ชุดทดลองการลดการสั่นด้วยวิธีการเพิ่มระบบดูดซับแรง
EXPERIMENTAL SET OF PASSIVE VIBRATION ABSORBER

ธนินธร บุญชูวิทย์
ภูชิชย์ ชูเชิด
ภูริชา ตันศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ชุดทดลองการลดการสั่นด้วยวิธีการเพิ่มระบบดูดซับแรง

EXPERIMENTAL SET OF PASSIVE VIBRATION ABSORBER

ธนินธร บุญชูวิทย์

ภูชิชย์ ชูเชิด

ภูริชา ตันศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

EXPERIMENTAL SET OF PASSIVE VIBRATION ABSORBER

Thanintorn Boonchuwit

Puchich Chucherd

Puricha Tansiri

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN MECHANICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองการลดการสั่นด้วยวิธีการเพิ่มระบบดูดซับแรง

EXPERIMENTAL SET OF PASSIVE VIBRATION ABSORBER

ผู้จัดทำ

1. นาย ธนินธร บุญชูวิทย์ รหัสประจำตัว 57010592
2. นาย ภูชิชย์ ชูเชิด รหัสประจำตัว 57010990
3. นาย ภูริชา ตันศิริ รหัสประจำตัว 57011001

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์)

ชุดทดลองการลดการสั่นด้วยวิธีการเพิ่มระบบทุติยภูมิ

นายธนินธร บุญชูวิทย์ 57010592

นายภูชิชย์ ชูเชิด 57010990

นายภูริชา ตันศิริ 57011001

ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

วิธีการลดการสั่นมีมากมายหลายวิธี ที่จะป้องกันไม่ให้เครื่องจักรเสียหายซึ่งหนึ่งในนั้นคือวิธีการ Passive Vibration Absorber วิธีการนี้คือวิธีการที่ป้องกันการเกิดการสั่นพ้อง จากทฤษฎีนี้คณะผู้จัดทำจึงมีการสร้างชุดทดลองเพื่อให้ผู้ที่ต้องการศึกษาได้มีการพิสูจน์ว่าทฤษฎีกับความเป็นจริงเป็นไปในทางเดียวกันหรือไม่ ซึ่งชุดทดลองนี้จะมีต้นกำเนิดการสั่นจากการหมุนของมวลเยื้องศูนย์โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนให้เกิดการหมุน จะเรียกระบบหลักนี้ว่าระบบปฐมภูมิ และมีการใช้ Linear Guide เพื่อเป็นตัวยึดให้ระบบหลักมีการสั่นแค่ในแนวแกนดิ่งเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและทดลอง และในชุดทดลองจะมีมวลและสปริงติดอยู่เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวลดการสั่นหรือระบบทุติยภูมิ และมีการนำ Accelerometer มาเป็นตัววัดค่าการสั่นโดยการหาค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ของระบบหลักและใช้บอร์ด Arduino เป็นตัวประมวลผลความเร่งจากเซนเซอร์ เพื่อนำค่าที่อ่านได้มาใช้คำนวณต่อไป หลังจากมีการออกแบบชุดทดลองและการออกแบบเอกสารประกอบการทดลองแล้วมีการสร้างชุดทดลองขึ้นมา ในการทดลองจะมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆทั้งในระบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะทำให้ได้ผลลัพธ์ต่อระบบหลักต่างกันออกไปมากมาย คือเมื่อเปลี่ยนค่านิจสปริงและมวลของระบบทุติยภูมิให้มีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในช่วงการทำงานจะทำให้ระบบหลักสั่นน้อยลงหรือบางค่าก็สามารถทำให้ระบบหลักเกือบจะหยุดสั่นหรือหยุดสั่นได้ การเปลี่ยนค่ามวลและสปริงของระบบทุติยภูมิให้มีความถี่ธรรมชาติอยู่นอกช่วงการทำงานจะไม่มีผลทำให้ระบบหลักสั่นน้อยลงหรือในบางค่าความถี่อาจจะส่งผลให้มีการสั่นมากขึ้น ซึ่งการทดลองที่สร้างขึ้นมาสามารถบอกได้ว่าผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับทฤษฎี

EXPERIMENTAL SET OF PASSIVE VIBRATION ABSORBER

Mr.Thanintorn Boonchuwit 57010592

Mr.Puchich Chucherd 57010990

Mr.Puricha Tansiri 57011001

Asst.Prof.Dr.Akapot Tantrapiwat Advisor

Year 2017

Abstract

There are many methods to reduce and protect machines from vibration. Vibration absorber is an another approach to protect a device from steady-state harmonic. To put this theory into perspective, we need to conduct an experiment to study and test the passive vibration absorber. Studying creates a model to compare a motion of device by adding and not adding various absorbers. The demonstration represents that absorbers has an effect to devices. The rotating unbalance is an origin of vibration that make by a motor which is a primary system. A linear guide locks the primary system to move on only one axis. Mass and Spring which is a secondary system contacting to the primary. The distance is measured by accelerometer which made by Arduino board. After design, experimental and lab sheets are created. During the experiment, parameters are changed in order to affect to the primary system to create difference results. For example, springs stiffness is changed due to the change in secondary system. Moreover, natural frequency is in working range, so the primary system will be reduced vibration. In some value, the primary system will stop the vibration. In contrast, if the natural frequencies of secondary system is out of working range, the primary system will increase vibration. As stated before, the result of an experiment goes on the same direction.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ความรู้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวัดความเร่งเพื่อมาใช้สอบเทียบเครื่องมือวัด และคุณวธุสร ศิริยากร นักศึกษาคณะวิศวกรรมคอมพิวเตอร์จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างเครื่องมือวัดความเร่ง

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องอุปกรณ์เครื่องมือ คณะเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือคำแนะนำและกำลังใจในการทำงาน สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายธนินธร บุญชูวิทย์

นายภูชิชย์ ชูเชิด

นายภูริชา ตันสิริ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.4 สมมุติฐานของการศึกษา 2
1.5 วิธีการดำเนินงาน 2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำการวิจัย 2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 หลักการของอุปกรณ์ลดการสั่น 3
2.2 การสั่นสะเทือนจากความไม่สมดุลของการหมุน 7
2.3 เครื่องวัดความเร่ง 9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 11
3.1 หลักการและแนวคิด 11
3.2 การออกแบบชุดทดลอง 11
3.2.1 ส่วนของระบบหลัก 12
3.2.2 ส่วนของอุปกรณ์ลดการสั่น 12
3.2.3 ส่วนของอุปกรณ์วัดการสั่น 13
3.2.4 ส่วนของโครงสร้างชุดทดลอง 13
3.3 อุปกรณ์การทดลอง 14
3.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้า 14
3.3.2 Arduino 15
3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สร้างชุดทดลอง 18
3.3.4 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลอง 19

3.4 การหาค่าและคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ 20
3.4.1 การจ่ายไฟและวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ 20
3.4.2 การหาค่านิจสปริง 21
3.4.3 การเขียนโค๊ดควบคุม Arduino 22
3.5 ออกแบบใบงานการทดลอง 23
บทที่ 4 ผลการทดลอง 24
4.1 เอกสารประกอบการทดลอง 24
4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์วัดความเร่ง 33
4.3 ผลการทดสอบชุดทดลอง 33
4.3.1 ตารางผลการทดลอง 34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 37
5.1 สรุปผล 37
5.2 ข้อเสนอแนะ 38
บรรณานุกรม 39
ภาคผนวก 40

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตารางการต่อ Arduino กับหน้าจอ LCD 18

3.2 รูปแบบตารางทดสอบสปริง 22

4.1 ตารางผลการทดลองแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 20 N/m 34

4.2 ตารางผลการทดลองแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 40 N/m 34

4.3 ตารางผลการทดลองแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 60 N/m 35

4.4 ตารางผลการทดลองแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 80 N/m 35

4.5 ตารางผลการทดลองแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง100 N/m 36

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดง Dynamic absorber system 3
2.2 แสดงความถี่ธรรมชาติก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่น 5
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนมวลกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติระบบ 6
2.4ก จำลองการสั่นแบบไม่สมดุล 7
2.4ข แสดง FBD ของระบบในรูป 2.4ก 7
2.5 กราฟระหว่างการตอบสนองเชิงความถี่กับอัตราส่วนความถี่ 9
2.6 โครงสร้างของ Accelerometer 10
3.1 แสดงการยึดติดมอเตอร์ไฟฟ้ากับฉากอลูมิเนียม 12
3.2 แสดงแบบของอุปกรณ์ลดการสั่น 12
3.3 แสดงแบบชุดยึดติดอุปกรณ์ 13
3.4 แสดงแบบการประกอบชุดทดลอง 13
3.5 แสดงแบบอุปกรณ์เมื่อติดตั้งเรียบร้อย 13
3.6 มอเตอร์ไฟฟ้า 14
3.7 Arduino adxl 335 15
3.8 รูปแสดงการต่อ Arduino adxl 335 กับ Arduino uno R3 15
3.9 Arduino uno R3 16
3.10 รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆบน Arduino uno R3 16
3.11 รูปหน้าจอแสดงผล Arduino lcd 16x2 17
3.12 รูปภาพแสดงการต่อ Arduino uno R3 กับ Arduino lcd 16x2 18
3.13 แสดงอุปกรณ์ในการทำชุดทดลอง 19
3.14 แสดงภาพประกอบอุปกรณ์ 20
3.15 รูปภาพแสดง Regulator Power Supply 20
3.16 รูปภาพแสดง non-contact-tachometer 21

บทที่1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การสั่นเป็นการเกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งข้อเสียของการสั่นก็ทำให้เกิดความเสียหายมากมายมีวิธีการมากมายที่จะช่วยลดการสั่นสะเทือน การสั่นที่รุนแรงที่สุดจะมีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อความถี่ธรรมชาติ ตรงกับความถี่ธรรมชาติของระบบ (resonance) ซึ่งจะทำให้เกิดการเสริมกันของแรง อาจส่งผลให้ระบบเกิดการเสียหาย วิธีการลดการสั่นมีมากมายหลายวิธี

Vibration absorber คือ วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดการสั่นได้ โดยการนำระบบทุติยภูมิที่ประกอบไปด้วยชุดมวลและสปริง เข้ามาติดตั้งไว้กับระบบปฐมภูมิ (ระบบที่เกิดการสั่น) เพื่อลดการสั่นไม่ให้เกิดการสั่นพ้องของระบบปฐมภูมิ และในการติดตั้งชุดมวลและ สปริงนั้นจะต้องมีค่าที่เหมาะสมกับระบบปฐมภูมิ มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดการสั่นพ้องได้จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการลดการสั่นจะเปลี่ยนเป็นการเพิ่มการสั่นได้

จากทฤษฎีข้างต้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะทำการสร้างชุดทดลอง Vibration absorber เพื่อให้ได้เห็นภาพจริงศึกษา หลักการทำงานและได้มีการลงมือทำเพื่อเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีบทนี้ ว่าการนำระบบทุติภูมิใส่เข้าไปในระบบปฐมภูมินั้นจะมีผลอย่างไรต่อระบบปฐมภูมิและการใส่ระบบ ทุติยภูมิควรจะมีค่ามวลและค่านิจของสปริงเท่าใดเพื่อที่จะส่งผลให้การสั่นของระบบปฐมภูมิมีค่าน้อยที่สุดและเปรียบเทียบการเลือกค่ามวลและค่านิจของสปริงที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลอย่างไรบ้างกับการสั่นของระบบปฐมภูมิ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อดูว่าตัวแปรใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงาน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการสั่นของระบบทั้งก่อนและหลังการใส่ Vibration absorber

1.2.3 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการลดการสั่นของระบบในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการสั่นแบบเยื้องศูนย์กลางและการลดการสั่นแบบ Vibration absorber

1.3.2 เป็นการศึกษาการสั่นในแนวแกนดิ่งแกนเดียวเท่านั้น

1.3.3 ออกแบบและสร้างชุดทดลองการลดการสั่นแบบ Passive Vibration absorber ซึ่งเกิดจากการสั่นของมวลเยื้องศูนย์

1.4 สมมุติฐานของการศึกษา

ชุดทดลองสามารถนำไปใช้ได้จริงสามารถทำให้ผู้ทดลองเข้าใจเรื่อง Passive Vibration absorber มากขึ้น

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาเรื่อง Passive Vibration absorber

1.5.2 ศึกษาวิธีการวัดค่าการสั่น

1.5.3 ทดสอบและวัดค่าจากชุดทดลอง

1.5.4 เก็บค่าจากการทดลอง

1.5.5 ตรวจสอบความเสถียรของชุดทดลอง

1.5.6 ออกและจัดทำใบงานการทดลอง

1.5.7 สรุปผลและจัดทำรายงานการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำการวิจัย

1.6.1 ได้รับความรู้เรื่อง Passive Vibration absorber

1.6.2 ได้ศึกษาการนำ Arduino มาเป็น Accelometer เพื่อใช้วัดค่าจากการสั่น

1.6.3 นำไปเป็นชุดทดลองให้แก่ผู้ที่ต้องการศึกษา เรื่อง Passive Vibration absorber

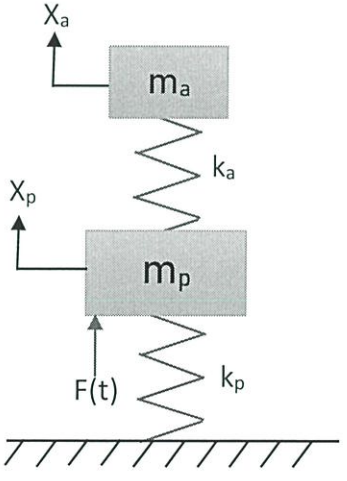
บทที่2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือน (Vibration Absorber)

หลักการของอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือนคือทำการลดการเคลื่อนที่ของมวลในระบบหลักให้เข้าสู่ศูนย์หรือไม่เคลื่อนที่ สมมติว่าระบบหลักเป็น SDOF ซึ่งจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นเข้าไปในระบบทำให้ระบบนี้เปลี่ยนเป็น 2 DOF พิจารณารูปที่ 2.1 โดยกำหนดให้ m_p เป็นมวลของระบบหลัก m_aเป็นมวลของอุปกรณ์ลดการสั่น k_pเป็นความแข็งตึงของสปริงระบบหลัก k_a เป็นความแข็งตึงของสปริงอุปกรณ์ลดการสั่น และ $F_0 sin\omega t$ เป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับมวลของระบบหลัก จากรูปที่ 2.1 จะสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของระบบได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} m_p\ddot{x}_p+k_p x_p+k_a(x_p-x_a)&=F_0\sin\omega t \\ m_a\ddot{x}_a+k_a x_a&=0 \end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}1)$$

สมมติคำตอบที่สภาวะคงตัวอยู่ในรูป $\left.\begin{aligned} x_p(t)&=X_p\sin\omega t \\ x_a(t)&=X_a\sin\omega t \end{aligned}\right\}$ ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 2.1 แสดง Dynamic absorber system

เมื่อแทนคำตอบในสภาวะคงตัว (Steady-State) ในสมการการเคลื่อนที่จะได้

$$\begin{bmatrix} (k_p+k_a-m_p\omega)^2 & -k_a \\ -k_a & (k_a-m_a\omega^2) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_p \\ x_a \end{bmatrix}\sin\omega t=\begin{bmatrix} F_0 \\ 0 \end{bmatrix}\sin\omega t \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อแก้สมการจะได้ขนาดการสั่นของมวลที่สภาวะคงตัวของระบบหลัก

$$X_p = \frac{(k_a - m_a\omega^2)F_0}{(k + k_a - m\omega^2)(k_a - m_a\omega^2) - {k_a}^2} \tag{2-3}$$

และขนาดการสั่นของมวลอุปกรณ์ลดการสั่น

$$X_a = \frac{k_a F_0}{(k + k_a - m\omega^2)(k_a - m_a\omega^2) - {k_a}^2} \tag{2-4}$$

เมื่อต้องการปรับการทำงานของมวลอุปกรณ์ลดการสั่น เพื่อไม่ให้มวลหลักเกิดการเคลื่อนที่เมื่ออยู่ในสภาวะคงตัว ดังนั้นสมการที่ 2-3 จะเข้าสู่ ศูนย์ $(x_p=0)$

$$\therefore\ k_a - m_a\omega^2 = 0 \tag{2-5}$$

ดังนั้นจะได้

$${\omega_a}^2 = \frac{k_a}{m_a} \tag{2-6}$$

พิจารณาเมื่อแรงกระทำมีความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของระบบหลัก

$$\omega^2 = \frac{k_p}{m_p} = {\omega_p}^2 \tag{2-7}$$

ดังนั้น

$$\omega^2 = {\omega_a}^2 = {\omega_p}^2 = \frac{k_p}{m_p} = \frac{k_a}{m_a} \tag{2-8}$$

$$\therefore \quad \left|\frac{X_p k_p}{F_0}\right| = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_a}\right)^2}{\left[1 + \mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right] - \mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2} \tag{2-9}$$

และ

$$\left|\frac{X_a k_p}{F_0}\right| = \frac{1}{\left[1 + \mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right] - \mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2} \tag{2-10}$$

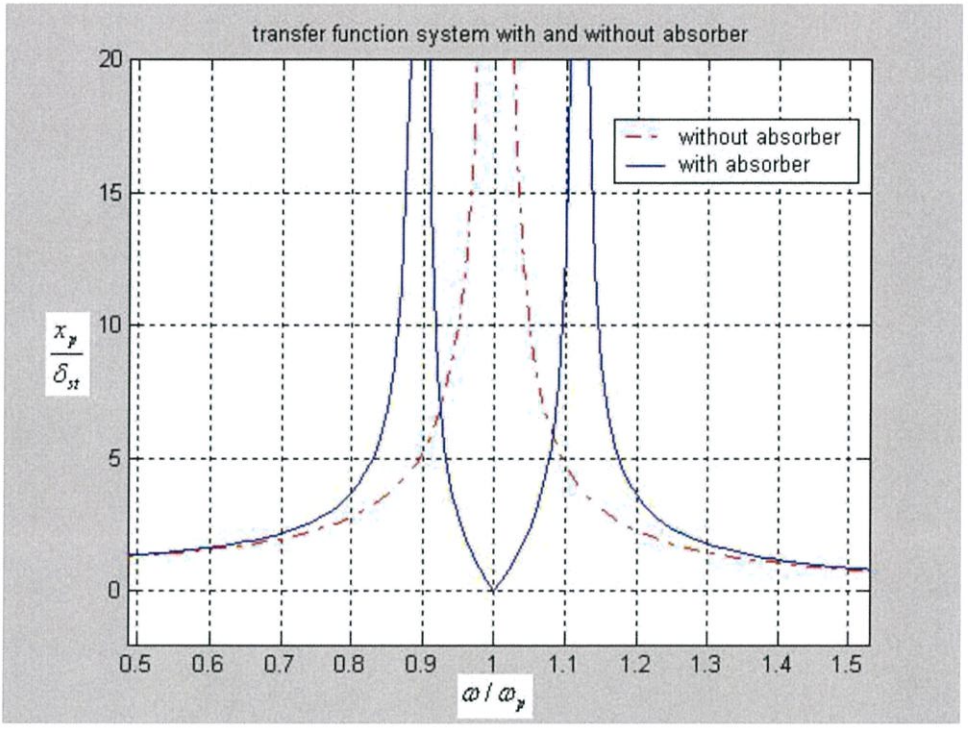
เมื่อให้ $\mu = \frac{m_a}{m}$, $\beta = \frac{\omega_a}{\omega_p}$, $\omega_p = \sqrt{\frac{k_p}{m_p}}$

เมื่อ $x_p = 0$ จากสมการ 2-9 จะได้

$$\frac{X_p k_p}{F_0} = -\frac{k_p}{k_a} \tag{2-11}$$

และ $$x_a = -\frac{F_0}{k_a} \quad (2\text{-}12)$$

สมการที่ 2-12 จะเห็นว่าแรงที่กระทำต่ออุปกรณ์ลดการสั่น มีทิศทางตรงกันข้ามกับระบบหลัก คือ $x_a k_a = -F_0$ ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลหลักมีค่าเป็นศูนย์ตลอดเวลา จึงส่งผลทำให้ระบบหลักไม่เกิดการสั่น เมื่อนำสมการที่ 2-9 และสมการที่ 2-10 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ขนาดการสั่นกับอัตราส่วนความถี่ จะได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความถี่ธรรมชาติก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่น (ภาพจาก Daniel J. Inman. 2014. “Engineering Vibration”. FOURTH EDITION. Michigan: PEARSON [1])

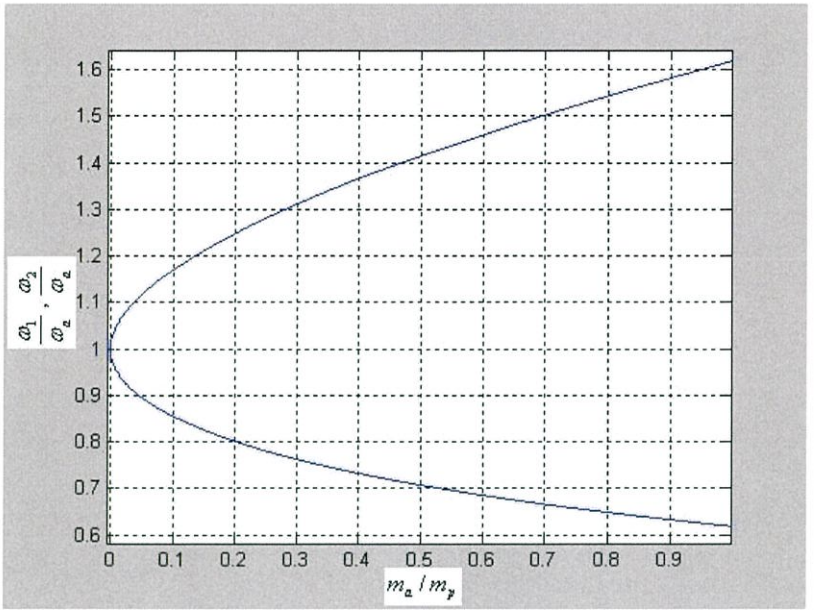
จากรูปเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่น จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติเกิดขึ้นใหม่ 2 ค่า คือ ω_1 และ ω_2 ซึ่งค่า ω_1 และ ω_2 หาได้จากเมื่อเทอมขวามือของสมการที่ 2-9 เท่ากับศูนย์ คือ

$$\left|\frac{X_p k_p}{F_0}\right| = \frac{1-\left(\frac{\omega}{\omega_a}\right)^2}{\left[1+\mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2-\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]-\mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2} = 0 \quad (2\text{-}13)$$

สมการที่ 2-13 มีรากคำตอบ คือ

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_a}\right)^2, \left(\frac{\omega_1}{\omega_a}\right)^2 = \frac{1+\beta^2(1+\mu) \pm \sqrt{\beta^4(1+\mu)^2-2\beta^2(1-\mu)+1}}{2\beta^2} \quad (2\text{-}14)$$

เมื่อนำสมการที่ 2-14 มาเขียนกราฟ จะได้ดังภาพที่ 2-3



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนมวลกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติระบบ (ภาพจาก Daniel J. Inman. 2014. "Engineering Vibration". FOURTH EDITION. Michigan: PEARSON [1])

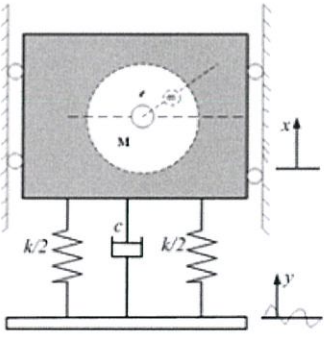
จากรูปที่ 2.2 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นเข้ากับระบบหลัก โดยกำหนดค่า k_a หรือ m_a เพื่อให้ได้ความถี่ธรรมชาติตรงกับความถี่ของระบบหลัก แล้วความถี่ธรรมชาติของระบบหลักจะเปลี่ยนแปลง ทำให้ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก SDOF เป็น 2DOF ทำให้ระบบหลักเกิดความถี่ธรรมชาติขึ้นใหม่สองค่า ที่มีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำกว่าและสูงกว่าค่าความถี่ธรรมชาติเดิม โดย ณ ที่ความถี่ธรรมชาติเดิมมีขนาดการสั่นเป็นศูนย์ รูปที่ 2.3 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติและจะแปรผันไปตามอัตราส่วนของมวล m_a กับ m_pโดยเมื่อกำหนดให้ความถี่อุปกรณ์ลดการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ระบบหลัก ความถี่ธรรมชาติที่ได้ใหม่จะมีช่วงห่างของตำแหน่งความถี่มากขึ้น ถ้าอัตราส่วนมวล ของอุปกรณ์ลดการสั่นต่อมวลของระบบหลักสูงขึ้น และถ้าอัตราส่วนของมวลน้อยลงจะทำให้ช่วงห่างระหว่างความถี่ใหม่ทั้งสองค่าน้อยลง ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ลดการสั่นจะต้องกำหนดความแข็งตึงของสปริงและขนาดของมวลเพื่อให้ได้ระดับความถี่ธรรมชาติของระบบที่เกิดขึ้นใหม่ อยู่นอกช่วงการทำงานของระบบหลัก เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของระบบหลักจากการเกิดการสั่นพ้อง(resonance) จากหลักการควบคุมการสั่นแบบพาสซีพที่ได้กล่าวมานั่นเป็นเพียงทฤษฎีและพื้นฐานการควบคุมการสั่น ทางผู้จัดทำจึงได้ทำทฤษฎีข้างต้นนำมาออกแบบเป็นชุดทดลองเพื่อให้เห็นภาพการทำงานและการตอบสนองของอุปกรณ์ลดการสั่นในการใช้งานจริงเพื่อให้ผู้ศึกษาทดลองได้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

2.2 การสั่นสะเทือนจากความไม่สมดุลจากการหมุน (Rotating unbalance)

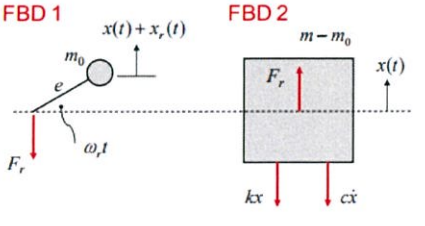
เครื่องจักรกลจำนวนมากทำงานโดยการหมุน ในการหมุนนั้น หากชิ้นส่วนมีความไม่สมดุลจะเกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้น แรงนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในชิ้นส่วนที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง และเป็นต้นเหตุสำคัญของปัญหาการสั่นสะเทือน

ปัญหาการสั่นสะเทือนจากความไม่สมดุล สามารถจำลองได้ด้วยแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.4ก โดยกล่องสี่เหลี่ยมมวล m แทนเครื่องจักรที่เกิดความไม่สมดุล (มวลนี้รวมมวลที่ไม่สมดุลอยู่ด้วย) โดยมวลนี้ถูกรองรับด้วยสปริง และตัวหน่วงการสั่นสะเทือน เช่นเดียวกับระบบการสั่นสะเทือนโดยทั่วไป ส่วนความไม่สมดุลจากการหมุนสามารถแทนได้ด้วยมวล m0 ซึ่งหมุนรอบแกนกลางของเครื่องจักร โดยตำแหน่งที่มีมวลไม่สมดุลติดอยู่เกิดที่ตำแหน่งห่างจากจุดหมุน e (วัดตามแนวรัศมี) ส่วนความเร็วรอบการหมุนคือ ω

รูปที่ 2.4ข แสดง FBD ของระบบในรูป 2.4ก เนื่องจากในที่นี้จะพิจารณาระบบที่เป็น 1 dof ซึ่งมีการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งเท่านั้น รูป FBD นี้จึงแสดงเฉพาะแรงในแนวดิ่ง FBD1 แสดง FBD ของมวลที่ไม่สมดุล m0 แรง Fr เป็นแรงคู่ปฏิกิริยาที่เครื่องจักรกระทำกับส่วนที่ไม่สมดุล ส่วน FBD2 แสดงส่วนของเครื่องจักรโดยไม่รวมมวลที่ไม่สมดุล แรงที่กระทำกับเครื่องจักรประกอบด้วยแรง Fr ซึ่งเป็นผลจากส่วนที่ไม่สมดุลและทำให้เครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือน และแรงเนื่องจากสปริงและตัวหน่วงการสั่นสะเทือน พิกัดที่บอกการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรคือ x(t) ส่วนการเคลื่อนที่ของมวลที่ไม่สมดุล m0 มีผลมาจากทั้งการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรและการเคลื่อนที่ของส่วนที่ไม่สมดุล ดังนั้นการเคลื่อนที่ของมวล m0 จึงเท่ากับ $x(t) + x_r(t)$ จาก FBD 1 จะเขียนสมการแสดงการเคลื่อนที่ได้ดังนี้



รูปที่ 2.4ก มวลสั่นเยื้องศูนย์



รูปที่ 2.4ข แผนภาพอิสระของระบบมวลสั่นเยื้องศูนย์

$$m_0(\ddot{x} + \ddot{x}_r) = -F_r \quad (2\text{-}15)$$

ส่วนจาก FBD2 จะได้สมการดังนี้

$$(m - m_0)\ddot{x} = F_r - c\dot{x} - kx \quad (2\text{-}16)$$

สำหรับค่า x_r จะสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$x_r = e \sin \omega_r t \quad (2\text{-}17)$$

จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2-15)-(2-17) จะได้สมการการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุลดังสมการ

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_0 e\omega_r{}^2 \sin \omega_r t \quad (2\text{-}18)$$

หรือสามารถเขียนในรูปของความถี่ธรรมชาติ และอัตราส่วนการหน่วงได้ดังสมการ

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n{}^2 x = \frac{m_0 e}{m}\omega_r{}^2 \sin \omega_r t \quad (2\text{-}19)$$

และแรงที่กระทำต่อระบบ $m_0 e\omega_r{}^2$

สมการที่ (2-18) หรือ (2-19) อยู่ในรูปแบบของสมการการสั่นสะเทือนแบบบังคับโดยทั่วไป และสามารถใช้

วิธีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วหาคำตอบได้

กำหนดให้ $z(t) = Ze^{j\omega_r t}$ และ $x(t) = Im[z(t)]$ และเขียนสมการการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปเชิงซ้อน จะได้

$$\ddot{z} + 2\zeta\omega_n\dot{z} + \omega_n{}^2 z = \frac{m_0 e}{m}\omega_r{}^2 e^{j\omega_i r} \quad (2\text{-}20)$$

แทนค่า Z(t) ลงในสมการการเคลื่อนที่ในรูปแบบเชิงซ้อน จะได้

$$Z = \frac{m_0 e}{m}\left[\frac{\omega_r{}^2}{\omega_n{}^2 - \omega_r{}^2 + j2\zeta\omega_n\omega_r}\right] = \frac{m_0 e}{m}\left[\frac{r^2}{1 - r^2 + j2\zeta r}\right] \quad (2\text{-}21)$$

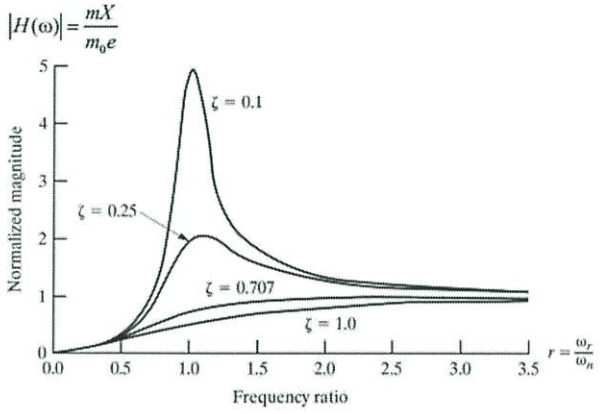
เมื่อ $r = \frac{\omega_r}{\omega_n}$ และให้สมการตอบสนองเชิงความถี่ $H(\omega) = \left[\frac{r^2}{1 - r^2 + j2\zeta r}\right]$ จะได้

$$x(t) = Im[z(t)] = \frac{m_0 e}{m}|H(\omega)| \sin(\omega_r t + \theta) = X \sin(\omega_r t + \theta) \quad (2\text{-}22)$$

และ $$\theta = \tan^{-1}\frac{2\zeta r}{1 - r^2} \quad (2\text{-}23)$$

โดย $$|H(\omega)| = \frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}} \quad (2\text{-}24)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างขนาดการตอบสนองเชิงความถี่ $|H(\omega)|$ กับอัตราส่วนความถี่ r จะได้ดังรูปที่ 2.5 จากกราฟจะพบว่า เมื่อความเร็วรอบการทำงานของเครื่องจักรน้อย ขนาดของการสั่นสะเทือนจาก ความไม่สมดุลจะมีค่าน้อย (เข้าใกล้ 0) ขนาดของการสั่นสะเทือนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบการ ทำงานเข้าใกล้กับความถี่ธรรมชาติของระบบ $r = \frac{\omega_r}{\omega_n} = 1$ และเมื่อความเร็วรอบการทำงานมีค่า มากกว่าความถี่ธรรมชาติมากๆ ค่า $|H(\omega)|$ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 การเพิ่มตัวหน่วงการสั่นสะเทือนจะทำให้ ขนาดการสั่นสะเทือนลดลง

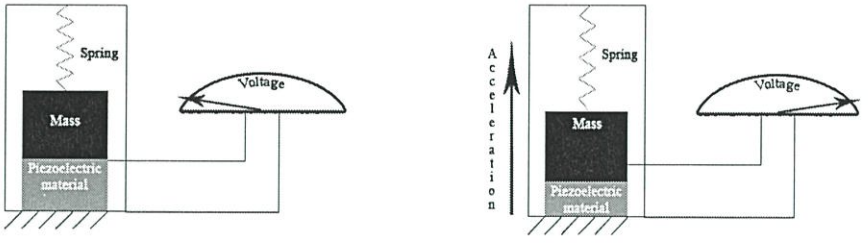


รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างการตอบสนองเชิงความถี่กับอัตราส่วนความถี่

2.3 Accelerometer

คือ เครื่องวัดความเร่ง ของการเคลื่อนที่ของวัตถุ พบได้ในสมาร์ทโฟนทั่วไป เช่น iPhone ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การเขย่าเพื่อเปลี่ยนเพลง หรือการเขย่าตัวเครื่องเพื่อใช้ในการควบคุมการเล่นเกม ทั้งหมดเป็นคุณสมบัติของ accelerometer ที่ติดมาในเครื่อง แปลตรงตัวคือ Acceleration กับ Meter หรือมิเตอร์ความเร่ง จากนิยาม หมายถึง Sensor วัดความเร่งเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง (ในหน่วย m/s^2)

โครงสร้างของ accelerometer จะประกอบด้วยสปริงและลูกตุ้มน้ำหนักเมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งลูกตุ้มน้ำหนักจะถูกกดไปอีกฝั่งตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ สปริงก็ทำหน้าที่ดึงกลับเข้าที่อีกครั้งเมื่อหยุดการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่คือความเร่งเท่ากับศูนย์ ค่าที่วัดได้ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Accelerometer

วิธีการเปลี่ยนค่าความเร่งให้เป็นระยะการกระจัด

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

เมื่อ a คือ ความเร่ง (m/s^2)

ω คือ ความถี่ของระบบ (rad/s)

x คือ ระยะการกระจัด (m)

บทที่3

วิธีการการดำเนินงาน

3.1 หลักการและแนวคิด

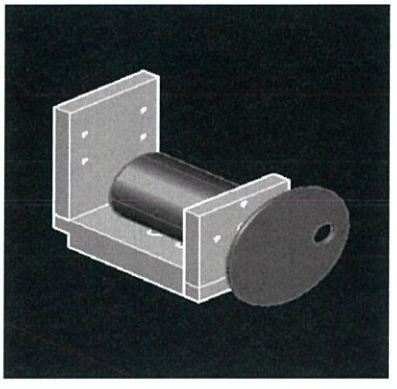
งานวิจัยนี้ได้แนวคิดมาจากลูกตุ้มที่ช่วยลดการสั่นของตึกสูงเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นการทำงานโดยระบบกลไกทั่วไป อุปกรณ์ลดการสั่นแบบ Passive นั้นมีการนำมาประยุกต์ใช้งานมากมายอยู่รอบตัว ผู้วิจัยจึงได้นำมาสร้างเป็นชุดทดลองเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานให้มากขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงาน ขั้นตอนในการออกแบบชุดทดลอง การสร้างชุดทดลองและใบงานประกอบการทดลองของชุดทดลองอุปกรณ์ลดการสั่นแบบ Passive Vibration Absorbers โดยมีแหล่งกำเนิดการสั่นจากมอเตอร์ไฟฟ้ากับมวลเยื้องศูนย์ซึ่งเป็นการสั่นแบบ Rotating unbalance และทำการติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นแบบ Passive Vibration Absorbers เข้าไปในระบบ ส่วนตัวอุปกรณ์ลดการสั่นนั้นจะประกอบไปด้วยมวลและสปริง

3.2 การออกแบบชุดทดลอง

ในการออกแบบชุดทดลองนั้นผู้วิจัยนั้นเริ่มจากการศึกษาทฤษฎี องค์ประกอบ และส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของอุปกรณ์ลดการสั่นแบบ Passive Vibration Absorber จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลกับการสั่นนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ธรรมชาติของระบบหลักหรืออุปกรณ์ที่เกิดการสั่นสะเทือน (Primary system) เช่น แท่นเจาะโลหะ เป็นต้น และความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์ลดการสั่น (Secondary system) ซึ่งจะประกอบไปด้วยระบบมวลสปริง สามารถปรับความถี่ได้โดยการปรับเปรียบมวลหรือสปริงให้เกิดความเหมาะสมกับการใช้งาน การลดการสั่นด้วยวิธี Passive Vibration Absorber นั้นจะถูกจำกัดด้วยความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์ลดการสั่น จะมีเพียงค่าความถี่ช่วงๆหนึ่งเท่านั้นที่สามารถใช้งานได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบชุดทดลองเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานและได้ออกแบบให้มีการคำนวณค่ามวล สปริงของอุปกรณ์ลดการสั่นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในอุปกรณ์ที่มีความถี่ธรรมชาติแตกต่างกันออกไปและเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของระบบจากระยะในการสั่นโดยใช้เครื่องมือวัดความเร่ง Accelerometer ในการออกแบบชุดทดลองทางผู้จัดทำได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน

3.2.1 ส่วนของระบบหลัก

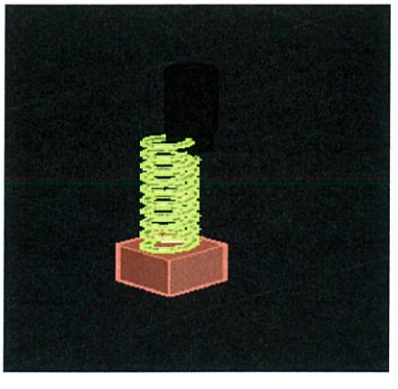
ส่วนของระบบหลักเป็นการจำลองอุปกรณ์ที่เกิดการสั่นระหว่างการใช้งานหรือมีแรงภายนอกมากระทำให้เกิดการสั่น ในส่วนของระบบหลักนั้นเป็นระบบที่ไม่ต้องการให้เกิดการสั่น ผู้วิจัยได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและมวลเยื้องศูนย์เป็นต้นกำเนิดแรงทำให้ระบบเกิดการสั่นดังรูปที่ 3.1 โดยใช้หลักการของ Rotating Unbalance ทำให้สามารถเปลี่ยนแรงและความถี่ธรรมชาติที่มากระทำกับระบบได้ โดยการปรับรอบมอเตอร์หรือปรับน้ำหนักของมวลเยื้องศูนย์ และทำการยึดติดมอเตอร์ด้วยฉากอลูมิเนียม



รูปที่ 3.1 แสดงการยึดติดมอเตอร์ไฟฟ้ากับฉากอลูมิเนียม

3.2.2 ส่วนของอุปกรณ์ลดการสั่น

ส่วนของอุปกรณ์ลดการสั่นจะประกอบไปด้วยมวลและสปริงดังรูปที่ 3.2 ที่เป็นตัวกำหนดความถี่ธรรมชาติ ในการทดลองจะเป็นการคำนวณเพื่อหาสปริงหรือมวล ซึ่งให้ค่าความถี่ธรรมชาติที่เหมาะกับระบบเมื่อนำไปใช้งาน



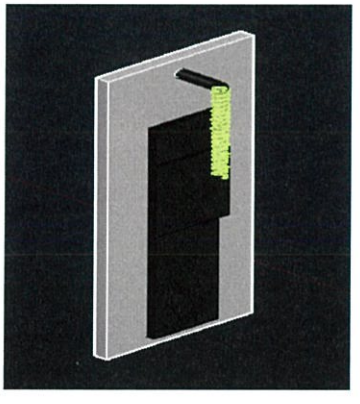
รูปที่ 3.2 แสดงแบบของอุปกรณ์ลดการสั่น

3.2.3 ส่วนของอุปกรณ์วัดการสั่น

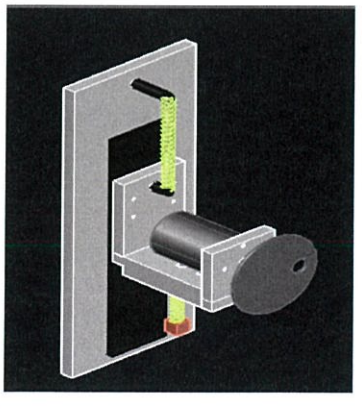
ในส่วนนี้จะใช้การวัดความเร่งของการสั่นแล้วนำมาแปลงเป็นระยะการกระจัดของการสั่นเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของระบบ อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการวัดคือ Accelerometer ทางผู้วิจัยได้เลือกเป็นเป็นชุด Arduino ประกอบไปด้วย Aruino uno R3 (Main board), Aruduino adxl 335 (Accelerometer sensor), และ Arduino lcd 16x2 (Monitor) ซึ่งได้ทำการเขียนโค้ดเพื่อให้แสดงค่าความเร่งหรือระยะออกมา

3.2.4 ส่วนของโครงสร้างชุดทดลอง

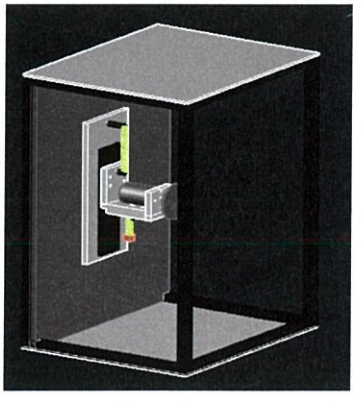
ในส่วนนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เป็นอลูมิเนียมทั้งหมด เนื่องจากเบา ทนทาน แข็งแรง และมีความสวยงาม อลูมิเนียมสามารถตัดขึ้นรูปได้ง่าย และสะดวกในการทำงาน ส่วนของโครงสร้างจะแบ่งหลักๆออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นตัวเรือนยึดติดกับมอเตอร์ไฟฟ้า และส่วนที่เป็นฐานยึดชุด Linear guide และสปริง ดังรูป3.3-3.5



รูปที่ 3.3 แสดงแบบชุดยึดติดอุปกรณ์



รูปที่ 3.4 แสดงแบบการประกอบชุดทดลอง



รูปที่ 3.5 แสดงแบบอุปกรณ์เมื่อติดตั้งเรียบร้อย

3.3 อุปกรณ์การทดลอง

3.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลการทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง (รูปที่ 3.6)

รูปที่ 3.6 มอเตอร์ไฟฟ้า

โครงสร้างมอเตอร์

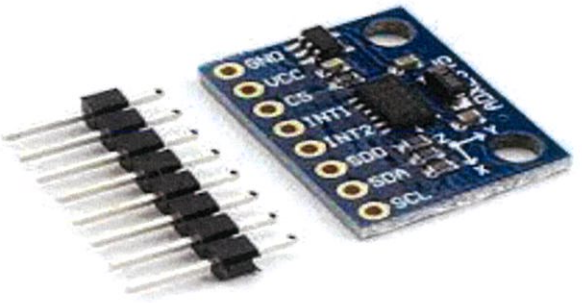
โรเตอร์ ในมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนที่เคลื่อนที่คือโรเตอร์ ซึ่งจะหมุนเพลาเพื่อจ่ายพลังงานกล โรเตอร์มักจะมี ขดลวดตัวนำพันอยู่โดยรอบ ซึ่งเมื่อมีกระแสไหลผ่าน จะเกิดอำนาจแม่เหล็กที่จะไปทำปฏิกิริยากับ สนามแม่เหล็กถาวรของสเตเตอร์ ขับเพลาให้หมุนได้ อย่างไรก็ตามโรเตอร์บางตัวจะเป็นแม่เหล็กถาวรและสเตเตอร์จะมีขดลวดตัวนำสลับที่กัน

สเตเตอร์ จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด

ขดลวด ขดลวดจะพันโดยรอบเป็นคอยล์ ปกติจะพันรอบแกนแม่เหล็กอ่อนที่เคลือบฉนวน เพื่อให้เป็นขั้วแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

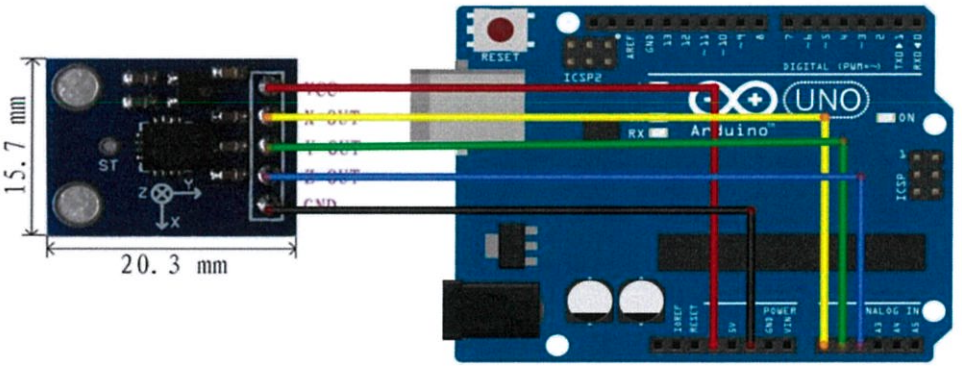
มอเตอร์กระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

3.3.2 Arduino



รูปที่ 3.7 Arduino adxl 335 (ภาพจากเว็บไซต์ arduinoall [2])

GY-61 เป็นโมดูลวัดค่าความเร่ง (Accelerometer) แบบ 3 แกน ใช้ชิพ ADXL335 (รูปที่3.7) จาก Analog Device มีช่วงการวัดน้อยสุดที่ +3g โมดูลทำงานที่ 3.3 ถึง 5 โวลต์ ให้ค่าเอาท์พุตเป็นแรงดันสามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ต่างๆ เช่น Arduino หรือ Raspberry Pi ผ่านทาง AnalogInput เหมาะสำหรับการวัดค่าความเร่งที่คงที่จากการเอียง หรือการวัดความเร่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเคลื่อนไหว การกระแทก หรือการสั่นสะเทือน

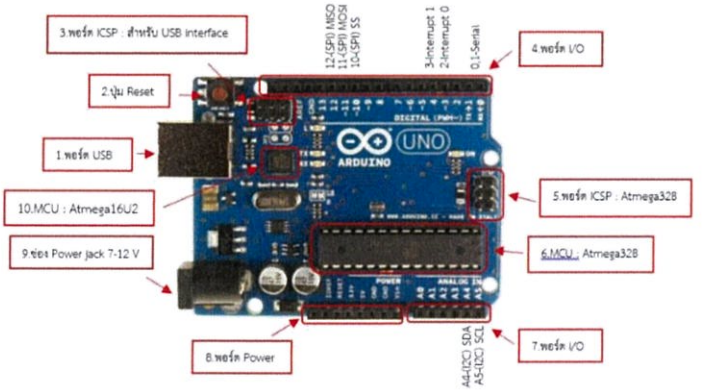


รูปที่ 3.8 รูปแสดงการต่อ Arduino adxl335 กับ Arduino unoR3 (ภาพจากเว็บไซต์ arduinoall [3])

รูปที่ 3.9 Aruino uno R3 (ภาพจากเว็บไซต์ uae.souq.com [4])

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย (รูปที่ 3.9)

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆบน Arduino uno R3 (ภาพจากบทความเรื่องโครงสร้างของบอร์ด Arduino uno r3 [5])

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3. ICSP Port: ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

4. I/O Port Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

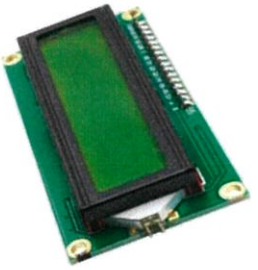
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5

8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2



รูปที่ 3.11 รูปหน้าจอแสดงผล Arduino lcd 16x2 (ภาพจากเว็บไซต์ learningmsp430.wordpress.com [6])

การควบคุมการแสดงผลของจอ LCD (I2C)

ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอ LCD (รูปที่ 3.11) จะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD (I2C) เช่นเดียวกันกับจอ LCD แบบธรรมดา คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในส่วนนี้จะมาพูดถึงจอ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

1.GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD

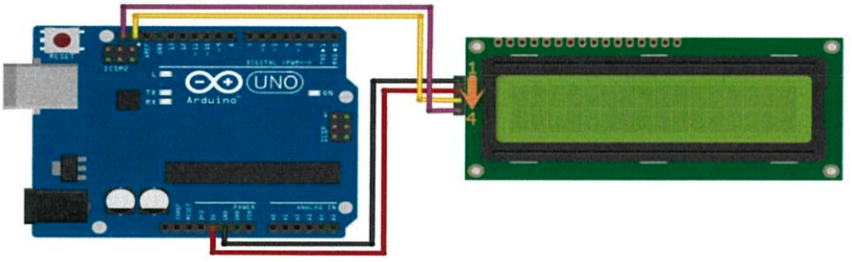
2.VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD มีขนาด +5VDC

3.SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

4.SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I2C BUS

- MCU จะทำการส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัส
- แล้วตามด้วย รหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบ ด้วยรหัส ประจำตัวอุปกรณ์ Device ID, Device Address และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
- เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่า MCU ต้องการจะติดต่อด้วย ก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ได้ส่งมามีความถูกต้อง
- และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่า สิ้นสุดการใช้บัส



รูปที่ 3.12 รูปภาพแสดงการต่อ Arduino uno r3 กับ Arduino lcd 16×2 (ภาพจากเว็บไซต์ arduinoall [7])

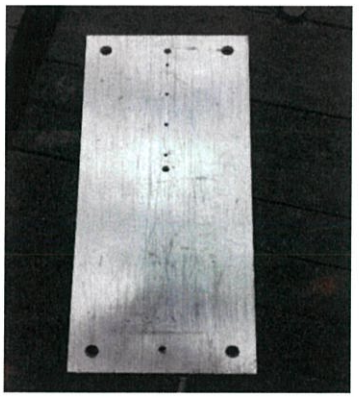
ตารางที่ 3.1 ตารางการต่อ Arduino กับหน้าจอ LCD

Arduino Uno R3	Lcd (l2c)
GND	GND (pin1)
+5VDC	VCC (pin2)
A4 (SDA)	SDA (pin 3 Serial Data)
A5 (SCL)	SCL (pin 4 Serial Clock)

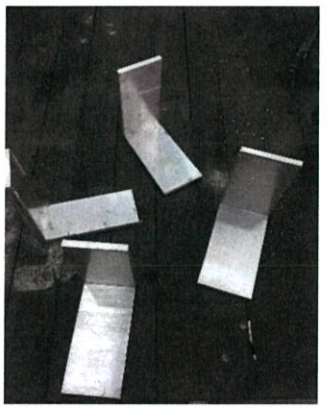
3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สร้างชุดทดลอง

1.แผ่นอลูมิเนียมขนาด $5"\times12"\times\frac{1}{4}"$	1	แผ่น
2.อลูมิเนียนฉากขนาด $4"\times2"\times\frac{1}{4}"$	2	แผ่น
3.สปริงชนิดดึง	2	เส้น

4. Linear guide	1	อัน
5.มอเตอร์ไฟฟ้า 12 V	1	ตัว
6.โบลท์ M6	11	ตัว
7.โบลท์ M3	6	ตัว
8.โบลท์ M2.5	4	ตัว
9.ตู้ใส่ชุดทดลอง	1	ตู้
10. Arduino uno R3	1	ตัว
11.Arduino adxl	1	ตัว
12.Arduino lcd 16×2	1	ตัว



(ก) แผ่นอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน



(ข) ฉากอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับยึดมอเตอร์

รูปที่ 3.13 แสดงอุปกรณ์ในการทำชุดทดลอง

3.3.4 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลอง

1.กัดขอบแผ่นอลูมิเนียมให้ได้ฉาก

2.เจาะรู ทำเกลียวตามตำแหน่งต่างๆตามรูปแบบ

3.ทำการยึดมอเตอร์เข้ากับฉากอลูมิเนียม

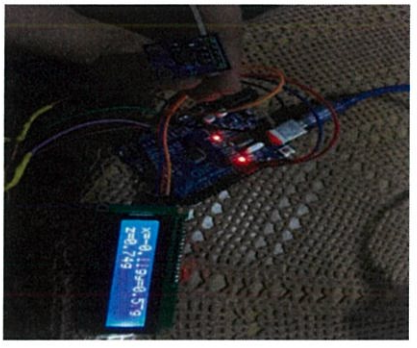
4.นำฉากอลูมิเนียมอีกชิ้นมาประกอบติดกับฉากที่ติดมอเตอร์แล้ว

5.ติดตั้ง Linear guide กับแผ่นอลูมิเนียม

6.นำฉากอลูมิเนียมที่ประกอบเสร็จแล้วมายึดติดกับ Linear guide

7. ติดตั้งชุดสปริงและนำชุดทดลองที่ประกอบเสร็จแล้วประกอบใส่ตู้

(ก) ชุดทดลองการสั่น



(ข) ชุดวัดความเร่ง

รูปที่ 3.14 แสดงภาพประกอบอุปกรณ์

3.4 การหาค่าและคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์

3.4.1 การจ่ายไฟและวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า

ในการจ่ายกระไฟให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า จะใช้ Regulator Power Supply ปรับแรงดันไฟฟ้าได้

รูปที่ 3.15 รูปภาพแสดง Regulator Power Supply (ภาพจากเว็บไซต์ hobbyelec.com [8])

วิธีใช้งาน ปรับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ปุ่มปรับแรงดันซึ่งมีปุ่มปรับหยาบละปรับละเอียดจนได้แรงดันที่ต้องการ ปรับกระแสไฟฟ้า ให้ปรับไว้ประมาณกลางๆลูกบิด โดยค่ากระแสจะเป็นค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องจ่ายแล้วยังสามารถควบคุมแรงดันให้คงที่ได้ โดยการปรับกระแสจะไม่สามารถอ่านค่าได้ จนกว่าจะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้า และหากจ่ายเกินค่าที่ตั้งไว้เครื่องจะทำการตัดวงจรไม่จ่ายแรงดันออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องเสียหาย โดยจะมีสัญญาณเตือนเป็นไฟ CC (Current Limit Cutoff) สว่างขึ้น

ในการวัดจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ จะใช้การวัดโดย มิเตอร์วัดความเร็วรอบแบบไม่สัมผัส non-contact tachometer

รูปที่ 3.16 รูปภาพแสดง non-contact-tachometer (ภาพจากเว็บไซต์ hobbyelec.com [9])

วิธีใช้งาน จับตัวมิเตอร์ให้ปลายนกระบอกยิงแสงส่องไปยังอุปกรณ์ที่จะทำการวัด ในที่นี้ให้ส่องไปที่แผ่นทึบที่ติดกับมอเตอร์เสร็จแล้วให้กดปุ่ม TEST และอ่านค่าความเร็วรอบโดยรอให้ค่านิ่งก่อน สามารถเรียกค่าเก่ามาอ่านใหม่ได้โดยกดที่ปุ่ม MEM

ข้อควรระวัง ปากกระบอกยิงแสงต้องทำมุมประมาณมุมฉากกับพื้นผิวที่จะอ่าน และอยู่ในระยะพอดีกับพื้นผิวที่หมุนอยู่ ประมาณ5-10เซนติเมตร ไม่ควรแกว่งมิเตอร์ไปมา ให้ลำแสงตกกระทบที่เดิมตลอด

3.4.2 การหาค่านิจสปริง

มีขั้นตอนในการทำการทดลองการหาค่านิจของสปริงดังต่อไปนี้

1.นำสปริงที่ใช้ไปผูกปลายข้างหนึ่งไว้กับจุดที่ใช้ยึดให้สปริงห้อยในแนวดิ่ง

2.ทำการวัดความยาวของสปริงขณะที่ไม่มีมวลถ่วงและบันทึกค่า

3.นำมวลที่รู้ค่าจากการชั่งมาถ่วงที่ปลายสปริงด้านล่าง วัดความยาวของสปริงขณะที่มีมวลถ่วง

4.เอาค่าที่ทำการวัดความยาวสปริงทั้ง2ครั้งมาเทียบกันเพื่อที่จะได้รู้ว่าระยะยืดของสปริงมีค่าเท่าใด

5.นำค่าทั้งหมด ไปแทนในสมการ F=kx โดย

F คือ แรงที่กระทำต่อสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

k คือ ค่านิจของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)

x คือ ระยะยืดหยุ่นของสปริง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหลายๆครั้ง โดยการเพิ่มน้ำหนักมวลที่นำไปถ่วง และทำการบันทึกผลการทดลองดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.2 รูปแบบตารางทดสอบสปริง

มวล (kg)	ระยะยืดของสปริง (m)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
			รวม	

3.4.3 การเขียนโค้ดควบคุม Arduino

เนื่องจากมีการใช้เซนเซอร์ (Arduino adxl 335) ร่วมด้วยจึงจำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าของเซนเซอร์ก่อน โดยค่าที่ใช้ได้จะเป็นช่วงของเส้นตรง ตามข้อมูลของอุปกรณ์ จะจ่ายกระแสไฟ +3.3 V ถึง -3.3 V เมื่ออ่านค่าความเร่งได้ +3 g และ -3 g ตามลำดับ จากการทดลองตัวเซนเซอร์นี้พบว่า ที่ 0 g สามารถอ่านค่าออกมาได้เท่ากับ 327 และที่ความเร่ง 1 g สามารถอ่านค่าได้ 391 เพราะฉะนั้นจึง

ต้องมีการปรับเทียบค่าใหม่ กำหนดให้ y เป็นค่าที่ถูกปรับเทียบแล้ว และ x เป็นค่าที่เซนเซอร์สามารถอ่านได้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นสมการเส้นตรง $y=\frac{1}{64}\times(x-327)$ และนำสมการที่ได้ไปเขียนเป็นโค้ดคำสั่ง Arduino

3.5 ออกแบบใบงานการทดลอง

ใบงานการทดลองเป็นส่วนที่ใช้ชี้แจงรายละเอียดต่างๆในการทดลอง เพื่อที่จะทำการทดลองและบันทึกผลให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของชุดทดลอง เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบทดสอบกับผลที่ได้จากทฤษฎี ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง โดยศึกษาดูค่าตัวแปรต่างๆที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์

3.5.2 ออกแบบการทดลองโดยอ้างอิงจากทฤษฎีบทที่ได้ศึกษามา

3.5.3 เลือกค่าตัวแปรที่สามารถควบคุมได้มาเป็นตัวแปรตามในการทดลอง

3.5.4 จัดวางรูปแบบและขั้นตอนของการทดลองให้เข้าใจง่ายต่อผู้ทดลอง

บทที่4

ผลการทดลอง

4.1 เอกสารประกอบการทดลอง

ตัวอย่างรูปแบบเอกสารประกอบการทดลองอุปกรณ์ลดการสั่นด้วยการเพิ่มระบบดูดซับแรง

การทดลอง Passive vibration absorber

ชื่อ.....รหัส..... ...

ชื่อ.....รหัส..... ...

ชื่อ.....รหัส..... ...

ชื่อ.....รหัส..... ...

ชื่อ.....รหัส..... ...

ชื่อ.....รหัส..... .....

1.วัตถุประสงค์

1.ให้นักศึกษาได้ลองลงมือทำการทดลองเพื่อศึกษาทฤษฎี Passive vibration absorber

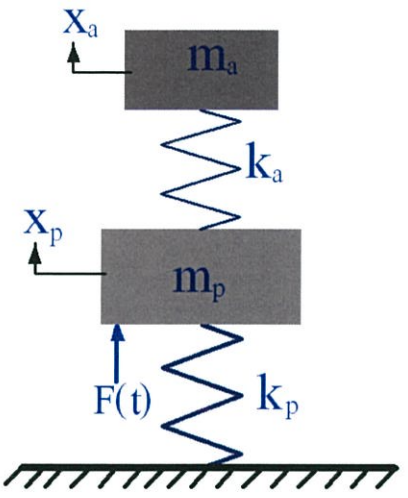
2.ทำให้นักศึกษาได้เห็นภาพจากการทดลองจริงเพื่อให้มีความเข้าใจมากขึ้นว่าPassive vibration absorber มีผลอย่างไรต่อระบบ

3.นักศึกษาสามารถคำนวณหาช่วงของการทำงานของตัว Passive vibration absorber และเลือกมวลกับค่านิจของสปริงที่จะทำให้เกิดการสั่นของระบบหลักน้อยที่สุด

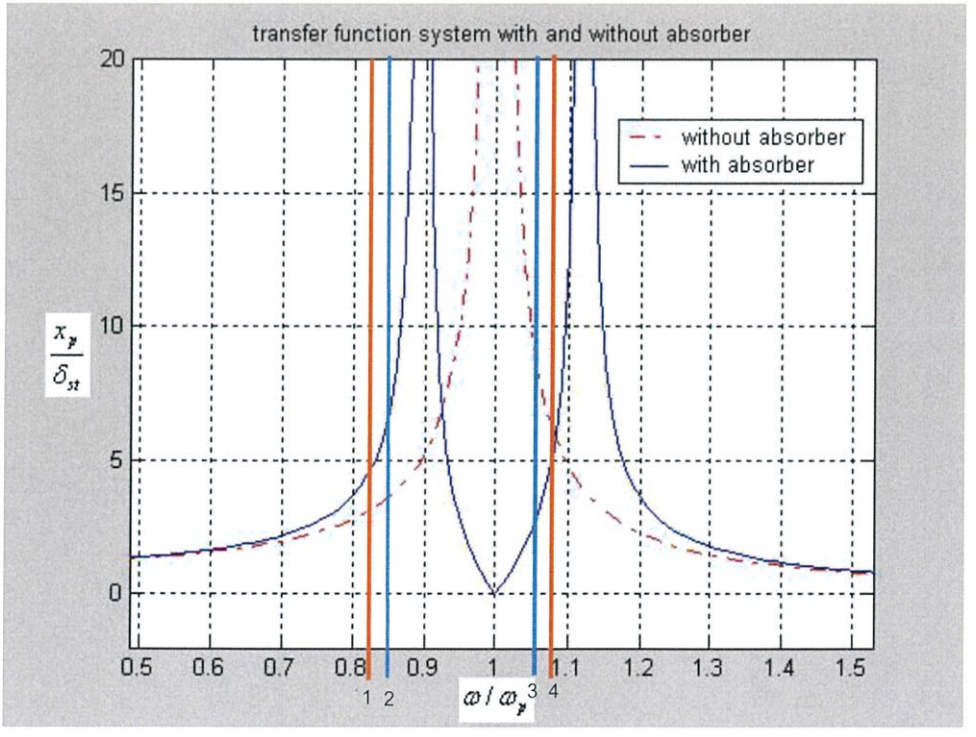
2.ทฤษฎี

Passive vibration absorber คือหนึ่งในวิธีการลดการสั่นที่เกิดขึ้นนิยมใช้กับเครื่องจักรที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่ โดยการเพิ่มระบบมวลและสปริงอีกชุดหนึ่งเข้าไปยังระบบหลัก (รูป) ซึ่งส่งผลให้ระบบที่

เป็น single-degree-of-freedom เปลี่ยนเป็นระบบที่เป็น Two-degree-of-freedom ทำให้ระบบที่เกิดขึ้นใหม่นั้นมี 2 ความถี่ธรรมชาติ



ในการติดตั้ง absorber นั้นจะต้องมีการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบหลักที่จะทำการลดการสั่น หากเลือกค่าที่ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้เกิด *resonance* ขึ้นมาได้ซึ่งอาจทำให้ระบบนั้นเกิดความเสียหายที่รุนแรง ในการทำงานของ *absorber* นั้นจะมีการทำงานเป็นช่วงจำกัด ดังรูป



ที่จุดที่ 1 และ 4 นั้นจะเป็นจุดที่มีโอกาสเป็นความถี่ธรรมชาติของระบบ และค่าความถี่ระหว่างจุดที่ 2 และ 3 เป็นช่วงความถี่ที่ระบบหลักนั้นสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดการเสียหาย และเกิดการสั่นลดน้อยลง

โดยเราสามารถหาค่าที่จุด 2 และ 3 ได้จากสมการ

$$\left|\frac{X_p k_p}{F_0}\right| = \frac{1-\left(\frac{\omega}{\omega_a}\right)^2}{\left[1+\mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2-\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]-\mu\left(\frac{\omega_a}{\omega_p}\right)^2} = 0 \qquad (2\text{-}1)$$

โดยเราจะกำหนดให้ค่า $\left|\frac{X_p k_p}{F_0}\right| = 1$

และเราสามารถหาจุดที่ 1 และ 4 ได้จากสมการ

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_a}\right)^2, \left(\frac{\omega_2}{\omega_a}\right)^2 = \frac{1+\beta^2(1+\mu) \pm \sqrt{\beta^4(1+\mu)^2-2\beta^2(1-\mu)+1}}{2\beta^2} \qquad (2\text{-}2)$$

โดย $\mu=\frac{m_a}{m}$, $\beta=\frac{\omega_a}{\omega_p}$, $\omega_p=\sqrt{\frac{k_p}{m_p}}$, $\omega_a=\sqrt{\frac{k_a}{m_a}}$

เราสามารถหาค่านิจสปริงของ absorber ได้จากสมการ

$$k_a=\frac{F_0}{x_a} \qquad (2\text{-}3)$$

และหาค่ามวลจากสมการ

$$m_a=\frac{k_a}{\omega_a{}^2} \qquad (2\text{-}4)$$

ระบบที่เป็น Rotating unbalance จะทำให้เกิดการสั่นของระบบขึ้นเนื่องจากความไม่สมดุลของน้ำหนักขณะที่เกิดการหมุน ซึ่งแรงที่กระทำต่อระบบนั้นสามารถหาได้จากสมการ

$$F=me\omega^2$$

โดย F คือ แรงกระทำที่เกิดขึ้น *(N)*

m คือ มวลที่ไม่สมดุล *(Kg)*

e คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลไม่สมดุล (*m*)

ω คือ ความถี่ในการหมุน *(rad/s)*

3.อุปกรณ์การทดลอง

1. มิเตอร์วัดความเร็วรอบแบบไม่สัมผัส non-contact tachometer

วิธีใช้งาน : จับตัวมิเตอร์ให้ปลายกระบอกยิงแสงส่องไปยังอุปกรณ์ที่จะทำการวัดในที่นี้ ให้ส่องไปยังด้านหน้าของจานมวลเยื้องศูนย์ที่แปะเทปสีดำไว้ครึ่งหนึ่งเสร็จแล้วให้ กดปุ่ม TEST และอ่านค่าความเร็วรอบโดยอาจจะต้องรอให้ค่านิ่งก่อน เมื่อวัดเสร็จแล้ว สามารถเรียกค่าเก่ามาอ่านใหม่ได้อีกโดยการกดปุ่ม MEM

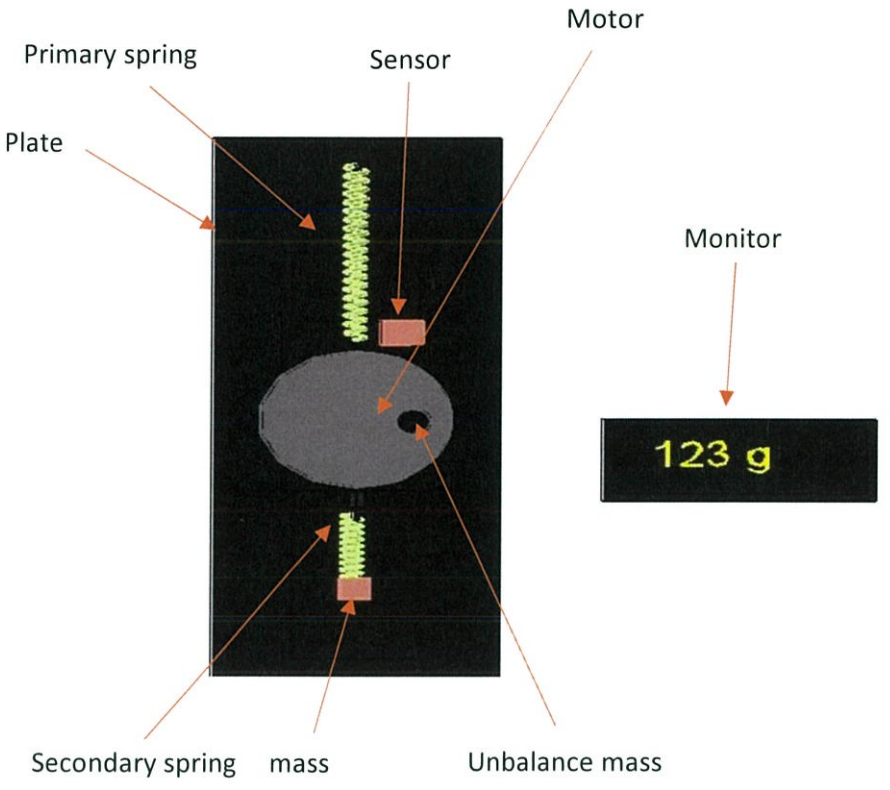
ข้อควรระวัง :ปากกระบอกยิงแสงต้องทำมุมประมาณมุมฉากกับพื้นผิวที่จะอ่าน และอยู่ในระยะพอดีกับพื้นผิวที่หมุนอยู่ (ประมาณ 5-10 cm) ไม่ควรแกว่งมิเตอร์ไปมา ให้ลำแสงตกกระทบที่เดิมตลอด

2. Regulator Power Supply ปรับแรงดันไฟฟ้าได้

วิธีใช้งาน : ปรับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ปุ่มปรับแรงดันซึ่งมีปุ่มปรับหยาบและปรับละเอียด จนได้ระดับแรงดันที่ต้องการ ปรับกระแสไฟฟ้า ให้ปรับไว้ประมาณกลางๆของลูกบิด โดยค่ากระแสจะเป็นค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องจ่ายแล้วยังสามารถควบคุมแรงดันให้คงที่ได้ โดยการปรับกระแสจะไม่สามารถอ่านค่าได้ จนกว่าจะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้า และหากจ่ายเกินค่าที่ตั้งไว้ เครื่องจะทำการตัดวงจรไม่จ่ายแรงดันออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องเสียหาย โดยจะมีสัญญาณเตือนเป็นไฟ CC (Current Limit Cutoff) สว่างขึ้น

ข้อควรระวัง :ห้ามทำการช๊อตขั้วไฟฟ้าเพื่อตั้งค่ากระแส ให้ค่อยๆเพิ่มกระแสขึ้นหากเกิดกรณี CC หรือกระแสจ่ายไปเกินค่าที่ตั้งไว้ และควรหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าหากเกิดการเตือน CC ขึ้นมาไม่ควรแช่ไว้นานเกินไป

3. ชุดทดลองการลดการสั่นแบบพาสซีพ



4.วิธีการทดลอง

1. จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์โดยใช้แรงดันไม่เกิน 12 V
2. เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนให้ทำการจับมอเตอร์ให้นิ่งและใช้ Tachometer ทำการวัดความเร็วรอบตามที่อธิบายไว้ในการใช้ Tachometer แล้วทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้ได้รอบการหมุนของมอเตอร์ตามที่กำหนดไว้
3. เมื่อได้รอบการหมุนตามกำหนดแล้วให้ปล่อยมือเพื่อให้อุปกรณ์เกิดการสั่น
4. เมื่ออุปกรณ์สั่นคงที่แล้ว ให้กดปุ่มค้างจนขึ้นคำว่า “Collect data Please wait” แล้วจึงปล่อยปุ่มและบันทึกค่าความเร่งลงตารางบันทึกผล
5. ปิดแหล่งจ่ายแรงดันโดยคงค่าแรงดันไว้ตำแหน่งเดิม
6. นำสปริงและมวลอีกชุดหนึ่งมาติดไว้กับชุดมอเตอร์
7. เมื่อทำการติดตั้งชุดมวลสปริงเสร็จแล้วให้ทำการเปิดแหล่งจ่ายแรงดัน และทำการใช้ Tachometer วัดรอบการหมุนอีกครั้งตามขั้นตอนที่ 2
8. เมื่ออุปกรณ์สั่นคงที่แล้ว ให้กดปุ่มค้างจนขึ้นคำว่า “Collect data Please wait” แล้วจึงปล่อยปุ่มและบันทึกค่าความเร่งลงตารางบันทึกผล

9. เมื่อทำการบันทึกค่าความเร่งเสร็จแล้วให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 โดยทำการเปลี่ยนสปริงตามที่กำหนดจนครบทุกค่า
10. เมื่อเปลี่ยนสปริงและบันทึกค่าความเร่งจนครบแล้ว ให้ทำการปรับแรงดันไฟฟ้าใหม่เพื่อเปลี่ยนรอบการหมุนให้ได้ตามค่าที่กำหนด และเริ่มทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ค่าตัวแปรที่จำเป็นในการทดลอง

ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลไม่สมดุล (e) = 0.0254 m

ค่านิจสปริงของระบบหลัก (k_p) = 200 N/m

มวลเยื้องศูนย์ (m) = 0.275 Kg

มวลระบบดูดซับการสั่น (m_a) = 0.215 Kg

มวลรวมของระบบหลัก (m_p) = 1.275 Kg

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 20 N/m		
	rev = 85 rpm	rev = 92 rpm	rev = 140 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)			
ความเร่งที่วัดจริง(m/s^2)			
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)			
การกระจัดที่วัดจริง (m)			
การกระจัดจากทฤษฎี (m)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 40 N/m		
	rev = 105 rpm	rev = 130 rpm	rev = 200 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)			
ความเร่งที่วัดจริง(m/s^2)			
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)			
การกระจัดที่วัดจริง (m)			
การกระจัดจากทฤษฎี (m)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 60 N/m		
	rev = 110 rpm	rev = 160 rpm	rev = 200 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)			
ความเร่งที่วัดจริง(m/s^2)			
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)			
การกระจัดที่วัดจริง (m)			
การกระจัดจากทฤษฎี (m)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 80 N/m		
	rev = 110 rpm	rev = 185 rpm	rev = 220 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)			
ความเร่งที่วัดจริง(m/s^2)			
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)			
การกระจัดที่วัดจริง (m)			
การกระจัดจากทฤษฎี (m)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 100 N/m		
	rev = 105 rpm	rev = 205 rpm	rev = 240 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)			
ความเร่งที่วัดจริง(m/s^2)			
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)			
การกระจัดที่วัดจริง (m)			
การกระจัดจากทฤษฎี (m)			
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน			

ทำการคำนวณและแสดงการคำนวณหาค่าช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ตามทฤษฎี

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์วัดความเร่ง

ในการวัดความเร่งของชุดการทดลองนี้ คณะผู้จัดจำได้ทำการเลือกใช้ Arduino adxl 335 accelerometer เป็นอุปกรณ์ในการวัดความเร่งแบบ 3 แกน ก่อนนำมาใช้คณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบอุปกรณ์เพื่อดูค่าความคลาดเคลื่อน จากข้อมูลของอุปกรณ์สามารถวัดได้ในช่วง 3g ถึง -3g โดยจ่ายความต่างศักย์ 3 V ถึง -3 V ในการทดสอบทำการวัดค่าความเร่งจากแกนต่างๆได้ในขณะที่เครื่องมือไม่ได้ตกอยู่ภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ดังนี้ แกน x = 327 แกน y = 327 แกน z = 337 และต่อไปทำการวัดเมื่อเครื่องมือตกอยู่ภายใต้ความเร่ง 1g ดังนี้ แกน x = 64 แกน y = 64 แกน z = 63 จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนสมการเพื่อใช้ในการวัดค่าความเร่งในแกนต่างๆได้ ดังนี้

ความเร่งในแกน x $= \frac{a_x - 327}{64}$ ความเร่งในแกน y $= \frac{a_y - 327}{64}$ ความเร่งในแกน z $= \frac{a_z - 337}{63}$

เมื่อ a_x, a_y, a_z เป็นค่าความเร่งที่เครื่องมือสามารถตรวจจับได้ และค่า x,y,z เป็นค่าความเร่งเป็นจำนวนเท่าของค่าแรงโน้มถ่วง

4.3 ผลการทดสอบชุดทดลอง

ในการทดลองได้มีการวัดการเปลี่ยนแปลงของระบบก่อนและหลังการติดระบบดูดซับการสั่น โดยการเปรียบเทียบจากค่าความเร่งของระบบ และนำค่าความเร่งที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าความเร่งจากทฤษฎี เพื่อหาความคลาดเคลื่อน โดยในการทดลองนั้นได้มีการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆทั้งเป็นค่าตัวแปรคงตัวและค่าตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนค่าได้

ค่าตัวแปรซึ่งกำหนดให้คงตัว คือ

1. มวลของระบบหลักรวมมอเตอร์ 1.275 กิโลกรัม
2. มวลเยื้องศูนย์ 0.275 กิโลกรัม
3. ค่านิจสปริงระบบหลัก 200 นิวตันต่อเมตร
4. ค่ามวลระบบดูดซับการสั่น 0.215 กิโลกรัม

ค่าตัวแปรที่มีการปรับเปลี่ยน คือ

1. ความเร็วรอบของมอเตอร์
2. ค่านิจสปริงของระบบดูดซับการสั่น

4.3.1 ตารางผลการทดลอง

ตารางผลการทดลองที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 20 N/m

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 20 N/m		
	rev = 85 rpm	rev = 92 rpm	rev = 140 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)	0.44	0.73	4.4
ความเร่งที่วัดจริง (m/s^2)	2.6	6.6×10^{-3}	8.9
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)	2.8	6.0×10^{-3}	8.3
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	7.14	10.00	7.23
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)	5×10^{-3}	7×10^{-3}	2.0×10^{-2}
การกระจัดที่วัดจริง (m)	3.2×10^{-2}	8.0×10^{-5}	4.1×10^{-2}
การกระจัดจากทฤษฎี (m)	3.5×10^{-2}	7.3×10^{-5}	3.8×10^{-2}
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	8.60	9.59	7.90

ตารางผลการทดลองที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 40 N/m

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 40 N/m		
	rev = 105 rpm	rev = 130 rpm	rev = 200 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)	2.2	6.6	3.7
ความเร่งที่วัดจริง (m/s^2)	3.8	2.9×10^{-2}	4.4
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)	3.6	2.6×10^{-2}	4.6
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	5.56	11.54	4.35
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)	1.8×10^{-2}	3.5×10^{-2}	8.5×10^{-3}
การกระจัดที่วัดจริง (m)	3.1×10^{-2}	1.6×10^{-4}	9.8×10^{-3}
การกระจัดจากทฤษฎี (m)	2.9×10^{-2}	1.4×10^{-4}	1.1×10^{-2}
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	6.90	14.28	10.90

ตารางผลการทดลองที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 60 N/m

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 60 N/m		
	rev = 110 rpm	rev = 160 rpm	rev = 200 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)	3.9	3.5	3.7
ความเร่งที่วัดจริง (m/s^2)	5.5	5.2×10^{-2}	6.8
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)	5.4	6.1×10^{-2}	6.9
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	1.85	9.84	1.45
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)	2.9×10^{-2}	1.2×10^{-2}	8.0×10^{-3}
การกระจัดที่วัดจริง (m)	4.2×10^{-2}	1.9×10^{-4}	1.5×10^{-2}
การกระจัดจากทฤษฎี (m)	4.0×10^{-2}	2.2×10^{-4}	1.5×10^{-2}
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	5.00	13.63	0.00

ตารางผลการทดลองที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 80 N/m

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 80 N/m		
	rev = 110 rpm	rev = 185 rpm	rev = 220 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)	4.0	3.5	4.1
ความเร่งที่วัดจริง (m/s^2)	8.9	1.1×10^{-1}	8.8
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)	9.1	1.0×10^{-1}	9.4
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	2.20	10.0	6.38
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)	3.0×10^{-2}	9.4×10^{-3}	7.0×10^{-3}
การกระจัดที่วัดจริง (m)	6.6×10^{-2}	2.9×10^{-4}	1.6×10^{-2}
การกระจัดจากทฤษฎี (m)	6.8×10^{-2}	2.8×10^{-4}	1.7×10^{-2}
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	2.94	3.57	5.88

ตารางผลการทดลองที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ค่านิจสปริง 100 N/m

	ค่านิจสปริงระบบดูดซับการสั่น = 100 N/m		
	rev = 105 rpm	rev = 205 rpm	rev = 240 rpm
ความเร่งไม่มีตัวดูดซับ(m/s^2)	2.2	3.8	4.6
ความเร่งที่วัดจริง (m/s^2)	1.0×10	1.4×10^{-1}	1.3×10
ความเร่งจากทฤษฎี(m/s^2)	9.7	1.4×10^{-1}	1.2×10
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	3.09	0.00	7.31
การกระจัดไม่มีตัวดูดซับ (m)	1.8×10^{-2}	8.3×10^{-3}	7.0×10^{-3}
การกระจัดที่วัดจริง (m)	8.2×10^{-2}	3.1×10^{-4}	2.1×10^{-2}
การกระจัดจากทฤษฎี (m)	8.0×10^{-2}	3.1×10^{-4}	2.0×10^{-2}
เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน	2.50	0.00	5.00

บทที่5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ชุดทดลอง Vibration absorber สร้างมาจากอลูมิเนียมแล้วนำมาขึ้นรูป แรงที่ส่งผลให้เกิดการสั่นมาจากมอเตอร์ที่ขับให้มวลเยื้องศูนย์เกิดการหมุนและมีสปริงที่ใช้แขวนมอเตอร์และมี linear guide เป็นตัวบังคับเพื่อให้เกิดการสั่นในแนวดิ่งเพียงแกนเดียว และมีการแขวนสปริงและก้อนมวลเพื่อเป็นระบบทุติยภูมิ(Absorber) เครื่องมือวัดสร้างจากบอร์ด Arduino ที่ต่อเข้ากับเซนเซอร์วัดความเร่งและแสดงค่าออกทางเจอแสดงผล

จากการที่คณะผู้จัดทำได้สร้างชุดทดลอง Vibration absorber เพื่อศึกษาการทำงานของ Absorber ว่ามีผลกระทบต่อระบบปฐมภูมิอย่างไร เมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆทั้งในระบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะทำให้ได้ผลลัพธ์ต่อระบบปฐมภูมิแตกต่างกันออกไปมากมาย คือเมื่อเปลี่ยนค่านิจสปริงและมวลของระบบทุติยภูมิให้มีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในช่วงการทำงานจะทำให้ระบบปฐมภูมิสั่นน้อยลงหรือบางค่าก็สามารถทำให้ระบบหลักเกือบจะหยุดสั่นหรือหยุดสั่นได้ เนื่องจากระบบทุติยภูมิได้มีการดูดซับพลังงานจากระบบปฐมภูมิทำให้ระบบปฐมภูมินั้นมีแอมพลิจูดในการสั่นลดน้อยลงแต่ระบบทุติยภูมินั้นมีแอมพลิจูดในการสั่นมากขึ้น และการเปลี่ยนค่ามวลและสปริงของระบบทุติยภูมิให้มีความถี่ธรรมชาติอยู่นอกช่วงการทำงานจะไม่มีผลทำให้ระบบปฐมภูมิสั่นน้อยลงหรือในบางค่าความถี่อาจจะส่งผลให้มีการสั่นมากขึ้นหรืออาจจะเกิดการสั่นกำทอน (Resonance) ซึ่งจะส่งผลให้ระบบปฐมภูมิมีการสั่นที่รุนแรงที่สุด จากการที่เรานำ Absorber มาช่วยลดการสั่นเพื่อเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้ามอาจจะทำให้เกิดความเสียหายมากกว่าเดิมจากการเลือกใช้ในช่วงการทำงานที่ไม่เหมาะสม

จากชุดทดลองนี้จะสามารถศึกษาพฤติกรรมการสั่นของระบบปฐมภูมิและระบบที่มี Absorber ซึ่งจะทำให้ผู้ศึกษาเห็นภาพจริงและเข้าใจทฤษฎีบทเรื่อง Passive Vibration Absorber ได้มากยิ่งขึ้นว่า Absorber สามารถลดการสั่นหรือทำให้ระบบเสียเกิดความเสียหายได้อย่างไร และสามารถคำนวณหาค่านิจสปริงและมวลของ Absorber ได้อย่างเหมาะสมกับค่าถี่ของระบบปฐมภูมิเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดจากการสั่นได้อย่างถูกต้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากใช้ linear guide ที่มีความยาวและความลื่นมากกว่านี้จะทำให้เห็นผลความแตกต่างของการสั่นมากกว่านี้ หรือหากชุดทดลองมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นก็จะสามารถเห็นผลความแตกต่างได้ชัดเจนและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง อุปกรณ์การวัดถ้ามีความแม่นยำมากขึ้นและสามารถแสดงค่าให้มีการอ่านผลได้ชัดเจนมากขึ้นก็สามารถทำให้การทดลองทำได้ง่ายขึ้นและมีค่าความแม่นยำมากขึ้น

บรรณานุกรม

[1] Daniel J. Inman. 2014. “Engineering Vibration”. FOURTH EDITION. Michigan : PEARSON

[2] Arduino adxl335 [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/HiPydr

[3] Arduino adxl335 กับ Arduino unoR3 [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/DobWpw

[4] Arduino uno R3 [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/qNZQUN

[5] นายอาทิตย์ ภิรมย์กิจ. นายเจษฎาพันธิ์ ชัยปัญญา. 2013. “โครงสร้างของบอร์ด Arduino Uno R3”: https://is.gd/OaSMKR

[6] Arduino lcd 16×2 [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/tBolhF

[7] Arduino uno R3 กับ Arduino lcd 16×2 [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/YxBxsN

[8] Regulator Power Supply [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/FStjYs

[9] non-contact-tachometer [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://is.gd/riPHTi

ภาคผนวก

```
// ------------------------ CONSTANCE PARAMETER ------------------------//
const int xpin = A0;                  // x-axis of the accelerometer
const int ypin = A1;                  // y-axis
const int zpin = A2;                  // z-axis
const int inPin = 7;                 // Set Button Pin at D7
const int debounce = 3;               // Set Debounce
const int numSampleSize = 20;         // Set number of sample for collect data
const int sampleDelay = 1;            //number of milliseconds between reading

// ------------------------------ OFFSET ------------------------------//
const int ZERO_GX = 329;
const int ZERO_GZ = 349;

//zero_G is the reading we expect from the sensor when it detects
//no acceleration.  Subtract this value from the sensor reading to
//get a shifted sensor reading.

//-------------------------------- SCALE ------------------------------//

const int scalexmax = 47;
const int scalezmax = 80;
const int scalexmin = 86;
const int scalezmin = 53;

//scale is the number of units we expect the sensor reading to
//change when the acceleration along an axis changes by 1G.
//Divide the shifted sensor reading by scale to get acceleration in Gs.

//------------------------------ INCLUDE ------------------------------//
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);

//---------------------------- USER VARIABLE ----------------------------//

int button_val, count, readIndex, first_run;
float average, sumData, maxVal;
int x, y, z;
float value_x, value_y, value_z;

//---------------------------- INITIAL PROGRAM ----------------------------//
void setup()
{

  Serial.begin(9600); // initialize the serial communications:
  lcd.begin();
  pinMode(inPin,INPUT);  // set pin to input
  digitalWrite(inPin, HIGH); // turn on pullup resistors

  lcd.print(">__< Welcome to");
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Thanintorn B.");
  delay(1000);
  readIndex = 0;
  first_run = 0;

}


//---------------------------- LOOP PROGRAM ----------------------------//
void loop() {
  x = analogRead(A0);

  //add a small delay between pin readings.  I read that you should
```

```
//do this but haven't tested the importance
delay(1);

y = analogRead(A1);

//add a small delay between pin readings.
delay(1);

z = analogRead(A2);


if(x < ZERO_GX){
  value_x = (float)(x - ZERO_GX)/scalexmin;
} else {
  value_x = (float)(x - ZERO_GX)/scalexmax;
}

if(y < ZERO_GX){
  value_y = (float)(y - ZERO_GX)/scalexmin;
} else {
  value_y = (float)(y - ZERO_GX)/scalexmax;
}

if(z < ZERO_GZ){
  value_z = (float)(z - ZERO_GZ)/scalezmin;
} else {
  value_z = (float)(z - ZERO_GZ)/scalezmax;
}

button_val = digitalRead(inPin); // Read status of Button


if(count >= debounce){  // check debounce on protect form noise
```

```
    sumData = 0;          // Reset summing Data
    first_run = 1;        // set is not first run

    // ---------------  Print Collect data ----------------//
    lcd.begin();
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("Collect Data");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("..Please  Wait..");
    //-------------------------------------------------//

    sumData = sumData + abs(value_x);  // summing data
    if (readIndex == 0){           // Initial max value
      maxVal = abs(value_x);
    }
    else if(abs(value_x) > abs(maxVal)){ // Set max value
      maxVal = abs(value_x);
    }
    readIndex++;
    if (readIndex >= numSampleSize) {     // Done collecting Data
       readIndex = 0;                     // Reset readIndex
       average = sumData / numSampleSize; // Calculate Average
       count = 0;                         // Reset Debounce counter
    }
  }
  else {

    // ----------------- Print First Run -----------------//
    if(first_run == 0){
      lcd.begin();
      lcd.setCursor(2, 0);
      lcd.print("Press Button");
      lcd.setCursor(0, 1);
```

```
      lcd.print("To Collect Data");
    }

    //------------------  Print Data  ------------------//
    else {
      lcd.begin();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("AVG = ");
      lcd.print(average,2);
      lcd.print(" g");
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("MAX = ");
      lcd.print(maxVal,2);
      lcd.print(" g");
    }
    //-------------------------------------------------//

    if(button_val == LOW){ // If button is pressed
      count++;
    }
    else{
      count = 0; // reset debounce counter
    }
  }
    //delay(sampleDelay);


}
```