีสเอเบิล

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

ตารางที่ 2.5 PCON : Power Control Register

SMOD	PCON.7	เป็นการตั้งอัตราบอดเร็วเป็นสองเท่า เมื่อเซตเป็น'1'อัตราบอดจะเป็นสองเท่าเมื่อ พอร์ตอนุกรมถูกให้ทำงานที่โหมด 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	บิตการเลือกแบบอุดมคติ บิตนี้ถูกเซตเมื่อเลือกทำงานในโหมดอุดมคติ

สำหรับรีจิสเตอร์ตัวนี้เราใช้บิตเดียว คือ SMOD = "0" ค่า K = 1 ถ้า SMOD = "1" ค่า K=2

ใช้สำหรับการคำนวณ อัตราบอดรีจิสเตอร์ไม่สามารถใช้คำสั่ง SETB ได้เพราะฉะนั้นต้องใช้วิธีการ OR (Set) หรือ AND (Clear)

โปรแกรมการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

เป็นการกำหนดตัว MCS 51 ให้ พอร์ตอนุกรมส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 9600 บิต ที่ความถี่ oscillator 11.0592 MHz โดยโปรโตคอลแต่ละข้อมูลที่ส่งจะเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต

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

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

ถ้า SMOD=0, K=1

ถ้า SMOD=1, K=25

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

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

แทนค่าต่างๆ เข้าไปคือ SMOD = 1

ความถี่ออสซิลเลเตอร์ = 11.592 MHz

TH1=250

จะได้อัตราบิตที่ 9600 บิตพอดี

บทที่ 3

การ ออกแบบและหลักการทำงาน

3.1 ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องวัดความสั่นสะเทือน

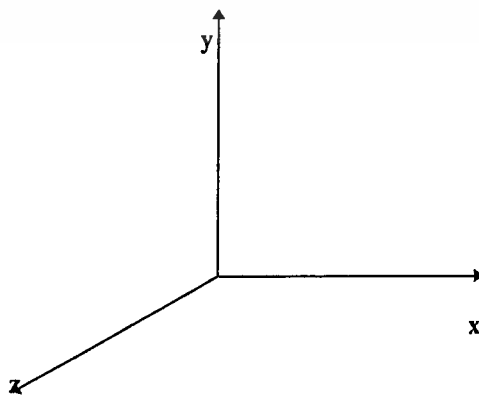
ดังที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้าแล้วว่าการวัดความสั่นสะเทือนนั้นสามารถแบ่งการวัดได้เป็นสองแบบ คือวัดค่ารวมและวัดวิเคราะห์ค่าที่ความถี่ต่างๆ กันในโครงการนี้ได้วัดเป็นค่ารวมเพื่อหาระดับความสั่นสะเทือนโดยรวม ตัวอย่างการวัดระดับความสั่นสะเทือนแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ อย่างแรก การสั่นสะเทือนไม่ต่อเนื่อง จะเกิดชั่วขณะ เช่น เกิดแผ่นดินไหวใช้เครื่องมือ Seismograph จะต้องทำการวัดอยู่ตลอดเวลา เพื่อสังเกตและตรวจสอบการแผ่นดินไหวอีกด้วย อย่างที่สองเป็นการสั่นสะเทือนต่อเนื่องสม่ำเสมอได้แก่ การสั่นของเครื่องจักรต่างๆ สามารถวัดเพื่อดูค่าระดับเมื่อใดก็ได้ เครื่องมือวัดคือ Vibration Meter และ Accelerometer

ในโครงการนี้จะกล่าวถึงการวัดการสั่นสะเทือนแบบต่อเนื่อง เป็นการวัดค่ารวม บอกถึงระดับความสั่นสะเทือนของตัวอย่างที่นำมาวัดคือ เครื่องจักร เครื่องยนต์ จะมีการสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่อง เช่น การแกว่งมือ แขน จากแรงกระแทก เป็นต้น

การวัดความสั่นสะเทือนและสามารถนำไปใช้งานได้นั้น จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเอาไว้ และนำมาเปรียบเทียบได้ เพื่อจะพิจารณาถึงความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การศึกษาวิจัย การบำรุงรักษาเครื่องจักร ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1

3.2 หลักการทำงานทั่วไป

โครงการนี้วัดความสั่นสะเทือนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริกแบบ 3 แกน กล่าวคือ เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้วัดความสั่นสะเทือนด้วย เซ็นเซอร์แบบผลึกพิโซอิเล็กทริก ซึ่งจะวัดค่า ซึ่งวัดได้โดยหน่วย g (gravity : $1g = 9.80665 \text{ m/s}^2$) มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0 - 50 g และในโครงการนี้ยังสามารถนำเครื่องมือวัดนี้ไปตรวจสอบและบันทึกค่าความสั่นสะเทือนได้ทั้ง 3 มิติ กล่าวคือ ทั้งแกน x, y, z



รูปที่ 3.1 แสดงทิศทางที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเซ็นเซอร์แบบผลึกพิโซอิเล็กทริก 3 แกน ได้รับแรงกระทำหรือมีแรงกดต่อตัวเซ็นเซอร์ ก็จะทำให้ค่าประจุกออกมาอย่างน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำทั้ง 3 ทิศทาง ประจุกที่ได้จะผ่านวงจรเพื่อให้แปลงเป็นโวลเตจออกมา โวลเตจที่ได้นี้จะมีค่าน้อยมากจึงต้องผ่านวงจรขยายสัญญาณและวงจร กรองความถี่เพื่อให้ได้ระดับโวลเตจที่มาตรฐาน และความถี่ที่แน่นอนอยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการ วงจรนี้จะรวมอยู่ใน Coupler ซึ่งเป็นส่วนของการขยายสัญญาณและกรองความถี่สัญญาณขั้นต้น ค่าที่ได้ทางแกน x , y และ z มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากแรงที่กระทำกับตัวเซ็นเซอร์ที่ทิศต่างกัน โดยในส่วนนี้ค่าในแกน x , y และ z จะมีค่าการขยายที่แตกต่างกันเพื่อให้สัญญาณดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นจะส่งผ่านไปให้วงจรเอทูดี้เพื่อแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล ในส่วนของเอทูดี้ี้สามารถจะเลือกแขนแนลได้ คือสามารถจะเลือกสัญญาณมาทำการแปลงสัญญาณ จากอนาล็อกเป็นดิจิตอลได้ หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณไปให้ส่วนที่แปลงข้อมูลแบบขนานเป็นแบบอนุกรม และส่งข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 ซึ่งต้องใช้ EPROM เป็นตัวโปรแกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์รับค่าข้อมูลนั้นและนำค่ามาประมวลผล หาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยของช่วงการวัดรวมถึงแสดงกราฟ การเก็บข้อมูล และการเปรียบเทียบข้อมูล

สาเหตุที่เลือกใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพราะว่าในการนำเครื่องวัดความถี่ความถี่ที่แน่นอนไปใช้งานจริงนั้น คอมพิวเตอร์จะติดตั้งอยู่ในห้องควบคุม ส่วนเครื่องจักรที่ต้องการวัดจะอยู่ห่างออกไป เมื่อตัวเซ็นเซอร์และอุปกรณ์การวัดกับส่วนประมวลผลและแสดงผลจะอยู่ห่างกัน ต้องใช้การสื่อสารที่สามารถส่งข้อมูลในระยะทางไกลได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะเรื่องสายนำสัญญาณ ซึ่งต้องการเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ TXD , RXD และ GND ในมาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-232 จะมีการปรับแรงดันให้เป็น $\pm 15Vdc$, เพื่อให้สื่อสารในระยะทางที่ไกลขึ้นได้

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดความถี่ความถี่ที่แน่นอนมีดังนี้

1. Acceleration Sensor

Acceleration Sensor ที่ใช้ในการทดลองนี้มีชื่อทางการค้าว่า PiezoBEAM Triaxial Accelrometer แบบ 8692B ลักษณะเด่นก็คือ มีขนาดกระทัดรัด เบา ใว้ในการทำงานสูง วัดได้พร้อมกัน 3 แกน ทั้ง x , y และ z ซึ่งลักษณะเหล่านี้มีความสำคัญในการวัดความถี่ความถี่ที่แน่นอน และการเปลี่ยนแปลงทางกล เป็น Acceleration sensors ที่มีความไวสูง และมีการขยายประจุกภายในเอาท์พุท แบบอิมพีแดนซ์ต่ำเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ ตรวจสอบ เพราะมีความไวสูงถึง 100 mV/g ทั้งที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 15 กรัม) วิธีการคือวัดตัว acceleration sensor ติดกับวัตถุที่ต้องการวัดได้โดยตรง หน่วยในการวัดค่าความถี่ความถี่ที่แน่นอนคือค่า g (gravity)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน

แรงสั่นสะเทือนที่ถูกทำให้เกิดขึ้น ในแนวตั้งฉากกับ Accelerometer ที่ตั้งอยู่กับฐานนั้นจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณประจุ ที่เป็นสัดส่วนกันโดยวัสดุที่เป็นแผ่นสำหรับตรวจจับ และสัญญาณประจุนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงภายในให้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย วงจรขยายขนาดเล็กซึ่งจะได้เป็นแรงดันที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ

การใช้งาน

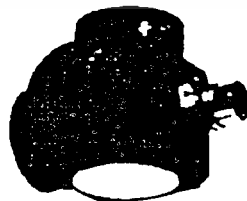
เนื่องจาก PiezoBEAM Triaxial Accelerometer มีน้ำหนักเบา โครงสร้างเล็ก ความไวสูง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการวิเคราะห์กับการตรวจสอบ ทดสอบ ในโครงสร้างทางกล

ลักษณะของตัวเซ็นเซอร์

PiezoBEAM Triaxial Accelerometer ประกอบด้วย Transducer ที่มีโครงสร้างเป็นอูมิเนียมแข็ง มีผลึก Piezoelectric ภายในและส่วนขยายประจุ เมื่อ Piezotron Accelerometer ทั้งหมดมีสัญญาณโวลเตจ ที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำเป็นสัดส่วนกับความเร่งที่จ่ายให้ ทำให้เอาท์พุทที่ได้ของ Accelerometer มีความไวสูง Couplers ทั้งหมดใช้เป็น power supply และตัวกำเนิดสัญญาณ ให้กับ Transducer สำหรับสายที่ใช้ต่อเชื่อมระหว่าง PiezoBEAM กับ Coupler เป็นสาย Coaxial ธรรมดา

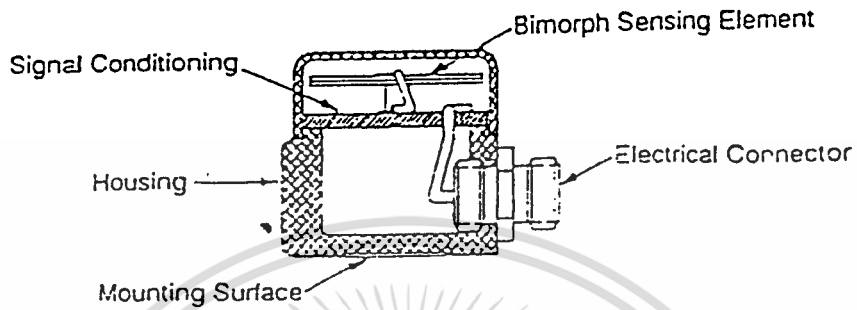
ลักษณะโดยทั่วไป

- น้ำหนักเบา
- ความไวสูง
- ให้ค่าถูกต้อง
- ความไวต่อความเค้นที่ฐานต่ำ
- ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน



รูปที่ 3.2 Triaxial Accelerometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

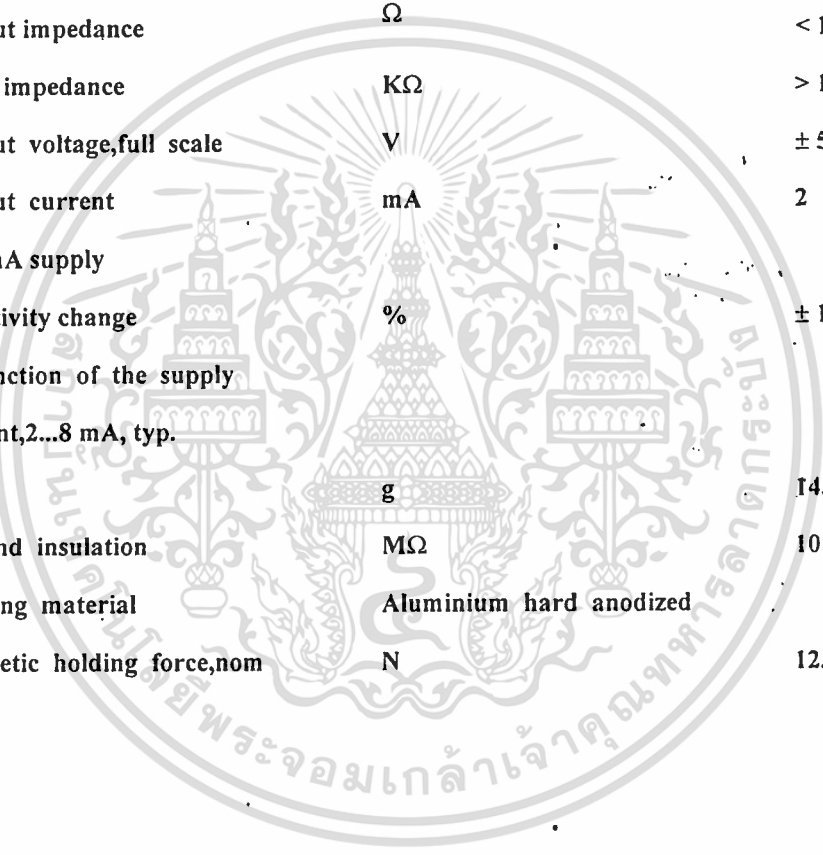


รูปที่ 3.3 แสดงภาพตัดขวางของ PiezoBEAM

ข้อมูลเทคนิค		8692B50
Type		
Range	g	±50
Overload vibration	g	±80
shock(≤ 0.2 ms)	g	10,000
Sensitivity	mV/g	100
	±5% at 100 Hz, 3 g _{rms}	
Threshold, nom	μg _{rms}	1000
Linearity, nom	%	±1
Time constant, nom	s	1
Resonant frequency (mounted)	KHz	≈22
Frequency range (±5 %)	Hz	0..5...5 K
Phase shift		
4....2000 Hz (4....5000 Hz)	∠°	(<5)
Transverse sensitivity	%	≤1
Base strain sensitivity	g/με	<0.001
	at 250με	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating temperature rang	°C	0... 65
Storage temperature range	°C	- 23 ... 93
Temperature coefficient of sensitivity	/C	+ 0.02
Supply curent	mA	2 ... 18
Supply voltage	VDC	20 ... 30
Output bias voltage	VDC	11 ± 3
Output impedance	Ω	< 100
Input impedance	KΩ	> 100
Output voltage,full scale	V	± 5
Output current at 4 mA supply	mA	2
Sensitivity change in function of the supply current,2...8 mA, typ.	%	± 1
Mass	g	14.5
Ground insulation	MΩ	10
Housing material	Aluminium hard anodized	
Magnetic holding force,nom	N	12.2



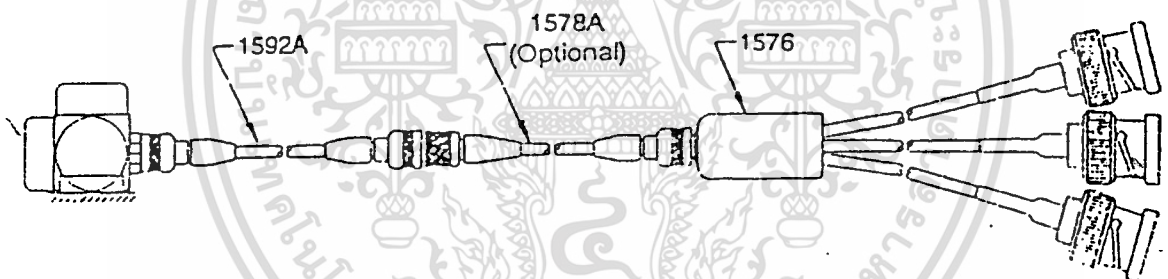
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้ง

การติดตั้ง PiezoBEAM รุ่น 8692B50 นั้นควรติดตั้งบนวัสดุที่เป็นเหล็กหรือวัสดุเป็นแม่เหล็ก เนื่องจากบริเวณผิวของตัวมันเป็นแม่เหล็กถาวรทำให้ผิววัดได้ดี ซึ่งทำให้สามารถวัดอินพุตในระดับต่ำ ๆ ได้ แต่ค่าที่วัดได้อาจจะได้รับผลกระทบจากผิวที่ทำการวัดที่ขรุขระ หรืออินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการติดตั้งจึงต้องมีการตรวจเช็คโดยดูผลหลาย ๆ ครั้ง โดยรับแรงกระทำสถานะเหมือนกัน จนออกมาใกล้เคียงกัน ควรใช้กับผิวที่แบนราบและระวาง Triaxial Accelerometer หล่นมาได้ เพราะจะทำให้เสียหาย พื้นผิวที่ติดนั้นต้องเรียบ ต้องสะอาดไม่ชื้นหรือมีเศษของคราบมันต่าง ๆ และต้องตั้งฉากกับ Triaxial Accelerometer

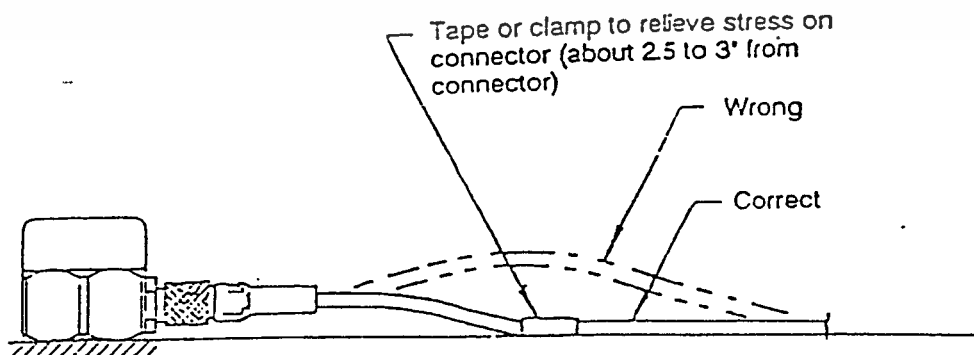
2. สายเคเบิล

สำหรับ Triaxial Accelerometer ใช้ต่อกับแบบ ultra-miniature ซึ่งมี 4 pin ในที่นี้เราเลือกใช้สายเคเบิล ชนิด 1592A ต่อตรงกับตัวมันเอง เมื่อต้องการขยายให้สายยาวขึ้น ควรใช้รุ่น 1578A และสายเคเบิลที่เป็นตัวจ่ายรุ่น 1576 ซึ่งมีหัวต่อแบบ BNC 3 หัวที่ใช้ต่อกับสายรุ่น 1592A และจะอินเทอร์เฟสโดยตรงกับ coupler รุ่นใด ๆ ก็ได้ของ KISTLER



รูปที่ 3.4 Cable

การติดตั้งสายเคเบิลต้องอยู่ใกล้ๆกับ Triaxial Accelerometer อยู่บนผิวเดียวกัน จะช่วยลดการเคลื่อนที่ระหว่าง Triaxial Accelerometer connector กับ สายเคเบิลดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงการติดสายที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูแลรักษา

ต้องคอยระมัดระวังไม่ให้ Triaxial Accelerometer ตกส่วน connector และผิวต้อง สะอาด ปราศจากไขมันหรือคราบมัน พื้นผิวของ Triaxial Accelerometer มีสารเคลือบไว้ ซึ่งทำให้ Triaxial Accelerometer นี้มีความเหนียวแฉะว่าเปราะ การทำความสะอาดให้ใช้ Freon TF spray ทำความสะอาด และต้องระวังไม่ให้ถูก ของมีคม เช่น ไขควง มีด เพราะจะทำให้เกิดรอยที่ Triaxial Accelerometer ได้ เมื่อไม่ใช้ Triaxial Accelerometer แล้วต้องเก็บไว้ในกล่องอุปกรณ์ ตลอดเวลา

3. PiezoTron Coupler

ควอทซ์ทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางกลของความดัน แรง และการสั่นสะเทือน ให้กลายเป็น ประจุไฟฟ้า ประจุที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนกับแรงที่เกิดขึ้นบนผลึกคริสตัล

วงจรรีเลคทรอนิกส์ขนาดเล็กถูกสร้างไว้ในตัวของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณประจุที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งกำเนิดโดยผลึกคริสตัลให้กลายเป็นสัญญาณแรงดันระดับสูงที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำกว่า 100 โอห์ม สามารถใช้ได้กับสายเคเบิลคู่หรือโคแอกเซียลระหว่าง ทรานสดิวเซอร์ กับ coupler ที่อยู่ไกลออกไป

การเปลี่ยนแปลงในการวัดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ จะเป็นที่ยอมรับกันมาก ในทางอุดมคติ ไม่ว่าสายเคเบิลจะมีความยาวมากหรือมีการเคลื่อนที่ หรือในที่มีความชื้นสูงหรือแม้แต่บรรยากาศที่เป็นพิษ ก็สามารถใช้อุปกรณ์เหล่านี้ได้อยู่ เครื่องมือนี้จะกำจัดปัญหาต่าง ๆ ของอิมพีแดนซ์สูง และให้ค่าความถี่ตอบสนองในช่วงที่ตีออกมา

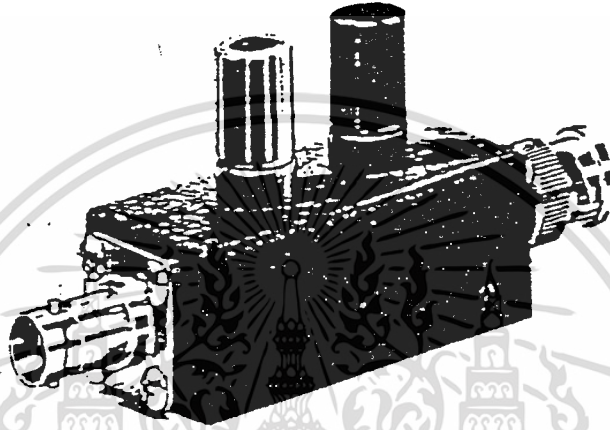
ระบบการวัดของ Piezo Tron

ระบบการวัดของ Piezo Tron ประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ มีวงจรรีเลคทรอนิกส์อยู่ภายใน coupler อุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่าและสายเคเบิลที่เหมาะสม

จุดประสงค์หลักของ coupler ในระบบการวัด คือ เป็นแหล่งจ่ายให้กับ Piezo Tron ทรานสดิวเซอร์ ซึ่งมีค่ากระแสคงที่และสัญญาณจาก ทรานสดิวเซอร์ไปยังอุปกรณ์อ่านค่าซึ่งต่ออยู่ด้วยกัน การต่อนี้สามารถเป็นได้ทั้ง AC และ DC ขึ้นอยู่กับ coupler ที่เลือกมา

Coupler ชนิดที่เลือกใช้

coupler แบบที่ใช้รุ่น 5108 จะเป็นแหล่งจ่ายที่มีกระแส สำหรับตัวเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ภายในตัวทรานสดิวเซอร์ สำหรับ coupler นั้นต้องการแหล่งจ่าย DC 24-32 โวลต์



รูปที่ 3.6 Coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเฉพาะ

Input Characteristics

Constant feed current	mA	4
Full Scale Signal	Vpp	20

Transfer Characteristics

Gain	1	
Frequency Range(± 5%)	Hz ... kHz	0.07...>200
(with 1 meg load & 10 VPP)*		

Input/output Coupling AC

Output Characteristics

Full Scale Signal Voltage	Vpp	20
Current	mA	-
Impedance	Ω	100 (in series with 47 μF)
Power Source external		24-32 VDC

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
-----------------------	----	---------

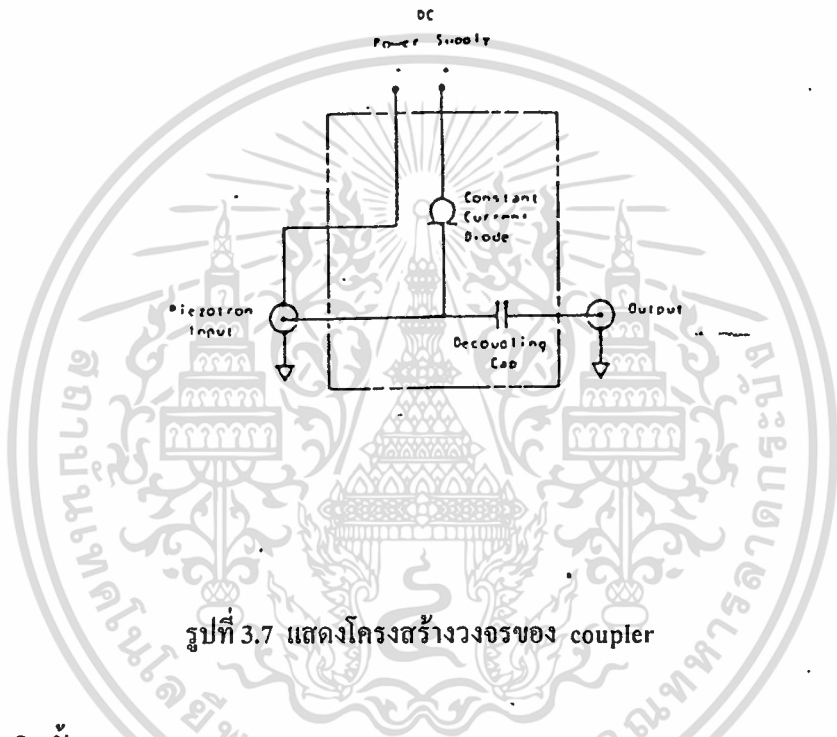
*การสนองความถี่สูง สามารถคำนวณได้จากกระแส ระดับสัญญาณ ความยาวของสายเคเบิล ตามสมการ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน

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



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างวงจรของ coupler

การติดตั้ง

Coupler จะถูกติดตั้งไว้ในที่ที่ปลอดภัย จะต้องระมัดระวังไม่ให้อุณหภูมิเกินที่กำหนดไว้ และจะต้องไกลจาก shock และการสั่นที่มากเกินไป สายสัญญาณต้องอยู่ในเส้นทางที่จะต้องหลีกเลี่ยง จากการโค้งงอที่ไม่จำเป็น

การดูแลรักษา

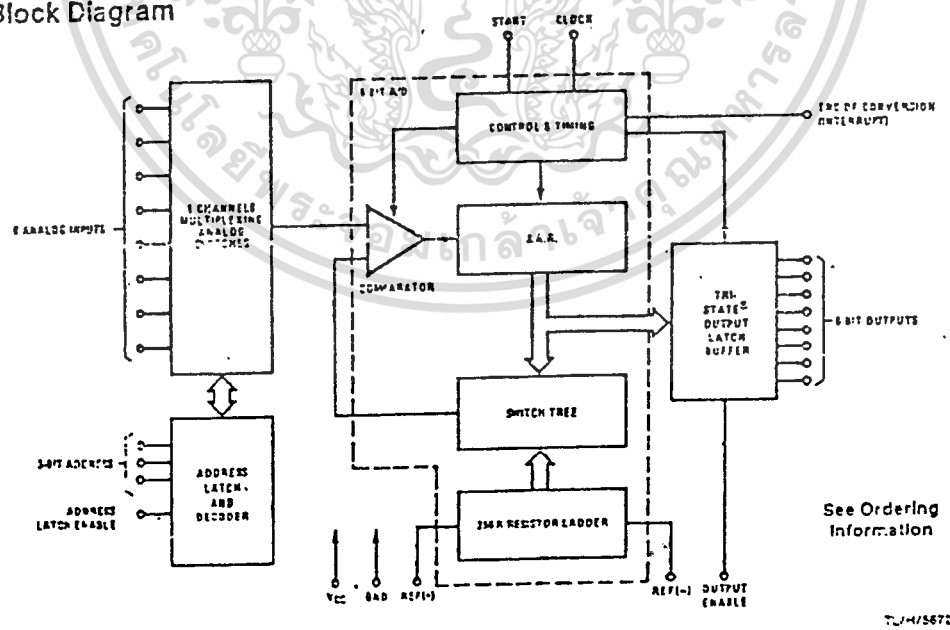
Coupler ไม่จำเป็นต้องดูแลตลอดเวลาเพียงแต่ต้องเก็บไว้ในที่ที่สะอาดไม่มีความชื้นและทำความสะอาดด้วย Freon TF spray เท่านั้น

4. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

ในโครงการนี้ใช้ชิพเบอร์ ADC 0808 ซึ่งเป็นแบบ Successive Approximation ขนาด 8 บิต มีตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 8 ตัว ระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงที่พอเหมาะคือ ประมาณ 100 μ sec เพราะเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับรับค่าข้อมูลได้ในช่วงความถี่ 0.5 ถึง 5000 Hz หรือ 0.2 ms ถึง 2 sec และนอกจากนี้ ยังมีข้อดีอื่น ๆ ดังนี้

- สามารถเชื่อมต่อเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ได้อย่างสะดวกไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์อื่น ๆ อีก และมี Access Time 135ns
- สามารถใช้งานเป็นแบบอัตราส่วนกับแรงดันกระแสตรง 5 V_{DC} หรือแรงดันอ้างอิงอนาลอกที่ปรับค่าได้
- ไม่ต้องมีการปรับ zero หรือ full-scale
- การแยกช่อง 8 ช่องด้วย address logic
- สามารถต่อร่วมได้ทั้งอุปกรณ์แบบ MOS และ TTL
- สามารถรับอินพุตได้ในช่วง 0-5 โวลท์
- มีค่าความผิดพลาด $\pm 1/2$ LSB
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 125°C

Block Diagram



See Ordering Information

TJ-415672-1

รูปที่ 3.8 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกช่องรับสัญญาณ

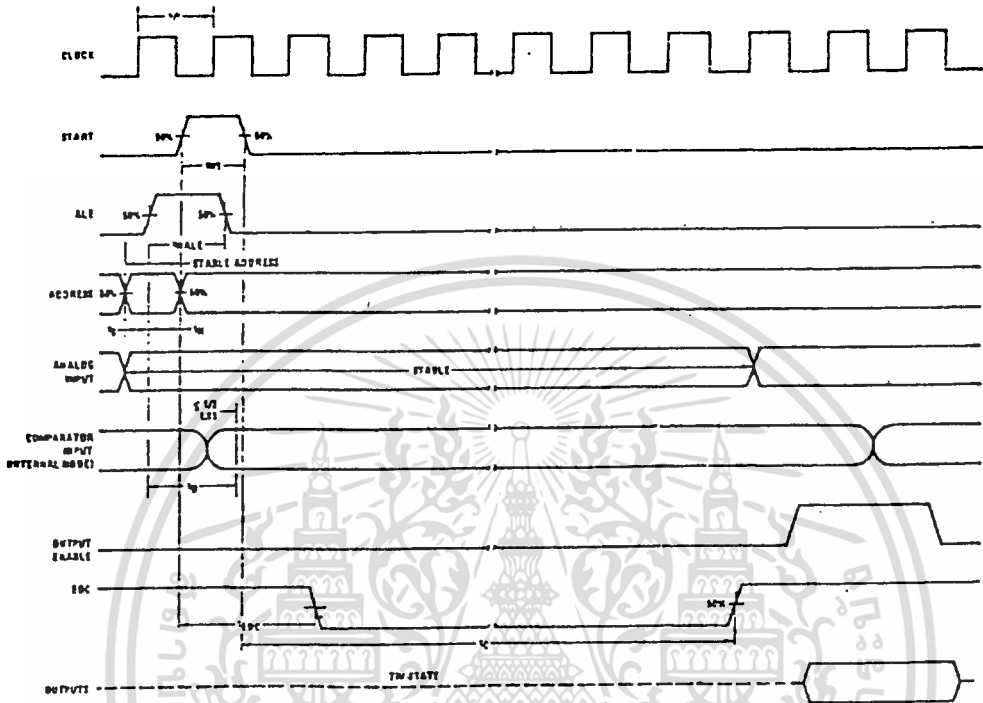
ไอซี ADC 0808 มีตัวแยกรับสัญญาณอินพุต 8 ช่อง อินพุตของแต่ละช่องจะถูกเลือกโดยถอดรหัสแอดเดรส ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะอินพุตสำหรับการเลือกแอดเดรสไลน์ของแต่ละช่องแอดเดรส จะถูกแลตซ์เข้าไปในตัวถอดรหัสขณะเปลี่ยนจากสถานะต่ำไป สูง ของสัญญาณแอดเดรส

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

การเปลี่ยนสัญญาณ

หัวใจของซีพเดียวที่มีระบบรับข้อมูลคือตัวเปลี่ยนอนาลอกเป็นดิจิตอล 8 บิต ตัวเปลี่ยนสัญญาณถูกออกแบบให้มีความเร็ว ความแม่นยำ การเปลี่ยนที่ช้า ๆ ตลอดย่านอุณหภูมิกว้าง ๆ ตัวเปลี่ยนสัญญาณเป็นส่วนหนึ่งของ 3 ส่วนใหญ่ คือ 256R ladder network, successive approximation register (SAR) และตัวเปรียบเทียบ ซึ่งสัญญาณเอาพุตที่ได้จะเป็นดิจิตอลที่เป็นบวก การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะเริ่มทำที่ขอบขาของ pulse เริ่มการเปลี่ยน ขณะที่ทำการเปลี่ยนจะถูกอินเตอร์รัฟโดยการรับ pulse เริ่มการเปลี่ยนอันใหม่ เมื่อการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องสำเร็จแล้วก็จะมีสัญญาณ EOC (end-of-conversion) ออกไปเป็นอินพุตของ SC (star conversion) สัญญาณ EOC จะเป็นลอจิกต่ำอยู่ระหว่างสัญญาณนาฬิกาถูกที่ 0 ถึงถูกที่ 8 ก่อนสัญญาณขอบขาขึ้นของการเริ่มเปลี่ยนส่วนสำคัญที่สุดของตัวแปลง A/D คือ ตัวเปรียบเทียบ



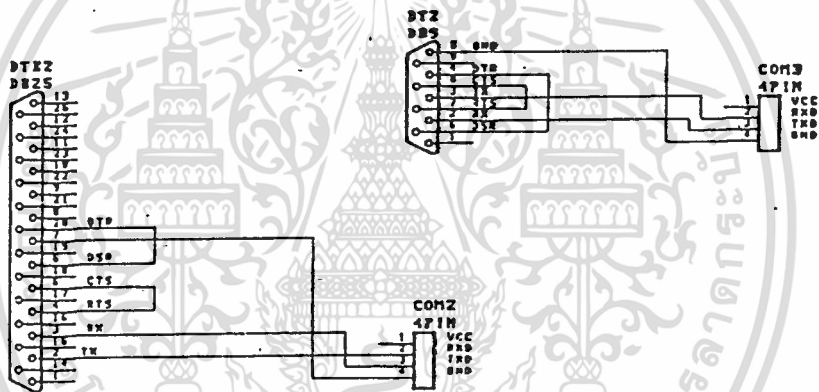
รูปที่ 3.9 แสดง Timing Diagram ของ ADC0808

ADC จะรับอินพุตเข้ามาทั้ง 8 ขาที่ และจะถูกเลือกเข้ามาทีละอินพุตขึ้นอยู่กับแอดเดรสที่รับเข้ามา เมื่อเลือกอินพุตได้แล้วก็จะทำการแปลง ซึ่งระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงประมาณ 100 μ sec โดยไมโครโปรเซสเซอร์จะให้สัญญาณ WR แก่เอทวดี เพื่อเริ่มทำการเปลี่ยนแปลงค่าอนาลอกอินพุตในช่วงการเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่สามารถรับค่าข้อมูลดิจิตอล เพราะถ้าหากรับข้อมูลเข้าไปจะเป็นข้อมูลที่ผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันคือต่อขา EOC กับไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อจะรับข้อมูลได้ต่อเมื่อการเปลี่ยนแปลงเสร็จสิ้นไปแล้วนั้นคือจะต้องมีการหน่วงเวลาไม่ต่ำกว่า 100 μ sec แล้วจึงให้สัญญาณ RD แก่เอทวดี เพื่อทำการรับข้อมูลจากเอทวดีสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ เพราะว่าสัญญาณข้อมูลโดยปกติจะมีสถานะเป็น High Impdance หรือ TRI STATE ซึ่งไม่สามารถรับข้อมูลได้ จนกว่าจะมีสัญญาณ RD ให้แก่เอทวดี เมื่อรับข้อมูลได้แล้วอาจจะมีการหน่วงเวลาอีกเพื่อให้ได้คาบเวลาการสุ่มตามที่ต้องการ

5. ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS 51

ในโครงการนี้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS 51 เบอร์ 8031 ทำการรับข้อมูลจากเอชทูดี และทำการจัดรูปแบบข้อมูลให้เป็นแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 232 และส่งไปยังคอมพิวเตอร์ IBM PC ประมวลผลและแสดงผลต่อไป โดยใช้อัตราบิตที่ 9600 การให้ค่าเริ่มต้นแก่ MCS 51 ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

การต่อสายสัญญาณ RS 232 ระหว่าง MCS 51 และคอมพิวเตอร์ใช้เพียง 3 เส้นเท่านั้นคือ RXD, TXD และ GND ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและประหยัดสายนำสัญญาณ ในกรณีที่ต้องใช้สายนำสัญญาณที่ยาว โดยจะไม่เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลขึ้นมา เพราะได้ต่อขาสัญญาณที่ต้องตรวจสอบข้อมูลของคอมพิวเตอร์ไว้ด้วยกัน (โดยต่อขา RTS กับ CTS และขา DSR กับ DTR) ดังรูปที่ 3.10 แสดงการต่อคอมพิวเตอร์ทั้งแบบ 25 ขา และ 9 ขา



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อขาสัญญาณ RS 232

6. แหล่งจ่ายแรงดัน

ในเครื่องวัดความล้นสะเทือนเครื่องนี้ได้จัดทำแหล่งจ่ายให้แก่วงจรด้วย คือ มีแหล่งจ่าย 4 ระดับแรงดัน 30 โวลต์ให้แก่ Coupler ระดับแรงดัน 5 โวลต์ จ่ายไฟให้กับวงจรเอชทูดี และ MCS 51 ระดับแรงดันขวกลบ 15 โวลต์จ่ายให้กับออปแอมป์ ใช้หม้อแปลงจำนวน 2 ตัว หม้อแปลงตัวหนึ่งขนาด 24 Vac มาผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM 317 ได้แรงดันประมาณ 30 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับ Coupler (ต้องการระดับแรงดัน 24 - 32 Vdc)และแรงดันระดับ 9 Vac มาผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ ผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM 7805 ได้ระดับแรงดันที่ 5 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่วงจรเอชทูดีและวงจร MCS 51 หม้อแปลงตัวที่ 2 ใช้ขนาด 18,18 Vac ผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ผ่าน วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จรรยาบรรณของ LM78015 ได้แรงดันบวก 15 Vdc ผ่านวงจรบริดจ์เรคตไฟล์ผ่านจรรยาบรรณของ LM7915 ได้แรงดันลบ 15 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับออปแอมป์

การคำนวณค่าความต้านทานที่ใช้กับจรรยาบรรณของ LM 317 ดูจากค่าที่ชี้จะมีสมการคือ

$$0 = 125 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj} \times R_2$$

สามารถหาค่า I_{adj} ได้เพราะมีค่าน้อยมาก (เป็น μA)

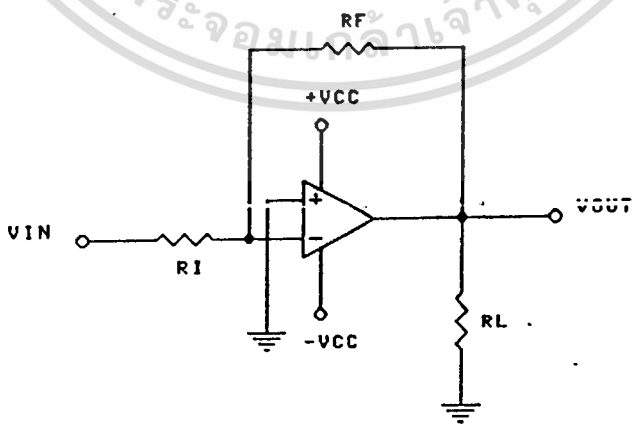
เมื่อ $R_1 = 240 \Omega$

$R_2 = 5.6 k\Omega$

จะได้ $V_0 = 30 V$

7. วงจรขยายสัญญาณ วงจรรวมสัญญาณและวงจรบัฟเฟอร์

วงจรมายหมายถึงวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุตที่มีค่าน้อย ๆ ให้ขนาดสัญญาณทางเอาต์พุตมีขนาดสูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่งสัญญาณที่เข้านี้อาจเป็นได้ทั้งกระแสหรือแรงดัน ในลักษณะเดียวกันวงจรมายของออปแอมป์ก็คือวงจรที่มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก และยังมีลักษณะการขยายเป็นเชิงเส้น นั่นคืออัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตต่ออินพุตจะคงที่เสมอ และนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายของออปแอมป์ได้โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัว วงจรมายที่ใช้เป็นแบบ voltage controlled voltage sources แบบ inverting amplifier



รูปที่ 3.11 inverting amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าอัตราขยายที่ได้คือ

$$A_v = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) + V_{in}$$

นั่นคือ

$$0 = 125 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj} \times R_2$$

เช่นต้องขยายอัตรา 5 เท่า

เมื่อกำหนดให้ $R_{IN} = K$ ฉะนั้น R_F ที่ใช้ในวงจร คือ 50 k

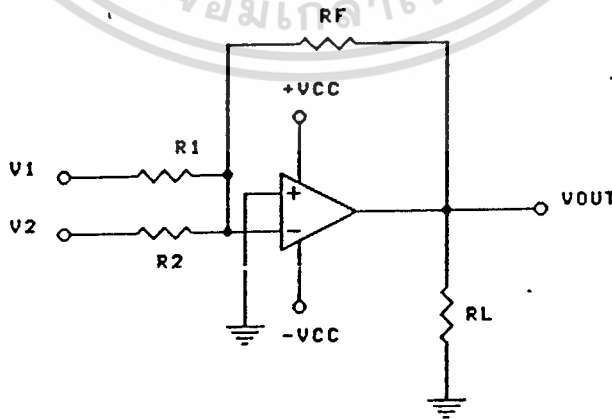
วงจรรวมสัญญาณหรือวงจรบวกแรงดัน การทำงานของวงจรมี สามารถอธิบายโดยใช้หลักที่ว่า ผลรวมทางพีชคณิตของกระแส ณ จุดกราวด์เสมือนจะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุต ซึ่งมีขนาดเท่ากับผลคูณของ R_F กับผลรวมของกระแสเหล่านี้ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจึงเปรียบเสมือนผลรวมทางพีชคณิตของ แรงดันอินพุตทั้งหมดด้วย

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

จะได้ว่า

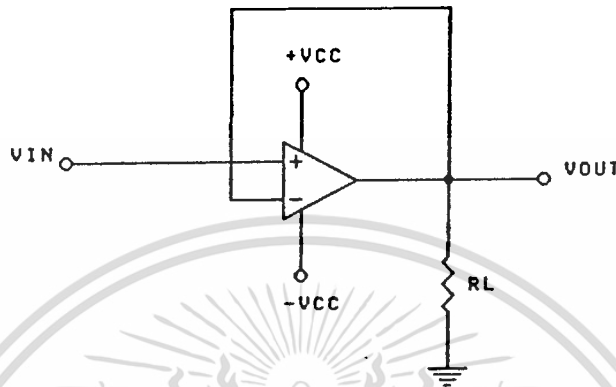
$$out = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_F}{R_n} V_n\right)$$

ในกรณีที่ต้องการให้ผลรวมนี้ถูกขยายด้วยค่าขยายค่าหนึ่งก็สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทาน



รูปที่ 3.12 วงจรรวมสัญญาณ

ส่วนวงจรับัฟเฟอร์คือ วงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้วงจรแบบ non-inverting หรือ inverting ก็ได้



รูปที่ 3.13 วงจรับัฟเฟอร์

3.3 การเขียนโปรแกรมภาษาซีในการสื่อสารแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมอะซิงโครนัส

ก่อนที่จะเรียนรู้การทำงานของพอร์ตอนุกรมนั้น ควรทำความเข้าใจ กับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (asynchronous) เสียก่อน ในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านพอร์ตแบบอนุกรมครั้งละ 1 บิตซึ่งแตกต่างจากการส่งแบบขนานครั้งละ 1 ไบต์และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสแต่ละไบต์นั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากัน จึงได้ชื่อว่าการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ในการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลแต่ละไบต์ประกอบด้วย

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

สถานะของสายส่งในขณะที่ไม่มีสัญญาณจะมีสถานะสูง ข้อมูลบิตใดมีค่า 0 จะทำให้สายส่งมีสถานะต่ำ ข้อมูลบิตใดที่มีค่า 1 จะทำให้สายส่งมีสถานะสูง บิตเริ่มต้นใช้สำหรับบอกจุดเริ่มต้นของไบต์ข้อมูลโดยทำให้สถานะของสายส่งมีค่าต่ำเป็นเวลา 1 รอบจากนั้นจะเป็นบิตข้อมูลตามด้วยพาริตีบิตซึ่งจะมีหรือไม่มีก็ได้ สุดท้ายคือบิตสิ้นสุด ซึ่งจะมี 1 หรือ 2 บิต ก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้เท่าไร พาริตีบิตหากมีในไบต์ข้อมูลก็จะทำหน้าที่ตรวจเช็คความผิดพลาดของข้อมูล พาริตีมีค่า 2 อย่างเป็นทางการ หรือคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(even or odd) ถ้าเป็นหมายความว่า เมื่อรวมพาริตีบิตแล้ว จำนวนบิตข้อมูลที่เป็นค่า 1 มีจำนวนคู่ และถ้าเป็นคี่หมายความว่า เมื่อรวมพาริตีบิตแล้วจำนวนบิตข้อมูลที่เป็นค่า 1 มีจำนวนคี่

อัตราการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น อัตราบิต (baud: bit per second) ถ้าอัตราบิตที่ต่ำที่สุดที่ใช้กันคือ 300 บิต ซึ่งจะใช้กันในโมเด็มรุ่นเก่า ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับ IBM PC สามารถใช้ค่าอัตราบิตได้สูงถึง 19200 บิต แต่ที่ใช้ในโครงการนี้จะใช้อัตราบิต 9600 บิต

มาตรฐาน RS - 232

การที่จะเข้าใจว่า ปัญหาความหมายที่เกิดขึ้นกับพอร์ตแบบอนุกรมนั้น เกิดขึ้นได้อย่างไร และทำไมเกิดขึ้น จะต้องเข้าใจถึงมาตรฐานของการสื่อสารแบบอนุกรมอะซิงโครนัสของ RS-232 มากพอสมควร ดังแสดงตาราง 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	TxD	2
Receive data	RxD	3
Ground	GRD	7

ตารางที่ 3.2

สัญญาณทั้งหมดมีมากกว่านี้ เพราะว่าแรกเริ่มนั้น พอร์ตแบบอนุกรมถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับโมเด็ม ดังนั้นเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่น บางสัญญาณจึงไม่จำเป็น เพราะสัญญาณเหล่านี้มีใช้เพื่อว่าเป็นข้อตกลงระหว่างโมเด็มในคอมพิวเตอร์ว่า

1. คอมพิวเตอร์จะไม่ส่งข้อมูลให้กับโมเด็ม ก่อนที่โมเด็มจะพร้อมส่งข้อมูล
2. คอมพิวเตอร์จะไม่อ่านข้อมูลจากโมเด็ม ก่อนที่โมเด็มจะพร้อม

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล (framing error) คือความผิดพลาดของการส่งข้อมูล ที่เกิดจากสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองด้านมีค่าไม่เท่ากัน เพราะว่าจากการทำงานของพอร์ตแบบอนุกรม เมื่อพอร์ตได้รับบิตเริ่มต้น ก็จะสุ่มอ่านค่าจากส่วนรับข้อมูลจาก 1 ครั้งต่อ 1 รอบ เพื่ออ่านบิตต่อไป ซึ่งระยะเวลาในการสุ่มอ่านแต่ละรอบ กำหนดได้จากอัตราบิต ถ้าหากว่าคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องมีสัญญาณนาฬิกาไม่ตรงกันคอมพิวเตอร์ด้านรับก็จะอ่านข้อมูลจากส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับข้อมูลของตนช้า หรือเร็วเกินไป ก่อนข้อมูลจะถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ ด้านส่ง ทำให้เกิดความผิดพลาดของกรอบข้อมูลขึ้น

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เชคกิง

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เชคกิง (hardware handshaking) คือวิธีที่ใช้ในการรับข้อมูลแบบอนุกรมผ่านพอร์ตอนุกรมโดยจะต้องตรวจสอบสถานะของคอมพิวเตอร์ด้านการรับข้อมูลว่าพร้อมที่จะมีการรับข้อมูลหรือไม่เมื่อคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะส่งข้อมูลให้ดังนั้นข้อมูลจะต้องถูกส่งออกไปจนกว่าสัญญาณพร้อมรับข้อมูลส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ด้านรับ สัญญาณพร้อมรับข้อมูลของคอมพิวเตอร์ด้านรับคือ clear to send (CTS)

โปรแกรมจำลองการรับส่งข้อมูล จะมีรูปแบบดังนี้คือ

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

หมายความว่า จะมีการตรวจสอบสถานะ CTS ตลอดเวลาว่าพร้อมจะรับข้อมูลหรือไม่ ถ้าไม่พร้อมก็รอเรื่อย ๆ ถ้าพร้อมก็ส่งข้อมูลไปให้ จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดที่ยังมีข้อมูลที่จะต้องส่งอยู่

ปัญหาในการสื่อสาร

เพื่อที่จะให้การสื่อสารเป็นไปอย่างถูกต้อง สัญญาณหลายๆสัญญาณถูกใช้เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลไบต์ต่อไปจะถูกส่งมาเมื่อใดแต่ต่อมาเมื่อมีการสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์สัญญาณบางสัญญาณจะถูกตัดทิ้งเพื่อสายสัญญาณจะได้ล้นน้อยลง และค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสายส่ง สัญญาณจึงเหลือเพียง GND, TFD และ RXD ซึ่งในทางทฤษฎีของคอมพิวเตอร์ เมื่อคอมพิวเตอร์ที่จะส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์อีกตัวจะต้องพร้อมรับข้อมูลแต่เมื่อลดสายสัญญาณลงแล้วจะทำให้ ปัญหาตามมามากมาย เช่นปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับ (overrun error)

ปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับ

เมื่อการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมใช้สายเพียง 2 สาย จะต้องใช้กรรมวิธีพิเศษเล็กน้อยเพื่อให้พอร์ต ตัวส่งเข้าใจว่าพอร์ตด้านรับพร้อมจะรับข้อมูลเสมอโดยการต่อ 6,8 และ 20 ของคอนเน็คเตอร์เข้าด้วยกัน วิธีนี้เป็นการตัดฮาร์ดแวร์เชคกิงไปนั่นเอง แต่การทำเช่นนี้ทำให้เกิดข้อมูลถูกเขียนทับได้ง่าย ซึ่งก็คือความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลอย่างหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากการที่คอมพิวเตอร์เครื่องส่ง ส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์ด้านรับในขณะที่คอมพิวเตอร์ด้านรับยังไม่พร้อม ที่จะรับข้อมูล เนื่องจากในขณะนั้นข้อมูลเดิมยังไม่ได้ถูกอ่านเข้าไป แต่ข้อมูลใหม่ถูกส่งกลับมาแล้วข้อมูลเดิมจึงถูกเขียนทับไปจึงเกิดเป็นความผิดพลาดของข้อมูลขึ้นได้

การใช้พอร์ตอนุกรมผ่านไบออส (BIOS)

การใช้งานพอร์ตอนุกรมทำได้วิธีผ่านทางคอสผ่านทางไบออสและการเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ต อนุกรมโดยตรง การเรียกพอร์ตอนุกรมผ่านทางคอสนั้นไม่เหมาะสมเท่าใดนักเพราะคอสไม่มีวิธีที่จะตรวจสอบสถานะของการรับส่งตัวพอร์ตอนุกรมการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมโดยตรงนั้นคงไม่จำเป็นเพราะวิธีที่ง่ายกว่าคือ การผ่านไบออสอินเตอร์รัพท์หมายเลข 14 ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนต่างๆดังนี้

การเตรียมสถานะเริ่มต้นของพอร์ต

ในการเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้ผ่านอินเทอร์รัพท์หมายเลข 14 ฟังก์ชันหมายเลข 0 โดยมีรีจิสเตอร์ AH เป็นตัวผ่านค่าหมายเลขของฟังก์ชันรีจิสเตอร์ AL ผ่านค่ารหัส ที่ตั้งสถานะของพอร์ตอนุกรมโดยมีความหมายแต่ละบิตดังตารางที่ 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 = 1บิตสิ้นสุด 1 = 2บิตสิ้นสุด
10	จำนวนบิตในข้อมูล 1ไบต์ 10= 7บิต 11= 8บิต

ตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้รหัสเพื่อเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมเช่น อัตราบิต 9600มีพาริตีคู่ มี 1 บิตสิ้นสุดและใช้ 8 บิตต่อ 1 ไบต์ข้อมูล ดังตารางที่ 3.4

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

ตารางที่ 3.4

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะมีพอร์ตอนุกรมได้มากถึง 7 พอร์ตโดยหมายเลขพอร์ตที่จะใช้สามารถกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ DX พอร์ตแรก (COM 1) มีหมายเลข 0 พอร์ตต่อไปหมายเลข 1 เช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ ดังตัวอย่างการรับส่งสถานะของพอร์ต

```

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 ออกทางพอร์ตอนุกรมหมายเลขของพอร์ตอนุกรม ที่จะทำการส่งข้อมูลสามารถกำหนดได้ผ่านรีจิสเตอร์ DX ข้อมูลที่ทำการส่งอยู่ในรีจิสเตอร์ AL เมื่อทำการส่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว สถานะการส่งข้อมูลปรากฏในรีจิสเตอร์ 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" );

exit ( 1 );

}

}
```

การตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม

ฟังก์ชันหมายเลข3 ของอินเทอร์พอร์ทหมายเลข14 ของไบออสใช้ตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม รีจิสเตอร์ DX ใช้สำหรับหมายเลขพอร์ตที่จะตรวจสอบสถานะของพอร์ต สามารถแปลความหมายได้จากรหัสที่ปรากฏในรีจิสเตอร์ AHและ 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

การรับข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม 1 ไบต์

จะเห็นว่าสัญญาณสถานะต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้งานกับโมเด็มดังนั้นเมื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์อื่นจึงลดความสำคัญลง แต่ยังมี สัญญาณที่สำคัญมากคือ Data Ready เป็นตัวบอกว่าเมื่อไรที่ข้อมูลที่ถูกรับเข้ามาพร้อมที่จะถูกอ่านไปเก็บ

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้โดยการเรียกผ่านไบออส อินเทอร์รัพต์หมายเลข 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;
/*รองจนกว่าจะได้รับตัวอักษร*/
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;
}

```

3.4 การเขียนโปรแกรมแอสเซมบลีสำหรับการส่งข้อมูลอนุกรม

การทำงานของฟังก์ชันนี้จะรอจนกระทั่งข้อมูลถูกรับมาผ่านพอร์ตอนุกรมแล้วส่งค่าอักขรถลับมา แต่ว่าการทำงานเช่นนี้อาจทำให้โปรแกรมไม่หลุดจากลูปการทำงานดังนั้นจึงต้องตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรมเสียก่อน โดยใช้ฟังก์ชัน kbhit () เพื่อทดสอบว่าได้ข้อมูลออกจากลูปได้ หากไม่มีข้อมูลใดๆแต่ถ้ามีข้อมูลรับเข้ามา ฟังก์ชันก็จะผ่านไปเรียกอินเทอร์รัพต์เพื่ออ่านข้อมูลเข้ามาและเช่น

การทำงานของโปรแกรม SERIAL PORT INTERFACING นี้จะรับข้อมูลจาก ADC 0808 ซึ่งเป็นค่าที่วัดจากพีโซอิเล็กทริก เซ็นเซอร์ เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังพีซีเพื่อประมวลผลและแสดงผล ใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรมบอร์ด V-31 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 โดยใช้การส่งในโหมด 1 ขนาด 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 ADC 0808 เพื่อทำการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลหลังจากนั้นแล้ว ขา READ จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่เปลี่ยนเป็นดิจิตอลออกมา ขา READ จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลตลอด และขาพอร์ต P3.2 จะทำการเช็คขา EOC ของไอซี ADC0808 ว่าทำการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลเสร็จแล้ว ก็จะทำการเคลื่อนย้ายข้อมูลจากเอดีซีมายัง PORT 1 และจะรอรับข้อมูล 1 ไบต์ จาก PC ข้อมูล 1 ไบต์ เพื่อจะบอกให้รู้ว่าเริ่มส่งข้อมูลได้ และส่งออกทางพอร์ตอนุกรมเพื่อส่งข้อมูลไปยัง PC และจะวนกลับไปรับตัวอักษรเพื่อทำการเลือก channel ใหม่

โปรแกรมแอสเซมบลีสำหรับการส่งข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้

ส่วนเริ่มต้น เป็นส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม เมื่อทำการ Reset หรือ Power on ก็จะเริ่มโปรแกรมที่นี้

ส่วนให้ค่าเริ่มต้น เป็นการให้ค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และมีการเลือกใช้ bank 2 กำหนดค่าต่าง ๆ ในการส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม

ส่วนของการรับค่า มีการส่งค่ามาจากพีซี ทำการเช็คว่าการส่งหรือไม่ เมื่อมีการเช็คว่าการส่งแล้วก็จะทำการเก็บค่านั้นไว้ใน ACC

การเลือก channel ทำการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ กับ ACC ถ้าเท่ากับค่าใน ACC ก็จะทำการเลือก channel ตามที่กำหนด

ส่วนของการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยจะเช็คให้ขา WR มีค่าเป็น '1' หลังจากนั้นจะทำการเช็คขาของ EOC ว่ามีการเปลี่ยนข้อมูลจาก อนาลอก เป็น ดิจิตอล เสร็จแล้วหรือยังหลังจากนั้น จะทำการอ่านข้อมูลที่เป็นดิจิตอลออกมาโดยให้ขา RD อ่านค่าตลอด

ส่วนของการเก็บข้อมูล เมื่ออ่านข้อมูลเป็นดิจิตอลเสร็จแล้วก็จะเก็บข้อมูล 8 บิต จาก ADC0808 ไปเก็บไว้ใน ACC

ส่วนของการรับส่งข้อมูล ทำการตรวจเช็คที่พีซีพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ หลังจากนั้นก็จะส่งข้อมูลออกไป ก็จะกลับไปรับข้อมูลเพื่อทำการเลือก channel อีกครั้ง

```
*****  
; SERIAL PORT INTERFACING  
*****  
; *****  
;-----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  
CLR P3.6
```

-----Recieve data for select-----

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

CLR RI

MOV A,\$BUF

-----Select chanel-----

CH1 : CJNE A,#"a",CH2 ;If A="a"thenCH1 selected

CLR P3.3

CLR P3.4

CLR P3.5

CALL WR

JMB RX1BYTE

CH2 : CJNE A,#"b",CH3 ;If A="b"thenCH2 selected

CLR P3.3

CLR P3.4

SETB P3.5

CALL WR

JMP RX1BYTE

CH3 : CJNE A,#"c",CH4 ;If A="c"thenCH3 selected

CLR P3.3

CLR P3.4

SETB P3.5

CALL WR

JMB RX1BYTE

CH4 : CJNE A,#"d",CH5 ;If A="d"thenCH4 selected

CLR P3.3

SETB P3.4

SETB P3.5

CALL WR

JMP RX1BYTE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

SETB P3.3

CLR P3.4

CLR P3.5

CALL WR

JMP RX1BYTE

CH6 : CJNE A,#"f",RX1BYTE ;If A="f"

SETB P3.3

CLR P3.4

CLR 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,PI ;Save 1 byte

JNB TI,\$;Wait until TI='1'

CLR TI

MOV SBUF,A

RET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-----End of program-----

END_PG : END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โปรแกรมวิเคราะห์ และ แสดงผลทางกราฟฟิกของเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบ 3 แกน

ในโครงการนี้ใช้โปรแกรมภาษาซีในการเขียนโปรแกรมการแสดงผล การเก็บข้อมูล การเปรียบเทียบข้อมูล การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การควบคุมเลือก channel การประมวลผลข้อมูลตลอดจน การพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์

การใช้งานและหลักการทำงานของโปรแกรมควบคุมและแสดงผลของเครื่องวัดความสั่นสะเทือน

ในโครงการนี้โปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลัก ๆ หลายฟังก์ชันด้วยกันดังนี้ คือ

1. ฟังก์ชันเริ่มต้นโปรแกรม (MAIN ()) เป็นส่วนของโปรแกรมที่เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรมจะต้องเข้ามาทำงานในส่วนนี้ทุกครั้งตลอดไป

2. ฟังก์ชันแสดงเมนูหลักหรือเลือกเมนู (MAIN_MENU (), BEGIN ()) เป็นส่วนของโปรแกรมที่เมื่อผ่านส่วนของฟังก์ชันเริ่มต้นโปรแกรมมาแล้ว โปรแกรมจะเข้ามาส่วนนี้เพื่อให้ผู้ใช้เลือกทำงานต่อไปในฟังก์ชันอื่นๆ

3. ฟังก์ชัน LOAD DATA เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เมื่อเลือกเข้าฟังก์ชันนี้แล้วจะสามารถเรียกข้อมูลเก่าที่เก็บไว้มาได้ ซึ่งจะแสดงผลของข้อมูล

4. ฟังก์ชัน PRINT DATA เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นเดียวกับส่วนของฟังก์ชัน LOAD DATA ซึ่งเมื่อเลือกเข้ามาทำงานในส่วนนี้แล้วจะเป็นการพิมพ์ข้อมูลจากที่เก็บไว้ออกทางเครื่องพิมพ์ เพื่อทำเป็นรายงานหรือประกอบคำบรรยาย

5. ฟังก์ชัน TEST MACHINE เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันซึ่งเมื่อเลือกเข้ามาทำงานในส่วนนี้ จะเป็นการตรวจสอบหรือบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ machine ซึ่งทำการตรวจสอบแบบต่อเนื่องหรือบันทึกข้อมูลครั้งเดียว ทีละ channel หรือ พร้อมกันหมดทุก channel

6. ฟังก์ชัน COMPARE DATA เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่ต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันเมื่อเลือกเข้ามาทำงานในส่วนนี้และจะเป็นการนำข้อมูลเก่ามาเปรียบเทียบกับระหว่างข้อมูลเก่าและข้อมูลใหม่ หรือข้อมูลเก่ากับข้อมูลเก่า แต่ต่างตำแหน่งกัน ต่าง channel กัน

7. ฟังก์ชัน FOURIER ANALYSIS เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมซึ่งต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันซึ่งเมื่อเลือกเข้ามาทำงานในส่วนนี้ จะเป็นการตรวจสอบหรือบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ machine ซึ่งทำการตรวจสอบแบบต่อเนื่องหรือบันทึกข้อมูลครั้งเดียว ทีละ channel หรือ พร้อมกันทั้ง 3 channel (3 แกน) พร้อมทำการวิเคราะห์ทาง spectump เพื่อเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือน แสดงการวิเคราะห์อาการเสียของ MOTOR 2 อย่างคือการสั่นสะเทือนเนื่องจากฐานยึดหลวม และลูกปืน(BEARING)

เพื่อแยกอาการเสียของ MOTOR ทั้งสองอาการซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ ค่าออกมาเป็น เปอร์เซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ฟังก์ชัน QUIT เป็นส่วนของโปรแกรมที่ต้องเลือกจาก MAIN MENU เช่นกันเมื่อเลือกเข้าทำงานในส่วนนี้จะออกจากโปรแกรมควบคุมและแสดงผลเครื่องวัดความชื้นสะท้อน

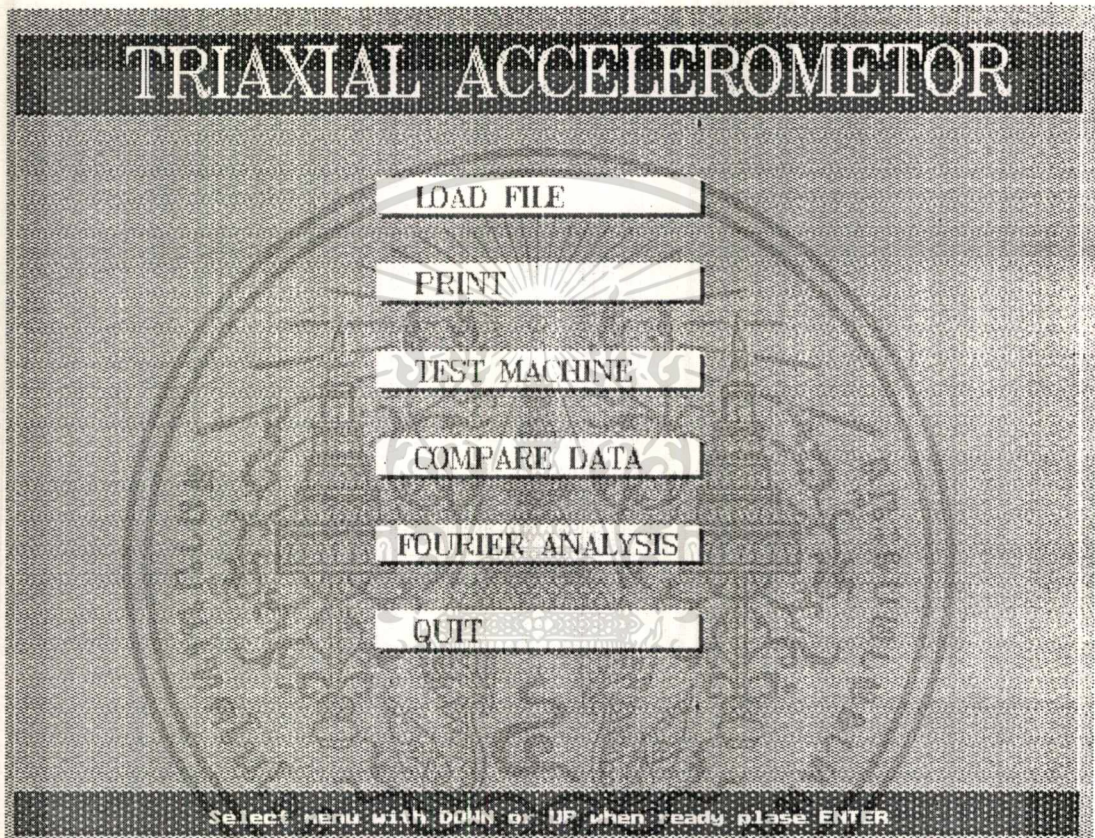


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

เป็นไปตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เข้าโปรแกรมใช้งานควบคุมเครื่องวัดความสั่นสะเทือนใช้ไฟล์ ACC.EXE ผลของการเข้าสู่โปรแกรมดังรูปที่ 3.14



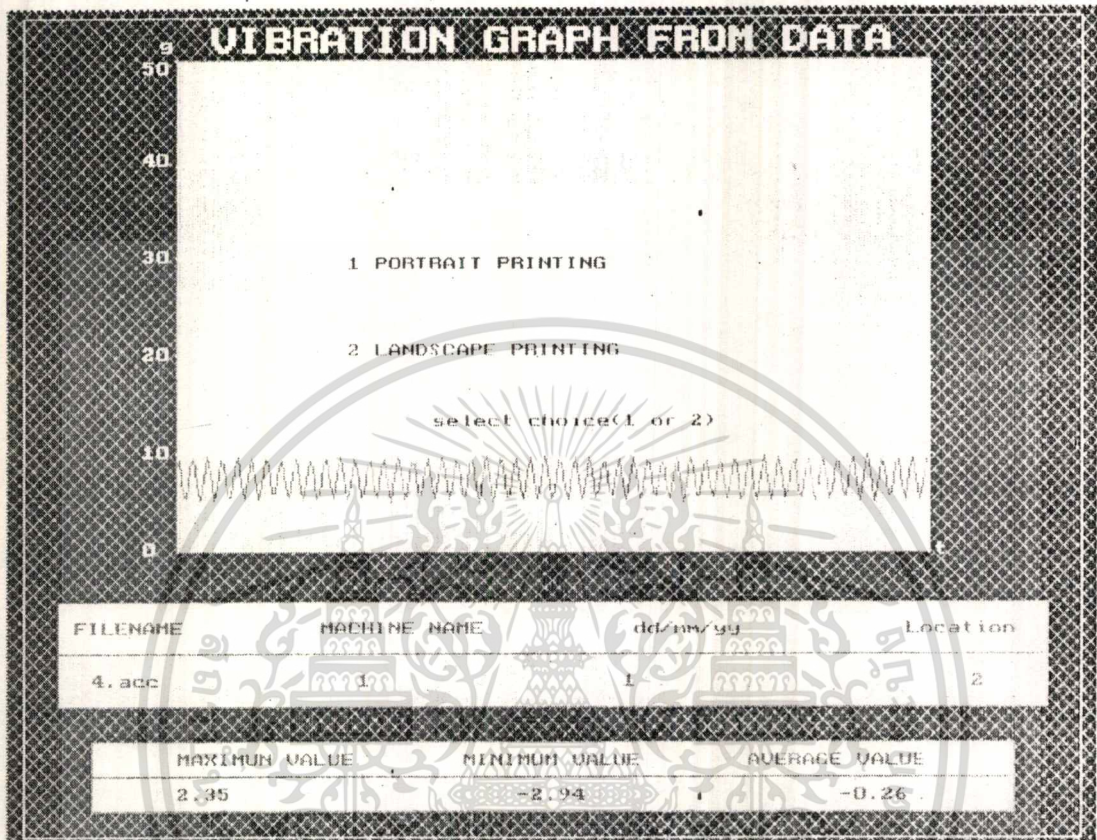
รูปที่ 3.14 แสดงเมนูหลักของโปรแกรม

2. เลือกการใช้งานจากเมนูหลัก (MAIN MENU)
3. ถ้าเลือก โหลดข้อมูลเก่า (LOAD DATA) โปรแกรมจะเข้าสู่ MENU LOAD เพื่อให้ทำการ เลือกการโหลด file เป็น 2 แบบคือ สามารถ load file ได้ 1 file หรือทั้ง 3 file ดังรูป 3.15



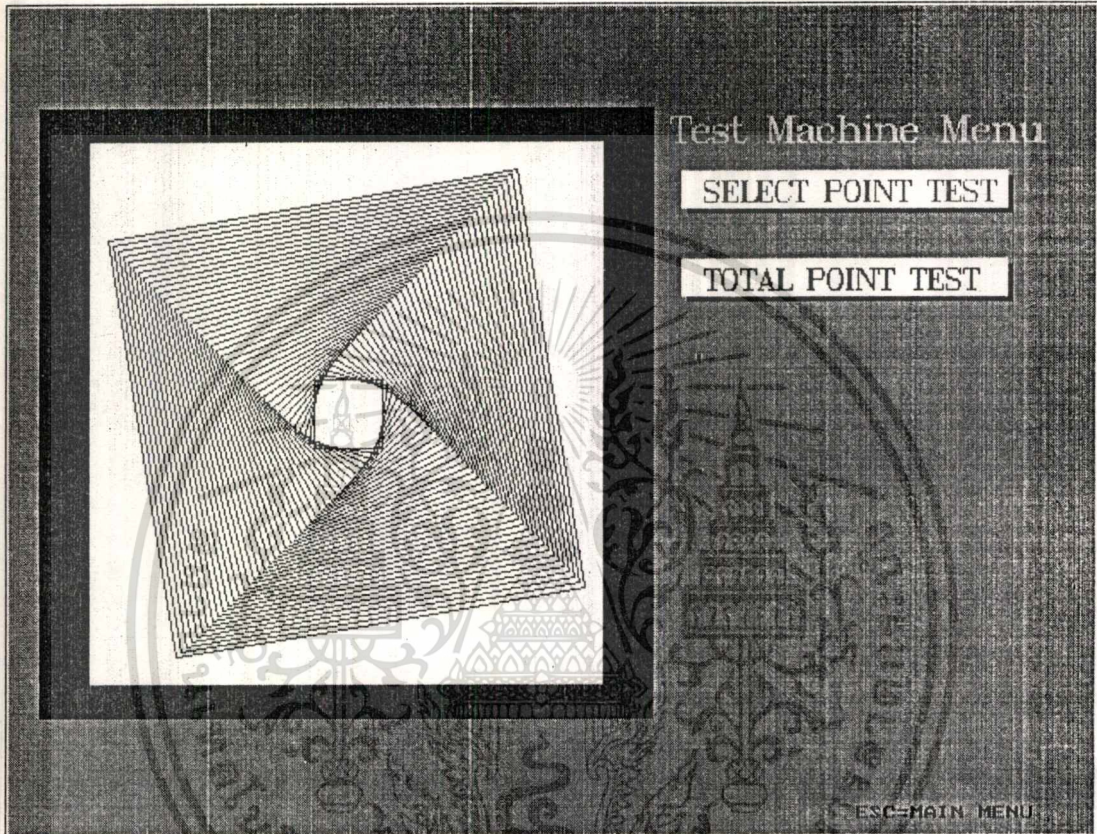
รูปที่ 3.15 แสดงส่วนโหลดเพิ่มข้อมูล

4. เลือกพิมพ์ข้อมูล (PRINT DATA)



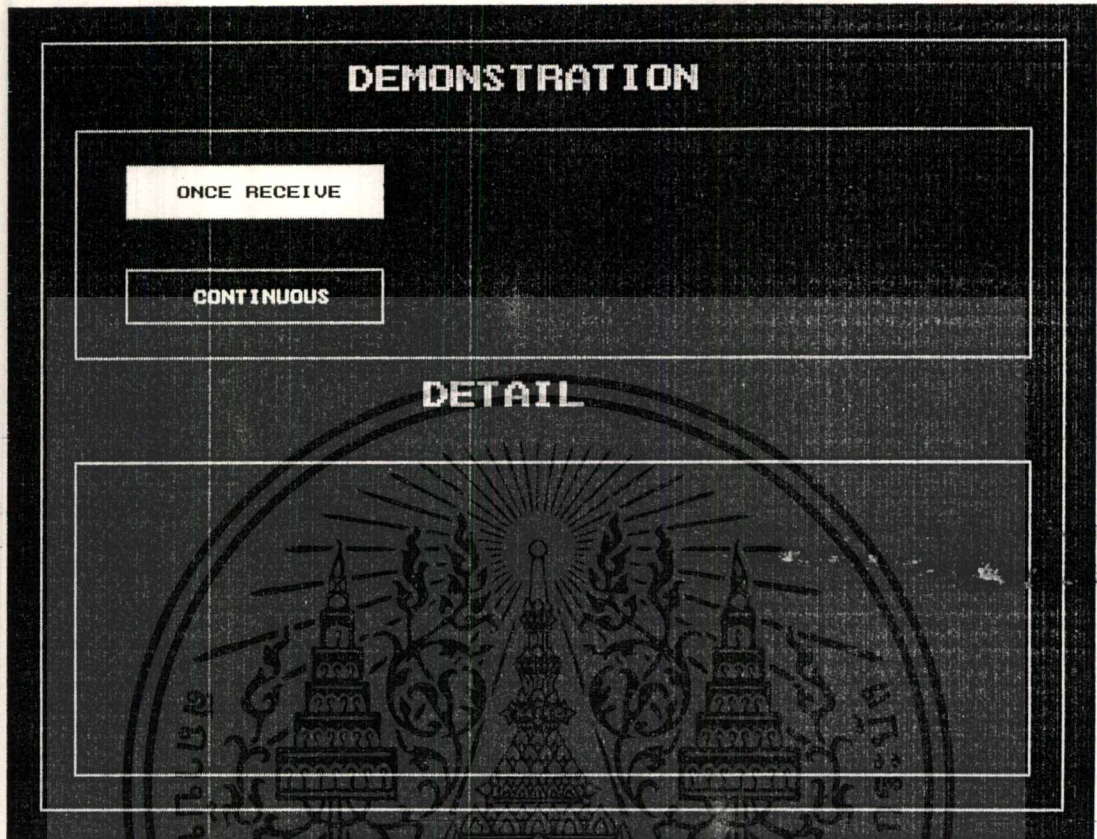
รูปที่ 3.16 แสดงส่วนพิมพ์ข้อมูลออกจากเครื่องพิมพ์

5. ถ้าเลือก TEST MACHINE ต้องกรอกรายละเอียดต่าง ๆ ให้ครบเพื่อสะดวกในการตรวจสอบข้อมูล ซึ่งมีให้เลือก TEST 2 แบบ คือ แบบเลือก CHANNEL จะ ทดสอบได้ที่ละ 1 CHANNEL เท่านั้น ดังรูปที่ 5.18 และ แบบทดสอบทั้ง 6 CHANNEL ดังรูปที่ 5.19



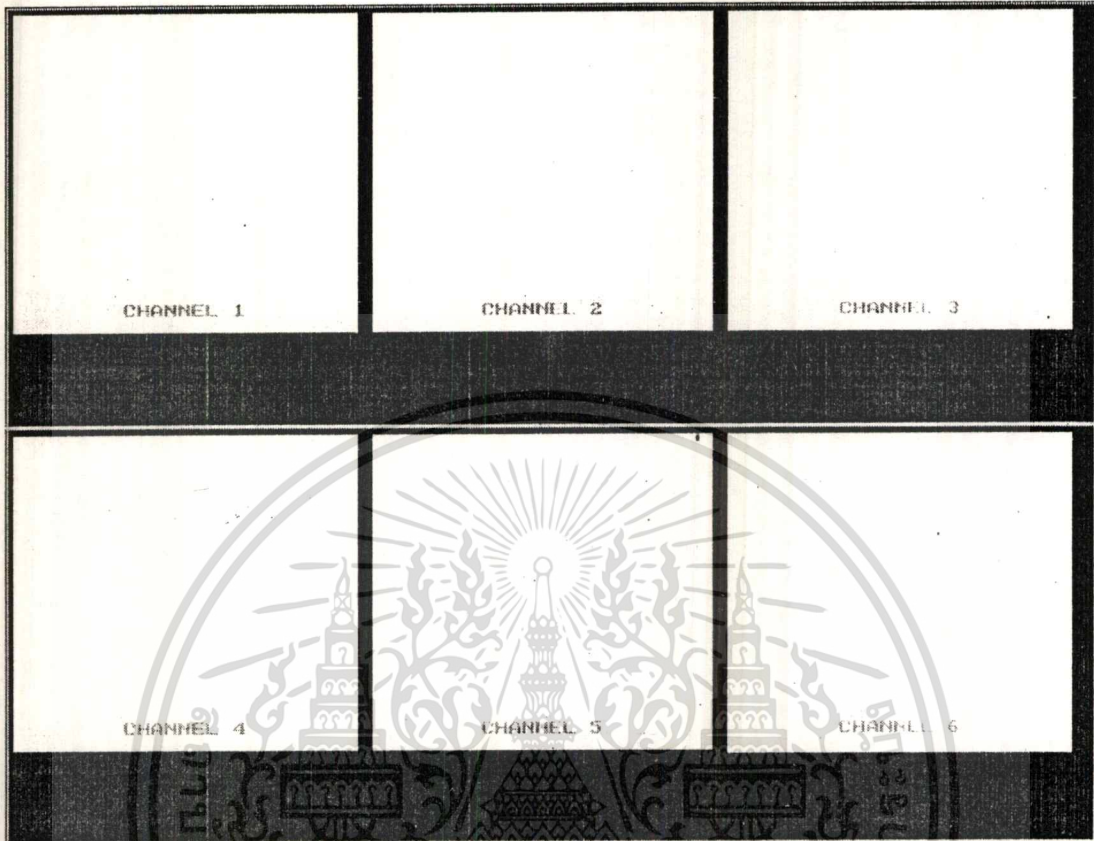
รูปที่ 5.17 แสดงส่วนของเมนูที่จะต้องเลือกลักษณะการทดสอบเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงส่วนกรอกรายละเอียดเมื่อเลือกการทดสอบ แบบ SELECT POIN TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะหน้าจอของการทดสอบเครื่องจักรแบบ TOTAL POINT TEST

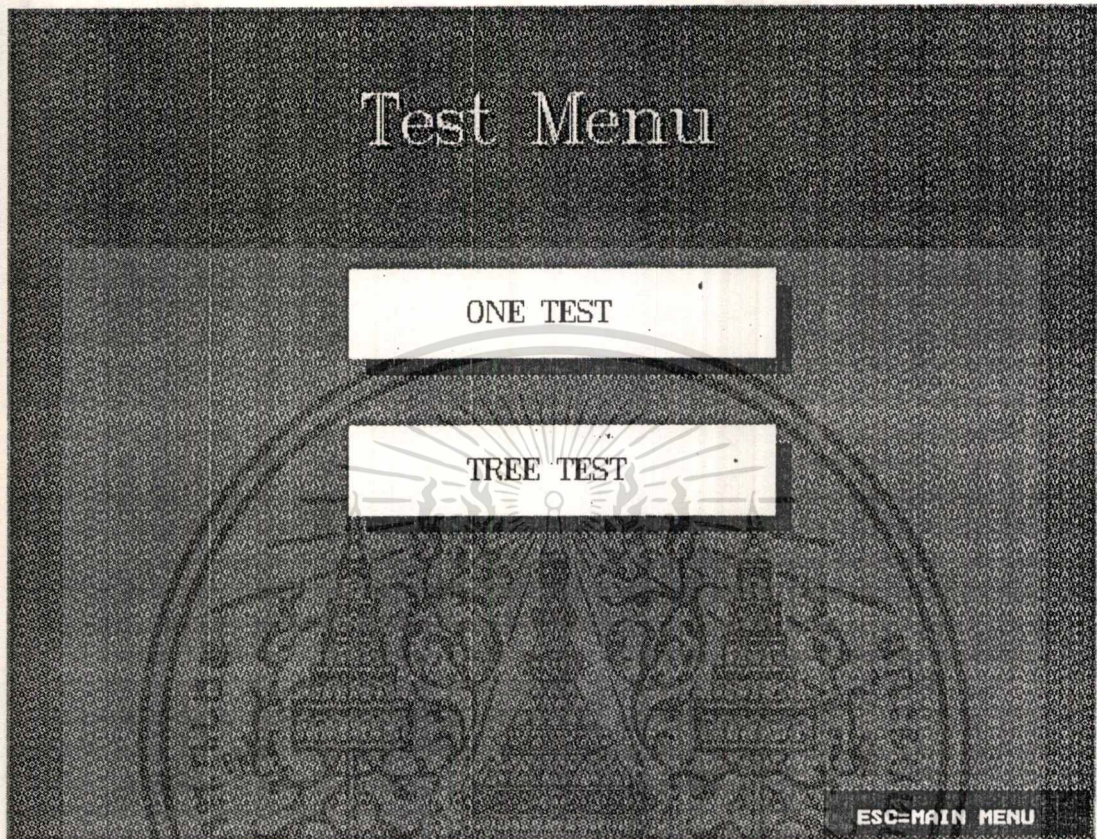
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ถ้าเลือก COMPARE DATA



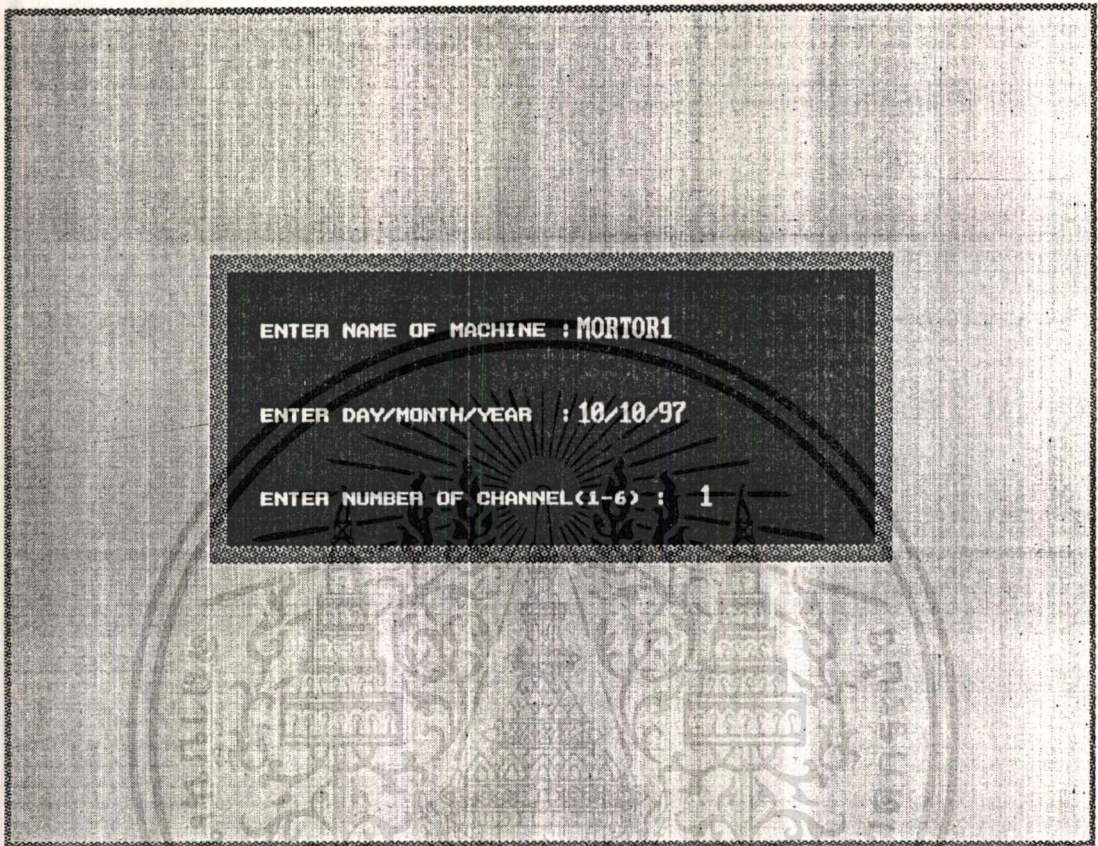
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ถ้าเลือก FOURIER ANALYSIS



รูปที่ 5.21 แสดงส่วนเลือกลักษณะการทดสอบเครื่องจักรโดย FOURIER ANALYSIS

กรณี ONE TEST ต้องกรอกรายละเอียดดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 แสดงส่วนกรอกรายละเอียดของการทดสอบแบบ ONE TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี THREE TEST ต้องกรอกรายละเอียดดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 แสดงส่วนกรอกรายละเอียดของการทดสอบแบบ TH REE TEST

8. ถ้าเลือก QUIT จะออกจากโปรแกรมไปสู่ตอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประมวลสัญญาณ (SIGNAL PROCESSING)

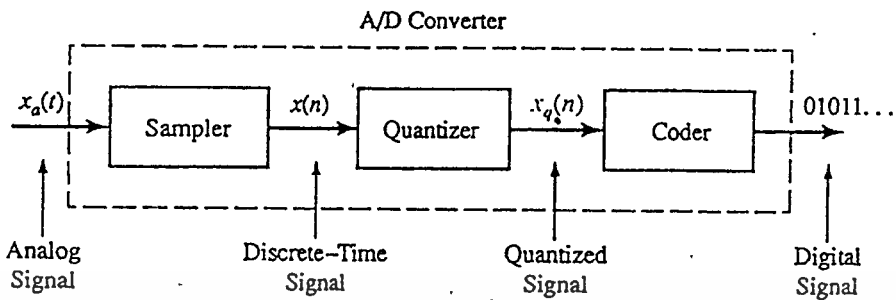
การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่อเนื่อง เป็นสัญญาณซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่อง ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเวลา ต่อเนื่อง และแสดงให้เห็นว่าถ้าสัญญาณเป็นแบบแถบความถี่จำกัด (band limited) เราสามารถสร้างสัญญาณต้นกำเนิดขึ้นมาใหม่ จากตัวอย่างที่สุ่ม ถ้าหากเราทำการสุ่มด้วยอัตราอย่างน้อยสองเท่าความถี่สูงสุด ที่บรรจุอยู่ในสัญญาณนั้น เมื่อเราต้องเปลี่ยนสัญญาณจากเวลาต่อเนื่องมาเป็นสัญญาณเวลาเป็นช่วง เพื่อให้สามารถประมวลโดยระบบอุปกรณ์สำคัญก็คือตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล และแปลงกลับจากดิจิตอลเป็นอนาลอก ได้กล่าวถึงการจำลอง (Simulation) ระบบอนาลอก โดยใช้ระบบดิจิตอล หรือระบบสุ่ม (sampled system) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ทั้งในโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ การสุ่มตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณเวลาเป็นช่วงในโดเมนความถี่ เราได้แสดงว่าการอะเลียส (aliasing) ในโดเมนเวลาเป็นช่วง เป็นผลเนื่องมาจากการสุ่มตัวอย่างในโดเมนความถี่ ซึ่งนำไปสู่การแปลงฟูเรียร์เป็นช่วง (discrete Fourier transform (DFT)) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากในงานประมวลสัญญาณดิจิตอล

4.1 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเวลาต่อเนื่องในโดเมนเวลา

4.1.1 ตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

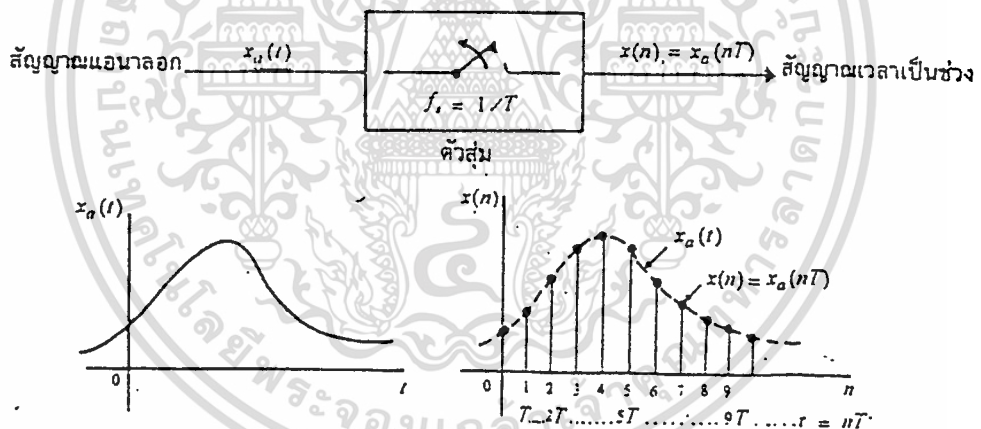
เป้าหมายของการศึกษาเกี่ยวกับระบบ รวมถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ก็เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการประมวลสัญญาณ แต่เนื่องจากสัญญาณเกือบทั้งหมดที่เราสนใจ เป็นสัญญาณแอนาลอก ในกรณีที่น่าเอาระบบเวลาเป็นช่วงมาใช้แทนระบบเวลาต่อเนื่องหรือต้องการเพียงเลียนแบบระบบให้สามารถทำงานประมวลสัญญาณได้เหมือนกัน ก่อนอื่นเราจำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณเหล่านี้ให้อยู่ในรูป ดิจิตอล คือ แปลงมันให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยมของตัวเลขที่มีความละเอียดที่จำกัด ขั้นตอนดำเนินการนี้เรียกว่า การแปลงแอนาลอกเป็นดิจิตอล (analog - to digital (A/D) conversion) โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวแปลง A/D (A/D converter (ADC))

ในทางปฏิบัติการแปลง A/D จะประกอบด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวแปลง A/D

ก. การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) เป็นการแปลงสัญญาณเวลาต่อเนื่อง เป็นสัญญาณเวลาเป็นช่วง โดยดึงตัวอย่าง (sample) ของสัญญาณเวลาเป็นช่วงที่ช่วงเวลาเท่ากัน ถ้า $X_a(nT) = X(n)$ เมื่อ T คือ คาบการสุ่มตัวอย่าง (sampling period) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การสุ่มสัญญาณแอนะลอกในลักษณะซ้ำคาบ

ข. การควันไทซ์ (quantization) เป็นการเปลี่ยนจากสัญญาณเวลาต่อเนื่องขนาดต่อเนื่องซึ่งจะเรียกว่าสัญญาณสุ่ม (sampled signal) เป็นสัญญาณเวลาเป็นช่วงขนาดเป็นช่วง (ดิจิทัล) ค่าของแต่ละตัวอย่างของสัญญาณจะถูกแทนโดย ค่าที่เลือกจาก เซตของค่าที่เป็นไปได้ที่จำกัดความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ยังไม่ถูกควันไทซ์ $X(n)$ กับเอาท์พุทที่ถูกควันไทซ์แล้ว $X_q(n)$ จะเรียกว่าความผิดพลาดของการควันไทซ์ (quantization error)

ค. การทำเป็นรหัส (coding) แต่ละค่าของ $X_q(n)$ จะถูกแทนโดยซีแควนซ์ของเลขฐานสองจำนวน n บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณแอนาล็อก

จะมีหลายวิธีในการสุ่มตัวอย่างจากสัญญาณแอนาล็อก แต่เราจะจำกัดการพิจารณาเพียงการสุ่มตัวอย่างซ้ำคาบหรือสม่ำเสมอ (periodic or uniform) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด ในทางปฏิบัติ ซึ่งการสุ่มตัวอย่างสามารถอธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ (จากบล็อกแรกรูป 4. 1)

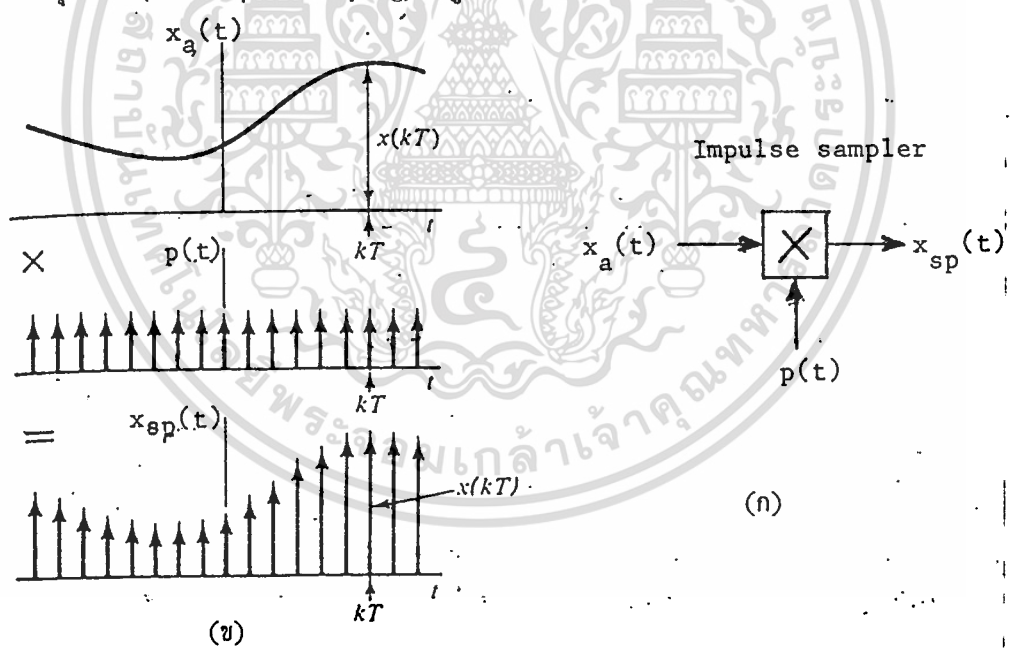
$$x(n) = x_a(nT) \quad -\infty < n < \infty \quad (4.1.1)$$

เมื่อ $X(n)$ เป็นสัญญาณเวลาเป็นช่วงที่ได้จากการดึงตัวอย่าง สัญญาณแอนาล็อก $X_a(t)$ ทุก ๆ T วินาที ช่วงเวลา T ระหว่างตัวอย่างที่ติดกันจะเรียกว่าคาบของการสุ่ม (sampling period or sample interval) และส่วนกลับของมัน $1/T = fs$ จะเรียกว่า อัตราการสุ่ม (sampling rate, เป็นจำนวนตัวอย่างต่อวินาที) หรือความถี่การสุ่ม (sampling frequency, เป็นเฮิรตซ์)

เราอาจเขียนสมการ 4.1.1 ในรูป

$$x_{sp}(t) = x_a(t)p(t) \quad (4.1.2)$$

โดยจะเรียก $X_{sp}(t)$ ว่าเป็นสัญญาณสุ่ม (sampling signal) ซึ่งได้จากการสุ่ม $X_a(t)$ โดยใช้ ตัวสุ่มอิมพัลส์ในอุดมคติ (ideal impulse sampling) ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการกำเนิดสัญญาณสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะนี้ $P(t)$ จะกำหนดในรูป

$$p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (4.1.3)$$

ดังนั้น แทน $P(t)$ จาก (4.1.3) ลงในสมการ (4.1.2) จะได้

$$\begin{aligned} x_{sp}(t) &= x_a(t)p(t) = x_a(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nt) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_a(t) \delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_a(nT) \delta(t - nT) \end{aligned} \quad (4.1.4)$$

ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ขณะนี้สัญญาณ $x_{sp}(t)$ จะประกอบด้วย กระบวนการอิมพัลส์ที่มีระยะทางเท่ากันและพื้นที่ของแต่ละพัลส์ที่เกิดขึ้นที่ขณะใดขณะหนึ่ง $t = nT$ จะเท่ากับค่าของ $x_a(t)$ ที่ขณะนั้นเราสามารถหาสเปกตรัม $X_{sp}(\omega)$ ของ $x_{sp}(t)$ โดยการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการ 4.1.4 ถ้าการแปลงฟูเรียร์ $X(\omega)$ ของ $x(t)$ สามารถเขียนในรูป

$$x(t) \rightarrow x(\omega)$$

เนื่องจาก $x_p(t)$ ถูกแสดงในรูปผลคูณของสองฟังก์ชันของเวลา โดยคำนวณการแปลงฟูเรียร์ จะได้การแปลงฟูเรียร์ของ $x_p(t)$

$$x_{sp}(\omega) = x_a(t)P(t) \rightarrow x_{sp}(\omega) = \frac{1}{2} \pi x_a(\omega) * P(\omega) \quad (4.1.5)$$

และการแปลงฟูเรียร์ของ $P(t)$ คือ $P(\omega)$

$$P(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \rightarrow P(\omega) = \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - k\omega_s) \quad (4.1.6)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} x_{sp}(\omega) &= \frac{1}{2} \pi x_a(\omega) * \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - k\omega_s) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_a(\omega - 2k \frac{\pi}{T}) \end{aligned} \quad (4.1.7)$$

สมการที่ 4.1.7 แสดงให้เห็นว่า $x_{sp}(\omega)$ ประกอบด้วยซีควেনซ์ของ $x_a(\omega)$ ที่ถูกสเกลขนาด

ด้วย $1/T$ และเกิดซ้ำกันที่ k ($k = \pm 1, \pm 2, \dots$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theorem)

เมื่อเราสุ่มตัวอย่างสัญญาณเวลาต่อเนื่อง $x_a(t)$ ยังคงอยู่ในชุดของตัวอย่างที่เราสุ่มออกมา เราจะแน่ใจได้ว่าสาระทั้งหมดยังอยู่ครบถ้วนถ้าเราสามารถสร้าง (recover) สัญญาณเวลาต่อเนื่องขึ้นมาใหม่ ที่เหมือนกับ $x_a(t)$ จากชุดของตัวอย่างที่สุ่มมาได้ ในสมการ (4.1.7) ความถี่ของการสุ่มตัวอย่างจะเป็นตัวแปรสำคัญในการหาเงื่อนไขซึ่งจะทำให้ไม่มีการสูญเสียสาระดังกล่าว โดยให้พิจารณา $x_a(t)$ ว่าเป็นสัญญาณที่มีสเปกตรัมแบบจำกัดแถบความถี่ (band limited) นั่นคือ

$$x_a = 0 \text{ สำหรับ } |\omega| > \omega_M \quad (4.1.8)$$

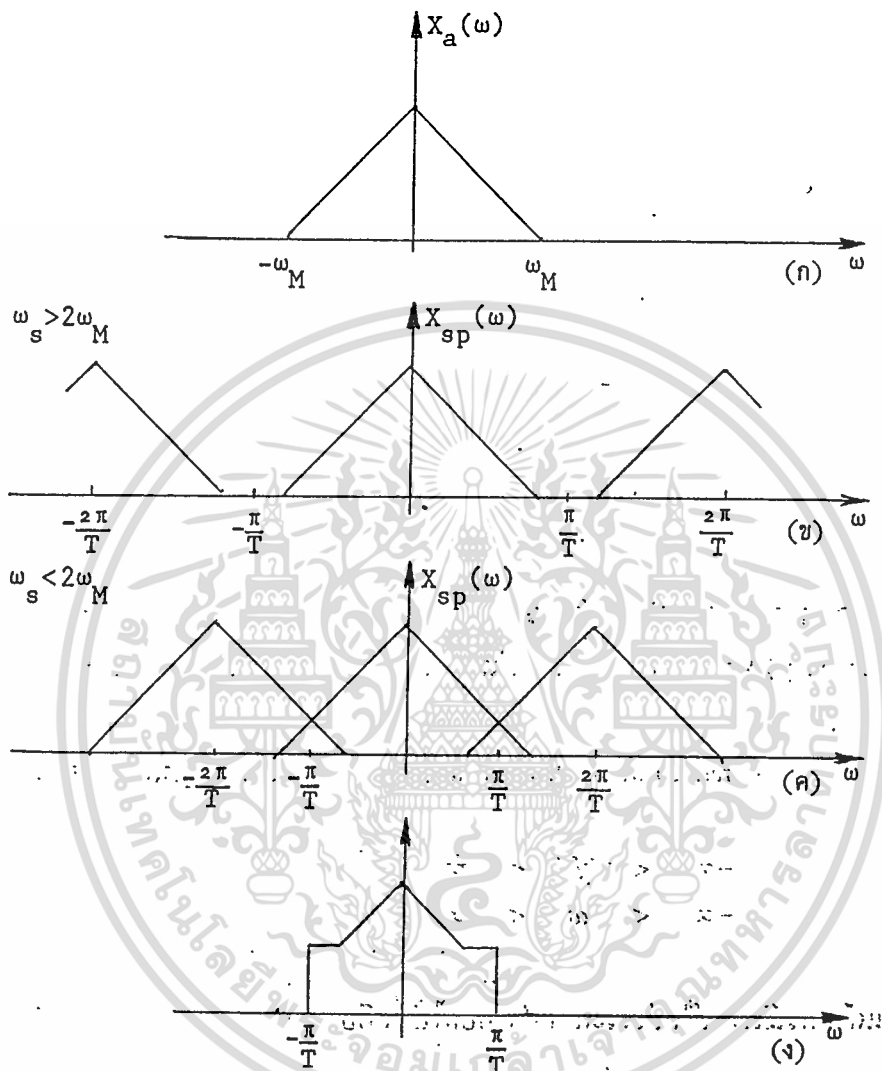
ดังแสดงในรูปที่ (4.4ก) ซึ่งหมายถึงจะไม่มียอดประกอบความถี่ ที่ความถี่สูงกว่า ω_M เมื่อ $x_a(t)$ ถูกสุ่มตัวอย่างด้วยคาบของการสุ่ม T ดังนั้นสเปกตรัม $X_{sp}(\omega)$ ในช่วงความถี่จาก $-\frac{\pi}{T}$ ถึง $\frac{\pi}{T}$ จะเหมือนกับ $X_a(\omega)$ ถ้า

$$\frac{\omega_s}{2} = \frac{\pi}{T} > \omega_M \text{ หรือ } T > \frac{\pi}{\omega_M} \quad (4.1.9)$$

ในกรณีนี้จะไม่เกิดการเหลื่อมขององค์ประกอบสเปกตรัม ที่ติดกัน(รูป 4.4ข) และเราสามารถนำ $X_a(\omega)$ ออกจาก $X_{sp}(\omega)$ อย่างแน่นอน โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำที่มีการตอบสนองขนาดที่เหมาะสม เช่น

$$|H(\omega)| = 1 \text{ เมื่อ } |\omega| \leq \frac{\pi}{T} \text{ และ } |H(\omega)| = 0 \text{ เมื่อ } |\omega| > \frac{\pi}{T} \text{ แต่ถ้าเลือก } T \text{ มากกว่า}$$

จะเกิดการเหลื่อมต่ำ (ดังรูป 4.1ง) การเหลื่อมต่ำนี้เนื่องจากการสุ่มด้วยอัตราที่ต่ำเกินไป ทำให้รูปร่างของสเปกตรัมผิดไป ในลักษณะนี้จะไม่สามารถนำสัญญาณเดิมกลับคืนมาได้ ซึ่งเราเรียกว่า เกิดการแปรความหมายผิด หรือ การ ละเอียด(aliasing) เพื่อป้องกันการผิดพลาดนี้ คาบของการสุ่มตัวอย่าง T จะต้องสอดคล้องกับสมการเงื่อนไข(4.1.9)



รูปที่ 4.4 ก) สัญญาณจำกัดแถบความถี่ ข) สเปกตรัมเมื่อสุ่มตัวอย่างด้วย $T < \frac{\pi}{\omega_M}$

ค) สเปกตรัมเมื่อสุ่มตัวอย่างด้วย $T < \frac{\pi}{\omega_M}$

ง) การเหลื่อมของสเปกตรัมทำให้สัญญาณที่ได้ผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain)

4.2.1 สเปกตรัม (Spectrum)

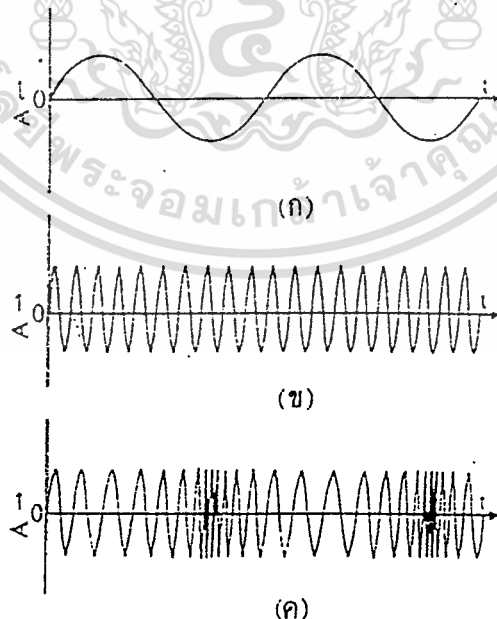
การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณ จะเกี่ยวข้องกับการแยกสัญญาณออกเป็นองค์ประกอบความถี่ (รูปขายน้) ของมัน รูปคลื่นของสัญญาณจะเป็นฟังก์ชันของเวลา โดยเครื่องมือ(ทางคณิตศาสตร์)วิเคราะห์ ที่เรียกว่า อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) และ การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) จะนำมาวิเคราะห์สัญญาณ

4.2.2 โดเมนเวลา (Time Domain)

ลักษณะจำเพาะของสัญญาณไฟฟ้า ก็คือ ขนาดของสัญญาณ (กระแส, แรงดันหรือกำลัง)และรูปร่าง (Shape) ของมัน รูปร่างของสัญญาณสามารถอธิบายได้ 2 วิธี หนึ่งคือการกำหนดรายละเอียดลักษณะจำเพาะของมันในโดเมนเวลา ซึ่งจะเน้นขนาดของสัญญาณเป็นฟังก์ชันของเวลา และสองคือ กำหนดรายละเอียดลักษณะจำเพาะของมันในโดเมนความถี่ ซึ่งจะเน้นรายละเอียดของขนาดและเฟสของสัญญาณ ซึ่งพบที่ความถี่ต่าง ๆ ในสเปกตรัมของสัญญาณที่กำลังพิจารณา

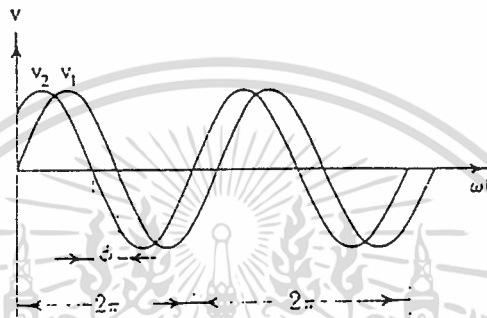
การวัดในโดเมนเวลา จะเน้นลักษณะจำเพาะเหล่านี้

ก) ความถี่ (frequency) คือ อัตราที่รูปสัญญาณเกิดขึ้นในเวลา ความถี่จะกำหนดในรูปจำนวนการซ้ำที่เกิดขึ้นในหนึ่งวินาที และใช้หน่วยว่า เฮิรตซ์ จะเห็นว่าความถี่ของสัญญาณในรูปที่ 4.5 ก และสัญญาณในรูปที่ 4.5 ค จะมีความถี่ที่แปรตามเวลา



รูปที่ 4.5 สัญญาณรูปขายน้

ข) เฟส (phase) แ่งหนึ่งในการเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณ ซึ่งมีความถี่และรูปร่างเหมือนกัน คือ พิจารณาว่าการซ้ำของสัญญาณเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน หรือ สัญญาณหนึ่งห่างจากอีกสัญญาณหนึ่ง ตามแนวแกนเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.6 การห่างกัน จะแสดงเป็นส่วนของคาบ (period) ของสัญญาณ ส่วนของคาบนี้จะแสดงเป็นเรเดียนหรือองศา เมื่อคาบเต็มของการห่างกันคือ 2π เรเดียน หรือ 360 องศาตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์เฟสของสัญญาณรูปไซน์

ค) รูปคลื่น (waveform) สำหรับช่วงเวลาซึ่งแทนคาบซึ่งสัญญาณไม่ซ้ำสิ่งที่น่าสนใจคือ วิธีที่สัญญาณแปรไป ถ้าการแปรสามารถแสดงโดยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ทั่วไป เช่น สัญญาณไซน์ ดังนั้น เราจะได้รายละเอียดที่พอเพียงเกี่ยวกับรูปร่างของสัญญาณในช่วงเวลานั้นถ้าเราไม่สามารถกำหนดลักษณะจำเพาะอย่างง่ายดังกล่าว เราจำเป็นต้องอธิบายการแปรของสัญญาณโดยให้การแปรของขนาดเป็นฟังก์ชันของเวลาในรายละเอียดเพิ่มขึ้น

4.2.3 โดเมนความถี่ (Frequency Domain)

ลักษณะจำเพาะของสัญญาณในโดเมนความถี่ จะแสดงในรูปของสัญญาณไซน์ ซึ่งเมื่อบวกกัน จะให้สัญญาณที่มีลักษณะจำเพาะในโดเมนเวลา เหมือนกันกับสัญญาณที่เรากำลังศึกษา

4.3 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเวลาเป็นช่วงในโดเมนความถี่

การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเวลาเป็นช่วง โดยปกติและเป็นวิธีที่สะดวกที่สุด จะกระทำโดยใช้ตัวประมวลสัญญาณดิจิทัล (digital signal processor) ซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์เอนกประสงค์ หรือฮาร์ดแวร์ดิจิทัลที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับการวิเคราะห์ความถี่ต่อสัญญาณเวลาเป็นช่วง $\{x(n)\}$ เราจะแปลงซีแควนซ์ในโดเมนเวลาไปเป็นการแทนในโดเมนความถี่ที่สมมูลกัน ซึ่งทำโดยการแปลงฟูเรียร์ $X(\Omega)$ ของซีแควนซ์ $\{x(n)\}$ อย่างไรก็ตาม $H(\Omega)$ จะเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องของเวลา ดังนั้นจะไม่สะดวกในการคำนวณค่า

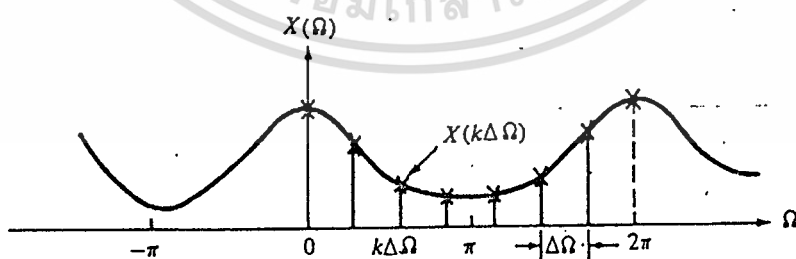
ในหัวข้อนี้ เราจะพิจารณาการแทน ซีแควนซ์ $\{x(n)\}$ โดยตัวอย่างของ $X(\Omega)$ การแทนลักษณะนี้จะนำไปสู่ การแปลงฟูเรียร์เป็นช่วง (discrete Fourier transform (DFT))

4.3.1 การสุ่มตัวอย่างและการสร้างใหม่สัญญาณเวลาเป็นช่วงในโดเมนความถี่

เราคงจำได้ว่า สัญญาณไม่ซ้ำคาบพลังงานจำกัดจะมีสเปกตรัมที่ต่อเนื่อง สัญญาณดังกล่าวจะมีการแปลงฟูเรียร์

$$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\Omega n} \quad (4.3.1)$$

สมมติว่าเราสุ่มตัวอย่าง $X(\Omega)$ อย่างซ้ำคาบในความถี่ที่ความถี่ห่างกัน $\Delta\Omega$ เรเดียนระหว่างคู่ตัวอย่างที่ติดกัน เพราะว่า $X(\Omega)$ ซ้ำคาบโดยมีคาบ 2π ดังนั้นตัวอย่างในช่วงความถี่พื้นฐานเท่านั้นที่จำเป็น เพื่อความสะดวก เราเลือกตัวอย่างจำนวน N ที่ห่างเท่า ๆ กันในช่วง $0 \leq \Omega < 2\pi$ โดยห่างกัน $\Delta\Omega = 2\pi/N$ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การแปลงฟูเรียร์ของการสุ่มตัวอย่างในโดเมนความถี่

ถ้าเราหาค่าสมการ (4.3.1) ที่ $\Omega = 2\pi k/N$ จะได้

$$X\left[\frac{2\pi k}{N}\right] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j2\pi k n/N}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.2)$$

เราสามารถแบ่งผลบวกในสมการ (4.3.2) เป็นผลบวกย่อยจำนวนอนันต์ โดยแต่ละผลบวกย่อยประกอบด้วย N เทอม

$$\begin{aligned} X\left[\frac{2\pi k}{N}\right] &= \dots + \sum_{n=-N}^{-1} x(n) e^{-j2\pi k n/N} + \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi k n/N} \\ &\quad + \sum_{n=N}^{2N-1} x(n) e^{-j2\pi k n/N} + \dots \\ &= \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=lN}^{lN+N-1} x(n) e^{-j2\pi k n/N} \end{aligned}$$

ถ้าเราเปลี่ยนดัชนีในผลบวกภายในจาก n เป็น $n-lN$ และสลับที่อันดับของการบวกจะได้

$$X\left[\frac{2\pi k}{N}\right] = \sum_{l=0}^{N-1} \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n-lN) \right] e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (4.3.3)$$

สำหรับ $k = 0, 1, \dots, N-1$ ศึกษานุม

$$x_p(n) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} x(n-lN) \quad (4.3.4)$$

จะได้จาก $x(n)$ ที่ซ้ำคาบทุก ๆ N ตัวอย่าง ดังนั้น $x_p(n)$ จะซ้ำคาบโดยมีคาบพื้นฐาน N ผลที่ตามมาคือ เราสามารถใช้อนุกรมฟูเรียร์

$$x_p(n) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.5)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

$$c_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_p(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเปรียบเทียบ สมการ (4.3.3) กับ (4.3.6) เราสรุปได้ว่า

$$C_k = \frac{1}{N} X\left(\frac{2\pi}{N}k\right), \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.7)$$

ดังนั้น

$$x_p(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X\left(\frac{2\pi}{N}k\right) e^{j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.8)$$

ความสัมพันธ์ในสมการ (4.3.8) ทำให้สามารถสร้างใหม่ สัญญาณเข้าคาบ $x_p(n)$ จากตัวอย่างสเปกตรัม $X(\Omega)$ อย่างไรก็ตามนี้ไม่ได้หมายความว่า เราสามารถทำกลับ $X(\Omega)$ หรือ $x(n)$ จากตัวอย่างดังกล่าวเพื่อให้เห็นจริง เราจะต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง $x_p(n)$ และ $x(n)$

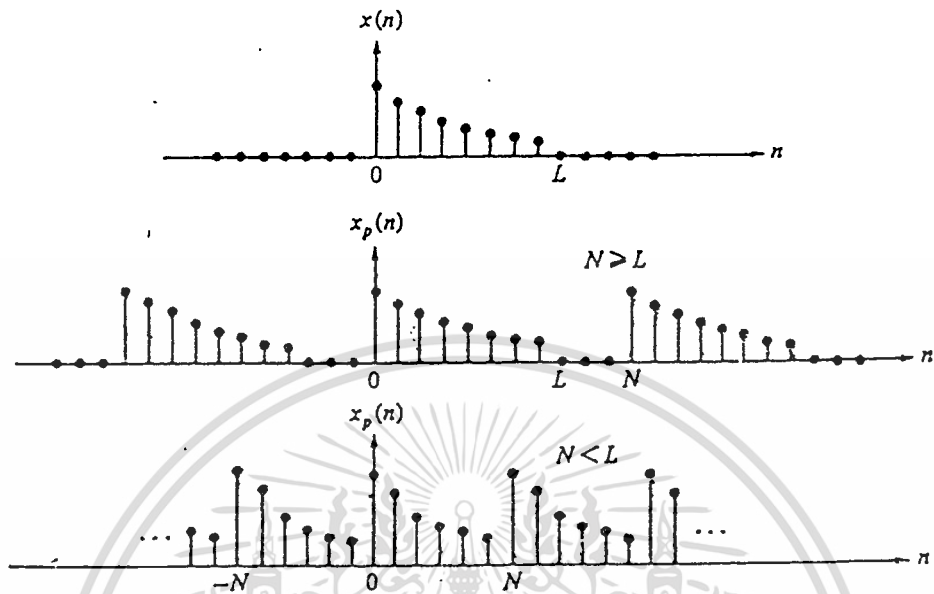
เพราะ $x_p(n)$ ก็คือ การขยาย $x(n)$ ในลักษณะเข้าคาบตามสมการ (4.3.3) จะเห็นว่าสามารถนำ $x(n)$ กลับมาจาก $x_p(n)$ ได้ ถ้าหากไม่มีการอะเลี่ยสในโดเมนเวลา นั่นคือถ้า $x(n)$ เป็นเวลาจำกัด (time-limited) ถึงน้อยกว่าคาบ N ของ $x_p(n)$ ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเราพิจารณาซีควนซ์ที่มีช่วงเวลาจำกัด $x(n)$ ซึ่งไม่เป็นศูนย์ในช่วง $0 \leq n \leq L-1$ จะสังเกตเห็นว่า เมื่อ $N \geq L$

$$x(n) = x_p(n) \quad 0 \leq n \leq N-1$$

ในกรณีนี้เราสามารถนำ $x(n)$ กลับมาจาก $x_p(n)$ ได้อย่างไม่กำกวม แต่ถ้า $N < L$ เราจะไม่สามารถนำ $x(n)$ กลับมา จากการขยายเข้าคาบของมัน เนื่องจากเกิดการอะเลี่ยสในโดเมนเวลา ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า สเปกตรัมของสัญญาณไม่เข้าคาบ และมีช่วงเวลาจำกัด L สามารถถูกนำกลับมาจากตัวอย่างของมันที่ความถี่ $\Omega_k = \frac{2\pi}{N}k$ ถ้า $N \geq L$ ขั้นตอนดำเนินการก็คือ ทำการคำนวณ $x_p(n)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$ จากสมการ (4.3.8) ดังนั้น

$$x(n) = \begin{cases} x_p(n), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \end{cases} \quad (4.3.9)$$

และสุดท้าย เราสามารถคำนวณ $X(\Omega)$ จากสมการ (4.3.1)



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณไม่จำกัด $x(n)$ ที่ยาว L และการขยายจนเป็นสัญญาณซ้ำคาบ

4.3.2 การแปลงฟูเรียร์เป็นช่วง (DFT)

ในหัวข้อที่ผ่านมาเราเกี่ยวข้องกับการสุ่มตัวอย่าง ในโดเมนความถี่ของสัญญาณไม่จำกัด พลังงานจำกัด $x(n)$ โดยทั่วไปตัวอย่างความถี่ที่ห่างเท่ากัน $X\left(\frac{2\pi}{N}k\right)$, $k = 0, 1, \dots, N-1$ จะสามารถแทนสัญญาณต้นกำเนิด $x(n)$ ได้มากมาย เมื่อ $x(n)$ มีช่วงเวลาไม่จำกัด เพราะตัวอย่างความถี่ $X\left(\frac{2\pi}{N}k\right)$ จะหมายถึงซีแควนซ์ซ้ำคาบ $x_p(n)$ ที่มีคาบ N เมื่อ $x_p(n)$ เป็นภาพของ $x(n)$ ที่ถูกอะเลียด ดังได้แสดงโดยความสัมพันธ์สมการ (4.3.4) นั่นคือ

$$x_p(n) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} x(n - lN) \quad (4.3.10)$$

เมื่อซีแควนซ์ $x(n)$ มีช่วงเวลาจำกัด คือ มีความยาว $L \leq N$ ดังนั้น $x_p(n)$ ก็คือ การซ้ำคาบของ $x(n)$ เมื่อ $x_p(n)$ ใน 1 คาบ กำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_p(n) = \begin{cases} x(n) & , 0 \leq n \leq L-1 \\ 0 & , L \leq n \leq N-1 \end{cases} \quad (4.3.11)$$

จุดที่สำคัญที่ต้องย้ำคือ การเติมศูนย์ (zero padding) ไม่ได้ทำให้เกิดสาระเกี่ยวกับสเปกตรัม X (Ω) ของซีแควนซ์ $\{x(n)\}$ เพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม การเติมศูนย์จำนวน $N-L$ แก่ซีแควนซ์ $\{x(n)\}$ และทำการคำนวณ N จุด DFT ของซีแควนซ์ $x(n)$ ว่าเป็นการหาค่าตัวอย่างความถี่ที่ห่างเท่า ๆ กัน N ของการแปลงฟูรีเยร์ $X(\Omega)$

$$X(k) = X\left(\frac{2\pi k}{N}\right) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.12)$$

และเรานิยาม N - จุด IDFT (inverse)

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j\frac{2\pi}{N}nk}, n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.13)$$

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT กับการแปลงอื่นๆ

ก) ความสัมพันธ์กับการแปลงฟูรีเยร์ของซีแควนซ์ไม่ซ้ำคาบ

เราได้แสดงให้เห็นแล้วว่า ถ้า $x(n)$ เป็นซีแควนซ์ไม่ซ้ำคาบพลังงานจำกัด ที่มีการแปลงฟูรีเยร์ $X(\Omega)$ ซึ่งถูกสุ่มที่ N ความถี่ที่เท่า ๆ กัน $\Omega_k = \frac{2\pi k}{N}$, $k = 0, 1, \dots, N-1$ องค์ประกอบสเปกตรัม

$$X(k) = X(\Omega) \Big|_{\Omega = \frac{2\pi k}{N}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3.14)$$

จะเป็นสัมประสิทธิ์ DFT ของซีแควนซ์ซ้ำคาบที่มีคาบ N กำหนดโดย

$$x_p(n) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} x(n - lN) \quad (4.3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหา $x_p(n)$ โดยการเฉลี่ยส $\{x(n)\}$ ในช่วง $0 \leq n \leq N-1$ ซีเควนซ์ช่วงเวลาจำกัด

$$\hat{x}(n) = \begin{cases} x_p(n) & , 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & \end{cases} \quad (4.3.16)$$

จะไม่เหมือนกับซีเควนซ์ต้นกำเนิด $\{x(n)\}$ นอกเสียจากว่า $x(n)$ มีช่วงเวลาจำกัด และมีความยาว $L \leq N$ ซึ่งถ้าเป็นอย่างนี้

$$\hat{x}(n) = x(n), 0 \leq n \leq N-1 \quad (4.3.17)$$

เพียงกรณีเท่านั้นที่ IDFT ของ $\{X(k)\}$ จะให้ซีเควนซ์ต้นกำเนิด $\{x(n)\}$

ข) ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อนุกรมฟูเรียร์ของสัญญาณเวลาต่อเนื่อง สมมติว่า เรามี $x_u(t)$ เป็นสัญญาณเวลาต่อเนื่องซ้ำตาม โดยมีคาบพื้นฐาน

$T_p = \frac{1}{f_0}$ เราสามารถแสดงสัญญาณนี้ในรูปอนุกรมฟูเรียร์

$$x_u(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{j2\pi k f_0 t} \quad (4.3.18)$$

เมื่อ $\{c_k\}$ เป็นสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ถ้าเราสุ่มตัวอย่าง $x_u(t)$ ด้วยอัตราสม่ำเสมอ

$f_s = \frac{N}{T_p} = \frac{1}{T}$ จะได้ซีเควนซ์เวลาเป็นช่วง

$$\begin{aligned} x(n) \equiv x_u(nT) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{j2\pi k f_0 n T} \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} \left[\sum_{l=-\infty}^{\infty} c_{k-IN} \right] e^{j\frac{2\pi}{N} nk} \end{aligned} \quad (4.3.19)$$

จะเห็นได้ชัดว่าสมการ (4.3.19) อยู่ในรูป IDFT เมื่อ

$$X(k) = N \sum_{l=-\infty}^{\infty} c_{k-IN} = N c_k \quad (4.3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$C_k = \sum_{l=-\infty}^{\infty} C_{k-lN}$$

เมื่อซีแควนซ์ $\{C_k\}$ เป็นซีแควนซ์ $\{c_k\}$ ที่อะเลียส

4.3.4 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณโดยใช้ DFT

ในการคำนวณสเปกตรัมของสัญญาณเวลาต่อเนื่อง หรือ เวลาเป็นช่วงเราต้องการค่าของสัญญาณที่ทุกเวลา อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราสามารถสังเกตสัญญาณได้เพียงช่วงเวลาจำกัด ผลที่ตามมา คือ เราเพียงได้แต่ค่าประมาณของสเปกตรัมจากข้อมูลการบันทึกที่จำกัด

ถ้าสัญญาณที่เราต้องการวิเคราะห์ เป็นสัญญาณแอนะล็อก เริ่มแรกจะต้อง ป้อนสัญญาณผ่านวงจรกรอง antialiasing จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างด้วยอัตรา $f_s > 2B$ เมื่อ B เป็นแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ถูกกรอง ดังนั้นความถี่สูงสุดที่บรรจุในสัญญาณที่ถูกสุ่ม คือ $\frac{f_s}{2}$ สุดท้าย ด้วยวัตถุประสงค์ในทางปฏิบัติ เราจะจำกัดช่วงเวลาของสัญญาณอยู่ในช่วง $T_0 = LT$ เมื่อ L เป็นจำนวนตัวอย่าง และ T เป็นช่วงเวลาการสุ่ม เราจะได้พบเห็นว่าการที่เราเอาสัญญาณมาพิจารณาเพียงช่วงเวลาจำกัด ก่อให้เกิดข้อจำกัดต่อการแยกขีดของความถี่ (frequency resolution) นั่นคือ มันจะจำกัดความสามารถในการแยกขีดสององค์ประกอบความถี่ที่แยกกัน โดยความถี่น้อยกว่า $\frac{1}{T_0} = \frac{1}{LT}$ ให้ $\{x(n)\}$ แสดงซีแควนซ์ที่ต้องการวิเคราะห์ การจำกัดช่วงเวลาของซีแควนซ์เพียง L ตัวอย่างในช่วงเวลา $0 \leq n \leq L - 1$ จะสมมูลกับการคูณ $\{x(n)\}$ ด้วย หน้าต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular window) $w(n)$ ที่มีความยาว L นั่นคือ

$$\hat{x}(n) = x(n)w(n) \quad (4.3.21)$$

เมื่อ

$$w(n) = \begin{cases} 1 & , 0 \leq n \leq L - 1 \\ 0 & , \end{cases} \quad (4.3.22)$$

ขณะนี้สมมติว่า ซีแควนซ์ $x(n)$ ประกอบด้วยรูปไซน์ความถี่เดียว

$$x(n) = \cos \Omega_0 n \quad (4.3.23)$$

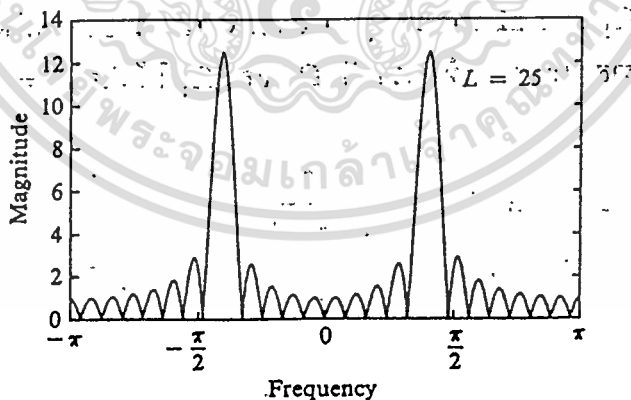
ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์ของซีแควนซ์เวลาจำกัด $\{x(n)\}$ สามารถแสดงโดย

$$\hat{X}(\Omega) = \frac{1}{2} [W(\Omega - \Omega_0) + W(\Omega + \Omega_0)] \quad (4.3.24)$$

เมื่อ $W(\Omega)$ เป็นการแปลงฟูเรียร์ของซีแควนซ์หน้าต่าง ซึ่งเป็น

$$W(\Omega) = \frac{\sin\left(\frac{\Omega L}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Omega}{2}\right)} e^{-j\Omega\left(\frac{L-1}{2}\right)} \quad (4.3.25)$$

ในการคำนวณ $\hat{X}(\Omega)$ เราใช้ DFT โดยเติมศูนย์เข้ากับ $\hat{x}(n)$ จำนวน $N - L$ เราสามารถคำนวณ N -จุด DFT ของซีแควนซ์ $\{\hat{x}(n)\}$ ที่ถูกตัดเพียง L จุด รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมขนาด เมื่อ $L = 25$ และ $N = 2048$ จะเห็นว่าสเปกตรัมที่ถูกใส่หน้าต่าง $\hat{X}(\Omega)$ จะไม่อยู่เฉพาะที่ที่ความถี่เดียว แต่จะกระจายเนื่องจากตัวหน้าต่างไปตลอดพิสัยความถี่ ดังนั้นกำลังของซีแควนซ์ต้นกำเนิด $\{x(n)\}$ ซึ่งรวมอยู่ที่ความถี่เดียวได้กระจายโดยหน้าต่างไปสู่ตลอดพิสัยความถี่ เรามักเรียกว่ากำลังของมันรั่วออก (leaked out) เข้าสู่ตลอดพิสัยความถี่ ปรากฏการณ์นี้จะเรียกว่า การรั่วซึม (leakage)



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมขนาดซึ่งแสดงถึงการเกิดการรั่ว

การใส่หน้าต่างไม่แต่เพียงทำให้การประมาณสเปกตรัมผิดเพี้ยน เนื่องจากผลการรั่วซึ่มมันยังคงลดการแยกชัดสเปกตรัม (spectral resolution) ด้วย เพื่อแสดงถึงปัญหานี้ ลองพิจารณาซีแควนซ์ที่ประกอบด้วย 2 องค์กรประกอบความถี่

$$x(n) = \cos\Omega_1 n + \cos\Omega_2 n \quad (4.3.26)$$

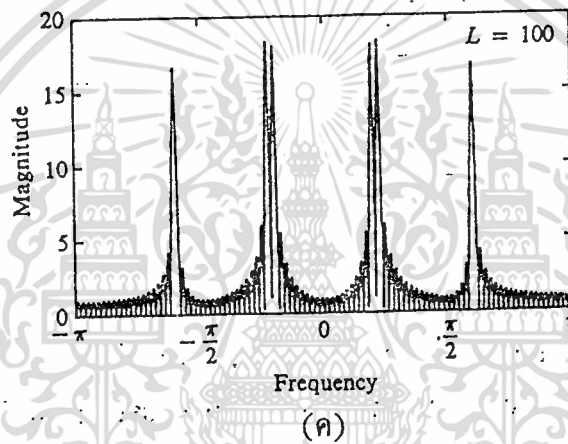
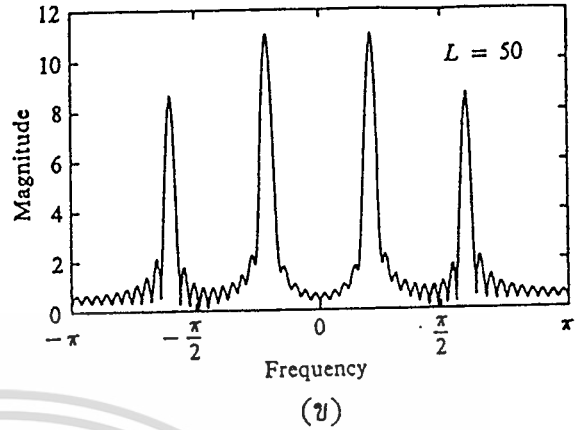
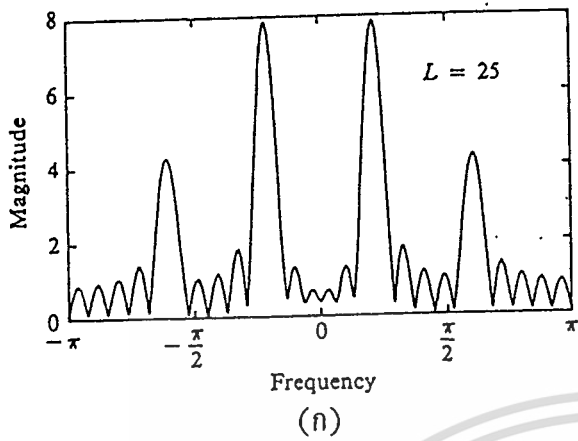
เมื่อตัดซีแควนซ์ L ตัวอย่างในพิสัย $0 \leq n \leq L-1$ สเปกตรัมหลังจากการใส่หน้าต่างคือ

$$\hat{X}(\Omega) = \frac{1}{2} [W(\Omega - \Omega_1) + W(\Omega - \Omega_2) + W(\Omega + \Omega_1) + W(\Omega + \Omega_2)] \quad (4.3.27)$$

สเปกตรัม (Ω) ของซีแควนซ์หน้าต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะมีจุดข้ามศูนย์ (zero crossing) แรกที่ $\Omega = \frac{2\pi}{L}$ ขณะที่ถ้า $|\Omega_1 - \Omega_2| < \frac{2\pi}{L}$ สองฟังก์ชันหน้าต่าง $(\Omega - \Omega_1)$ และ $(\Omega - \Omega_2)$ จะเหลื่อมกัน ผลที่ตามมาคือ สองเส้นสเปกตรัมใน $x(n)$ จะไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ถ้า $(\Omega_1 - \Omega_2) \geq \frac{2\pi}{L}$ เราจะเห็น 2 ยอด (lobe) แยกจากกันในสเปกตรัม $\hat{X}(\Omega)$ ดังนั้นความสามารถในการแยกชัดเส้นสเปกตรัมของความถี่ที่แตกต่างกันจะถูกจำกัดโดยความกว้างของยอดสูงสุดของหน้าต่างรูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมขนาด $|\hat{X}(\Omega)|$ ที่คำนวณโดยใช้ DFT สำหรับซีแควนซ์

$$x(n) = \cos\Omega_0 n + \cos\Omega_1 n + \cos\Omega_2 n \quad (4.3.28)$$

เมื่อ $\Omega_0 = 0.2\pi, \Omega_1 = 0.22\pi$ และ $\Omega_2 = 0.6\pi$ ความยาวของหน้าต่างที่เลือกคือ $L = 25, 5$ และ 100 จะเห็นว่าเราสามารถแยกเห็นความถี่ Ω_0 และ Ω_1 ได้เมื่อ $L = 100$ เพียงกรณีเดียว



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมขนาดสัญญาณจาก (4.3.28) เมื่อมองผ่านหน้าต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การออกแบบโดยใช้อนุกรมฟูรีเยอร์

4.4.1 การใช้ออนุกรมฟูรีเยอร์จำนวนพจน์คงตัว

ตัวกรองไม่ป้อนกลับนี้สามารถเขียนได้ตามสมการทั่วไป (4.4.1) ซึ่งจะเห็นว่าความยาวของตัวกรองจำกัด หรือ ซีพรีอิสเตอร์ มีจำนวนจำกัด ถ้าให้ $x(n)$ เป็นลำดับสัญญาณเข้าและให้ $y(n)$ เป็นลำดับสัญญาณออก เพราะฉะนั้นเขียนสมการผลต่างสืบเนื่องได้

$$y(n) = \sum_{k=-1}^{+M} c_k \cdot x(n-k) \quad (4.4.1)$$

$$= c_0 x(n) + \sum_{k=1}^M \{c_{-k} \cdot x(n+k) + c_k \cdot x(n-k)\}$$

โดยการเขียนเรขาคณิตให้ $T=1$ และประยุกต์ใช้การแปลง - แซด เพื่อเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้

$$H(Z) = c_0 + \sum_{k=1}^M \{c_{-k} Z^k + c_k \cdot Z^{-k}\} = \sum_{k=-M}^M \{c_k Z^{-k}\}$$

หรือ

$$H(w) = c_0 + \sum_{k=1}^M \{c_{-k} e^{j\omega k} + c_k e^{-j\omega k}\} = \sum_{k=-M}^M \{c_k e^{-j\omega k}\}$$

ถ้าพิจารณากรณีตัวกรองแบบสมมาตรคู่ หรือ $c_k = c_{-k}$

$$H(w) = c_0 + \sum_{k=1}^M c_k (e^{j\omega k} + e^{-j\omega k}) \quad (4.4.2a)$$

$$= c_0 + \sum_{k=1}^M 2c_k \left\{ \frac{e^{j\omega k} + e^{-j\omega k}}{2} \right\} \quad (4.4.2b)$$

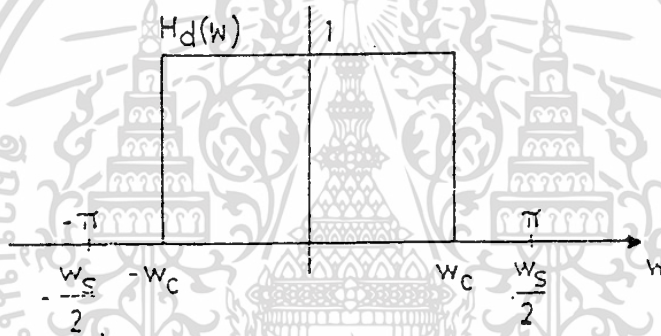
$$H(w) = a_0 + \sum_{k=1}^M a_k \cos \omega k$$

โดยที่กำหนดให้ $a_0 = c_0$ และ $a_k = 2c_k$ และ $k = \Phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากสมการ (4.4.2b) เห็นได้ชัดว่า ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขคณิตสมมาตรคู่ นั้นสามารถเขียนอธิบายได้โดยใช้ อนุกรมฟูรีเยอร์ ที่ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์เฉพาะพจน์โคไซน์ เท่านั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยอร์ α_k ตาม สมการ (4.4.2b) ก็จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์สมมาตรคู่ สามารถ เขียนแทนด้วย อนุกรมฟูรีเยอร์ ที่มีเฉพาะพจน์ ไซน์เท่านั้น และค่าสัมประสิทธิ์ จะเป็นค่าจินตภาพ (imaginary) เสมอ

ที่นี้มาดูหลักการออกแบบโดยวิธีนี้ โดยปกติแล้วการออกแบบตัวกรองสัญญาณนั้นกระทำโดยการทำการประมาณการให้ตัวกรองที่ออกแบบมีผลตอบสนองความถี่ที่ได้ใกล้เคียงกับ ผลตอบสนองอุดมคติรูปที่ 4.10 ให้มากที่สุด โดยตามรูป w_c เป็นค่าความถี่ตัด (cut off frequency) จากผลตอบสนองความถี่อุดมคติ $H_d(w)$ สามารถกระจายให้อยู่ในพจน์ของโดเมนเวลาโดยการประยุกต์ใช้การแปลงฟูรีเยอร์ได้



รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองแอมพลิจูดอุดมคติ

$$H_d(w) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_d(n) e^{-jn\omega} \quad (4.4.3)$$

โดยที่ ในกรณีนี้ ผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_d(n)$ หาได้จาก

$$h_d(n) = 1/2\pi \int_{-w_c/2}^{w_c/2} H_d(w) e^{jn\omega} dw \quad (4.4.4)$$

แต่จากสมการ (4.4.2a) ผลตอบสนองความถี่ ของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขเป็น

$$H(w) = \sum_{k=-M}^M c_k e^{-jk\omega T} \quad (4.4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

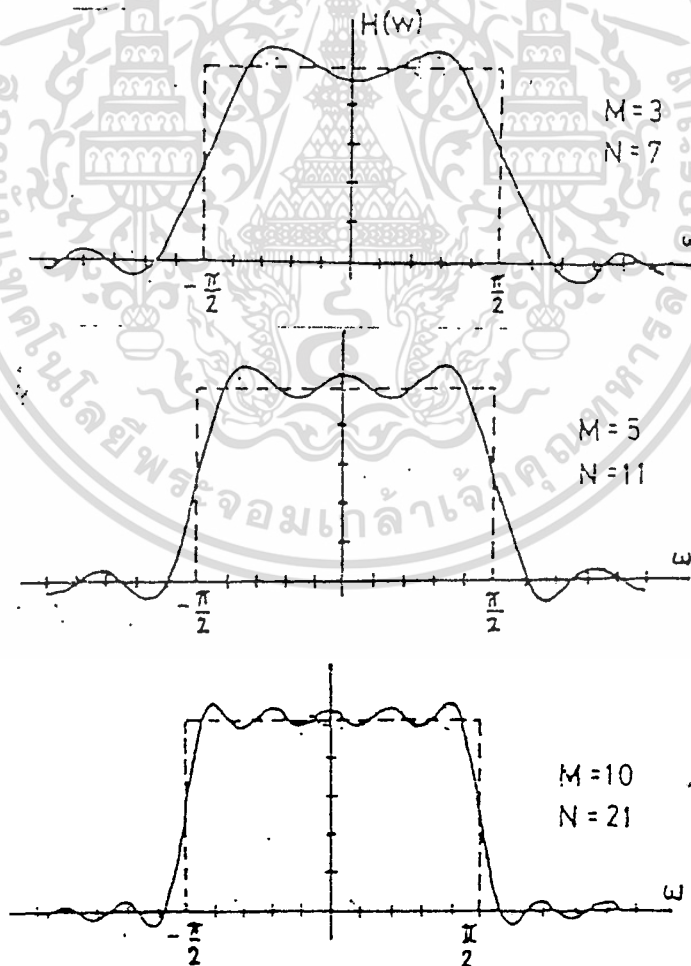
เมื่อเปรียบเทียบสมการ (4.4.3) และ (4.4.5) เห็นได้ว่า ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองจะใกล้เคียงผลตอบสนองอุดมคติก็ต่อเมื่อ $M = \infty$ แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก จึงมีการ ตัดปลาย (truncate) อนุกรมฟูรีเยอร์ให้เหลือเท่าที่จำเป็น และจัดให้

$$c_k = h_d(k) \quad (4.4.6)$$

โดยที่ $k = -M, \dots, 0, \dots, M$ ส่วนความยาวของตัวกรอง $N = (2M + 1)$ ซึ่ง $M = \frac{(n-1)}{2}$

รูปที่ 4.11 (a) - (c) ได้แสดงผลตอบสนองแอมพลิจูดเมื่อเปรียบเทียบกรณี $M = 3.5$ และ 10 ตามลำดับ จากทั้ง 3 ผลตอบสนองแอมพลิจูดสังเกตเห็นว่า ถ้า M หรือ N มีค่ามากมีผลทำให้

- 1) ผลตอบสนองแอมพลิจูดใกล้เคียงผลตอบสนองอุดมคติมากขึ้น
- 2) จำนวนลูกคลื่น (ripple) มากขึ้น โดยที่คาบของลูกคลื่นลดลง
- 3) ผลตอบสนองแอมพลิจูดมีความคมมากขึ้น หรือ บริเวณความถี่ที่ผลตอบสนองเปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปเป็นค่าใกล้เคียงศูนย์ หรือ เรียกว่า แถบสถานะ (transition Band) แคบลง



รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองแอมพลิจูดสำหรับตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ที่บริเวณใกล้จุดเปลี่ยนจากแอมพลิจูดหนึ่งเป็นศูนย์เกิดมีลูกคลื่นมีชื่อเรียกว่า ปรากฏการณ์กิบส์ (Gibb's phenomena) ผลนี้เนื่องมาจาก การที่ผลตอบสนองอุดมคติถูกแทนด้วย อนุกรมฟูรีเยอร์จำนวนจำกัดซึ่งหมายถึงถูกแทนด้วยเซตของฟังก์ชัน ความถี่ของการแกว่ง (oscillation frequency) จำนวนจำกัดด้วย ซึ่งจำนวนนี้ไม่เพียงพอที่ผลรวมจะแทนเส้นตรงได้ส่วนการที่ผลตอบสนองไม่เปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปศูนย์ทันทีทันใด เกิดแถบเปลี่ยนค่าขึ้น ก็เพราะผลตอบสนองความถี่อนันต์ ถูกเขียนแทนด้วยเซตสัญญาณความถี่จำนวนจำกัดหรือ

$$H(w) = \sum_{k=-M}^M c_k (\cos kw - j \sin kw) \quad (4.4.7)$$

ซึ่ง $H(w)$ ประกอบขึ้นจากสัญญาณชายน์ และโคชายน์จำนวนจำกัดมารวมกัน ความถี่สูงสุดของสัญญาณจะเป็น $M.w$ ดังนั้นสัญญาณในโดเมนเวลา ช่วงเวลา T_r ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สัญญาณจะเปลี่ยนได้เร็วที่สุดเป็น

$$T_r = 1 / (M.w) \quad (4.4.8)$$

ซึ่งเห็นได้ว่าถ้า M มากขึ้น ช่วงเปลี่ยนค่าก็จะแคบลง

โดยทั่วไปในการออกแบบตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขเราต้องการ (ก) ลดจำนวนลูกคลื่นให้น้อยที่สุด และ (ข) ให้มีช่วงแถบเปลี่ยนค่าแคบ ซึ่งทั้งสองข้อนี้ไม่สามารถทำได้พร้อมกันคือ ถ้าลดจำนวนลูกคลื่น แถบเปลี่ยนค่ากว้างขึ้น ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งการลดผลทั้ง 2 ข้อนี้จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป สำหรับการออกแบบตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขโดยวิธีเขียนอนุกรมฟูรีเยอร์ อาจสรุปเป็นขั้นตอนได้คือ

- 1) กำหนดผลตอบสนองอุดมคติที่ต้องการโดยกำหนดความถี่ตัด
- 2) ทำการอินทิเกรตผลตอบสนองอุดมคติเพื่อหา ลำดับผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_d(k)$
- 3) เลือกให้สัมประสิทธิ์ $c_k = h_d(k)$

4.4.2 การลดลูกคลื่นโดยใช้ซิกมาแฟกเตอร์

เพื่อที่จะลด ขนาดของลูกคลื่นบนผลตอบสนองความถี่ ของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข เราจำเป็นต้องดัดแปลงสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยอร์ที่ถูกตัดปลายเสียใหม่ หรือ เรียกว่าทำการ ถ่วงน้ำหนัก (weighted) วิธีการลดลูกคลื่นวิธีหนึ่งทำได้โดยการหาค่าประมาณ หรือค่าเฉลี่ยของลูกคลื่นที่เกิดขึ้นถึง M ฮาร์โมนิกส์ (harmonic) ซึ่งก็เท่ากับเป็นการหาค่า

$$\bar{A}(w) = (M/2\pi) \int_{w-\pi/M}^{w+\pi/M} H(w) dw \quad (4.4.9)$$

โดยที่ $H(w)$ เป็นผลตอบสนองความถี่ตามสมการ(4.4.2b) ดังนั้น

$$\begin{aligned} A(w) &= (M/2\pi) \left[a_0 \right]_{w-\pi/M}^{w+\pi/M} + (M/2\pi) \sum_{k=1}^M [a_k \sin wk / k]_{w-\pi/M}^{w+\pi/M} \\ &= a_0 + (M/2\pi) \sum_{k=1}^M (a_k / k) \{ \sin[(w+\pi/M)k] - \sin[(w-\pi/M)k] \} \\ &= a_0 + \sum_{k=1}^M \{ [\sin(\pi k / M)] / (\pi k / M) \} a_k \cos wk \\ &= a_0 + \sum_{k=1}^M \sigma(M, k) a_k \cos wk \end{aligned} \quad (4.4.10)$$

ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้จากการเฉลี่ยค่าได้นี้ ก็คือ อนุกรมฟูรีเยอร์ที่เทอมโดไซน์ถูกคูณด้วย ซิกมาแฟกเตอร์ (sigma factor) (M, k) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองสัญญาณกลายเป็น

$$c_0 = a_0 \quad (4.4.11)$$

$$c_k = (1/2) \sigma(N, k) a_k \quad (4.4.12)$$

โดยที่ c_k และ c_0 เป็นอนุกรมฟูรีเยอร์ ข้อสังเกตเทอม $(N, N) = (\sin \pi) / \pi = 0$ เพราะฉะนั้นเทอมที่ N จะมีค่าเป็นศูนย์ ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขตามสมการ (11) จึงมีเทอมสัมประสิทธิ์ $2(M-1) + 1 = 2M-1$ เทอม หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือ ต้องใช้ $(2M-1)$ ตัว วิธีการลดลูกคลื่นที่ได้กล่าวมานี้ เป็นวิธีการลดลูกคลื่นโดยใช้ วินโดว์ (window) แบบหนึ่ง โดยวินโดว์นี้มีชื่อเรียกว่า Lanczos windowing [2]

ตัวอย่าง 4.1 ถ้าให้

$$H(f) = 1 \quad ; \quad 0 < |f| < 0.2$$

$$= 0 \quad ; \quad 0.2 < |f| < 0.5$$

ฟังก์ชันถ่ายโอน $H(f)$ นี้ถ้าวิเคราะห์ดูแล้วจะเป็นแบบสมมาตรคู่หรือ $a_k = a_{-k}$

$$\begin{aligned} a_k &= (1/2\pi) \int_{-\pi}^{\pi} H(w) e^{jnw} dw \\ &= (2/2\pi) \int_0^{\pi} H(w) (\{e^{-jnk} + e^{jnk}\} / 2) dw \\ &= (2/\pi) \int_0^{\pi} H(w) \cos kw \cdot dkw \\ &= 4 \int_0^{0.2} H(f) \cos 2\pi kf \cdot df \\ &= (2/\pi k) \sin(0.4\pi k) \end{aligned}$$

$$H(f) = 0.4 + 2 \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \{ \sin(0.4\pi k) / \pi k \} \cos 2\pi kf \right\}$$

ถ้าเราตัดปลายเหลือแค่ 5 พจน์ และ คำนวณ (S, k) จะได้

$$(S, k) = \sin(\pi k / 5) / \{ \pi k / 5 \}$$

เพราะฉะนั้น

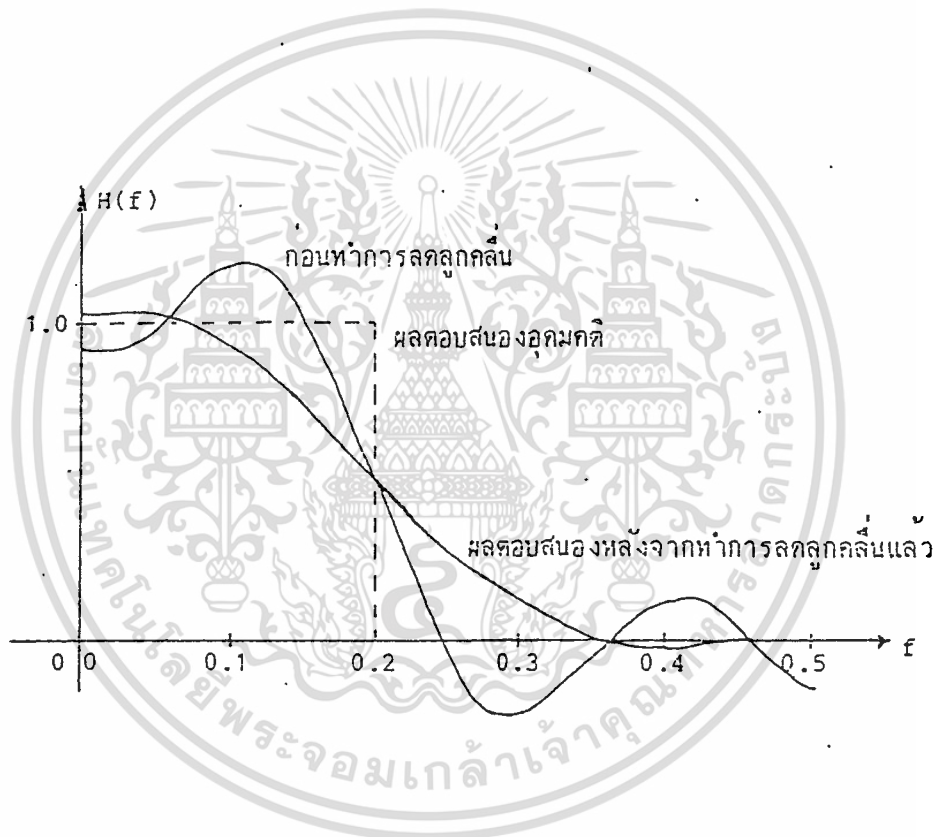
$$\begin{aligned} C_k &= (1/2) \{ 2 \sin(\pi k / 5) / (\pi k / 5) \} \cdot \{ (\sin(0.4\pi k) / \pi k) \} \\ &= \{ \sin(\pi k / 5) / (\pi k / 5) \} \cdot \{ \sin(0.4\pi k) / \pi k \} \end{aligned}$$

ตาราง 4.1 สัมประสิทธิ์ของตัวกรองจากตัวอย่าง 4.1

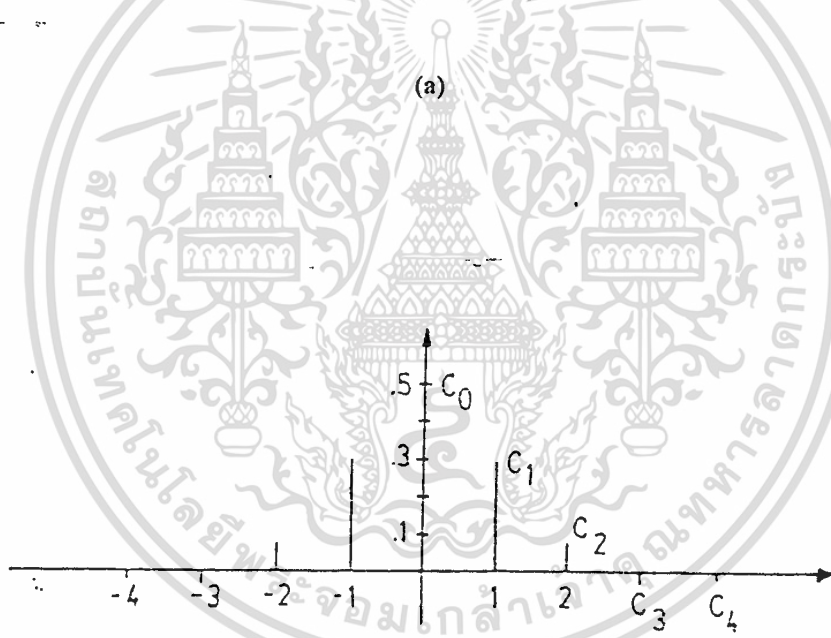
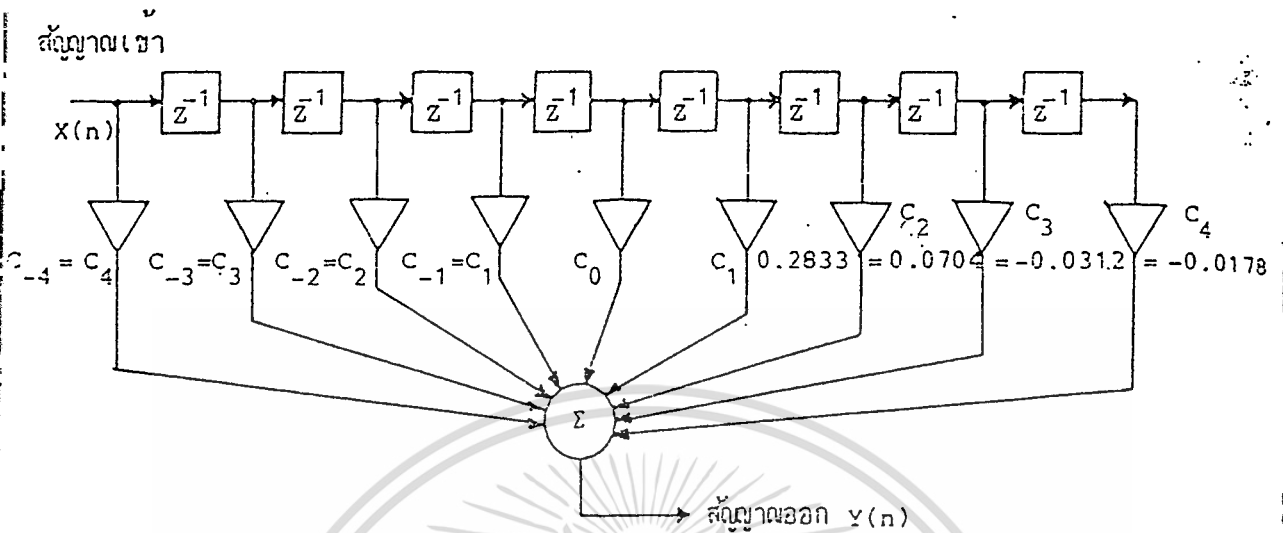
k	$\sin(\pi k/5)$	$\sin(0.4\pi k) / (\pi k)$	C_k
0	-	-	0.5
1	0.935	0.303	0.2833
2	0.757	0.093	0.0704
3	0.504	-0.062	-0.0312
4	0.234	-0.076	-0.0178

ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองเชิงเลขที่ได้อีก ก่อนที่จะทำการลดลูกคลื่น และหลังจากที่ได้ทำการลดลูกคลื่นแล้วได้แสดงไว้ในรูป 4.12 ส่วนแผนภาพของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขที่ให้ผลตอบสนองเฟสเชิงเส้น และผลตอบสนองอิมพัลส์ได้แสดงไว้ในรูป 4.12

ข้อสังเกต จะเห็นว่าลูกคลื่นน้อยลงเมื่อมีการถ่วงน้ำหนัก อนุกรมฟูรีเยอร์ที่ถูกตัดปลาย แต่อย่างไรก็ตามช่วงความถี่ที่ตอบสนองแอมพลิจูดเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 มากขึ้น หรือ แลบบเปลี่ยนค่ากว้างมากขึ้น ลำดับขั้นตอนในการออกแบบนี้สรุปได้ดังรูป 4.13



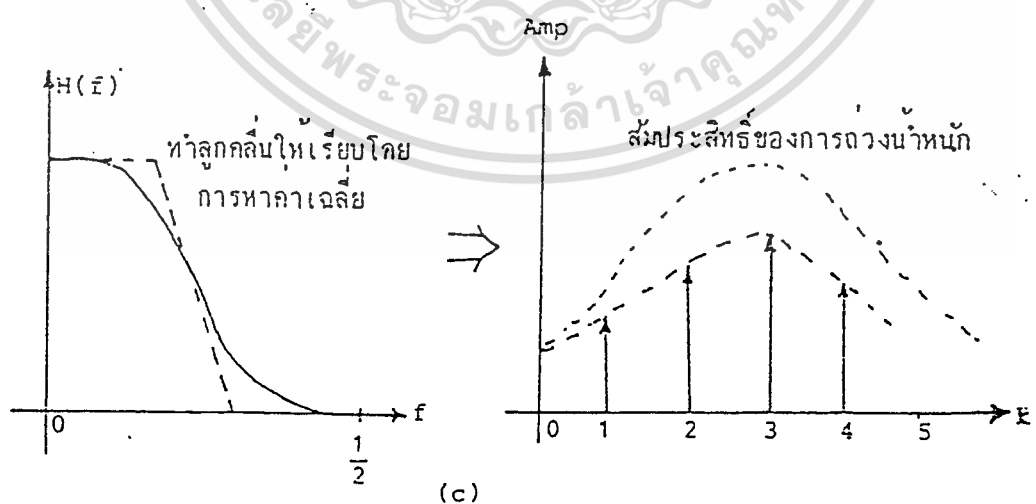
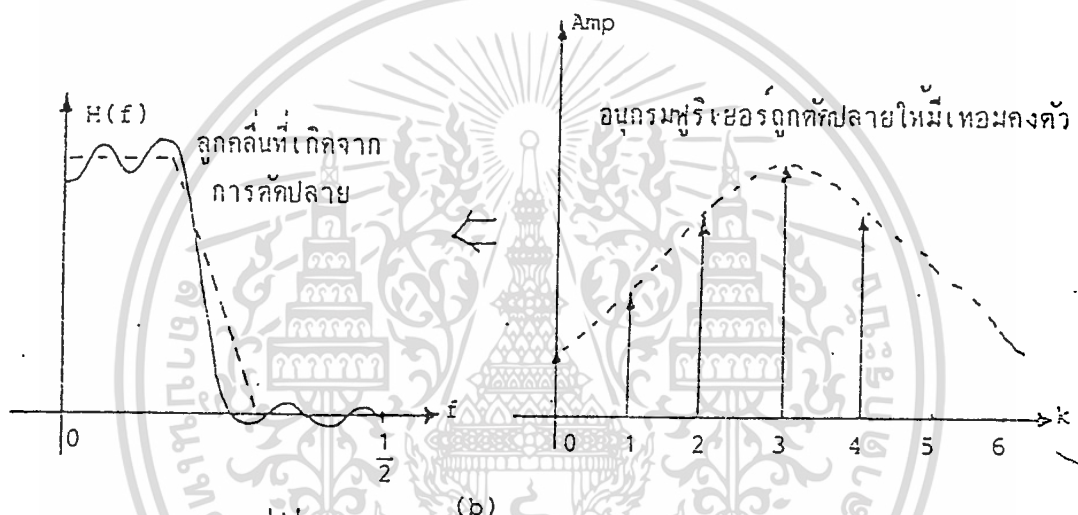
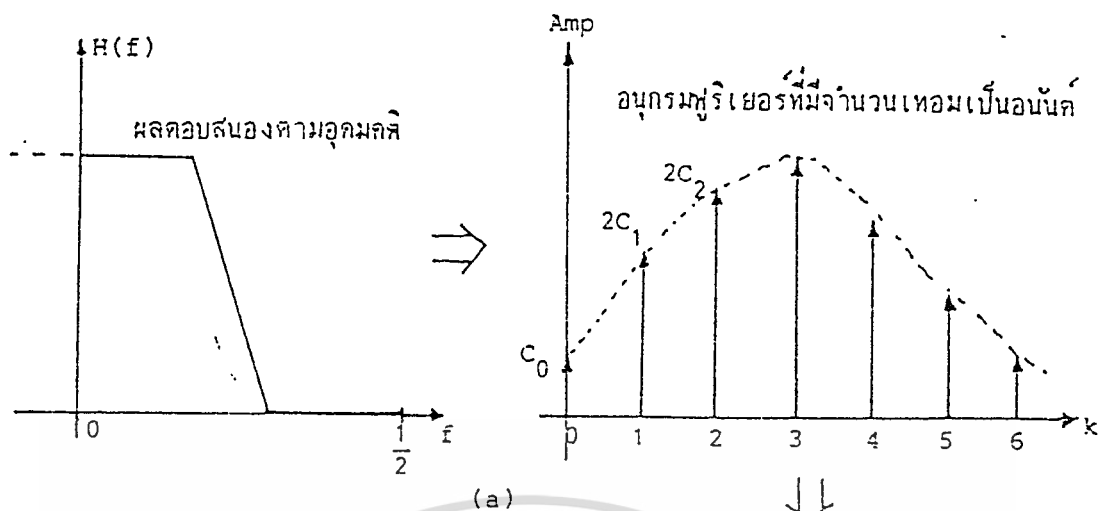
รูป 4.12 ผลตอบสนองความถี่ เมื่อพอน์โคไซน์ ของอนุกรมฟูรีเยอร์ ถูกถ่วงน้ำหนักด้วย จิกมาแพคเตอร์



(b)

รูป 4.13 (a) แผนภาพของ ตัวกรองเชิงเลขผลตอบสนองเฟสเชิงเส้นตามตัวอย่าง 2 และ (b) ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรอง (a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.14 ผลของการแทน ผลตอบสนองอุดมคติ ด้วยอนุกรมฟูรีเยอร์ จำนวนพจน์คงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและการประมวลผลการทดลอง

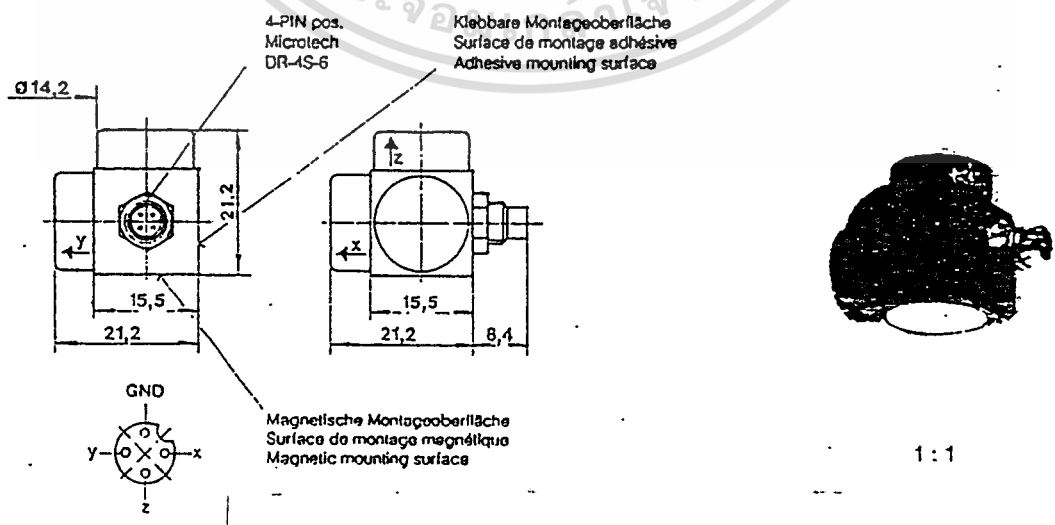
5.1 วัตถุประสงค์

1. ต้องการทราบค่าระดับความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อนำมาวิเคราะห์
2. ต้องการนำค่าความสั่นสะเทือนมาวิเคราะห์ประมวลผลในรูปของสเปกตรัมความถี่
3. ต้องการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เป็นมาตรฐาน (ของดีที่ได้รับการยอมรับ)
4. ต้องการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวันเวลาที่ใช้งานไปว่าเครื่องบำรุงมากน้อยเพียงไร
5. สามารถแสดงให้เห็นว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแต่ละแกนไม่เท่ากัน ภายใต้การวัดที่จุดเดียวกัน
6. เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่จุดเดียวกันในเวลาต่างกันมากภายใต้การทำงานปกติและมีโหลดที่ค่าหนึ่ง ๆ ค่าระดับการสั่นสะเทือน
7. สามารถสรุปได้ว่าระดับความสั่นสะเทือนที่วัดได้นั้นขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของเครื่องจักร และลักษณะการใช้งานของเครื่องจักร

5.2 อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง

(1) ด้าน Hard ware

(1.1) หัวเซนเซอร์ Piezo Beam Triaxial Zccelerometer ดังรูป 5.1

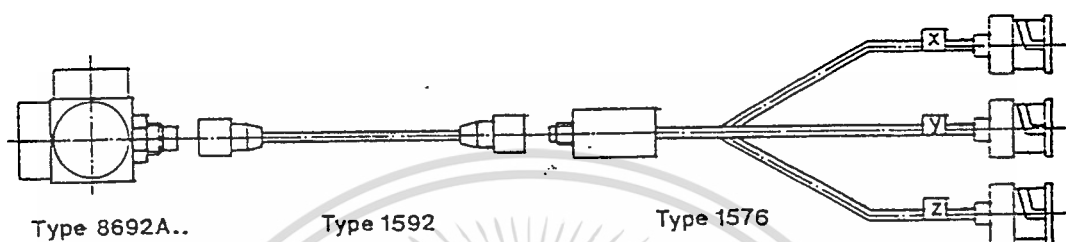


รูปที่ 5.1 หัวเซนเซอร์ Piezo BEAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

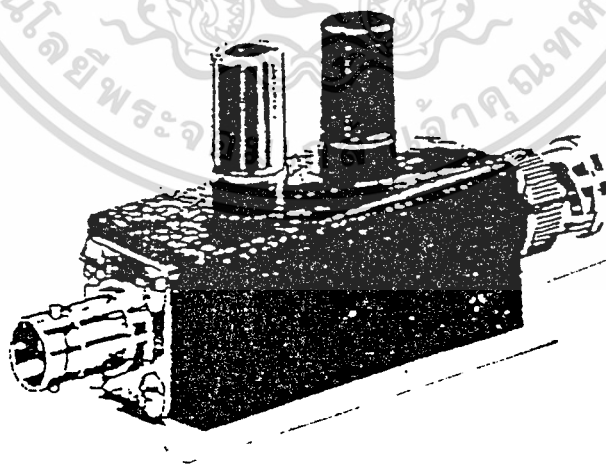
(1.2) สายเคเบิล ใช้หัวต่อแบบ rltro - miniature ซึ่งมี 4 pin ชนิด 1592 A (มีความยาว 2 เมตร)

ดังรูป 5.2



รูปที่ 5.2 สายเคเบิล

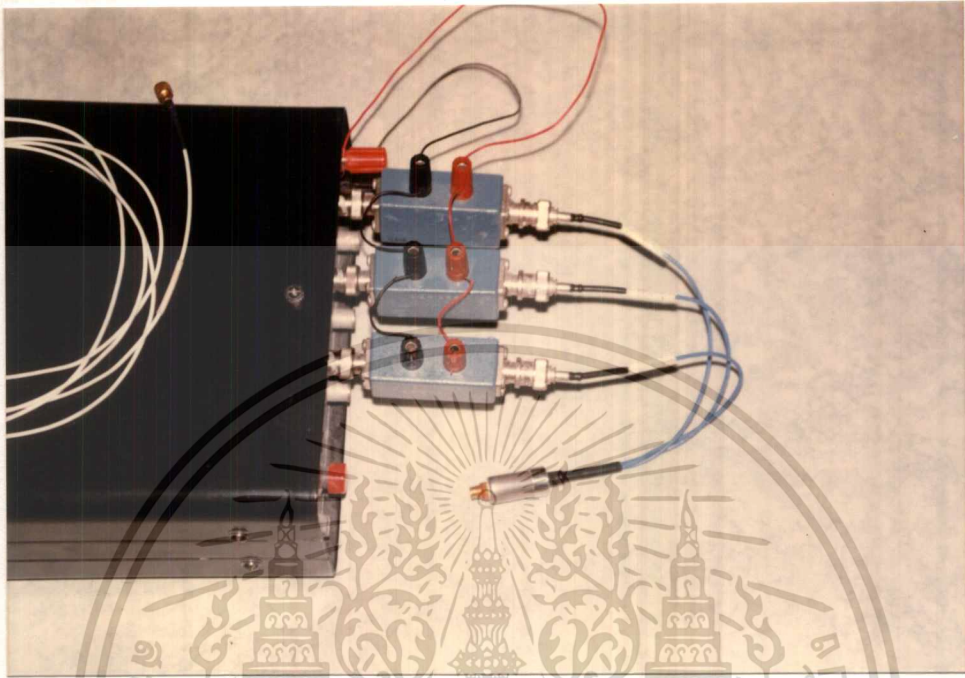
(1.3) Piezo Tron Coupler ดังรูป 5.3



รูปที่ 5.3 Piezo Tron Coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.4) ตัวจ่ายรุ่น 1576 ซึ่งมีหัวต่อแบบ BNC 3 หัว ดังรูป 5.4



รูปที่ 5.4 ตัวจ่ายรุ่น 1576

(1.5) ชุดประมวลผลซึ่งประกอบสำเร็จรูปดังรูป 5.5



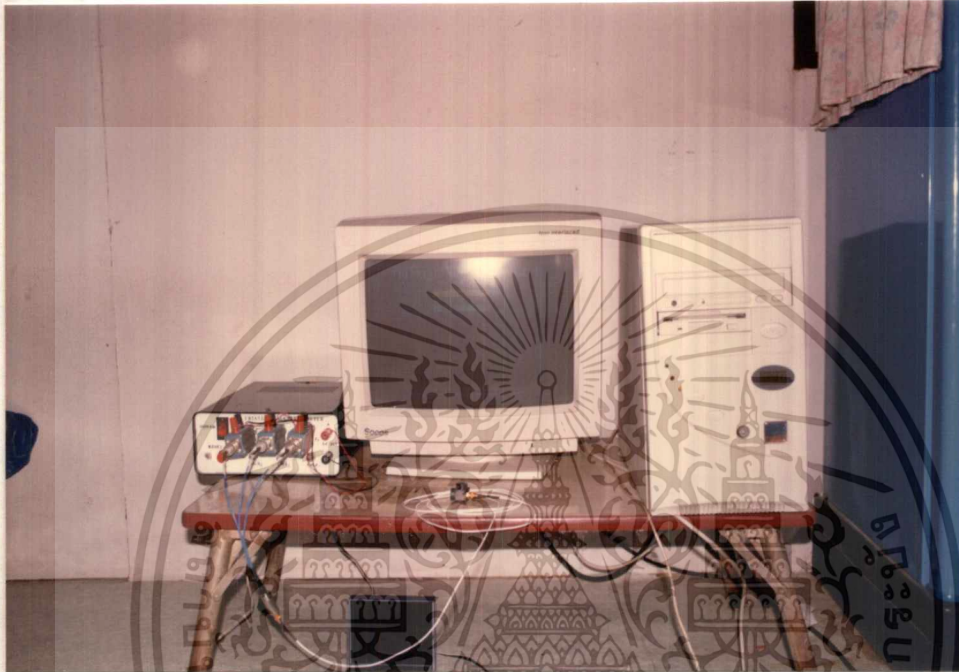
รูปที่ 5.5 ชุดประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ด้าน Soft Ware

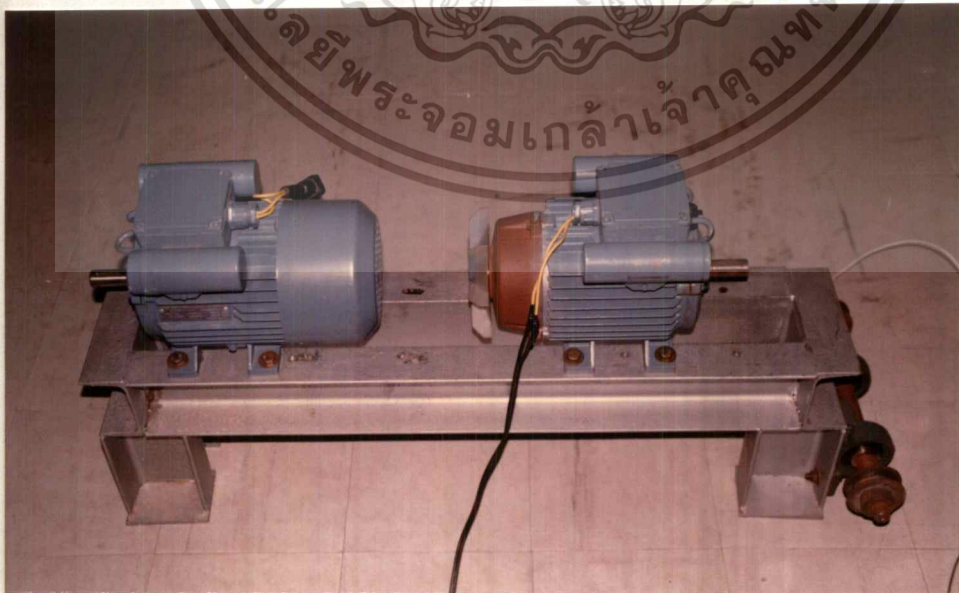
(2.1) เครื่องคอมพิวเตอร์

(2.2) แผ่นโปรแกรม



รูป 5.6 การประกอบอุปกรณ์เครื่องวัดการสั่นสะเทือน

(3) อุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ (มอเตอร์อาคารต่าง ๆ) ดังรูป 5.7



รูป 5.7 อุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ (มอเตอร์อาคารต่าง ๆ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลต่างๆ ของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

เป็นมอเตอร์ยี่ห้อ ACE (ACE MOTOR) ขนาด

1500 r.p.m.

Power		Type	At rated load			Starting Characteristics		Working capacitor		Weight
			Rated rotation speed	Current at 220 V	Efficiency	M_s M_r	M_{max} M_r	μF	V	
kw	HP	-	r.p.m	A	%	-	-	μF	V	kg
0.78	1.1	AG80C/4S	1430	5.7	71	0.72	2.0	35	400	12.5

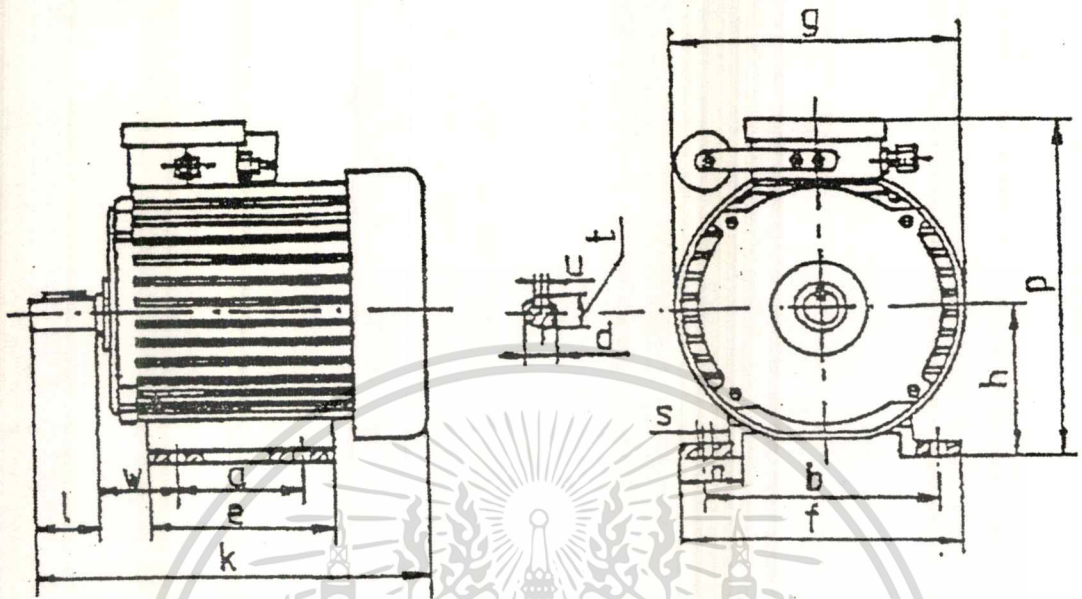
BEARING

Type of electric motor	Front bearing type	Rear bearing type
AG 80	6204 2Z	6204 2Z

TECHNICAL DATA

Type	Dimendions in mm														
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	w	l	d	u	t
AG 80C/4S	100	125	130	150	160	80	290	30	197	10	50	40	19	6	21.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ขนาดมาตราส่วนของเฟรมมอเตอร์ที่ใช้

SPARE PARTS SPECIFICATION

1. Front bearing shield	8. Terminal board
1a Front bearing shield-form «B5»	9. Cover
2. Spacing ring	10. Nipple
3. Front bearing	11. Key
4. Nameplate	12. Rotor
5. Stator winding	13. Rear bearing
6. Body	14. Rear bearing shield
7. Terminal box	15. Fan
	16. Fan cover

รูปที่ 5.9 ส่วนประกอบต่างๆ ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดลองของโครงการนี้

การทดลองของโครงการนี้จะแบ่งเป็น 5 การทดลอง คือ

1. ทดลองเพื่อแสดงให้เห็นว่าระดับการสั่นสะเทือนที่จุดเดียวกันในระยะเวลาต่างกันไม่มากภายใต้โหลดค่าหนึ่ง ๆ ละมีค่าระดับความสั่นสะเทือนคงที่ (ใช้โหลด เทียมในการทดลอง)

2. ทดสอบมอเตอร์ดีซึ่งมีมาตรฐานที่ยอมรับโดยจะวัดค่าความสั่นสะเทือนเพื่อแสดงผลเป็นสเปกตรัม

3. ทดสอบมอเตอร์ดี ขณะฐานยึดหลวมว่ามีค่าความสั่นสะเทือนเช่นไร

4. ทดสอบมอเตอร์ดีที่มีเบรริงเสียโดยจะทดสอบที่เบรริงเสียหลาย ๆ อาการ

5. ทดสอบมอเตอร์ดีที่มีเบรริงเสียขณะฐานยึดหลวม

ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวัดความสั่นสะเทือนมีลำดับดังนี้

(1) เตรียมอุปกรณ์ที่จะทำการทดสอบพร้อมทั้งกำหนดจุดที่ต้องการวัด และทำความสะอาดพื้นผิวของส่วนที่จุดวัดให้สะอาดและแห้ง

(2) เสียบปลั๊กไฟให้กับชุดส่งสัญญาณ และเปิดสวิทช์ ต่อ Sensor เข้ากับ Coupler และต่อ Couple เข้ากับหัว Bwe ของชุดส่งสัญญาณ พร้อมทั้งต่อ Suprly Bovdc ให้กับ Coupler และนำคอนเนคเตอร์ DB25 ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

(3) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC หรือ Compatible (ความละเอียดของจอขนาด 640*480 จุด) และเรียกใช้โปรแกรม เพื่อทำการใช้งานในการวัดความสั่นสะเทือน

(4) เลือกเมนูการใช้งานตามต้องการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(4.1) เมนูดูข้อมูลในไฟล์ที่ได้จัดเก็บไว้ จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่เคยวัดและได้จัดเก็บเอาไว้เพื่อพิจารณาถึงระดับความสั่นสะเทือนที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง

(4.2) เมนูที่มีคำสั่งในการพิมพ์ข้อมูลโดยจะเลือกจากแฟ้มข้อมูลที่เก็บไว้

(4.3) เมนูในการทดสอบเครื่องจักรโดยแบ่งเป็น

(ก) เมนูการทดสอบแบบพลอตกราฟที่ลูขุดขุดละ 300 ค่า ข้อมูลชุดนี้สามารถเก็บข้อมูลเป็นไฟล์ได้

(ข) เมนูการทดสอบแบบพลอตกราฟอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นค่าขณะนั้น ๆ

(4.4) เมนูเปรียบเทียบระดับความสั่นสะเทือนของไฟล์ต่างกันจะสามารถเรียกไฟล์ที่ได้จัดเก็บเอาไว้มาดูและทำการเปรียบเทียบกันได้

(4.5) เมนูในการทดสอบค่าและทำการวิเคราะห์แบบ Fourier Analysis โดยจะแสดงผลของการสั่นสะเทือนเป็นสเปกตรัม ซึ่งจะเป็นเมนูที่ใช้ในการทดลอง เป็นส่วนใหญ่

(4.6) เมนูเพื่อออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

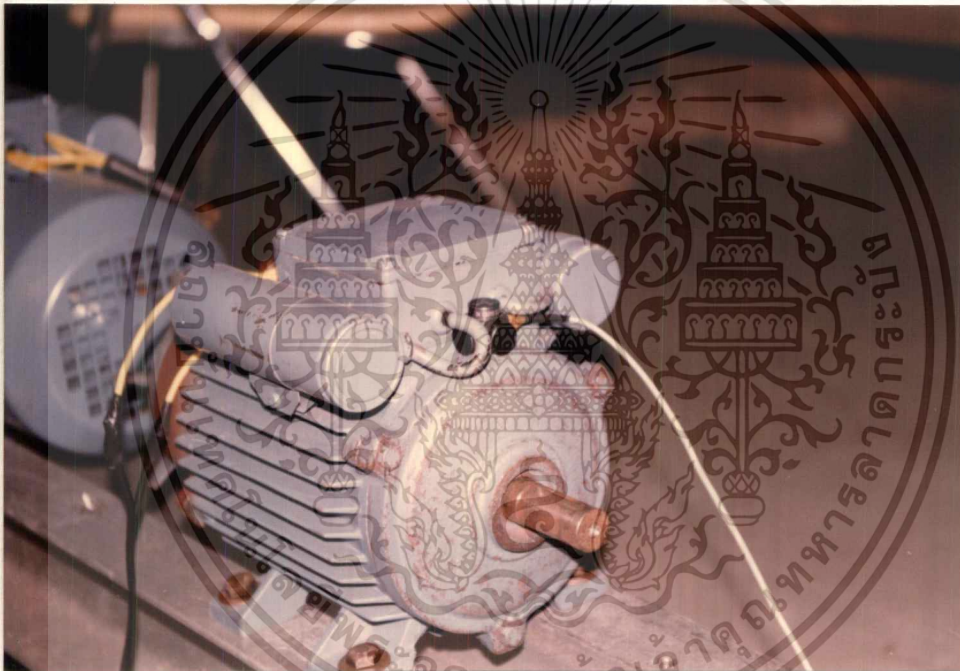
การทดลองที่ 1

จุดประสงค์

เพื่อแสดงให้เห็นว่าระดับการสั่นสะเทือนที่จุดเดียวกันในระยะเวลาต่างกันไม่มากภายใต้โหลดค่าหนึ่ง ๆ จะมีค่าระดับความสั่นสะเทือนที่ใกล้เคียงกัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมมอเตอร์ที่จะทำการทดลองดังรูปที่ โดยจะใช้สายพานมาแทนโหลด
2. ติดตั้ง Piezo BEAM เข้ากับมอเตอร์ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามตัวดังรูปที่ 5.10

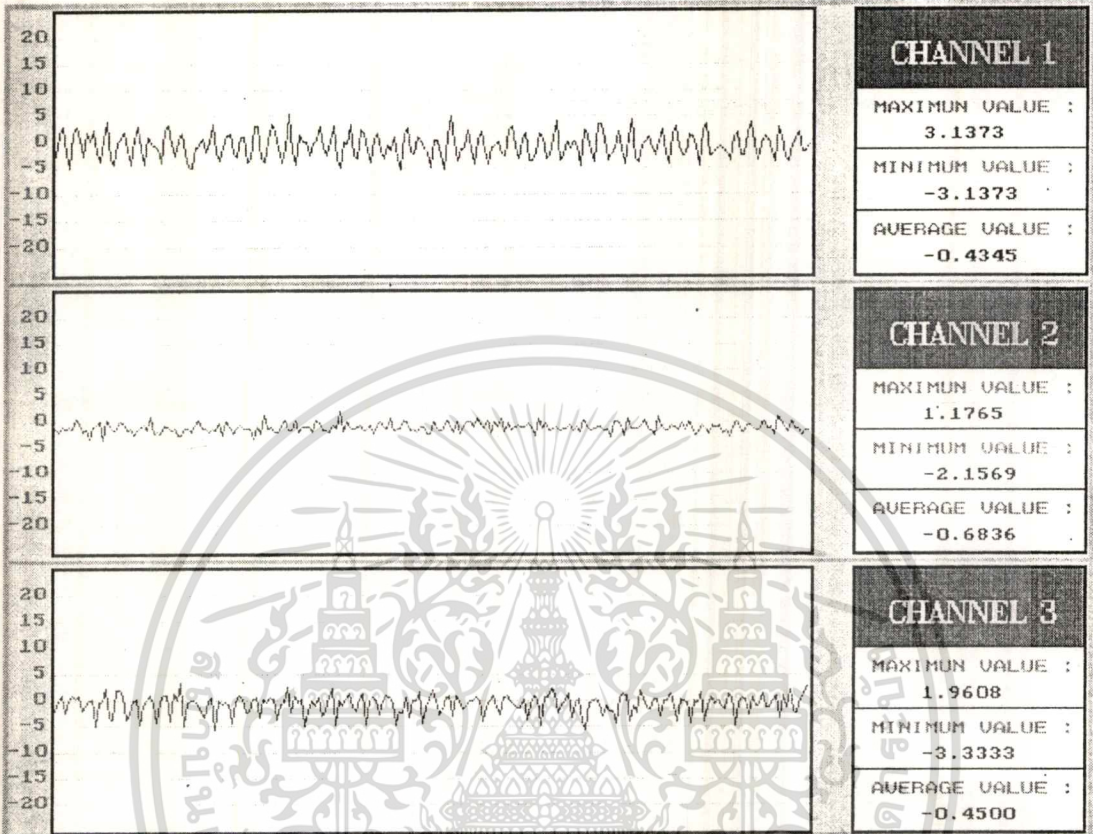


รูปที่ 5.10 แสดงการติดตั้ง PiezoBEAM เข้ากับมอเตอร์ที่นำมาทดลอง

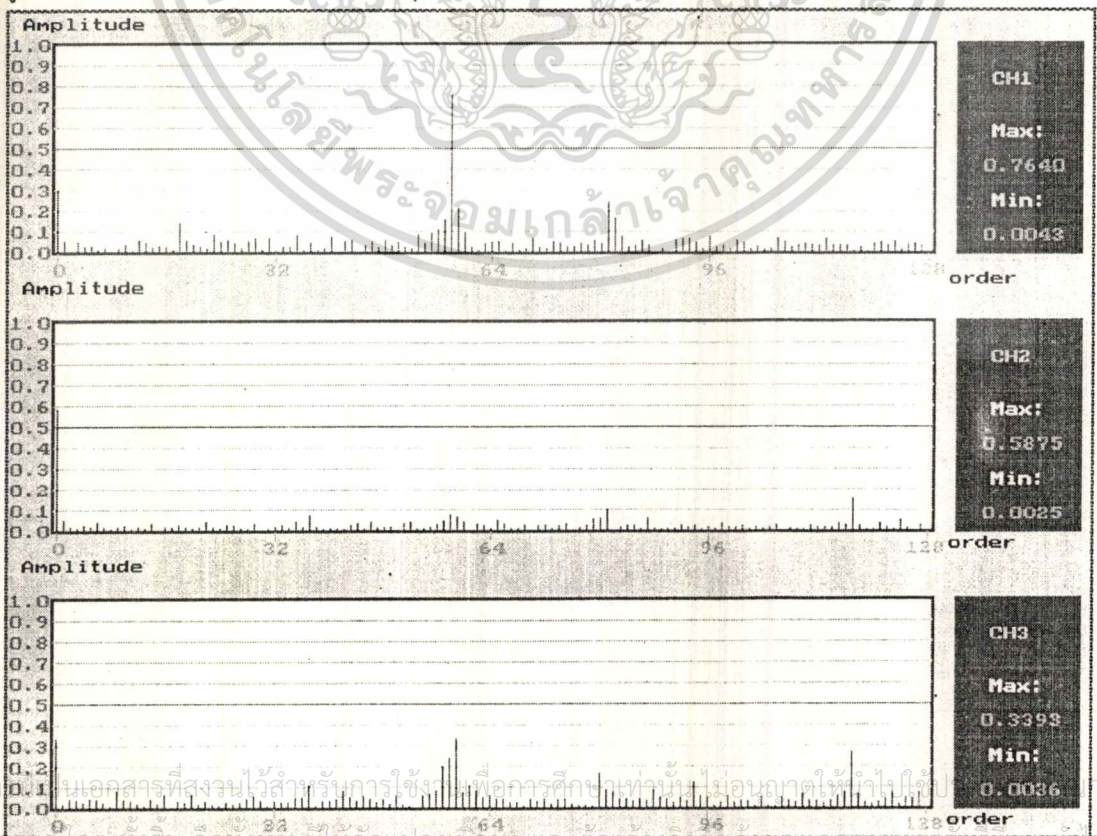
3. เลือกเมนูทดสอบมาที่ Fourier Analysis
4. เลือกเมนูทดสอบแบบที่ละ 3 Channel (Three test)
5. ทำการวัดและสังเกตผล โดยผลที่ได้จะเป็นผล ณ.เวลา T_0
6. ออกจากเมนูทดสอบและทำการทดลองซ้ำแบบเดิมตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 อีกครั้ง ณ เวลา T_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

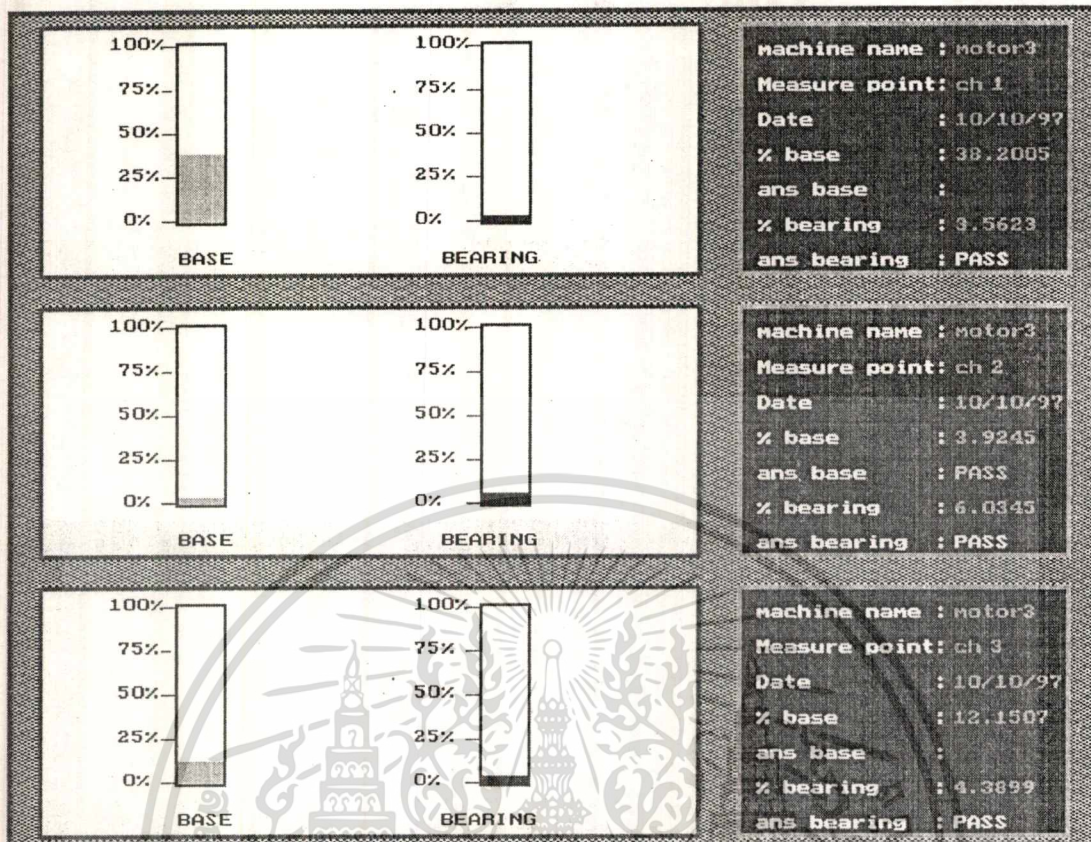
ผลการทดลองที่ 1



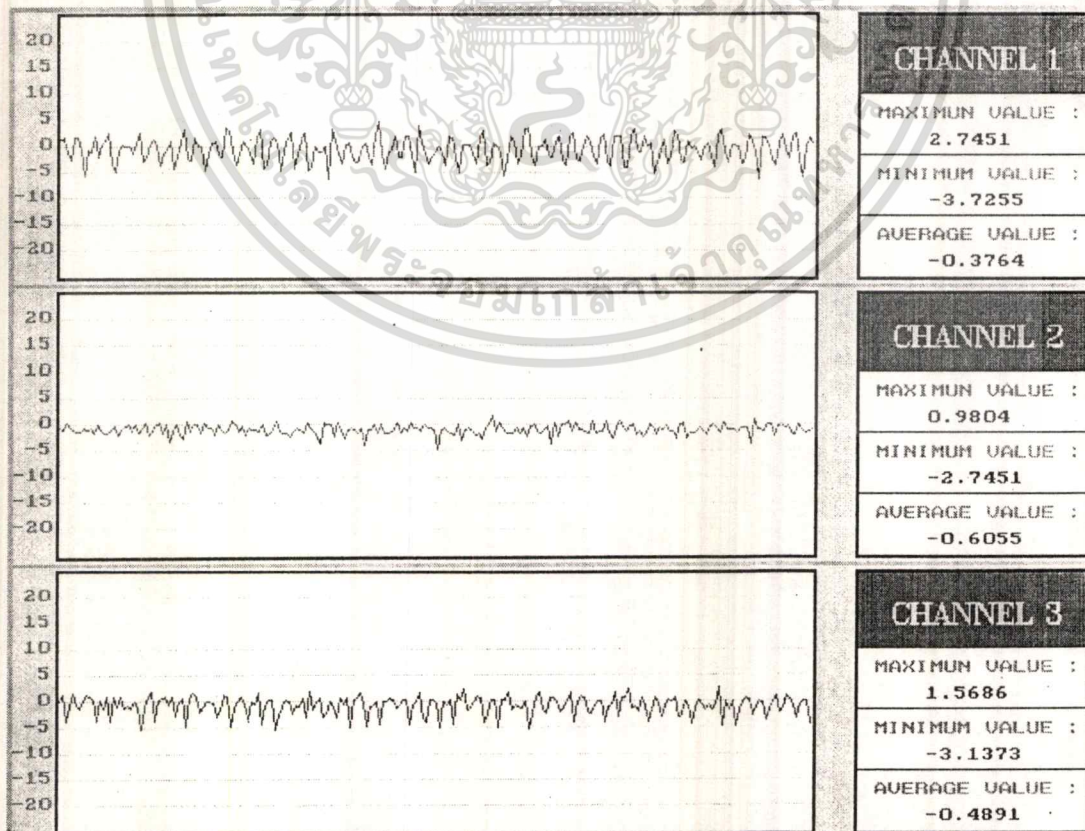
รูปที่ 5.11 แสดงค่าระดับความถี่ของสัญญาณที่จุดที่กำหนดที่เวลา TO ซึ่งเป็นของไฟล์ MotorTO.acc โดยแสดงผลทั้ง 3 แชนแนล



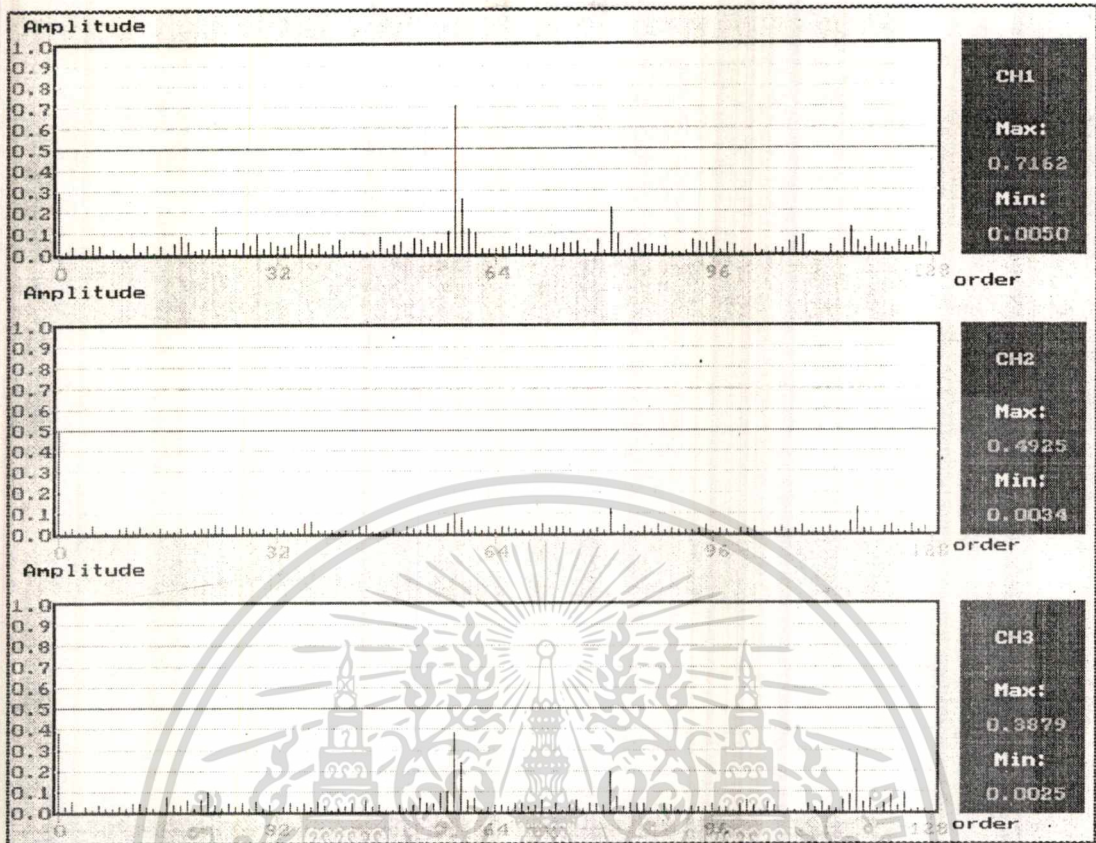
รูปที่ 5.12 แสดงค่าระดับการสั่นสะเทือนที่เป็นสเปกตรัม TO ซึ่งเป็นไฟล์ MotorTO.acc โดยแสดงทั้ง 3 แชนแนล



รูปที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อแยกอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นของความสั่นสะเทือนที่เวลา T0 ซึ่งเป็นไฟล์ MotorT0.acc โดยแสดงทั้ง 3 แกน

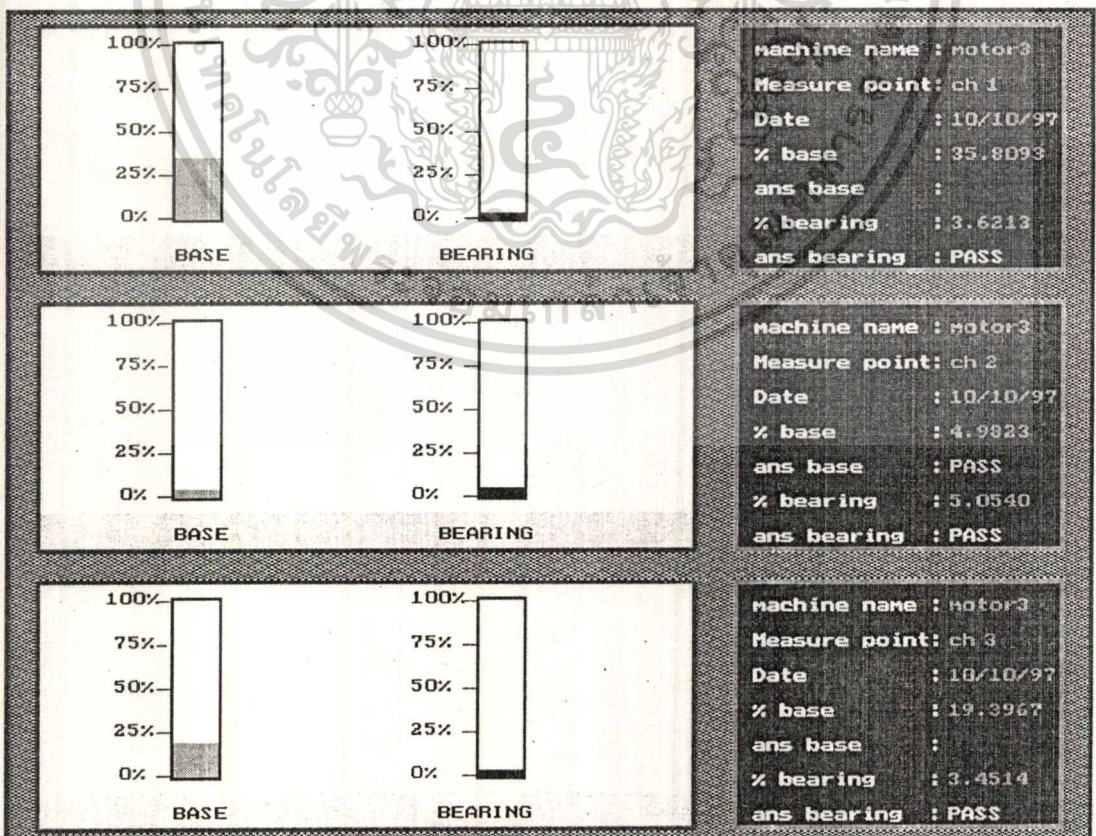


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.14 แสดงการวัดความสั่นสะเทือนที่จุดที่กำหนดที่เวลา T1 ซึ่งเป็นของไฟล์ MotorT1.acc(x,y,z) โดยแสดงค่า
ไม่ว่าที่ใดในรูป ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงค่าระดับการสั่นสะเทือนที่เป็นสเปกตรัมที่เวลา T1 ซึ่งเป็นไฟล์ MortorT1.acc(x,y,z) โดยแสดงผลทั้ง

3 แกน



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.16 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อแยกแยะการผิดปกติที่เกิดขึ้นของค่าความสั่นสะเทือนที่เวลา T1 ซึ่งเป็นไฟล์การค่า MotorT1.acc โดยแสดงผลทั้ง 3 แกน
 ไม่ว่าการแก้ไขทั้งสามอย่างนี้ไม่ได้แก้ปัญหานี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

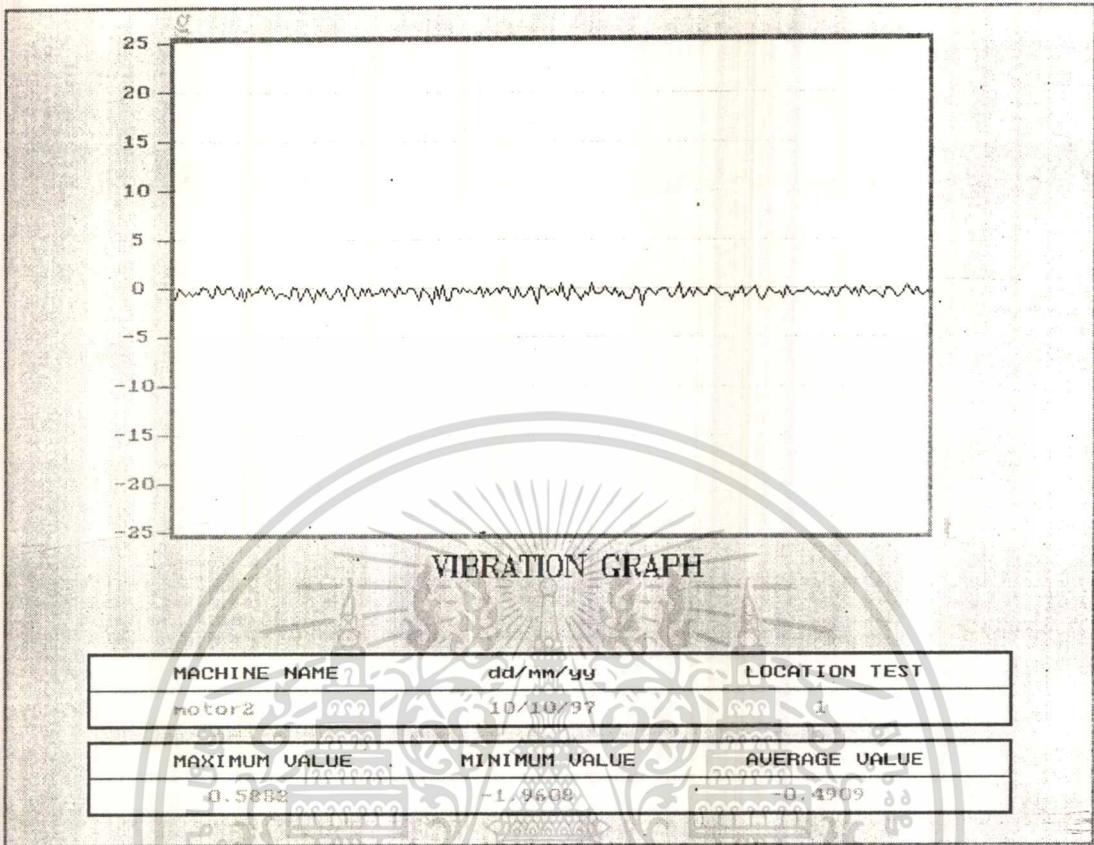
จุดประสงค์

เพื่อแสดงให้เห็นระดับความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ดี ซึ่งมีมาตรฐานที่ยอมรับโดยจะใช้เป็นตัวอ้างอิงกับมอเตอร์ในกรณีอื่น ๆ

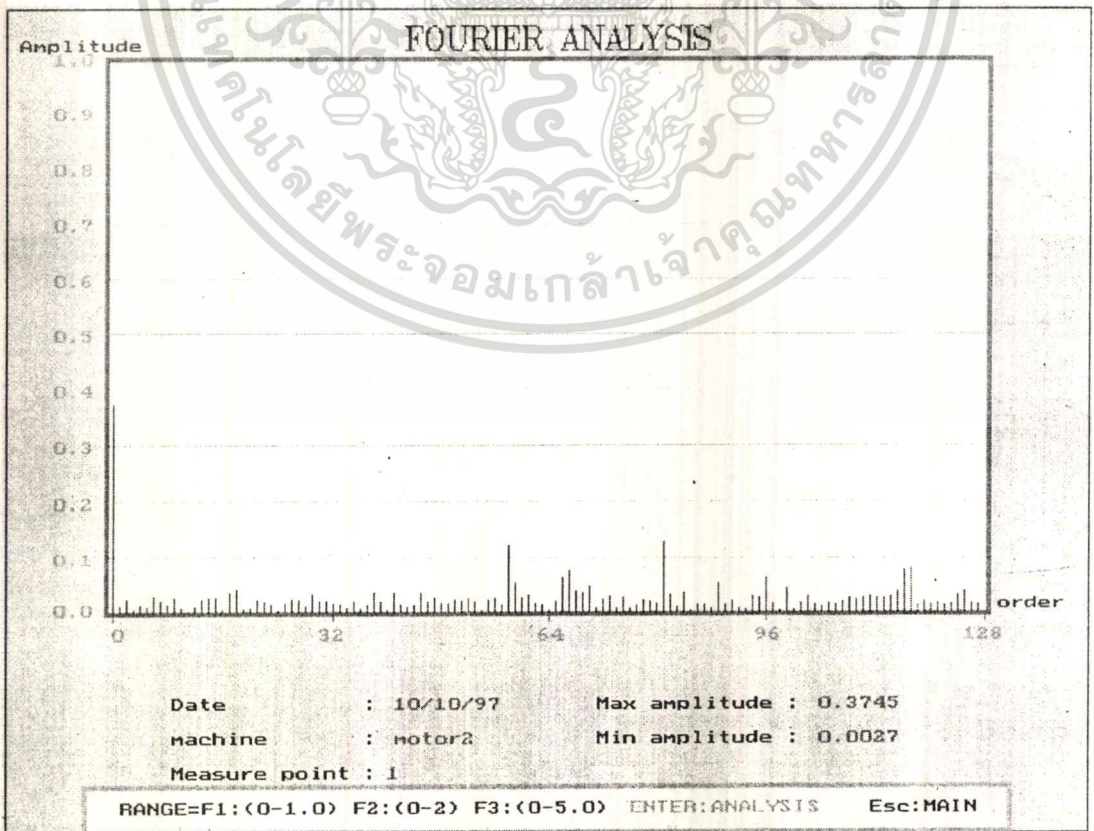
ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมมอเตอร์ที่มีสภาพดีที่จะทำการทดลอง
2. ติดตั้ง Piezo BEAM เข้ากับมอเตอร์ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยตัว
3. เลือกเมนูทดสอบมาที่ Fourier Analysis
4. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ 1 Channel (One Test) โดยเลือกแกนที่จะวัดทีละแกน (แกน X , แกน Y, แกน Z)
5. ทำการวัดและสังเกตผล
6. ออกจากเมนูทดสอบ และทำการทดลองซ้ำแบบนี้จนครบทุกแกน
7. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ 3 Channel (Three Test) โดยที่จะวัดครั้งละ 3 แกน (แกน X , แกน Y, แกน Z)

ผลการทดลองที่ 2

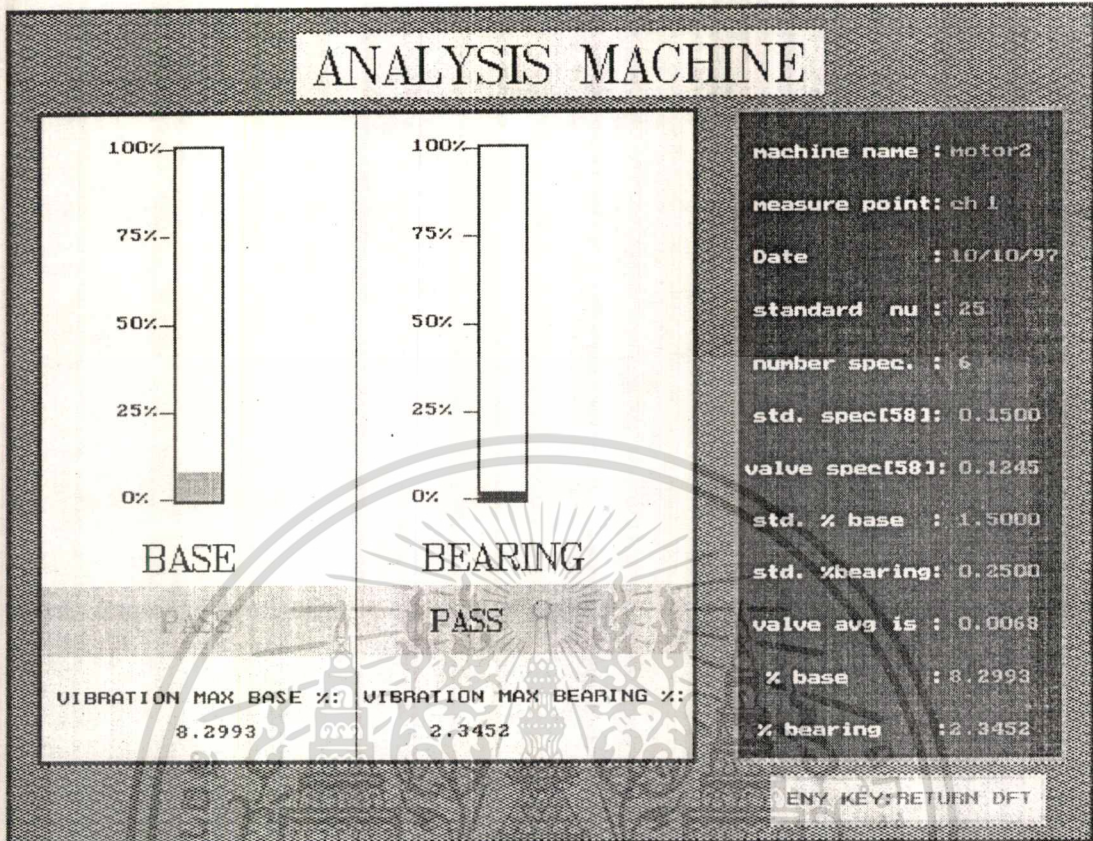


รูปที่ 5.17 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)

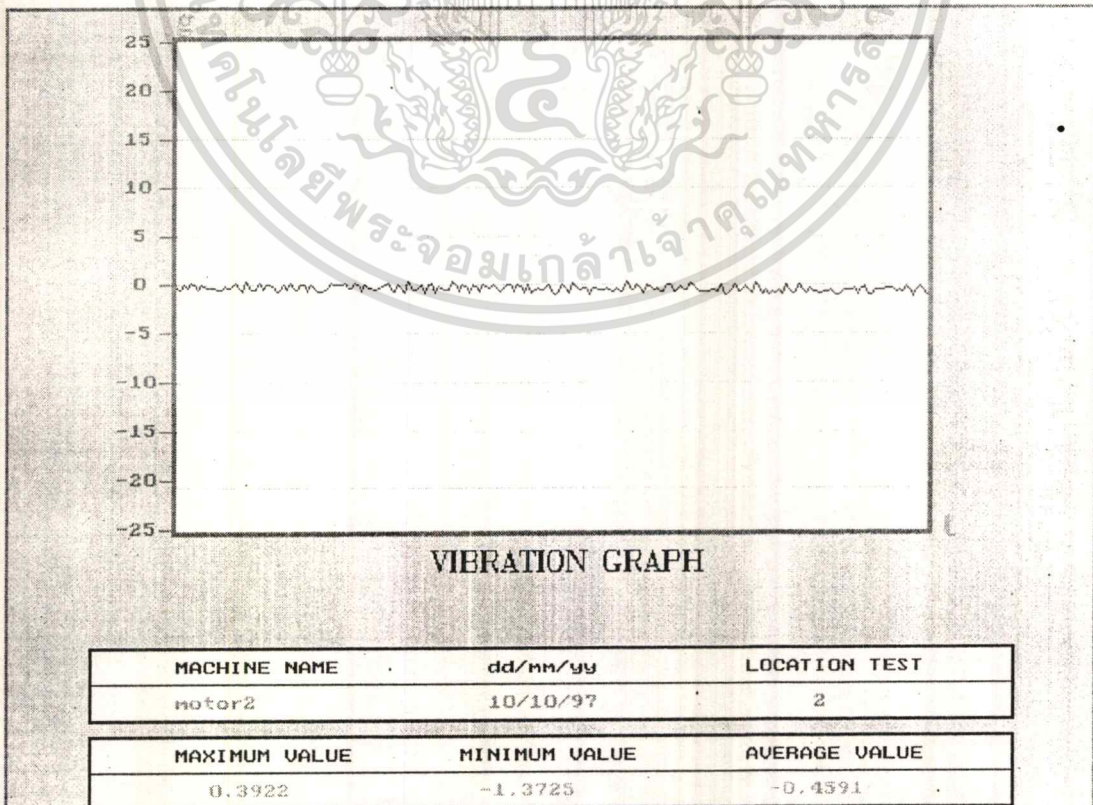


รูปที่ 5.18 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)

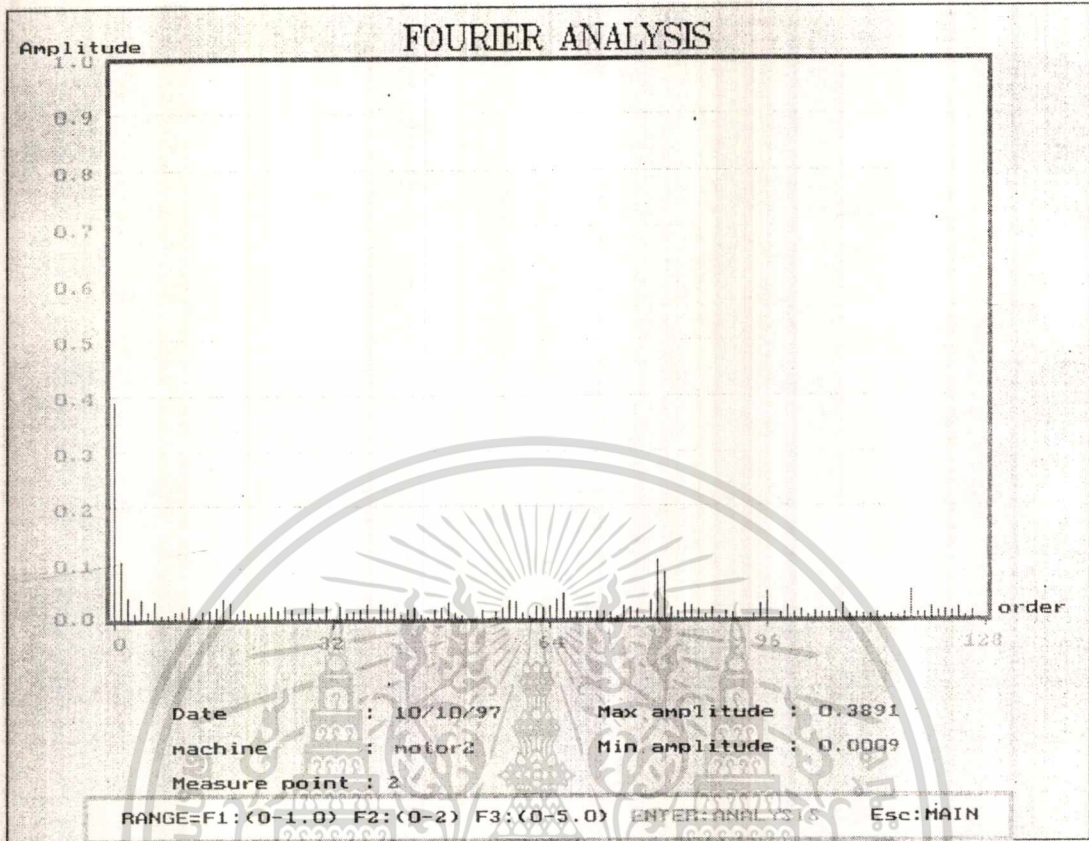
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การคัดลอกหรือการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



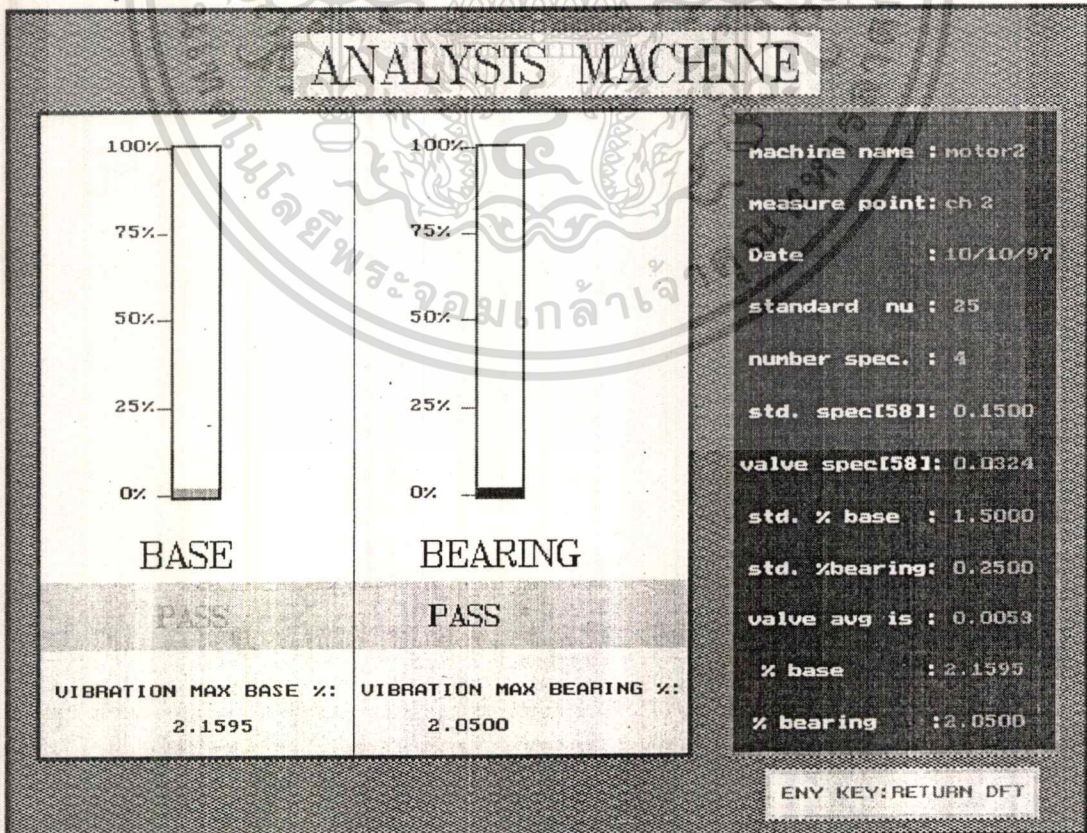
รูปที่ 5.19 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริงและฐานยึด (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)



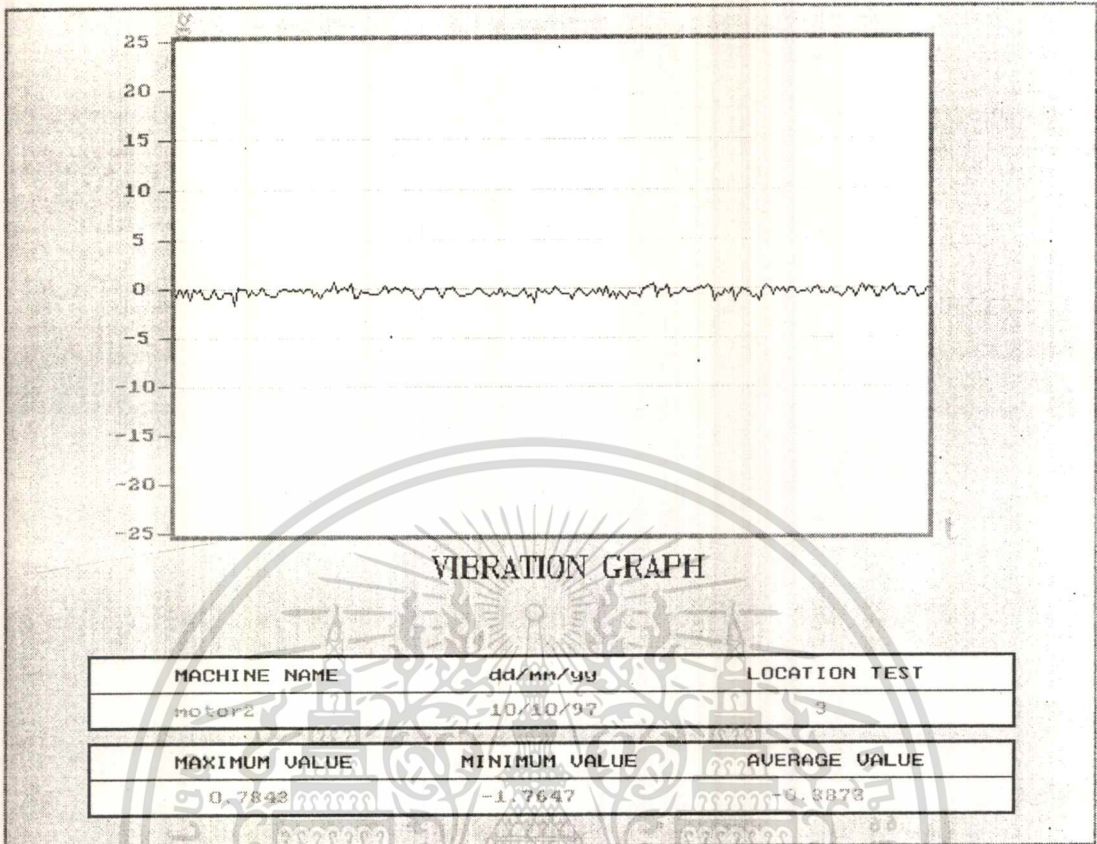
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ้ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



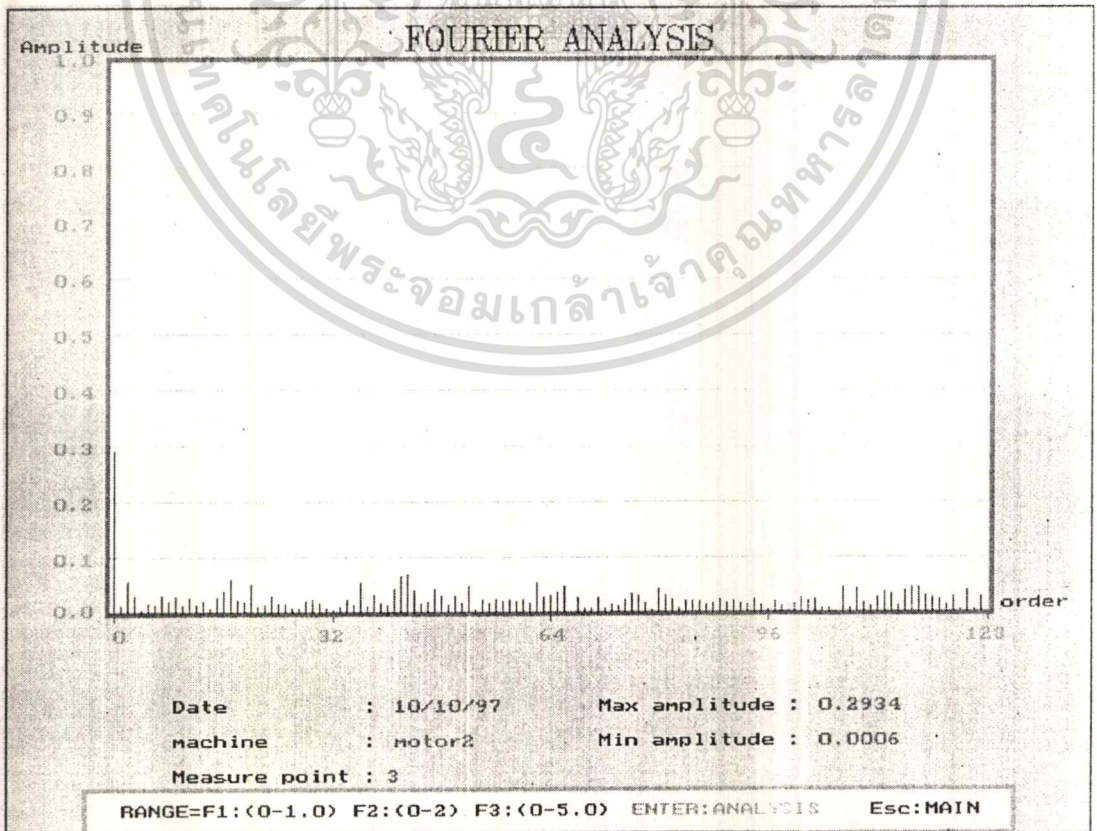
รูปที่ 5.21 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน Y (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)



รูปที่ 5.22 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน Y ในส่วนของเบ어링 และฐานยึด (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทการช่างเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

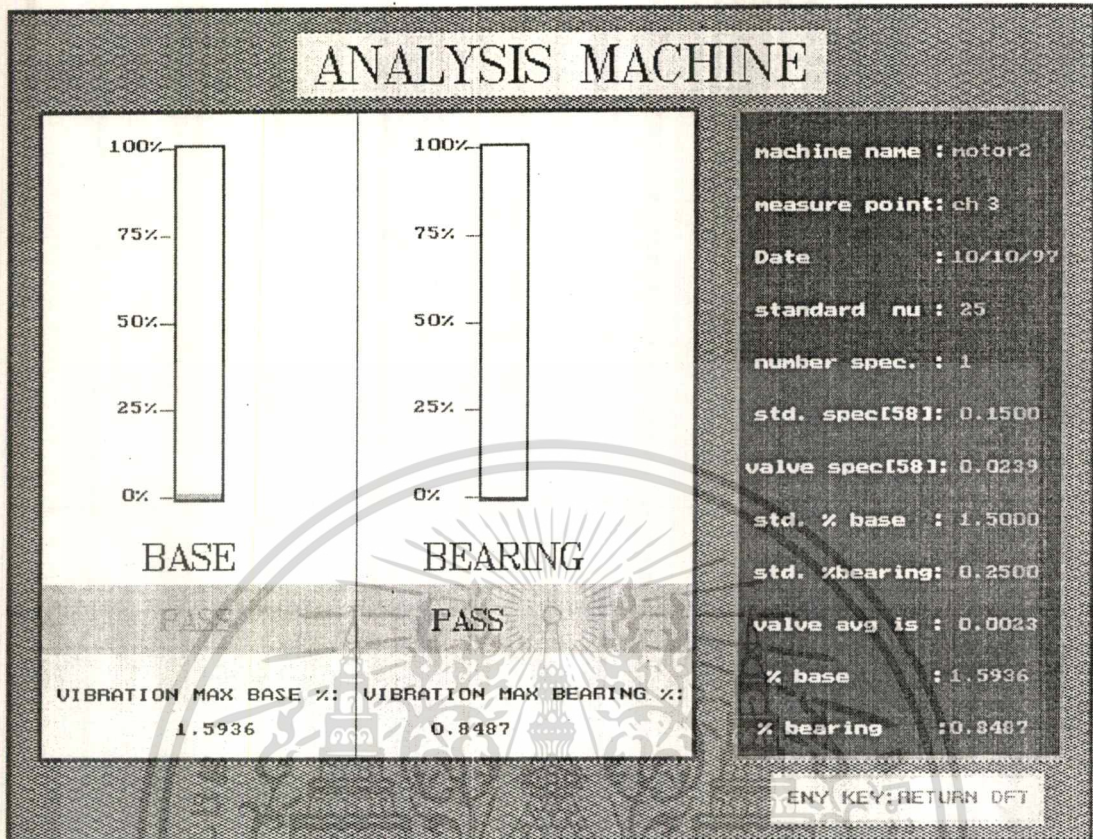


รูปที่ 5.23 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน Z (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)



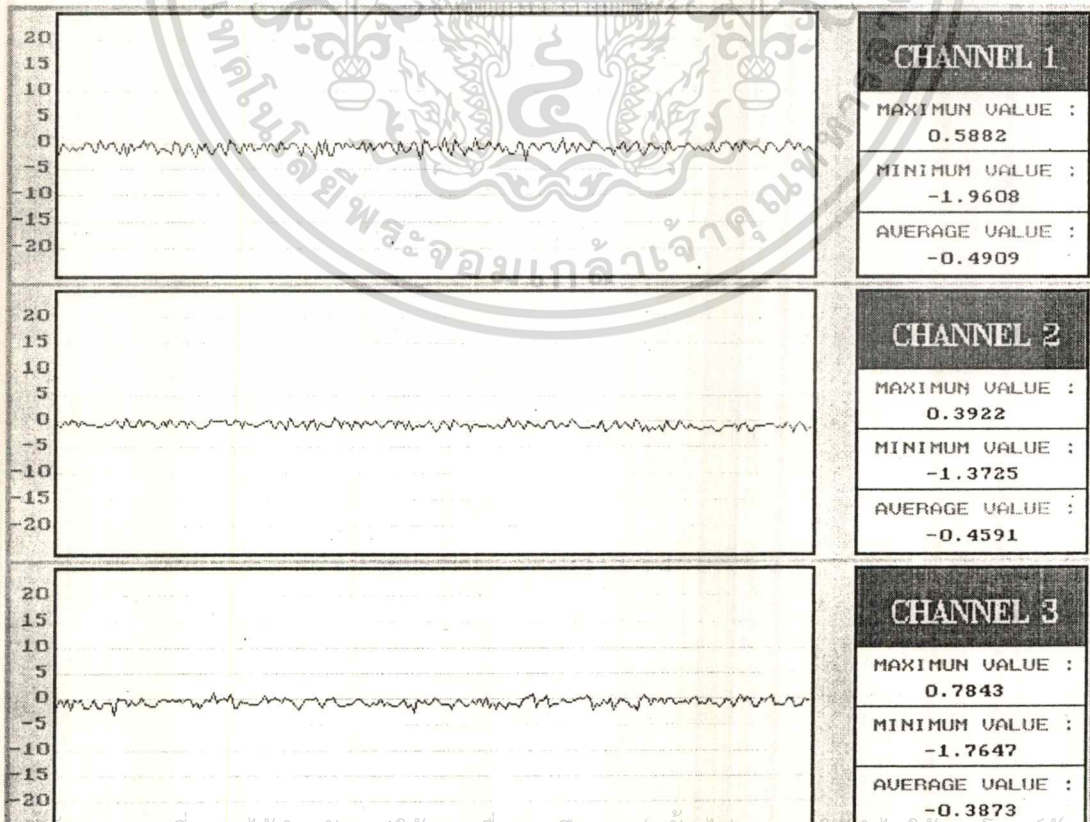
รูปที่ 5.24 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปแบบกราฟของแกน Z (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

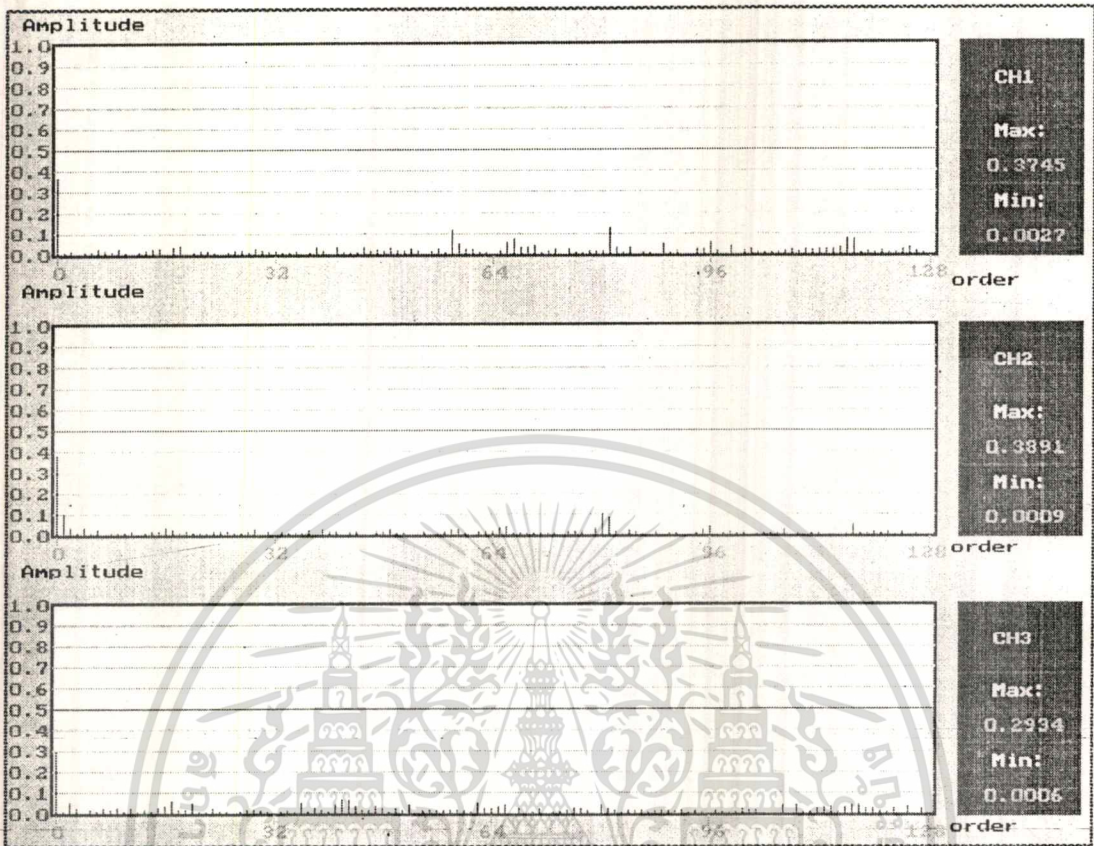


รูปที่ 5.25 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการติดปดของแกน Z ในส่วนของเบริงและฐานยึด (ซึ่งเป็นของไฟล์

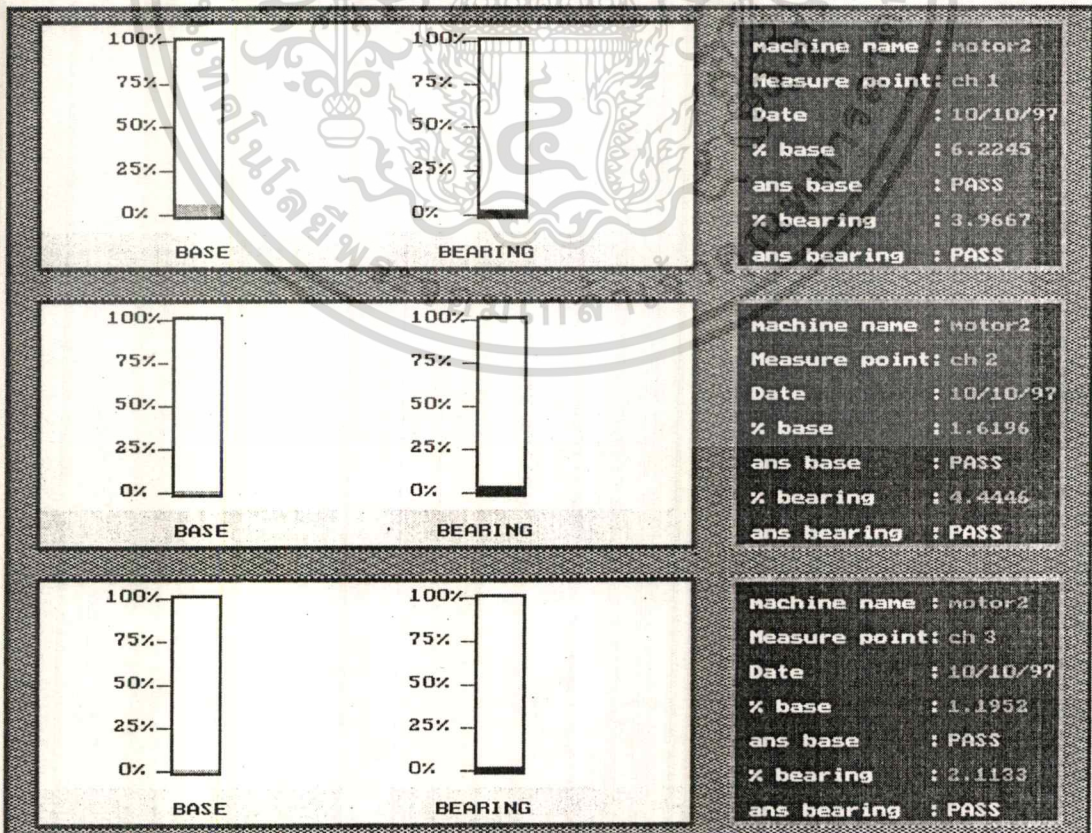
motor2.acc)



เอกสารและเอกสารที่ส่งให้ลูกค้าหรือหน่วยงานอื่นที่ผู้แก้ไขข้อมูลได้แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงค่า
รูปที่ 5.26 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนทั้ง 3 แกน (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ ของทั้ง 3 แกน (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5.28 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกน ในส่วนของเบริง และฐานยึด (ซึ่งเป็นของไฟล์ motor2.acc) ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

จุดประสงค์

เพื่อแสดงให้เห็นระดับความสัมพันธ์ของมอเตอร์ดี ขณะฐานยึดหลวม โดยจะแสดงให้เห็น

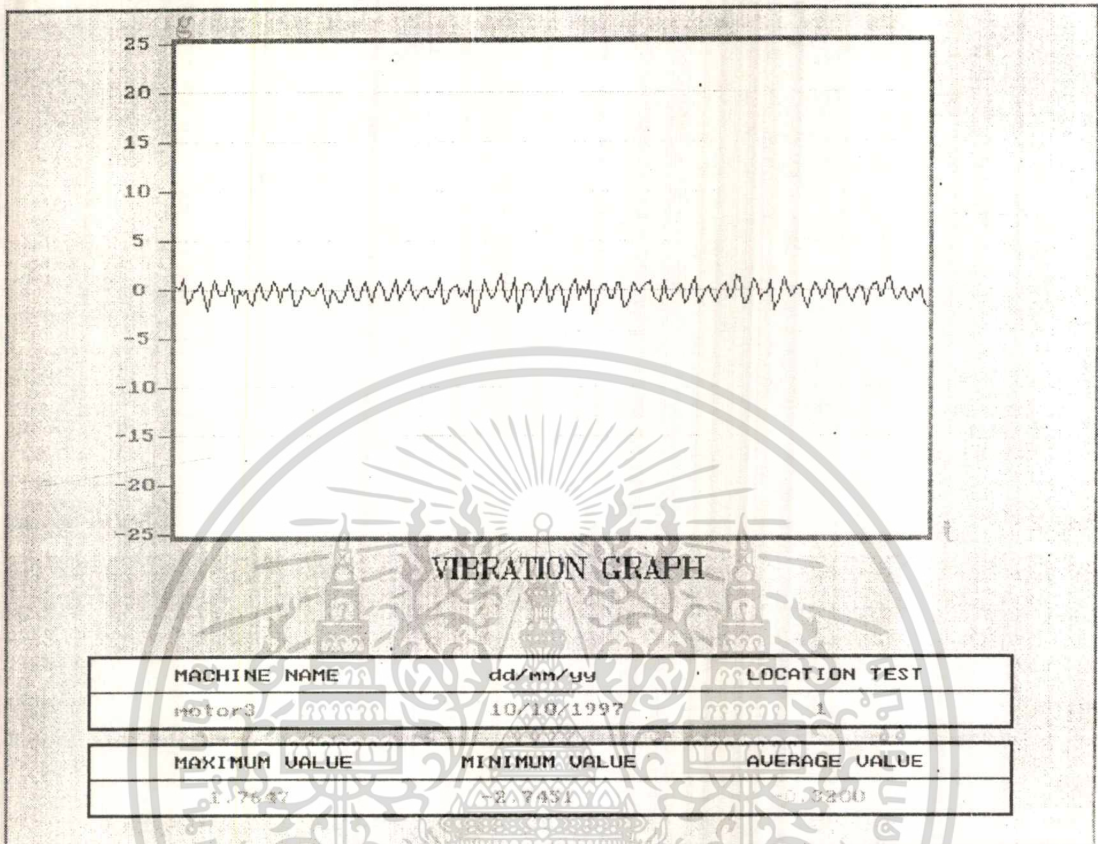
2 อาการ

ขั้นตอนการทดลอง

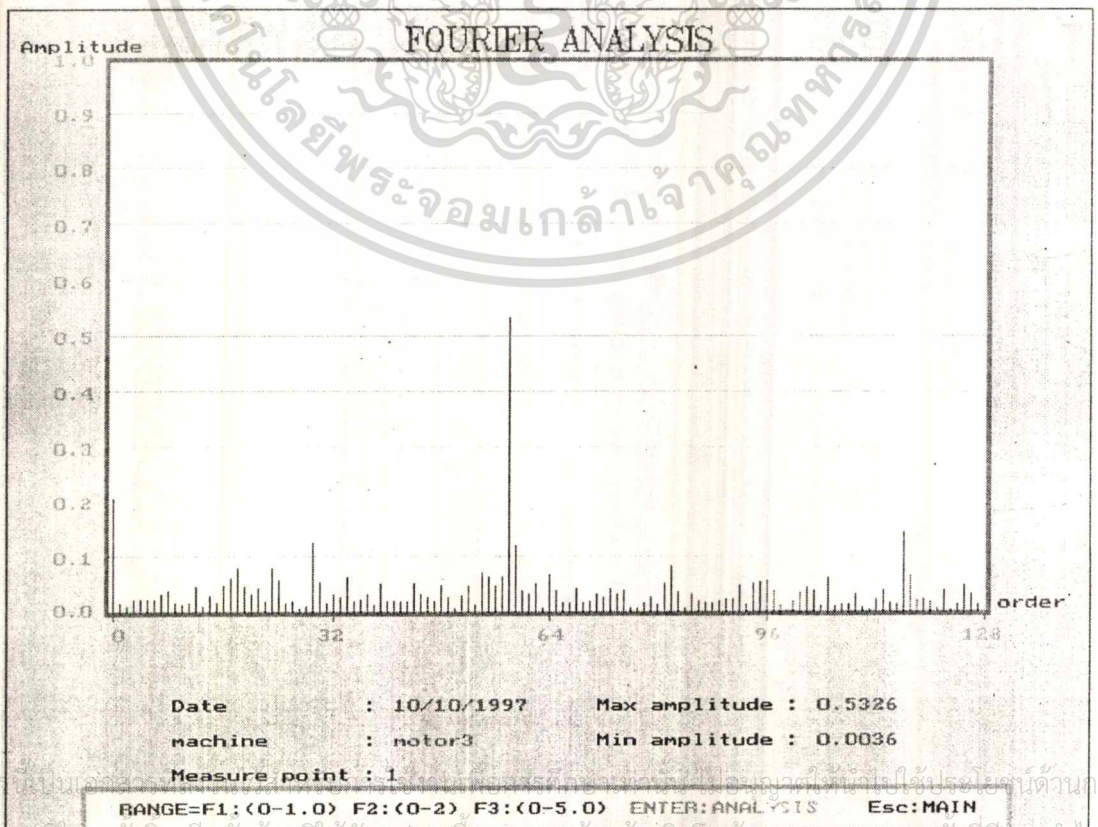
1. เตรียมมอเตอร์สภาพดีขณะฐานยึดหลวมที่จะทำการทดลอง
2. ติดตั้ง Pieza BEAM เข้ากับมอเตอร์ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ด้วยตัว
3. เลือกเมนูทดสอบมาที่ Fourier Analysis
4. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ 1 Channel (One Test) โดยเลือกแกนที่จะวัดทีละแกน (แกน X, แกน Y, แกน Z)
5. ทำการวัดและสังเกตผลการทดลอง
6. ออกจากเมนูทดสอบและทำการทดลองซ้ำจากขั้นตอนที่ 3 จนครบทุกแกน ซึ่งค่าที่ได้ทั้งหมดจะเป็นค่าของมอเตอร์ฐานยึดหลวมอาการที่ 1
7. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ 3 Channel (Three Test) โดยจะวัดรวมกันทั้ง 3 แกน (แกน X, แกน Y, แกน Z)
8. ทำการวัดและสังเกตผลการทดลอง
9. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 8 อีกครั้ง ในการนี้ที่ฐานยึดหลวมอาการที่ 2

ผลการทดลองที่ 3

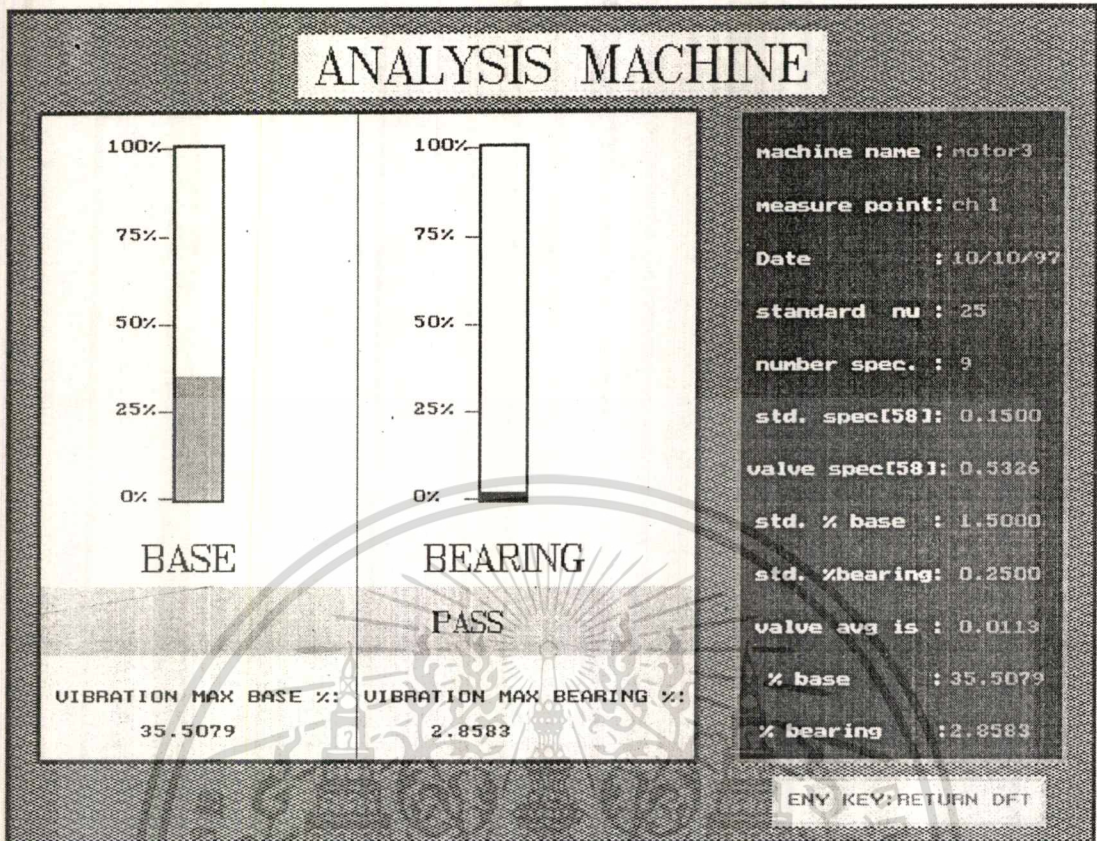
กรณีฐานยึดหลวมอาการที่ 1



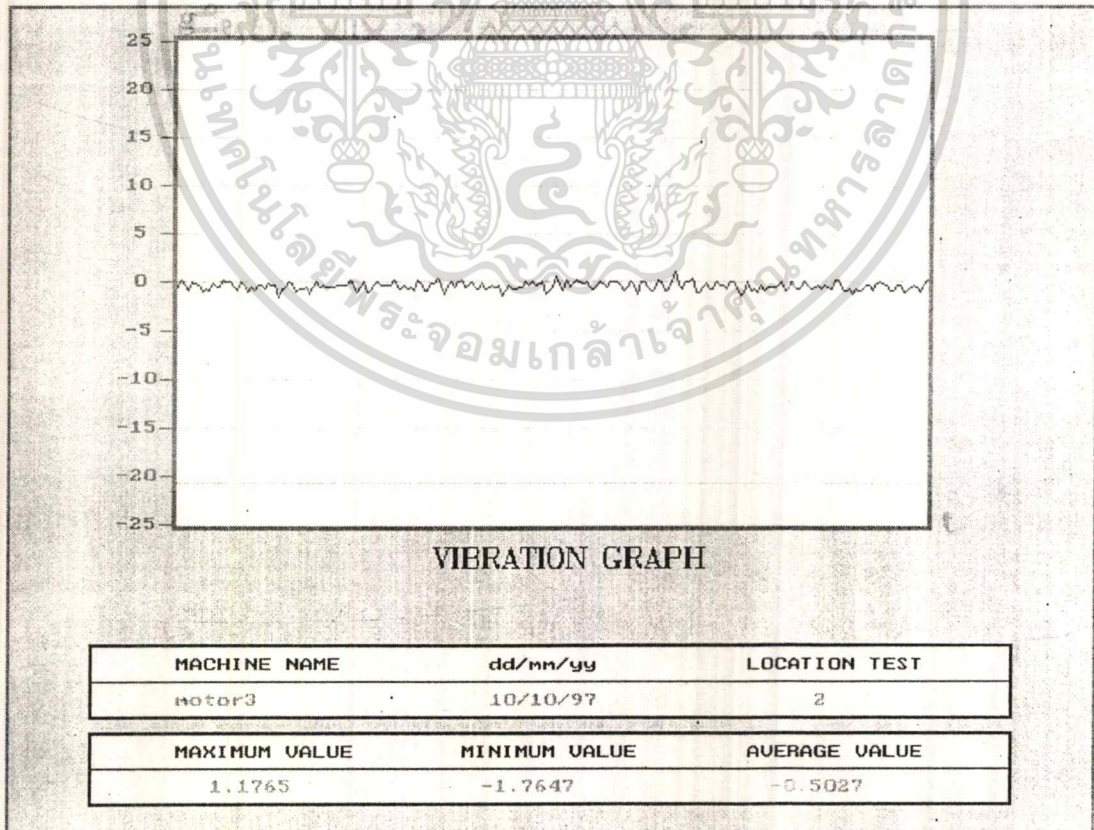
รูปที่ 5.29 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1)



รูปที่ 5.30 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1)

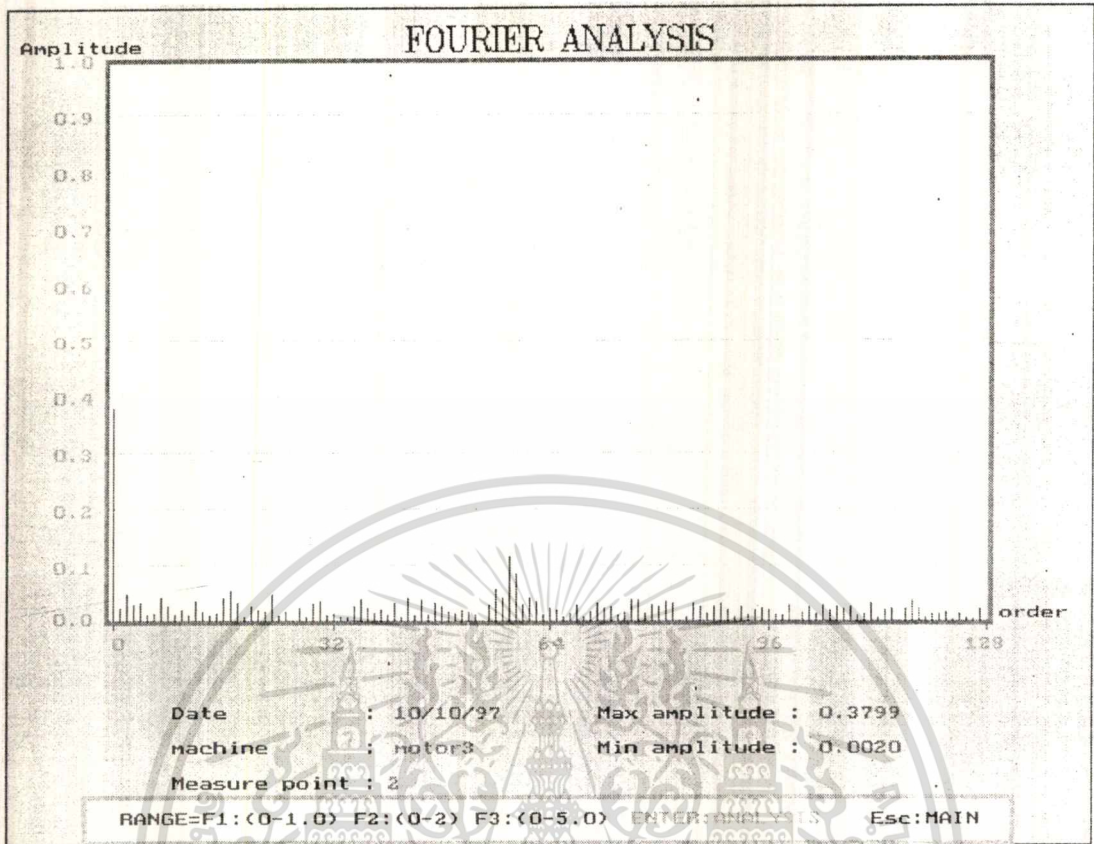


รูปที่ 5.31 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริงและฐานยึดซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc(อาคารที่ 1)

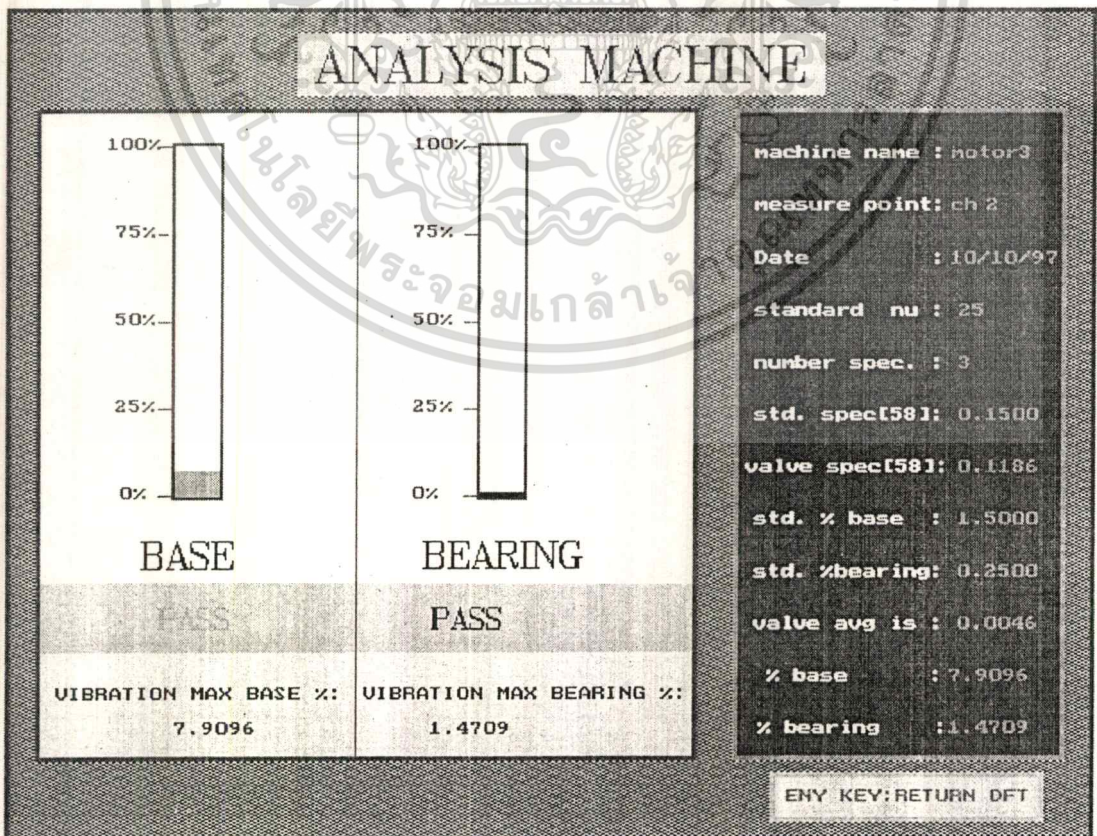


รูปที่ 5.32 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน Y ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาคารที่ 1)

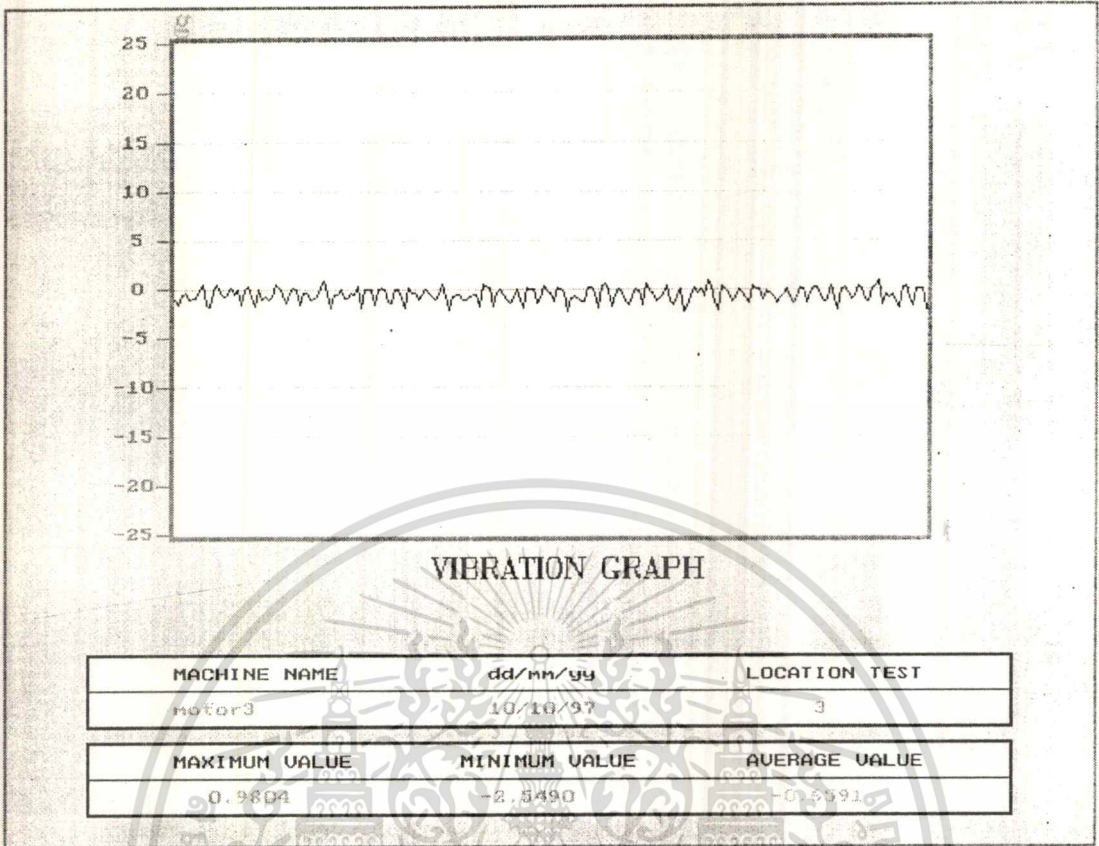
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



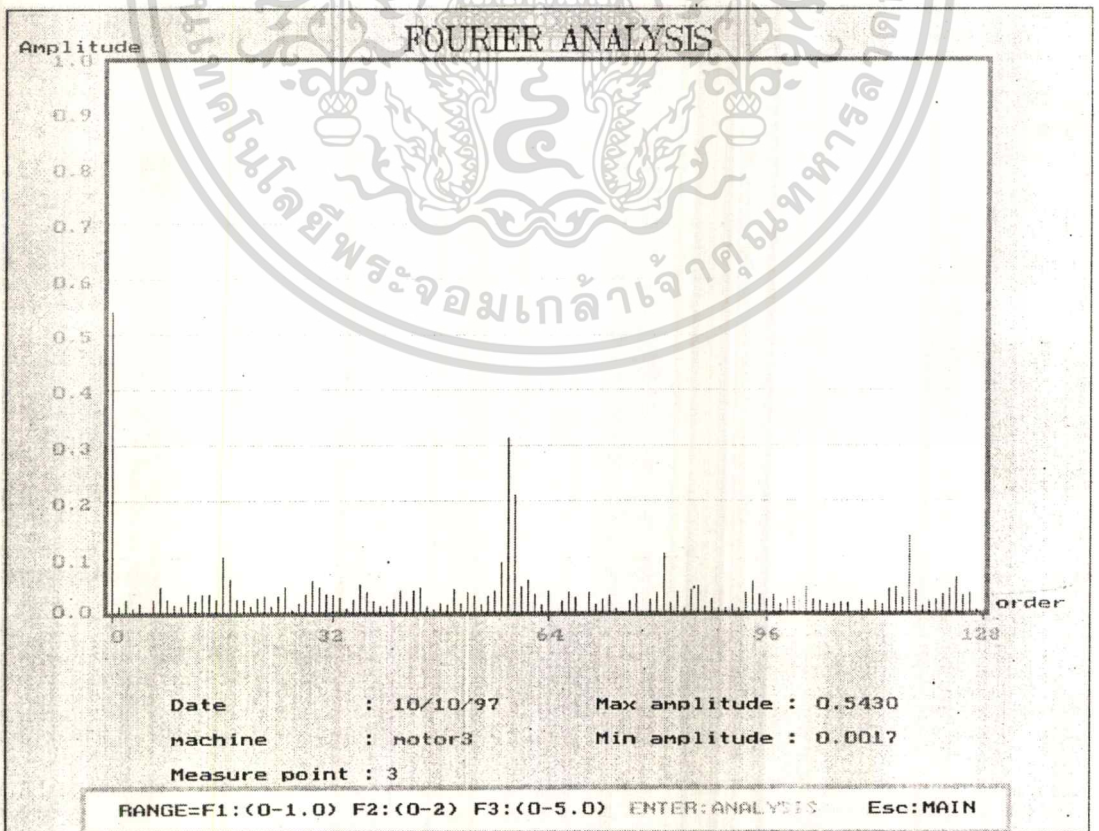
รูปที่ 5.33 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปแบบคลื่นความถี่ของแกน Y ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1)



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.34 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน Y ในส่วนของเบริงและฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1) ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

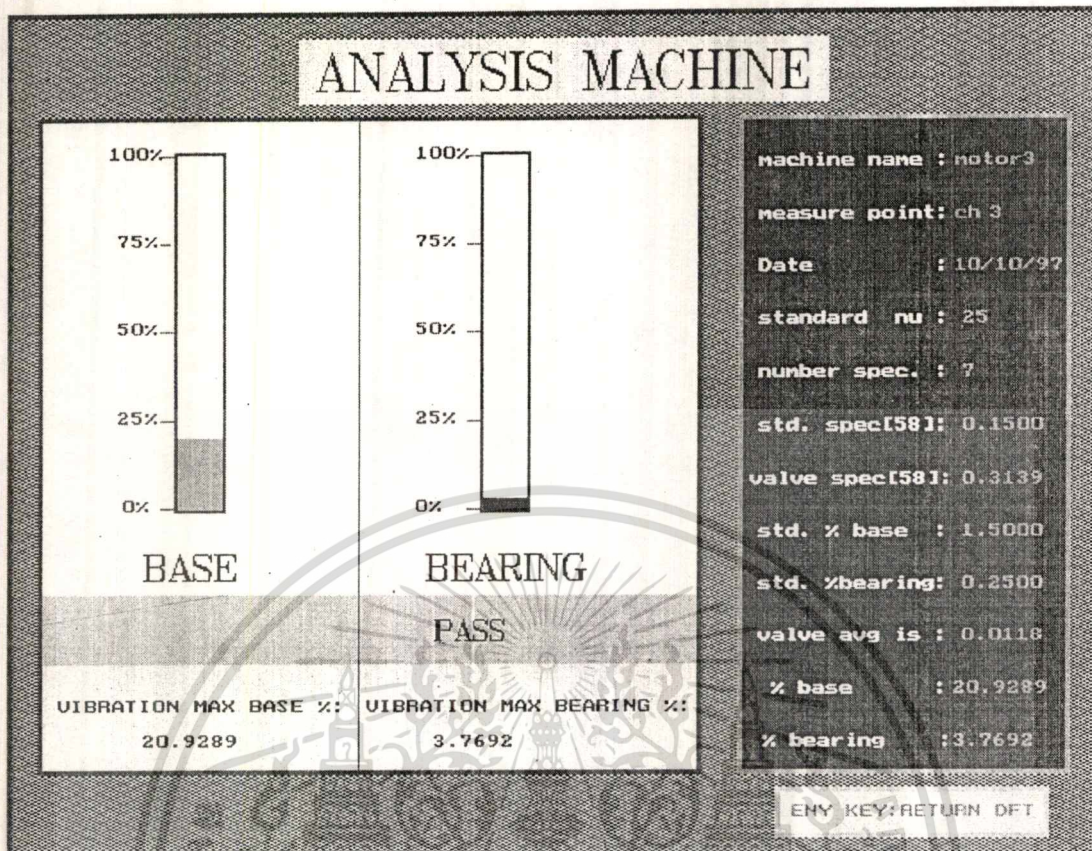


รูปที่ 5.35 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน Z ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1)



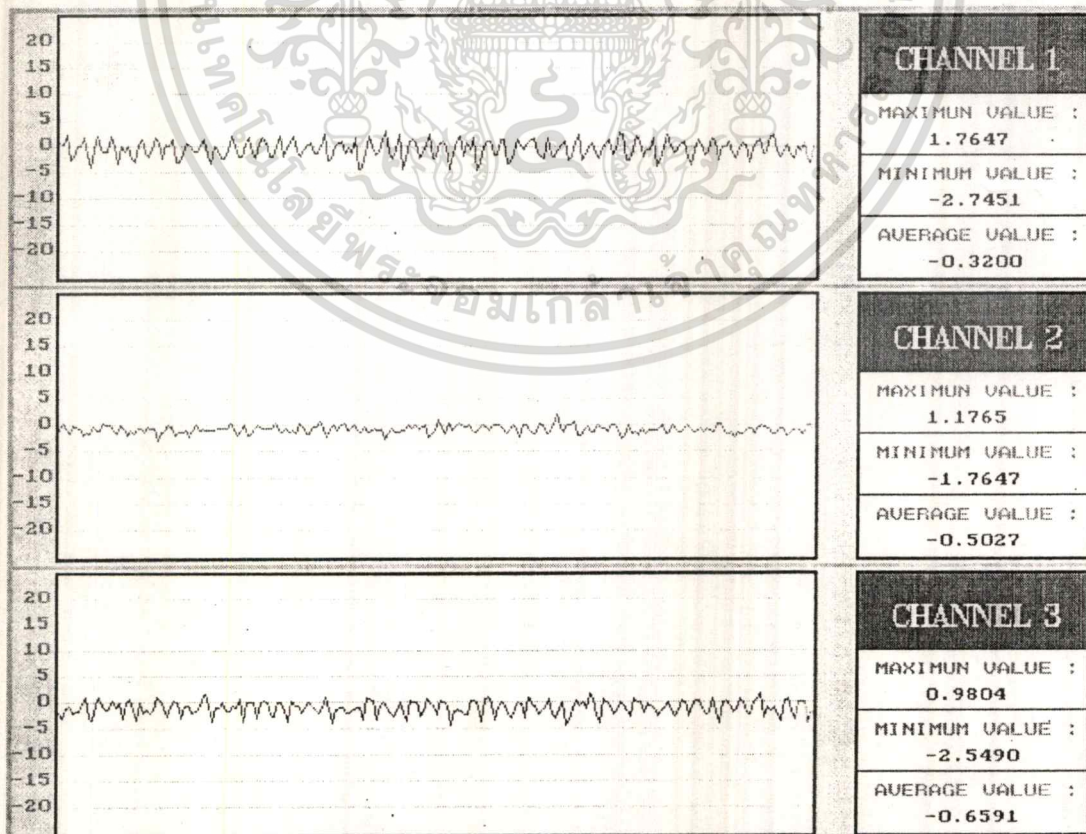
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่ปรากฏอยู่ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

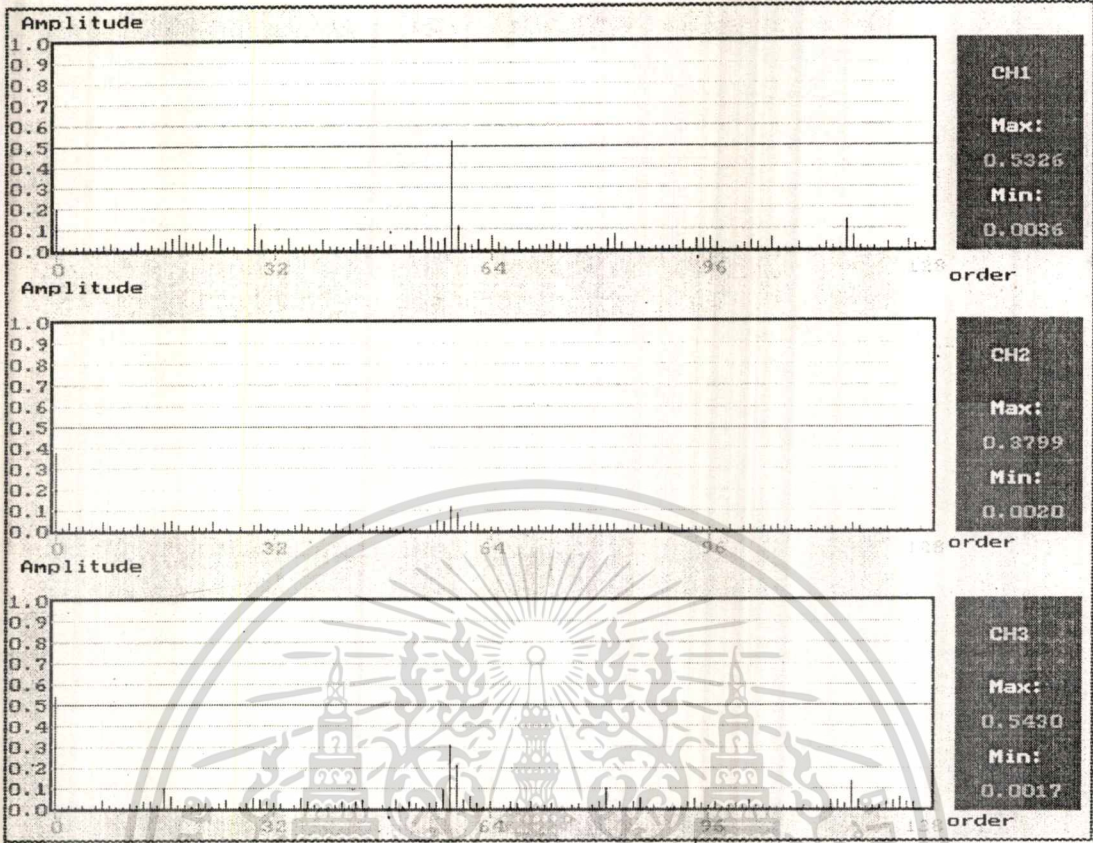


รูปที่ 5.37 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน Z ในส่วนของเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟด์

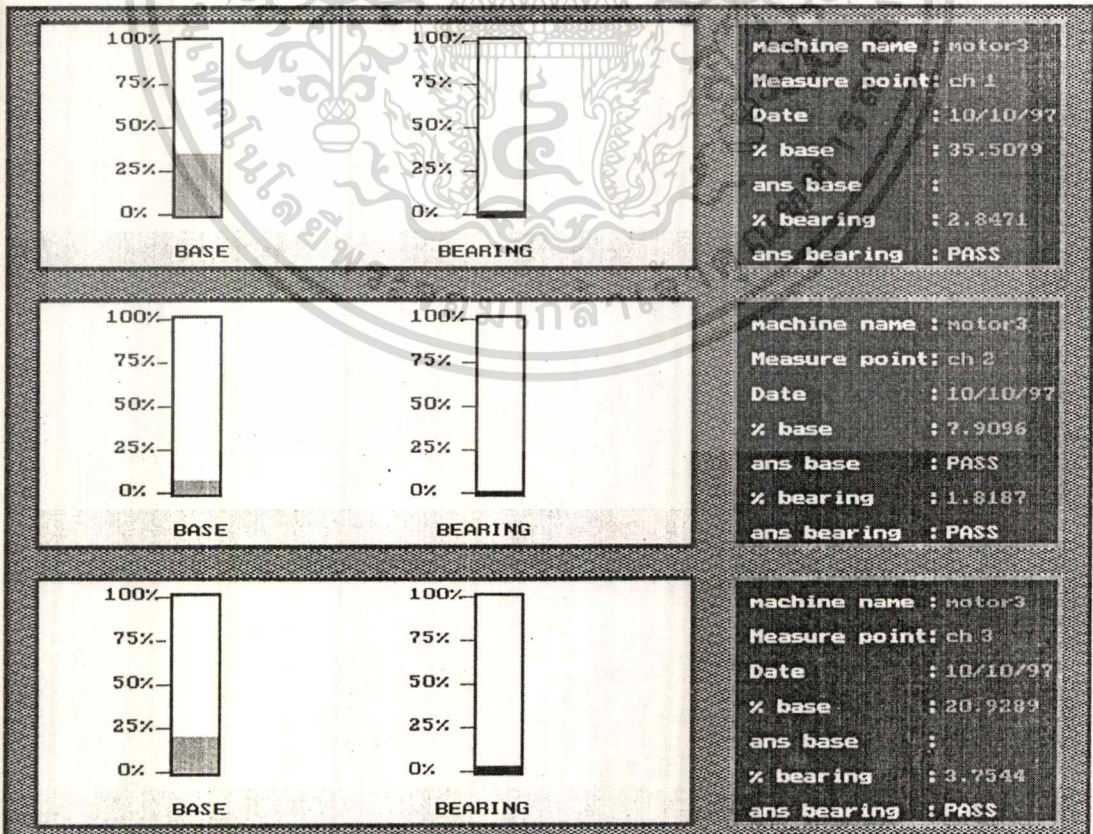
motor3a.acc (อาการที่ 1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.38 แสดงค่าระดับความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟด์ motor3a.acc (อาการที่ 1) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

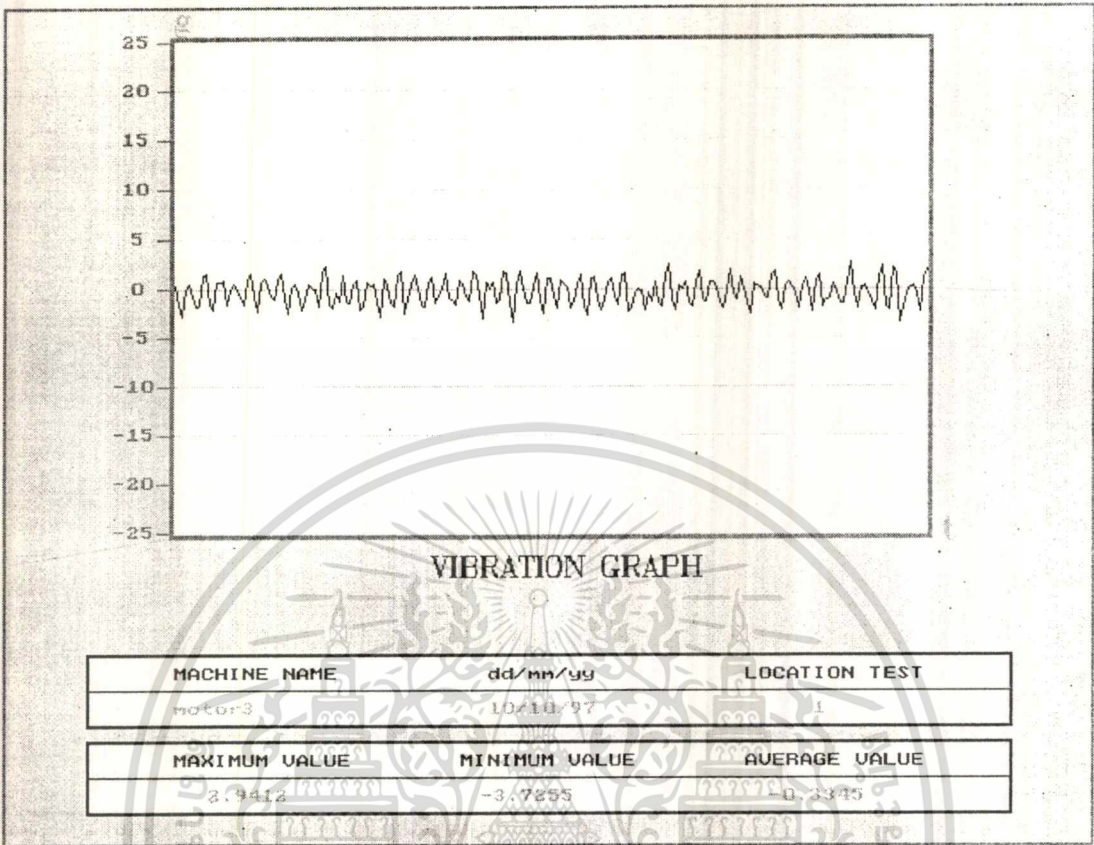


รูปที่ 5.39 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1)

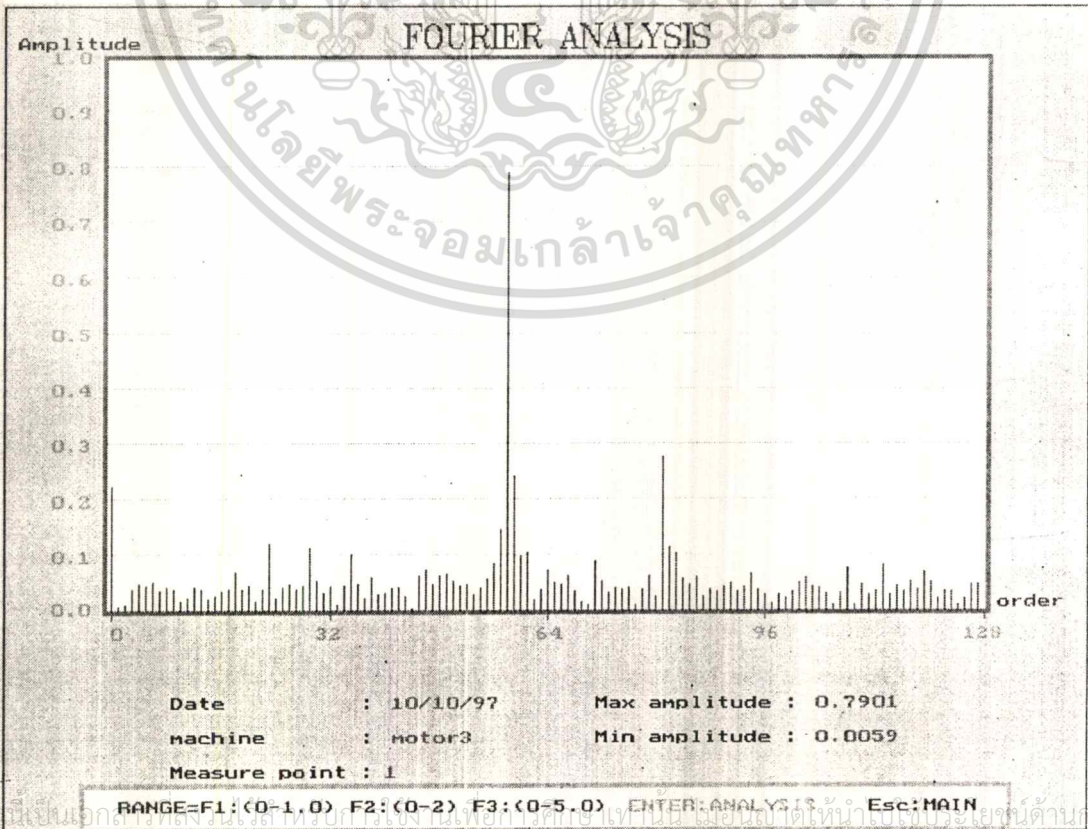


รูปที่ 5.40 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกนในส่วนของเบร็ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3a.acc (อาการที่ 1)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

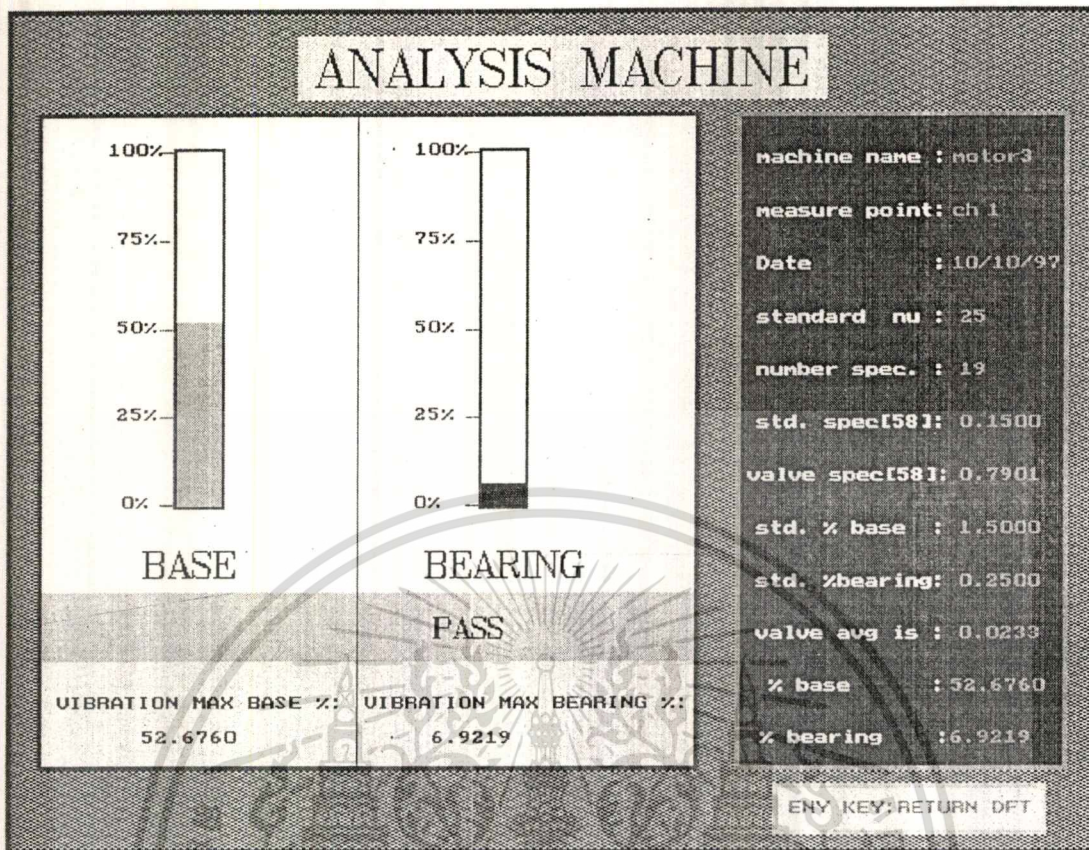
กรณีฐานยึดหลวมอาการที่ 2



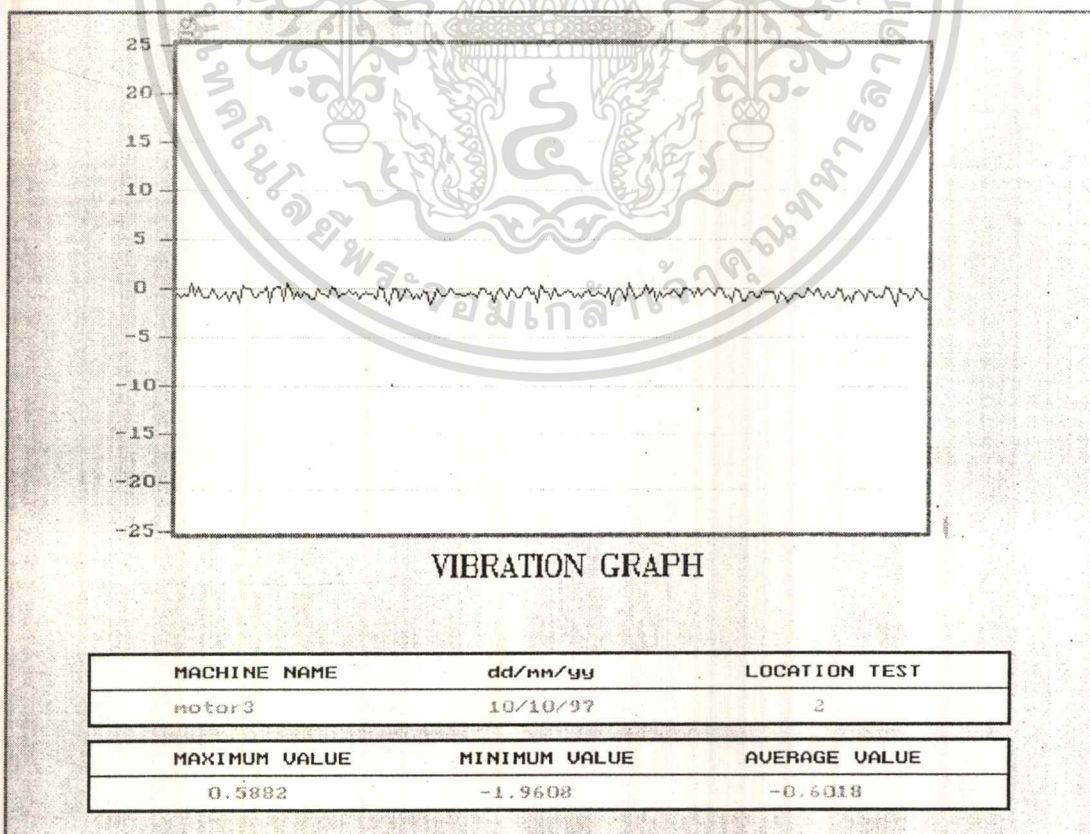
รูปที่ 5.41 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)



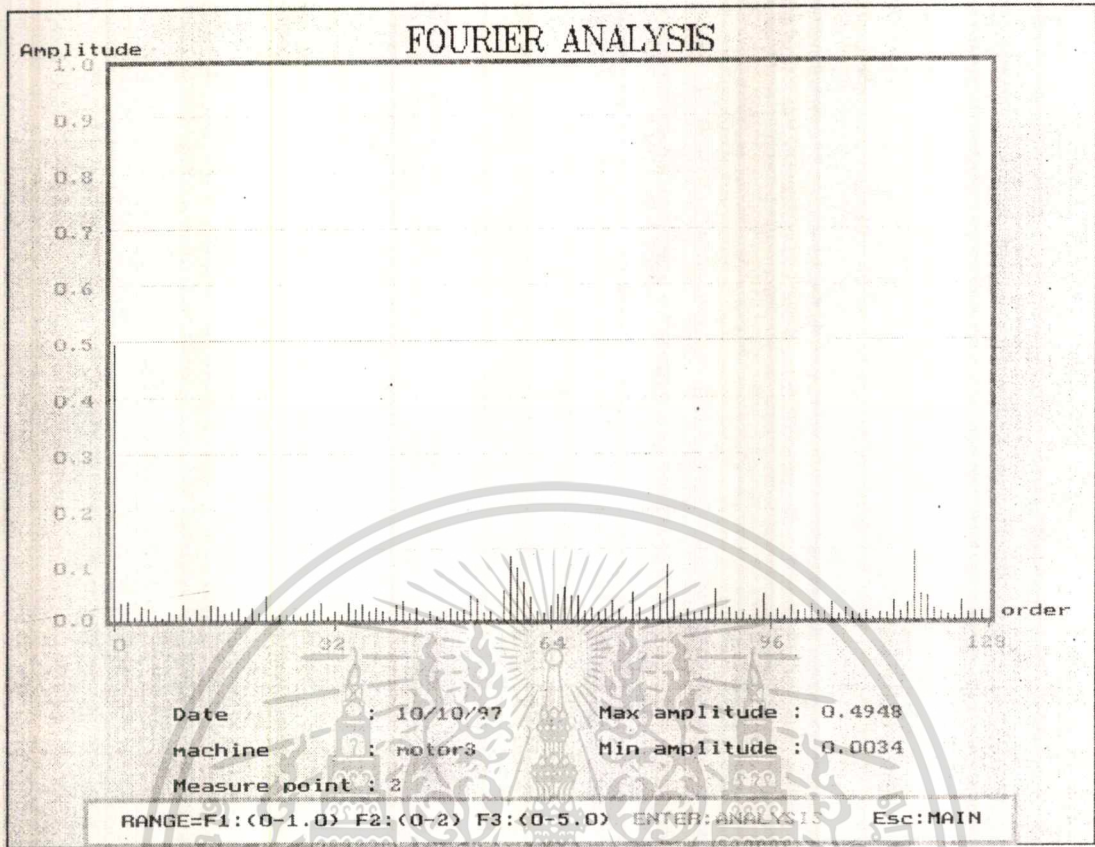
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่บันทึกการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานและใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการวินิจฉัยหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและหาแนวทางแก้ไข
รูปที่ 5.42 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)



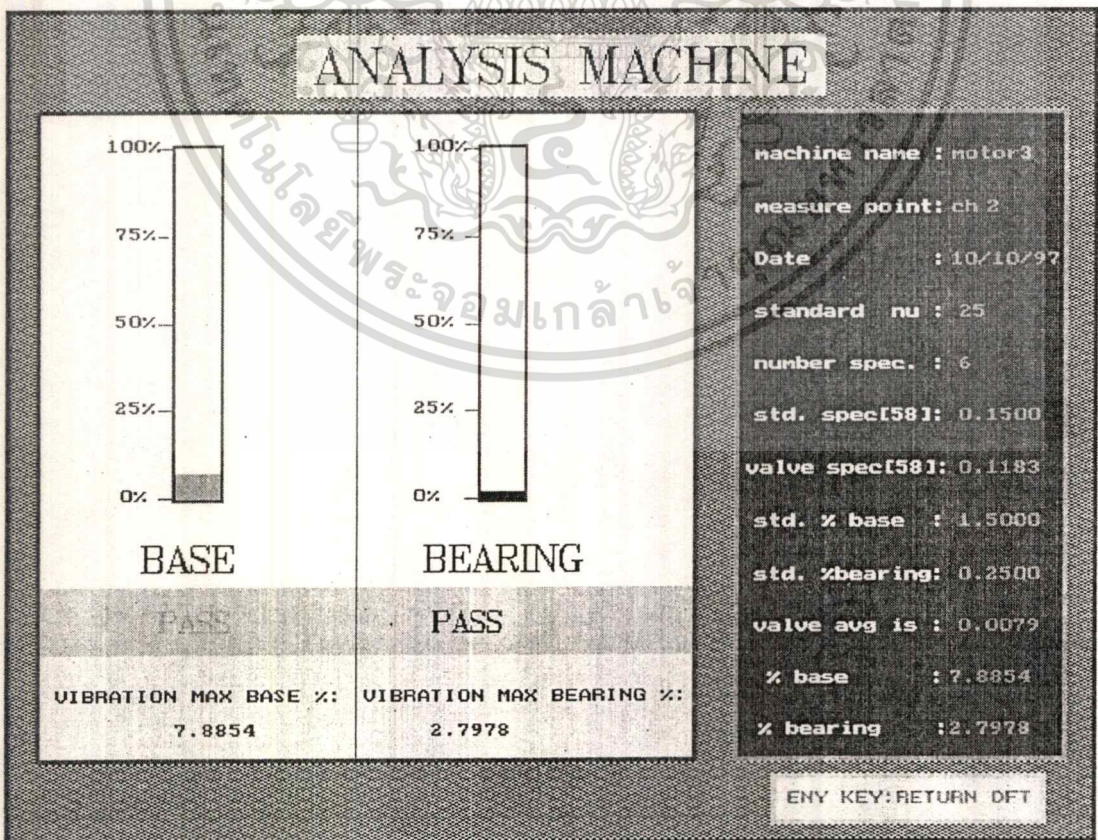
รูปที่ 5.43 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริงและฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)



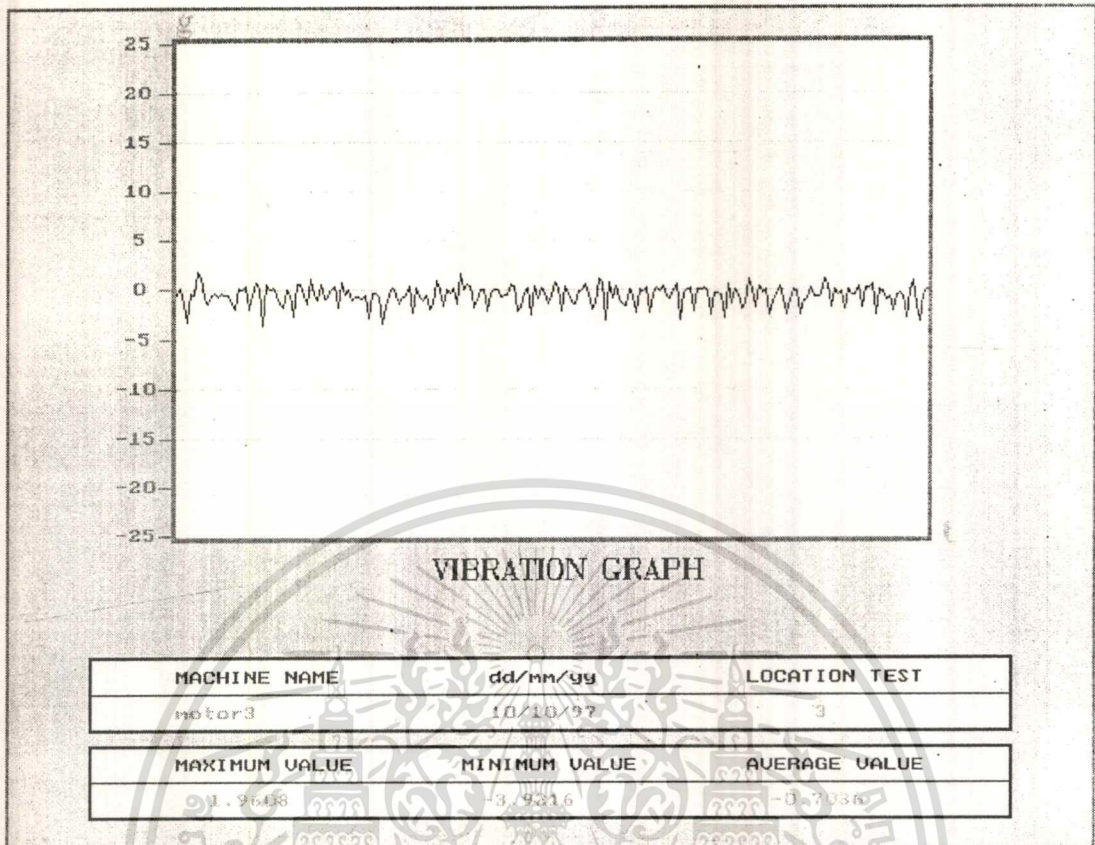
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



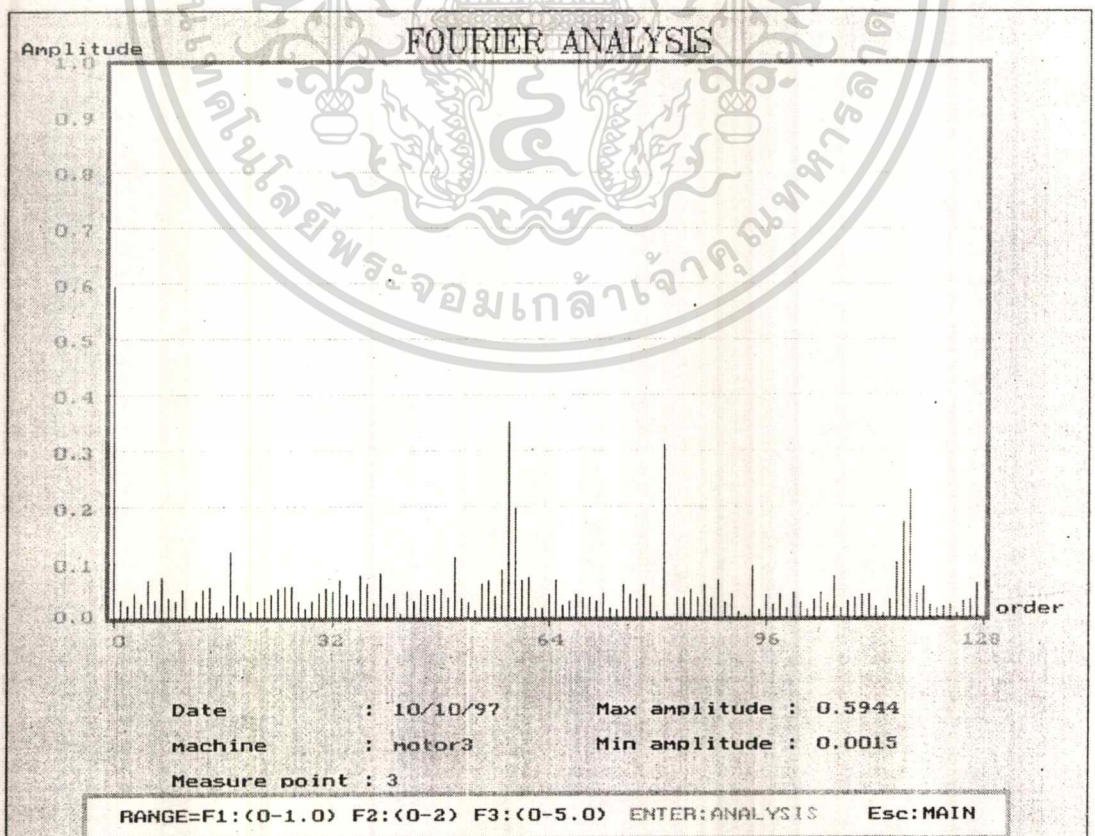
รูปที่ 5.45 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมของแกน Y ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.46 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน Y ในส่วนของขอบเบร็งและฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2) ไม่ควรแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

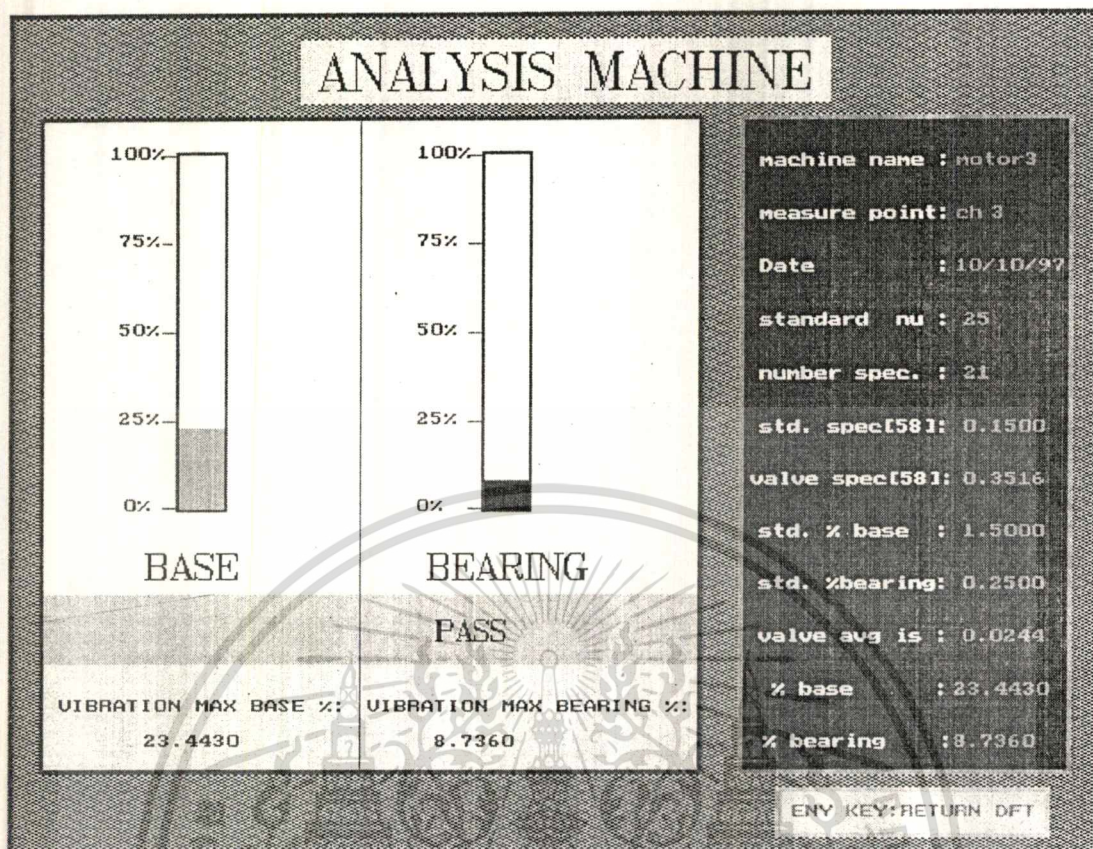


รูปที่ 5.47 แสดงค่าระดับความถี่ของแกน Z ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)

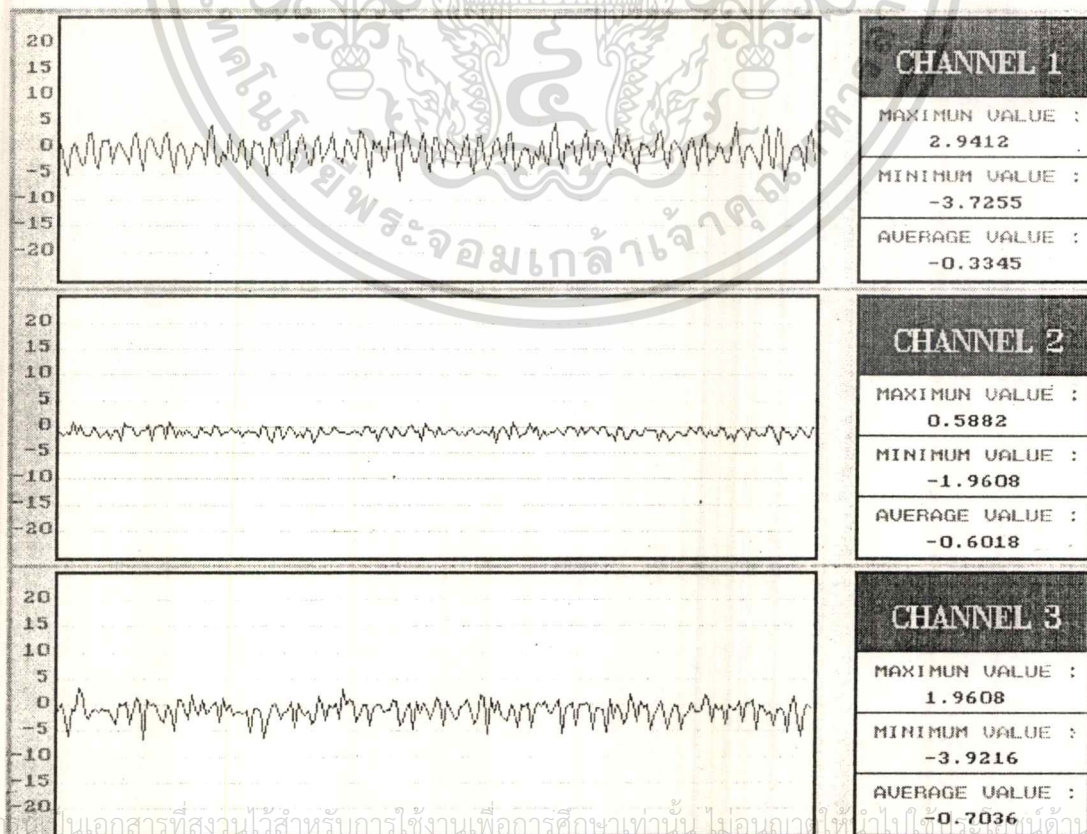


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.48 แสดงค่าระดับความถี่ของแกน Z ในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน Z ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2) ถ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



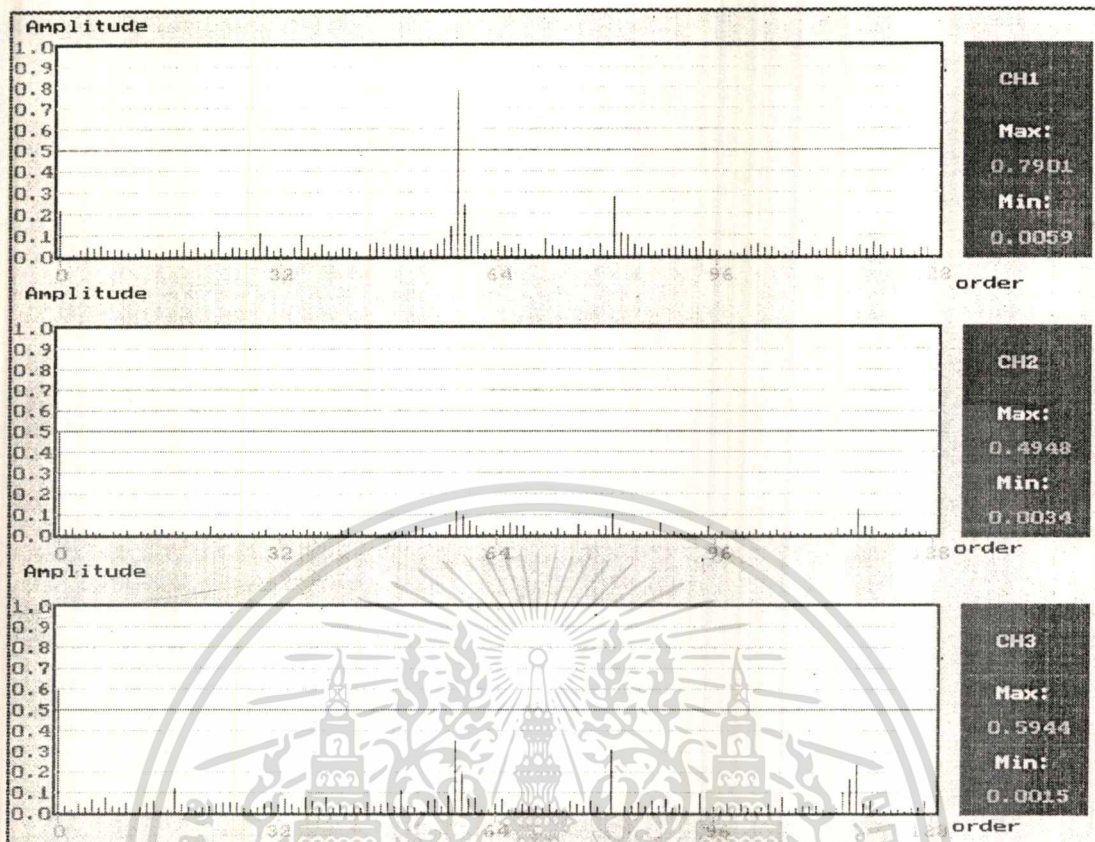
รูปที่ 5.49 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน Z ในส่วนของเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)



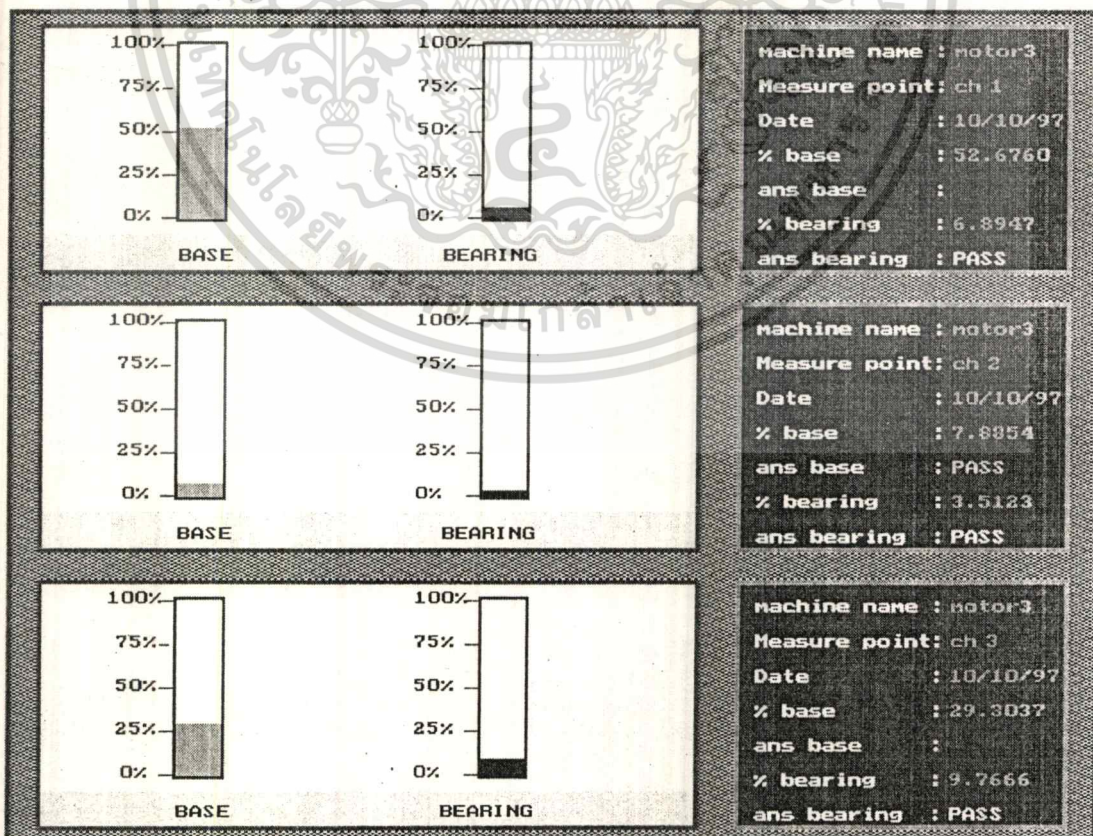
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในการค้า

รูปที่ 5.50 แสดงค่าระดับความถี่อิสระของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกพิมพ์โดยกรมเทคโนโลยี และห้องอ้างอิงเชิงเอกสารทุกแห่งที่มีจำหน่าย



รูปที่ 5.51 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2)



รูปที่ 5.52 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกน ในส่วนขอบแบริ่ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ motor3b.acc(อาการที่ 2) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีผู้ใดฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

การทดลองที่ 4

จุดประสงค์

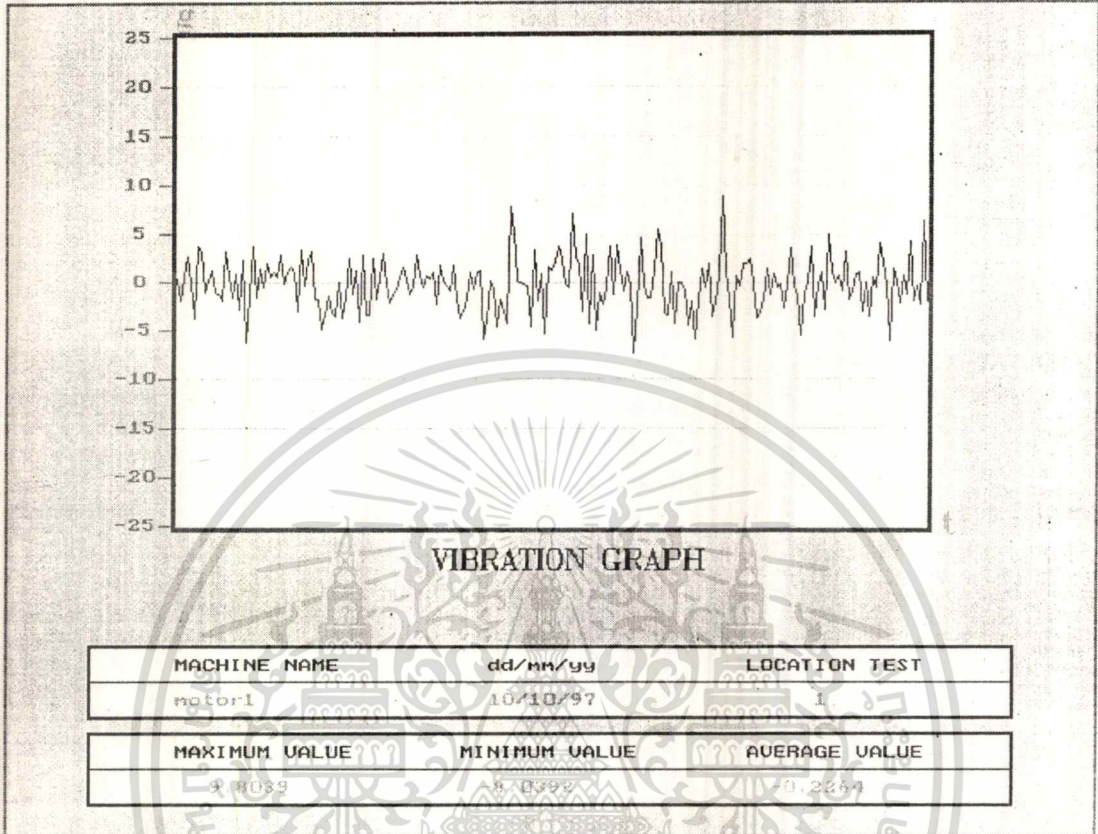
เพื่อแสดงให้เห็นระดับความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะเบร็หรือตลับลูกปืนชำรุดในหลาย ๆ อาการ โดยการทดลองนี้จะยกตัวอย่างมา 5 อาการ

ขั้นตอนการทดลอง

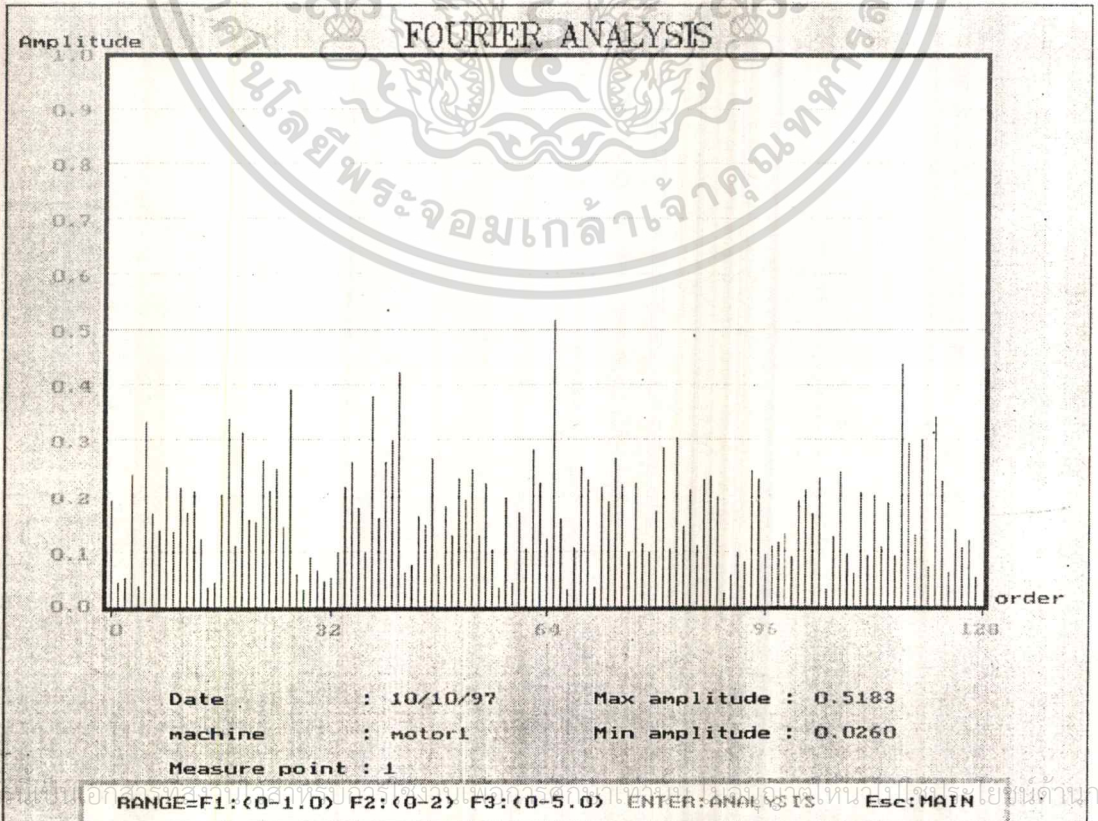
1. เตรียมมอเตอร์ที่มีการชำรุดของเบร็หรือตลับลูกปืนที่จะทำการทดลอง motor 4
2. ติดตั้ง Piezo BEAM เข้ากับมอเตอร์ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ตายตัว
3. เลือกเมนูทดสอบมาที่ Faurier Analysis
4. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ 1 Channel (One Test) โดยเลือกแกนที่จะวัดทีละแกน (แกน X, แกน Y, และแกน Z)
5. ทำการวัดและสังเกตผลการทดลอง
6. ออกจากเมนูทดสอบและทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3-5 จนครบทุกแกนซึ่งค่าที่ได้ทั้งหมดจะเป็นค่าของมอเตอร์ที่มีเบร็หรือตลับลูกปืนชำรุด อาการที่ 1
7. เลือกเมนูทดสอบแบบทีละ 3 Channel (Three Test) โดยจะวัดรวมกันทั้ง 3 แกน (แกน X, แกน Y, และแกน Z)
8. ทำการวัดและสังเกตผลการทดลอง
9. ออกจากเมนูทดสอบและทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3-8 จนครบทุกแกนซึ่งค่าที่ได้ทั้งหมดจะเป็นค่าของมอเตอร์ที่มีเบร็หรือตลับลูกปืนชำรุด อาการที่ 1
10. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3-9 อีก 4 ครั้ง

ผลการทดลองที่ 4

กรณีเบี่ยงหรือคล้อยกปืนชำรุด อาการที่ 1

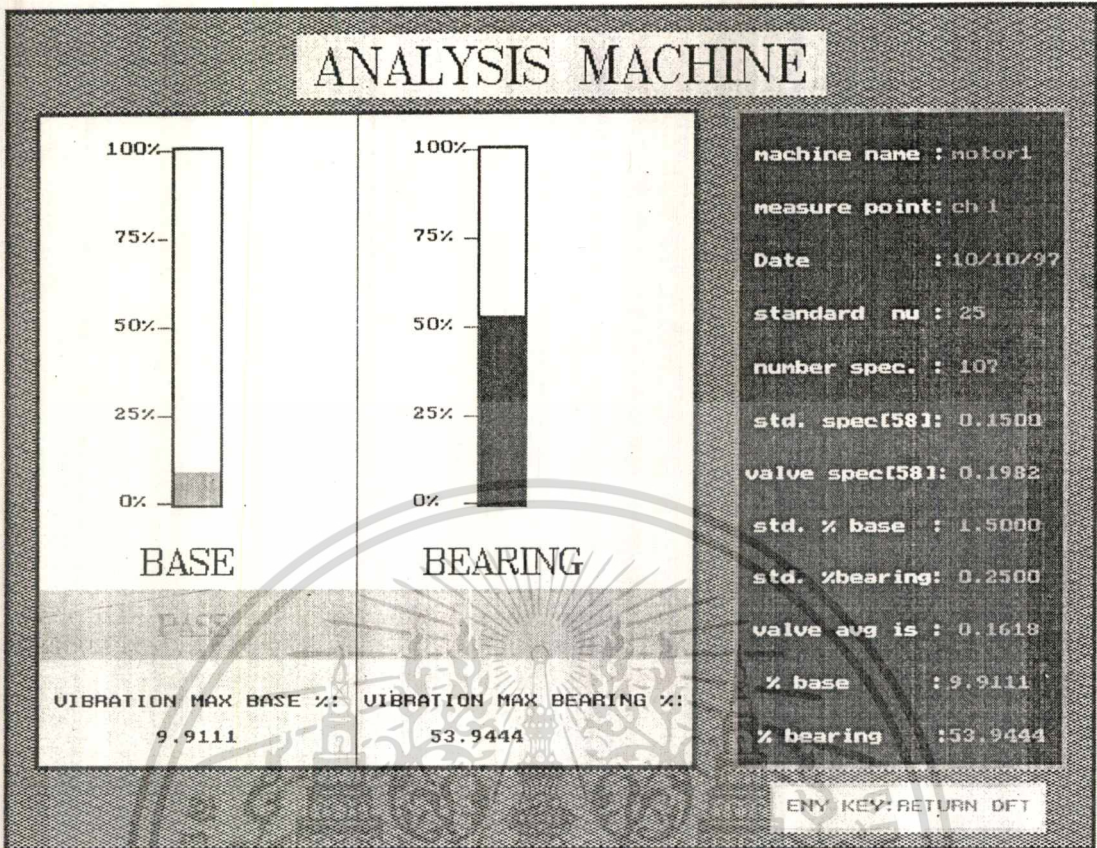


รูปที่ 5.53 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing1.acc(อาการที่ 1)

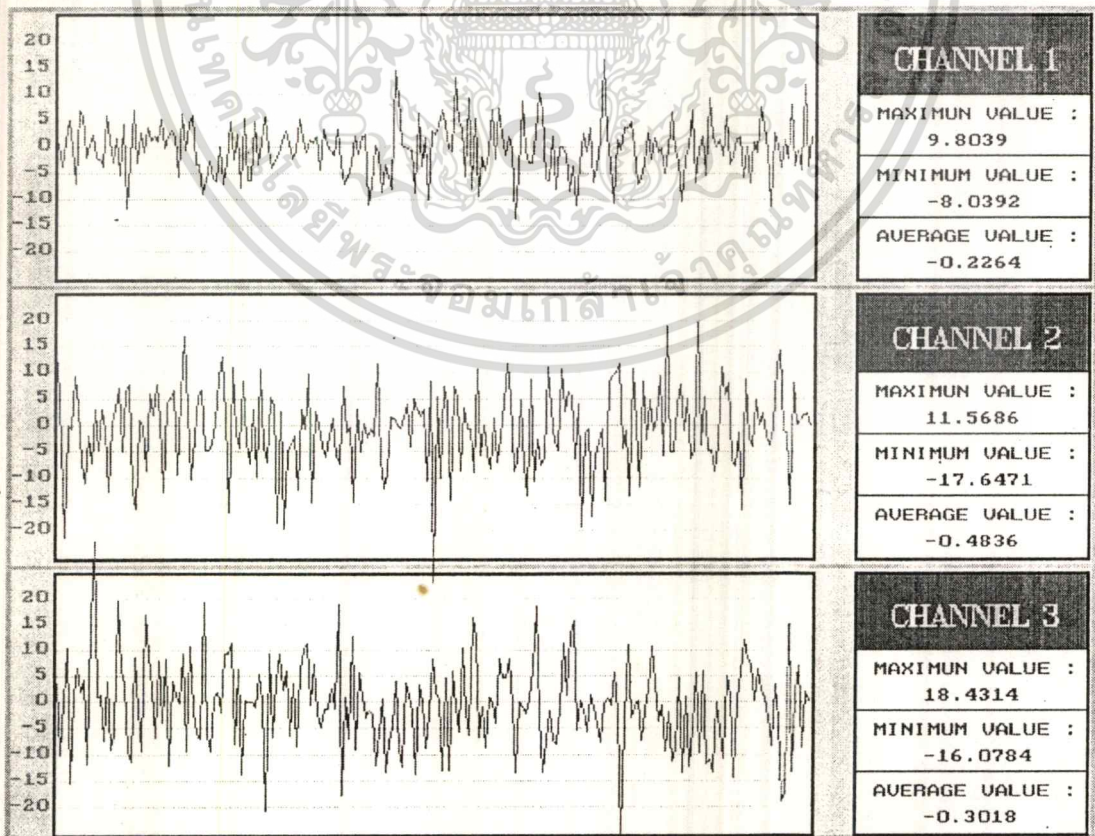


เอกสารนี้เป็นเอกสารภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่หรือแจกจ่ายแก่บุคคลภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายวิชาการ

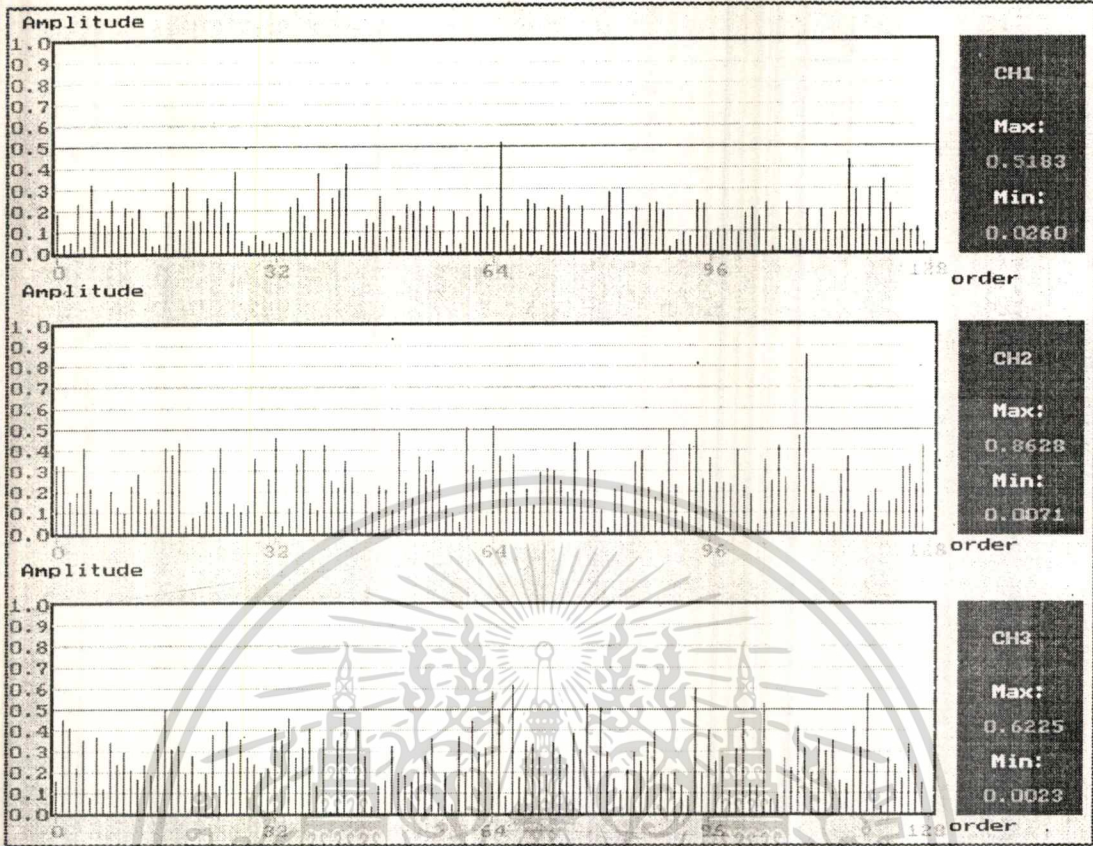
รูปที่ 5.54 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing1.acc(อาการที่ 1)



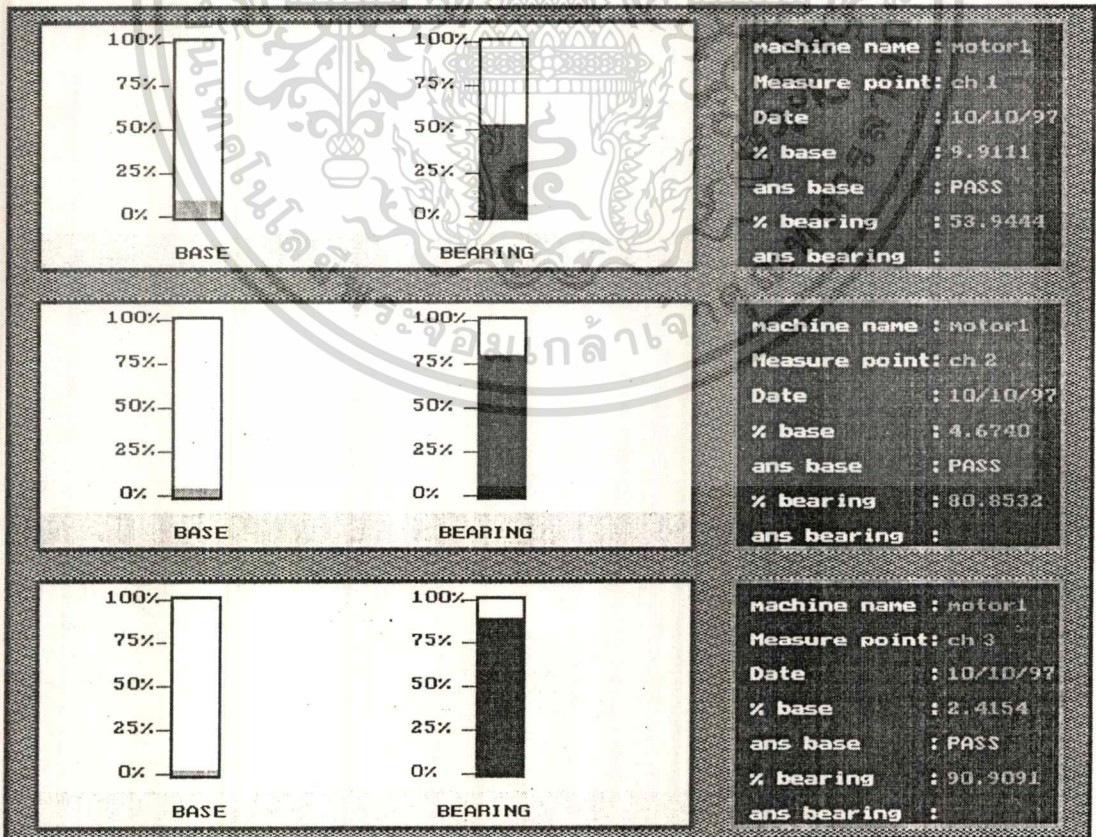
รูปที่ 5.55 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟต์ bearing1.acc(อาการที่ 1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.56 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟต์ bearing1.acc(อาการที่ 1) ด้านการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

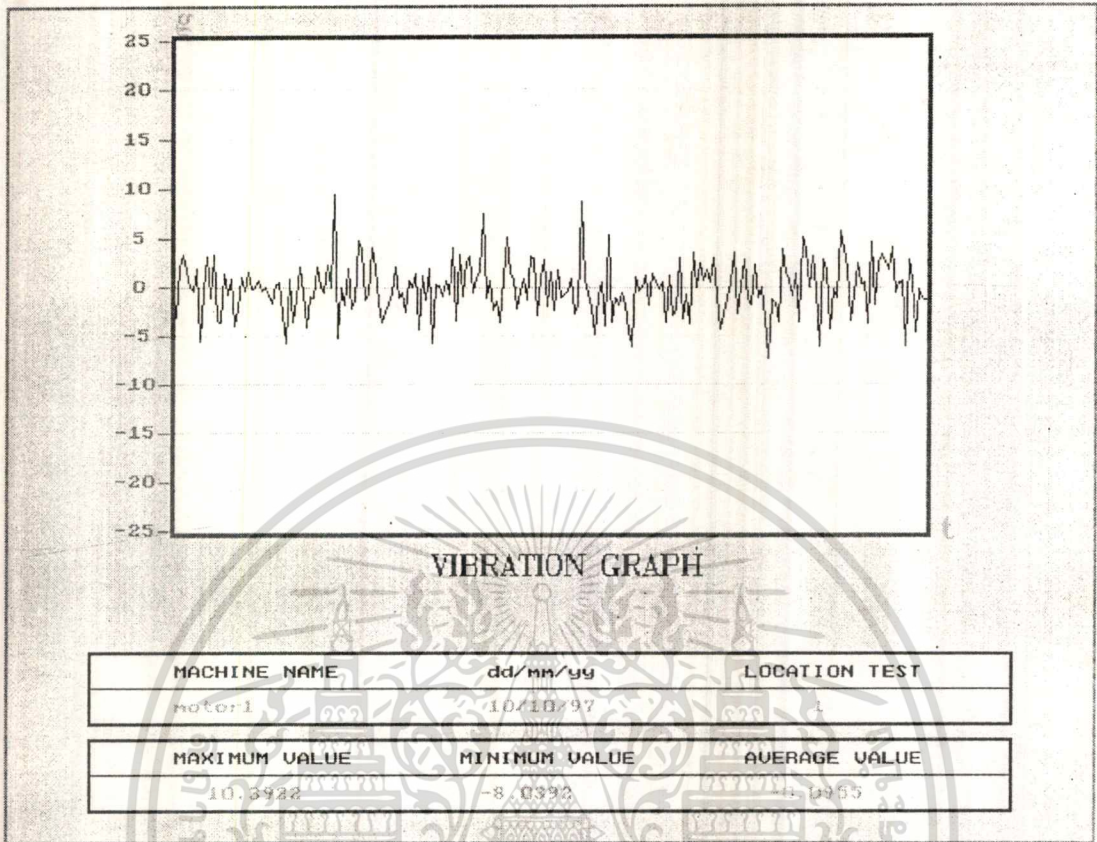


รูปที่ 5.57 แสดงค่าระดับความผันสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกนซึ่งเป็นของไฟล์ bearing1.acc (อาการที่ 1)

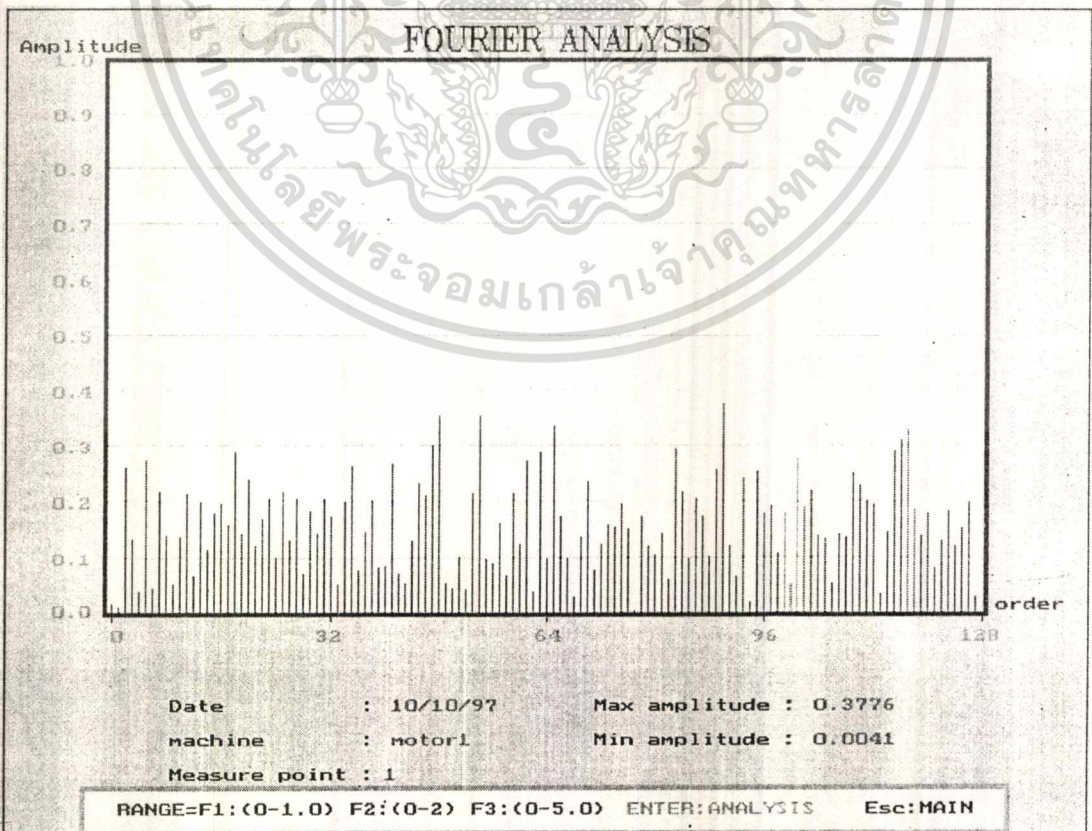


รูปที่ 5.58 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกนในส่วนของเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ เอกสาร bearing1.acc(อาการที่ 1) นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเบร้งหรือตลับลูกปืนชำรุดอาการที่ 2

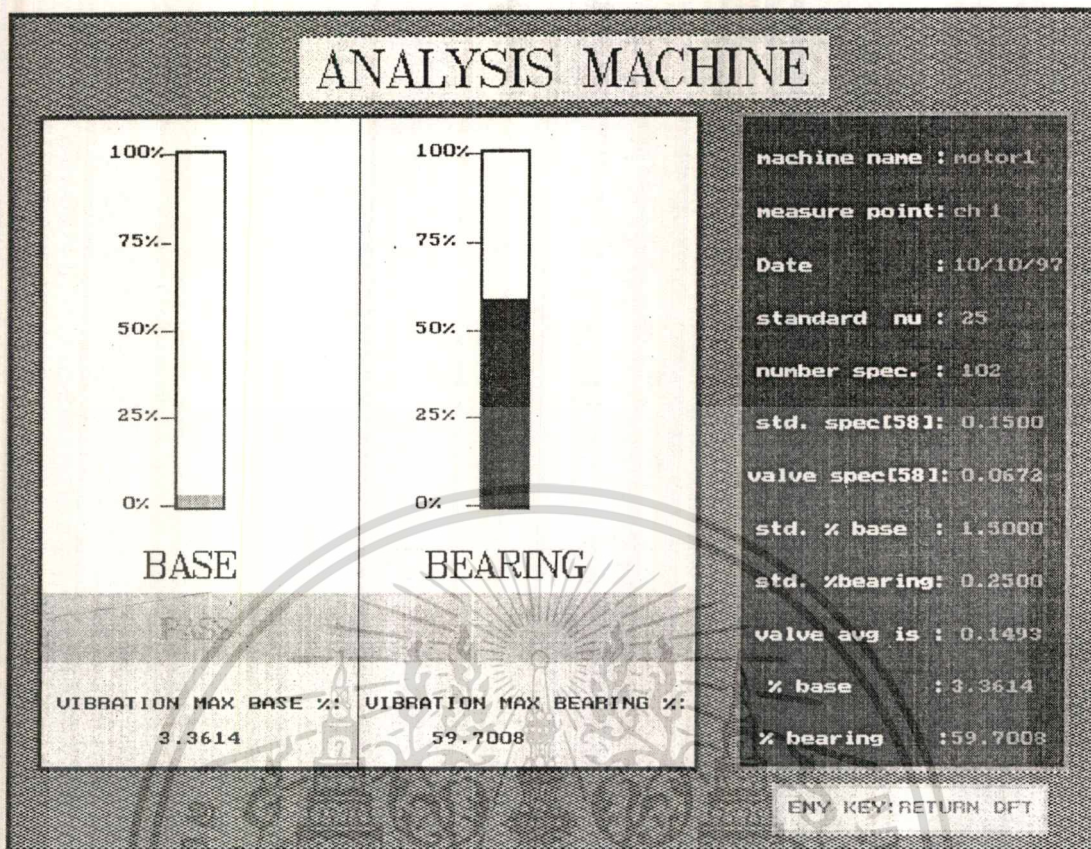


รูปที่ 5.59 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing2.acc (อาการที่ 2)



เอกสารนี้เป็รูปที่ 5.60 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing2.acc (อาการที่ 2)

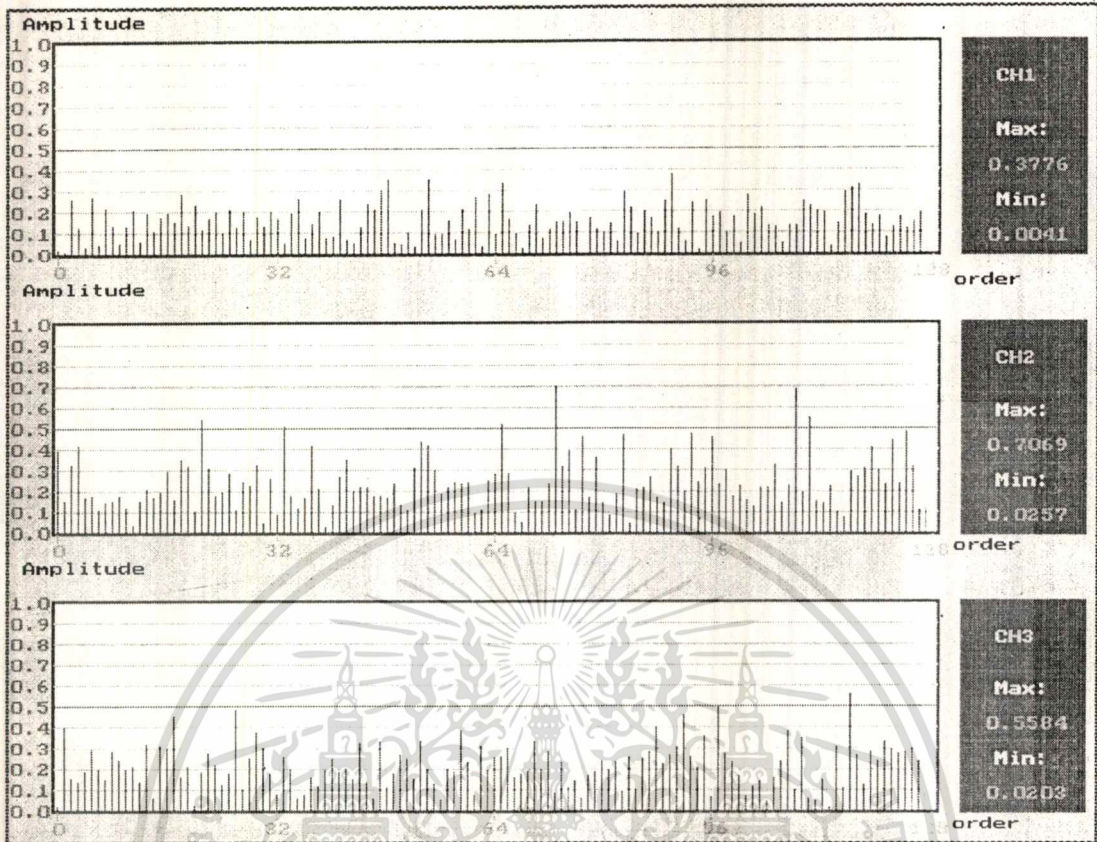
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



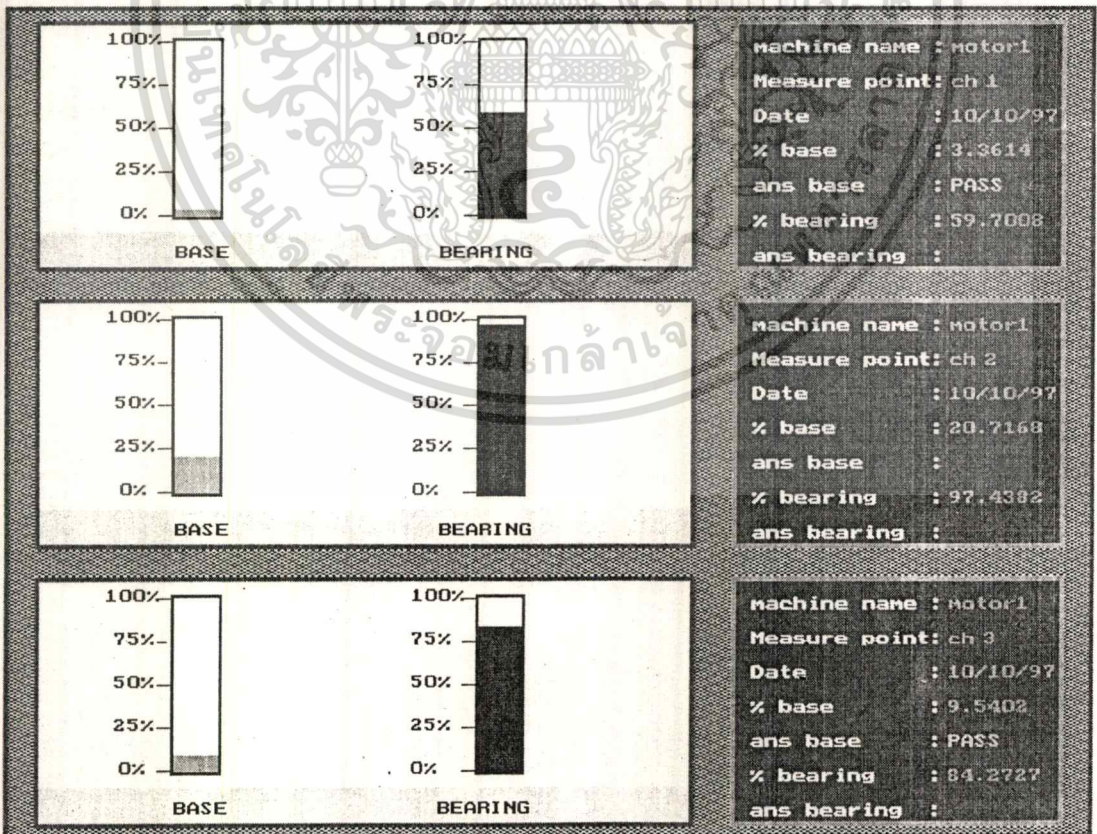
รูปที่ 5.61 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริง และฐานยึดซึ่งเป็นของไฟด์ bearing2.acc (อาการที่ 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.62 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของทั้ง 3 แกนซึ่งเป็นของไฟด์ bearing2.acc (อาการที่ 2) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



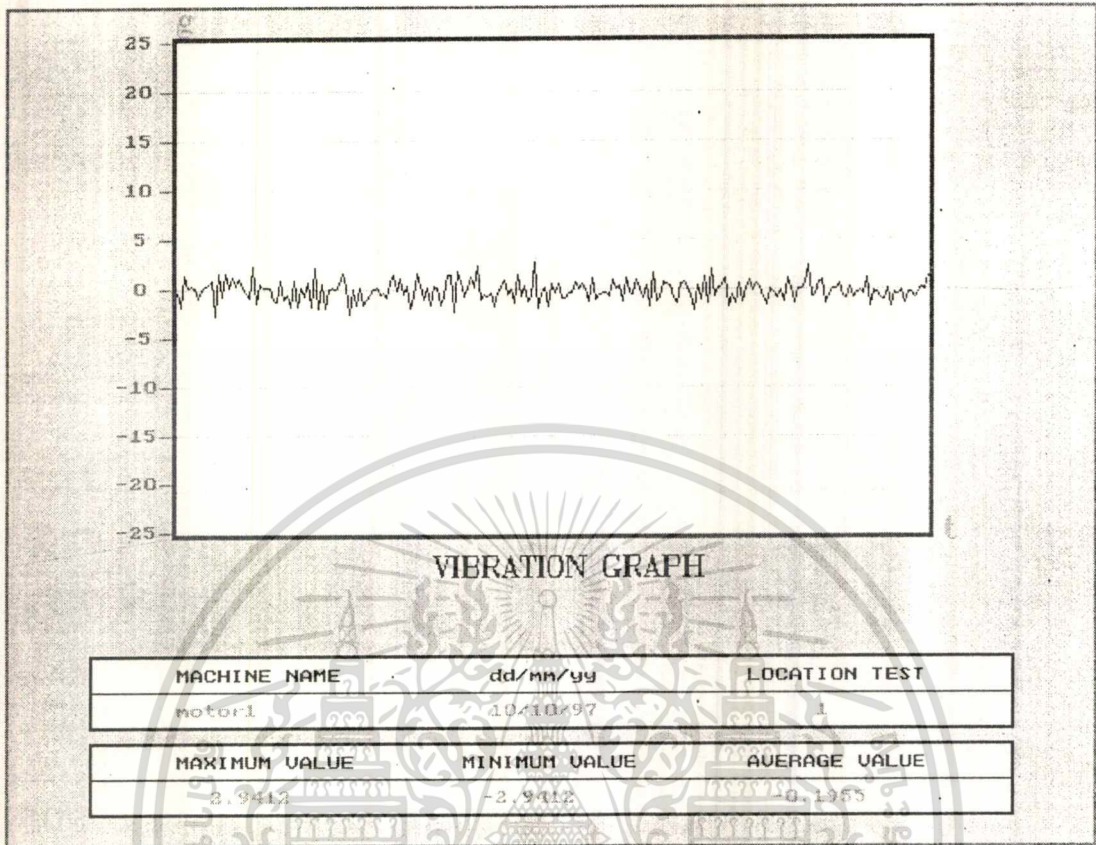
รูปที่ 5.63 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing2.acc (อาการที่ 2)



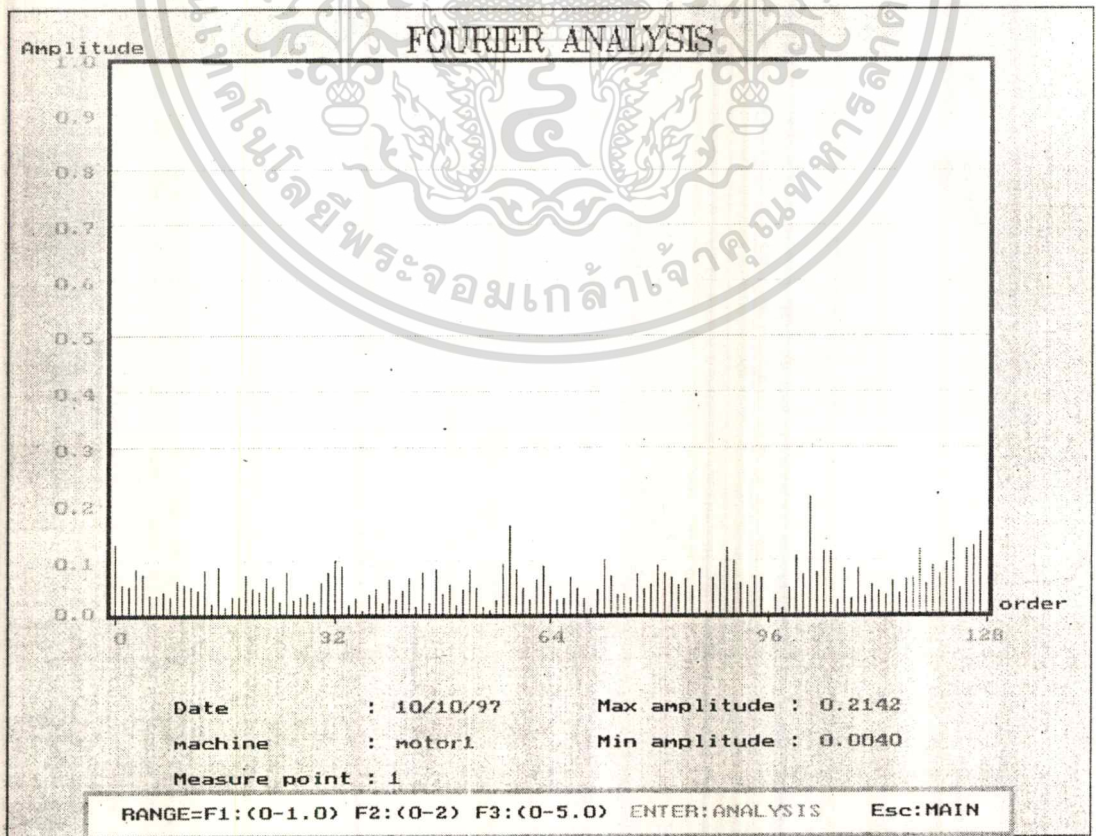
รูปที่ 5.64 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกนในส่วนขอบแบริ่ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์

bearing2.acc (อาการที่ 2)
 เอกสารนี้ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเบร้งหรือตลับลูกปืนชำรุดอาการที่ 3

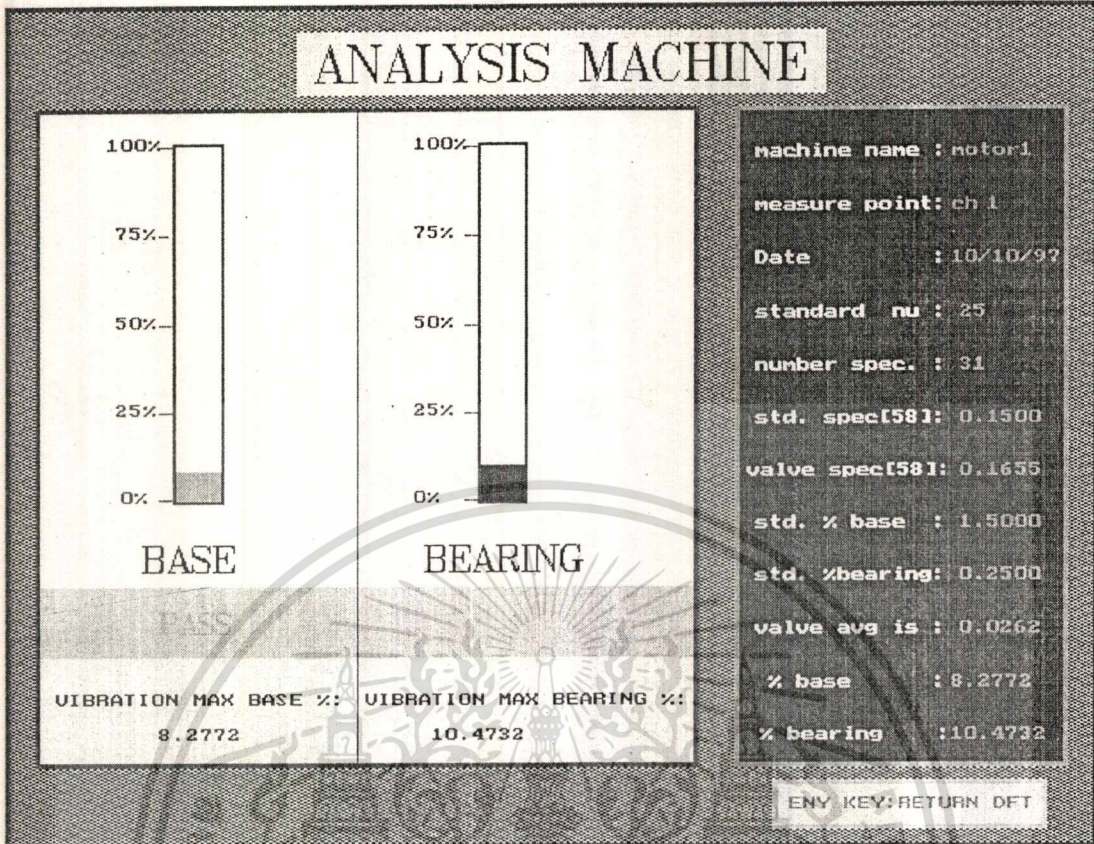


รูปที่ 5.65 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing3.acc (อาการที่ 3)

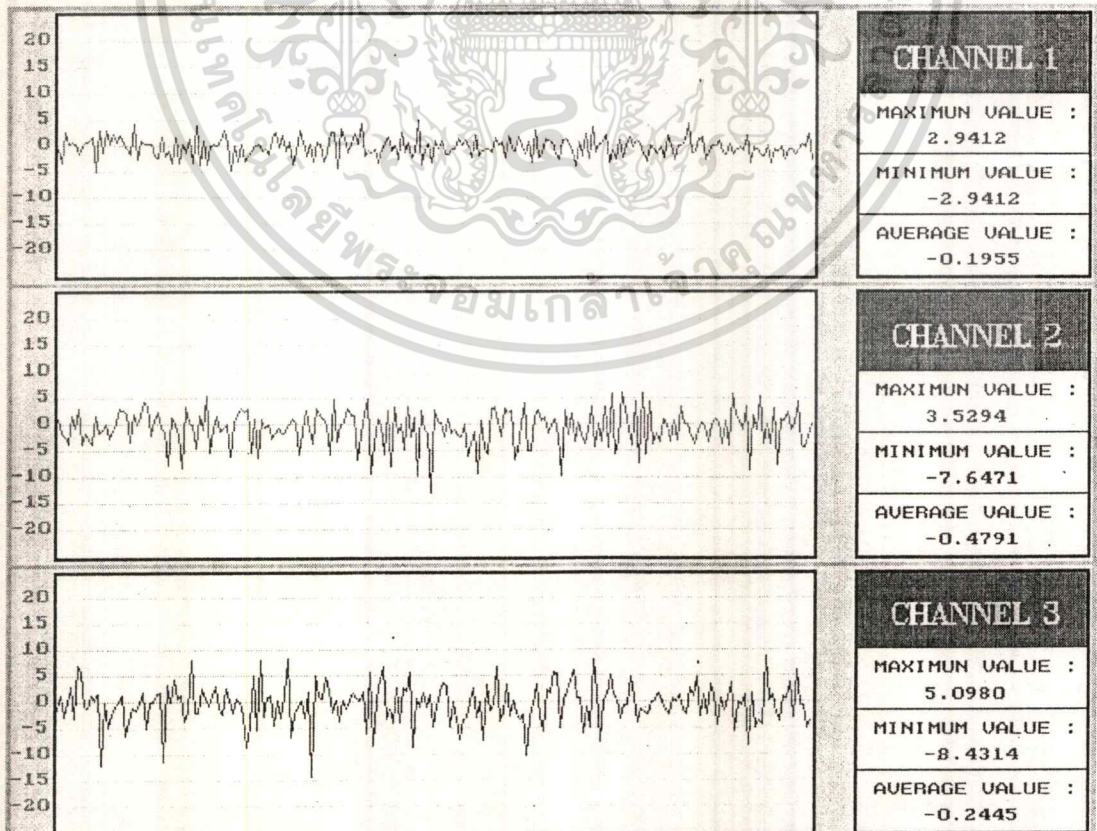


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.66 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing3.acc (อาการที่ 3)

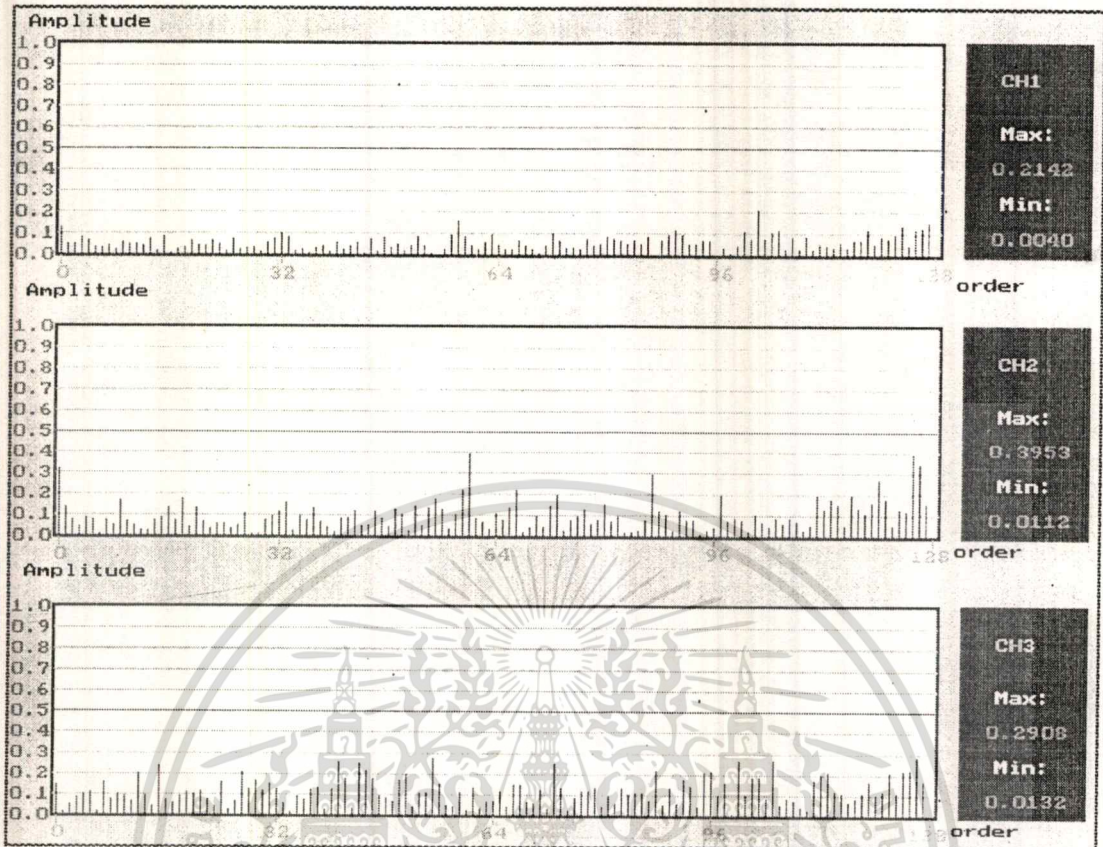
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.67 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบร้ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing3.acc (อาการที่ 3)

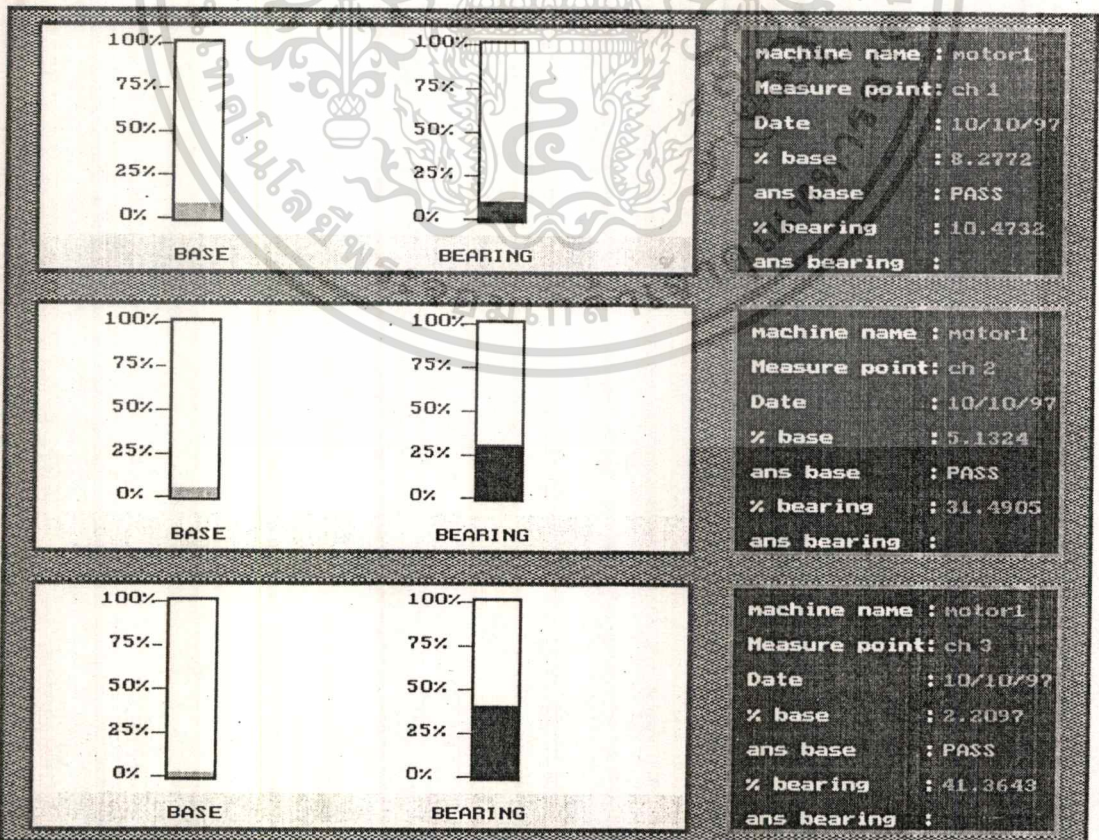


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.68 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของทั้ง 3 แกนซึ่งเป็นของไฟล์ bearing3.acc (อาการที่ 3) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.69 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing3.acc

(อากรที่ 3)

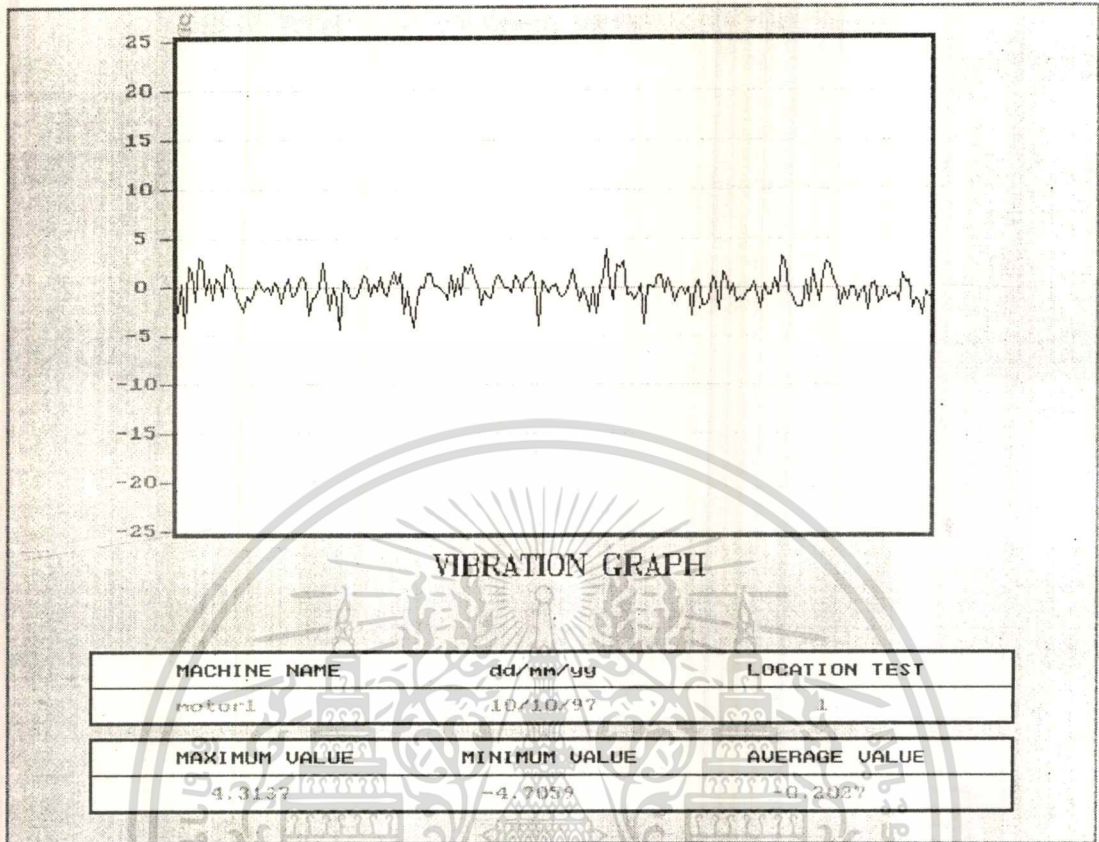


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.70 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกนในส่วนขอบเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์

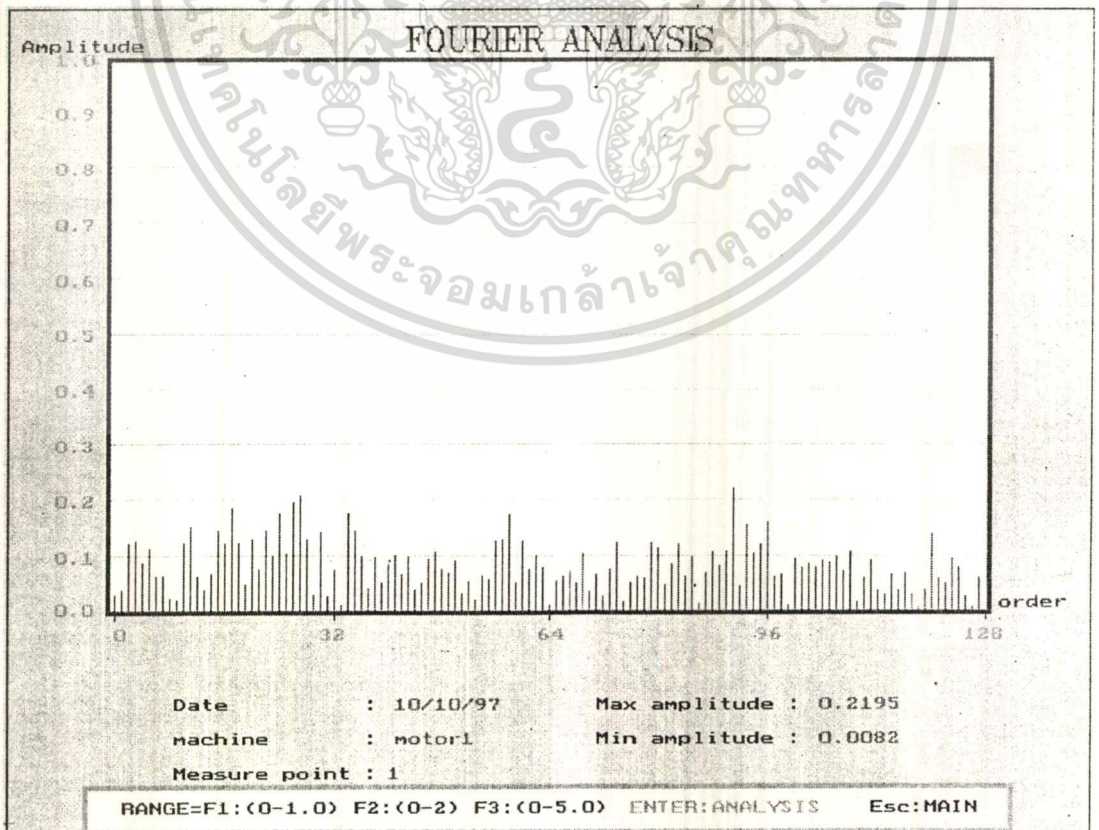
bearing3.acc (อากรที่ 3)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเบี่ยงหรือตลับลูกปืนชำรุดอาการที่ 4

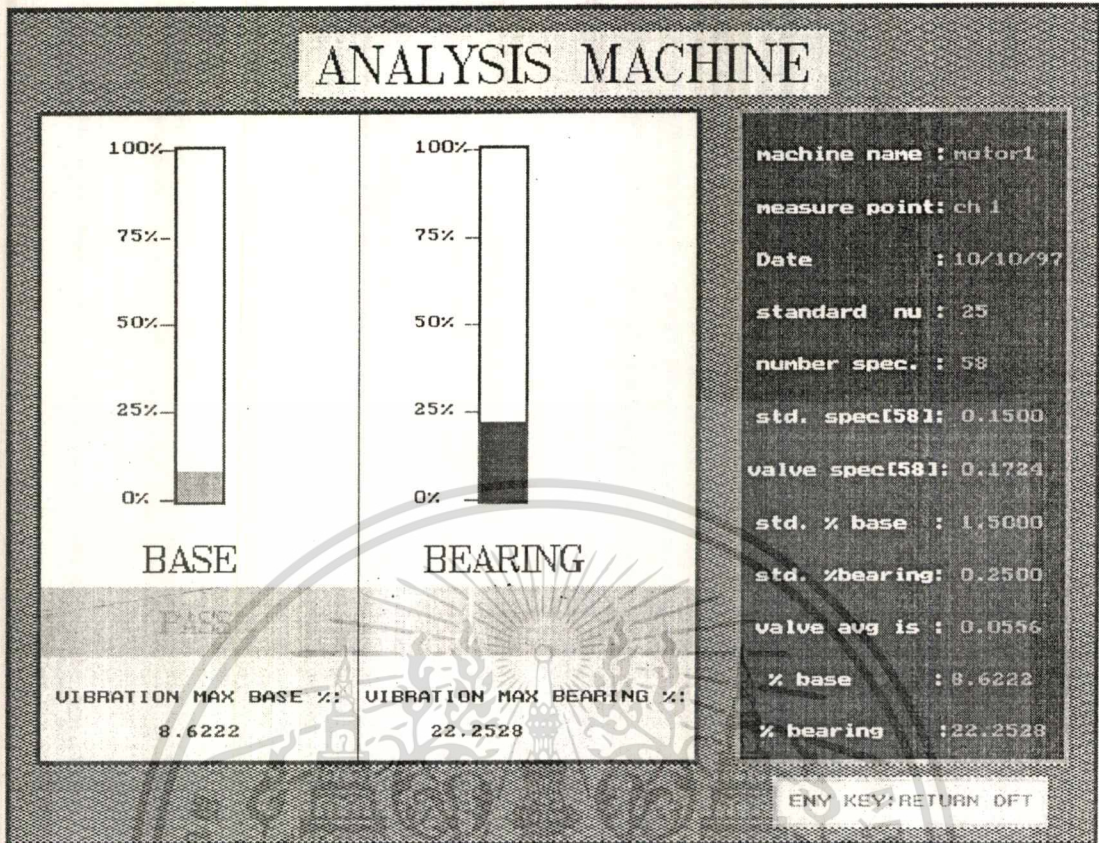


รูปที่ 5.71 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing4.acc (อาการที่ 4)



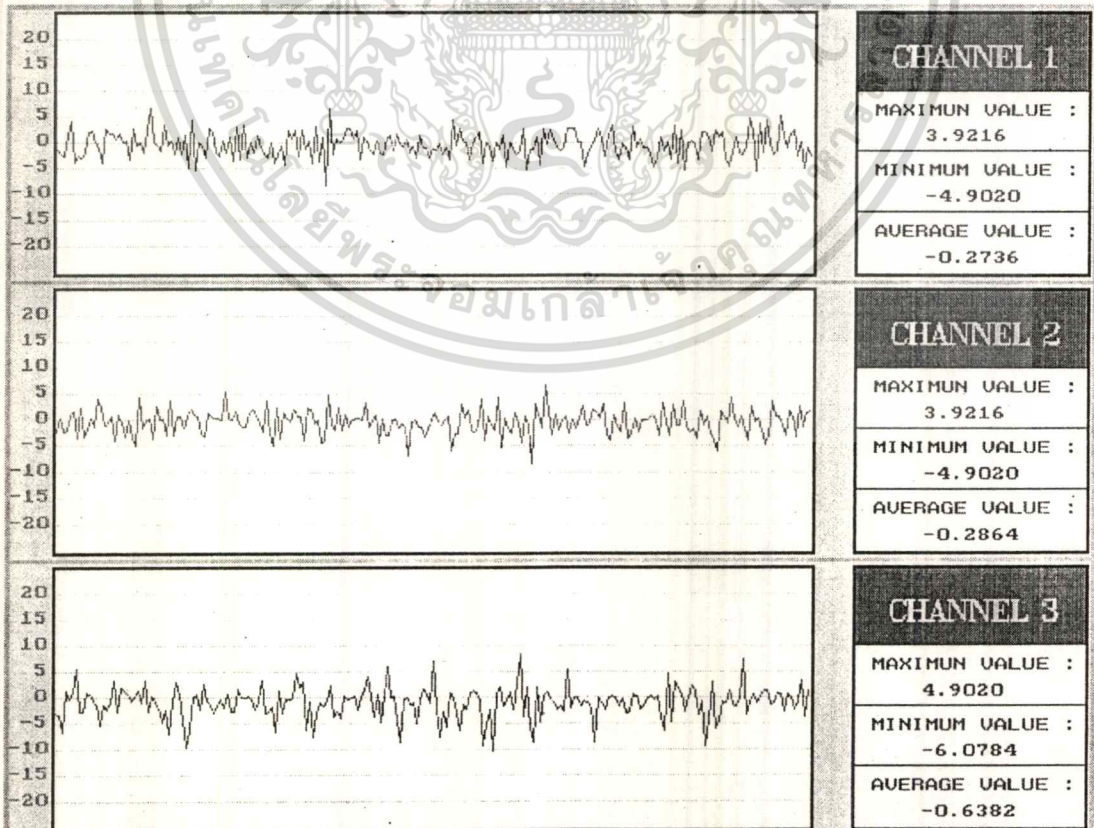
เอกสารนี้เป็รูปที่ 5.72 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing4.acc (อาการที่ 4) ถ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



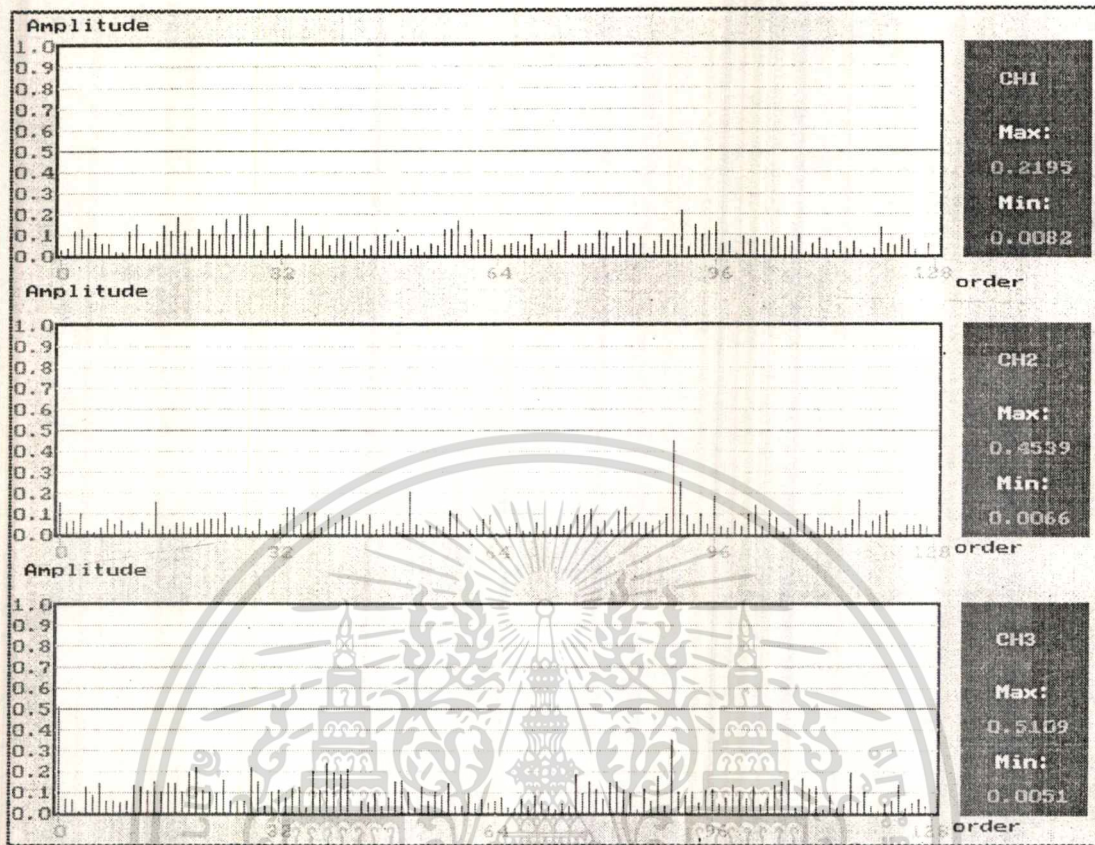
รูปที่ 5.73 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริง และฐานยึดซึ่งเป็นของไฟล์

bearing4.acc (อาการที่ 4)

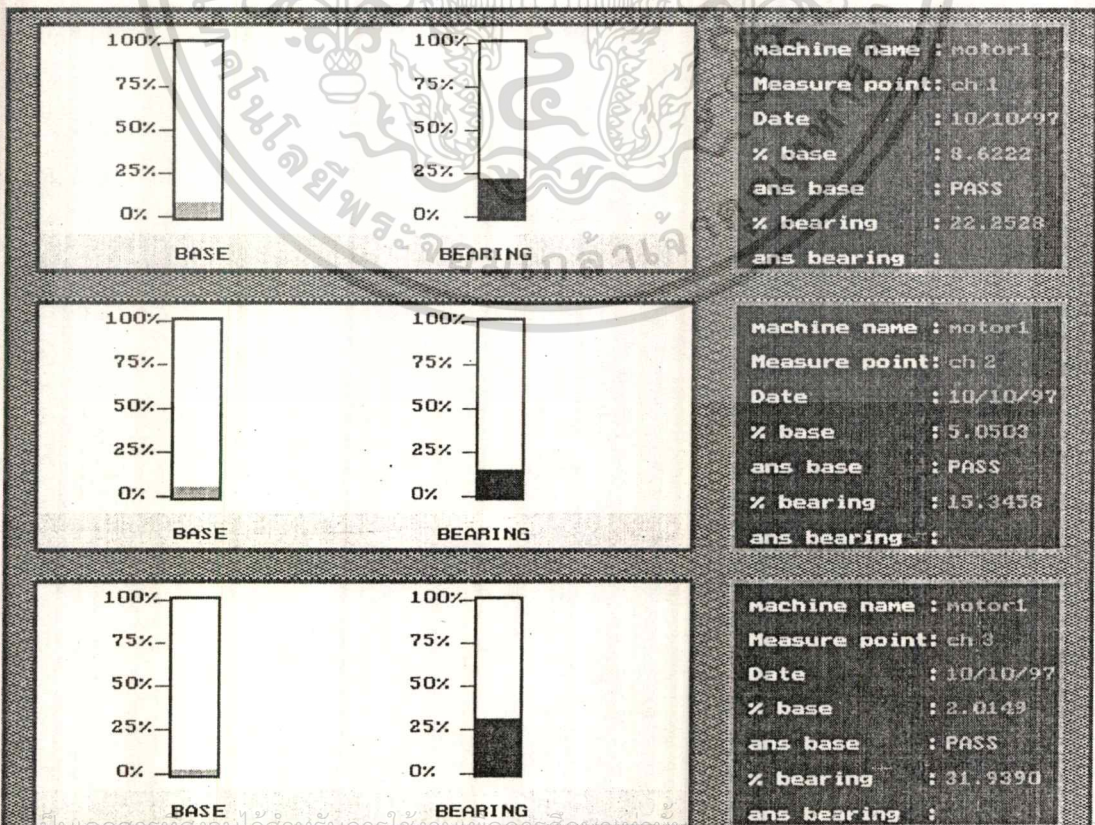


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ไทยแอร์ไลน์ เที่ยวบินที่ 300 ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing4.acc (อาการที่ 4)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.75 แสดงค่าระดับความถี่ในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกนซึ่งเป็นของไฟล์ bearing4.acc (ตารางที่ 4)



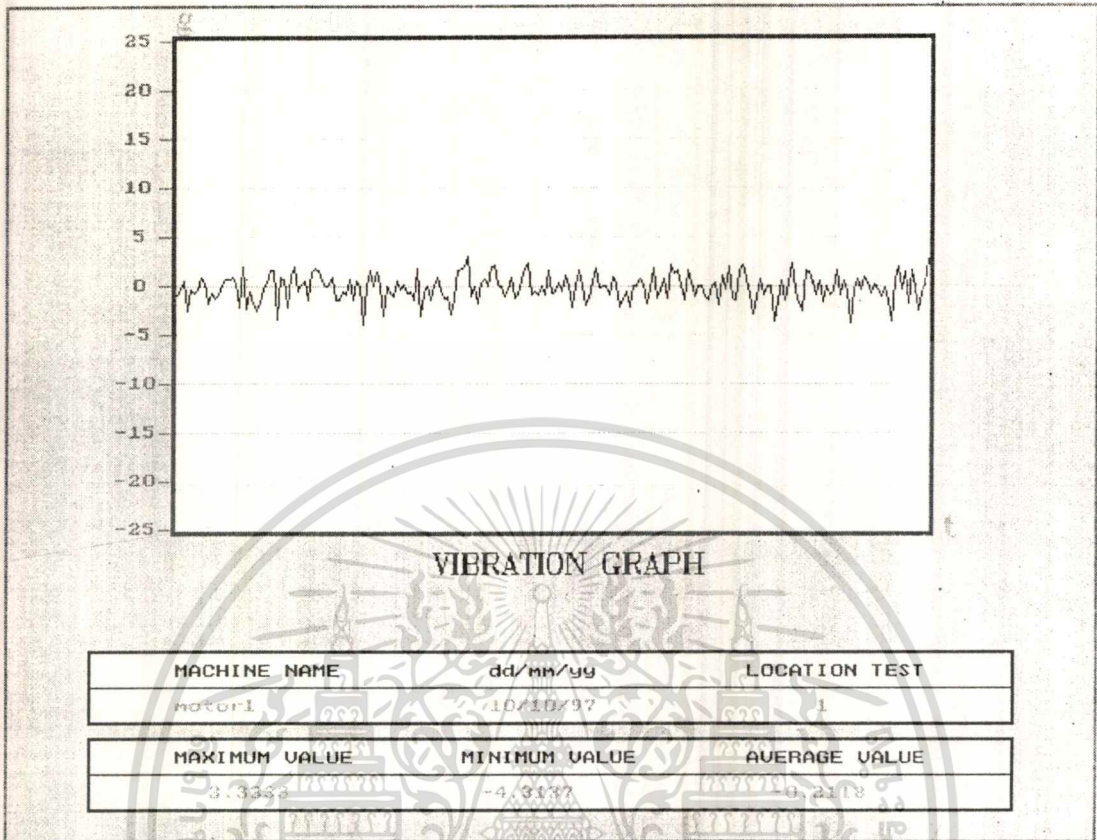
รูปที่ 5.76 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกนในส่วนขอบเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing4.acc (ตารางที่ 4)

เอกสาร

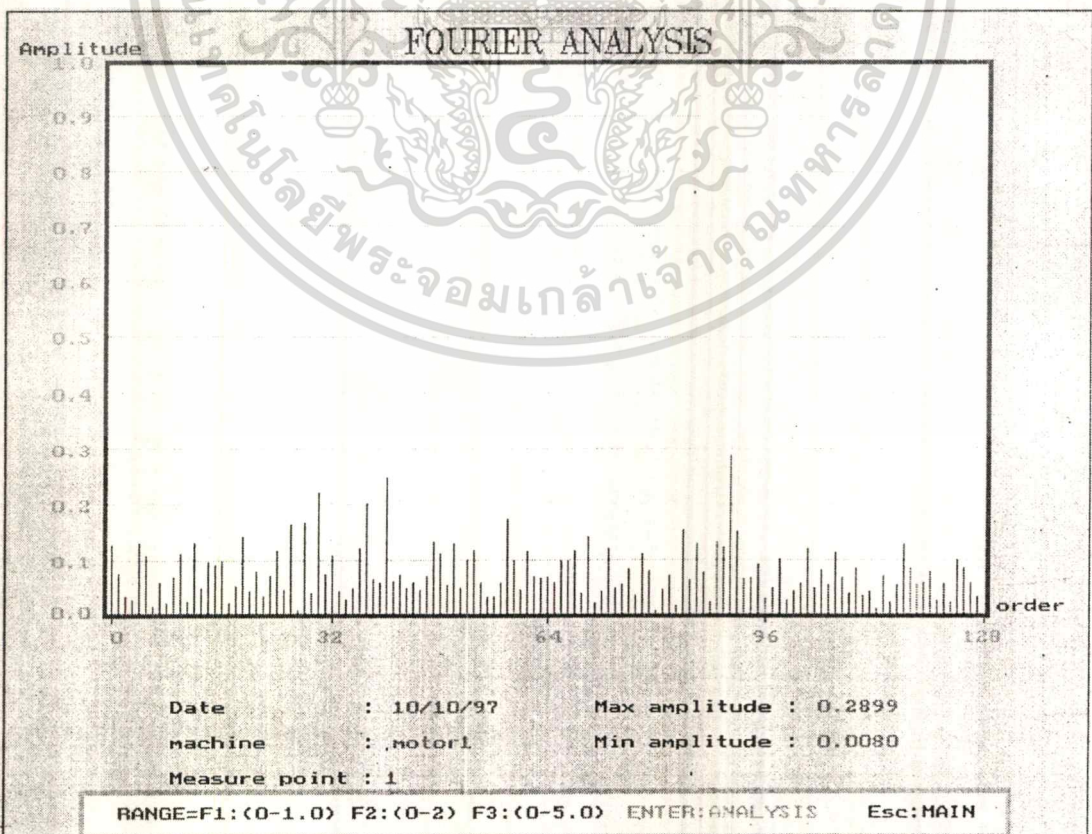
ราคา

ไม่ว่ากรณีใดๆ หักสน อื่นๆ ห้ามมิให้ตัดแบบส่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบ

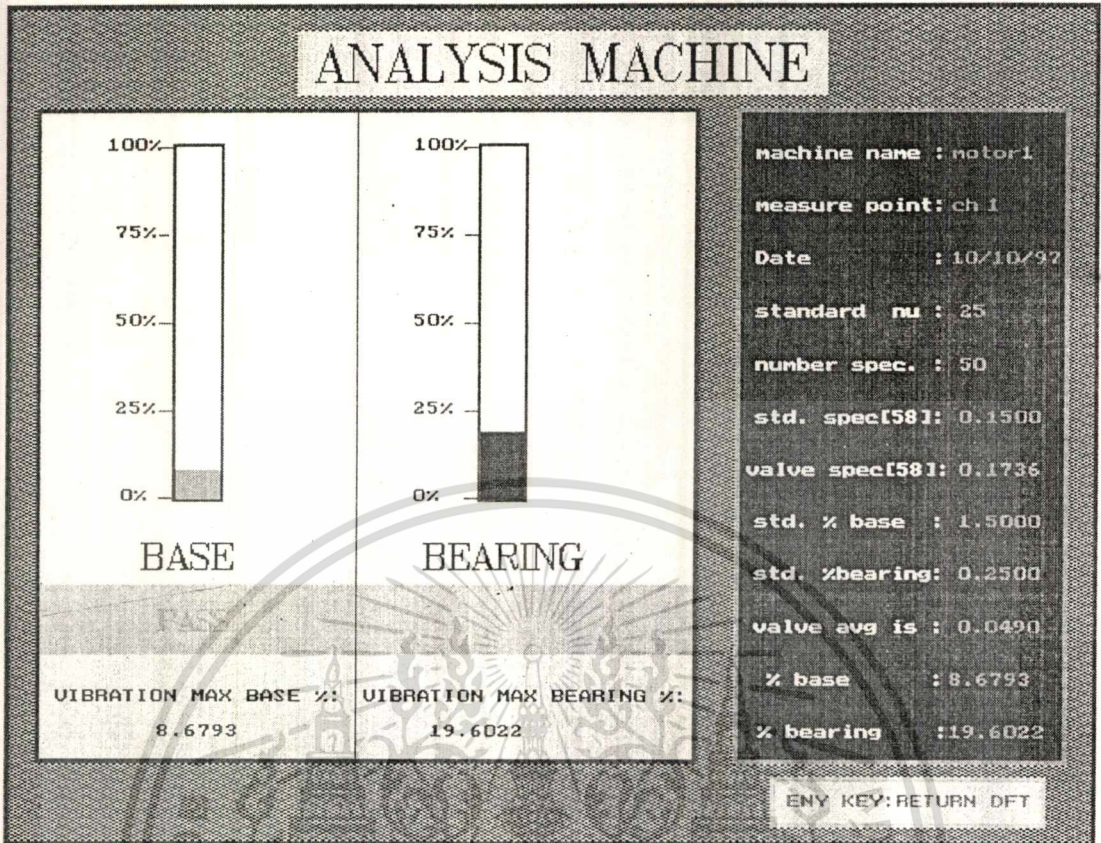
กรณีเบริงหรือคัลด์ูกปืนชำรุดอาการที่ 5



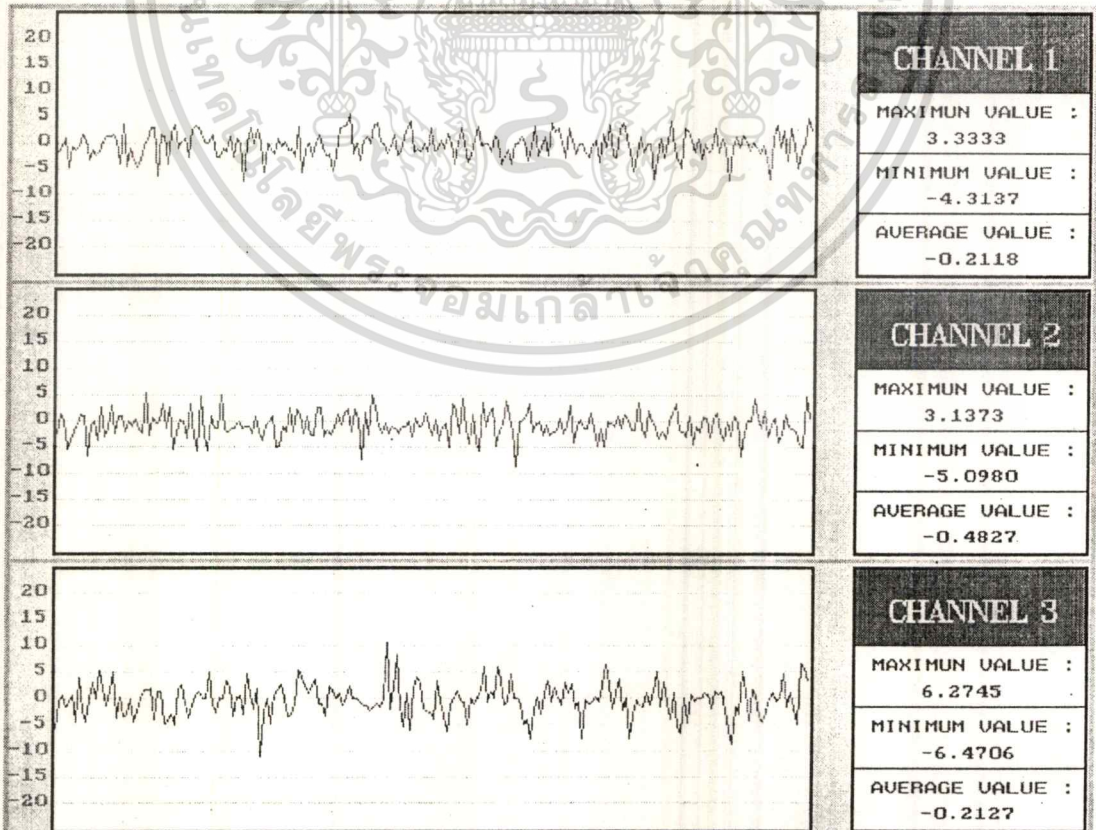
รูปที่ 5.77 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing5.acc (อาการที่ 5)



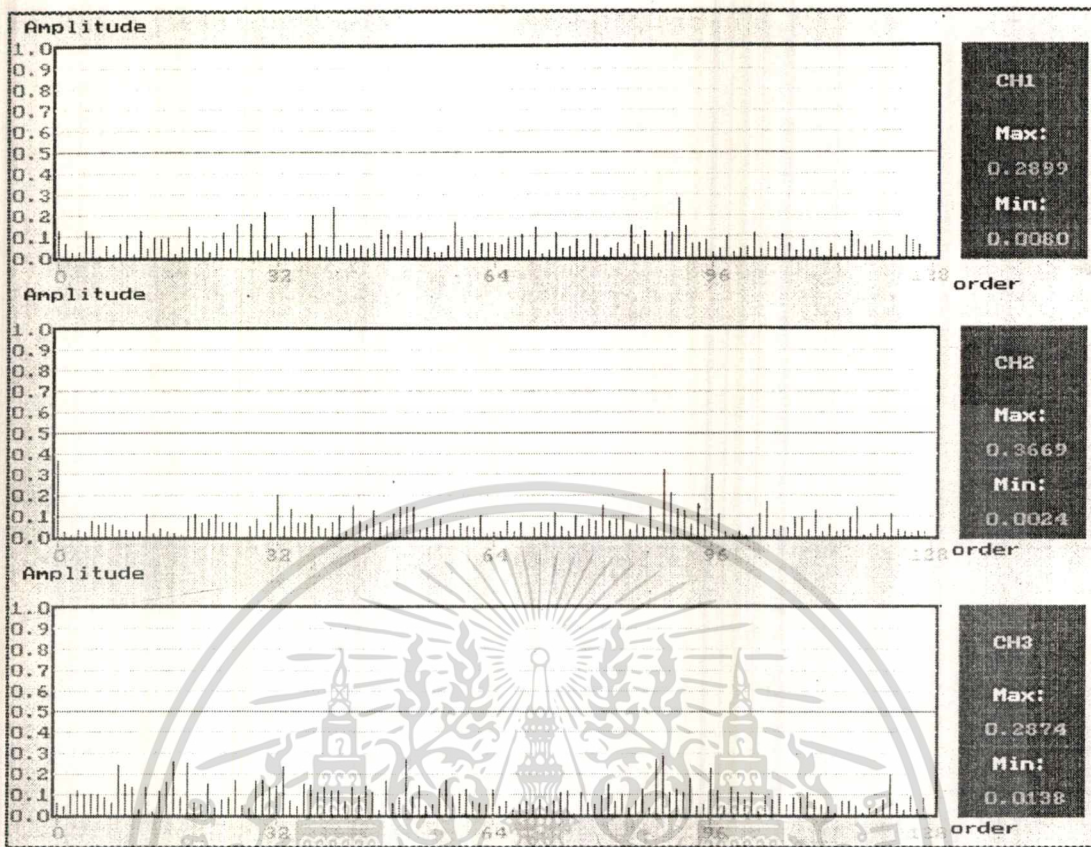
เอกสารนี้ปรับปรุงที่ 5.78 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing5.acc (อาการที่ 5) คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



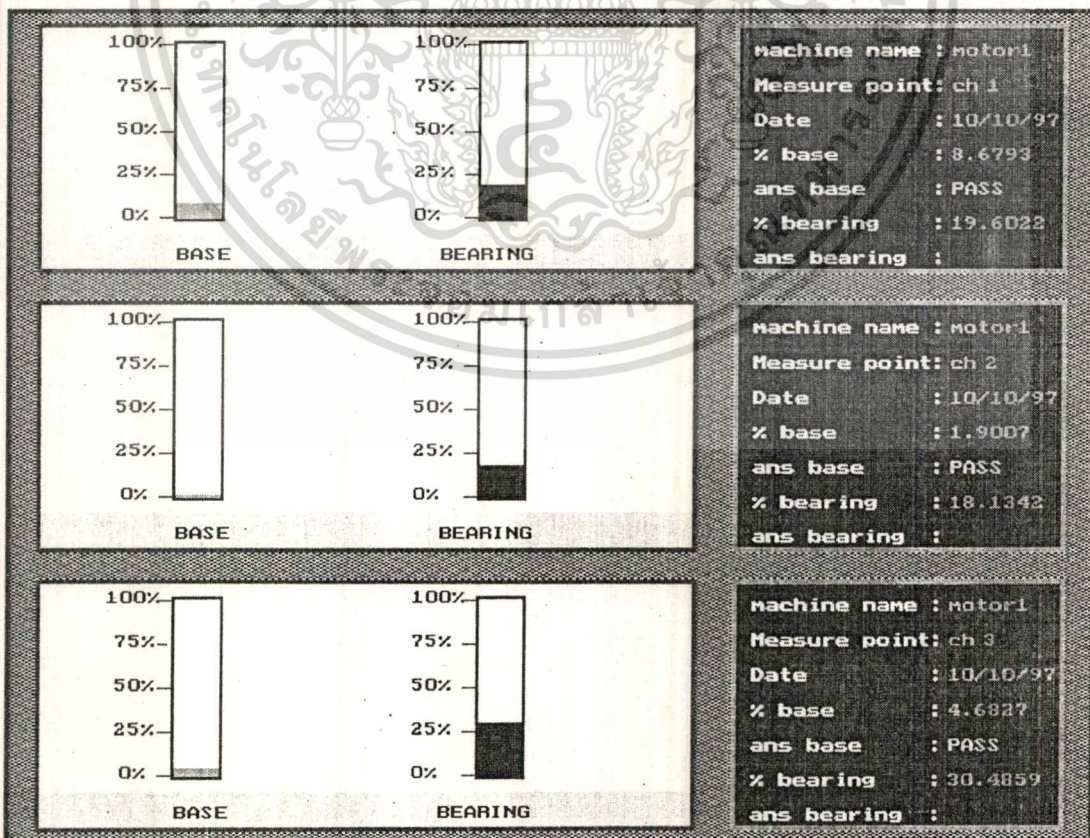
รูปที่ 5.79 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของแบร์ริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing5.acc (อาการที่ 5)



รูปที่ 5.80 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing5.acc (อาการที่ 5) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.81 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing5.acc (อาคารที่ 5)



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.82 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกนในส่วนขอบแบริ่ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ bearing5.acc (อาคารที่ 5) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5

จุดประสงค์

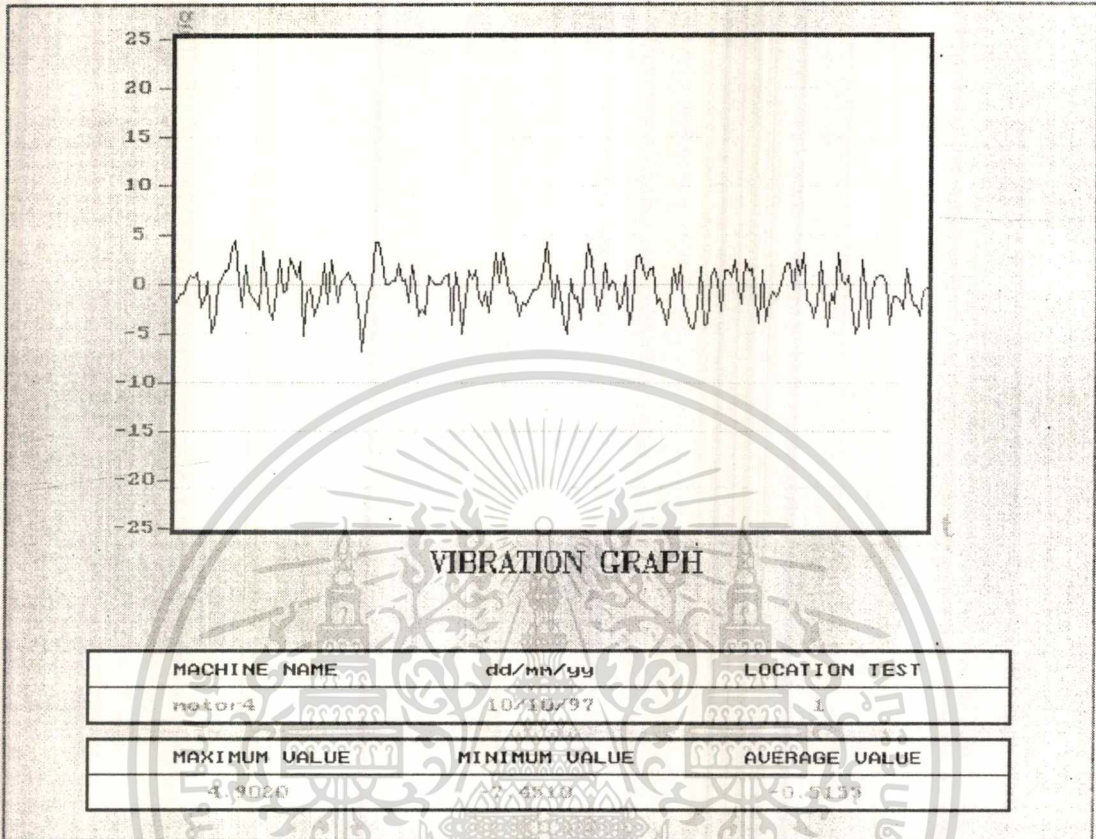
เพื่อแสดงให้เห็นระดับความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะเบร็กรั้งชำรุดพร้อมทั้งมีฐานยึดหลวม โดยการทดลองนี้จะยกตัวอย่างมา 2 อากา

ขั้นตอนการทดลอง

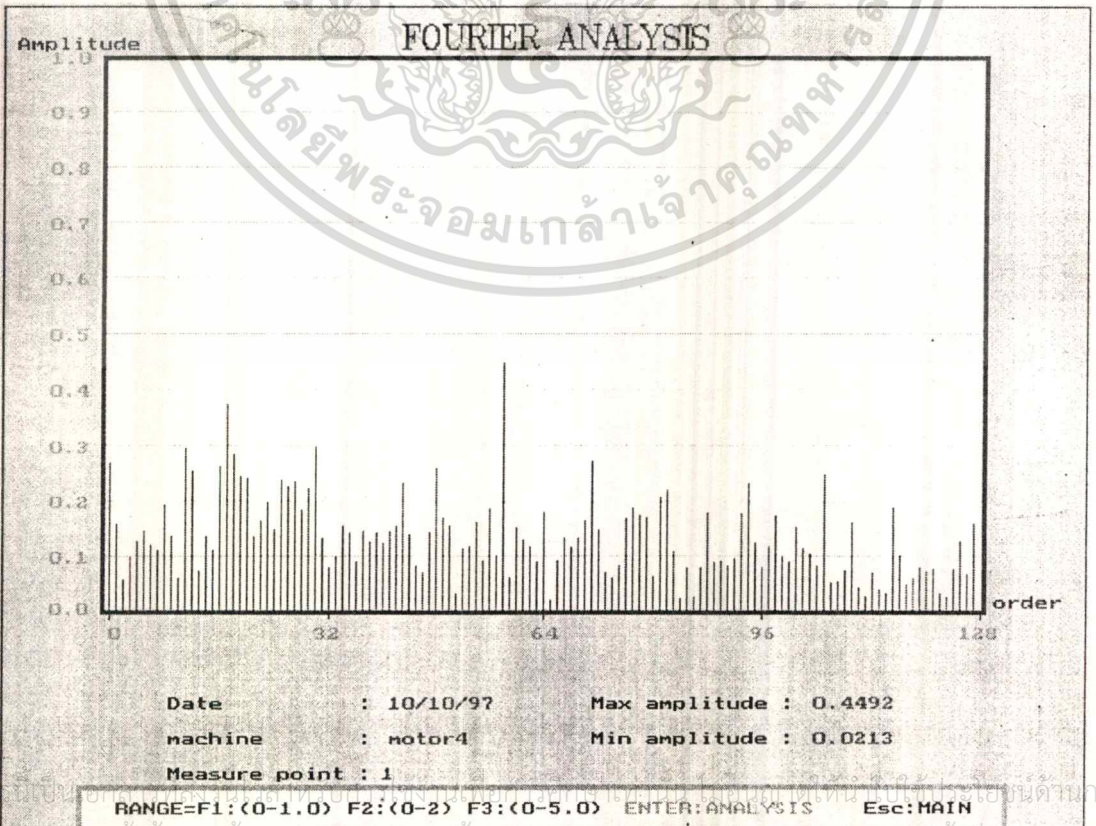
1. เตรียมมอเตอร์ที่มีการชำรุดของเบร็กรั้ง ขณะที่มีฐานยึดหลวม
2. ติดตั้ง Piezo BEAM เข้ากับมอเตอร์ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ตายตัว
3. เลือกเมนูทดสอบมาที่ Fourier Analysis
4. เลือกเมนูทดสอบแบบที่ละ 1 Channel (One Test) โดยเลือกแกนที่จะวัดที่ละแกน (แกน X, แกน Y, แกน Z) ทำการวัดและสังเกตผลการทดลอง
5. ออกจากเมนูทดสอบและทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3-5 จนครบทุกแกน ซึ่งค่าที่ได้ทั้งหมดจะเป็นค่าของมอเตอร์ที่มีเบร็กรั้งชำรุดขณะฐานยึดหลวม อากาที่ 1
6. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3-6 อีกครั้ง ในกรณีเบร็กรั้งชำรุดและฐานยึดหลวม อากาที่ 2

ผลการทดลองที่ 5

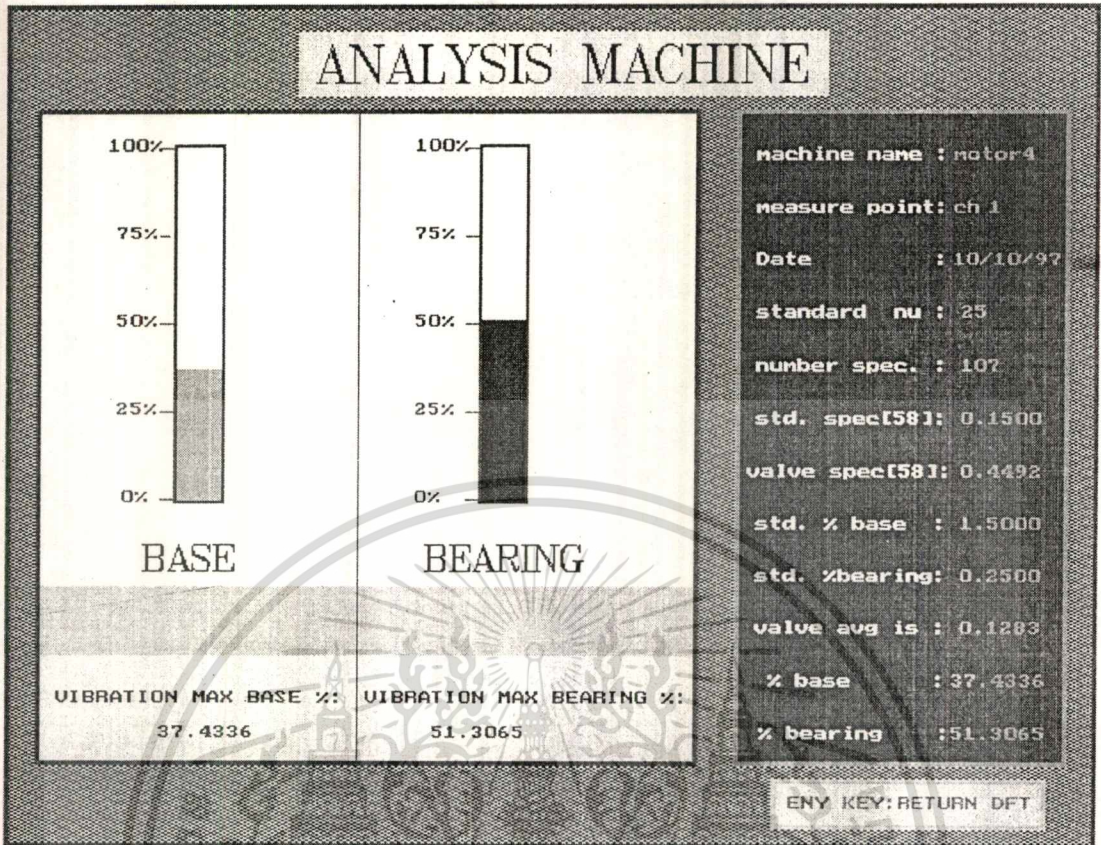
กรณีเครื่องจักรพร้อมมีฐานยึดหลวม อาการที่ 1



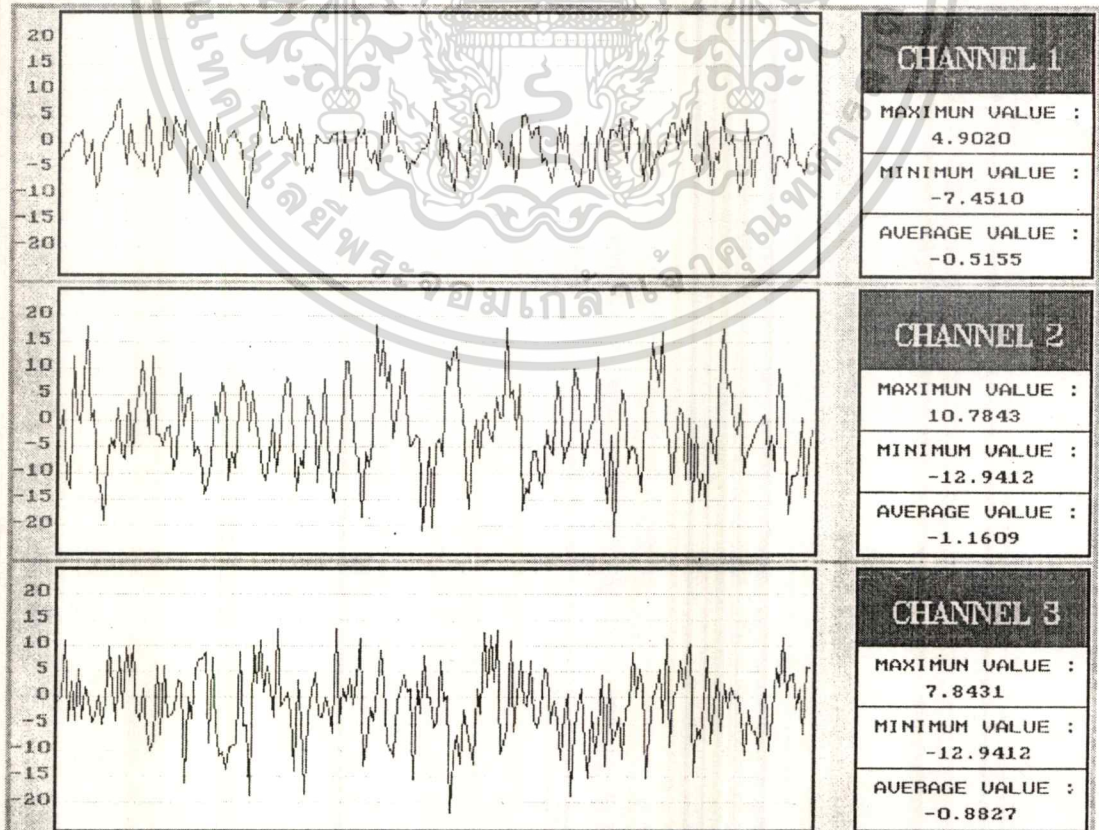
รูปที่ 5.83 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ twin1.acc (อาการที่ 1)



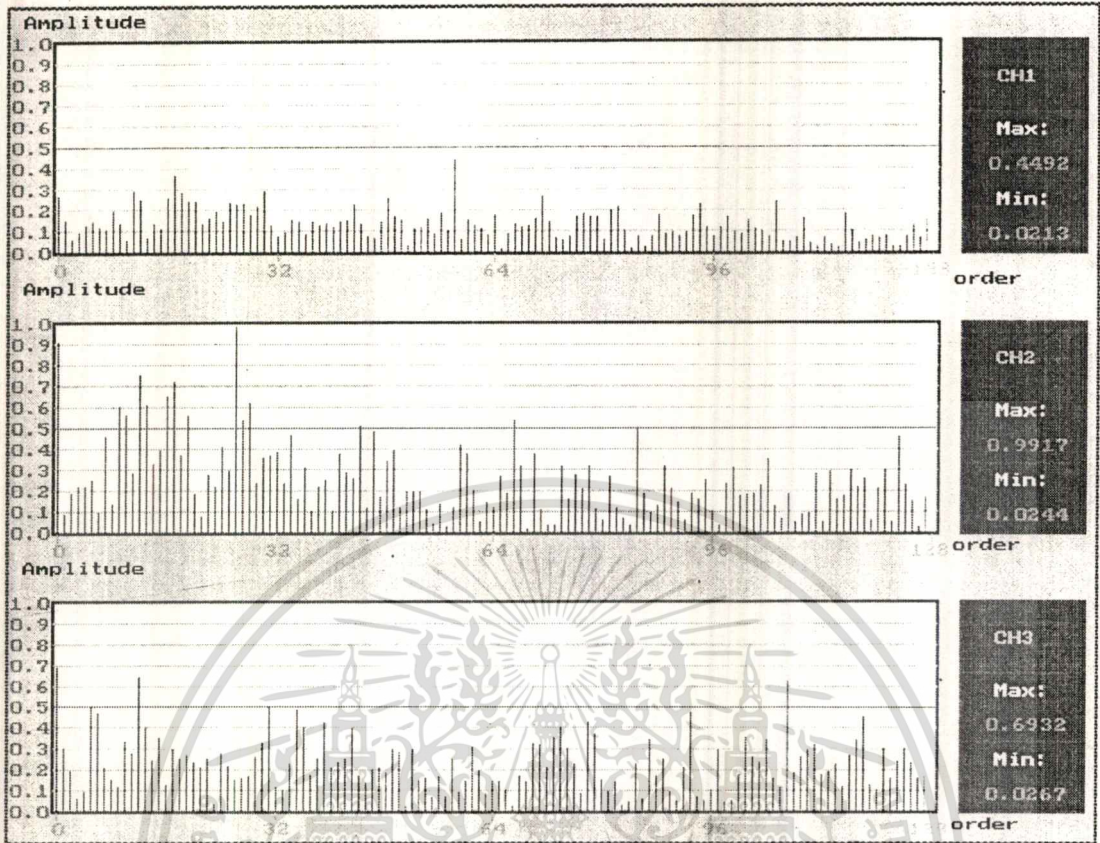
รูปที่ 5.84 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่เป็นสเปกตรัมของแกน X ซึ่งเป็นของไฟล์ twin1.acc (อาการที่ 1)



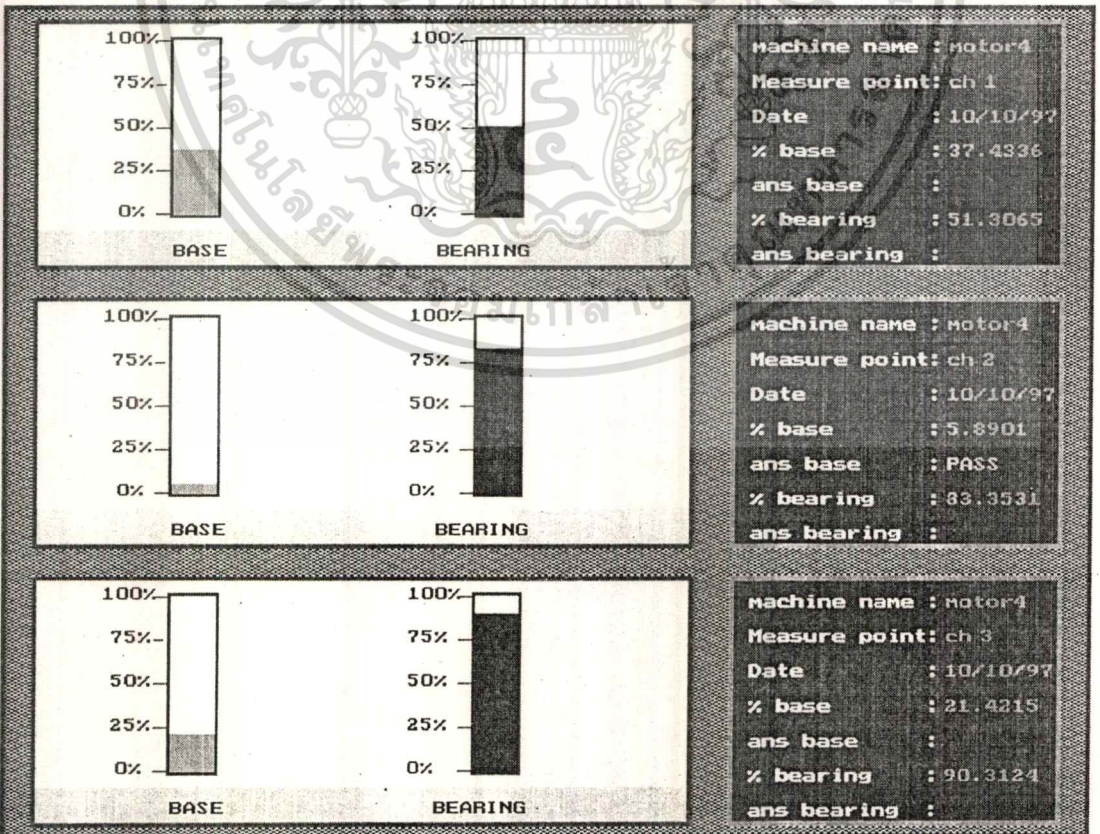
รูปที่ 5.85 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบริง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ twinl.acc (อาการที่ 1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.86 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ twinl.acc (อาการที่ 1) ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

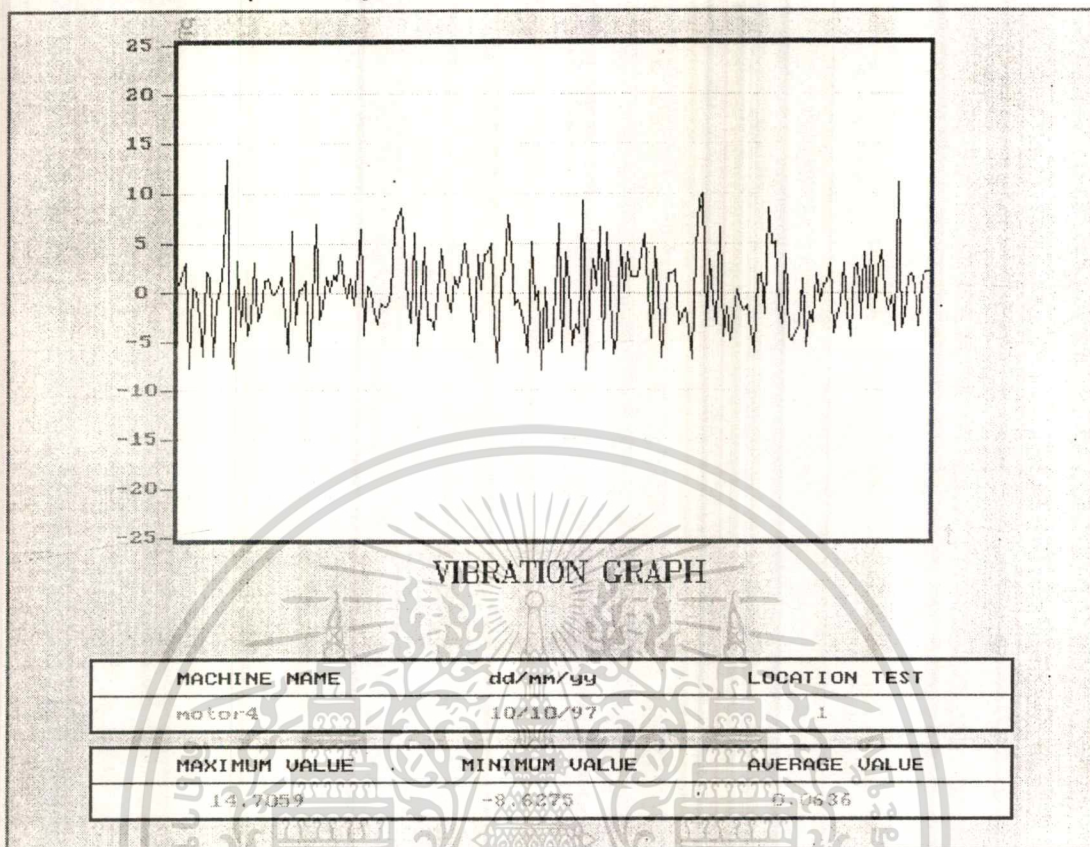


รูปที่ 5.87 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ twin1.acc (อาการที่ 1)

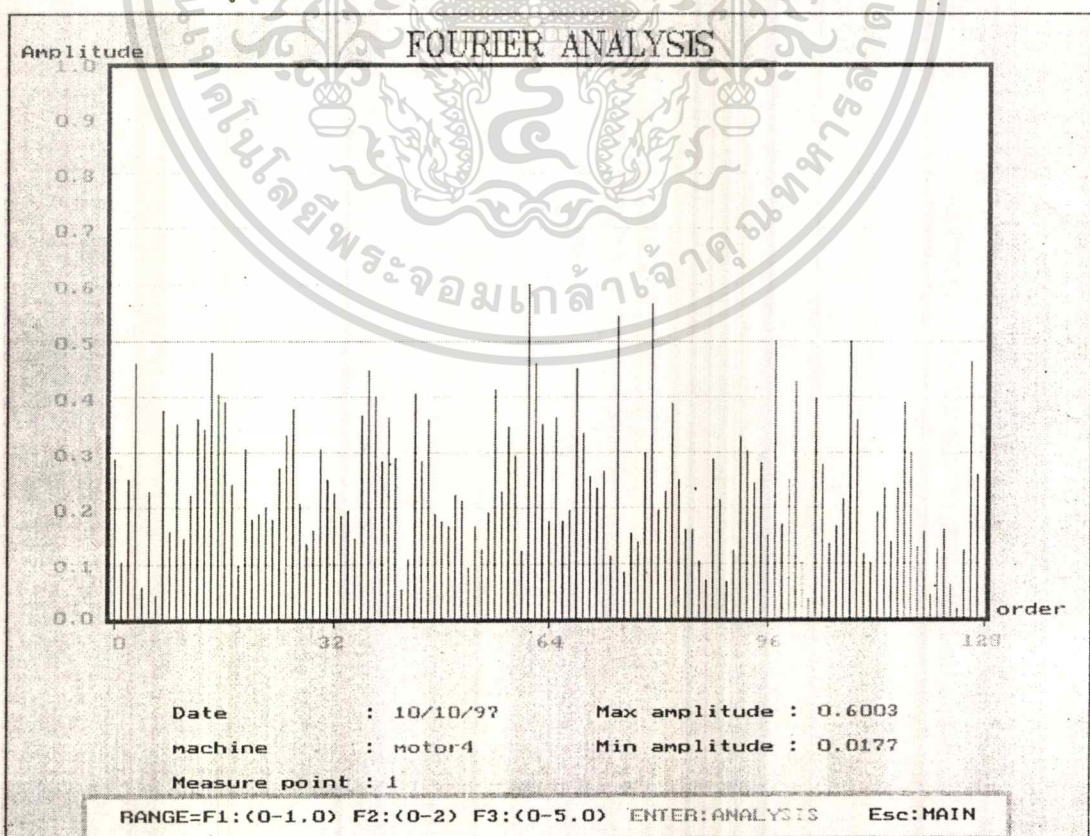


รูปที่ 5.88 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกน ในส่วนของเบร้ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ twin1.acc (อาการที่ 1) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเบร้งขำรุดพร้อมมีฐานยึดหลวม อากำรที่ 2

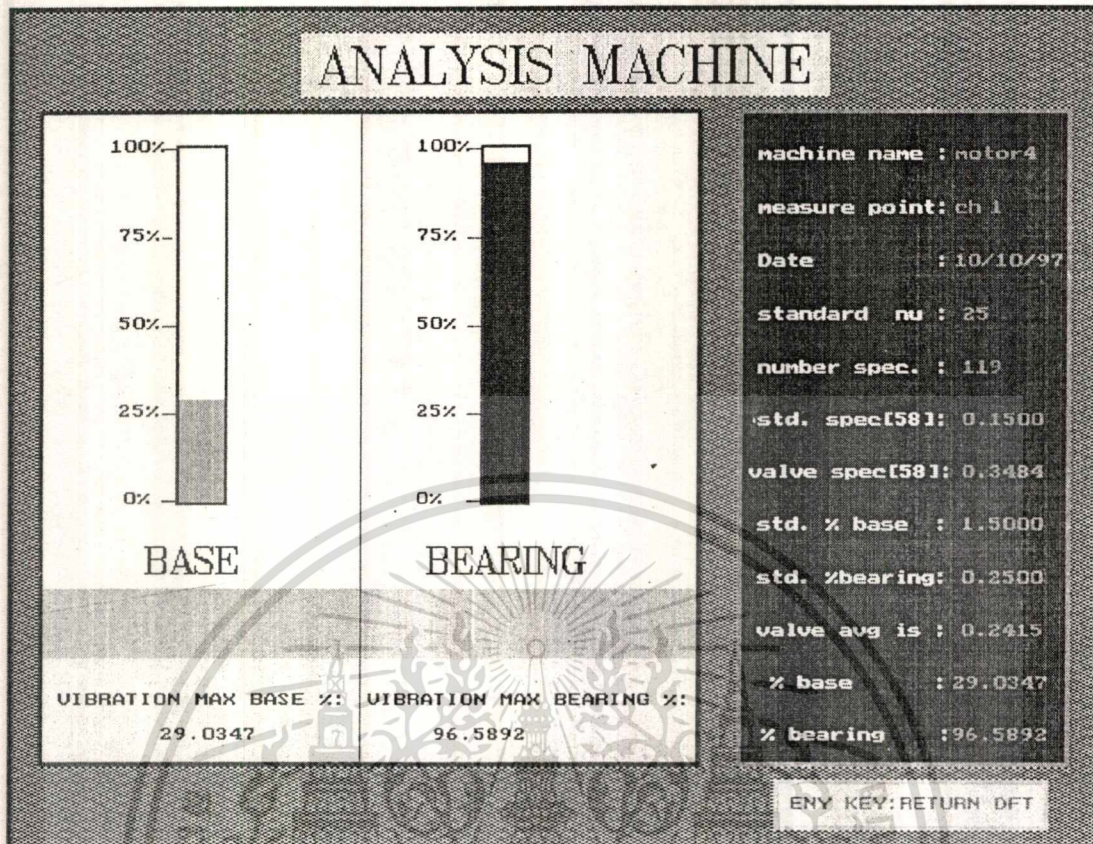


รูปที่ 5.89 แสดงกำรระดับควำมสั่นสะเทือนของแกน X ซึ่เป็นของไฟล์ twin2.acc (อากำรที่ 2)

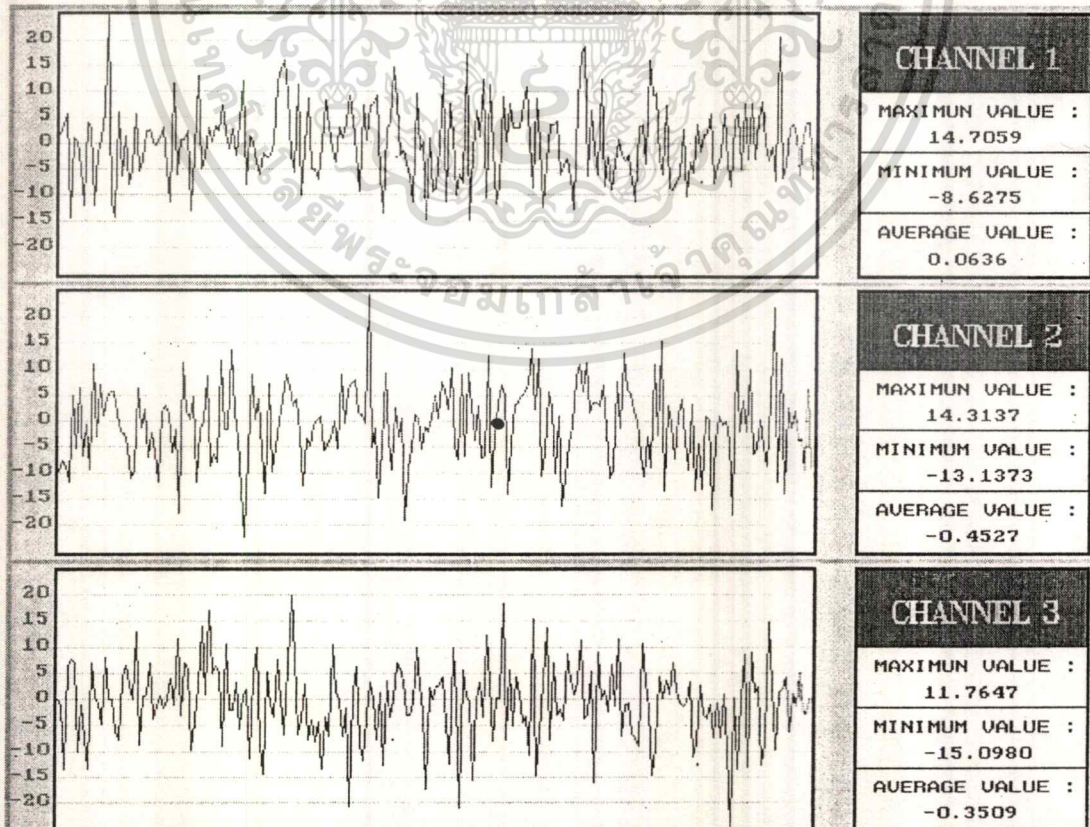


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.90 แสดงกำรระดับควำมสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมควำมถี่ของแกน X ซึ่เป็นของไฟล์ twin2.acc (อากำรที่ 2)

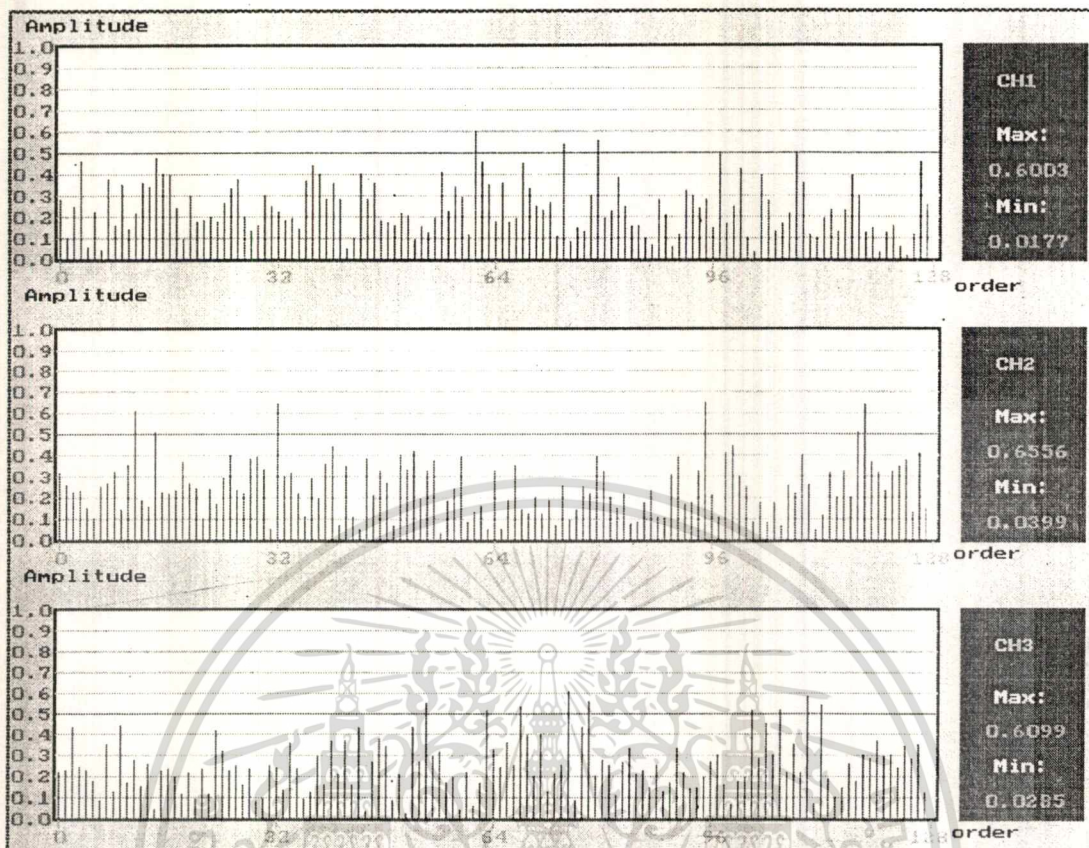
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



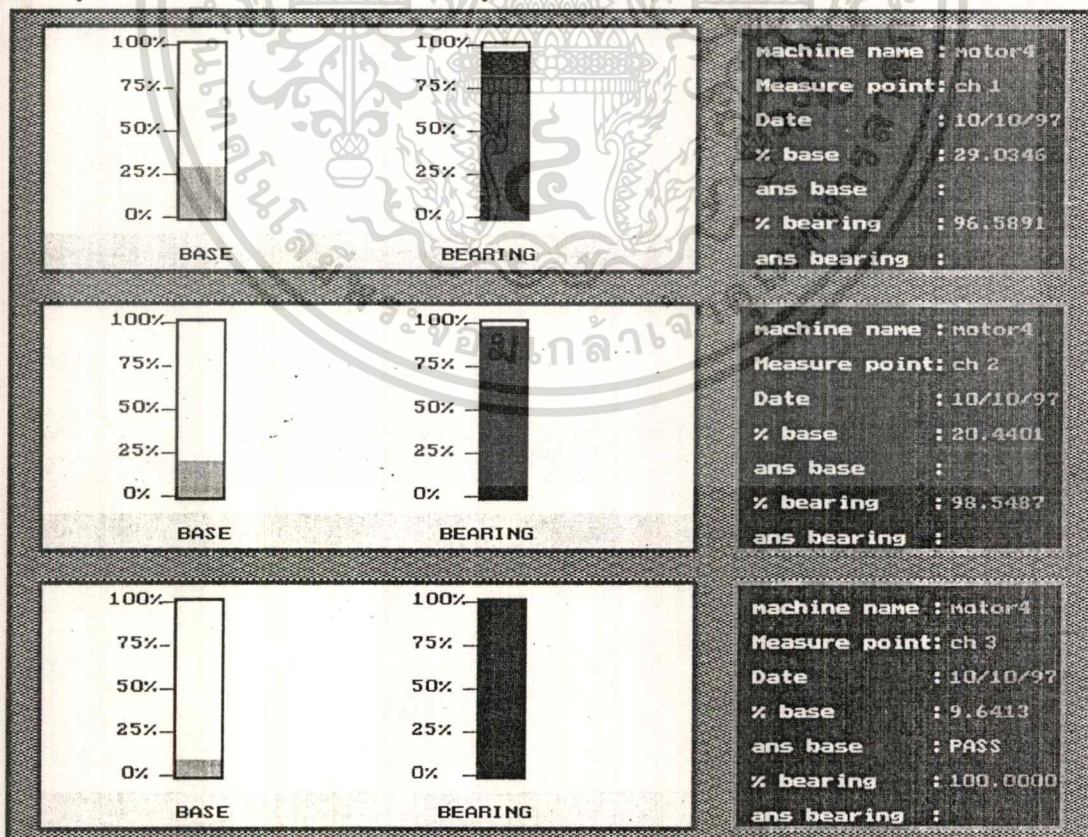
รูปที่ 5.91 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของแกน X ในส่วนของเบร้งและฐานยึด ซึ่งเป็นของไฟล์ twin2.acc (อาการที่ 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.92 แสดงค่าระดับความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ twin2.acc (อาการที่ 2) ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.93 แสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นของไฟล์ twin2.acc (อาการที่ 2)



รูปที่ 5.94 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการผิดปกติของทั้ง 3 แกน ในส่วนขอบแบริ่ง และฐานยึด ซึ่งเป็นของเอกสารไฟล์ twin2.acc (อาการที่ 2) สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากค่าระดับการสั่นสะเทือนที่แสดงในการทดลองที่ 1 ซึ่งค่าที่แสดงออกมาจะเห็นว่า ที่เวลา T_0 กับเวลา T_1 เป็นการวัดภายใต้การทำงานปกติ และเวลาต่างกันไม่มากกราฟความสั่นสะเทือนจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ภายใต้การทำงานปกติในช่วงการวัดที่เวลาต่างกันไม่มาก ค่าระดับการสั่นสะเทือนย่อมใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีที่ช่วงเวลากการวัดมีระยะเวลาห่างกันยาวนาน ความสั่นสะเทือนอาจเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากค่าระดับความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ดี ซึ่งมีมาตรฐานที่ยอมรับได้ ค่าความสั่นสะเทือนที่ออกมาจะมีค่าน้อยมาก โดยสามารถสังเกตจก รูปที่ 5.27 รูปที่ 5.28 และ รูปที่ 5.29 โดยจะเป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนแบบธรรมดา แบบสเปคตรัมความถี่ และการวิเคราะห์ผล ซึ่งจะแสดงผลทั้ง 3 แกน (แกน x แกน y และ แกน z) ของมอเตอร์ เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าต่างๆอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นส่วนของแบริ่ง และและฐานยึด โดยค่าเหล่านี้เราสามารถเอาไปอ้างอิงกับมอเตอร์กรณีอาคารอื่นๆได้ในการทดลองต่อไป

สรุปผลการทดลองที่ 3

กรณีฐานยึดหลวมอาการที่ 1

สังเกตทั้ง 3 แกนจะเห็นว่า แกน x จะมีค่าสูงกว่าค่าใน แกน y และแกน z และเมื่อมามองรูปที่ 5.42 โดยเป็นการวิเคราะห์ผล จะเห็นว่ามอเตอร์ตัวนี้มีอาการของฐานที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถใช้งานได้ โดยเฉพาะการยึดฐานในแกน x และแกน z โดยเกณฑ์ที่จะยอมรับได้จะอยู่ในช่วง 0-10 % (ค่าที่ยอมรับในส่วนของฐานยึดและเบร้ง) ซึ่งในส่วนของเบร้งของมอเตอร์ตัวนี้ไม่มีปัญหาอะไร

จากรูปที่ 5.53 เป็นการแสดงผลในรูปสเปคตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จากการสังเกตทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าแกน x จะมีค่าสูงกว่าค่าในแกน y และแกน z ซึ่งลักษณะเหมือนกับอาการที่ 1 แต่ค่าต่างๆในอาการที่ 2 จะสั้นแรงกว่า และเมื่อมองจากรูปที่ 5.53 จะเห็นว่ามอเตอร์ตัวนี้ไม่อยู่ในลักษณะที่ใช้งานได้ เนื่องจากฐานยึดมีความหลวมมาก โดยเฉพาะในส่วนของแกน x และ แกน z จะมีค่าการสั่นสะเทือนที่สูงมาก

จากการทดลองมอเตอร์ทั้ง 2 อาการ จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนในแกน x จะมีค่าสูงกว่าค่าความสั่นสะเทือนในแกน y และแกน z มาก และเมื่อพิจารณาอีกทีจะเห็นว่าอาการยึดของมอเตอร์ทั้ง 2 อาการ จะเกิดการสั่นสะเทือนที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ ในแกน x และแกน z เป็นส่วนใหญ่

สรุปผลการทดลองที่ 4

กรณีเบร้งหรือตรับลูกปืนชำรุดอาการที่1

จากรูปที่ 5.60 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงมากและมีลักษณะที่กระจาย และถ้ามองจากรูปที่ 5.61 ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีการผิดปกติของเบร้งสูงมาก คือ ในแกน x สูงถึง 53.944 % ในแกน y สูงถึง 80.853% และแกน z สูงถึง 90.909% ซึ่งถือว่ามีการผิดปกติที่สูงมาก

กรณีเบร้งหรือตรับลูกปืนชำรุดอาการที่2

จากรูปที่ 5.66 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงมากและมีลักษณะที่กระจาย และถ้ามองจากรูปที่ 5.67 ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีการผิดปกติของเบร้งสูงมาก คือ ในแกน x สูงถึง 59.700 % ในแกน y สูงถึง 97.438% และแกน z สูงถึง 84.272% ซึ่งถือว่ามีการผิดปกติที่สูงมาก

ส่วนในการผิดปกติของฐานยึดจะเห็นว่าแกน y อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการสั่นของแกน y อันเนื่องมาจากเบร้งผิดปกติมีการสั่นสะเทือนที่รุนแรงมาก

กรณีเบร้งหรือตรับลูกปืนชำรุดอาการที่3

จากรูปที่ 5.72 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงและมีลักษณะที่กระจาย แต่ยังมีค่าที่น้อยกว่าอาการที่ 1 และอาการที่ 2 และถ้ามองจากรูปที่ 5.73 ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีการผิดปกติของเบร้งเพียงเล็กน้อย คือ ในแกน x สูง 10.473% ในแกน y สูง 31.49% และแกน z สูง 41.364% ซึ่งถือว่ามีการผิดปกติเพียงเล็กน้อย

กรณีเบร้งหรือตรับลูกปืนชำรุดอาการที่4

จากรูปที่ 5.78 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงและมีลักษณะที่กระจาย แต่ยังมีค่าที่น้อยกว่าอาการที่ 1 และอาการที่ 2 และถ้ามองจากรูปที่ 5.79. ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีการผิดปกติของเบร้งเพียงเล็กน้อย คือ ในแกน x สูง 22.252% ในแกน y สูง 15.345% และแกน z สูง 31.939% ซึ่งถือว่ามีการผิดปกติเพียงเล็กน้อย

กรณีเบริงหรือทรับลูกปืนชำรุดอาการที่ 5

จากรูปที่ 5.84 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงและมีลักษณะที่กระจาย แต่ยังมีค่าที่น้อยกว่าอาการที่ 1 และอาการที่ 2 และถ้ามองจากรูปที่ 5.85 ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีการผิดปกติของเบริงเพียงเล็กน้อย คือ ในแกน x สูง 19.602% ในแกน y สูง 18.134% และแกน z สูง 30.485% ซึ่งถือว่ามีอาการผิดปกติเพียงเล็กน้อย

จากการทดลองมอเตอร์ทั้ง 5 อาการ จะเห็นว่าเราสามารถแยกความแตกต่างของความผิดปกติของเบริงได้ จากการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน ของรูปสเปกตรัมความถี่ โดยสามารถแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์



สรุปผลการทดลองที่ 5

กรณีเบร้งชำรุดพร้อมมีฐานยึดหลวมอาการที่ 1

จากรูปที่ 5.90 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงมาก และมีลักษณะที่กระจาย โดยเฉพาะแกน y จะมีค่าความสั่นสะเทือนที่สูงกว่าแกนอื่น จากนั้นเมื่อมองจากรูปที่ 5.91 ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีความผิดปกติของเบร้งสูงมาก คือ ในแกน x สูงถึง 51.306% ในแกน y สูงถึง 83.353% และแกน z สูงถึง 90.312% ซึ่งถือว่ามีอาการผิดปกติสูงมาก ส่วนในด้านของฐานยึดก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ คือ ในแกน x และแกน z มีค่าสูงกว่า 10% ดังนั้นมอเตอร์ตัวนี้จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผิดปกติอย่างร้ายแรง

กรณีเบร้งชำรุดพร้อมมีฐานยึดหลวมอาการที่ 2

จากรูปที่ 5.96 เป็นการแสดงค่าระดับความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมความถี่ของทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีสูงมาก และมีลักษณะที่กระจาย จากนั้นเมื่อมองจากรูปที่ 5.97 ซึ่งเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามอเตอร์นี้มีความผิดปกติของเบร้งสูงมาก คือ ในแกน x สูงถึง 96.589% ในแกน y สูงถึง 98.548% และแกน z สูงถึง 100.00% ซึ่งถือว่ามีอาการผิดปกติสูงมาก ส่วนในด้านของฐานยึดก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ คือ ในแกน x และแกน y มีค่าสูงกว่า 10% ดังนั้นมอเตอร์ตัวนี้จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผิดปกติอย่างร้ายแรง

จากการทดลองมอเตอร์ทั้ง 2 อาการ จะแสดงให้เห็นว่า เราสามารถนำค่าการวัดความสั่นสะเทือน นำมาทำการวิเคราะห์ห่มอเตอร์ที่มีเบร้งเสียพร้อมมีฐานยึดหลวมพร้อมกันได้ โดยจะแสดงผลเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 5 การทดลองพอจะสรุปการวัดความสัมพันธ์ในโครงการนี้ดังนี้

1. ค่าการวัดความสัมพันธ์ในทิศทางที่เหมือนกัน จุดการวัดเดียวกัน เวลาที่ทำการวัดแต่ละครั้งแตกต่างกันไม่มากค่าการวัดจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน
2. ค่าการวัดที่ทำการวัดในจุดเดียวกัน หรือทำการวัดในระดับเดียวกัน และเวลาการวัดแตกต่างกันไม่มาก แต่ทิศทางการวัดแตกต่างกัน ค่าระดับความสัมพันธ์จะแตกต่างกัน
3. ในการทดลองที่ 2 จะเห็นว่าเราสามารถแสดงลักษณะของมอเตอร์ที่มีสภาพที่ดีออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจน
4. ในการทดลองที่ 3 เราสามารถบ่งบอกถึงอาการของมอเตอร์ที่มีการผิดปกติของฐานยึดหลวม ในลักษณะต่างๆได้ โดยสามารถแยกออกเป็นแกนๆ (แกน x แกน y และแกน z) ซึ่งจะง่ายต่อการตรวจสอบในการซ่อมบำรุง
5. ในการทดลองที่ 4 เราสามารถแยกอาการของแบริ่งเสียออกเป็นขนาดของความสัมพันธ์ โดยจะวัดค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบขนาดของเปอร์เซ็นต์ออกมาเป็นขนาดของการเสียของแบริ่งว่ามีความชำรุดรุนแรงมากน้อยต่างกันเช่นใด
6. ในการทดลองที่ 5 เราสามารถทำการวัดอาการผิดปกติของแบริ่งชำรุดพร้อมมีฐานยึดหลวมพร้อมกันในเวลาเดียวกันได้

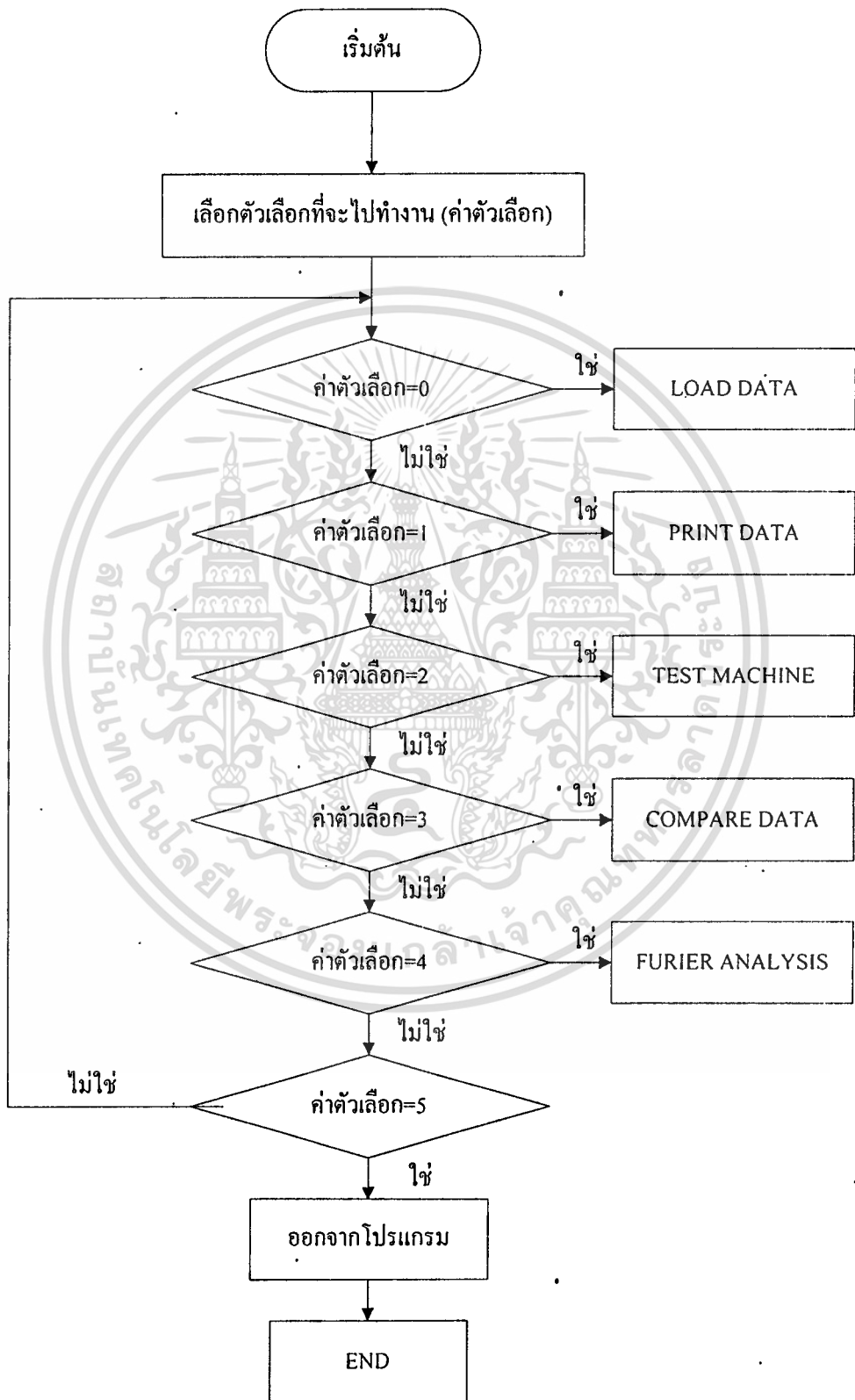
วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมด จะเห็นได้ว่าโครงการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะสามารถตรวจสอบสภาพปกติและผิดปกติของมอเตอร์ได้ โดยจะนำไปพัฒนาเพื่อนำไปใช้ใน การวางแผนบำรุงรักษามอเตอร์ที่ติดตั้งในเครื่องจักร ก่อนที่มอเตอร์หรือเครื่องจักรจะเกิดการชำรุดเสียหาย ส่วนข้อเสียของโครงการชิ้นนี้ยังมีอยู่ คือ ไม่สามารถแยกความแตกต่างของมอเตอร์อย่างละเอียดชัดเจนมากนัก เนื่องจากมอเตอร์แต่ละผู้ผลิตมีการผลิตที่แตกต่างกัน ส่วนข้อเสียอีกข้อคือ เครื่องวัดไม่สามารถวัดเครื่องจักรที่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนสูงเกินไปได้ เพราะเป็นการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS 232 ซึ่งใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลมาก ทำให้ช่วงเวลาที่ใช้ในการสุ่มมากขึ้น เนื่องจากเวลาในการสุ่มค่า (Sampling time) จะมีผลต่อรูปของสัญญาณ ซึ่งจากการทดลองป้อนความถี่จาก function gen. ที่มีค่าความถี่สูงๆ จะทำให้ ส่วนฮาร์ดแวร์รับค่าที่เกิดขึ้นไม่สามารถทำงานให้พอดีกันได้ ดังนั้นสัญญาณที่รับเข้ามาจึงมีความผิดพลาด

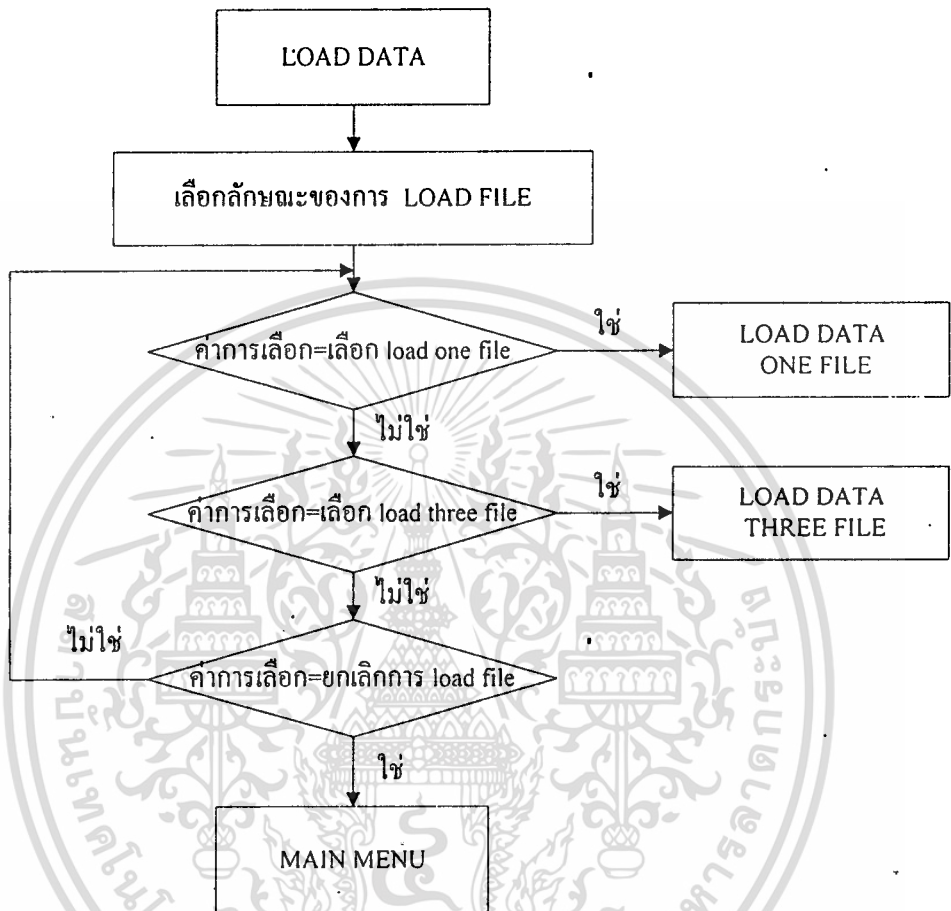




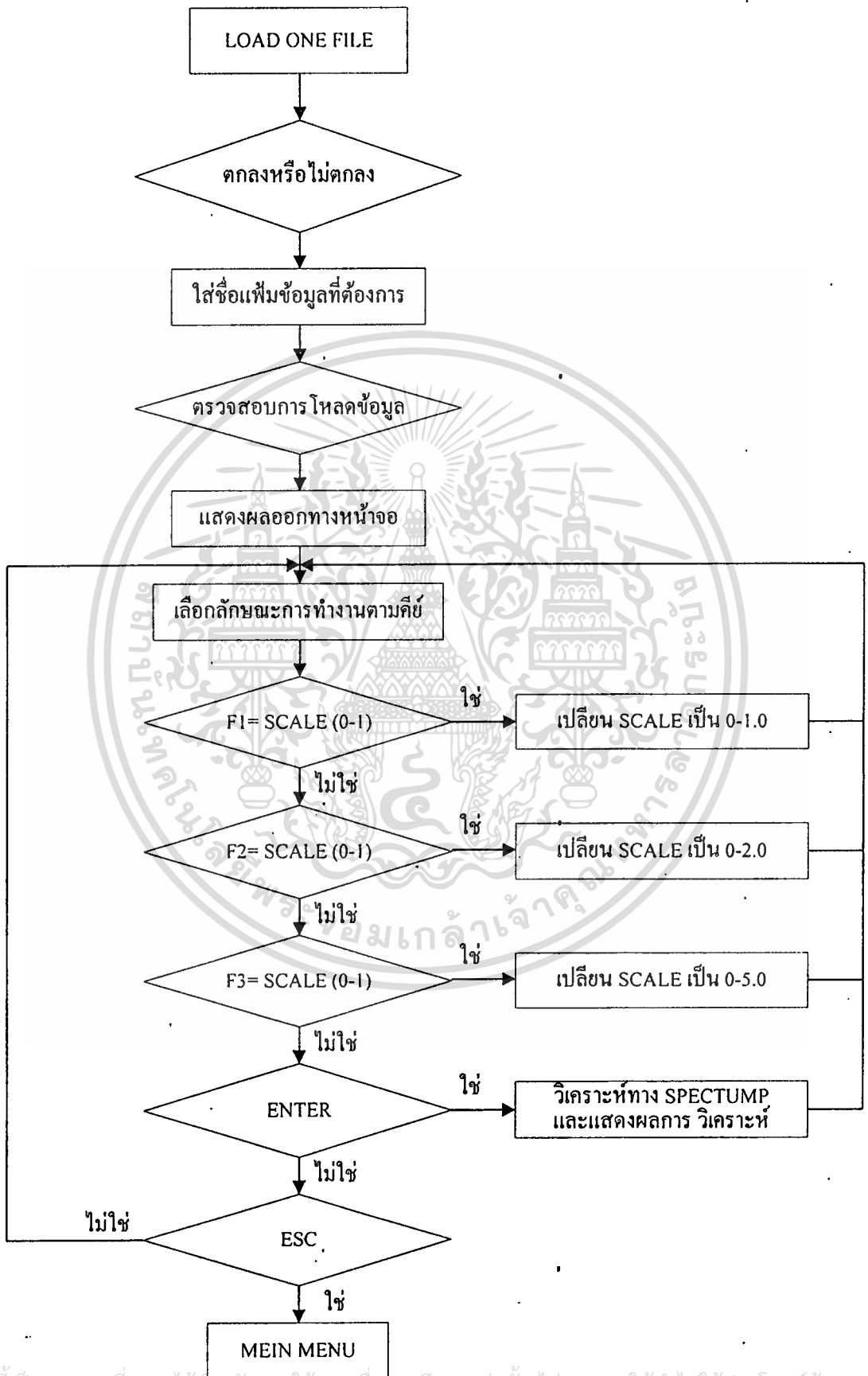
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

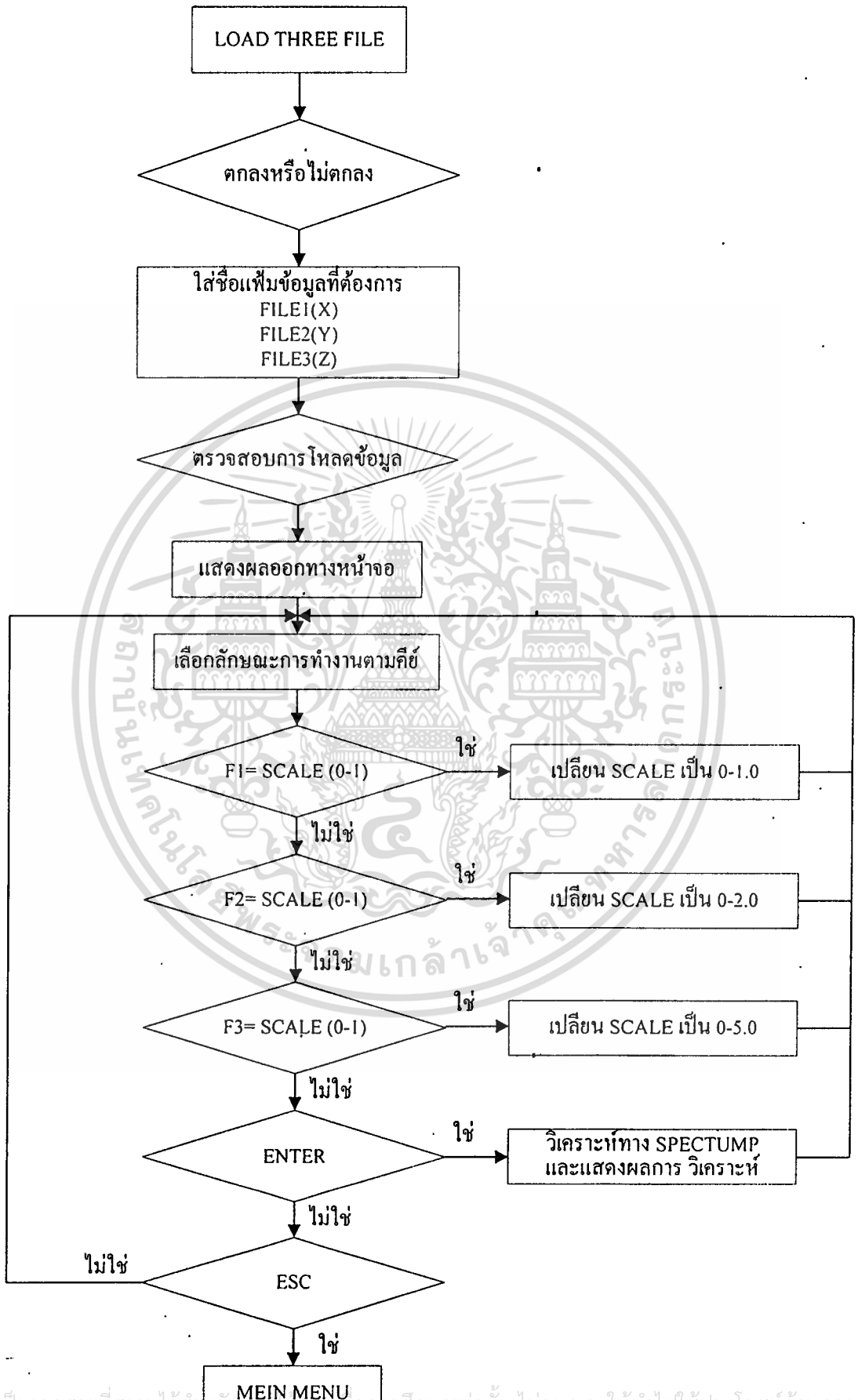


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

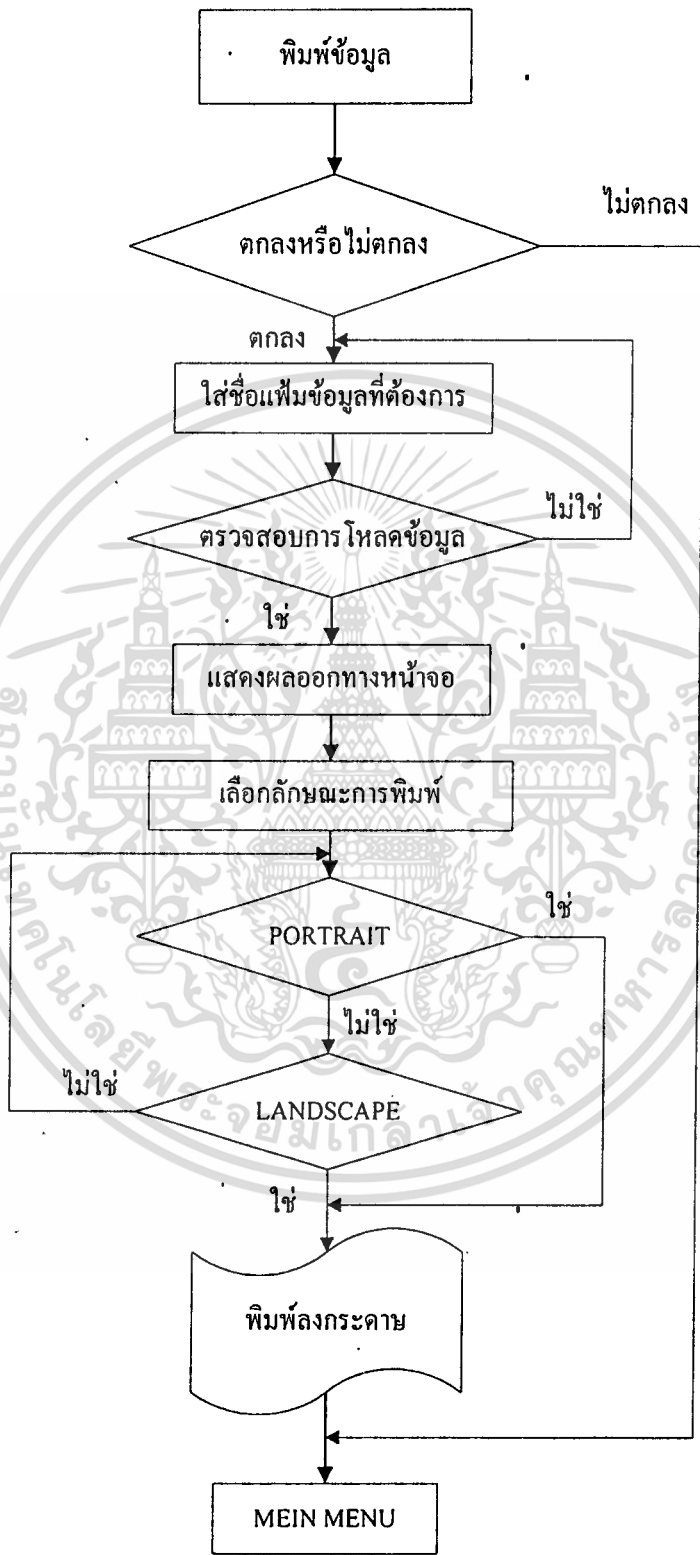


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

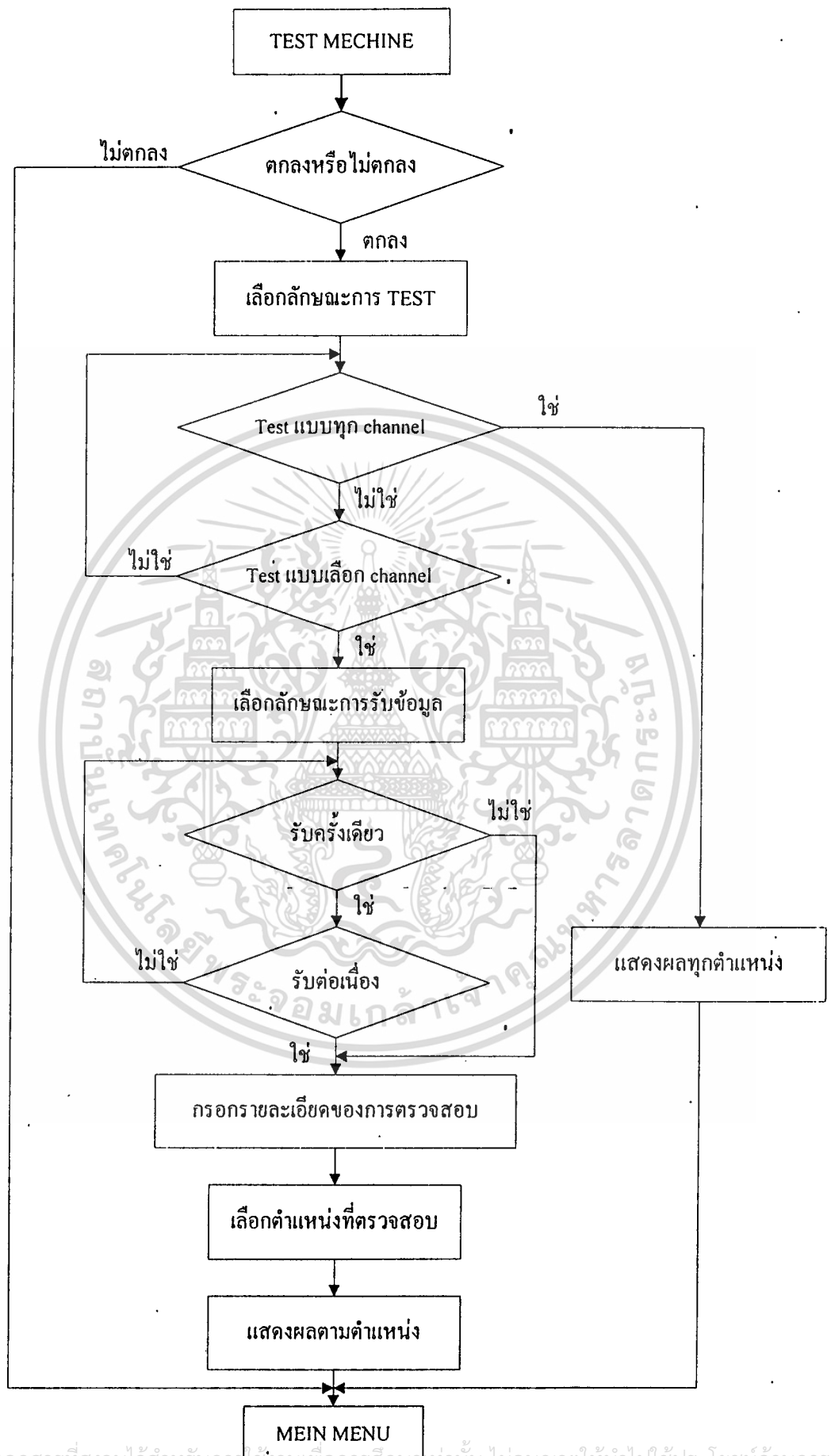




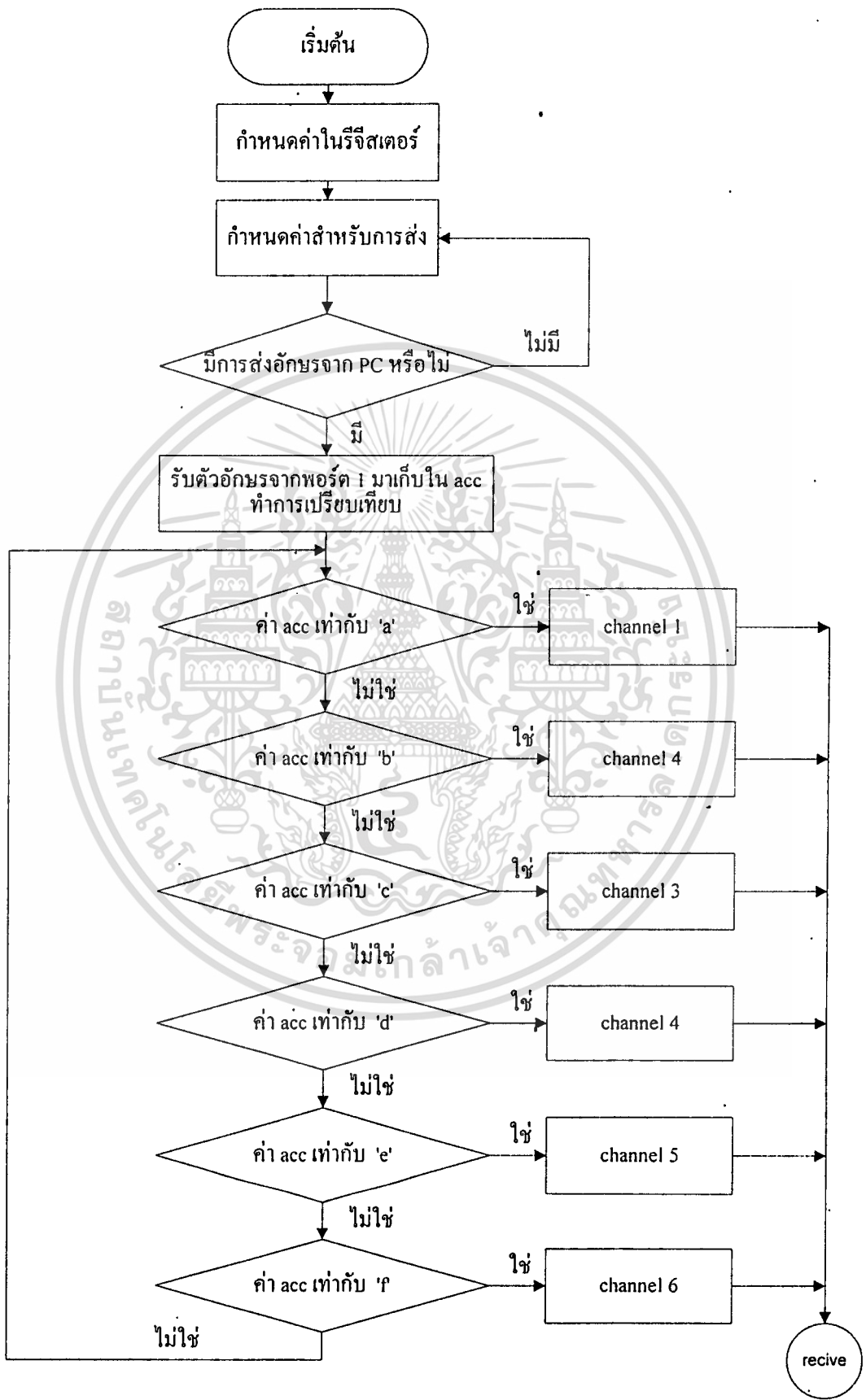
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



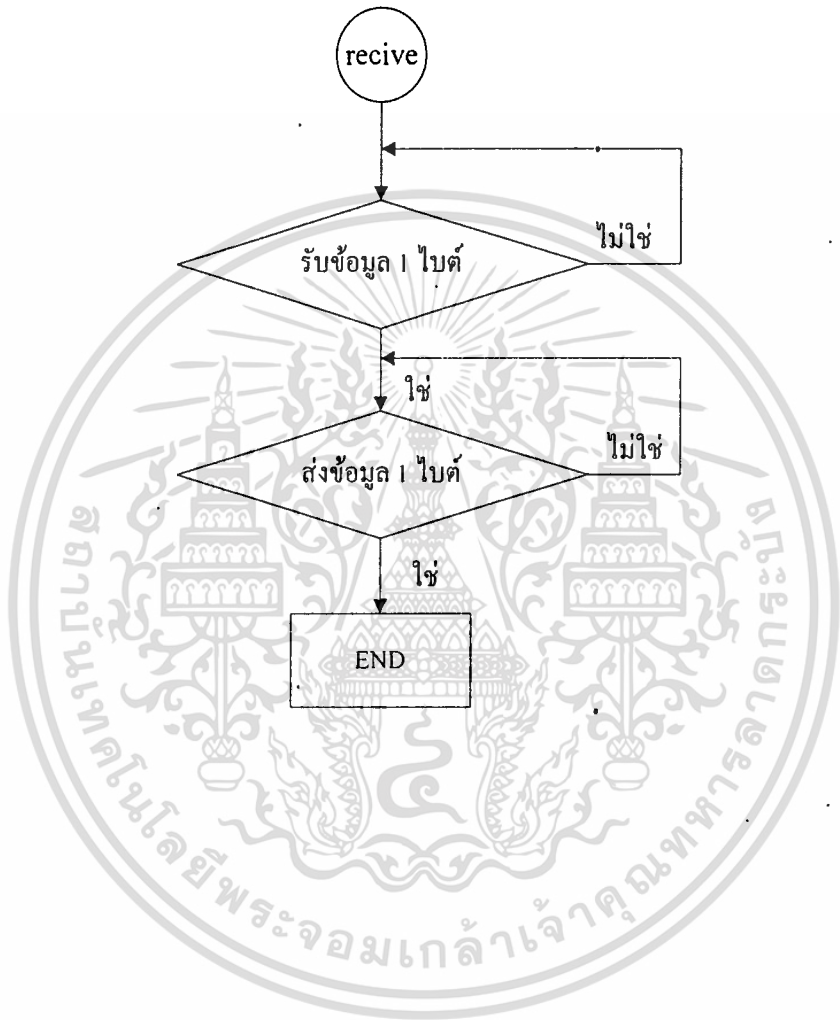
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น' อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



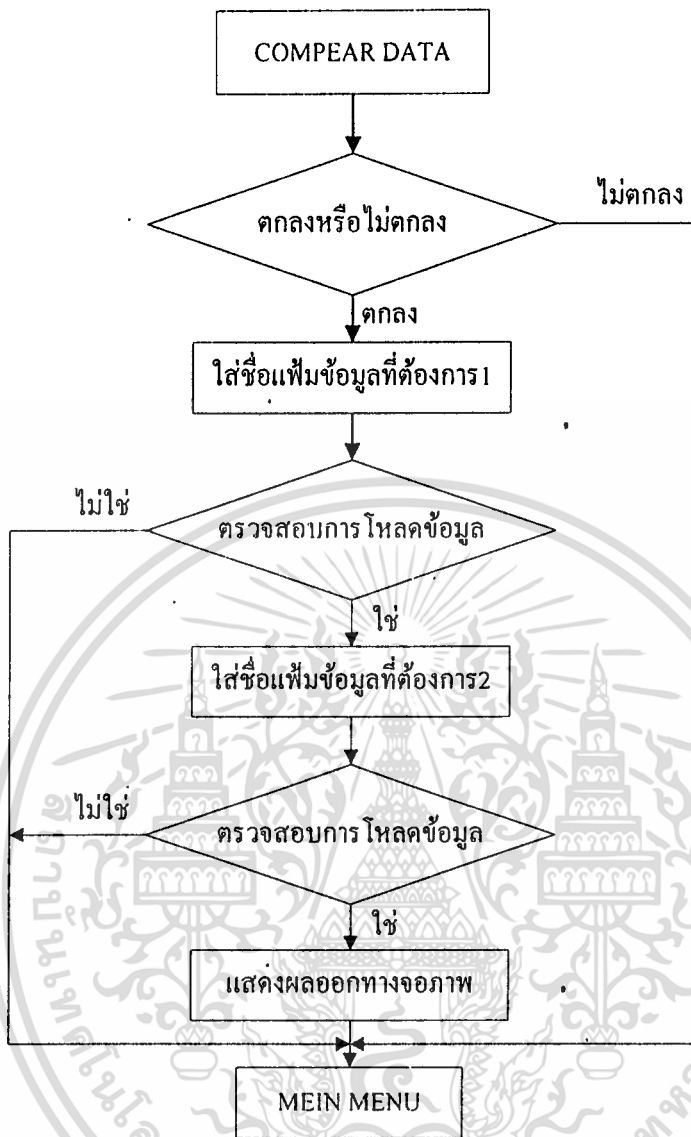
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



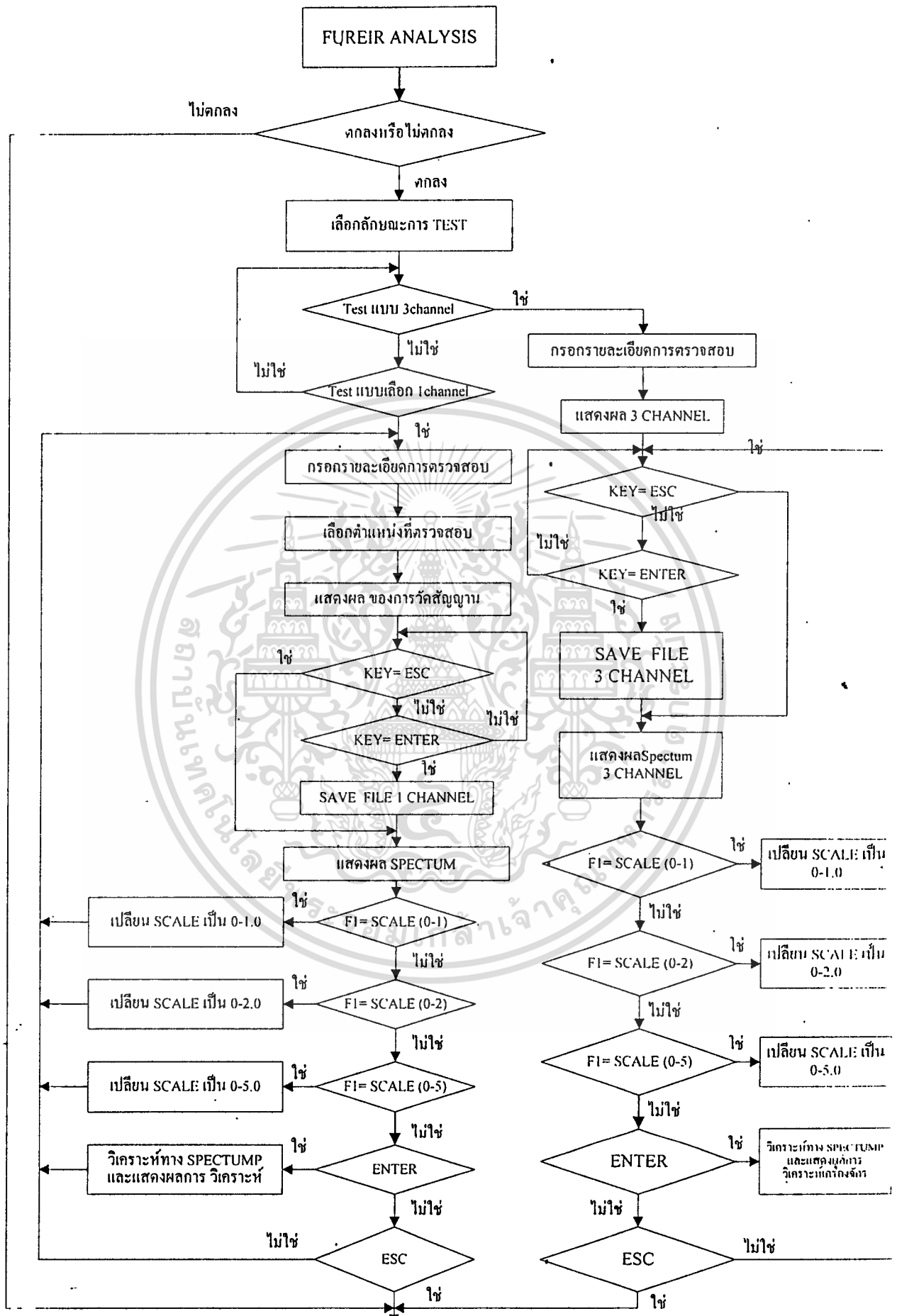
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



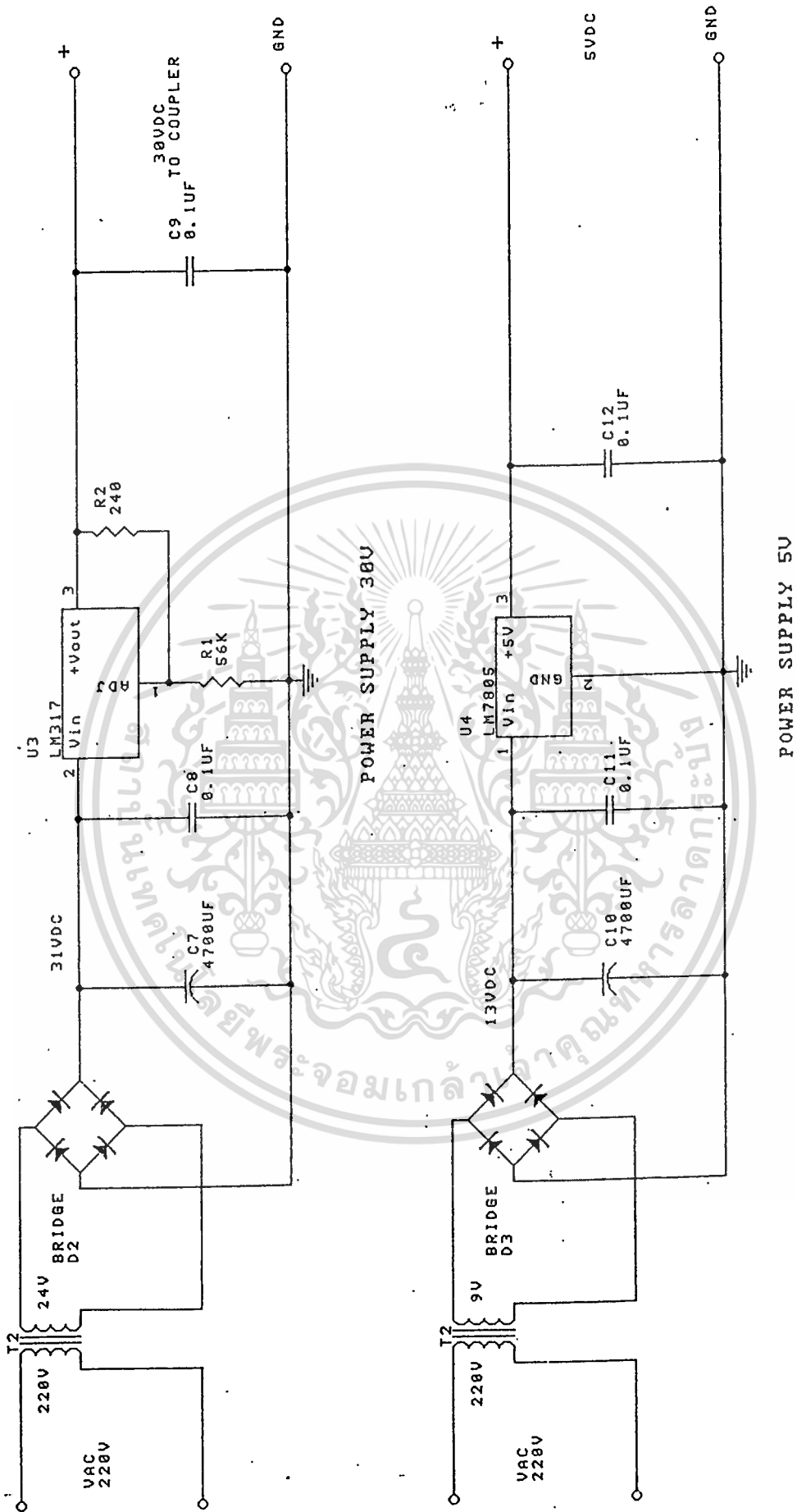
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



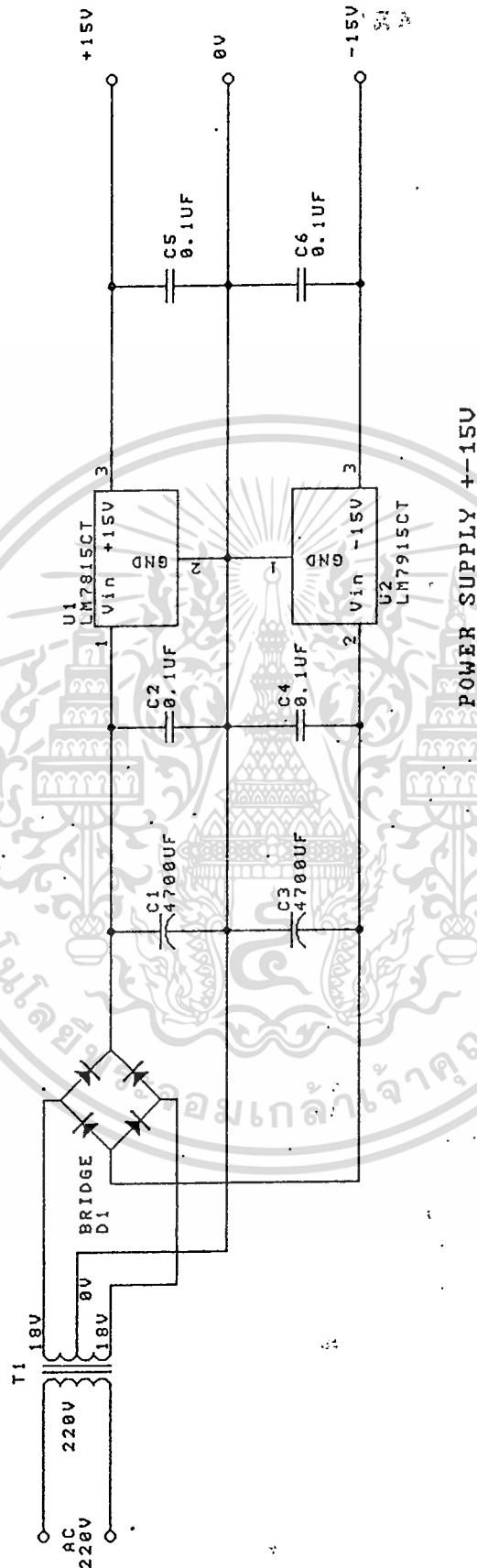
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



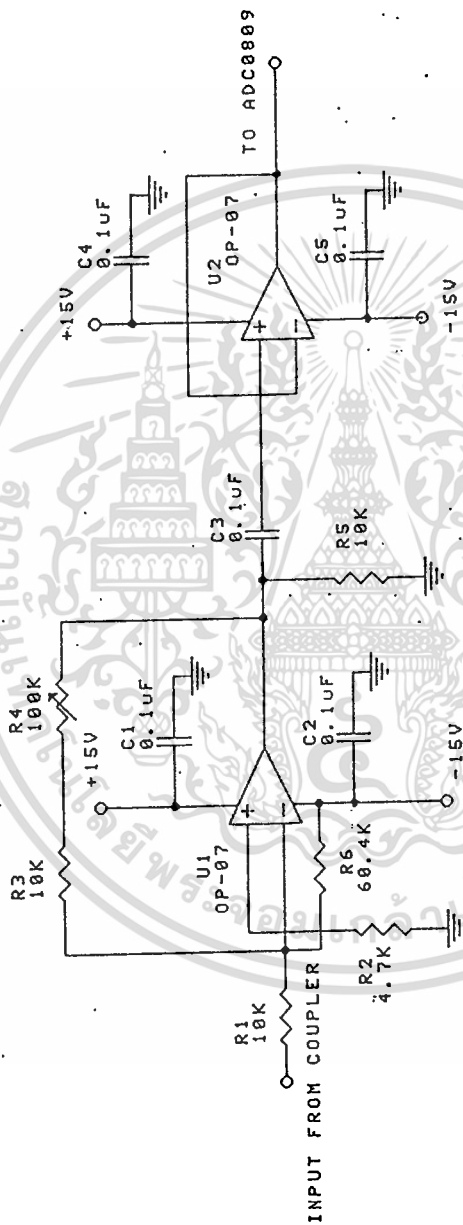
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

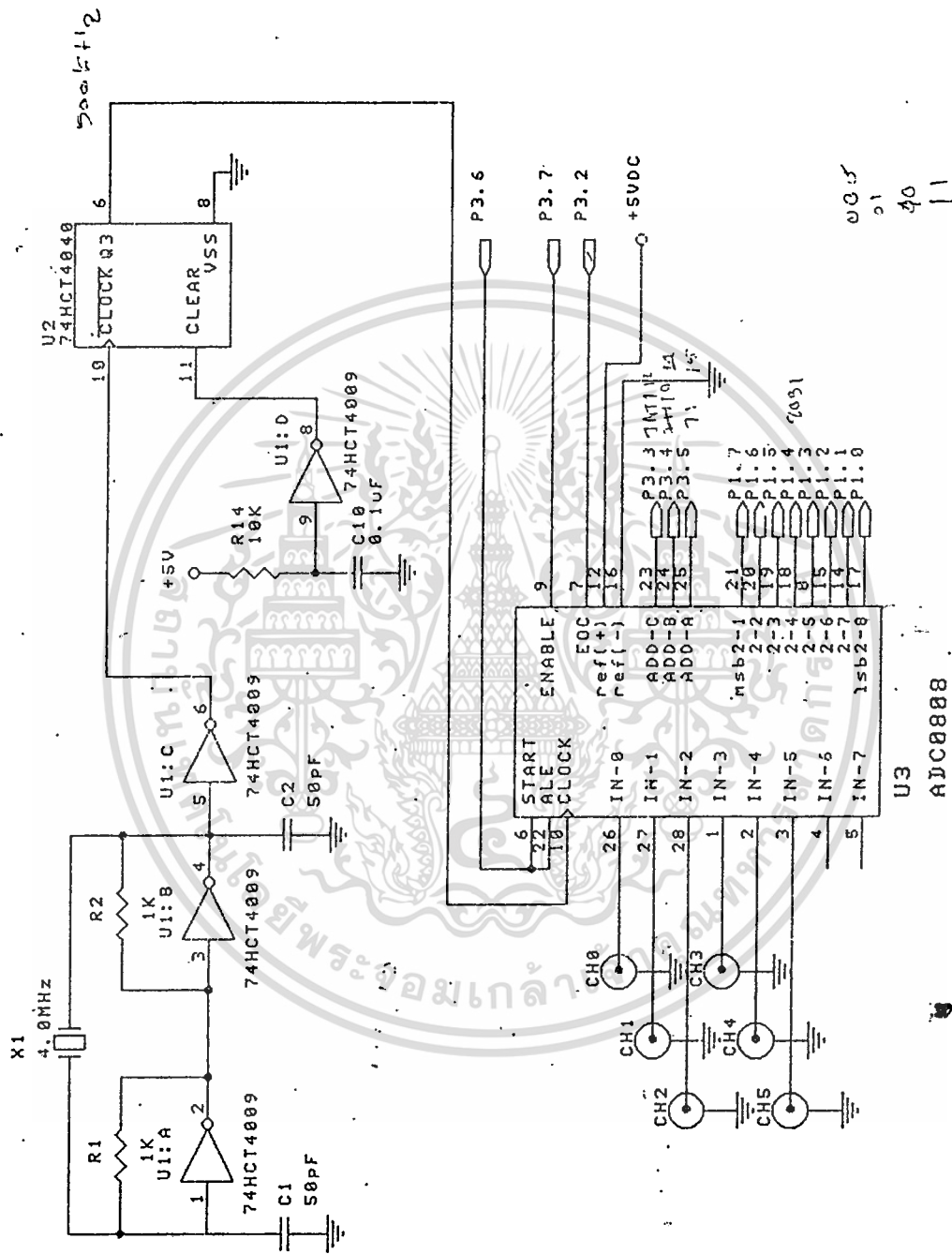


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



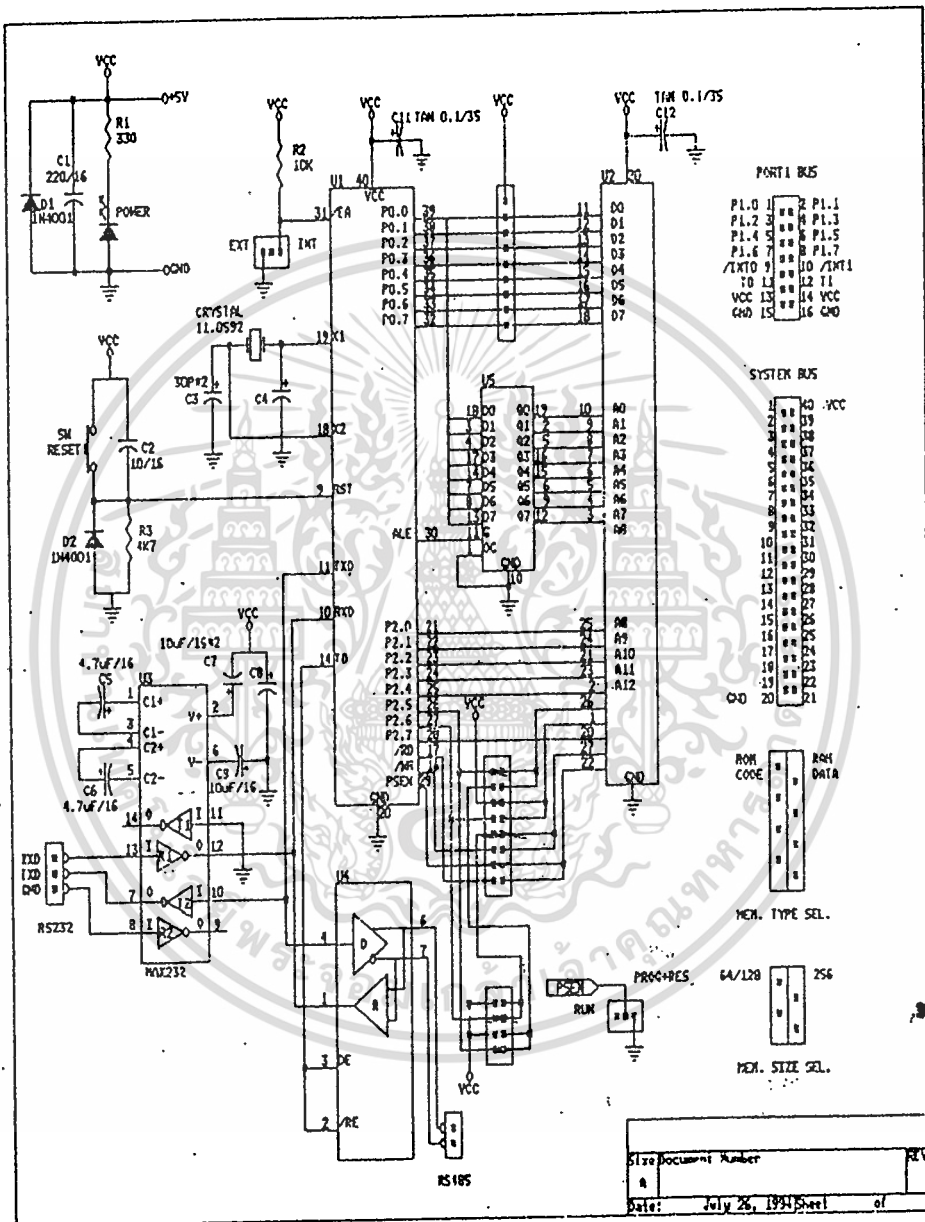
SIGNAL AMPLIFIER CIRCUIT FOR EACH CHANNEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ANALOG TO DIGITAL CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง วงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nr. 8.8630 Ed. 8.90 P. 1 ... 2 .
Type

PiezoBEAM®-Beschleunigungsaufnehmer
Accéléromètre PiezoBEAM®
PiezoBEAM® Accelerometer

8630B5, 8630B50

Hochempfindlicher Beschleunigungsaufnehmer mit eingebautem Ladungsverstärker und niederohmigem Spannungsausgang. Haupteinsatzgebiet des Aufnehmers ist die Modalanalyse.

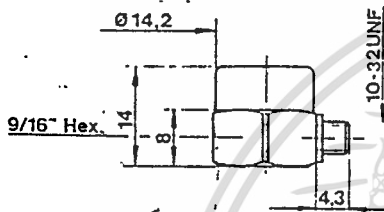
Trotz leichter Bauweise (<5g) hohe Empfindlichkeit (100, 1000 mV/g). Der masseisolierte Aufnehmer wird direkt auf das Messobjekt aufgeklebt. Kompatibel zu allen im Programm stehenden Kupplern.

Accéléromètre 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 (<5g). Le capteur isolé par rapport à la masse est collé directement sur l'objet à mesurer. Compatible avec tous les coupleurs disponibles.

Accelerometer with high sensitivity, built-in charge amplifier and low-impedance voltage output. Main application field is modal analysis.

High sensitivity (100, 1000mV/g) despite light-weight construction (<5g). The ground isolated transducer is glued directly onto the object to be measured. Compatible with all couplers available in the program.



1:1

Technische Daten

Données techniques

Technical Data

Typ	Type	Type	8630B5	8630B50	
Bereich	Gamme	Range	g	±5	±50
Überlast Schock (≤0,2 ms)	Surcharge Vibration Choc (≤0,2 ms)	Overload Vibration Shock (≤0,2 ms)	g	±8	±80
Empfindlichkeit ±5 % bei 100 Hz, 3 g _{rms}	Sensibilité ±5 % à 100 Hz, 3 g _{rms}	Sensitivity ±5 % at 100 Hz, 3 g _{rms}	mV/g	1000	100
Anschwelle, nom. Linearität, nom. Zeitkonstante, nom.	Seuil de réponse, nom. Linéarité, nom. Constante de temps, nom.	Threshold, nom. Linearity, nom. Time constant, nom.	µg _{rms} % s	120 ±1 1	1000 ±1 1
Resonanzfrequenz (montiert) Frequenzbereich (±5 %)	Fréquence de résonance (monté) Gamme de fréquence (±5 %)	Resonant frequency (mounted) Frequency range (±5 %)	kHz Hz	≈9 0,5 ... 2 k	≈22 0,5 ... 5 k
Phasenverschiebung 4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	Déphasage 4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	Phase shift 4 ... 2000 Hz (4 ... 5000 Hz)	°	<5	(<5)
Seltenempfindlichkeit Basisehnungsempfindlichkeit bei 250 µε	Sensibilité latérale Sensibilité de sollicitation à l'extension à 250 µε	Transverse sensitivity Base strain sensitivity at 250 µε	% g/µε	≤1 <0,001	≤1 <0,001
Betriebstemperaturbereich Lagerungstemperaturbereich	Gamme de température d'utilisation Gamme de température de stockage	Operating temperature range Storage temperature range	°C	0 ... 65 -23 ... 93	0 ... 65 -23 ... 93
Temperaturkoeffizient der Empfindlichkeit	Coefficient de température de la sensibilité	Temperature coefficient of sensitivity	%/°C	-0,01	+0,02
Speisestrom Speisespannung Ausgangsruhespannung	Courant d'alimentation Tension d'alimentation Tension de repos	Supply current Supply voltage Output bias voltage	mA VDC VDC	2 ... 18 20 ... 30 11 ±3	2 ... 18 20 ... 30 11 ±3
Ausgangsimpedanz Eingangsimpedanz	Impédance de sortie Impédance d'entrée	Output impedance Input impedance	Ω kΩ	<500 >100	<100 >100
Ausgangsspannung, Vollbereich Ausgangsstrom bei 4 mA-Speisung	Tension de sortie, pleine gamme Courant de sortie avec alimentation 4 mA	Output voltage, full scale Output current at 4 mA supply	V mA	±5 2	±5 2
Empfindlichkeitsänderung in Abhängigkeit des Speisestroms, 2 ... 8 mA, typ.	Changement de la sensibilité en fonction du courant d'alimentation, 2 ... 8 mA, typ.	Sensitivity change in function of the supply current, 2 ... 8 mA, typ.	%	±1	±1
Masse Masseisolation Gehäusewerkstoff	Masse Isolation par rapport à la masse Matériau du boîtier	Mass Ground insulation Housing material	g MΩ	4,5 10	4,5 10

1 g = 9.80665 m · s⁻²; 1 m · s⁻² = 0,1019... g; 1 inch = 25,4 mm; 1 Nm = 0.73756... lbf; 1 g = 0.03527... oz

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

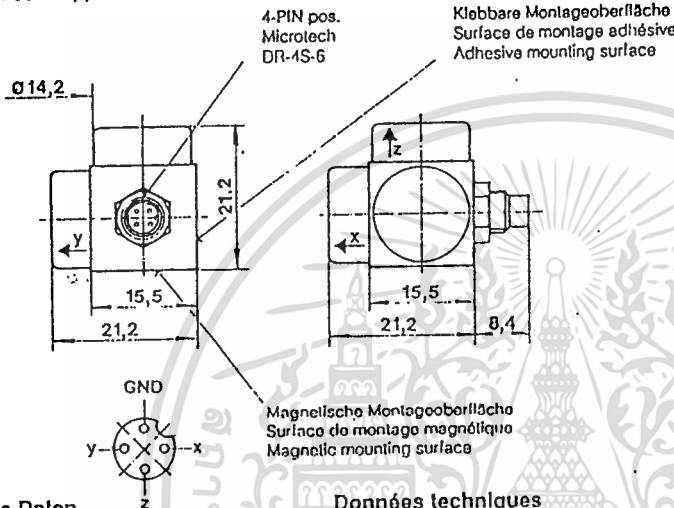
8692B5, 8692B50

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

Empfindlicher Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer mit eingebautem Ladungsverstärker niederschwingigem Spannungsausgang. Typeneinsatzgebiet ist die mehrkanalige Modalanalyse. Trotz leichter Bauweise (15 g) hohe Empfindlichkeit (100, 1000 mV/g). Der masselose Aufnahme 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.



1:1

Technische Daten

Données techniques

Technical Data

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

1 $g = 9,80665$ m \cdot s $^{-2}$; 1 m \cdot s $^{-2} = 0,1019...$ g; 1 Inch = 25,4 mm; 1 Nm = 0,73756... lbf \cdot 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 Petro wax

Accessoires

- Cire Petrowax: type 8432
- Câble de distribution: type 1576
connecteur à 4 pôles - 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.

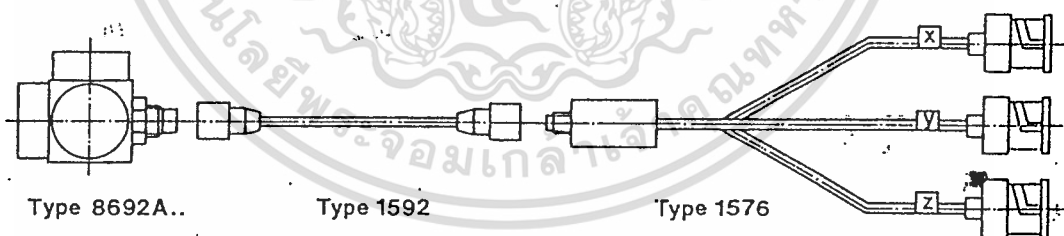
Mounting

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

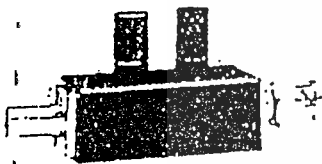
Coupleurs pour l'alimentation de capteurs Piézotron avec un courant constant et pour la conversion du signal (système à deux conducteurs). Quatre modèles pour des exigences différentes sont disponibles. Il existe des coupleurs pour une alimentation extérieure, une alimentation assurée par les batteries 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.

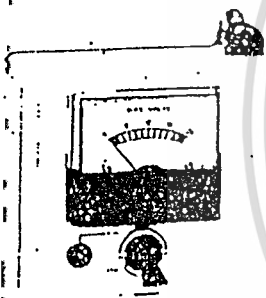
Type 5108



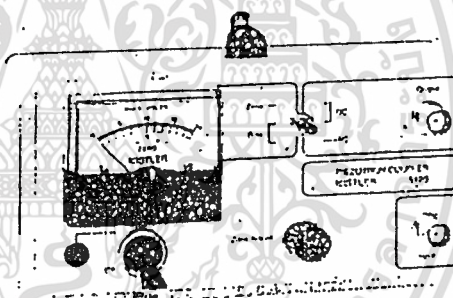
Type 5112



Type 5116



Type 5120



TECHNISCHE DATEN

DONNEES TECHNIQUES

TECHNICAL DATA

Type	Spebestrom Courant 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 b)	3 × 9V ~ d)	120 × 65 × 55	300
5116	2...18	1	0,07...200 a)	a)	20	220/110 ~ e)	150 × 75 × 85	585
5120	2...18	0,5...5	0...180 a)	a)	20	220/110 ~ e)	150 × 75 × 85	585

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)

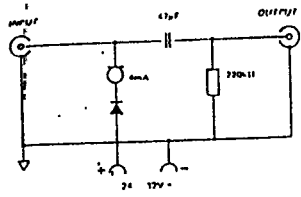
Température d'utilisation °C 0...50
a) sans filtre, pour filtres voir «ACCESSOIRES»
b) en série avec 47 µF
c) alimentation externe
d) type IEC 6F22 (pile transistor)

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)

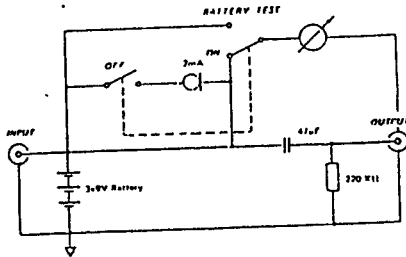
Kistler Instrumente AG, CH-8400 Winterthur, Switzerland, Tel. (052) 83 11 11 Kistler Instrument Corp., Amherst, NY 14120, USA, Phone (716) 691-5100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

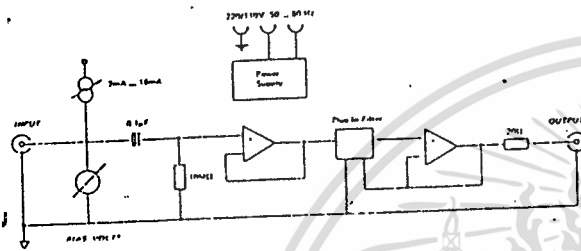
Type 5108



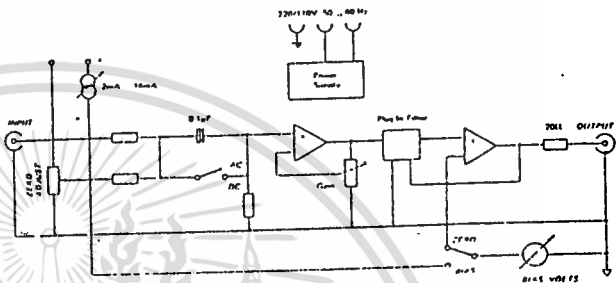
Type 5112



Type 5116



Type 5120



KUPPLER TYP 5108

Dieser Kuppler benötigt eine externe Speisung, die nicht stabilisiert 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 2mA. 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 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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, zweifädiges Kabel anschliessbar, über welches auch das Messsignal zum Kuppler gelangt (Zweileiter-System).

Die wechselspannungsgekoppelten 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 Wechselspannungskopplung zu.

Wechselspannungskopplung (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 Sicherungstausch 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 1716A..., siehe «ZUBEHÖR». Hochisolerierende 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 wechselspannungsgekoppelt (AC). Der Typ 5120 ist je nach Stellung des Schalters wechselspannungs- 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 Piezotron. 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 Piezotron.

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 Piezotron 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* switch 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 shortcut 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.

REGULIERUNG DER STROMQUELLE

Die Typen 5108 und 5112 haben eine fix ein-
gestellte Stromquelle von 4 mA bzw. 2 mA. Die
Typen 5116 und 5120 sind werkseitig ebenfalls
auf 4 mA eingestellt, doch kann dies im Bereich
2...18 mA geändert werden. Eine Erhöhung des
Stroms ist nur bei Auftreten von hochfren-
quenz Signalen und gleichzeitig langen Kabeln
möglich. Dazu ist die Rückwand abzunehmen
und die spannungsführende Teile) und das sich
in der linken unteren Ecke befindliche Potenti-
ometer zu justieren. Dazu ist ein Amperemeter zwi-
schen dem Eingang *Input* und die Elektronikmasse
anzuschließen. Falls Piezotron-Aufnehmer mit Strö-
men mehr als 4 mA betrieben werden, muss
eine Beschränkung ihres Betriebstemperaturbe-
reichs im 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
5108	320 kHz	130	65	30	13	6,5	3	1,3	0,6
5112	960 kHz	380	190	100	38	20	10	3,8	2
5116	2250 kHz	900	450	225	90	45	20	9	4,5
5120	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: pié-
ces sous tension) et ajuster le potentiomètre situé
en bas dans le coin gauche. En outre, il faut bran-
cher un ampèremètre entre l'entrée *Input* et la
masse de l'électronique. Au cas où les capteurs
Piezotron fonctionnent avec un courant dépas-
sant 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'al-
imentation 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 neces-
sary when high-frequency signals are transmitted
via long cables. When altering the current, remo-
ve 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 pow-
ered 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

	2m/200pF	5m/500pF	10m/1nF	20m/2nF	50m/5nF	100m/10nF	200m/20nF	500m/50nF	1000m/100nF
5108	320 kHz	130	65	30	13	6,5	3	1,3	0,6
5112	960 kHz	380	190	100	38	20	10	3,8	2
5116	2250 kHz	900	450	225	90	45	20	9	4,5
5120	5500 kHz	2200	1100	550	220	110	55	22	11

ABMESSUNGEN

51761A2	l = 2 m
51761A5	l = 5 m
51761A10	l = 10 m
51761Asp...m	l = ...m

ACCESSOIRES

Câbles

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

ACCESSORIES

Cables

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

Sperrfilter (auf Anfrage)

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

Filtres passe-bas (selon demande)

Low-pass Filters (on request)

gemäss Reihe E6: 1 kHz...220 kHz
gemäss Reihe E6: 10 Hz...680 Hz

a) fc selon série E6: 1 kHz...220 kHz
b) fc selon série E6: 10 Hz...680 Hz

a) fc according to series E6: 1 kHz...220 kHz
b) fc according to series E6: 10 Hz...680 Hz

Sperrfilter (auf Anfrage)

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 ± 30 kHz	603B	260 ± 10 kHz
5320A2	160 ± 5 kHz	601A	67 ± 5 kHz
5320A3	42 ± 2 kHz	8002 (808A)	17 ± 2 kHz
5320A4	60 ± 3 kHz	8044 (805A)	26 ± 3 kHz
5320A8	100 ± 10 kHz	606A	50 ± 5 kHz
5320A9	315 ± 15 kHz	602A, 601B	125 ± 10 kHz

**Filtre d'encoches
6dB/octave (selon demande)**

**Notch filters
6dB/octave (on request)**

LEISTUNGSFÄHIGKEIT UND LIEFERUMFANG

- 5108 Piezotron-Kuppler für Fremdspannung (24...32 V DC)
- 5112 Piezotron-Kuppler mit Batterie-
speisung
- 5116 Piezotron-Kuppler mit Netzspannung,
Filter einsetzbar
- 5120 Piezotron-Kuppler mit Netzspannung,
einstellbare Verstärkung, Filter ein-
setzbar

COMMANDE ET FOURNITURE

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

SUPPLY FORMS AND SCOPE OF DELIVERY

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

Etendu de la fourniture: selon prix-courant.

Scope of delivery: see data on the price list.



ADC0808/ADC0809 8-Bit μ 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.)

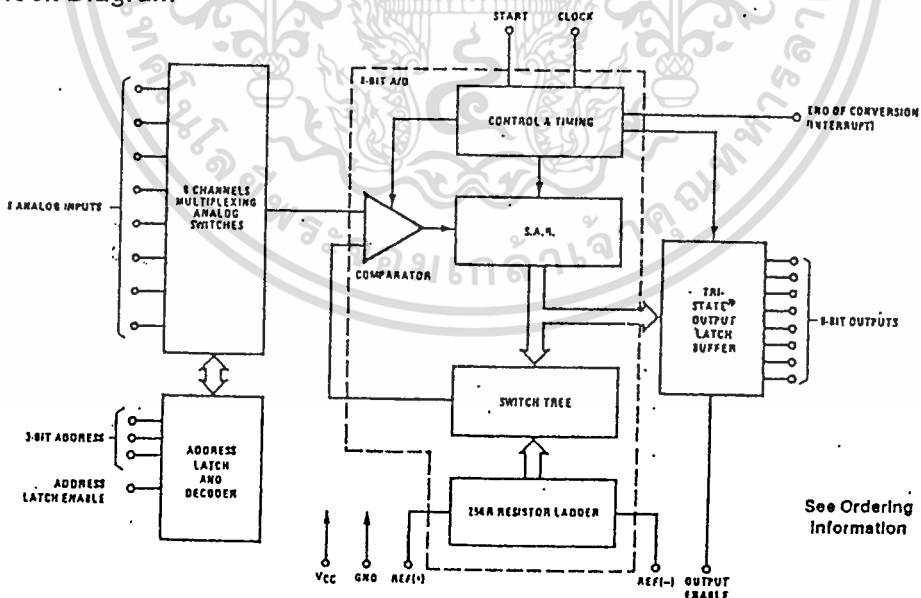
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} 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 $\pm 1/4$ LSB and ± 1 LSB
- Single Supply 5 V_{DC}
- Low Power 15 mW
- Conversion Time 100 μ s

Block Diagram



See Ordering Information

TL/H/5072-1

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°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	250°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} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0808CJ	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C
ADC0808CCJ, ADC0808CCN,	
ADC0809CCN	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
Range of V _{CC} (Note 1)	4.5 V _{CC} to 6.0 V _{CC}

Electrical Characteristics

Converter Specifications: V_{CC} = 5 V_{CC} = V_{REF+}, V_{REF(-)} = GND, T_{MIN} ≤ T_A ≤ 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			± 1/2	LSB
		T _{MIN} to T _{MAX}			± 3/4	LSB
ADC0809	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C			± 1	LSB
		T _{MIN} to T _{MAX}			± 1 1/4	LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND - 0.10		V _{CC} + 0.10	V _{CC}
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	± 0.5	2	μA

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
I _{OFF(+)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} = 5V, V _{IN} = 5V, T _A = 25°C, T _{MIN} to T _{MAX}		10	200 1.0	nA μA
I _{OFF(-)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} = 5V, V _{IN} = 0, T _A = 25°C, T _{MIN} to T _{MAX}	-200 -1.0	-10		nA μA

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
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	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	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 0$	-1.0			μA
I_{CC}	Supply Current	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$		0.3	3.0	mA
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	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	μA μA

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	μS
t_{HL}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{HL}, 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	μS
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8 + 2 μS	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_{CC} .

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_{CC} to 5V_{CC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{CC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 2. None of these A/Ds require 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 voltage 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 8). 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 Ω resistor.

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 1 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 1

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

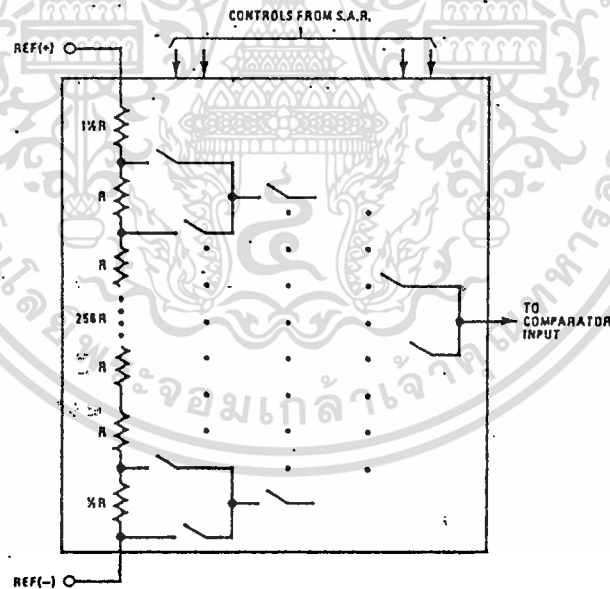
The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed

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.



TLH/5672-2

FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

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.

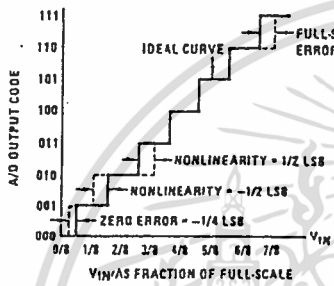


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

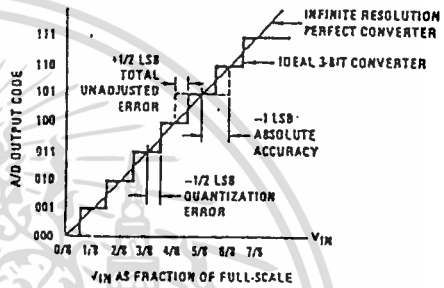


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

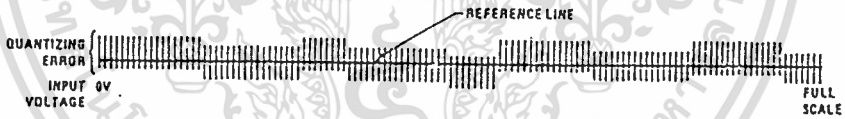
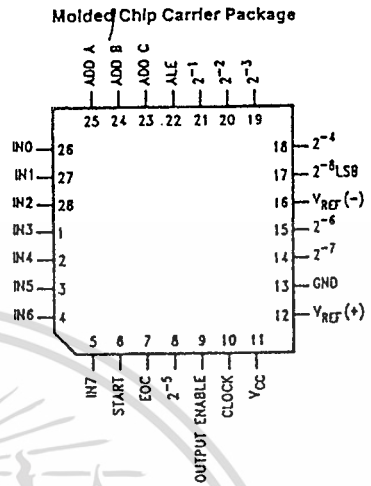
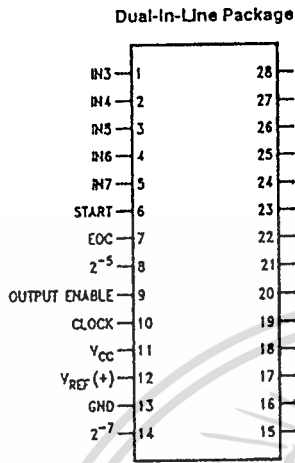


FIGURE 4. Typical Error Curve

TL/H/5672-3

Connection Diagrams



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

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Timing Diagram

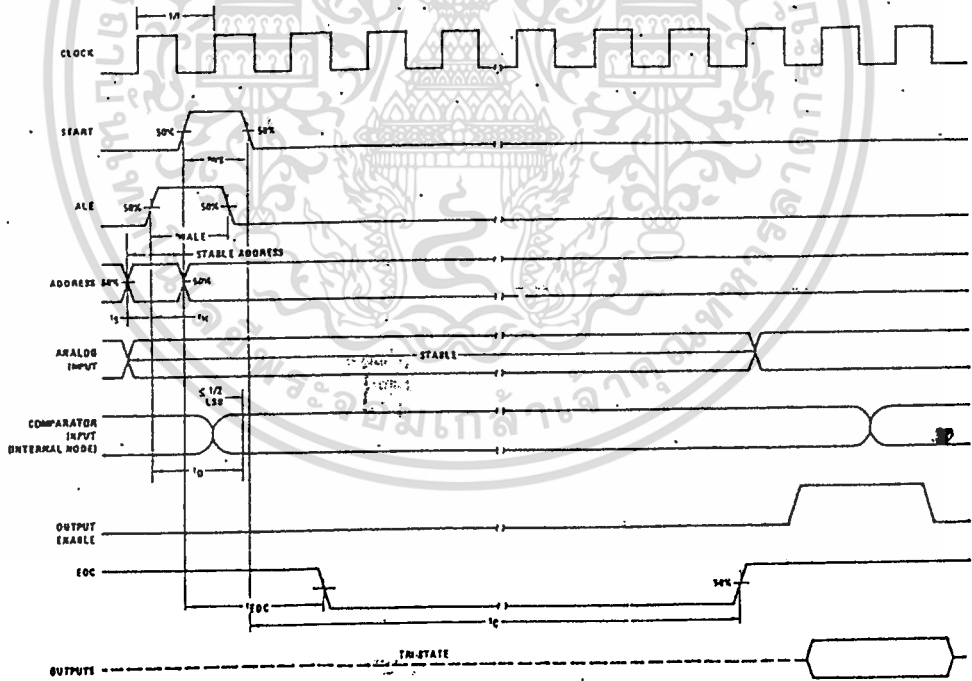


FIGURE 5

TU/H/5672-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

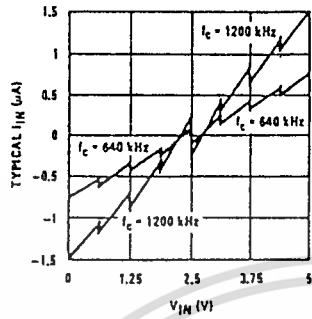


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN}
($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

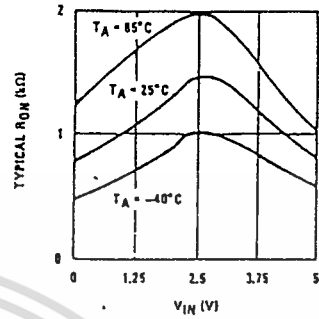


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN}
($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

TL/H/5672-5

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

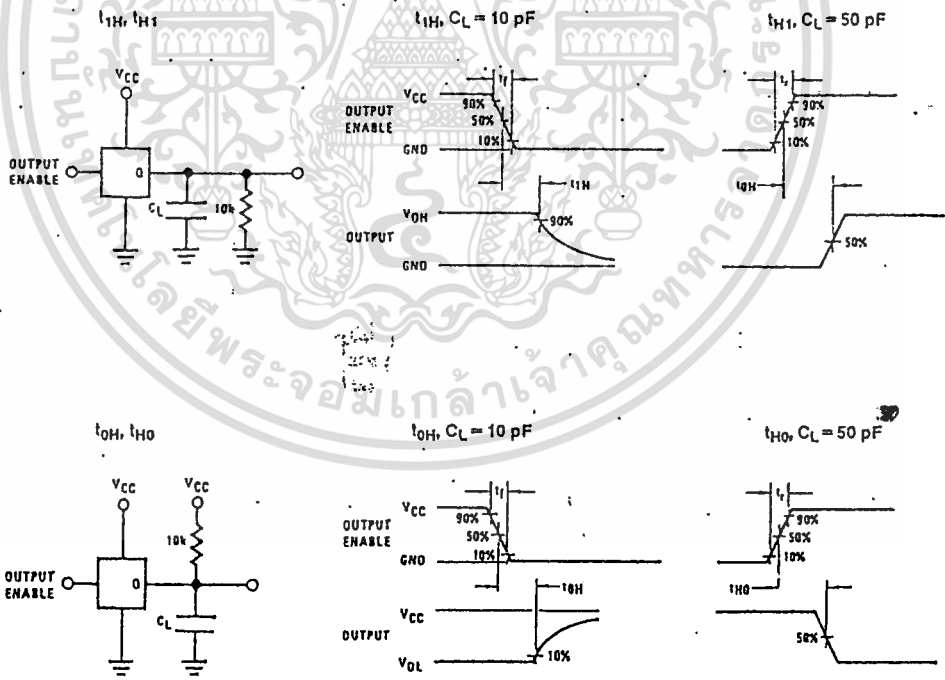


FIGURE 8

TL/H/5672-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIO-METRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratio-metric conversion systems. In ratio-metric 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

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

V_{IN} = Input voltage into the ADC0808

V_{IS} = 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 ratio-metric 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).

Ratio-metric 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 ratio-metric 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.

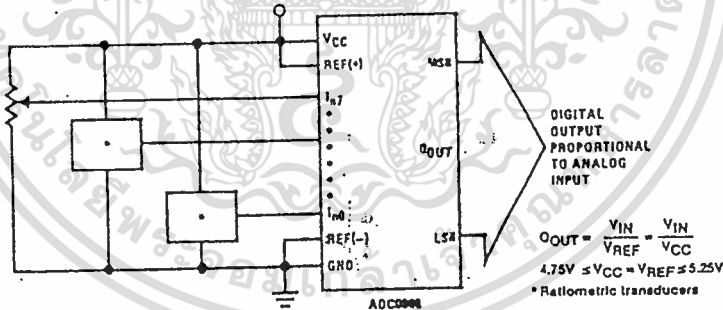


FIGURE 9. Ratio-metric Conversion System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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 μ 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.

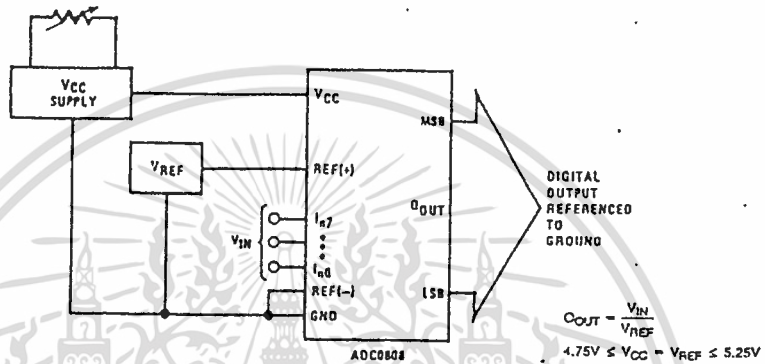


FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply

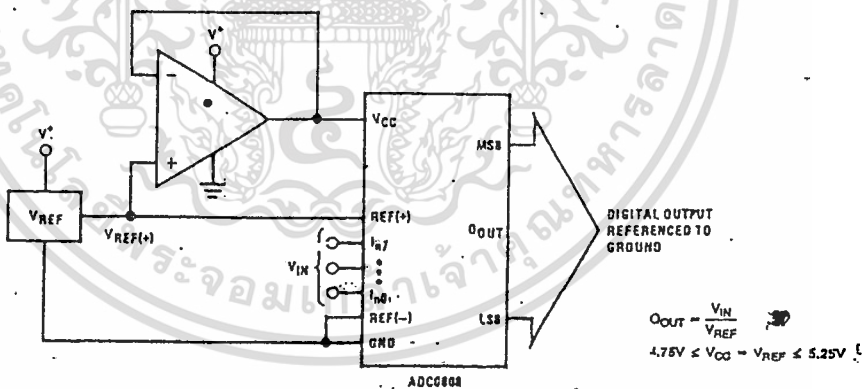


FIGURE 11: Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

TL/H/5472-8

Applications Information (Continued)

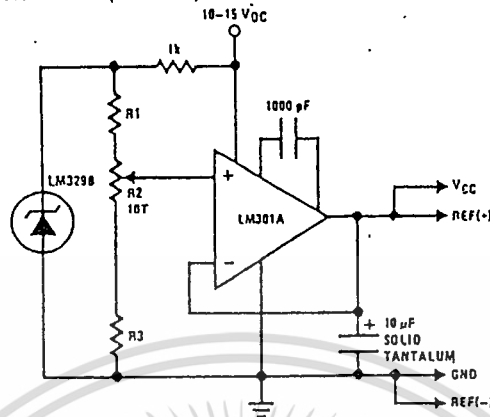


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

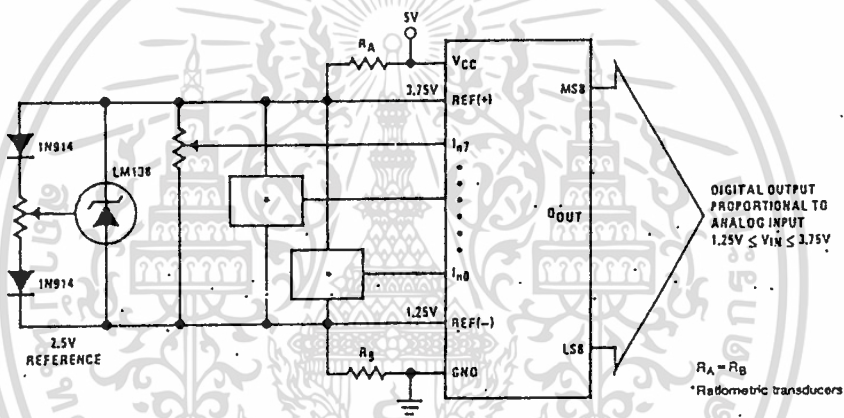


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

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

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

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

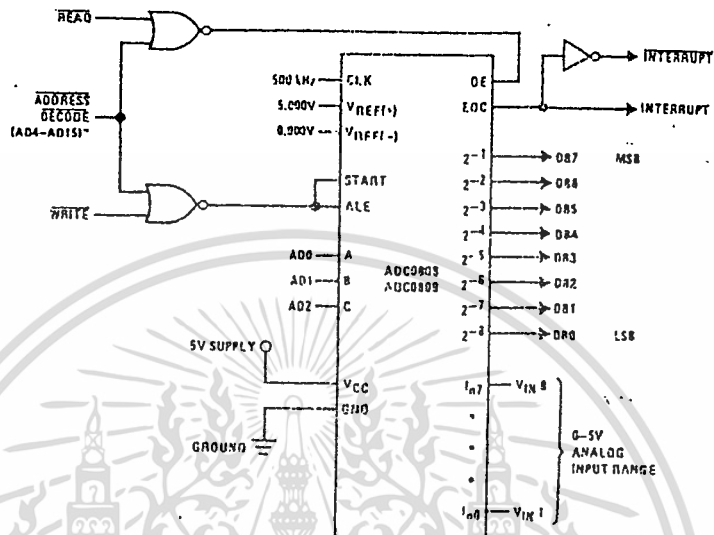
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

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



TL/H/5672-10

*Address latches needed for 8085 and SC/MP Interfacing the ADC/DCS to a microprocessor

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	NRCS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA ϕ 2 \cdot R/W	VMA ϕ \cdot R/W	IRQA or IROB (Thru PIA)

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	$\pm 1/2$ 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 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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

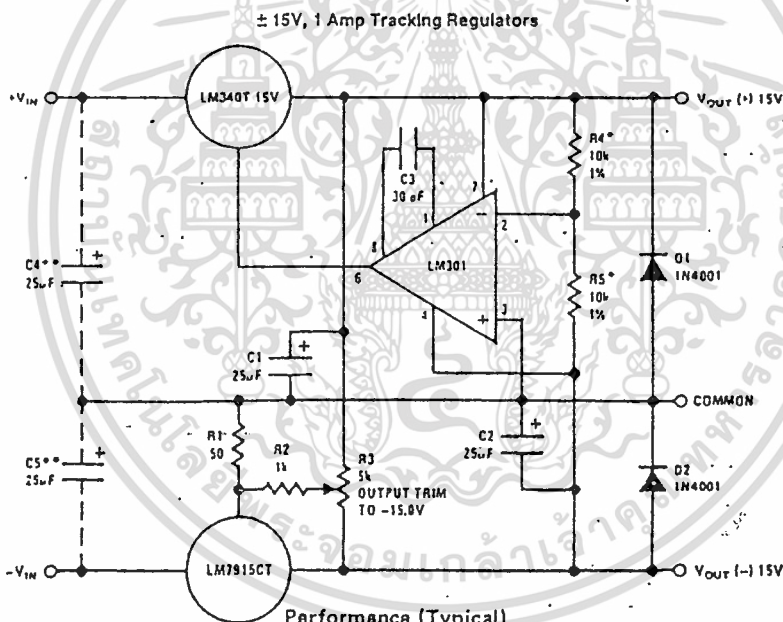
these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

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



TL/H7340-1

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

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

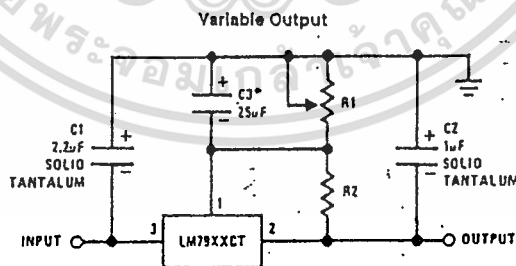
0°C to

-65°C to

Electrical Characteristics Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500$ mA, $C_{IN} = 2.2$ μ F, $C_{OUT} = 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, Power Dissipation ≤ 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	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $5 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$, $P \leq 15 \text{ W}$ $(-20 \leq V_{IN} \leq -7)$	-4.8 -4.75	-5.0	-5.2 -5.25
ΔV_o	Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Note 2)		8 2	50 15
				$(-25 \leq V_{IN} \leq -7)$ $(-12 \leq V_{IN} \leq -8)$	
ΔV_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_o	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		1	2
ΔI_o	Quiescent Current Change	With Line With Load, $5 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$			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/340-2

*Improves transient response and ripple rejection. Do not increase beyond 50 μ F.

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

Select R2 as follows:

LM7905CT	300 Ω
LM7912CT	750 Ω
LM7915CT	1k

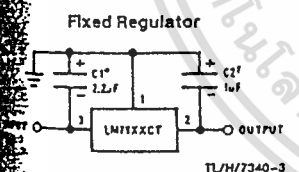
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

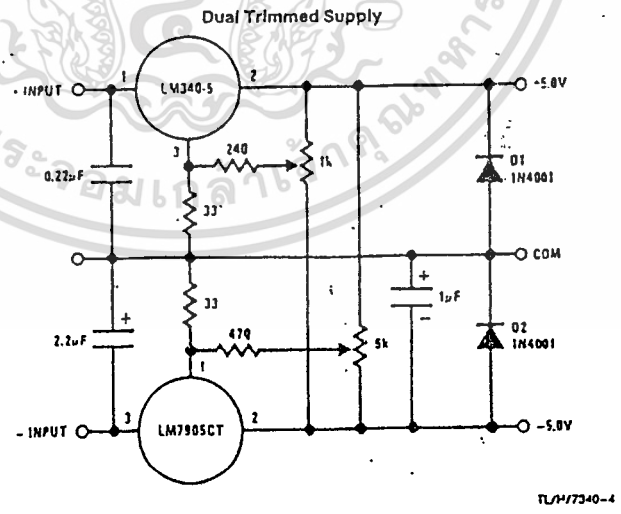
Part Number		LM7912C			LM7915C			Units
Output Voltage		12V			15V			
Input Voltage (unless otherwise specified)		-19V			-23V			
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $5\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{ A}$, $P \leq 15\text{ W}$	-11.5	-12.0	-12.5	-14.4	-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) $5\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1.5\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 750\text{ mA}$	15	200		15	200		mV
		15	200		15	200		mV
		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		μV
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		mV/ $^\circ\text{C}$

Note 1: For calculations of junction temperature rise due to power dissipation, thermal resistance function to ambient (θ_{JA}) is 50°C/W (no heat sink) and 5°C/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)

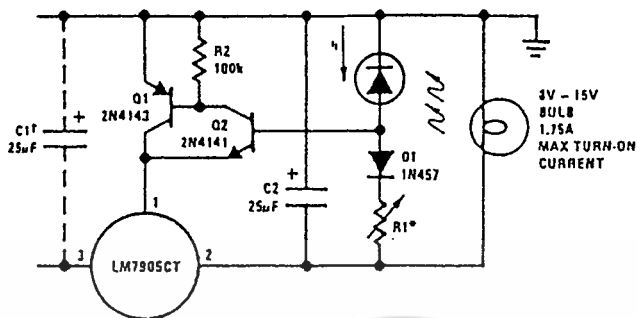


Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 μF aluminum electrolytic may be substituted.
 Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25 μF aluminum electrolytic may be substituted. Values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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

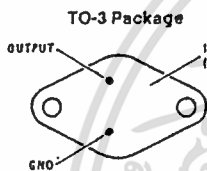
Typical Applications (Continued)



TU/H/7340-9

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

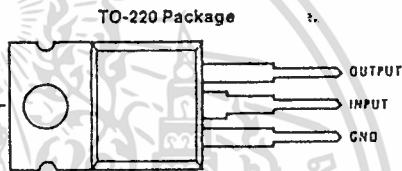
Connection Diagrams



TU/H/7340-10

Bottom View

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



TU/H/7340-11

Top View

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



LM78XX

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.

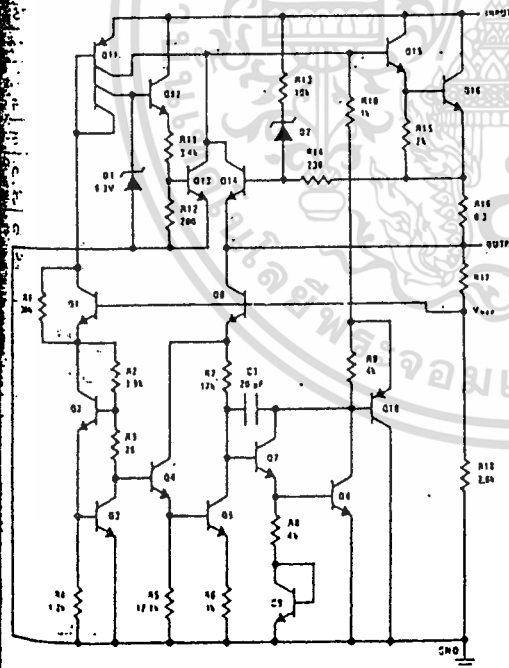
Features

- 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/7748-1

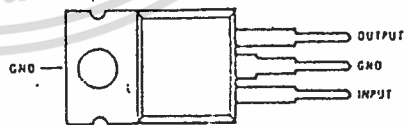
Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum



TL/H/7748-2

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

Plastic Package
TO-220 (T)



TL/H/7748-3

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) $0^\circ C$ to $+70^\circ C$

Maximum Junction Temperature
 (K Package)
 (T Package)

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

Electrical Characteristics LM78XX (Note 2) $0^\circ C \leq T_j \leq 125^\circ C$ 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	$T_j = 25^\circ C, 5 mA \leq I_O \leq 1 A$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6
		$P_D \leq 15W, 5 mA \leq I_O \leq 1 A$ $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	4.75	5.25	5.25	11.4	12.8	12.8	14.25	15.75	15.75
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500 mA, T_j = 25^\circ C$		3	50		4	120		4	150
		ΔV_{IN}									
		$0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C$			50			120			150
		ΔV_{IN}									
ΔV_O	Load Regulation	$I_O \leq 1 A, T_j = 25^\circ C$			50			120			150
		ΔV_{IN}									
		$0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C$			25			60			75
		ΔV_{IN}									
ΔV_O	Load Regulation	$T_j = 25^\circ C, 5 mA \leq I_O \leq 1.5 A$ $250 mA \leq I_O \leq 750 mA$.10	50		12	120		12	150
		$5 mA \leq I_O \leq 1 A, 0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C$			50			120			150
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1 A, T_j = 25^\circ C$			8			8			8
		$0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C$			8.5			8.5			8.5
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5 mA \leq I_O \leq 1 A$			0.5			0.5			0.5
		$T_j = 25^\circ C, I_O \leq 1 A$ $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			1.0			1.0			1.0
		$I_O \leq 500 mA, 0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C$ $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			1.0			1.0			1.0
V_N	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, 10 Hz \leq f \leq 100 kHz$			40			75			90
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$I_O \leq 1 A, T_j = 25^\circ C$ or $I_O \leq 500 mA$ $0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C$	62	80	80	55	72	72	54	70	70
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			62			55			54
R_O	Dropout Voltage Output Resistance Short-Circuit Current Peak Output Current Average TC of V_{OUT}	$T_j = 25^\circ C, I_{OUT} = 1 A$			2.0			2.0			2.0
		$f = 1 kHz$			8			18			19
		$T_j = 25^\circ C$			2.1			1.5			1.2
		$T_j = 25^\circ C$			2.4			2.4			2.4
		$0^\circ C \leq T_j \leq +125^\circ C, I_O = 5 mA$			0.6			1.5			1.8
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_j = 25^\circ C, I_O \leq 1 A$			7.5			14.6			17.7

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

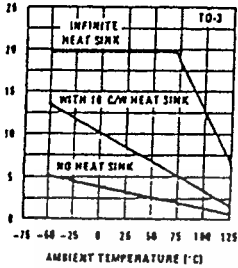
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22 \mu F$, and a capacitor across the output of $0.1 \mu F$. All characteristics except voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10 ms$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

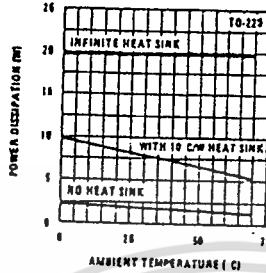
Typical Performance Characteristics

LM78XX

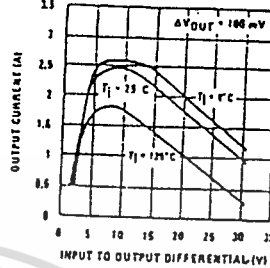
Maximum Average Power Dissipation



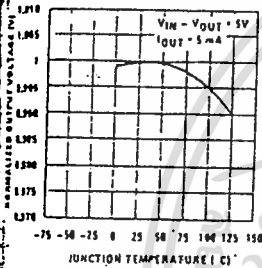
Maximum Average Power Dissipation



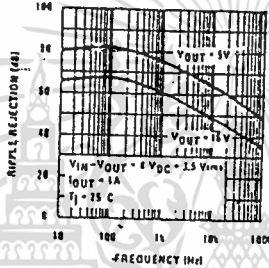
Peak Output Current



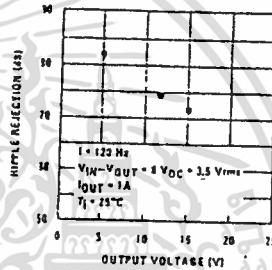
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_J = 25^\circ\text{C}$)



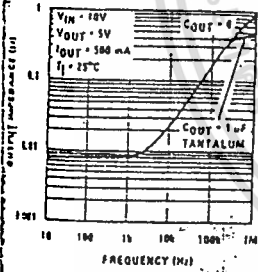
Ripple Rejection



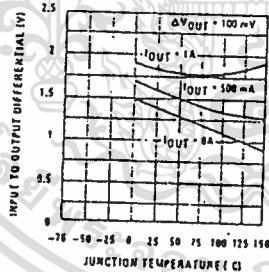
Ripple Rejection



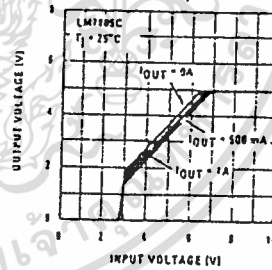
Output Impedance



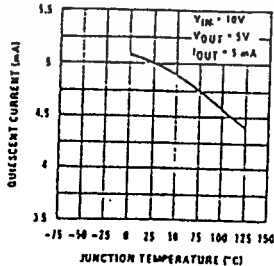
Dropout Voltage



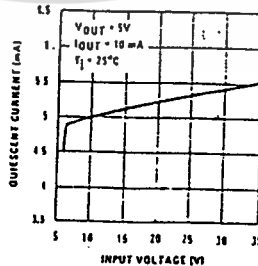
Dropout Characteristics



Quiescent Current



Quiescent Current



TUW/7746-4

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 Kcvar-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 (JA) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

LM117 Series Packages and Power Capability

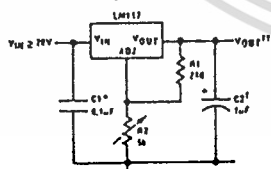
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
MP	TO-202	2W	0.5A

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

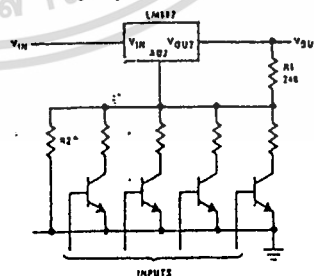


TL/H/9053-1

- 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.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

Digitally Selected Outputs



*Sets maximum VOUT

TL/H/9053-2

LM117A/LM117/LM317A/LM317

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 _J ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T _J ≤ +125°C

Preconditioning

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

Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for T_J = 25°C, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V_{IN} - V_{OUT} = 5V, and I_{OUT} = 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 _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V (Note 4)	0.005	0.01		0.01	0.02		%/V	
		0.01	0.02		0.02	0.05		%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} (Note 4)	0.1	0.3		0.1	0.3		%	
		0.3	1		0.3	1		%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse	0.03	0.07		0.03	0.07		%/W	
Adjustment Pin Current		50	100		50	100		μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} 3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V	0.2	5		0.2	5		μA	
Temperature Stability	T _{MIN} ≤ T _J ≤ T _{MAX}		1		1			%	
Minimum Load Current	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V	3.5	5		3.5	5		mA	
Current Limit	(V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 15V	K Package	1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
		H Package	0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
	(V _{IN} - V _{OUT}) = 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 _{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		0.003			%	
Ripple Rejection Ratio	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 0 μF		65		65			dB	
	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 10 μF	66	80		66	80		dB	
Long-Term Stability	T _J = 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	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$, $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	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	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	μA	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K and T Package H Package P Package		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
						0.5	0.8	1.8	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	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$		66	80		66	80	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	5	$^\circ\text{C/W}$	
	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.

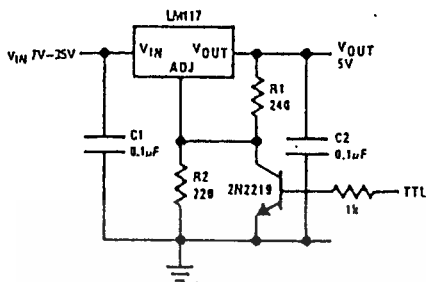
Note 3: Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and TO-202, and 20W for the TO-3 and TO-220. I_{MAX} is 1.5A for the TO-3 and TO-220 packages and 0.5A for the TO-39 and TO-202 packages. All limits (i.e., 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 Ω resistor.

Typical Applications (Continued)

5V Logic Regulator with Electronic Shutdown*

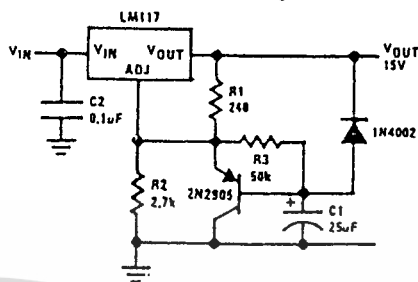


*Min. output = 1.2V

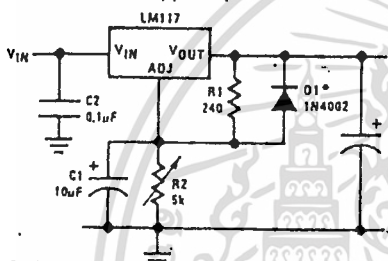
TL/H/9063-3

TL/H/9063-8

Slow Turn-On 15V Regulator



Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

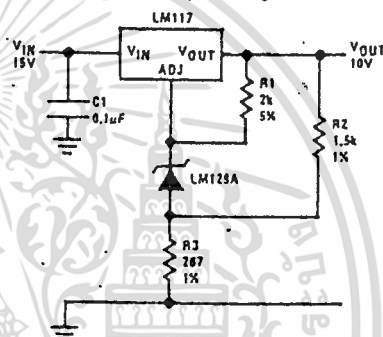


†Solid tantalum

*Discharges C1 if output is shorted to ground

TL/H/9063-10

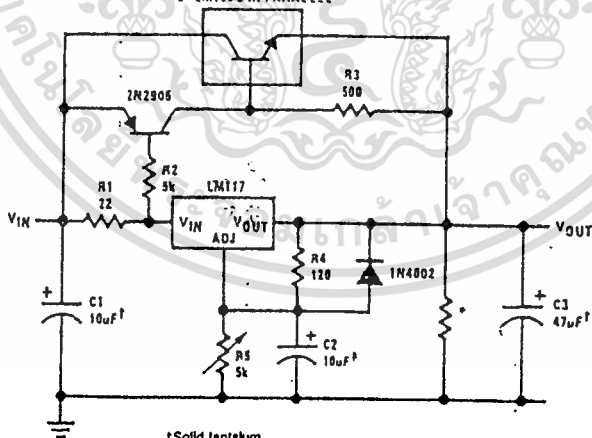
High Stability 10V Regulator



TL/H/9063-11

High Current Adjustable Regulator

3-LM195'S IN PARALLEL



†Solid tantalum

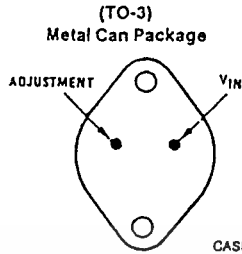
*Minimum load current = 30 mA

‡Optional—improves ripple rejection

TL/H/9063-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams (See Physical Dimension section for further information)



CASE IS OUTPUT

TL/H/9063-30

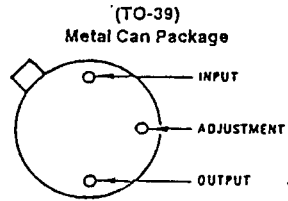
Bottom View

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

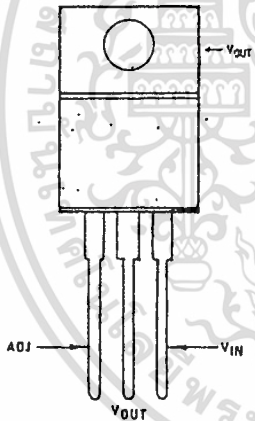


CASE IS OUTPUT
Bottom View

TL/H/9063-31

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

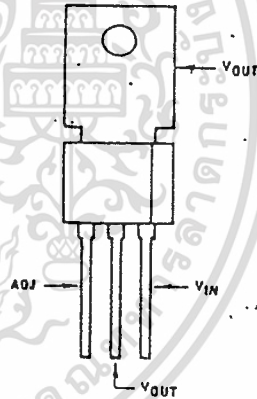
(TO-220)
Plastic Package



Front View

Order Number LM317AT or LM317T See NS Package Number T03B

(TO-202)
Plastic Package



Front View

Order Number LM317MP See NS Package Number P03A

TL/H/9063-32



OP-07

OP-07 Low Offset, Low Drift Operational Amplifier

General Description

The OP-07 has very low input offset voltage (25 μV 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 (± 2 nA for OP-07A) and high open-loop gain (100 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.

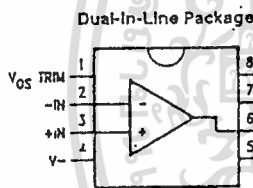
Features

- Low V_{OS} 25 μV 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

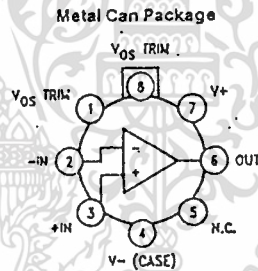
- Strain Gauge Amplifiers
- Thermocouple Amplifiers
- Precision Reference Buffer
- Analog Computing Functions

Connection Diagrams



TL/H/10550-1

See NS Package Number J08A or N08E



TL/H/10550-2

See NS Package Number H08C

Ordering Information

$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{OS\text{Max}}$ (μV)	Package TO-99	Package J08A CERDIP	Package 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 -65°C to +125°C
P Package -65°C to +100°C

Lead Temperature (Soldering, 60 sec.)

Junction Temperature -85°C to +125°C

Operating Temperature Range

OP-07A, OP-07, -55°C to +125°C
OP-07E, OP-07C, OP-07D 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 25	25 60		30 60	75 200
$\Delta V_{OS}/t$	Long-Term Input Offset Voltage Stability	(Note 2)		0.2	1.0		0.2	1.0
I_{OS}	Input Offset Current			0.3 0.8	2.0 4		0.4 1.2	2.5 5.6
I_B	Input Bias Current			± 0.7 ± 1	± 2.0 ± 4		± 1.0 ± 2	± 3.0 ± 6
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) $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz (Note 3)		10.3 10.0 9.6	18.0 13.0 11.0		10.3 10.0 9.6	18.0 13.0 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) $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz (Note 3)		0.32 0.14 0.12	0.80 0.23 0.17		0.32 0.14 0.12	0.80 0.23 0.17
R_{iN}	Input Resistance Differential-Mode	(Note 4)	30	80		20	60	
R_{iNCM}	Input Resistance Common-Mode			200			200	
I_{VR}	Input Voltage Range		± 13.0 ± 13.0	± 14.0 ± 13.5		± 13.0 ± 13.0	± 14.0 ± 13.5	
$CMRR$	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	110 106	126 123		110 106	126 123	
$PSRR$	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		4 5	10 20		4 5	10 20
A_{VO}	Large-Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2 k\Omega$, $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 2 k\Omega$, $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	300 200 150	500 400 400		200 150 150	500 400 400	
V_O	Output Voltage Swing	$R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$ $R_L \geq 1 k\Omega$	± 12.5 ± 12.0 ± 12.0 ± 10.5	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0		± 12.5 ± 12.0 ± 12.0 ± 10.5	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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 $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$

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/ μ 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		Ω
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	$R_P = 20\text{ k}\Omega$		± 4			± 4		mV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 3)		0.2	0.6		0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	$R_P = 20\text{ k}\Omega$ (Note 4)		0.2	0.6		0.3	1.3	
Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		5	25		8	50	$\text{pA}/^\circ C$
Average Input Bias Drift	(Note 3)		8	25		13	50	$\text{pA}/^\circ C$

1 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.

2 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 μV . Parameter is sample tested.

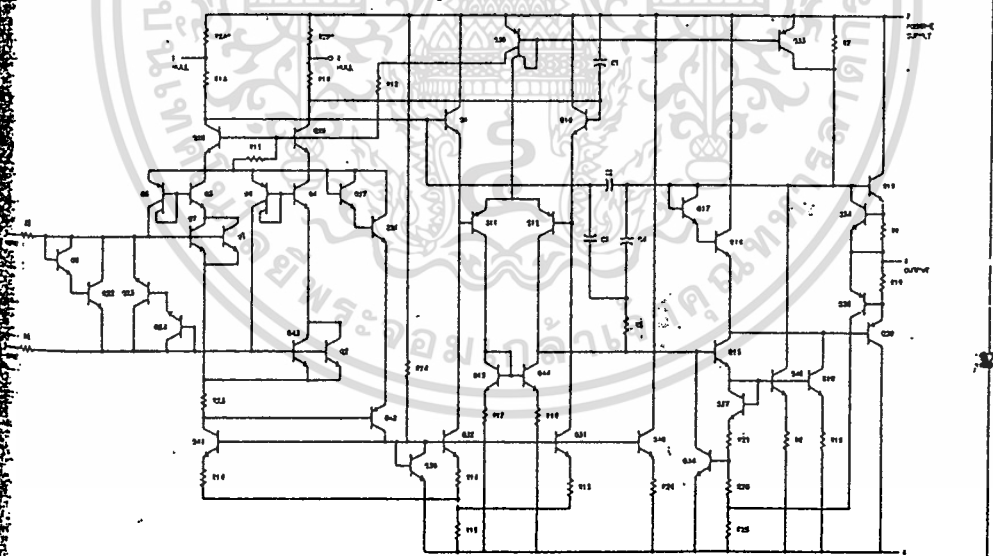
3 Sample tested.

4 Guaranteed by design.

5 The typical θ_{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 θ_{JC} of the H08 package is 17.5 $^\circ C/W$. All numbers apply for packages soldered directly into an etched circuit board.

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

Simplified Schematic



TUHV10550-3

and R25 are electronically trimmed on chip at the factory for minimum offset voltage.

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 4.5	75 130		60 85	150 250
$V_{OS/t}$	Long-Term V_{OS} Stability	(Note 2)		0.3	1.5		0.4	2.0
I_{OS}	Input Offset Current			0.5 0.9	3.8 5.3		0.8 1.6	8.0 8.0
I_B	Input Bias Current			± 1.2 ± 1.5	± 4.0 ± 5.5		± 1.8 ± 2.2	± 7.0 ± 9.0
e_{no-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		± 13.0	± 14.0		± 13	± 14	
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	106 103	123 125		100 97	120 120	
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$ $V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		5 7	20 32		7 10	32 57
A_{VO}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2$ k Ω , $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	200 180 150	500 450 400		120 100 100	400 400 400	
V_O	Output Voltage Swing	$R_L \geq 10$ k Ω $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 1$ k Ω	± 12.5 ± 12.0 ± 12.0 ± 10.5	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0		± 12.0 ± 11.5 ± 11.0	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0	
SR	Slew Rate	$R_L \geq 2$ k Ω (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 Ω		± 4			± 4	
TCV_{OS}	Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 4)		0.3	1.3		0.5	1.8
TCV_{OSn}	Average Input Offset Voltage Drift With External Trim	$R_p = 20$ k Ω (Note 4)		0.3	1.3		0.4	1.6
TCI_{OS}	Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		8	35		12	50
TCI_B	Average Input Bias Current Drift	(Note 3)		13	35		18	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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 85	150 250	μV
Long-Term V_{OS} Stability	(Note 2)		0.5	3.0	$\mu V/Mo$
Input Offset Current			0.8 1.6	6.0 8.0	nA
Input Bias Current			± 2.0 ± 3.0	± 12.0 ± 14.0	nA
Input Noise Voltage	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		0.38	0.65	μV_{p-p}
Input Noise Voltage Density	$I_O = 10$ Hz $I_O = 100$ Hz (Note 3) $I_O = 1000$ 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	pA_{p-p}
Input Noise Current Density	$I_O = 10$ Hz $I_O = 100$ Hz (Note 3) $I_O = 1000$ 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		± 13	± 14		V
Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	94 94	110 106		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		7 10	32 51	$\mu V/V$
Large Signal Voltage Gain	$R_L \leq 2$ k Ω , $V_O = \pm 10V$ $R_L = 2$ k Ω , $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$, $V_S \pm 3V$ (Note 4)	120 100	400 400 400		V/mV
Output Voltage Swing	$R_L \geq 10$ k Ω $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 1$ k Ω	± 12.0 ± 11.5 ± 11.0	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0		V
Slew Rate	$R_L \geq 2$ k Ω (Note 3)	0.1	0.3		V/ μs
Closed-Loop Bandwidth	$A_{VCL} = +1$ (Note 3)	0.4	0.6		MHz
Output Resistance	$V_O = 0$, $I_O = 0$		60		Ω
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 Ω		± 4		mV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 4)		0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	$R_P = 20$ k Ω (Note 4)		0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		12	50	$pA/^\circ C$
Average Input Bias Current Drift	(Note 3)		18	50	$pA/^\circ C$

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.

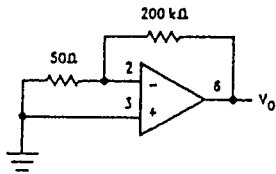
Sample Tested.

Warranted by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

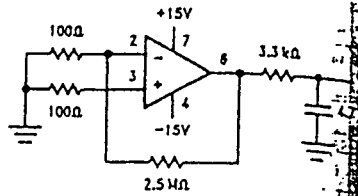
Test Circuits

Offset Voltage Test Circuit

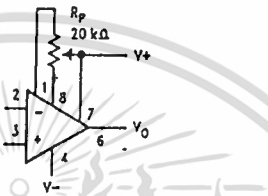


TL/H/10550-4

Low Frequency Noise Test Circuit



Optional Offset Nulling Circuit



TL/H/10550-6



SCL4009UB Inverting
SCL4010B Non-Inverting



CMOS
HEX BUFFERS/CONVERTERS

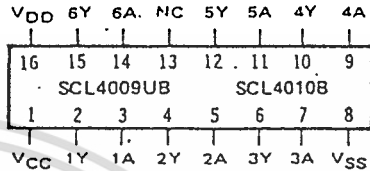
FEATURES

- ◆ 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/convertor 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 $V_{CC} \leq V_{DD}$.

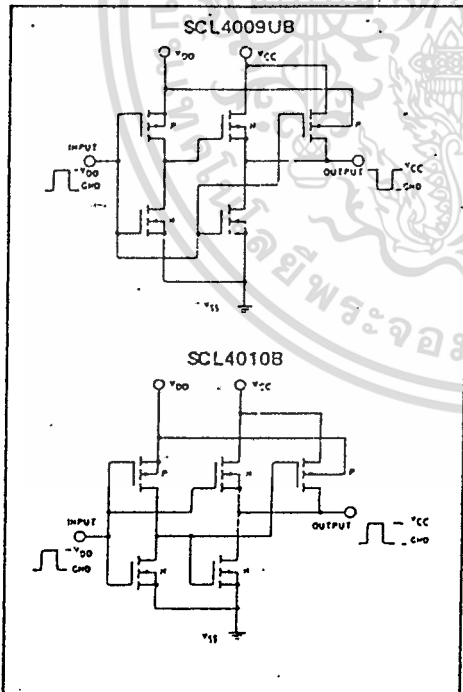
CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add Suffix for Package:

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

SCHEMATIC DIAGRAMS

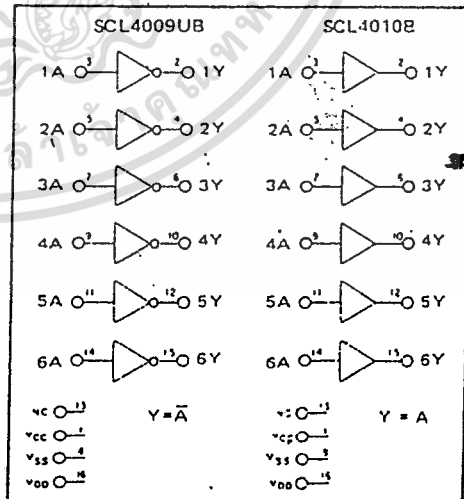


RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V _{DD} - V _{SS}	3 to 15	Vdc
	V _{CC} - V _{SS}	3 to 15	Vdc
	V _{CC}	≤ V _{DD}	
Operating Temperature	T _A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

LOGIC DIAGRAMS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS ^{1, 2}

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

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

² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device

= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device

= +85°C for E device.

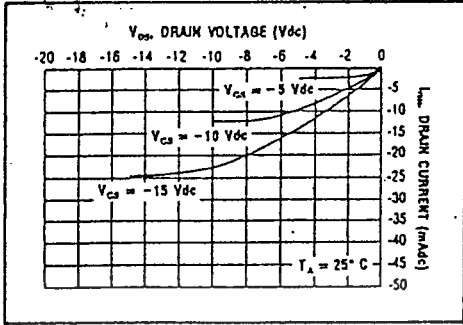
³ V_{CC} = V_{DD}

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

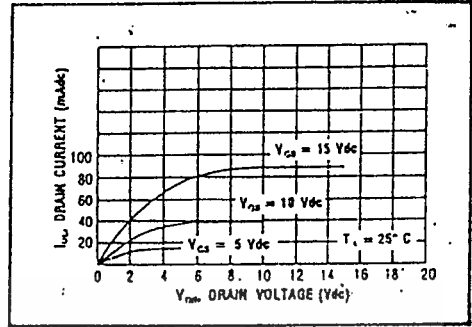
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	V _{CC} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME Driving CMOS	t _{P_{LH}}	5	—	60	120	ns
		10	—	35	70	
		15	—	28	56	
Driving TTL/DTL	t _{P_{LH}}	5	—	45	90	ns
		10	—	20	40	
		15	—	15	30	
Driving CMOS	t _{P_{HL}}	5	—	30	60	ns
		10	—	18	36	
		15	—	12	24	
Driving TTL/DTL	t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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

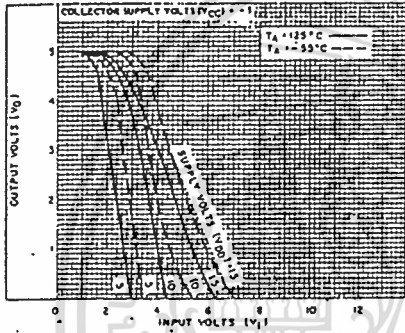
SCL4009UB, SCL4010B



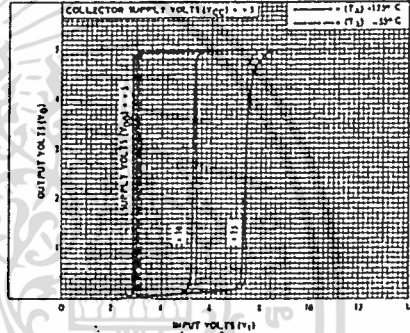
Typical P-Channel Source Current Characteristics



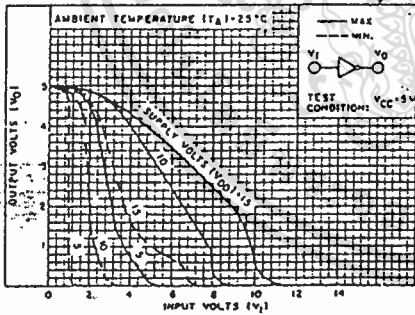
Typical N-Channel Sink Current Characteristics



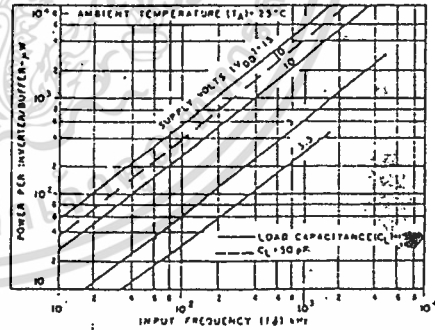
Typ. voltage transfer characteristics as a function of temperature - SCL4009UB



Typ. voltage transfer characteristics as a function of temperature - SCL4010B



Min. & max. voltage transfer characteristics - SCL4009UB



Typ. dissipation characteristics - SCL4009UB, SCL4010B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4040AB



CMOS 12-STAGE BINARY COUNTER

FEATURES

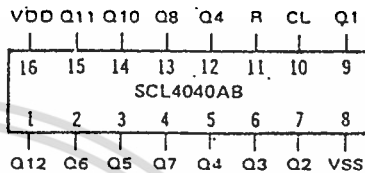
- ◆ 12 Fully Static Stages
- ◆ All 12 Buffered Outputs Available
- ◆ Common Reset Line
- ◆ 8MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ All Inputs Buffered

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:

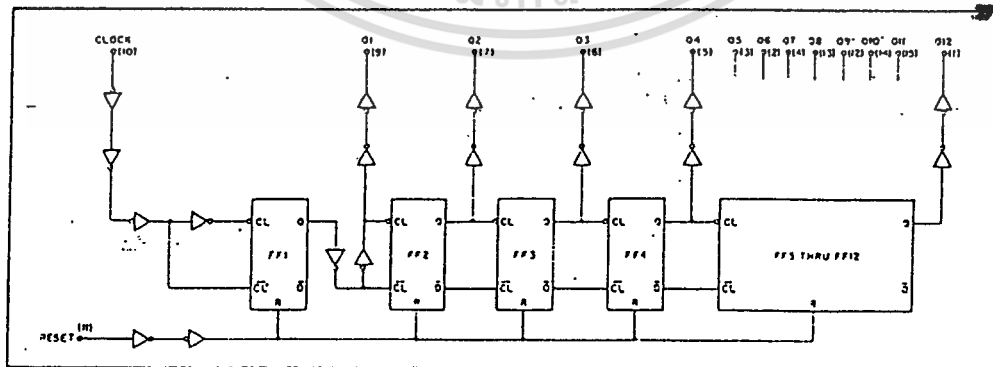
DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 Vdc

Operating Temperature T_A

C, D, F, H Device -55 to +125 °C

E Device -40 to +85 °C

LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS¹

PARAMETER	V _{DD} (V _{DC})	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units	
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.		
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	5	5	—	0.05	5	—	150	μA _{DC}	
			10	10	—	0.1	10	—	300		
			15	15	—	0.2	20	—	600		
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	I _{OH}	V _{OH} =4.6V V _{OH} =9.5V V _{OH} =13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	5	-0.15	—	-0.12	-0.5	—	-0.08	mA _{DC}	
			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
			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 _{OL}	V _{OL} =0.4V V _{OL} =0.5V V _{OL} =1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	5	0.15	—	0.12	0.5	—	0.08	mA _{DC}	
			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
			10	0.35	—	0.3	1.0	—	0.25		
			15	1.2	—	1.0	5.8	—	0.85		

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

T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

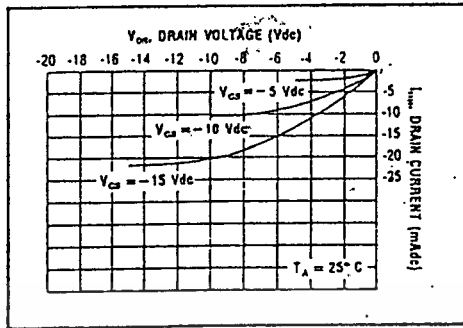
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

= +85°C for E device.

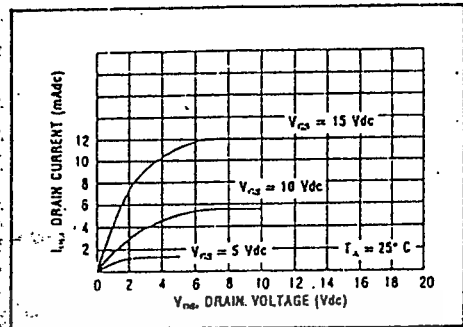
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (V _{DC})	Min.	Typ.	Max.	Units
CLOCKED OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	200	400
		10	—	100	200
		15	—	80	160
Q1 to Q1 + 1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	150	300
		10	—	75	150
		15	—	60	120
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TEH} , t _{THL}	5	—	180	360
		10	—	90	180
		15	—	65	130
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	100	200
		10	—	50	100
		15	—	40	80
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	2.0	4.0	—
		10	4.0	8.0	—
		15	5.0	10.0	—
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME	t _{rCL} , t _{fCL}	5	15	—	—
		10	15	—	—
		15	5	—	—
RESET OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PHL}	5	—	300	600
		10	—	150	300
		15	—	120	240
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW _R	5	—	150	300
		10	—	75	150
		15	—	50	120
RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	250	500
		10	—	125	250
		15	—	100	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

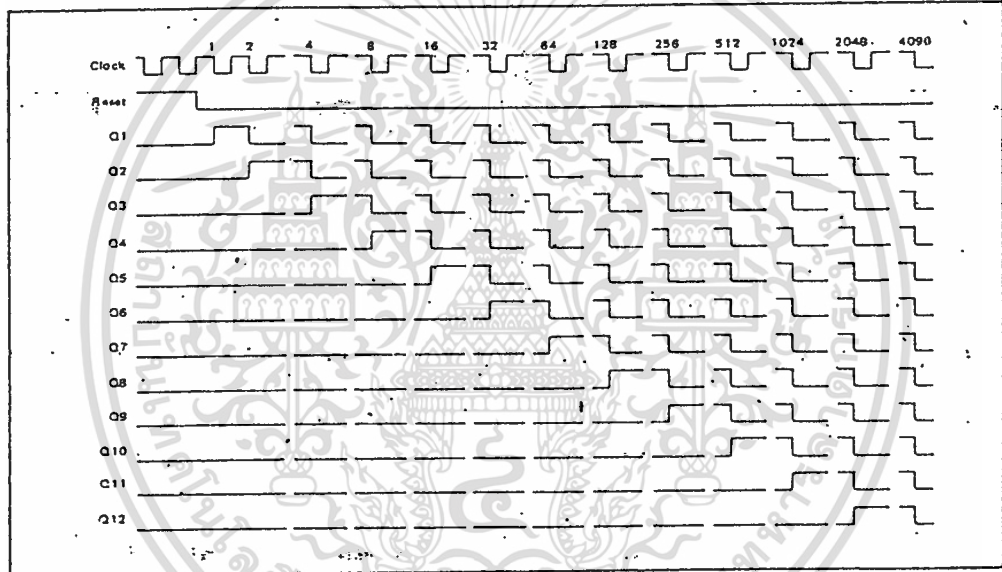


Typical P-Channel Source Current Characteristics

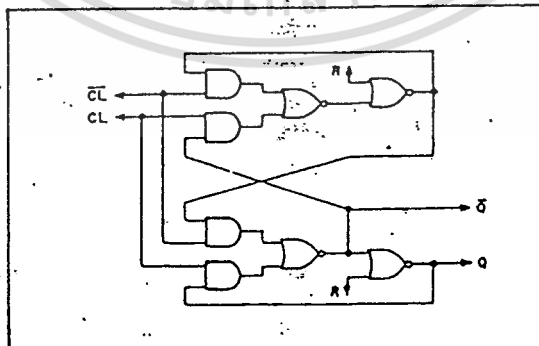


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

TIMING DIAGRAM



TYPICAL COUNTER STAGE



INTRODUCTION

This catalogue includes technical data of single and three-phase electric motors for general application in the range from 0.06 up to 315 kW (0.08 up to 430 HP), voltage 220/380V and frequency 50 Hz.

The electric motors are divided in groups according to their synchronous speed as follows:

Single-phase:

3000 r. p. m. – from 0.06 up to 2.2 kW (0.08 up to 3.0 HP)

1500 r. p. m. – from 0.04 up to 2.2 kW (0.055 up to 3.0 HP)

1000 r. p. m. – from 0.12 up to 0.37 kW (0.16 up to 0.5 HP)

Three-phase:

3000 r. p. m. – from 0.09 up to 250 kW (0.12 up to 340 HP)

1500 r. p. m. – from 0.06 up to 315 kW (0.08 up to 430 HP)

1000 r. p. m. – from 0.18 up to 200 kW (0.25 up to 270 HP)

750 r. p. m. – from 0.37 up to 160 kW (0.50 up to 220 HP)

600 r. p. m. – from 75 up to 132 kW (100 up to 180 HP)

The design of the electric motors corresponds to the modern trends in design and technological solutions providing safety and reliability during operation.

CHARACTERISTICS, OPERATING CONDITIONS

The electric motors are produced normally for rated voltages of 220 V, 220/380 V, 380/660 V. On request they can be made for a rated voltage from 110 up to 660 V (400, 415, 420, 500, 660, 220/440 V) and for a frequency of 50 or 60 Hz.

The powers specified are guaranteed at following operating conditions:

- rated voltage – as indicated on the electric motor plate with tolerances of $\pm 5\%$;
- frequency of 50 Hz or on special request 60 Hz, with tolerances of $\pm 1\%$;
- altitude – up to 1000 m;
- ambient temperature from -10°C up to $+40^{\circ}\text{C}$;
- relative air humidity – up to 80% at 40°C ;

At different operating conditions the power of the electric motors is reduced:

Reduction of power from temperature and altitude

Temperature $^{\circ}\text{C}$	30	35	40	45	50	55	60
Power %	107	104	100	95	90	83	76
Altitude m	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Power %	100	98	95	91	87	83	78

Change of characteristics at frequency of 60 Hz [%]

Frequency	Voltage	Power	r. p. m.	Starting current	Starting torque
50	100	100	100	100	100
60	100	100	120	83	84

The electric motors are intended for operation in the normal climatic zone (N II). On request electric motors for operation in tropical climatic zone TH and T II can be manufactured.

The electric motors are designed for continuous operation mode S1.

Forms: B3, B5, B14, B3/B5, B3/B14.

Protection: IP54 and IP55

Insulation class: B and F

Electric connection: "delta", "star" or "star-delta"

DESIGN

The frames of the electric motors up to 2.2 kW are made of aluminium alloy. The shields are made of aluminium or cast iron.

The frames of the electric motors with power above 2.2 kW are made completely of cast iron.

The frame of the electric motor is ribbed.

The bearing socket, on the front driving shaft end, contains a compensating spring.

The fan is mounted directly to the rear shaft end and is guarded by a steel sheet casing to the rear shield of the electric motor. The shields are made of cast iron, uniformly shaped except for the rear shield which is with three lugs for fixing of the fan cover. The lugs are inseparably connected to the frame.

The stator coil is two-layered, with short pitch, reeled of round enamelled copper wire. The slot insulation is of material corresponding to the respective class of insulation.

The rotor cage is an aluminium casting and rotor is dynamically balanced.

DRIVING SHAFT END

In the normal case the driving shaft end is cylindrically shaped with a feather and meets DIN 42946. On client's request the electric motors can be manufactured also with two driving shaft ends whereby the diameter of the second driving shaft end will be smaller.

BEARINGS

The electric motors are equipped with high grade single-row ball bearings with low noise level. The bearing has certain axial play at the driving shaft end. That way the axially loaded bearing is not radially loaded which increases the axial loading. The types of bearings used are given in the schedule below:

Type of electric motors	Front bearing type	Rear bearing type
AT 56	6200 2Z	6200 2Z
AT 63	6201 2Z	6201 2Z
AT 71	6002 2Z	6202 2Z
AT 80	6204 2Z	6004 2Z
AT 90	6205 2Z	6004 2Z
AG 80	6204 2Z	6204 2Z
AH 100L/4S	6205 2Z	6205 2Z
AH 100	6206 2Z	6206 2Z
AH 112	6306 2Z	6306 2Z
AE 90	6005 2Z	6005 2Z
AE 100	6006 2Z	6305 2Z
AE 112	6306 2Z	6306 2Z
AP 132, 160	6308 2Z	6309 2Z
AP 180	6309 2Z	6310 2Z
AS 200Lk/2 200L/2	6312 2Z	6312 2Z
AS 200L/4 200L/6 200L/8 200Lk/6	N 312 C3	6312 2Z
AS 225S/4 225S/8 225M/4 225M/6 225M/8	N 313 C3	6312 2Z
AS 250M/2	6341 2Z	6312 2Z
AS 250M/4 250M/6 250M/8	N 314 C3	6312 2Z
AS 280S/2 280M/2	6314 2Z	6314 2Z (7814 B for V1)
AS 280S/4 280S/6 280S/8 280M/4 280M/6 280M/8	N 316 C3	6314 2Z (7814 B for V1)
AS 315S/2 315M/2	6315 2Z	6315 2Z (4315 B for V1)
AS 315S/4 315S/6 316S/8 315M/4 315M/6 315 M/8	N 317 C3	6315 2Z (4315 B for V1)
AS 315So/4 315So/6 315So/8 315M/4 315M/6 315M/8	2319	6319
AS 355So/4 355So/6 355So/8 355So/10 355Mo/4 355Mo/6 355Mo/8 355Mo/10 355Sko/10 355Mo/10	2322	6322

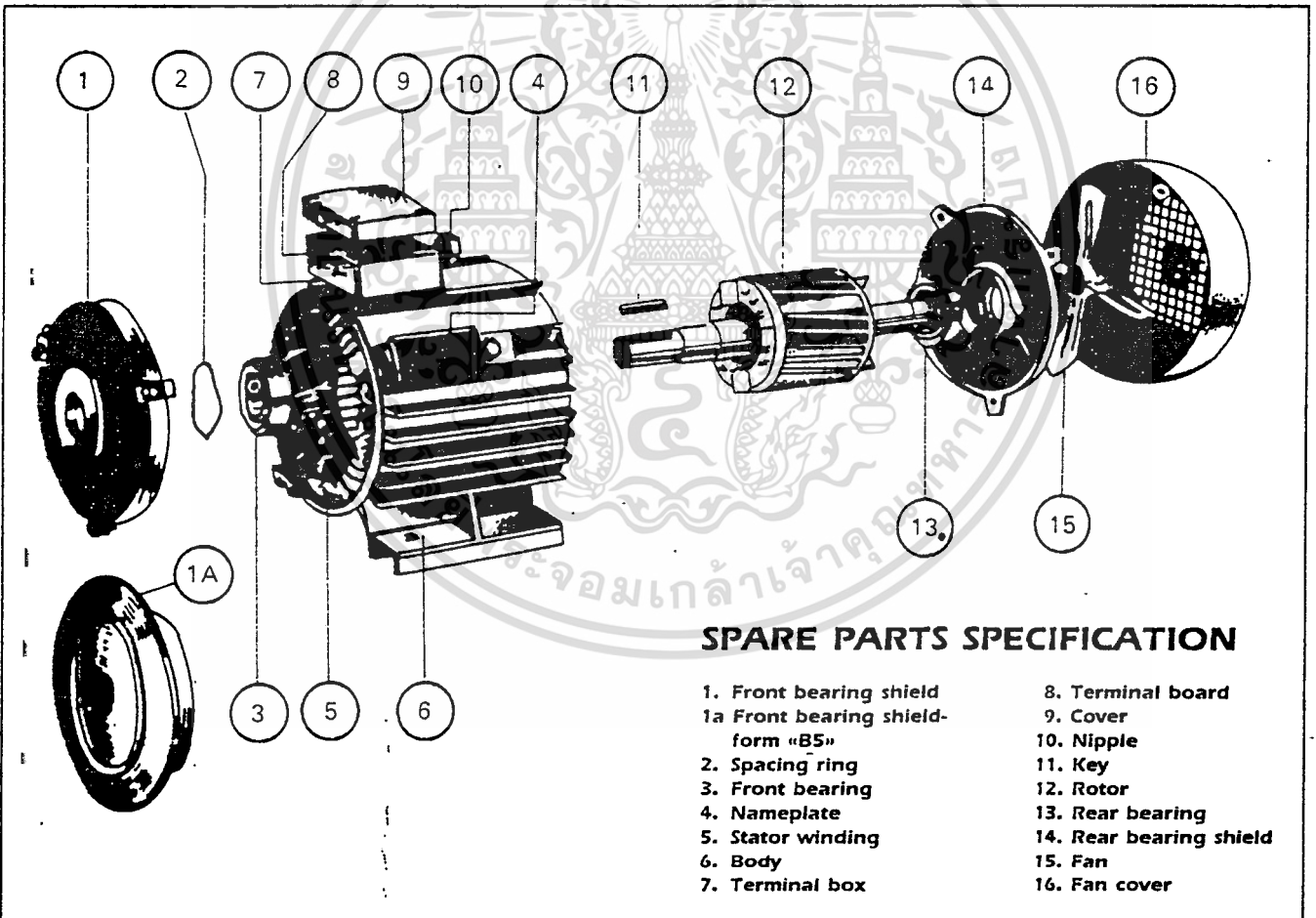
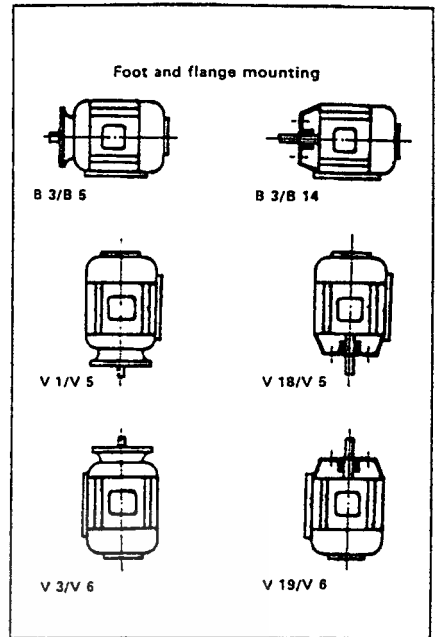
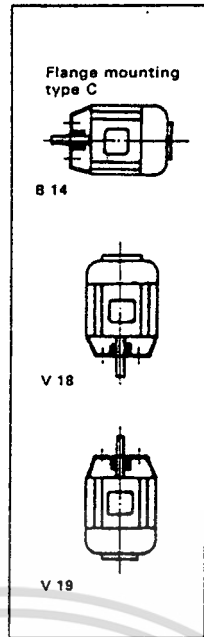
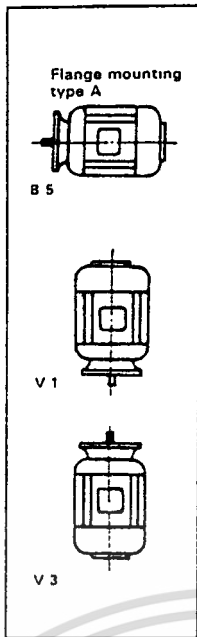
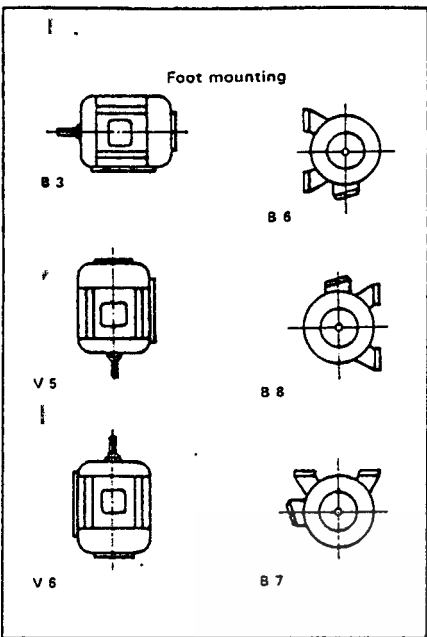
STANDARDS

The electric motors conform to the recommendations of IEC, VDE 0530 and DIN as follows:

Power range	DIN 42943
Mounting dimensions	DIN 42673, 42677
Type of enclosure	DIN 42950
Degree of protection	DIN 40050
Driving shaft dimensions	DIN 42946
Operation mode	DIN 42950
Climatic implementation	DIN 40010
Own vibration	DIN 45665

The company reserves the right to change the design of the electric motors, except the mounting dimensions, without notifying the customer.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power		Type	At rated load:				Starting Characteristics:			Rotor Inertion torque	Weight
			Rated rotation speed	Current at 380 V	Efficiency	Power factor	Is/If	Ms/Mr	Mmax/Mr		
kW	HP		r.p.m.	A	%	-	-	-	-	kg·m ²	kg
3000 r. p. m.											
0.09	0.12	AT56A/2	2780	0.26	58			2.0	2.2		2.8
0.12	0.16	AT56B/2	2750	0.34	63			2.0	2.2		3.0
0.18	0.25	AT63A/2	2800	0.56	66			2.0	2.2		4.1
0.25	0.34	AT63B/2	2800	0.72	67			2.0	2.2		4.4
0.37	0.5	AT71A/2	2760	1.0	71			2.0	2.2		5.4
0.55	0.75	AT71B/2	2760	1.4	73			2.0	2.2		6.1
0.75	1.1	AT80A/2	2800	1.85	75			2.0	2.2		8.5
1.1	1.5	AT80B/2	2800	2.7	77			2.0	2.2		10.0
1.5	2.0	AT90A/2	2800	3.5	79			1.8	2.0		13.5
2.2	3.0	AT90B/2	2800	5.0	81			1.7	2.0		15.0
4.0	5.5	AH112M/2	2880	8.0	85.5	0.89	6.3	2.2	2.8	0.005	35.0
5.5	7.5	AP132Sk/2	2910	10.8	86	0.90	7.0	2.5	2.5	0.069	57.0
7.5	10.0	AP132S/2	2910	14.5	87.5	0.90	7.2	2.7	2.9	0.083	64.0
11.0	15.0	AP160Mk/2	2920	21.1	88	0.90	6.6	2.6	2.3	0.148	98.0
15.0	20.0	AP160M/2	2920	27.5	90	0.92	7.3	2.9	2.8	0.194	114.0
18.5	25.0	AP160L/2	2920	33.9	90	0.92	7.4	3.0	2.5	0.227	130.0
22.0	30.0	AP180M/2	2930	41.5	90.5	0.89	6.0	2.1	2.3	0.350	155.0
30.0	40.0	AS200Lk/2	2940	59.5	89.5	0.86	5.3	2.2	2.2	0.50	225.0
37.0	50.0	AS200L/2	2940	71.5	90.2	0.87	5.3	2.1	2.1	0.60	238.0
45.0	60.0	AS225M/2	2940	85.5	91	0.88	6.0	2.3	2.2	0.80	280.0
55.0	75.0	AS250M/2	2960	104.0	91	0.89	6.0	2.1	2.1	1.60	360.0
75.0	100	AS280S/2	2960	141.0	91	0.89	6.8	2.1	2.4	2.20	445.0
90.0	125	AS280M/2	2960	165.0	92	0.90	6.5	2.1	2.4	2.60	485.0
110	150	AS315S/2	2960	201.0	92	0.90	7.0	2.5	3.3	5.00	695.0
132	180	AS315M/2	2960	234.0	93	0.92	6.6	2.0	2.7	6.00	775.0
160	220	AS280Mo/2	2970	285.0	94	0.90	6.3	2.5			
200	270	AS315So/2	2960	344.0	94	0.90	6.5	2.3			
250	340	AS315Mo/2	2960	420.0	94	0.90	6.8	2.5			
1500 r. p. m.											
0.06	0.08	AT56A/4	1380	0.27	50			2.0	2.2		2.8
0.09	0.12	AT56B/4	1360	0.37	54			2.0	2.2		2.9
0.12	0.16	AT63A/4	1400	0.48	61			2.0	2.2		4.2
0.18	0.25	AT63B/4	1400	0.65	64			2.0	2.2		4.5
0.25	0.34	AT71A/4	1380	0.85	66			2.0	2.2		5.4
0.37	0.5	AT71B/4	1380	1.2	68			2.0	2.2		6.1
0.55	0.75	AT80A/4	1400	1.6	71			2.0	2.2		8.5
0.78	1.1	AT80B/4	1400	2.4	72			2.0	2.2		10.0
1.1	1.5	AT90A/4	1400	3.0	75			1.9	2.0		13.5
1.5	2.0	AT90B/4	1400	4.0	75			1.9	2.0		15.2
2.2	3.0	AH100Lk/4	1430	5.2	79	0.81	6.0	2.2	2.4	0.0054	26.0
4.0	5.5	AH112M/4	1440	8.9	83	0.82	6.5	2.5	2.9	0.010	40.0
5.5	7.5	AH132S/4	1450	11.5	86	0.84	6.2	2.3	2.4	0.108	60.0
7.5	10.0	AP132M/4	1450	15.4	87	0.85	6.4	2.4	2.3	0.140	73.0
9.2	12.5	AP132MA/4	1450	19.1	87	0.84	6.6	2.5	2.5	0.210	79.0
11.0	15.0	AP160M/4	1460	22.3	89	0.84	6.2	2.3	2.2	0.210	106.0
15.0	20.0	AP160L/4	1460	29.7	90	0.85	6.5	2.4	2.2	0.315	126.0
18.5	25.0	AP180M/4	1460	37.0	89.5	0.85	5.5	2.0	2.1	0.600	145.0
22.0	30.0	AP180L/4	1460	43.5	89.5	0.86	5.4	2.1	2.1	0.700	160.0
30.0	40.0	AS200L/4	1460	59.5	91	0.84	5.3	2.2	2.0	1.05	245.0
37.0	50.0	AS225S/4	1465	71.0	91	0.87	5.5	2.2	2.3	1.40	270.0
45.0	60.0	AS225M/4	1465	86.0	91.5	0.87	5.5	2.3	2.3	1.60	305.0
55.0	75.0	AS250M/4	1470	104.0	92.3	0.87	6.0	2.2	2.0	2.60	380.0
75.0	100	AS280S/4	1470	143.0	92.0	0.87	5.5	2.1	2.2	3.50	455.0
90.0	125	AS280M/4	1470	169.0	92.2	0.86	6.5	2.5	2.9	4.20	505.0

Power		Type	At rated load				Starting Characteristics			Rotor Inertion torque	Weight
			Rated rotation speed	Current at 380 V	Efficiency	Power factor	$\frac{I_s}{I_r}$	$\frac{M_s}{M_r}$	$\frac{M_{max}}{M_r}$		
KW	HP		r. p. m.	A	%	-	-	-	-	kg. m ²	kg.
1500 r. p. m. (cont.)											
110	150	AS315S/4	1475	194.0	93.0	0.92	6.8	1.8	3.4	8.00	695.0
132	180	AS315M/4	1475	229.0	94.0	0.93	7.0	1.9	8.5	9.50	770.0
160	220	AS315So/4	1485	292.0	93.5	0.89	6.5	1.5	2.0	6.35	950.0
200	270	AS315Mo/4	1485	364.0	94.0	0.89	6.5	1.5	2.0	12.5	1100
250	340	AS355So/4	1485	445.0	94.0	0.91	6.8	1.5	2.0	28.2	1500.
315	430	AS355Mo/4	1485	550.0	94.4	0.92	7.0	1.6	2.0	35.6	1700
1000 r. p. m.											
0.18	0.25	AT71A/6	900	0.72	56			1.8	2.0		5.6
0.25	0.34	AT71B/6	900	1.0	58			1.8	2.0		6.8
0.37	0.50	AT80A/6	890	1.4	69			2.2	2.25		10.0
0.55	0.75	AT80B/6	905	2.4	68			2.7	2.75		12.0
0.78	1.1	AE90S/6	935	2.3	71	0.71	3.8	2.2	2.4	0.0032	13.3
1.1	1.5	AE90L/6	935	3.0	74	0.73	4.5	2.4	2.6	0.0043	15.2
1.5	2.0	AE100L/6	950	4.1	77	0.75	5.0	2.2	2.5	0.0076	27.0
1.5	2.0	AH100L/6	950	3.9	76	0.76	4.5	2.1	2.3	0.0076	25.0
2.2	3.0	AH112M/6	960	5.6	80	0.75	5.0	2.3	2.8	0.012	36.0
3.0	4.0	AP132S/6	960	7.4	82	0.75	5.5	2.0	2.4	0.126	56.0
4.0	5.5	AP132Mk/6	960	9.4	84	0.77	6.5	2.3	2.6	0.158	66.0
5.5	7.5	AP132M/6	960	12.4	86	0.78	6.1	2.4	2.9	0.192	76.0
7.5	10.0	AP160M/6	970	16.5	87	0.79	7.5	2.5	3.0	0.436	106.0
11.0	15.0	AP160L/6	970	23.1	89	0.81	7.5	2.5	3.0	0.563	136.0
15.0	20.0	AP180L/6	980	31.5	88.5	0.82	6.8	2.1	2.8	1.00	180.0
18.5	25.0	AS200Lk/6	975	37.6	89	0.84	5.5	2.2	2.4	1.60	230.0
22.0	30.0	AS200L/6	975	44.0	89.5	0.85	5.5	2.2	2.4	1.80	240.0
30.0	40.0	AS225M/6	975	58.5	90.5	0.86	5.5	2.1	2.0	2.50	290.0
37.0	50.0	AS250M/6	985	71.5	90.7	0.87	5.0	2.0	2.0	3.60	355.0
45.0	60.0	AS280S/6	980	89.5	90.7	0.84	5.0	2.3	2.1	4.50	410.0
55.0	75.0	AS280M/6	980	109.0	91.2	0.84	6.0	2.3	2.2	5.80	465.0
75.0	100	AS315S/6	985	142.0	92	0.87	5.9	2.3	2.3	10.0	615.0
90.0	125	AS315M/6	985	168.0	93	0.88	5.9	2.1	2.2	12.0	705.0
110	150	AS315So/6	985	203.0	93.6	0.88	7.0	1.6		8.00	900.0
132	180	AS315Mo/6	985	240.0	94	0.86	7.5	1.6		14.0	1010
160	220	AS355So/6	985	290.0	93.5	0.90	6.5	1.6		35.0	1350
200	270	AS355Mo/6	985	360.0	94	0.90	6.8	1.7		43.5	1600
750 r. p. m.											
0.37	0.50	AE90S/8	695	1.4	64	0.63	3.2	1.9	2.3	0.0034	12.3
0.55	0.75	AE90L/8	695	2.0	64	0.64	3.2	1.9	2.3	0.0045	10.4
0.78	1.1	AE100L/8	710	2.8	69	0.64	3.8	1.9	2.4	0.007	25.0
1.1	1.5	AE100LL/8	710	3.3	73	0.69	3.9	1.7	2.2	0.0087	30.0
1.5	2.0	AE112M/8	710	4.3	75	0.70	4.4	2.1	2.2	0.0120	35.0
0.75	1.0	AH100Lk/8	710	2.4	69	0.68	3.5	1.8	2.1	0.07	25.0
1.1	1.5	AH100L/8	710	3.4	70	0.70	3.6	1.8	2.1	0.0088	30.0
1.5	2.0	AH112M/8	710	4.4	76	0.68	3.7	1.7	2.2	0.012	36.0
2.2	3.0	AP132S/8	715	6.0	79	0.70	4.5	1.7	2.0	0.126	56.0
3.0	4.0	AP132M/8	715	8.1	80	0.70	4.5	1.9	2.4	0.158	67.0
4.0	5.5	AP160Mk/8	725	10.2	84	0.71	5.5	1.7	2.2	0.309	95.0
5.5	7.5	AP160M/8	725	13.8	85	0.71	5.5	2.0	2.3	0.447	108.0
7.5	10.0	AP160L/8	725	18.6	86	0.71	5.8	2.1	2.5	0.563	136.0
11.0	15.0	AP180L/8	730	25.0	87	0.77	5.3	1.8	2.5	1.00	180.0
15.0	20.0	AS200L/8	730	34.4	87.5	0.76	4.5	1.9	2.0	1.60	240.0
18.5	25.0	AS225S/8	730	41.0	87.5	0.78	4.5	2.0	2.0	2.00	260.0
22.0	30.0	AS225M/8	730	48.0	88	0.79	4.6	2.0	2.0	2.50	280.0
30.0	40.0	AS250M/8	735	65.5	89.5	0.78	5.0	2.0	2.0	3.60	355.0

Power		Type	At rated load				Starting Characteristics			Rotor inertia torque	Weight
			Rated rotation speed	Current at 380 V	Effici- ency	Power factor	I_s I _r	M_s M _r	M _{max} M _r		
kW	HP		r. p. m.	A	%	-	-	-	-	kg. m ²	kg.

750 r. p. m. (cont.)

37.0	50.0	AS280S/8	735	82.0	90	0.76	5.0	2.2	1.9	5.30	435.0
45.0	60.0	AS280M/8	735	96.0	91	0.78	5.0	2.3	2.0	6.2	495.0
55.0	75.0	AS315S/8	740	116.0	91	0.79	5.0	2.4	2.4	10.0	620.0
75.0	100	AS315M/8	740	156.0	92	0.80	5.0	2.3	2.3	14.0	765.0
90.0	125	AS315So/8	740	174.0	93.9	0.83	6.0	1.5		8.0	900.0
110	150	AS315Mo/8	740	220.0	94	0.81	6.0	1.5		14.0	1180
132	180	AS355So/8	740	254.0	93.5	0.84	5.5	1.4		35.0	1350
160	220	AS355Mo/8	740	308.0	94	0.84	5.9	1.6		43.5	1600

600 r. p. m.

75.0	100	AS355Sko/10	590	142.0	93.5	0.85	5.9	1.3		30.4	1200
90.0	125	AS355So/10	590	172.0	93.4	0.85	5.7	1.3		30.4	1200
110	150	AS355Mo/10	590	211.0	93.5	0.85	5.6	1.3		35.4	1550
132	180	AS355MLo/10	590	252.0	93.5	0.85	5.7	1.35		42.5	1550

■ Data not shown, will be specified on order

I_s Starting current
 I_r Current at rated load
 M_s Starting torque
 M_r Torque at rated load
 M_{max} Maximum running torque

Power		Type	At rated load				Starting Characteristics			Rotor inertia torque	Weight
			Rated rotation speed	Current at 380 V	Effici- ency	Power factor	I_s I _r	M_s M _r	M _{max} M _r		
kW	HP		r. p. m.	A	%	-	-	-	-	kg. m ²	kg.

1500/3000 r. p. m.

0.19/0.27	0.26/0.37	AT71A4/2	1360/2700	0.80/0.78	54/64			1.5/1.4	1.7		5.4
0.25/0.40	0.34/0.54	AT71B4/2	1360/2700	1.00/1.10	60/66			1.5/1.4	1.7		6.1
0.70/0.80	0.95/1.1	AT80A4/2	1360/2730	1.10/1.90	73/75			2.1/2.4	2.1/2.4		11.5
0.80/1.1	1.1/1.5	AE90S4/2	1430/2860	2.5/2.9	71/69	0.70/0.85	4.6/5.0	2.2/2.1	2.6/2.5	0.00236	16.0
1.1/1.5	1.5/2.0	AE90L4/2	1430/2870	3.0/3.5	75/74	0.72/0.82	5.0/6.0	2.4/2.3	2.7/2.6	0.00284	20.0
1.5/2.2	2.0/3.0	AE100L4/2	1440/2890	4.2/4.3	75/73	0.71/0.87	5.7/6.4	2.1/1.9	2.8/2.6	0.00535	29.0
2.4/3.0	3.3/4.1	AE112LL4/2	1440/2890	5.7/6.8	80/76	0.80/0.87	6.3/6.9	2.1/2.2	2.8/2.8	0.00752	32.7
3.2/4.0	4.3/5.5	AE112M4/2	1440/2890	7.5/8.7	80/77	0.81/0.89	6.7/8.1	2.3/2.3	2.8/2.9	0.01040	41.0

750/1500 r. p. m.

0.7/1.1	0.95/1.5	AE100L8/4	710/1430	2.8/2.5	61/77	0.61/0.87	3.2/5.2	1.5/1.5	2.2/2.2	0.00757	27.0
1.0/1.5	1.3/2.0	AE100LL8/4	710/1440	3.5/3.55	66/74	0.64/0.86	4.1/5.3	1.7/1.5	2.3/2.4	0.00874	30.0
1.4/2.2	1.9/3.0	AE112M8/4	710/1440	4.9/4.9	70/78	0.62/0.86	3.9/6.0	1.8/1.6	2.4/2.4	0.01202	35.0

■ Data not shown, will be specified on order

I_s Starting current
 I_r Current at rated load
 M_s Starting torque
 M_r Torque at rated load
 M_{max} Maximum running torque

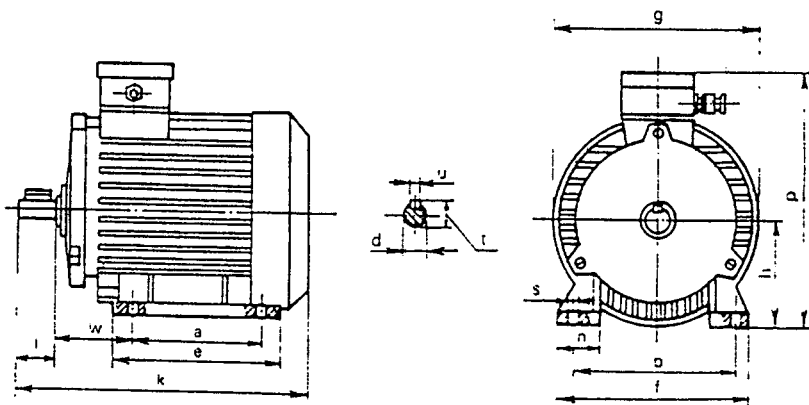
Power		Type	At rated load			Starting Characteristics		Working capacitor		Weight
			Rated rotation speed	Current at 220 V	Efficiency	$\frac{M_s}{M_r}$	$\frac{M_{max}}{M_r}$	μF	V	
kW	HP		r.p.m.	A.	%					kg.
3000 r. p. m.										
0.06	0.08	AT56A/2S	2860	0.7	45	0.4	1.7	3.15	450	3.1
0.09	0.12	AT56B/2S	2880	0.85	55	0.4	1.7	4	450	3.3
0.12	0.16	AT63A/2S	2880	1.0	58	0.4	1.7	5	450	4.4
0.18	0.25	AT63B/2S	2880	1.45	62	0.4	1.7	6	450	4.7
0.25	0.34	AT71A/2S	2880	1.9	65	0.4	1.7	10	450	5.7
0.37	0.50	AT71B/2S	2880	2.9	69	0.4	1.7	12	450	6.6
0.55	0.75	AT80A/1/2S	2880	3.6	71	0.4	1.7	20	450	8.5
0.75	1.10	AG80B/2S	2850	6.2	65	0.67	2.4	25	450	10.0
1.1	1.5	AG80C/2S	2840	8.2	69	0.57	2.2	30	450	11.0
1.5	2.0	AT90S/2S	2760	10.3	68	0.4	1.7	40	450	11.9
2.2	3.0	AT90L/2S	2780	13.8	80	0.4	1.7	50	450	15.7
1500 r. p. m.										
0.04	0.055	AT56A/4S	1400	0.58	40	0.45	1.7	2.5	450	3.1
0.06	0.08	AT56B/4S	1400	0.7	46	0.4	1.7	3.15	450	3.2
0.09	0.12	AT63A/4S	1410	0.82	52	0.4	1.7	4	450	4.5
0.12	0.16	AT63B/4S	1410	1.1	58	0.4	1.7	5	450	4.8
0.18	0.25	AT71A/4S	1400	1.8	57	0.4	1.7	8	450	5.7
0.25	0.34	AT71B/4S	1400	2.3	60	0.4	1.7	10	450	6.6
0.37	0.50	AT71C/4S	1400	2.7	65	0.4	1.7	10	450	6.8
0.55	0.75	AT80A/4S	1420	4.0	68	0.3	1.7	16	450	8.9
0.78	1.1	AG80C/4S	1430	5.7	71	0.72	2.0	35	400	12.5
1.1	1.5	AT80C/4S	1400	7.0	73	0.3	1.7	30	450	12.0
1.5	2.0	AT90L/4S	1400	10.0	75	0.3	1.7	40	450	15.3
2.2	3.0	AH100L/4S	1430	13.8	78	1.4	1.9			32.0
1000 r. p. m.										
0.12	0.16	AT71B/6LS	950	1.3	69	0.34	1.5	6.0	450	6.8
0.25	0.34	AT80A/6S	905	2.2	66	0.4	1.4	10	450	8.9
0.37	0.50	AT80B/6S	920	3.5	62	0.4	1.4	16	450	10.5

■ Starting capacitor 156 μF /280V; Working capacitor 30 μF /450V

Ms Starting torque
Mr Torque at rated load
Mmax Maximum running torque

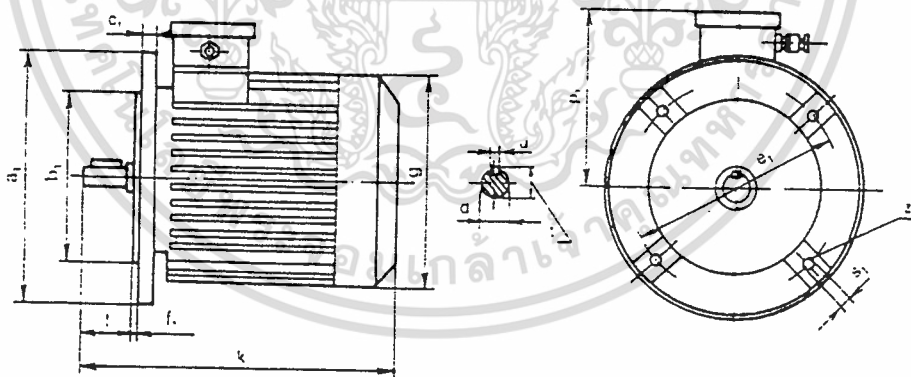
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form B 3



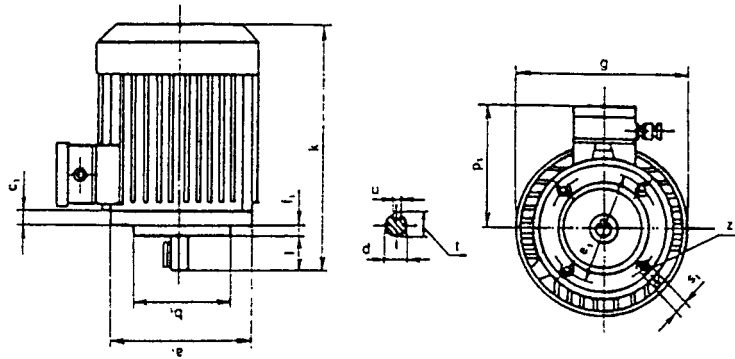
Type	Dimensions in mm														
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	w	l	d	u	t
AT 56A/2; 56B/2 56A/4; 56B/4	71	90	88	107	110	56	185	23.5	153	5.8	36	20	9	3	10.2
AT 63A/2; 63B/2 63A/4; 63B/4	80	100	100	120	123	63	204	28	164	7	40	23	11	4	12.5
AT 71A/2; 71B/2 71A/4; 71B/4 71A/6; 71B/6	90	112	110	132	138	71	221	28	182	7	45	30	14	5	16
AT 80A/2; 80B/2 80A/4; 80B/4 80A/6; 80B/6	100	125	124	149	158	80	273	29	204	10	50	40	19	6	21.5
AT 90A/2; 90B/2 90A/4; 90B/4	100 125	140	134 159	170	170	90	285 310	33	220	10	56	50	24	8	27

Form B 5



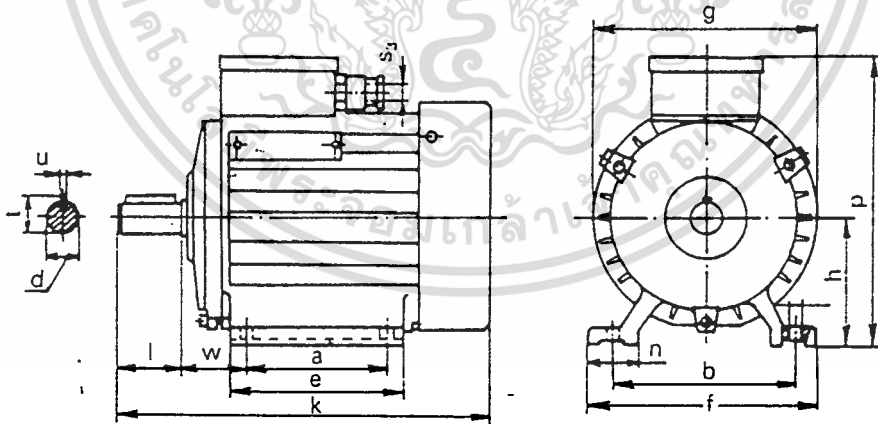
Type	Dimensions in mm														
	a1	b1	c1	e1	f1	g	p1	k	4xs1	l	d	u	t		
AT 56A/2; 56B/2 56A/4; 56B/4	120	80	8	100	3	110	71	95	7	20	9	3	10.2		
AT 63A/2; 63B/2 63A/4; 63B/4	140	95	9	115	3	123	86	204	10	23	11	4	12.5		
AT 71A/2; 71B/2 71A/4; 71B/4 71A/6; 71B/6	160	110	10	130	3.5	138	102	221	10	30	14	5	16		
AT 80A/2; 80B/2 80A/4; 80B/4 80A/6; 80B/6	200	130	10	165	3.5	158	124	273	12	40	19	6	21.5		
AT 90A/2; 90B/2 90A/4; 90B/4	200	130	10	165	3.5	170	135	285	12	50	24	8	27		

Form B 14



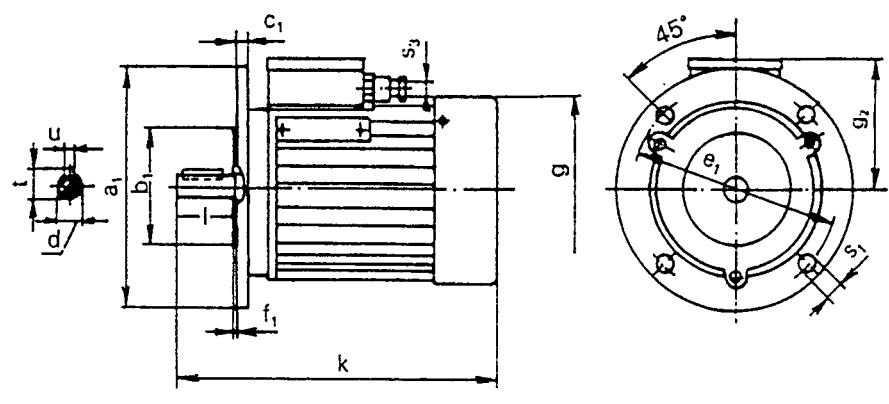
Type	Dimensions in mm.												
	a1	b1	c1	e1	f1	g	p1	k	4xs1	l	d	u	t
AT 56A/2; 56B/2 56A/4; 56B/4	105 80	70 50	8	85 65	3.5 3	110	70	185	M6 M5	20	9	3	10.2
AT 63A/2; 63B/2 63A/4; 63B/4	120 90	80 60	9	100 75	3.5 3	123	86	204	M6 M5	23	11	4	12.5
AT 71A/2; 71B/2 71A/4; 71B/4 71A/6; 71B/6	140 105	95 70	10	115 85	3.5 3	138	102	221	M8 M6	30	14	5	16
AT 80A/2; 80B/2 80A/4; 80B/4; 80A/6; 80B/6	160 120	100 80	10	103 100	3.5 3	158	124	273	M8 M6	40	19	6	21.5
AT 90A/2; 90B/2 90A/4; 90B/4	160 140	110 95	10	130 115	3.5 3	170	135	285 310	M8 M6	50	24	8	27

Form B 3



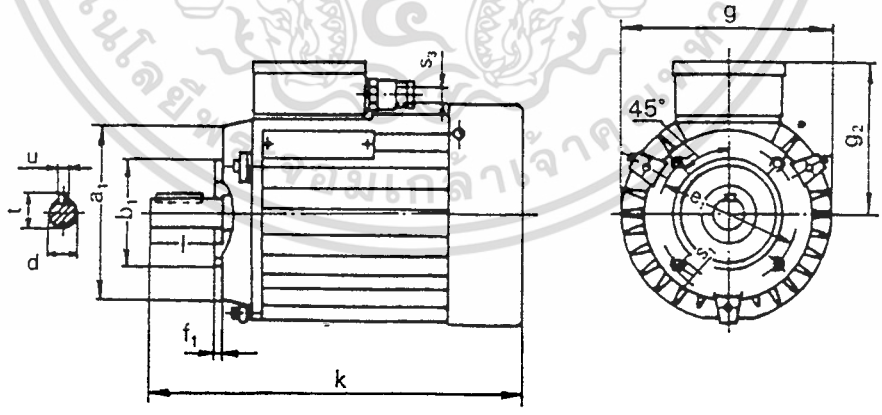
Type	Dimensions in mm															
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	s3	w	l	d	u	t
AE 90S/6; 90S/8 90S4/2 90L/6; 90S/8 90L4/2	100 125	140	135 160	170	162	90	282 307	30	206	10	16	56	50	24	8	27
AE 100L/6; 100L/8 100L4/2; 100L8/4 100LL/8; 100LL8/4	140	160	168 181	196 199	192 209	100	358 366	36 39	224 228	12	16	63	60	28	8	31
AE 112M/8; 112M8/4 112LL4/2; 112M4/2	140	190	174 206	231	209	112	366 398	39	240	12	16	70	60	28	8	31

Form B 5



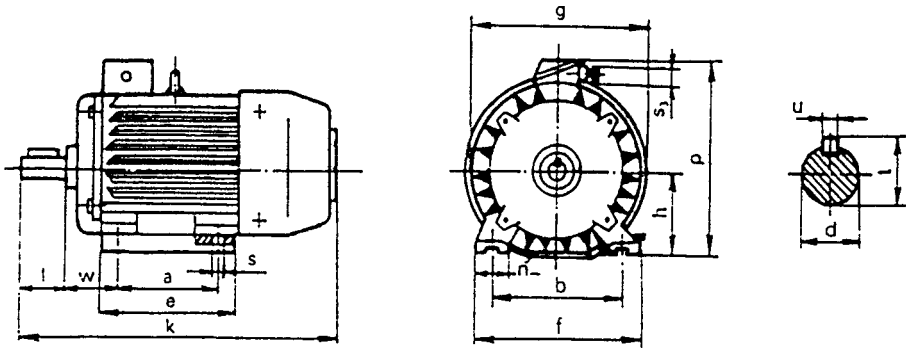
Type	Dimensions in mm														
	a1	b1	c1	e1	f1	g	g2	k	4xs1	s3	l	d	u	t	
AE90S/6; 90S/8 90S4/2 90L/6; 90L/8 90L4/2	200	130	10	165	3.5	162	118	284	12	16	50	24	8	27	
								309							
AE 100L/6; 100L/8 100L4/2; 100L8/4 100LL/8; 100LL8/4	250	180	12	215	4	192	124	358	15	16	60	28	8	31	
						209	128	366							
AE 112M/8; 112M8/4 112LL4/2; 112M4/2	250	180	12	215	4	209	128	366	15	16	60	28	8	31	
								398							

Form B 14



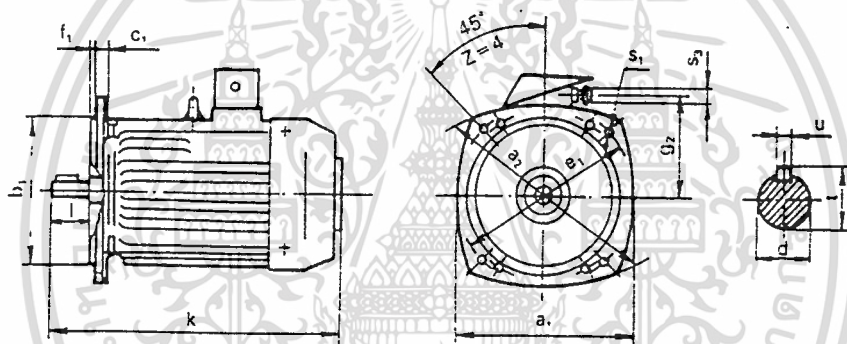
Type	Dimensions in mm														
	a1	b1	e1	f1	g	g2	k	s1	s3	l	d	u	t		
AE90S/6; 90S/8 90S4/2 90L/6; 90L/8 90L4/2	140	95	115	3	162	118	282	M8x12	16	50	24	8	27		
							307								
AE100L/6; 100L/8 100L4/2; 100L8/4 100LL/8; 100LL8/4	160	110	130	3.5	192	124	358	M8x14	16	60	28	8	31		
AE 112M/8; 112M8/4 112LL4/2; 112M4/2	160	110	130	3.5	209	128	366	M8x14	16	60	28	8	31		
							398								

Form B 3



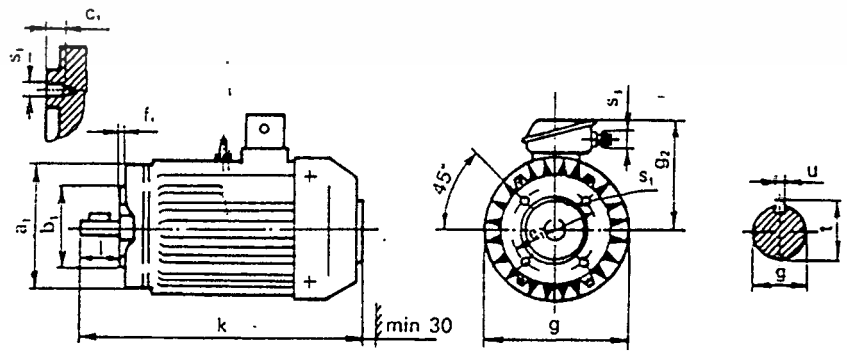
Type	Dimensions in mm															
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	s3	w	l	d	u	t
AH 100Lk/4; 100Lk/8 100L/6; 100L/8	140	160	175	210	200	100	415	50	250	12	16	63	60	28	8	31
AH 112M/2; 112M/4 112M/6; 112M/8	140	190	175	235	220	112	415	56	272	12	16	70	60	28	8	31

Form B 5



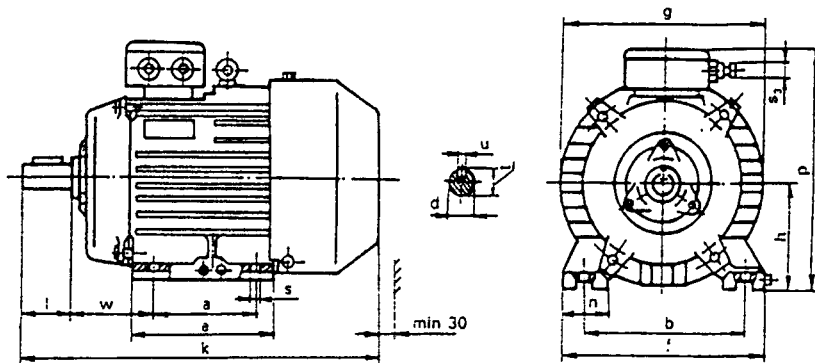
Type	Dimensions in mm														
	a1	a2	b1	c1	e1	f1	g2	k	4xs1	s3	l	d	u	t	
AH 100Lk/4; 100Lk/8 100L/6; 100L/8	250	250	180	12	215	4	120	405	15	16	60	28	8	31	
AH 112M/2; 112M/4 112M/6; 112M/8	250	250	180	12	215	4	130	415	15	16	60	28	8	31	

Form B 14



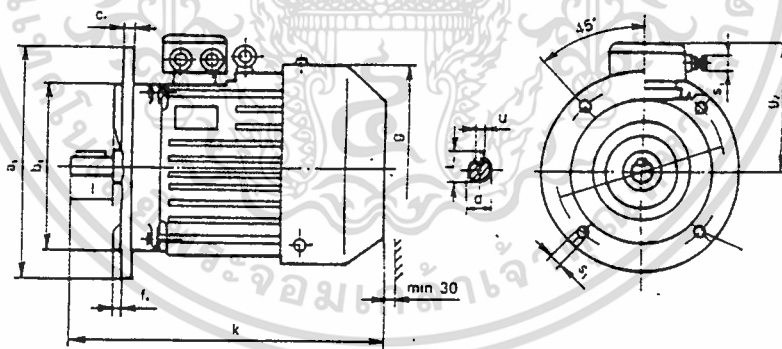
Type	Dimensions in mm														
	a1	b1	c1	e1	f1	g	g2	k	4xs1	s3	l	d	u	t	
AH 100Lk/4; 100Lk/8 100L/6; 100L/8	160	110	16	130	3.5	200	150	400	M8	16	60	28	8	31	
AH 112M/2; 112M/4 112M/6; 112M/8	160	110	16	130	3.5	200	160	415	M8	16	60	23	8	31	

Form B 3



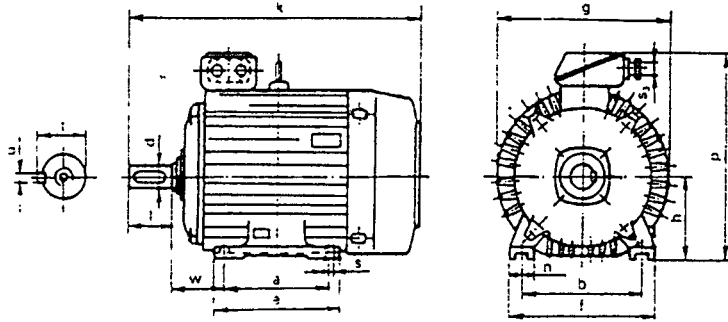
Type	Dimensions in mm															
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	s3	w	l	d	u	t
AP 132S/2; 132Sk/2 132S/4; 132S/6 132S/8; 132MA/4 132M/4 132Mk/6 132M/6 132M/8;	140	216	174	274	272	132	445	56	306	12	16	89	80	38	10	41
	178		212				483									
AP 160M/2; 160Mk/2 160M/4; 160M/6 160M/8; 160Mk/8 160L/2 160L/4 160L/6 160L/8	210	254	262	316	312	160	595	60	357	15	21	108	110	42	12	45
	254		308				640									
AP 180M/2; 180M/4 180L/4; 180L/6 180L/8;	241	279	300	350	333	180	680	70	408	15	29	121	110	48	14	51.5
	279		340													

Form B 5



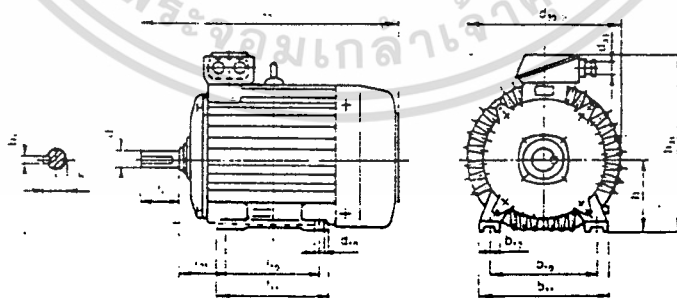
Type	Dimensions in mm															
	a1	b1	c1	e1	f1	g	g2	k	4xs1	s3	l	d	u	t		
AP 132S/2; 132Sk/2 132S/4; 132S/6 132S/8; 132MA/4 132M/4 132Mk/6 132M/6 132M/8;	300	230	15	265	4	272	174	445	15	16	80	38	10	41		
								483								
AP 160M/2; 160Mk/2 160M/4; 160M/6 160M/8; 160Mk/8 160L/2 160L/4 160L/6 160L/8	350	250	15	300	5	310	197	595	19	21	110	42	12	45		
								640								
AP 180M/2; 180M/4 180L/4; 180L/6 180L/8;	350	250	18	300	5	325	233	680	19	29	110	48	14	51.5		

Form B 3



Type	Dimensions in mm															
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	s3	w	l	d	u	t
AS: 200Lk/2; 200L/2; 200Lk/6; 200L/4; 200L/6; 200L/8;	305	318	349	400	446	200	765	80	510	19	30	133	110	55	14	59
AS: 225S/4; 225S/8; 225M/2; 225M/4; 225M/4; 225M/6; 225M/8;	286	356	340	450	446	225	795	90	535	19	30	149	140	60	16	64
	311		378	803	833	110	55	14	59							
AS 250M/2; 250M/4; 250M/6; 250M/8;	349	406	405	500	500	250	900	95	608	24	38	168	140	60	16	64
													65	69		
AS 280S/2; 280S/4; 280S/6; 280S/8; 280M/2; 280M/4; 280M/6; 280M/8;	368	457	442	550	550	280	961	95	670	24	38	190	140	65	16	69
	419	480	999	65	16	69	75	18	79.5							
AS 315S/2; 315S/4; 315S/6; 315S/8; 315M/2; 315M/4; 315M/6; 315M/8;	406	508	500	608	630	315	1084	100	760	26	50	216	140	65	18	69
	457	538	1114	1122	1152	170	80	85	140	65	69	85				

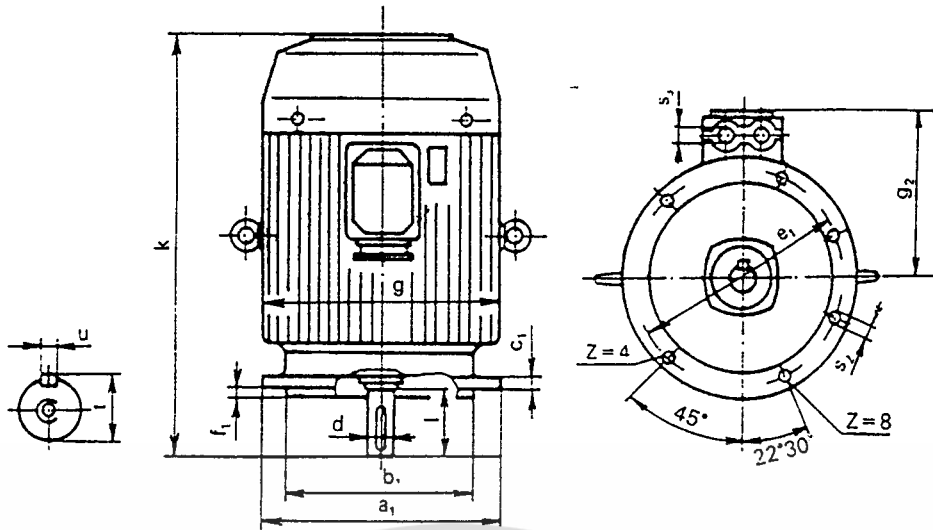
Form B 3



Type	Dimensions in mm															
	l10	b10	l11	b11	d30	h	l30	b12	h31	d10	d33	l31	l1	d1	b1	b5
AS 315So/4; 315So/6; 315So/8; 315Mo/4; 315Mo/6; 315Mo/8;	406	508	496	628	710	315	1130	120	800	28	52	216	170	90	25	95
	457		547				1180									
AS 355So/4; 355So/6; 355So/8; 355So/10; 355Sko/10; 355Mo/4; 355Mo/6; 355Mo/8; 355Mo/10; 355Mlo/10;	500	610	600	740	775	355	1345	150	880	28	64	254	210	100	28	106
	560		660			405										

เป็นเอกสารที่ส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สืบค้นจากห้องสมุดดิจิทัลแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form V 1



Type	Dimensions in mm													
	a1	b1	c1	e1	f1	g	g2	k	zxs2	s3	l	d	u	t
AS 200Lk/2; 200L/2 200Lk/6; 200L/4 200L/6; 200L/8	400	300	16	350	5	446	310	765	19	30	110	55	14 16	59
AS 225S/4; 225S/8 225M/2; 225M/6 225M/4; 225M/8	450	350	20	400	5	446	310	795 803 833	19	30	110	55	14 16	59 64
AS 250M/2; 250M/4 250M/8	550	450	18	500	5	500	350	900	19	38	140	60 65	16	64 69
AS 280S/2; 280S/4 280S/8; 280M/2 280M/4; 280M/8	550	450	18	500	5	550	364	960 1000	19	38	140	65 75	16 18	69 79.5 69 79.5
AS 315S/2; 315S/4 315S/8; 315M/2 315M/4; 315M/8	660	550	22	600	6	630	420	1084 1114 1122 1152	24	50	140 170	65 80	18	69 85 69 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

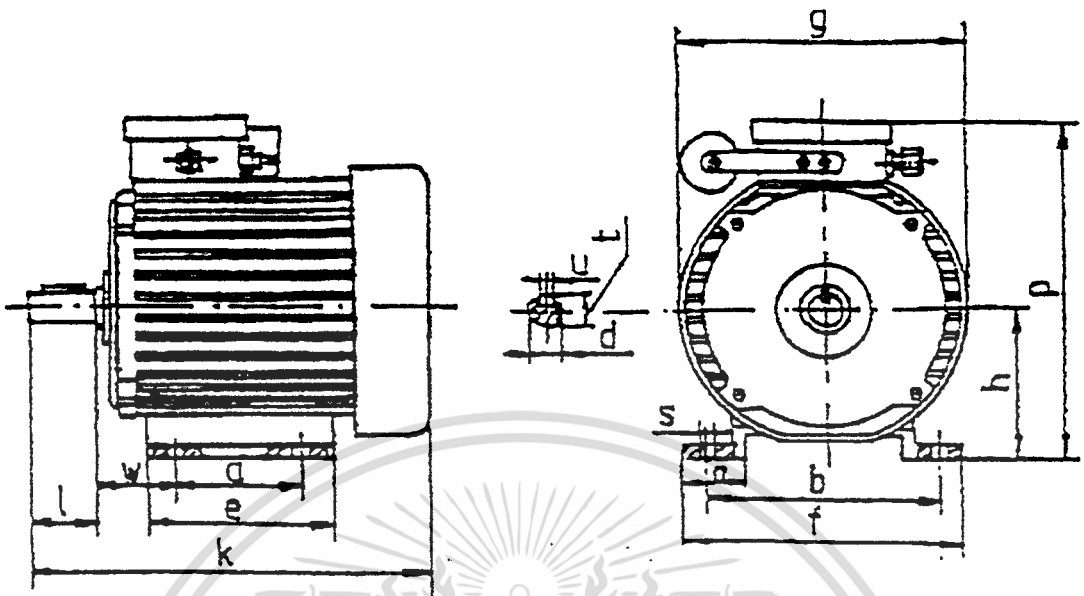
TECHNICAL DATA

SINGLE-PHASE INDUCTION ELECTRIC MOTORS

Power		Type	At rated load			Starting Characteristics		Working capacitor		Weight
			Rated rotation speed	Current at 220 V	Efficiency	Ms Mr	Mmax Mr			
kW	HP		r. p. m.	A	%	-	-	μF	V	kg
3000 min⁻¹										
0.06	0.08	AT56A/2S	2860	0.7	45	0.4	1.7	3.15	450	3.1
0.09	0.12	AT56B/2S	2880	0.85	55	0.4	1.7	4	450	3.3
0.12	0.16	AT63A/2S	2880	1.0	58	0.4	1.7	5	450	4.4
0.18	0.25	AT63B/2S	2880	1.45	62	0.4	1.7	6	450	4.7
0.25	0.34	AT71A/2S	2880	1.9	65	0.4	1.7	10	450	5.7
0.37	0.50	AT71B/2S	2880	2.9	69	0.4	1.7	12	450	6.6
0.55	0.75	AT80A1/2S	2880	3.6	71	0.4	1.7	20	450	8.5
0.77	1.12	AT80A/2S	2850	6.5	65	0.67	2.4	25	450	10.0
1.1	1.5	AT80C/2S	2840	8.2	69	0.57	2.2	30	450	11.0
1.5	2.0	AT90S/2S	2760	10.3	68	0.4	1.7	40	450	11.9
2.2	3.0	AT90L/2S	2780	13.8	80	0.4	1.7	50	450	15.7
1500 min⁻¹										
0.04	0.05	AT56A/4S	1400	0.58	40	0.45	1.7	2.5	450	3.1
0.06	0.08	AT56B/4S	1400	0.7	46	0.4	1.7	3.15	450	3.2
0.09	0.12	AT63A/4S	1410	0.82	52	0.4	1.7	4	450	4.5
0.12	0.16	AT63B/4S	1410	1.1	58	0.4	1.7	5	450	4.8
0.18	0.25	AT71A/4S	1400	1.8	57	0.4	1.7	8	450	5.7
0.25	0.34	AT71B/4S	1400	2.3	60	0.4	1.7	10	450	6.6
0.37	0.50	AT71C/4S	1400	2.7	65	0.4	1.7	10	450	6.8
0.55	0.75	AT80A/4S	1420	4.0	68	0.3	1.7	16	450	8.9
0.77	1.12	AT80B/4S	1430	6.0	71	0.72	2.0	35	400	12.5
1.1	1.5	AT80C/4S	1400	7.0	73	0.3	1.7	30	450	12.0
1.5	2.0	AT90L/4S	1400	10.0	75	0.3	1.7	40	450	15.3
2.2	3.0	AT100L/4S	1430	13.8	78	1.4	1.9	*	*	32.0

* Starting capacitor - 156 μF/280 V; Working capacitor - 30 μF/450 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Type	Dimensions in mm														
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	w	l	d	u	t
AT 56A/2S; 56B/2S 56A/4S; 56B/4S	71	90	88	107	110	56	185	23.5	153	5.8	36	20	9	3	10.2
AT 63A/2S; 63B/2S 63A/4S; 63B/4S	80	100	100	120	123	63	204	28	164	7	40	23	11	4	12.5
AT 71A/2S; 71B/2S 71A/4S; 71B/4S 71C/4S; 71B/6LS	90	112	110	132	138	71	221	28	182	7	45	30	14	5	16
AT 80A/2S; 80A/2S 80A/4S; 80B/4S 80C/4S; 80A/6S 80B/6S	100	125	124	149	158	80	273	29	204	10	50	40	19	6	21.5
AT 90L/2S; 90S/2S	100	140	134	170	170	90	285	33	220	10	56	50	24	8	27
AT 90L/4S	125	140	159	170	170	90	310	33	220	10	56	50	24	8	27
AT 100L/4S	140	160	195	200	200	100	390	45	230	12	63	50	28	8	31

Type	Dimensions in mm														
	a	b	e	f	g	h	k	n	p	4xs	w	l	d	u	t
AG 80B/2SA; 80C/2S 80C/4S	100	125	130	150	160	80	270 290	30	197	10	50	40	19	6	21.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์
ต่อการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณ พ่อ แม่ และเครือญาติ อาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆ นักศึกษา ภาควัดคุมฯ ทุกคน
สำหรับกำลังใจและคำปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1.วินัย เวชวิทยาลัง, “ การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ “, วารสารเทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม ฉบับที่ 87 ,2535.
- 2.พิพัฒน์ เลาสงคราม, “การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,213 หน้า,2535
- 3.สุเจตน์ จันทรัมย์, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051”, โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2536
4. นรินทร์ เนาวประทีป, “ ออบ แอมป์ 741” โครงการตำราเรียน PHYSICS CENTER 183 หน้า.
5. มณฑนา ปราการสมุทร, “การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี”,ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรม ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 345 หน้า 2534
- 6.ธันวา ศรีประโม่ง การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีมหานคร, 739 หน้า, 2537
7. คู่มือ ไอซี บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด 306 หน้า 2535
8. เครื่องวัดการสั่นสะเทือนแบบสามแกนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก ปริญญาโทปีการศึกษา 2537
9. “National Semiconductor”, National Semiconductor Corp., U.S.A.
10. “V-31 User’s manual”, SILA RESEARCH CO.,LTD.,2536.
11. “Operating Instruction PiezoBEAM Accelerometers”, Kistler Instrumente AG Winterthur, Schweiz
12. Andrew D.Dimaaronos and Sam Haddad, “Vibration for engineers” , Prentic Hall 749 p.,1992

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณ พ่อ แม่ และเครือญาติ อาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆ นักศึกษา ภาควัดคุมฯ ทุกคน สำหรับกำลังใจและคำปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. วินัย เวชวิทยาลัง, “การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์”, วารสารเทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม ฉบับที่ 87, 2535.
2. พิพัฒน์ เลาหสงคราม, “การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 213 หน้า, 2535
3. สุเจตน์ จันทรัมย์, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051”, โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2536
4. นรินทร์ เนาวประทีป, “ออบ แอมป์ 741” โครงการตำราเรียน PHYSICS CENTER 183 หน้า.
5. มัณฑนา ปรากรสมุทร, “การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี”, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 345 หน้า 2534
6. ชันวา ศรีประโมง การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 739 หน้า, 2537
7. คู่มือ ไอซี บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด 306 หน้า 2535
8. เครื่องวัดการสั่นสะเทือนแบบสามแกนด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2537
9. “National Semiconductor”, National Semiconductor Corp., U.S.A.
10. “V-31 User’s manual”, SILA RESEARCH CO., LTD., 2536.
11. “Operating Instruction PiezoBEAM Accelerometers”, Kistler Instrumente AG Winterthur, Schweiz
12. Andrew D. Dimaaronos and Sam Haddad, “Vibration for engineers”, Prentice Hall 749 p., 1992