ปฏิบัติการที่
การทดสอบการสั่น (Vibration test)

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมระบบที่เกิดการสั่นแบบอิสระ โดยหาค่าความแข็งสปริงและหาค่าอัตราส่วนความหน่วงใช้ความสัมพันธ์การลดลงอย่างลอการิทึม
2. เพื่อศึกษาระบบที่เกิดการสั่นแบบบังคับ ซึ่งวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบการสั่นเนื่องจากฐานเป็นตัวกระตุ้นและแรงเนื่องจากการหมุนอย่างไม่สมดุล
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการสั่นของคานแนวขวาง และลดการสั่นโดยใช้ อุปกรณ์ดูดซับการสั่น

2. กล่าวนำ

การทดสอบการสั่นทางกลจะอธิบายพฤติกรรมการตอบสนองทางพลวัตที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบแกว่งไปแกว่งมาของระบบทางกลและโครงสร้าง การสั่นทางกลบางครั้งเป็นผลที่ไม่พึงประสงค์ของการออกแบบ การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ไม่มีคุณภาพ หรือการทำงานของระบบทางกล เช่น ความไม่สมดุลมวลในการหมุนของเครื่องยนต์ลูกสูบ ความไม่สมดุลมวลในการหมุนของมอเตอร์ในฮาร์ดดิสไดร์ฟ การไหลของของไหลที่ไม่ราบเรียบ ความไม่สมมาตรของการให้ความร้อน แผ่นดินไหว เป็นต้น สำหรับการสั่นลักษณะดังกล่าวเรียกว่าการสั่นแบบบังคับ (Force vibration) การสั่นทางกลจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมทางกลเสมอ ดังนั้นจะทำให้เกิดความเค้นทางกล(Mechanical stress)และความล้า(Fatigue)เกิดขึ้นกับส่วนประกอบทางกล ซึ่งสร้างความเสียหายให้แก่เครื่องจักรนั้นๆ

นิยามเบื้องต้นที่สำคัญของการจะนำไปสู่การวิเคราะห์การสั่นที่เกิดขึ้นทางกล เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่เชิงเส้น การเคลื่อนที่เชิงมุม ความเร่ง ความเร็ว การกระจัด ความถี่ มุมเฟส ลำดับขั้นความอิสระของระบบ การกำหนดพิกัดการเคลื่อนที่ที่สนใจ เป็นต้น การจำแนกลักษณะการสั่นที่เกิดขึ้นจะทำให้การศึกษาการสั่นทางกลง่ายขึ้น เพราะจะกำหนดวิธีที่จะศึกษาและ ขั้นตอนการวิเคราะห์การสั่นทางวิศวกรรมได้ ซึ่งในเอกสารนี้จะมีลำดับการวิเคราะห์ที่มี 4 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรก การนำระบบจริงที่พบเห็นเขียนแทนด้วยระบบทางกายภาพที่ประกอบด้วยมวล ตัวหน่วงและสปริงเป็นหลัก และพิจารณาระบบเป็นเชิงเส้น โดยระบบจะถูกแบ่งตามจำนวนลำดับขั้นความอิสระของระบบ ขั้นตอนที่สองประยุกต์ใช้หลักการทางฟิสิกส์เพื่อหาสมการการเคลื่อนที่ของระบบที่เราสนใจ ขั้นตอนที่สามหาผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ และขั้นตอนสุดท้ายถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด คือการนำไปวิเคราะห์การสั่นทางกล เพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบ การป้องกันการสั่นของระบบ การตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบ การวางแผนการซ่อมบำรุงระบบ

โดยทั่วไปจะแบ่งการสั่นทางกลตามลักษณะของการกระทำต่อระบบได้เป็น 2 กรณี คือการสั่นอิสระ (Free Vibration) และการสั่นแบบบังคับ (Force Vibration) สำหรับในการทดลองนักศึกษาจะได้ศึกษาระบบที่มีลำดับขั้นความอิสระเท่ากับหนึ่ง คือระบบที่ประกอบด้วย มวล-สปริง-ตัวหน่วง และระบบที่มีลำดับความอิสระเท่ากับสองคือระบบที่มีการติดตั้งตัวดูดซับการสั่น โดยนักศึกษาจะได้เห็นพฤติกรรมการตอบสนองทางพลวัตของระบบที่มีมีการกระตุ้นในเกิดการเคลื่อนที่ สั่น เทคนิคการวัดการสั่น และการควบคุมการสั่น ซึ่งนักศึกษาจะต้องมีความรู้พื้นฐานในรายวิชาการสั่นทางกล เพื่อสามารถคำนวณและวิเคราะห์การสั่นที่เกิดขึ้นได้ เอกสารฉบับนี้ได้รวบรวมทฤษฎีที่

เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การสั่น สำหรับ425440 ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 3, 435440 ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 3, 436431 ปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ 4 และ437440 ปฏิบัติการวิศวกรรมอากาศยาน 3

3. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การสั่นของระบบหนึ่งลำดับขั้นความเสรี

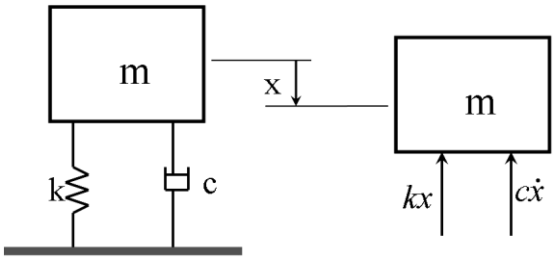
ปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปไปมาระหว่างพลังงาน สำหรับระบบที่มีการสั่นสะเทือนนั้นจะมีองค์ประกอบสำคัญ คือ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานศักย์ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานจลน์ และองค์ประกอบที่หน่วงให้พลังงานของระบบลดลง ซึ่งการเปลี่ยนรูปไปมาของพลังงาน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น กล่าวคือ เมื่อมีการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นในระบบ พลังงานนี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งอยู่ในลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลในระบบ และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นอีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ส่วนองค์ประกอบที่หน่วงพลังงาน ของระบบนั้น ก็จะเปลี่ยนพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบให้อยู่ในรูปอื่น เช่น เสียง หรือความร้อน เป็นต้น จนในที่สุดพลังงานของระบบหมดไป นอกเสียจากว่ามีสิ่งใดสิ่งหนึ่งมากระทำ หรือกระตุ้นให้การสั่นสะเทือนยังคงมีอยู่

แบบจำลองของระบบดังรูปที่ 1 สามารถเขียนเป็นสมการเคลื่อนที่ (Equation of Motion) ได้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{1}$$

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency, ω_n) ของระบบที่มีการสั่นอิสระ มีค่า

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{2}$$



ก ข

รูปที่ 1 ก. แบบจำลองของระบบเชิงกลที่มีการสั่นสะเทือนและ ข. แผนภาพวัตถุอิสระของมวล

และนิยามให้ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio, ζ) เป็น

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{mk}} = \frac{C}{C_c} \tag{3}$$

สมการการเคลื่อนที่จะมีผลเฉลยของสมการในรูป $x(t) = Ce^{st}$ ดังนั้นสมการที่ (2.1) สามารถเขียนใหม่ได้ คือ

$$\left(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2\right)Ce^{st} = 0 \tag{4}$$

ดังนั้นผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ จะอยู่ในรูป

$$x(t) = C_1 e^{(-\zeta+\sqrt{\zeta^2-1})\omega_n t} + C_2 e^{(-\zeta-\sqrt{\zeta^2-1})\omega_n t} \tag{5}$$

ลักษณะการสั่นของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ

1. เมื่อ $\zeta > 1$ $$x(t) = C_1 e^{(-\zeta+\sqrt{\zeta^2-1})\omega_n t} + C_2 e^{(-\zeta-\sqrt{\zeta^2-1})\omega_n t} \tag{6}$$

2. เมื่อ $\zeta = 1$ $$x(t) = \left(C_1 + C_2 t\right)e^{-\omega_n t} \tag{7}$$

3. เมื่อ $\zeta < 1$ $$x(t) = C_1 e^{(-\zeta+i\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t} + C_2 e^{(-\zeta-i\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t} \tag{8}$$

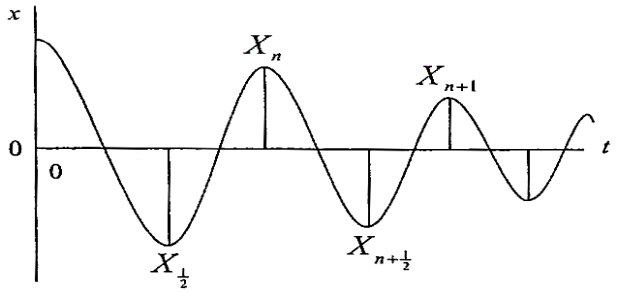
หรือจัดให้อยู่ในรูป $$x(t) = Xe^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t + \phi) \tag{9}$$

เมื่อระบบมีการเคลื่อนที่แบบมีความหน่วง โดยที่ $\zeta < 1$ ความถี่ของการสั่นจะเป็นความถี่ของการสั่นหน่วง (Frequency of Damped Oscillation) หรือ

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \tag{10}$$

จากรูปที่ 2 ผลการตอบสนองจะเป็นการลดลงอย่างลอการิทึม (Logarithmic Decrement) เราสามารถหาค่าอัตราส่วนความหน่วงได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\ln\left(\frac{X_n}{X_{n+1}}\right) = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{11}$$



รูปที่ 2 ผลการเคลื่อนที่ของมวล

3.2 การสั่นสะเทือนแบบบังคับ

ระบบที่มีการสั่นสะเทือน โดยทั่วไปจะมีแรงกระทำ แรงเหล่านี้มักจะเป็นฟังก์ชั่นกับเวลา ซึ่งอาจจะอยู่ในระบบต่างๆ เช่น แรงกระแทก (Impact) แรงแบบสุ่ม (Random) หรือ แรงแบบ ฮาร์โมนิกส์ เป็นต้น สำหรับแรงแบบฮาร์โมนิกส์นี้ถือว่าเป็นแรงพลวัตที่พบเห็นได้มาก ซึ่งมักจะพบแรงลักษณะนี้ในเครื่องจักร หรือกลไกที่มีการหมุน

โดยปกติแล้ว การตอบสนองของระบบ จะประกอบไปด้วย สองส่วน คือ การตอบสนองชั่วครู่ (Transient Response) และการตอบสนองในสภาวะคงตัว (Steady-State Response) ซึ่งจะคงอยู่ตลอดเท่าที่มีแรงกระทำ เนื่องจากการตอบสนองชั่วครู่จะหายไปเมื่อเวลาผ่านไปพอสมควร การตอบสนองจะคงอยู่เพียงการตอบสนองในสภาวะคงตัวของระบบ

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \tag{12}$$

3.3 การสั่นอันเนื่องมาจากการสั่นของฐาน

เมื่อฐานเกิดการสั่นด้วยฟังก์ชัน

$$x' = X' \cos \omega t \tag{13}$$

ผลการตอบสนองของระบบที่สภาวะคงตัวคือ

$$x = X \cos(\omega t + \theta) \tag{14}$$

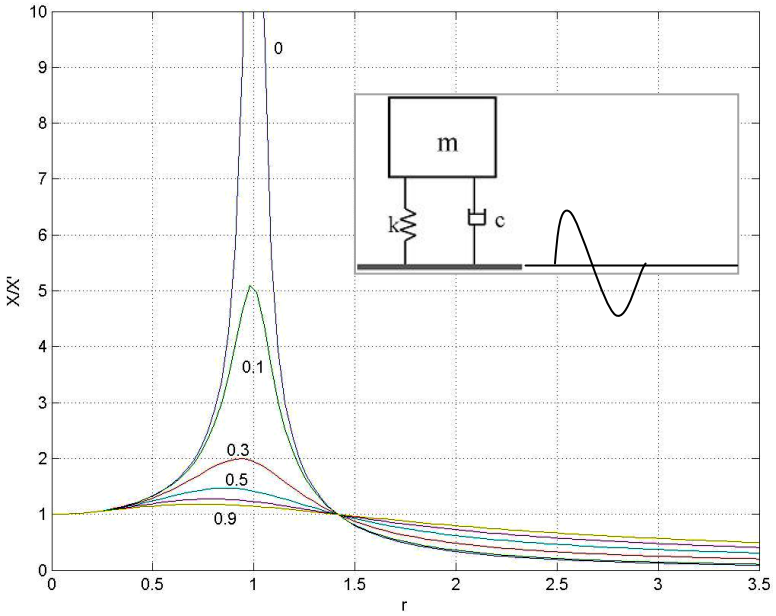
ขนาดของการสั่น คือ

$$\frac{X}{X'} = \sqrt{\frac{1+4\zeta^2 r^2}{\left[(1-r^2)^2 + 4\zeta^2 r^2\right]}} \tag{15}$$

โดยที่

$$r = \omega / \omega_n \tag{16}$$

ผลการตอบสนองของระบบเนื่องจากการสั่นของฐาน แสดงดังรูป 3

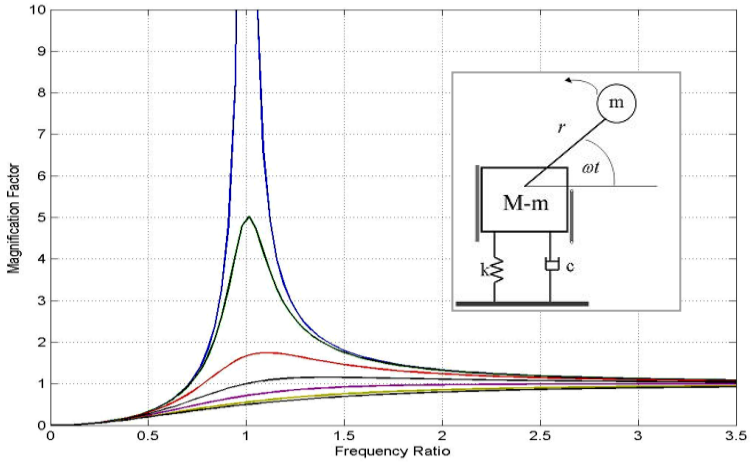


รูปที่ 3 กราฟการตอบสนองของระบบเนื่องจากการสั่นของฐาน

3.4 การสั่นอันเนื่องมาจากการเสียดุลในการหมุน

การหมุนรอบแกนของวัตถุที่มีมวลหากขาดความสมดุลในการหมุนจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น เช่น การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์ เป็นต้น ดังรูปที่ 4 สมมุติให้มวลดังกล่าวแทนด้วย m และให้ M แทนมวลรวมของระบบ r เป็นระยะเยื้องศูนย์ ของมวล m ที่เคลื่อนที่รอบแกนด้วยความเร็วเชิงมุม ω หากการเคลื่อนที่ของระบบมีเฉพาะในแนวดิ่ง แรงที่กระทำกับระบบและการตอบสนองในรูปไร้มิติของระบบที่สภาวะคงตัว คือ

$$f(t) = m\omega^2 r \sin \omega t \tag{17}$$



รูปที่ 4 กราฟการตอบสนองของระบบเนื่องจากการที่หมุนไม่สมดุล

และ

$$\frac{MX}{m'r_c} = \frac{\left(\omega/\omega_n\right)^2}{\sqrt{\left[1-\left(\omega/\omega_n\right)^2\right]^2+\left(2\zeta\omega/\omega_n\right)^2}} \tag{18}$$

และความต่างเฟส คือ

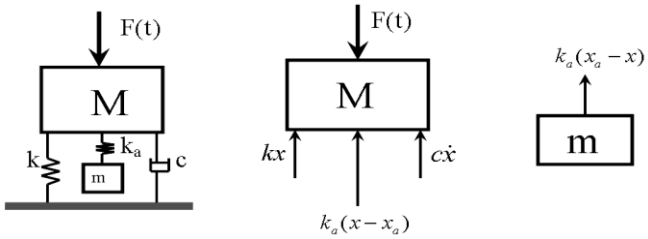
$$\phi = \tan^{-1}\frac{2\zeta\omega/\omega_n}{1-\left(\omega/\omega_n\right)^2} \tag{19}$$

ผลการตอบสนองของระบบเนื่องจากการสั่นของฐานและการเสียดุลในการหมุน แสดงดังรูปที่ 4

3.4 อุปกรณ์ซับการสั่นสะเทือนแบบไม่มีความหน่วง (Undamped Vibration Absorber)

เมื่อระบบทางกลทำงานด้วยความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่วิกฤต ขนาดของการสั่นจะมากขึ้นเรื่อยๆ และมากที่สุดที่ความถี่เดียวกับความถี่ธรรมชาติ ปรากฏการณ์เช่นนี้ เรียกว่า ปรากฏการณ์การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ซึ่งการสั่นสะเทือนเหล่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้

สำหรับระบบที่มีหนึ่งลำดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) จะมีค่าความถี่วิกฤตอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความถี่วิกฤตดังกล่าวมักจะเป็นความถี่เดียวกับความถี่ธรรมชาติของระบบ ตามปกติเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ซับการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ธรรมชาติเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ ณ. ตำแหน่งความถี่วิกฤต การสั่นของระบบจะมีขนาดเท่ากับศูนย์ และการติดตั้งอุปกรณ์ซับการสั่นจะทำให้ระบบดังกล่าว กลายเป็นระบบสองลำดับขั้นความเสรี ซึ่งจะมีความถี่วิกฤตเกิดขึ้นใหม่สองความถี่ โดยความถี่ดังกล่าวจะมีค่าหนึ่งสูงและอีกค่าหนึ่งต่ำกว่าค่าความถี่วิกฤตเดิม



รูปที่ 5 ก. แบบจำลองของระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ซับการสั่นซึ่งอยู่ภายใต้แรงกระทำแบบฮาร์โมนิกส์,
ข. แผนภาพวัตถุอิสระของมวลหลักและ ค. แผนภาพวัตถุอิสระของมวลซับการสั่น

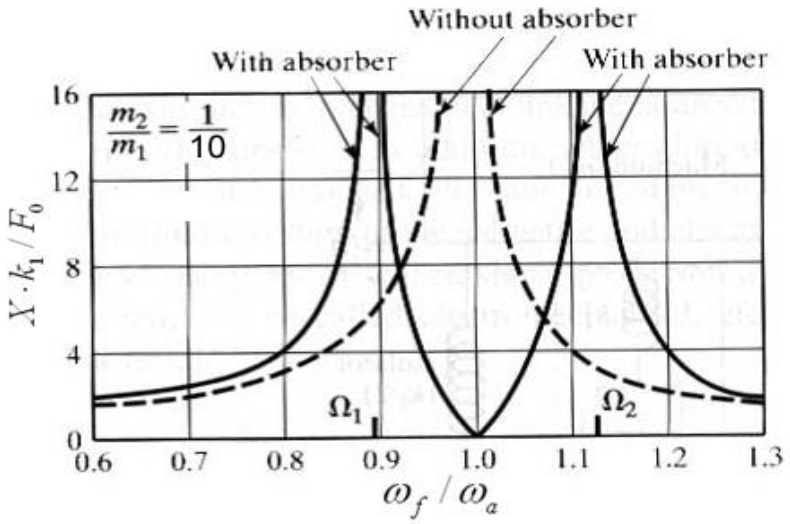
จากรูปที่ 5 พิจารณาแผนภาพวัตถุอิสระของมวลทั้งสองในรูปที่ 5 ข. และ ค. จะได้สมการการเคลื่อนที่ของมวลหลักและมวลซับการสั่น ดังสมการที่ 20 และ 21 ตามลำดับ

$$M\ddot{x}+c\dot{x}+kx+k_a\left(x-x_a\right)=F\sin\omega_f t \tag{20}$$

$$m_a\ddot{x}_a+k_a\left(x_a-x\right)=0 \tag{21}$$

และสมการผลการตอบสนองของระบบที่สภาวะคงตัว ภายใต้แรงกระทำแบบฮาร์โมนิกส์ ของมวลหลัก คือ

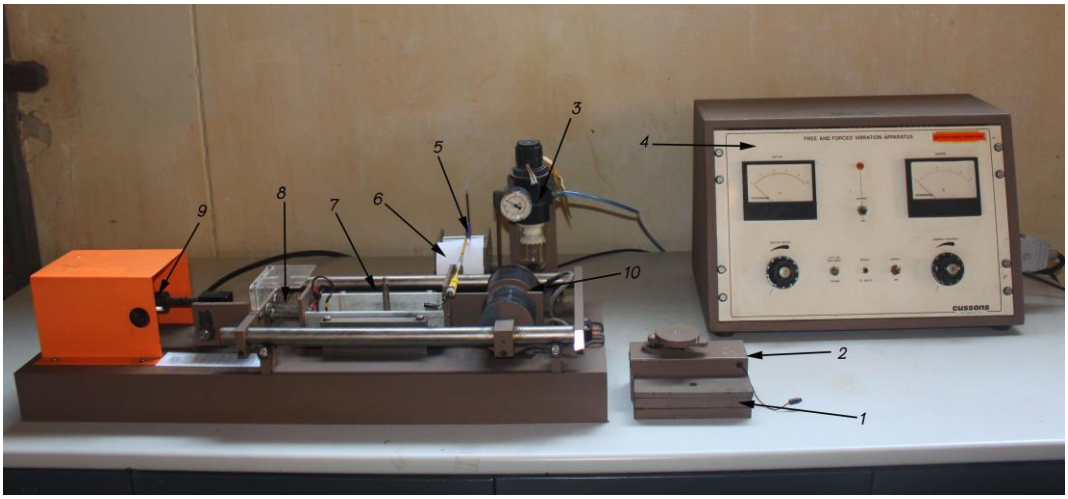
$$\frac{x}{F} = \frac{\left(k_a - m\omega^2\right)}{\left[\left(k - M\omega^2\right)\left(k_a - m_a\omega\right)^2 - m_a k_a \omega^2\right] + j\omega c\left(k_a - m_a\omega^2\right)} \tag{22}$$



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการสั่นของระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ซับการสั่นแบบไม่มีความหน่วงกับอัตราส่วนความถี่

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Vibration Mass
2. Rotating out-of-balance mass
3. Air Pressure regulator and filter
4. Control Unit
5. Stylus
6. Paper Drive
7. Air-Bearing Guide
8. Spring
9. Driving Motor
10. Electro-magnet



รูปที่ 7 รูปเครื่องมือทดลอง Cussons P5000 Apparatus for Free and Force vibration with damping

A – On-Off switch
B – Pilot light
C – Motor frequency control
D – Switch select: frame / out of balance
E – Write bottom
F – Paper on-off
G – Damping current

รูปที่ 8 รูป Control Unit

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

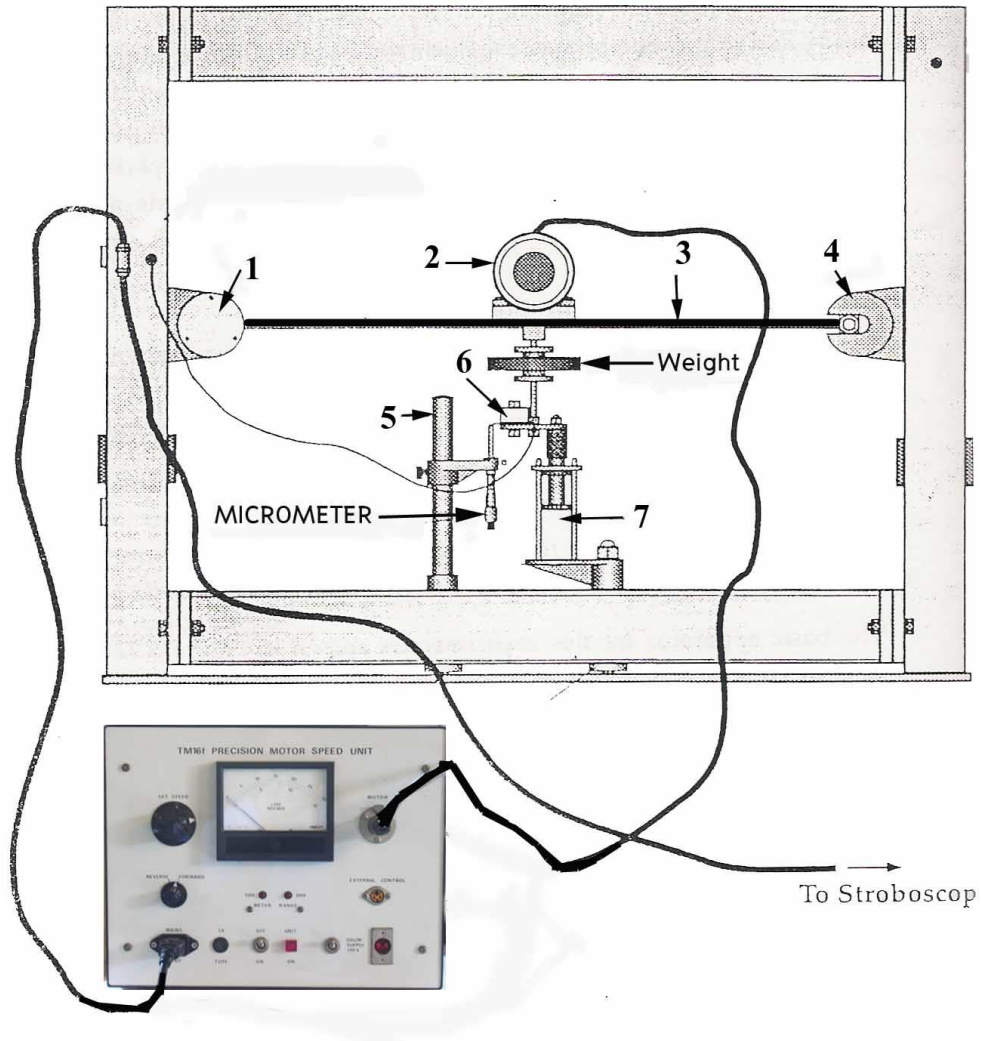
แสดงในรูปที่ 7 เป็นภาพของ Cussons P5000 (ใช้ในการทดลองที่ 1-4) เป็นอุปกรณ์สำหรับทดสอบ Free and forced Vibration with Damping ของระบบ mass-spring damper ที่มีหนึ่งลำดับขั้นความเสรี โดยมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- ความถี่ธรรมชาติโดยประมาณ 1 Hz
- แอมพลิจูดในการสั่นสูงสุด 25 mm
- อัตราการส่วนความหน่วงสูงสุด 1.3

4.2 ชุดปฏิบัติการการสั่นสะเทือนของ TecQuipment

แสดงในรูปที่ 8 เป็นภาพของชุด TM16 The Universal Vibration Apparatus ซึ่งจะใช้ในการทดลองที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นการศึกษาเรื่องการสั่นของระบบที่มีความหน่วง การสั่นพ้องและการใช้อุปกรณ์ซับการสั่น โดยทั่วไปมีคุณสมบัติดังนี้

- ความถี่ธรรมชาติของคานเปล่า ประมาณ 42 Hz
- ความถี่ธรรมชาติของคานที่ติดตั้งตัวกำเนิดการสั่น ประมาณ 23 Hz
- อัตราส่วนความหน่วง ประมาณ 0.0055



รูปที่ 9 TecQuipment TM16Universal Vibration Apparatus

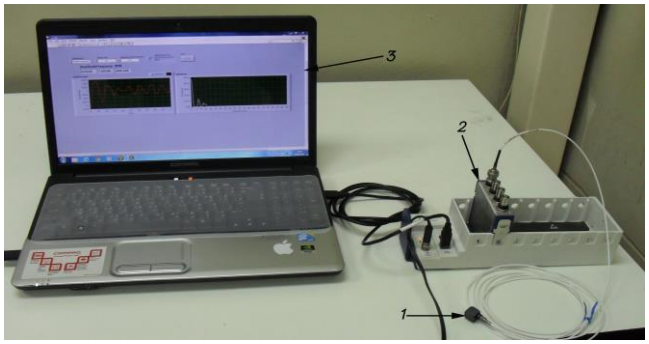
1. Trunnion mounting
2. Precision Motor Speed Control
3. Rectangular Section Beam
4. Lateral Movement Mounting
5. Micrometer Support
6. Contactor
7. Dashpot

4.3 ชุดเครื่องมือวัดการสั่นทางกล

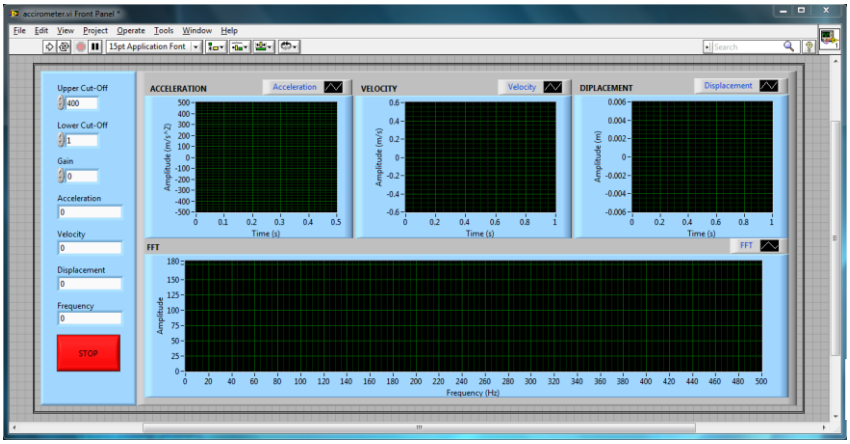
ดังแสดงในรูปที่ 10 สำหรับการทดลองที่ 5-6 ประกอบด้วย

- Accelerometer
- NI-DAQ 9172 card
- Computer with LabVIEW

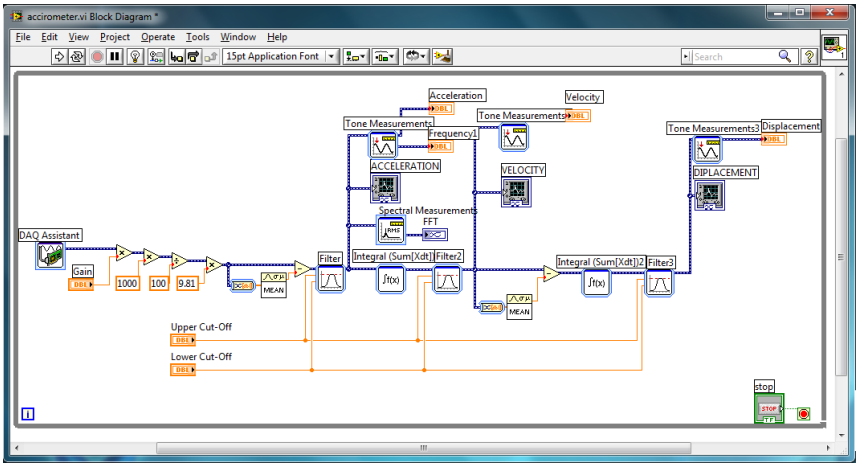
ลักษณะการติดตั้ง โดยรูปที่ 11 a). เป็นส่วนของการเขียนโปรแกรม LabVIEW b). ส่วนของการแสดงผล



รูปที่ 10. ชุดเครื่องมือวัดการสั่น



b)



a)

รูปที่ 11. a).โปรแกรม LabVIEW b). ส่วนแสดงผล

Accelerometer เป็นอุปกรณ์วัดความเร่ง ซึ่งใช้หลักการ piezoelectric effect ในโปรแกรม LabVIEW ได้วัดและจัดการสัญญาณความเร่ง แปลงสัญญาณเป็นความเร็วและการกระจัด โดยส่วนของการแสดงผลนั้น สามารถแสดงสัญญาณในเทอมของเวลา และความถี่ เพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจเทคนิคการวัดสำหรับเครื่องมือวัดการสั่นที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม

5. ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1 Free Vibration without Damping

วัตถุประสงค์ - เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของมวลขนาดต่างๆ
- เพื่อศึกษาผลของมวลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ
- เพื่อหาค่าความแข็งสปริง (Spring Stiffness) ของเครื่องทดสอบ

ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดวาล์วปั๊มลม ปรับแรงดันลมที่ Pressure Regulator ประมาณ 1 bar
2. ดัน Vibrating Mass ให้ชิดด้านใดด้านหนึ่ง จากนั้นปล่อยมวลพร้อมจับเวลา
3. นับจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของมวลครบ 15 รอบ บันทึกเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในตารางบันทึกผล
4. เพิ่มมวลขนาด 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 kg และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 และ 3
5. ใส่มวล Out of Balance Mass (m_b) และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 และ 3

การวิเคราะห์ผล

พล๊อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ω_n^2 กับ 1/m

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ω_n^2 กับ 1/m พร้อมทั้งอภิปราย

หมายเหตุ

ทุกครั้งที่มีการเพิ่มมวลจะต้องปรับแรงดันลมให้ได้ประมาณ 1 bar

การทดลองที่ 2 Free Vibration with damping

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการหาค่า Damping Ratio ของระบบ

ขั้นตอนการทดลอง

1. เพิ่มมวล 1 kg ใส่ลงใน Vibrating Mass ปรับความดันลมประมาณ 1 bar
2. เปิดสวิตซ์ Control Unit ปรับค่า Damping Current = 0.1 amp
3. ติดตั้งปากกาสำหรับบันทึกการเคลื่อนที่ ที่ส่วนปลายของ Vibrating Mass
4. ทำสัญลักษณ์ที่ปลายปากกาแตะกระดาษเมื่อมวลอยู่ที่จุดสมดุล
5. ดัน Vibrating mass ให้ชิดด้านใดด้านหนึ่ง
6. ปล่อยมวลให้เคลื่อนที่ พร้อมกับเปิดมอเตอร์หมุนกระดาษ เพื่อบันทึกการเคลื่อนที่ ให้ได้จำนวนการเคลื่อนที่ 2-3 รอบ ปิดสวิตซ์
7. ทำสัญลักษณ์ที่จุดสมดุลอีกครั้งเมื่อมวลหยุดนิ่งแล้ว
8. เปลี่ยนค่า Damping Current และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 - 7

การวิเคราะห์ผล

นำบันทึกการขจัดของการเคลื่อนที่มาหาค่า Damping Ratio

ข้อควรระวัง

การตั้งค่า Damping Current ที่ 2 amp หรือมากกว่า ในขณะทำการทดลองไม่ควรทิ้งไว้นานเกิน 5 นาที เนื่องจากจะทำให้ Electromagnetic Coil ร้อนจนเกินไป

การทดลองที่ 3 Forced Vibration excited by Oscillating the Support

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบที่เกิดการสั่นเนื่องจากฐานเป็นตัวกระตุ้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. เพิ่มมวล 1 kg ใส่ลงใน Vibrating Mass ปรับความดันลมประมาณ 1 bar
2. เปิดสวิตช์ Control Unit ปรับค่า Damping Current = 0.4 amp
3. ติดตั้งปากกาสำหรับบันทึกการเคลื่อนที่ ที่ส่วนปลายของ Vibrating Mass
4. สับสวิตช์ “Drive” ไปที่ Frame
5. อ่านค่า Frame Amplitude แล้วบันทึกผลเป็นค่า X'
6. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ประมาณ 400 rpm อ่านค่าความเร็วมอเตอร์โดยใช้ Tachometer
7. ปล่อยมวลให้เคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่ เปิดสวิตช์หมุนกระดาษบันทึกผลการเคลื่อนที่ ให้ได้การเคลื่อนที่ ประมาณ 2 รอบคลื่น แล้วจึงหยุดการบันทึก
8. เปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ ตามตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3 แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 6-7 และบันทึกผลลงในตาราง

การวิเคราะห์ผล

บันทึกการเคลื่อนที่มา plot กราฟ ระหว่าง $\frac{X}{X'}$ และ $\frac{\omega}{\omega_n}$

การทดลองที่ 4 Forced Vibration excited by rotating out-of-balance force

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบที่เกิดการสั่นเนื่องจาก out-of-balance force

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใส่ชุด Out of Balance Mass (m_b)ลงใน Vibrating Mass ปรับความดันลมให้เท่ากับ 1 bar
2. เปิดสวิตช์ Control Unit ปรับค่า Damping Current = 0.4 amp
3. สับสวิตช์ “Drive” ไปที่ Out-of-balance
4. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ตามขีดบนเครื่องควบคุม
5. จับเวลาที่มวล unbalance ใช้ในการเคลื่อที่ครบ 15 รอบ
6. ปล่อยมวลให้เคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่ เปิดสวิตช์หมุนกระดาษบันทึกผลการเคลื่อนที่ ให้ได้การเคลื่อนที่ ประมาณ 2 รอบคลื่น แล้วจึงหยุดการบันทึก
7. เปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4-6 และบันทึกผลลงในตาราง

การวิเคราะห์ผล

นำบันทึกการเคลื่อนที่ มาทำการ plot กราฟความสัมพันธ์ $\frac{XM}{m'r_c}$ กับ $\frac{\omega}{\omega_n}$

หมายเหตุ

สำหรับการทดลองที่ 3 และ 4 ในการเลือกความถี่ของ force ให้ใช้ความถี่ในช่วง $0.5\omega_n$ – $2.5\omega_n$ โดยที่ ω_n เป็นความถี่ธรรมชาติของมวลที่นำมาทดลอง

การทดลองที่ 5 Damped Transverse Vibration of Beam

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการสั่นของระบบที่มีความหน่วง เมื่อความถี่ของแรงกระตุ้นมีการเปลี่ยนแปลง
- เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของคาน

ตอนที่ 1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดสวิตช์ on บนอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์
2. ติดตั้ง Accelerometer เข้ากับ NI-DAQ สำหรับอ่านค่าแอมพลิจูดการเคลื่อนที่ของคาน
3. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อสร้างแรงกระทำให้กับคาน แล้วอ่านแอมพลิจูดการเคลื่อนที่
4. บันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผล

ตอนที่ 2 ขั้นตอนการทดลอง

เพิ่มมวลให้กับคาน ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-4 บันทึกผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผล

- หาค่าความถี่ธรรมชาติของคาน ตอนที่ 1 และ 2 ในหน่วย Hz
- นำผลการทดลองตอนที่ 1 มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ของแรงกระทำ (rpm) กับ Amplitude การเคลื่อนที่ พร้อมทั้งอภิปราย
- นำผลการทดลองตอนที่ 1 และ 2 มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ของแรงกระทำ (rpm) กับ Amplitude การเคลื่อนที่ เพื่อเปรียบเทียบผลของการเพิ่มมวลให้กับระบบ

การทดลองที่ 6 Undamped Vibration Absorber

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การลดการสั่นของระบบโดยใช้ อุปกรณ์ดูดซับการสั่นสะเทือน

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งมวลที่กำหนด กับคานจากนั้น ปรับความเร็วมอเตอร์ จน amplitude การสั่นของคานมีค่ามากที่สุด บันทึกค่าความเร็วรอบ
2. ติดตั้งมวลซับการสั่น และปรับระยะห่างของมวลดูดซับการสั่น จน Amplitude การสั่นของคานมีค่าน้อยกว่า 0.006 mm วัดระยะห่างของมวลดูดซับการสั่น แล้วบันทึกผล
3. ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อสร้างแรงกระทำให้กับคาน แล้วอ่านแอมพลิจูดการเคลื่อนที่
4. บันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผล

การวิเคราะห์ผล

- หาค่าความถี่ธรรมชาติใหม่ของคาน ทั้ง 2 ความถี่ ในหน่วย Hz
- นำผลการทดลองที่ 5 ตอนที่ 2 และการทดลองที่ 6 มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ของแรงกระทำ (rpm) กับ Amplitude การเคลื่อนที่ เพื่อเปรียบเทียบผลของการติดตั้ง absorberให้กับระบบ

6. ตารางบันทึกผลการทดลอง

<u>การทดลองที่ 1 Free vibration without damping</u>

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลอง Free vibration without damping

มวล (กิโลกรัม)	จำนวนรอบ (รอบ)	เวลา (วินาที)	F_n (Hz)	ω_n (rad/s)	ω_n^2	มวล (กิโลกรัม)	$\frac{1}{m}$
m_b	15						
m_b+0.5	15						
m_b+1.0	15						
m_b+1.5	15						
m_b+2.0	15						
m_b+2.5	15						
m_b+ m_c	15						

จาก $\omega_n = \sqrt{k/m}$ ----> $\omega_n^2 = k/m$ ----> $k = \omega_n^2 \cdot m$ ..... (*)

สำหรับแสดงการคำนวณหาค่า m_b และ m_c

<u>การทดลองที่ 2 Free vibration with damping</u>

มวล (m) _____kg

ค่า stiffness ของ spring , k = _____ (จากการทดลองที่ 1)

เมื่อ $\ln\left(\frac{X_1}{X_2}\right) = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$ และ $\zeta = \frac{C}{2\sqrt{m \cdot k}}$

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลอง Free vibration with damping

Current (Amp)	X_1 (mm)	X_2 (mm)	$\ln\left(\frac{X_1}{X_2}\right)$	ζ	C (kg/s)
0.1					
0.2					
0.4					
0.6					

การทดลองที่ 3 Forced vibration excited by oscillating the support

มวล_____ kg (ω_n =..... rad/s : จากการทดลองที่ 1)

Damping current_____Amp (ζ =.....จากการคำนวณการทดลองที่ 2)

Flame Amplitude (X') _____mm.

X คือ ระยะการเคลื่อนที่ , r คือ frequency ratio

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลอง Forced vibration excited by oscillating the support

(กำหนด)	Speed Motor (rpm)	Speed/20 (rpm)	Freq. (Hz)	ω (rad/s)	$r = \omega/\omega_n$	X (mm)	X/X'
~ 400							
~ 500							
~ 600							
~ 650							
~ 1300							
~ 1400							
~ 1500							

การทดลองที่ 4 Forced vibration excited by rotating out–of balance force

มวล (M) = _____kg (ω_n =..... rad/s : จากการทดลองที่ 1)

Damping current_____Amp (ζ =.....: จากการคำนวณการทดลองที่ 2)

Constant of Apparatus

- มวล M = m_b+ m_c
- Rotating out-of-balance mass m_u = 0.305 kg
- Radius of rotation of center of mass of out-of-balance mass r_u = 35 mm.
- X คือ ระยะการเคลื่อนที่

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลอง Forced vibration excited by rotating out–of balance force

จำนวนรอบการหมุน (รอบ)	เวลา (วินาที)	Freq. (Hz)	ω (rad/s)	$r = \omega / \omega_n$	X (mm)	$\frac{MX}{m_u r_u}$
15						
15						
15						
15						
15						
15						
15						
15						
15						
15						

การทดลองที่ 5 Transverse Vibration of Beam and Adding Mass

ตอนที่ 1 ω_n = _____ Hz

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Motor speed (rpm)	**Amplitude (mm) (LabVIEW)**
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	
1300	
1400	
1500	
1600	
1800	
2000	
2200	
2400	

ตอนที่ 2 ω_n = _____ Hz

ตารางบันทึกผลการตอบสนองของระบบที่มีการติดตั้งมวลเพิ่ม _____ kg

Motor speed (rpm)	**Amplitude (mm) (LabVIEW)**
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1300	
1350	
1400	
1500	
1600	
1800	
2000	
2200	
2400	

การทดลองที่ 6 Undamped Vibration Absorber

ตารางบันทึกผลการตอบสนองของระบบที่ติดตั้ง Absorber

ω_n (1) = _____rad/s ω_n (2) = _____rad/s

Motor speed (rpm)	**Amplitude (mm) (LabVIEW)**
500	
600	
700	
800	
900	
.....	.....
1300	
1350	
1500	
1600	
1800	
2000	
2200	
2400	

เอกสารอ้างอิง

1. กนต์ธร ชำนิประศาสน์., “พื้นฐานการสั่นทางวิศวกรรม”,2545
2. Cussons Technology, Instruction Manual:P5000 Apparatus for Free and Forced Vibration with Damping
3. Rao,S.S.,”Mechanical Vibration,”3nd ed., Addison-Wesley, 1995
4. TechQuipment, Instruction Manual:TM16 Universal Vibration Apparatus