



การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองของคัลบดุกปีนในเมอเคอร์ซนคสเอ็ปั้ง

โดย

นายชาญศักดิ์ เจนัญญวรักษ์ 321078

นางสาวนิจวรรณ ตั้งวิรุฬห์ 321142

นางสาวอิสริยา สมสุขสกุล 321427

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
เรื่อง การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของคัลบลูกปืนในมอเตอร์ชนิดสแตมป์

ผู้จัดทำ

1. นายชาณุศักดิ์ เจนธัญญารักษ์ 321078
2. นางสาวนิจวรรณ ตั้งวิรุณห์ 321142
3. นางสาวอิสริยา สมสุขสกุล 321427



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032613

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของคลັบลูกปืนในมอเตอร์ชนิดสเต็ปป์

ชาญศักดิ์ เจริญสุขารักษ์

นิจารณ ตั้งวิรุฬห์

อิสริยา สมสุขสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

ปริศยานิพนธ์นี้ ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของคลັบลูกปืนภายในมอเตอร์ชนิดสเต็ปป์ (Stepping Motor) โดยตั้งสมมุติฐานว่า ความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ทั้งหมดมีสาเหตุมาจากความสั่นสะเทือนของคลັบลูกปืน ในการทดลองใช้ Accelerometer เป็นตัวรับสัญญาณความสั่นสะเทือน ณ ภาระงานและความเร็วรอบต่างๆ กันของมอเตอร์ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้ Fast Fourier Transform Analyser (FFT Analyser) แล้วบันทึกผลที่ได้จากการวิเคราะห์ การทดลองจะทำการเป็น 3 กรณี คือ 1) ใส่น้ำมันหล่อลื่น 1 อัน 2) ใส่น้ำมันหล่อลื่น 3 อัน และ 3) ใส่น้ำมันหล่อลื่นและอัดซิลิโคน ซึ่งจะสรุปได้ว่า ความสั่นสะเทือนจะเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและภาระงานของมอเตอร์ และความสั่นสะเทือนมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใส่น้ำมันหล่อลื่นหรืออัดซิลิโคนเพิ่มเข้าไป

EXPERIMENTAL STUDY ON BALL-BEARINGS VIBRATION IN STEPPING MOTORS

CHANSAK JANETUNYYARUX

NITCHAWAN TANGWIROON

ISARIYA SOMSUKSAKUL

ADVISOR ASST.PROF.DR. MONGKOL MONGKOLWONGROTE

ABSTRACT

This thesis deals with the experimental study of the ball-bearing vibration behavior in stepping motors. The experiments base on the assumption that the motor vibration caused by the bearings vibration. The bearings vibration is measured by accelerometer in various conditions with varying loads and speeds of motor. The signals from accelerometer are analysed by the Fast Fourier Transform Analyser (FFT Analyser) and then recorded graphically. The experiments are set up for three different cases; with one shim, with three shims and with one shim plus silicone in the bearing housing. The results show that the vibration will change at varying loads and speeds of motor, and also the vibration levels tend to reduce by adding some shims or silicone in the bearing housing.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	96
ภาคผนวก ก. ACCELEROMETER	
ภาคผนวก ข. STEPPING MOTOR	
ภาคผนวก ค. ชุดควบคุมและขับเคลื่อน STEPPING MOTOR	
ภาคผนวก ง. ชุด TORQUE	
ภาคผนวก จ. FFT Analyser	
เอกสารอ้างอิง	
กิตติกรรมประกาศ	

บทที่ 1

บทนำ

เครื่องจักรกลและอุปกรณ์ที่มีการส่งกำลังส่วนมากมักจะประสบปัญหาความเสียหายหรือความคลาดเคลื่อนในการทำงานซึ่งเป็นผลมาจากความสั่นสะเทือน ปัญหาเหล่านี้แก้ไขได้โดยกำจัดความสั่นสะเทือนให้หมดไป หรือทำให้มีน้อยลงจนอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ โดยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของความสั่นสะเทือนและทำการแก้ไข ความสั่นสะเทือนเกิดได้จากหลายสาเหตุ แต่สาเหตุที่สำคัญ คือ ความสั่นสะเทือนเนื่องจากระบบส่งกำลังหรือตัวมอเตอร์ สำหรับมอเตอร์ชนิดสัปดาห์มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังนั้นปริิพญานิพนธ์นี้จึงศึกษาความสั่นสะเทือนโดยมีสมมุติฐานว่า การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ชนิดสัปดาห์มีผลมาจากคลื่นลูกปี่ภายใน การทดลองจะศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงภาระงานและความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อความสั่นสะเทือน และศึกษาแนวทางการลดความสั่นสะเทือนโดยการใส่แหวนรองและซิลิโคน ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนจะใช้ FFT Analyser เพื่อเปลี่ยนสัญญาณความสั่นสะเทือนจาก Time Domain ไปอยู่ในรูปของ Frequency Domain ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นประกอบด้วยความสั่นสะเทือนจากส่วนใดของมอเตอร์บ้าง และยังช่วยในการยืนยันสมมุติฐานอีกด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

Single-mass Rotor Dynamics

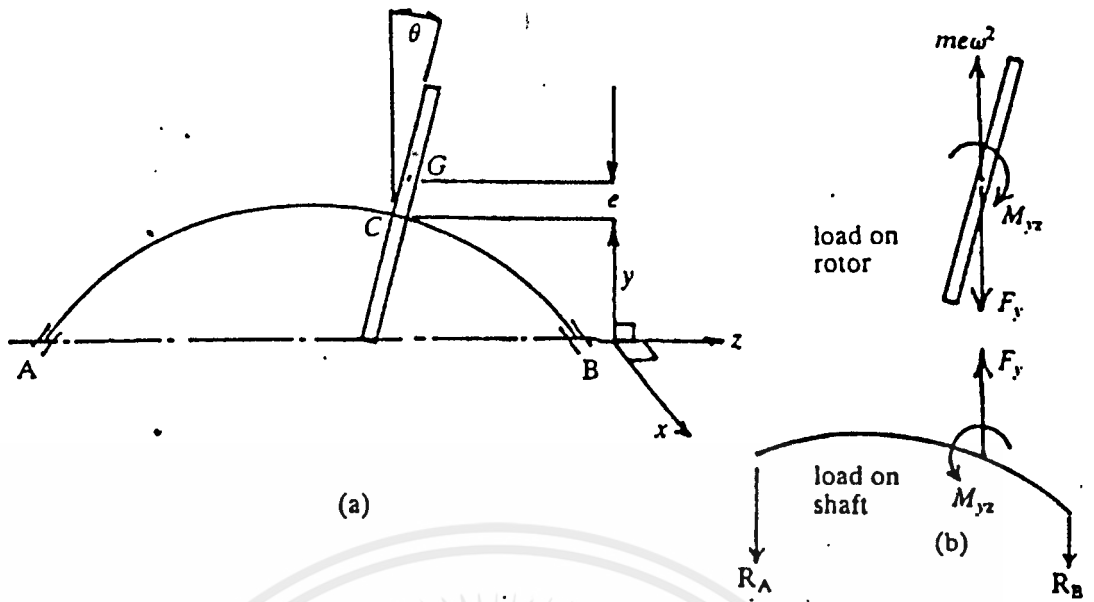
ในเครื่องจักรกลหลาย ๆ ชนิดที่มีการหมุน มวลโรเตอร์ (rotor) รวมอยู่ที่จุด ๆ เดียวบนเพลลา จะพิจารณาว่าเพลลามีน้ำหนักเบามากในการคำนวณแบบง่าย ๆ ที่ต้องการจะทำนายพฤติกรรมของระบบนั้น ในกรณีอื่นมวลโรเตอร์อาจไม่รวมอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งบนเพลลา เพื่อจะช่วยในการออกแบบเครื่องจักรกล เราจะพิจารณาเสมือนว่ามวลรวมอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งแทน ถึงแม้ในบางกรณีจะไม่เข้ากับสถานการณ์ดังกล่าว แต่ก็ยังคงใช้หลักการพื้นฐานของ Rotating Machine Dynamics โดยการศึกษาระบบนั้น จะทำให้ทราบพฤติกรรมของ Dynamics Loading และแสดงถึงผลของตัวแปร (Parameters) ต่าง ๆ เช่น อัมพลิจูด (Amplitude) ของการสั่นสะเทือน และแรงที่ส่งถ่าย (Transmiss) ไปยังฐาน

ก่อนอื่นจะกล่าวถึงระบบง่าย ๆ ซึ่งประกอบด้วยเพลลายืดหยุ่น (Flexible Shaft) ซึ่งหมุนอยู่ใน Bearings เราจะทราบถึงนิยามของความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) ของเครื่องจักรกล และความสัมพันธ์ของมันต่อพฤติกรรมของเครื่องจักรกล จากนั้นจะศึกษาถึงผลของ Single-mass Rotor ซึ่งติดอยู่บนเพลลายืดหยุ่นน้ำหนักเบา

Flexible Shaft in Rigid Bearings

ในบางกรณีระบบที่เราพิจารณาอาจเป็นระบบที่มีมวล m ติดอยู่บนเพลลายืดหยุ่นน้ำหนักเบา ซึ่งหมุนอยู่ใน Rigid Bearing ระบบนี้แสดงได้ดังรูป 2-1 จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง (Centre of Gravity, G) ของโรเตอร์ ถูกตั้งเฉียงออกไปจากศูนย์กลางทางเรขาคณิต (Geometric centre, C) ของโรเตอร์เป็นระยะทาง e การเบี่ยงเบนตามขวางและเชิงมุม (Instantaneous Lateral and Angular Deflections) ของเพลลา ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งโรเตอร์ มีค่าเป็น y ในแนวดิ่งและ θ ในระนาบ $y-z$ ตามลำดับ แรงและโมเมนต์ที่กระทำระหว่างโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ของการนำมาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 แสดงภาพประกอบ Flexible Shaft ใน Rigid Bearings

ทิศทางดังรูป 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลด (load) F_y, M_{yz} บนเพลลา และการเบี่ยงเบน y และ θ ของเพลลา กำหนดโดยอาศัยทฤษฎีการเบี่ยงเบนของคานแบบขรรจรมา และจัดอยู่ในรูป

$$\begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2 b^2 / 3EI l & -(3a^2 l - 2a^3 - al^2) / 3EI l \\ ab(b-a) / 3EI l & -(3al - 3a^2 - l^2) / 3EI l \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_y \\ M_{yz} \end{Bmatrix} \quad (2-1)$$

โดยที่ l คือ ความยาวของเพลลา AB

E คือ ยังโมดูลัสของความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเพลลา

I คือ โมเมนต์อินดีกซ์สองของพื้นที่ของเพลลา

a คือ ระยะทางระหว่าง AC

b คือ ระยะทางระหว่าง CB

สมการ (2-1) อาจเขียนในรูปอย่างง่าย คือ

$$\begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_y \\ M_{yz} \end{Bmatrix} \quad (2-2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเทอม α_{11} , α_{1e} , α_{e1} , α_{ee} เป็นสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนรูปของเพลลา ต่อโหลดที่
 มากระทำ สมการ (2-2) อาจจัดได้ใหม่เป็น

$$\begin{Bmatrix} F_v \\ M_{vz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{1e} \\ k_{e1} & k_{ee} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} \quad (2-3)$$

หรือเขียนให้ง่ายขึ้นอีกเป็น

$$\{p\} = [k] \{d\} \quad (2-4)$$

โดยที่เมทริกซ์ $[k]$ เป็นเอ็นเวอ์สมมาตริกซ์ของ α ในสมการ (2-2)
 สมการการเคลื่อนที่สำหรับมวลของโรเตอร์ในทิศทาง y และ θ แทนได้โดย

$$m\omega^2 y - F_v = my, \quad M_{vz} = I_d \theta \quad (2-5)$$

โดย $m\omega^2$ เป็นแรงที่ไม่สมดุลที่กระทำบนโรเตอร์ และ I_d เป็น Inertia Moment
 ของโรเตอร์รอบเส้นผ่านศูนย์กลาง สังเกตว่าการผันผะเทือน $y = -\omega^2 y$ และ $\theta = -\omega^2$
 ซึ่งแทนค่า F_v และ M_{vz} จากสมการ 2-3 ลงในสมการ 2-5 จะเขียนได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} m\omega^2 y \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (k_{11} - m\omega^2) & k_{1e} \\ k_{e1} & (k_{ee} - I_d \omega^2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} \quad (2-6)$$

ซึ่งจัดใหม่ได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (k_{11} - m\omega^2) & k_{1e} \\ k_{e1} & (k_{ee} - I_d \omega^2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} m\omega^2 y \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2-7)$$

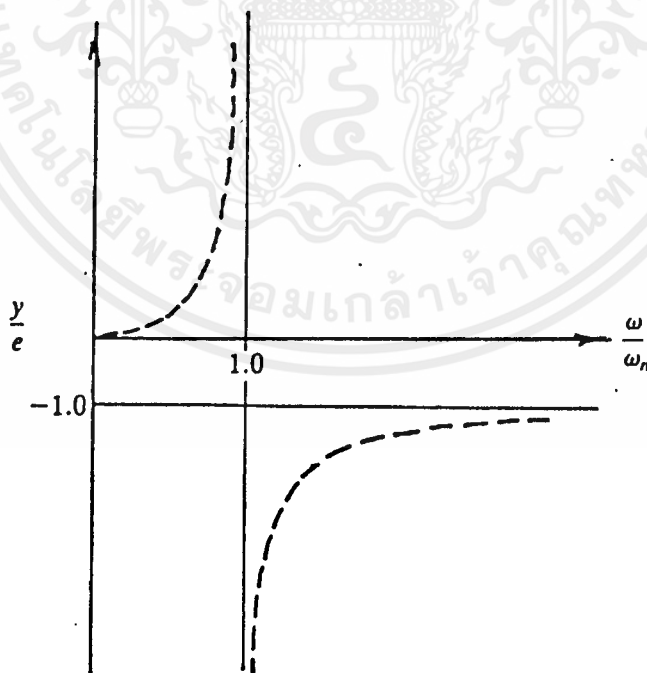
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$(d) = [Z] (f) \quad (2-8)$$

สมการ 2-7 แสดงค่าต่าง ๆ ของการเปลี่ยนรูปของโรเตอร์ในระนาบคิ่ง กับความเร็วในการหมุน การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ในระนาบ $x-z$ หาได้แบบเดียวกัน แต่เฟสต่างกัน 90 องศา กับระนาบ $y-z$ เพราะการเกิดแรงต่างเฟสกัน 90 องศา

รูป 2-2 แสดงกราฟ y/e กับอัตราส่วนความถี่ ω/ω_n สำหรับกรณีของโรเตอร์ติดอยู่ที่กึ่งกลางของเพลลา ซึ่งวิเคราะห์โดย Jeffcott (1919) จากรูปจะเห็นว่า เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึง ω_n อัมพลิจูดของการสั่นจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปยังค่าอนันต์ เมื่อความเร็วมากกว่า ω_n อัมพลิจูดของการสั่นจะลดลง และมีแนวโน้มค่าสุดที่ $-e$ (Exponential) ณ ความเร็วสูงมาก ๆ อัมพลิจูดการสั่นในทางลบ เป็นการเบี่ยงเบนของเพลลาในทิศทางตรงกันข้ามกับความไม่สมดุลเชิงศูนย์ e เมื่อความเร็วสูงมาก ๆ y มีแนวโน้มเข้าหา $-e$ (Exponential) ศูนย์กลางมวลของโรเตอร์ G จะเคลื่อนเข้าหาแนวศูนย์กลางของแกนเพลลา



รูปที่ 2-2 แสดงกราฟ y/e กับอัตราส่วนความถี่ ω/ω_n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ ω_n คือ ความเร็วของการหมุนหรือความเร็ววิกฤต การหมุน (Whirling) ไม่ใช้การสั่นของเพลลาโดยทั่ว ๆ ไป แต่เป็นกรณีที่ผิวหน้าของเพลลาจุดหนึ่งเกิดความเค้นกระเพื่อม (Fluctuating Stress) ลักษณะการหมุนจะอยู่ในรูปโค้งงอ (เหมือนรูปของกล้วย) ในกรณีทั่ว ๆ ไปเมื่อโรเตอร์ไม่ได้ติดตั้งอยู่กลางเพลลา จะเกิดความเร็ววิกฤต 2 ค่า คือการเคลื่อนที่ในแนวขวางของโรเตอร์ และการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์

ในระบบดังกล่าว แรงจะถูกส่งถ่ายผ่าน Bearings ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเบี่ยงเบนของเพลลา ทฤษฎีของเครื่องจักรทั่ว ๆ ไปแสดงให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาใน Bearings ที่ A และ B ในรูป 2-1 จะสัมพันธ์กับโพลดที่กระทำบนเพลลา F_v และ M_{vz} โดยสมการ

$$\begin{Bmatrix} R_A \\ R_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} b/l & -1/l \\ a/l & 1/l \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_v \\ M_{vz} \end{Bmatrix} \quad (2-9)$$

ซึ่งเขียนได้เป็น

$$\{R\} = [I] \{P\} \quad (2-10)$$

สมการ 2-10 อาจเปลี่ยนรูปโดยใช้สมการ 2-4 และ 2-8

$$\begin{aligned} \{R\} &= [I] \{k\} \{d\} \\ &= [I] [k] [Z] \{f\} \\ &= [c] \{f\} \end{aligned} \quad (2-11)$$

เขียนได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} R_A \\ R_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{12} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} me\omega^2 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการข้างบนแสดงให้เห็นว่า แรงส่งถ่ายผ่าน Bearings จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็ววิกฤต แรงต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นแรงพลศาสตร์ (Dynamics Force) ซึ่งจะถูกลบออกไปบน Steady loads

ในระบบจริง ซึ่งถูกออกแบบให้ทำงานเหนือความเร็ววิกฤต เครื่องจักรกลจะเดินเครื่อง ผ่านช่วงความเร็ววิกฤตอย่างรวดเร็ว เพื่อจะได้ไม่มีเวลาที่จะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง (ไม่เกิดการ Resonance) และก่อนจะ Run Down เครื่องจักร ก็ต้องทำอย่างนี้เช่นเดียวกัน ถ้าระบบทำงานที่ความเร็ววิกฤต การสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจะเกิดขึ้น เผลออาจจะแตกได้ และจะเกิดผลเสียร้ายแรงตามมา อาจจะมีการใช้ Damping ให้เป็นตัวจำกัดการสั่นสะเทือน และอัมปลิจูดของแรงให้อยู่ที่ค่าสูงสุดค่าหนึ่ง

ในระบบที่พิจารณาจากข้างบน การสั่นของโรเตอร์เกิดจากการโค้งงอของเพลลา แต่ใน เครื่องจักรอื่น ๆ เพลลาจะแข็งจนสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของโรเตอร์ การสั่นของ ระบบจะเกิดจากความยืดหยุ่นของ Bearings การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะแตกต่างจาก การวิเคราะห์ที่ผ่านมา ซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

Symmetrical Rigid Shaft in Flexible Anisotropic Bearings

ในระบบที่ Bearings มีความยืดหยุ่นมากกว่าเพลลา จะทำให้ Bearings มีอิทธิพลต่อการ เคลื่อนที่มากกว่าเพลลา ระบบเช่นนี้อาจพิจารณาว่าเป็นระบบ Rigid Rotor คล้ายกับที่แสดง ในรูป 2-3 ในระบบนี้เพลลาจะไม่ยืดหยุ่น และ Bearings ถูกสมมุติว่าทำงานคล้ายเป็นสปริง เชิงเส้น (Linear Bearings) มีค่า Stiffness ในแนวขนานและแนวตั้งเป็น k_x และ k_y ตามลำดับ ถ้าโรเตอร์มีมวล m ซึ่งศูนย์กลางถูกตั้งให้เชื่อมศูนย์กลางจากศูนย์กลางทางเรขาคณิตของ โรเตอร์เป็นระยะทาง e และ d และถ้า x และ y เป็นการขจัดเชิงเส้นของโรเตอร์ในแนว ขนานและแนวตั้งตามลำดับ ϕ และ θ เป็นการขจัดเชิงมุมของโรเตอร์ ในระนาบ $x-z$ และ $y-z$ ตามลำดับ สมการของการเคลื่อนที่สำหรับมอเตอร์อาจจะเขียนได้เป็น

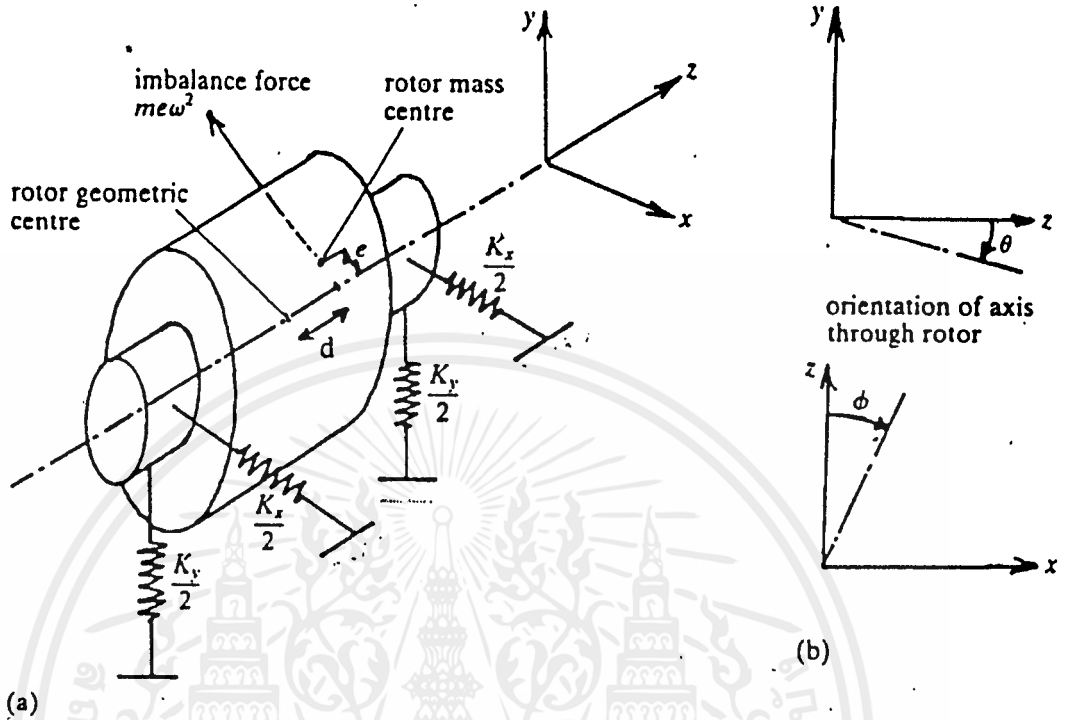
$$me\omega^2 \cos \omega t - k_x x = mx$$

$$me\omega^2 \sin \omega t - k_y y = my$$

(2-13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left. \begin{aligned} me\omega^2 d \cos \omega t - k_x l \phi &= I_d \ddot{\phi} \\ me\omega^2 d \sin \omega t - k_y l \theta &= I_d \ddot{\theta} \end{aligned} \right\} \quad (2-13)$$



รูปที่ 2-3 แสดง rigid rotor ติดตั้งใน flexible bearings

จาก sinusoidal vibrations

$$x = -\omega^2 X$$

$$y = -\omega^2 Y$$

$\phi = -\omega^2 \Phi$ และ $\theta = -\omega^2 \Theta$ สมการ 2-13 อาจจัดใหม่ได้เป็น

$$\left. \begin{aligned} x &= me\omega^2 d \cos \omega t / (k_x - m\omega^2) = X \cos \omega t \\ y &= me\omega^2 d \sin \omega t / (k_y - m\omega^2) = Y \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (2-14a)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi &= me\omega^2 d \cos \omega t / (k_x l - \omega^2 I_d) = \Phi \cos \omega t \\ \theta &= me\omega^2 d \sin \omega t / (k_y l - \omega^2 I_d) = \Theta \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (2-14b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากการนิยามสมการ 2-14 จะเห็นได้ว่าระบบนี้มีความเร็ววิกฤต 4 ค่า สองค่าเป็นการสั่นสะเทือนตามขวางในแนวขนานและแนวดิ่ง อีกสองค่าเป็นการสั่นสะเทือนเชิงมุมในระนาบ x-z และ y-z

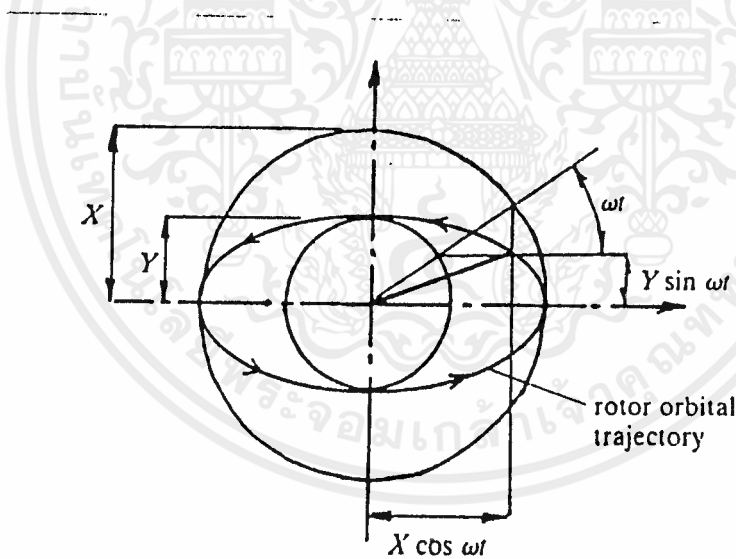
ยกกำลังสองทั้งสองข้างของสมการ 2-14a และบวกเข้าด้วยกัน จะได้

$$x^2/X^2 + y^2/Y^2 = 1 \tag{2-15a}$$

และในทำนองเดียวกัน จากสมการ 2-14b จะได้

$$\phi^2/\Phi^2 + \theta^2/\Theta^2 = 1 \tag{2-15b}$$

สมการ 2-15a เป็นสมการวงรี วงโคจรในการเคลื่อนที่ของโรเตอร์จะเป็นดังรูป 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงวงโคจรของการเคลื่อนที่ของเพลานในรูป 2-3

ถ้า k_x น้อยกว่า k_y และความเร็วของเพลาค่า ($\omega^2 < k_x/m$) แล้ว จากสมการ 2-14a จะสังเกตได้ว่าทั้ง X และ Y เป็นบวกทั้งคู่ ดังนั้นการขจัดของโรเตอร์จะอยู่ในทิศทางเดียวกันกับการหมุนของเพลาทั้งสองค่า แต่อย่างไรก็ตามถ้าความเร็วของการหมุนอยู่ระหว่างค่าความเร็ววิกฤตในแนวขนานกับแนวดิ่ง ($k_x/m < \omega^2 < k_y/m$) แล้ว X จะกลายเป็นลบซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอกให้ทราบว่า การขจัดในแนวขนานของโรเตอร์จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุน เมื่อทำงานที่ความเร็วของเพลาส่งมาก ($\omega^2 > k_v/m$) ทั้ง X และ Y เป็นลบ จะพิจารณาได้จากรูป 2-4 ว่า การขจัดจะเกิดในทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของเพลาทิ้ง 2 ค่า

สมการ 2-15b สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ก็เป็นสมการวงรีด้วย หมายความว่า มีการเคลื่อนที่เป็นวงรีเนื่องจากการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ การเคลื่อนที่ของโรเตอร์นี้เป็นผลมาจากแรงคู่ควบไม่สมดุล (imbalance couple) ซึ่งกระทำบนตัวโรเตอร์ และเกิดข้อขึ้นบนการเคลื่อนที่ทางขวางของโรเตอร์ การหมุนย้อนกลับทิศของวงโคจรจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเคลื่อนที่นี้ด้วย ระหว่างความเร็ววิกฤต 2 ค่า ที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์

อัมพลิจูดของการส่งถ่ายแรงให้กับ Bearings แยกต่างกันไปในแนวขนานกับแนวตั้ง รวมทั้งที่ปลายทั้งสองข้างของโรเตอร์ด้วย แรงที่ส่งถ่ายเป็นสาเหตุให้ Bearings มีการเปลี่ยนรูป และมีค่าเท่ากับผลคูณของค่า k ของสปริงและการเบี่ยงเบน (deflection) ของโรเตอร์ที่ Bearings อัมพลิจูดของแรงแสดงได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} F_x &= k_x(x + l\phi)/2 \\ F_y &= k_y(y + l\phi)/2 \end{aligned} \right\} \quad (2-16)$$

โดยเป็นแรงในทิศทางขนานและแนวตั้งตามลำดับ เครื่องหมายของเทอมในวงเล็บขึ้นอยู่กับปลายของโรเตอร์ที่พิจารณา ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ ทำให้ปลายของโรเตอร์เบี่ยงเบนไปในทิศทางเดียวกัน หรือตรงกันข้ามกับการเบี่ยงเบนตามขวางของโรเตอร์ ทำให้เห็นได้ชัดว่าแรงที่ Bearings จะมีค่าสูงสุดเมื่อระบบทำงานที่ความเร็ววิกฤต ซึ่งค่า X, Y, ϕ และ $\dot{\phi}$ มีค่าสูงสุด

Rotating Unbalance

ความไม่สมดุลในอุปกรณ์ที่มีการหมุนเป็นต้นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน เราพิจารณาวลัดสปริงซึ่งถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ได้ในแนวเส้นตรงในแนวตั้งเท่านั้น และถูกกระตุ้นโดยอุปกรณ์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิศวกรรมเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้เอกสารนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่มีการชำระค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

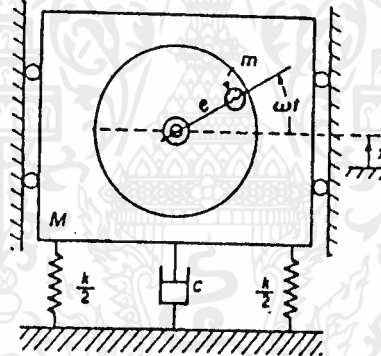
มีการหมุนซึ่งไม่สมดุลดังแสดงในรูป 2-5

ความไม่สมดุลถูกกำหนดโดยมวลเชิงศูนย์กลาง m ซึ่งมีระยะเชิงศูนย์กลาง e ทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ให้ x เป็นการขจัดของมวลที่ไม่มีการหมุน ($M - m$) จากตำแหน่งสมดุลทางสถิตศาสตร์ การขจัดของมวล m คือ

$$x = e \sin \omega t \quad (2-17)$$

ได้สมการของการเคลื่อนที่

$$(M - m)x + m d^2 (x + e \sin \omega t) = -kx - cx \quad (2-18)$$



รูปที่ 2-5 แสดงระบบ rotating unbalance

ซึ่งสามารถจัดรูปได้ใหม่เป็น

$$Mx + cx + kx = me\omega^2 \sin \omega t \quad (2-19)$$

เห็นได้ชัดว่าสมการ 2-19 เป็นสมการเดียวกับสมการ Forced harmonic vibration

คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$$

โดย F_0 ถูกแทนด้วย $m\omega^2$ และการแก้อสมการ steady state แทนด้วย

$$X = m\omega^2 / \sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega^2)} \quad (2-20)$$

และ

$$\tan \phi = c\omega / (k - M\omega^2) \quad (2-21)$$

สามารถลดรูปเป็นตัวแปรไร้มิติได้ดังนี้

$$\frac{M X}{m \omega^2} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad (2-22)$$

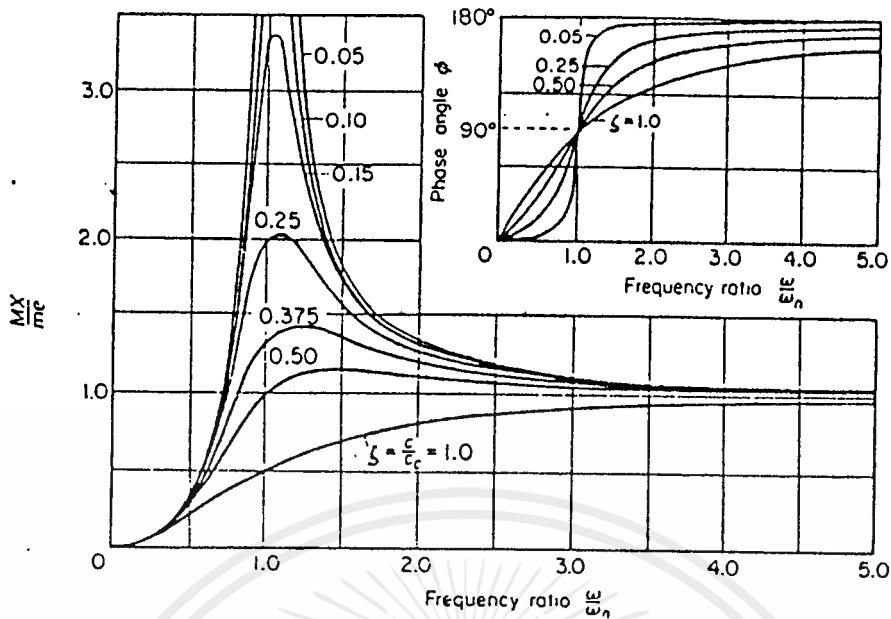
และ

$$\tan \phi = \frac{2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (2-23)$$

แสดงได้ดังกราฟในรูป 2-6

จะได้สมการสำเร็จคือ

$$x(t) = X_1 e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t + \phi_1) + \frac{m\omega^2}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \sin(\omega t - \phi) \quad (2-24)$$



รูปที่ 2-6 แสดงกราฟสำหรับสมการ 2-22 และ 2-23 ของ rotating unbalance

Rotor Unbalance

ทฤษฎีที่ผ่านมาเกิดขึ้นในระนาบเดียว แต่ความไม่สมดุลในล้อที่หมุนหรือโรเตอร์ประกอบด้วยหลายระนาบ เราแบ่งแยกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ความไม่สมดุลทางสถิตศาสตร์ (Static Unbalance)

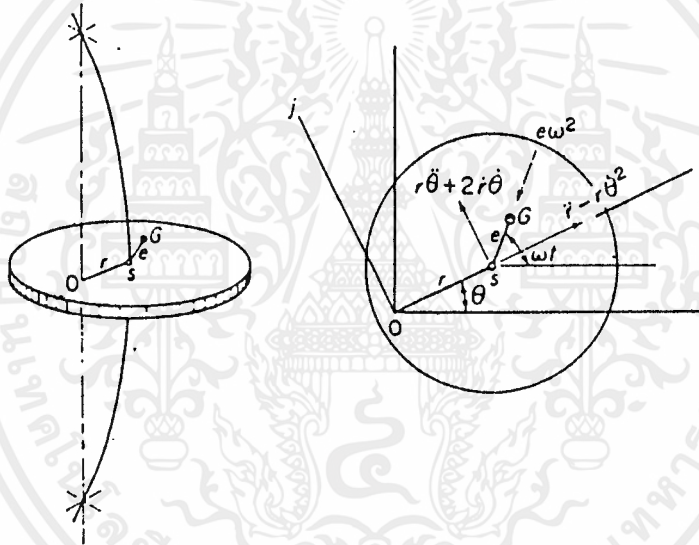
เมื่อมวลไม่สมดุลถูกวางตัวอยู่ในระนาบเดียว เหมือนกรณีของจานโรเตอร์บาง ๆ ผลของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นเป็นแรงในแนวรัศมี ดังในรูปที่ 2-7 เราใช้ตรวจสอบทางสถิตศาสตร์เพื่อหาความไม่สมดุลของล้อที่มีแกนวางขนาน ล้อจะกลงไปจนกว่าจุดที่หนักที่สุดของมันจะลงไปอยู่ด้านล่างของแกน เนื่องจากความไม่สมดุลเช่นนี้สามารถตรวจสอบได้โดยไม่ต้องหมุนเพลลา จึงเรียกว่า ความไม่สมดุลทางสถิตศาสตร์

ความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)

เมื่อเกิดความไม่สมดุลมากกว่า 1 ระนาบ ผลที่ได้คือแรงและโมเมนต์โยก ซึ่งหมายถึงความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ โมเมนต์โยกไม่สามารถหาได้ถ้าไม่มีการปั่นโรเตอร์ เช่น เพลลาซึ่งมีจาน 2 อันติดอยู่ ดังรูปที่ 2-8 ถ้ามวลที่ไม่สมดุลมีค่าเท่ากันและห่างกับ 180 องศา โรเตอร์จะสมดุลทางสถิตศาสตร์รอบแกนเพลลา แต่เมื่อโรเตอร์ปั่นจานแต่ละตัวจะสร้างแรงหนีศูนย์กลาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ความไม่สมดุลของมวล damping ในเพลลา ความเสียดทานของของไหลใน Bearings และสาเหตุอื่น ๆ การเหวี่ยงของเพลลาอาจเกิดขึ้นได้ในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของเพลลา และความเร็วในการเหวี่ยงอาจจะเท่ากับความเร็วในการหมุนหรือไม่ก็ได้

เราพิจารณาจาน (disk) ซึ่งมีมวล m ถูกติดตั้งอย่างสมมาตรบนเพลลา ซึ่งรองรับด้วย Bearings 2 ตัว ตามรูป 2-10 จุดศูนย์กลางมวลของจาน G อยู่ที่ระยะเชิงศูนย์กลาง e จากจุดศูนย์กลางทางเรขาคณิต S ของจาน เส้นศูนย์กลางของ Bearings ติดกับระนาบของจานที่ O และศูนย์กลางเพลลาเบี่ยงเบนไปจากเดิมเป็นระยะทาง $r = OS$



รูปที่ 2-10 แสดงการเหวี่ยงของเพลลาหมุน

เราสมมติว่าเพลลา (แนว $e = SG$) หมุนด้วยความเร็วคงที่ ω และโดยทั่วไป แนว $r = OS$ จะเหวี่ยงด้วยความเร็ว $\dot{\theta}$ ซึ่งไม่เท่ากับความเร็ว ω สำหรับสมการการเคลื่อนที่ เราสามารถหาความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลได้ดังนี้

$$a_G = a_{\omega} + a_{\dot{\theta}}$$

(2-25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ a_r เป็นความเร่งของจุด s และ a_{θ} เป็นความเร่งของ G สัมพันธ์กับ s พจน์หลังเป็นความสัมพันธ์โดยตรงของ G กับ s เพราะ ω คงที่ แก้สมการหาค่า a_{θ} ในทิศทางรัศมีและทิศทางสัมผัส (radial and tangential direction) เราจะได้

$$\begin{aligned} a_{\theta} = & [(r - r_0^2) - e\omega^2 \cos(\omega t - \theta)]i \\ & + [(r_0 + 2r_0) - e\omega^2 \sin(\omega t - \theta)]j \end{aligned} \quad (2-26)$$

เนื่องจากแรงที่สะสมอยู่ในเพลลา เราจะสมมติว่ามีแรง viscous damping กระทำที่ s สมการของการเคลื่อนที่ถูกต้องในทิศทางรัศมีและทิศทางสัมผัสเป็น

$$\begin{aligned} -kr - cr &= m[r - r_0^2 - e\omega^2 \cos(\omega t - \theta)] \\ -cr_0 &= m[r_0 + 2r_0 - e\omega^2 \sin(\omega t - \theta)] \end{aligned}$$

ซึ่งสามารถจัดใหม่ได้เป็น

$$r + cr/m + (k/m - \omega^2)r = e\omega^2 \cos(\omega t - \theta) \quad (2-27)$$

$$r_0 + (cr/m + 2r_0)\omega = e\omega^2 \sin(\omega t - \theta) \quad (2-28)$$

ในกรณีทั่ว ๆ ไปของการเหวี่ยง เราใช้สมการข้างบนอธิบายได้ ภายใต้การแบ่งแยกการเคลื่อนที่กระตุ้นด้วยตัวเอง (self-excited) ซึ่งแรงกระตุ้นซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ถูกลดลงโดยการเคลื่อนที่ของตัวเอง ถ้าตัวแปรในสมการนี้เป็น r และ θ ปัญหาจะเป็นแบบ 2 DOF อย่างไรก็ตามในการเหวี่ยงแบบ steady-state synchronous ซึ่ง $\dot{\theta} = \omega$ และ $\dot{r} = \dot{\theta} = 0$ ปัญหาจะกลายเป็น 1 DOF

Synchronous whirl

สำหรับการเหวี่ยงแบบ synchronous ความเร็วในการเหวี่ยงเท่ากับความเร็วในการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุน ω ซึ่งเราสมมติว่าคงที่ จะได้

$$e = \omega r$$

และจากการอินทิเกรตเราได้ว่า

$$\theta = \omega t - \phi$$

เมื่อ θ เป็นมุมระหว่าง e และ r ซึ่งเป็นค่าคงที่ดังแสดงในรูป 2-10

จาก $\theta = r = \dot{r} = 0$ สมการ 2-27 และ 2-28 ลดรูปเป็น

$$\begin{aligned} (k/m - \omega^2)r &= e\omega^2 \cos \phi \\ e\omega r/m &= e\omega^2 \sin \phi \end{aligned} \quad (2-29)$$

เอาสองสมการมาหารกันจะได้

$$\tan \phi = \frac{\frac{c}{m}\omega}{\left(\frac{k}{m} - \omega^2\right)} = \frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (2-30)$$

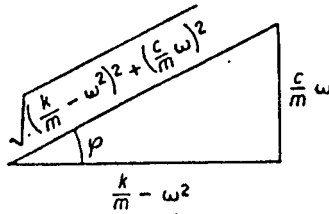
เมื่อ $\omega_n = \sqrt{k/m}$ เป็นความเร็ววิกฤต และ $\zeta = c/c_{cr}$ จากสามเหลี่ยมของเวกเตอร์ในรูป 2-11

$$\cos \phi = \frac{\frac{k}{m} - \omega^2}{\sqrt{\left(\frac{k}{m} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{c}{m}\omega\right)^2}} \quad (2-31)$$

แทนลงในสมการแรกของสมการ 2-29 จะได้สมการของแอมพลิจูด

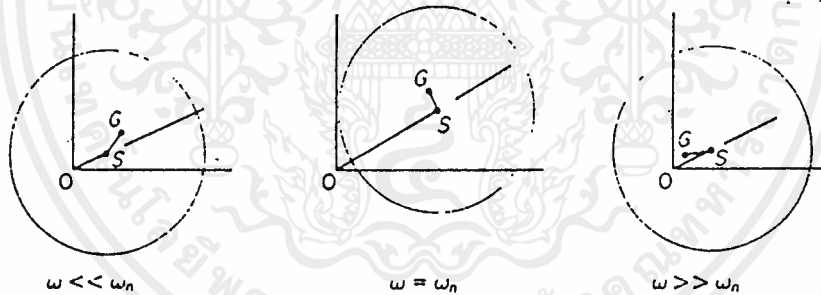
$$r = \frac{m e \omega^2}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{e \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad (2-32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 แสดงสามเหลี่ยมของเวกเตอร์

จากสมการต่าง ๆ ข้างบน บอกให้เราทราบว่าแนวเชิงศูนย์ $e = SG$ มีเฟสนำแนวการขจัด $r = OS$ อยู่เป็นมุมเฟส ϕ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณ damping และอัตราส่วนความเร็ว ω/ω_n เมื่อความเร็วการหมุนใกล้เคียงกับความเร็ววิกฤต $\omega_n = \sqrt{k/m}$ หรือความถี่ธรรมชาติของเพลลา ในการสั่นสะเทือนแนวขวาง ต้องมีเงื่อนไขของการ resonance ซึ่งอัมพลิจูดจะถูกกำหนดโดย damping เท่านั้น รูป 2-12 แสดงระบบที่ประกอบด้วยจานและเพลลาภายใต้เงื่อนไขของความเร็วต่าง ๆ กัน 3 แบบ ที่ความเร็วสูง ๆ $\omega \gg \omega_n$ จุดศูนย์กลางมวลมีแนวโน้มที่จะเข้าไปหาจุด O และจุดศูนย์กลางของเพลลา S หมุนอยู่ใกล้ๆ กับ G เป็นวงกลมรัศมี e



รูปที่ 2-12 แสดงระบบภายใต้ความเร็วต่าง ๆ กัน 3 แบบ

สังเกตได้ว่า สมการสำหรับการเหวี่ยงแบบ synchronous คล้ายกับ Rotating Unbalance เพราะทั้ง 2 แบบ แรงกระตุ้นให้เกิดการหมุนมีค่าเท่ากับ $m\omega^2$

อย่างไรก็ตามใน Rotating Unbalance ความไม่สมดุลอยู่ในแกนของมวลไม่สมดุลขนาดเล็ก m แต่ในเรื่องการเหวี่ยงนี้ความไม่สมดุลกำหนดโดยมวลทั้งหมด m และระยะเชิงศูนย์ e รูป 2-6 อาจจะใช้ในปัญหานี้ได้โดยใช้ r/e แทน MX/me

Time and Frequency Domain

การแสดงสัญญาณความถี่สัมพันธ์สามารถแสดงได้ 2 ลักษณะ คือ Time Domain และ Frequency Domain

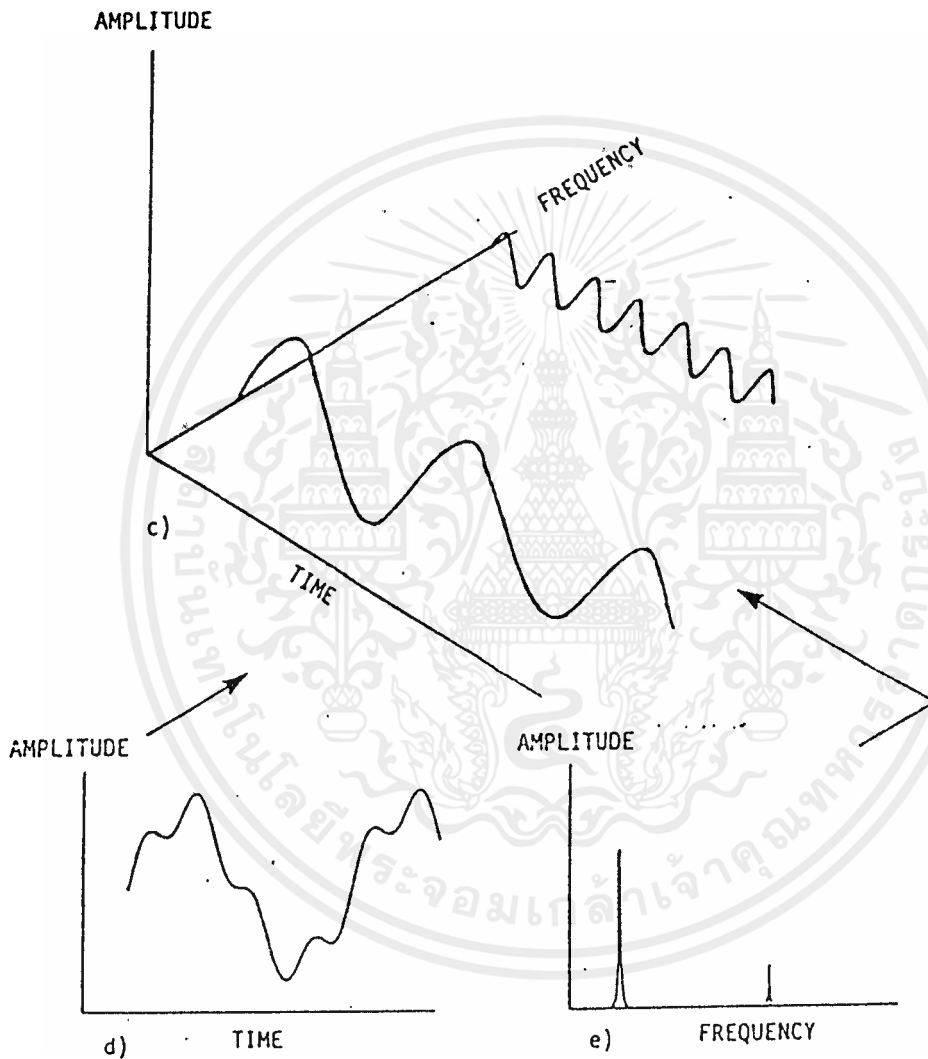
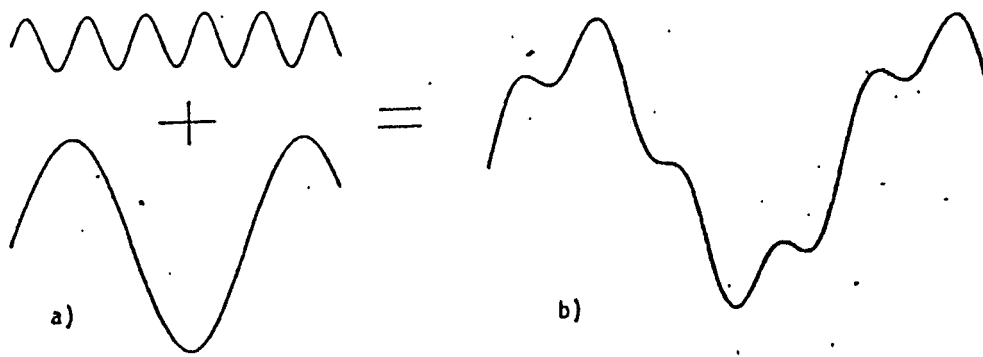
Time Domain คือ การแสดงขนาดของความถี่สัมพันธ์ (Amplitude) กับเวลา โดยแกนตั้งแสดงขนาดของความถี่สัมพันธ์ และแกนนอนเป็นเวลา ซึ่งก็คือการแสดงผลในออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) นั่นเอง

Frequency Domain คือ การแสดงขนาดของความถี่สัมพันธ์กับความถี่ ซึ่งเครื่องมือนี่ใช้วิเคราะห์ความถี่สัมพันธ์แทบทุกชนิดจะแสดงผลในลักษณะนี้ เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ความถี่สัมพันธ์ในเครื่องจักรกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สัญญาณฮาร์โมนิกที่ซับซ้อนทุกสัญญาณจะสามารถแยกออกเป็นชุดของคลื่นสัญญาณรูป sine ได้ โดยแต่ละคลื่น sine จะมีขนาดและความถี่แตกต่างกัน เมื่อนำคลื่น sine มารวมกันหรือบวกกัน ก็จะทำให้เกิดสัญญาณที่ซับซ้อนขึ้นอีก

รูปที่ 2-13 แสดงแนวความคิดของการแยกคลื่นที่ซับซ้อนดังกล่าวออกเป็นองค์ประกอบย่อยๆ ซึ่งเป็นคลื่น sine รูป 2-13a แสดงคลื่น sine 2 ชุด คลื่นชุดบนมีความถี่เป็น 4 เท่าและขนาดเป็น 1/4 เท่าของคลื่นชุดล่าง เมื่อนำคลื่นทั้งสองเข้าด้วยกันผลที่ได้แสดงในรูปที่ 2-13b ซึ่งจะยังเห็นคลื่นทั้งสองอยู่ในคลื่นรวมด้วย ถ้าหากคลื่นรวมถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบของคลื่น ผลที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 2-13c ซึ่งเป็นภาพแสดงขนาดของคลื่นกับความถี่ คลื่น sine ทั้งสองแสดงด้วยเส้นตั้งตามขนาดของคลื่นในตำแหน่งที่เหมาะสมบนแกนความถี่ ส่วนรูปที่ 2-13d และ 2-13e แสดงข้อมูลชุดเดียวกันแต่มองจากคนละด้าน

สัญญาณใด ๆ ก็ตาม จะสามารถแยกออกเป็นคลื่น sine ย่อย ๆ ได้ โดยอาศัยเครื่อง FFT Analyser เมื่อรับสัญญาณที่ซับซ้อนมาจากทรานสดิวเซอร์ (Transducer) มันจะคำนวณหาชุดของคลื่น sine ที่ประกอบเป็นคลื่นนั้น แล้วแสดงขนาดของแต่ละคลื่นบนแกนของความถี่



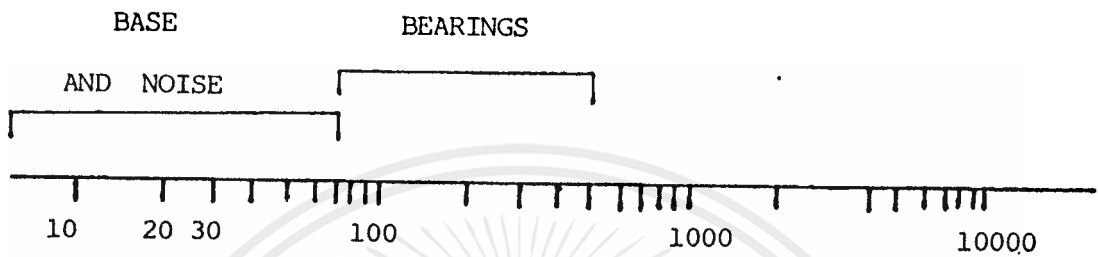
รูปที่ 2-13 (a) คลื่น sine 2 ชุด (b) ผลรวมของคลื่น sine ทั้ง 2 ชุด

(c) แสดงภาพ 3 มิติ (d) ภาพแสดง Time Domain ซึ่งจะเห็นใน Oscilloscope

(e) ภาพแสดง Frequency Domain ซึ่งจะเห็นใน FFT Analyser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-14 แสดงตำแหน่งของความสั่นสะเทือนในรูปสเปกตรัมที่ความถี่ต่าง ๆ สเปกตรัมที่แสดงนี้มีขอบเขตถึงความถี่ 10000 Hz เนื่องจากที่ความถี่เกิน 10000 Hz ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจะมีอยู่น้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ความสั่นสะเทือนที่เกิดจากคัปปลิงจะอยู่ในช่วง 70-500 Hz ส่วนสเปกตรัมที่ความถี่ต่ำ ๆ (น้อยกว่า 70 Hz) เป็นสเปกตรัมที่เกิดจากการสั่นของฐานของมอเตอร์



รูปที่ 2-14 สเปกตรัมที่ความถี่ต่าง ๆ เนื่องจากความสั่นสะเทือน

บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลอง

1)มอเตอร์ (MOTOR) เป็น STEPPING MOTOR แบบ VR แกนโวลเตอร์เป็นเหล็กอ่อน
(SOFT IRON)

มุมมอเตอร์ 1.8 DEG/STEP

THREE PHASE	STEPPING MOTOR
MINIBEA CO,LTD	TYPE 23LM-C37B-01H
MOTOR VOLTRAGE	9.0 V/PHASE
INSULATION RESISTANCE	100 MOHM MIN
WINDING RESISTANCE	15 OHMS/PHASE +/- 10%
WINDING INDUCTANCE	25 MH/PHASE +/- 20%
HOLDING TORQUE	5.7 KG-CM MIN AT 0.6A
PULL OUT TORQUE	3.2-4.2 KG-CM MIN AT 1000PPS
	2.4-3.0 KG-CM MIN AT 1300PPS
BEARING	627N1Z

2)แผนผังวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

ส่วนประกอบ

2.1) ชุดวงจรขับเคลื่อน STEPPING MOTOR

2.2) ชุดควบคุมการทำงานของ STEPPING MOTOR ด้วย MICROPROCESSOR 8085

3)อุปกรณ์ประกอบเพื่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของมอเตอร์

3.1) SILICON เพื่อเพิ่ม DAMPING

3.2) SHIM เพื่อรองรับหน้าสัมผัสระหว่างตัวลูปปิ่นและ HOUSING

SHIM S110-504-02

SHIM S110-690-01

4)POWER SUPPLY

4.1) POWER SUPPLY สำหรับแผงวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์หัดคา 5 volts

4.2) POWER SUPPLY สำหรับขับมอเตอร์หัดคา 9 volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ฐานชุดทดลอง

ส่วนประกอบ

5.1) ฐานหลัก ทำจากเหล็กเหนียวขนาด 40x60x2 cm. โดยทำเป็น T-SLOT 2 ช่อง เพื่อปรับตำแหน่งฐานรองรับและชุดวัด TORQUE

5.2) ฐานรองรับ

5.2.1) ฐานรองรับ ทำจากเหล็กรูป I ขนาด 10x15x10 cm. เจาะรูสี่เหลี่ยมเพื่อติดตั้งกับฐานหลัก

5.2.2) ฐานยึดสำหรับตัวมอเตอร์ทำเป็นรูปตัว L เพื่อเพิ่มความสูงระยะติดตั้ง

6) ชุดวัด TORQUE

ส่วนประกอบ

6.1) PULLEY ขนาด ϕ 7.5 cm.

6.2) ดาซึ่งสปริง 1000 กรัม

6.3) สายพานผ้า หน้าตัด 1 cm.

6.4) มวลคัมถ่วงมาตรฐาน

6.5) เส้นขนด้ายสูง 66 cm.

7) TACHOMETER

TIME LIMITED HAND TACHOMETER 0.2 rpm./0-1000 rpm. L-type

8) ชุดอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน

ส่วนประกอบ

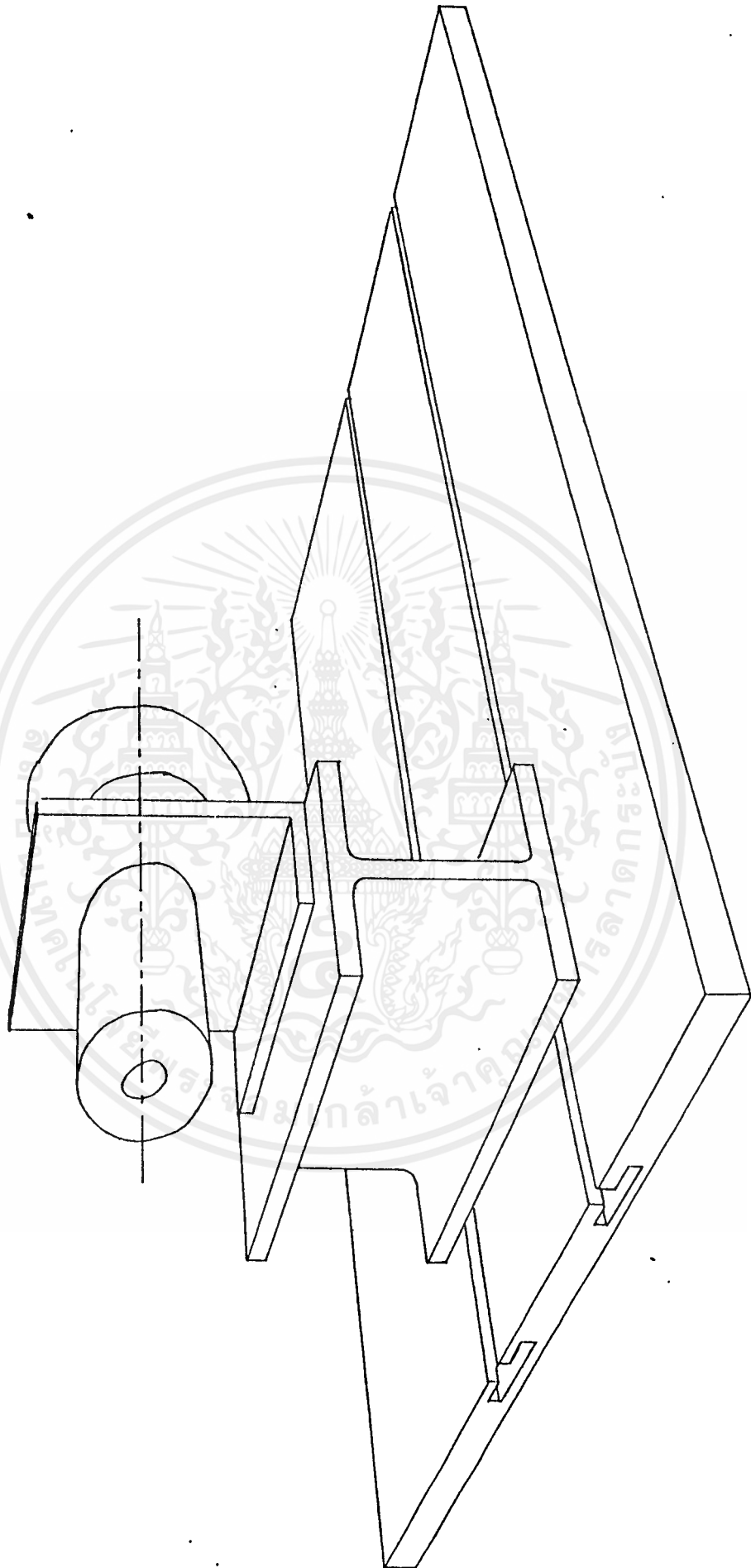
8.1) ACCELEROMETER SENSOR

8.2) PCB UNIT

9) FFT ANALYSER รุ่น CF-350

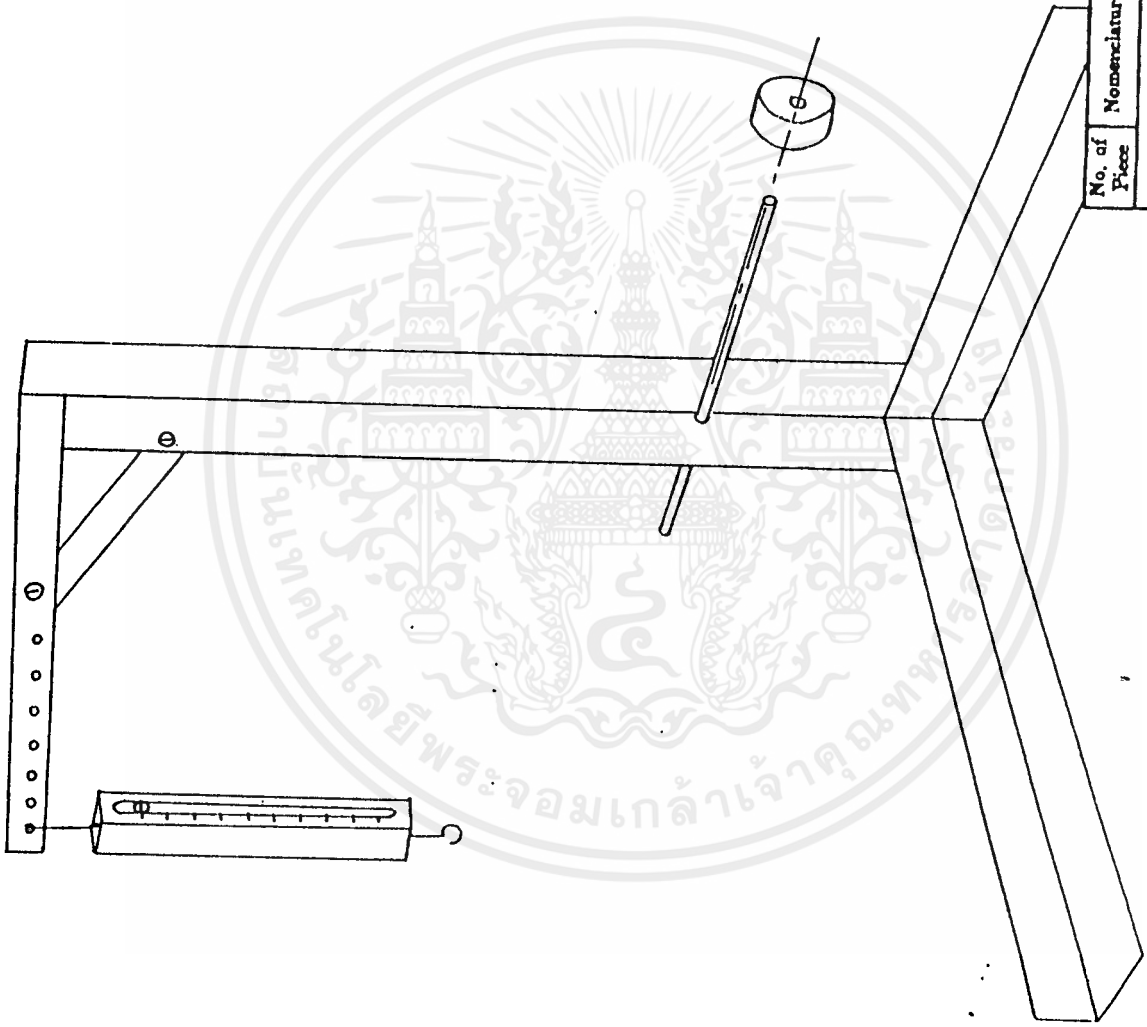
10) HP-IB CENTRONICS CONVERTER

11) PLOTTER MP 3300



No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
	List of Parts		
Scale	King Mongkut's Institute of Technology		Name:
			Date:
			Class:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No. of Piece

Nomenclature

Pos No.

Mat/Dim/Misc.

List of Parts

King Mongkut's Institute of Technology

Name:

Date:

Class:

Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1) การเตรียมการทดลอง

- 1.1) ติดตั้งมอเตอร์ เข้ากับชุดฐานรองรับ
- 1.2) ติดตั้งชุด TORQUE พร้อมสายพานส่งกำลังเข้า PULLEY
- 1.3) เดินสายไฟจากมอเตอร์ เข้าสู่ตัวจรรยาธิบ และ POWER SUPPLY
- 1.4) เชื้อยนโปรแกรมคำสั่ง บนวงจรรควบคุม
- 1.5) ติดตั้ง ACCELEROMETER SENSOR SET บนตัว HOUSING ของ MOTER
- 1.6) SET FFT ANALYSER เพื่อพร้อมใช้วิเคราะห์และแสดงผล
- 1.7) ติดตั้ง HP-IB CENTRONICS CONVERTER เชื่อมกับ FFT ANALYSER

2) ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- 2.1) เปิด switch PCB UNIT เพื่อเตรียมรับสัญญาณจาก ACCELEROMETER
 - 2.2) ใส่มวลให้ชุด TORQUE โดยมีสายพานพาตผ่าน pulley และอ่านค่าเริ่มต้น
 - 2.3) ส่งคำสั่งการทำงาน จากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ทำงาน
 - 2.4) อ่านข้อมูลจาก
 - 2.4.1) ชุด TORQUE โดยอ่านค่าที่มอเตอร์สามารถยกมวลได้ และนำไปคำนวณค่า TORQUE ที่มอเตอร์ให้
 - 2.4.2) FFT ANALYSER พร้อมส่งข้อมูลไป PLOTTER ค่าที่บันทึกมีสองแบบ
 - 1) POWER SPECTUM
 - 2) TIME DOMAIN
 - 2.5) เขียนคำสั่งใหม่เพื่อเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ แต่ใช้ TORQUE ขนาดเท่าเดิม
 - 2.6) ทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ (2.1)-(2.4) โดยเว้น(2.2)
- NOTE: ความเร็วรอบที่ใช้ ช่วง 5rpm-60rpm.
- 2.7) เปลี่ยนค่า TORQUE เป็นขั้นๆจนถึงค่าสูงสุดในแต่ละค่าความเร็ว
 - 2.8) ทำการทดลองซ้ำๆจาก 2.1)-2.5)

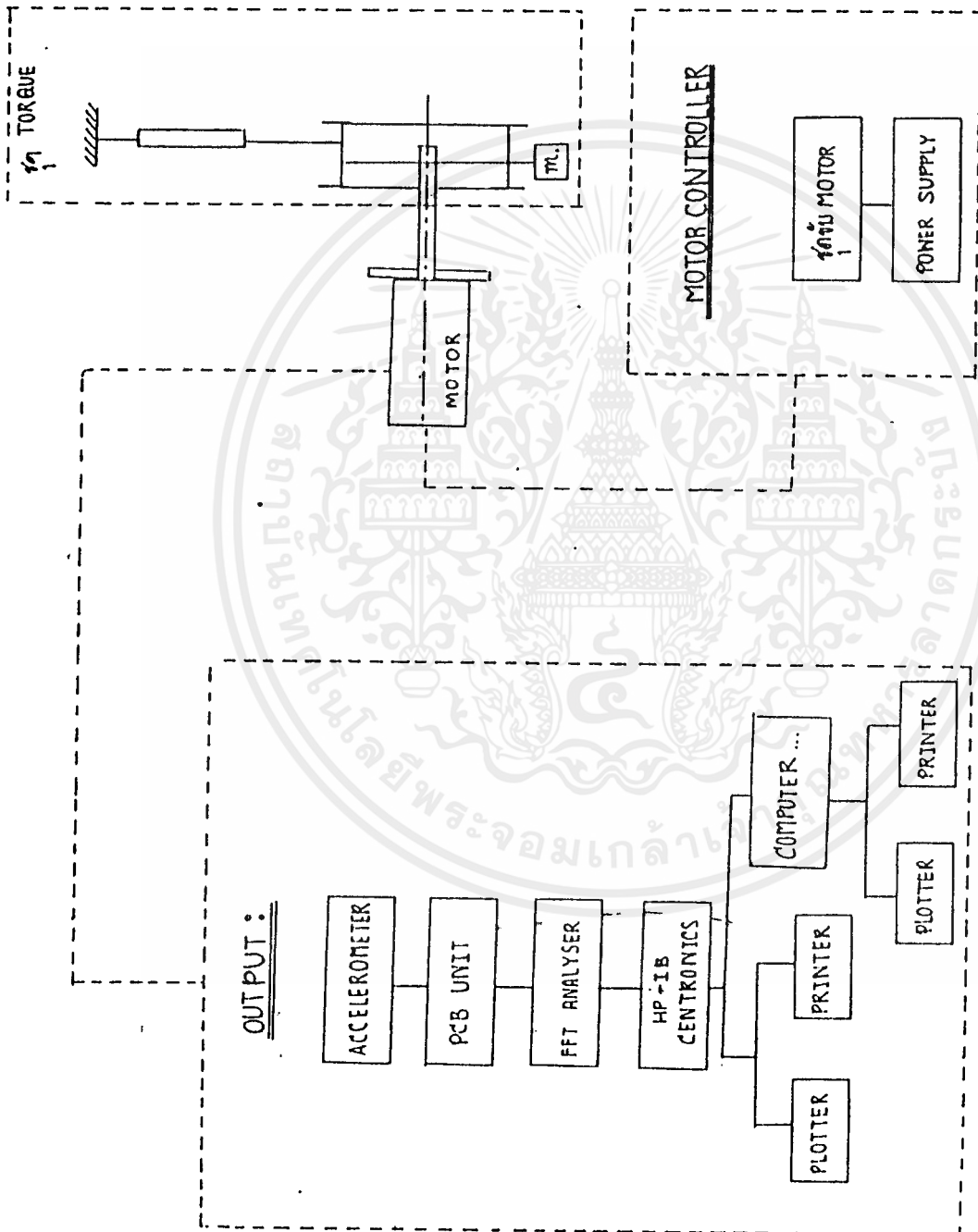
NOTE: มวลที่ใช้ 250, 350, 450, 550 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.9) ถอดมอเตอร์ออกเพื่อใส่ SHIM เพิ่ม 2 แผ่น ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 2.1)-2.8)
- 2.10) ถอดมอเตอร์ออกใส่ SILICON ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 2.1)-2.8)
- 2.11) นำข้อมูลทั้งหมดเขียนกราฟ เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No. of Piece	Nonenclature	Pos No.	Msr/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			
Scale	Name:	Date:	Class:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลที่บันทึกจากการทดลองจะแบ่งเป็นสามส่วนคือ ผลการทดลองจากมอเตอร์โรงงาน ผลการทดลองจากมอเตอร์ที่เพิ่มshim และผลการทดลองจากมอเตอร์ที่ใช้silicon ในแต่ละส่วนจะแสดงกราฟ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ด้วย โดยกราฟจะแสดงค่าของความเร่งในการสั่นสะเทือนของคัลบลูกปืนเมื่อใส่ค่ามวลต่างๆ เปรียบเทียบกันที่ความเร็วรอบต่างๆ

หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบค่าความเร่งในการสั่นสะเทือนจากมอเตอร์แต่ละแบบ โดยกราฟจะแสดงผลเมื่อใส่มวลเท่ากัน

ค่าที่นำมาเขียนกราฟเป็นค่าที่อ่านได้จาก power spectrum ซึ่งจะสามารอ่านค่าความเร่งในการสั่นสะเทือน ในแต่ละส่วนของมอเตอร์ได้ ในการทดลองนี้ค่าความเร่งในการสั่นสะเทือนของคัลบลูกปืนจะอ่านจาก power spectrum ที่ความถี่ 200 Hz โดยมีหน่วยเป็น mV/g (จำนวนเท่าของความเร่ง g)

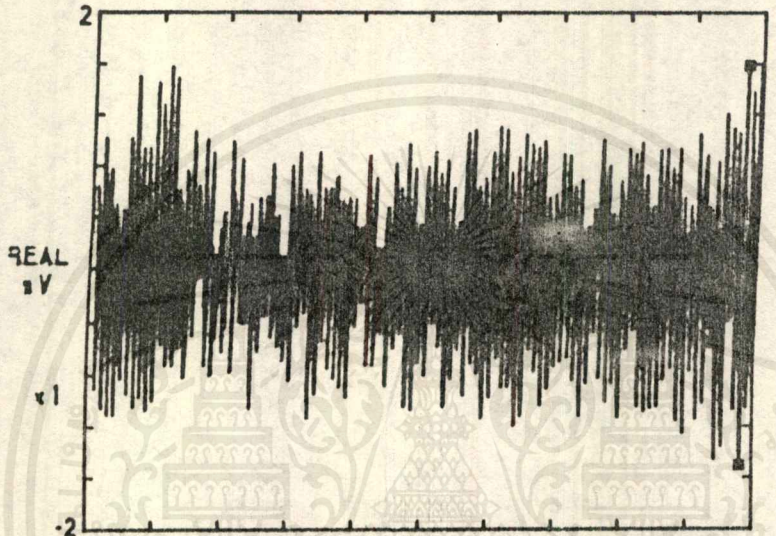
SPEED 25 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 381.02mSEC $\pm Y$: 1.5849mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

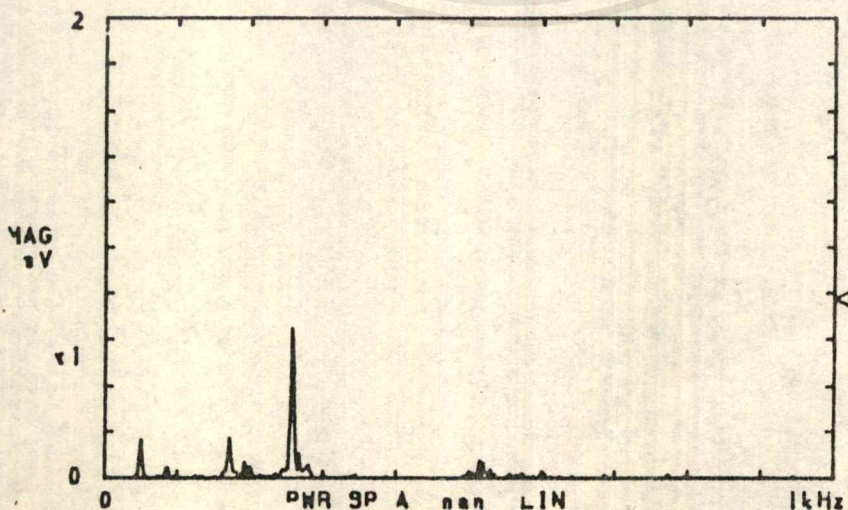
TIME A LIN 0.49SEC
 $-X$: 382.58mSEC $-Y$: -1.4891mV

01/03/83 18:41

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

Y : 257.5Hz Y : 8523mV

01/03/83 18:48

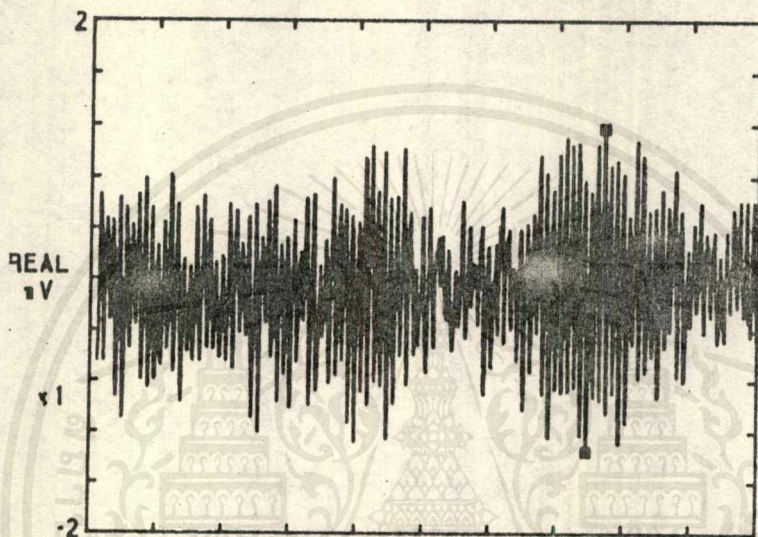
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 25 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 307.42mSEC $\pm Y$: 1.1762mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRAY NUM
 130
 GP-1B
 F. ONLY

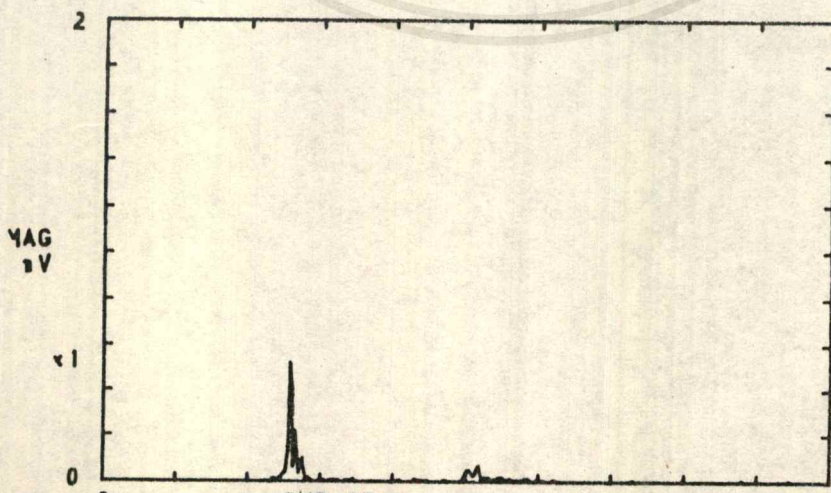
TIME A LIN 0.49 SEC
 $-X$: 298.05mSEC $-Y$: -1.3490mV

01/03/83 18:38

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRAY NUM
 130
 GP-1B
 F. ONLY

PWR SP A nan LIN
 Y : 257.5Hz Y : .5252mV

01/03/83 18:33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

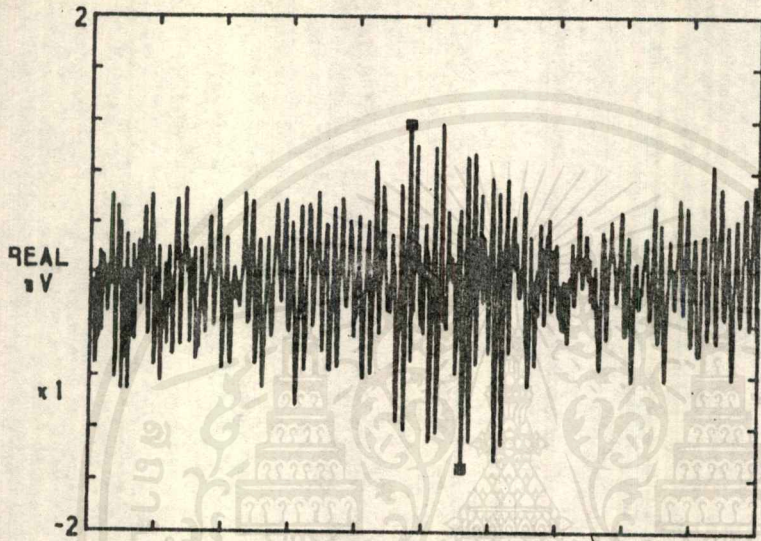
SPEED 15 RPM. MASS 550 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

+X: 181.02mSEC +Y: 1.1734mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

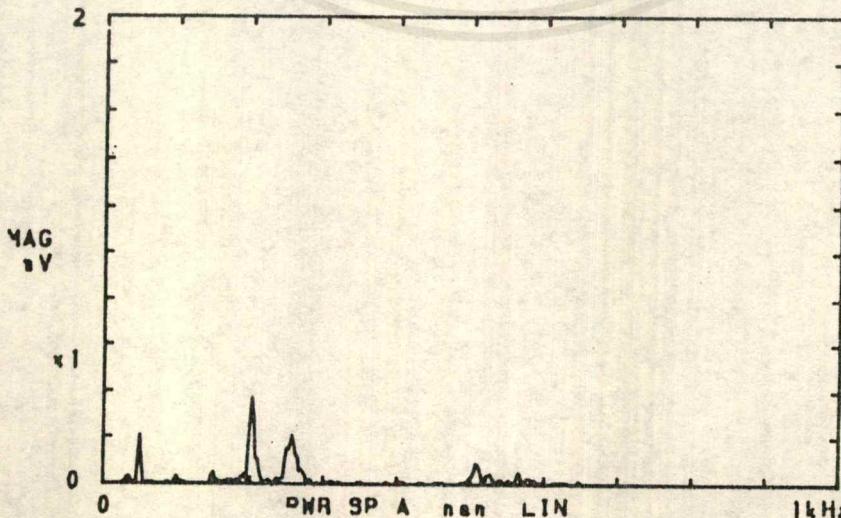
TIME A LIN 0.49 SEC
-X: 223.05mSEC -Y: -1.5184mV

01/03/83 18:04

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

DNR SP A non LIN
X: 202.5Hz Y: 0.3748mV

01/03/83 18:10

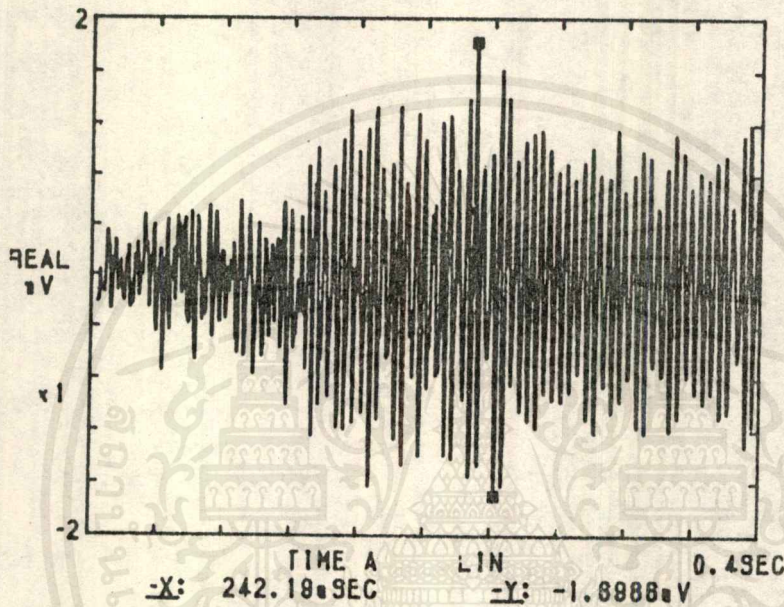
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

SPEED 15 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

X: 228.30mSEC Y: 1.8208mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

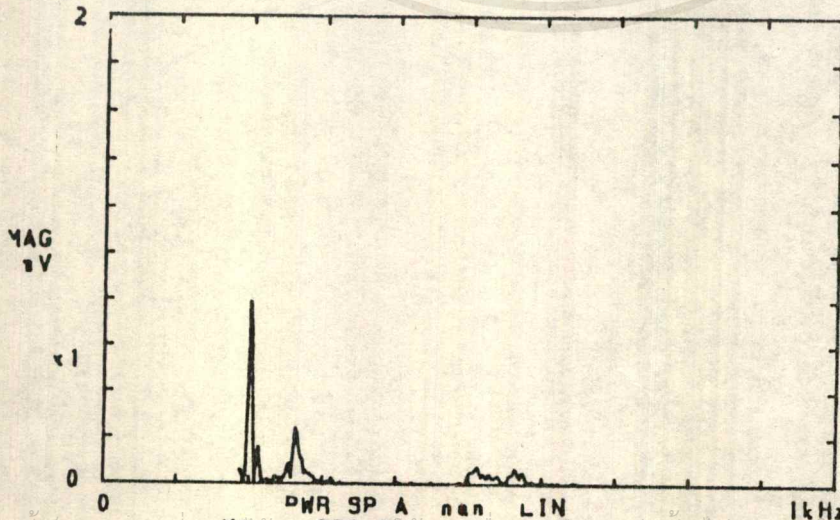
CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

01/03/93 17:58

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

X: 200.0Hz Y: 7889mV

01/03/93 17:58

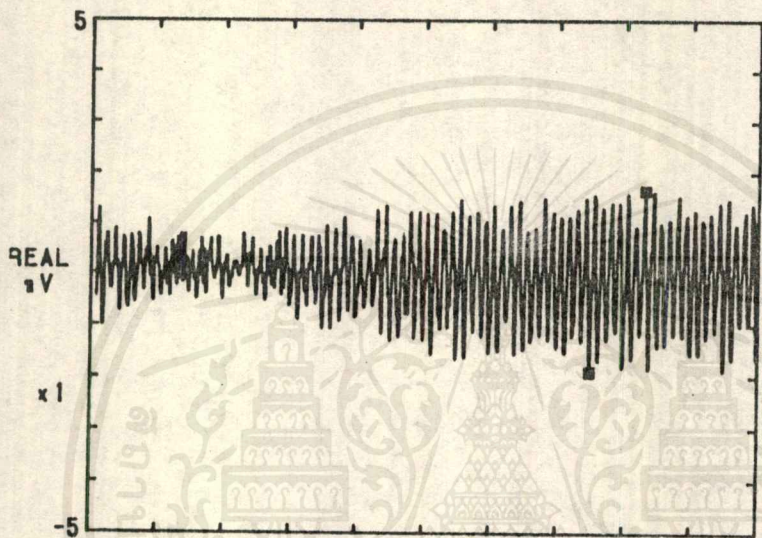
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการวิจัยและพัฒนาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารผู้จัดทำ

SPEED 15 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 331.84 μ SEC $\pm Y$: 1.6428mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1

FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1

FEED
 ON

SOURCE
 CRT

ARRY NUM
 130

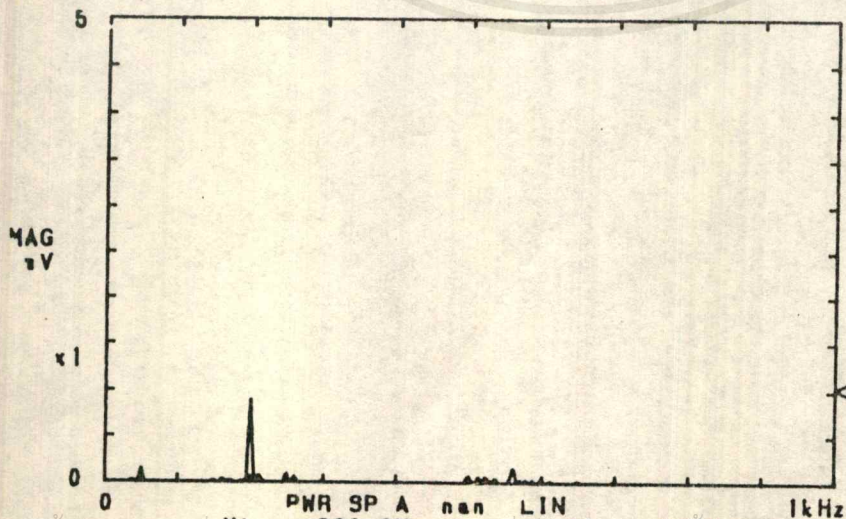
GP-1B
 T. ONLY

TIME A LIN 0.49SEC
 $-X$: 299.22 μ SEC $-Y$: -1.9133mV

01/03/83 17:37

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1

FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1

FEED
 ON

SOURCE
 CRT

ARRY NUM
 130

GP-1B
 T. ONLY

X : 200.0Hz Y : -0.8971mV

01/03/83 17:41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าและเผยแพร่เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

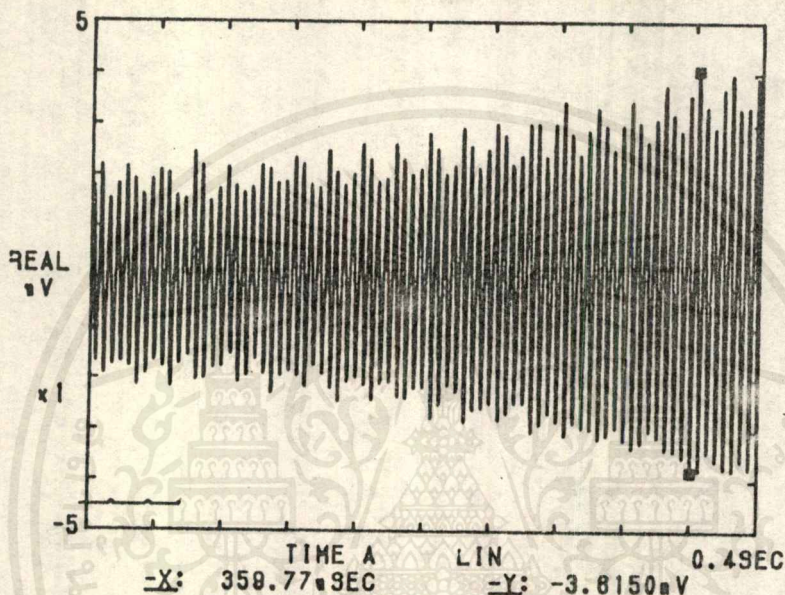
SPEED 15 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

$\pm X$: 382.11 μ SEC $\pm Y$: 4.0558mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 T. ONLY

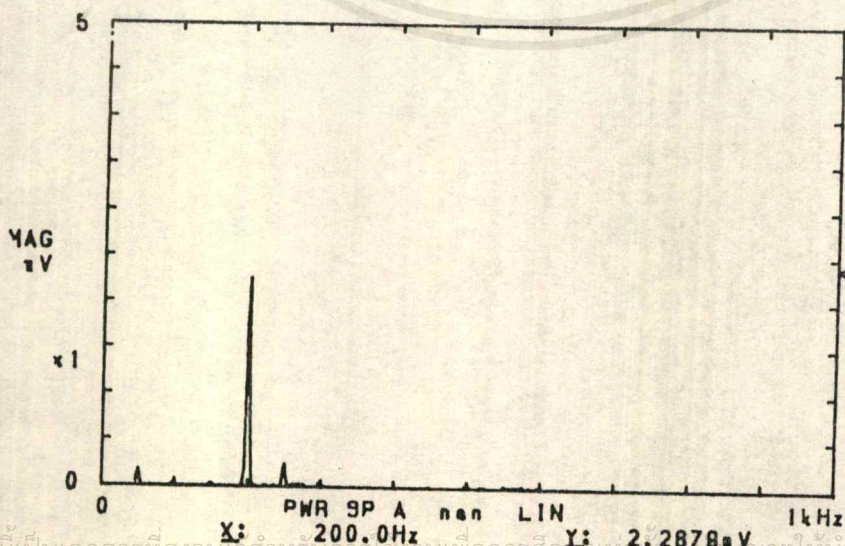
$-X$: 358.77 μ SEC $-Y$: -3.8150mV

01/03/83 17:31

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 T. ONLY

X : 200.0Hz Y : 2.2878mV

01/03/83 17:28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

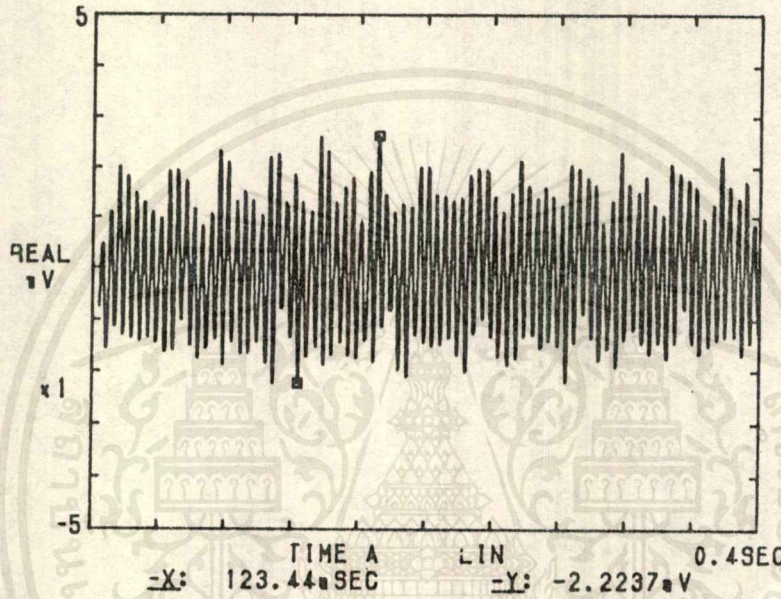
SPEED 10 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 171.09 μ SEC $\pm Y$: 2.8247mV

ASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

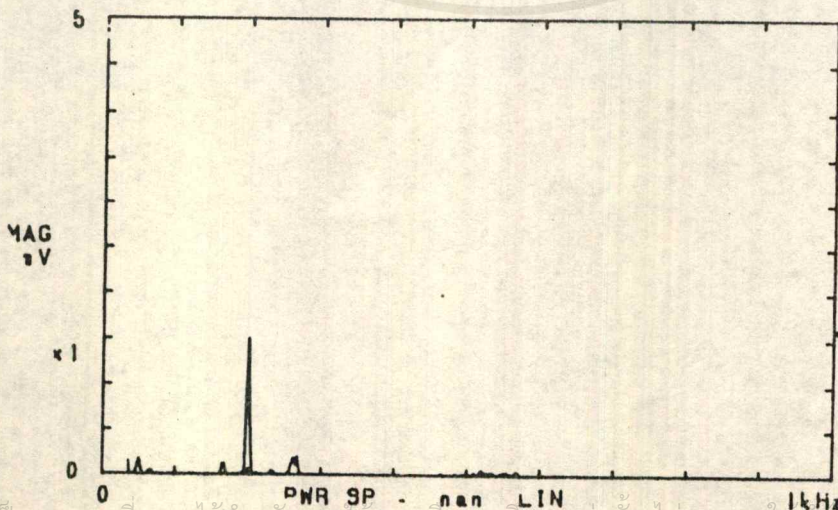
SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
I. ONLY

01/03/83 17:12

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
I. ONLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ X: สำหรับ 200.0Hz เพื่อการศึกษา Y: นี้ 1.5180mV ตัดหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร 01/03/83 มี 17:18 ไปใช้

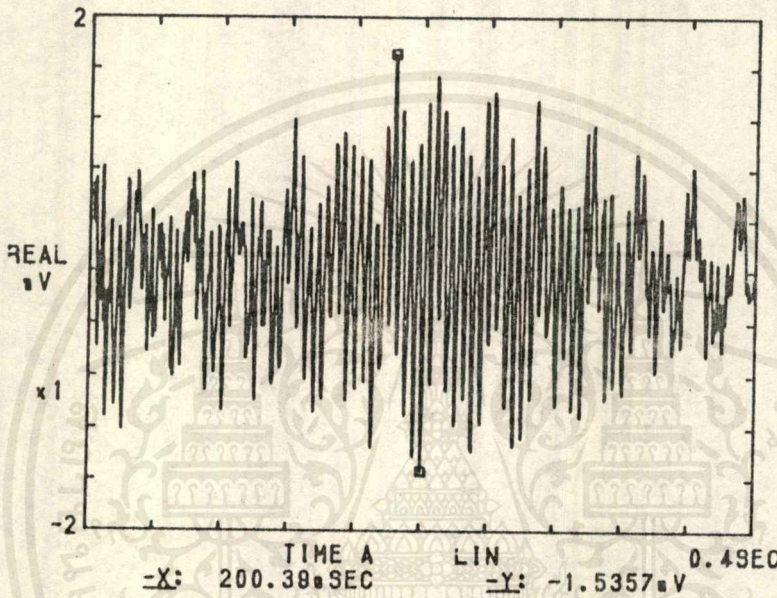
SPEED 10 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

+X: 182.42mSEC +Y: 1.7098mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

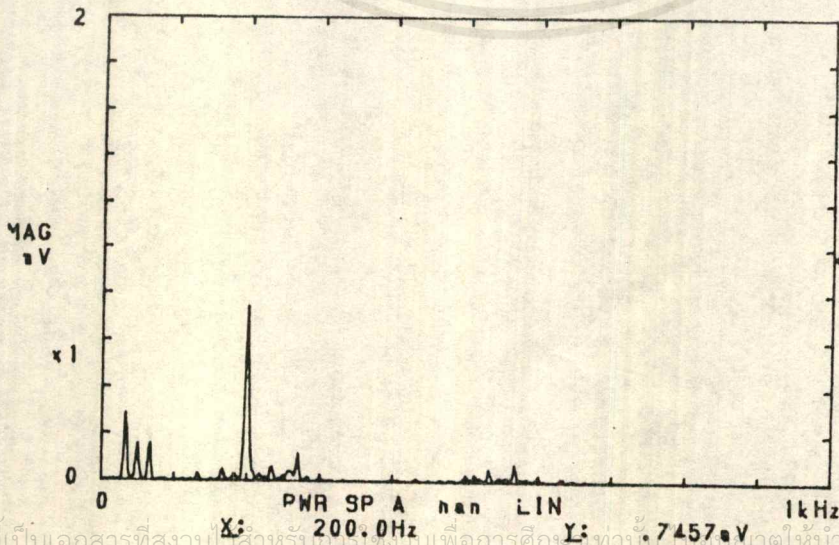
SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
T. ONLY

01/03/83 17:04

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
T. ONLY

01/03/83 17:00

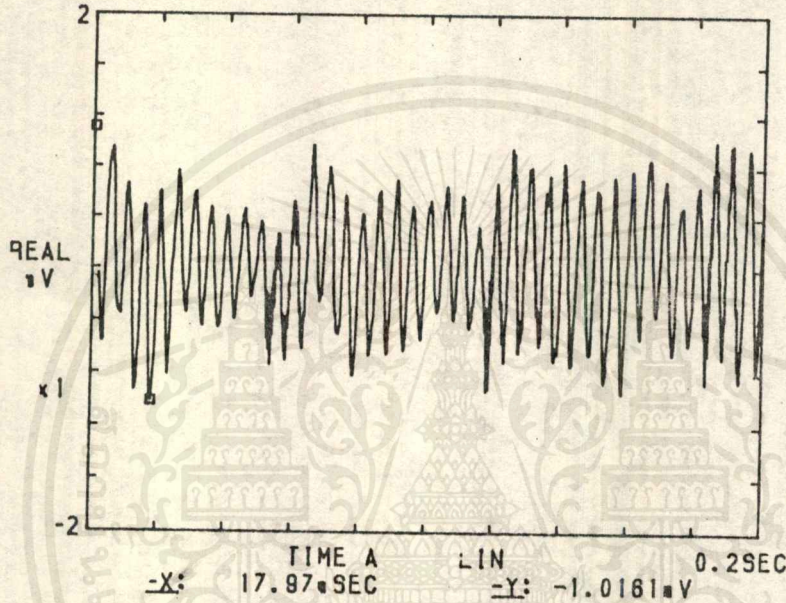
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนี้นำไปใช้

SPEED 5 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
2kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

+X: .59mSEC +Y: 1.1128mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

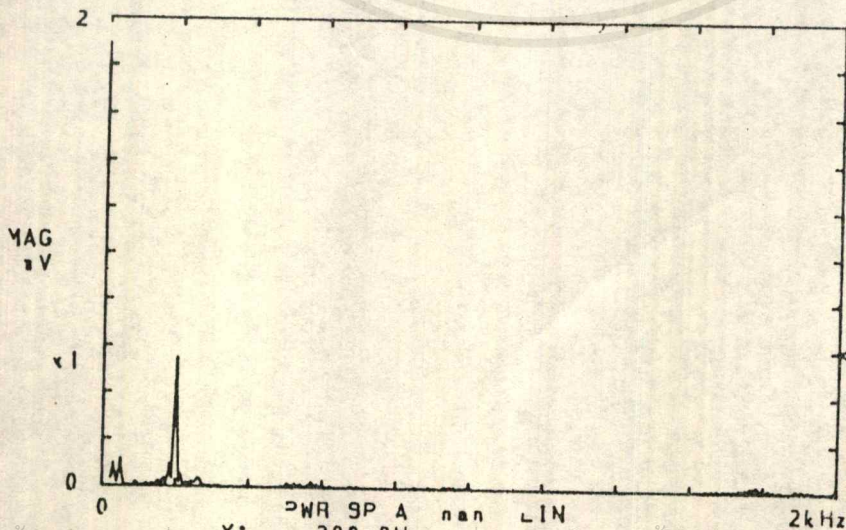
SOURCE
CRT
ARRAY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

-X: 17.97mSEC -Y: -1.0161mV

01/03/93 16:05

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
2kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRAY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

X: 200.0Hz Y: .5550mV

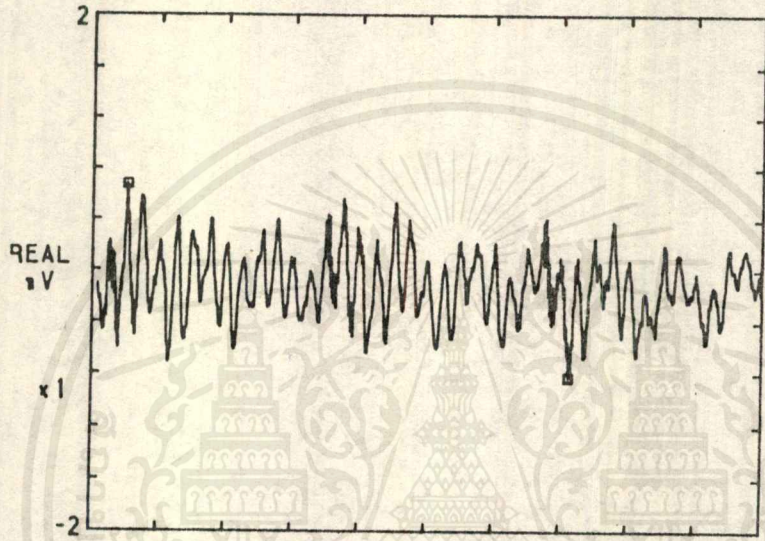
01/03/93 18:01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 5 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
2kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

+X: 10.35mSEC +Y: .6748mV



TIME A LIN 0.2SEC
-X: 142.38mSEC -Y: -.8203mV

01/03/93 16:10

MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
2kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

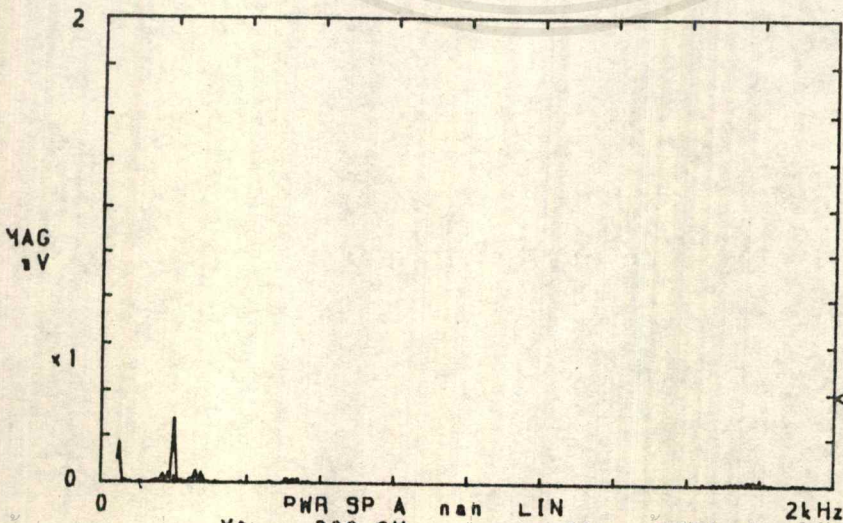
DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY



X: 200.0Hz Y: .2791mV

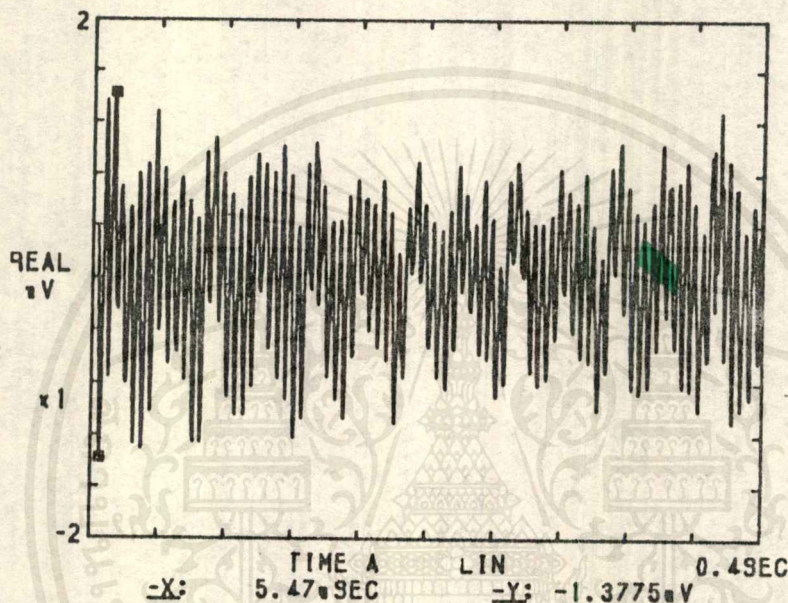
01/03/93 18:14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกแห่งที่นำมาใช้

SPEED 10 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 12.89mSEC $\pm Y$: 1.4248mV

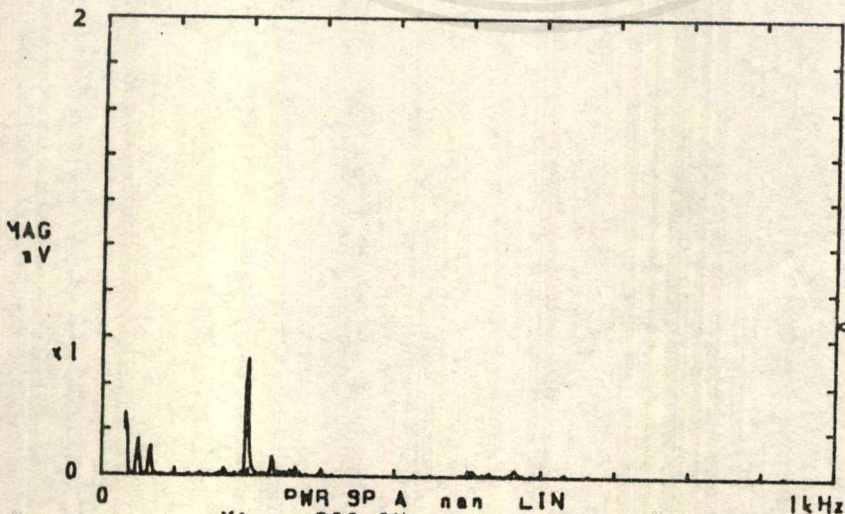


$-X$: 5.47mSEC $-Y$: -1.3775mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0
 PLOTTER
 PLOT 2
 DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1
 CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON
 SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 Γ. ONLY

01/03/83 18:50

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM



X : 200.0Hz Y : 0.5132mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0
 PLOTTER
 PLOT 2
 DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1
 CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON
 SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 Γ. ONLY

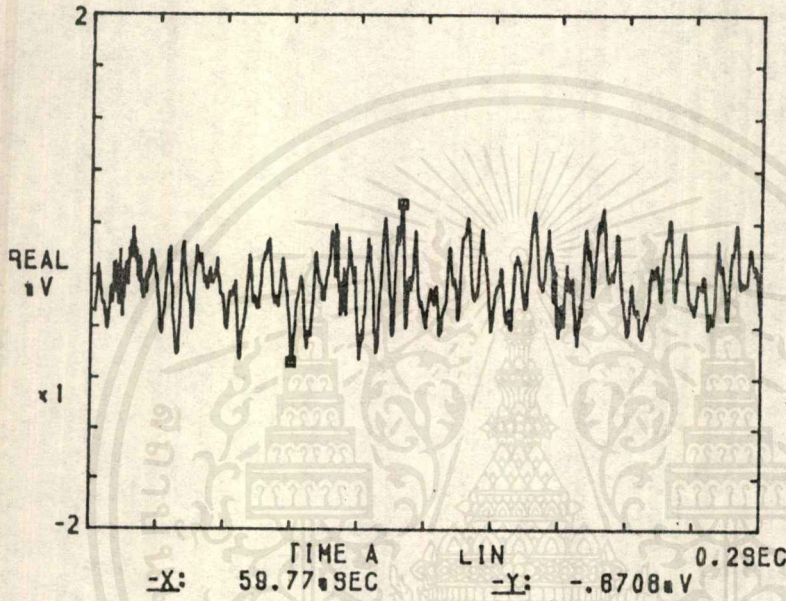
01/03/83 18:55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 5 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 2kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 82.77mSEC $\pm Y$: .5454mV

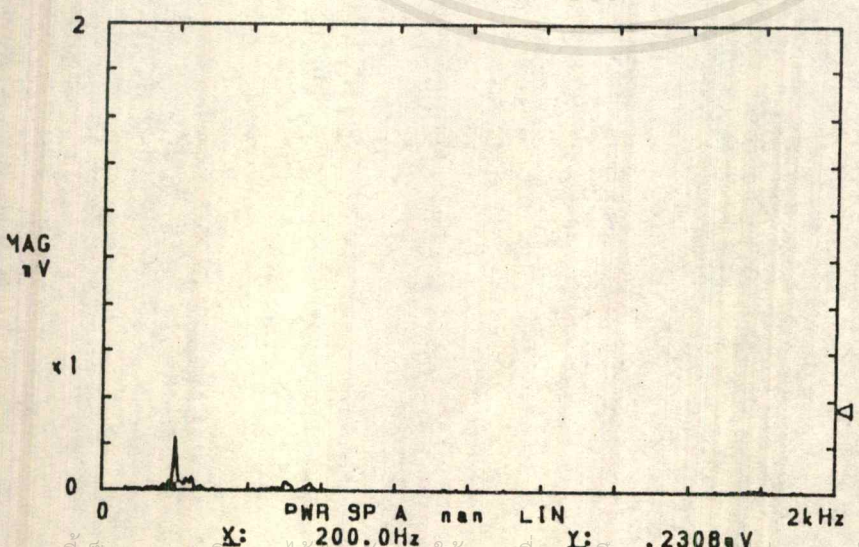


TIME A LIN 0.29 SEC
 $-X$: 59.77mSEC $-Y$: -.6708mV

01/03/93 16:23

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0
 PLOTTER
 PLOT 2
 DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1
 CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON
 SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 T. ONLY

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 2kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM



X : 200.0Hz Y : .2308mV

01/03/93 16:19

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0
 PLOTTER
 PLOT 2
 DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1
 CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON
 SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 T. ONLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 5 RPM. MASS 550 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
500Hz A:AC/ 1eV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

+X: 242.19e9EC +Y: .5703eV

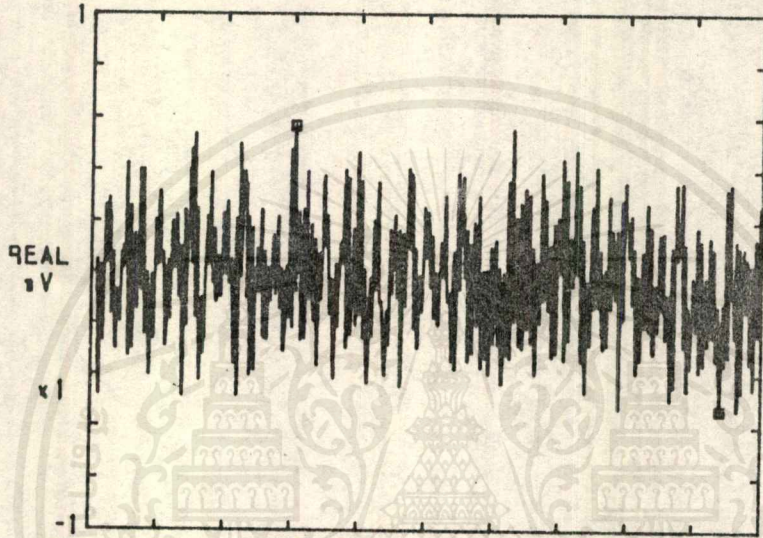
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY



TIME A LIN 0.89EC
-X: 750.78e9EC -Y: -.5289eV

01/03/93 18:28

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
500Hz A:AC/ 1eV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

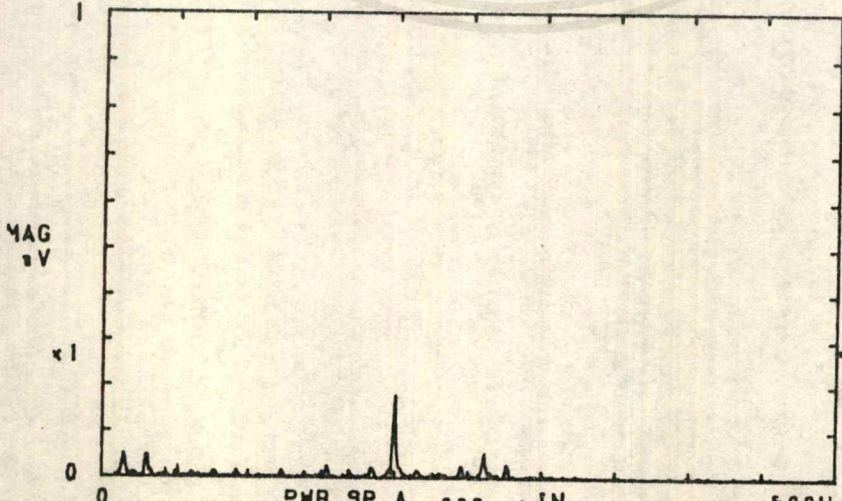
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY



PMR SP A kHz LIN 500Hz
X: 200.00Hz Y: .1782eV

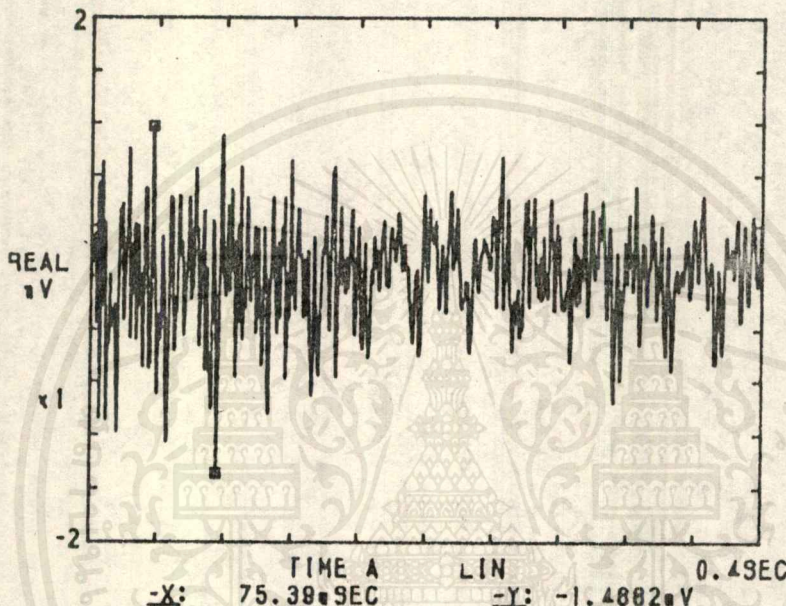
01/03/93 18:34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

SPEED 10 RPM. MASS 550 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

±X: 37.11µSEC ±Y: 1.1805mV



-X: 75.39µSEC -Y: -1.4882mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0

PLOTTER
 PLOT 2

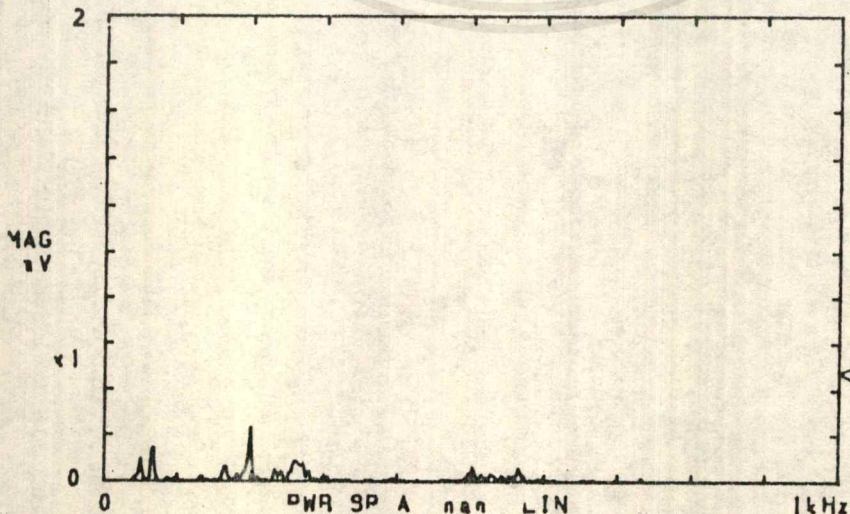
DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 Γ. ONLY

01/03/83 18:42

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM



X: 200.0Hz Y: .2325mV

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0

PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 GP-1B
 Γ. ONLY

01/03/83 18:39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

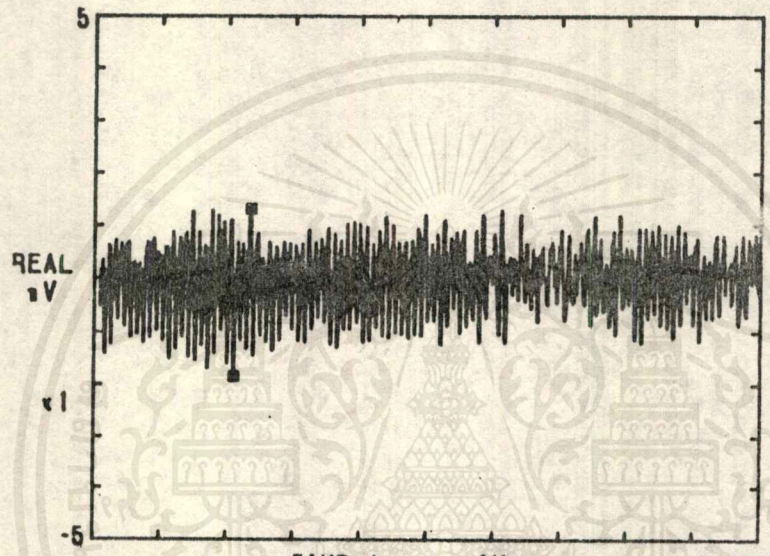
SPEED 25 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 89.75mSEC $\pm Y$: 1.3231mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

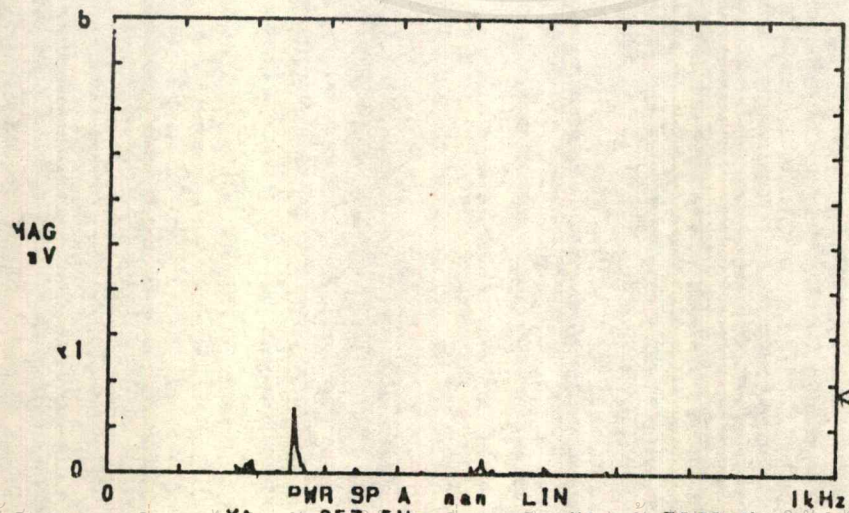
TIME A LIN 0.49 SEC
 $-X$: 83.88mSEC $-Y$: -1.8323mV

01/03/83 18:57

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

PWR SP A nan LIN 1kHz
 X : 257.5Hz Y : 1.7080mV

01/03/83 18:54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

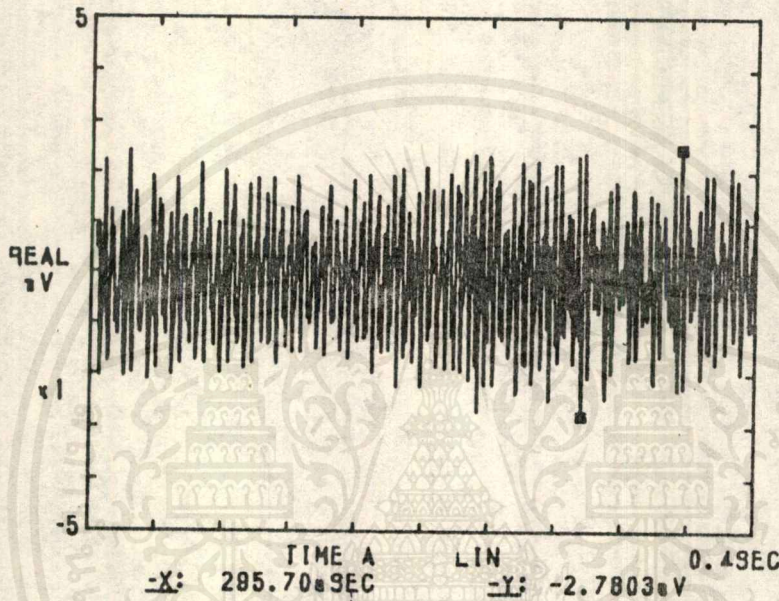
SPEED 20 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 354.89mSEC Y: 2.4815mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-IB
Γ. ONLY

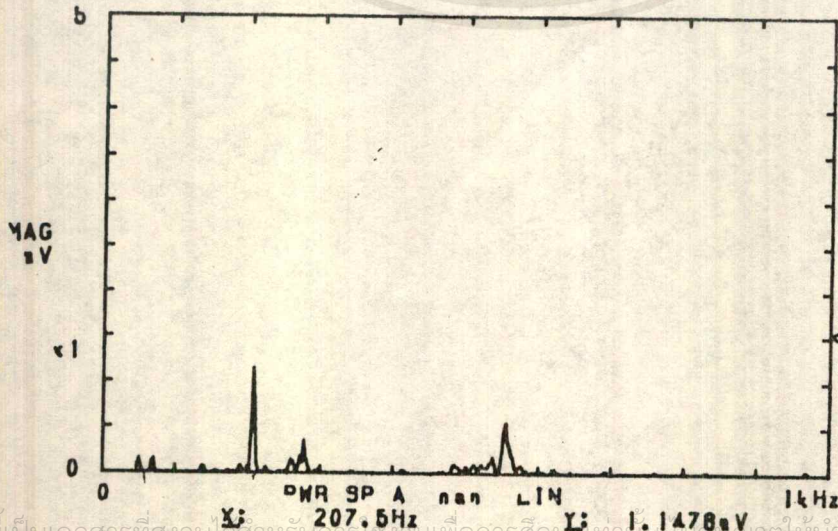
TIME A LIN 0.49 SEC
X: 285.70mSEC Y: -2.7803mV

01/03/83 18:13

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-IB
Γ. ONLY

X: 207.5 Hz Y: 1.1478 mV

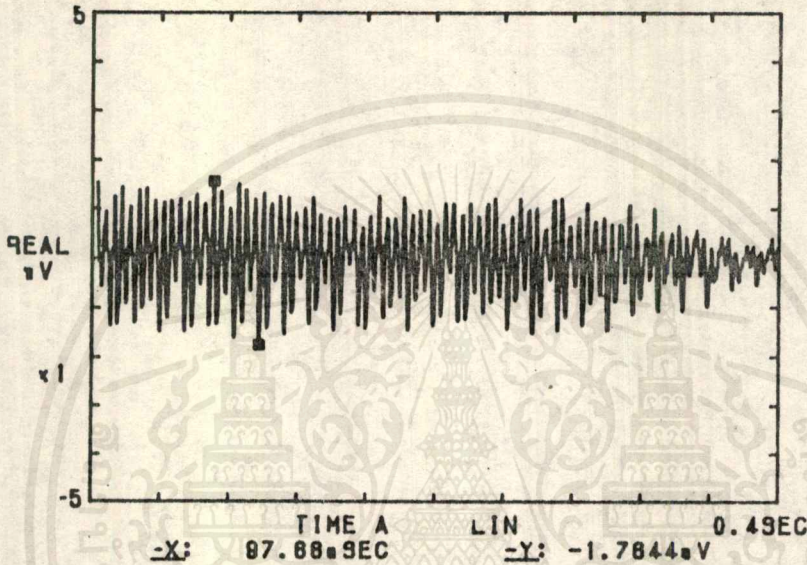
01/03/83 18:10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 20 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

X: 71.00mSEC Y: 1.5833mV



X: 97.88mSEC Y: -1.7844mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

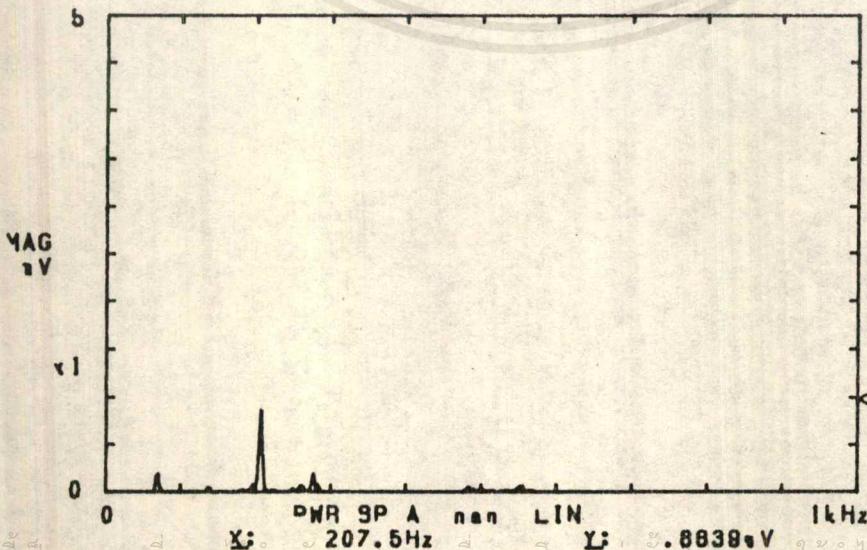
DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

01/03/83 18:34

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM



X: 207.5Hz Y: .8839mV

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

01/03/83 18:38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

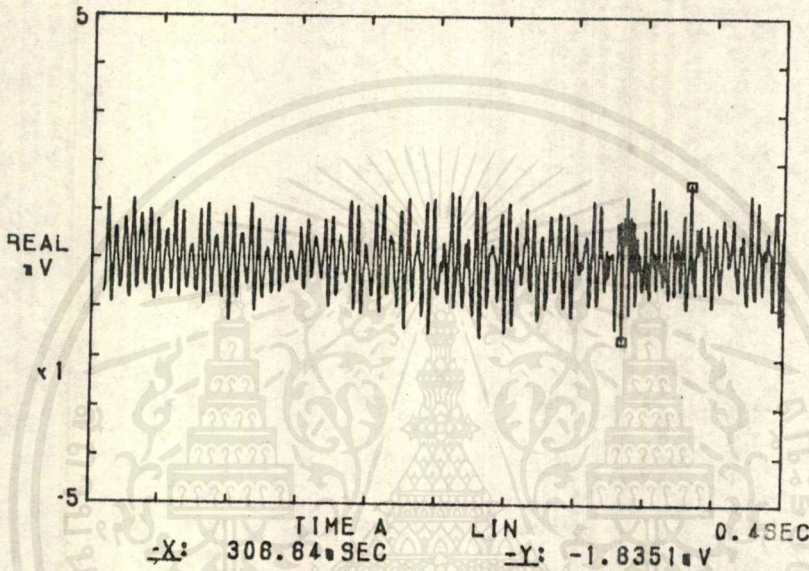
SPEED 20 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 348.08mSEC $\pm Y$: 1.5589mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT

ARRY NUM
130

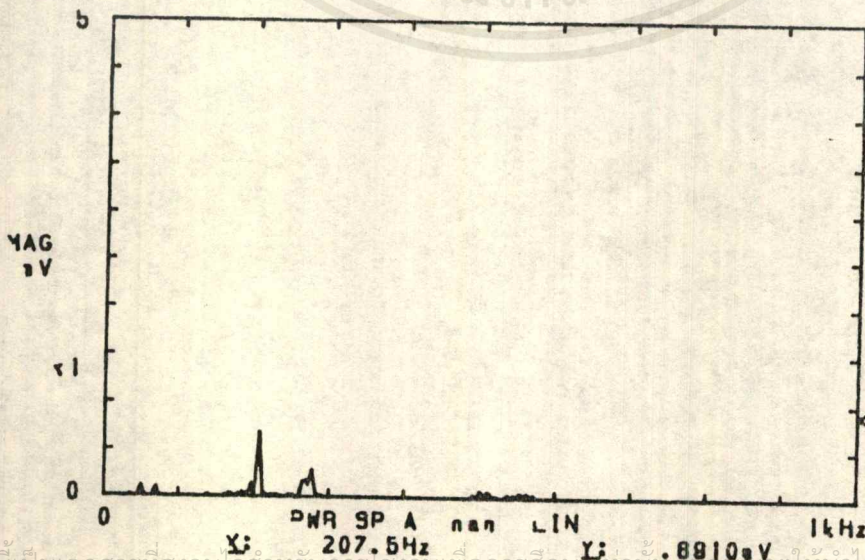
GP-1B
T. ONLY

01/03/83 18:54

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT

ARRY NUM
130

GP-1B
T. ONLY

X : 207.5kHz Y : .8910mV

01/03/83 18:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. มิฉะนั้นผู้ใดที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

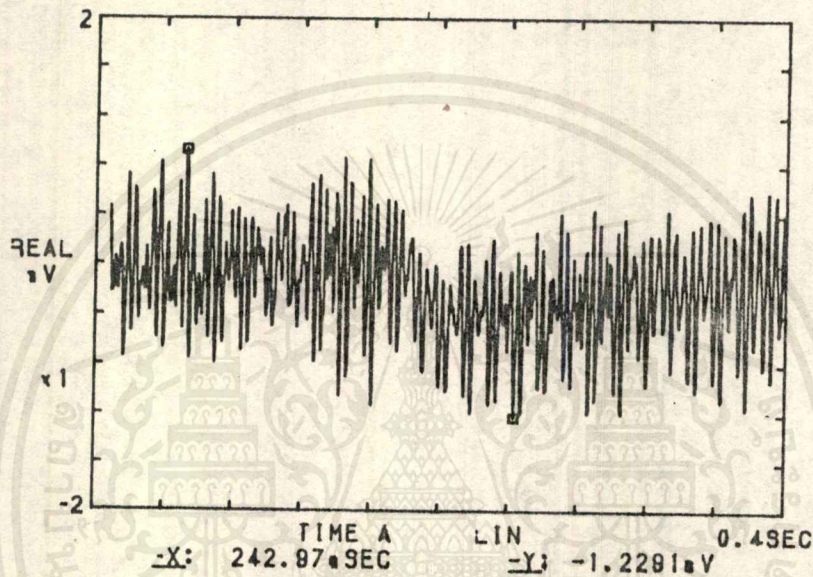
SPEED 20 RPM. MASS 550 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 52.73mSEC Y: .9197mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

X: 242.97mSEC Y: -1.2291mV

01

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

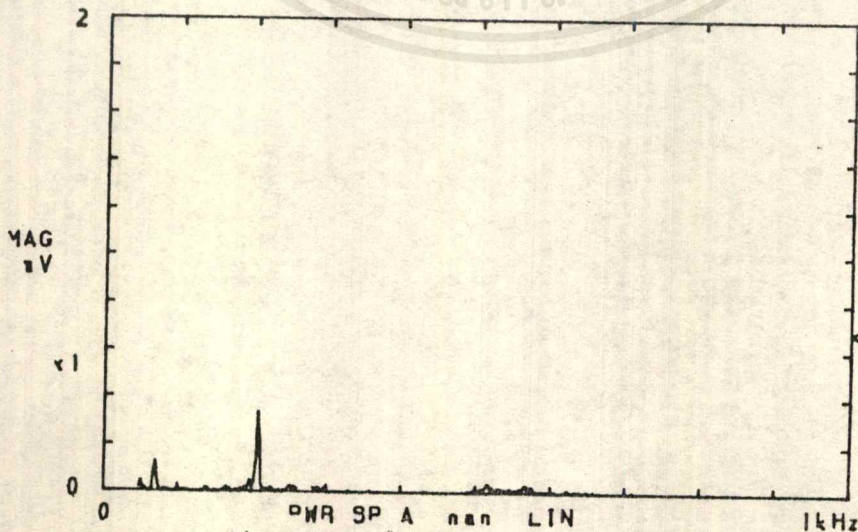
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY



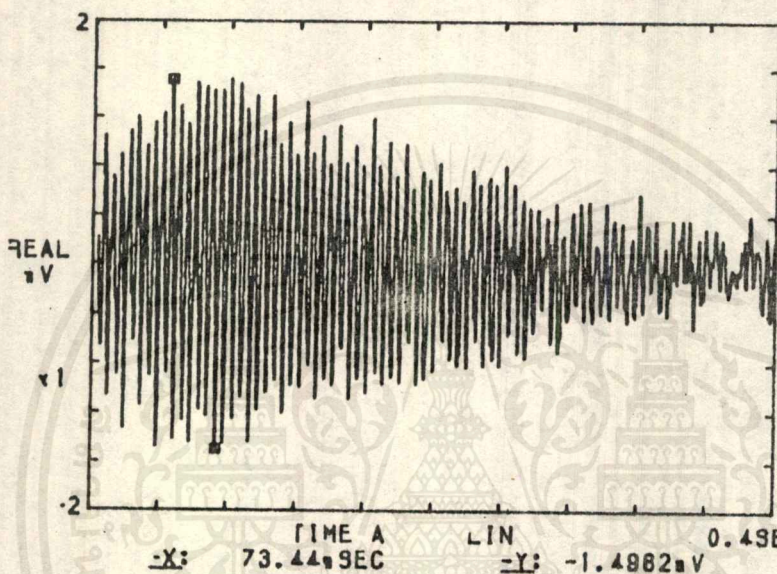
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

01/03/93 20:10

SPEED 30 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

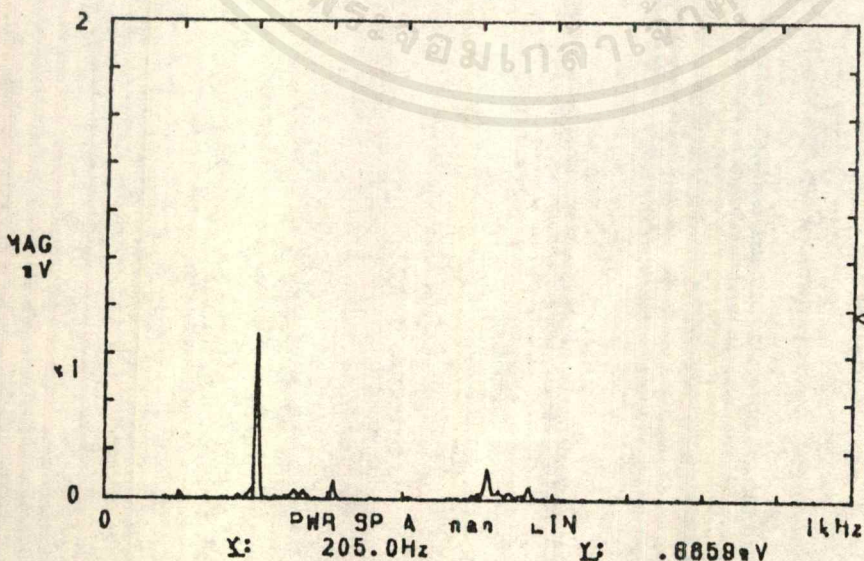
+X: 48.08mSEC +Y: 1.5118mV



MASS MEM
 BL: 1
 R: 0
 WINDOW
 HANNING
 OVERLAP
 MAX
 Ch DELAY
 +00000
 TRIGGER
 Ch A
 SLOPE: +
 LEVEL:
 0.0%
 POSITION
 -00128
 UNIT
 X: Hz
 Y: PK
 COH BLNK
 OFF

01/03/83 20:45

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM



MASS MEM
 BL: 1
 R: 0
 WINDOW
 HANNING
 OVERLAP
 MAX
 Ch DELAY
 +00000
 TRIGGER
 Ch A
 SLOPE: +
 LEVEL:
 0.0%
 POSITION
 -00128
 UNIT
 X: Hz
 Y: PK
 COH BLNK
 OFF

01/03/83 20:41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

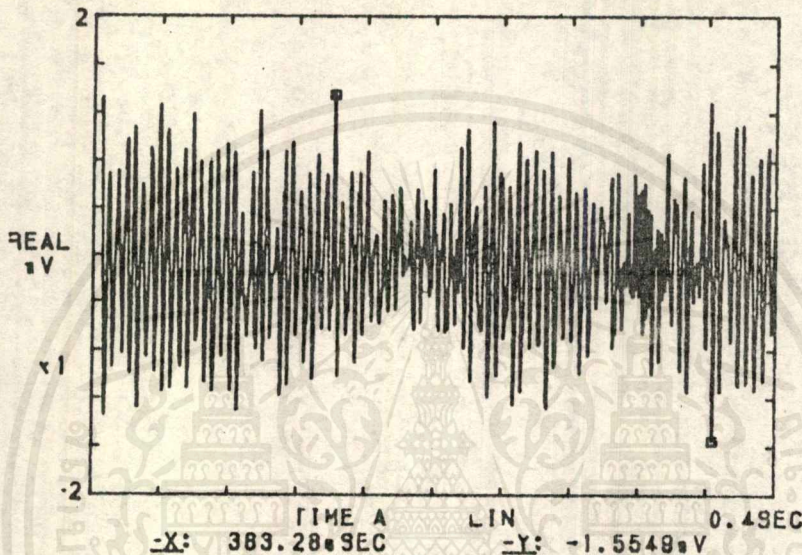
SPEED 30 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 141.41mSEC Y: 1.3552mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X:Hz
Y:PK

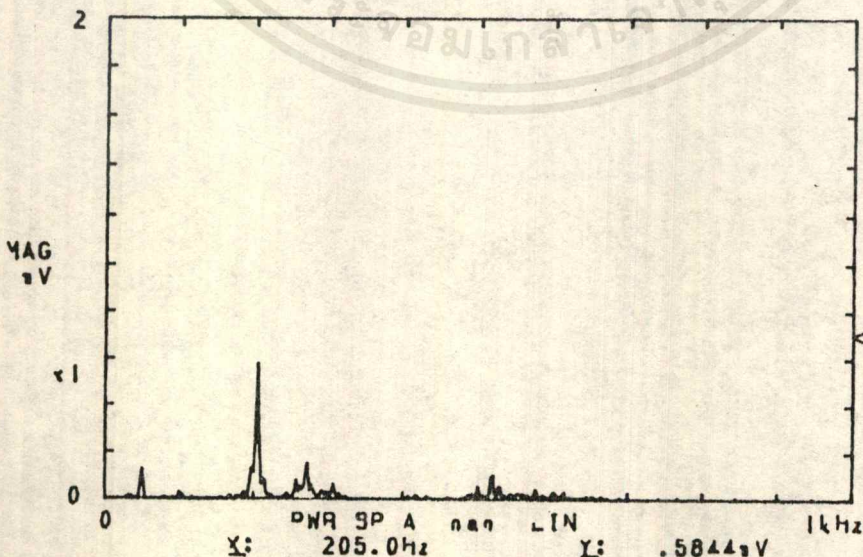
COH BLNK
OFF

01/03/83 20:31

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X:Hz
Y:PK

COH BLNK
OFF

01/03/83 20:38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

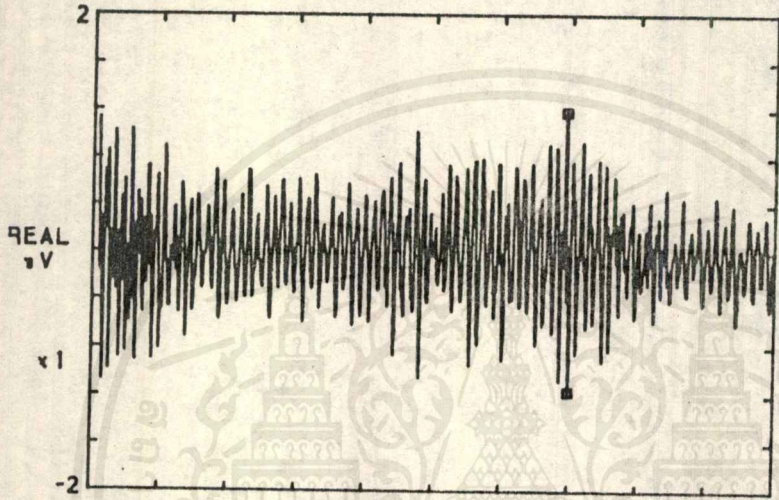
SPEED 30 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/16 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

±X: 278.95µSEC ±Y: 1.1870mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT

ARRY NUM
130

GP-1B
Γ. ONLY

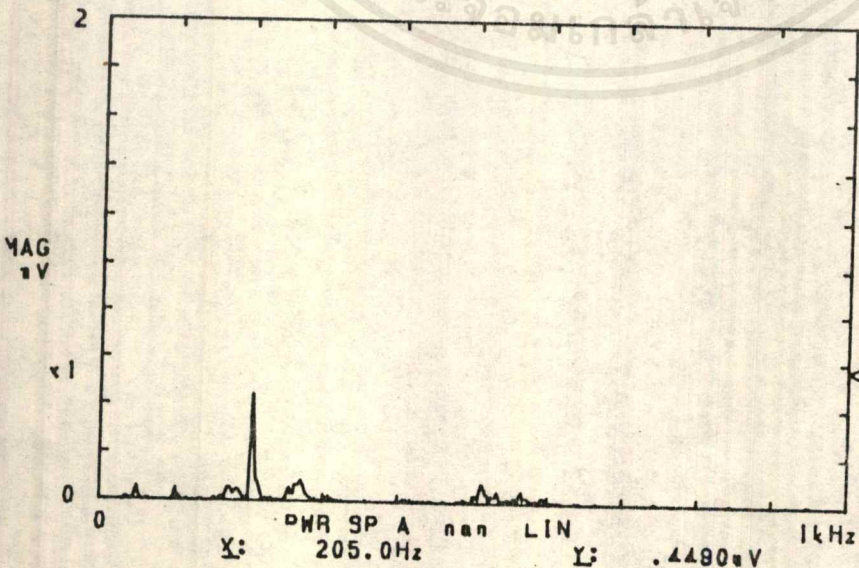
TIME A LIN 0.49SEC
-X: 278.88µSEC -Y: -1.1842mV

01/03/83 20:22

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/16 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT

ARRY NUM
130

GP-1B
Γ. ONLY

Y: 205.0Hz X: .4490mV

01/03/83 20:18

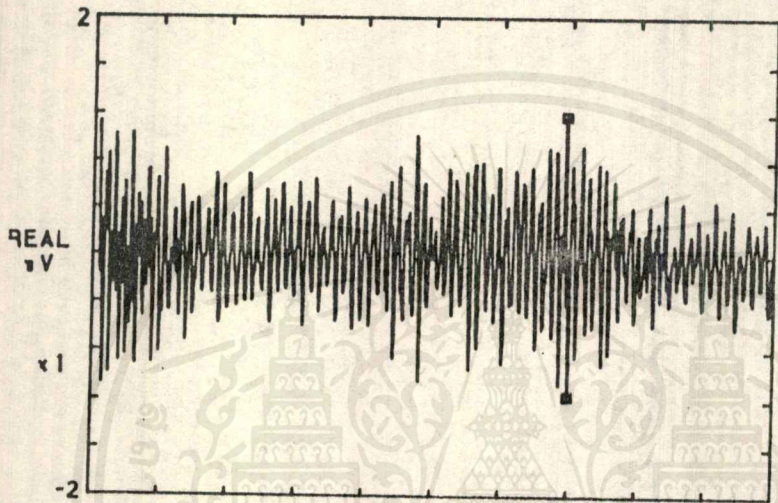
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 30 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

±X: 278.95mSEC ±Y: 1.1870mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT

ARRY NUM
130

GP-1B
Γ. ONLY

TIME A LIN 0.49SEC
-X: 279.89mSEC -Y: -1.1842mV

01/03/83 20:22

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

AVERAGE SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1

FRAME
PEN 1

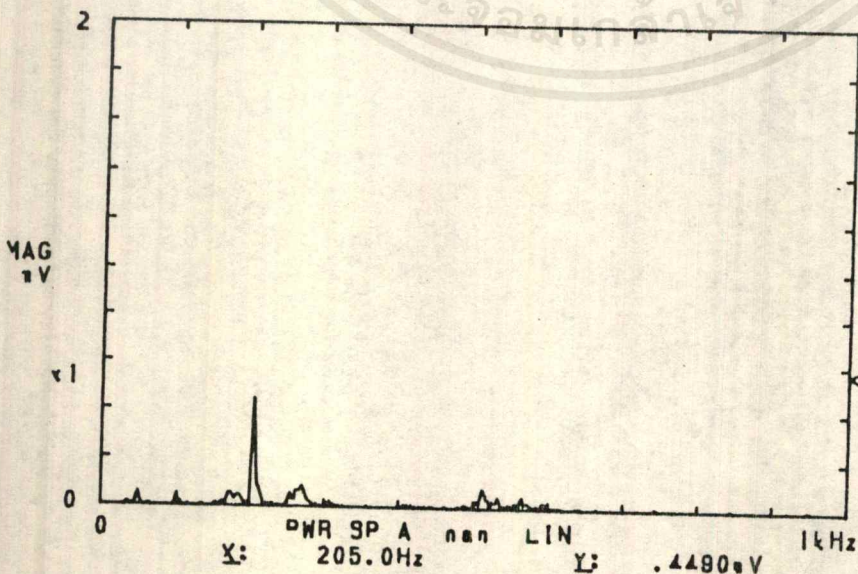
CHARACT
PEN 1

FEED
ON

SOURCE
CRT

ARRY NUM
130

GP-1B
Γ. ONLY



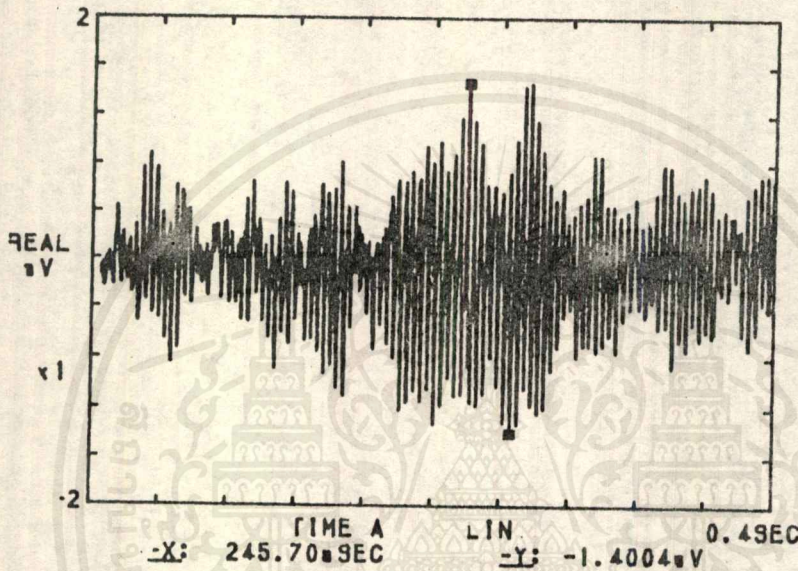
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
01/03/83 20:18

SPEED 35 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 210.53mSEC $\pm Y$: 1.4858mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



WINDOW
 HANNING

OVERLAP
 MAX

Ch DELAY
 +00000

TRIGGER
 ChA

SLOPE: +

LEVEL:
 0.0%

POSITION
 -00128

UNIT
 X:Hz
 Y:PK

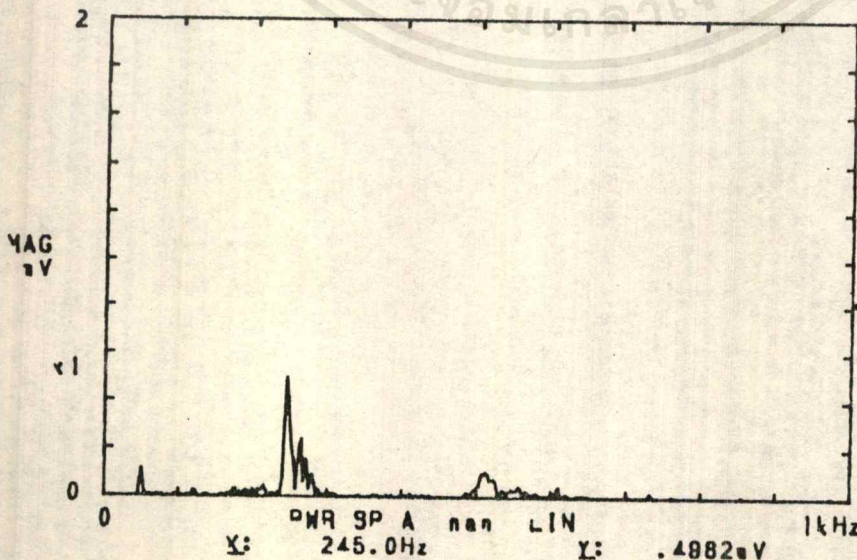
COH BLNK
 OFF

01/03/93 20:53

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



WINDOW
 HANNING

OVERLAP
 MAX

Ch DELAY
 +00000

TRIGGER
 ChA

SLOPE: +

LEVEL:
 0.0%

POSITION
 -00128

UNIT
 X:Hz
 Y:PK

COH BLNK
 OFF

X : 245.0Hz Y : .4982mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ประชาชนด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 01/03/93 20:58

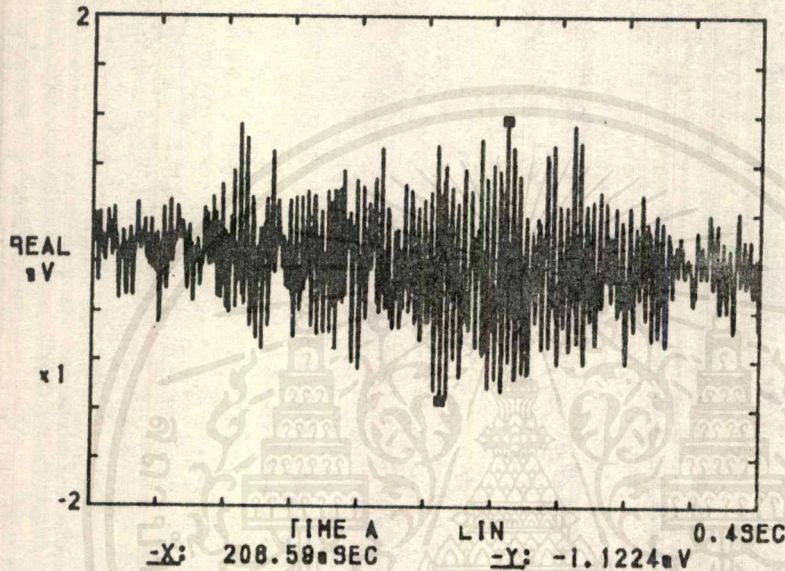
SPEED 35 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 247.66mSEC $\pm Y$: 1.1587mV

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%
POSITION
-00128

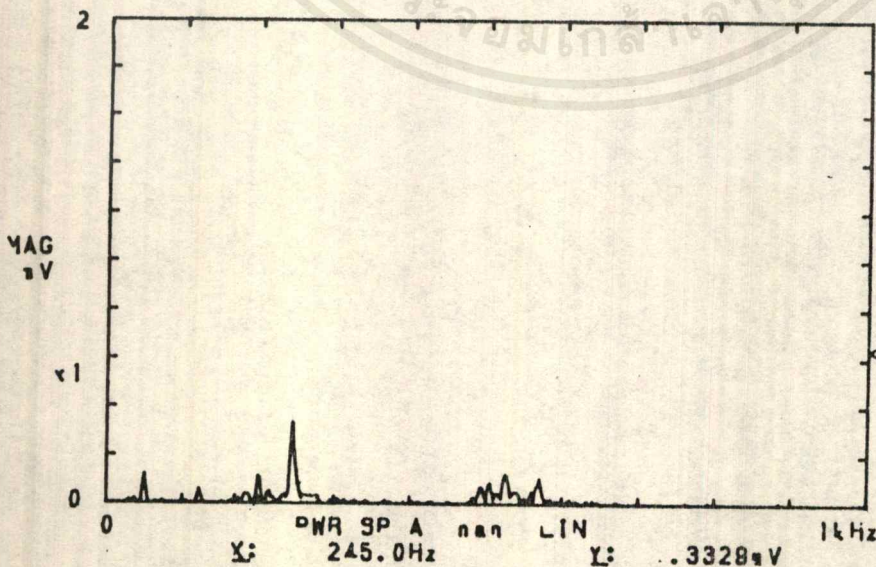
UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

01/03/83 21:08

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%
POSITION
-00128

UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

01/03/83 21:13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

SPEED 40 RPM. MASS 250 g.

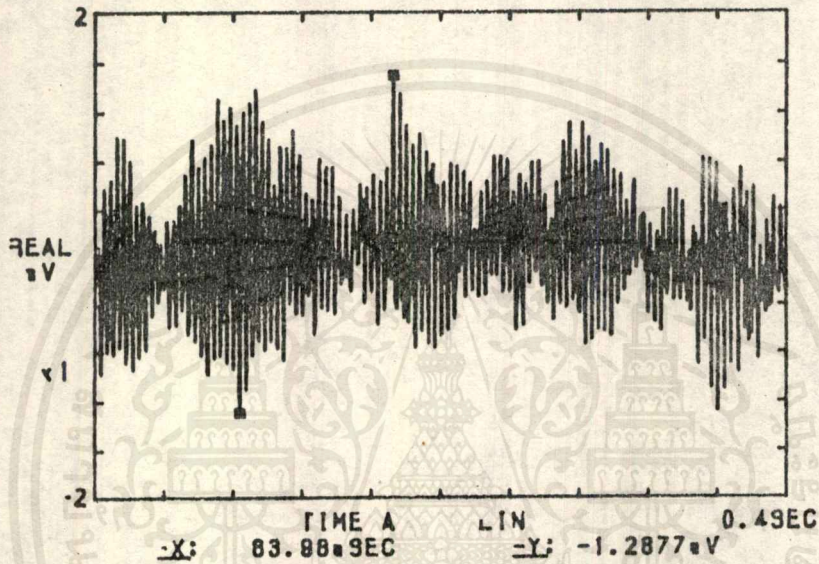
CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0

X: 172.88mSEC

Y: 1.4847mV



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

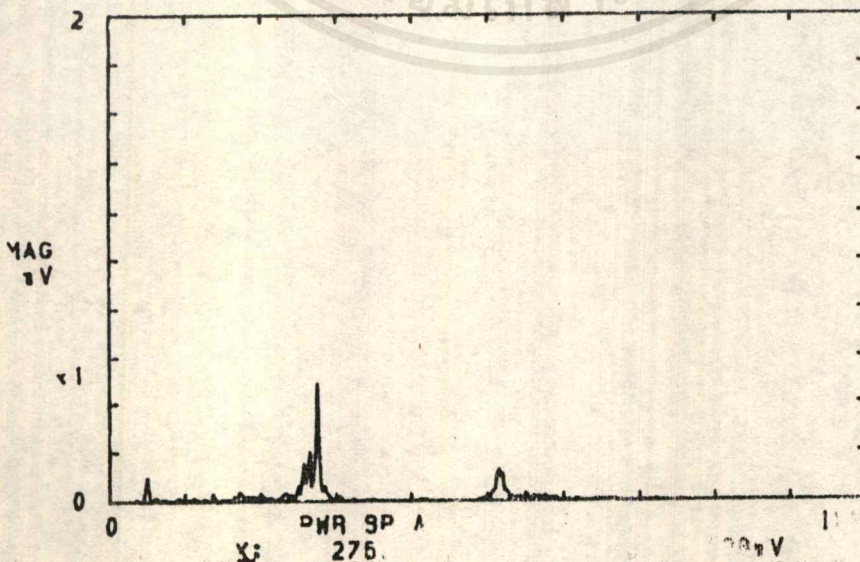
TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%
POSITION
-00128
UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

01/03/83 21:41

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%
POSITION
-00128
UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

01/03/83 21:41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

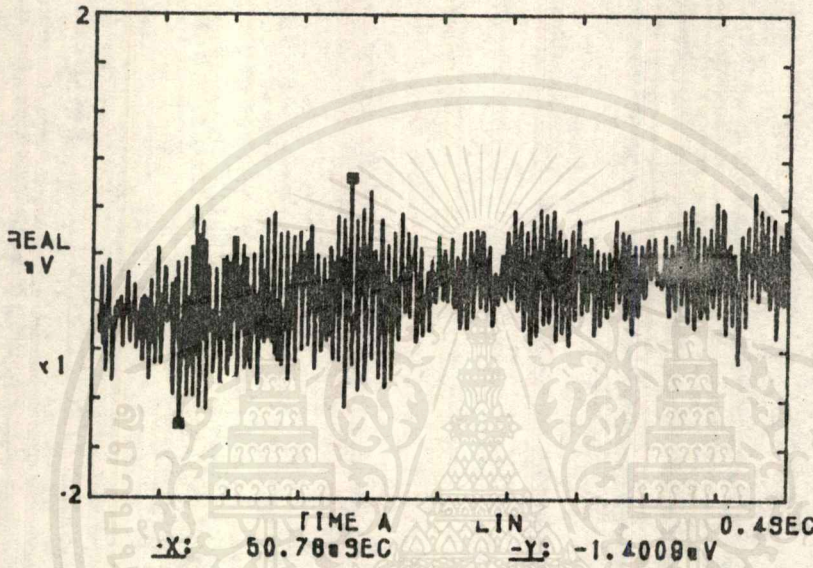
SPEED 40 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 148.44mSEC $\pm Y$: .8453mV

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128

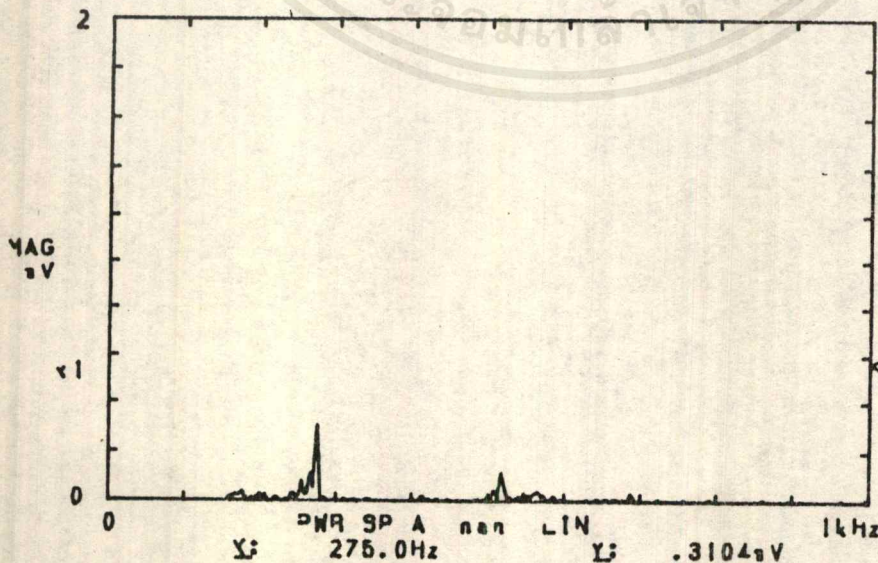
UNIT
X:Hz
Y:PK
COH BLNK
OFF

01/03/83 21:24

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X:Hz
Y:PK
COH BLNK
OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 01/03/83 21 โฆษณาด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

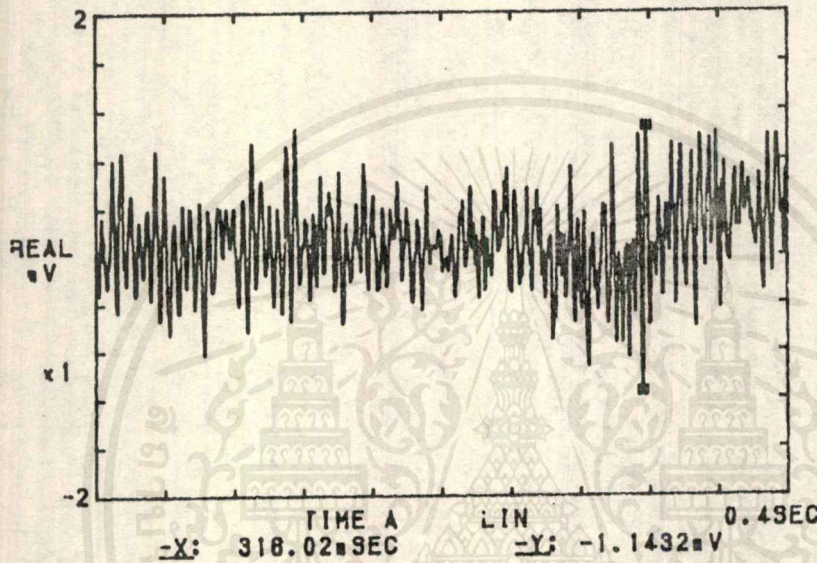
SPEED 45 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

±X: 317.97µSEC ±Y: 1.0813mV

MASS MEM
BL: 59
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX

Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A

SLOPE: +
LEVEL: 0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X: Hz
Y: PK

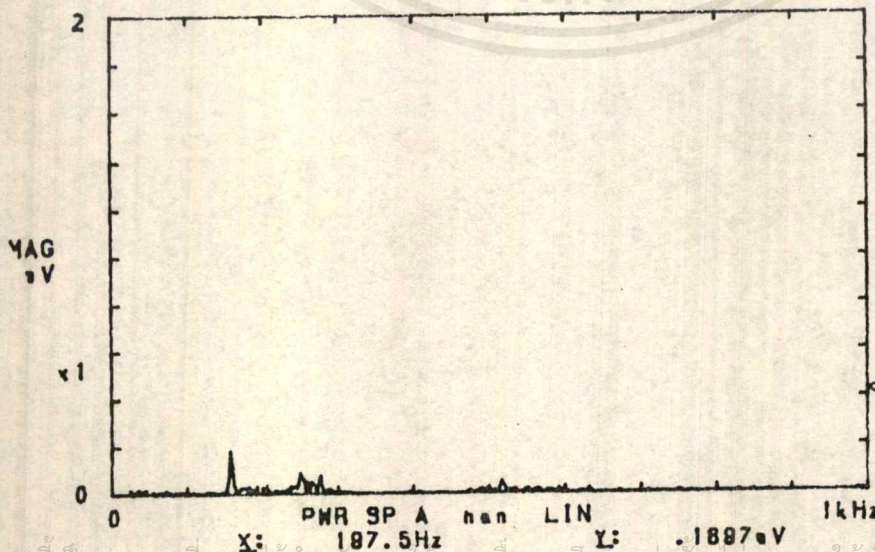
COH BLNK
OFF

01/03/83 21:47

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 59
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX

Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A

SLOPE: +
LEVEL: 0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X: Hz
Y: PK

COH BLNK
OFF

01/03/83 21:52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

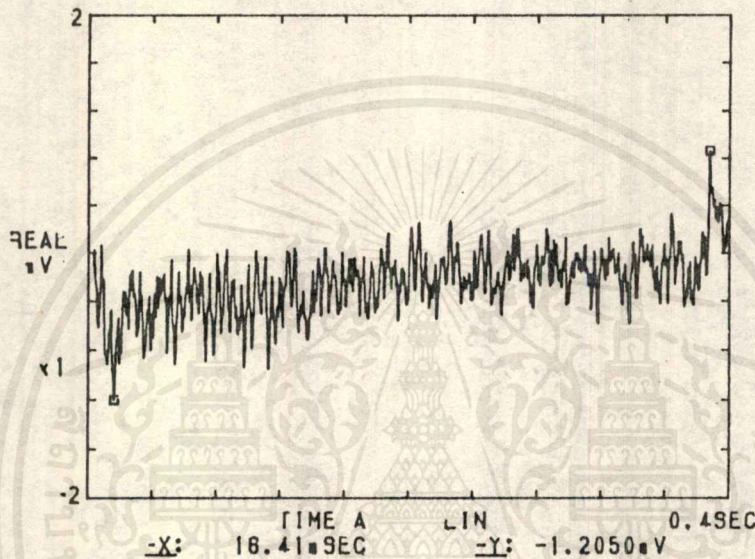
SPEED 50 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 387.50mSEC $\pm Y$: .8594mV

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

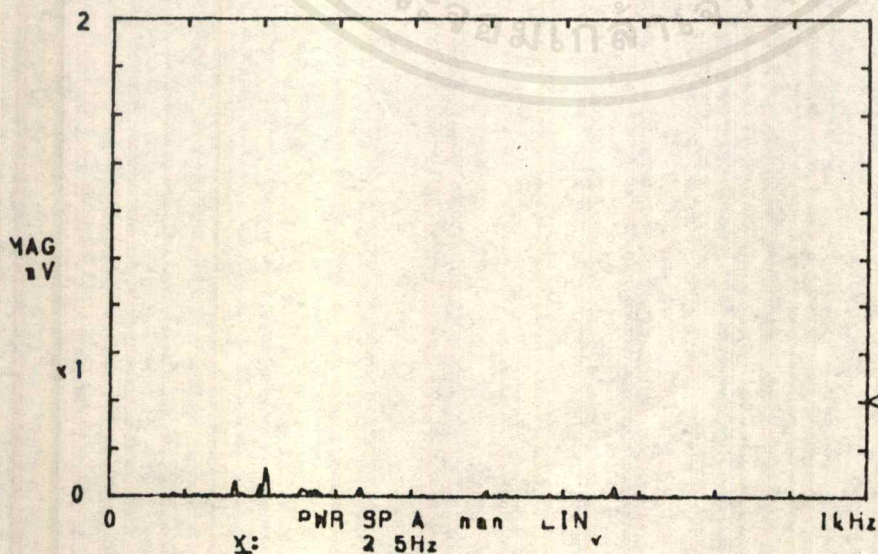
POSITION
-00128
UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

01/03/83 22:02

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128
UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

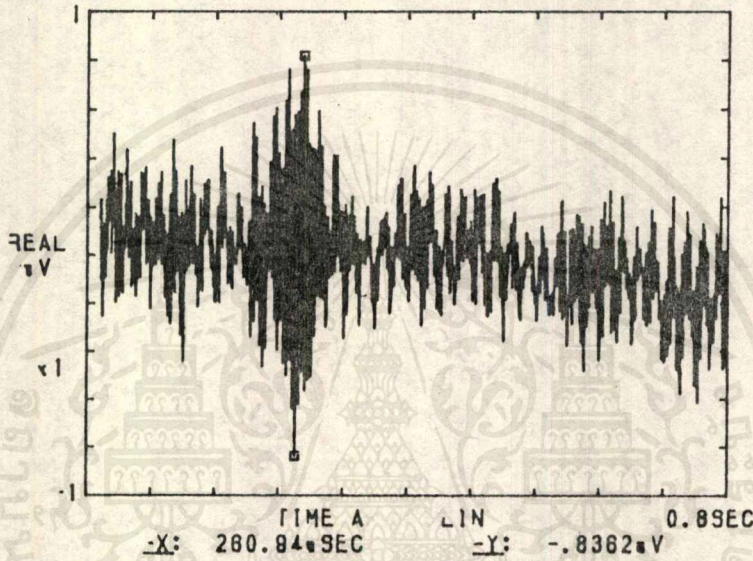
SPEED 55 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
500Hz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 270.31mSEC Y: .8218mV

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

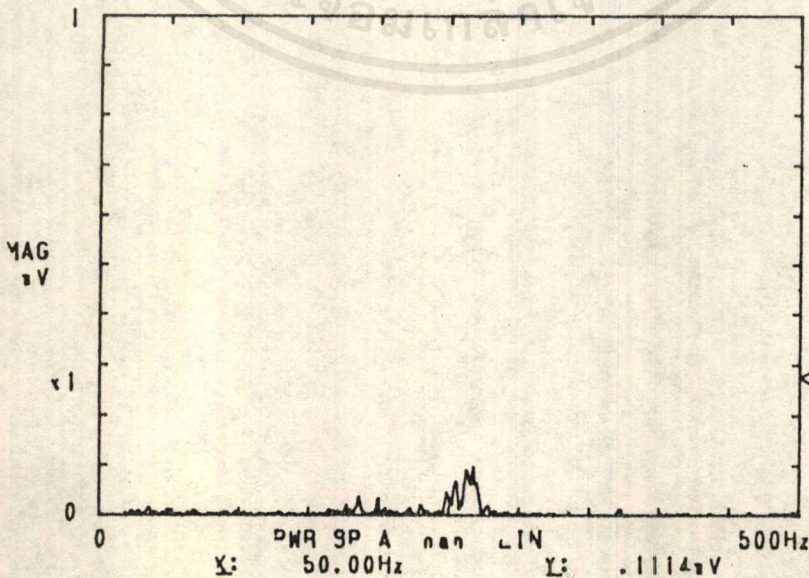
TIME A LIN 0.89SEC
X: 280.84mSEC Y: -.8362mV

01/03/83 22:14

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
500Hz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0



WINDOW
HANNING

OVERLAP
MAX
Ch DELAY
+00000

TRIGGER
Ch A
SLOPE: +
LEVEL:
0.0%

POSITION
-00128

UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK
OFF

FREQ SP A LIN 500Hz
X: 50.00Hz Y: .1114mV

01/03/83 22:14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

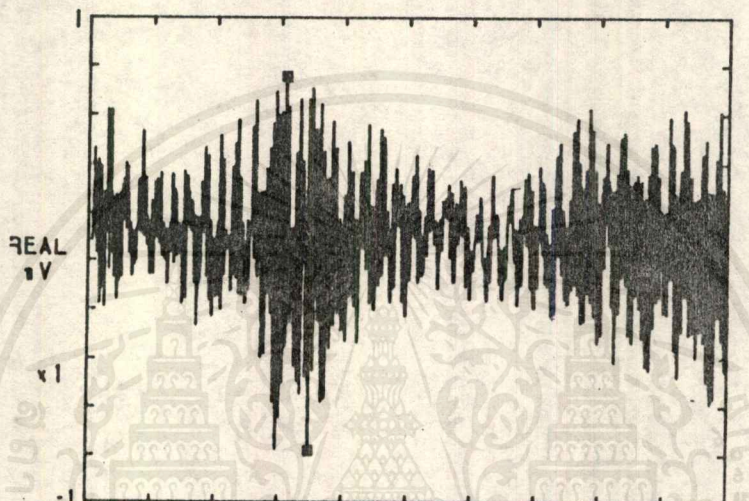
SPEED 60 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
500Hz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 248.87µSEC Y: .7583mV

MASS MEM
BL: 58
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANC
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

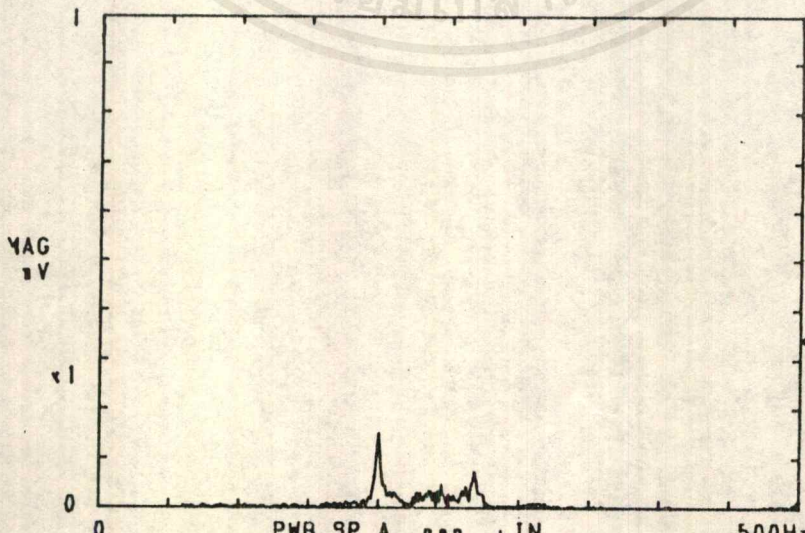
TIME A LIN 0.8SEC
-X: 278.12µSEC -Y: -.7815mV

01/03/83 22:35

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
500Hz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 58
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANC
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

FREQ SP A LIN 500Hz
X: 200.00Hz Y: .1523mV

01/03/83 2: 2

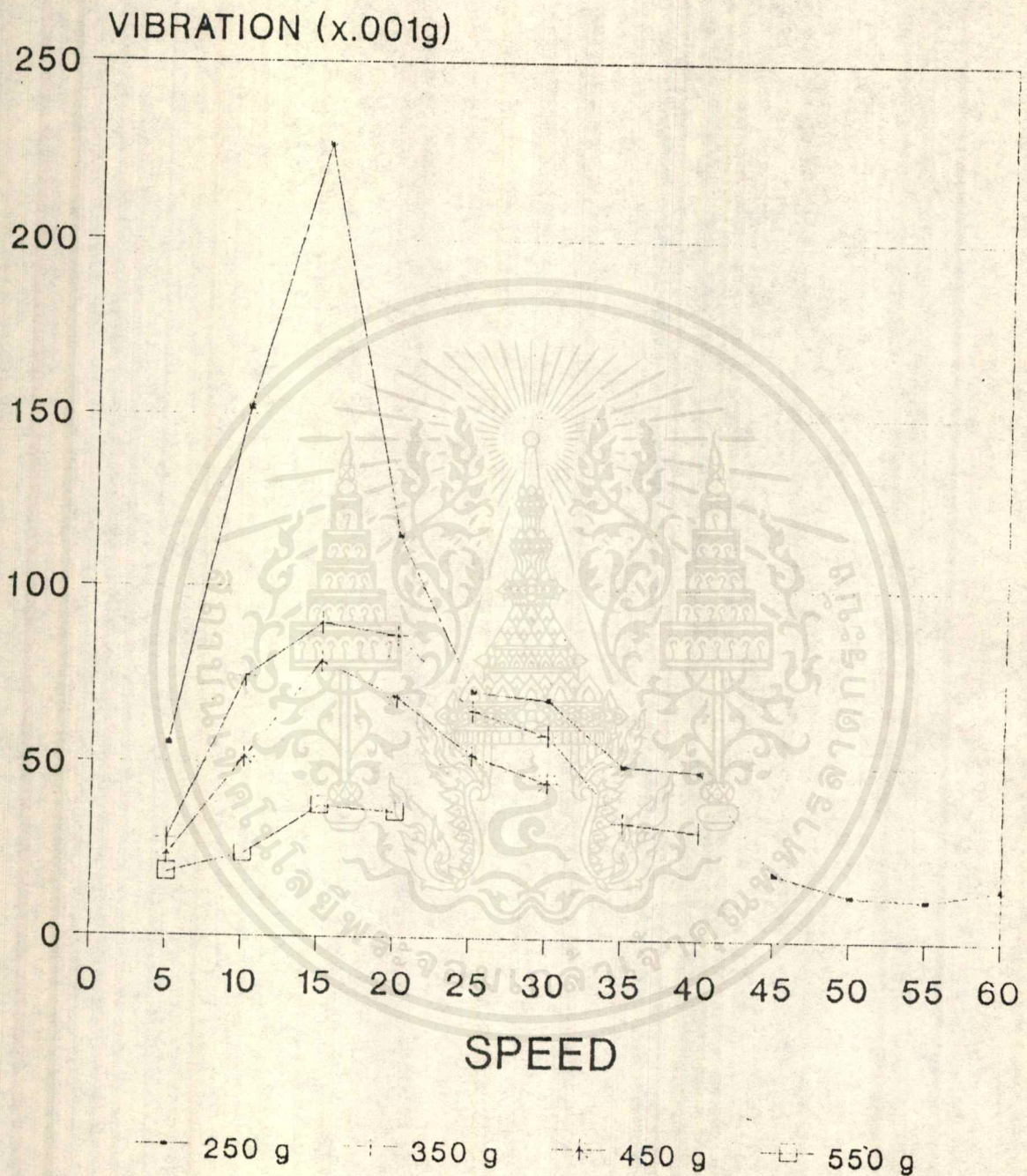
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง STEPPING MOTOR จากโรงงาน

SPEED.	250 g.	350 g.	450 g.	550 g.
60	0.01523g	-	-	-
55	0.012g	-	-	-
50	0.013g	-	-	-
45	0.01897g	-	-	-
40	0.04826g	0.03104g	-	-
35	0.04982g	0.03329g	-	-
30	0.06859g	0.05844g	0.0449g	-
25	0.0708g	0.06523g	0.05252g	-
20	0.11478g	0.08639g	0.0691g	0.0358g
15	0.22679g	0.08971g	0.07889g	0.03748g
10	0.1518g	0.07457g	0.05132g	0.02325
5	0.0555g	0.02791g	0.02308g	0.01792g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTOR AT STANDARD CONDITION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

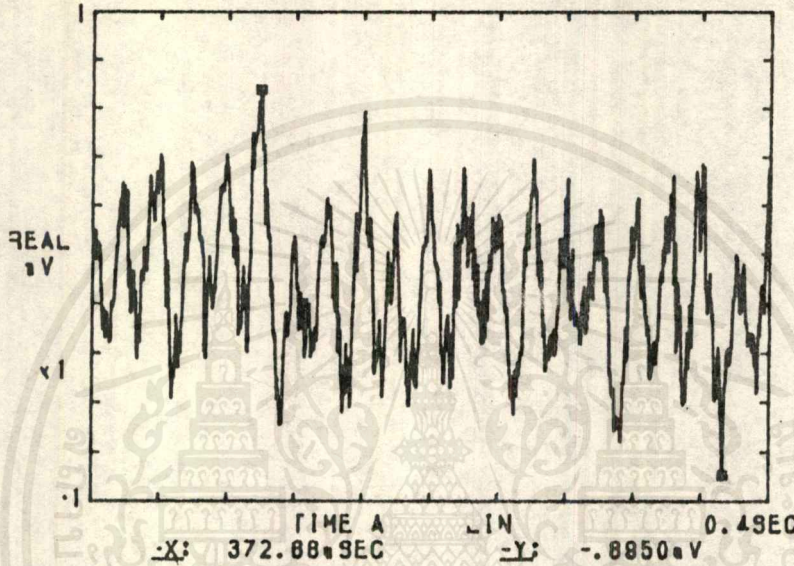
SPEED 5 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1eV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

$\pm X$: 98.22eSEC $\pm Y$: .8788eV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
G. ONLY

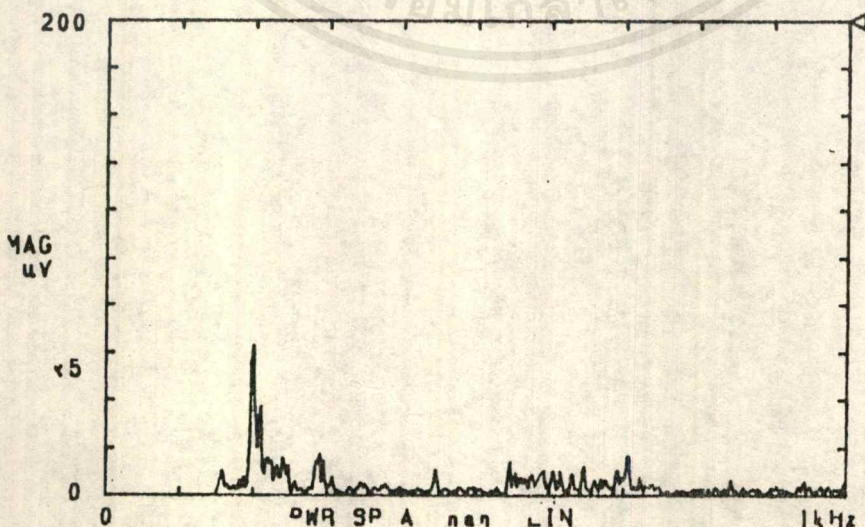
TIME A LIN 0.49SEC
 $\pm X$: 372.88eSEC $\pm Y$: -.8850eV

08/03/83 14:41

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1eV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
GP-1B
G. ONLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ 08/03/83 14:37 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

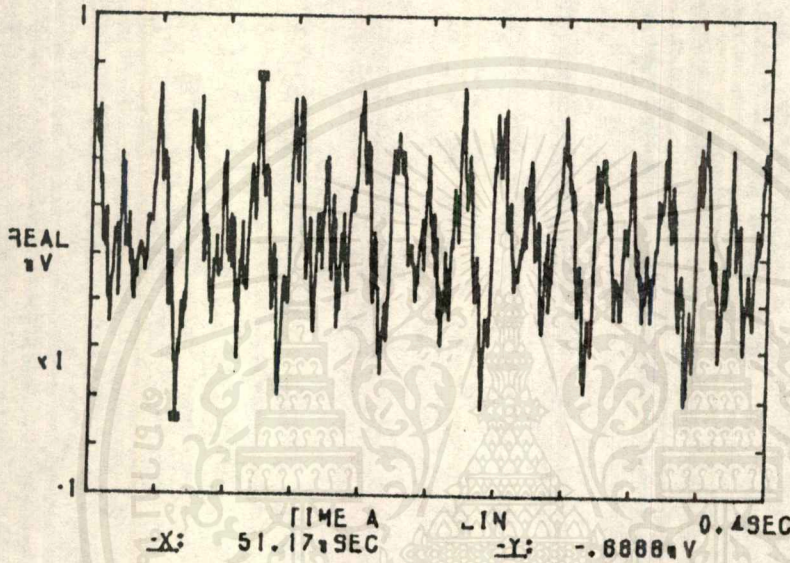
SPEED 10 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

rX: 88.22mSEC rY: .7502mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CPT
ARRY NUM
130
GP-1B
Γ. ONLY

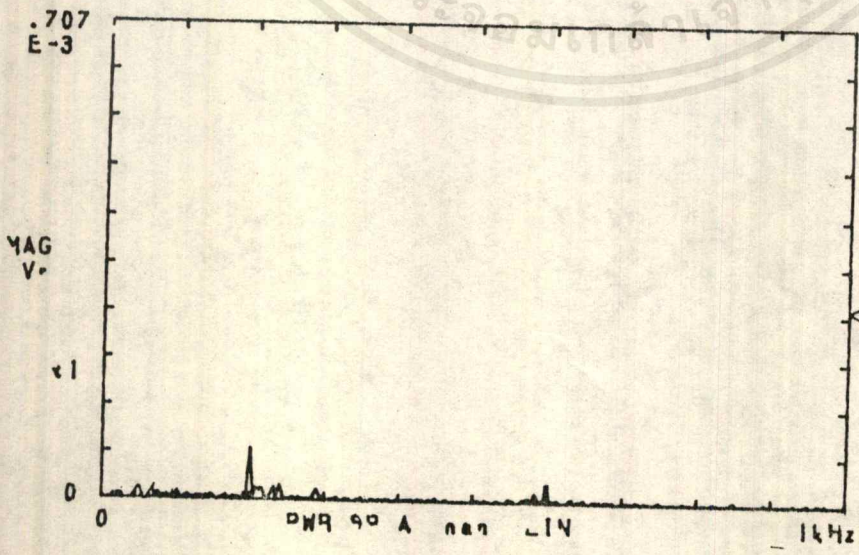
TIME A LIN 0.49SEC
-X: 51.17mSEC -Y: -.8888mV

08/03/83 14:45

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Ch A

EU= EU
IV=
.1000+1

Ch B
EU= EU

IV=
.1000+1

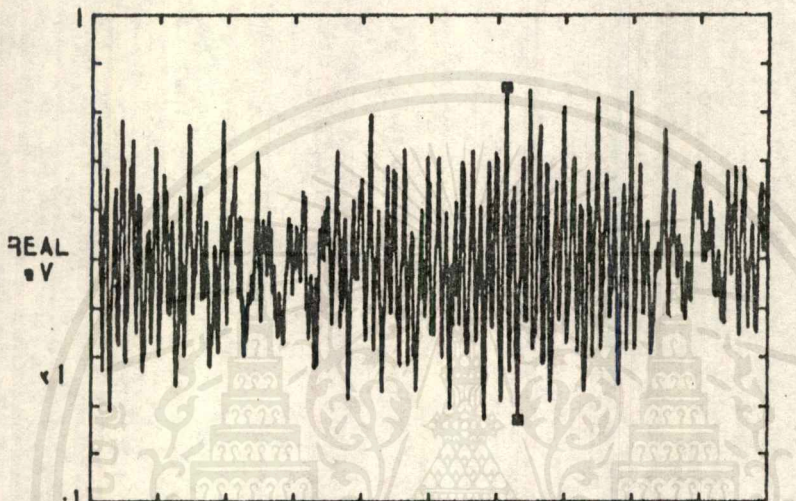
UNIT
X:Hz
Y: rms
COH BLNK
OFF

SPEED 15 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1eV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 244.82 μ SEC $\pm Y$: .7028 μ V

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 1V= .1000 \times 1

Ch B
 EU= EU

1V= .1000 \times 1

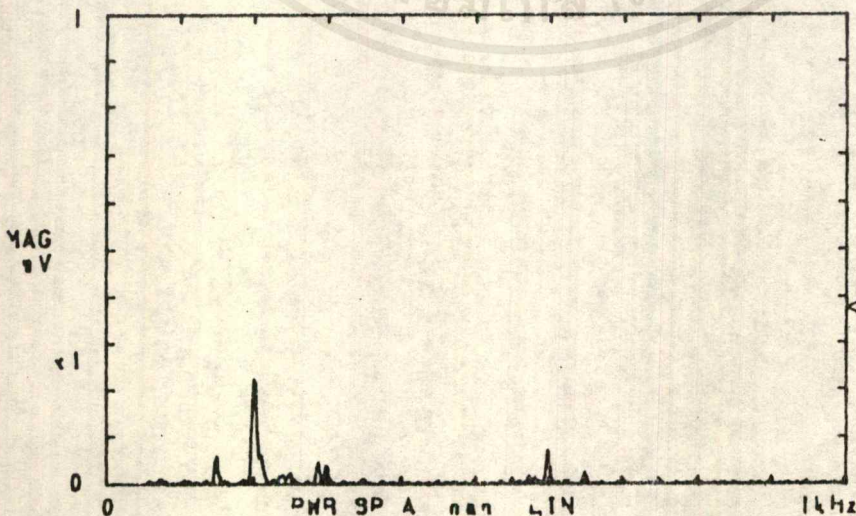
UNIT
 X:Hz
 Y:PK
 COH BLNK OFF

TIME A LIN 0.49EC
 $\pm X$: 252.34 μ SEC $\pm Y$: -.8585 μ V

08/03/83 15:12

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1eV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 1V= .1000 \times 1

Ch B
 EU= EU

1V= .1000 \times 1

UNIT
 X:Hz
 Y:PK
 COH BLNK OFF

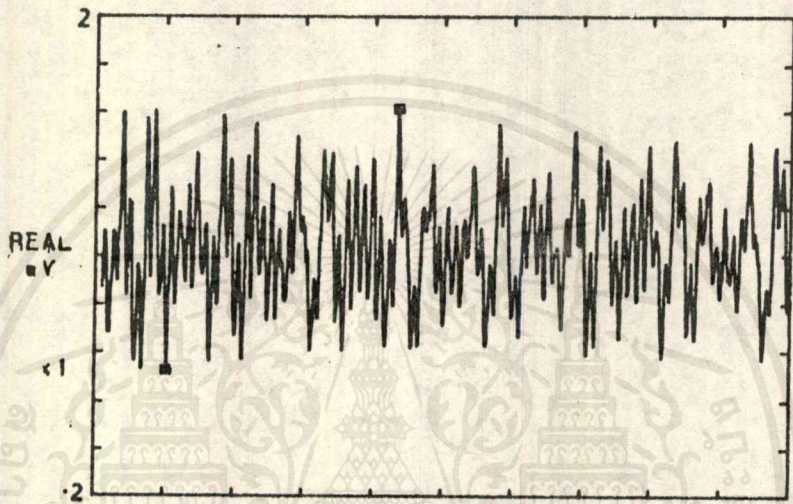
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 08/03/83 15:07 ด้านการค้ำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 20 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE 9P 9UM

X: 173.83mSEC Y: 1.2288mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Ch A

EU= EU
1V= .1000+1

Ch B
EU= EU

1V= .1000+1

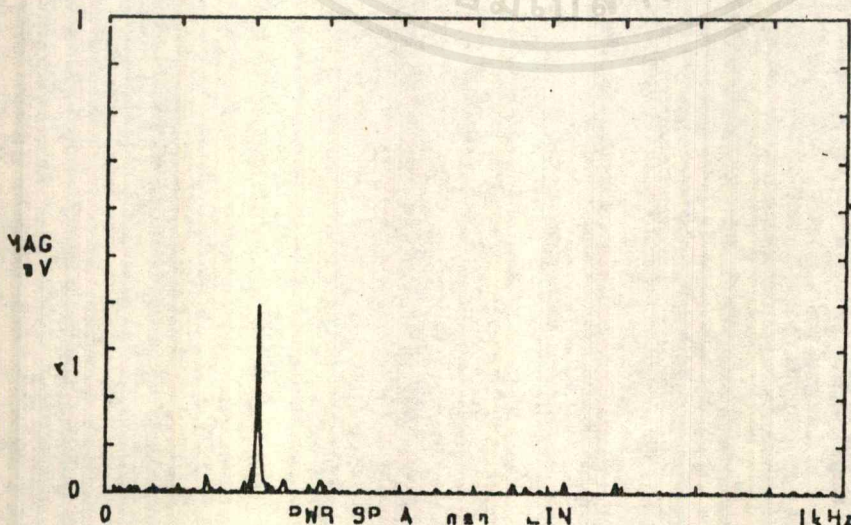
UNIT
X:Hz
Y:PK
COH BLNK OFF

TIME A LIN 0.49 SEC
X: 41.02mSEC Y: -.8505mV

08/03/83 15:25

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE 9P 9UM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Ch A

EU= EU
1V= .1000+1

Ch B
EU= EU

1V= .1000+1

UNIT
X:Hz
Y:PK
COH BLNK OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

08/03/83 15:19

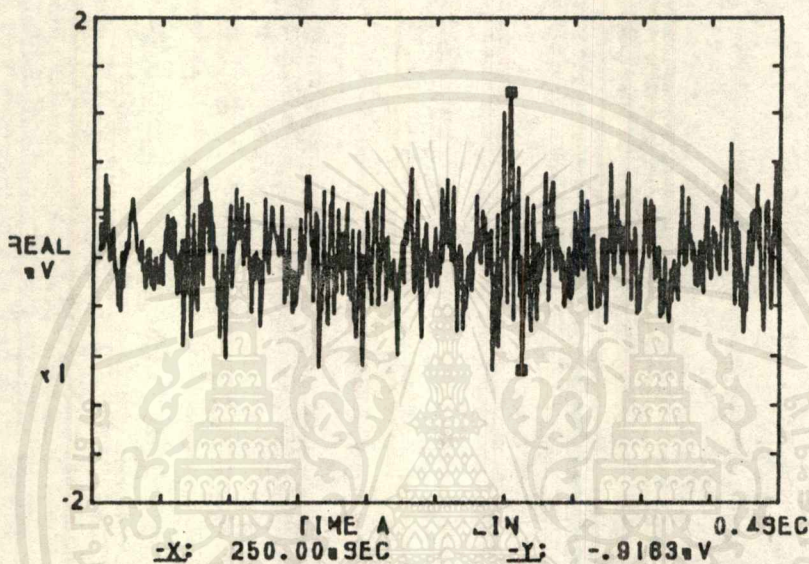
SPEED 25 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

rX: 242.58mSEC rY: 1.3752mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 IV= .1000r1

Ch B
 EU= EU

IV= .1000r1

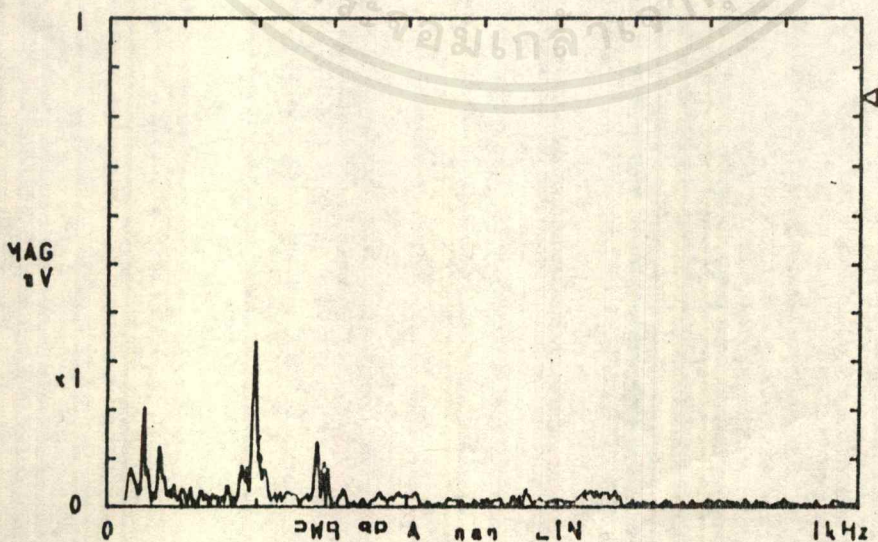
UNIT
 X:Hz
 Y:PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 15:38

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 IV= .1000r1

Ch B
 EU= EU

IV= .1000r1

UNIT
 X:Hz
 Y:PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 15:32

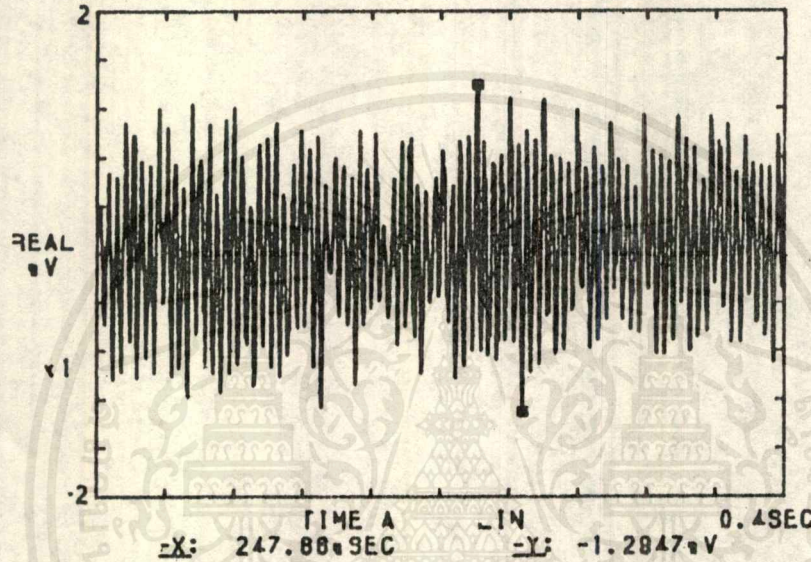
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ผ่านการคำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 30 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

$\pm X$: 221.08 μ SEC $\pm Y$: 1.3878 μ V

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 IV= .1000 \times 1

Ch B
 EU= EU

IV= .1000 \times 1

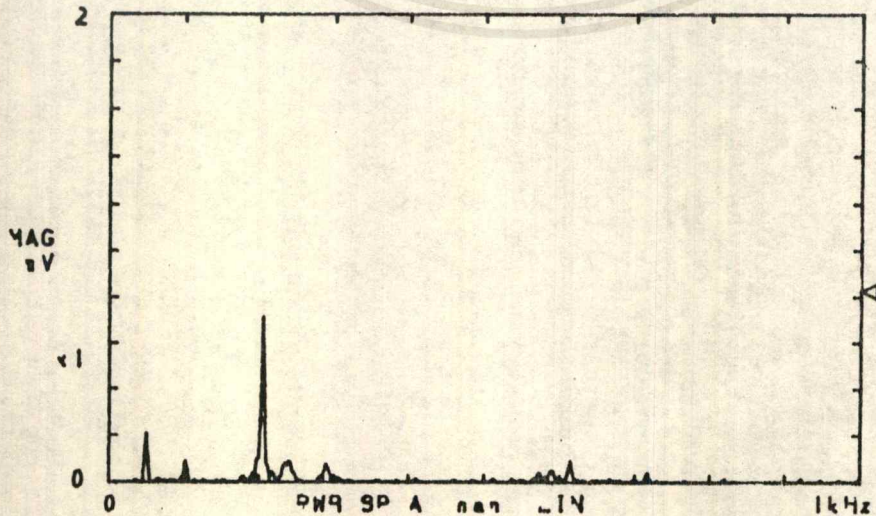
UNIT
 X:Hz
 Y:PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 15:40

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

AVERAGE SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 IV= .1000 \times 1

Ch B
 EU= EU

IV= .1000 \times 1

UNIT
 X:Hz
 Y:PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 15:48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

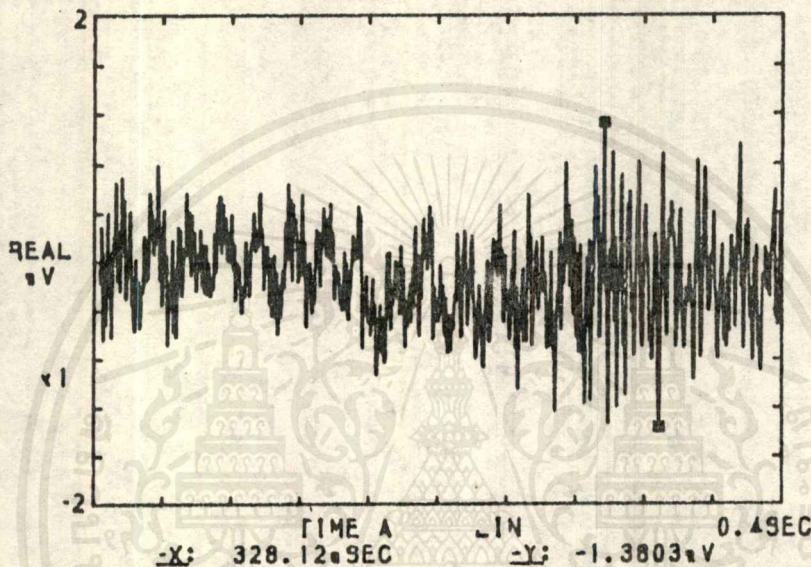
SPEED 35 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 20V B:AC/ 50V INST 0/16 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

X: 288.480SEC Y: 1.12770V

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 IV= .1000-1

Ch B
 EU= EU

IV= .1000-1

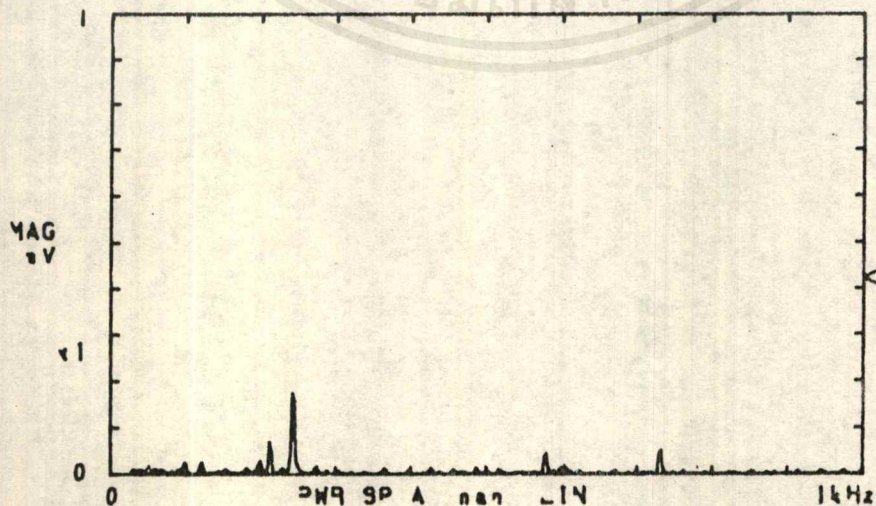
UNIT
 X: Hz
 Y: PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 15:53

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 10V B:AC/ 50V INST 0/16 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A

EU= EU
 IV= .1000-1

Ch B
 EU= EU

IV= .1000-1

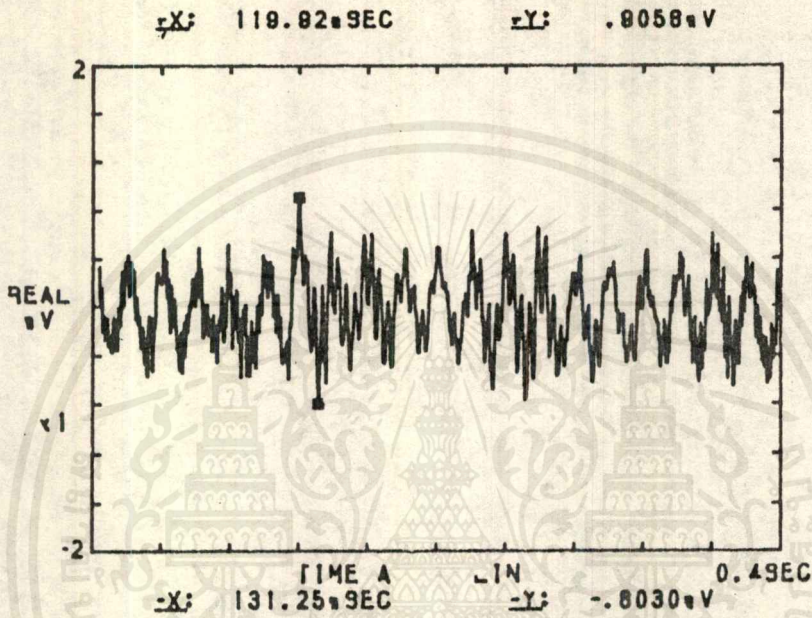
UNIT
 X: Hz
 Y: PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 15:53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้
 08/03/83 15:53
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 40 RPM. MASS 250 g.

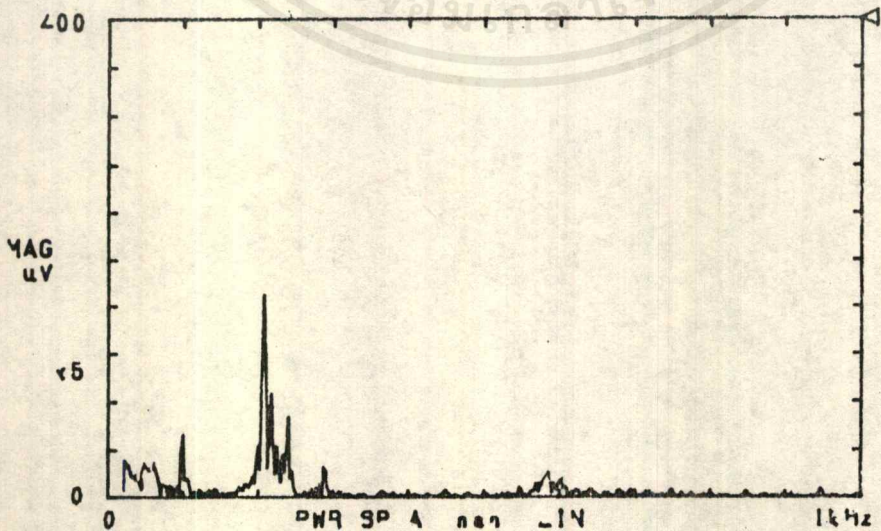
CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM
 MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A
 EU= EU
 IV= .1000-1
 Ch B
 EU= EU
 IV= .1000-1
 UNIT
 X: Hz
 Y: PK
 COH BLNK OFF

08/03/83 18:01

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM
 MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



EU SET
 Ch A
 EU= EU
 IV= .1000-1
 Ch B
 EU= EU
 IV= .1000-1
 UNIT
 X: Hz
 Y: PK
 COH BLNK OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ 08/03/83 15:58 การค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

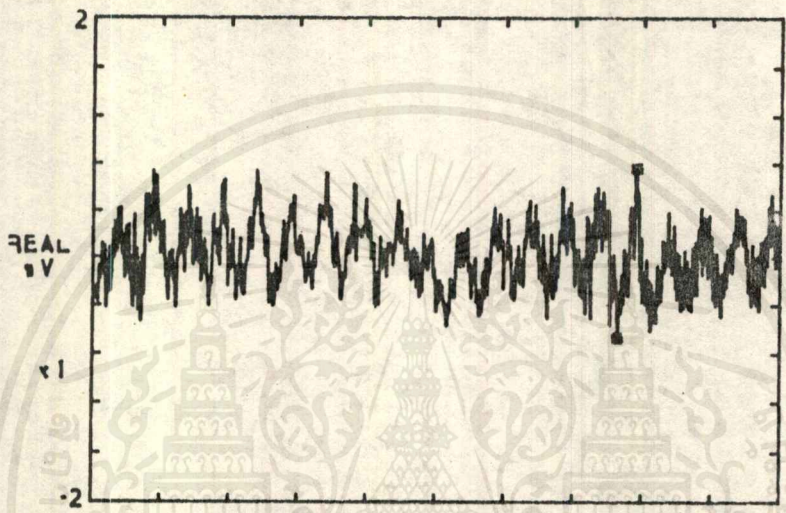
SPEED 45 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

rX: 318.02mSEC rY: .7828mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Cn A

EU= EU
IV= .1000-1

Cn B
EU= EU

IV= .1000-1

UNIT
X:Hz
Y:PK
COH BLNK OFF

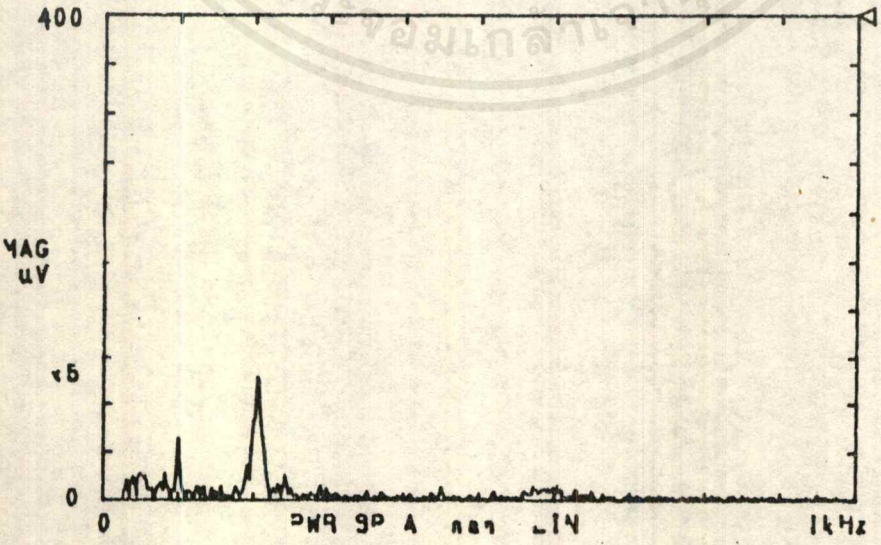
-X: 305.47mSEC -Y: -.8838mV

08/03/83 18:08

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Cn A

EU= EU
IV= .1000-1

Cn B
EU= EU

IV= .1000-1

UNIT
X:Hz
Y:PK
COH BLNK OFF

08/03/83 18:08

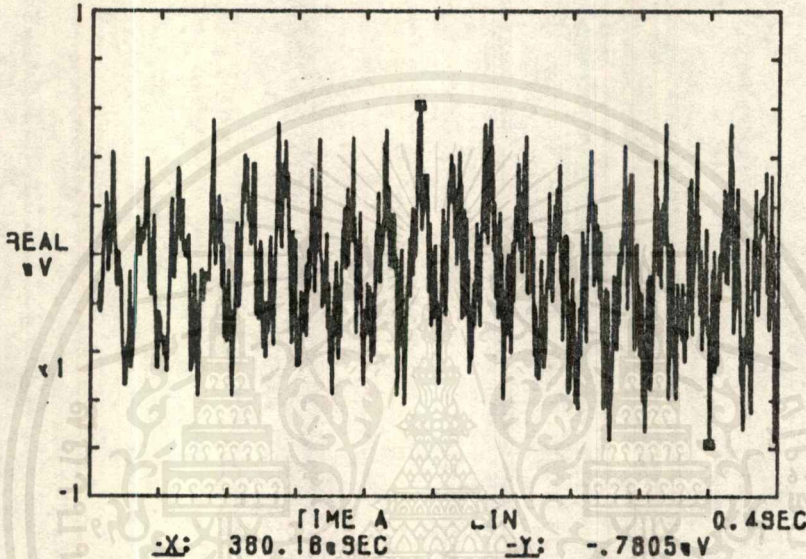
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เชิงพาณิชย์บนหน้าการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 50 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

X: 181.029SEC Y: .8107mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Ch A

EU= EU
IV= .1000-1

Ch B
EU= EU

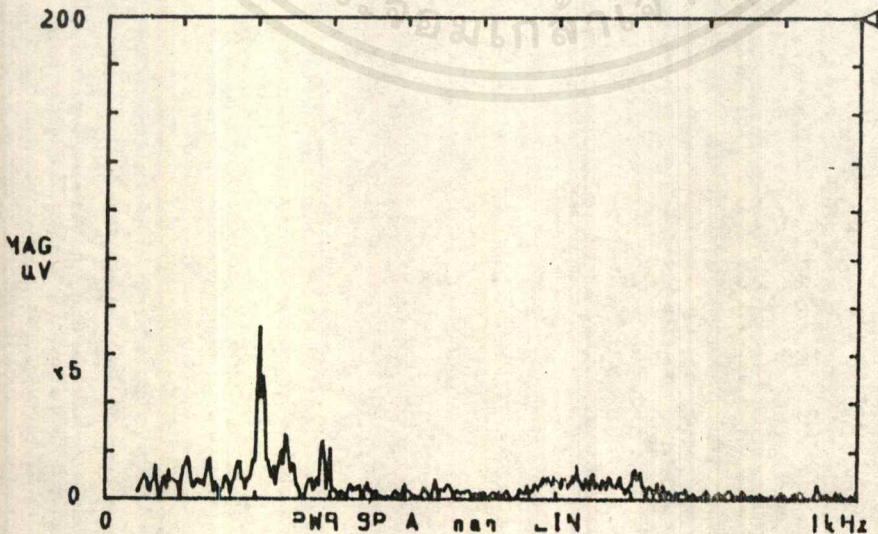
IV= .1000-1

UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK OFF

08/03/83 18:21

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k AVERAGE SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



EU SET
Ch A

EU= EU
IV= .1000-1

Ch B
EU= EU

IV= .1000-1

UNIT
X: Hz
Y: PK
COH BLNK OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ 08/03/83 18:16
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

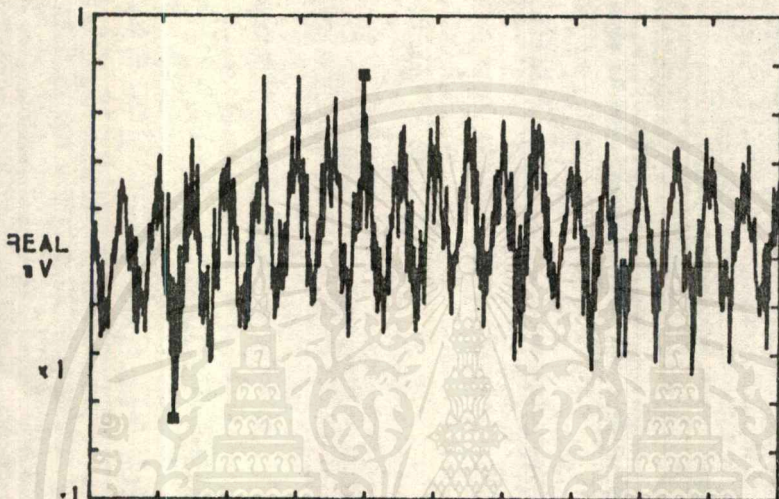
SPEED 55 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

X: 157.42mSEC Y: .7552mV

MASS MEM
 BL: 1
 R: 0



AMP RANG
 MANUAL

DC CANG
 OFF
 AD OV. C
 OFF

INPT SIG
 MEASURE
 FILTER
 ON

SIG OUT
 option
 SMPLE CLK
 INT

TIME A LIN 0.49SEC
 X: 48.44mSEC Y: -.8713mV

08/03/83 18:27

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

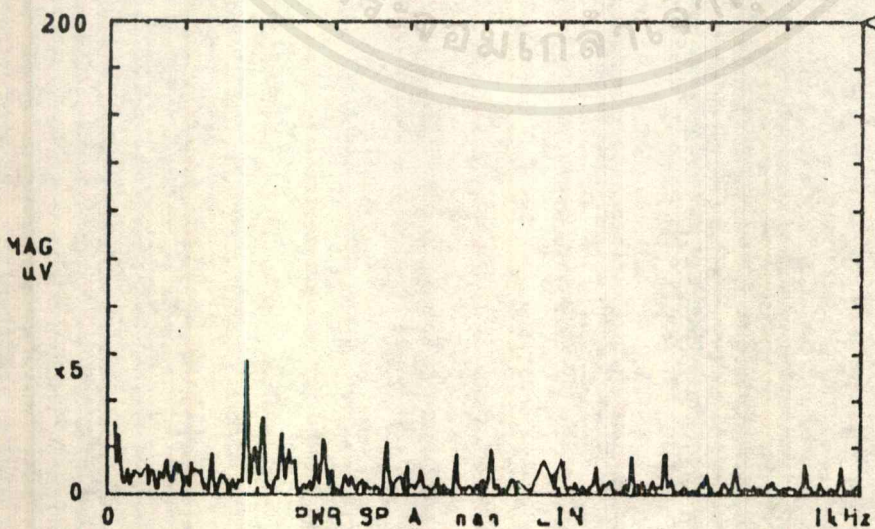
MASS MEM
 BL: 1
 R: 0

AMP RANG
 MANUAL

DC CANG
 OFF
 AD OV. C
 OFF

INPT SIG
 MEASURE
 FILTER
 ON

SIG OUT
 option
 SMPLE CLK
 INT



08/03/83 18:31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 60 RPM. MASS 250 g.

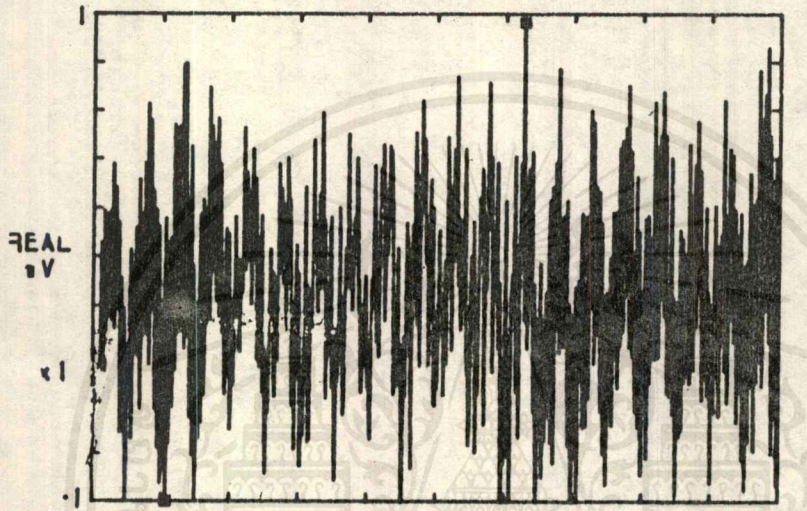
CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 250.78uSEC

Y: .9595uV

MASS MEM
BL: 1
Q: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

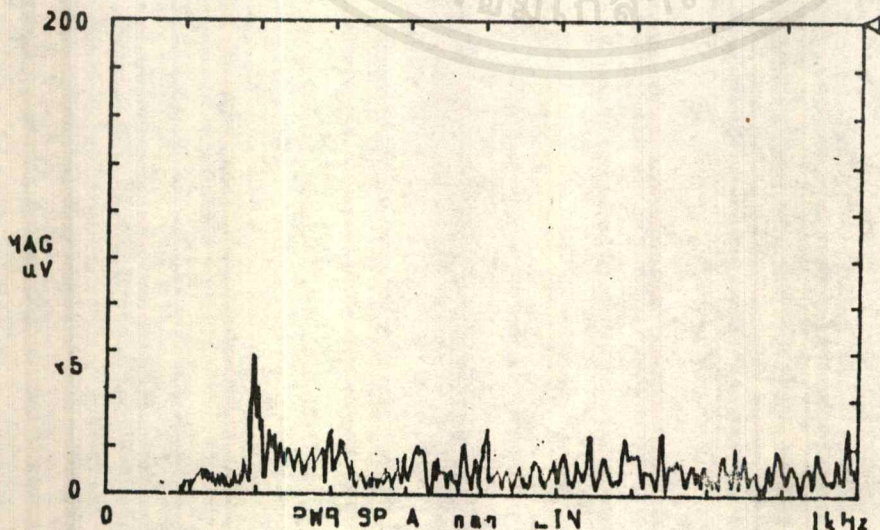
SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

TIME A LIN 0.49SEC
X: 42.97uSEC Y: -1.0000uV

08/03/83 18:48

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM



MASS MEM
BL: 1
Q: 0

AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

08/03/83 18:40

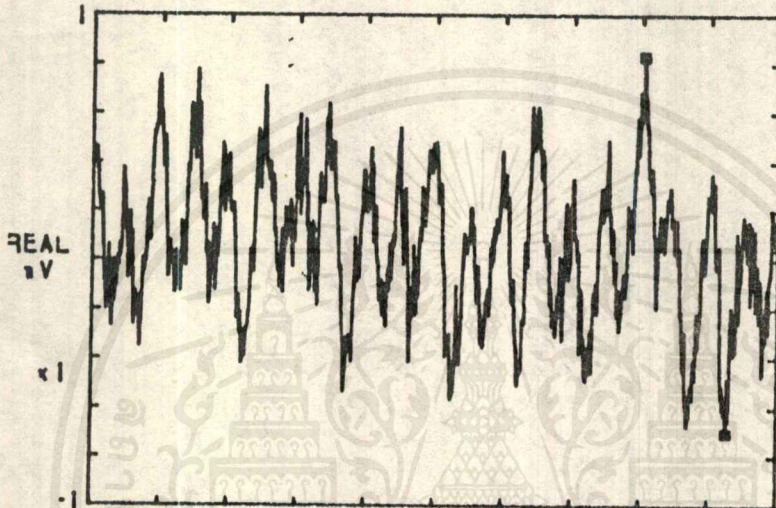
SPEED 5 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 321.0899EC Y: .8318uV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF

AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

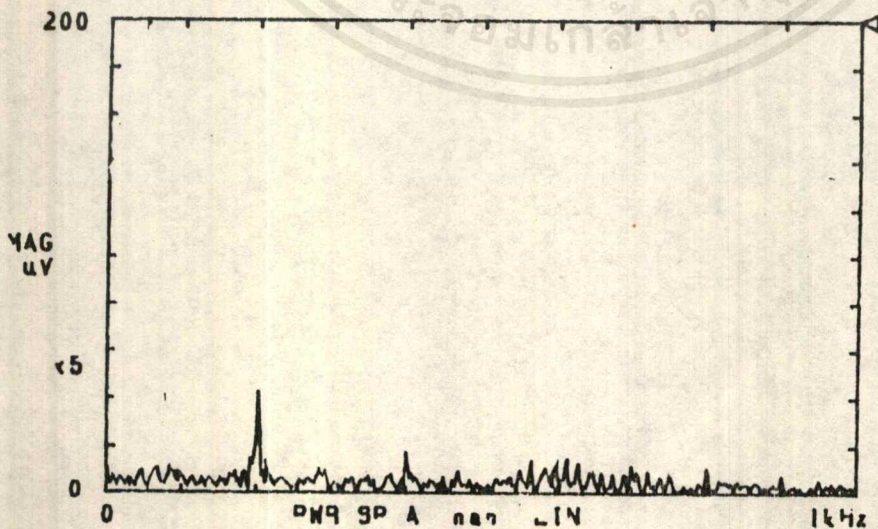
TIME A LIN 0.49EC
X: 370.3199EC Y: -.8870uV

08/03/83 18:51

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF

AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

08/03/83 18:55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

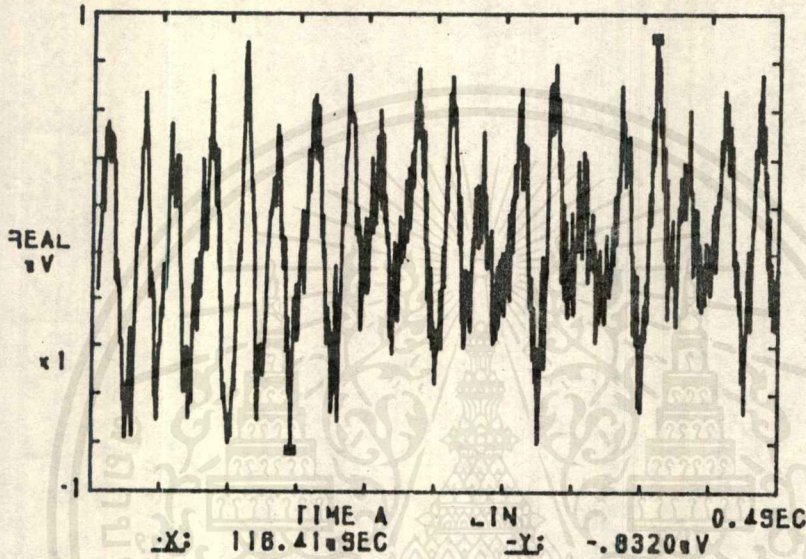
SPEED 10 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

rX: 327.73uSEC rY: .8017uV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

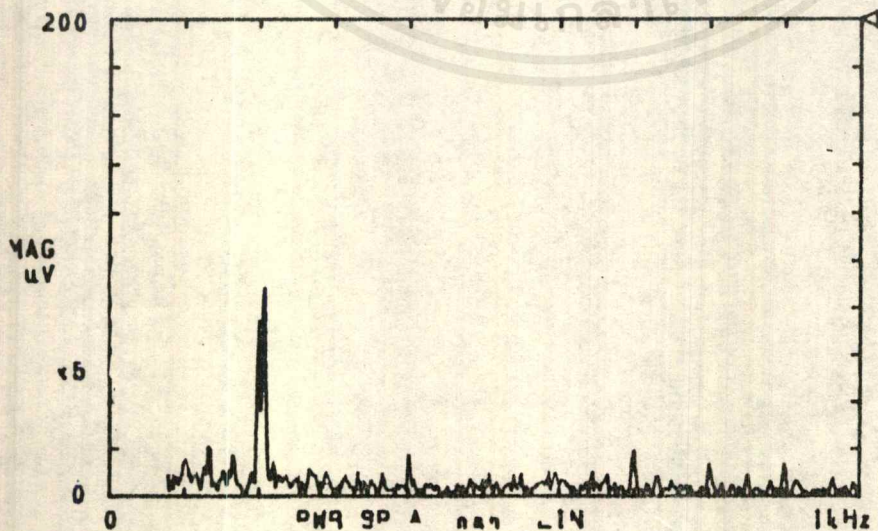
SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

08/03/83 17:03

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 08/03/83 18:58 น. ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

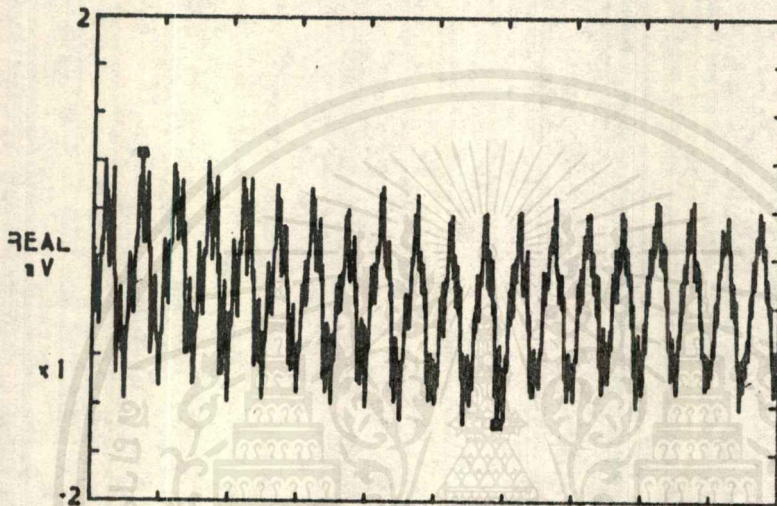
SPEED 15 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP 9UM

X: 28.12mSEC Y: .8821mV

MASS MEM
BL: 1
Q: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

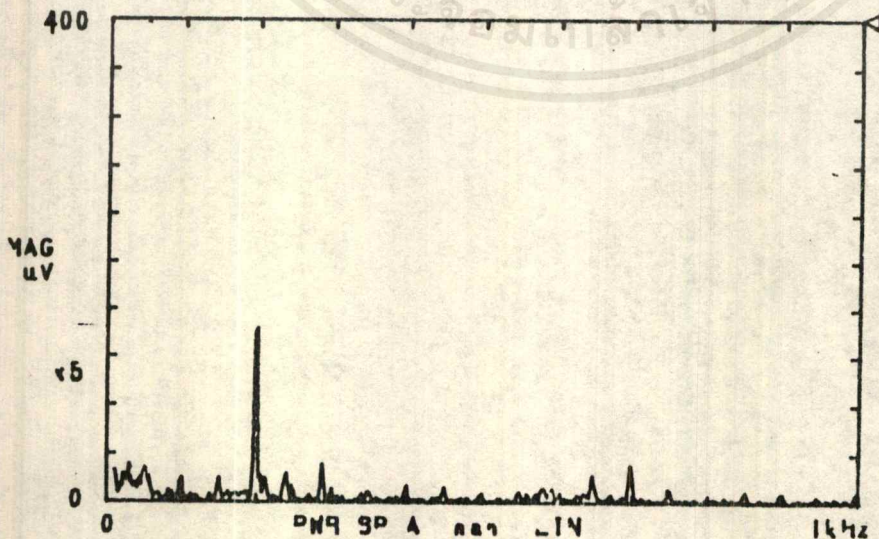
TIME A LIN 0.49SEC
X: 238.33mSEC Y: -1.3495mV

08/03/83 17:08

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP 9UM

MASS MEM
BL: 1
Q: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 08/03/83 17:12 น. ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

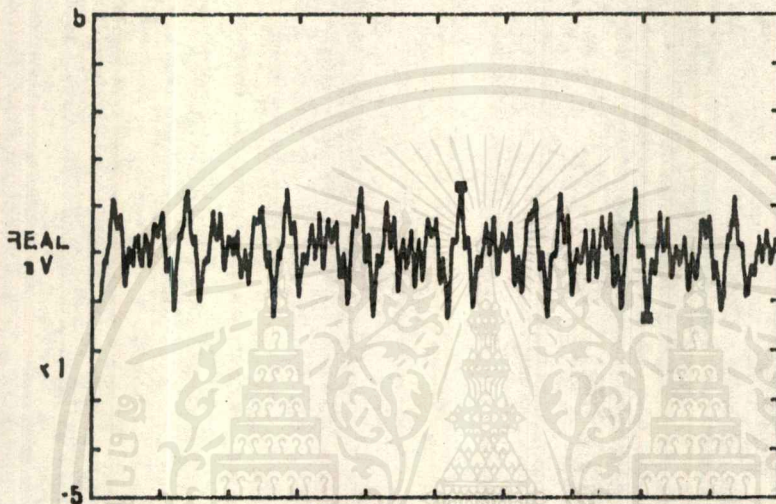
SPEED 20 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5vV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 14

AVERAGE
SP SUM

X: 214.459SEC Y: 1.3885v

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
OPTION
SMPL CLK
INT

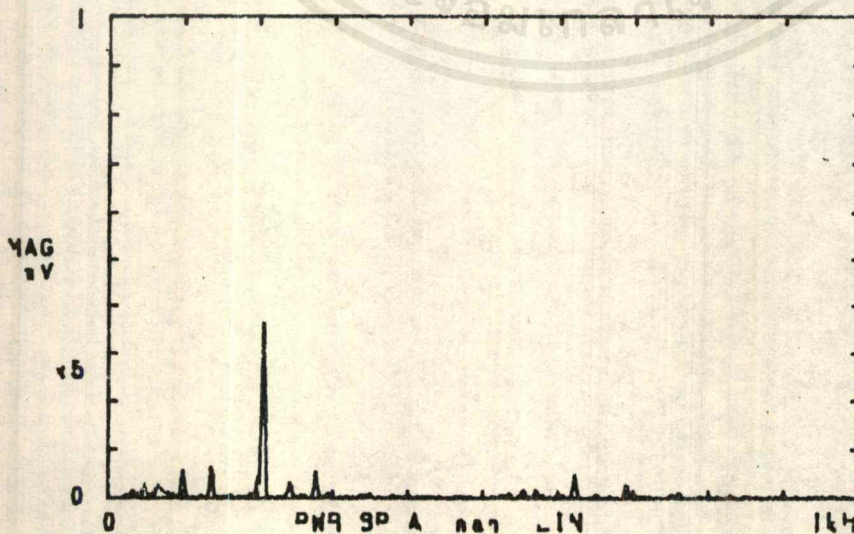
TIME A LIN 0.49SEC
X: 322.889SEC Y: -1.3351v

08/03/83 17:18

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 5vV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 14

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
OPTION
SMPL CLK
INT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 08/03/83 17:15 น. ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

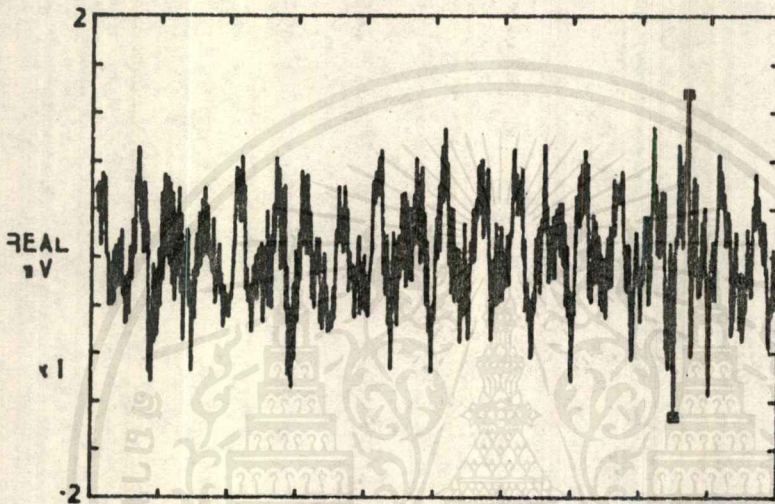
SPEED 25 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 348.879SEC Y: 1.3674uV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

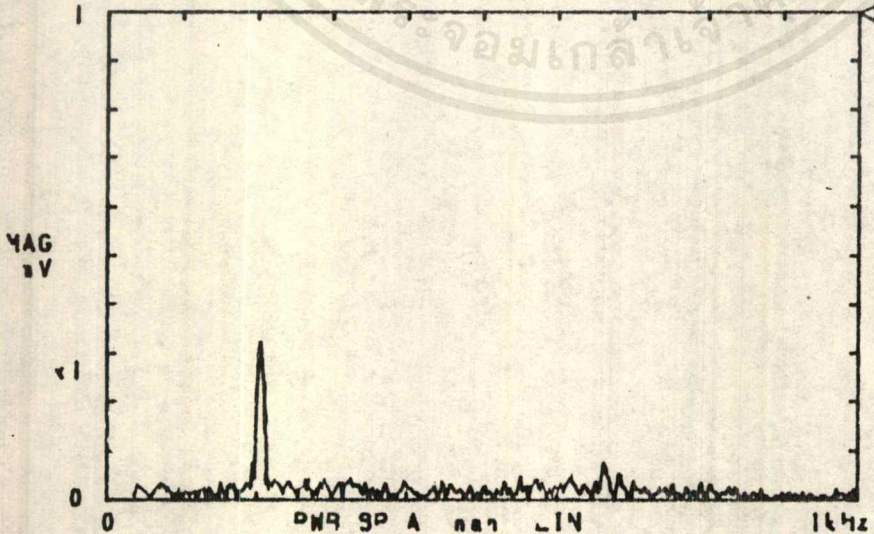
TIME A LIN 0.49SEC
X: 339.459SEC Y: -1.3288uV

08/03/83 17:28

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1uV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

08/03/83 17:22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

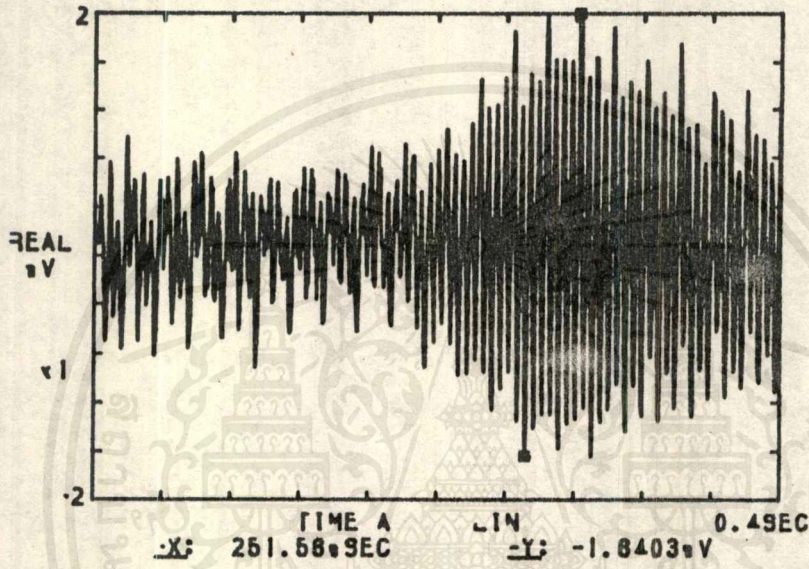
SPEED 30 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 282.429SEC Y: 1.8888mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

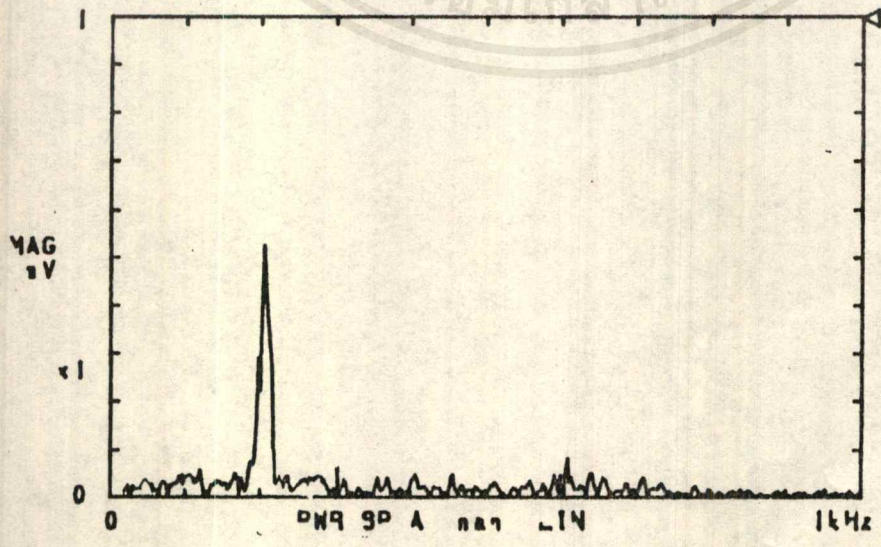
SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

08/03/83 17:34

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
option
SMPL CLK
INT

08/03/83 17:31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

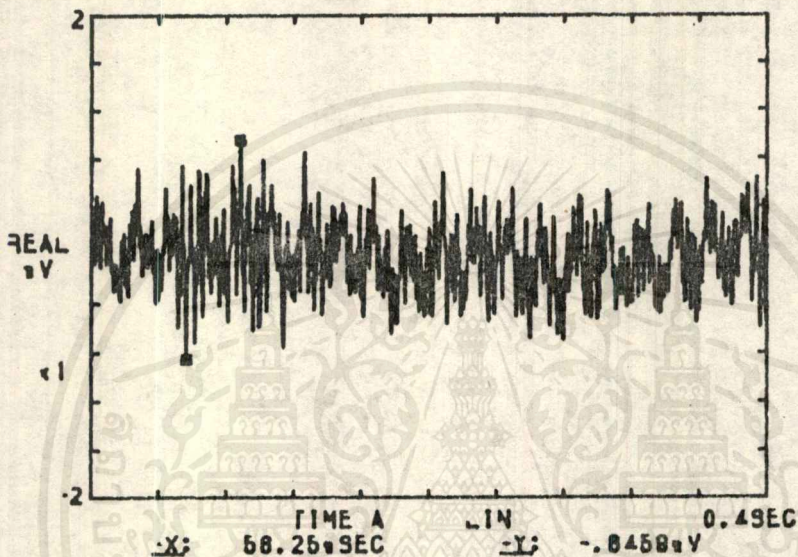
SPEED 35 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

rX: 88.28mSEC rY: .8554mV

MASS MEM
 BL: 1
 Q: 0



AMP RANG
 MANUAL

DC CANG
 OFF
 AD OV. C
 OFF

INPT SIG
 MEASURE
 FILTER
 ON

SIG OUT
 option
 9MPL CLK
 INT

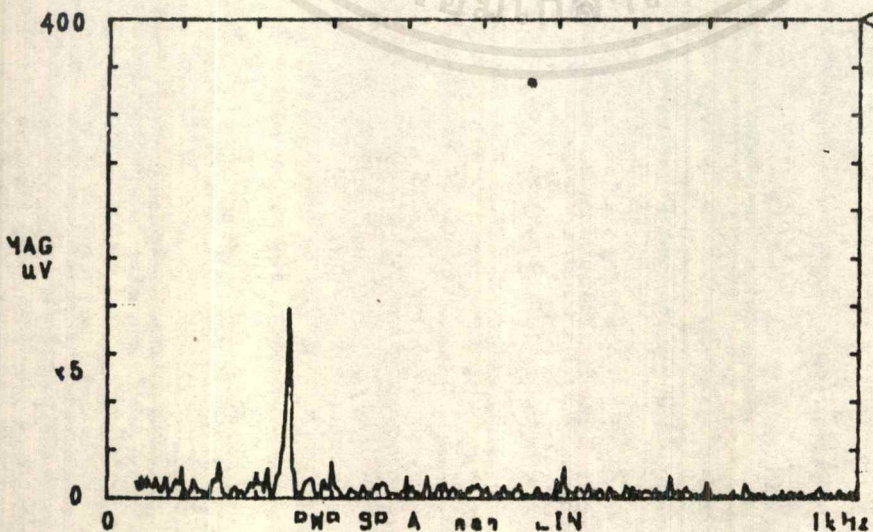
rX: 58.26mSEC rY: -.8458mV

08/03/83 17:50

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

MASS MEM
 BL: 1
 Q: 0



AMP RANG
 MANUAL

DC CANG
 OFF
 AD OV. C
 OFF

INPT SIG
 MEASURE
 FILTER
 ON

SIG OUT
 option
 9MPL CLK
 INT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 08/03/83 18:09
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

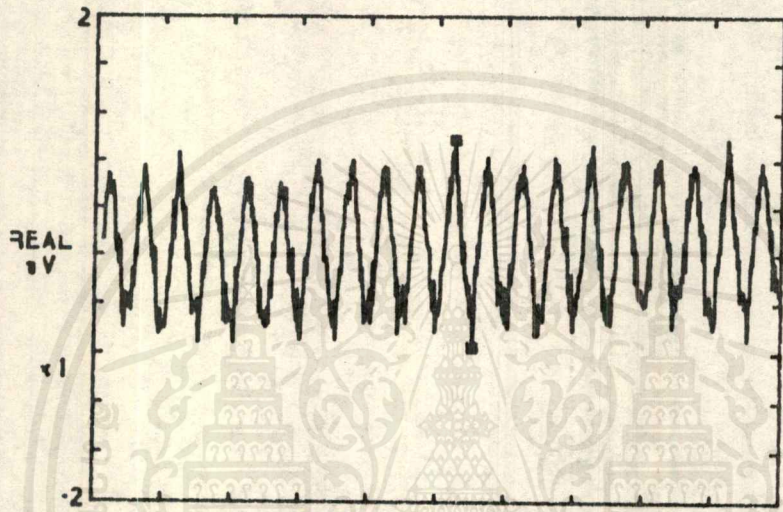
SPEED 40 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/16 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

X: 208.77mSEC Y: .9758mV

MASS MEM
BL: 1
R: 0



AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
OPTION
SMPL CLK
INT

TIME A LIN 0.49 SEC
X: 220.70mSEC Y: -.7507mV

08/03/83 18:02

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:AC/ 50V INST 0/16 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

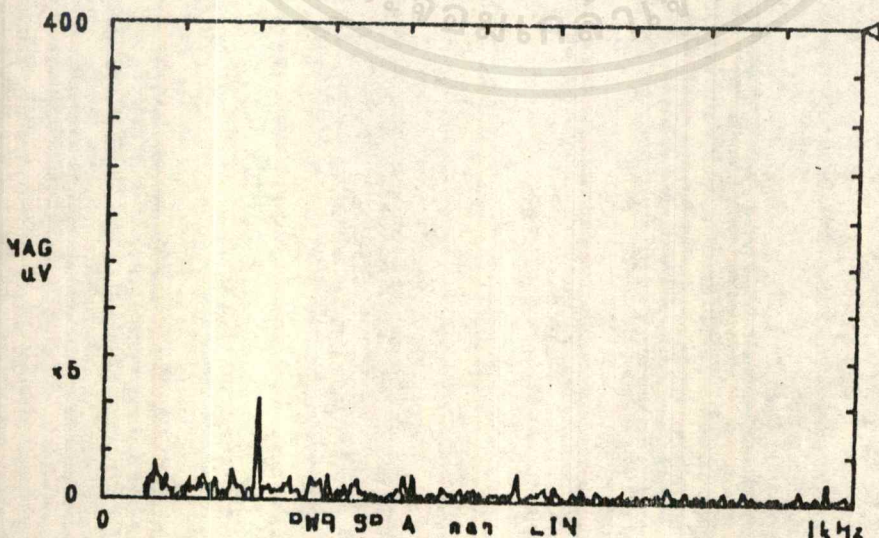
MASS MEM
BL: 1
R: 0

AMP RANG
MANUAL

DC CANG
OFF
AD OV. C
OFF

INPT SIG
MEASURE
FILTER
ON

SIG OUT
OPTION
SMPL CLK
INT

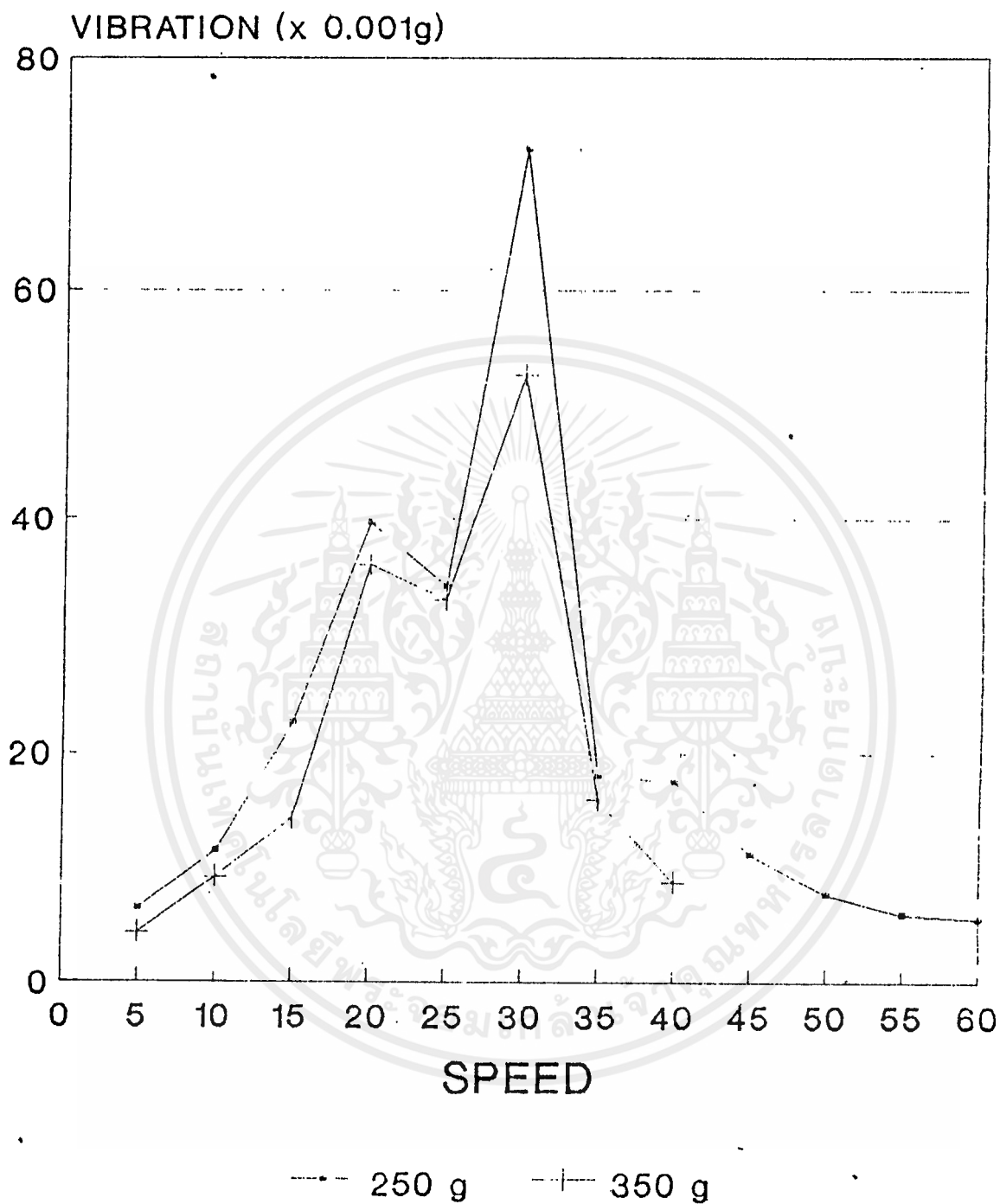


ผลการทดลอง STEPPING MOTOR ซีรีส์ SHIM 2 แผ่น

SPEED	250 g.	350 g.	450 g.	550 g.
60	0.0056g	-	-	-
55	0.006g	-	-	-
50	0.0078g	-	-	-
45	0.0112g	-	-	-
40	0.0175g	0.0088g	-	-
35	0.018g	0.016g	-	-
30	0.07201g	0.05272g	-	-
25	0.03408g	0.033g	-	-
20	0.03962g	0.036g	-	-
15	0.02252g	0.0144g	-	-
10	0.0115g	0.0092g	-	-
5	0.0065g	0.0044g	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTOR WITH 3 SHIMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 10 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

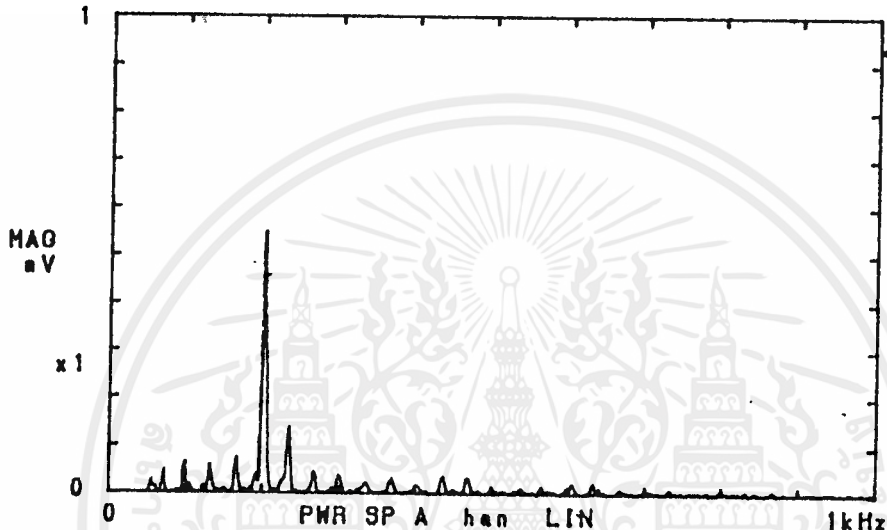
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-18
T. ONLY



08/03/83 18:12

SPEED 10 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

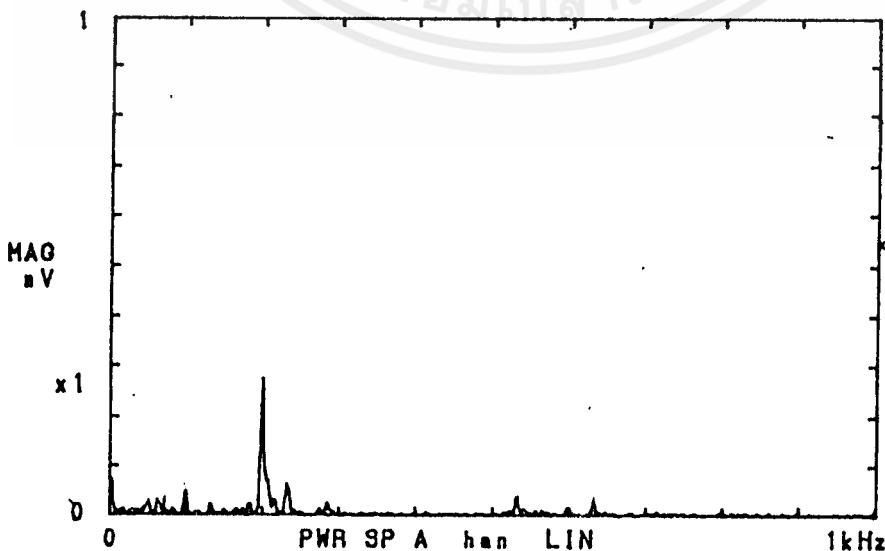
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-18
T. ONLY



08/03/83 18:07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED .10 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

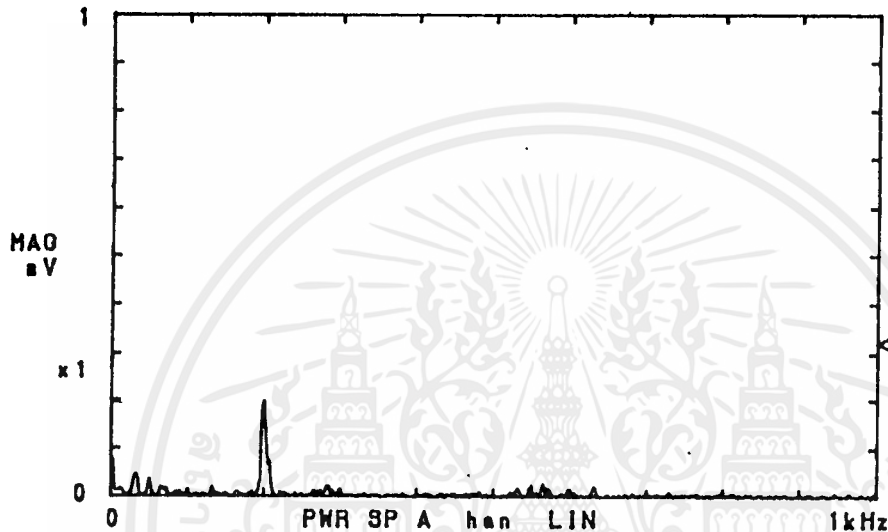
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



09/03/93 18:15

SPEED 20 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

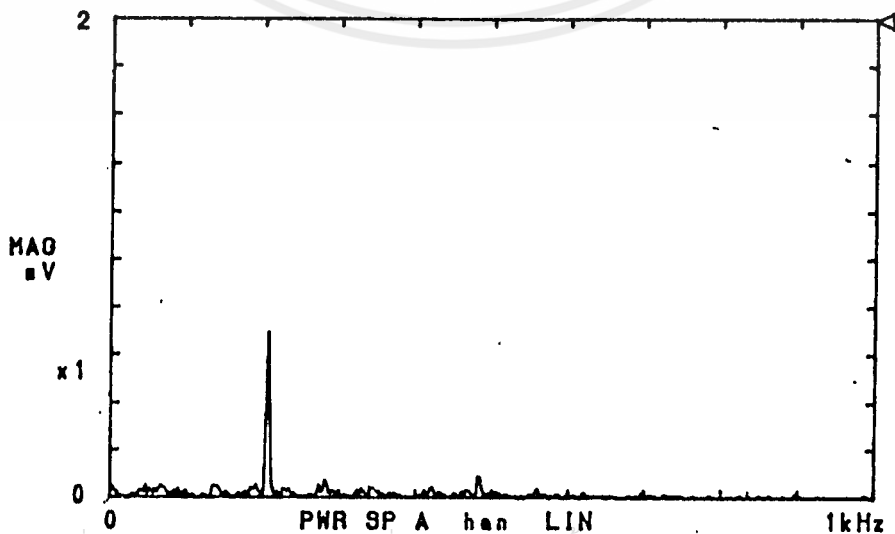
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



09/03/93 18:27

SPEED 20 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

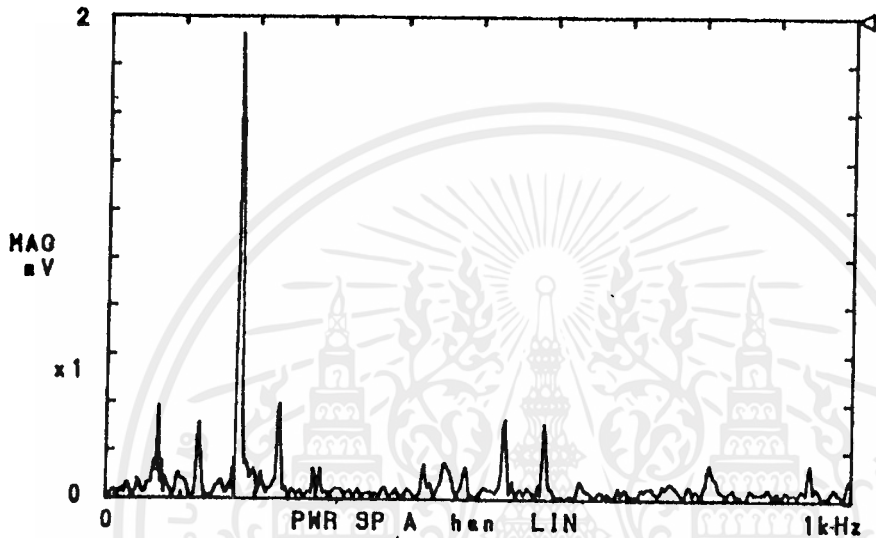
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



09/03/89 18:38

SPEED 20 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 2mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

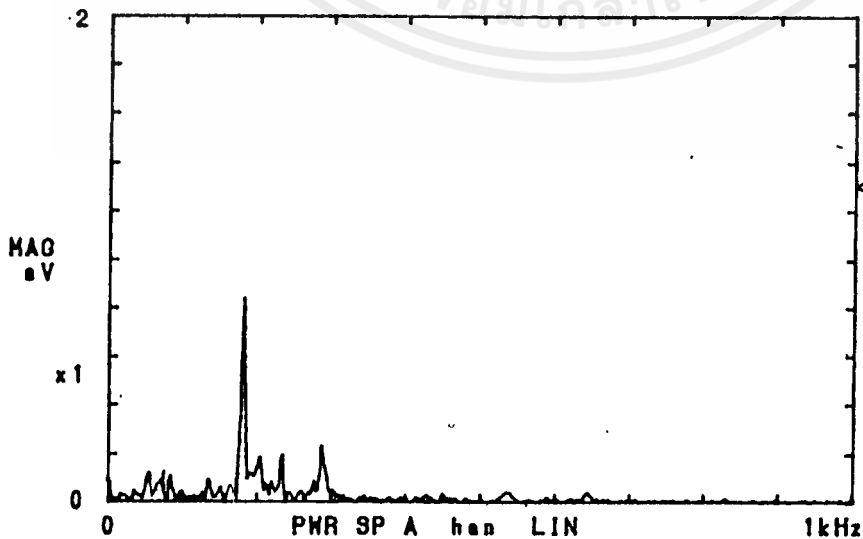
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



09/03/89 18:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำเพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 30 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

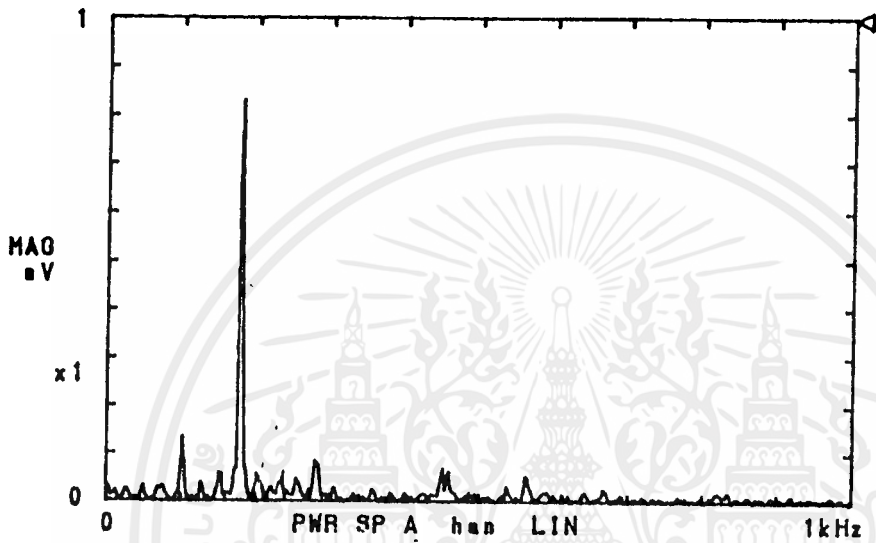
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-18
T. ONLY



09/03/83 18:42

SPEED 30 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

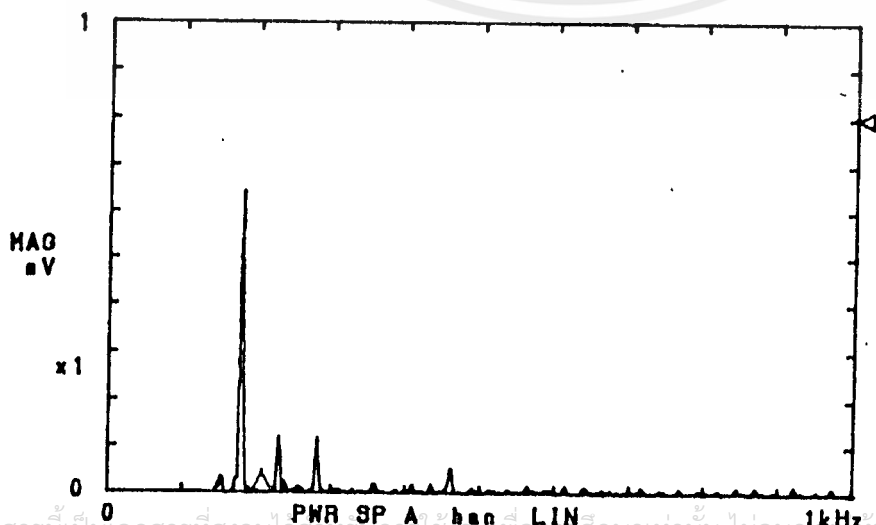
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-18
T. ONLY



09/03/83 18:45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของศูนย์บริการไปใช้

SPEED 40 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

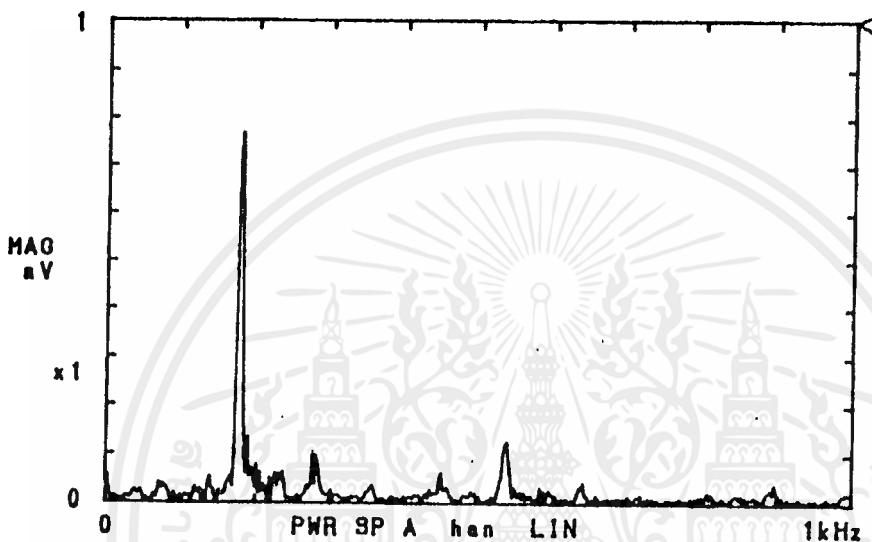
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



08/03/83 18:52

SPEED 30 RPM. MASS 450 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

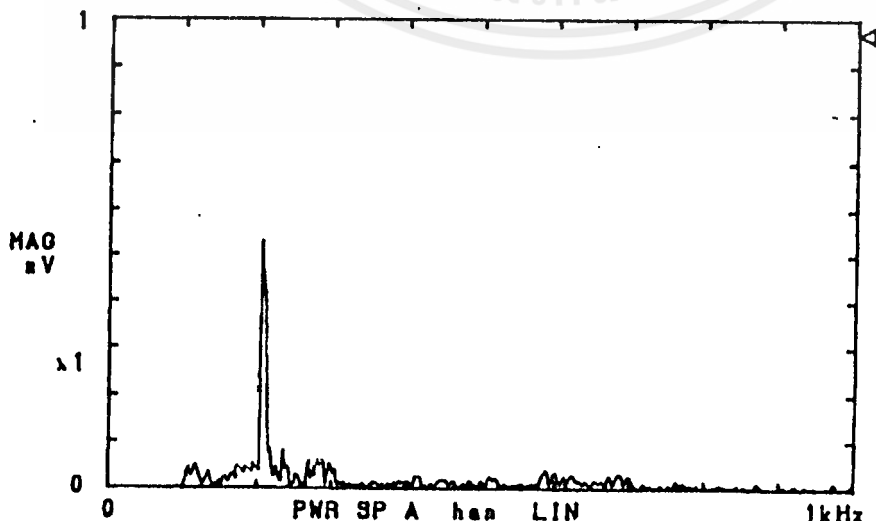
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



08/03/83 18:48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 40 RPM. MASS 350 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

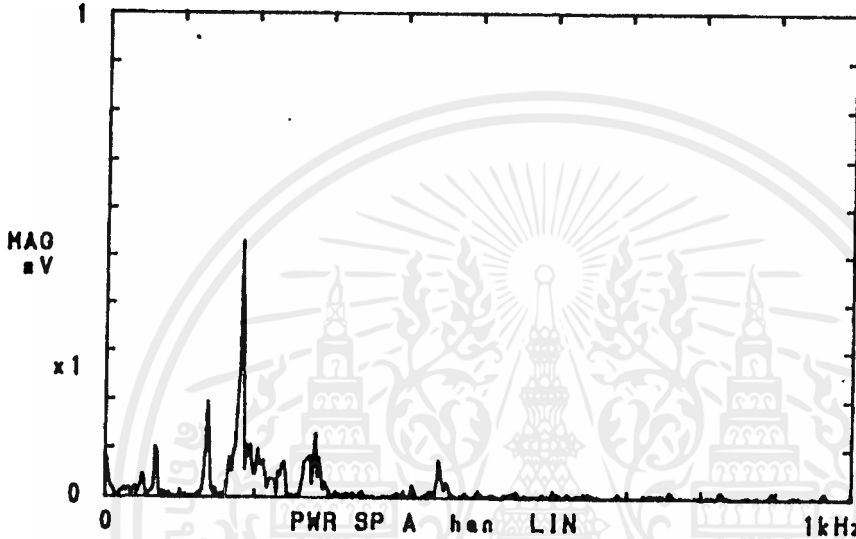
MASS MEM
 BL: 1
 R: 0

PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 OP-1B
 T. ONLY



09/03/83 16:57

SPEED 50 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
 1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
 SP SUM

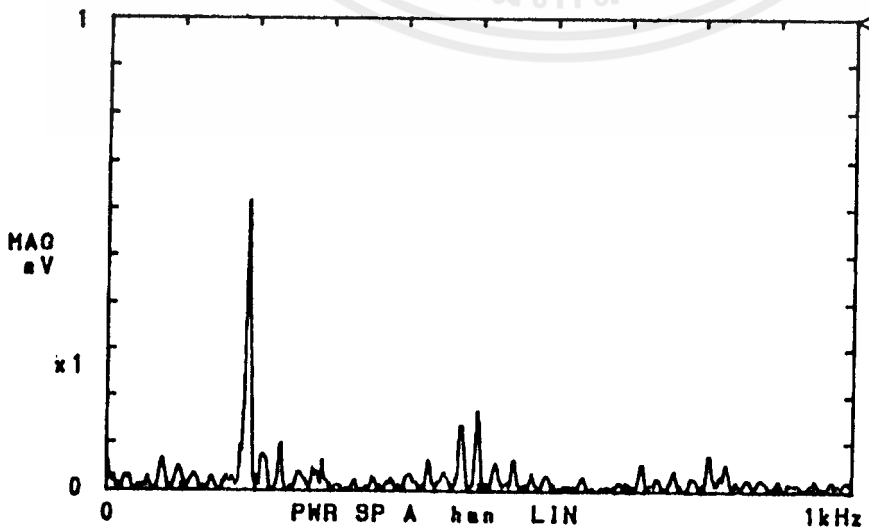
MASS MEM
 BL: 1
 R: 0

PLOTTER
 PLOT 2

DATA
 PEN 1
 FRAME
 PEN 1

CHARACT
 PEN 1
 FEED
 ON

SOURCE
 CRT
 ARRY NUM
 130
 OP-1B
 T. ONLY



09/03/83 17:02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED 60 RPM. MASS 250 g.

CF-350 PORTABLE DUAL CHANNEL FFT ANALYZER
1kHz A:AC/ 1mV B:DC/ 50V INST 0/18 DUAL 1k

AVERAGE
SP SUM

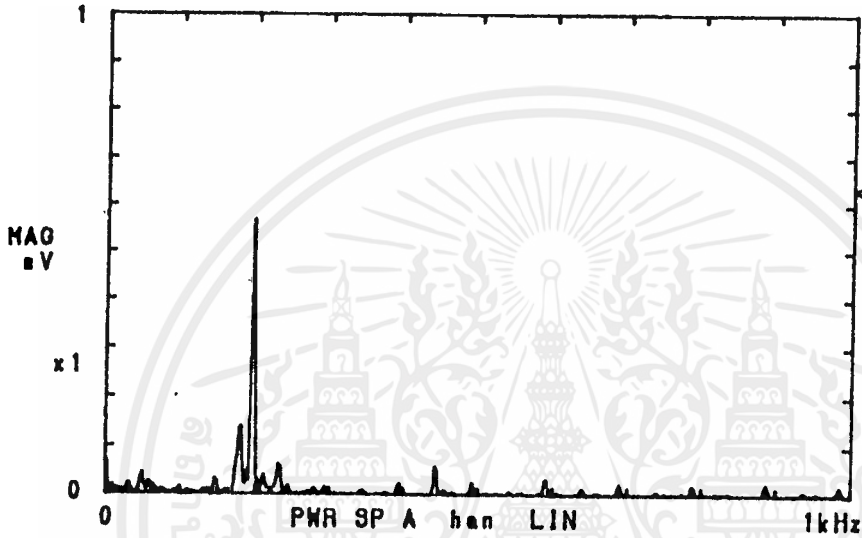
MASS MEM
BL: 1
R: 0

PLOTTER
PLOT 2

DATA
PEN 1
FRAME
PEN 1

CHARACT
PEN 1
FEED
ON

SOURCE
CRT
ARRY NUM
130
OP-1B
T. ONLY



08/03/83 17:07

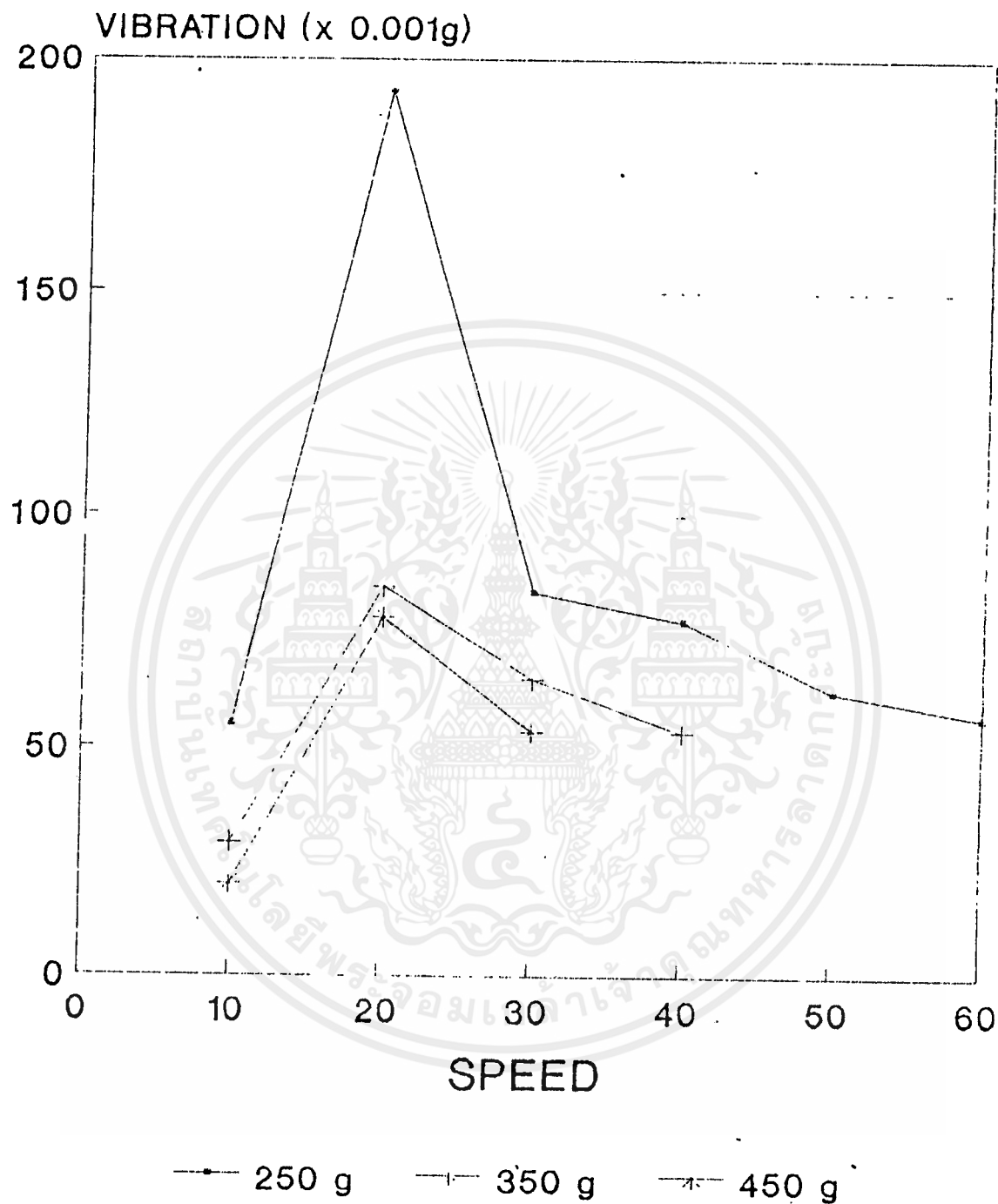
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง STEPPING MOTOR ใช้งาน SILICONE

SPEED	250 g.	350 g.	450 g.	550 g.
60	0.05677g	-	-	-
50	0.06214g	-	-	-
40	0.07714g	0.0535g	-	-
30	0.08319g	0.06476g	0.05353g	-
20	0.19315g	0.08445g	0.078g	-
10	0.055g	0.029g	0.01983g	-

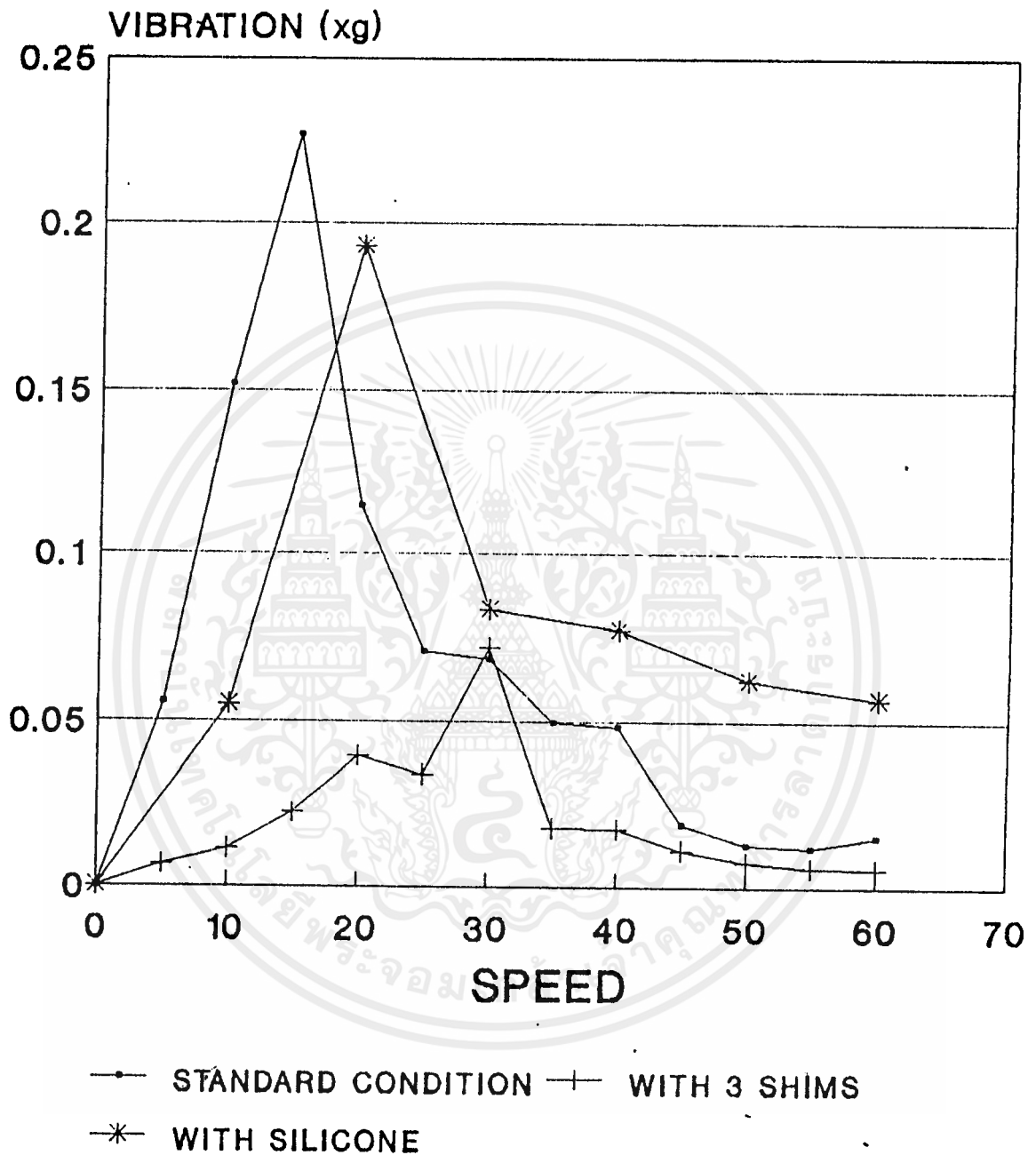
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTOR WITH SILICONE



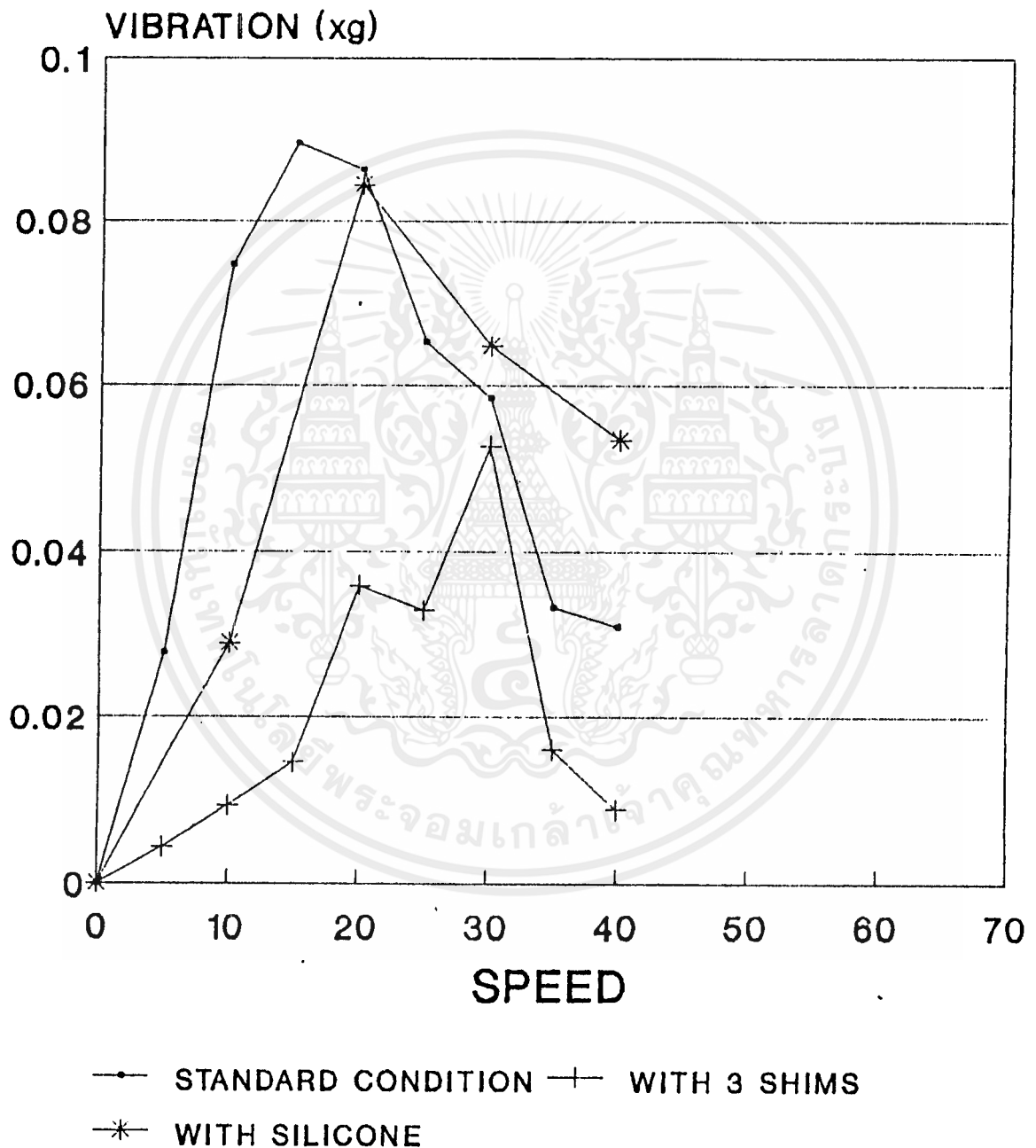
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF DIFFERENT CONDITION AT LOAD 250 g.



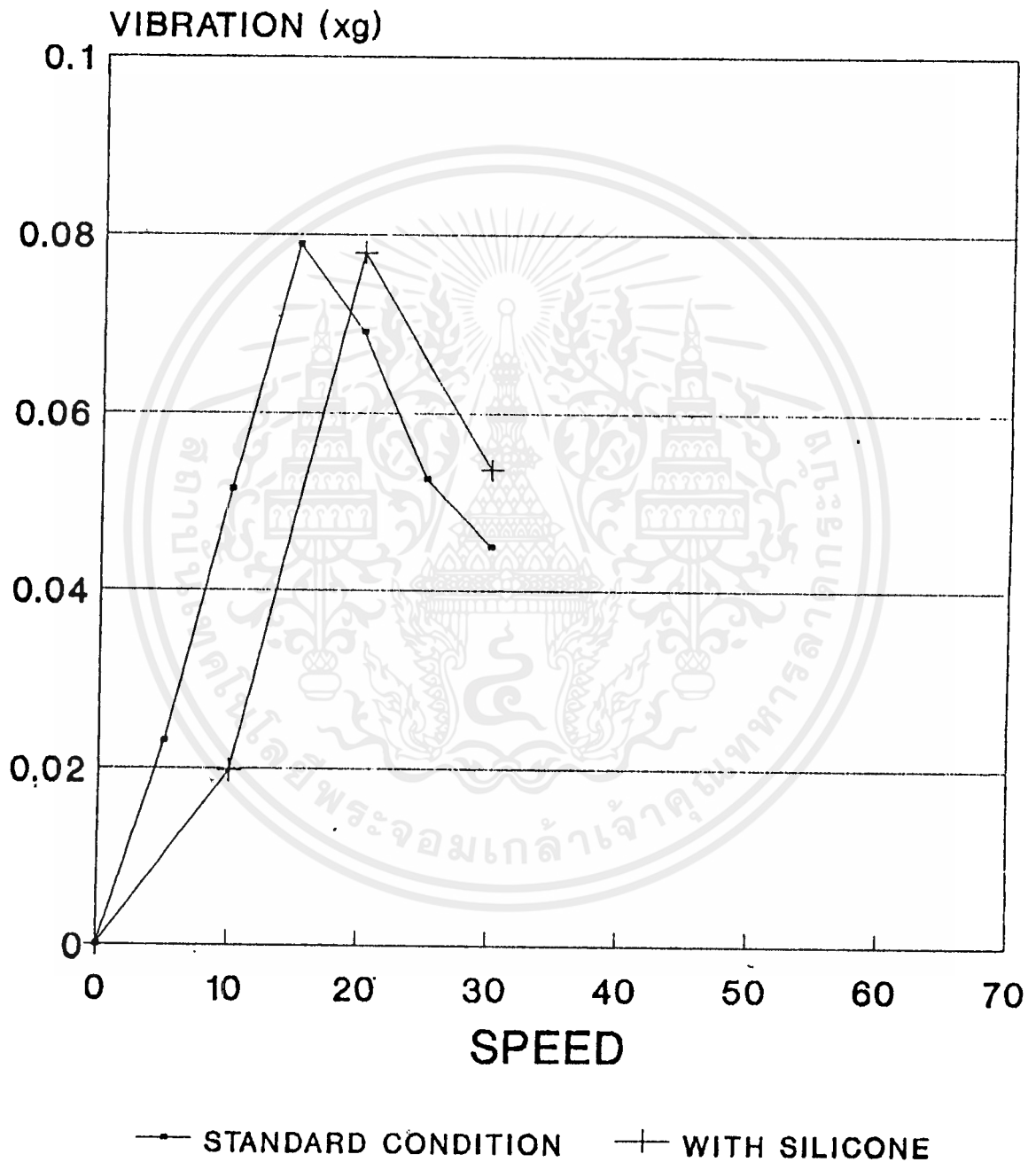
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF DIFFERENT CONDITION AT LOAD 350 g.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF DIFFERENT CONDITION AT LOAD 450 g.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองเราใช้ ACCELEROMETER เป็น SENSOR ในการวัดความสั่นสะเทือนของหลัก ลูกปืนซึ่งบรรจุใน STEPPING MOTER เมื่อนำมาพล็อตกราฟ จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบเดียวกันความสั่นสะเทือนลดลงเมื่อเพิ่มภาระให้มอเตอร์ และเมื่อพิจารณาที่ภาระงานเท่ากัน ความสั่นสะเทือนมีแนวโน้มสูงขึ้นถึงที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มเรื่อยๆ ความเร็วรอบดังกล่าวจะมีความสั่นสะเทือนสูงชันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของแบริ่งจึงเกิด RESONANCE

เมื่อเพิ่ม SHIM อีก 2 แผ่น จะพบว่ามีการสั่นสะเทือนน้อยลง และเมื่อทา SILICONE เป็นฟิล์มบางๆ ก็พบว่า ความสั่นสะเทือนลดลงด้วยเช่นกัน

วิจารณ์

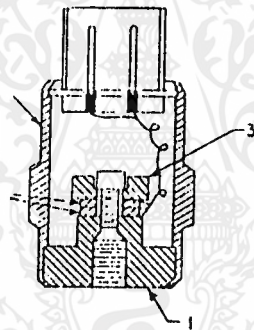
จากการทดลองอาจจะได้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากทฤษฎี เนื่องจากสาเหตุบางประการดังนี้

1. ความแม่นยำในการวัด TORQUE การวัด TORQUE ทำได้ยาก เนื่องจากเป็น DYNAMIC TORQUE ต้องวัดขณะที่มอเตอร์หมุน
2. เนื่องจากสิ่งแวดล้อมภายนอกมีความสั่นสะเทือน ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (NOISE) ต่อระบบ ทำให้ความสั่นสะเทือนของระบบมีค่าสูงขึ้น
3. การทา SILICONE เป็นฟิล์มบางๆ เพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนทำได้ยาก เนื่องจากขาดอุปกรณ์และความชำนาญ
4. การติดตั้ง ACCELEROMETER ทำให้นั่นนอนได้ยากเพราะผิวหน้าของ MOUNT ต้องเรียบสนิทจริง จึงจะส่งสัญญาณสั่นสะเทือนได้ดี
5. มอเตอร์จะรับภาระ (LOAD) ได้น้อยลง เมื่อทำการเพิ่ม SHIM 2 แผ่น หรือทา SILICONE ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ทุกค่าภาระ (LOAD) เนื่องจากความผิดพลาดในขณะถอดมอเตอร์

ภาคผนวก ก.

ACCELEROMETER

ACCELEROMETER จะใช้หลักการที่ต่างกันเพื่อศึกษา VIBRATION ACCELEROMETER ประกอบด้วย PIEZOELECTRIC CRYSTAL ซึ่งถูกประกอบด้วย ACCELEROMETER CASE และมวลก้อนเล็กๆ PIEZOELECTRIC CRYSTAL มีคุณสมบัติในการสร้างประจุไฟฟ้า ในปริมาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากกระทำ เมื่อ ACCELEROMETER ถูกติดตั้งกับเครื่องจักรที่มีการสั่น การสั่นจะทำให้มวลก้อนเล็กๆ นั้นอัด PIEZOELECTRIC CRYSTAL ในระหว่างรอบของการสั่น การอัดนี้ทำให้ความต่างศักย์ที่ออกจาก PIEZOELECTRIC CRYSTAL เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่งในการสั่น รูปที่ 1 แสดงรูปโครงสร้างของ ACCELEROMETER



ACCELEROMETER มีช่วงความถี่ใช้งานทั่วไปที่ 120-60,000 rpm. สำหรับชนิดพิเศษสามารถใช้ได้กับความถี่สูงและต่ำกว่านี้ เนื่องจากช่วงใช้งานกว้าง ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ช่วง AMPLITUDE กว้าง ทนทานต่อแรง SHOCK และทนอุณหภูมิสูง ACCELEROMETER จึงสามารถใช้งานได้หลากหลายที่สุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะเฉพาะของมัน ACCELEROMETER จะมี OUTPUT ต่ำที่ IMPEDANCE สูงซึ่งหมายความว่า การป้องกันไม่ให้สัญญาณที่ส่งผ่านเกิด GROUND LOOP , ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE และการสั่นสะเทือนของสายหรือ CONNECTER

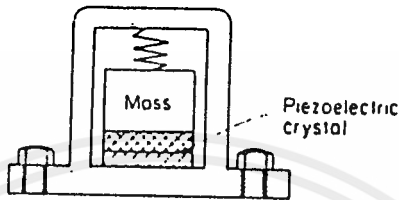
นอกจากการวัดความเร่ง ACCELEROMETER สามารถใช้เพื่อวัดความเร็ว และการขจัด เมื่อใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถอินทิเกรต หรืออินทิเกรต 2 ชั้น เมื่อมีการอินทิเกรต 2

ชั้นจะสูญเสียช่วงความถี่หรือความสามารถในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำไปบางส่วน

เนื่องจากเกิดสัณญาณรบกวนในอุปกรณ์ในขบวนการอื่นที่เกเรด

อุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน มีหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนคือ

SEISMIC UNIT ตามรูป



พิกัดความถี่ที่ใช้ การขจัด ความเร็ว หรือความเร่งถูกวัดจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของมวลแขวนลอย (SUSPENDED MASS) กับภาชนะที่บรรจุ (CASE)

การที่จะกำหนดพฤติกรรมของเครื่องมือนี้เราอาศัยสมการการเคลื่อนที่ของมวล m

$$mx = -c(x-y) - k(x-y)$$

โดยที่ x และ y เป็นการขจัดของ seismic mass และโครงสร้างของมัน (BODY) ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองค่าถูกวัดโดยสัมพันธ์กับแกนอ้างอิงเฉื่อย (INERTIA REFERENCE) ให้การขจัดสัมพัทธ์ของมวล m กับภาชนะที่บรรจุเป็น

$$z = (x-y)$$

และสมมติให้การเคลื่อนที่ของโครงสร้างของมันเป็น $y = Y \sin \omega t$ จะได้สมการ

$$mz + cz + kz = m\omega^2 Y \sin \omega t$$

แทน x และ $m\omega^2$ ด้วย z และ $m\omega^2 Y$ ตามลำดับ และจาก $z = Z \sin(\omega t - \phi)$ จะได้

$$Z = \frac{m\omega^2 Y}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{Y(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{(1-(\omega/\omega_n)^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_n)^2}}$$

และ

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{k-m\omega^2} = \frac{2\zeta\omega/\omega_n}{1-(\omega/\omega_n)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญก็คืออัตราส่วนความถี่ w/w_n

ACCELEROMETER ใช้เมื่อความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์สูงกว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

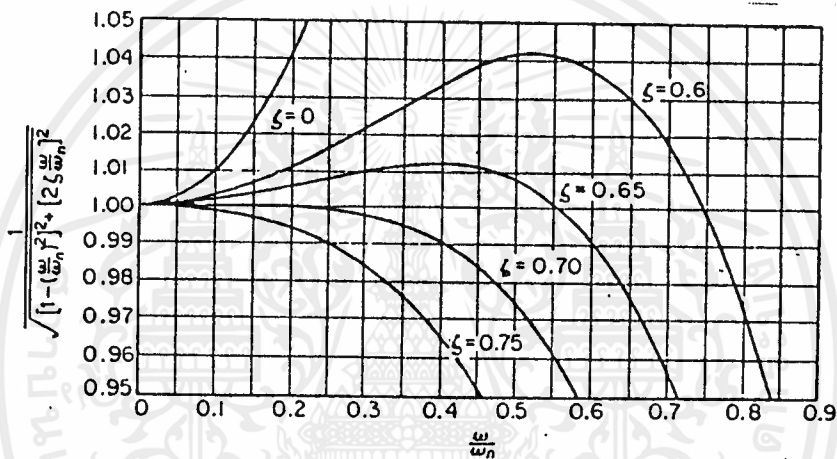
อุปกรณ์จะเป็นตัวบอกความเร่งที่เกิดขึ้น

ค่า $\sqrt{(1-(w/w_n)^2)^2 + (2\zeta w/w_n)^2}$ เข้าใกล้ 1 เมื่อ w/w_n เข้าใกล้ศูนย์ จะได้

$$Z = w^2 Y / w_n^2 = \text{ความเร่ง} / w_n^2$$

ดังนั้น Z เป็นสัดส่วนกับความเร่งของการเคลื่อนที่ที่วัดด้วยตัวประกอบ $1/w_n^2$

ชานพิกัดการใช้งานดูได้จากรูป



สำหรับค่า ζ ต่างๆ รูปจะแสดงให้เห็นว่าพิกัดความถี่ที่ใช้งานของ ACCELEROMETER แบบ UNDAMPED ถูกจำกัดอยู่ อย่างไรก็ตาม ที่ค่า $\zeta = 0.7$ พิกัดความถี่ใช้งาน $0 < w/w_n < 0.2$ มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 % ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีความถี่ธรรมชาติ 100 Hz จะมีพิกัดใช้งานอยู่ที่ 0-20 Hz และมีค่าผิดพลาดน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ใน ACCELEROMETER ที่ใช้งานที่ความถี่สูง ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เพื่อสร้างประจุไฟฟ้าเมื่อมีการกดหรือบิดงอของผลึก รูปต่อไปนี้จะแสดง ACCELEROMETER ความถี่ธรรมชาติของมิเตอร์นี้สูงมาก คือประมาณ 50,000 Hz ซึ่งใช้วัด ความเร่งได้สูงถึง 3000 Hz ขนาดของมันเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 ซม. สามารถทนแรงกระแทกได้ถึง 10,000g

ความไวของ ACCELEROMETER แบบผลึกถูกกำหนดในเทอมของประจุไฟฟ้า (PICO COULOMBS) = $pc = 10^{-12}$ COULOMBS ต่อ g หรือในเทอมของแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ซื้อหรือผู้ขายเอกสารฉบับนี้มีการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(millivolts = mV = 10^{-3}) ต่อ g เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าตามสมการ $E = Q/C$ ค่าการเก็บประจุ (CAPACITANCE) ของผลึกและค่าการเก็บประจุที่ต่อขนานต้องระบุเอาไว้ด้วย โดยทั่วไปความไวสำหรับ ACCELEROMETER แบบผลึก คือ 25 pC/g ต่อค่าการเก็บประจุ 500 pF จากสมการ $E = Q/C$ จะได้ $25/500 = 0.050V/g = 50 \text{ mV/g}$ สำหรับความไวในเทอมของแรงดันไฟฟ้า ถ้า ACCELEROMETER ถูกต่อกับโวลต์มิเตอร์แบบสัญญาณศาสตร์โดยผ่านทางสายสัญญาณที่มีค่าการเก็บประจุ 300 pF แรงดันไฟฟ้า OUTPUT จากสมการ open circuit จะลดลงเป็น

$$50 \times 500 / (500 + 300) = 31.3 \text{ mV/g}$$

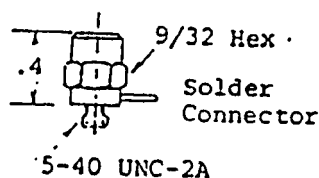
การสูญเสียของสัญญาณเช่นนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้ charge amplifier ซึ่งทำให้ค่าการเก็บประจุของสัญญาณไม่มีผล

ACCELEROMETER ขนาดเล็ก 303A ICP ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในการตอบสนองความถี่สูงโดยเฉพาะ อุปกรณ์ขนาดเล็กนี้ทำให้มันเหมาะสมสำหรับการวัดการสั่นสะเทือนและการกระตุกซึ่งมีขนาดเล็กๆ มีผลต่อการวัดมาก

IMPEDANCE CONVERTER ซึ่งเป็นส่วนประกอบภายในอุปกรณ์นี้ จะแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ IMPEDANCE สูงจากผลึกไปเป็นสัญญาณ IMPEDANCE ต่ำที่ระดับ 10mV/g สายสัญญาณแบบ CO-AXIAL สายเดี่ยว หรือสองสายบิดพันกัน ทำหน้าที่เชื่อม 303 กับแหล่งจ่ายไฟเพื่อความง่ายในการใช้สัญญาณที่ยาวได้ถึง 1000 ft. โดยไม่มีการสูญเสียสัญญาณมากเกินไป และไม่มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณ

ส่วนประกอบ

ชุด 303A แบ่งออกเป็น 3 แบบด้วยกันคือ 303A , 303A02 และ 303A03 ชนิดที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ 303A ตามรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูแบบลงเนื้อหาและตัวอย่างจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ 303A ประกอบด้วยปฏิกิริยาตั้งขนาด 5-40 และขั้วเชื่อมซึ่งติดตั้งในแนวรัศมี
แบบ 303A นี้เป็นแบบที่นิยมใช้ในงานต่างๆไปและใช้ประยุกต์ใช้งานได้มากที่สุด

ทั้ง 3 แบบมีส่วนประกอบภายในเหมือนกัน คือประกอบด้วยผลึกต่ออยู่กับ FET ซึ่ง
จ่าย VOLTAGE เปลี่ยนแปลงตามแหล่งกำเนิด แต่มีค่า IMPEDANCE ต่างๆ

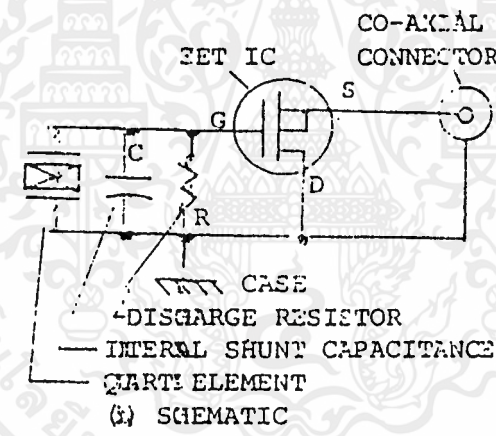
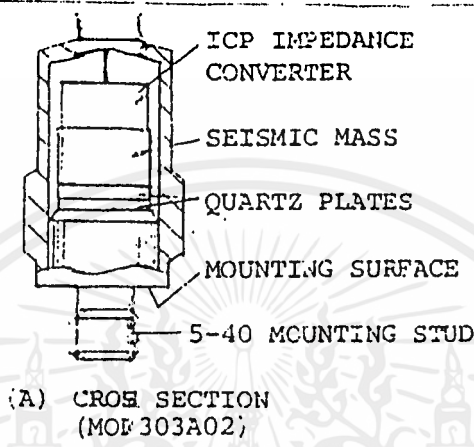


FIGURE 4
SERIES 303

ค่า TIME CONSTANT ของการคายประจุ (TC) เป็นผลคูณของค่าความจุซึ่งต่อ
ขานาน (C) กับค่าความต้านทานการคายประจุ (DISCHARGE RESISTANCE)

$$TC \text{ (วินาที)} = R \text{ (โอห์ม)} \times C \text{ (ฟารัด)}$$

ค่า TC มีความสัมพันธ์กับผลการตอบสนองความถี่ต่ำตามความสัมพันธ์

$$f_0 = 0.16/TC$$

f_0 = ความถี่ต่ำกว่า -3 dB Hz

TC = ค่า TIME CONSTANT ของการคายประจุตามสมการของ TC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TC ของชุด 303 ประมาณ 1 วินาที ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจะเป็น 0.16 Hz

เปลือกนอกของ ACCELEROMETER มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 ทำให้ไม่เกิดปัญหา NOISE เพราะ IMPEDANCE ต่ำของตัวขยายภายใน

การแยกวงจรออกจากกันมีความสำคัญมาก ควรขอคำปรึกษาจากโรงงาน

การติดตั้ง

เพราะว่าชุด 303 มีขนาดเล็ก และใช้กับความถี่สูงจึงมีความสำคัญมากที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์อย่างถูกต้อง

การส่งถ่ายความถี่สูงที่ติดตั้งในฐานของ 303 ขึ้นอยู่กับการสัมผัสระหว่างฐานกับพื้นผิวติดตั้งว่าสนิทเพียงไร

การติดตั้งแบบ 303 A

สำหรับแบบ 303A ต้องทำรูซึ่งผ่านการตีบเกลียวไว้แล้ว และเตรียมผิวหน้าที่จะทำการติดตั้ง

ผิวสัมผัสของฐานติดตั้งซึ่งต้องติดกับฐานของ ACCELEROMETER จะต้องทำให้เรียบและราบพอ

โซลิดโคนอาจถูกป้ายเป็นฟิล์มบางๆ ระหว่างผิวสัมผัสเพื่อช่วยในการส่งถ่ายสัญญาณที่ดีขึ้นในความถี่สูง โดยที่ ACCELEROMETER ไม่หลุดออกมาระหว่างใช้

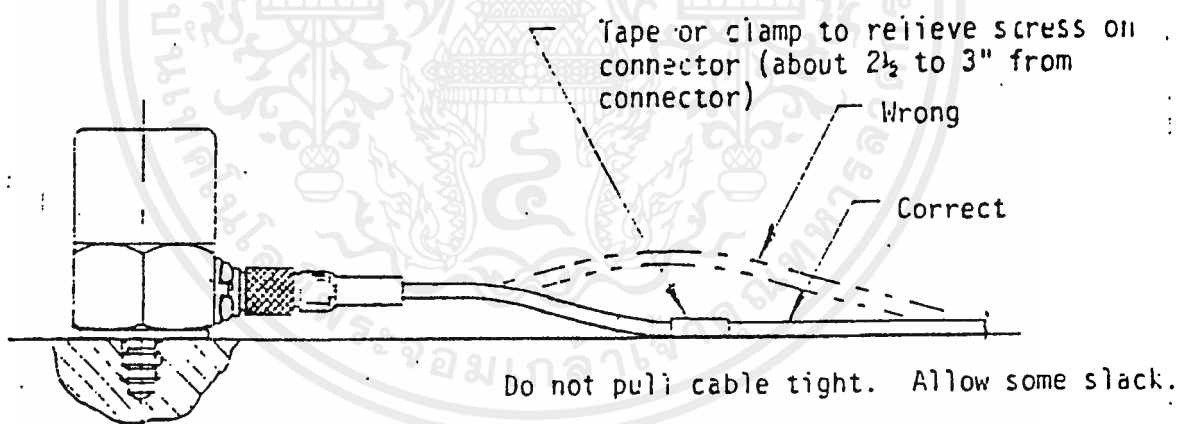
แรงบิดในการติดตั้ง

เนื่องจากเป็นขนาดเล็กมาก ปุ่มติดตั้งอาจถูกบิดออกอย่างง่าย ๆ โดยใช้แรงบิดไม่มากนัก คือประมาณไม่เกิน 5 in.lbs.

ในการติดตั้งถ้าไม่มีประแจทอร์ค ก็ให้บิดอุปกรณ์ด้วยอุปกรณ์อื่นโดยให้มีความแน่นมากกว่าแรงบิดจากมือเล็กน้อย โดยใช้ประแจเล็กๆ

ข้อแนะนำในการใช้งาน

1. ระดับการกระตุ่น (SHOCK LEVELS) ถูกระบุเอาไว้ใน SPECIFICATION แล้ว อย่าใช้สูงกว่าที่ระบุไว้
2. อย่าใช้แรงบิดมากเกินไปในการติดตั้ง
3. อย่าติดตั้งอุปกรณ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 F
4. อย่าป้อนแรงดันไฟฟ้าให้อุปกรณ์โดยไม่มีกำบังกันให้กระแสไฟคงที่
5. อย่าป้อนกระแสมากกว่า 20 mA
6. อย่าป้อนแรงดันไฟฟ้าเกิน 30 V
7. อุปกรณ์จะถูกยึดด้วย EPOXY เพื่อใช้ได้ในสภาพที่มีความชื้นสูงได้เป็นเวลานาน ถ้าอุปกรณ์ไม่สามารถขยับออกมาได้ หรือมี TC น้อยลง ให้อบที่อุณหภูมิ 250 F เป็นเวลาหลายชั่วโมง



รูป 5 การติดตั้งสายสัญญาณที่ถูกต้อง

QUARTZ ACCELEROMETER

Series 303A



with built-in microelectronics & 10 mV/g sensitivity

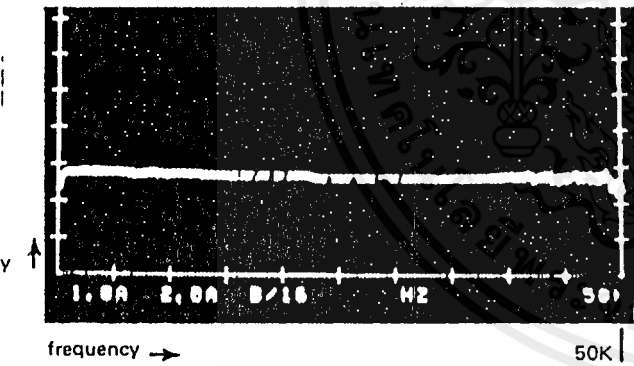
measure shock and vibration in applications requiring small size, low mass or very high frequency response.

Series 303A Quartz Accelerometers function to transfer shock and vibratory motion into high-level, low-impedance (100 ohm) voltage signals compatible with readout, recording or analyzing instruments. These tiny sensitive (10 mV/g) sensors operate reliably over wide amplitude and frequency ranges under adverse environmental conditions.

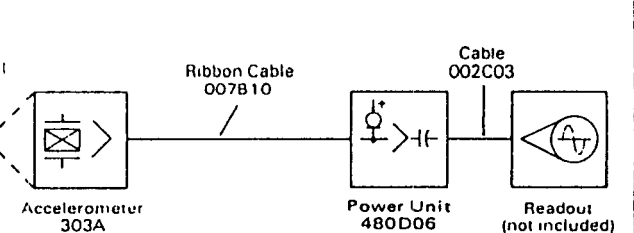
They are structured with permanently polarized compressive-mode quartz elements and a microelectronic amplifier housed in a lightweight metal case. Three different case and connector configurations give you a choice in mounting and wiring. The built-in electronics operate over a coaxial or two-conductor cable; one lead conducts both signal and power. Solder terminal versions are normally supplied with a ribbon cable (10 ft. long; Model 007B10) attached. Model 303A02 requires Model 002G coaxial cable with a Micro 5-44 connector at one end.

Test results of the behavior of the Model 303A are presented below. Note especially the sharp clean signals free of cable noise and the exceptionally high frequency response. Because of the low mass, Series 303A sensors measure motion of many light structures without appreciably changing the structure or behavior of the test object during the measuring transaction.

Frequency Response (mounted)



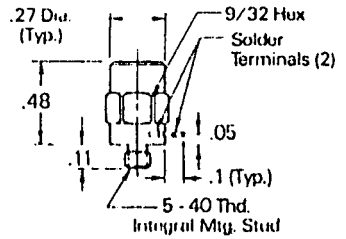
TYPICAL SYSTEM: Model GK303A Accelerometer Kit



Note: Coaxial shielded for Model 303A02 only
002G10, 10 ft long 5-44 thd. plug to 10-32 thd. plug.
002G"X" specify length "X" feet.

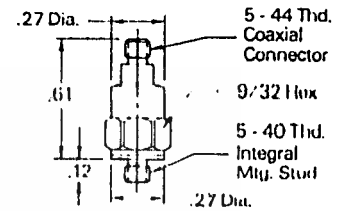


Supplied with attached 10' ribbon wire terminating in 10-32 Micro connector



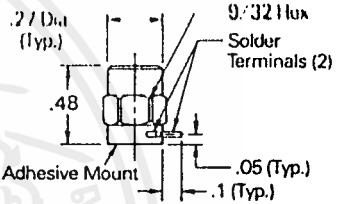
303A02

Supplied with attached 10' ribbon wire terminating in 10-32 Micro connector



303A03

Supplied with attached 10' ribbon wire terminating in 10-32 Micro connector



SPECIFICATIONS: Model No.

303A & 303A03

Range (for ±5 output)	g	±500
Resolution	g	0.01
Sensitivity (nominal)	mV/g	10
Resonant Frequency (mounted)	kHz	70
Frequency Range (±5%)	Hz	1 to 10000
Discharge Time Constant	sec	1
Linearity	%	1
Output Impedance	ohm	100
Output Bias (nominal)	V	11
Overload Recovery	microsec	10
Transverse Sensitivity (max.)	%	5
Strain Sensitivity	g/μin/in	0.05
Temperature Coefficient	%/°F	0.03
Temperature Range (operational to +250°F)	°F	-40 to +200
Vibration	g	±1000
Shock (protected)	g	2000
Size (hex. x height)	in	0.28 x 0.48
Weight (approx.)	gm	2
Connector (solder terminals)		2
Case Material		s.s.
Seal		epoxy
Excitation Voltage	V	+18 to 24
Excitation Current (constant)	mA	2 to 20

Notes:

Model 303A02 has a 5-44 micro-connector. Other specifications are the same.

Options include 080A15 adhesive mounting base, 080A16 three-axis mounting adaptor (10-32 thread) and triaxial Model 303A06.

LETTER PREFIX CODES TO KITS AND TRANSDUCERS

Letter prefixes may appear in model numbers of PCB Piezotronics products. They refer to various options available with standard products. More than one prefix may appear in a product model number (e.g. HSM 113A21 - 113A21 Pressure Transducer with hermetic seal, stainless steel diaphragm and metric mounting thread).

<u>LETTER (prefix)</u>	<u>DESIGNATION</u>
D (117B)	Dummy Conformal Plug
DKL	(484B) Kit
E	Enralon Coating
F	220V, 50-500Hz
GDKL	(484B10) Kit
GK	(480D06) Batt Kit
GKL	(482A10) Kit
GKR	Rechargeable 480D06 Kit with NiCd Batteries and 488B Charger
H	Hermetic Sealed
K	(480B Batt Pwr) Kit
KR	Rechargeable 480B Kit with NiCd Batteries and 488B Charger
KL	(482A Line Pwr) Kit
M	Metric Mounting Thread
N	Negative Polarity
P	Positive Polarity
R	Rechargeable (supplied with 488B and NiCd Batteries)
S	Stainless Steel Diaphragm
T	Momentum Trap

NOTE: Prefixes including the letter K are sensor and power kits supplied with 10 ft. input cable; power unit with 3 ft. output cable terminating in BNC, and vinyl kit storage case. Input cable length up to 50 ft. can be specified at no additional charge.

If questions, please do not hesitate to call the factory.

TABLE OF CONTENTS

<u>Section</u>	<u>Title</u>	<u>Page</u>
1.0	INTRODUCTION	1
2.0	DESCRIPTION	1
2.1	THEORY OF OPERATION	1
3.0	INSTALLATION	2
3.1	INSTALLATION, MODELS 303A and 303A02	2
3.1.1	MOUNTING TORQUE	3
3.2	INSTALLATION, MODEL 303A03	3
3.3	INSTALLING THE CABLE	3
4.0	OPERATION	3
5.0	POLARITY	5
6.0	CALIBRATION	5
7.0	MAINTENANCE AND REPAIR	5

SUPPLIED ACCESSORIES

MODEL 007B10 COAXIAL CABLE (303A, 303A03)

MODEL 002G10 COAXIAL CABLE (303A02)

LIST OF FIGURES AND ILLUSTRATIONS

<u>Fig. or Dwg. No.</u>	<u>Title</u>	<u>Page</u>
	SPECIFICATIONS	ii
303-1010-90	INSTALLATION DRAWING	
303-1020-90	INSTALLATION DRAWING	
303-1030-90	INSTALLATION DRAWING	
1	MODEL 303A	1
2	MODEL 303A02	1
3	MODEL 303A03	1
4	SERIES 303A a. CROSS SECTION (303A02) b. SCHEMATIC	2
5	ELECTRICAL TERMINALS MODEL 303A and 303A03	3
6	SYSTEM SCHEMATIC	4



SPECIFICATIONS

VOLTAGE OUTPUT QUARTZ ACCELEROMETER

REVISIONS
 F-REV ECR#2148 9/15/87
 SHEET 1 OF 1

MODEL NO		303A	303A02	303A03
RANGE (FOR ±5V OUTPUT)	±G	500	500	500
RESOLUTION	G	.01	.01	.01
USEFUL OVERRANGE	G	500	500	500
SENSITIVITY (NOMINAL)	mV/G	10	10	10
RESONANT FREQUENCY (MTD)	kHz	70	100	70
FREQUENCY RANGE (±5%)	Hz	1-10000	1-10000	1-10000
FREQUENCY RANGE (±10%)	Hz	.7-20000	.7-20000	.7-20000
DISCHARGE TIME CONSTANT ²	Sec	≥ .5	≥ .5	≥ .5
AMPLITUDE LINEARITY ¹	% FS	1	1	1
POLARITY		POSITIVE	POSITIVE	POSITIVE
OUTPUT IMPEDANCE	ohm	< 100	< 100	< 100
OUTPUT BIAS	+ volt	8 to 14	8 to 14	8 to 14
OVERLOAD RECOVERY	µSec	10	10	10
TRANSVERSE SENSITIVITY	%	≤ 5	≤ 5	≤ 5
STRAIN SENSITIVITY	G/µin/in	.05	.05	.05
TEMPERATURE RANGE	°F	-100 to +250	-100 to +250	-100 to +250
TEMP COEFFICIENT	%/°F	≤ .03	≤ .03	≤ .03
VIBRATION (MAX)	±G's peak	1000	1000	1000
SHOCK (MAX)	G	2000	2000	2000
STRUCTURE		UPRIGHT	UPRIGHT	UPRIGHT
SIZE (HEX x HEIGHT)	inch	.281 x .48	.281 x .61	.281 x .48
SEALING		EPOXY	EPOXY	EPOXY
CASE MATERIAL		ST STL	ST STL	ST STL
WEIGHT (NOMINAL)	gm	2	2.3	1.9
CONNECTOR	coaxial	SOLDER	5-44 MICRO	SOLDER
GROUND ISOLATION		NO	NO	NO
EXCITATION	+VDC/mA	24-27 / 2-20	24-27 / 2-20	24-27 / 2-20

² AT ROOM TEMPERATURE

¹ ZERO BASED BEST STRAIGHT LINE.

SUPPLIED ACCESSORIES:
 MOD 002G10 CABLE (303A02)
 MOD 007B10 CABLE (303A & A03)
 MOD 080A24 PETRO WAX

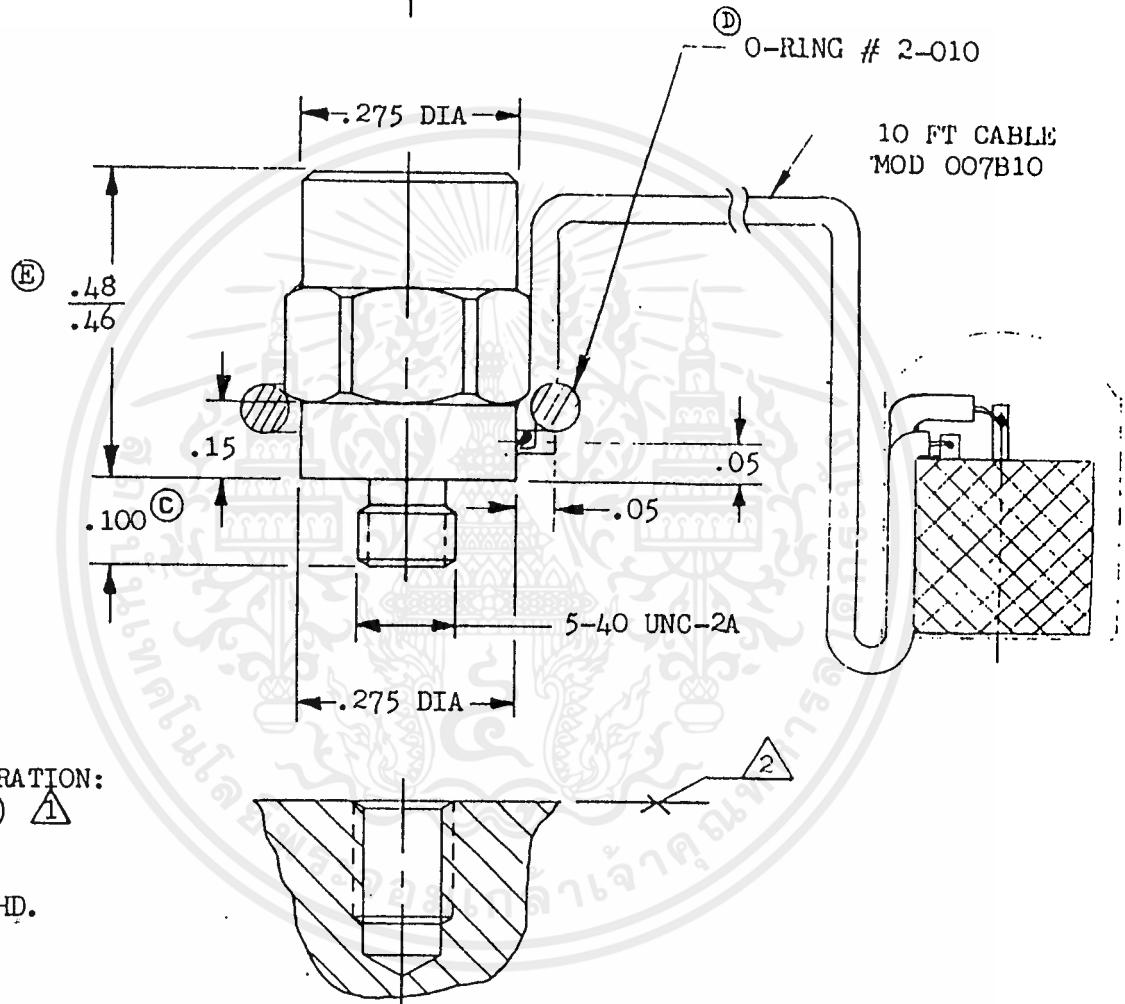
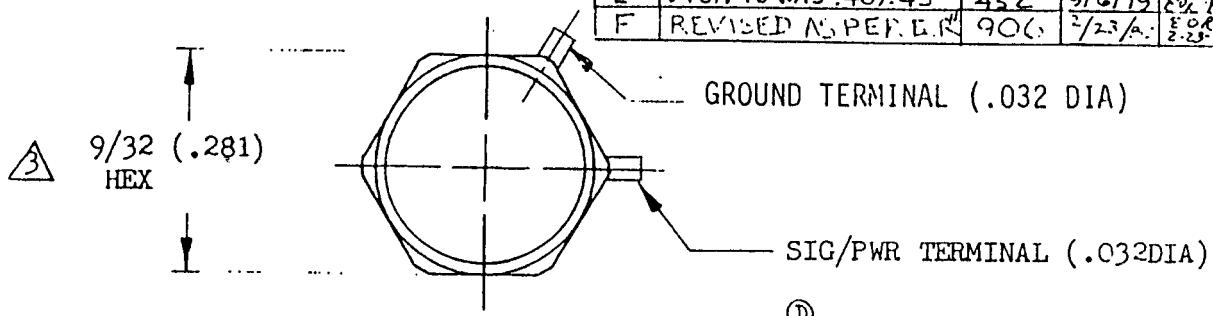
APP'D	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	SPEC No. 303-1010-80
ENGR	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	
SALES	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION			
QTY.	NEXT ASSY	USED ON	VAR

REVISED PER ECR # 1073

REVISIONS				
SYM.	DESCRIPTION	EO	DATE	APP'D
A	MOD 303A WAS 303A04		3-16-76	EOR
B	.15 WAS .10	25	11/76	
C	.100 WAS .110	126	7/77	ECR # 1073
D	ADDED CABLE & O-RING	408	3/11/79	
E	.48/.46 WAS .40/.45	452	9/6/79	
F	REVISED AS PER ECR # 1073	906	2/23/81	



DRILLING HOLE PREPARATION:
 DRILL #38 (.101 DIA) ①
 100 DEEP
 5-40 UNC-2B
 50 DEPTH PERF THD.

RECOMMENDED MOUNTING TORQUE ON 9/32 HEX 4 - 5 IN LBS
 MOUNTING SURFACE MUST BE FLAT WITHIN .001 TIR (9/32 DIA MIN) WITH A 63√ FIN.
 AXIS SHALL BE PERPENDICULAR TO MOUNTING SURFACE TO WITHIN ±1°

DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES. TOLERANCES DIMENSIONS ± 1/64 DIMENSIONS XX ± .01 DIMENSIONS XXX ± .005 DIMENSIONS ± 1/2 DEG. DIMENSIONS SHARP EDGES DIMENSIONS 0 - 005	MATERIAL HEAT TREAT EXCEPT AS NOTED FIN ✓	DRAWN E. OR. 10-27 75 MFG. J.T. 10/76	pcb piezotronics, inc. BUFFALO, NEW YORK 14225	
		CHECKED EOR 10/76 ENGR. J.T. 11/76	APP'D J.T. 10/76 RELEASE NO.	CODE IDENT. NO.
TITLE INSTALLATION DRAWING MODEL 303A MINATURE ACCELEROMETER			SCALE 4 X	SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานหรือการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

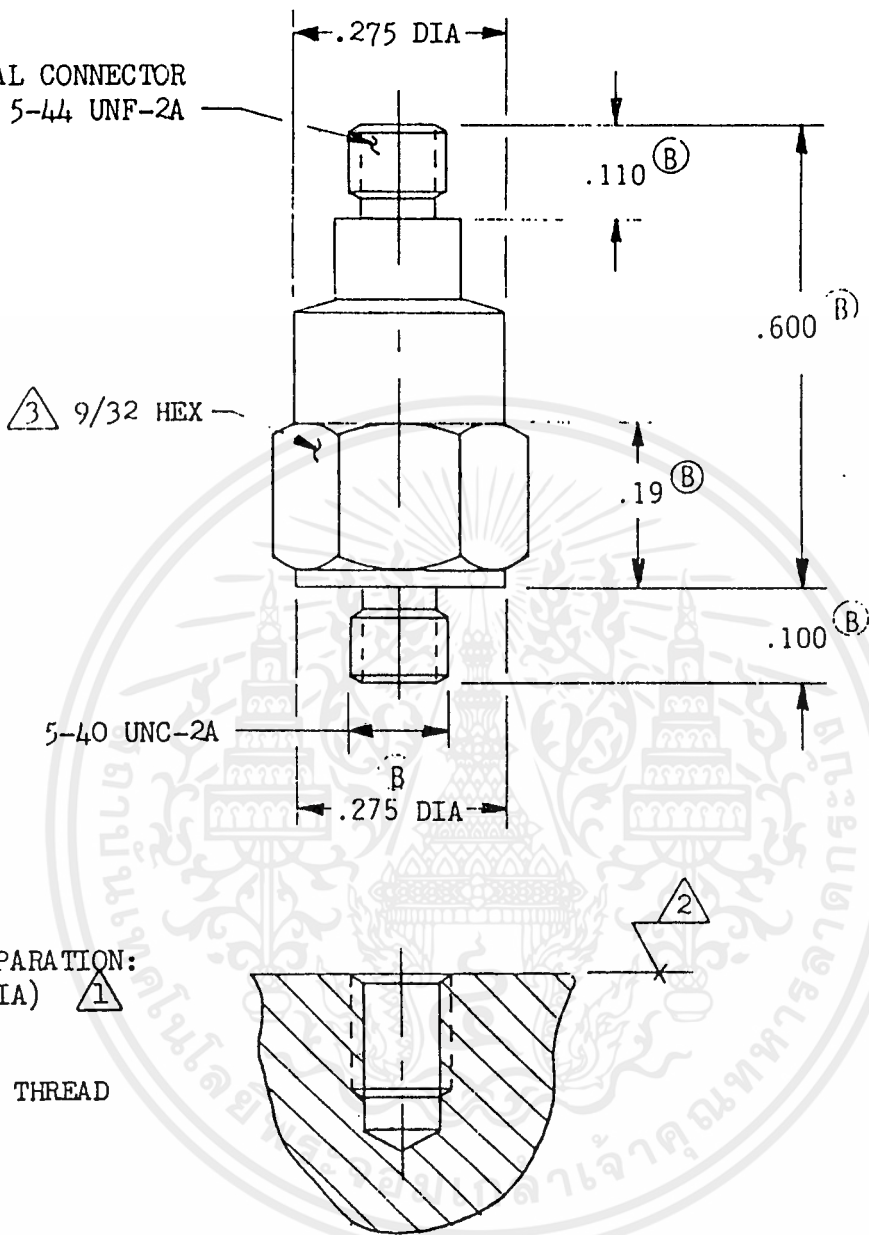
APPLICATION

REVISIONS

QTY.	NEXT ASSY	USED ON	VAR

SYM.	DESCRIPTION	EO	DATE	APP'D
A	MOD 303A02 WAS 303A		3-16-76	FOR
B	REVISED AS PER ECR#	1096	5-3-83	FOR 3/3/83

ELECTRICAL CONNECTOR
CO-AXIAL 5-44 UNF-2A



MOUNTING HOLE PREPARATION:
DILL #38 (.101 DIA) 1
.200 DEEP
P 5-40 UNC-2B
.150 DEPTH PERF THREAD

RECOMMENDED MOUNTING TORQUE ON 9/32 HEX 4 to 5 IN. LBS.

MOUNTING SURFACE MUST BE FLAT WITHIN .001 TIR (9/32 DIA MIN) WITH A 63/ FIN

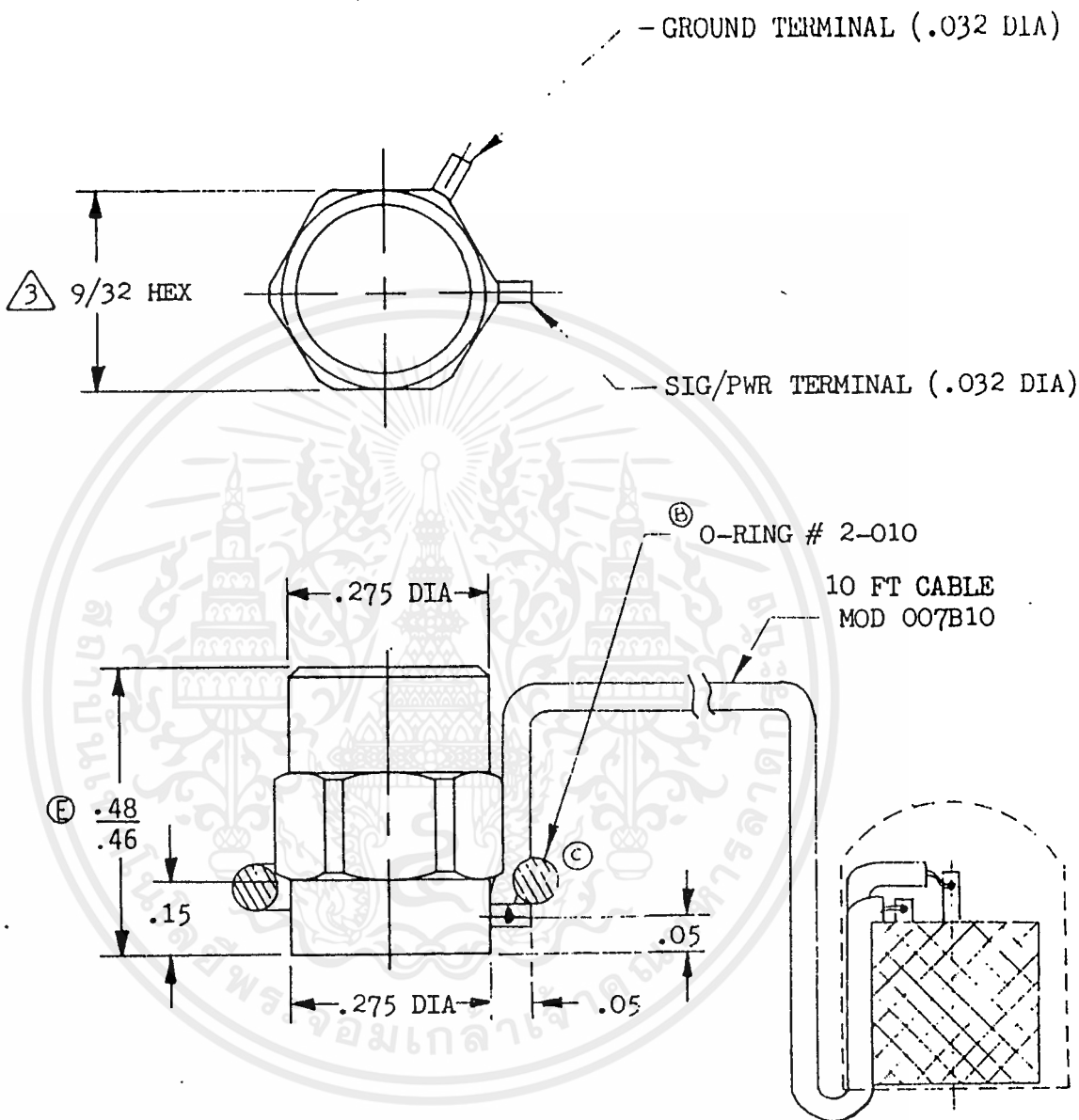
DRILL PERPENDICULAR TO MOUNTING SURFACE TO WITHIN ± 1°

LESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES!	MATERIAL	DRAWN	E. OR	2/10/76	MFG.		pcb piezotronics, inc. BUFFALO, NEW YORK 14225
		CHECKED	201	3/4/76	ENGR.	1/10/76	
TOLERANCES	HEAT TREAT	APP'D			RELEASE NO.		CODE IDENT. NO.
FRACTIONS ± 1/64	EXCEPT AS NOTED						DWG. NO. 303-1020-90
DIMINALS XX ± .01 XXX ± .005	FIN ✓	TITLE INSTALLATION DRAWING MODEL 303A02 MINATURE ACCELEROMETER					SCALE 1, X
ANGLES ± 1/2 DEG SHARP EDGES 003 005							SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION			
QTY.	NEXT ASSY.	USED ON	VAR

REVISIONS				
SYM.	DESCRIPTION	EO	DATE	APP'D
A	.40/.45 WAS .40 .15 WAS .10	25	11/70	EOR 11-19-70
B	ADD CABLE & O-RING	408	5/14/79	J.T. 5-13-79
C	WIRE WHEEL D. 1/16" BELOW HEX	906	7/2/82	J.T. 7-23-82
D	REV. AS PER CR	083	1/12/83	EOR 1-12-83
E	.40/.46 WAS .40/.45	1201	5-26-83	J.T. 5-23-83



TO REMOVE ACCELEROMETER FROM MOUNTING SURFACE USE 9/32 WRENCH ON HEX AND TWIST GENTLY.
 RECOMMENDED MOUNTING ADHESIVE, EASTMAN 910 (SUPPLIED) SEE ADHESIVE INSTRUCTIONS.
 MOUNTING SURFACE UNDER ACCELEROMETER MUST BE FLAT TO WITHIN .003 TIR WITH A SURFACE FIN.
 OF 125-63/ AND MUST BE FREE OF GREASE, DIRT AND OTHER FOREIGN MATTER.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES. TOLERANCES HOLE ACTIONS ± 1/64 DIMSALS XX ± .01 XXX ± .008 ANGLES ± 1/2 DEG. BREAK SHARP EDGES .003 - .005	MATERIAL HEAT TREAT EXCEPT AS NOTED FIN ✓	DRAWN EOR 11-28/75 MFG. J.T. 11-75	pcb piezotronics, inc. BUFFALO, NEW YORK 14225	
		CHECKED EOR 11-28/75 ENGR. J.T. 11-75		
TITLE INSTALLATION DRAWING MODEL 303A03 MINATURE ACCELEROMETER			CODE IDENT. NO.	DWG. NO. 303-1030-90
			SCALE 4 X	SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ทุกรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ ไม่มีเหตุตบแต่งสเงนยัด และตองยององตงเจาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

STEPPING MOTOR

STEPPING MOTOR เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบพิเศษ ซึ่งเมื่อป้อนไฟ DC ให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักดันโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนตามค่า STEP ANGLE บางครั้งจึงเรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า PULSE MOTOR เพราะเมื่อถูกควบคุมอย่างเหมาะสมแล้ว จำนวน STEP ที่หมุนไปของ STEPPING MOTOR ต้องเท่ากับจำนวน PULSE ที่เข้ามา แต่ละ PULSE จะหมุนแกนโรเตอร์ไป 1 STEP

ในสมัยก่อน STEPPING MOTOR เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลที่ต่ำกว่า AC และ DC MOTOR แต่เมื่อไม่นานมานี้ STEPPING MOTOR ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ในวงการอุตสาหกรรม ส่วนมากใช้เป็นอุปกรณ์ PERIPHERAL ของคอมพิวเตอร์ เช่น PRINTER เครื่องเล่นเทป เครื่องอ่านการ์ด เป็นต้น นอกจากนี้ STEPPING MOTOR ยังถูกนำมาใช้ในระบบควบคุมเชิงตัวเลข ระบบควบคุมเครื่องมือและเครื่องจักร ระบบควบคุมกระบวนการ และอีกหลายๆระบบในอุตสาหกรรม

1. ข้อดีและข้อเสียของ STEPPING MOTOR

ข้อดี

1. สามารถที่จะถูกขับเคลื่อนแบบเปิด คือไม่มีสัญญาณป้อนกลับ ไม่มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ
2. ไม่มีความผิดพลาดของตำแหน่งแบบสะสม
3. มีการตอบสนองต่อสัญญาณป้อนเข้าแบบสะสม
4. มีกลไกอย่างง่าย ต้องการการบำรุงรักษาเล็กน้อย หรือไม่ต้องการเลย
5. ปราศจากความสั่นปรก
6. ใช้กับแผ่นระบายความร้อนได้ง่าย
7. สามารถที่จะถูกหยุดทันทีโดยไม่เสียหาย
8. ทนทานและแข็งแรง

1. มี STEP ANGLE คงที่
2. มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อนแบบธรรมดา
3. มี OVERSHOOT สูง และการสั่นของมอเตอร์ที่ให้กับ STEP
4. ความสามารถที่จำกัดในการรับภาระที่มีความเฉื่อยสูง
5. ภาระเนื่องจากความเสียดทานจะไปเพิ่มความผิดพลาดของตำแหน่งการควบคุมแบบเปิด แม้ว่าความผิดพลาดจะไม่สะสม
6. กำลังที่ได้และขนาดมีจำกัด

2. ชนิดของ STEPPING MOTOR

โดยทั่วไปแล้วสามารถจัดได้เป็น 6 ประเภท คือ

1. โซลินอยด์ - แรชเชต (SOLENOID - RATCHET TYPE)
2. ความเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนแปลงได้ (VARIABLE - RELUCTANCE, VR)
3. แม่เหล็กถาวร (PERMANENT MAGNET, PM)
4. ไฮบริด (HYBRID OR SYNCHRONOUS INDUCTOR)
5. เครื่องกลไฟฟ้า (ELECTROMECHANICAL)
6. ไฮดรอลิกไฟฟ้า (ELECTROHYDRAULIC)

3. คุณสมบัติในการทำงานของ STEPPING MOTOR

รีโซลูชัน (RESOLUTION)

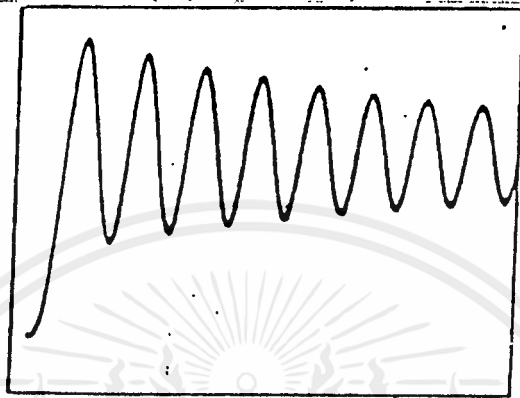
ค่ารีโซลูชันของ STEPPING MOTOR ถูกแสดงในเทอมของ STEP ต่อ รอบ หรือ STEP ANGLE หรือ STEP INCREMENT มีหน่วยเป็นองศา สำหรับลิเนียร์มอเตอร์ มีหน่วยเป็นนิ้วหรือ มิลลิเมตร สำหรับมอเตอร์ส่วนใหญ่ ค่ารีโซลูชันไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

การตอบสนองแบบ SINGLE STEP

เมื่อเฟสหนึ่งของมอเตอร์ถูกกระตุ้นในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง มอเตอร์จะไปอยู่ตำแหน่งหน่วง (DETENT POSITION) เมื่อเฟสนั้นไม่ถูกกระตุ้น เฟสต่อไปจะถูกกระตุ้น มอเตอร์จะหมุนไปข้างหน้า 1 STEP การตอบสนองของมอเตอร์เมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
เวลา ถูกกำหนดให้เป็นการตอบสนองแบบ SINGLE STEP ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบอกความเร็วของการเคลื่อนที่ของ STEPPING MOTOR ว่ามีความเร็วเท่าไร, การสิ้นของการตอบสนอง (คุณสมบัติในการลดการสั่น) และความแม่นยำของ STEP ANGLE STEPPING MOTOR มีการตอบสนองที่ค่อนข้างดี เมื่อกระตุ้นขดลวดเฟส ดังนั้น จึงจำเป็นต้องลดหรือทำให้การสั่นหมดไป การตอบสนองแบบ SINGLE STEP โดยทั่วไป ของ STEPPING MOTOR แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 3.1 การตอบสนองแบบ Single Step ของ Stepping Motor

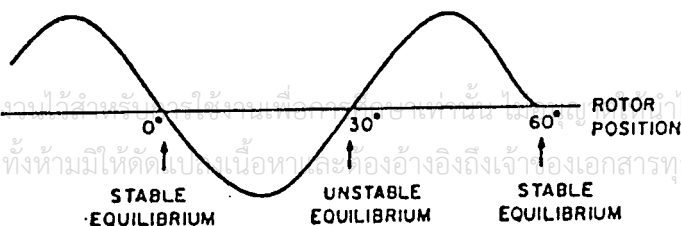
ความแม่นยำ (ACCURACY)

ตำแหน่ง STEP ของ STEPPING MOTOR ตัวหนึ่ง ถูกกำหนดด้วยขนาดของส่วนประกอบหลายส่วน และการประกอบขึ้นมาระหว่างการออกแบบ และการสร้างรวมเพื่อในขนาดของส่วนประกอบเหล่านี้ ทำให้เกิดความเผื่อในตำแหน่ง STEP จากตำแหน่งที่ถูกต้องในแง่ของตัวเลข สิ่งนี้เราเรียกว่า ความแม่นยำของ STEPPING MOTOR ถูกแสดงเป็นค่าความผิดพลาดเชิงมุมสูงสุดในตำแหน่งใดๆ เช่นเดียวกับเฟส เซ็นต์ของมุมในหนึ่ง STEP หรือขนาดเชิงมุม

ความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มประกอบชิ้นส่วน เป็นความผิดพลาดที่ไม่สะสม มันเกิดขึ้นภายใต้ทุกๆสภาวะของภาระ

HOLDING OR STATIC TORQUE

กราฟเส้นโค้งของ HOLDING TORQUE ได้แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นเส้นโค้งของเฟสหนึ่งใน STEPPING MOTOR แกนตั้งแทนค่า HOLDING TORQUE แกนแนวนอนแทนระยะขจัดของโรเตอร์ ค่า HOLDING TORQUE จะทำในทิศทางที่ทำให้โรเตอร์กลับมาตำแหน่งเริ่มต้น หรือยึดให้อยู่ในตำแหน่งที่มีการขจัดศูนย์ หรือตำแหน่งหนึ่งวง



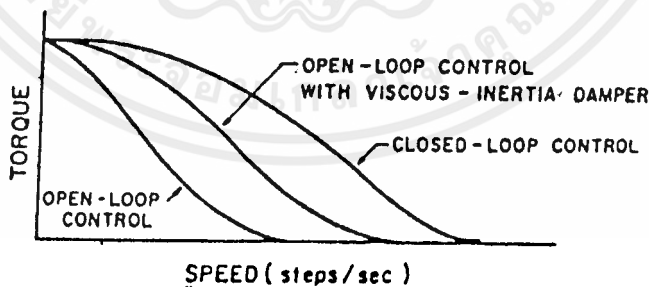
เส้นโค้งของ HOLDING TORQUE มีความสำคัญในการที่จะกำหนดแรงบิดชั่วขณะของมอเตอร์ได้

DYNAMIC TORQUE OR PULL-OUT TORQUE

PULL OUT TORQUE บอกให้ทราบถึง ค่าแรงบิดเนื่องจากความเสียดทานสูงสุด เมื่อเคลื่อนที่ในสภาวะคงที่ สามารถใส่ภาระให้แก่ STEPPING MOTOR ที่ความเร็วที่สอดคล้องกันหรือ อัตรา STEPPING โดยไม่ทำให้มอเตอร์เกิดสภาวะที่ชุด PULSE ที่ป้อนเข้ามา ไม่พร้อมกับการหยุดซึ่งเกิดขึ้นที่มอเตอร์

กราฟเส้นโค้ง PULL-OUT TORQUE ของ STEPPING MOTOR ไม่ได้กำหนดจุดทำงานและไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ของ TRANSFER FUNCTION ซึ่งต่างไปจากกรณีของ DC MOTOR เส้นโค้งนี้ทำให้กำหนดง่ายขึ้น กล่าวคือ บริเวณที่อยู่ภายในกราฟเส้นโค้งของแรงบิด-ความเร็ว จะเป็นบริเวณที่มอเตอร์จะทำงานได้อย่างพอใจ ส่วนบริเวณที่อยู่ภายนอกจะเป็นบริเวณที่มอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้เลย สำหรับสภาพการกระตุ้นและสภาพการควบคุมแบบหนึ่ง

รูปที่ 3 แสดงให้เห็น ชุดตัวอย่างของกราฟเส้นโค้งแรงบิด-ความเร็ว ของ STEPPING MOTOR ภายใต้สภาพการควบคุมชนิดต่างๆ ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่า STEPPING MOTOR สามารถที่จะให้ลักษณะการทำงานที่อยู่ในระดับดีบ้างไม่ดีบ้าง ขึ้นอยู่กับวิธีการขับเคลื่อนเป็นอย่างไ



ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3 STEPPING MOTOR โดยทั่วไปแล้วให้แรงบิดสูงสุดที่ตำแหน่งหยุด เมื่ออัตราของ PULSE ที่ป้อนเข้าเพิ่มขึ้น ความเหนียวเ็นของผลวดจะป้องกันกระแสเฟส ที่สภาวะสม่ำเสมอของมัน เมื่อเฟสอยู่ในสภาวะปิดหรือเปิด และแรงบิดของมอเตอร์ลดลง PULL OUT TORQUE ลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมอเตอร์ถูกขับเคลื่อนด้วยลำดับของ PULSE โดยไม่มีสัญญาณป้อนกลับ (การควบคุมแบบ

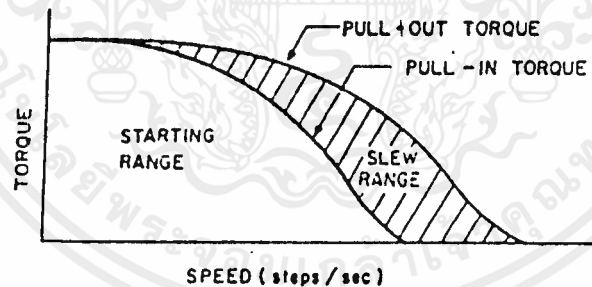
ปรับปรุงคุณสมบัติของแรงบิด-ความเร็ว การควบคุมแบบปิดซึ่งทำให้คุณสมบัติของแรงบิด-ความเร็ว ค้ำยั้งขึ้น

ข้อจำกัดของกราฟเส้นโค้ง แรงบิด-ความเร็ว คือสมมติให้ความเร็วคงที่ สิ่งนี้ใกล้เคียงความเป็นจริง ที่ความเร็วของการ STEPPING หลายๆร้อย STEP ต่อวินาที หรือมากกว่านั้น อัตราการ STEPPING ต่ำๆ เกิดที่ตอนเริ่มต้นและตอนหยุด ในช่วงนี้มอเตอร์ ถูกเรียกว่า อยู่ใน STEPPING MODE แม้แต่ที่ความเร็วสูง ความเร็วชั่วขณะก็แท้จริงจะไม่คงที่ แต่จะขึ้นๆลงๆ ไปทีละ STEP

ในวิธีการควบคุมแบบเปิด STEPPING MOTOR ต้องทำงานที่แรงบิดต่ำกว่า แรงบิดสูงสุด ซึ่งต้องมั่นใจว่ามอเตอร์ไม่มีการหยุดกะทันหัน หรือพลาดSTEP ไป ในวิธีการควบคุมแบบปิด มอเตอร์สามารถทำงานใกล้เคียงหรือเท่ากับ DYNAMIC TORQUE สูงสุด

PULL-IN TORQUE

ค่า PULL-IN TORQUE ของ STEPPING MOTOR คือ ค่าแรงบิดภาระเนื่องจากความเสียดทานที่มอเตอร์สามารถเริ่มทำงาน และขับเคลื่อนได้ โดยไม่ผิด STEP ที่อัตราของ PULSE ที่ต้องการ



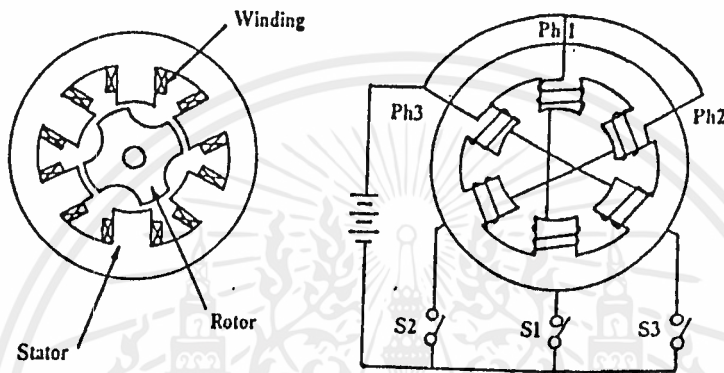
จากรูปที่ 4 ขอบเขตความเร็วอยู่ระหว่างกราฟเส้นโค้ง PULL-IN TORQUE และ PULL-OUT TORQUE ซึ่งเรียกว่า "SLEW RANGE" SLEW RANGE แสดงถึงบริเวณของการทำงานที่ไม่เสถียรของมอเตอร์ ที่ได้ออกแบบเป็นอย่างดีแล้ว มอเตอร์จะออกจากการทำงาน และหยุดการทำงานใน SLEW RANGE จะต้องอยู่ใกล้กับกราฟเส้นโค้ง PULL-IN TORQUE หรือ PULL-OUT TORQUE

(VARIABLE RELUCTANCE OF STEP MOTOR)

STEPPING MOTOR ชนิดความเหนียวแปรผันได้ เป็นชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ จึงขอกล่าวถึงชนิดนี้เท่านั้น

โครงสร้างการทำงาน

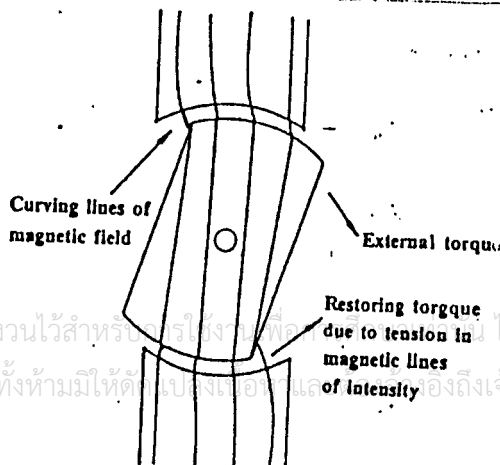
ภายในสเต็ปมอเตอรืประกอบด้วย STATOR, ROTOR, และ WINDING ประกอบดังรูป (เป็นมอเตอรืแบบ 3 เฟส)



รูปที่ 12.3 CROSS SECTION ของสเต็ปมอเตอรืแบบ 3 เฟส และ WINDING

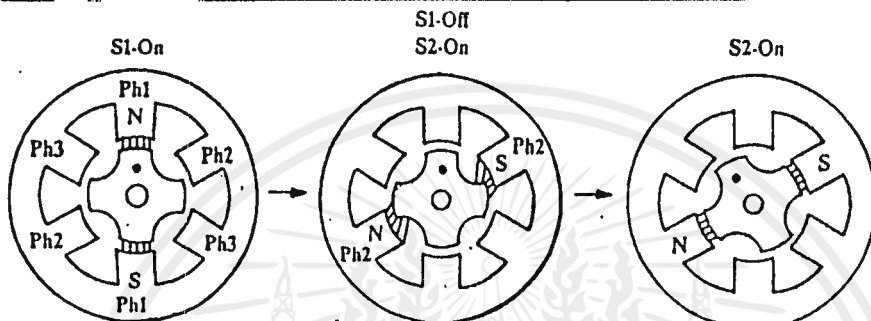
เนื่องจาก STEPPING MOTOR แบบ VR นี้ โรเตอร์เป็นเหล็กอ่อน (SOFT IRON) ซึ่งมีคุณสมบัติคือ จะพยายามปรับตัวเอง ให้อยู่ในแนวที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่านมากที่สุด ดังเช่นในรูปที่ 8 เมื่อเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่สเตเตอร์ตัดผ่านโรเตอร์ ตัวโรเตอร์ก็พยายามปรับตัวเองให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวโรเตอร์มากที่สุด โดยโรเตอร์จะหมุนตัวเองและจะทำให้ เกิดมุมของการหมุนขึ้น ทั้งนี้มอเตอรืจะหยุดหมุนเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวมันมากที่สุดดังเช่นในรูป 8

การทำให้สเต็ปมอเตอรืหมุนได้โดยอาศัยหลักการนี้ แต่ต้องให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นถัดขึ้นไปเรื่อยๆ ดังในรูปที่ 9, 10 และ 11 ซึ่งแสดงการหมุนของมอเตอรื

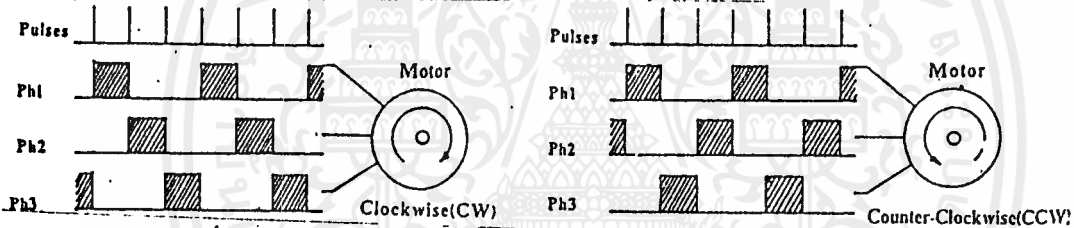


โดยทิศทางขึ้นอยู่กับการ DRIVE ขดลวดว่าจะให้ไปทางไหน และเมื่อต้องการให้มอเตอร์หยุดก็หยุดการ DRIVE โรเตอร์ มอเตอร์ก็จะหยุด ณ ตำแหน่งสุดท้ายที่มีการ DRIVE ที่สแตเตอร์ ดังนั้นเราจะสามารถรู้ตำแหน่งของมอเตอร์ได้ โดยการนับ PULSE ที่ป้อนให้มอเตอร์และใช้สูตร

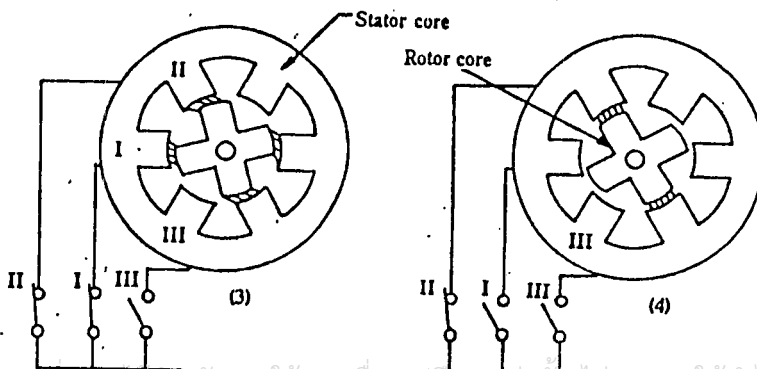
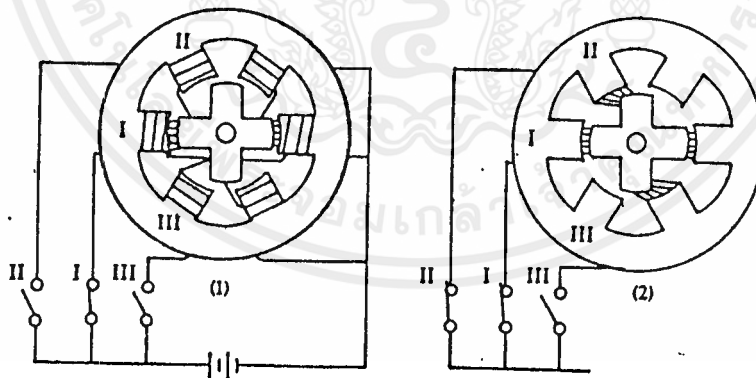
$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป} = \text{STEP ANGLE} \times \text{จำนวน PULSE}$$



รูปที่ 12.5 แสดงการเคลื่อนที่ทีละ STEP เมื่อ EXCITATION เฟส 1 เฟส 2



รูปที่ 12.6 แสดงการ EXCITATION แบบเดินหน้าและถอยหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 12.7 แสดงการทำงานของสเตปป์มอเตอร์

โครงสร้างพื้นฐานของ STEPPING MOTOR แบบ VR

ช่องอากาศ (AIR GAP) ระหว่าง STATOR ซึ่งจะผูกพันกับ TORQUE และความแน่นอนของตำแหน่ง ดังนั้นถ้าต้องการให้ สเตปมิ่งมอเตอร์มีแรงบิดสูง และตำแหน่งแน่นอนก็ต้องมี AIR GAP ช่างแคบๆ

จากรูปที่ 12 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสเตปมิ่งมอเตอร์ที่มี AIR GAP กว้างกับ AIR GAP แคบ จะเห็นว่ามอเตอร์ที่มีช่อง AIR GAP แคบ จะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงกว่ามอเตอร์ที่มี AIR GAP แคบ

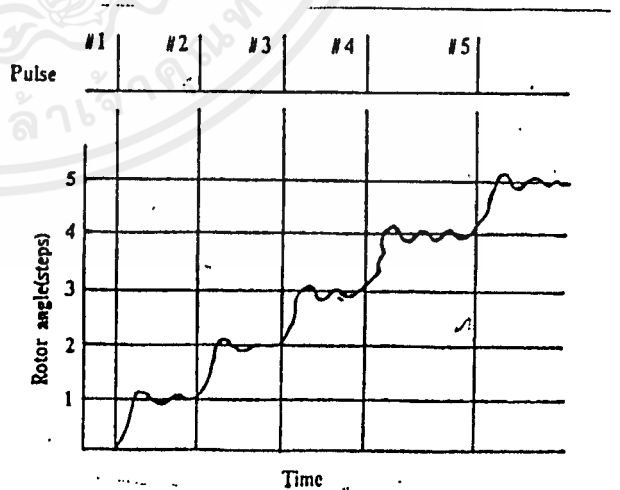
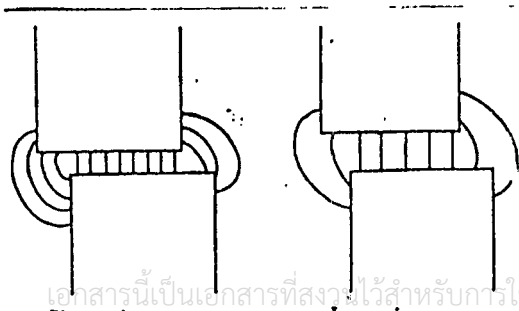
ในการทำงานของสเตปมิ่งมอเตอร์นั้น ตำแหน่งของโรเตอร์จะไม่หยุดทันทีที่มอเตอร์หมุนจนเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านมากที่สุด เนื่องจากโรเตอร์ขณะหมุนจะมีแรงเฉื่อย จึงทำให้เกิด SHOOT ของระยะขจัด จากนั้นโรเตอร์จึงหมุนกลับตัวให้อยู่ในตำแหน่งที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านมากที่สุด ดังรูปที่ 13 ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละ สเตป ทั้งนี้ SHOOT ที่เกิดขึ้นอยู่กับ AIR GAP และการ DRIVE แบบ EXCITATION ว่าเป็นแบบใดด้วยสเตเตอร์ จำนวนขั้วต่อการหมุนรอบโรเตอร์ (SPR) หาได้ดังนี้

$$\text{STEP PER REVOLUTION (SPR)} = 360/SA = m \times Nr$$

SA = ค่ามุมในแต่ละขั้น (STEP ANGLE) หน่วยเป็นองศา

m = จำนวนเฟส

Nr = จำนวนขั้วโรเตอร์



รูปที่ 12.9 กราฟแสดงตำแหน่งในแต่ละ STEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่าง AIR GAP มากกับ AIR GAP แคบ

การกระตุ้นเฟสขดลวด STATOR

ดังที่รู้กันแล้วว่าการทำให้ STEPPING MOTOR หมุนได้นั้นจะต้องการกระตุ้นเฟสของขดลวด STATOR ให้เรียงกันไปเรื่อยๆ ทางใดทางหนึ่ง ถ้าต้องการให้หมุนกลับก็กระตุ้นเฟสในทิศทางกลับกัน ซึ่งการกระตุ้นเฟสของ STATOR เราไม่จำเป็นต้องกระตุ้นเฟสเพียงแค่เฟสเดียวอาจกระตุ้นทีละ 2 เฟสก็ได้ ในที่นี้จะอธิบายถึงการกระตุ้นเฟส STATOR 3 แบบ คือ

1. กระตุ้นเฟสเดียวเรียกว่า SINGLE PHASE EXCITATION
2. กระตุ้นสองเฟสเรียกว่า TWO PHASE EXCITATION
3. กระตุ้นโดยใช้แบบ 1 และ 2 สลับกันเรียกว่าแบบ ONE-TWO PHASE

EXCITATION หรือแบบ HALF STEP OPERATION

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■				■				■
Phase 2		■				■			
Phase 3			■				■		
Phase 4				■				■	
Pulses									

Note : Symbol R Indicates 'reset'

รูปที่ 12.10 แสดงการ EXCITATION SEQUENCE แบบเฟสเดียว

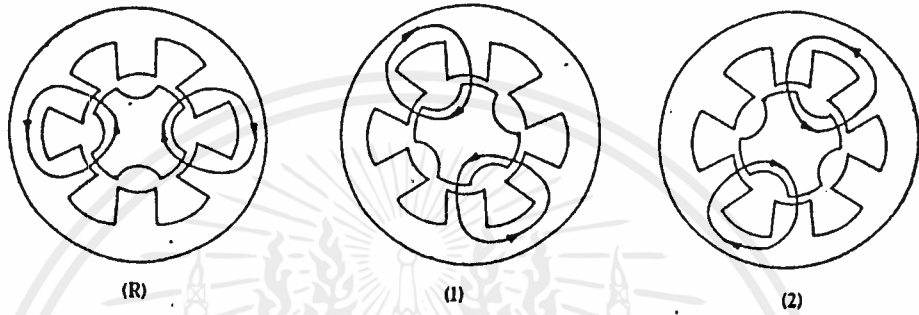
Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■			■	■			■
Phase 2		■	■			■	■		
Phase 3			■	■			■	■	
Phase 4	■			■	■			■	■

รูปที่ 12.11 แสดงการ EXCITATION SEQUENCE แบบสองเฟส

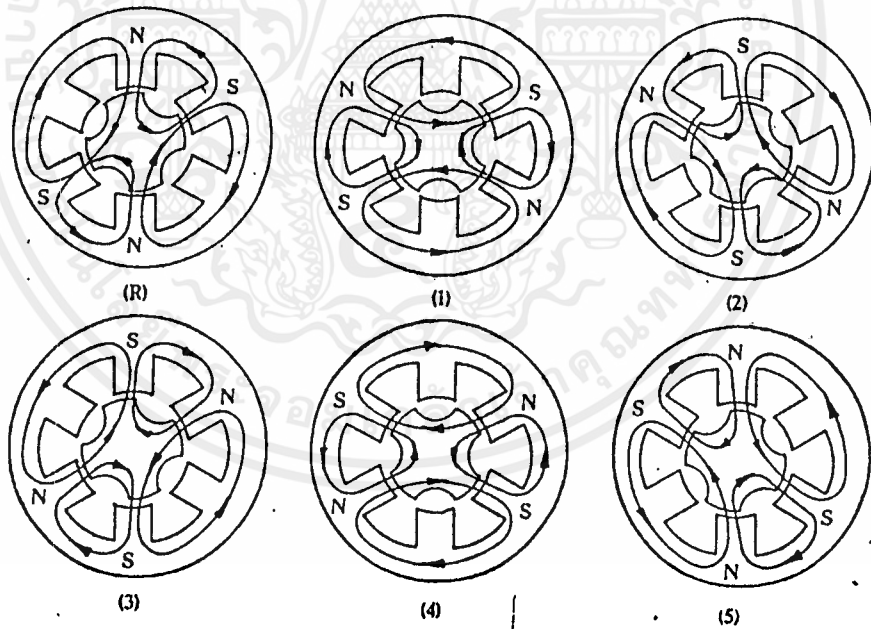
Clock state (A)	R	1	2	3	4	5				
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1	■	■			■	■	■			
Phase 2		■	■	■			■	■	■	
Phase 3				■	■	■			■	■

รูปที่ 12.12 แสดงการ EXCITATION SEQUENCE แบบ HALF STEP

ในการ DRIVE TWO-PHASE EXCITATION เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ผ่านแกน
 เหล็กเป็นเส้นตรงเลขที่คี่เหมือนแบบ SINGLE PHASE EXCITATION แต่จะวกกลับมา
 เข้าสู่แกนทางข้างๆ ดังรูปที่ 17 และเส้นแรงแม่เหล็กส่วนหนึ่งจะมาจากแกนตรงเข้าดังรูปที่ 18



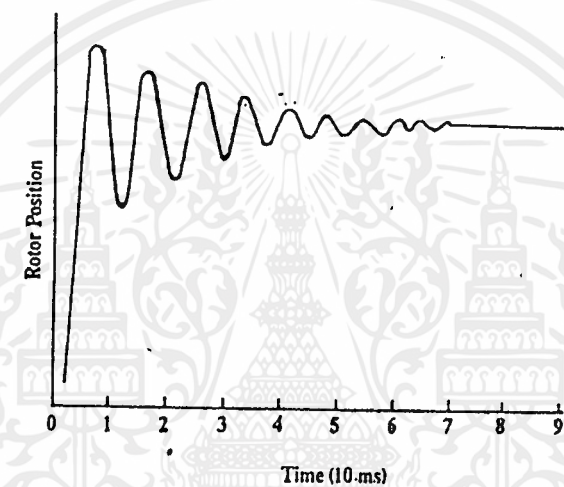
รูปที่ 12.13 เส้นแรงแม่เหล็กเมื่อ DRIVE แบบ TWO PHASE



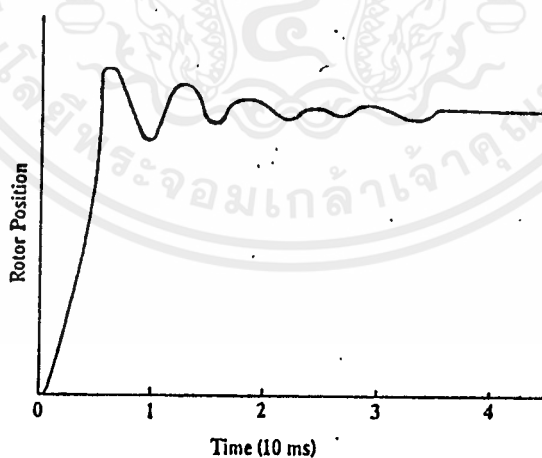
รูปที่ 12.14 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อ DRIVE แบบ TWO PHASE

เดียวกันกับการ DRIVE แบบ SINGLE PHASE EXCITATION แต่ในการกระตุ้นแต่ละครั้ง นั้นจะกระตุ้นที่เดิยวพร้อมกันทั้ง 2 เฟส จะต่างกันก็ช่วง TRANDIENT RESPONSE ในการเปลี่ยนตำแหน่งแต่ละชั้น โดยสังเกตจากรูปที่ 19

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการ DRIVE แบบ SINGLE PHASE EXCITATION นั้นเกิด OSCILLATION DAMPS ในช่วง TRANDIENT RESPONSE มากกว่าการ DRIVE แบบ TWO PHASE EXCITATION แต่ความเร็วของทั้งสองแบบจะเท่ากัน ถ้าเป็นการ DRIVE แบบ HALF STEP ความเร็วจะลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อป้อนความถี่ของพัลส์เร็วเท่ากัน



(a)



(b)

รูปที่ 12.15 ข้อแตกต่างของ SINGLE STEP RESPONSE ระหว่างการ DRIVE แบบ SINGLE PHASE a) และ TWO PHASE b)

ข้อดีและข้อเสียของ STEPPING MOTOR ความเห็นส่วนตัวแปรผันได้

มอเตอร์ 3 เฟส

ข้อดี

1. ประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ 4 เฟส
2. ใช้สายไฟน้อยกว่า
3. ใช้อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมได้ง่ายกว่า เพราะมีจำนวนเฟสที่จะเปลี่ยนน้อยกว่า
4. แรงบิดสูงกว่ามอเตอร์ 4 เฟสที่ขนาดเท่าๆกัน

ข้อเสีย

1. การที่จะหน่วงความเร็วทำได้ยากกว่า
2. การตอบสนองมีการแกว่งมากกว่า
3. ให้แรงบิดที่เกือบเท่ากัน ไม่ว่าจะใช้การกระตุ้นแบบเฟสเดียวหรือสองเฟสติดกัน

ภาคผนวก ค.

ชุดควบคุมและขับเคลื่อน STEPPING MOTOR

อุปกรณ์

- 1) POWER SUPPLY
- 2) SINGLE BOARD MP-85 mkII
- 3) ชุดติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติม AB-10 mkII

โปรแกรมการควบคุม STEPPING MOTOR ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

ADDRESS	MACHINE CODE	LABEL	PROGRAM	COMMENT
			ORG 8000H	
8000H	3E 90	START	MVI A, 90H	: ส่ง CONTROL WORD ให้
8002H	D3 F3		OUT CWR1	: 8255 แต่ละตัว
8004H	D3 F7		OUT CWR2	:
8006H	3E 04		MVI A, 04H	
8008H	D3 F2		OUT PORTC1	
800AH	21 00 A0		LX1 H, A000H	: กำหนดช่วงเวลานั่งง
800DH	22 00 81		SHLD WDATA	
8010H	11 30 80	LOOP 1	LX1 D, DATA	: ค่าแห่งเริ่มต้นข้อมูล
8013H	06 08		MVI B, 08H	
8015H	1A	LOOP2	LDAXD	
8016H	CD 21 80		CALL DRV	
8019H	13		INX D	: เพิ่มค่าตำแหน่งของข้อมูล
801AH	05		DCR B	
801BH	C2 15 80		JNZ LOOP2	
801EH	C3 10 80		JMP LOOP1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในงานที่ DRV ศึกษาเท่านั้น ไม่ส่งข้อมูลให้แก่การคำนวณหรือการพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า และขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

STEPPING

```

8023H      D3 F1      OUT PORT B : แสดงค่าที่ LED
8025H      2A 00 81    LHLD WDATA
8028H      2B          WAIT    DCX H      : หน่วงเวลา
8029      7C          MOV A,H
802AH      B5          ORA L
802BH      C2 28 80    JNZ WAIT
802EH      C9          RET
    
```

```

8030H      DATA      01 01 02 02 04 04 08 08
8038H      03 03 06 06 0C 0C 09 09
8040H      01 03 02 06 04 0C 08 09
8048H      08 08 04 04 02 02 01 01
8050H      09 09 0C 0C 06 06 03 03
8058H      09 08 0C 04 06 02 03 01
    
```

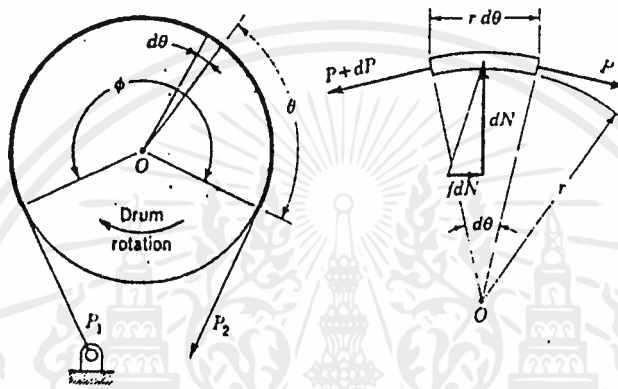
```

PORTB1      .EQU 0F1H
PORTC1      .EQU 0F2H
CWR1        .EQU 0F3H
PORTB2      .EQU 0F5H
CWR2        .EQU 0F7H
WDATA       .EQU 8100H
    
```

การคำนวณหาค่า TORQUE

การคำนวณหาค่า TORQUE ใช้หลักการ BAND-TYPE CLUTCHES AND BRAKES

โดยวิเคราะห์ได้ดังรูป



รูป 2-13 แสดงแรงดึงใน Brake band

ผลของแรงเสียดทานในสายพานและการหมุนของดรัม (DRUM) ทำให้แรงดึง P_2 มีค่าน้อยกว่าแรงปฏิกิริยาของจุดยึด P_1 กำหนดให้มุมของสายพานที่สัมผัสผิวของดรัมมีค่าเป็น θ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะสมดุล จะได้ว่า

ผลรวมของแรงดัดพ้องในแนวตั้ง (แกน Y)

$$\Sigma F_y = 0$$

$$(P + dP)\sin \frac{\theta}{2} + P \sin \frac{\theta}{2} - dN = 0 \quad (1)$$

$$dN = Pd\theta$$

ผลรวมของแรงดัดพ้องในแนวนอน (แกน X)

$$\Sigma F_x = 0$$

$$(P + dP)\cos \frac{\theta}{2} - P \cos \frac{\theta}{2} - fdN = 0$$

$$dN = fdN \quad (2)$$

แทนค่าของ dN จากสมการ (1) ลงในสมการที่ (2) แล้วอินทิเกรต จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{\int \frac{dP}{P}}$$

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \int \frac{dP}{P}$$

ดังนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ของแรง P1 และ P2 ดังสมการ

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{f \cdot \phi}$$

และสามารถหาโมเมนต์บิด (TORQUE) ได้จากสมการ

$$T = (P_1 - P_2) D/2$$

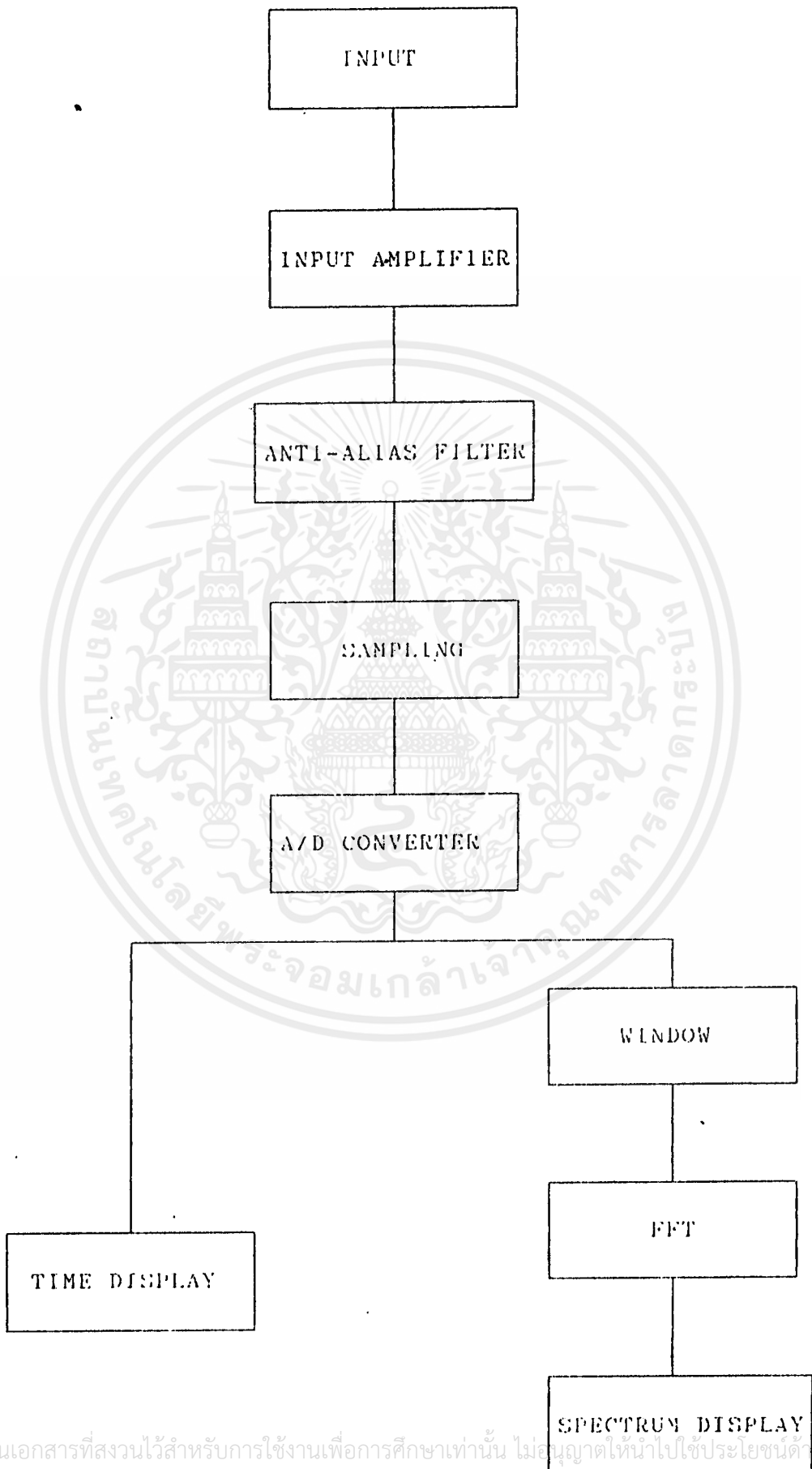


ภาคผนวก จ.

FFT ANALYZER

FFT ANALYZER เป็นเครื่องวิเคราะห์ความถี่สำหรับระบบดิจิทัล ซึ่งสามารถแสดงค่าในแกนความถี่ (FREQUENCY DOMAIN) ได้อย่างรวดเร็ว

รูปที่ 1 แสดง BLOCK DIAGRAM แบบง่าย ๆ ของ FFT ANALYZER เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา INPUT AMPLIFIER จะทำการขยายสัญญาณนั้น แล้วส่งไปยัง ANTI - ALIAS FILTER ซึ่งเป็น LOW PASS FILTER เพื่อกรองสัญญาณ เนื่องจาก FFT ANALYZER นี้ไม่สามารถทำการแปลงสัญญาณที่ต่อเนื่องได้ ดังนั้นจึงต้องมีการสุ่มค่าของสัญญาณ (SAMPLING) บางค่า ส่งไปยัง ANALOG TO DIGITAL CONVERTER ซึ่งจะเปลี่ยนค่าสัญญาณที่ส่งมาเป็นตัวเลข สัญญาณดิจิทัลนี้ จะสามารถแสดงเป็นคลื่นในแกนของเวลา (TIME DOMAIN) หรือส่งผ่าน WINDOW และ FFT เพื่อแปลงค่าและแสดงในรูปของสเปกตรัมที่ความถี่ต่างๆก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

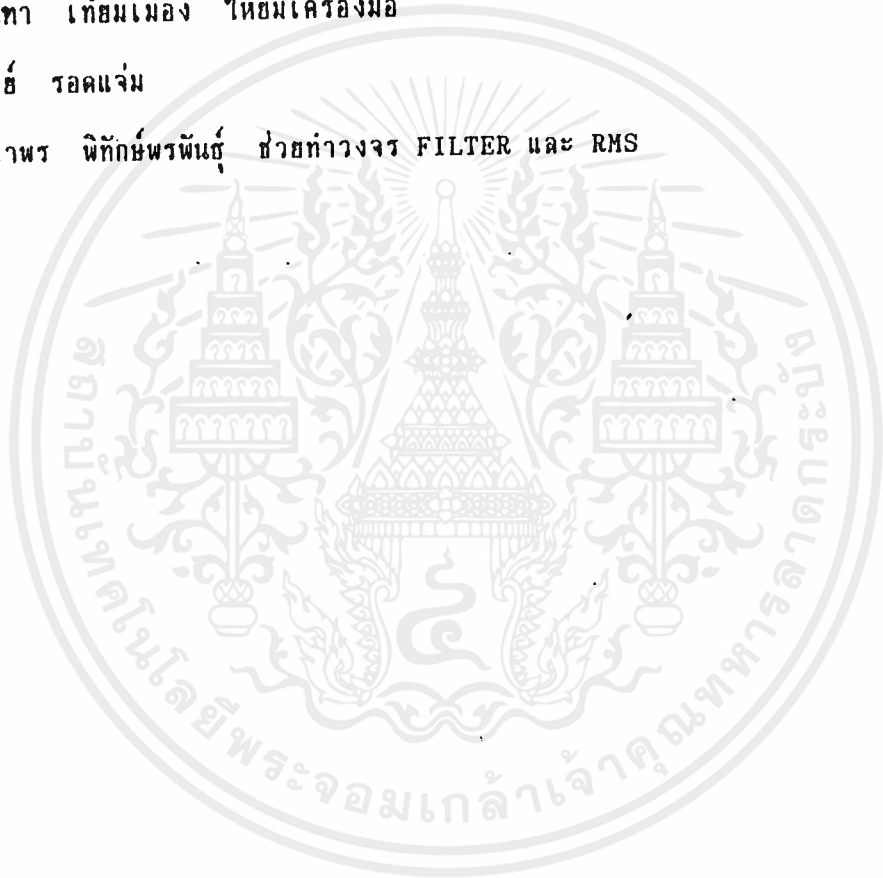
เอกสารอ้างอิง

1. Prof. B.H. Swanick, Prof. H. Nicholson "Stepping motors : A guide to modern theory and practice", Peter Pergrinus LTD., on behalf of the Institute of Electrical Engineerings.
2. F.T. Barwell, "Bearing Systems Principles and Practice", Oxford University Press 1979.
3. Tedric A. Harris, "Rolling Bearing Analysis", A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons. (1984)
4. Eschmann, Hasbargen, Weiguad, "Ball and Roller Bearings, Theory, Design, Application" A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons. (1985)
5. Cyril M. Harris and Charles E. Crede, "Shock and Vibration Handbook vol.1, vol.2, vol.3", Mc Graw-Hill Book Company. (1961)
6. David V. Hatton, PhD. " Applied Mechanical Vibrations", Mc Graw-Hill Book Company. (1981)
7. Francis S. Tse, Ivan E. Morse, Rolland T. Hinkle, "Mechanical Vibrations Theory & Applications 2nd Edition", Allyn and Bacon, Inc. (1978)
8. Singiresu S. Rao, "Mechanical Vibrations", Addison-Wesley Publishing Company. (1984)

กิตติกรรมประกาศ

ปริทัศน์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก

1. ผศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
2. อ.เกียรติวรรณ ทรงศีลย์ ให้คำแนะนำเกี่ยวกับมอเตอร์และชุดขับมอเตอร์
3. อ.โมไนย ไกรฤกษ์ ให้ยืม HP-IB มาทดลองใช้
4. อ.สรรพลักษณ์ ลิ่มนรรัตน์ ให้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ และช่วยตรวจแก้ไข ABSTRACT
5. คุณมณฑา เทียมเมือง ให้ยืมเครื่องมือ
6. คุณสุวิทย์ รอดแจ่ม
7. คุณธิดาพร พัทธ์พัณฑ์ ช่วยทำวงจร FILTER และ RMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้