



การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ในตัวรองรับเพลลา BEARINGS
EXPERIMENT STUDIES ON VIBRATION IN BEARING SUPPORTS



โดย
นายชรินทร์ เอี่ยมศิริเจริญ
นายฐานันดร ทักขิน
นายสุดเขต ปราบไพรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

007742

ปริญญาโทปีการศึกษา 2534

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์การลื่นสะเทือนในตัวรองรับเพลลา (bearings)

ผู้จัดทำ

1. นาย ชรินทร์ เอี่ยมศิริเจริญ

2. นาย ฐานันตร์ ทักษิณ

3. นาย สุตเขต ปราบไพรี



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(...ดร. มงคล มงคลศิริภรณ์...)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2534

การวิเคราะห์การลื่นสะเทือนในตํารองรับเพลลา (bearings)



ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในตัวรองรับเพลลา (bearings)

ชรินทร์ เอี่ยมศิริเจริญ

ฐานันดรศักดิ์ ทักษิณ

สุคนธ์เขต ปราบไพรี

ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

ปริศนาในหนังสือฉบับนี้ ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับผลของการสั่นสะเทือนในระบบส่งกำลังที่มีตัวรองรับเพลลาเป็น bearings โดยใช้ DC มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน แล้ววัดค่าการสั่นสะเทือนด้วย accelerometer จากนั้นผ่านค่าสัญญาณที่ได้ไปยัง oscilloscope หรือผ่านวงจร RMS ไปเข้าเครื่องบันทึก เพื่อทำการ plot ผลที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ และใช้ gap-sensor เป็นตัววัดการขจัดของเพลลาในแนวระดับและแนวตั้ง สัญญาณจาก gap-sensor ผ่านไปเข้า oscilloscope และเครื่องบันทึก เพื่อทำการบันทึกผล ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าค่าความสั่นสะเทือนมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ความเร็วรอบและโหลตสูงขึ้น และจะสูงสุดที่จุด resonance ส่วนค่า deflection ของเพลลาจะมีค่าน้อยลงเมื่อเราเพิ่มค่าโหลตมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENT STUDIES ON VIBRATION IN BEARING SUPPORTS

CHARIN EAIMSIRICHAROEN

THANAN TAKSIN

SUDKATE PRABPIREE

Dr. MONGKOL MONGKOLWONGROTE ADVISOR

1991

Abstract

This thesis presents the study and experimental about the effect of vibration in power transmission system that supported by ball bearing. The DC. motor is used to drive the eccentric shaft to rotate with varying load. Vibration is measured by accelerometer, then the output signals is sent to oscilloscope, or through RMS circuit to recorder which plot the output signals for analysis. Gap-sensor is used to measure deflection of shaft in horizontal and vertical direction. Output signals from gap-sensor are transmitted to oscilloscope and recorder for recording. The experimental results show that signals vibration tend to increase with increasing speed and load. The maximum value of signals vibration is at resonance point. And deflection of shaft decrease when load increase with constant speed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
- Single-mass rotor dynamics	2
- Flexible shaft in rigid bearing	2
- Symmetrical rigid shaft in flexible anisotropic bearings	7
- Rotating Unbalance	10
- Rotor Unbalance	13
- Whirling of rotating shafts	14
- Synchronous whirl	16
- การคำนวณหาค่า torque	18
- อุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน	20
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	25
- การคำนวณหาความถี่ธรรมชาติทางทฤษฎี	26
- การคำนวณหาค่า deflection ในทางทฤษฎี	27
- การคำนวณหาค่าความไวและค่าสัญญาณที่วัดได้จาก recorder	29
- การแปลงค่าสัญญาณ output (V) ของ gap-sensor เป็นระยะเยื้องเบน (mm)	31
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	33
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	65 ✓
บรรยายชี้ที่ได้รับจากการทดลอง	67
ภาคผนวก ก. gap-sensor AEC-5505	68
ภาคผนวก ข. accelerometer series 303A high frequency ICP	74
ภาคผนวก ค. เครื่องวัดความเร็วรอบแบบแสง DT-240P	86

	หน้า
ภาคผนวก ง. recorder	89
ภาคผนวก จ. วงจร RMS	97
ภาคผนวก ฉ. drawing ชุดอุปกรณ์การทดลอง	99
เอกสารอ้างอิง	105
กิตติกรรมประกาศ	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันโรลลิ่งแบร์ริง (rolling bearing) ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปในอุตสาหกรรม การพัฒนาการผลิตแบร์ริงจึงมีความสำคัญอย่างมากทำให้มีการตั้งมาตรฐานของแบร์ริงขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนใช้งานเมื่อมีการเสียหายของแบร์ริง และทำให้อายุการใช้งานของแบร์ริงยาวนานขึ้น ซึ่งประโยชน์ของแบร์ริงที่สำคัญมาก คือการช่วยรองรับ (support) เพลาในระบบส่งกำลัง ปริมาณนี้จึงได้ศึกษาการลื่นสะเทือนของระบบส่งกำลัง ซึ่งทำงานที่โหลด (load) ค่าต่าง ๆ กัน เพราะการลื่นสะเทือนมีผลอย่างมากต่ออายุการใช้งานของแบร์ริง การลื่นสะเทือนที่โหลดค่าต่าง ๆ กัน จะมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับโหลดที่เราให้แก่เพลาและแบร์ริง และความเร็วรอบของเพลา เราจึงศึกษาเพื่อหาโหลดและความเร็วรอบที่จะทำให้เกิดความเสียหายแก่แบร์ริง เพื่อหลีกเลี่ยงค่าของโหลดและความเร็วรอบของเพลาที่มีผลทำให้ค่าของการลื่นสะเทือนมีค่ามากจนทำให้เกิดความเสียหายแก่แบร์ริง และเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาแบร์ริงต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

Single-mass rotor dynamics

ในเครื่องจักรกลหลาย ๆ ชนิดที่มีการหมุน มวลโรเตอร์ (rotor) อาจจะรวมอยู่ที่จุด ๆ เดียวบนเพลลา ทำให้พิจารณาว่าเพลลาที่มีน้ำหนักเบามาก ในการคำนวณแบบง่าย ๆ ต้องการที่จะทำนายพฤติกรรมของระบบนี้ ในกรณีอื่นมวลโรเตอร์อาจไม่รวมอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งบนเพลลา เพื่อจะช่วยให้การออกแบบเครื่องจักรกลเราจะพิจารณาเหมือนว่ามวลรวมอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งแทน ถึงแม้ว่าบางกรณีจะไม่เข้ากับสถานการณ์ดังกล่าวแต่ก็ยังคงใช้หลักพื้นฐานของ rotating machine dynamics โดยการศึกษาระบบนั้น ทำให้ทราบพฤติกรรมของ rotating machine ภายใต้การกระทำของ dynamics loading และแสดงถึงผลของ parameters ต่าง ๆ เช่น อัมพลิจูด (amplitude) ของการสั่นสะเทือนและแรงที่ส่งถ่าย (transmiss) ไปยังฐาน

ก่อนอื่นจะกล่าวถึงระบบแบบง่าย ๆ ซึ่งประกอบด้วยเพลลายืดหยุ่น (flexible shaft) ซึ่งหมุนอยู่ใน bearing ซึ่งเราจะทราบถึงนิยามของความเร็ววิกฤติ (critical speed) ของเครื่องจักรกล และความสัมพันธ์ของมันต่อพฤติกรรมของเครื่องจักรกล จากนั้นจะศึกษาถึงผลของ single-mass rotor ซึ่งติดอยู่บนเพลลายืดหยุ่นน้ำหนักเบา

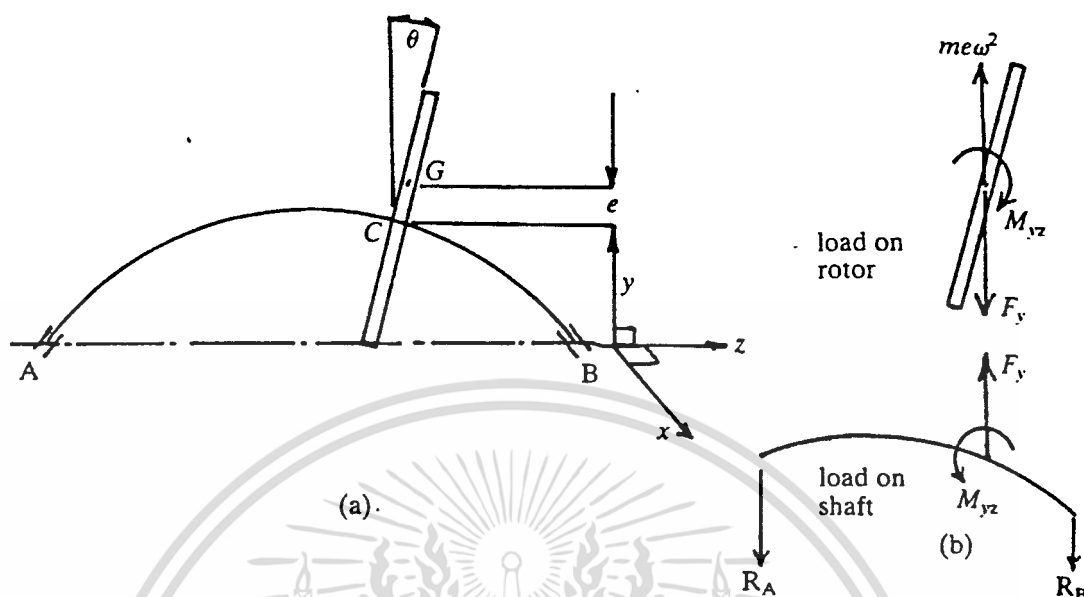
Flexible shaft in rigid bearings

ในบางกรณีระบบที่เราพิจารณาอาจจะเป็นระบบที่มีมวล m ติดอยู่บนเพลลายืดหยุ่นน้ำหนักเบา ซึ่งหมุนอยู่ใน rigid bearings ระบบนี้แสดงได้ดังรูป 2-1 จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง (centre of gravity) ของโรเตอร์ G ถูกตั้งเอียงออกไปจากศูนย์กลางทางเรขาคณิต (geometric centre) ของโรเตอร์ C เป็นระยะทาง e การเบี่ยงเบนตามขวางและเชิงมุม (instantaneous lateral and angular deflections) ของ

เพลลา ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งโรเตอร์มีค่าเป็น y ในแนวตั้ง และ θ ในระนาบ $y-z$ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แรงและโมเมนต์ที่กระทำระหว่างโรเตอร์และเพลลาคือ F_y และ M_{yz} โรเตอร์จะมีแรง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้
ไม่สมมูลย์ (unbalance force) me กระทำในทิศทางดังรูป 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง

หว่างโหลด (load) บนเพล่า F_y , M_{yz} และการเบี่ยงเบนของเพล่า y และ θ กำหนด



รูป 2-1 แสดงภาพประกอบ flexible shaft in rigid bearing

หนดโดยทางทฤษฎีความเบี่ยงเบนของคานแบบธรรมดา และจัดอยู่ในรูป

$$\begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2b^2/3EI1 & -(3a^2b - 2a^3 - ab^2)/3EI1 \\ ab(b-a)/3EI1 & -(3ab - 3a^2 - b^2)/3EI1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_y \\ M_{yz} \end{Bmatrix} \quad (2-1)$$

โดยที่ 1 คือความยาวของเพล่า AB , E คือยังโมดูลัสของความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเพล่า , I คือ โมเมนต์อินเดียบสองของพื้นที่ของเพล่า , a คือระยะทาง AC และ b คือระยะทาง CB สมการ (2-1) อาจเขียนในรูปอย่างง่าย คือ

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

ซึ่งเทอม 11 , 12 , 21 , 22 เป็นสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนรูปของเพล่าต่อ

โหลดที่กระทำ สมการ (2-2) อาจจัดได้ใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{Bmatrix} F_y \\ M_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} \quad (2-3)$$

หรือเขียนให้ง่ายขึ้นอีกเป็น

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

โดยที่ เมทริกซ์ $[k]$ เป็นอินเวอร์สเมทริกของ \mathcal{C} ในสมการ (2-2)

สมการการเคลื่อนที่สำหรับมวลของโรเตอร์ ในทิศทาง y และ θ แทนได้โดย

$$me\omega^2 - F_y = m\ddot{y}, \quad M_{yz} = I_d\ddot{\theta} \quad (2-5)$$

โดย $me\omega^2$ เป็นแรงที่ไม่สมดุลที่กระทำบนโรเตอร์ และ I_d เป็น inertia moment ของโรเตอร์รอบเส้นผ่านศูนย์กลาง สิ่งเกตุว่าการสั่นสะเทือน $\ddot{y} = -\omega^2 y$ และ $\ddot{\theta} = -\omega^2 \theta$ ซึ่งแทนค่า F_y และ M_{yz} จากสมการ 2-3 ลงในสมการ 2-5 ซึ่งเขียนได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} me\omega^2 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (k_{11} - m\omega^2) & k_{12} \\ k_{21} & (k_{22} - I_d\omega^2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} \quad (2-6)$$

ซึ่งจัดใหม่ได้เป็น

$$\begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (k_{11} - m\omega^2) & k_{12} \\ k_{21} & (k_{22} - I_d\omega^2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} me\omega^2 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2-7)$$

หรืออาจเขียนได้เป็น

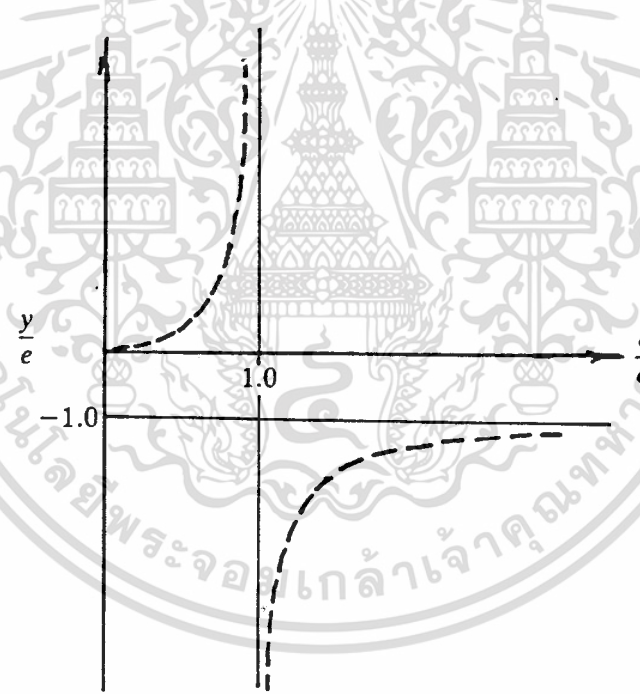
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สมการ 2-7 แสดงค่าต่าง ๆ ของการเปลี่ยนรูปของโรเตอร์ในระนาบแนวตั้ง กับความเร็วในการหมุน การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ในระนาบ x-z หาได้ในแบบเดียวกัน แต่เฟสต่างกัน 90 กับระนาบ y-z เพราะการเกิดแรงต่างเฟสกัน 90

รูป 2-2 แสดงกราฟ y/e กับอัตราส่วนความถี่ ω/ω_n สำหรับกรณีของโรเตอร์ที่ติดอยู่ที่กึ่งกลางของเพลลา ซึ่งวิเคราะห์โดย Jeffcott (1919) จากรูปจะเห็นว่า ความเร็วเพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึง ω_n อัมพลิจูดของการสั่นจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปยังอินฟินิตี้ เมื่อความเร็วมากกว่า ω_n อัมพลิจูดของการสั่นจะลดลง และมีแนวโน้มต่ำสุดที่ $-e$ ความเร็วสูงมาก ๆ อัมพลิจูดการสั่นในทางลบเป็นการเบี่ยงเบนของเพลลาในทิศทางตรงกันข้ามกับความไม่สมดุลย์เชิงศูนย์ e เมื่อความเร็วสูงมาก ๆ y มีแนวโน้มเข้าหา $-e$ ศูนย์กลางของมวลของโรเตอร์ G จะเคลื่อนเข้าหาแนวศูนย์กลางของแกนเพลลา



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

ความถี่ ω_n คือความเร็วของการหมุนหรือความเร็ววิกฤติ การหมุน (whirling) ไม่ใช่การสั่นของเพลลาโดยทั่ว ๆ ไป มันคือการที่ผิวหน้าของเพลลาจุดหนึ่งเกิดความเค้นกระเพื่อม (fluctuating stress) ลักษณะการหมุนจะอยู่ในรูปโค้งงอ (เหมือนรูปของกล้วย) ในกรณีทั่ว ๆ ไป เมื่อโรเตอร์ไม่ได้ติดตั้งอยู่กลางเพลลา จะเกิดความเร็ววิกฤติ 2 ค่า คือการเคลื่อนที่แนวขวางของโรเตอร์และการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้ในระบบดังกล่าว แรงจะถูกส่งถ่ายผ่าน bearing ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเบี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

เบนของเพลลา ทฤษฎีของเครื่องจักรทั่ว ๆ ไป แสดงให้เห็นว่า แรงปฏิกิริยาใน bearing ที่ A และ B ในรูป 2-1 ซึ่งสัมพันธ์กับโหลดที่กระทำบนเพลลา F_y และ M_{yz} โดยสมการ

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

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

$$\begin{Bmatrix} R_A \\ R_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} m\omega^2 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2-12)$$

สมการข้างบนแสดงให้เห็นว่า แรงส่งถ่ายผ่าน bearing จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็ววิกฤติ แรงต่าง ๆ เหล่านี้เป็นแรงพลศาสตร์ (dynamic force) ซึ่งจะถูกซ้อนทับไปบน steady loads

ในระบบจริงซึ่งถูกออกแบบมาให้ทำงานเหนือความเร็ววิกฤติ เครื่องจักรกลจะเดินเครื่องผ่านช่วงความเร็ววิกฤติอย่างรวดเร็ว เพื่อจะได้ไม่มีเวลาที่จะเกิดการลั่นสะเทือนมาก และแรงไม่เกิดการ resonance และก่อนจะ run-down เครื่องจักรก็ต้องทำอย่างนี้เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เดียวกัน ถ้าระบบทำงานที่ความเร็ววิกฤติ การลั่นสะเทือนจะเกิดขึ้น เพลลาอาจจะแตกได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 และเกิดผลเสียร้ายแรงตามมา หรืออาจเกิด damping ขึ้นเป็นตัวจำกัดการลั่นสะเทือนและ

อัมพลิจูดของแรงงาที่อยู่ค่าสูงค่าหนึ่ง

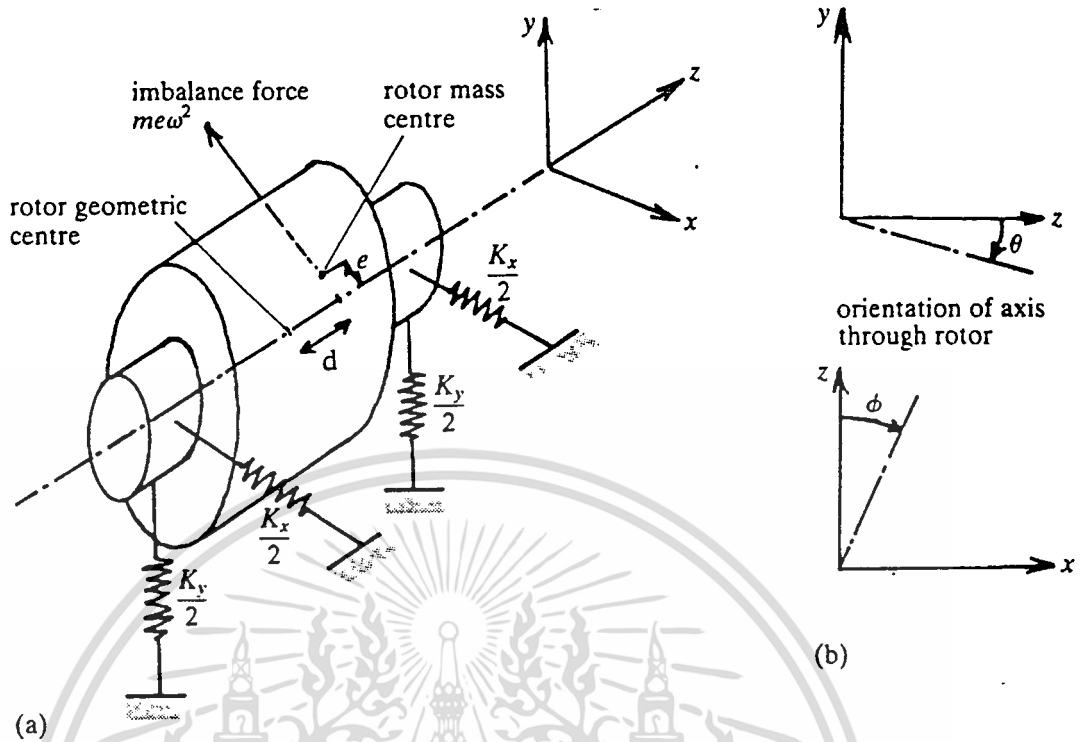
ในระบบที่พิจารณาจากข้างบน การสั่นของโรเตอร์เกิดจากการโค้งงอของเพลลา ในเครื่องจักรอื่น ๆ เพลลาจะแข็งจนพิจารณาได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของโรเตอร์ และการสั่นของระบบเกิดจากความยืดหยุ่นของ bearing การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะแตกต่างจากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา ซึ่งจะแสดงในหัวข้อต่อไป

Symmetrical rigid shaft in flexible anisotropic bearings

ในระบบที่ bearing มีความยืดหยุ่นมากกว่าเพลลาซึ่งทำให้ bearing มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่มากกว่าเพลลา ระบบเช่นนี้อาจพิจารณาว่าเป็นระบบ rigid rotor คล้ายกับที่แสดงในรูปที่ 2-3 ในระบบนี้เพลลาไม่ยืดหยุ่นและ bearings ถูกสมมติว่าทำงานคล้ายเป็นสปริงเชิงเส้น (linear bearings) มีค่า stiffness ในแนวขนานและแนวตั้งเป็น k_x , k_y ตามลำดับ ถ้าโรเตอร์มีมวล m ซึ่งศูนย์กลางถูกตั้งให้เยื้องศูนย์กลางทางเรขาคณิตของโรเตอร์เป็นระยะทาง e และ d และถ้า x และ y เป็นการขจัดเชิงเส้นของโรเตอร์ในแนวขนานและแนวตั้ง (horizontal and vertical) ตามลำดับ ϕ และ θ และเป็นการขจัดเชิงมุมของโรเตอร์ในระนาบ $x-z$ และ $y-z$ ตามลำดับ และสมการของการเคลื่อนที่สำหรับมอเตอร์อาจจะเขียนได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-3 แสดง rigid rotor ติดตั้งใน flexible bearings จาก sinusoidal vibrations

$$\ddot{x} = -\omega^2 x$$

$$\ddot{y} = -\omega^2 y$$

$\ddot{\phi} = -\omega^2 \phi$ และ $\ddot{\theta} = -\omega^2 \theta$ สมการ 2-13 อาจจัดใหม่ได้เป็น

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากการพิจารณาสมการ 2-14 จะเห็นได้ชัดว่า ระบบนี้มีความเร็ววิกฤติ 4 ค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สองค่าเป็นการสั่นสะเทือนตามขวางในแนวขนาน และแนวตั้ง อีกสองค่าเป็นการสั่นสะเทือน

เชิงมุมในระนาบ $x-z$ และ $y-z$



ยกกำลังสองทั้งสองข้างของสมการ 2-14 a และบวกมันเข้าด้วยกันจะได้

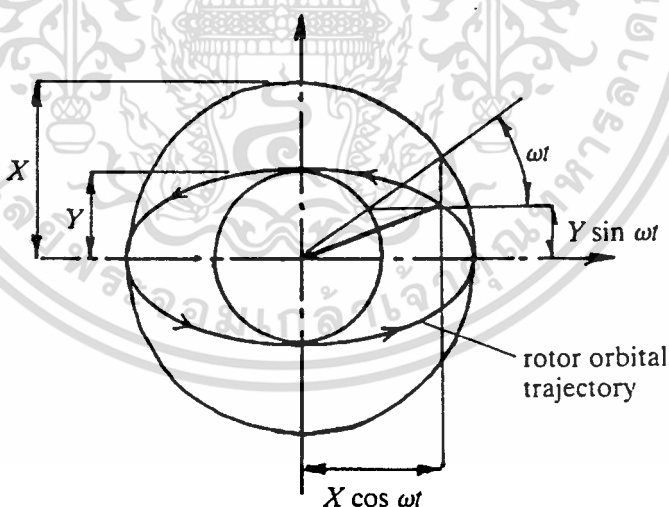
$$x^2/X^2 + y^2/Y^2 = 1 \quad (2-15a)$$

และในทำนองเดียวกันสมการ 2-14 b จะได้

$$\phi^2/\Phi^2 + \theta^2/\Theta^2 = 1 \quad (2-15b)$$

สมการ 2-15 a เป็นสมการวงรี วงโคจรในการเคลื่อนที่ของโรเตอร์จะเป็น
ดังรูป 2-4

ถ้า k_x น้อยกว่า k_y และความเร็วของเพลาค่า ($\hbar^2 < k_x/m$)
แล้วจากสมการ 2-14 a จะสังเกตได้ว่าทั้ง X และ Y เป็นวงทั้งคู่ ดังนั้นโรเตอร์จะหมุนใน



รูป 2-4 แสดงวงโคจรของการเคลื่อนที่ของเพลานในรูป 2-3

ทิศทางเดียวกันกับการหมุนของเพลาค่า แต่อย่างไรก็ตามถ้าความเร็วของการหมุนอยู่ระหว่างค่า
นี้กับความเร็วกฎตันแนวขนานกับแนวตั้ง ($k_x/m < \hbar^2 < k_y/m$) แล้ว X

กลายเป็นลบซึ่งบอกให้ทราบว่าทิศทางการจัดในแนวขนานของโรเตอร์จะอยู่ในทิศทางตรงข้ามเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อทำงานที่ความเร็วต่ำ ที่ความเร็วของเพลาค่าที่สูงมาก ($\hbar^2 > k_y/m$) ทั้ง X และ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 Y เป็นลบและพิจารณาได้จากรูป 2-4 การจัดจะเกิดทิศทางตรงข้ามทั้ง 2 ค่า

สมการ 2-15 b สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ ก็เป็นสมการวงรีด้วย หมายความว่ามีการเคลื่อนที่เป็นวงรีเนื่องจากการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ การเคลื่อนที่ของโรเตอร์นี้เป็นผลมาจากแรงคู่ควบไม่สมดุลย์ (imbalance couple) ซึ่งกระทำบนตัวโรเตอร์ และมันเกิดขึ้นขึ้นบนการเคลื่อนที่ทางขวางของโรเตอร์ การหมุนย้อนกลับทิศของวงโคจรจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเคลื่อนที่นี้ด้วย ระหว่างความเร็ววิกฤติ 2 ค่าที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์

อัมพลิจูดของการส่งถ่ายแรงให้กับ bearings แตกต่างกันออกไปในแนวขนานกับแนวตั้ง รวมทั้งที่ปลายทั้งสองข้างของโรเตอร์ด้วยแรงที่ส่งถ่ายเป็นสาเหตุให้ bearings มีการเปลี่ยนรูป และมีค่าเท่ากับผลคูณของค่า k ของสปริงและการเบี่ยงเบน (deflection) ของโรเตอร์ที่ bearing อัมพลิจูดของแรงแสดงได้ดังนี้

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

โดยเป็นแรงในทิศทางขวางและแนวตั้งตามลำดับ เครื่องหมายของเทอมในวงเล็บขึ้นอยู่กับปลายของโรเตอร์ที่พิจารณา ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าการเคลื่อนที่เชิงมุมของโรเตอร์ทำให้ปลายของโรเตอร์เบี่ยงเบนไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้ามกับการเบี่ยงเบนตามขวางของโรเตอร์ ทำให้เห็นได้ชัดว่าแรงที่ bearing จะมีค่าสูงสุดเมื่อระบบทำงานที่ความเร็ววิกฤติซึ่งค่า X , Y , ϕ และ θ มีค่าสูงสุด

Rotating Unbalance

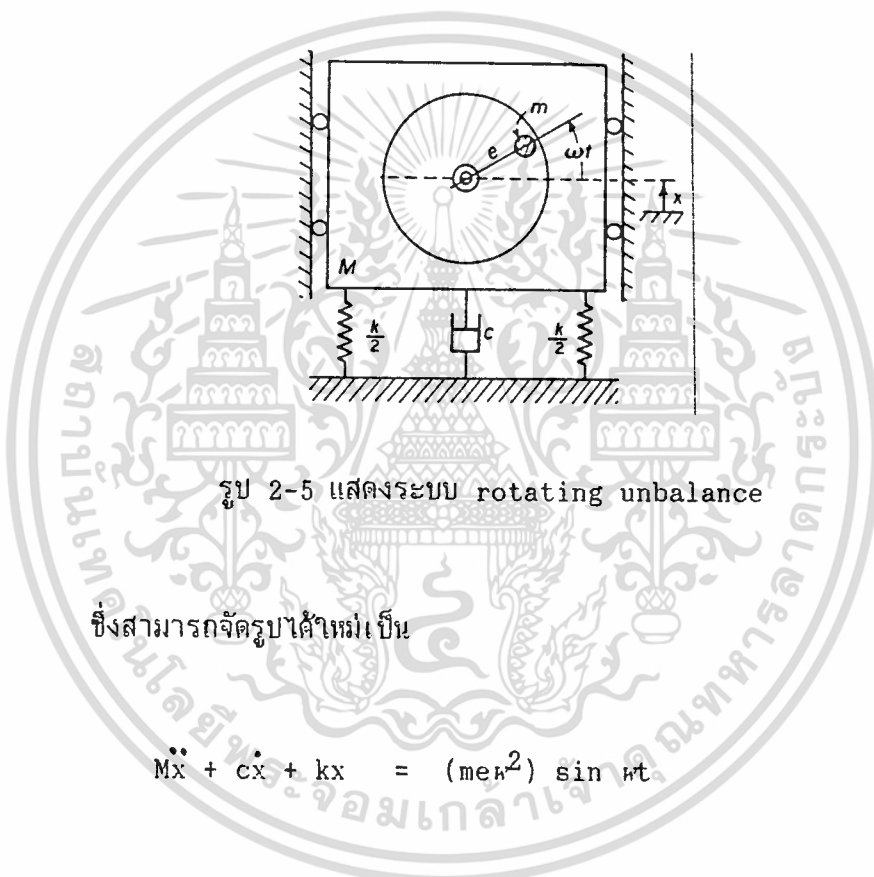
ความไม่สมดุลย์ในอุปกรณ์ที่มีการหมุนเป็นต้นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน เราพิจารณามวลคิสปริงซึ่งถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ได้ในแนวเส้นตรงแนวตั้งเท่านั้น และถูกกระตุ้นโดยอุปกรณ์ที่มีการหมุนซึ่งไม่สมดุลย์ดังแสดงในรูป 2-5

ความไม่สมดุลย์ถูกกำหนดโดยมวลเยื้องศูนย์กลาง m ซึ่งมีระยะเยื้องศูนย์กลาง e ทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ให้ x เป็นการขจัดของมวลซึ่งไม่มีการหมุน ($M - m$) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้จากตำแหน่งสมดุลย์ทางสถิติศาสตร์ การขจัดของมวล m คือ

$$x + e \sin \omega t \tag{2-17}$$

ได้สมการของการเคลื่อนที่

$$(M - m)\ddot{x} + m \frac{d^2}{dt^2} (x + e \sin \omega t) = -kx - c\dot{x} \tag{2-18}$$



รูป 2-5 แสดงระบบ rotating unbalance

ซึ่งสามารถจัดรูปได้ใหม่เป็น

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = (me\omega^2) \sin \omega t \tag{2-19}$$

มันเห็นได้ชัดว่าสมการ 2-19 เป็นสมการเดียวกับสมการ Forced harmonic vibration คือ

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

โดย F_0 ถูกแทนด้วย $me\omega^2$ และการแก้สมการ steady state แทนด้วย
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบเซ
 และ

$$X = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \tag{2-20}$$

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

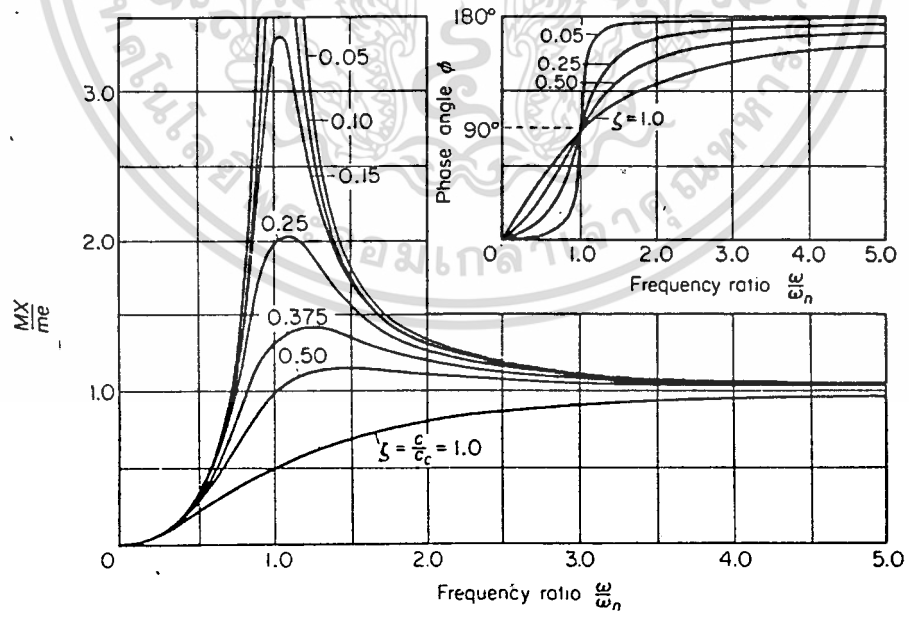
สามารถลดรูปเป็นแบบไร้มิติได้ดังนี้

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

และ

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

แสดงได้ดังกราฟในรูป 2-6



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการสำเร็จคือ

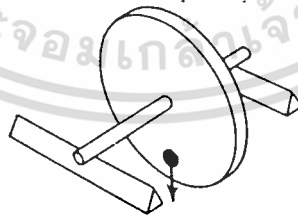
$$x(t) = X_1 e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t + \phi_1) + \frac{m e \omega^2}{\sqrt{(k - M \omega^2)^2 + (c \omega)^2}} \sin(\omega t - \phi) \quad (2-24)$$

Rotor Unbalance

ทฤษฎีที่ผ่านมามีเกิดขึ้นในระนาบเดียว แต่ความไม่สมดุลในล้อที่หมุนหรือโรเตอร์ ประกอบด้วยหลายระนาบ เราแบ่งแยกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ความไม่สมดุลทางสถิตศาสตร์ (static unbalance)

เมื่อมวลที่ไม่สมดุลถูกวางตัวอยู่ในระนาบเดียว เหมือนกรณีของจานโรเตอร์ บาง ๆ ผลของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นเป็นแรงงานแนวรัศมี ดังในรูปที่ 2-7 เราใช้ตรวจสอบทางสถิตศาสตร์ตรวจหาความไม่สมดุลของล้อที่มีแกนวางขนานขนาน ล้อจะกิ้งไปจนกว่า จุดที่หนักของล้อจะชี้ลงไปยังล่างของแกน เพราะความไม่สมดุลเช่นนี้ ตรวจหาได้โดยไม่ต้องปั่นเพลลา จึงเรียกว่าความไม่สมดุลทางสถิตศาสตร์



รูป 2-7 แสดงระบบไม่สมดุลทางสถิตศาสตร์

ความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)

เมื่อเกิดความไม่สมดุลมากกว่า 1 ระนาบ ผลที่ได้คือแรงและโมเมนต์โยก ซึ่ง

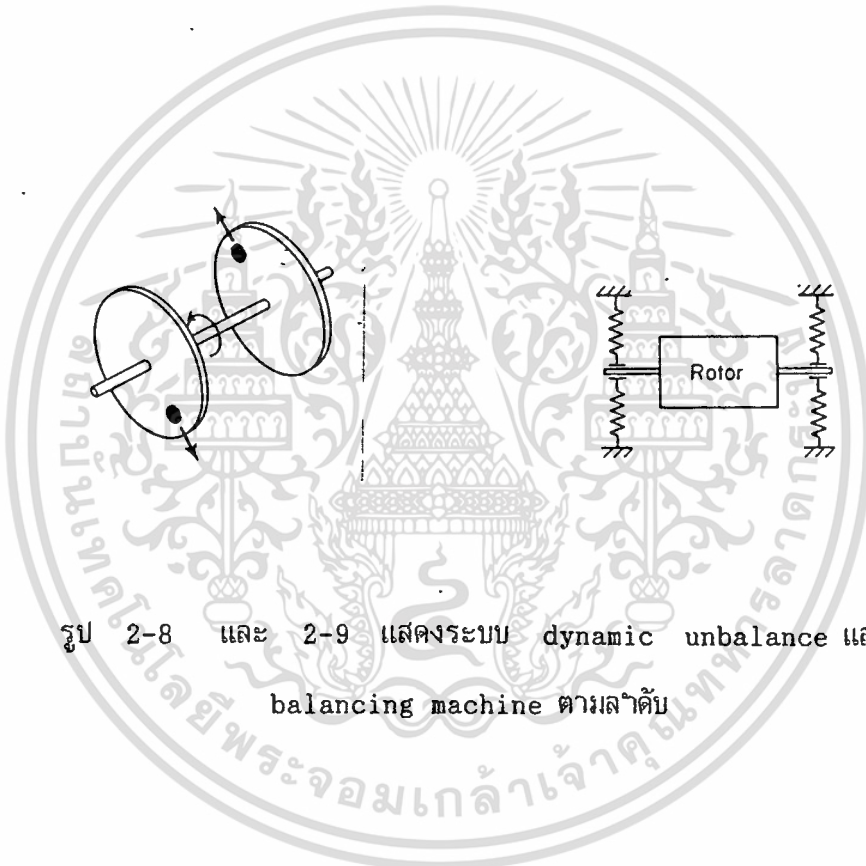
หมายถึงความไม่สมดุลทางพลศาสตร์

โมเมนต์โยกไม่สามารถหาได้ถ้าไม่มีการปั่นโรเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เช่น เพลลาซึ่งมีจาน 2 อันติดอยู่ดังรูป 2-8 ถ้ามวลที่ไม่สมดุลมีค่าเท่ากันและห่างกัน 180

โรเตอร์จะสมดุลย์ทางสถิตศาสตร์รอบแกนเพลลา แต่เมื่อโรเตอร์ปั่น งานแต่ละตัวจะสร้างแรงหนีศูนย์กลางของการหมุน ทำให้เกิดการโยกของเพลลาบน bearings

โดยทั่วไปโรเตอร์ยาว ๆ เช่น เพลลาข้อเหวี่ยง อาจพิจารณาว่าเป็นงานบาง ๆ หลายอันต่อกันเป็นชุด แต่ละอันก็ไม่สมดุลย์ โรเตอร์จะปั่นเพื่อหาความไม่สมดุลย์ อุปกรณ์ที่ถูกตรวจและแก้ไขค่าความไม่สมดุลย์แล้วเรียกว่า balancing machines ประกอบด้วย bearing ซึ่งติดตั้งสปริงเอาไว้เพื่อตรวจจับแรงที่ไม่สมดุลย์ด้วยการเคลื่อนที่ของตัวมันเอง



รูป 2-8 และ 2-9 แสดงระบบ dynamic unbalance และ balancing machine ตามลำดับ

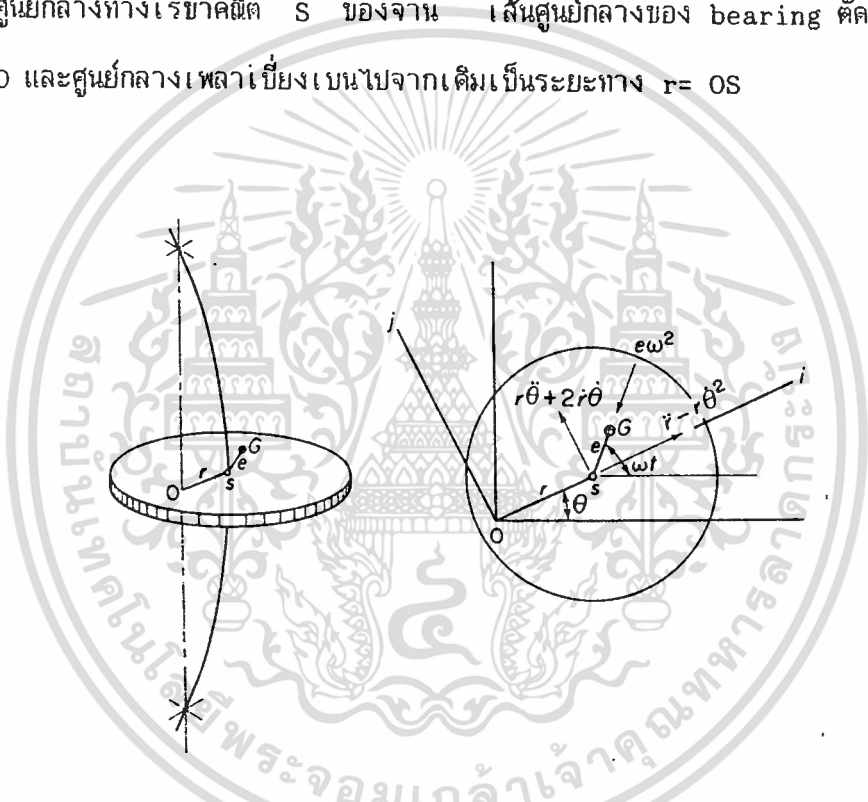
ดังแสดงในรูป 2-9 ถ้ารู้การจับของ bearing แต่ละตัว และรู้เฟสของมัน เราก็จะกำหนดค่าความไม่สมดุลย์และทำการปรับค่าได้

Whirling of rotating shafts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เพลลาที่หมุนจะไถ่งออกที่บางความเร็วและเหวี่ยง (whirl) ในลักษณะที่ซับซ้อน การเหวี่ยงคือการหมุนของระนาบซึ่งเกิดจากเพลลาไถ่ง และแนวศูนย์กลางของ bearing

เกิดจากหลายสาเหตุ เช่นความไม่สมดุลย์ของมวล, damping ในเพลลา, ความเสียดทานของของไหลใน bearing และสาเหตุอื่น การเหวี่ยงของเพลลาอาจเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงข้ามกับการหมุนของเพลลา และความเร็วในการเหวี่ยงอาจจะเท่ากับความเร็วในการหมุนหรือไม่ก็ได้

เราพิจารณาจาน (disk) ซึ่งมีมวล m ถูกติดตั้งอย่างสมมาตรบนเพลลาซึ่งรองรับด้วย bearing 2 ตัว ตามรูป 2-10 จุดศูนย์กลางมวลของจาน G อยู่ที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง e จากจุดศูนย์กลางทางเรขาคณิต S ของจาน เส้นศูนย์กลางของ bearing ตัดกับระนาบของจานที่ O และศูนย์กลางเพลลาเบี่ยงเบนไปจากเดิมเป็นระยะทาง $r = OS$



รูป 2-10 แสดงการเหวี่ยงของเพลลาหมุน

เราสมมติว่าเพลลา (แนว $e = SG$) หมุนที่ความเร็วคงที่ ω และโดยทั่ว ๆ ไปแนว $r = OS$ จะเหวี่ยงที่ความเร็ว θ ซึ่งไม่เท่ากับความเร็ว ω สำหรับสมการการเคลื่อนที่ เราสามารถหาความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลได้ดังนี้

$$a_G = a_s + a_{G/s} \tag{2-25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อ a_s เป็นความเร่งของจุด s และ $a_{G/s}$ เป็นความเร่งของ G สัมพันธ์กับ s เทอมหลังเป็นความสัมพันธ์โดยตรงของ G กับ s เพราะ ω คงที่ แก่สมการหา

ค่า a_G ในทิศทางรัศมีและทิศทางสัมผัส (radial and tangential direction) เราจะได้

$$a_G = [(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) - e\omega^2 \cos(\omega t - \theta)]i + [(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}) - e\omega^2 \sin(\omega t - \theta)]j \quad (2-26)$$

เนื่องจากแรงที่สะสมอยู่ในเพลลา เราจะสมมติว่ามีแรง viscous damping กระทำที่ s สมการของการเคลื่อนที่ที่ถูกแก้ในทิศทางรัศมีและทิศทางสัมผัสเป็น

$$-kr - c\dot{r} = m[\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 - e\omega^2 \cos(\omega t - \theta)]$$

$$-cr\dot{\theta} = m[r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} - e\omega^2 \sin(\omega t - \theta)]$$

ซึ่งสามารถจัดได้ใหม่เป็น

$$\ddot{r} + c\dot{r}/m + (k/m - \dot{\theta}^2)r = e\omega^2 \cos(\omega t - \theta) \quad (2-27)$$

$$r\ddot{\theta} + (cr/m + 2\dot{r})\dot{\theta} = e\omega^2 \sin(\omega t - \theta) \quad (2-28)$$

ในกรณีทั่ว ๆ ไปของการเหวี่ยงเราใช้สมการข้างบนอธิบายได้ ภายใต้การแบ่งแยกการเคลื่อนที่กระตุ้นด้วยตนเอง (self-excited) ซึ่งแรงกระตุ้นซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ถูกรควบคุมโดยการเคลื่อนที่ของตัวมันเอง ถ้าตัวแปรในสมการนี้เป็น r และ θ ปัญหาก็จะเป็นแบบ 2 DOF อย่างไรก็ตามในการเหวี่ยงแบบ steady-state synchronous ซึ่ง $\dot{\theta} = \omega$ และ $\ddot{\theta} = \ddot{r} = \dot{r} = 0$ ปัญหาก็จะกลายเป็น 1 DOF

Synchronous whirl

สำหรับการเหวี่ยงแบบ synchronous ความเร็วในการเหวี่ยง เท่ากับความเร็วในการหมุน ω ซึ่งเราสมมติว่าคงที่จะได้

$$\dot{\theta} = \omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และจากการอื่นที่เกรตเราได้ว่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ เป็นมุมเฟสระหว่าง e และ r ซึ่งเป็นค่าคงที่ดังแสดงในรูป 2-10

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

$$(k/m - \omega^2) r = e \omega^2 \cos \phi \quad (2-29)$$

$$c \omega r / m = e \omega^2 \sin \phi$$

เอาสองสมการหารกันจะได้

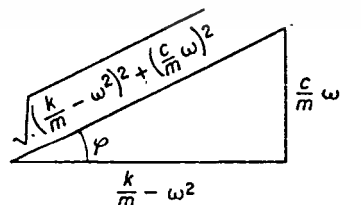
$$\tan \phi = \frac{\frac{c}{m} \omega}{\left(\frac{k}{m} - \omega^2\right)} = \frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (2-30)$$

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

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

และแทนลงในสมการแรกของสมการ 2-29 จะได้สมการของอัมพลิจูด

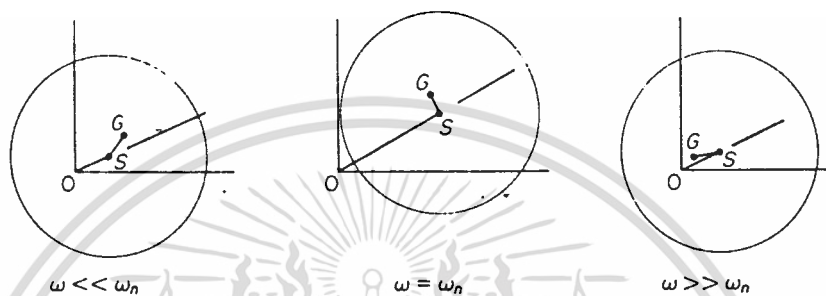
$$r = \frac{m e \omega^2}{\sqrt{(k - m \omega^2)^2 + (c \omega)^2}} = \frac{e \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad (2-32)$$



รูป 2-11 แสดงสามเหลี่ยมของเวกเตอร์

จากสมการต่าง ๆ ข้างบนบอกให้เราทราบว่าแนวเอียงศูนย์ $e = SG$ มีเฟสนำไม่ว่าแนวการขจัด $r = OS$ ให้อยู่เป็นมุมเฟส ϕ ต่อ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของ r damping และอัตราส่วนความเร็ว ω/ω_n เมื่อความเร็วในการหมุนใกล้เคียงกับความเร็ววิกฤติ $\omega_n = \sqrt{k/m}$

หรือความถี่ธรรมชาติของเพลานการสั่นสะเทือนแนวขวาง ต้องมีเงื่อนไขของการ resonance ซึ่งอัมพลิจูดจะถูกกำหนดโดย damping เท่านั้น รูป 2-12 แสดงระบบที่ประกอบด้วยจานและเพลานภายใต้เงื่อนไขของความเร็วต่าง ๆ กัน 3 แบบ ที่ความเร็วสูง $\omega \gg \omega_n$ จุดศูนย์กลางมวลมีแนวโน้มที่จะเข้าไปหาจุด O และจุดศูนย์กลางของเพลาน หมุนอยู่ใกล้ ๆ กับ G เป็นวงกลมรัศมี e



รูป 2-12 แสดงระบบภายใต้ความเร็วต่าง ๆ กัน 3 แบบ

สังเกตได้ว่า สมการสำหรับการเหวี่ยงแบบ synchronous คล้ายกับ Rotating Unbalance เพราะทั้ง 2 แบบ แรงกระตุ้นให้เกิดการหมุนและมีค่าเท่ากับ $m\epsilon\omega^2$ อย่างไรก็ตาม ใน Rotating Unbalance ความไม่สมดุลอยู่ในเทอมของมวลไม่สมดุลขนาดเล็ก m แต่ในเรื่องการเหวี่ยงนี้ความไม่สมดุลกำหนดโดยมวลทั้งหมด m และระยะเยื้องศูนย์กลาง e รูป 2-6 อาจจะใช้ในปัญหานี้ได้โดยใช้ r/e แทน $MX/m\epsilon$

การคำนวณหาค่า Torque

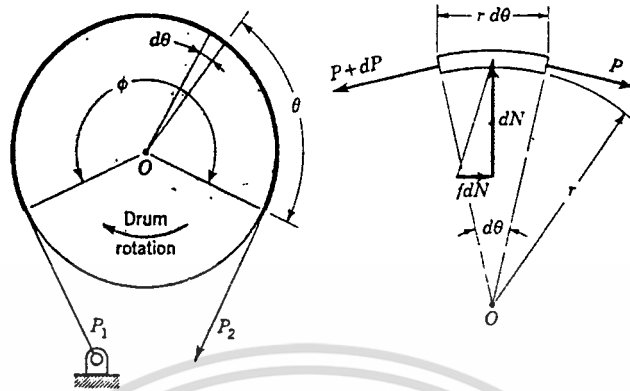
การหาค่า Torque ใช้หลักการ Band-type clutches and brakes โดยวิเคราะห์ได้ดังรูป 2-13

ผลของแรงเสียดทานในสายพานและการหมุนของครีมน์ (drum) ทำให้แรงดึง P_2 มีค่าน้อยกว่าแรงปฏิกิริยาของจุดยึด P_1 กำหนดให้มุมของสายพานที่สัมผัสผิวของครีมน์มีค่า d ภายใต้เงื่อนไขของสภาวะสมดุล จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลรวมของแรงลัพธ์ในแนวตั้ง (แกน y)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum F_y = 0$$



รูป 2-13 แสดงแรงดึงใน Brake band

$$(P + dP)\sin d\theta/2 + P \sin d\theta/2 - dN = 0 \tag{2-33}$$

$$dN = Pd\theta$$

ผลรวมของแรงลัพธ์ในแนวนอน (แกน x)

$$\sum F_x = 0$$

$$(P + dP)\cos d\theta/2 - P \cos d\theta/2 - fdN = 0$$

$$dN = fdN \tag{2-34}$$

แทนค่าของ dN จากสมการ 2-33 ลงในสมการ 2-34 แล้วอินทิเกรต จะได้ว่า

$$\int_{P_2}^{P_1} \frac{dP}{P} = f \int_0^{\phi} d\theta$$

$$\ln P_1/P_2 = f\phi$$

ดังนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ของแรง P₁ และ P₂ ดังสมการ

$$P_1/P_2 = e^{f\phi} \tag{2-35}$$

และสามารถหาโมเมนต์บิด (Torque) ได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = (P_1 - P_2) D/2 \tag{2-36}$$

อุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน

หลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนคือ seismic unit ตามรูป 2-14 พิกัดความถี่ที่ใช้ การขจัด ความเร็ว หรือความเร่งถูกวัดจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของมวลแขวนลอย (suspended mass) กับภาชนะที่บรรจุ (case)

การที่จะกำหนดพฤติกรรมของเครื่องมือนี้เราอาศัยสมการการเคลื่อนที่ของมวล m

$$m\ddot{x} = -c(\dot{x} - \dot{y}) - k(x - y) \quad (2-37)$$

โดยที่ x และ y เป็นการขจัดของ seismic mass และ โครงของมัน (body) ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองค่าถูกวัดโดยสัมพันธ์กับแกนอ้างอิงเฉื่อย (inertial reference) ำให้การขจัดสัมพัทธ์ของมวล m กับภาชนะที่บรรจุเป็น

$$z = (x - y) \quad (2-38)$$

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

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = m\omega^2 Y \sin \omega t \quad (2-39)$$

สมการนี้คล้ายกับสมการ 2-19 โดยแทน x และ $m\omega^2$ ด้วย z และ $m\omega^2 Y$ ตามลำดับ และจาก $z = Z \sin(\omega t - \phi)$ เราจะได้

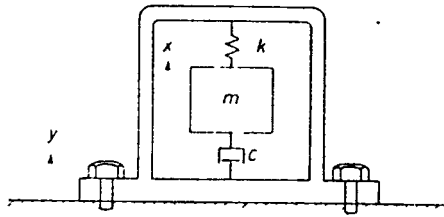
$$Z = \frac{m\omega^2 Y}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{Y \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad (2-40)$$

และ

$$\tan \phi = \frac{\omega c}{k - m\omega^2} = \frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (2-41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
จากสมการจะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญก็คืออัตราส่วนความถี่ ω/ω_n

และ



รูป 2-14 แสดงหลักการพื้นฐานของเครื่องวัดความสั่นสะเทือน

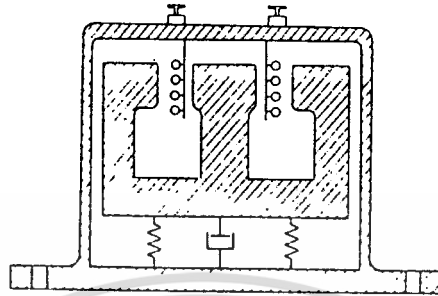
Seismometer

เป็นอุปกรณ์ที่ความถี่ธรรมชาติต่ำ คืออัตราส่วนของ w/w_n มีค่ามาก และการจัดสัมพัทธ์ z เข้าใกล้ Y โดยไม่คำนึงถึงค่ามวล m ยังคงอยู่กับที่ขณะที่ภาชนะบรรจุมีการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับโครงของมัน

ข้อได้เปรียบของอุปกรณ์ชนิดนี้คือขนาดใหญ่ เนื่องจาก $z = Y$ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของ seismic mass ต้องเท่ากับขนาดของการสั่นสะเทือนที่จะวัด

การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ z จะถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยการทำให้มวลซึ่งเป็นแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่าน coil ในภาชนะที่บรรจุ ตามรูป 2-15 เพราะแรงดันที่สร้างขึ้นเป็นสัดส่วนกับอัตราการตัดสนามแม่เหล็ก output ของอุปกรณ์นี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของโครงที่สั่นสะเทือน อุปกรณ์เช่นนี้เรียกว่า velometer อุปกรณ์ชนิดนี้ส่วนมากมีความถี่ธรรมชาติระหว่าง $1 - 5 \text{ Hz}$ และใช้เวลานานย่านพิกัดความถี่ $10 - 2000 \text{ Hz}$ ความไว (sensitivity) อยู่ในช่วง 20 mV/cm/s ถึง 350 mV/cm/s มีการจัดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ $0.5 \text{ cm. peak to peak}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-15 แสดงรูปประกอบ velometer

การหาการขจัดและความเร่งอาจหาได้จากตัวตรวจจับความเร็วโดย integrator หรือ differentiator ซึ่งอยู่ในอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

Accelerometer

ใช้เมื่อความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์สูงกว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น อุปกรณ์จะเป็นตัวบอกความเร่งที่เกิด

จากสมการ 2-40 สังเกตตัวประกอบ

$$\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}$$

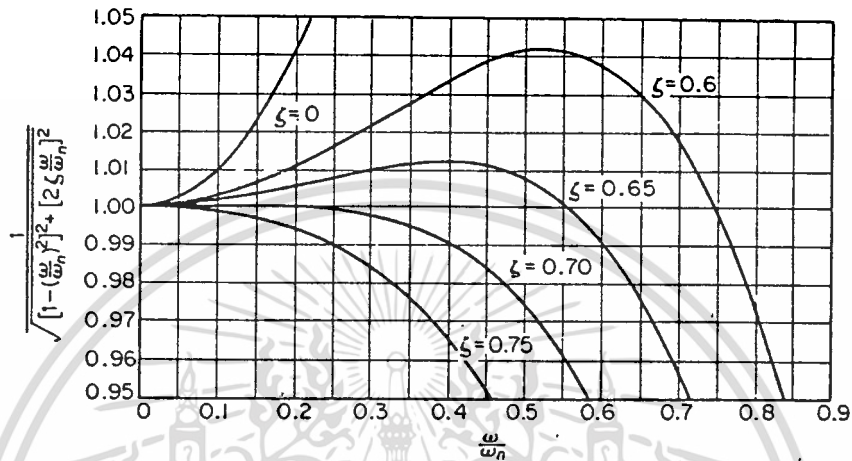
เข้าใกล้ 1 เมื่อ ω/ω_n เข้าใกล้ศูนย์ จะได้

$$Z = \omega^2 Y / \omega_n^2 = \text{ความเร่ง} / \omega_n^2 \tag{2-42}$$

ดังนั้น Z เป็นสัดส่วนกับความเร่งของการเคลื่อนที่ที่จะวัดด้วยตัวประกอบ $1/\omega_n^2$

ย่านพิกัดการใช้งานดูได้จากรูป 2-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



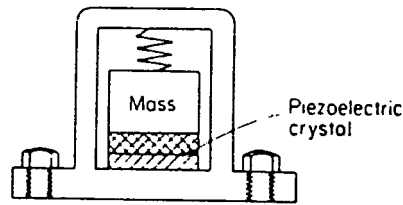
รูป 2-16 ความผิดพลาดของความเร่งกับความถี่ซึ่งมี ζ เป็นพารามิเตอร์

สำหรับค่า ζ ต่าง ๆ รูปจะแสดงให้เห็นว่าพิกัดความถี่ที่ใช้งานของมิเตอร์ความเร่ง (accelerometer) แบบ undamped ถูกจำกัดอยู่ อย่างไรก็ตาม ที่ค่า $\zeta = 0.7$ พิกัดความถี่ที่ใช้งาน $0 < \omega/\omega_n < 0.20$ มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 % ดังนั้น อุปกรณ์ที่มีความถี่ธรรมชาติ 100 Hz จะมีพิกัดใช้งานอยู่ที่ 0 - 20 Hz และมีค่าผิดพลาดน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง

มิเตอร์ความเร่งมีหลายแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบบ seismic mass ใช้กับการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำ และตัวรองรับแบบสปริงอาจจะมีการต่อสเตรนเกจ (strain gage) เป็นแบบวงจรรีดิคซ์

คุณสมบัติของผลึกถูกใช้ในมิเตอร์ความเร่งที่ใช้งานที่ความถี่สูง ผลึกถูกคิดเอาไว้เพื่อสร้างประจุไฟฟ้าเมื่อมีการกดหรือการบิดของผลึก รูป 2-17 เป็นรูปแสดงมิเตอร์ความเร่งชนิดนี้ ความถี่ธรรมชาติของมิเตอร์แบบนี้สูงมาก คือประมาณ 50,000 Hz ซึ่งใช้วัดความเร่งได้สูงถึง 3000 Hz ขนาดของมันเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 cm. สามารถทนแรงกระแทก (shock) ได้ถึง 10,000 g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ขอเอาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-17 แสดงมิเตอร์ความเร่งแบบผลึก

ความไวของมิเตอร์แบบผลึกถูกกำหนดในเทอมของประจุไฟฟ้า (picocoulombs = pC = 10^{-12} coulombs) ต่อ g หรือในเทอมของแรงดันไฟฟ้า (millivolts = mV = 10^{-3}) ต่อ g เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าตามสมการ $E = Q/C$ ค่าการเก็บประจุ (capacitance) ของผลึกและค่าการเก็บประจุที่ต่อขนานต้องระบุเอาไว้ด้วย โดยทั่วไปความไวสำหรับมิเตอร์ความเร่งแบบผลึก คือ 25 pC/g ต่อค่าการเก็บประจุ 500 pF จากสมการ $E = Q/C$ จะได้ $25/500 = 0.050\text{V/g} = 50\text{ mV/g}$ สำหรับความไวในเทอมของแรงดันไฟฟ้า ถ้ามิเตอร์ความเร่งถูกต่อกับโวลต์มิเตอร์แบบสูญเสียพลังงานผ่านทางสายสัญญาณที่มีค่าการเก็บประจุ 300 pF แรงดันไฟฟ้า output จากการ open circuit จะลดลงเป็น

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

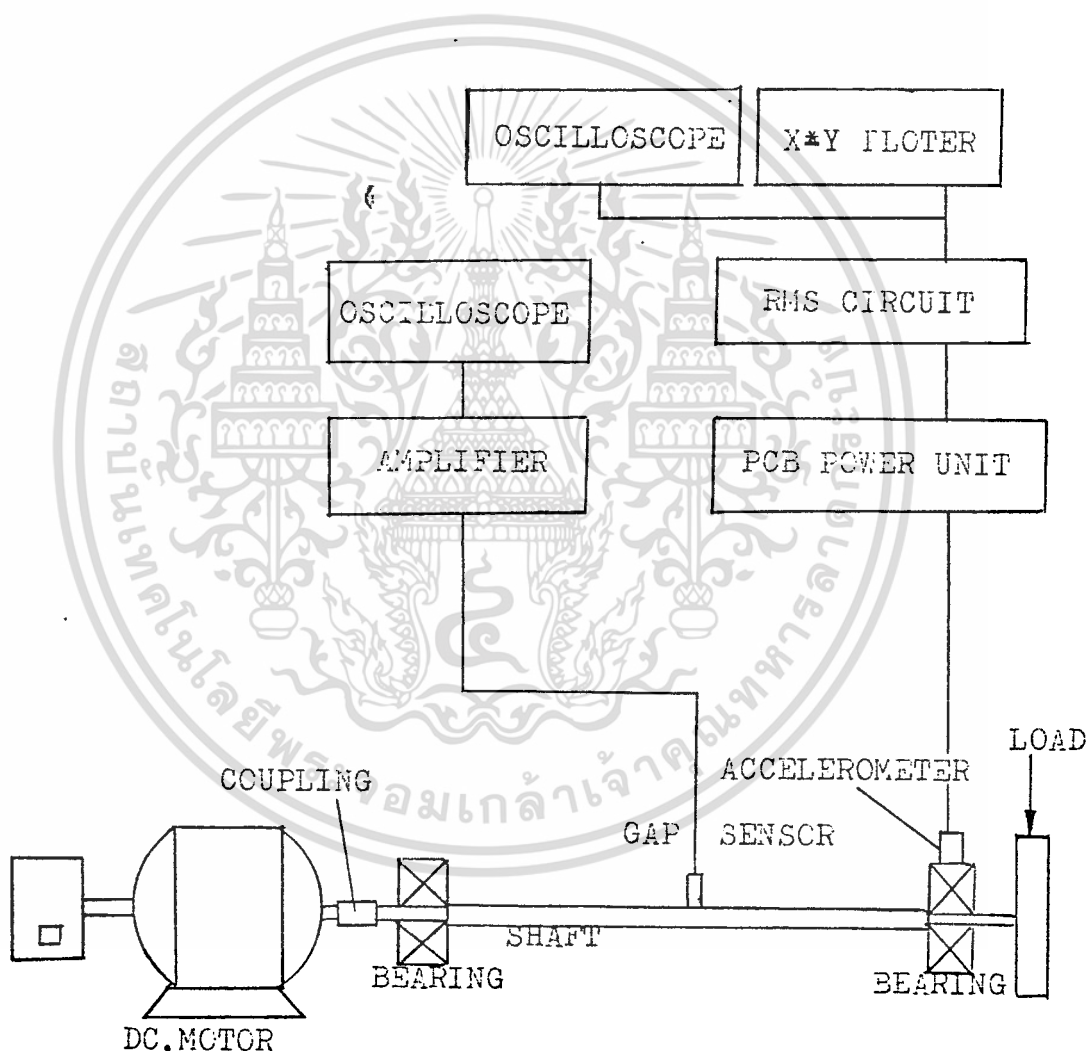
การสูญเสียของสัญญาณเช่นนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้ charge amplifier ซึ่งทำให้ค่าการเก็บประจุของสายสัญญาณไม่มีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

การติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูป 3-1 แสดงการสร้างและจัดอุปกรณ์เพื่อใช้ทำการทดลอง

1. ติดตั้ง bearings ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 mm. เข้ากับ housing ของมัน โดย housing จะยึดอยู่กับส่วนฐานของแท่นอุปกรณ์ทดลอง
2. สวมเพลลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 mm. เข้ากับ bearings โดยตั้งเพลลาให้ได้ศูนย์กับแนวศูนย์กลางของ bearing เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ bearings เนื่องจากการไม่ได้ศูนย์ของการติดตั้ง ติดมวลขนาดเล็กเอาไว้ที่กึ่งกลางเพลลา เพื่อให้มีการแกว่งแบบเยื้องศูนย์
3. ที่ปลายเพลลาด้านหนึ่งต่อ DC มอเตอร์เข้ากับเพลลาโดยใช้ coupling ยางต่อระหว่างเพลลา กับ แกนโรเตอร์ (rotor) ของมอเตอร์ เพื่อขับเพลลาให้หมุน
4. ติดแผ่นสะท้อนแสงที่ DC มอเตอร์ เพื่อใช้วัดความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้ tachometer
5. ต่อ gap-sensor เข้ากับแท่นยึด โดยให้ระยะห่างของปลาย gap-sensor หรือโพรบ (probe) ห่างจากเพลลาประมาณ 1.5 mm. เพื่อวัดสัญญาณการขจัดของเพลลาทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง
6. ต่อสายสัญญาณจาก gap-sensor ไปยัง amplifier และผ่านสัญญาณ output จาก amplifier เข้า oscilloscope หรือ plotter
7. ติด accelerometer เข้ากับ housing ของ bearing ให้แน่นหนา แล้วต่อสายสัญญาณไปยัง PCB power unit
8. ต่อสายสัญญาณจาก PCB power unit แยกไปยัง oscilloscope ทางหนึ่ง และผ่าน วงจร RMS ไปยัง plotter อีกทางหนึ่ง
9. ที่ปลายเพลลาด้านตรงข้ามกับด้านที่ติดมอเตอร์ ใส่ pulley เข้าไปแล้วคล้องสายพานผ่านไปยังตาชั่งสปริง เพื่อใช้วัดแรงดึงในสายพานเพื่อหา Torque

การคำนวณหาความถี่ธรรมชาติทางทฤษฎี

$$\text{เพลสแดนเลสมี } E = 193 \text{ GN}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$e = 4.5 \text{ mm.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น น้ำหนักของเพลลาทั้งระบบมี = 277.45 gram เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง} = 6 \text{ mm.}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 2-2 เป็นดังนี้

$$\alpha_{11} = \frac{l^3}{48EI} \quad , \quad \alpha_{12} = 0 \quad \because a = b$$

$$k_{11} = \frac{48 EI}{l^3} = \frac{48 \times 193 \times 10^9 \times \pi \times (0.006)^4}{64 (0.39)^3}$$

$$= 9935.27 \text{ N.m}^{-1}$$

$$y = \frac{mew^2}{(k_{11} - m\omega^2)}$$

$$\omega_n = k_{11}/m = 9935.27 / 0.27745$$

$$= 189.23 \text{ rad/s}^{-1}$$

$$= 1807 \text{ rpm.}$$

การคำนวณหาค่า deflection ในทางทฤษฎี

จากความสัมพันธ์ของ deflection : y

$$y = \frac{mew^2}{(k_{11} - m\omega^2)}$$

$$\text{แทนค่า } m = 277.45 \text{ g.}$$

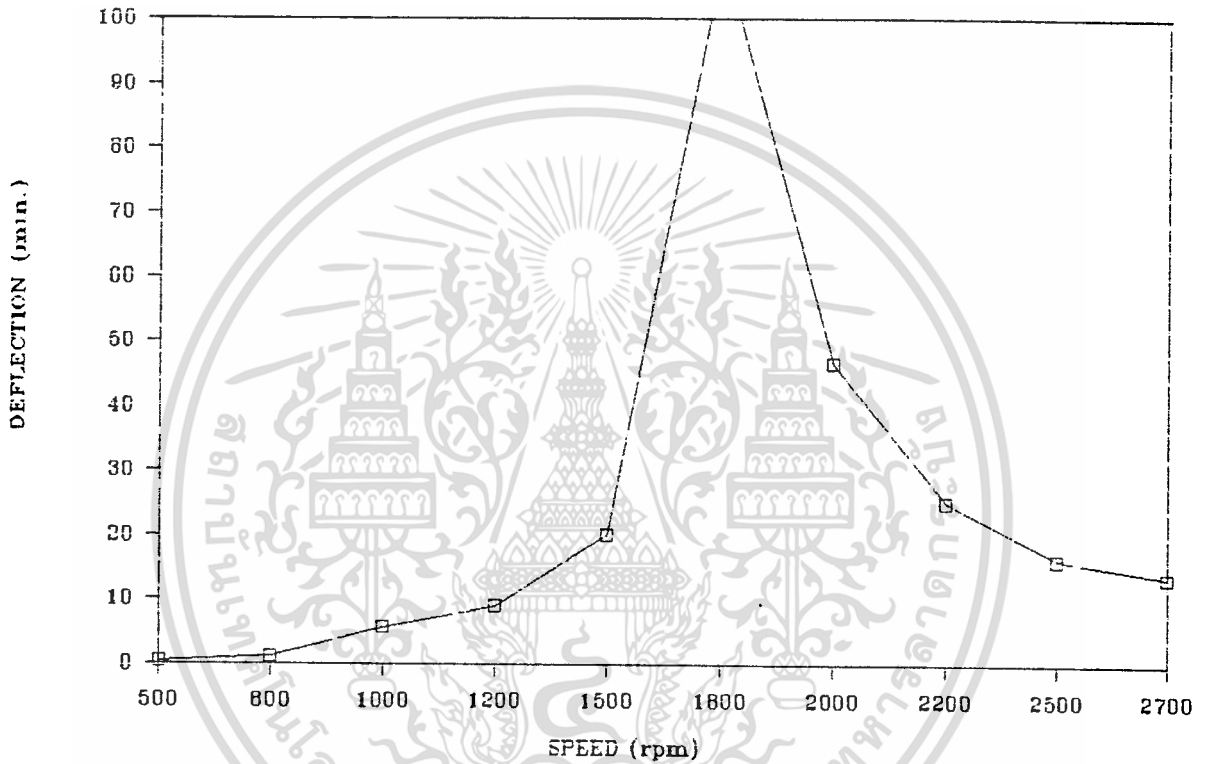
$$e = 4.5 \text{ mm.}$$

$$k_{11} = 9935.27 \text{ N.m}^{-1}$$

สามารถหาค่า deflection โดยคิดที่ NO LOAD ได้ผลดังตาราง

ความเร็วรอบ (RPM)	deflection (mm)	ความเร็วรอบ (RPM)	deflection (mm)
500	0.37	1800	∞
800	1.09	2000	46.6
1000	5.57	2200	25.15
1200	8.89	2500	16.23
1500	20.16	2700	13.59

RELATION BETWEEN DEFLECTION AND SPEED



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าความไวและค่าสัญญาณที่วัดได้จาก recorder

เมื่อเราไม่สามารถตั้งค่าความไวได้โดยตรงจากสวิตช์ RANGE เช่นค่าความไว 3 V ให้เป็นค่า full scale 250 มม. ต้องทำตามขั้นตอนดังนี้

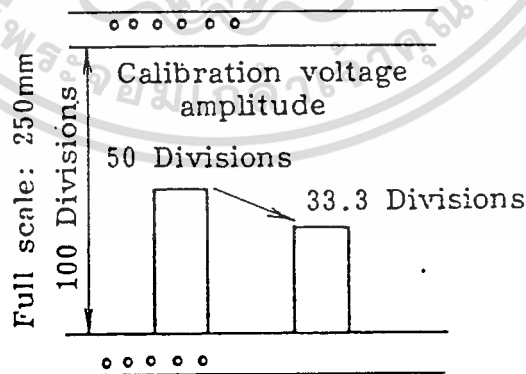
1. ตั้งสวิตช์ RANGE ไปที่ค่าความไว 2 V
2. ปรับปุ่ม CAL.V/ON ไปที่ตำแหน่ง ON และปิดลูกบิด VERNI เพื่อให้ปากกามีการเคลื่อน 33.3 ช่อง (1 ช่อง เท่ากับ 2.5 มม.) ใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{FULL SCALE} = \text{RANGE VALUE} \times 50 \text{ ช่อง/ช่องที่ได้เมื่อตั้ง CAL.V/ON ไปที่ ON}$$

calibration voltage สัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความไว เนื่องจากเราตั้งค่าความไวเอาไว้ 2 V calibration voltage จึงมีค่า 1 V

ถ้าค่าความไวที่ตั้งเอาไว้ทำให้ปากกาเคลื่อนไป 33.3 ช่อง full scale จะกลายเป็น 3 x 1 V หรือ 3 V

ดูรูปที่ 3-1 ประกอบ



รูป 3-1 แสดงการตั้งค่าความไวที่ตั้งโดยตรงไม่ได้

การวัดระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณที่เราไม่รู้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

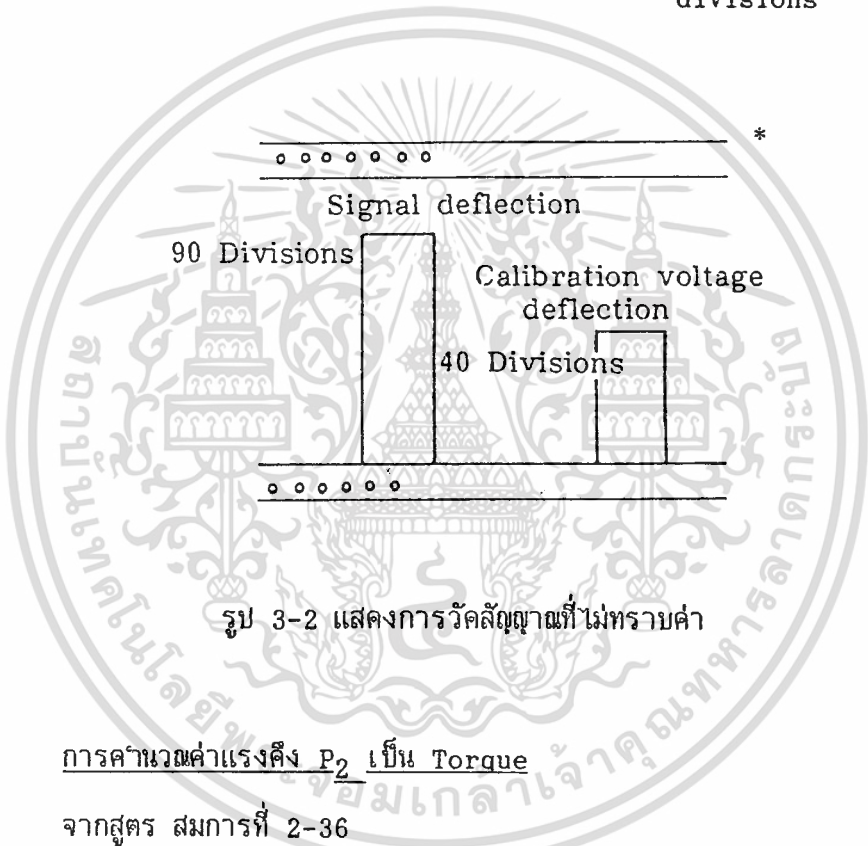
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สมมุติว่าเราตั้งค่า RANGE ไว้ที่ 2 V สัญญาณที่วัดทำให้ปากกาเคลื่อนไปเป็นระยะ

ทาง 90 ช่อง เมื่อตั้งสวิตช์ CAL.V/ON ไปที่ตำแหน่ง ON ปากกาจะมีการเคลื่อน 40 ช่อง.

calibration voltage จะกลายเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความไวที่ตั้งไว้คือ 1 v การเบี่ยงเบนของสัญญาณเป็น 2.25 เท่าของการเบี่ยงเบนของ calibration voltage (90 ช่อง / 40 ช่อง) ดังนั้นระดับสัญญาณที่ได้คือ 2.25 v

ดูสูตรข้างล่างและรูป 3-2 ประกอบ

$$\text{Signal level} = \text{Range value} \times 50 \text{ ช่อง} \times \text{Signal deflection} \text{ divisions}$$



รูป 3-2 แสดงการวัดสัญญาณที่ไม่ทราบค่า

การคำนวณค่าแรงดึง P_2 เป็น Torque

จากสูตร สมการที่ 2-36

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

โดยที่

$$T = \text{โมเมนต์บิด (N-mm)}$$

$$P_1, P_2 = \text{แรงดึงในสายพาน (N)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Pulley

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความสัมพันธ์ของ P_1 กับ P_2 สมการ 2-35

$$P_1/P_2 = e^{f\phi}$$

โดยที่

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างสายพานกับ pulley

ϕ = มุมที่สายพานสัมผัสกับ pulley

ในการทดลองนี้หาได้ค่าดังนี้

$$f = 0.30$$

$$\phi = 3/2 \text{ เรเดียน}$$

$$D = 61.35 \text{ มม.}$$

แทนค่าสมการ 2-35 ลงในสมการ 2-36

ได้ความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} T &= (P_2 e^{f\phi} - P_2) D/2 \\ &= P_2 (e^{f\phi} - 1) D/2 \end{aligned}$$

ในการทดลองแทนค่า P_2 ก็จะได้ค่า T ดังนี้

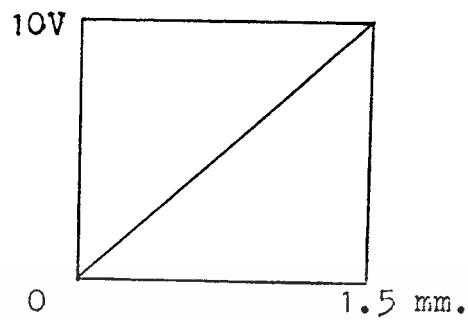
$P_2 = 0.2 \text{ N}$;	$T = 19.08 \text{ N-mm}$
$P_2 = 0.4 \text{ N}$;	$T = 38.17 \text{ N-mm}$
$P_2 = 0.6 \text{ N}$;	$T = 57.26 \text{ N-mm}$
$P_2 = 0.8 \text{ N}$;	$T = 76.34 \text{ N-mm}$
$P_2 = 1.0 \text{ N}$;	$T = 95.43 \text{ N-mm}$

การแปลงค่าสัญญาณ output (V) ของ gap-sensor เป็นระยะเบี่ยงเบน (mm)

gap-sensor สามารถปรับอัตราขยายได้ ซึ่งทำให้ปรับค่าผลตอบสนองของสัญญาณ output ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน

ในการทดลองนี้ให้ระยะของ gap-sensor ห่างจากเพลลา 1.5 mm. จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายละเอียดของ gap-sensor ดูได้จากภาคผนวก ก.

สัญญาณ output 10 V เท่ากับระยะขจัด 1.5 mm.

โดยให้

$$\text{displacement} = V_s \times 0.15 \text{ mm.}$$

เมื่อ V_s คือค่าของ output ที่วัดได้ (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

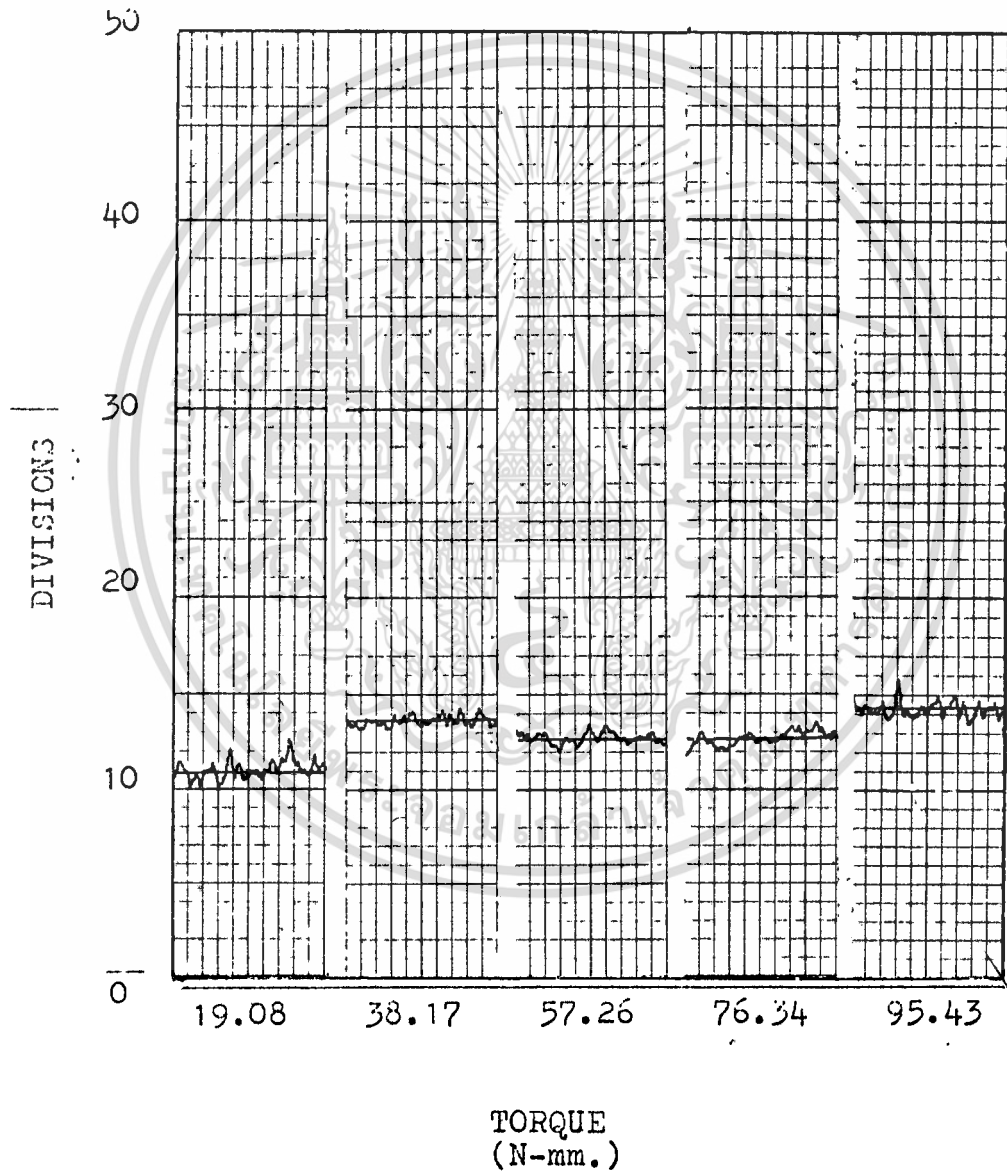
1. ต่อ accelerometer ชนิด 303A เข้ากับ mounting ของแบริ่ง เพื่อวัด Rotational vibration ทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง และ Axial vibration
2. เชื่อมสายสัญญาณต่อระหว่าง accelerometer กับ PCB power unit
3. Output จาก PCB power unit จะเป็นสัญญาณ Actual vibration ซึ่งสามารถส่งเข้า oscilloscope หรืออาจจะส่งไปแปลงสัญญาณจากค่า Actual vibration ไปเป็น RMS vibration โดยผ่านวงจร RMS แล้วจึงส่งสัญญาณ RMS vibration ไปยัง recorder
4. Gap-sensor ใช้วัดค่า deflection ของเพลลา โดยวัดทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง ให้ไพรบอยู่ห่างจากเพลลาประมาณ 1.5 mm.
5. ต่อสายสัญญาณจาก gap-sensor เข้า amplifier เพื่อขยายสัญญาณแล้วต่อเข้ากับ recorder และ oscilloscope
6. บ่อนไฟกระแสดตรงให้แก่มอเตอร์โดยค่อย ๆ เพิ่มกระแสไฟขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามที่ต้องการ
7. ทำการเปลี่ยนค่า torque ไปหลาย ๆ ค่า เพื่อดูผลของ torque ที่มีต่อการลั่นสะเทือนและการบิดของเพลลา
8. ทำซ้ำตามวิธีการในข้อ 6 และข้อ 7 แต่เปลี่ยนค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไปหลาย ๆ ค่า
9. ทำการทดสอบและปรับจนกระทั่งได้สัญญาณที่ถูกต้อง
10. ให้ค่าของ torque ที่ใช้มีค่าคงที่ ทำการเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง ดูผลของความเร็วรอบที่มีต่อการลั่นสะเทือนของเพลลา โดยดูผลที่ได้จากเครื่อง plotter
11. สังเกตผลที่ได้จาก oscilloscope และทำการ plot ลงในเครื่อง recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

recorder เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

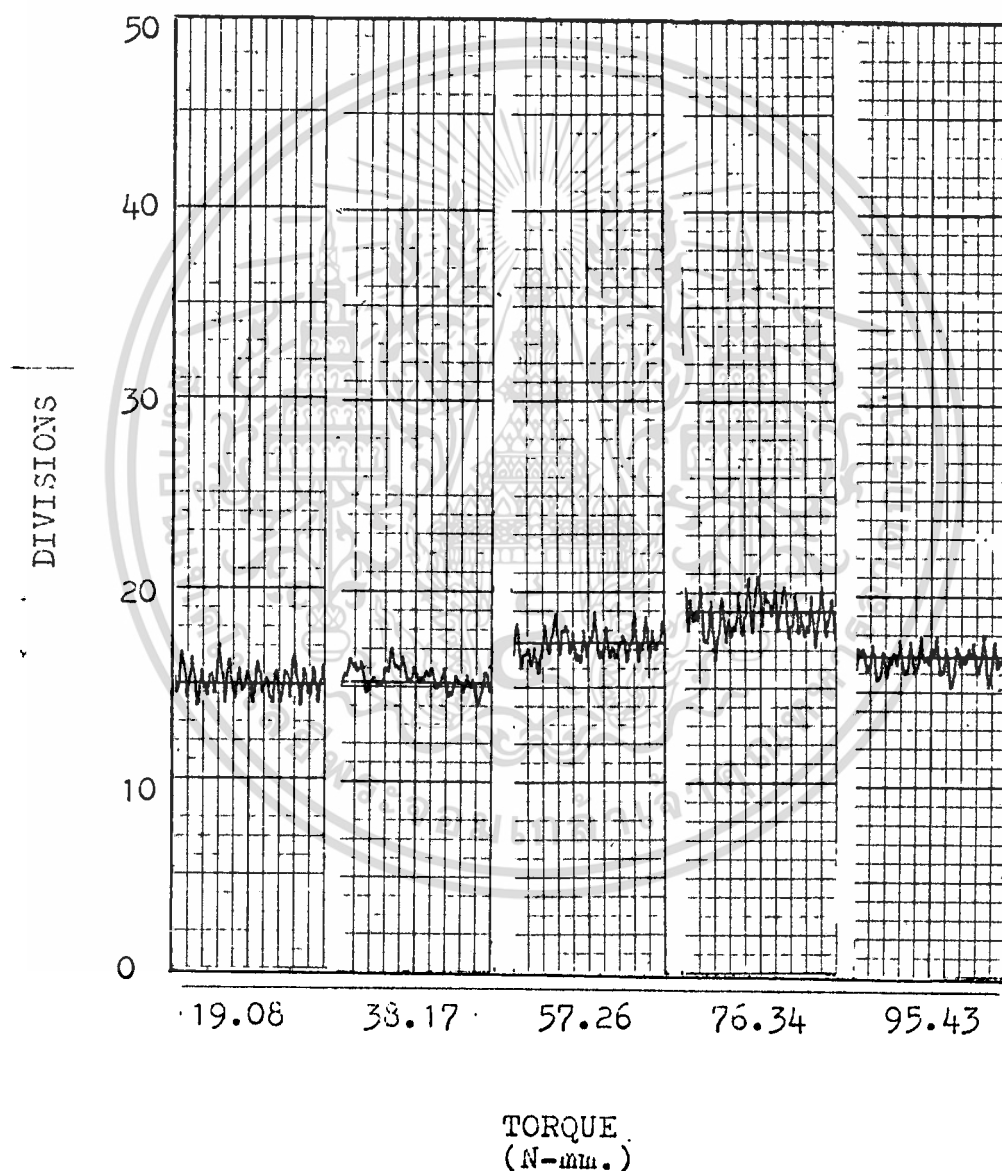
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ accelerometer (mV) ในแนวระดับ(x) กับ torque (N-mm) ที่ความเร็วรอบ 500 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 20 mV CAL 40 ช่อง



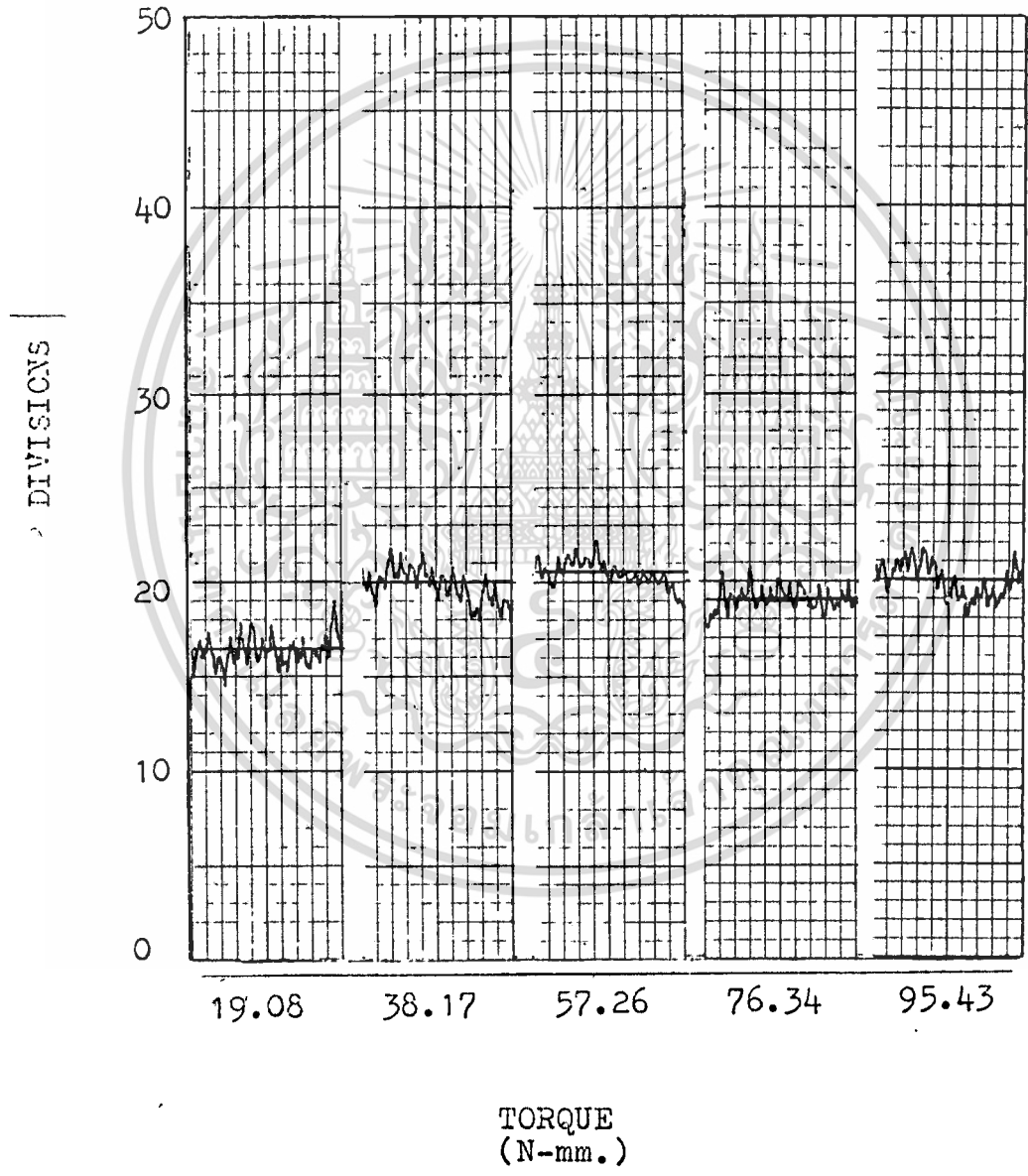
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวระดับ(x) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 800 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 20 mV CAL 40 ช่อง



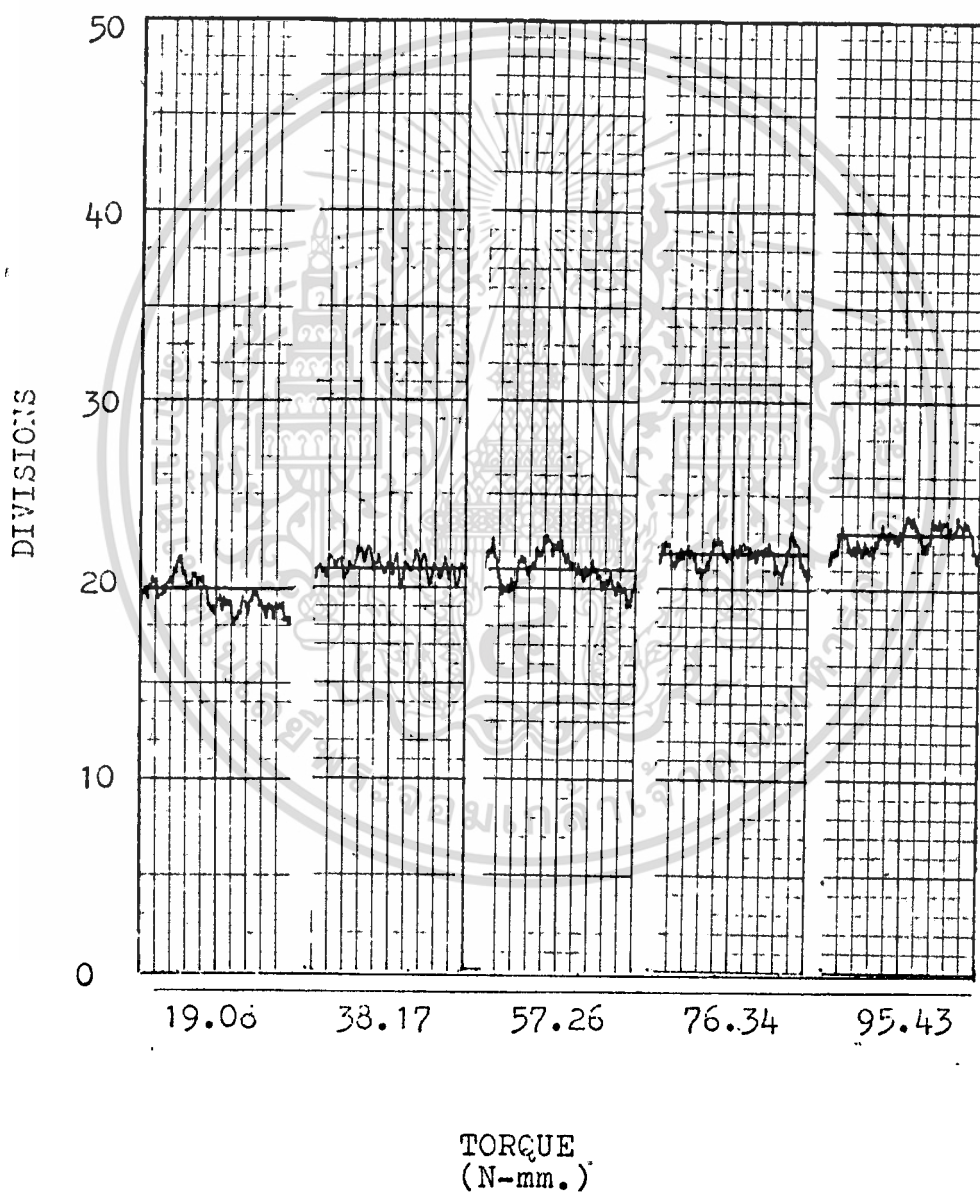
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวระดับ(x) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 1000 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 20 mV CAL 40 ช่อง



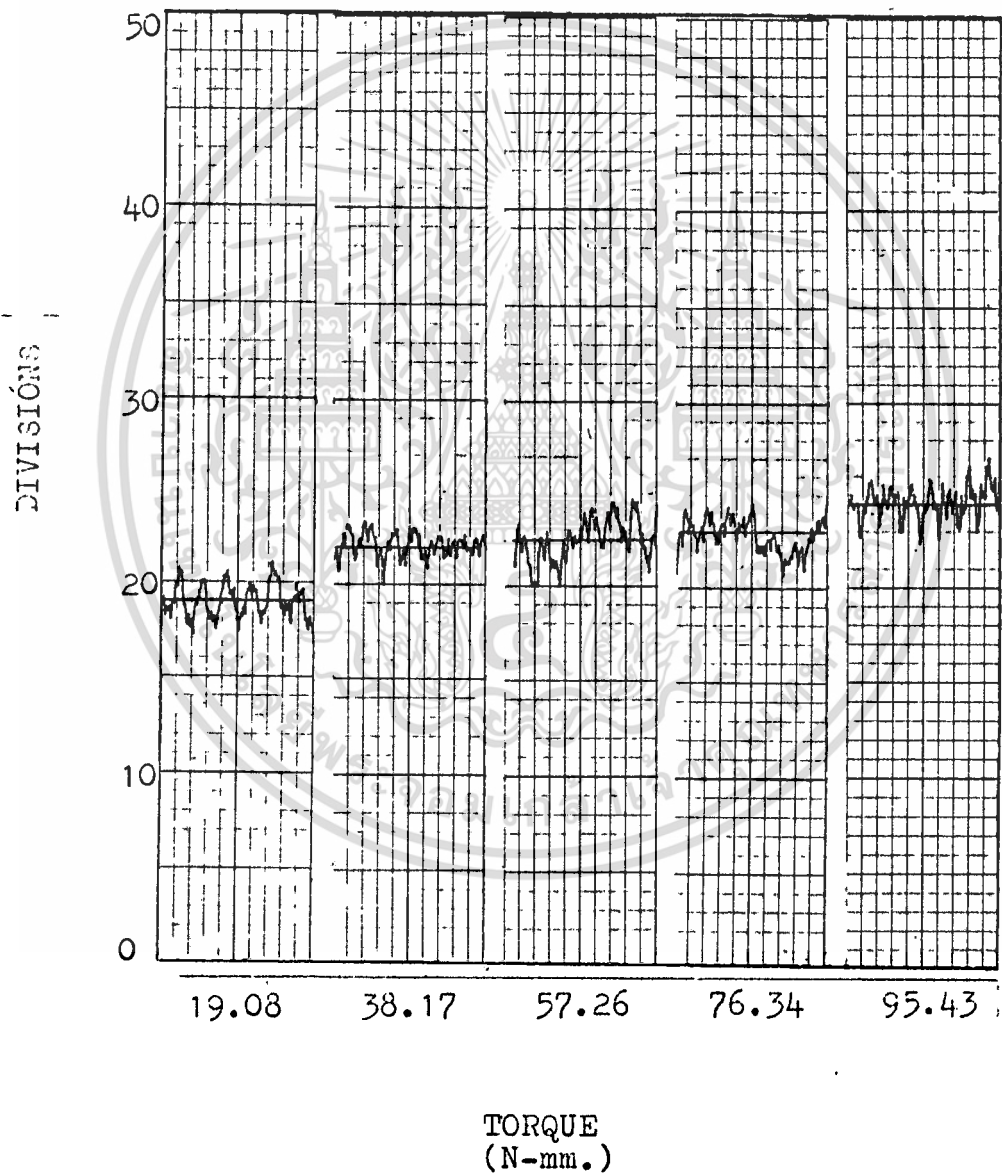
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวระดับ(x) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 1200 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 20 mV CAL 40 ช่อง



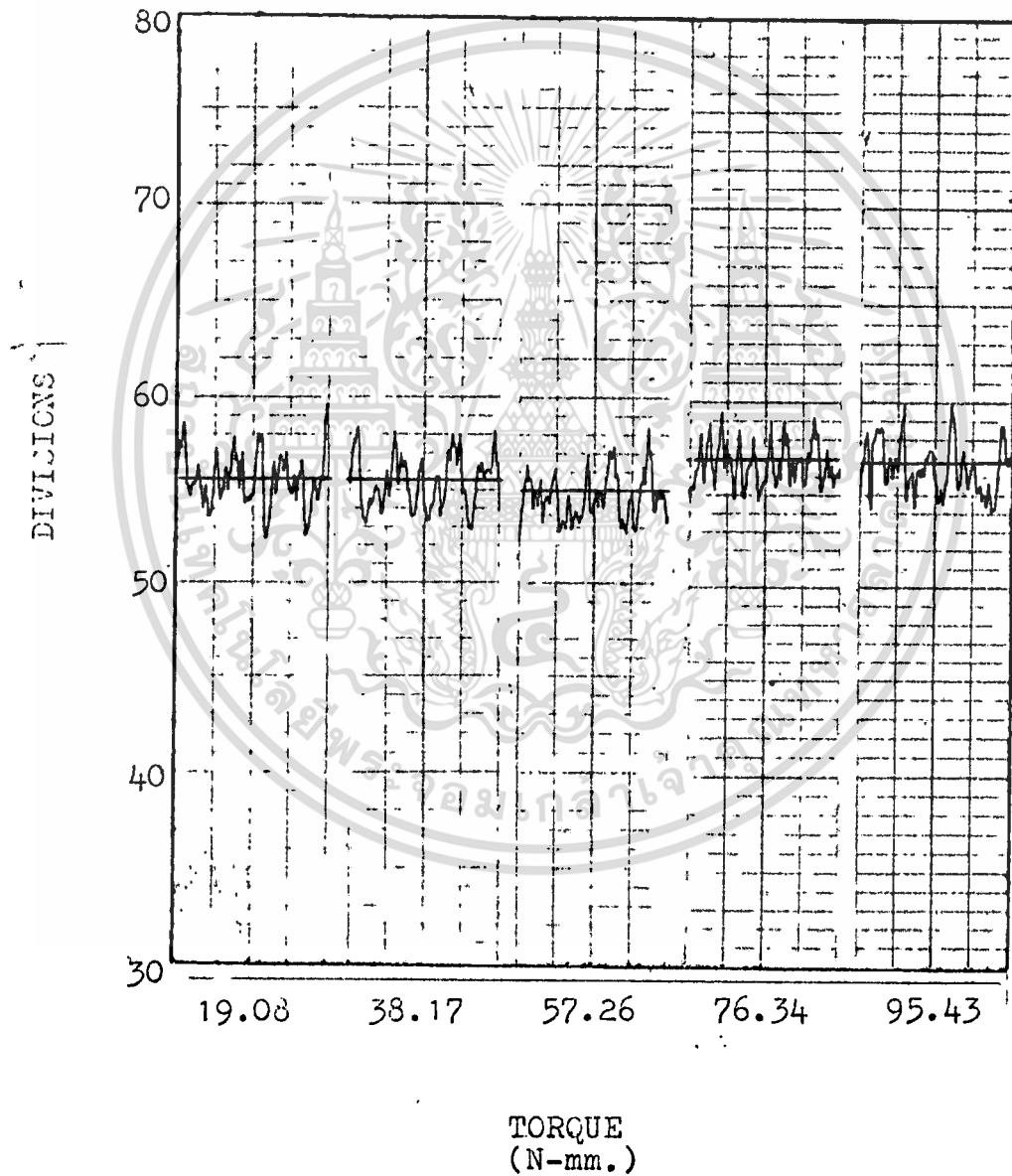
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวระดับ(x) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 1500 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 20 mV CAL 40 ช่อง



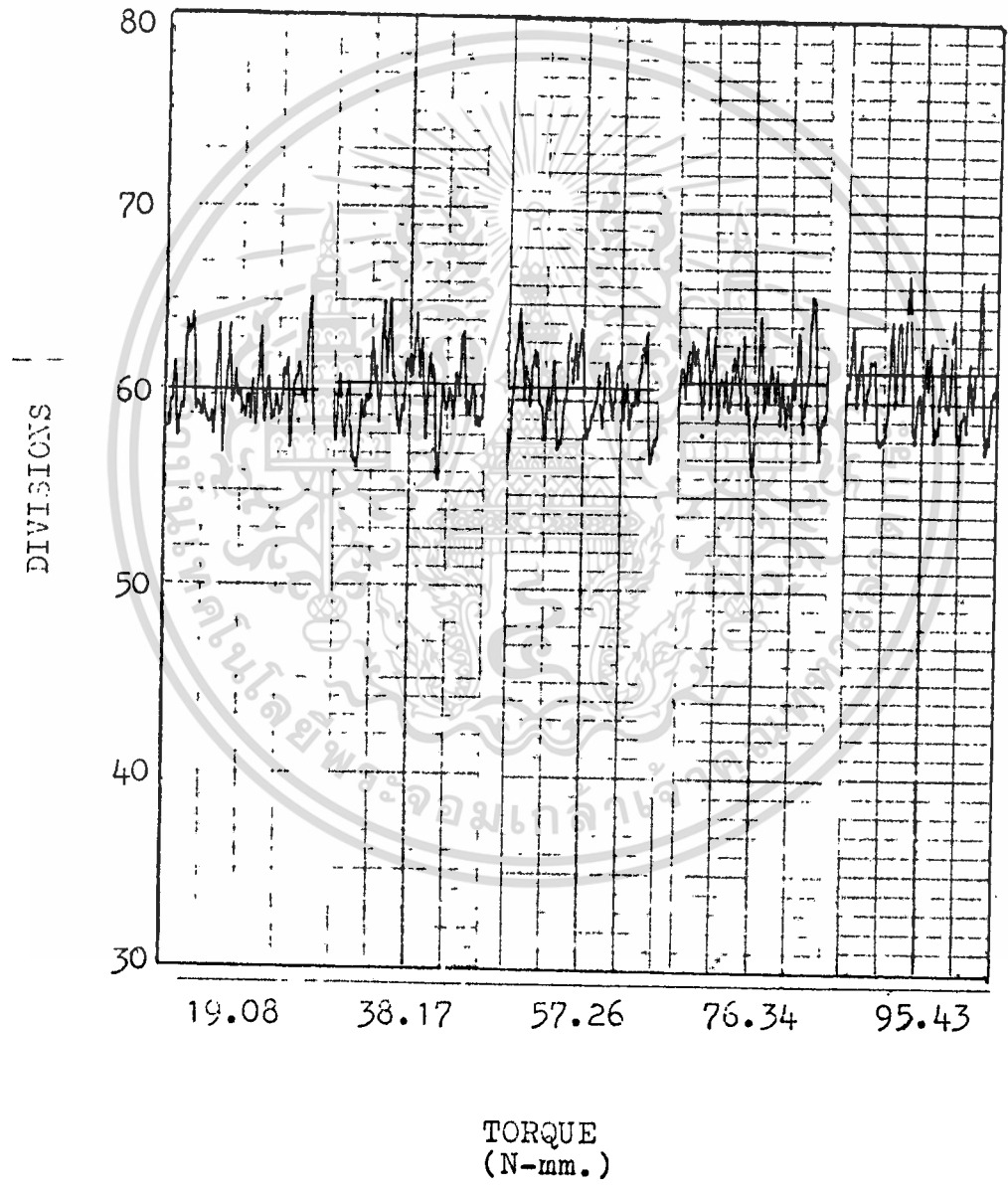
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 500 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 10 mV CAL 40 ช่อง



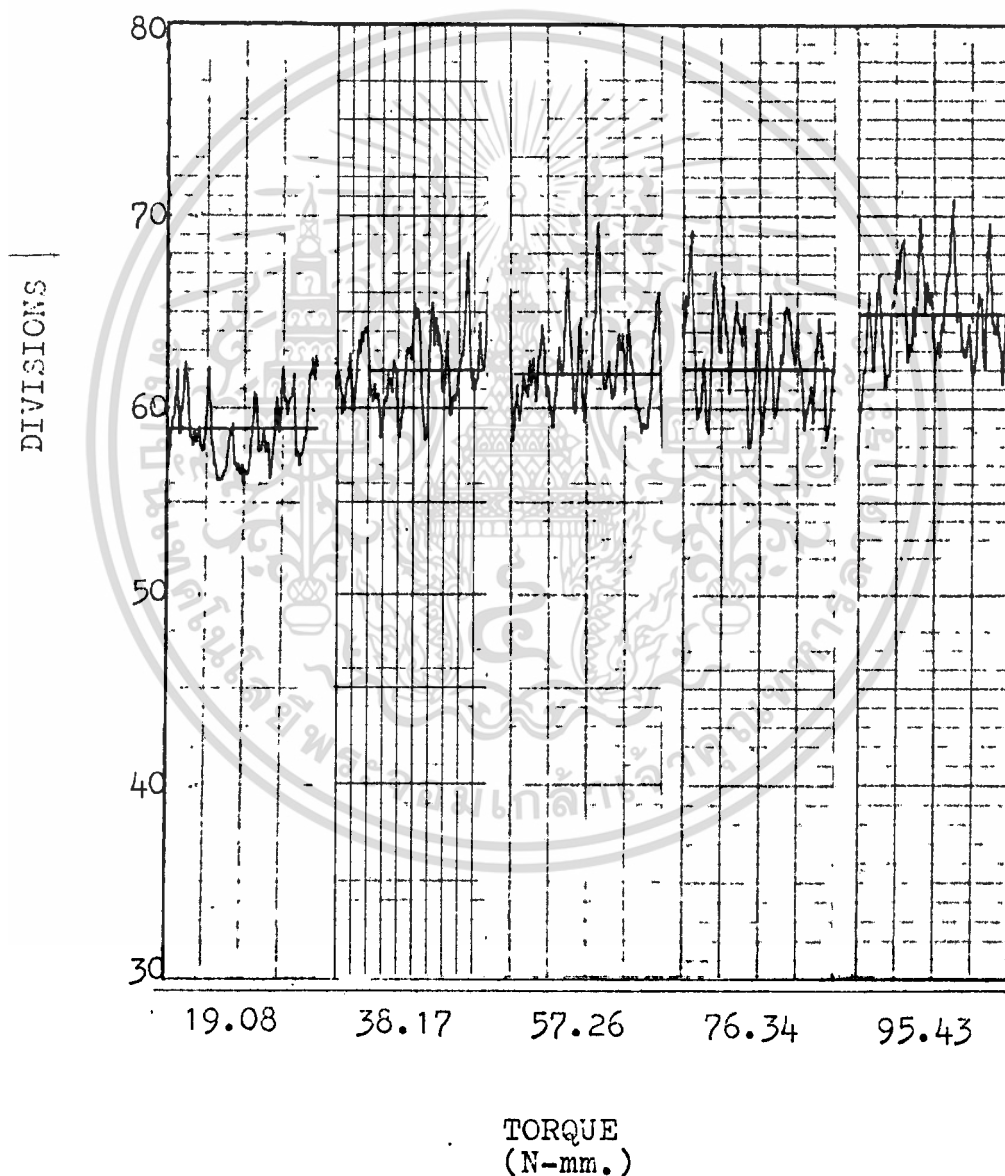
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ accelerometer (mV) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm) ที่ความเร็วรอบ 800 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 10 mV CAL 40 ช่อง



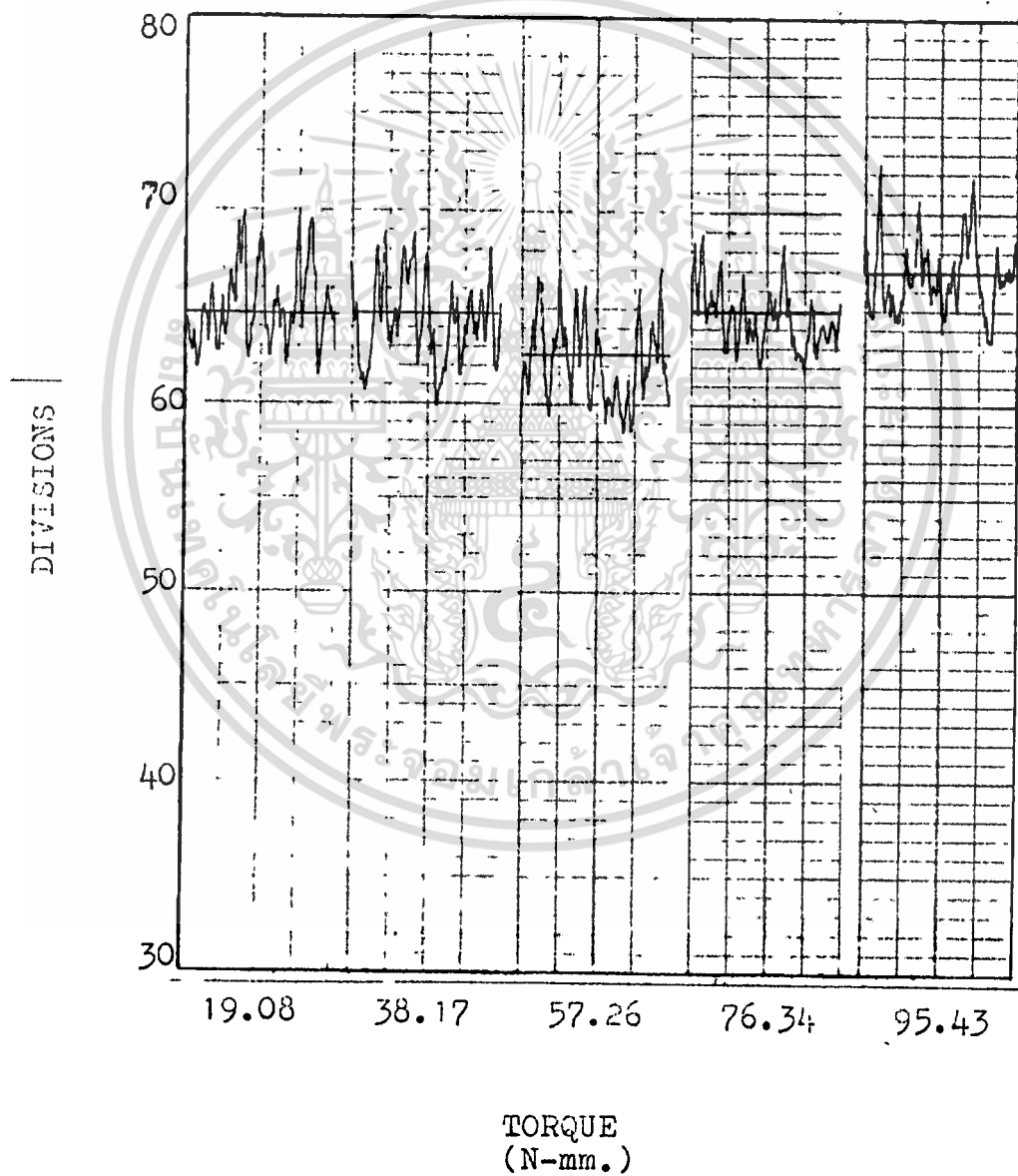
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 1000 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 10 mV CAL 40 ช่อง



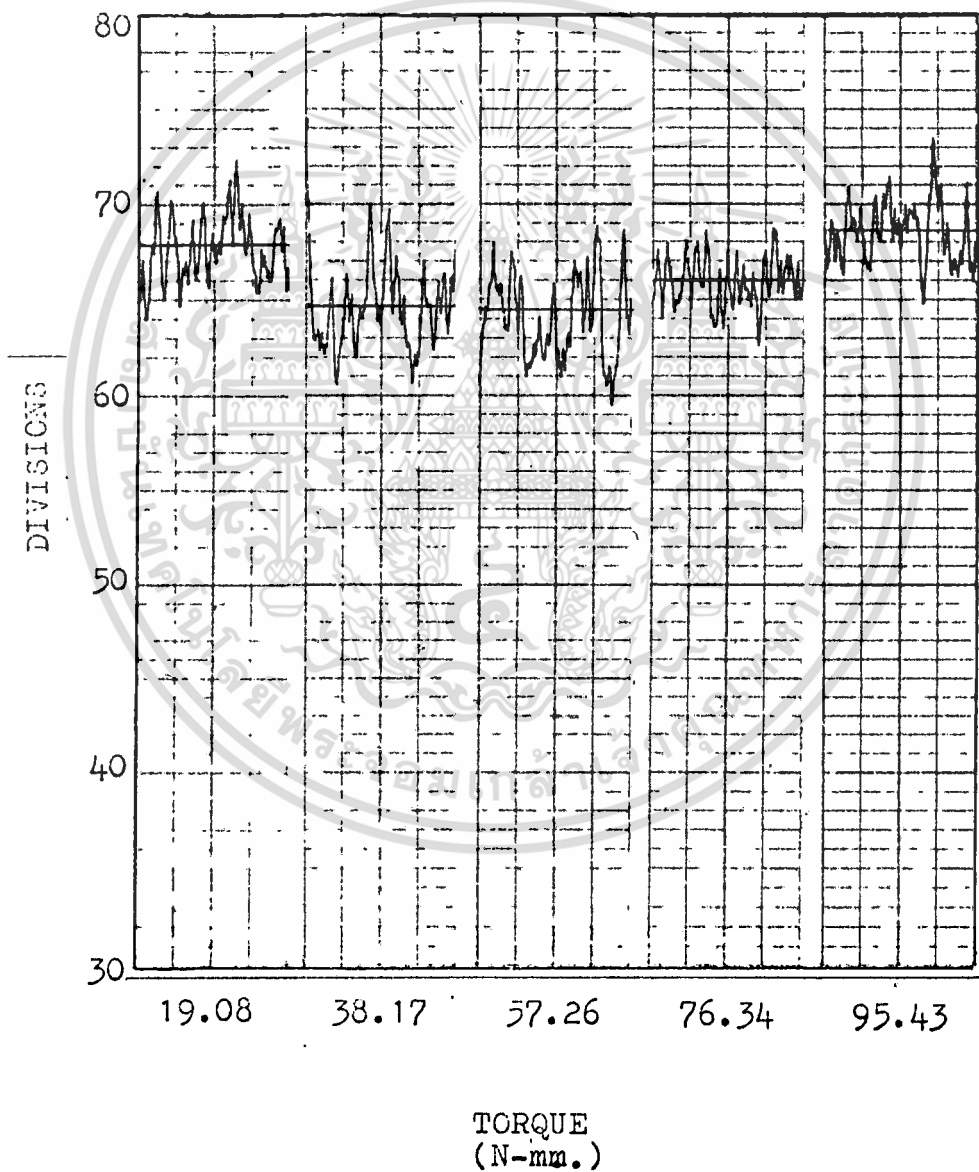
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 1200 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 10 mV CAL 40 ช่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ
 accelerometer (mV) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)
 ที่ความเร็วรอบ 1500 RPM จากเครื่องบันทึกผล (plotter) RANGE 10 mV CAL 40 ช่อง

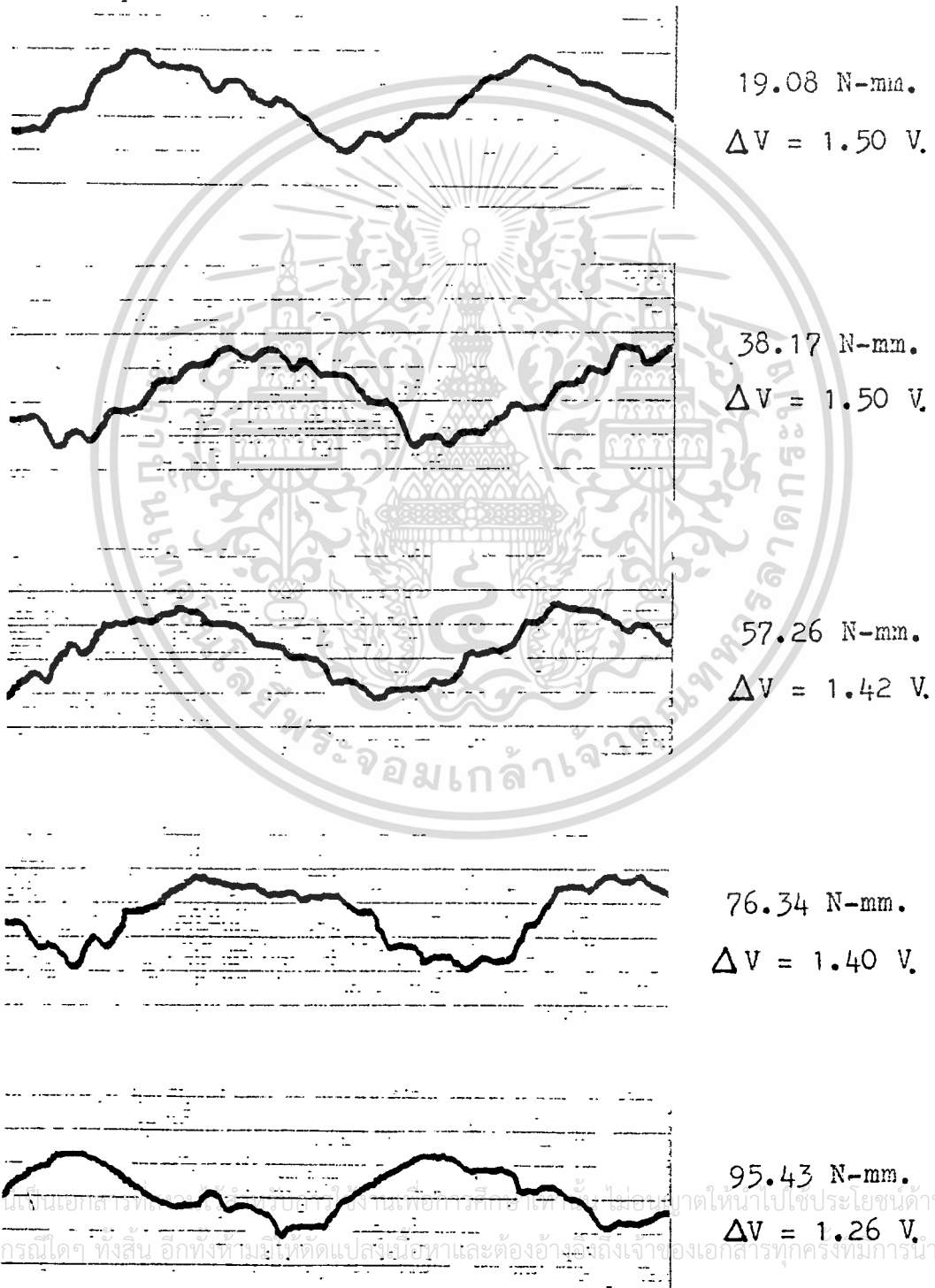


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวระดับ (x) กับ torque (N-mm)

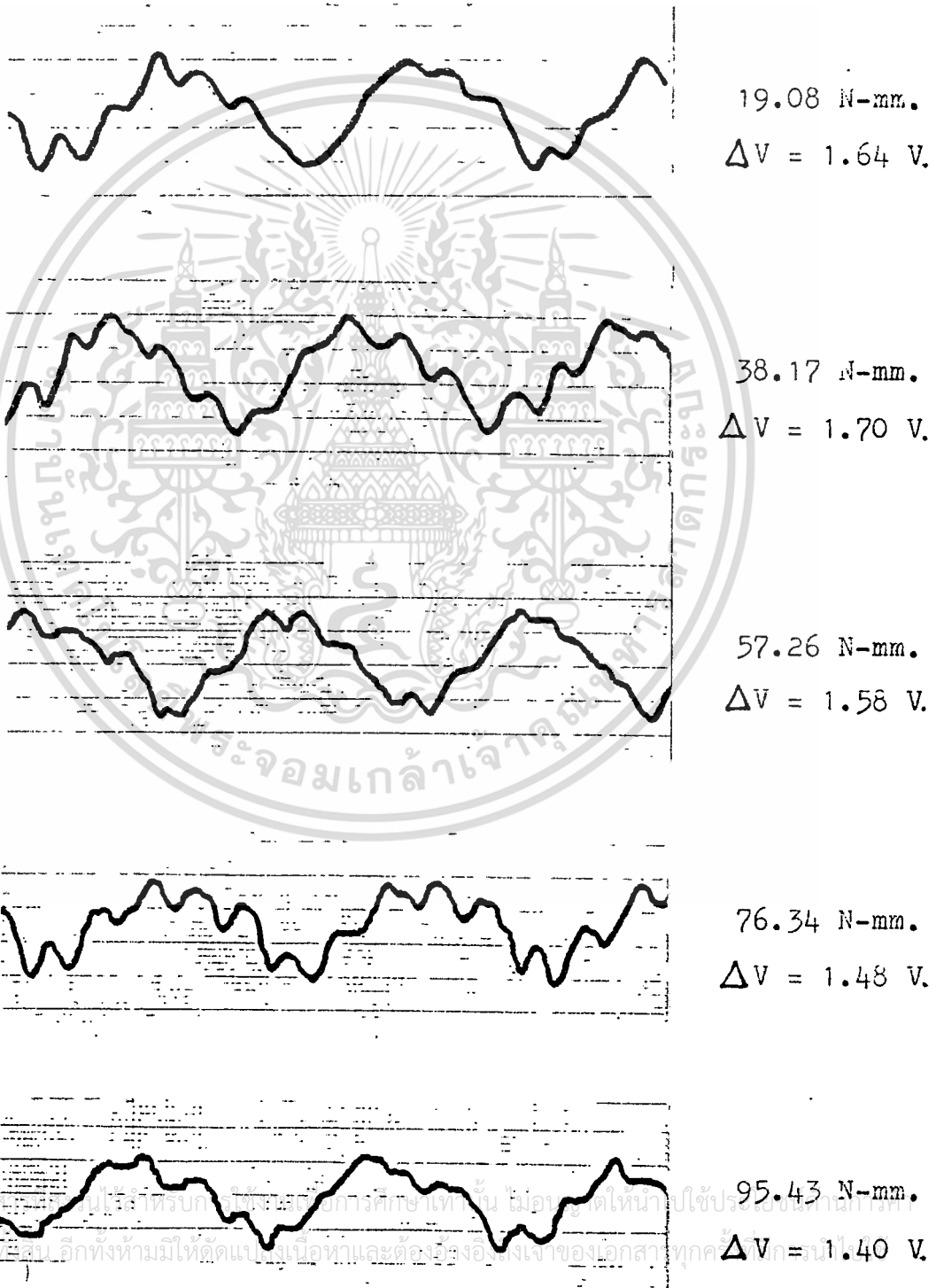
ที่ความเร็วรอบ 500RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division /
1.0 ms/division



ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor
(V) ในแนวระดับ (x) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 800 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



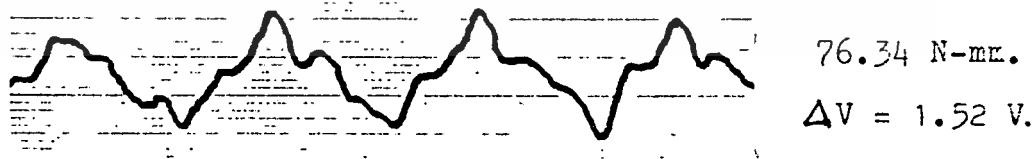
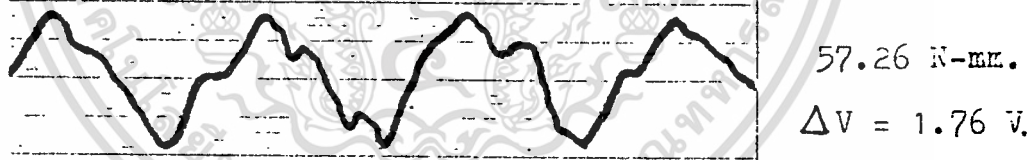
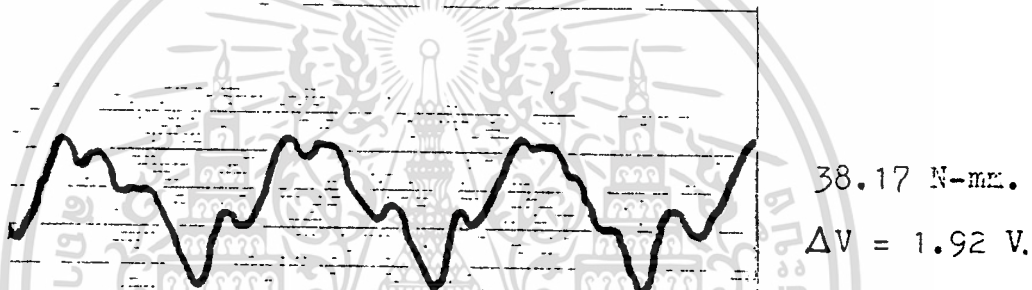
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขัดกัน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวระดับ (x) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 1000 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division

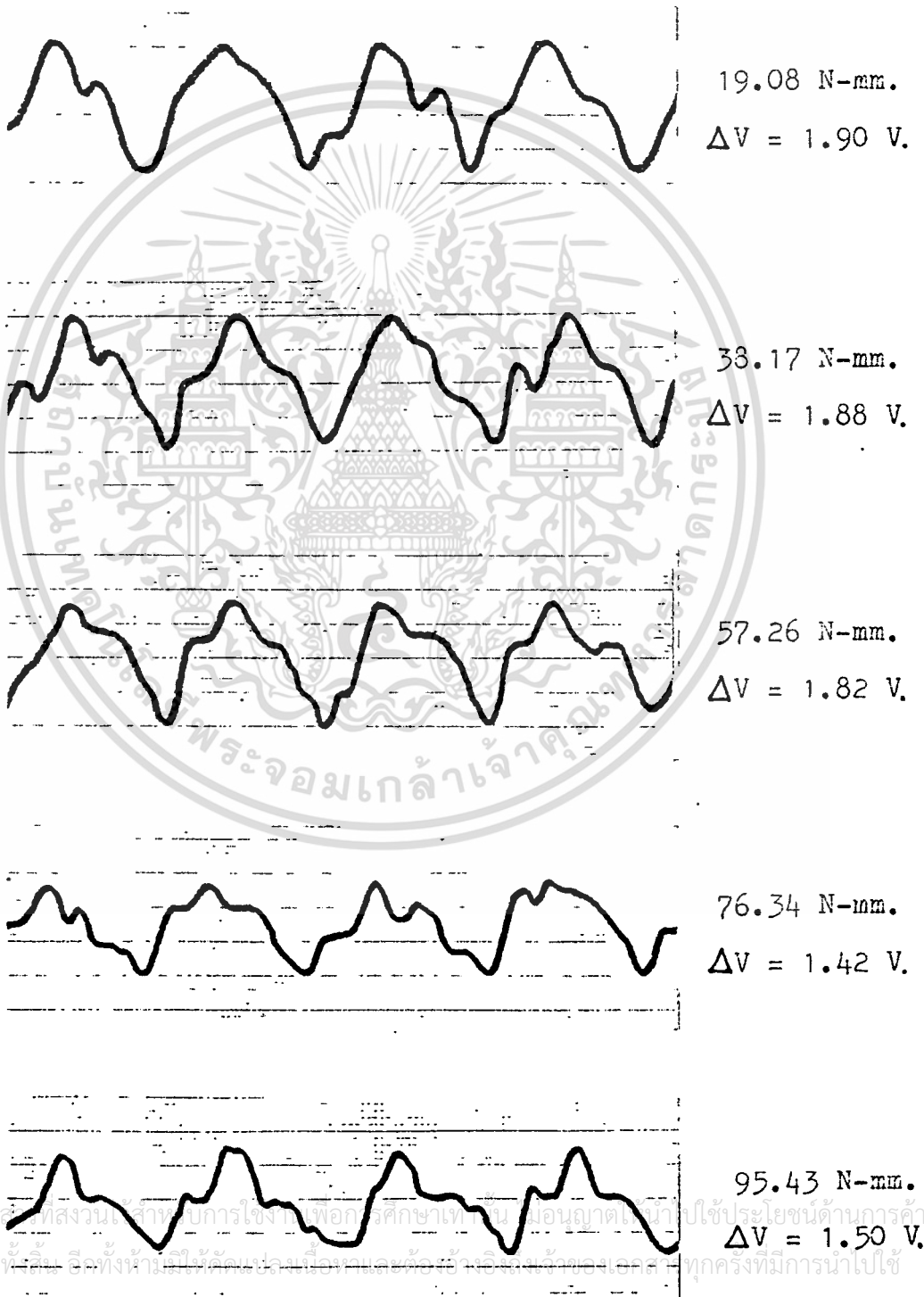


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ใช่ว่ากรณีใดๆ...
ไม่ว่ากรณีใดๆ...
...ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor (V) ในแนวระดับ (x) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 1200 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



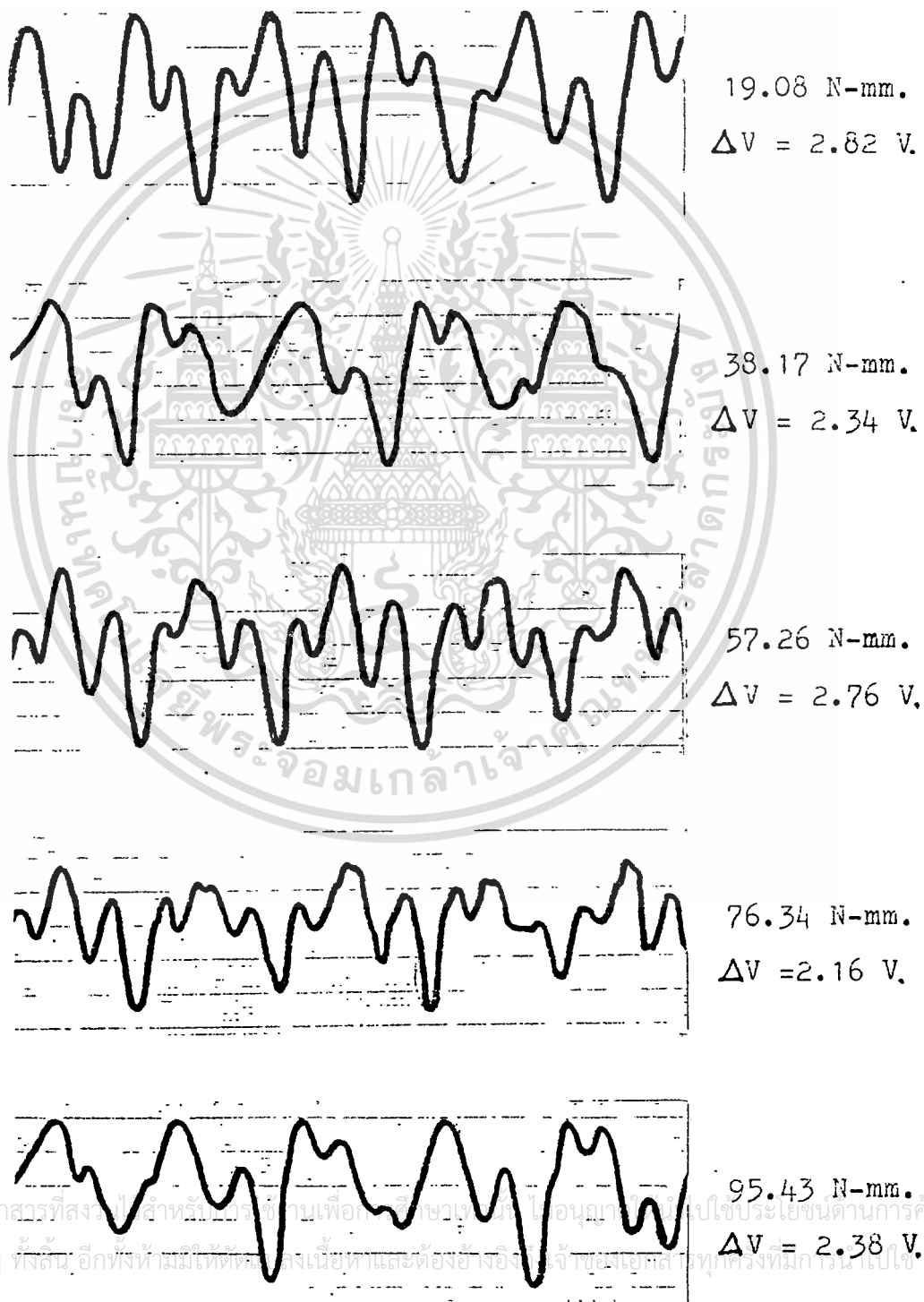
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวระดับ (x) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 1500 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



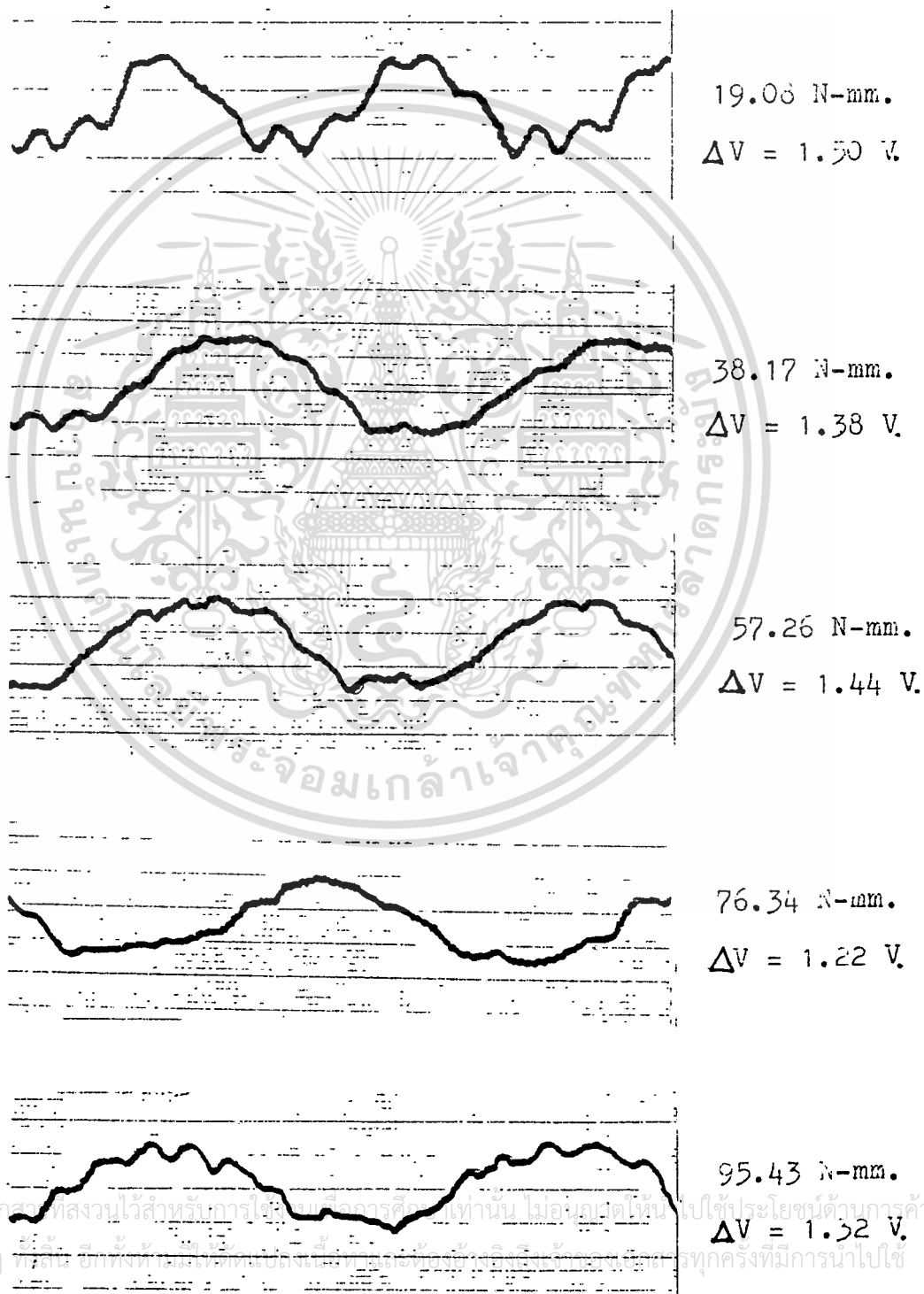
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างไว้สำหรับใช้เรียนการสอนเพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจและนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ข้อมูลนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางที่ปรึกษา

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 500 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



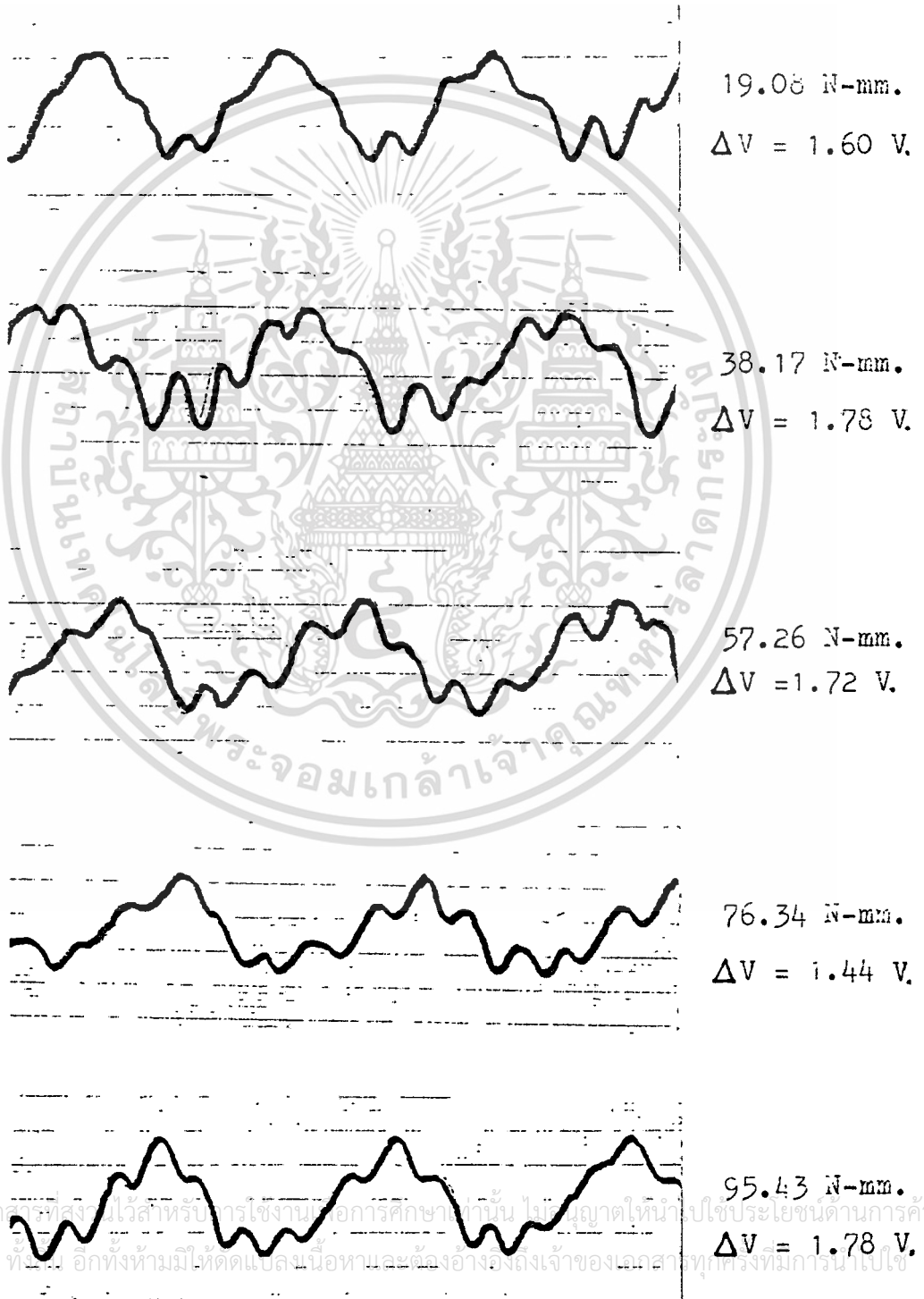
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในงานวิจัยของคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ละเมิดสิทธิ์หรือทำผิดเงื่อนไขการใช้งานจะถือว่าผิดกฎหมายทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวดิ่ง (y) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 800 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



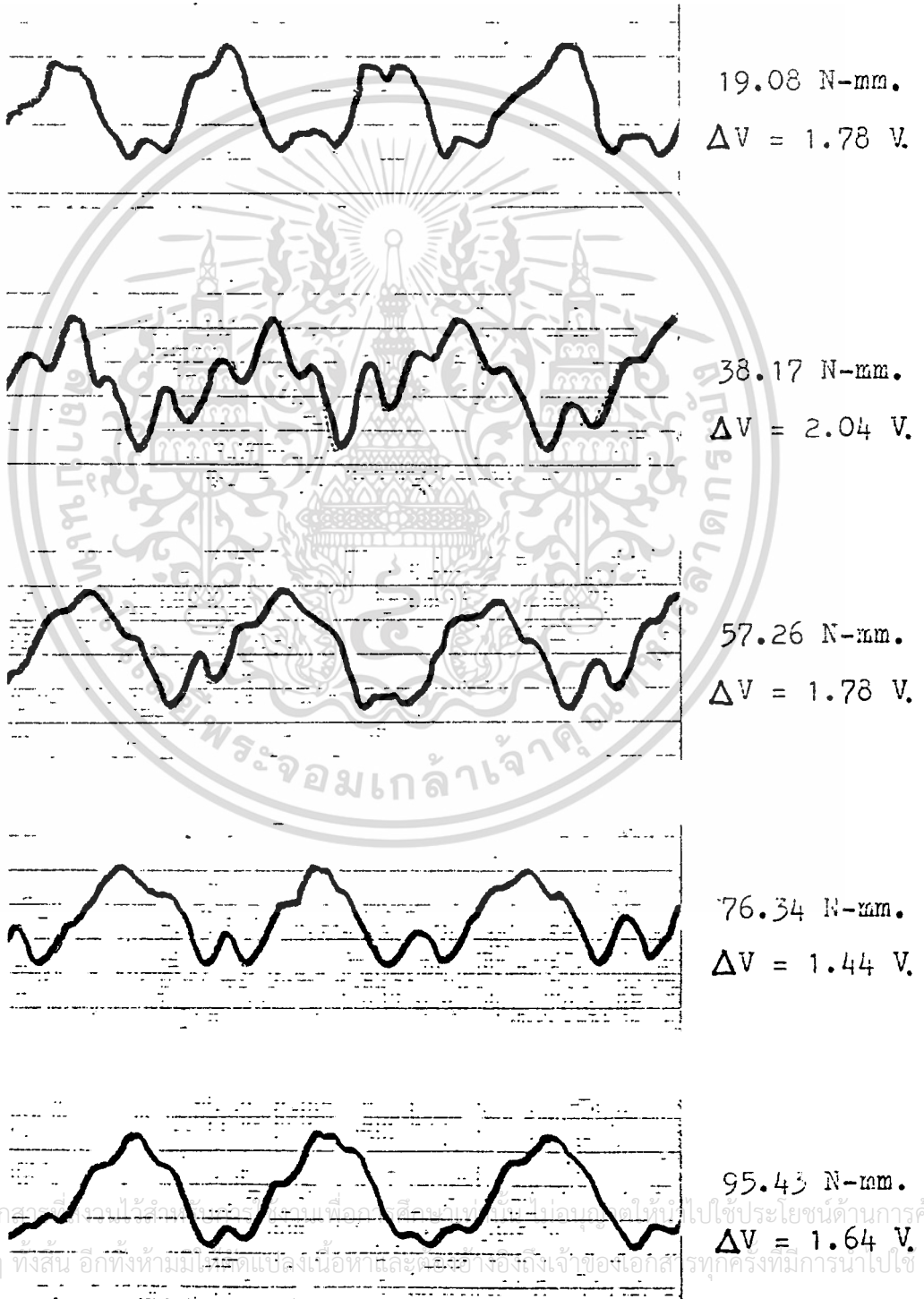
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 1000 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



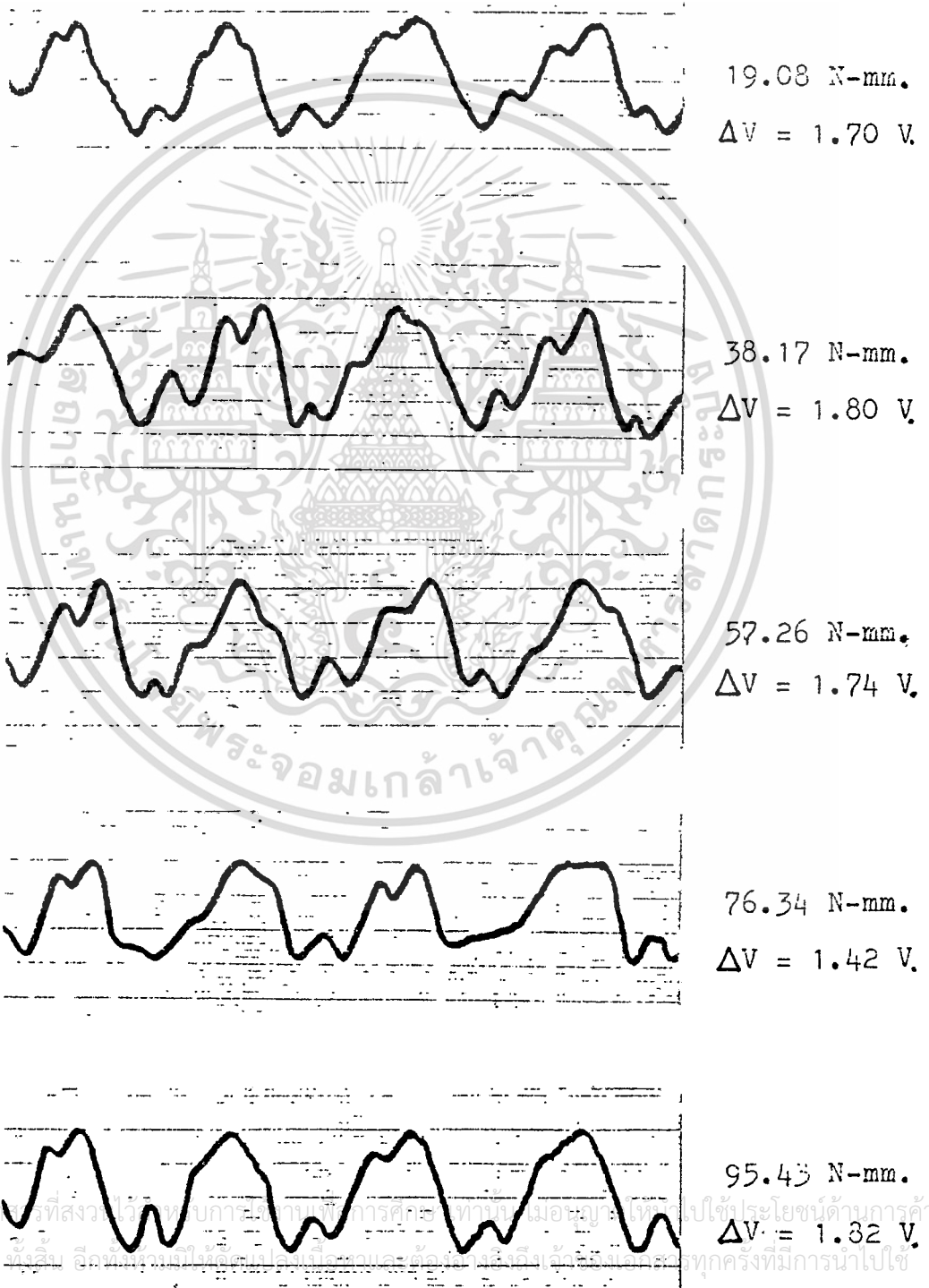
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้ใช้เฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเรซินเคลือบเนื้อหาและเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor

(V) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 1200 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

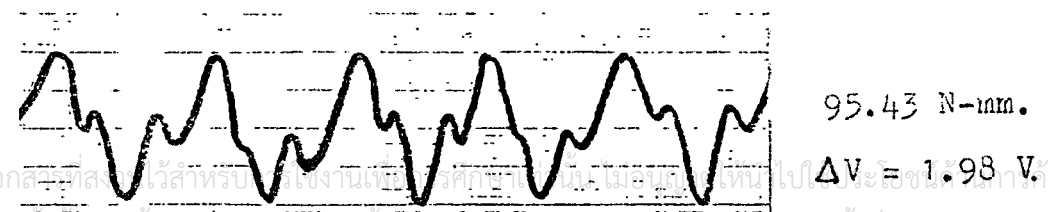
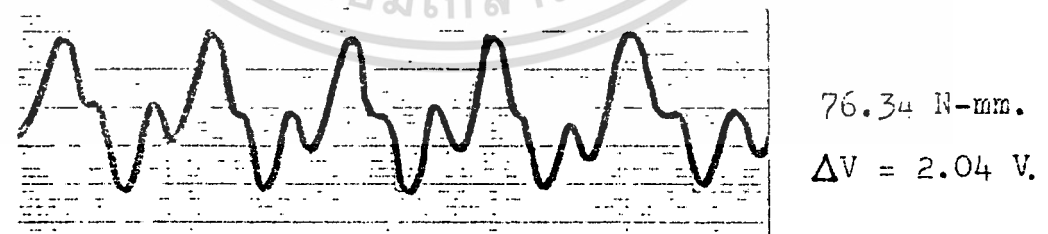
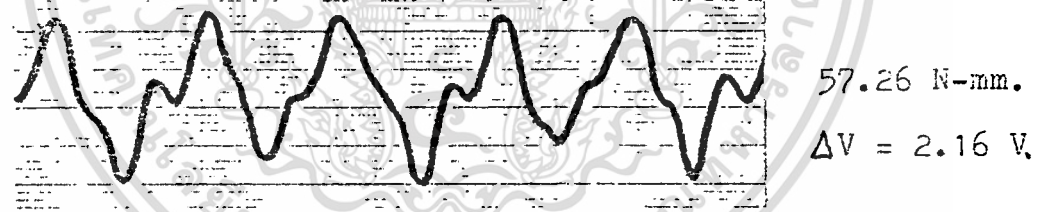
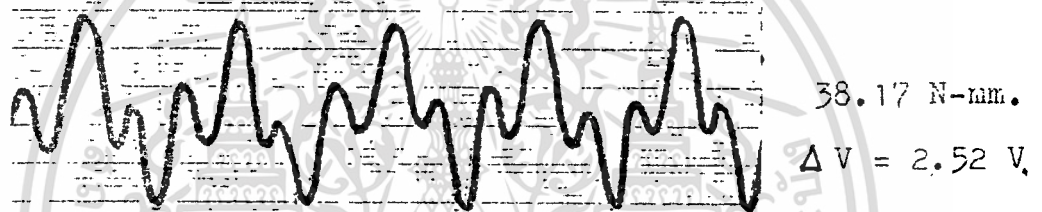
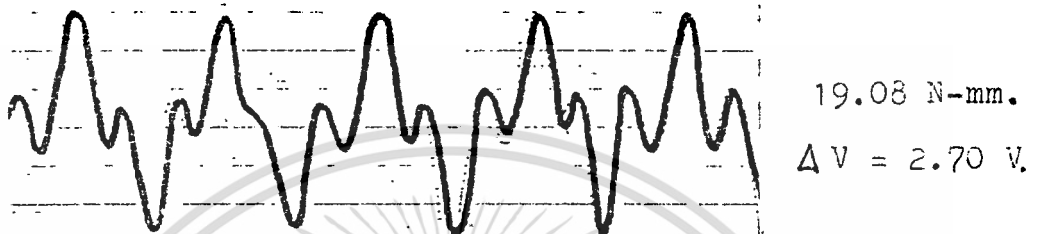
1.0 ms/division



ผลการทดลอง แสดงความถี่พัลส์ระหว่าง signal vibration ของ gap-sensor
(V) ในแนวตั้ง (y) กับ torque (N-mm)

ที่ความเร็วรอบ 1500 RPM จาก oscilloscope RANGE 0.1 V/division

1.0 ms/division



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังวงอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการทดลองของ Signal vibration (mV) จาก accelerometer ใน
 แนวระดับ กับ torque และความเร็วรอบต่าง ๆ (10 mV มีค่าเทียบเท่า 1 g)

TORQUE N-mm	TORQUE				
	19.08	38.17	57.26	76.34	95.43
ความเร็ว รอบ (rpm)					
500	2.75	3.37	3.13	3.20	3.63
800	3.75	3.82	4.83	4.75	4.25
1000	4.13	5.00	5.13	4.75	4.25
1200	5.00	5.25	5.25	5.50	5.75
1500	6.37	6.75	6.85	7.00	7.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการทดลองของ Signal vibration (mV) จาก accelerometer ใน
แนวตั้ง กับ torque และความเร็วรอบต่าง ๆ (10 mV มีค่าเทียบเท่า 1 g)

TORQUE N-mm	TORQUE				
	19.08	38.17	57.26	76.34	95.43
ความเร็ว รอบ (rpm)					
500	6.93	6.93	6.87	7.12	7.10
800	7.52	7.60	7.57	7.62	7.68
1000	7.73	7.94	7.73	7.75	8.13
1200	8.10	8.11	7.81	8.13	8.37
1500	8.50	8.07	8.06	8.13	8.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการทดลองการแปลงค่าสัญญาณ output: $\Delta V(V)$ เป็นระยะเบี่ยงเบนในแนวระ
คืบ : δ (mm)

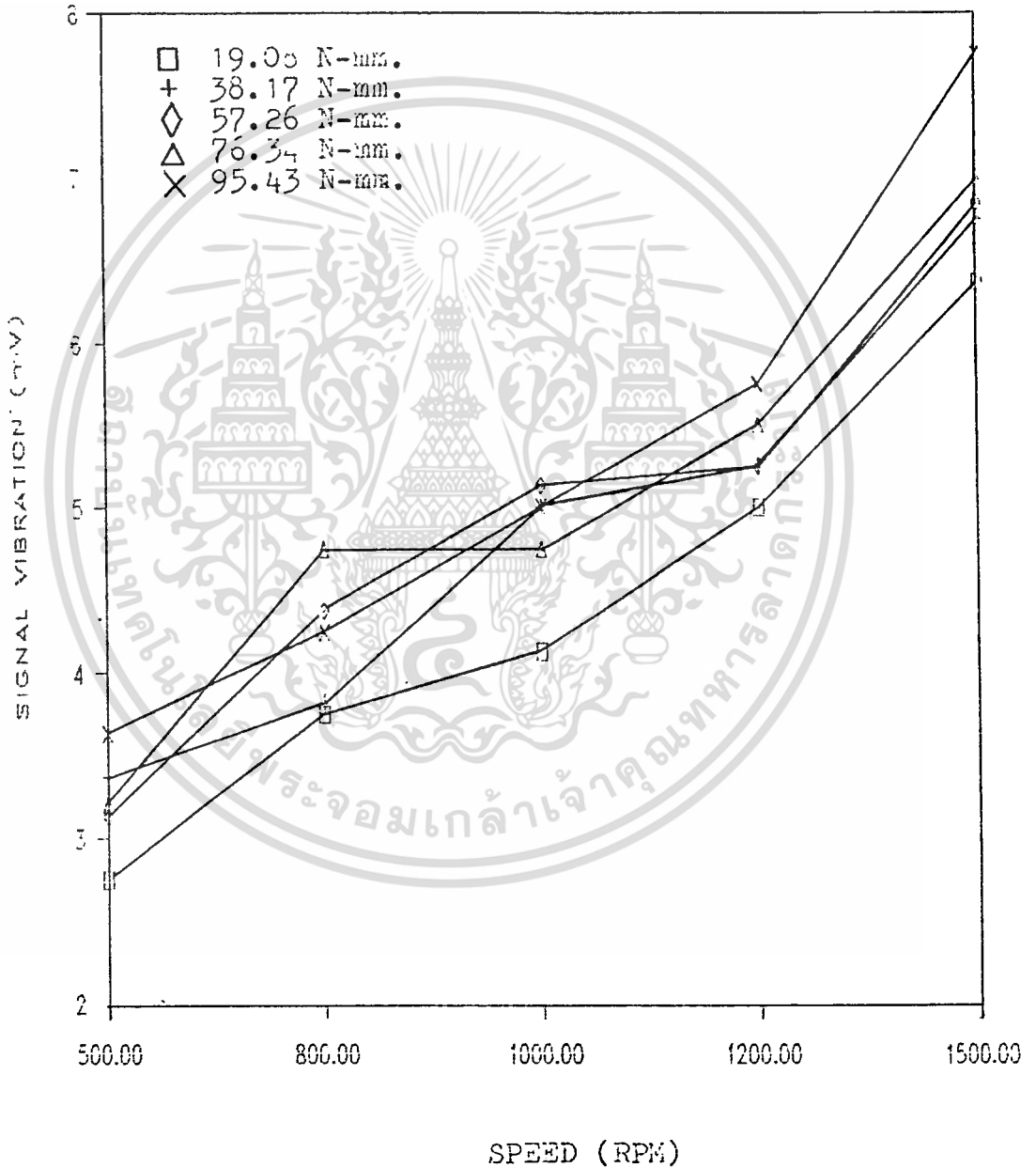
TORQUE (N-mm)	19.08		38.17		57.26		76.34		95.43	
ความเร็ว รอบ (rpm)	ΔV	δ	ΔV	δ	ΔV	δ	ΔV	δ	ΔV	δ
500	1.50	0.225	1.50	0.225	1.42	0.213	1.40	0.210	1.26	0.189
800	1.64	0.246	1.70	0.255	1.58	0.237	1.48	0.222	1.40	0.210
1000	1.72	0.258	1.92	0.294	1.76	0.264	1.52	0.228	1.58	0.237
1200	1.90	0.235	1.88	0.270	1.82	0.273	1.42	0.213	1.50	0.225
1500	2.82	0.423	2.34	0.351	2.76	0.414	2.16	0.324	2.38	0.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

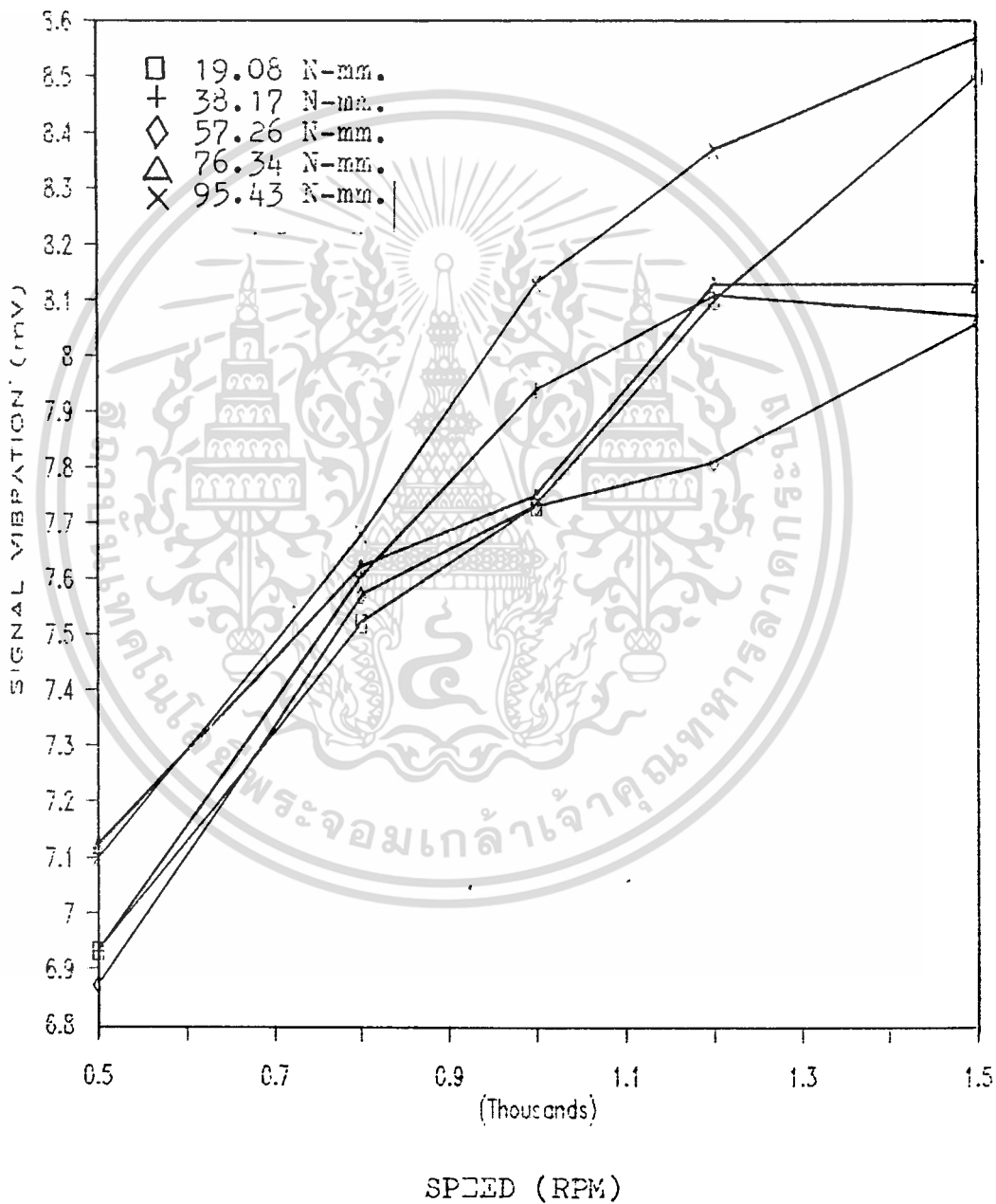
ตารางแสดงผลการทดลองการแปลงค่าสัญญาณ output : $\Delta V(V)$ เป็นระยะเยื้องเบนในแนวตั้ง
: δ (mm)

TORQUE (N-mm)	19.08		38.17		57.26		76.34		95.43	
ความเร็ว รอบ(rpm)	ΔV	δ	ΔV	δ	ΔV	δ	ΔV	δ	ΔV	δ
500	1.50	0.225	1.38	0.207	1.44	0.216	1.22	0.186	1.32	0.198
800	1.60	0.240	1.78	0.267	1.72	0.258	1.44	0.216	1.78	0.267
1000	1.78	0.267	2.04	0.306	1.78	0.267	1.44	0.216	1.64	0.246
1200	1.70	0.255	1.80	0.270	1.74	0.261	1.42	0.213	1.82	0.273
1500	2.70	0.405	2.52	0.378	2.16	0.324	2.04	0.306	1.98	0.297

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

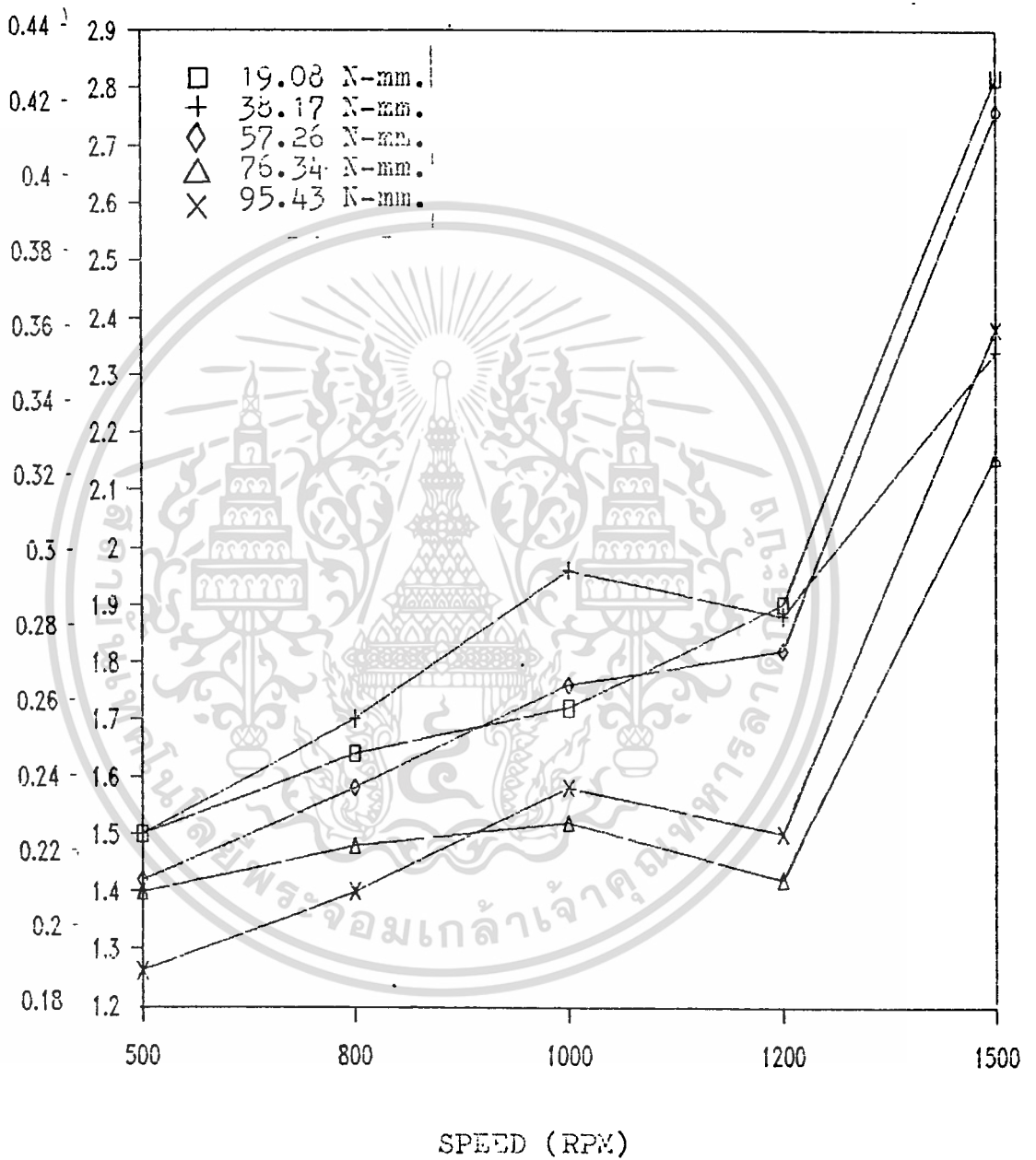


กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) กับสัญญาณ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จากมิเตอร์ความเร่งในแนวระดับ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบงก์เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

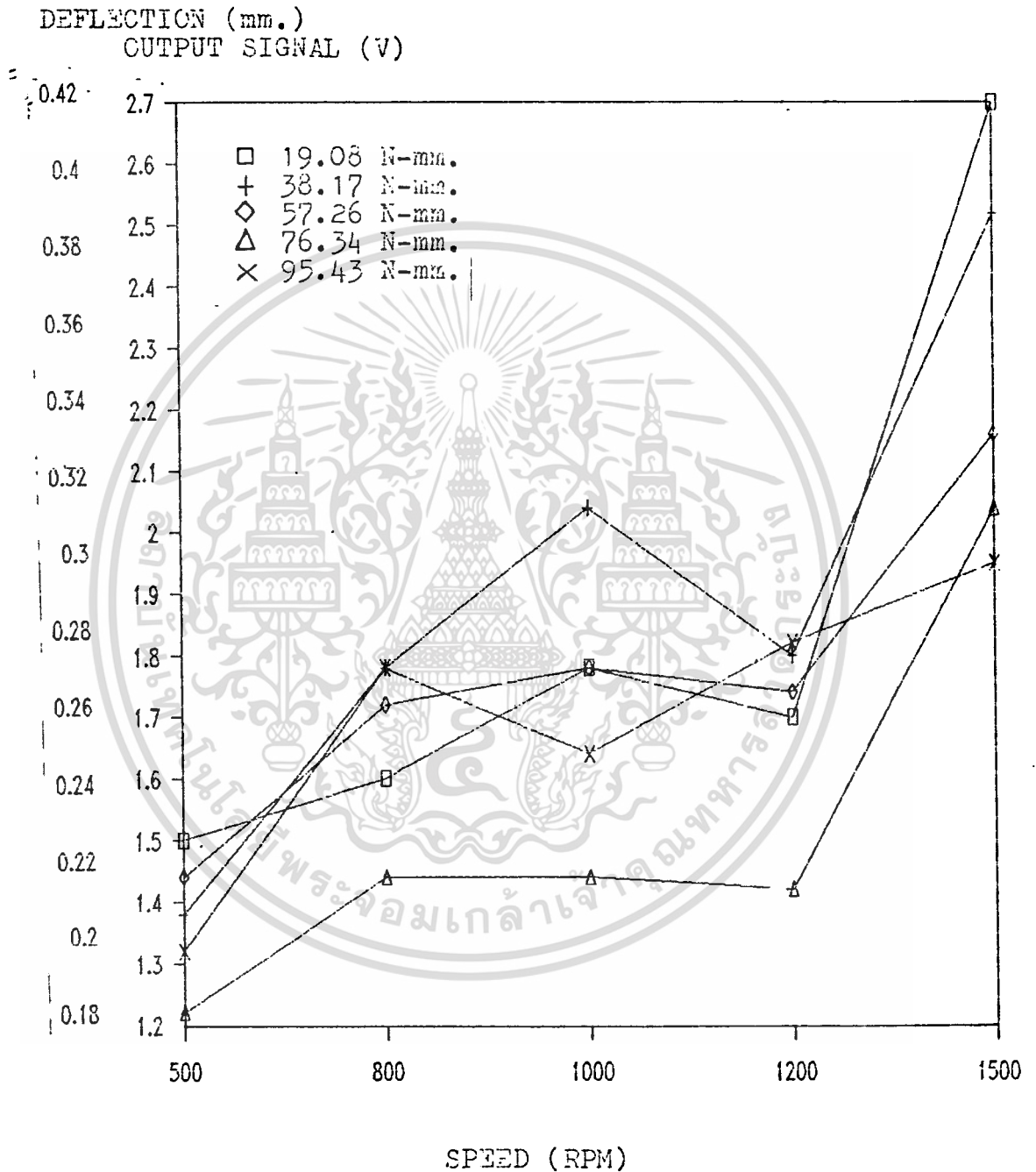


กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) กับสัญญาณ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จากมิเตอร์ความเร่งในแนวตั้ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบ่สงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

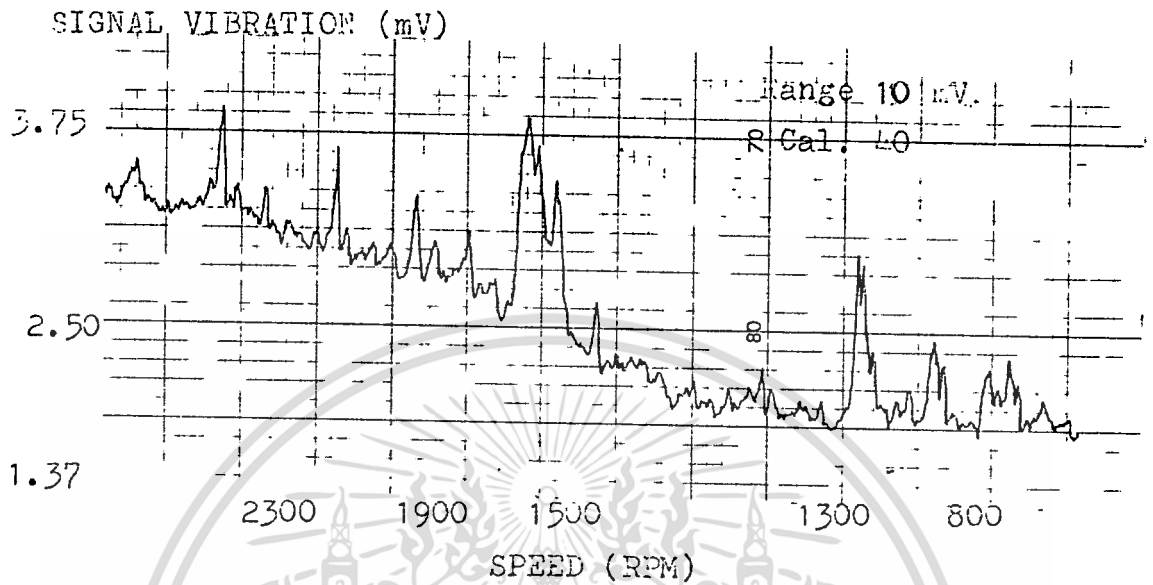
DEFLECTION (mm.)
OUTPUT SIGNAL (V)



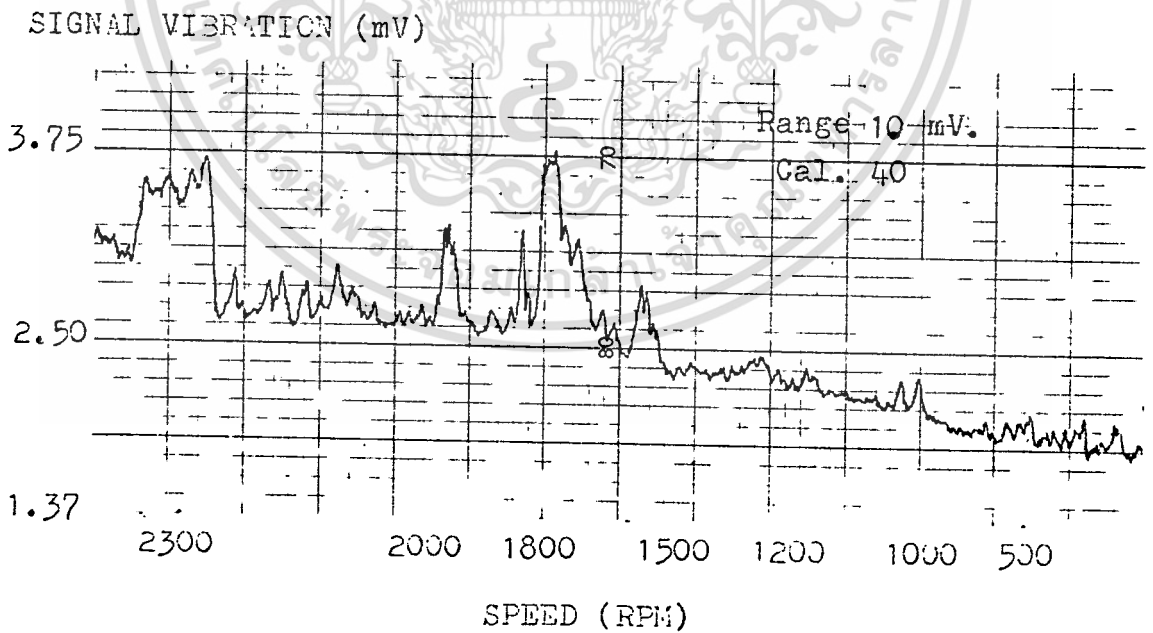
กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) กับระยะเบี่ยงเบน (มม.)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในนอกระดับ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) กับระยะเบี่ยงเบน (มม.)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในทางอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

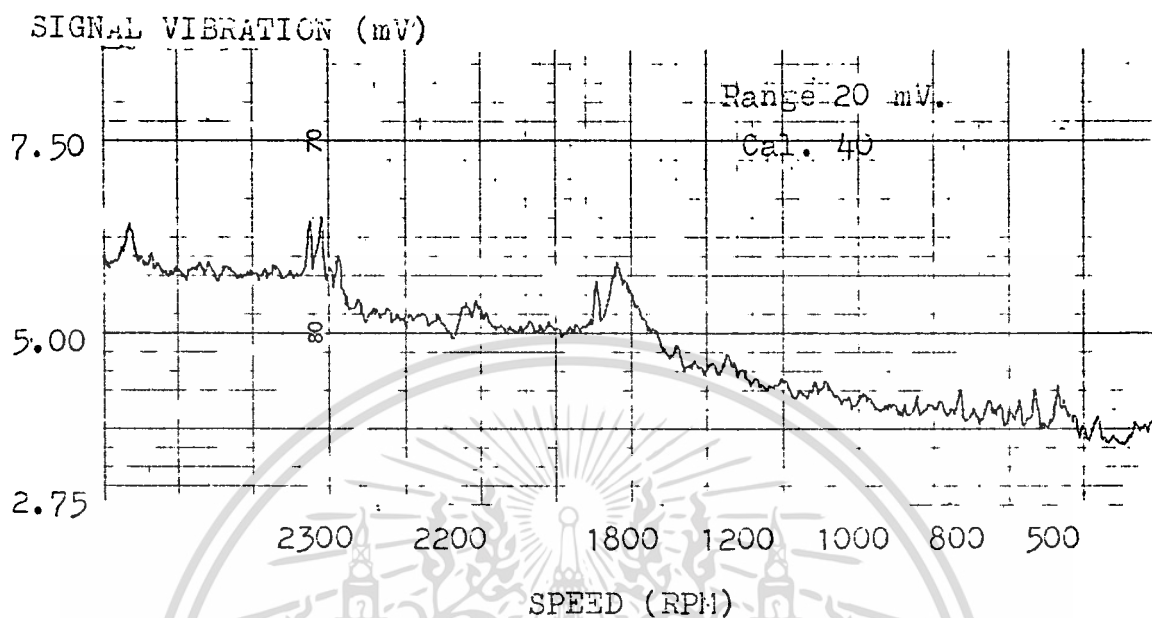


ROTATIONAL VIBRATION AND SPEED(RPM) AT 19.08 N-mm.

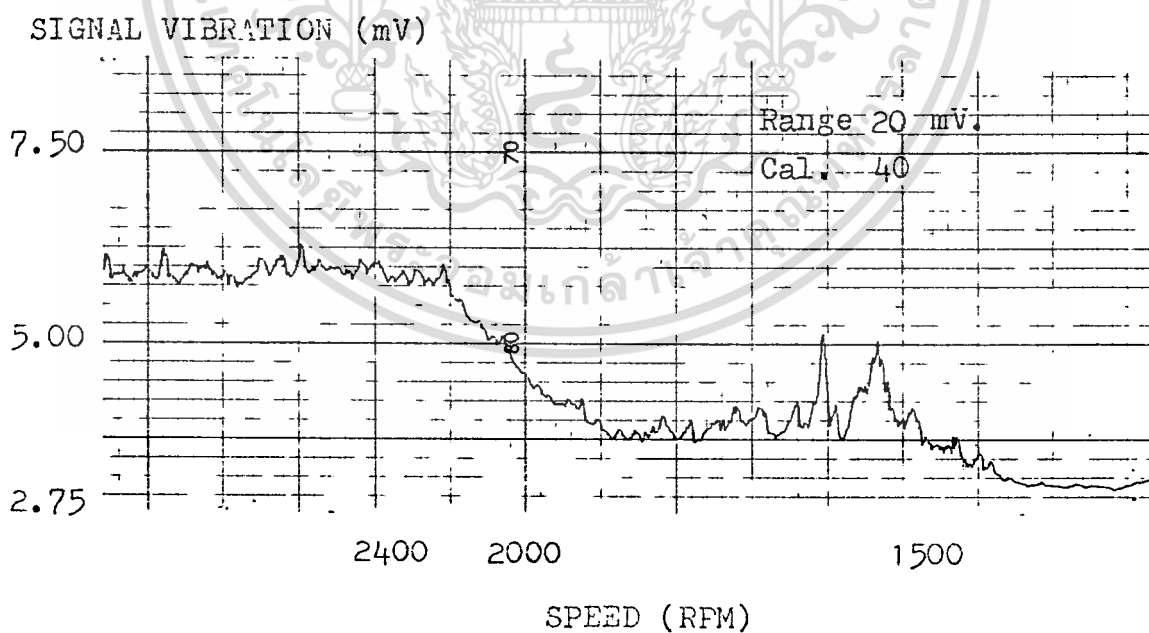


ROTATIONAL VIBRATION AND SPEED(RPM) AT 38.17 N-mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

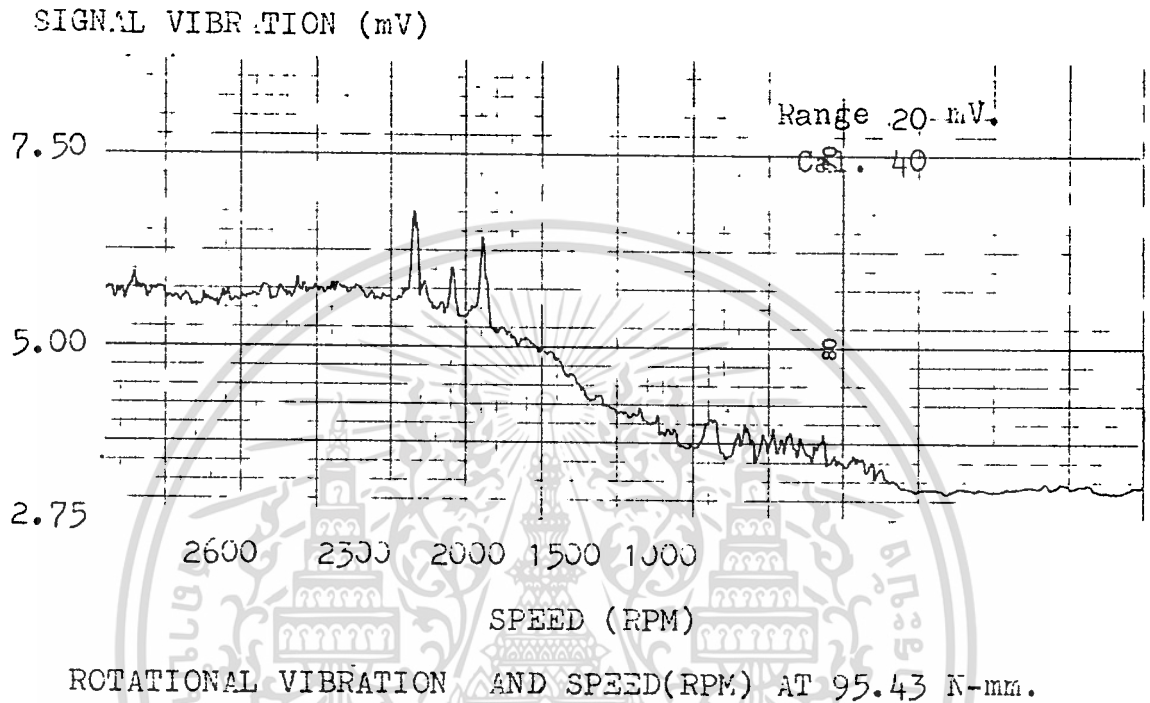


ROTATIONAL VIBRATION AND SPEED(RPM) AT 57.26 N-mm.



ROTATIONAL VIBRATION AND SPEED(RPM) AT 76.34 N-mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเราจะสามารถวัดค่าความสั่นสะเทือนของ bearing supports ได้โดยใช้ accelerometer เมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ จะสังเกตเห็นว่าค่าความสั่นสะเทือนมีแนวโน้มจะสูงขึ้นที่ความเร็วรอบและภาระโหลด (load) สูงขึ้น และจะมีค่าสูงที่สุดที่ความเร็วรอบค่าหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งที่ความเร็วรอบค่าดังกล่าวเป็นช่วงที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของแบร์ริงเกิด resonance

Resonance เกิดขึ้นเนื่องจากความถี่ของการหมุนนั้นมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น ๆ ซึ่งจุดนี้ค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีค่าสูงมาก อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ที่เรากำลังใช้งานอยู่ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติเราจึงต้องทำให้ช่วงเวลาที่เกิด resonance น้อยที่สุด โดยการทำให้ระบบทำงานผ่านช่วงที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น

เมื่อเราทำการวัดหาค่า deflection ของเพลาค่าความเร็วรอบต่างๆ โดยการใช้ gap-sensor เป็นตัววัดค่า เมื่อนำค่า deflection ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ มาพล็อตกราฟแล้ว เราจะสังเกตเห็นว่าเมื่อเราทำการเพิ่มภาระ (load) ให้กับเพลามากขึ้นเรื่อยๆ ที่ภาระโหลดมาก ๆ ค่า deflection ของเพลาก็มีค่าน้อยกว่าค่า deflection ที่ภาระโหลดน้อย

วิจารณ์การทดลอง

1. การควบคุมความเร็วรอบของ DC motor ทำได้ยาก เนื่องจากกระแสไฟในตอนที่เริ่มหมุนจะมีค่าสูง กระแสไฟจะเกิดการกระชาก ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าไม่คงที่

2. แรงบิดของมอเตอร์มีค่าไม่สูงพอ ดังนั้นเมื่อค่า torque ที่เราใส่เข้าไปเพื่อ

เพิ่มภาระให้แก่ระบบมีค่าสูงขึ้น การรักษาความเร็วรอบของมอเตอร์จึงทำได้ยากมาก

3. เนื่องจากเพลามีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เมื่อใช้งานเพลาก็เกิดการทดลองหลาย ๆ ครั้ง เพลาก็เกิดการโก่งตัว ทำให้การวัดค่าต่าง ๆ มีโอกาสผิดพลาดขึ้นได้

4. การติดตั้งมีเตอร์ความเร่ง ทำให้แน่นนอนได้ยากเพราะผิวหน้าของ mount ต้องเรียบสนิทจริง ๆ จึงจะส่งถ่ายสัญญาณการสั่นสะเทือนได้ดี
5. วงจร RMS ควรมีการแก้ไขเพิ่มเติม ซึ่งจะทำให้สัญญาณ RMS VIBRATION ที่ได้มีค่าถูกต้องมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดของวงจร RMS ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.
6. คาซึ่งสปริงไม่มีความมาตรฐานพอ ค่าที่อ่านได้จากคาซึ่งสปริงจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลอง

การศึกษาถึงผลของการสั้นสะพานที่เกิดขึ้นกับตัวรองรับเพลลาซึ่งใช้ในระบบส่งกำลัง เนื่องจากระบบส่งกำลังในปัจจุบันได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก การทดลองนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาสมรรถนะของระบบส่งกำลัง เพื่อให้ทำงานได้ด้วยความปลอดภัย และให้มีสมรรถนะสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้และอาจจะใช้ในการวิเคราะห์การสั้นสะพานของระบบอื่นที่ใช้งานทั่ว ๆ ไป วิธีทำการทดลอง , การวัดค่าสัญญาณ output , การวิเคราะห์สัญญาณที่ได้ออกมา และการใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย ซึ่งจะนำไปสู่ผลการทดลองที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบส่งกำลังในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

GAP-SENSOR AEC - 5505

GAP-SENSOR เป็นอุปกรณ์วัดระยะการขจัดแบบไม่ต้องสัมผัสกับพื้นผิวที่จะทำการวัด โดยอาศัยหลักการของการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนที่มีความถี่สูง (high frequency eddy current loss) และเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการวัดการขจัดทั้งทาง static และ dynamic ดังนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้จึงใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและใช้กันมากในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ส่วนประกอบ

- | | | |
|------------------------------|----------|--------|
| 1. ตัวแปลงสัญญาณ (convertor) | AEC-5505 | 1 ชิ้น |
| 2. โพรบ (Probe) | PU-05 | 1 ชิ้น |
| 3. สายโพรบ (Probe cable) | PU-03 | 1 เส้น |

ข้อมูลจำเพาะ

RANGE ที่ใช้	:	0 - 2.0 mm.
OUTPUT	:	± 5 V (5 mV/ m) R_{out} 250
RANGE ความถี่	:	DC 20 kHz - 2 dB
LINEARITY	:	อยู่ในช่วง ± 0.5 %
อุณหภูมิขณะใช้งาน	:	convertor : -10 °c - +55 °c probe : -30 °c - +120 °c
อุณหภูมิคลาดเคลื่อน	:	convertor : 0.1 % /°c probe : 0.02 % /°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แหล่งจ่ายไฟ : ± 12 V DC , 40 mA (1W DC)
 .ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้ง การเดินสาย และการใช้งาน

1. การติดตั้งโพรบ

ติดตั้งโพรบในที่ที่ให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้า output ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของช่วงที่เป็นเชิงเส้นของสัญญาณตอบสนอง output

2. การเดินสายเชื่อมระหว่าง convertor กับ โพรบ

ต่อโพรบกับขั้วสัญญาณ input ของ convertor ด้วย สายโพรบ PC-03

3. การเดินสายของสัญญาณ output

นำสัญญาณ output มาจากขั้วสัญญาณ output และขั้วไฟกราวด์ และป้อนให้แก่โวลต์มิเตอร์ แบบคิิจิตอล หรือ oscilloscope หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อพิจารณา output

4. การต่อกับแหล่งจ่ายไฟ

ป้อนไฟ ± 12 V จากเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง โดยต่อจากขั้ว +12 V, -12 V และ 0 V

5. อุ่นเครื่อง

อุปกรณ์นี้ต้องการเวลาอุ่นเครื่องหลังจากเปิดสวิทช์เดินเครื่องสักครู่

6. output voltage

แรงดันไฟฟ้าจะเกิดทางด้าน (-) เมื่อวัดจุดที่ต้องการวัดเข้าใกล้โพรบ และเกิดทางด้าน (+) เมื่อวัดจุดที่ต้องการวัดวิ่งออกห่างจากโพรบ

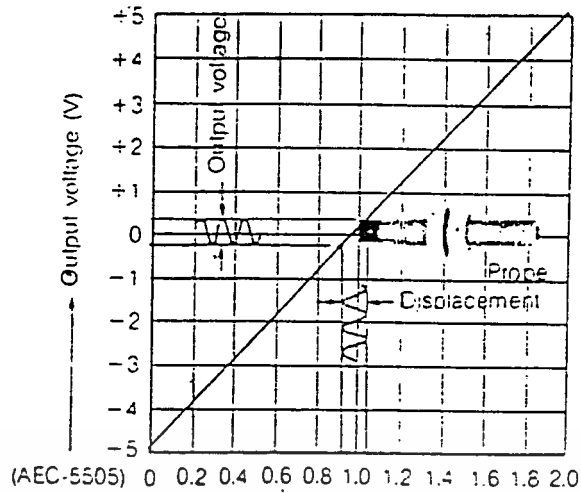
ผลตอบสนองของสัญญาณoutput

ผลตอบสนองของสัญญาณoutputของอุปกรณ์นี้ถูกปรับแต่ง เพื่อให้จะให้ผลสอดคล้องกับวัสดุที่เป็นโลหะ ตามรูป 1

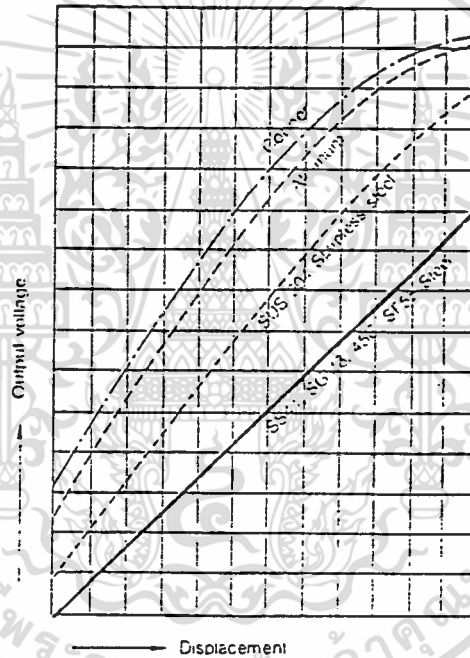
ผลตอบสนองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวัสดุ รูปร่าง และความหนาของวัสดุที่จะใช้วัด

GAP-SENSOR สามารถทำงานกับโลหะชนิดต่าง ๆ ทั้งที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็กและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่เป็นแม่เหล็ก อย่างไรก็ตามผลตอบสนองก็จะแตกต่างกันออกไปสำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ ดังรูป



รูป 1 แสดงผลตอบสนองของสัญญาณoutputเมื่อใช้วัสดุเป็นโลหะ



รูป 2 แสดงผลตอบสนองของวัสดุต่างชนิดกัน

GAP-SENSOR สามารถปรับอัตราขยายได้ ซึ่งทำให้รับค่าผลตอบสนองของสัญญาณ output ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานได้

เมื่อพื้นผิวของวัสดุมีค่า เป็นสอง เท่าของพื้นที่ของผิวหน้าโพรง จะไม่มีผลต่อผลตอบสนองแต่ประการใด

เมื่อพื้นผิวของวัสดุมีขนาด เป็นครึ่งหนึ่งหรืออีตราสวน เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าพื้นที่ของผิวหน้าโพรง ผลตอบสนองจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งหรือน้อยกว่านั้น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้สำหรับวัสดุที่เป็นผงหรือวัสดุส่วนประกอบหลายส่วน หรือเป็นสายที่รวบเข้าไว้ด้วยกัน

อาจให้ผลตอบสนองที่ไม่ดี หรือไม่ให้ผลตอบสนองเลย

ในกรณีที่วัตถุหนากว่า 1.0 mm. ความหนาจะไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

เมื่อวัตถุเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียมพลอยด์ ต้องใช้ความหนามากกว่า $70\ \mu\text{m}$

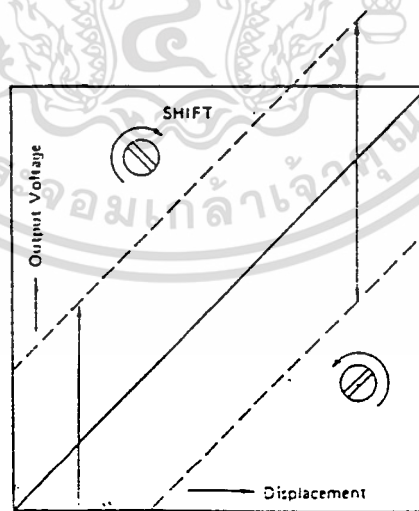
ถ้าเป็นวัตถุรูปทรงกระบอก ผลตอบสนองจะคงเดิมถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ มีค่าสูงกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรบ 3.5 เท่า แต่วัตถุที่มีอัตราส่วน 1:1 คือมีขนาดเท่ากัน ผลตอบสนองจะลดลงเป็น 70 % หรือต่ำกว่า

การปรับแต่งผลตอบสนองของสัญญาณ output

ผลตอบสนองของสัญญาณ output จะถูกปรับโดยใช้วัตถุเป็นเหล็ก ผลตอบสนอง ของสัญญาณ output ขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำวัตถุเข้า สามารถปรับค่า ได้ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้วัด ซึ่งปุ่มปรับอยู่ข้างหลังเครื่อง

1. SHIFT

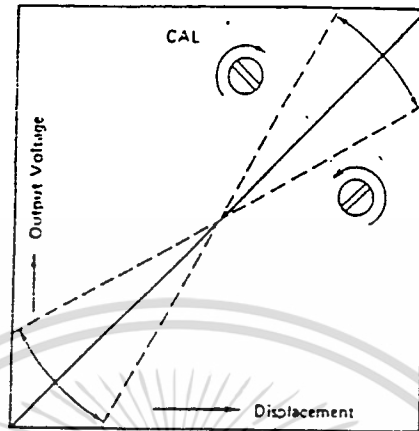
การปรับ SHIFT ของแรงดันไฟฟ้า output สามารถจะทำได้โดยไม่มีการ เปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง



รูป 3 การปรับ SHIFT

2. CAL

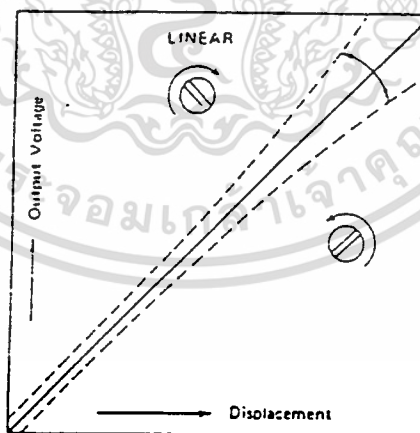
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปแก้ไขโดยไม่ขออนุญาต
ความไวของแรงดันไฟฟ้า output ต่อการวัดสามารถปรับค่าเป็นตรงข้ามได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4 การปรับ CAL

3. LINEAR

ความเป็นเชิงเส้นของผลตอบสนองสามารถชดเชยได้ แต่การชดเชยนี้เมื่อทำ
แล้วต้องมีการปรับ SHIFT และ CAL อีกครั้งหนึ่ง



รูป 5 การปรับ LINEAR

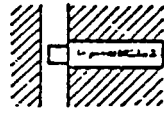
ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

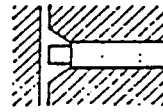
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อโพรบถูกติดตั้งในโลหะ ต้องระมัดระวังอย่าให้หัวของโพรบถูกโลหะบิด

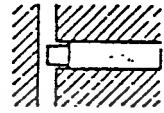
ไว้ ดังแสดงในรูป 6



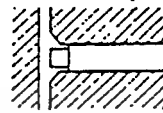
Good mounting



Good mounting



Poor mounting



Poor mounting

รูป 6 แสดงการติดตั้งโพรบที่ถูกต้องในโลหะ

3. เชื้อโพรบหลาย ๆ อัน ถูกใช้พร้อม ๆ กัน อย่าติดตั้งเอาไว้ใกล้กัน เพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณกันเอง
4. ตรวจสอบราให้เรียบร้อยว่าต่อสายถูกต้องก่อนเปิดสวิทซ์เดินเครื่อง
5. อย่าลัดวงจรของสัญญาณ output
6. อย่าเพิ่มความยาวหรือตัดสายโพรบ PC-03
7. โพรบสามารถใช้น้ำในน้ำ ไขมัน และในสนามแม่เหล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

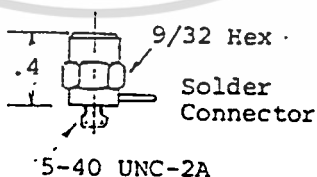
ACCELEROMETER SERIES 303A HIGH FREQUENCY ICP

มิเตอร์วัดความเร่งขนาดเล็ก 303A ICP ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในการตอบสนองต่อย่านความถี่สูง โดยเฉพาะ อุปกรณ์ขนาดเล็กนี้ทำให้มันเหมาะสมสำหรับการวัดการสั่นสะเทือนและการกระตุ้นซึ่งมวลซึ่งมีขนาดเล็ก ๆ มีผลต่อการวัดมาก

impedance convertor ซึ่งเป็นส่วนประกอบภายในอุปกรณ์นี้ จะแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ impedance สูงจากผลึกไปเป็นสัญญาณ impedance ต่ำที่ระดับ 10 mV/g สายสัญญาณแบบ co-axial สายเดี่ยว หรือสองสายบิดพันกัน ท้าหน้าที่เชื่อม 303 กับแหล่งจ่ายไฟ เพื่อความง่ายในการใช้งาน สัญญาณ output ที่มี impedance ต่ำ ทำให้สามารถนำสายสัญญาณที่ยาวได้ถึง 1000 ft. โดยไม่มีการสูญเสียของสัญญาณมากเกินไป และไม่มีการบิดเบี้ยวของสัญญาณ

ส่วนประกอบ

ชุด 303A แบ่งออกเป็น 3 แบบด้วยกันคือ 303A , 303A02 และ 303A03 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ 303A ตามรูปที่ 1



รูป 1 ACCELEROTER แบบ 303A

แบบ 303A ประกอบด้วยรูยึดติดตั้งขนาด 5-40 และขั้วเชื่อมซึ่งติดตั้งในแนวรัศมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แบบ 303A นี้เป็นแบบที่นิยมใช้งานทั่ว ๆ ไป และใช้ประยุกต์ใช้งานได้มากที่สุด

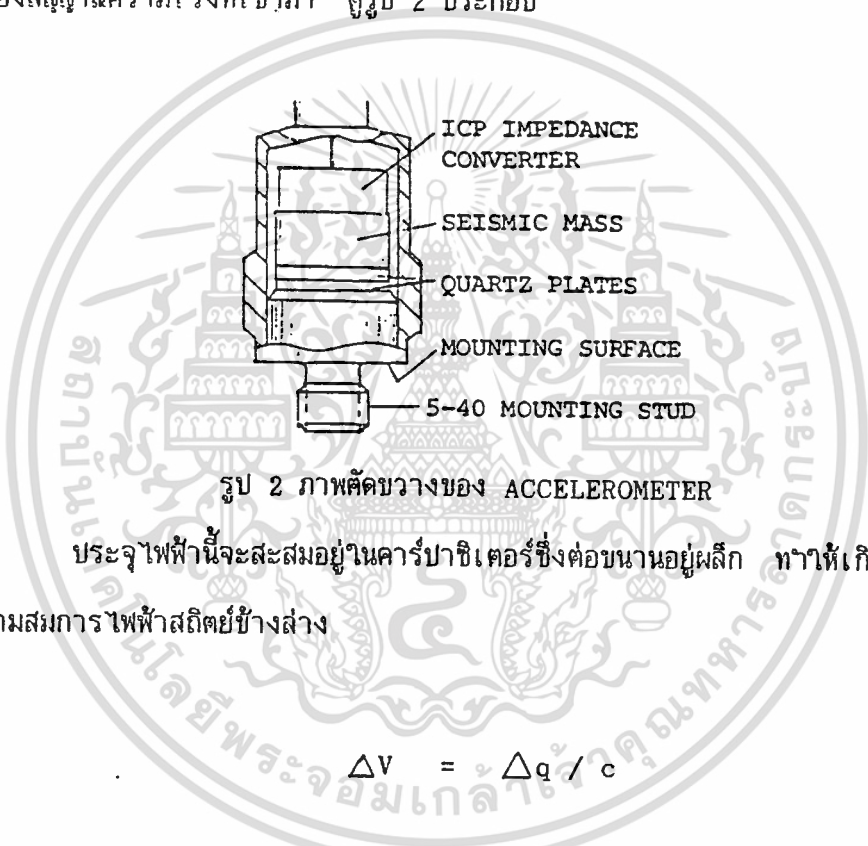
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 แบบมีส่วนประกอบภายในเหมือนกัน คือประกอบด้วยผลึกคู่อยู่กับ FET

INPUT IC IMPEDANCE CONVERTOR

ทฤษฎีการใช้งาน

การเปลี่ยนแปลงความเร่งในส่วนฐานของมิเตอร์ ทำให้เกิดความเร่งบน seismic mass ผ่านผลึก เป็นผลให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิต (Δq) ซึ่งเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความเร่งที่เข้ามา รูป 2 ประกอบ



รูป 2 ภาพตัดขวางของ ACCELEROMETER

ประจุไฟฟ้านี้จะสะสมอยู่ในคาร์ปาซิเตอร์ซึ่งต่อขนานอยู่ผลึก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า

ΔV ตามสมการไฟฟ้าสถิตย์ข้างล่าง

$$\Delta V = \Delta q / c$$

แรงดันไฟฟ้านี้จะผ่าน gate ของ FET ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากันที่ขั้ว source แต่ระดับค่า impedance ต่ำกว่ามาก ๆ สัญญาณที่ขั้ว source นี้ถูกเพิ่มให้แก่ DC. bias voltage. ประมาณ 11 โวลต์ สัญญาณจะถูกแยกจาก bias voltage ใน PCB power units

discharge resister ซึ่งต่ออยู่กับอุปกรณ์จะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ทำหน้าที่เหมือนประตูปปล่อยสติกส์ไฟฟ้า จัด bias ที่เหมาะสมสำหรับ amplifier และจัดเส้นทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า การขายประจุสำหรับ spurious thermally induced charges ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย อุปกรณ์ piezoelectric

ค่า time constant ของการคายประจุ (TC) เป็นผลคูณของค่าความจุซึ่งต่อขนาน (C) กับค่าความต้านทานคายประจุ (discharge resistance ,R)

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

ค่า TC มีความสัมพันธ์กับผลตอบสนองความถี่ต่ำตามความสัมพันธ์

$$f_0 = .16 / TC$$

$$f_0 = \text{ความถี่ต่ำกว่า } -3 \text{ dB } \text{ Hz}$$

$$TC = \text{ค่า Time constant ของการคายประจุตามสมการของ TC}$$

TC ของชุด 303 ประมาณ 1 วินาที ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจะเป็น .16 Hz

เบสออกนอกของชุดมิเตอร์ความถี่นี้มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 ทำให้ไม่เกิดปัญหา

noise เพราะ impedance ที่ต่ำของตัวขยายภายใน

การแยกวงจรออกจากกันมีความสำคัญมาก ควรจะขอคำปรึกษาจากโรงงาน

การติดตั้ง

เพราะว่าชุด 303 มีขนาดเล็กและใช้กับความถี่สูง จึงมีความสำคัญมากที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์อย่างถูกต้อง

การส่งถ่ายความถี่สูงที่สถานีฐานของ 303 ขึ้นอยู่กับการสัมผัสระหว่างฐานกับพื้นผิวติดตั้งว่าสนิทเพียงใด

การติดตั้งสำหรับแบบ 303A

สำหรับแบบ 303A ต้องทำรูซึ่งผ่านการตีปเกลียวไว้แล้ว และเตรียมผิวหน้าที่จะทำการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิศวกรรมศาสตร์ของฐานติดตั้งซึ่งต้องติดกับฐานของมิเตอร์ความถี่ จะต้องทำให้เรียบ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 และรพขอ การเขียนในผิวหน้าถึงแม้บางที่อาจไม่จำเป็น แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องพยายามทำ

ผิวหุ้มในส่วนที่เป็นจุดนำ เรียกว่า ระบายให้ ระบายที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยอาศัยเครื่องมือที่คม

ใบซิลิโคนอาจจะถูกป้ายเป็นฟิล์มบาง ๆ ระหว่างผิวสัมผัสเพื่อช่วยในการส่งถ่ายสัญญาณที่ดีขึ้นในย่านความถี่สูง

สำหรับการติดตั้งอย่างถาวร ต้องใช้ epoxy ทาบาง ๆ ระหว่างผิวสัมผัสเพื่อความมั่นใจว่าจะใช้มิเตอร์ทำการวัดที่ความถี่สูง ๆ ได้โดยมิเตอร์ความถี่สูงไม่หลุดออกมา ระหว่างการใช้

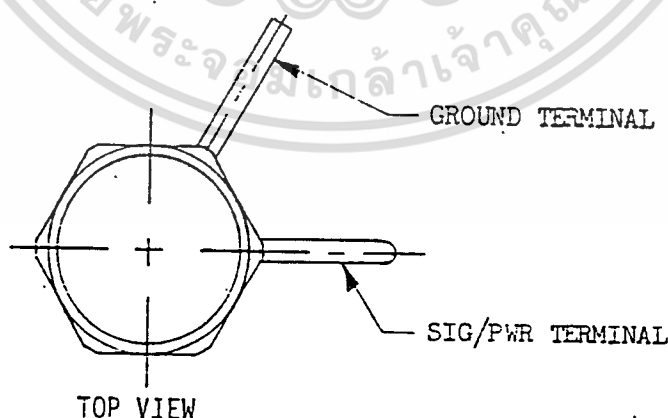
แรงบิดในการติดตั้ง

เนื่องจากขนาดเล็กมาก ปุ่มติดตั้งอาจถูกบิดออกมาอย่างง่าย ๆ โดยใช้แรงบิดไม่ต้องการมาก คือประมาณไม่เกิน 5 in. lbs.

ในการติดตั้งถ้าไม่มีประแจทอร์ค ก็ให้บิดอุปกรณ์ด้วยอุปกรณ์อื่นโดยให้ความแน่นมากกว่าแรงบิดจากมือเล็กน้อย โดยการใช้ประแจขนาดเล็ก ๆ

การติดตั้งสายสัญญาณ

การติดตั้งสายสัญญาณเข้ากับแบบ 303A ใช้สายอย่างดี (30 AWG บิดพันกัน) และเชื่อมด้วยตะกั่ว-ตะกั่ว อุณหภูมิต่ำ และใช้หัวแร้งขนาดเล็ก (ไม่เกิน 15 watt) ใช้ความร้อนให้ต่ำที่ขั้วของมัน เพื่อป้องกันการเกิด overheat

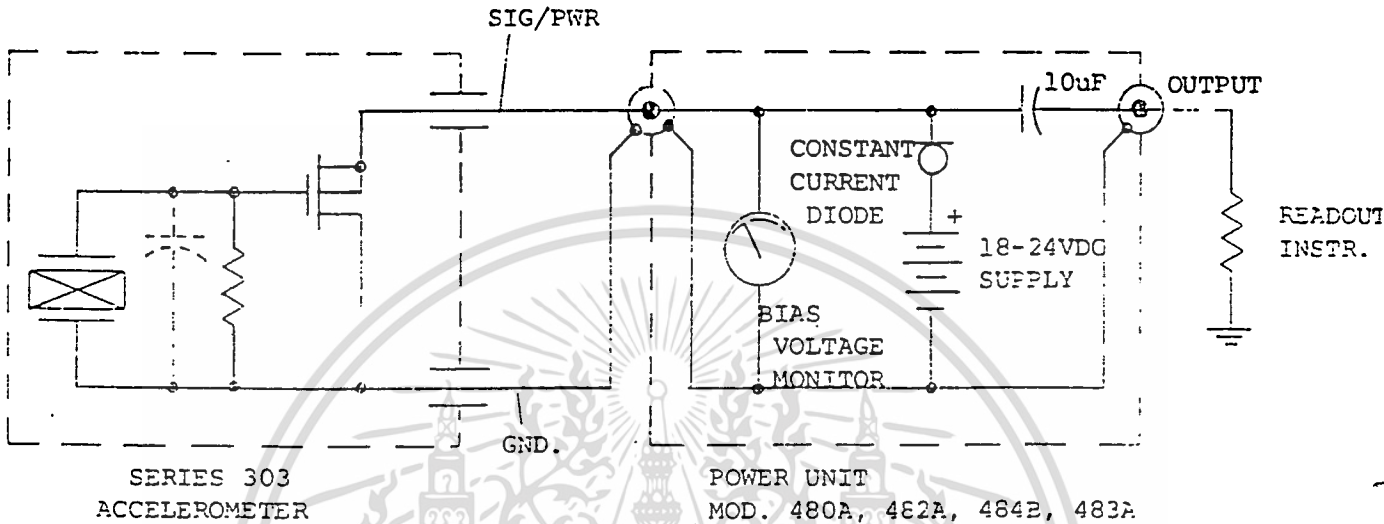


รูป 3 การกำหนดขั้วต่อของสายไฟฟ้า สำหรับแบบ 303A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ขั้วบวกซึ่งทำด้วยตะกั่วจากส่วนจ่ายไฟ ซึ่งเขียนว่า "xducer" ถูกต่อกับขั้ว

sig/pwr ตามรูป 3 และกราวด์ต่อกับขั้วกราวด์ของมิเตอร์ความเร่ง โดยใช้ 070A09 Solder connector adaptor ต่อกับส่วนจ่ายไฟ

การใช้งาน



รูป 4 แสดงการต่อมิเตอร์กับส่วนจ่ายไฟ

หลังจากติดตั้งมิเตอร์ความเร่ง เดินสายสัญญาณกับส่วนจ่ายไฟ และขันน็อตให้แน่น เพื่อให้กราวด์แก่อุปกรณ์

เปิดสวิทช์เครื่องและสังเกต bias voltage บนหน้าปัทม์ของเครื่อง โวลต์มิเตอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของ PCB power units เมื่อป้อนกระแสที่ 2 - 20 mA เข้าไป ดังรูปที่ 4 amplifier จะแสดงผลของระดับ bias voltage ที่ขั้ว source 11 โวลต์ สัญญาณ output จะถูกทับไปบน bias voltage กระแสตรง และถูกลดการปะปนกัน โดยตัวเก็บประจุ 10 μF Bias meter จะแสดงค่าประมาณ mid-scale (แถบสีเขียว) สำหรับแหล่งกำเนิดโดยทั่ว ๆ ไป และสายสัญญาณแบบต่อเนื่อง มิเตอร์ full-scale (แถบสีเหลือง) แสดงความเสียหายของ amplifier ภายใน มีสายสัญญาณหรือการต่อสายสัญญาณแบบเปิด โวลต์จตุรมุข (แถบสีแดง) บอกถึงสายสัญญาณหรือการต่อสายสัญญาณแบบลัดวงจร ดังนั้น มิเตอร์นี้ใช้บอกว่าการเกิดความผิดพลาดกับระบบหรือไม่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ถ้าต้องการสร้างแหล่งจ่ายไฟมากกว่าที่ใช้ PCB ตัวเดียว ไดโอด Motorola ไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำใบชุด MCL 1300 ซึ่งเป็นไดโอดควบคุมกระแสให้คงที่ จะถูกใช้ควบคุมกระแส MCL 1304 เป็น

โคโอด 4 mA MCL 1302 เป็นโคโอด 2 mA

MCL 1304 5 ตัว สามารถต่อขนานกันเพื่อสร้างกระแส 20 mA สำหรับการต่อสายสัญญาณยาว ๆ อย่าใช้ไฟเกิน 20 mA และอย่าจ่ายแรงดันไฟแก่ระบบโดยไม่มีโคโอดจำกัดกระแสหรืออุปกรณ์จำกัดกระแสไฟฟ้าอื่น ๆ มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ amplifier ภายนอกได้

ขั้วอุปกรณ์

ถ้าไม่มีวิธีการระบุอย่างอื่น อุปกรณ์ 303 จะให้แรงดันไฟฟ้า output เป็นบวกเมื่อเกิดความเร่งทางบวกในฐานติดตั้ง (ตรงไปยังส่วนบนของอุปกรณ์)

การกลับขั้วของอุปกรณ์ต้องการสิ่งเป็นพิเศษ

การคาลิเบรท (calibration)

การคาลิเบรทอุปกรณ์นี้จะทำที่ PCB โดยใช้ NBS traceable reference system ที่ช่วงความถี่ 30 - 10,000 Hz ความไวที่ใช้อ้างอิงวัดที่ 100 Hz ต่อ ISA RP 37.2 PCB มีการคาลิเบรทใหม่เมื่อมีการ charge รายละเอียดต้องสอบถามจากทางโรงงาน

สายสัญญาณและ loss ของข้อมูล

การขันตัวต่อสายสัญญาณให้แน่น เข้ากับตัวตรวจจับสัญญาณ ให้ใช้มือขันให้แน่น อาจใช้ loctite ทาบนเกลียวเล็กน้อยเพื่อให้การต่อแน่นยิ่งขึ้น ข้อมูลของความถี่สูงจะเชื่อถือได้เล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับติดตั้งและสายสัญญาณ เราต้องใช้เทปยึดสายสัญญาณเอาไว้กับพื้นที่ที่มีการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับส่วนหัวของมิเตอร์ ห่างจากมิเตอร์ประมาณ 2 1/2 - 3 นิ้ว โดยปล่อยสายให้มีระยะห้อยตัวลงเพื่อลดความเค้นในสาย อย่าให้สายตึงเกินไป จากความสั่นพั่น

$$F = ma$$

ความเครียดสูงจะส่งผ่านความยาวของสายสัญญาณไปยังมิเตอร์ความเร่ง ถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มีสายสัญญาณหลายสาย ต้องผูกมัด เข้าไว้ด้วยกัน บังกันการโค่นเหยียบเพราะสายสัญญาณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้งานบบางมากพอสมควร

บูทยาง (rubber boot) RTV ใช้ในฉนวนความแรงส่วนใหญ ซึ่งใช้ป้องกัน
 ฉนวนความแรงจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างกระทันหันเมื่อใช้วัดที่ความถี่ต่ำ และใช้
 ป้องกันทางกลในการใช้งานในงานภาคสนามหรือในโรงงานอุตสาหกรรม

หลังจากการใช้ต้องเก็บสายสัญญาณเอาไว้ในกล่องพลาสติก

อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับมีเตอร์ความแรง

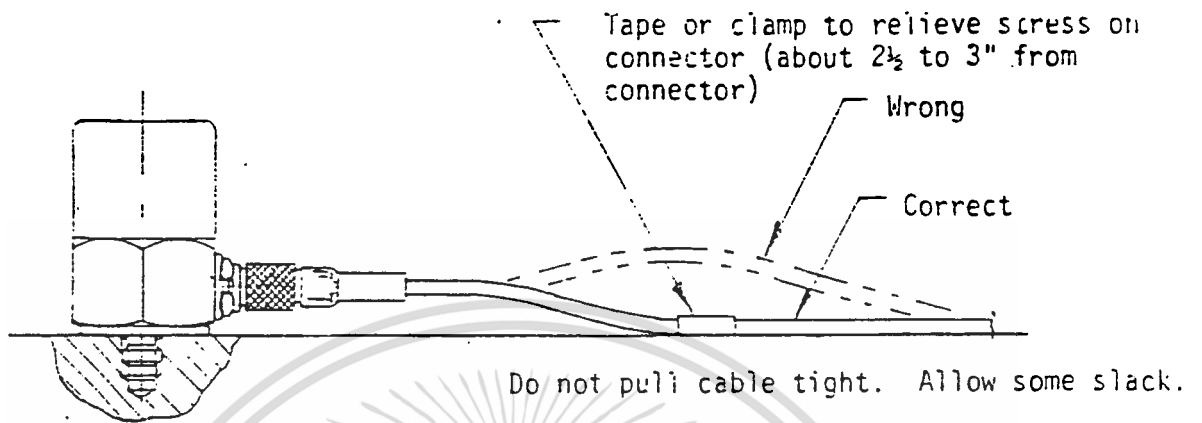
อุปกรณ์เพิ่มเติมประกอบด้วยฐานติดตั้งแบบแฉกเหล็ก 080A07 , บล็อกติดตั้ง 3
 แกน , บูท RTV , โพรบ 080A09 , ปุ่มติดตั้ง และตัวเชื่อมเปลี่ยนค่า 070A09 ซึ่งทนแรง
 ไปได้ 100,000 G รูปประกอบของอุปกรณ์เพิ่มเติมดูจากตาราง ACCESSORIES ข้างท้ายบท

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งของการติดตั้งสายสัญญาณคือ เมื่อใช้เทปพันสายสัญญาณจะ
 ต้องแน่ใจว่า สายสัญญาณถูกยึดอยู่บนพื้นผิวเดียวกันกับที่มีเตอร์ความแรงถูกติดตั้งอยู่ เพื่อหลีกเลี่ยง
 เลี่ยงการเคลื่อนที่ระหว่างส่วนที่สัมผัส เหมือนกับส่วนที่อยู่นิ่ง ดูรูป 5 ประกอบ

ข้อเสนอแนะในการใช้งาน

1. ระดับการกระตุก (shock levels) ถูกระบุเอาไว้ใน Specification แล้ว อย่าใช้สูงกว่าที่ระบุเอาไว้
2. อย่าใช้แรงบิดมากเกินไปในการติดตั้ง
3. อย่าติดตั้งอุปกรณ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 °F
4. อย่าบ่อนแรงดันไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์โดยไม่มีกำบังป้องกันที่กระแสดังที่
5. อย่าบ่อนกระแสมากกว่า 20 mA
6. อย่าบ่อนแรงดันไฟฟ้าเกิน 30 โวลต์
7. อุปกรณ์จะถูกยึดด้วย epoxy เพื่อให้ใช้งานได้านสภาพที่มีความชื้นสูงได้เป็น
 เวลานาน ถ้าอุปกรณ์ไม่สามารถจะถูกขันออกมาได้ หรือมี TC น้อยลง ให้อบที่อุณหภูมิ 250
 °F เป็นเวลาหลาย ๆ ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5 การติดตั้งสายสัญญาณที่ถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MINIATURE 2 GRAM

QUARTZ ACCELEROMETER

Series 303A



with built-in microelectronics & 10 mV/g sensitivity

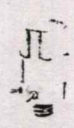
Measure shock and vibration in applications requiring small size, low mass or very high frequency response.

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.

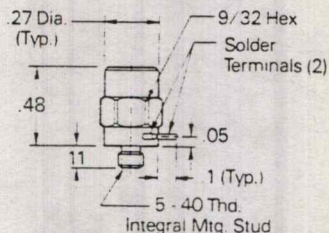
They are structured with permanently polarized compression-mode quartz elements and a microelectronic amplifier housed in a lightweight metal case. Three different case and connector configurations give you a choice in mounting and cabling. The built-in electronics operate over a coaxial or two-conductor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

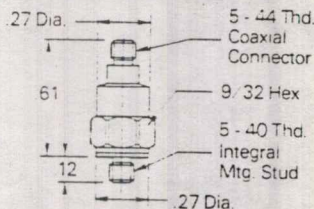
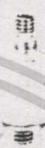
303A



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



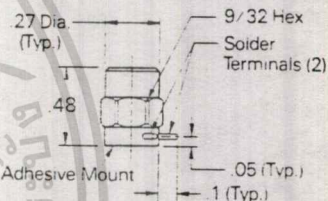
303A02



303A03



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

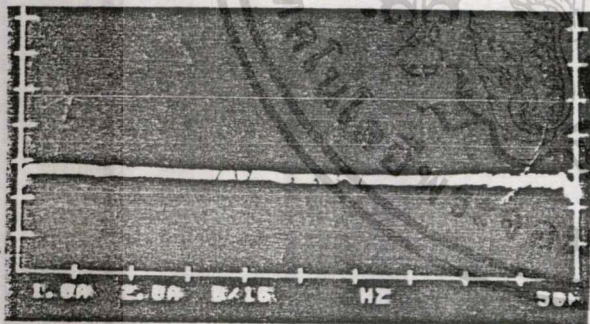


SPECIFICATIONS: Model No.

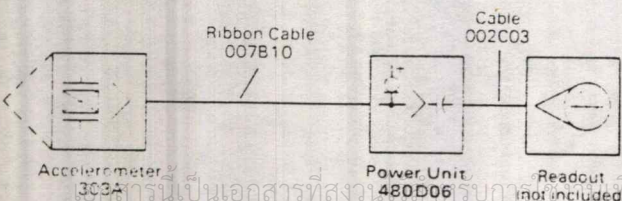
303A & 303A03

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

Frequency Response (mounted)



TYPICAL SYSTEM: Model GK303A Accelerometer Kit



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

Notes:

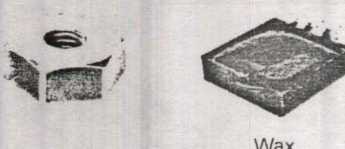



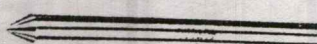


Model 303A02 has a 5-44 micro-connector. Other specifications are the same. Options include 080A15 adhesive mounting base, 080A16 three-axis mounting adaptor (10-32 thread) and triaxial Model 303A06.

ACCESSORIES

For PCB Quartz Accelerometers



Adaptors, studs and insulators to facilitate the installation and operation of PCB motion sensing accelerometers.

Models	Description	For use with series:	302A	303A	305A	307A	308B	328B
 <p>Wax</p>	ADHESIVE MOUNTING BASE (hard coat aluminum also isolates from ground) List of adhesive choices available.							
	080A 0.5 hex x 0.187 thk, 10-32 thd	•						
	080A04 0.37 hex x 0.200 thk, 10-32 thd for 305A03, A04 & A05							
	080A12 0.75 hex x 0.200 thk, 10-32 thd					•	•	
	080A13 0.75 hex x 0.200 thk, 1/4-28 thd							•
	080A14 0.31 hex x 0.32 thk, 10-32 thd for 305A & A02				•			
	080A15 0.31 hex x 0.125 thk, 5-40 thd			•				
080A19 0.75 hex x 0.375 thk, accepts 10-32 stud each side (provides electrical isolation with stud mount)		•			•	•		
080A24 Mounting Wax* (samples available)		•	•		•	•	•	
 <p>080A05 080A07 080A21</p> <p>080A27</p>	MAGNETIC MOUNTING BASE							
	080A05 1.0 dia x 0.75 thk, accepts 1/4-28 stud							•
	080A07 1.0 dia x 0.75 thk, 10-32 thd (43 gram mass) upper frequency limit on good surface: 3000Hz with 302A; 1000Hz with 308B	•				•	•	
	080A21 for 393C Seismic Accelerometer							
	080A27 Ultra high magnetic attraction base integral 10-32 thread	•				•	•	
080A30 Miniature high magnetic attraction for 303A & A02		•						
 <p>080B10 080A11</p> <p>080A16</p>	TRI-AXIAL MOUNTING ADAPTOR (SS block)							
	080B10 0.87 cube, 10-32 thd each surface	•				•		
	080A11 1.25 cube						•	
	080A16 0.37 cube			•				
	RTV BOOT* (for thermal & mechanical protection)							
	085A01 0.9 dia x 1.32 long						•	
	085A02 0.64 dia x 1.1 long	•						
	085A03 for 308B04 Accelerometer							
	085A05 for 308B03, 308B14 & 308B15 Accelerometer							
	085A14 for Series 303A side connector version			•				
085A15 for 303A02 top connector accelerometer								
	PROBE TIP (adapts sensor with 10-32 stud to hand-held probe)							
	080A09 0.375 dia x 4.0 long, 10-32 thd (use with RTV boot on Accelerometer)	•				•	•	
 <p>081B05 081B20</p> <p>081A08</p> <p>081A21</p>	MOUNTING STUDS*							
	081B05 10-32 to 10-32 thd, 0.275 lg (with shoulder)	•				•	•	
	081A08 10-32 to 1/4-28 threads x 0.3 long	•				•	•	
	081B20 1/4-28 to 1/4-28 (with shoulder)							
	081A21 0.75 hex x 0.200 thk, Isolation Stud 10-32/10-32	•					•	
	SOLDER CONNECTOR ADAPTOR							
	070A09 Converts micro 10-32 connectors to two pin solder terminals; withstands shocks to 100 000g, assembles into 007 series ribbon-wire cables	•				•	•	

*One appropriate accessory supplied with each accelerometer ordered.

2-WIRE, LOW IMPEDANCE, VOLTAGE-MODE INTEGRATED-CIRCUIT PIEZOELECTRIC SYSTEMS

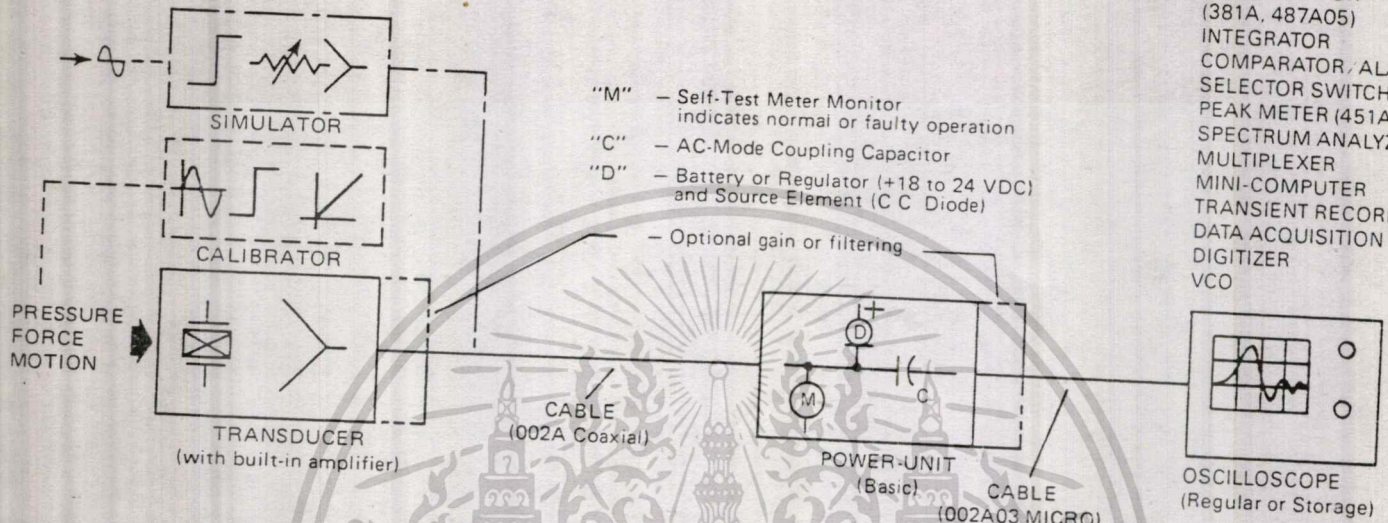
PCB[®]

PIEZOTRONICS



measure dynamic phenomena: pressure, force and motion
involve quartz transducers with built-in unity-gain amplifiers
improve resolution and signal-to-noise ratio
supply a high level (5V), low impedance (100Ω) analog signal
drive long coaxial or two-wire cables
lower per channel cost

- TAPE RECORDER
- OSCILLOGRAPH
- X-Y RECORDER
- ANALOG METER (487A)
- DIGITAL METER
- VIBR. MONITOR (381A, 487A05)
- INTEGRATOR
- COMPARATOR / ALARM
- SELECTOR SWITCH
- PEAK METER (451A)
- SPECTRUM ANALYZER
- MULTIPLEXER
- MINI-COMPUTER
- TRANSIENT RECORDER
- DATA ACQUISITION SYS
- DIGITIZER
- VCO



- VERSIONS
- SHOCK-TUBE
 - BLAST
 - HYDRAULIC
 - SOUND
 - INDUSTRIAL
 - SPARK PLUG
 - HELIUM-BLEED
 - PRESSURE RATE
 - DIFFERENTIAL
 - WATER-COOLED
 - CRYOGENIC
 - CONFORMAL
 - FUEL INJECTION
 - TELEMETRY
 - METRIC

- TENSION
- COMPRESSION
- IMPACT
- INDUSTRIAL OEM
- PRESS
- CRYOGENIC
- HIGH-RANGE
- METRIC

- SHOCK, VIBRATION
- HIGH-TEMPERATURE
- ACOUSTIC EMISSION
- TRI-AXIAL
- INDUSTRIAL OEM
- HIGH-SENSITIVITY
- LOW-NOISE
- TELEMETRY
- CRYOGENIC
- UNDERWATER



Dynamic Pressure Frequency Tailored Series 113A20



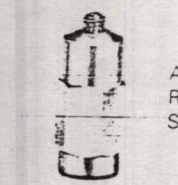
Ballistic Pressure Integral Diaphragm Ceramic Coated Series 108A



Dynamic Force Ultra-rigid Series 208A



Force Rings & Links Series 201A



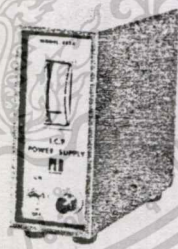
Accelerometers Resonance Suppressed Series 302A



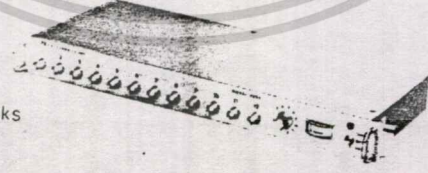
Accelerometers High-Shock Series 305A



BATTERY POWER UNITS
Model 480B, Unity-Gain
Model 480D06, Gain X1, X10, X100
Model 480A08, Integrating
Model 488B, Battery Charger Option



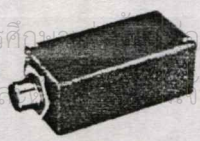
LINE POWER UNITS
Model 482A, Single Channel
Model 482A10, Gain X1, X10, X20
Model 482A04, 4 channel
Model 484B, Dual Time Constant
Model 494A, Adj Gain .1 to 100



MULTI-CHANNEL, RACK CONFIGURATION
Model 483B, 12 Channel, Unity-Gain
Model 483B02, 6 Channel, Unity-Gain
Model 483A07, 12 Channel, Adj Gain 0 to 100
Model 483A08, 6 Channel, Adj Gain 0 to 100



MULTI-CHANNEL VOLTAGE AMPLIFIER
Model 494AC6 6 Channel, Rack Configuration, Gain Adj 0 to 100, Test Signal Insertion, Plug-in Filters



TELEMETRY or Field Power Unit and Amplifier Model 495B

ภาคผนวก ค.

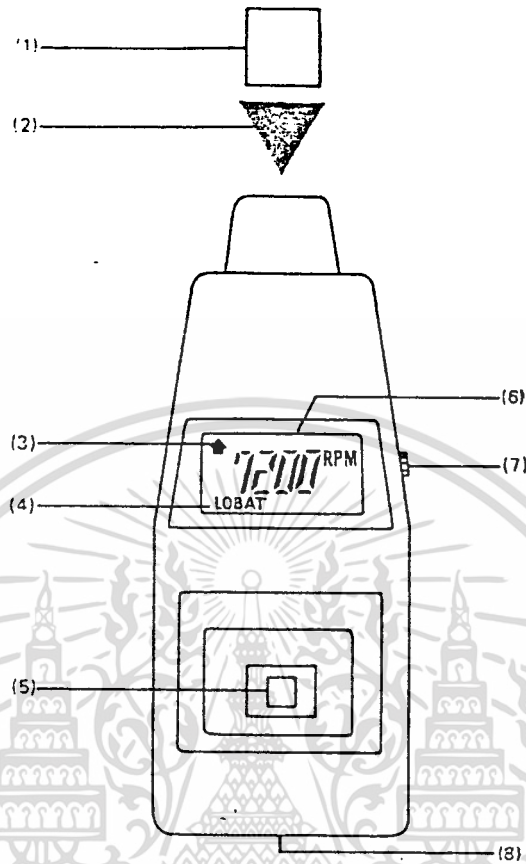
เครื่องวัดรอบแบบแสง DT-240P

คุณสมบัติ

ส่วนแสดงผล	: เป็น LCD ขนาด 0.3 นิ้ว 5 หลัก
ย่านการวัด	: 5 ถึง 100,000 RPM (ใช้แผ่นสะท้อนแสง 1 ชั้น)
ความละเอียดในการวัด	: 1 RPM ตลอดช่วงการวัด
ความเที่ยงตรง	: ± 1 RPM (5 ถึง 5000 RPM) ± 0.05 % (เมื่อเกิน 5000 RPM)
เวลา Sampling	: 1 วินาที (เมื่อวัดเกิน 60 RPM)
เวลาจดจำข้อมูล	: น้อยที่สุด 10 วินาที
ฐานเวลา	: ใช้ควอทซ์คริสตอล
แบตเตอรี่	: ขนาด 1.5 V AA 4 ก้อน (แบบ heavy duty)
กำลังสูงสุด	: ประมาณ 160 mA (ขณะทำการวัด) ประมาณ 20 mA (เมื่อกดปุ่มเรียกดู MEMORY)
น้ำหนัก	: รวมแบตเตอรี่แล้ว 250 กรัม
ระยะการตรวจสอบ	: 50 ถึง 150 มม. หรือ 2 ถึง 6 นิ้ว (ระยะสูงสุด 300 มม. หรือ 12 นิ้วขึ้นอยู่กับแสงรบกวน)
อุณหภูมิใช้งาน	: 0°C ถึง 50°C
ขนาด	: 170 x 72 x 37 มม. (6.7 x 2.8 x 1.5 นิ้ว)
อุปกรณ์เพิ่มเติม	: กระเป๋าใส่เครื่อง 1 ใบ เทปสะท้อนแสงยาว 600 มม. 1 ชั้น คู่มือใช้งานภาษาอังกฤษและภาษาไทยอย่างละ 1 เล่ม

รายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของเครื่องดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 1. เทปสะท้อนแสง ในการใช้งานให้ตัดเทปยาวประมาณ 12 มม. ซึ่งจะได้เป็น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสพอดี และนำเทปที่ตัดแล้วนี้ไปปะลงบนแกนหมุนที่ต้องการวัดความเร็วรอบนั้น



รูป 1 แสดงเครื่องวัดความเร็วรอบแบบเลเซอร์

แกนหมุนที่ต้องการวัดนั้นจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอโดยที่เมื่อเล็งลำแสงไปที่แกนหมุนแล้ว พื้นที่บริเวณที่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสงจะต้องมากกว่าพื้นที่บริเวณที่มีแผ่นสะท้อน

ถ้าหากแกนหมุนที่ต้องการวัดนั้นมีลักษณะเป็นแผ่น จะต้องทาสีดำหรือใช้ผ้าเทปสีดำพันก็ได้ เพื่อป้องกันการสะท้อนแสงจากแกนหมุน

พื้นผิวของแกนหมุนนั้น บริเวณที่จะติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงควรมีผิวเรียบ และทำ ความสะอาดให้เกลี้ยง เพื่อให้แผ่นนั้นสามารถติดได้แน่นโดยไม่หลุดออกมาในขณะที่แกนหมุนกำลัง หมุนอยู่

2. อ่านค่าความเร็วรอบ

อ่านค่าความเร็วรอบเป็นรอบต่อนาที (RPM) ได้โดยตรงโดยสามารถวัดได้ทั้งที่

ปลายของแกนหมุนหรือที่ผิวด้านข้างของแกนหมุนได้โดยการปะ เทปสะท้อนแสงลงบนบริเวณที่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การวัด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องหมายแสดงการทำงานของเครื่อง

เมื่อแสงลาแสงของเครื่องไปยังเทพสะท้อนแสงแล้ว ขณะที่แกนหมุนนั้นหมุนอยู่จะสังเกตเห็นว่าแสงที่ส่องไปนั้นส่องได้ถูกต้องตำแหน่งพอดีหรือไม่โดยการสังเกตที่จะแสดงผล ถ้าหากแสงได้ถูกต้องแล้วจะต้องมีเครื่องขยายดูศรปรากฏขึ้นที่มุมซ้ายของจอแสดงผลพร้อมกับแสดงค่าที่วัดได้ในขณะนั้น

4. แสดงให้ทราบเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด

เมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด เครื่องจะแสดงให้ทราบโดยจะปรากฏเครื่องหมาย LO BAT มุมล่างซ้ายของจอแสดงผล

5. ปุ่มเรียกดูค่าในหน่วยความจำ

เมื่อกดสวิทช์ทำการวัดค่าอยู่นั้น ค่าที่อ่านได้สุดท้ายก่อนที่จะปล่อยสวิทช์จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำทันที หลังจากปล่อยสวิทช์กดแล้วค่าที่เก็บไว้ก็สามารถเรียกออกมาดูได้โดยกดปุ่ม MEMORY นี้เอง

6. จอแสดงผล

เป็น LCD ขนาด 0.3 นิ้ว 5 หลัก

7. สวิทช์กดทำการวัดค่า

เมื่อกดสวิทช์นี้ เครื่องจะส่งลาแสงออกมาและทำการวัดค่าทันทีโดยมันจะทำการวัดไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหยุดกดสวิทช์

8. ช่องใส่แบตเตอรี่

ขั้นตอนการวัด

ติดตั้งเทพสะท้อนแสงบนแกนหมุนที่ต้องการวัดความเร็วรอบนั้น ตั้งเครื่องให้แกนหมุนนั้นเริ่มหมุน กดปุ่มเครื่องวัดทำการวัดและแสงลาแสงไปยังจุดที่ติดตั้งเทพสะท้อนแสงนั้น สังเกตว่ามีเครื่องหมายดูศรแสดงการทำงานของเครื่องปรากฏขึ้นที่มุมจอซ้ายบนของเครื่องหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่าการวัดค่าถูกต้อง เมื่อตัวเลขบนจอขึ้นที่ค่าคงที่แล้ว ให้ปล่อยสวิทช์กดทำการวัดได้ ถ้าหากแกนหมุนนั้นหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำกว่า 50 รอบต่อนาที ให้ติดตั้งเทพสะท้อนแสงมากกว่า 1 ชั้น เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงในการวัด เมื่อติดตั้งเทพสะท้อนแสงมากกว่า 1 ชั้นค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความเร็วรอบที่แท้จริงนั้นหาได้จากการนำเอาค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดของเครื่องมาหารด้วยจำนวนของเทพสะท้อนแสงที่ปะลงไปนั้นก็จะได้ค่าความเร็วรอบต่อนาทีที่แท้จริง

ภาคผนวก ง.

RECORDER

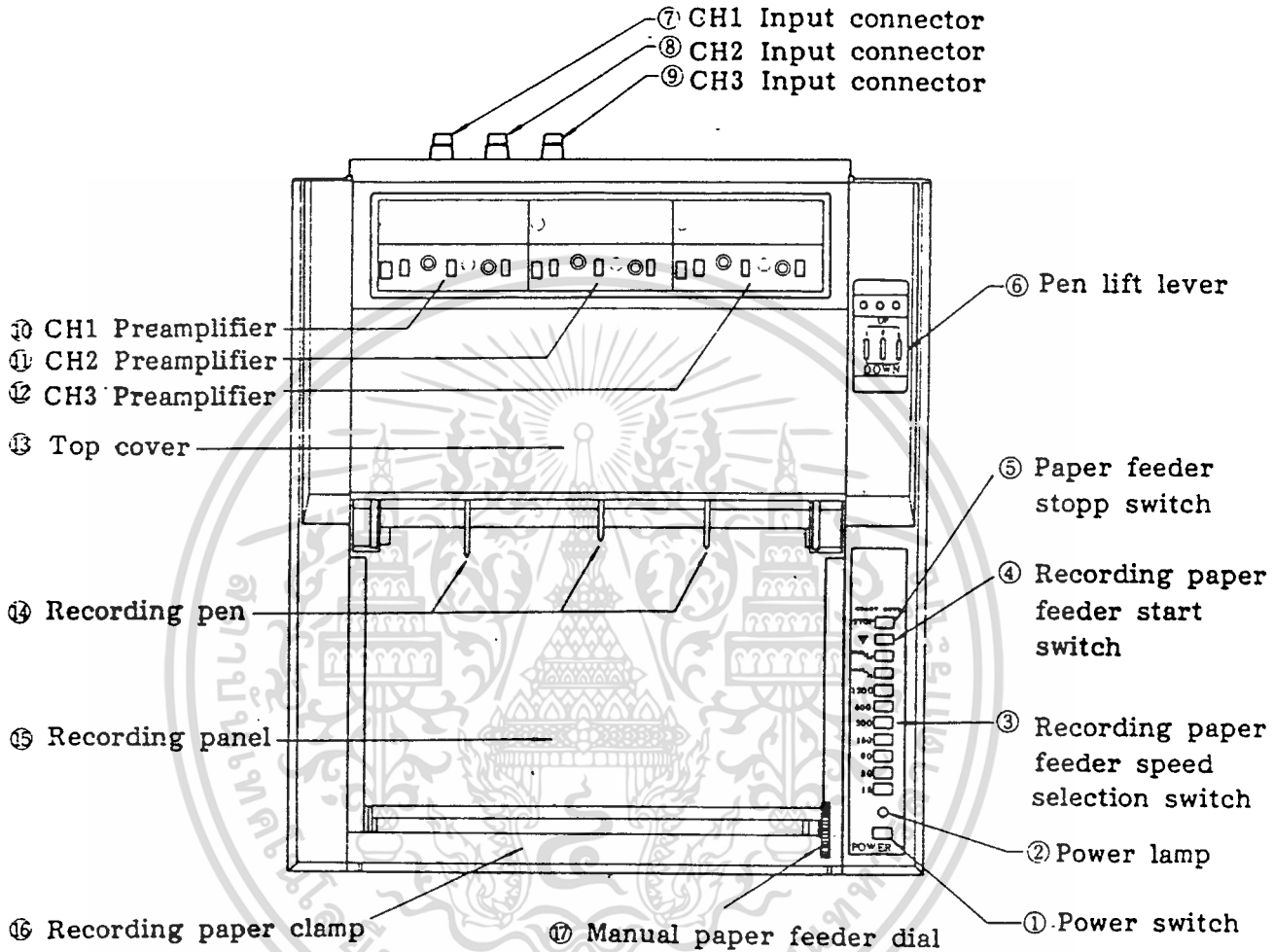
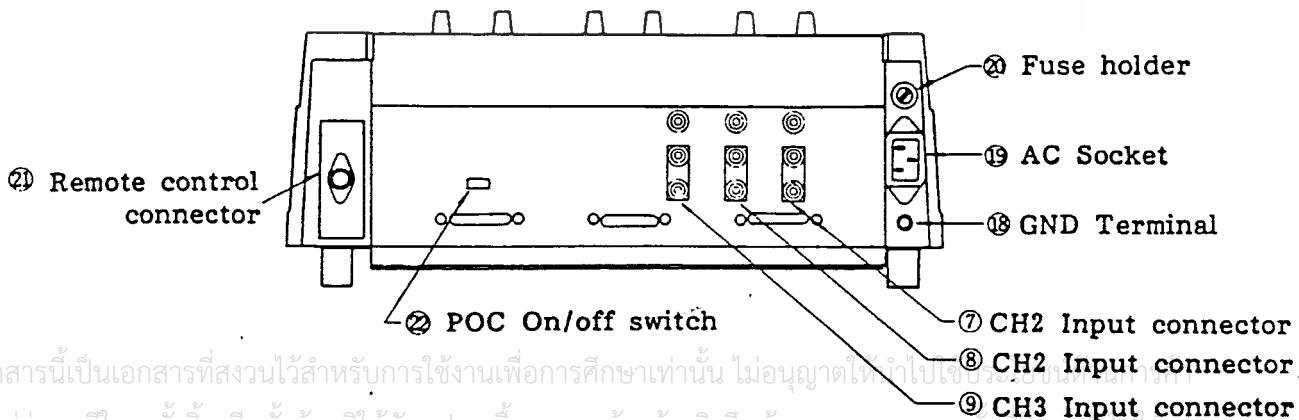


Fig. 1-1 Photo of top view



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปเพื่ออื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

รูป 1 แสดงส่วนประกอบของ RECORDER

ส่วนควบคุมการทำงาน

- 1/ สวิตช์ไฟฟ้าเข้า ใช้เปิด (ON) ให้เครื่อง RECORDER ทำงาน
- 2/ หลอดไฟ จะติดเมื่อสวิตช์ ON
- 3/ สวิตช์เลือกความเร็วในการป้อนกระดาษ เลือกได้ 14 ระดับ คือ
15,30,60,150,300,600,1200 mm/H หรือ mm/M
- 4/ สวิตช์เริ่มการป้อนกระดาษ
- 5/ สวิตช์หยุดการป้อนกระดาษ
- 6/ คันโยกยกปากกา ใช้ควบคุมปากกาขึ้นลงเพื่อทำการบันทึก
- 7,8,9/ ขั้วต่อ input ประกอบด้วยขั้ว +, - และกราวด์
- 10,11,12/ หน่วยขยาย ขยาย input แต่ละช่องไว้ที่ระดับแรงดันที่ต้องการ
- 13/ ฝาปิด ป้องกันปากกาและแผ่นที่จะเข้าเครื่อง
- 14/ ปากกา แบ่งเป็นสีต่าง ๆ ตามช่อง คือ แดง ดำ และเขียวตามลำดับ
- 15/ แผ่นบันทึก ใช้เขียนหมายเหตุลงบนกระดาษบันทึก
- 16/ ตัวจับกระดาษ ป้องกันกระดาษยกตัวขึ้นระหว่างการบันทึก ต้องบิดเอาไว้

เสมอเมื่อทำการบันทึก

- 17/ ลูกบิดป้อนกระดาษด้วยมือ ใช้ตั้งกระดาษไปตำแหน่งที่ต้องการ
- 18/ ตัวต่อกราวด์
- 19/ ตัวต่อไฟเลี้ยง
- 20/ ช่องใส่ฟิวส์ ไฟเลี้ยง 100 V ใช้ฟิวส์ 2 A
ไฟเลี้ยง 200 V ใช้ฟิวส์ 1 A
- 21/ ตัวต่อ Remote control ใช้ต่อสัญญาณภายนอกในการควบคุมการป้อนกระดาษ
- 22/ สวิตช์ POC ใช้เมื่อมีการใช้งาน POC (Pen offset compensator)

Plug-in Unit

ส่วนนี้ใช้ขยายสัญญาณ input ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดย amplifier ภายใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน เช่น ชนิด H, ชนิด L, ชนิด Z, ชนิด KL, ชนิด KD แต่ที่ใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิด Z model SR 6221 ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนควบคุมการทำงาน

งานดังนี้

Channel# Indiacator

จะบอก channel ที่จะทำการวัดได้โดยสิจาก Panel ที่เป็นสี่เหลี่ยมปากกา
แผ่นที่เป็นตัวบอกจะเลื่อนเพื่อแสดงหมุดที่ยึด unit เอาไว้

mV/V

เป็นสวิตช์เปลี่ยนการอ่านค่าเป็น mV หรือ V

Range

สวิตช์นี้ใช้ตั้งช่วงการเคลื่อนของปากกา (pen deflection) ที่สัมพันธ์กับสัญญาณ
อินพุท มันใช้ร่วมกับสวิตช์ mV/V เพื่อตั้งความไว (sensitivities) ให้อยู่ในช่วง
1mV ~ 500V /250 mm.

ON /CAL.V

เมื่อตั้งสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง ON สัญญาณ input ที่ถูกวัดจะถูกปรับไปเป็นแรงดัน
ตามที่ตั้งไว้ใน amplifier และทำให้การเคลื่อนของปากกามีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของช่วง range
ที่ตั้งไว้

VERNI

ส่วนควบคุมอ้อมปลิวคี่จะเป็นตัวปรับความไว มันสามารถปรับความไวได้อย่างต่อ
เนื่องระหว่างช่วงพิคัด (range) ต่าง ๆ เมื่อหมุนส่วนนี้ไปทางขวาจนสุด (ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา)
ความไวจะเป็นไปตามที่ตั้งไว้โดย RANGE และสวิตช์ mV/V

ความไวระหว่างกลาง (Intermediate sensitivities) สามารถถูกตั้ง
โดยการเคลื่อนของปากกา เมื่อสวิตช์ CAL.V ถูกตั้งไปที่ ON (ตัวอย่างเช่น ถ้าปากกา
เคลื่อนไป 80 mm. ความไว = ความไวที่ตั้งไว้ x 80/125)

POSITION

เป็นการตั้งจุดศูนย์ (zero setting) เมื่อหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ปากกา
จะเคลื่อนไปในทิศทาง + และเมื่อหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ปากกาจะเคลื่อนไปใน
ทิศทาง -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
MEAS/OFF

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เป็นสวิตช์เลือกสัญญาณ input เมื่อสวิตช์ถูกตั้งไปที่ MEAS ปากกาจะทำการบันทึก

สัญญาณ input เมื่อตั้งไปที่ OFF สัญญาณจะถูกต่อลงกราวด์

FILTER

สวิทช์นี้ใช้ขจัดเสียงจากแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งปะปนมากับสัญญาณ input เมื่อตั้งไปที่ ON มันจะมีผลคือ ลดเสียง -20 dB หรือ -40 dB ต่อ 50Hz เมื่อตั้งไปที่ OFF สัญญาณ input จะป้อนให้แก่ amplifier โดยไม่มีการกรองสัญญาณ เมื่อใช้วัดที่ความไวสูง ๆ ถ้า impedance ของ output จากแหล่งสัญญาณสูงมาก จะเกิดเสียงมากขึ้นด้วย ในกรณีนี้ต้องตั้ง filter ไปที่ ON

การวัดและการบันทึก

ขั้นตอนการวัด

1. ตรวจสอบก่อนที่จะเปิดเครื่อง

- ตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ กับแรงดันที่กำหนดเอาไว้

ของเครื่องบันทึกเป็นค่าที่เท่ากัน

- สวิทช์บ่อนกระดาศต้องอยู่ตำแหน่ง stop

- คันโยกยกปากกาต้องอยู่ในตำแหน่งยก

- ตั้งสวิทช์ MEAS/OFF ไปที่ตำแหน่ง OFF

2. ต่อกราวด์ให้แหล่งจ่ายไฟ

3. เปิดสวิทช์เครื่อง

ตั้งสวิทช์ไฟบ่อน (power supply) ไปที่ตำแหน่ง ON เมื่อเปิดสวิทช์แล้วสัง

เกตว่าหลอดไฟจะต้องติดสว่าง

4. ตั้งค่าความไว

ตั้งค่า range ให้สัมพันธ์กับขนาดของสัญญาณ input

5. ตั้งค่าจุดศูนย์

ตั้งปากกาไปที่ตำแหน่งที่ต้องการโดยหมุนลูกบิด POSITION

6. กดหัวปากกาลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผลักคันโยกยกปากกาให้อยู่ในตำแหน่งกด และตั้งปากกาลงบนกระดาศบันทึก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตั้งความเร็วในการบ่อนกระดาศ

เลือกความเร็วในการบ่อนกระดาศให้เหมาะสมที่สุดกับสัญญาณที่จะบันทึก
โดยกดสวิทช์ปุ่มมาดปุ่มหนึ่ง เพื่อเลือกความเร็วที่เหมาะสม

8. เริ่มการวัดและบันทึก

หลักจากทำตามข้อ 1 - 7 แล้ว กดสวิทช์ START บ่อนกระดาศบันทึก และ
ตั้งสวิทช์ MEAS/OFF ไปที่ MEAS และเริ่มการวัด

9. การปรับค่าความไว

ใช้เมื่อต้องการตั้งค่าความไวที่กึ่งกลางของพิคค

ตั้งสวิทช์ CAL ไปที่ตำแหน่ง ON ในตอนนี้เมื่อหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
ปากกาจะส่ายเป็นระยะทาง 125 mm.

หมุนลูกบิด VERNI ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะลดการเคลื่อนของปากกา
เมื่อทำตามวิธีดังกล่าว อัตราส่วนการเคลื่อนของปากกาจะเป็นค่าเดียวกับอัตราส่วนความไว

ข้อควรจำ

1. เมื่อไม่รู้ขนาดของสัญญาณ input ตั้งค่าความไวเริ่มต้นที่พิคคต่ำสุด และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ
2. ถ้าระหว่างการวัด เกิดเสียงผิดปกติ หรือปากกาเคลื่อนไปยังขอบด้านใด
ด้านหนึ่งของกระดาศบันทึก ตั้งสวิทช์ MEAS/OFF ไปยังตำแหน่ง OFF และตรวจสายสัญญาณ
input และสัญญาณ input

การใช้งาน RECORDER ชนิด Z (คูรูปที่ 2 ประกอบ)

1. ตั้งสวิทช์ MEAS/OFF ไปที่ตำแหน่ง OFF
2. หมุนลูกบิดควบคุม BIAS เพื่อปรับตำแหน่งของปากกาให้อยู่ในพิคค -300% -
+300% ของ full scale

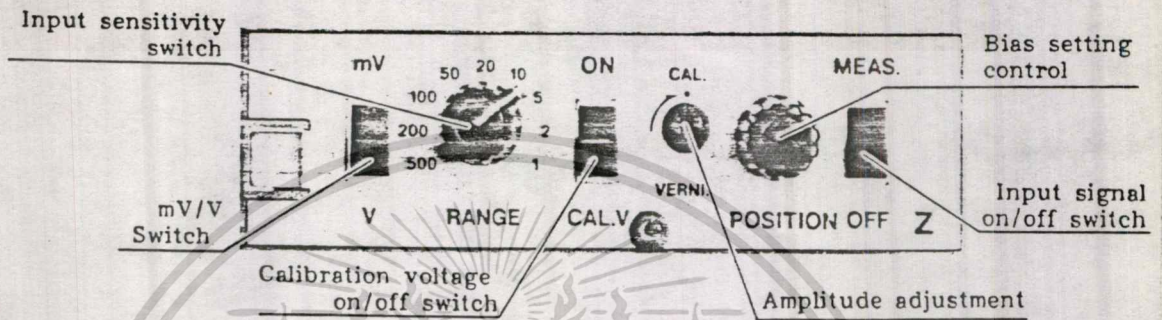
3. ตั้งสวิทช์พิคค และ mV/V เพื่อเลือกพิคคการวัดที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ไปยังสื่ออิเล็กทรอนิกส์

4. ตั้งสวิทช์ CAL.V/ON ไปที่ ON และหมุนปุ่ม VERNI เพื่อปรับอัมพลิจูด นำไปใช้
เมื่อหมุนตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา อัมพลิจูดลดลง และเมื่อหมุนในทิศ

ทางตามเข็มนาฬิกา อัมพลิจูดจะเพิ่มขึ้น ถ้าหมุนไปตามทิศทางทวนเข็มจนสุด ค่าความไวจะถูกตั้งตามค่าที่ตั้งไว้ที่สวิทช์ RANGE

5. ตั้งสวิทช์ CAL.V/ON ไปที่ตำแหน่ง CAL.V และตั้งสวิทช์ MEAS/OFF ไปที่ตำแหน่ง MEAS เพื่อเริ่มต้นการวัด



รูป 2 แสดง RECORDER ชนิด Z

ถ้าไม่ทราบระดับของสัญญาณ input เริ่มต้นการวัดด้วยการปรับสวิทช์ RANGE ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนสุด และค่อยหมุนตามเข็มนาฬิกาทีละนิดเพื่อหาพิกัดที่เหมาะสม

การใช้ VERNI เพื่อปรับอัมพลิจูด

การตั้งค่าความไวที่ไม่สามารถตั้งได้โดยตรงจากสวิทช์ RANGE เช่น 3 V ให้แสดงผล full scale 250 mm. ต้องทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ตั้งสวิทช์ RANGE ไปที่ความไว 2 mV
2. ตั้งสวิทช์ CAL.V/ON ไปที่ตำแหน่ง ON และบิด VERNI เพื่อให้ปากกา

เคลื่อนเป็นระยะทาง 33.3 ช่อง (division) เมื่อ 1 ช่องมีค่าเท่ากับ 2.5 mm. ตามสูตรข้างล่าง

$$\text{Full scale} = \text{ค่าพิกัด} \times 50 \text{ ช่อง/จำนวนช่องเมื่อปรับ CAL.V/ON ไปที่ ON}$$

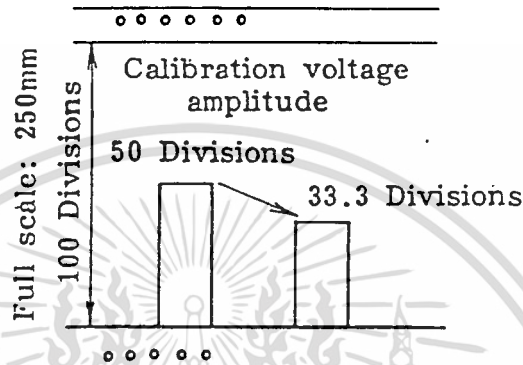
ดูรูป 3 ประกอบ

การใช้ปุ่ม BIAS

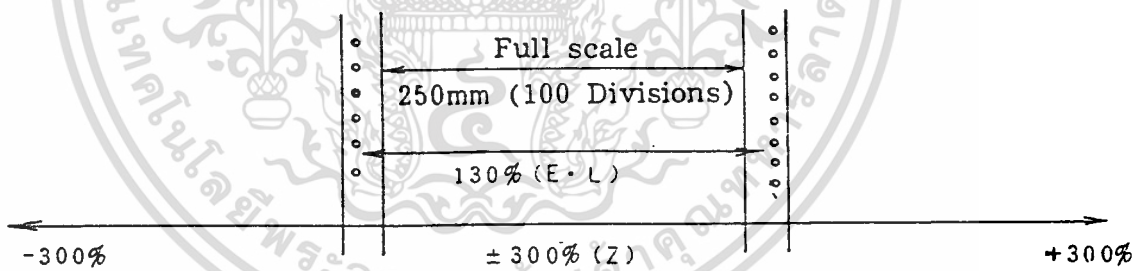
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในการวัดแรงดันไฟฟ้า ชนิด E, L สามารถปรับตำแหน่งของบวกก้าเพิ่มได้เป็น

130% ของ full scale โดยการหมุนปุ่ม POSITION

ส่วนกรณีของชนิด Z สามารถปรับเพิ่มได้ถึง -300 % ~ +300% ของ full scale ดังแสดงในรูป 4

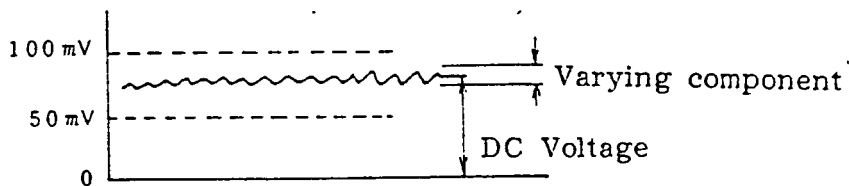


รูป 3 แสดงการตั้งค่าความไวที่ตั้งโดยตรงจากสวิตช์ RANGE ไม่ได้



รูป 4 แสดงการเพิ่มระยะของปากกาในชนิด E,L และ Z

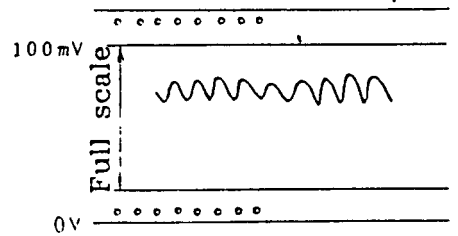
ตัวอย่างเช่นสัญญาณดังรูปที่ 5 จะถูกบันทึกลงในเครื่อง



รูป 5 แสดงรูปสัญญาณที่จะถูกบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ถ้าเราใช้ชนิด E,L ในการบันทึกและตั้งพิกัดเอาไว้ที่ 100 mV. การบันทึกจะได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไป
 ผลออกมาดังรูปที่ 6

DC Voltage
superimposed
on the input signal



รูป 6 แสดงผลที่ได้จากเครื่องชนิด E,L

เมื่อใช้เครื่องชนิด Z ถ้าพิกัดถูกตั้งเอาไว้ที่ 200 mV. สัญญาณ input จะใหญ่
มาก ทำให้ปากกาเคลื่อนไปทางด้านบนของกระดาษบันทึก เราต้องปรับปุ่ม BIAS ไป
ทางซ้ายเพื่อกำจัดสัญญาณไฟกระแสดตรง (DC component) ซึ่งซ้อนทับอยู่บนสัญญาณ input
และบันทึกเฉพาะส่วนที่เป็นส่วนแปรเปลี่ยน (varying component) ของสัญญาณดังรูปที่ 7

ถ้าต้องการวัดสัญญาณทั้งหมดก็ให้เลื่อนปากกาไปทางซ้ายของกระดาษบันทึก ตั้งค่า
ความไวเป็น 100 mV. ก็จะได้ค่าเหมือนกับที่ได้จากเครื่องชนิด E,L

Full scale: 20mV

Cancelled portion

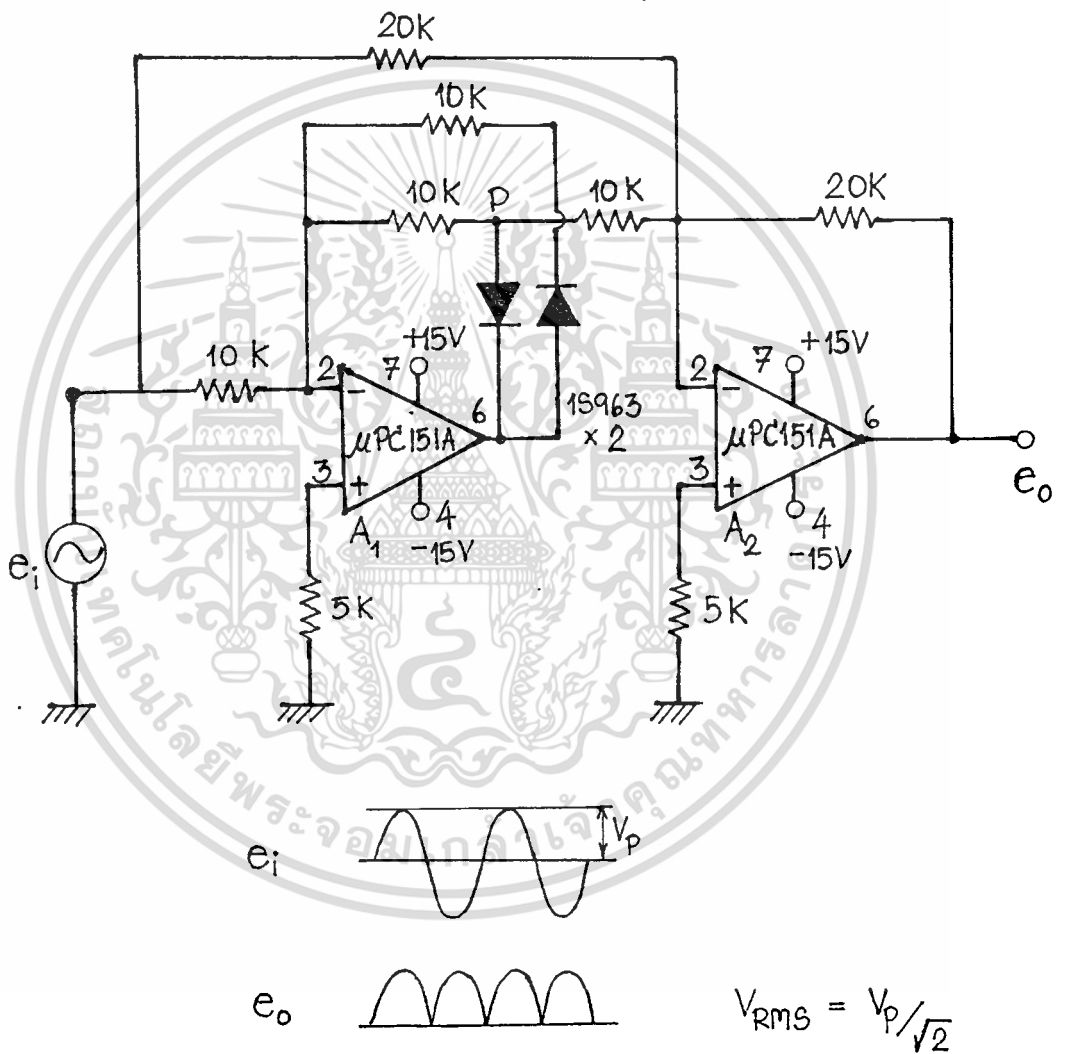
0V

รูป 7 แสดงผลที่ได้จากเครื่องชนิด Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

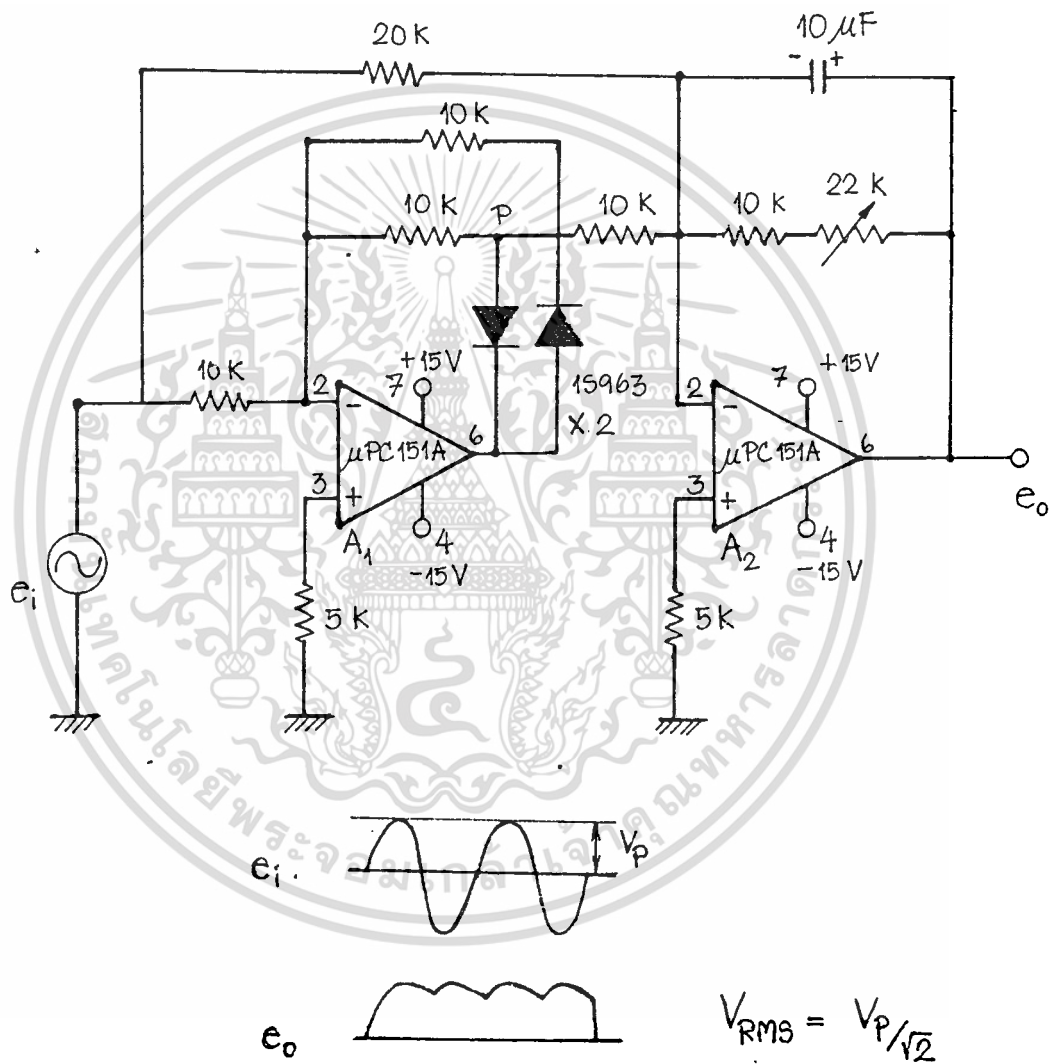
ภาคผนวก จ.

วงจร RMS

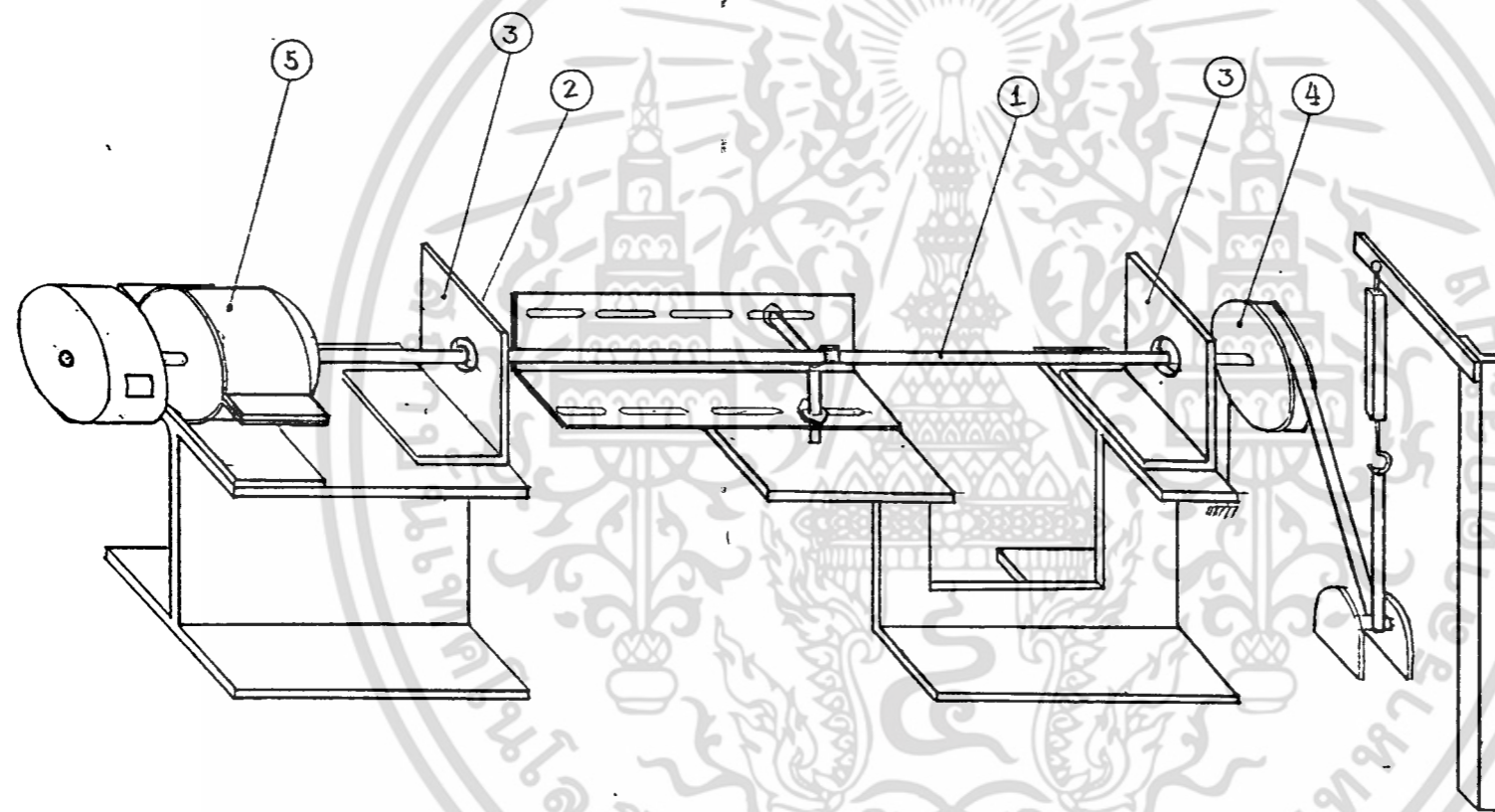


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงวงจร RMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปแสดงวงจร RMS ที่แก้ไขเพิ่มเติมแล้ว



ชุดอุปกรณ์ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale 1 : 4			Date:
			Class:

ชิ้นส่วนที่ 1

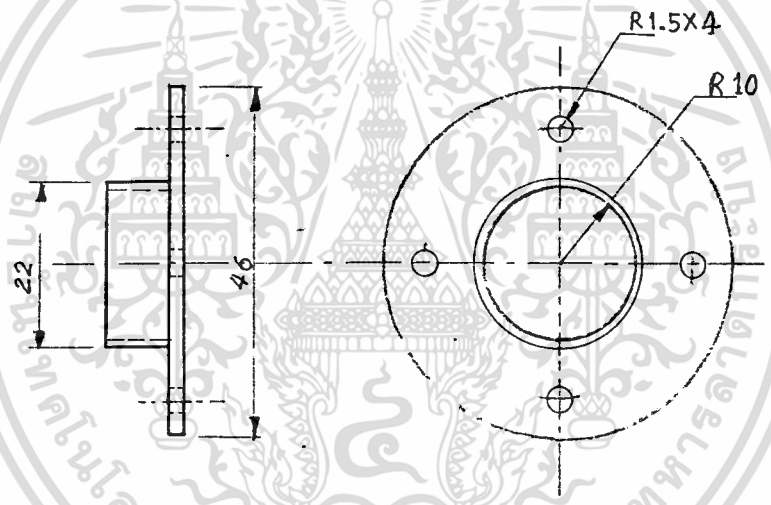
SHAFT : Stainless Steel JIS G 4309



SCALE 1:1

รูปที่ 2

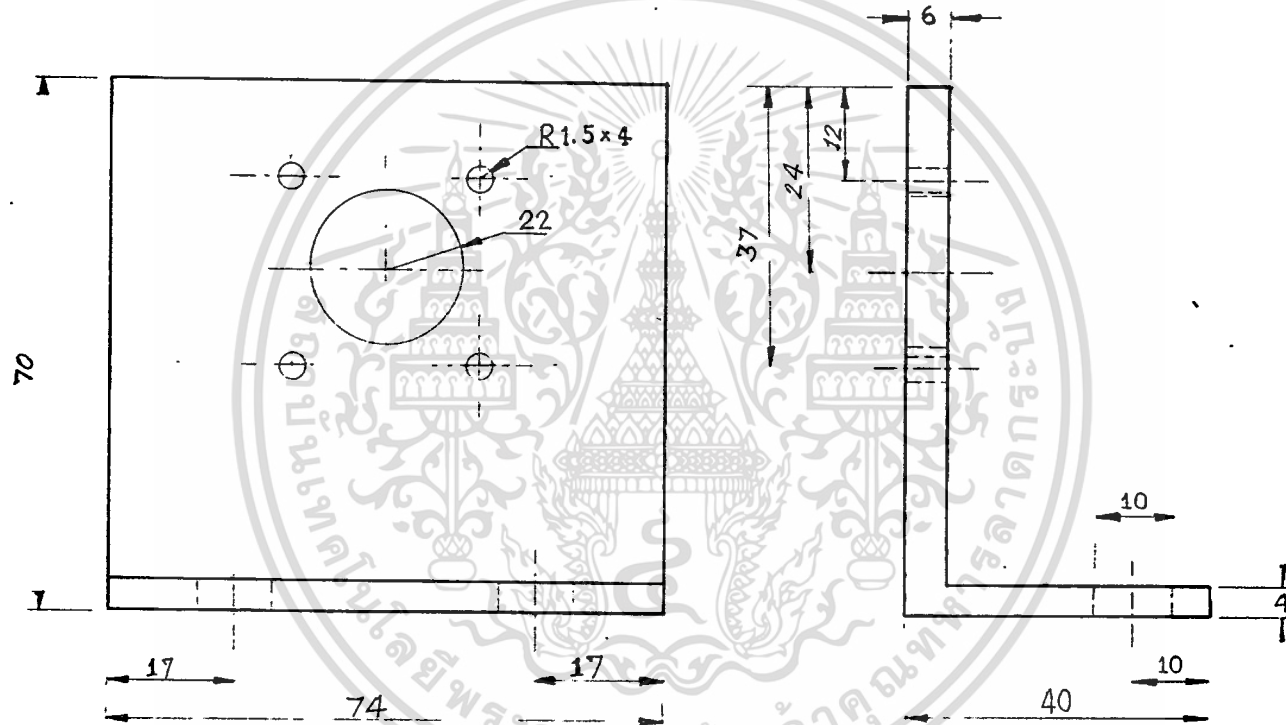
HOUSING : DIN 17100 St 33-1



SCALE 1:1

ชิ้นส่วนที่ 3

BASE DIN 1028 St33-1

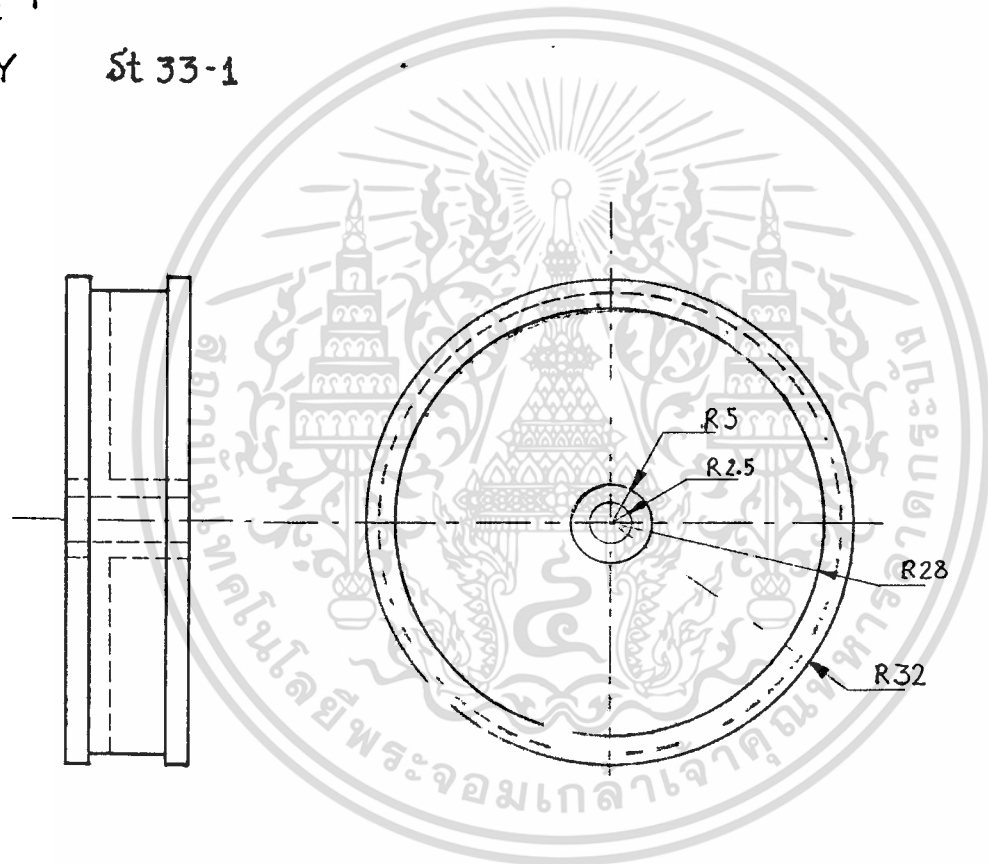


SCALE 1:1

ชิ้นส่วนที่ 4

PULLEY

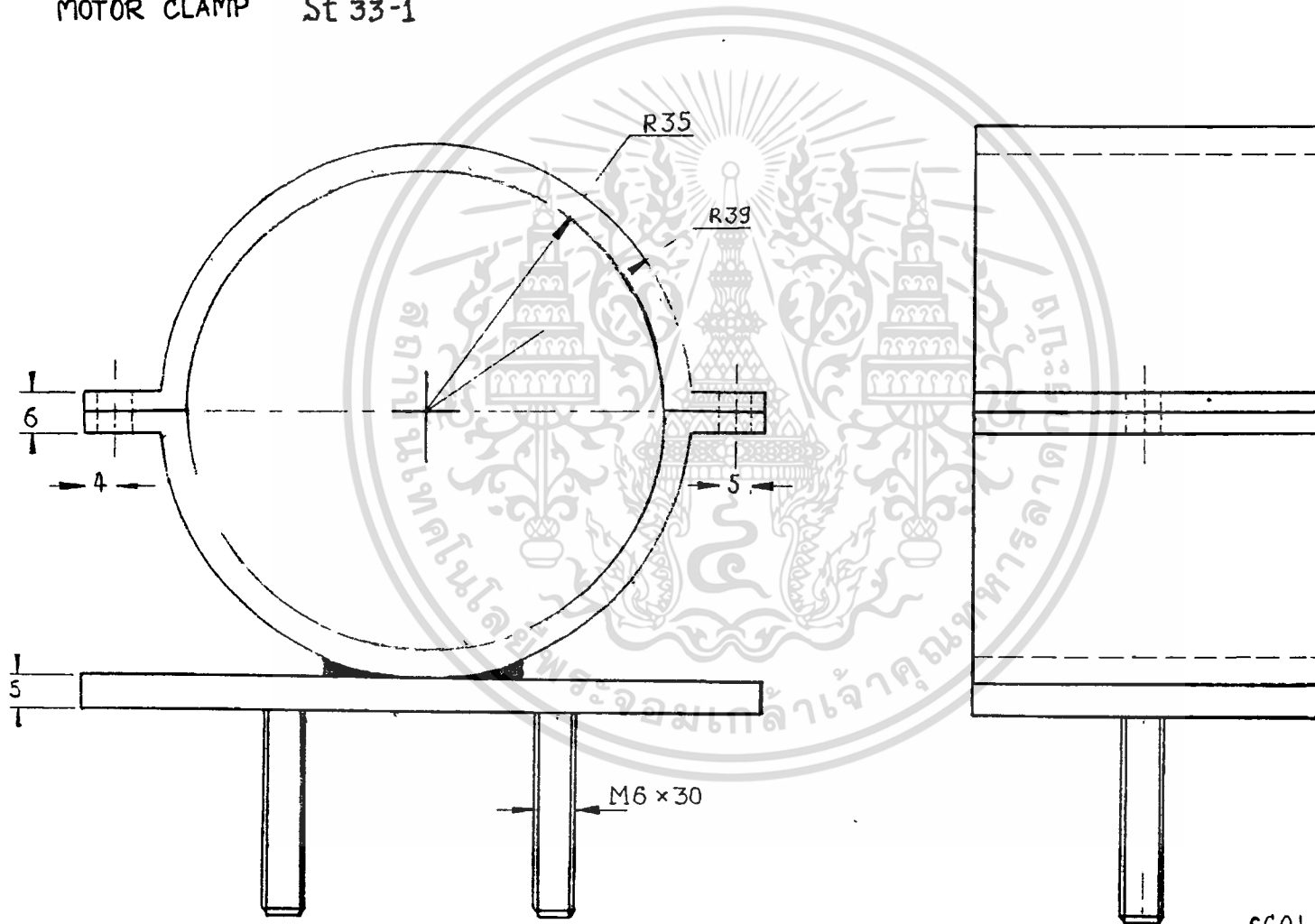
St 33-1



SCALE 1:1

ชิ้นส่วนที่ 5

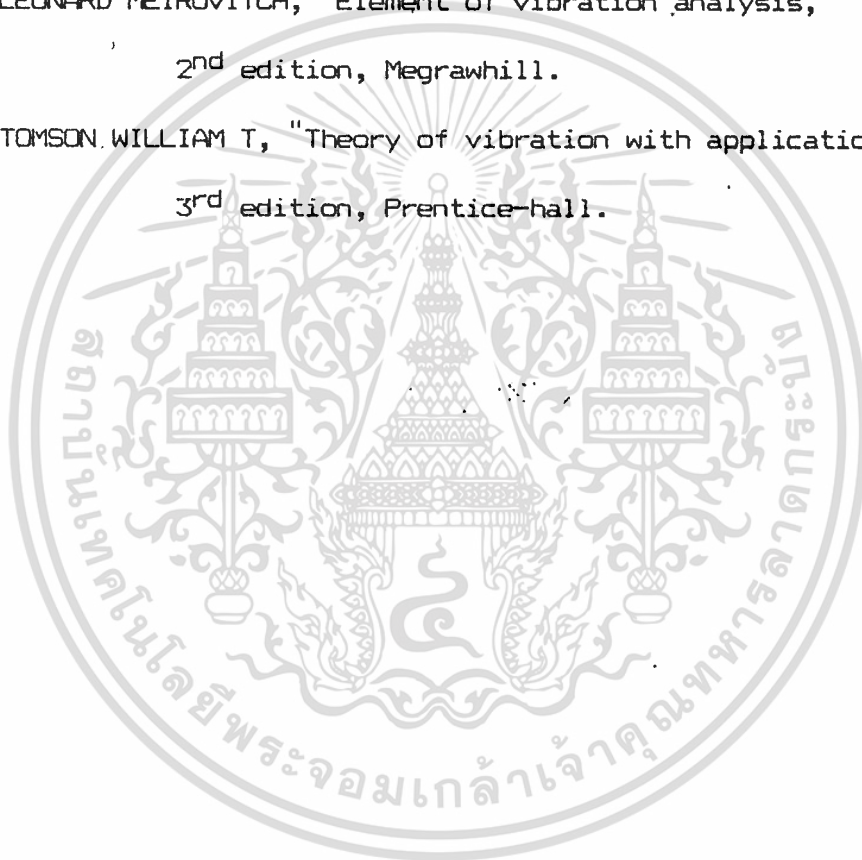
MOTOR CLAMP St 33-1



SCALE 1:1

เอกสารอ้างอิง

1. J.E. SHIGLEY, "Mechanical engineering design,"
1977, 3rd edition.
2. วรสิทธิ์ ยิ่งภากรณ, "การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2,"
2532, ซีเอ็ดดูเคชั่น.
3. LEONARD MEIROVITCH, "Element of vibration analysis,"
2nd edition, Megrawhill.
4. TOMSON WILLIAM T, "Theory of vibration with application,"
3rd edition, Prentice-hall.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์รวมทั้งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือ การแนะนำให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ และการให้คำปรึกษาต่าง ๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ คร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ก็ต้องขอแสดงความ ขอบคุณ คุณ มณฑา เกียรติเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างและประกอบชุดอุปกรณ์ใน การทดลองเป็นอย่างดีเสมอมา สุดท้ายนี้ก็ต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้คอยช่วยเหลือและให้ คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้แก่ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้