

บทที่ 3

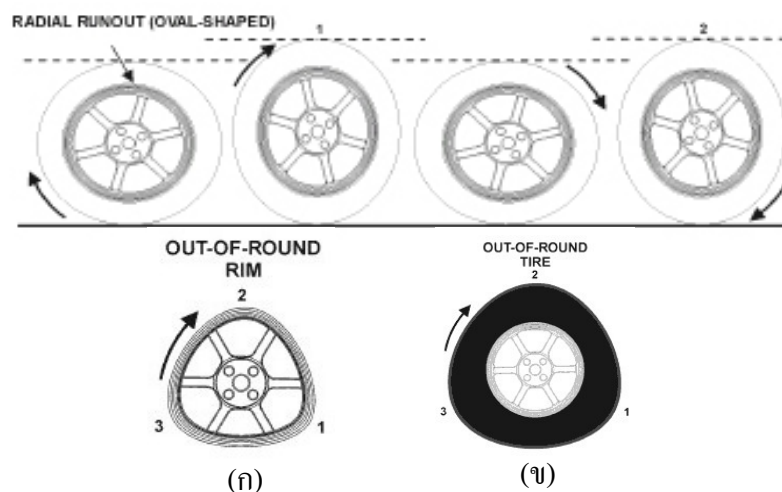
ทฤษฎี

3.1 แนวคิดเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน

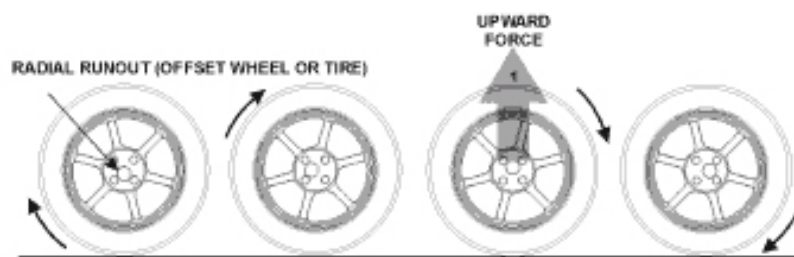
การเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในล้อยางตันในขณะที่หมุนเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ ล้อยางขาดสมดุลแรงเหวี่ยงขณะหมุน (unbalanced wheel) หรือความไม่กลม (out of round tire) ของล้อยางตัน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ล้อยางสะเทือนขณะใช้งาน

3.1.1 ความกลมของล้อยาง

ความกลมของล้อยางเกี่ยวข้องกับคุณภาพของล้อยางโดยตรง ความกลมบ่งบอกถึงรัศมีของล้อยางรอบแกนหมุน ดังรูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของล้อยางที่ไม่กลม ถ้ารัศมีของล้อที่ผลิตได้ก่อนการใช้งานมีความไม่สม่ำเสมอมากจะส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลการหมุนเมื่อล้อยางหมุนไป ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดจากวิธีการผลิต เช่น แม่พิมพ์ในการหล่อยางอาจไม่กลมจริงซึ่งจะทำให้ล้อยางที่หล่อออกมาเบี้ยว หรือขณะที่นำล้อยางออกจากแม่พิมพ์นั้น เนื้อยางยังมีความร้อนและอ่อนตัวอยู่ เมื่อนำล้อยางออกจากแม่พิมพ์อาจทำให้ล้อยางเสียรูปไป และความไม่กลมของล้อยางอาจเกิดจากการประกอบล้อยางที่เยื้องศูนย์กลาง (eccentric) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจะทำให้เกิดการกระดอนและการสั่นสะเทือนเมื่อล้อยางหมุน



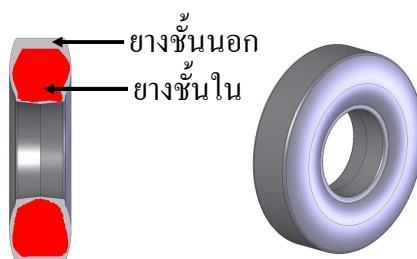
รูปที่ 3.1 แสดงความไม่กลมของล้อยาง (ก) กระดาษล้อไม่กลม (ข) เส้นรอบวงล้อยางไม่กลม [24]



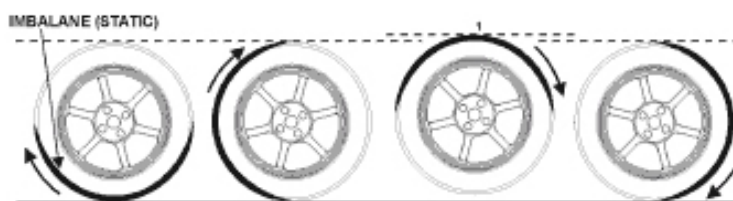
รูปที่ 3.2 แสดงการเอียงศูนย์กลางของล้อยาง [24]

3.1.2 แรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน

ความไม่สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน (Rotating Unbalance) ในล้อยางตัน เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อยาง มวลในล้อยางกระจายไม่สม่ำเสมอ พื้นที่หน้าตัดของยาง ชั้นในไม่สมมาตรหรือคองรูปรอบแกนหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 บางจุดมีมวลมาก บางจุดมีมวลน้อย เมื่อล้อกลิ้งไปจุดที่มีมวลมากจะมีแรงเหวี่ยง (Centrifugal force) มากกว่าจุดที่มีมวลน้อย ทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงขณะล้อยางหมุน เกิดการกระดอน เคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งของล้อยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

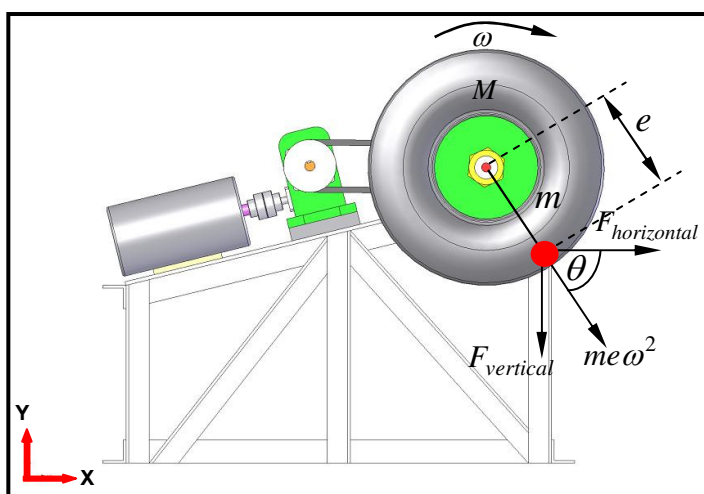


รูปที่ 3.3 พื้นที่หน้าตัดของยางชั้นในไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 3.4 แสดงล้อยางขาดสมดุลแรงเหวี่ยงขณะหมุน (unbalanced wheel) [24]

สาเหตุดังกล่าวเกิดจาก ในขั้นตอนของการม้วนขึ้นรูปอย่างชั้นในและยางชั้นนอก ก่อนนำไปอบ ซึ่งไม่สามารถม้วนขึ้นรูปอย่างแต่ละชั้นให้แน่นสม่ำเสมอ และควบคุมให้หน้าตัดของยางมีความสมมาตรได้ จึงทำให้เกิดการกระจายมวลและรูปทรงที่ไม่สม่ำเสมอ ในขั้นตอนของการอบ ล้อยางต้นก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ไม่สามารถควบคุมยางชั้นในให้คงรูปไว้ได้ ในขณะที่อบเมื่อมีการให้ความร้อนกับเนื้อยาง ยางชั้นในมีการไหลเปลี่ยนแปลงรูปทรงไป จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นอาจเป็นสาเหตุของความไม่สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน (Rotating Unbalance) ในล้อยางต้นในรูปที่ 3.5 แสดงถึงโมเดลที่ใช้วิเคราะห์ความไม่สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน



รูปที่ 3.5 ความไม่สมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางต้นในระนาบ

พิจารณาระบบที่มีส่วนหมุนของล้อยางต้น ซึ่งกำหนดให้ล้อยางต้นมีมวลเท่ากับ M และสมมุติให้มีมวลที่ทำให้เกิดการไม่สมดุล เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัด มวลที่ไม่สมดุลมีขนาด m อยู่ห่างจากแกนเพลลาหมุนเท่ากับ e ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำให้แรงที่เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของมวลเยื้องศูนย์กลางที่มีขนาดเท่ากับ $me\omega^2$ เมื่อ ω คือความเร็วรอบจากศูนย์กลาง

แรงกระทำที่เพลลาเลื่อนตามแนวอนมีขนาดเท่ากับ

$$F_{horizontal} = me\omega^2 \cos \theta \quad (3.1)$$

แรงกระทำที่เพลลาเลื่อนตามแนวตั้งมีขนาดเท่ากับ

$$F_{vertical} = me\omega^2 \sin \theta \quad (3.2)$$

เมื่อสมมุติให้ระบบของล้อยางตันและแบร์ริงเป็นระบบมวล-สปริง-ตัวหน่วง (mass-spring-damper system) และสมมุติให้แรงบิดไม่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของล้อยางตันจะได้สมการการเคลื่อนที่ของแกนเพลาดังนี้

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวนอน

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m\omega^2 \cos \theta \quad (3.3)$$

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = m\omega^2 \sin \theta \quad (3.4)$$

แต่เนื่องจากความหนาของน้ำมันที่หล่อลื่นแบร์ริงมีความหนาน้อยมาก ดังนั้นค่าของความหน่วง (c) จึงมีค่าน้อย สามารถที่จะตัดทิ้งไปได้ ดังนั้นสมการ (3.3) และ สมการ (3.4) ลดรูปเป็นดังนี้

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวนอน

$$M\ddot{x} + kx = m\omega^2 \cos \theta \quad (3.5)$$

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง

$$M\ddot{y} + ky = m\omega^2 \sin \theta \quad (3.6)$$

สัญลักษณ์

M	:	มวลของล้อยางตัน
m	:	มวลที่ไม่สมดุล
e	:	ระยะห่างของมวลที่ไม่สมดุลจากแกนหมุน
ω	:	ความเร็วรอบการหมุน
c	:	ค่าคงตัวการหน่วงของระบบ
k	:	ค่า stiffness ของเพลลา
θ	:	มุมของมวลที่ไม่สมดุลหมุนไปจากแนวระดับ
x	:	ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวนอน
\dot{x}	:	ความเร็วในแนวนอน
\ddot{x}	:	ความเร่งในแนวนอน
y	:	ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวตั้ง
\dot{y}	:	ความเร็วในแนวตั้ง
\ddot{y}	:	ความเร่งในแนวตั้ง

3.1.3 สัญญาณการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยกคัน

สัญญาณการเคลื่อนที่ในระนาบของแกนเพลลาอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลแรงเหวี่ยงและความแข็งตึงของล้อที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์อย่างง่าย (Simple Harmonic Motion) ซึ่งสามารถศึกษาสัญญาณได้จาก

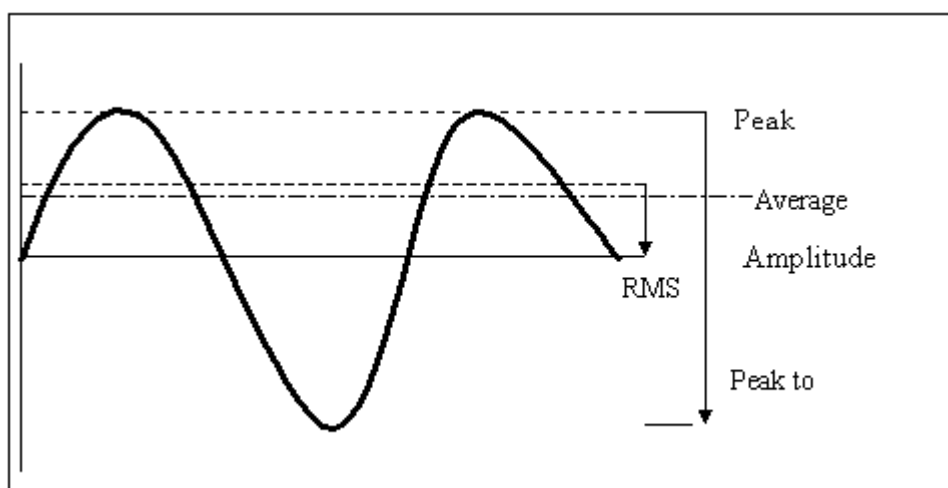
1. ระดับยอดสูงสุด (Peak Level) เป็นการบอกค่าระดับสูงสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนไปจากระดับศูนย์
2. ระดับยอดสูงสุดถึงยอดสูงสุดอีกยอดหนึ่ง (Peak to Peak Level) ซึ่งก็คือการบอกค่าขนาดของสัญญาณที่วัดจากจุดสูงสุดทางบวกกับจุดต่ำสุดทางลบ
3. ค่าเฉลี่ย (Average Level) เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ ในกรณีทั่วไปที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่าเป็นทั้งบวกและลบเมื่อเทียบกับตำแหน่งสมดุล ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยในกรณีนี้จะคิดโดยทำการเปลี่ยนเครื่องหมายของสัญญาณที่ลบให้เป็นบวก (Rectified) แล้วจึงคิดค่าเฉลี่ยออกมา
4. ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS, Root Mean Square) เป็นค่าที่ได้จากการนำสัญญาณที่วัดได้ในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่งๆ มายกกำลังสองแล้วทำการเฉลี่ยตลอดคาบและถอดรากที่สอง

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt} \quad (3.7)$$

5. ค่าแฟกเตอร์เครสต์ (Crest Factor) เป็นค่าอัตราส่วนของ Peak Level กับ RMS Level ซึ่งค่าดังกล่าวจะให้ข้อมูลว่าลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้มีแนวโน้มเป็นการสั่นสะเทือนลักษณะแบบกระแทก (Impulse) หรือแบบสุ่ม (Random) ในกรณีที่เป็นการสั่นสะเทือนแบบกระแทกค่าแฟกเตอร์เครสต์จะสูง ส่วนกรณีที่เป็นการสั่นสะเทือนแบบสุ่มค่าแฟกเตอร์เครสต์จะต่ำ

รูปที่ 3.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ของขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือนในแบบต่างๆ กัน ทั้ง 4 แบบ ซึ่งใช้ในกรณีที่สัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นแบบฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) รูปไปไซน์ แม้ว่ารูปแบบจริงของการสั่นสะเทือนต่างๆ ไปไม่ได้เป็นลักษณะของคลื่นรูปไปไซน์ แต่อย่างไรก็ดีถ้าการสั่นสะเทือนมีลักษณะเป็นคาบ สัญญาณเหล่านี้ก็จะสามารถแยกออกเป็นผลรวมของสัญญาณไปไซน์หลายๆ ความถี่ได้ตามทฤษฎีของฟูเรียร์ (Fourier) ดังนั้นความสัมพันธ์และความหมายของหน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่กล่าวมาแล้วจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้

ข้อควรระวังประการหนึ่ง คือ การคำนวณเพื่อเปลี่ยนค่าการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้จากระบบหนึ่งไปเป็นอีกระบบหนึ่งนั้น เช่น จาก Peak to Peak ไปเป็น RMS เป็นต้น ค่าที่ได้รับจะมีความถูกต้องน้อยลง ดังนั้นหากทำการตรวจวัดวิเคราะห์การสั่นสะเทือนต้องการใช้ข้อมูลในระบบใด ก็สมควรที่จะกำหนดค่าให้การตรวจวัดเป็นไปในระบบนั้น



รูปที่ 3.6 หน่วยวัดการสั่นสะเทือน

ที่มา : <http://www.cyberg.wits.ac.za/cyberg/sessiondocs/physical/physio/physio2/physio2.htm>

3.1.4 สัญญาณการสั่นสะเทือน

สัญญาณการเคลื่อนที่ในระนาบของแกนเพลลาสามารถศึกษาในรูปการสั่นสะเทือนได้ โดยศึกษาในรูปของ ความถี่ ขนาดของการสั่นสะเทือน มุมเฟส

3.1.4.1 ความถี่

ความถี่ในที่นี้หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน ซึ่งหากพิจารณาสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาก็หมายถึง จำนวนรอบของการสั่นสะเทือนต่อหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยที่นิยมใช้จะเป็น CPM (Cycle Per Minute)

3.1.4.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่ใช้บ่งบอกสภาพของระบบ โดยทั่วไปแล้วเมื่อขนาดของการสั่นสะเทือนมีขนาดใหญ่ย่อมหมายถึงการมีปัญหาที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ ขนาดของการสั่นสะเทือนมีหลายชนิด โดยมีพารามิเตอร์คือ การขจัดระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration)

3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน

อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน (Transducer) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงการสั่นสะเทือนของวัตถุเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำมาขยาย บันทึก แสดง และนำผลมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือน ซึ่งจะประกอบด้วยหัวตรวจวัด สายเคเบิลและเครื่องประมวลผลและอ่านผล ในการเลือกใช้หัวตรวจวัด พิจารณาได้ดังนี้

- 1) หัวตรวจวัดประเภทระยะทางจะตรวจวัดความถี่สูงสุดได้ประมาณ 1500 Hz เนื่องมาจากปัญหาเรื่องแรงกระทำและสัญญาณจากลักษณะความขรุขระของเพลลา
- 2) ลักษณะและโครงสร้างของหัวตรวจวัดประเภทความเร็ว เป็นตัวกำหนดช่วงความถี่การตรวจวัด ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10-2000 Hz
- 3) หัวตรวจวัดประเภทความเร่ง สามารถวัดการสั่นสะเทือนช่วงความถี่ตั้งแต่ต่ำกว่า 1 Hz ได้จนถึง 20 kHz ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ใช้ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เพียงตัวเดียวในช่วงการวัดกว้างมากเช่นนี้

โดยสามารถสรุปหลักการงานและข้อดีข้อเสียของหัวตรวจวัดแต่ละประเภทได้ดังนี้

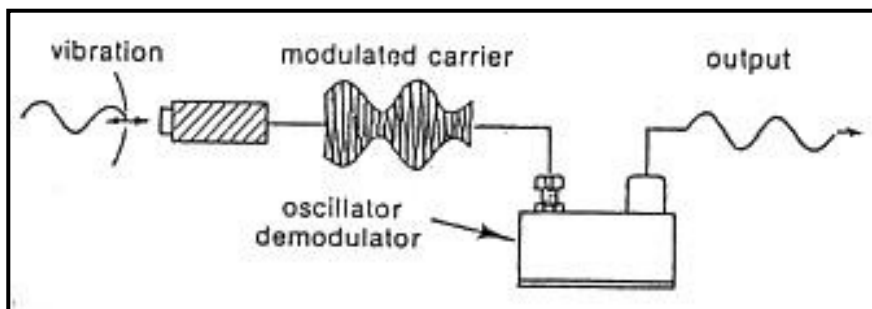
3.2.1 ประเภทไม่สัมผัส (Non-contact displacement transducer)

โดยทั่วไปหัวตรวจวัดประเภทไม่สัมผัสจะใช้หลักการกระแสไหลวน (Eddy Current) ในการตรวจสอบการสั่นสะเทือน ชุดตรวจวัดประเภทนี้ประกอบด้วย หัวตรวจวัด สายและ เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับ (Oscillator) / คีมอดูเลเตอร์ (Demodulator)

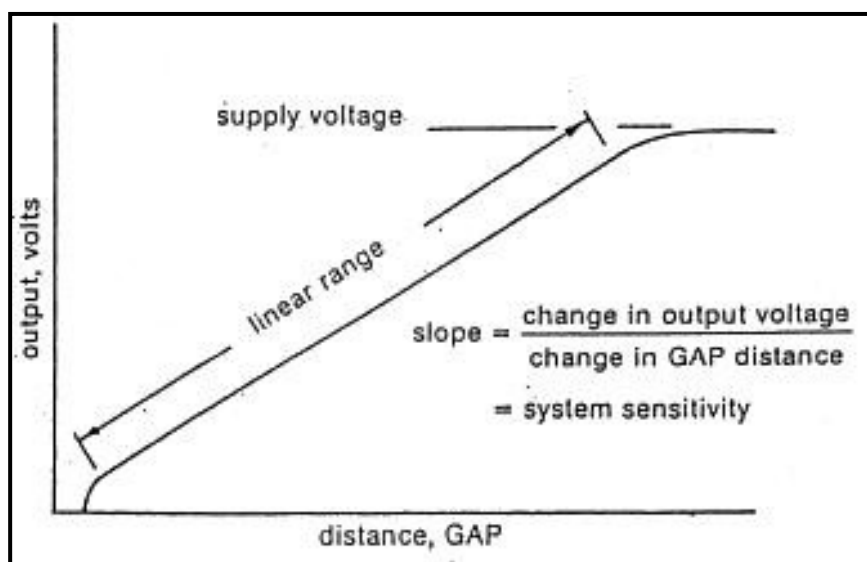
หลักการงานและลักษณะโครงสร้าง

หัวตรวจวัดประกอบด้วยสายไฟขด (Coil) บรรจุอยู่ในแท่งพลาสติกหรือเซรามิกซึ่งไม่นำไฟฟ้า ในการทำงาน เครื่อง จะส่งสัญญาณความถี่ระดับเดียวกับคลื่นวิทยุ (ประมาณ 1.5 MHz) ผ่านสายไปยังขดลวด (Coil) คลื่นไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ปลายของหัวตรวจวัด

เมื่อนำหัวตรวจวัดไปไว้ใกล้กับสารตัวนำไฟฟ้า เช่น เพลลา เป็นต้น จะเกิดกระแสไหลวน (Eddy) ไหลผ่านระหว่างสื่อทั้งสองและใช้พลังงานบางส่วนของกระแสไฟที่เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับ (Oscillator) / คีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) ส่งไปยังที่หัวตรวจวัด ดังรูปที่ 3.7 ในลักษณะนี้สัญญาณไฟที่ได้รับกลับมาจะถูกแปลสภาพ (Demodulate) กลับออกมาเป็นคลื่นการสั่นสะเทือนในลักษณะสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.7 แบบแสดงลักษณะการทำงานของ Eddy current displacement probe [2]



รูปที่ 3.8 ลักษณะสัญญาณของระบบ Eddy current displacement probe [2]

รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะสัญญาณไฟที่ได้รับของหัวตรวจวัดระบบกระแสไหลวน (Eddy current) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้รับจากการตรวจวัดแบ่งเป็นสามส่วนด้วยกันดังนี้

ส่วนที่ 1 เริ่มจากการที่หัวตรวจวัดสัมผัสกับสารตัวนำไฟฟ้า จนกระทั่งถึงระยะหนึ่ง จะไม่มีสัญญาณไฟกระแสตรง โดยปกติระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 0.25 mm

ส่วนที่ 2 เป็นระยะการตรวจวัด ซึ่งหัวตรวจวัดจะส่งสัญญาณไฟกระแสตรงที่แปรผันตรงกับระยะห่างระหว่างหัวตรวจวัดกับผิวสารตัวนำไฟฟ้า ระยะนี้โดยปกติจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.25-2.5 mm ในส่วนของค่าความไวนี้มีมาตรฐานกำหนดคร่าวๆ ไว้ว่า ที่ระยะห่างประมาณ 0.025 mm ควรจะมีค่าความต่างศักย์ประมาณ 100 mV

ส่วนที่ 3 เมื่อเลื่อนหัวตรวจวัดออกมาห่างมากสักระยะหนึ่ง โดยปกติที่ระยะมากกว่า 2.5 mm ค่าความต่างศักย์ระหว่างไฟที่ป้อนและที่สูญเสียไปกับการเกิดกระแสไหลวน (Eddy) จะน้อยมาก จนไม่สามารถแปลเป็นค่าการสั้นสะเทือนได้

การตรวจวัดค่าการสั้นสะเทือนจะกระทำในช่วงระยะของส่วนที่ 2 เท่านั้น
ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการตรวจวัด

หัวตรวจวัดแต่ละตัวจะต้องได้รับการปรับเทียบ (Calibrate) เฉพาะสำหรับชนิดของจุดที่ทำกรวัด เนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy) จะแปรผันกับความนำไฟฟ้าและความนำแม่เหล็กของผิวโลหะที่จะทำการตรวจสอบนั้นๆ เมื่อนำหัวตรวจวัดที่ได้รับการปรับเทียบ (Calibrate) สำหรับเหล็กชนิดหนึ่ง มาใช้กับเหล็กอีกชนิดหนึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้รับผิดพลาดไปเล็กน้อย อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ระยะช่วงการวัด (Linear range) ตามรูปที่ 3.8 น้อยลง

แรงดันไฟฟ้ามีผลทำให้ความไว (Sensitivity) ของหัวตรวจวัดเปลี่ยนแปลง ฉะนั้นหากจะใช้หัวตรวจวัดประเภทนี้กับวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงความดัน ควรจะทำการตรวจสอบ และปรับเทียบ (Calibrate) ข้อมูลให้เหมาะสมถูกต้องเสียก่อน

ถ้าลักษณะโครงสร้างของหัวตรวจวัดและตัวแปรอื่นๆ คงที่ หัวตรวจวัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายหัวตรวจวัดใหญ่กว่า จะมีระยะช่วงการวัด (Linear range) มากกว่า

ข้อจำกัด

จากลักษณะของการตรวจวัด พบว่าข้อมูลค่าการสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของระยะทางระหว่างหัวตรวจวัดและจุดที่ทำกรวัด และเป็นระยะสัมผัส ซึ่งหมายความว่า ค่าการสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นไม่ใช่ค่าการสั้นสะเทือนที่แท้จริงของจุดที่ทำกรวัด และไม่ใช่ค่าการสั้นสะเทือนของหัวตรวจวัดเองด้วย

ลักษณะการทำงานของกระแสไหลวน (Eddy) ไม่สามารถแบ่งแยกออกระหว่างรอยขรุขระ รอยข่วน รอยเบี้ยวของเพลลา ความนำไฟฟ้า หรือความนำแม่เหล็ก ในกรณีของร่องรอยความขรุขระบนเพลลานี้ ค่าการสั้นสะเทือนที่ตรวจสอบได้ จะเป็นผลเฉลี่ยของระยะห่างและความลึกของรอยขรุขระนั้น

ความกลมความเบี้ยวของเพลลาหรือจุดที่ทำกรวัดที่มีผลทำให้ข้อมูลค่าการสั้นสะเทือนมีความผิดพลาดได้มี 2 ลักษณะคือ

1) ความกลมความเบี้ยวของเพลลาที่จุดวัดทางกายภาพ (Physical Runout) มีผลทำให้ข้อมูลค่าการสั้นสะเทือนมีความผิดพลาดได้ โดยปกติค่าความกลมนี้ต้องน้อยกว่า 10 % ของระยะการสั้นสะเทือนสูงสุดของเพลลาถือว่ายอมรับได้ อย่างไรก็ตาม การที่จะผลิตหรือกลึงเพลลาให้มี

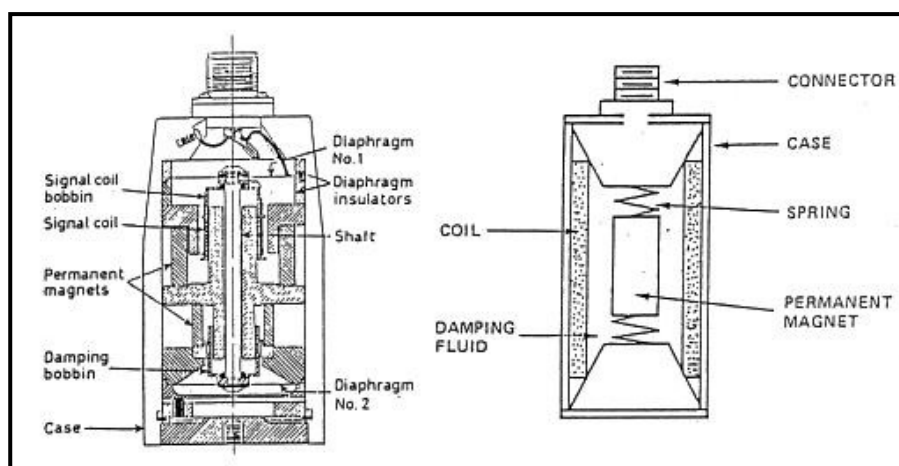
ความเบี่ยงน้อยกว่า 5 m (0.2 mils) เป็นเรื่องยาก ฉะนั้นสำหรับเพลลาที่หมุนด้วยความเร็วสูง เช่น เพลลาเทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbo-Charger) ความเบี่ยงของเพลลาจึงถูกกำหนดไว้ที่ 6 m (0.25 mils) ค่าความเบี่ยงของเพลลาในลักษณะการสั่นสะเทือนนี้มีลักษณะเป็นเวกเตอร์ (Vector) จึงไม่สามารถนำค่าความเบี่ยงนี้มาลบออกจากข้อมูลที่ได้รับ

2) ความกลมความเบี่ยงของเพลลาที่จุดวัดจากแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Runout) ซึ่งเป็นผลที่ได้รับจากการกลึงขัดเงา (Ground/Polishing) หรือการลบอำนาจแม่เหล็กที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Degaussing) ลักษณะความเบี่ยงนี้มีผลทำให้ข้อมูลที่ได้รับข้อผิดพลาดเช่นกัน

3.2.2 ประเภทวัดความเร็ว (Velocity pickups)

ลักษณะโครงสร้าง

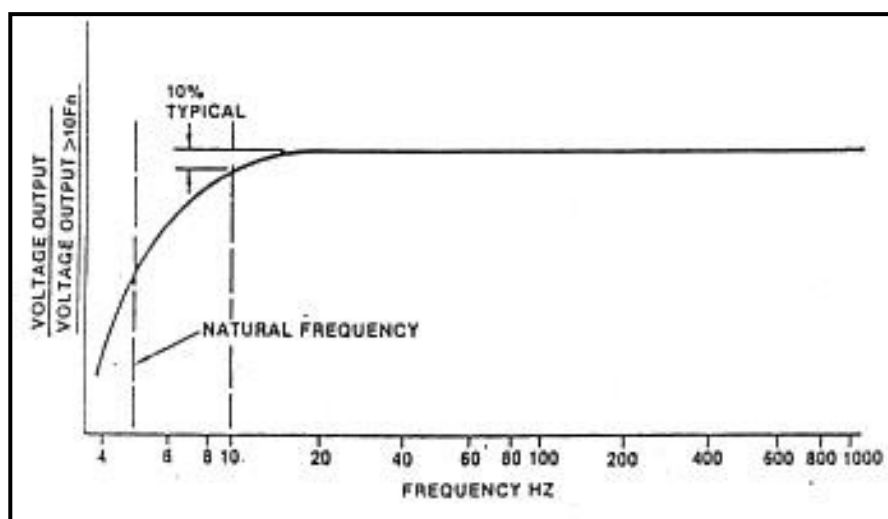
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะโครงสร้างของหัวตรวจวัดประเภทนี้ ภายในประกอบด้วย ขดลวด (Coil) ที่รอบนอกและมีแม่เหล็กติดอยู่ตรงกลาง ที่ปลายทั้งสองด้านของแม่เหล็กมีสปริงติดอยู่ และระบบลอยอยู่ในสารตัวหน่วงแบบของเหลว (damping fluid) ซึ่งส่วนมากเป็นสารประเภทสังเคราะห์ จุดประสงค์ของการใช้สปริงและตัวหน่วงแบบของเหลว (damping fluid) เนื่องจากการออกแบบให้หัวตรวจวัดมีความถี่ธรรมชาติต่ำสุดเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของโครงสร้างทั่วไปของหัวตรวจวัดประเภทความเร็ว [2]

หลักการทํางาน

เมื่อนําเอาหัวตรวจวัดนี้ไปติดอยู่กับจุดที่จะทำการวัดวัตถุที่สั่นสะเทือน แม่เหล็กภายในหัววัดจะเคลื่อนที่และก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวด ซึ่งสามารถนำคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ และเก็บบันทึกได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์ปรับสัญญาณใดๆ เนื่องจากคลื่นไฟฟ้านี้เป็นประเภทอิมพีแดนซ์ (Impedance) ต่ำ ในรูปที่ 3.10 แสดงความไวของหัวตรวจวัดประเภทความเร็ว



รูปที่ 3.10 ลักษณะความไวของหัวตรวจวัดประเภทความเร็ว [2]

ข้อจำกัด

ข้อจำกัดในส่วนย่านความถี่ของหัวตรวจวัดประเภทความเร็วนี้มีอยู่ 2 ประการด้วยกันคือ 1) ความถี่ย่านตรวจวัดต่ำสุดจะต้องอยู่สูงกว่าความถี่ธรรมชาติอย่างน้อย 10 เท่า และ 2) ความถี่ย่านตรวจวัดสูงสุดขึ้นอยู่กับความหนืดของตัวหน่วงแบบของเหลว (damping fluid) และน้ำหนักของแม่เหล็ก

ด้วยข้อจำกัดสองประการนี้ทำให้หัวตรวจวัดประเภทนี้มีย่านการตรวจวัดอยู่ในช่วงประมาณ 10-1500 Hz (600-90000 RPM)

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งของหัวตรวจวัดประเภทนี้เป็นปัญหาเนื่องจากการใช้น้ำมันเป็นตัวหน่วง (Damping fluid) ซึ่งทำให้การใช้อยู่จำกัดอยู่ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 260 °C

หัวตรวจวัดบางรุ่นใช้ระบบการหน่วง (Damping) แบบไฟฟ้าแล้ว ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจและให้ความระมัดระวังในส่วนของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ร่วมกับหัวตรวจวัด เนื่องจาก

จะต้องตรวจสอบอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสัญญาณรับและส่ง ของเครื่องและหัวตรวจวัดนี้อย่างละเอียดหากจะมีการเปลี่ยนใช้เครื่องมืออุปกรณ์

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่พบบ่อยครั้งกับหัวตรวจวัดประเภทนี้คือ ชำรุดเสียหายง่าย ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะ โครงสร้างและการทำงานซึ่งมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวและชำรุดได้ภายใน

ถึงแม้ว่าหัวตรวจวัดประเภทความเร็วนี้จะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ก็มีข้อดีในเรื่องสัญญาณนำมาใช้วิเคราะห์ได้เลย โดยไม่ต้องทำการติดตั้งเครื่องอุปกรณ์สำหรับปรับสัญญาณย่านความถี่ตรวจวัดที่อยู่ในย่านการทำงานของเครื่องจักรทั่วไป สามารถทำการติดตั้งกับเครื่องจักรได้ง่าย และสายสัญญาณที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องเป็นสายพิเศษ

3.2.3 ประเภทวัดความเร่ง (Accelerometer)

ลักษณะ โครงสร้าง

หัวตรวจวัดประเภทความเร่งที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันใช้หลักการของพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เป็นส่วนใหญ่ รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะ โครงสร้างของหัวตรวจวัดประเภท พิโซอิเล็กทริก ซึ่งประกอบด้วยสปริงที่ทำหน้าที่กดน้ำหนักผลึกพิโซอิเล็กทริกไว้ให้อยู่นิ่งๆ เมื่อนำหัวตรวจวัดไปติดกับเครื่องจักรการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจะทำให้ผลึกพิโซอิเล็กทริกเกิดการสั่นผลิตระแสไฟฟ้ ออกมาซึ่งเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ส่วนประกอบทั้งหมดถูกบรรจุอยู่อย่างแข็งแรงแน่นหนาในตัวเรือน (Case) ของหัวตรวจวัด

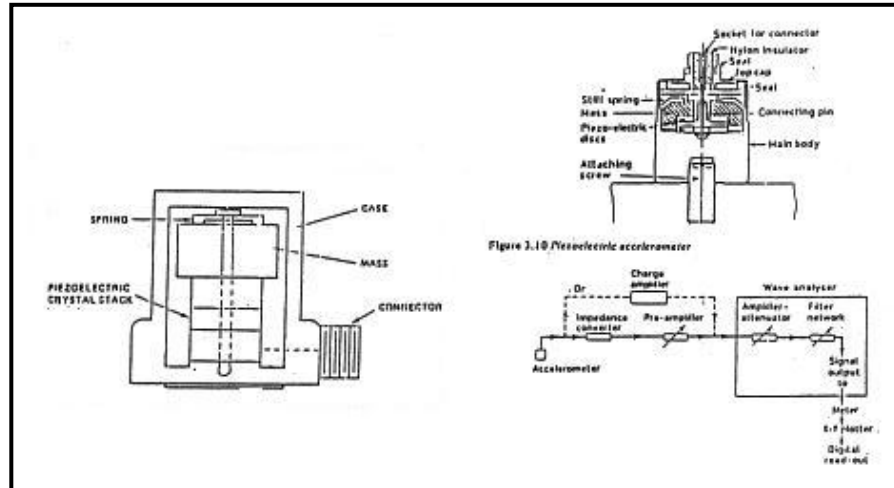
หลักการทำงาน

การทำงานของหัวตรวจวัดนี้ใช้หลักการเดียวกันกับการทำงานของนาฬิกาควออตซ์ (Quartz) ทั่วๆ ไป กล่าวคือ ตามธรรมชาติผลึกพิโซอิเล็กทริก จะส่งกระแสไฟฟ้าออกมาเมื่อถูกน้ำหนักกดลง ดังนี้ ถ้านำเอาหัวตรวจวัดนี้ไปติดอยู่กับวัตถุที่สั่นสะเทือน ผลึกพิโซอิเล็กทริก ถูกกดด้วยแรงจากมวลน้ำหนักที่สั่นตามลักษณะการสั่นสะเทือนของวัตถุ ผลึกนี้จะให้กระแสไฟฟ้าออกมาแปรผันตามแรงที่ถูกกระทำ

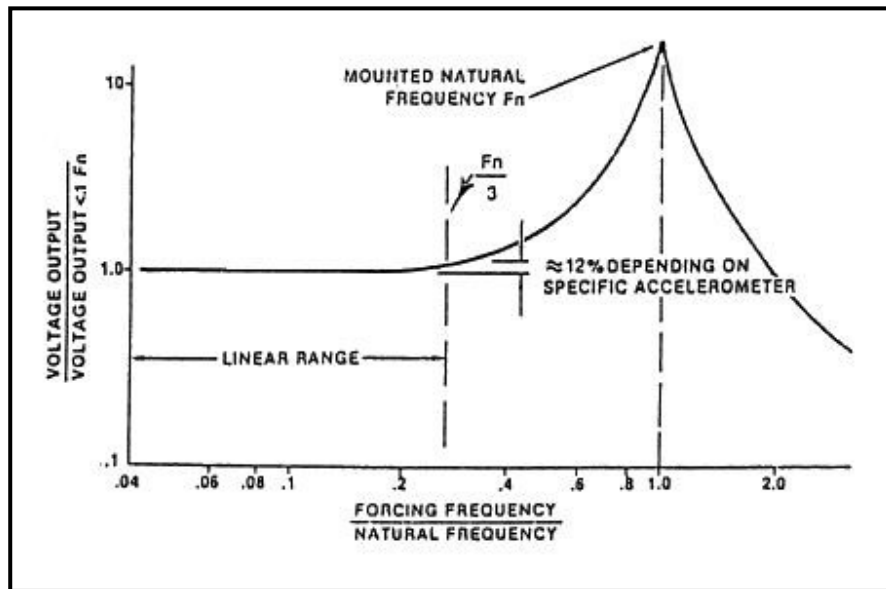
รูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นว่าหัวตรวจวัดประเภทความเร่งจะมีย่านความถี่ใช้งานสูงสุดต่ำกว่าความถี่ธรรมชาติของวัตถุเอง โดยปกติค่าความถี่สูงสุดที่จะใช้งานจะอยู่ประมาณ $1/3$ หรือ $1/5$ ของค่าความถี่ธรรมชาติ

ถ้าใช้ผลึกชนิดเดียวกัน ความไว (sensitivity) ของหัวตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับมวลน้ำหนักที่ใช้ หัวตรวจวัดที่มีค่าความไวสูงจะมีมวลน้ำหนักมากกว่า ซึ่งหมายความว่า ขนาคน้ำหนักที่มากขึ้น และค่าความถี่ธรรมชาติที่ต่ำลง รูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นว่า หากเราต้องการหัวตรวจวัดที่มีย่านความถี่ในการวัดสูง หัวตรวจวัดนั้นจะมีความไวต่ำ น้ำหนักเบาและมีขนาดเล็ก ถึงแม้ว่า

หัวตรวจวัดประเภทนี้จะเป็ประเภทที่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้เอง แต่สัญญาณไฟฟ้าที่ได้ออกมาเป็นประเภทมี อิมพีแดนซ์ สูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ทันที ฉะนั้นจึงต้องมีวงจรไฟฟ้าใช้ควบคู่กับหัวตรวจวัดเพื่อเปลี่ยนสัญญาณนี้ให้มี อิมพีแดนซ์ ต่ำก่อนที่จะนำไปใช้

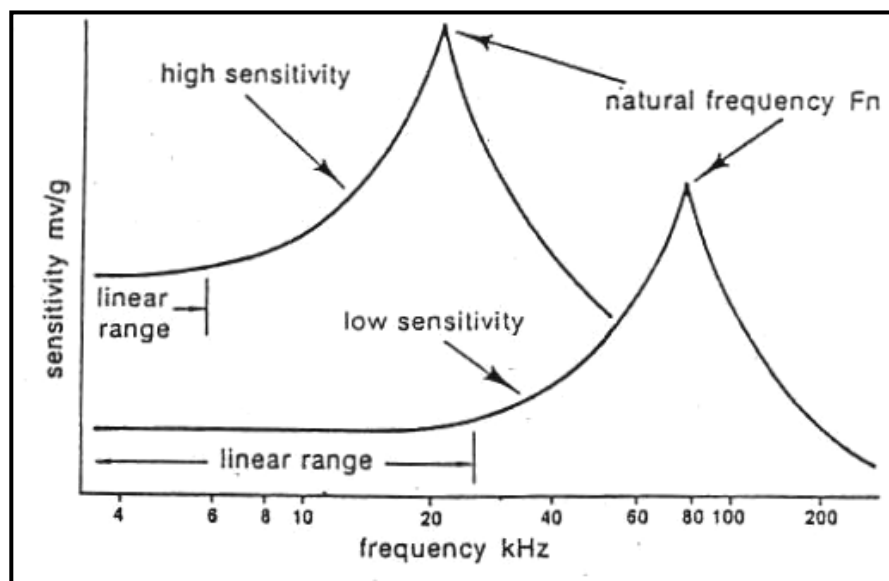


รูปที่ 3.11 ลักษณะ โครงสร้างของหัวตรวจวัดประเภท Piezoelectric [2]



รูปที่ 3.12 ความไวของหัวตรวจวัดประเภท Piezoelectric [2]

หัวตรวจวัดประเภทที่มีวงจรเปลี่ยนอิมพีแดนซ์ อยู่ในจะสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน สายสัญญาณที่ต่อออกมาก็ไม่จำเป็นจะต้องเป็นสายพิเศษ ระบบนี้เป็นระบบที่นิยมกันอยู่ทั่วไป แต่จะมีปัญหาในเรื่องอุณหภูมิซึ่งหากมีอุณหภูมิสูง วงจรไฟฟ้าไม่สามารถที่จะทนรับได้ โดยปกติจะใช้งานได้ใอุณหภูมิไม่เกิน 125 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.13 ลักษณะเปรียบเทียบค่าความไวของหัวตรวจวัดกับความถี่ธรรมชาติ [2]

หากนำวงจรไฟฟ้านี้แยกออกจากหัวตรวจวัด จะสามารถใช้งานได้ใอุณหภูมิสูงถึง 750 องศาเซลเซียส แต่ข้อเสียคือ จะต้องใช้สายสัญญาณเฉพาะที่สามารถตัดสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี

วงจรไฟฟ้าที่ใช้เปลี่ยนอิมพีแดนซ์ ของสัญญาณมีอยู่สองลักษณะคือชาร์ต (Charge) และโวลต์ (Voltage) โดยทั่วไปวงจรประเภท ชาร์ต จะซับซ้อนและราคาแพงกว่าประเภทโวลต์ แต่มีข้อดีคือ ค่าความไวของระบบจะไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของสายสัญญาณ ในขณะที่ประเภทโวลต์ จะมีปัญหาเรื่องค่าความต้านทาน ของสายและค่าความไวของระบบ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความยาวของสายสัญญาณ ดังนั้นหัวตรวจวัดประเภทที่มีวงจรไฟฟ้าอยู่รวมด้วยจะนิยมใช้แบบโวลต์

ข้อจำกัด

หัวตรวจวัดประเภทความเร่งมีสมรรถนะ ความง่ายในการใช้งาน และประสิทธิภาพ ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหัวตรวจวัดประเภทอื่นๆ เมื่อพิจารณาจากความไว ความถูกต้องของ ข้อมูล และย่านความถี่ใช้งาน อย่างไรก็ตามหัวตรวจวัดประเภทความเร่งนี้มีข้อจำกัดในเรื่อง อุณหภูมิและพื้นผิวของวัตถุที่ทำการติดตั้ง เมื่ออุณหภูมิสูงเกินข้อกำหนดเฉพาะของหัวตรวจวัดแต่ละตัว สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้รับจะมีค่าสูงมากที่ความถี่ต่ำๆ และการติดตั้งหัวตรวจวัดที่ พื้นผิวขรุขระมีการสัมผัสที่ไม่เต็มหน้าจะมีผลให้ค่าความไวของหัวตรวจวัดผิดพลาดไป

ข้อควรระวังอย่างหนึ่งของการใช้หัวตรวจวัดประเภทความเร่งคือ สัญญาณ การสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้นั้นจะเป็นสัญญาณที่มีส่วนผสมของค่าการสั่นสะเทือนในแนว ตรวจวัดอื่นๆ ด้วย ในลักษณะนี้หัวตรวจวัดแต่ละประเภทจะมีค่ากำหนดชี้แนะมาจากผู้ผลิตว่า ค่าที่ ได้จากทิศทางอื่นๆ นอกจากแนวที่ต้องการแล้วจะมีค่าประมาณเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของค่ารวมทั้งหมด ซึ่งโดยปกติแล้วจะอนุญาตให้มีไม่เกิน 3 %

3.2.4 หัวตรวจวัดประเภทใช้แสงเลเซอร์

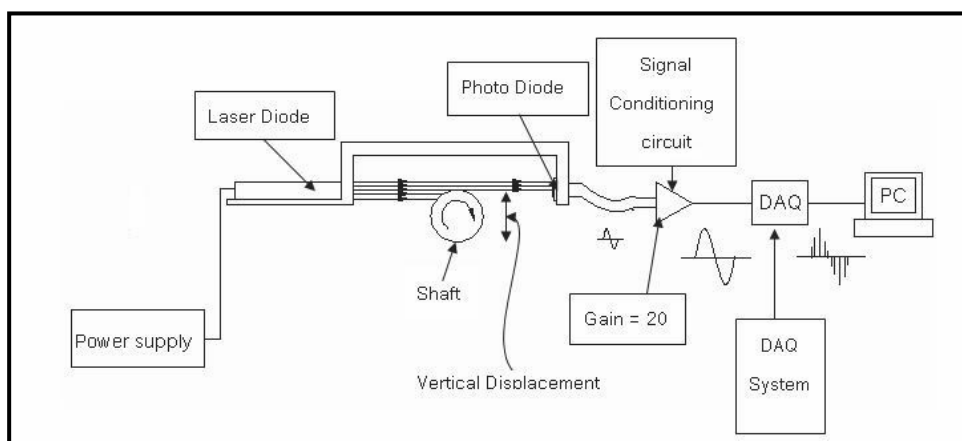
หัวตรวจวัดประเภทนี้เป็นวิวัฒนาการเทคโนโลยีล่าสุด การตรวจวัดในลักษณะนี้จะมี ข้อดีมากกว่าหัวตรวจวัดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นหลายประการ กล่าวคือ เป็นหัวประเภทไม่สัมผัส และ ทำการตรวจวัดโดยการเล็งลำแสงเลเซอร์ไปยังจุดวัดเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถจัดปัญหาอัน เนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม ระยะเวลาตรวจสอบ ความร้อน ความถี่ธรรมชาติ และข้อจำกัดอื่นๆ ได้เป็น อย่างดี

3.3 การวัดความสั่นสะเทือนด้วยเลเซอร์สำหรับตรวจสอบความสมดุลแรงเหวี่ยง

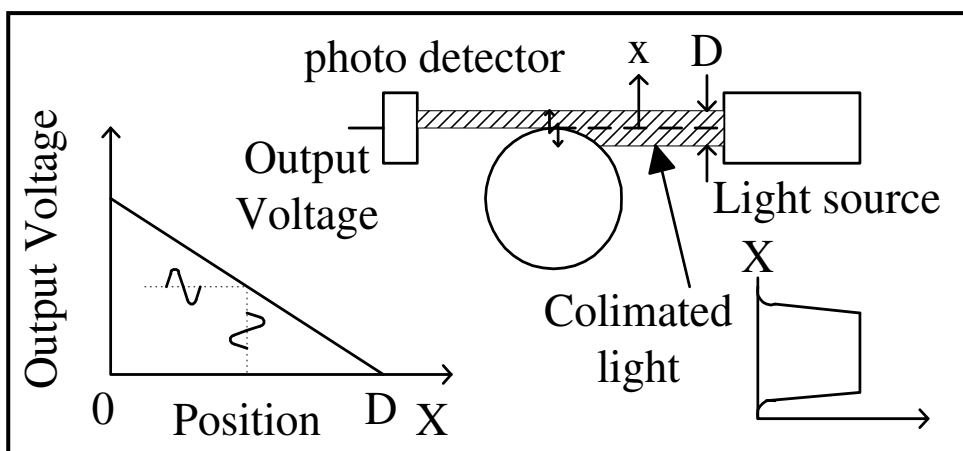
Chetpattananondh, K *et.al.*[18] ได้เสนออุปกรณ์การวัดการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นการ วัดการสั่นสะเทือนของระบบแบบไม่สัมผัสด้วยวิธีการขวางกั้นลำแสง โดยมีอุปกรณ์หลักได้แก่ แหล่งกำเนิดลำแสง และ อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Photo detector) อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อแสงถูกขวาง ทำให้มีความเข้มของแสงที่ตกกระทบไปยังอุปกรณ์ตรวจจับแสงเปลี่ยนแปลงไปค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ วัดได้จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงจะใช้เลเซอร์ไดโอด 1 มิลลิวัตต์ ที่มีความ กว้างของลำแสง 3 มิลลิเมตร และมีค่าความยาวคลื่นของลำแสงเท่ากับ 670 นาโนเมตร ในส่วน อุปกรณ์ตรวจจับแสงที่ใช้จะมีแถบความถี่เป็น 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากการ สั่นสะเทือนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และขยายสัญญาณไปยังโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผล ดังรูปที่ 3.14 โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่าแลบวิว (LabVIEW) ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมประมวลผลออกมา

เป็นแอมพลิจูด (Amplitude) ของการสั่นให้อยู่ในรูปกราฟในฟังก์ชันของเวลา และฟังก์ชันของความถี่ได้

ในการใช้งานสำหรับวัดค่าการสั่นสะเทือนของวัตถุต้องทำการปรับเลื่อนอุปกรณ์หลักของเครื่องมือวัดให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นแสงความไวของเครื่องมือวัด ($x = D/2$) โดยที่ D เป็นความกว้างของลำแสงขนานจากแหล่งกำเนิดแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ค่าการกระจัดของความถี่สั่นสะเทือน (Vibration displacement) บนพื้นผิวของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนสามารถตรวจวัดได้จากปริมาณแสงที่เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับซึ่งจะแปลงไปเป็นค่าแรงดันทางไฟฟ้า ถ้าการกระจายของความเข้มแสง (Light intensity) จากแหล่งกำเนิดสม่ำเสมอ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระจัด X กับแรงดันทางไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจจับแสงเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.15



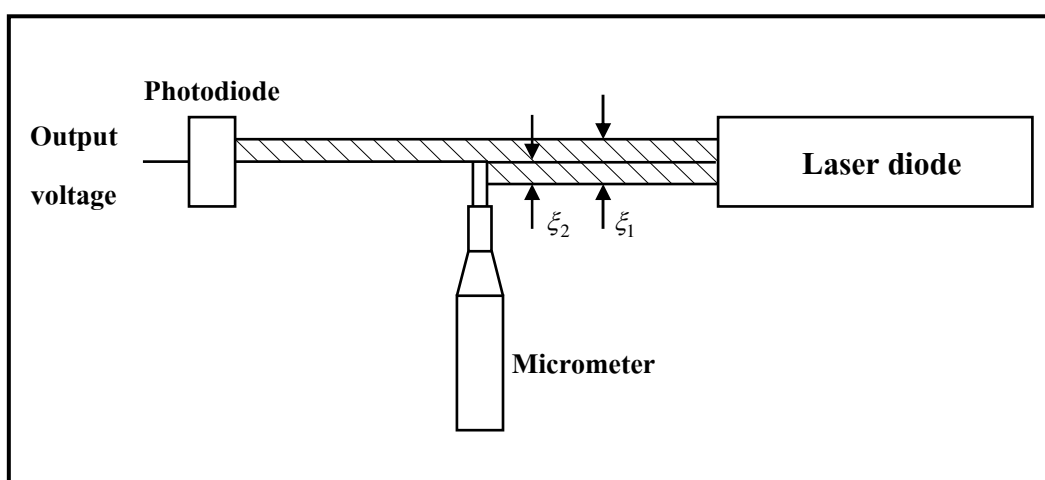
รูปที่ 3.14 หลักการเครื่องวัด Vibration displacement ด้วยวิธีการขวางลำแสง



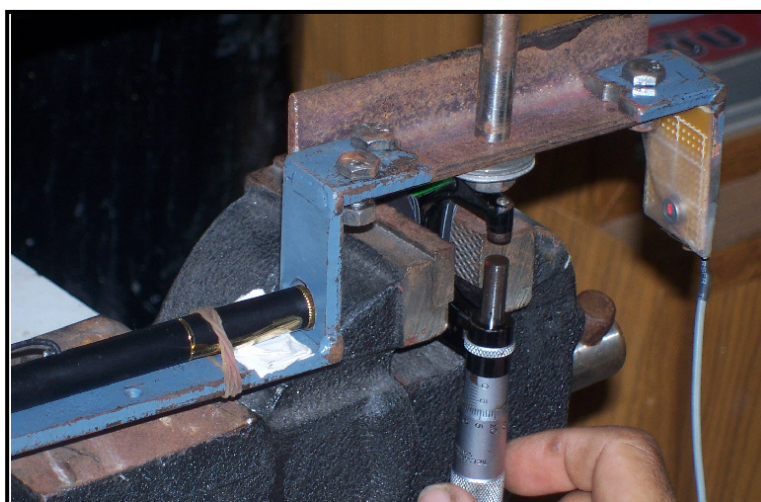
รูปที่ 3.15 หลักการของเทคนิคทางแสงเลเซอร์

3.4 การทดลองหาความไวของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน

จากรูปที่ 3.16 เป็นการจัดวางชุดทดลองเพื่อหาความไวของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์ สำหรับวิธีการทดลองนั้นได้นำ ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) มาปรับเลื่อนเพื่อขวางกั้นลำแสง ทำการปรับเลื่อนตำแหน่งของปลายไมโครมิเตอร์ให้เลื่อนขึ้นไปบังลำแสงครึ่งละ 0.1 มิลลิเมตร โดยให้ ξ_1 เป็นความกว้างของลำแสงที่สองเต็ม ξ_2 เป็นความกว้างของลำแสงที่ถูกบัง ปริมาณของแสงที่ส่งไปยังจอร์รับแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าแรงดันทางไฟฟ้า ในรูปที่ 3.17 แสดงการปรับเลื่อนปลายไมโครมิเตอร์บังลำแสง

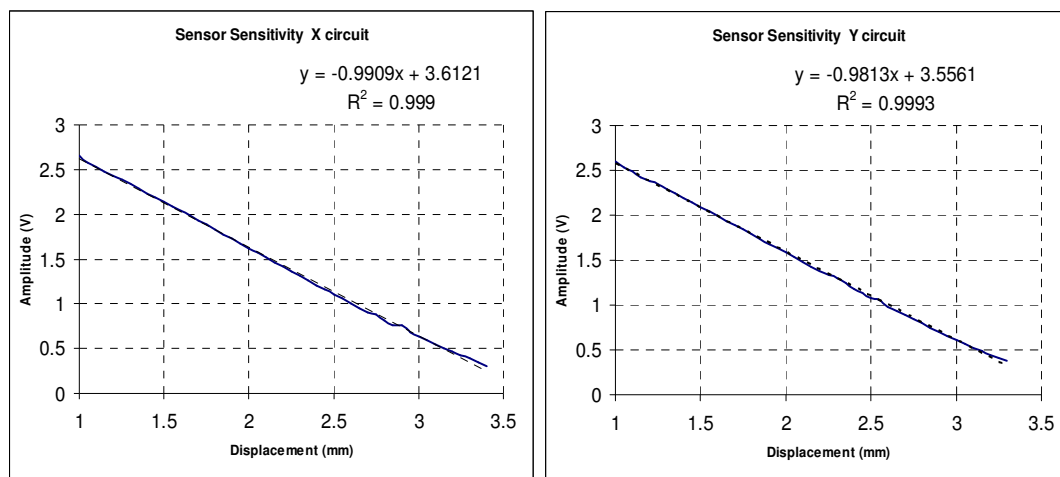


รูปที่ 3.16 การทดลองหาความไวของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์



รูปที่ 3.17 แสดงการปรับเลื่อนปลายไมโครมิเตอร์บังลำแสง

บันทึกผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจากการปรับเลื่อนปลายไมโครมิเตอร์จนบังลำแสงที่ส่องไปยังจอร์ับแสงจนหมด นำข้อมูลมาพล็อตกราฟแสดงระยะการกระจัดที่เปลี่ยนไปทั้งวงจรแนวนอน และแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.18



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.18 ความไวของค่าการกระจัดวงจร (ก) ตามแนวแกนนอน (ข) ตามแนวแกนตั้ง

จากการทดลองพบว่าความไวของเครื่องมือวัดการสันสะท้อนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์นี้จะเป็นเชิงเส้นที่ดี ซึ่งเมื่อกำหนดสมการแนวโน้มจะได้สมการเส้นตรงที่มีความชันประมาณ 0.99 ทั้งวงจรในแนวนอนและวงจรในแนวตั้ง สามารถปรับตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดการสันสะท้อนได้ง่าย ตรวจวัดการสันสะท้อนที่แกนเพลลาของเครื่องทดสอบได้โดยไม่ต้องสัมผัสเพลลา ดังนั้นจึงสามารถจัดปัญหาจากสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ความสกปรกของเพลลาของเครื่องทดสอบ ความขรุขระของเพลลาของเพลลาของเครื่องทดสอบ และมีราคาถูก

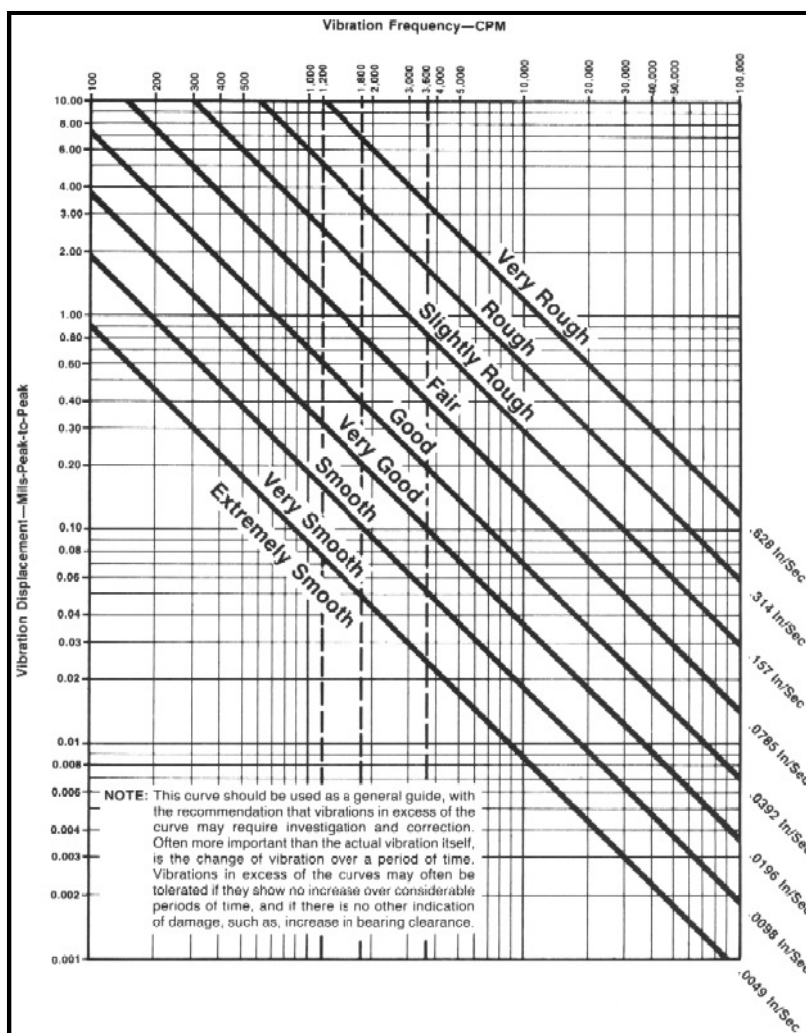
3.5 การวิเคราะห์สัญญาณการสันสะท้อน

การวิเคราะห์สัญญาณของการสันสะท้อน สามารถแบ่งชนิดสัญญาณที่จะวิเคราะห์เป็นสองชนิด คือ สัญญาณการสันสะท้อนแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณการสันสะท้อนบน โดเมนความถี่ การวิเคราะห์สัญญาณการสันสะท้อนแบบรูปรวม สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง โดยใช้หลักการที่ว่า ขนาดของสัญญาณยิ่งมากเครื่องจักรก็ยังมีแนวโน้มบกพร่องได้มาก ในขณะที่เดียวกันค่าอ้างอิงของความรุนแรงของการสันสะท้อนที่ยอมรับได้สำหรับแต่ละสัญญาณ (ระยะการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง) จะถูกนำเสนอเพื่อใช้ประกอบ

การวิเคราะห์ สำหรับสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องของเครื่องจักร

3.5.1 การประเมินค่าความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของสัญญาณแบบรวม

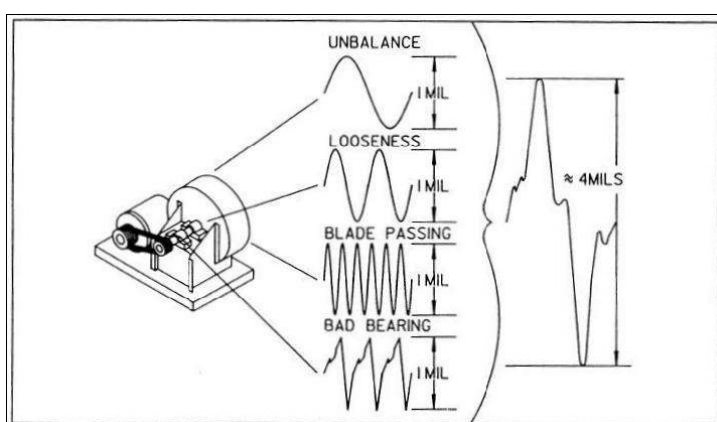
ข้อมูลที่ดีที่สุดที่จะใช้สำหรับเป็นเกณฑ์กำหนดว่า ระดับการสั่นสะเทือนใดยอมรับได้ ระดับใดเริ่มยอมรับไม่ได้ ควรมาจากการเก็บข้อมูลสะสมของเครื่องจักรนั้นภายใต้การทำงานจริง หรืออาจจะใช้ ตารางในรูปที่ 3.19 เป็นเกณฑ์ในการกำหนดความรุนแรงของการสั่นสะเทือน แกนในแนวดิ่งจะเป็นค่าการสั่นสะเทือนที่อยู่ในรูปของการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ ในขณะที่แกนในแนวนอนจะเป็นแกนความถี่



รูปที่ 3.19 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่- ความเร็ว) [20]

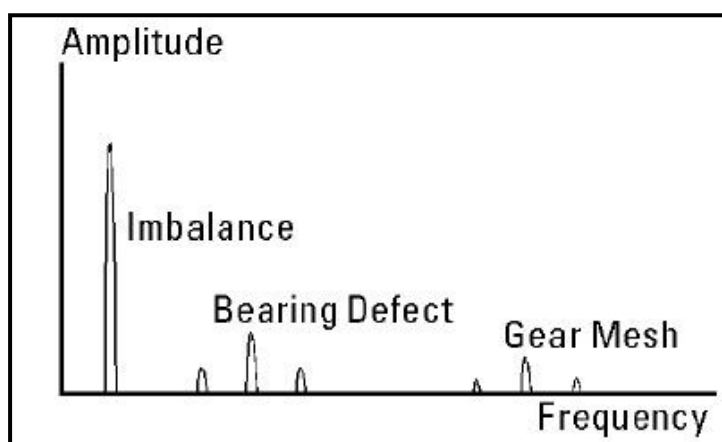
3.5.2 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

การวัดการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็นระยะการเคลื่อนที่ ความเร็ว หรือความเร่งนั้น ขนาดโดยรวมของการสั่นสะเทือน (Overall Value of Vibration) เช่น ค่า Peak to Peak ค่า RMS สามารถใช้บอกสภาพของเครื่องจักรกลได้ แต่ไม่สามารถบอกสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือน เพราะเกี่ยวข้องกับเฉพาะขนาดของการสั่นสะเทือนดังแสดงในรูปที่ 3.20 ขนาดของ Peak to Peak มีค่า 4 mils แต่ไม่ได้บอกถึงการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นที่ความถี่เท่าใด ซึ่งเป็นผลรวมของการสั่นสะเทือนจากหลายๆ สาเหตุ ซึ่งแต่ละสาเหตุจะมีความถี่ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะตัว



รูปที่ 3.20 แสดงการสั่นสะเทือนจากหลายๆ สาเหตุ [20]

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีข้อมูลความถี่อาจแสดงในลักษณะของขนาดกับความถี่ (Amplitude vs Time) หรืออาจจะแสดงในลักษณะของสเปกตรัม (spectrum) ซึ่งเป็นการแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปของขนาดและความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ซึ่งสามารถทราบการสั่นสะเทือนที่เกิดจากสาเหตุใด



รูปที่ 3.21 แสดงการสั่นสะเทือนบน โดเมนความถี่ [21]