



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้
ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

Experimental study of the vibration reduction
using vibration absorber

คณะผู้วิจัย

RMUTK - CARIT



นายสิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. ๒๕๕๓

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้
ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

Experimental study of the vibration reduction
using vibration absorber

คณะผู้วิจัย

RMUTK - CARIT



3 2000 00098164 9

นายสิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. ๒๕๕๓

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของสำนักงานวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนในด้านงบประมาณ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ตลอดจนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประสานงานและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย



620.3

ส 234 ก

บทคัดย่อ ค.1

เลขที่ 1368 ค.1
เลขที่ 1368 ค.1
ปี 2557 - 4 ก.ค. 2557

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบไม่มีความหน่วง ภายใต้แรงสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนประกอบด้วยคานสปริงยึดติดกับชุดมวลหลักแบบคานทิลเวอร์โดยมีมวลของตัวดูดซับติดอยู่ปลายคาน การทดลองลดการสั่นสะเทือนได้ทำการทดลองกับแรงฮาร์มอนิกที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz ผลการทดลองพบว่าการลดการสั่นสะเทือนด้วยวิธีดังกล่าวสามารถลดการสั่นสะเทือนได้เป็นอย่างมาก โดยสามารถลดจาก 6.4 mm (RMS) ลงเหลือเพียง 0.05 mm (RMS) ที่ความถี่ 6 Hz และลดจาก 5.7 mm (RMS) เหลือเพียง 0.16 mm (RMS) ที่ความถี่ 11 Hz

คำสำคัญ : Vibration control, Vibration absorber, Dynamic absorber



Abstract

This research studies on the reduction of vibration by using the undamped vibration absorber under the harmonic excitations. The vibration absorber consists of a leaf spring and a mass at the end. The absorber is attached at the main mass. Thus, this can be considered as a cantilevered beam with a mass at the end. The reduction of vibration by the harmonic excitation at the frequency of 6 Hz and 11 Hz are investigated. The results show that the vibration displacements are dramatically reduced from 6.4 mm (RMS) to 0.05 mm (RMS) at the frequency of 6 Hz and reduced from 5.7 mm (RMS) to 0.16 mm (RMS) at the frequency of 11 Hz.

Keywords: Vibration control, Vibration absorber, Dynamic absorber



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง	3
บทที่ 2	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎี	5
บทที่ 3	
3.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง	9
3.2 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	10
3.3 การออกแบบชุดทดลอง	19
3.4 วิธีการทดลอง	24
บทที่ 4	
4.1 ผลการทดลองการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz	26
4.2 ผลการทดลองการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz	36
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	45
บทที่ 5	
5.1 สรุปผลการวิจัย	56
5.2 ข้อเสนอในการวิจัยต่อไป	57

สารบัญ(ต่อ)

เอกสารอ้างอิง
บรรณานุกรม

หน้า

59

60



สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1.1 สะพาน Tacoma Narrows bridge ซึ่งพังทลายลงเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการปะทะของลม	1
รูป 2.1 แผนภาพแสดงหลักการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน	5
รูป 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนอง $\left(\frac{X_1}{\delta_{st}}\right)$ กับอัตราส่วนความถี่ $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)$	7
รูป 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของตัวดูดซับ $\left(\frac{X_2}{\delta_{st}}\right)$ กับอัตราส่วนความถี่ $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)$	8
รูป 3.1 แผนภาพ (Schematic) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	9
รูป 3.2 ชุดดีซีมอเตอร์และแท่นสำหรับรองรับ	10
รูป 3.3 ชุดเฟืองโซ่สำหรับขับเคลื่อนมวลไม่สมดุล	11
รูป 3.4 แผนภาพแสดงขนาดของมวลไม่สมดุล	12
รูป 3.5 มวลไม่สมดุล	12
รูป 3.6 ชุดยึดตัวดูดซับเข้ากับชุดมวลหลัก	13
รูป 3.7 วงจรชุดดีซีมอเตอร์	13
รูป 3.8 คานสปริงสำหรับรองรับมวลหลัก	14
รูป 3.9 คานและมวลของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน	14
รูป 3.10 สเตรนเกจที่ใช้ในการทดลอง	15
รูป 3.11 แผนภาพวงจรประมวลผลสัญญาณ	16
รูป 3.12 ออสซิลโลสโคป Agilent DSO 1004	17
รูป 3.13 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน Rion VM-82	17
รูป 3.14 แผนภาพชุดตรวจวัดความเร็วรอบ	18
รูป 3.15 ชุดตรวจวัดความเร็วรอบติดตั้งอยู่กับชุดมวลไม่สมดุล	18
รูป 3.16 ชุดมวลไม่สมดุลติดตั้งบนคานสปริงแบบปลายยึดแน่นทั้งสองด้าน	19
รูป 3.17 แผนภาพคานแบบปลายยึดแน่นทั้งสองด้าน	20
รูป 3.18 ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนยึดติดกับคานและมวลหลัก	23
รูป 3.19 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูป 4.1 สัญญาณความถี่ธรรมชาติที่ได้จากระบบมวลหลัก (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	26
รูป 4.2 สัญญาณที่ความถี่ 3.21 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	26
รูป 4.3 สัญญาณที่ความถี่ 5.81 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	27
รูป 4.4 สัญญาณที่ความถี่ 6.10 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	27
รูป 4.5 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 6.1 Hz (ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	28
รูป 4.6 สัญญาณที่ความถี่ของการสั่นสะเทือน 6.76 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	28
รูป 4.7 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	29
รูป 4.8 สัญญาณที่ความถี่ 2.91 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	30
รูป 4.9 สัญญาณที่ความถี่ 5.56 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	30
รูป 4.10 สัญญาณที่ความถี่ 5.81 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	31
รูป 4.11 สัญญาณที่ความถี่ 6.10 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	31
รูป 4.12 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 6.10 Hz (ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	32
รูป 4.13 สัญญาณที่ความถี่ 6.41 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	32
รูป 4.14 สัญญาณที่ความถี่ 6.76 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	32
รูป 4.15 สัญญาณที่ความถี่ 7.14 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	33
รูป 4.16 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	35
รูป 4.17 สัญญาณความถี่ธรรมชาติที่ได้จากระบบมวลหลัก (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	36
รูป 4.18 สัญญาณที่ความถี่ 3.60 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	36
รูป 4.19 สัญญาณที่ความถี่ 7.35 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	37
รูป 4.20 สัญญาณที่ความถี่ 10.6 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	37
รูป 4.21 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 10.6 Hz (ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	37

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูป 4.22 สัญญาณที่ความถี่ 12.5 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	38
รูป 4.23 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	39
รูป 4.24 สัญญาณที่ความถี่ 4.3 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	40
รูป 4.25 สัญญาณที่ความถี่ 9.80 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	40
รูป 4.26 สัญญาณที่ความถี่ 10.0 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	41
รูป 4.27 สัญญาณที่ความถี่ 10.6 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	41
รูป 4.28 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 10.6 Hz (ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	42
รูป 4.29 สัญญาณที่ความถี่ 11.6 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	42
รูป 4.30 สัญญาณที่ความถี่ 12.8 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)	42
รูป 4.31 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	44
รูป 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz	45
รูป 4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz	46
รูป 4.34 สัญญาณเปรียบเทียบ (ก) เมื่อไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	46
รูป 4.35 สเปกตรัมความถี่ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	47
รูป 4.36 สัญญาณเปรียบเทียบ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	47
รูป 4.37 สเปกตรัมความถี่ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	48
รูป 4.38 การเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับในทางทฤษฎี	53
รูป 5.1 แผนภาพการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบคานคู่	57
รูป 5.2 ชุดทดลองการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบคานคู่	58
รูป 5.3 แผนภาพการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบสปริงขด	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 คุณสมบัติของแผ่นคานสปริงรองรับมวลหลัก	22
ตาราง 3.2 คุณสมบัติของแผ่นคานสปริงที่รองรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือน	23
ตาราง 4.1 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยไม่ใช่ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6Hz)	29
ตาราง 4.2 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	34
ตาราง 4.3 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยไม่ใช่ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11Hz)	38
ตาราง 4.4 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	43
ตาราง 4.5 สัญญาณที่ความถี่น้อยกว่าและมากกว่าความถี่ธรรมชาติของการสั่น โดยไม่ใช่ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน	49
ตาราง 4.6 สัญญาณที่ช่วงความถี่ต่าง ๆ เมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน	51
ตาราง 5.1 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณกับผลทางทฤษฎี (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)	56
ตาราง 5.2 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณกับผลทางทฤษฎี (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)	56

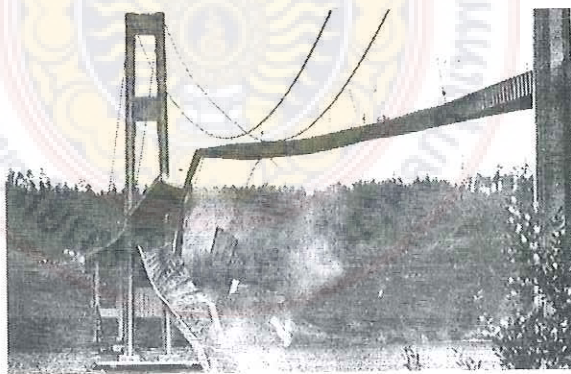


บทที่ 1

การสั่นสะเทือนมักเกิดขึ้นเสมอกับเครื่องจักรกล เช่น มอเตอร์ คอมเพรสเซอร์ หรือเครื่องยนต์ การสั่นสะเทือนเหล่านี้ล้วนส่งผลให้เกิดความเสียหายกับเครื่องจักรกลทั้งสิ้น ดังนั้นการลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องจักรกลหรือโครงสร้างที่รองรับ การลดการสั่นสะเทือนนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่นการออกแบบเครื่องจักรให้มีความสมดุล การแยกแรงสั่นสะเทือน (Isolation) การใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (Vibration absorber) โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วง (Undamped vibration absorber)

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การไม่สมดุลของเครื่องจักรกล (Unbalance) การไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (Misalignment) ของตัวต่อ (Coupling) เป็นต้น การสั่นสะเทือนเหล่านี้อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งานของเครื่องจักรหรือโครงสร้างได้ และหากความถี่ของการสั่นสะเทือนนี้ตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของระบบจะทำให้เกิดปรากฏการณ์สั่นพ้อง (Resonance) ขึ้นซึ่งทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงและก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากดังเช่นที่เกิดกับสะพาน Tacoma Narrow bridge ในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1940 [1]. สะพานแห่งนี้อยู่ภายใต้การปะทะของลมซึ่งก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน (Flow induced vibration) โดยความถี่ของการสั่นสะเทือนนี้ตรงกันกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างจึงทำให้สะพานเกิดการสั่นพ้องและเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงและพังทลายลงในที่สุดหลังจากเปิดใช้ไม่นานดังแสดงในรูป 1.1 โดยสะพานแห่งนี้ได้เปิดใช้เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม ค.ศ. 1940



รูป 1.1 สะพาน Tacoma Narrows bridge ซึ่งพังทลายลงเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการปะทะของลม [1]

และได้พังทลายลงเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน คศ. 1940 หรืออีกเพียง 4 เดือนต่อมา

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงการลดการสั่นสะเทือนซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่นการควบคุมความถี่ของการสั่นสะเทือนไม่ให้เข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของระบบ การลดการส่งผ่านแรงลงสู่ฐานการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไปขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน การใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนมีข้อดีคือสามารถออกแบบให้ใช้ลดการสั่นสะเทือนได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบไปจากเดิมมากนัก หรือมีความยืดหยุ่นในการใช้งานได้มากกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้การออกแบบและสร้างตัวดูดซับการสั่นสะเทือนยังสามารถทำได้ง่าย ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วง (Undamped dynamic absorber) ซึ่งเป็นการประยุกต์หลักการสั่นสะเทือนขั้นพื้นฐานของการสั่นสะเทือนแบบสองระดับขึ้นความเสรี (Two degree of freedom) โดยมุ่งเน้นศึกษาเชิงทดลองถึงความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนตลอดจนศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับการสั่นสะเทือนในทางทฤษฎี และศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับการลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนและศึกษาการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วงภายใต้การสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎี
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสเปกตรัม (Spectrum) ความถี่ของการสั่นสะเทือนก่อนและหลังการติดตั้งตัวดูดซับการสั่นสะเทือน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ลดการสั่นสะเทือนในงานจริง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดทดลองการสั่นสะเทือนที่มีหนึ่งระดับขึ้นความเสรี (Single degree of freedom) และมีการสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างตัวดูดซับการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ
- 1.3.3 ศึกษาทดลองถึงความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนของตัวดูดซับที่ความถี่ต่าง ๆ
- 1.3.4 สรุปผลการศึกษาที่ได้เพื่อหาแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

โครงการวิจัยนี้จะเน้นการทดลองเป็นหลัก ดังนั้นวิธีการดำเนินงานจึงต้องสร้างชุดทดลองซึ่งสามารถสร้างและทดลองได้ ณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้รายงานการวิจัยขั้นพื้นฐานเพื่อเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับชาติ หรือนานาชาติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของดัชนีบ่งชี้ความสำเร็จขององค์กร

1.5.2 ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่สามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้ในการอุตสาหกรรมตลอดจนสามารถออกแบบตัวดูดซับการสั่นสะเทือนอย่างง่ายเพื่อทดลองใช้กับการลดสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกล



บทที่ 2

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนนั้นมีอยู่อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ มีทั้งการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วง (Damped vibration absorber) การลดการสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วง (Undamped vibration absorber) การลดการสั่นสะเทือนภายใต้แรงที่มีหลายความถี่ หรือการออกแบบตัวดูดซับให้มีช่วงการใช้งานกว้างโดยการปรับเปลี่ยนมวลของตัวดูดซับ (Tuned mass) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมการคำนวณขั้นสูงเช่น ANSYS เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วงยังถูกนำไปใช้ในวิชาการทดลองทางวิศวกรรมเครื่องกลในมหาวิทยาลัยในต่างประเทศซึ่งเป็นการทดลองขั้นพื้นฐานเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และศึกษาความถี่ธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไปของระบบเมื่อมีตัวดูดซับการสั่นสะเทือนเข้ามาในระบบ หรือการนำเอาทฤษฎีของตัวดูดซับการสั่นสะเทือนไปจำลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้การโปรแกรม (Animation) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

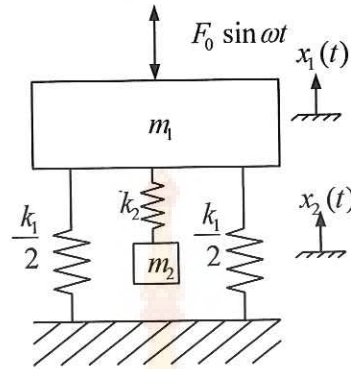
อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศเป็นงานวิจัยเชิงลึกซึ่งต้องใช้โปรแกรมการคำนวณขั้นสูงและอุปกรณ์ที่มีราคาสูงซึ่งมิได้ศึกษาถึงหลักการพื้นฐานที่น่าสนใจเท่าที่ควร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำเอาหลักการพื้นฐานในการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนที่ไม่ควรมองข้ามเพื่อศึกษาให้เห็นถึงความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับโดยเน้นการทดลองและการวิเคราะห์ผลเป็นหลัก นอกจากนี้ยังเป็นการแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับได้อย่างชัดเจนอันจะทำให้เข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการใช้งานจริงต่อไป

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนในประเทศไทยมีพอสมควร เช่นงานวิจัยของเอกพงษ์ ตั้งพัฒนเสรี และวิทยา ยงเจริญ [2]ซึ่งศึกษาการควบคุมแรงส่งผ่าน (Transmissibility) ไปยังพื้นโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบของเครื่องจักรต่าง ๆ ในงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับสามารถลดการสั่นสะเทือนได้มาก นอกจากนี้ตัวดูดซับยังถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับความเร็วรอบการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริง

2.2 ทฤษฎี

หลักการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนนั้นอาศัยหลักการพื้นฐานของการสั่นสะเทือนแบบสองระดับขั้นความเสรี (Two degree of freedom) แบบไม่มีตัวหน่วงดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูป 2.1 แผนภาพแสดงหลักการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

โดยที่ m_1	หมายถึงมวลหลัก (kg)
m_2	หมายถึงมวลของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (kg)
k_1	หมายถึงค่าคงตัวสปริงของมวลหลัก $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$
k_2	หมายถึงค่าคงตัวสปริง (Spring constant) ของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$
F_0	หมายถึงแอมพลิจูด (Amplitude) ของแรง (N)
ω	หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน (Excitation frequency) $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$
ω_1	หมายถึงความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$
ω_2	หมายถึงความถี่ธรรมชาติของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$
X_1	หมายถึงแอมพลิจูดของการกระจัด (Displacements) ของมวลหลัก (m)
X_2	หมายถึงแอมพลิจูดของการกระจัดของตัวดูดซับ (m)
δ_{st}	หมายถึงระยะยัดสถิต (Static deflection) (m)

จากรูป 2.1 ระบบการสั่นสะเทือนที่ไม่มีตัวหน่วงประกอบด้วยมวลหลัก m_1 วางอยู่บนสปริงที่มีค่าคงตัวเท่ากับ k_1 ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนประกอบด้วยมวล m_2 วางอยู่บนสปริงที่มีค่าคงตัวเท่ากับ k_2 ติดตั้งอยู่ที่มวลหลัก ความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.1

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.1)$$

ดังนั้นเมื่อสมมติให้เป็นการสั่นสะเทือนที่มีระดับขึ้นความถี่เท่ากับหนึ่ง ความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} \text{ และความถี่ธรรมชาติของตัวตุลขั้บ } \omega_2 = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}}$$

เมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นได้ว่าระบบการสั่นสะเทือนมีระดับขึ้นความถี่เท่ากับสอง (Two degree of freedom) ดังนั้นอาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน สมการการเคลื่อนที่ของมวล m_1 และ m_2 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ 2.2 และ 2.3

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) = F_0 \sin \omega t \quad (2.2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) = 0 \quad (2.3)$$

ผลเฉลยของสมการ (2.2) และ (2.3) สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.4) และ (2.5)

$$X_1 = \frac{(k_2 - m_2 \omega^2) F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.4)$$

$$X_2 = \frac{k_2 F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.5)$$

พิจารณาสมการ 2.4 จะเห็นได้ว่า X_1 ซึ่งหมายถึงการกระจัดของมวล m_1 ที่ต้องการควบคุมจะมีค่าเท่ากับศูนย์

เมื่อ $\omega^2 = \frac{k_2}{m_2}$ หากความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดสถิตกับแรงและค่าคงตัวแสดงได้ดังสมการ 2.6

$$\delta_{st} = \frac{F_0}{k_1} \quad (2.6)$$

สมการ 2.4 ,2.5 และ 2.6 และสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังสมการ 2.7 และ 2.8

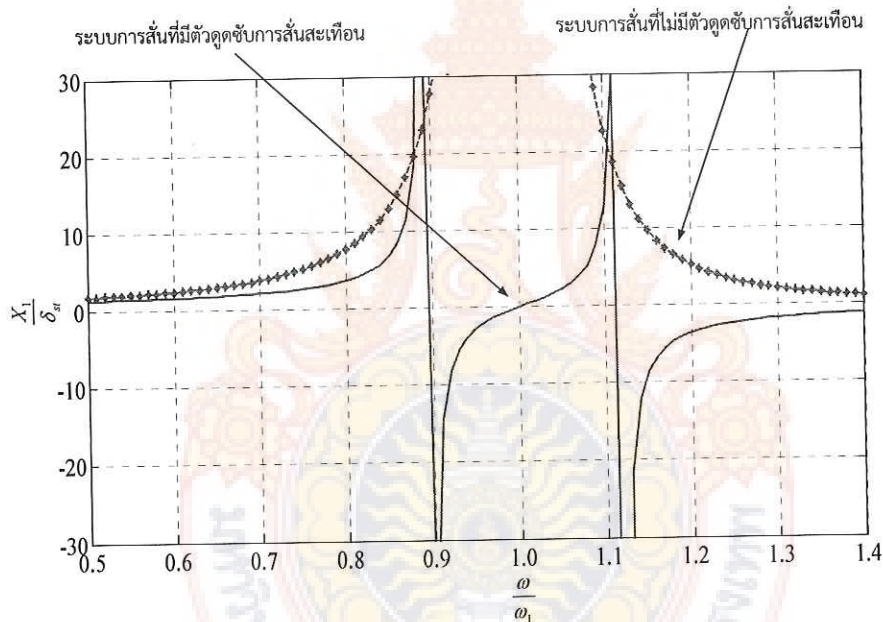
$$\frac{X_1}{\delta_{st}} = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.7)$$

$$\frac{X_2}{\delta_{st}} = \frac{1}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.8)$$

จากสมการ 2.7 และ 2.8 หากออกแบบให้อัตราส่วน $\frac{m_1}{m_2} = 20$ และ $\omega_1 = \omega_2$ แล้วความสัมพันธ์ระหว่าง

ผลตอบสนอง $\frac{X_1}{\delta_{st}}$ กับอัตราส่วนความถี่ $\frac{\omega}{\omega_1}$ สามารถแสดงได้ดังกราฟรูป 2.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอมพลิจูด

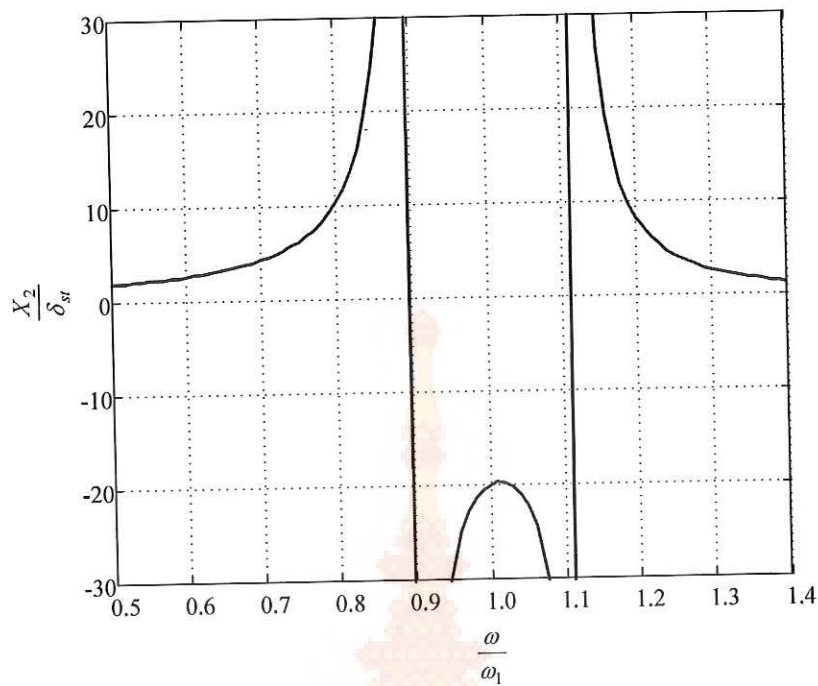
ของการกระตุ้นของระบบที่มีตัวดูดซับจะเท่ากับศูนย์เมื่อ $\frac{\omega}{\omega_1} = 1$ ในขณะที่การกระตุ้นของระบบที่ไม่มีตัวดูดซับนั้นจะมีค่าสูงมากเมื่อ $\frac{\omega}{\omega_1} = 1$ หรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเกิดการสั่นพ้อง (Resonance) ดังนั้นหากต้องการควบคุมการสั่นสะเทือนให้มีแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเท่ากับศูนย์ หรือ $X_1 = 0$ สามารถทำได้โดยการออกแบบให้ค่าความถี่ธรรมชาติของตัวดูดซับมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ของการสั่นสะเทือนหรือ $\omega_2 \approx \omega$ อย่างไรก็ตามจากรูปจะเห็นได้ว่าระบบการสั่นสะเทือนที่ไม่มีตัวดูดซับนั้นจะมีแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนสูงขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติเดิมถึงสองค่าแทนซึ่งหมายถึงจำนวนความถี่ธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากระบบดังกล่าวเป็นระบบการสั่นสะเทือนที่มีสองระดับขั้นความเสรีซึ่งมีความถี่ธรรมชาติสองค่าเช่นกัน ดังนั้นหากออกแบบให้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ที่ต้องการแล้วจะส่งผลทำให้เกิดความถี่ธรรมชาติที่ความถี่อื่นขึ้นใหม่แทนถึงสองค่า ซึ่งหากเครื่องจักรต้องทำงานผ่านความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็จะส่งผลทำให้เกิดการสั่นพ้องและมีแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่สูงขึ้นอีกเช่นกัน



รูป 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนอง $\left(\frac{X_1}{\delta_{st}}\right)$ กับอัตราส่วนความถี่ $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนการตอบสนอง $\left(\frac{X_2}{\delta_{st}}\right)$ ของตัวดูดซับกับอัตราส่วนความถี่ $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)$

สามารถแสดงได้ดังรูป 2.2 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าอัตราส่วนการตอบสนองของ



รูป 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของตัวดูดซับ $\left(\frac{X_2}{\delta_{st}}\right)$ กับอัตราส่วนความถี่ $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)$

มวลหลัก $\left(\frac{X_1}{\delta_{st}}\right)$ ที่ความถี่ $\omega = \omega_1$ หรือ $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right) = 1$ มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่อัตราส่วนการตอบสนองของตัวดูดซับ $\left(\frac{X_2}{\delta_{st}}\right)$ ซึ่งแสดงในรูป 2.3 นั้นไม่เท่ากับศูนย์แต่จะมีค่าสูงแทน นอกจากนี้อัตราส่วนการตอบสนองของตัวดูดซับจะมีค่าสูงที่ความถี่ใหม่อีกสองค่าเช่นเดียวกับมวลหลักซึ่งคือความถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่

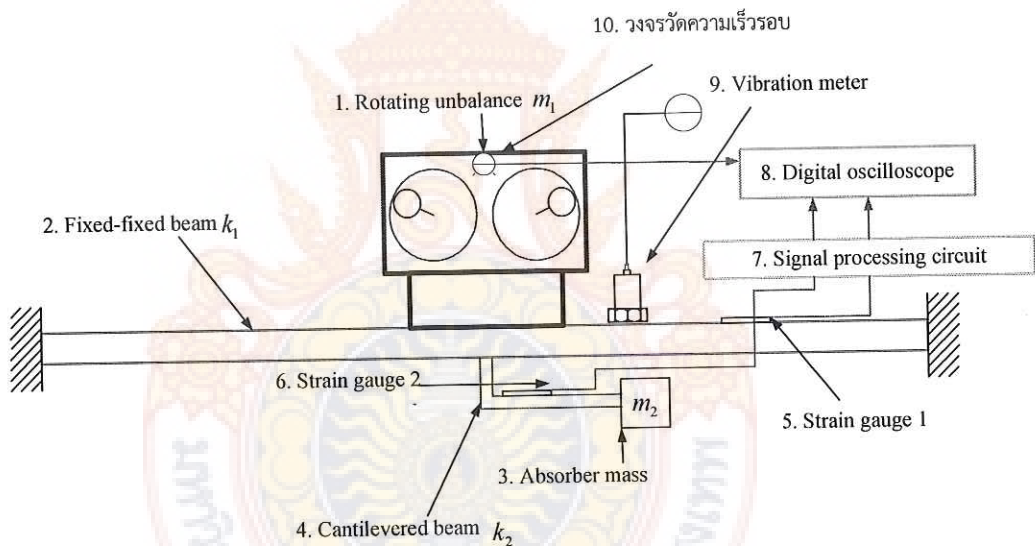
จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นเพียงการคำนวณทางทฤษฎีแสดงในรูปของกราฟ รูป 2.2 และ รูป 2.3 ซึ่งพบว่าหากออกแบบให้ความถี่ธรรมชาติของตัวดูดซับมีค่าเท่ากับความถี่ของการสั่นสะเทือน $\omega_2 = \omega$ แล้วในทางทฤษฎีพบว่าแอมพลิจูดของมวลหลักมีค่าเท่ากับศูนย์ ในขณะที่แอมพลิจูดของตัวดูดซับกลับมีค่ามากอีกทั้งยังมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงสั่นสะเทือน (เนื่องจากมีเครื่องหมายเป็นลบ) ซึ่งทำให้การสั่นสะเทือนของมวลหลักเท่ากับศูนย์หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนได้หมดสิ้น แต่ในทางปฏิบัตินั้นการลดการสั่นสะเทือนด้วยวิธีการดังกล่าวจะได้ผลมาน้อยเพียงไรนั้นยังไม่มีบททดลองศึกษาในรายละเอียดมากนัก ดังนั้นในโครงการนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนโดยเน้นการทดลอง เพื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีวิเคราะห์ทางทฤษฎีพร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์หรือออกแบบตัวดูดซับการสั่นสะเทือนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมจริง

บทที่ 3

งานวิจัยนี้เน้นการทดลองเป็นหลัก โดยออกแบบชุดทดลองที่สามารถให้กำเนิดการสั่นสะเทือนได้ที่มีความถี่ต่าง ๆ จากนั้นทำการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration meter) โดยศึกษาเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของการกระจัดระหว่างการไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนกับการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน สำหรับการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับสามารถศึกษาได้โดยการใช้สเตรนเกจ (Strain gauge) ติดที่สปริงของมวลหลักและติดที่สปริงของตัวดูดซับ จากนั้นศึกษาการเคลื่อนที่โดยใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูป 3.1

3.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

ชุดทดลองดังแสดงในรูป 3.1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้



รูป 3.1 แผนภาพ (Schematic) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลหลักพร้อมกลไกที่ทำให้เกิดการไม่สมดุล (Rotating unbalance) m_1
2. คานสปริงรองรับมวลหลักแบบปลายยึดแน่นทั้งสองด้าน (Fixed-fixed beam) k_1
3. มวลของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน m_2
4. คานสปริงแบบคานทิลเวอร์ (Cantilevered beam) ของตัวดูดซับ k_2

5. สเตอริโอ 1 สำหรับตรวจจับการเคลื่อนที่ของมวลหลัก
6. สเตอริโอ 2 สำหรับตรวจจับการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับ
7. วงจรประมวลผลสัญญาณ (Signal processing circuit)
8. ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital oscilloscope)
9. เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration meter)
10. วงจรวัดความเร็วรอบ

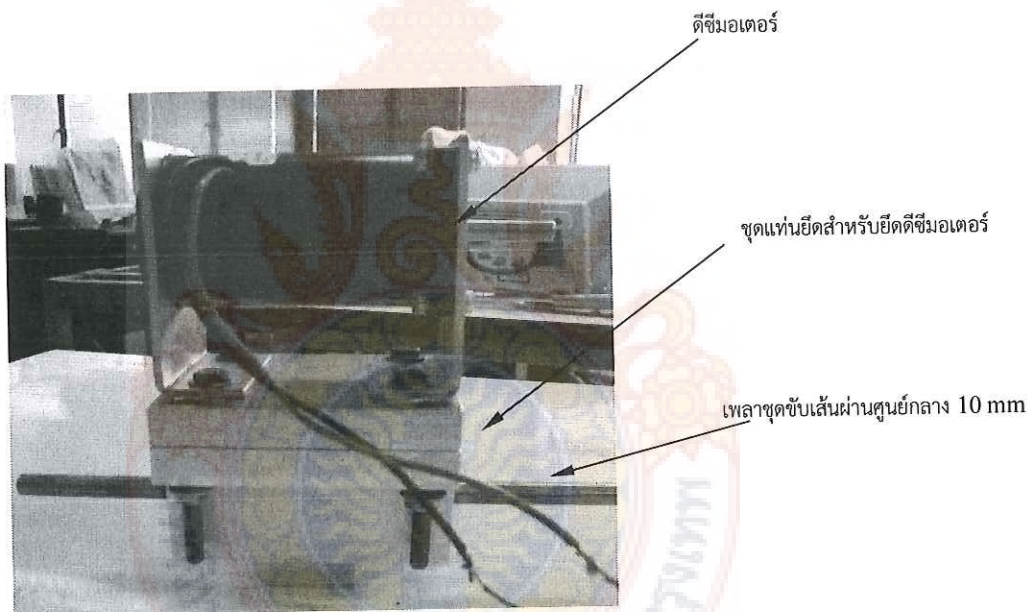
สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของชุดทดลองสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.2 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 มวลหลักพร้อมกลไกที่ทำให้เกิดการไม่สมดุล (Rotating unbalance) m_1 ประกอบด้วย

3.2.1.1 มอเตอร์ดีซี (DC Motor) ความเร็วรอบสูงสุด 9,000 รอบต่อนาที

แกนเพลามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ดังแสดงในรูป 3.2

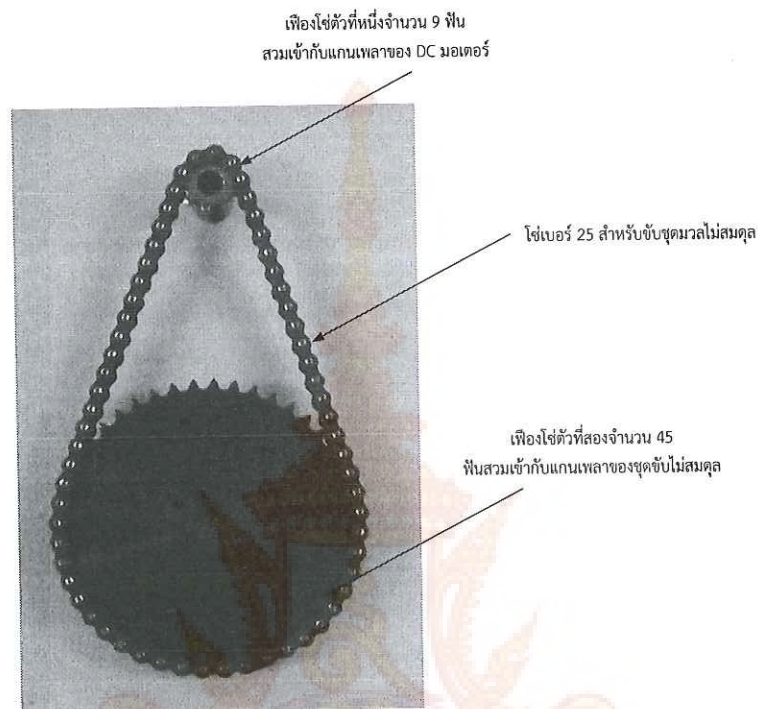


รูป 3.2 ชุดดีซีมอเตอร์และแท่นสำหรับรองรับ

3.2.1.2 ชุดแท่นสำหรับยึดดีซีมอเตอร์ทำจากอลูมิเนียมถูกออกแบบสำหรับยึดจับมอเตอร์กับมวลไม่สมดุลและยึดกับชุดดูดซับการสั่นสะเทือน

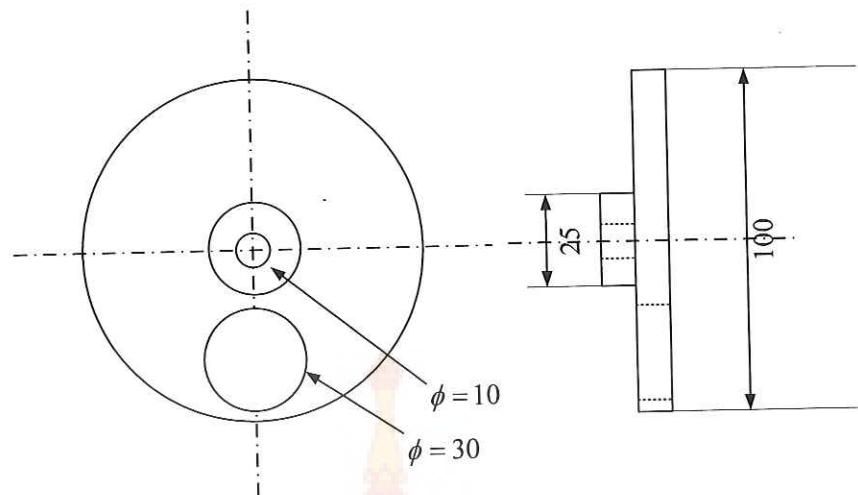
3.2.1.3 ชุดเฟืองทดสำหรับขับมวลไม่สมดุล ประกอบด้วยเฟืองโซ่ 2 ชั้น เฟืองโซ่ชั้นที่หนึ่งมีจำนวนฟัน 9 ฟัน เฟืองชั้นนี้จะถูกสวมให้เข้ากับแกนเพลามอเตอร์ที่มีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ส่วนเฟืองโซ่ชั้นที่สองมีจำนวนฟัน 45 ฟัน ถูกสวมให้เข้ากับแกนเพลลาของชุดมวล์ไม่สมดุลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm เฟืองโซ่ทั้งสองถูกขับเคลื่อนโดยโซ่เบอร์ 25 อัตราส่วนการทดเท่ากับ 5:1 ดังแสดงในรูป 3.3

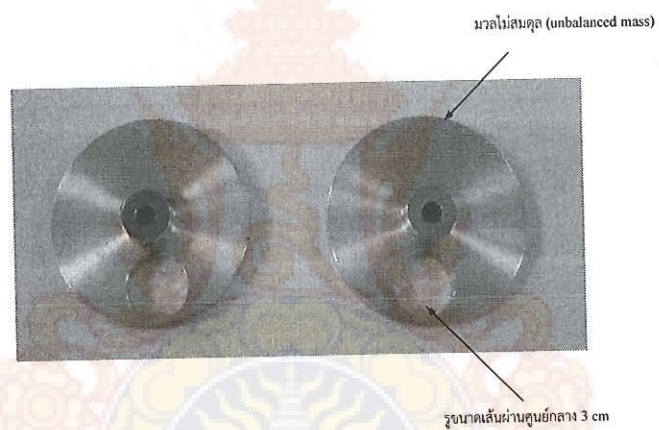


รูป 3.3 ชุดเฟืองโซ่สำหรับขับเคลื่อนมวล์ไม่สมดุล

3.2.1.4 มวล์ไม่สมดุล ในการทดลองนี้ใช้ลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดดังแสดงในรูป 3.4 และ 3.5

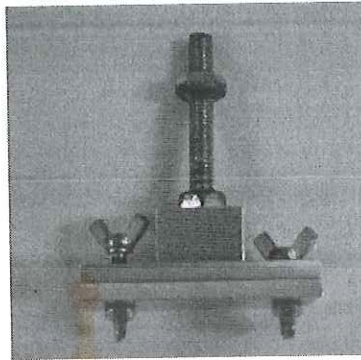


รูป 3.4 แผนภาพแสดงขนาดของมวลไม่สมดุล



รูป 3.5 มวลไม่สมดุล

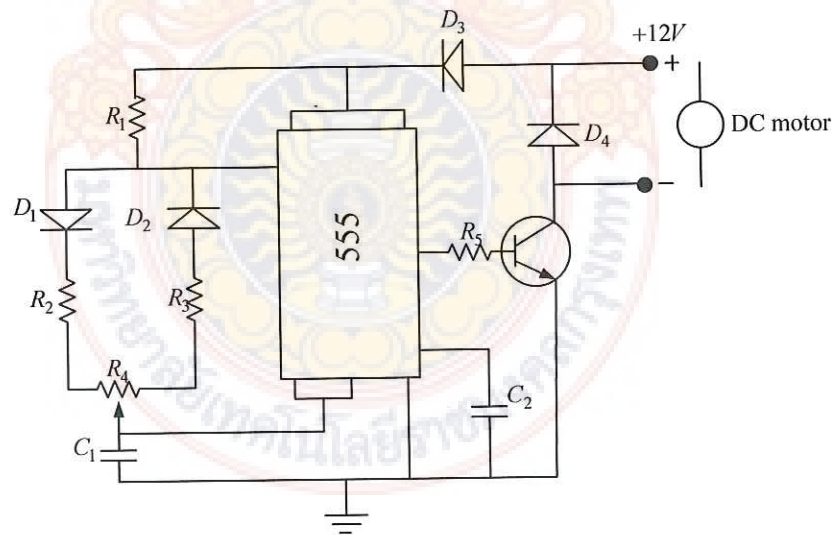
3.2.1.5 ชุดยึดติดตัวดูดซับมีหน้าที่สำหรับยึดติดชุดของตัวดูดซับกับชุดของมวลหลัก



รูป 3.6 ชุดยึดติดตัวดูดซับเข้ากับชุดมวลหลัก

3.2.1.6 ชุดวงจรขับดีซีมอเตอร์

ชุดวงจรขับดีซีมอเตอร์ใช้หลักการควบคุมความเร็วโดยการกำหนดความกว้างพัลส์ที่ไปขับชุดมอเตอร์ หากต้องการความเร็วสูงวงจรจะจ่ายโวลต์ที่มีความกว้างพัลส์มากและที่ความเร็วต่ำวงจรจะจ่ายโวลต์ที่มีความกว้างพัลส์น้อยโดยรายละเอียดของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูป 3.7



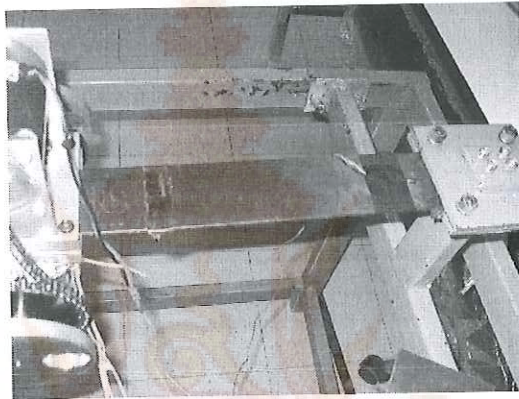
รูป 3.7 วงจรขับดีซีมอเตอร์

3.2.2 คานสปริงรองรับมวลหลักแบบปลายยึดแน่นทั้งสองด้าน (Fixed-fixed beam)

ในการทดลองนี้ใช้แผ่นเหล็กสำหรับยึดติดกับมวลไม่สมดุลทำหน้าที่เหมือนสปริงโดยค่าคงตัวของสปริง (Stiffness) สามารถหาได้ดังสมการ 3.1 ความยาวของแผ่นเหล็กสามารถปรับได้เพื่อใช้สำหรับทดลองการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ

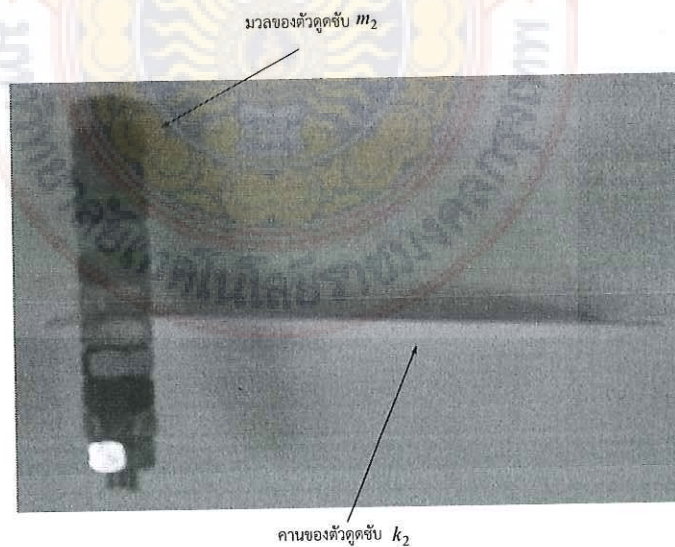
$$k = \frac{192EI}{L^3} \quad (3.1)$$

สำหรับขนาดของแผ่นเหล็กที่ทำหน้าที่เหมือนสปริงจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการทดลอง โดยในการทดลองที่ความถี่ 6 Hz ใช้แผ่นเหล็กหน้ากว้าง 55 mm หนา 2 mm ยาว 62 cm ทำหน้าที่เหมือนสปริงที่รองรับชุดมวลหลัก และใช้เหล็กหน้ากว้าง 50.8 mm (2 in) หนา 3 mm ยาว 62 cm สำหรับทดลองที่ความถี่ 11 Hz ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปคานสปริงสามารถแสดงได้ดังแสดงในรูป 3.8



รูป 3.8 คานสปริงสำหรับรองรับมวลหลัก

3.2.3 มวลของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน m_2



รูป 3.9 คานและมวลของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

ในการทดลองนี้ได้ใช้ Nut ขนาด 3/8 in สวมเข้ากับสกรูขนาด 3/8 in ยึดติดกับสปริงแผ่น ดังแสดงในรูป โดยมวลของตัวดูดซับสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนของ Nut

3.2.4 คานสปริงแบบคานทิลเวอร์ (Cantilevered beam) ของตัวดูดซับ

สปริงของตัวดูดซับใช้สปริงแผ่นที่มีความหนา 0.5 mm กว้าง 50.8 mm (2 in) ยึดติดกับชุดยึดตัวดูดซับแบบคานทิลเวอร์ (Cantilevered beam) ซึ่งชุดยึดตัวดูดซับนี้ถูกออกแบบให้สามารถยึดเข้ากับชุดมวลไม่สมดุลได้ สำหรับความยาวของคานสปริงสามารถปรับได้เพื่อควบคุมความถี่ธรรมชาติของระบบมวล สปริงของตัวดูดซับ โดยค่าคงตัวของสปริงสามารถหาได้ดังสมการ 3.2

$$k = \frac{3EI}{L^3} \quad (3.2)$$

3.2.5 สเตรณเกจสำหรับตรวจจับการเคลื่อนที่ของมวลหลัก (สเตรณเกจ 1)

ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของมวลหลักสามารถทำได้โดยการติดสเตรณเกจที่ปลายคานแบบปลายยึดทั้งสองด้านเพื่อตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนที่ของมวลหลักทั้งนี้เนื่องจากความต้านทานของสเตรณเกจจะเปลี่ยนไปเมื่อมีการยืดหรือหดตัวของสเตรณเกจ ดังนั้นหากมีการเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นสเตรณเกจจะยืดออก ในทางตรงกันข้ามหากมีการเคลื่อนที่ลงจะทำให้สเตรณเกจมีความยาวสั้นลง การยืดหรือหดของสเตรณเกจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน และเมื่อนำสเตรณเกจเข้าวงจรวีธสโตรนบริดจ์ (Wheatstone bridge) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ได้จากวงจรวีธสโตรนบริดจ์ จากนั้นนำสัญญาณมาขยายจะทำให้เห็นสัญญาณการเคลื่อนที่ของมวลหลัก โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สเตรณเกจ TML Type FLA-5-11 ดังแสดงในรูป คุณสมบัติของสเตรณเกจมีความยาวเกจ (Gauge length) เท่ากับ 5 mm ความต้านทาน $120 \pm 3 \Omega$ มีค่าเกจแฟกเตอร์ (Gauge factor) เท่ากับ 2.11 ดังแสดงในรูป 3.10



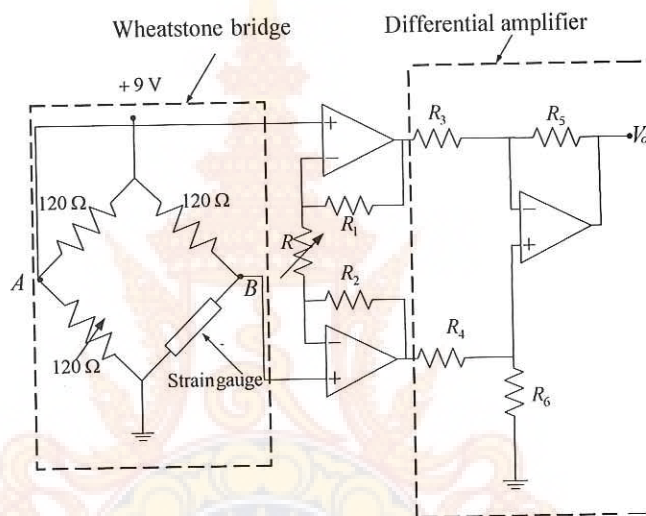
รูป 3.10 สเตรณเกจที่ใช้ในการทดลอง

3.2.6 สเตรนเกจสำหรับตรวจจับการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับ (สเตรนเกจ 2)

ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของตัวดูดซับทำได้เช่นเดียวกับการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมวลหลักโดยการใช้สเตรนเกจที่ติดตั้งแบบคานาทีเลเวอร์ สเตรนเกจที่ใช้เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมวลหลัก

3.2.7 วงจรประมวลผลสัญญาณ (Signal processing circuit)

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.5 และ 3.2.6 มาแล้วนั้นสเตรนเกจจำเป็นต้องใช้วงจรสำหรับประมวลผลสัญญาณที่เกิดขึ้นโดยวงจรที่ใช้สามารถแสดงได้ดังรูป 3.11

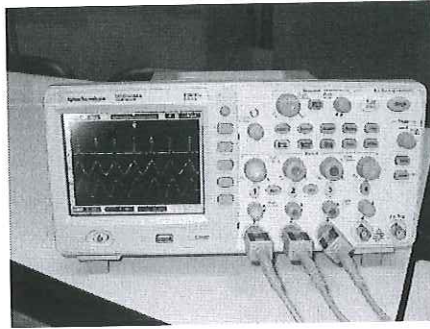


รูป 3.11 แผนภาพวงจรประมวลผลสัญญาณ

วงจรประมวลผลสัญญาณดังแสดงในรูป 3.11 แบ่งออกเป็นสำคัญสองส่วนดังนี้ ส่วนที่หนึ่งคือส่วนของวงจรวีลสโตรนบริดจ์ สเตรนเกจจะถูกนำมาต่อกับวงจรวีลสโตรนบริดจ์หากมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นความต้านทานของสเตรนเกจจะเปลี่ยนแปลงไปทำให้บริดจ์ไม่สมดุล และเกิดแรงดันขึ้นระหว่างจุด A และจุด B ส่วนที่สองคือวงจรขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณ (Differential amplifier) ที่เกิดขึ้นระหว่างจุด A และจุด B

3.2.8 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital oscilloscope)

สัญญาณการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับสามารถวัดได้โดยใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคป Agilent DSO 1004 ดังแสดงในรูป 3.12 เพื่อตรวจจ็บบรูปแบบการเคลื่อนที่หรือเฟส (Phase) ของการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับการสั่นสะเทือน



รูป 3.12 ออสซิลโลสโคป Agilent DSO 1004

3.2.9 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration meter)

เครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้เพื่อทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือน Rion รุ่น VM-82 ตัววัดความเร่ง (Accelerometer) รุ่น PV-57 ค่าความไว (Sensitivity) เท่ากับ $5.1 \frac{\text{mV}}{\text{m/s}^2}$ ดังแสดงในรูป 3.13

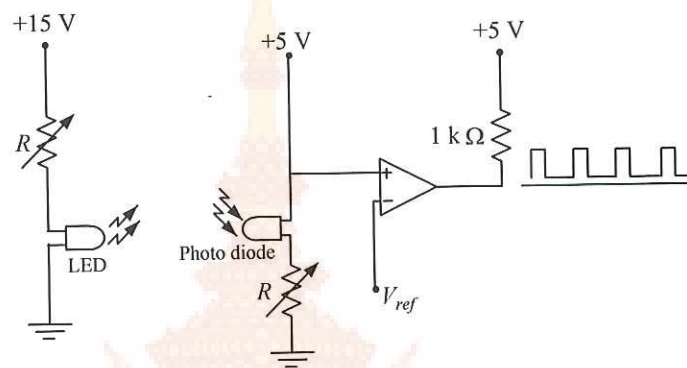


รูป 3.13 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน Rion VM-82

3.2.10 ชุดตรวจวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

ในการตรวจวัดความเร็วรอบของมอเตอร์หรือความถี่ของการสั่นสะเทือนทำได้ใช้ชุดตรวจวัดความเร็วแบบแสงซึ่งประกอบด้วย LED ที่มีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด กับโฟโตไดโอดเพื่อทำหน้าที่ในการตรวจจับความเร็วรอบของเฟืองโซ่ที่ใช้ขับมวลไม่สมดุล หลักการทำงานอาศัยหลักการของโฟโตไดโอดซึ่งให้กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้แสงอินฟราเรดที่ได้จาก LED ส่องกระทบกับแผ่นสะท้อนแสงซึ่งติดอยู่กับชุดเฟืองที่ใช้ขับมวลไม่

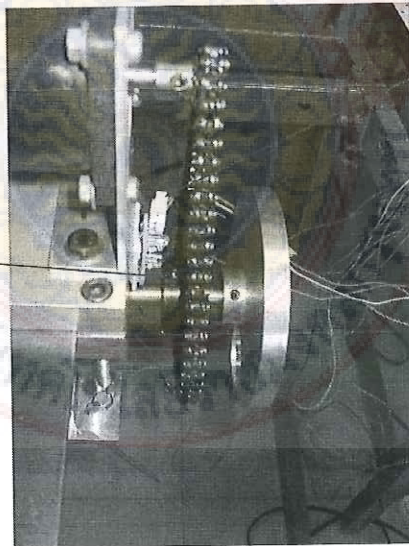
สมดุล เมื่อตำแหน่งซึ่งแผ่นสะท้อนแสงผ่านโฟโตไดโอดจะสะท้อนแสงให้ตกกระทบกับโฟโตไดโอด ส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ออกจากโฟโตไดโอดเปลี่ยนแปลงไปหากกระแสไฟฟ้างกล่าวผ่านความต้านทานจะได้สัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยการนำสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) ดังแสดงในรูป 3.14 จะให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณพัลส์ซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่รอบของการสั่นสะเทือน ชุดตรวจวัดความเร็วรอบจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดขับมวลไม่สมดุลดังแสดงในรูป 3.15



รูป 3.14 แผนภาพชุดตรวจวัดความเร็วรอบ

ชุดตรวจวัดความเร็วรอบ

เพื่องใช้

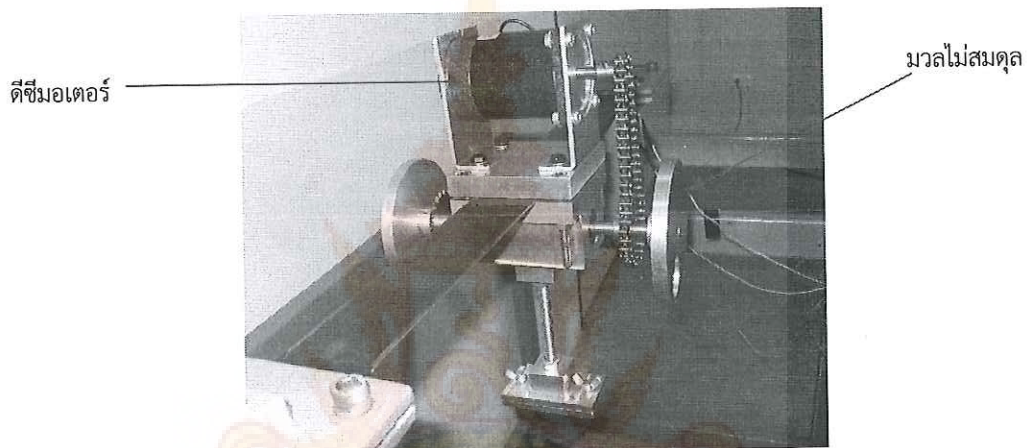


ชุดตรวจวัดความเร็วรอบ

รูป 3.15 ชุดตรวจวัดความเร็วรอบติดตั้งอยู่กับชุดขับมวลไม่สมดุล

3.3 การออกแบบชุดทดลอง

ในการทดลองจะให้มวลไม่สมดุลซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักจานเจาะรูประกบเข้ากับชุดขับมวลไม่สมดุลติดตั้งบนคานรองรับดังแสดงในรูป 3.16 ดังนั้นชุดมวลหลักจะเกิดการสั่นบนแผ่นคานสปริงภายใต้แรงฮาร์มอนิก (Harmonic force) ที่ความถี่ต่าง ๆ ตามความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยชุดคานสปริงพร้อมมวลไม่สมดุลที่ใช้ในการทดลองจะถูกออกแบบให้มีความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักเท่ากับค่าที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) ทั้งนี้เนื่องจากต้องการให้ระบบมวลหลักเกิดการสั่นในแอมพลิจูด (Amplitude) ที่สูงมากพอที่จะศึกษาความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนเมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนได้โดยในการทดลองนี้จะทดลองการดูดซับการสั่นสะเทือนภายใต้แรงฮาร์มอนิก (Harmonic force) ที่ความถี่เท่ากับ 6 Hz และ 11 Hz ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้



รูป 3.16 ชุดขับมวลไม่สมดุลติดตั้งบนคานสปริงแบบปลายยึดแน่นทั้งสองด้าน

3.3.1 การออกแบบขนาดของแผ่นคานรองรับมวลหลัก

ในการทดลองการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz จะต้องออกแบบความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักให้มีค่าเท่ากับ 6 Hz ซึ่งมวลหลักมีมวลเท่ากับ 3.54 kg การยึดแผ่นคานเป็นมวลยึดติดปลายแน่นทั้งสองข้าง (Fixed fixed beam) การหาความถี่ธรรมชาติสามารถหาได้โดยใช้สมการ $\sqrt{\frac{k}{M}}$

$$M = m + m_{eff} \quad (3.3)$$

โดยที่ M หมายถึงมวลรวมทั้งหมดของระบบ

m หมายถึงมวลของมวลหลัก (3.54 kg)

m_{eff} หมายถึงมวลยังผล (Effective mass) ในกรณีที่น่ามวลของคานสปริงมาใช้ในการคำนวณโดยมวลยังผลนี้สามารถหาได้โดยใช้หลักการพลังงานของเรเลย์ (Rayleigh's energy method) ดังสมการ 3.4

1368

สิริพงศ์ เจริญชัยมงคล

การศึกษาเชิงทดลองการลดการสั่น
สะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน :
รายงานการวิจัย โครงการวิจัยเรื่อง/ .สิ ...

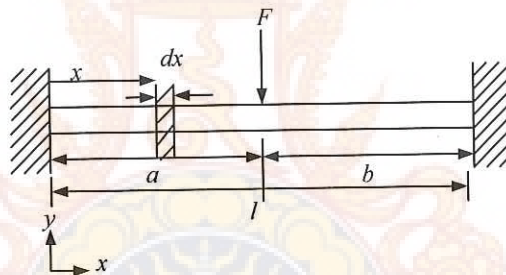
$$dT_s = \frac{1}{2} \left(\frac{m_s}{l} dx \right) \dot{y}^2 \quad (3.4)$$

โดยที่ T_s	หมายถึงพลังงานจลน์ของคานสปริง	J
m_s	หมายถึงมวลของคาน	kg
l	หมายถึงความยาวของคาน	m
y	หมายถึงระยะโก่ง (Deflection) ของคานที่ตำแหน่งใด ๆ	m
$\dot{y}$	หมายถึงความเร็วของคานสปริงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของคานสปริง	$\frac{m}{s}$
x	หมายถึงระยะตำแหน่งจากจุดเริ่มต้น	m

สำหรับสมการการโก่งของคาน (Deflection of beam) ในกรณีที่เป็คานปลายยึดแน่นทั้งสองด้านดังแสดงในรูป 3.17 สามารถหาได้ดังสมการ 3.5

$$y(x) = \frac{Pb^2x^2}{6EI^3} [3al - x(3a+b)] \quad 0 \leq x \leq a \quad (3.5)$$

E	หมายถึง Young's Modulus	$\frac{N}{m^2}$
I	หมายถึง Moment of Inertial of area	m^4



รูป 3.17 แผนภาพคานแบบปลายยึดแน่นทั้งสองด้าน

ตำแหน่งที่มีการโก่งสูงสุดคือตำแหน่งที่กึ่งกลางคาน, $\frac{l}{2}$

ดังนั้น $y_{max} = \frac{Pl^3}{192EI} \quad (3.6)$

โดยที่ y_{max}	หมายถึง ระยะโก่งสูงสุดของคาน	
E	หมายถึง Young's Modulus	$\frac{N}{m^2}$

ระยะโก่งที่ตำแหน่งใด ๆ สามารถแสดงได้ดังสมการ 3.7

$$y(x) = \frac{8y_{max}x^2}{l^3} \left[3\frac{l}{2} - 2x \right] \quad (3.7)$$

ความเร็วของคานสปริงที่ตำแหน่งใด ๆ $\dot{y}(x)$ สามารถแสดงได้ดังสมการ 3.8

$$\dot{y}(x) = \frac{8\dot{y}_{\max}x^2}{l^3} \left[3\frac{l}{2} - 2x \right] \quad (3.8)$$

$$T_s = 2 \int_0^{l/2} \frac{1}{2} \dot{y}^2 dm = 2 \frac{m_s}{l} \int_0^{l/2} \dot{y}^2 dx \quad (3.9)$$

แทนสมการ 3.8 ลงในสมการ 3.9 จะได้สมการ 3.10

$$\begin{aligned} T_s &= 2 \int_0^{l/2} \frac{1}{2} \dot{y}^2 dm = 2 \frac{m_s}{l} \frac{1}{2} \left(\frac{8\dot{y}_{\max}}{l^3} \right)^2 \int_0^{l/2} \left(\frac{3lx^2}{2} - 2x^3 \right)^2 dx \\ T_s &= \frac{m_s}{l} \left(\frac{8\dot{y}_{\max}}{l^3} \right)^2 \int_0^{l/2} \left(\frac{3lx^2}{2} - 2x^3 \right)^2 dx \\ T_s &= \frac{m_s}{l} \left(\frac{8\dot{y}_{\max}}{l^3} \right)^2 \left(\frac{13}{4480} l^7 \right) \end{aligned} \quad (3.10)$$

พลังงานจลน์ของคานสปริงแสดงได้ดังสมการ 3.11

$$\frac{1}{2} m_{\text{eff}} \dot{y}_{\max}^2 = \frac{1}{2} m_s \frac{13}{35} \dot{y}_{\max}^2 \quad (3.11)$$

$$\text{ดังนั้น } m_{\text{eff}} = \frac{13}{35} m_s \quad (3.12)$$

จากสมการ 3.1 หากกำหนดให้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงมีค่าเท่ากับ

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

ดังนั้นหากใช้คานเป็นเหล็กที่มีความหนา (h) เท่ากับ 2 mm หน้ากว้าง (b) เท่ากับ 55 mm ความยาว (l) เท่ากับ 62 cm กำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ของเหล็กที่ใช้เป็นคานมีความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ $7,800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ค่ายังมอดูลัส (Young's modulus, E) เท่ากับ 200 GPa มวลของสปริงมีค่าเท่ากับ 0.532 kg แล้วความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักจะได้

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{5908}{3.54 + \frac{13}{35} 0.532}} = 39.76 \text{ rad/s}$$

หรือเท่ากับ 6.33 Hz.

ในทำนองเดียวกันในการทดลองการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz จะใช้หลักการคำนวณเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ความถี่เท่ากับ 6 Hz ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 คุณสมบัติของแผ่นคานสปริงที่รองรับมวลหลัก

	ความถี่ 6 Hz	ความถี่ 11 Hz
ความหนา, h (m)	2×10^{-3}	3×10^{-3}
ความกว้าง, b (m)	5.5×10^{-2}	5.08×10^{-2}
ความยาว, l (m)	6.2×10^{-1}	6.2×10^{-1}
ยังมอดูลัส, E (Pa)	200×10^9	200×10^9
ความหนาแน่น, ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	7,800	7,800
ค่าคงตัวสปริง, k ($\frac{\text{N}}{\text{m}}$)	5,908	18,416
มวลของคานสปริง, m_s (kg)	0.532	0.737
มวลยังผล, m_{eff} (kg)	0.1976	0.274
ความถี่ธรรมชาติ, ω_n	39.76 rad/s (6.3 Hz)	69.48 rad/s (11.06 Hz)

3.3.2 การออกแบบขนาดของแผ่นคานสำหรับรองรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.4 ถึงการออกแบบคานสำหรับรองรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือนซึ่งต้องออกแบบให้มีความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงเท่ากับความถี่ที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นในการทดลองที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz คานรองรับตัวดูดซับจะต้องถูกออกแบบให้มีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 6 Hz และ 11 Hz เช่นกัน ซึ่งความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงสำหรับตัวดูดซับสามารถปรับค่าคงตัว (Stiffness) ของสปริงโดยการปรับความยาวของแผ่นคานแบบคานทีเลเวอร์เพื่อให้ได้ความถี่ธรรมชาติที่ต้องการ สำหรับมวลยังผลของคานแบบคานทีเลเวอร์สามารถแสดงได้ดังสมการ 3.13

$$m_{eff} = 0.23m_s \quad (3.13)$$

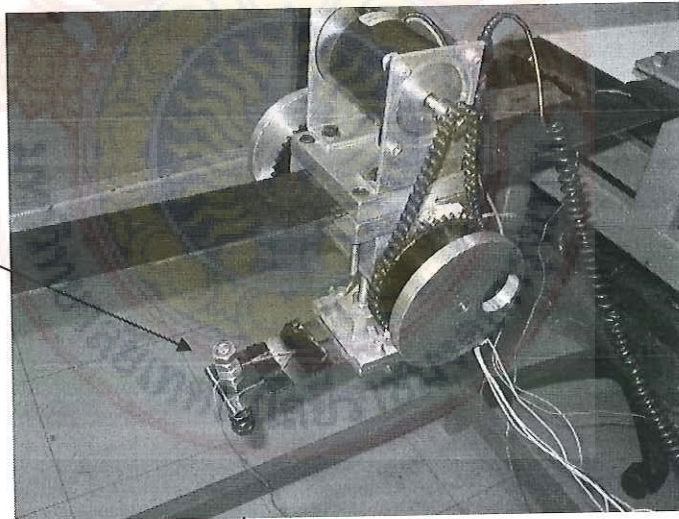
โดยคุณสมบัติของแผ่นคานสปริงที่ใช้อยู่รองรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz สามารถแสดงได้ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 คุณสมบัติของแผ่นคานสปริงที่รองรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

	ความถี่ 6 Hz	ความถี่ 11 Hz
ความหนา, h (m)	5×10^{-4}	5×10^{-4}
ความกว้าง, b (m)	5.08×10^{-2}	5.08×10^{-2}
ความยาว, l (m)	9.5×10^{-2}	5.0×10^{-2}
ยังมอดูลัส, E (Pa)	200×10^9	200×10^9
ความหนาแน่น, ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	7,800	7,800
ค่าคงตัวสปริง, k ($\frac{\text{N}}{\text{m}}$)	370	2,540
มวลของคานสปริง, m_s (kg)	1.88×10^{-2}	9.91×10^{-3}
มวลของตัวดูดซับ, m (kg)	0.20	0.26
มวลยังผล, m_{eff} (kg)	4.33×10^{-3}	2.28×10^{-3}
ความถี่ธรรมชาติ, ω_n	39.76 rad/s (6.3 Hz)	98.41 (15.6 Hz)

ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนจะยึดติดกับคานและชุดมวลหลักดังแสดงในรูป 3.18

ตัวดูดซับการ
สั่นสะเทือน



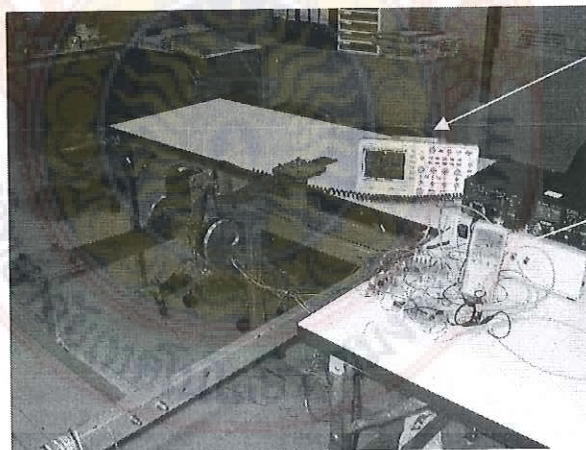
รูป 3.18 ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนยึดติดกับคานและมวลหลัก

3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองมุ่งเน้นที่จะศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับระบบมวลหลักทั้งก่อนและหลังการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้โดยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

3.4.1 การทดลองสั่นสะเทือนของมวลหลักบนแผ่นคานสปริงโดยไม่มีตัวดูดซับ

- 3.4.1.1 จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ทดลองดังแสดงในรูป 3.19
- 3.4.1.2 ทดลองหาความถี่ธรรมชาติของระบบโดยใช้วิธีการเคาะ
- 3.4.1.3 บันทึกรูปคลื่นสัญญาณที่ได้พร้อมความถี่ในออสซิลโลสโคป
- 3.4.1.4 เริ่มปรับความเร็วรอบตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำ ๆ
- 3.4.1.5 ใช้ออสซิลโลสโคปตรวจจับสัญญาณ 2 สัญญาณ อันได้แก่สัญญาณความเร็วรอบซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ สัญญาณจากสเตรนเกจที่ติดอยู่บนคานสปริงที่รองรับมวลหลักบันทึกการกระจัดของการสั่นสะเทือนแบบกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square), RMS พร้อมบันทึกรูปคลื่นสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้ในออสซิลโลสโคป
- 3.4.1.6 ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มากขึ้นและทดลองตามขั้นตอนที่ 3.4.1.4 จนถึงขั้นตอนที่ 3.4.1.5 จนถึงความถี่ประมาณ 8 Hz



รูป 3.19 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.2 การทดลองการสั่นสะเทือนของมวลหลักบนแผ่นคานสปริงโดยมีตัวดูดซับ

- 3.4.2.1 ปรับความยาวของแผ่นคานรองรับตัวดูดซับให้ได้ความถี่เท่ากับความถี่ที่ต้องการทดลองแล้วยึดติดกับชุดมวลหลัก
- 3.4.2.2 เริ่มปรับความเร็วรอบตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำ ๆ
- 3.4.2.3 ใช้ฮอสซิลโลสโคปตรวจจับสัญญาณ 3 สัญญาณ อันได้แก่สัญญาณความเร็วรอบซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ สัญญาณจากสเตรนเกจที่ติดอยู่บนคานสปริงที่รองรับมวลหลัก (สเตรนเกจ 1) และสัญญาณจากสเตรนเกจจากคานที่รองรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (สเตรนเกจ 2) บันทึกการกระจัดของการสั่นสะเทือนแบบกำลังสองเฉลี่ยพร้อมบันทึกรูปคลื่นสัญญาณคลื่นสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้ในฮอสซิลโลสโคป
- 3.4.2.4 ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มากขึ้นและทำขั้นตอนตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.4.2.2 ถึงขั้นตอนที่ 3.4.2.3 ความถี่ของการสั่นสะเทือนถึงประมาณ 8 Hz

การทดลองการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz ใช้ขั้นตอนและวิธีการเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 แต่ใช้ความถี่ในช่วงตั้งแต่ความถี่น้อย ๆ ถึงความถี่ 13 Hz



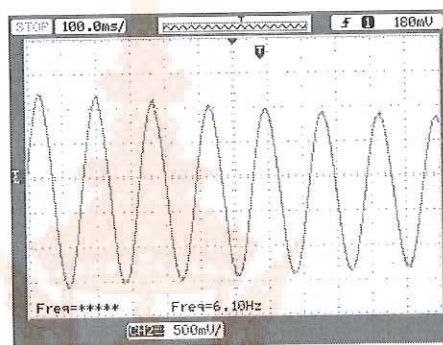
บทที่ 4

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากหัวข้อ 3.4 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นการทดลองการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz

4.1.1 ผลการทดลองหาความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก

ผลการทดลองหาความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักด้วยวิธีการเคาะและวัดสัญญาณจากสเตรโนเกจที่ติดอยู่บนคันสปริงรองรับมวลหลัก (สเตรโนเกจ 1) พบว่าสัญญาณที่ได้จากการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.1

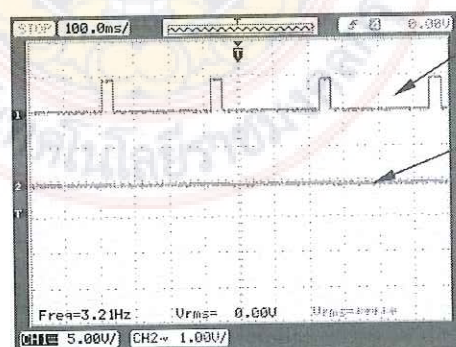


รูป 4.1 สัญญาณความถี่ธรรมชาติที่ได้จากระบบมวลหลัก (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

4.1.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณและการสั่นสะเทือนโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

สัญญาณการสั่นสะเทือนและการกระจัดที่วัดได้จากสเตรโนเกจ 1 และเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

ที่ความถี่ 3.21 Hz พบว่า สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้มีลักษณะดังแสดงในรูป 4.2

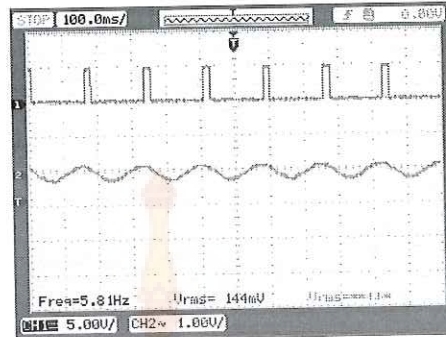


สัญญาณพัลส์แสดงความถี่และทิศทางของแรง

สัญญาณจากสเตรโนเกจ 1

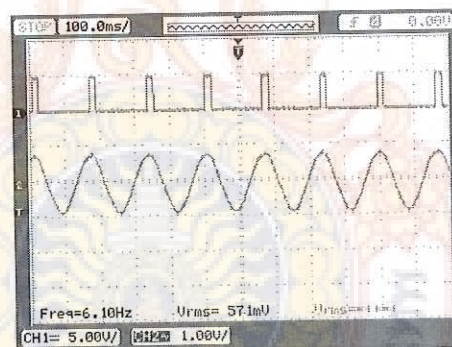
รูป 4.2 สัญญาณที่ความถี่ 3.21 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นไปจนถึง 5.81 Hz พบว่าสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ 1 มีสัญญาณโวลต์เตจ (Voltage) เกิดขึ้นมีความถี่และทิศทางเดียวกันกับแรง (ทิศทางเดียวกับสัญญาณพัลส์) ดังแสดงในรูป 4.3



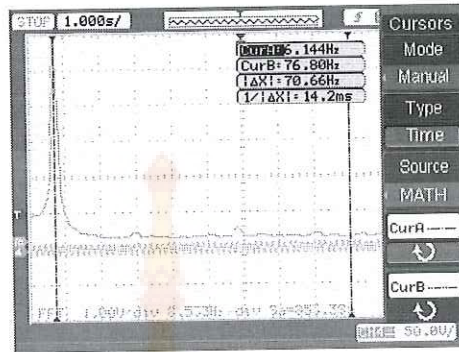
รูป 4.3 สัญญาณที่ความถี่ 5.81 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนถึงความถี่ 6.1 Hz ซึ่งตรงกับความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก สัญญาณที่ได้จากการวัดสามารถแสดงได้ดังรูป 4.4



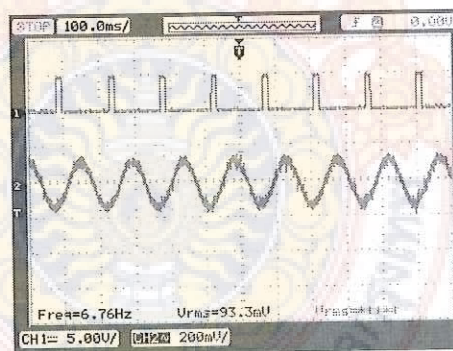
รูป 4.4 สัญญาณที่ความถี่ 6.10 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

จากรูป 4.4 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ 1 มีแอมพลิจูดที่สูงขึ้นทั้งนี้ เป็นผลมาจากการสั่นพ้องเนื่องจากความถี่ของแรงที่กระทำเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบจึงเกิดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่สูง โดยสามารถวัดการกระจัดแบบรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS) ได้เท่ากับ 6.4 mm ที่การสั่นสะเทือนที่ 6.10 Hz สัญญาณสเปกตรัม (Spectrum) ความถี่ที่ได้จากการใช้ (Fast Fourier transform) FFT ของคานสปริงที่รองรับมวลหลักสามารถแสดงได้ดังรูป 4.5



รูป 4.5 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 6.1 Hz (ไม่ใช่ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นจนถึง 6.76 Hz ซึ่งมากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก ($\omega > \omega_n$) สัญญาณจากสเตรนเกจ .1 มีทิศทางตรงข้ามกับแรง (ทิศทางตรงข้ามกับสัญญาณพัลส์) ดังสามารถแสดงได้ดังรูป 4.6 โดยสามารถวัดการกระจัดได้เท่ากับ 1.08 mm

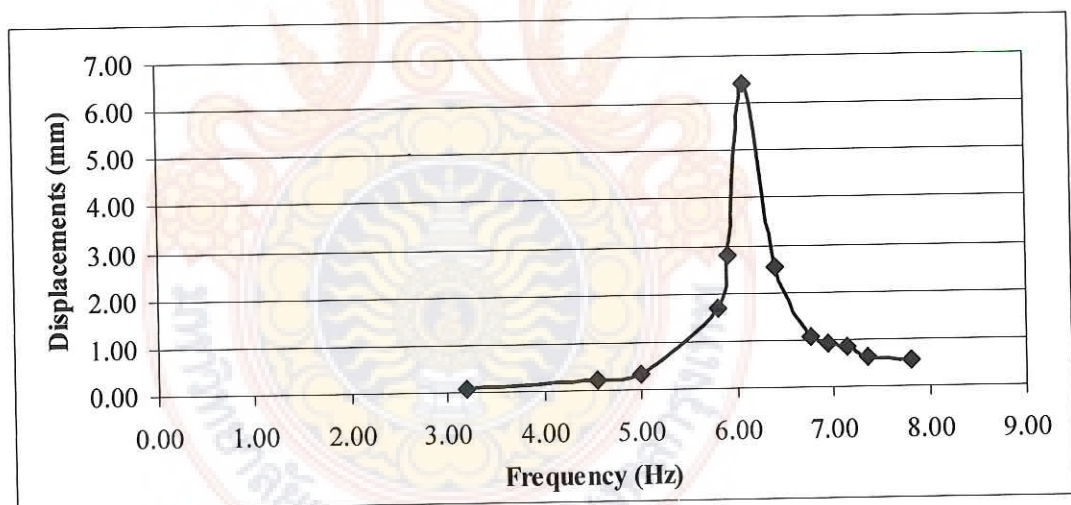


รูป 4.6 สัญญาณที่ความถี่ของการสั่นสะเทือน 6.76 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดที่ความถี่ต่าง ๆ ของการสั่นสะเทือนสามารถแสดงได้ดังตาราง 4.1 และแสดงได้ดังกราฟรูป 4.7

ตาราง 4.1 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน
(ความถี่ที่ทดลองการลดการสั่น 6Hz)

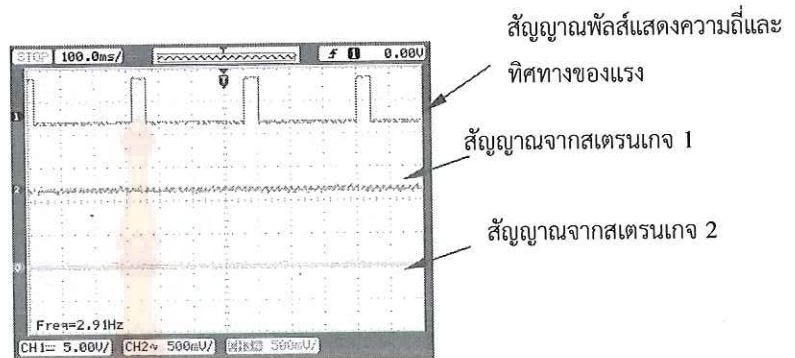
Frequency (Hz)	Displacements(mm),RMS
3.20	0.07
4.55	0.21
5.00	0.35
5.81	1.7
5.91	2.8
6.10	6.4
6.41	2.5
6.76	1.1
6.94	0.92
7.14	0.83
7.35	0.63
7.81	0.57



รูป 4.7 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

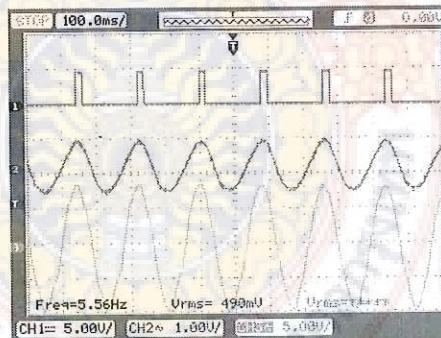
4.1.3 ผลการทดลองการวัดสัญญาณและการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนโดยค่อยๆ เพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนน้อยๆ สามารถแสดงได้ดังรูป 4.8



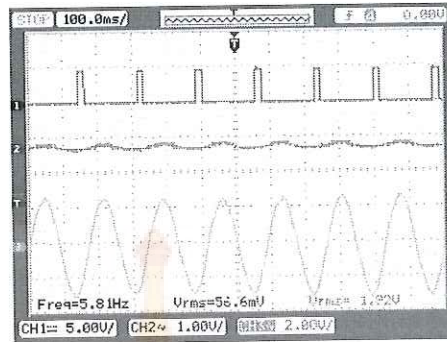
รูป 4.8 สัญญาณที่ความถี่ 2.91 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นถึง 5.56 Hz พบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงทั้งคานของระบบมวลหลักและตัวดูดซับดังแสดงในรูป 4.9 โดยสามารถวัดการสั่นสะเทือนได้เท่ากับ 5.1 mm จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าสัญญาณจากสเตรนเกจ 1 และ สเตรนเกจ 2 มีแอมพลิจูดสูงขึ้นนอกจากนี้ยังพบว่าสัญญาณทั้งสองมีทิศทางเดียวกันกับสัญญาณพัลส์หรือมีทิศทางเดียวกันกับแรง



รูป 4.9 สัญญาณที่ความถี่ 5.56 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

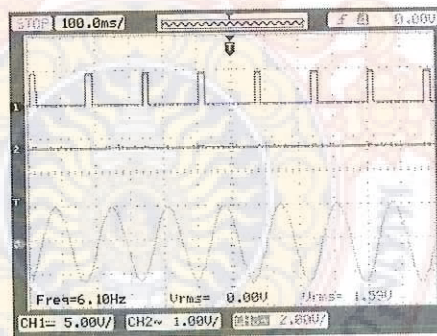
เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนจนถึง 5.81 Hz พบว่าสัญญาณจากสเตรโนเกจ 1 และสเตรโนเกจ 2 มีขนาดลดลงอย่างชัดเจนโดยเฉพาะสเตรโนเกจ 1 ดังแสดงในรูป 4.10 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า



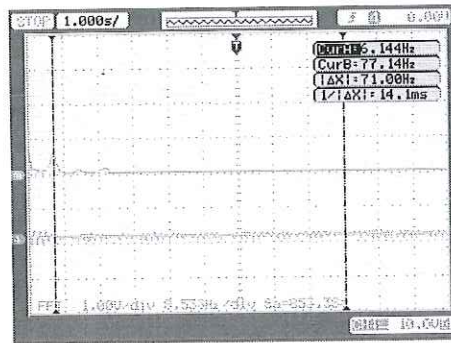
รูป 4.10 สัญญาณที่ความถี่ 5.81 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

สัญญาณทั้งสองมีการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามกับแรง หรือเฟสตรงข้ามกับแรง

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนจนถึง 6.10 Hz ซึ่งเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก $\omega \cong \omega_n$ จะพบว่าสัญญาณจากสเตรโนเกจ 1 มีแอมพลิจูดลดลงจนเกือบเท่ากับศูนย์ดังแสดงในรูป 4.11 ซึ่งหมายถึงการสั่นสะเทือนที่ลดลงอย่างชัดเจนโดยสามารถวัดการสั่นสะเทือนได้เท่ากับ 0.05 mm ในขณะที่สัญญาณที่ได้จากตัวดูดซับการสั่นสะเทือนยังคงมีแอมพลิจูดสูงอยู่โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศของแรงสเปกตรัมความถี่สามารถแสดงดังรูป 4.12

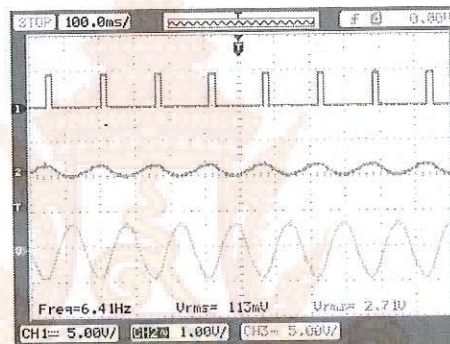


รูป 4.11 สัญญาณที่ความถี่ 6.10 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)



รูป 4.12 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 6.10 Hz (ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นจนถึง 6.41 Hz สัญญาณจากสเตรโนเกจ 1 กลับมีแอมพลิจูดเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งดังแสดงในรูป 4.13 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าสัญญาณจากสเตรโนเกจ 1 มีทิศทางเดียวกันกับแรง ส่วนสเตรโนเกจ 2 กลับมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรง



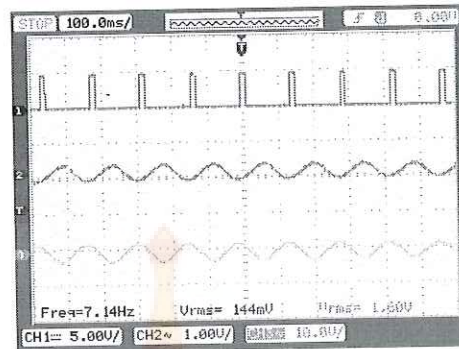
รูป 4.13 สัญญาณที่ความถี่ 6.41 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนถึง 6.76 Hz พบว่าสัญญาณทั้งสเตรโนเกจ 1 และสเตรโนเกจ 2 เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งดังแสดงในรูป 4.14 โดยสัญญาณจากสเตรโนเกจ 1 มีทิศทางเดียวกันกับทิศของแรง และสัญญาณจากสเตรโนเกจ 2 มีทิศตรงกันข้ามกับแรง



รูป 4.14 สัญญาณที่ความถี่ 6.76 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นถึง 7.14 Hz พบว่าสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ 1 มีทิศทางตรงข้ามกับแรง แต่สัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ 2 กลับมีทิศทางเดียวกันกับแรงดังแสดงในรูป 4.15



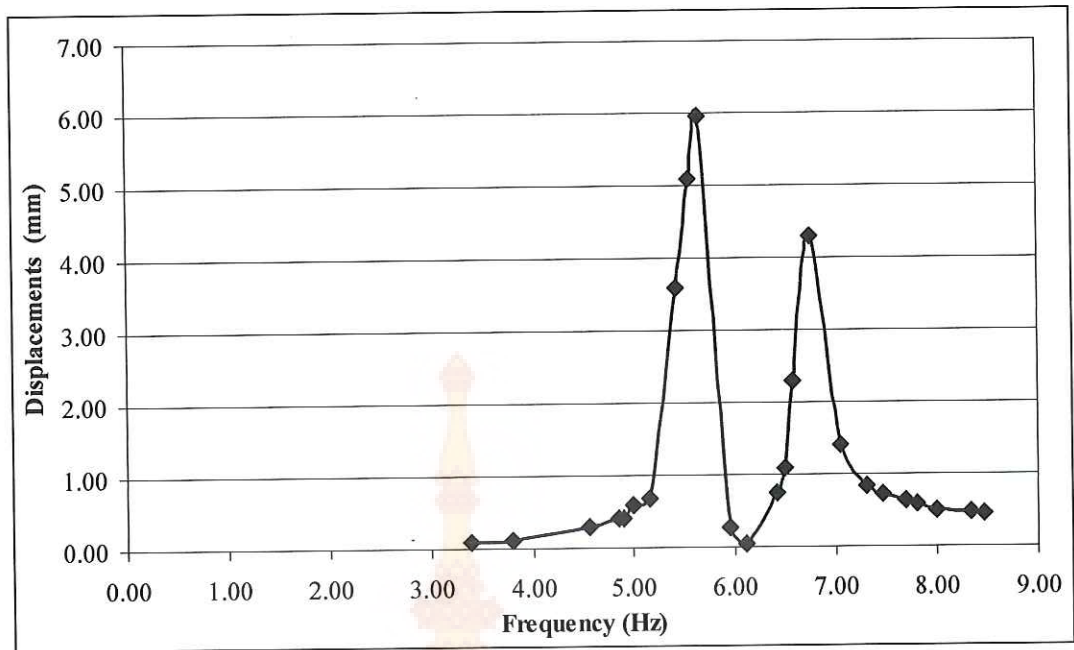
รูป 4.15 สัญญาณที่ความถี่ 7.14 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

สำหรับการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตาราง 4.2 และกราฟรูป 4.16



ตาราง 4.2 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน
(ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

Frequency (Hz)	Displacements(mm),RMS
3.40	0.09
3.79	0.12
4.55	0.29
4.85	0.41
4.90	0.40
5.00	0.58
5.15	0.68
5.43	3.6
5.56	5.1
5.65	5.9
5.95	0.28
6.10	0.05
6.41	0.75
6.49	1.1
6.58	2.3
6.76	4.3
7.04	1.4
7.31	0.83
7.46	0.73
7.69	0.64
7.81	0.59
8.00	0.51
8.33	0.47
8.47	0.46

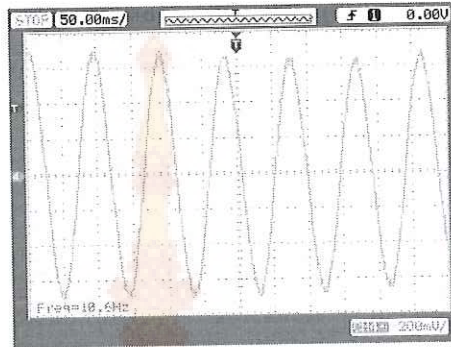


รูป 4.16 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

4.2 ผลการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz

4.2.1 ผลการทดลองหาความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก

ผลการทดลองหาความถี่ธรรมชาติของระบบด้วยวิธีการเคาะและวัดสัญญาณจากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ติดอยู่บนคานสปริงรองรับมวลหลักพบว่าสัญญาณที่ได้จากการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.17



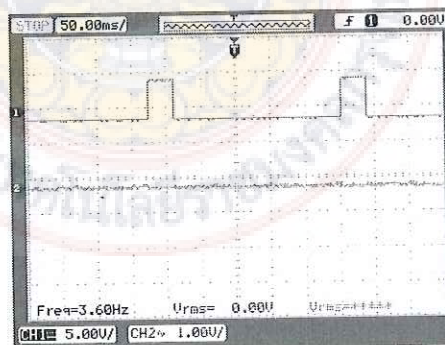
รูป 4.17 สัญญาณความถี่ธรรมชาติที่ได้จากระบบมวลหลัก (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

จากรูป 4.17 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้มีความถี่ 10.6 Hz ซึ่งหมายถึงความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักที่ได้จากการทดลอง

4.2.2 ผลการทดลองการวัดสัญญาณและการสั่นสะเทือนโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

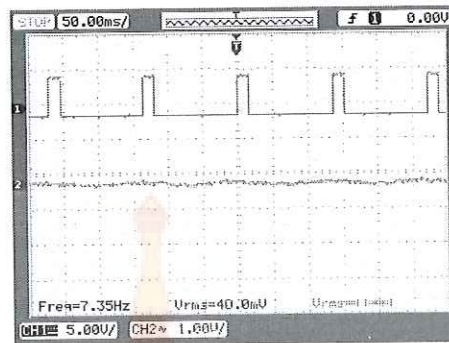
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากสเตรโนเกจ 1 และการกระตุ้นที่วัดได้เครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

ที่ความถี่ 3.60 Hz สัญญาณที่ได้จากสเตรโนเกจ 1 และวงจรวัดความเร็วรอบสามารถแสดงได้ดังรูป 4.18



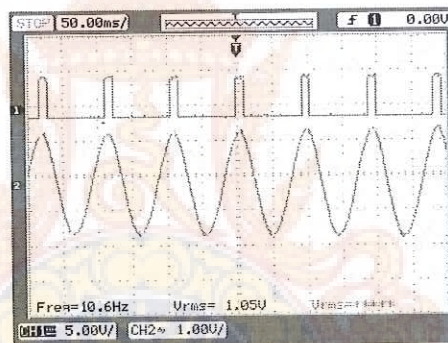
รูป 4.18 สัญญาณที่ความถี่ 3.60 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะท้อนเท่ากับ 7.35 Hz พบว่าสัญญาณจากสเตรนเกจ 1 มีสัญญาณ
โวลต์เตจเล็กน้อยแสดงในรูป 4.19



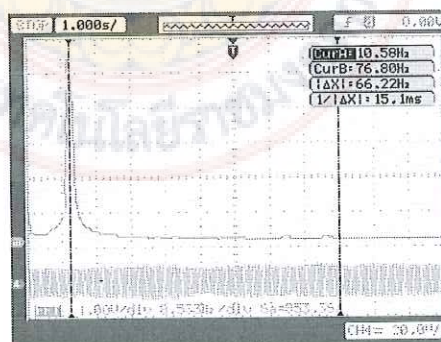
รูป 4.19 สัญญาณที่ความถี่ 7.35 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

เมื่อเพิ่มความถี่ของการสั่นสะท้อนไปที่ความถี่ 10.6 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่ตรงกับความถี่
ธรรมชาติ ($\omega \approx \omega_n$) ของระบบมวลหลักพบว่าเกิดการสั่นสะท้อนในแอมพลิจูดที่สูงดังแสดงในรูป 4.20



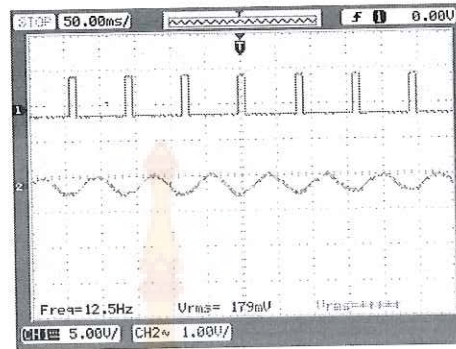
รูป 4.20 สัญญาณที่ความถี่ 10.6 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

สำหรับความถี่ของการสั่นสะท้อน 10.6 Hz สเปกตรัมความถี่สามารถแสดงได้ดังรูป 4.21



รูป 4.21 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะท้อนที่ 10.6 Hz (ไม่ใช่ตัวดูดซับการสั่นสะท้อน)

เมื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ไปถึงความถี่ที่ 12.5 Hz ซึ่งมากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบ ($\omega > \omega_n$) พบว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับมวลหลักมีค่าลดลงดังแสดงในรูป 4.22 โดยสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ 1 มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศของแรง



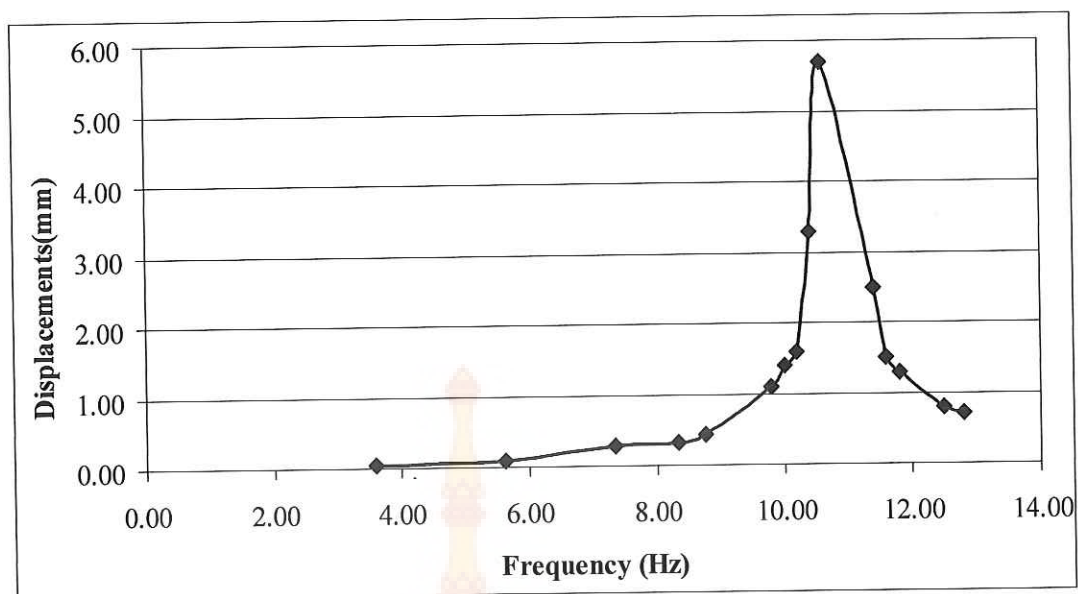
รูป 4.22 สัญญาณที่ความถี่ 12.5 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

สำหรับการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

Frequency (Hz)	Displacements(mm),RMS
3.60	0.037
5.52	0.083
7.35	0.27
8.33	0.33
8.77	0.42
9.8	1.1
10.0	1.4
10.2	1.6
10.4	3.3
10.6	5.7
11.4	2.5
11.6	1.5
11.8	1.3
12.5	0.80
12.8	0.70

จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.3 สามารถแสดงในกราฟรูป 4.23



รูป 4.23 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

4.2.3 ผลการทดลองการวัดสัญญาณและการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองการลดการสั่น 11 Hz)

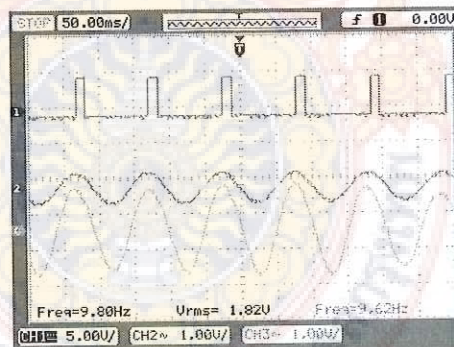
สัญญาณการสั่นสะเทือนและการกระทำได้เช่นเดียวกับการทดลองลดการสั่นที่ความถี่ 6 Hz ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

เมื่อความถี่เท่ากับ 4.3 Hz สัญญาณพัลส์ สัญญาณจากสเตรนเกจ 1 สัญญาณจากสเตรนเกจ 2 สามารถแสดงได้ดังรูป 4.24 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณจากสเตรนเกจ 2 มีสัญญาณเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



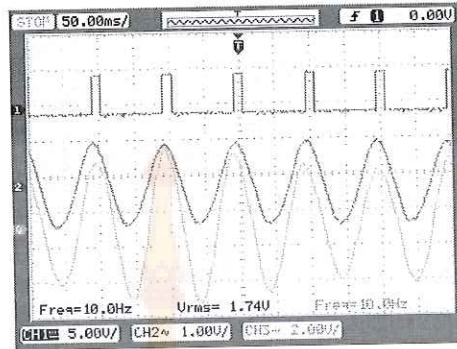
รูป 4.24 สัญญาณที่ความถี่ 4.31 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อปรับความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นถึงความถี่ 9.80 Hz พบว่าสัญญาณการเคลื่อนที่จากสเตรนเกจ 1 และสเตรนเกจ 2 สามารถแสดงได้ดังรูป 4.25



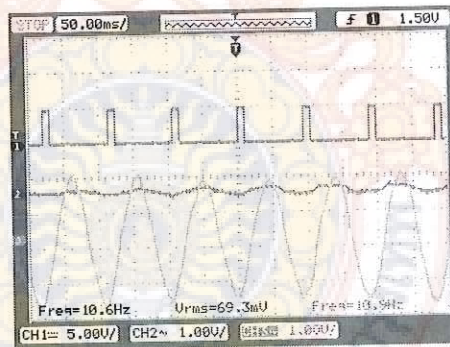
รูป 4.25 สัญญาณที่ความถี่ 9.80 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อปรับความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นถึงความถี่เท่ากับ 10.0 Hz พบว่าสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจทั้งสองมีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยสัญญาณทั้งสองมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน หรือมีเฟสตามกันและมีทิศทางเดียวกันกับแรงดังแสดงในรูป 4.26



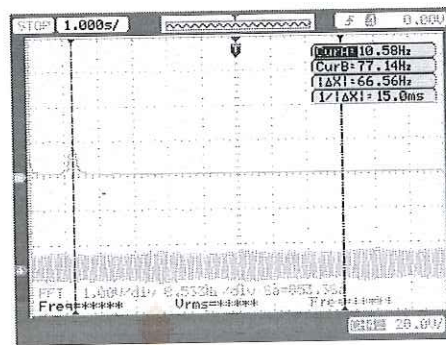
รูป 4.26 สัญญาณที่ความถี่ 10.0 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อให้เกิดการสั่นที่ความถี่ 10.6 พบว่าสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูป 4.27



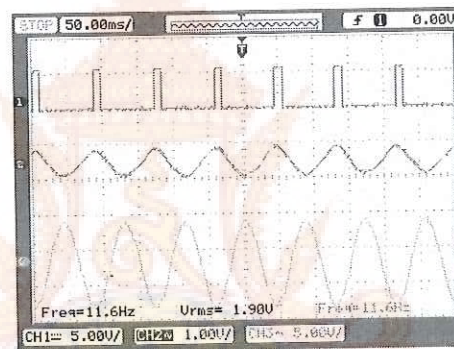
รูป 4.27 สัญญาณที่ความถี่ 10.6 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

สำหรับความถี่ของการสั่นสะเทือน 10.6 Hz สเปกตรัมความถี่ที่ได้จากการใช้ (Fast Fourier transform) FFT สามารถแสดงได้ดังรูป 4.28



รูป 4.28 สเปกตรัมความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ 10.6 Hz (ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้จากคานสปริงที่รองรับมวลหลักมีค่าน้อยลงทั้งนี้เป็นผลมาจากตัวดูดซับที่ดูดซับการสั่นสะเทือนไปจากระบบมวลหลัก และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ให้มากขึ้นจนถึงความถี่ 11.6 Hz สัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจที่รองรับมวลหลักมีค่าสูงขึ้นอีกดังแสดงในรูป 4.29



รูป 4.29 สัญญาณที่ความถี่ 11.6 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สูงขึ้นจนถึงความถี่เท่ากับ 12.8 Hz สัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูป 4.30

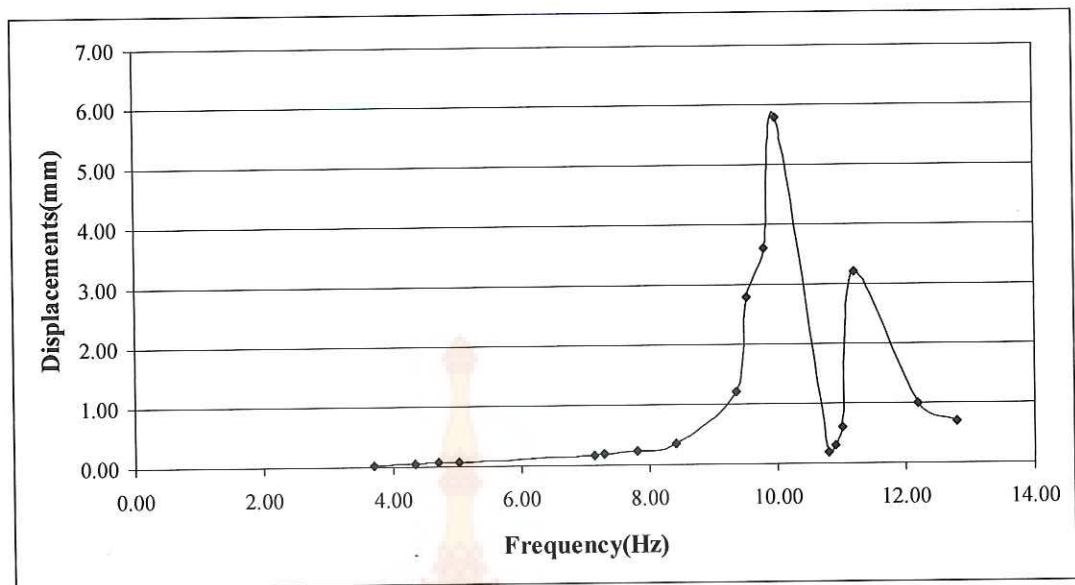


รูป 4.30 สัญญาณที่ความถี่ 12.8 Hz (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน)

สำหรับการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตาราง 4.4 และแสดงในรูปกราฟดังรูป 4.31

ตาราง 4.4 ผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองการลดการสั่น 11 Hz)

Frequency (Hz)	Displacements (mm),RMS
3.70	0.030
4.35	0.051
4.72	0.063
5.03	0.075
7.14	0.17
7.30	0.19
7.81	0.24
8.40	0.34
9.35	1.2
9.65	2.8
9.80	3.6
10.0	5.8
10.6	0.16
10.8	0.18
10.9	0.30
11.0	0.62
11.2	3.2
12.2	1.00
12.8	0.71



รูป 4.31 กราฟแสดงการกระจัดของการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

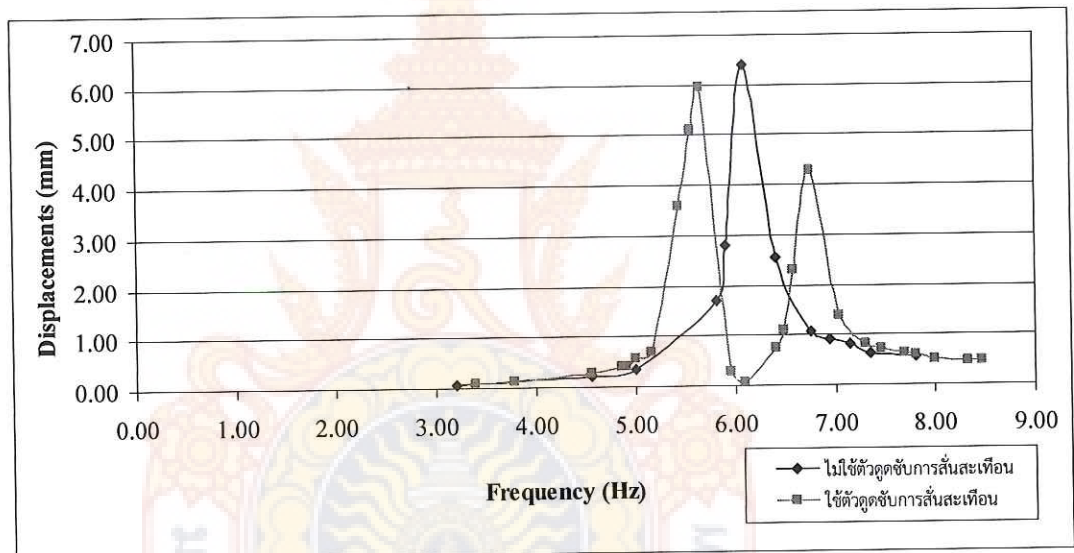
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.3.1 วิเคราะห์การหาความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักโดยวิธีการเคาะ

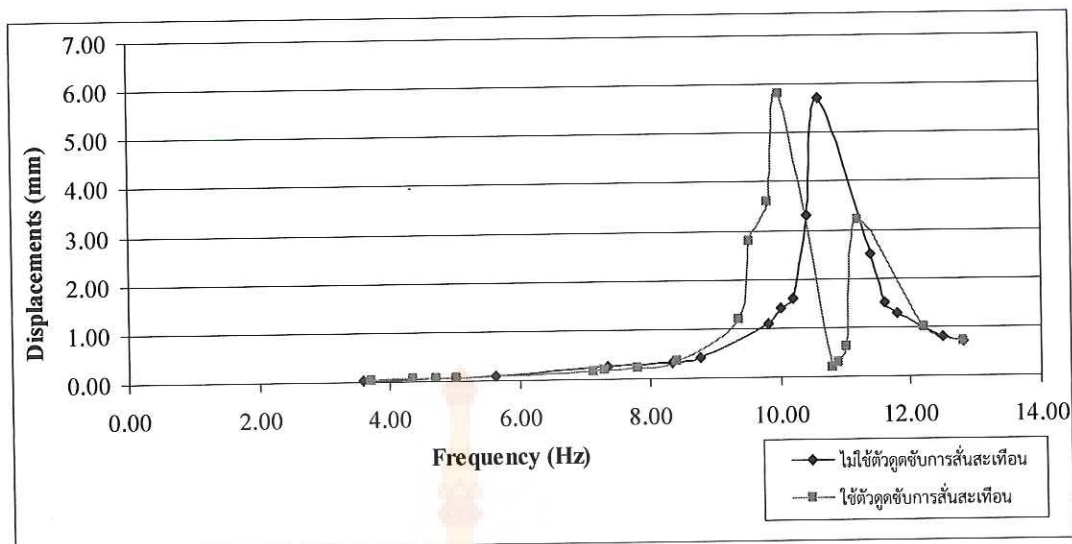
จากรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.10 Hz ในขณะที่ความถี่ธรรมชาติจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 6.3 Hz ในทำนองเดียวกันการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ 11 Hz สามารถหาความถี่ธรรมชาติจากการทดลองได้ดังแสดงในรูป 4.17 วัดความถี่ได้ 10.6 Hz ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งนี้เนื่องจากการทดลองระบบมวลหลักนั้นจะมีความหน่วงเกิดขึ้นเสมอซึ่งความหน่วงนี้อาจทำให้ความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณทางทฤษฎี

4.3.2 วิเคราะห์การลดการสั่นสะเทือน

จากผลการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz พบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนได้มากโดยสามารถเปรียบเทียบได้ดังกราฟรูป 4.32 และ รูป 4.33 ตามลำดับ

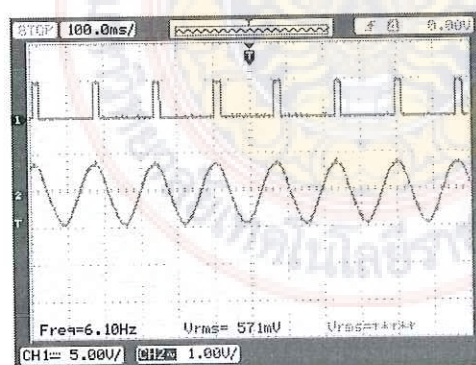


รูป 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz

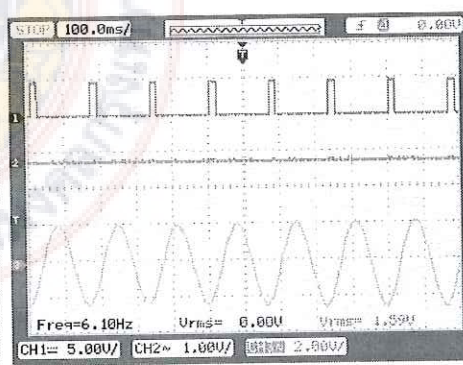


รูป 4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz

จากกราฟรูป 4.32 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 6.10 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่ต้องการลดการสั่นสะเทือนพบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนลงได้อย่างชัดเจนโดยการสั่นสะเทือนที่ความถี่ดังกล่าวเมื่อไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนวัดการกระจัดได้เท่ากับ 6.41 mm ในขณะที่การกระจัดเมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนวัดได้เพียง 0.05 mm เท่านั้น อย่างไรก็ตามจากกราฟรูป 4.32 จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะลดการสั่นสะเทือนได้ที่ความถี่ที่ต้องการแต่จะเกิดการสั่นสะเทือนที่สูงในช่วงก่อนและหลังความถี่ 6.10 Hz ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการสั่นสะเทือนสูงที่ความถี่ 5.65 Hz และ 6.76 Hz ซึ่งสามารถวัดการกระจัดได้เท่ากับ 5.95 mm และ 4.3 mm ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนเป็นการสั่นสะเทือนที่มีสองระดับขึ้นความถี่ทำให้มีความถี่ธรรมชาติสองค่าเช่นกัน และหากเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนก่อนและหลังการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถแสดงได้ดังรูป 4.34 (ก) และ (ข)



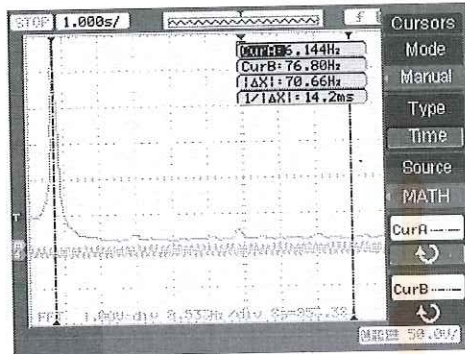
(ก)



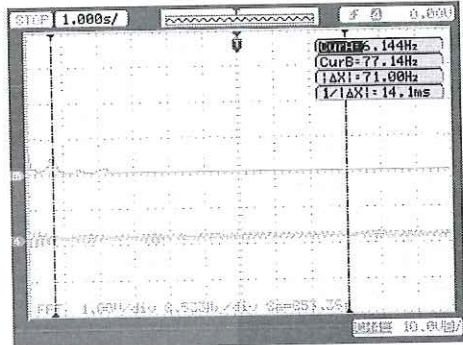
(ข)

รูป 4.34 สัญญาณเปรียบเทียบ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

หากเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณดังแสดงในรูป 4.35 (ก) และ (ข) จะเห็นได้ว่าก่อนใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสเปกตรัมความถี่ที่ 6.1 Hz มีขนาดสูงอย่างชัดเจน แต่เมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนพบว่าสเปกตรัมความถี่ที่ 6.1 Hz มีขนาดลดลงอย่างเห็นได้ชัด



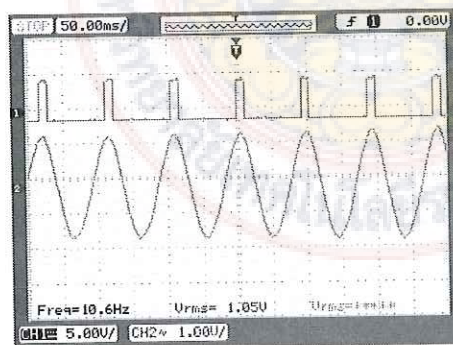
(ก)



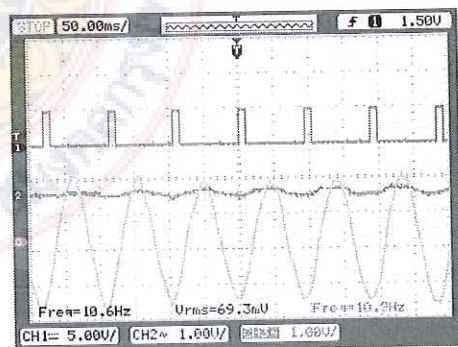
(ข)

รูป 4.35 สเปกตรัมความถี่ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

ในทำนองเดียวกันการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 10.6 Hz หากไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนพบว่าการสั่นสะเทือนเท่ากับ 5.7 mm ในขณะที่การกระจัดเมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนวัดได้เพียง 0.15 mm เท่านั้น นอกจากนี้รูป 4.33 ยังแสดงให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนสูงในช่วงก่อนและหลังความถี่ 10.6 Hz เช่นเดียวกับการลดการสั่นสะเทือนที่ 6.1 Hz โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 10.0 Hz วัดการกระจัดได้เท่ากับ 5.8 mm และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นถึง 11.2 Hz วัดการกระจัดได้เท่ากับ 3.2 mm หากเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนก่อนและหลังการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถแสดงได้ดังรูป 4.36 (ก) และ (ข) และสัญญาณสเปกตรัมความถี่ก่อนและหลังการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถแสดงได้ดังรูป 4.37 (ก) และ (ข)

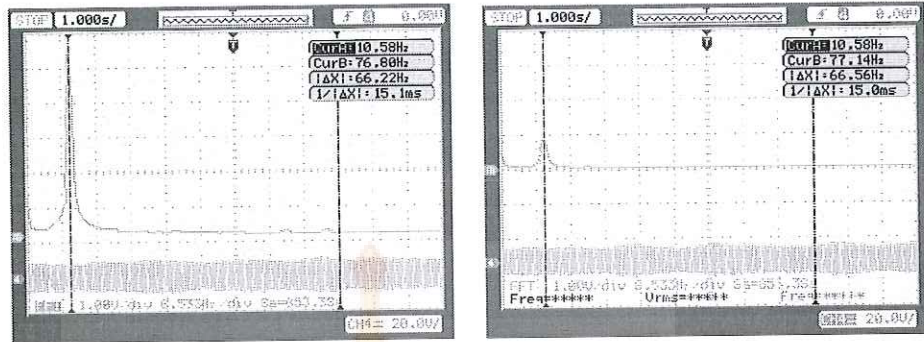


(ก)



(ข)

รูป 4.36 สัญญาณเปรียบเทียบ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)



(ก)

(ข)

รูป 4.37 สเปกตรัมความถี่ (ก) ไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน และ (ข) ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน
(ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

4.3.3 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลหลักภายใต้แรงฮาร์มอนิกเมื่อไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

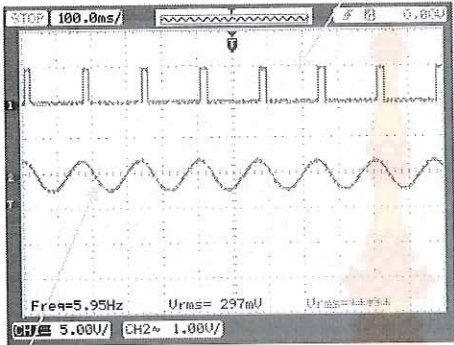
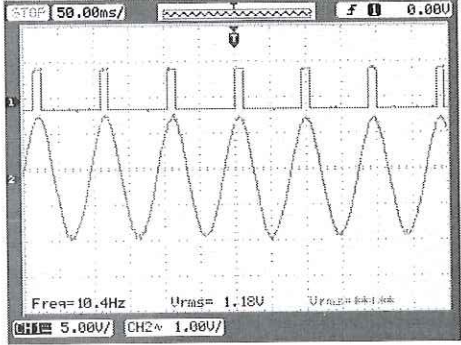
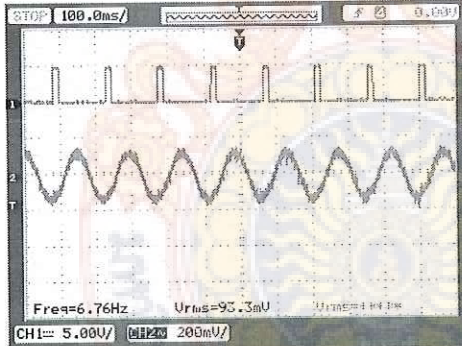
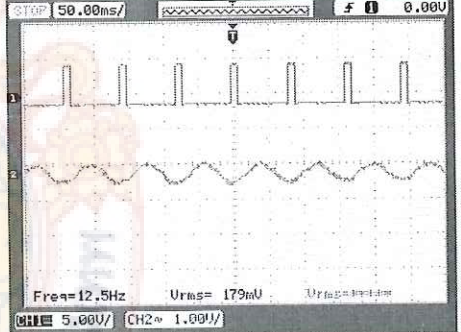
ในการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz จะเห็นว่าเมื่อไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนการเคลื่อนที่ของมวลหลักมีทิศทางเดียวกันกับแรง (มีทิศทางเดียวกันกับสัญญาณพัลส์) แต่หากความถี่ของการสั่นสะเทือนมากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก (6.1 Hz) สัญญาณที่ได้จากสเตอรนเกจ 1 จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสัญญาณพัลส์ เช่นเดียวกันในการทดลองการลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz ผลการทดลองที่ได้เหมือนกับการทดลองที่ 6 Hz โดยรูปสัญญาณสามารถแสดงได้ดังตาราง 4.5 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

การสั่นสะเทือนแบบบังคับที่มีระดับขั้นความถี่ขึ้นเดียวภายใต้แรงฮาร์มอนิกสามารถแสดงได้ดังสมการ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากความถี่ของการสั่นสะเทือนน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบ ($\omega < \omega_n$) แล้ว จะทำให้การกระจัดแอมพลิจูดของการกระจัด, X มีเครื่องหมายเป็นบวกสัญญาณจากสเตอรนเกจ 1 จึงมีทิศทางเดียวกับสัญญาณพัลส์ $\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)$.

$$\frac{X}{\delta_{st}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (4.1)$$

ในทำนองเดียวกันหากความถี่มากกว่าความถี่ธรรมชาติ ($\omega > \omega_n$) จะทำให้สมการ 4.1 มีค่าเป็นลบซึ่งหมายถึงเคลื่อนที่ในทางตรงกันข้ามกับแรงนั่นเอง

ตาราง 4.5 สัญญาณที่ความถี่น้อยกว่าและมากกว่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นโดยไม่ใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

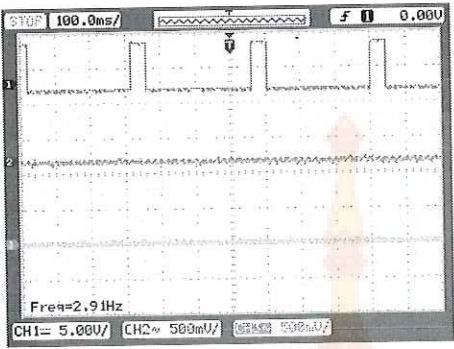
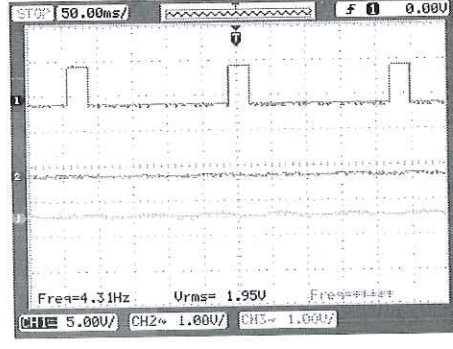
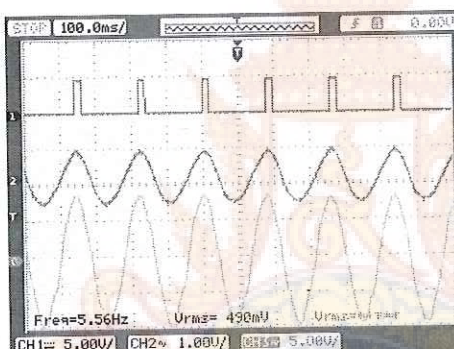
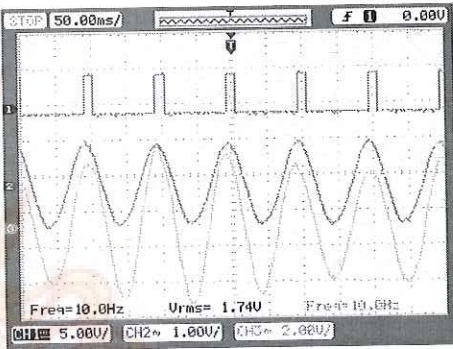
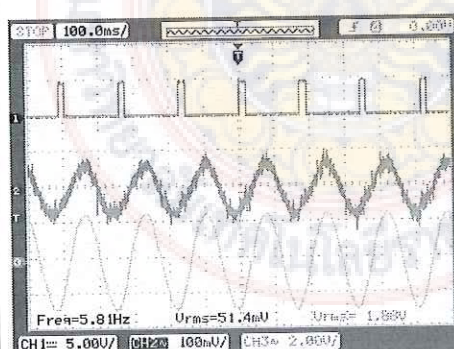
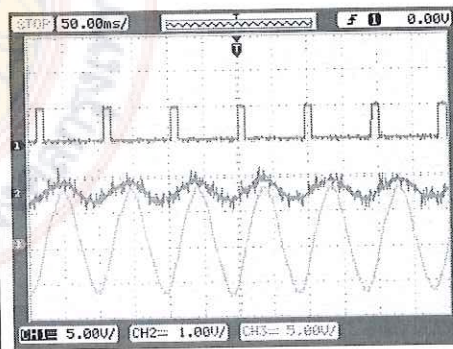
การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz	การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz
$\omega < \omega_n$	
ทิศทางของแรง  สัญญาณจากสเตนเกจ 1	
$\omega > \omega_n$	
	

4.3.4 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึงการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนนั้นอาศัยหลักการของการสั่นสะเทือนที่มีสองระดับชั้นความถี่ซึ่งทำให้เกิดความถี่ธรรมชาติขึ้นอีกสองค่า คือ Ω_1 และ Ω_2 โดยความถี่ธรรมชาติค่าแรก (Ω_1) จะน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก (ω_n) และความถี่ธรรมชาติค่าที่สอง (Ω_2) จะมากกว่าความถี่ธรรมชาติ ดังนั้นจากการทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6.10 Hz และ 10.6 Hz พบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถแบ่งออกได้เป็นช่วงสำคัญได้ 6 ช่วง ดังแสดงในตาราง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีโดยใช้สมการ 2.7 และ 2.8 ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ทางทฤษฎีสามารถแสดงได้ดังกราฟรูป 4.38

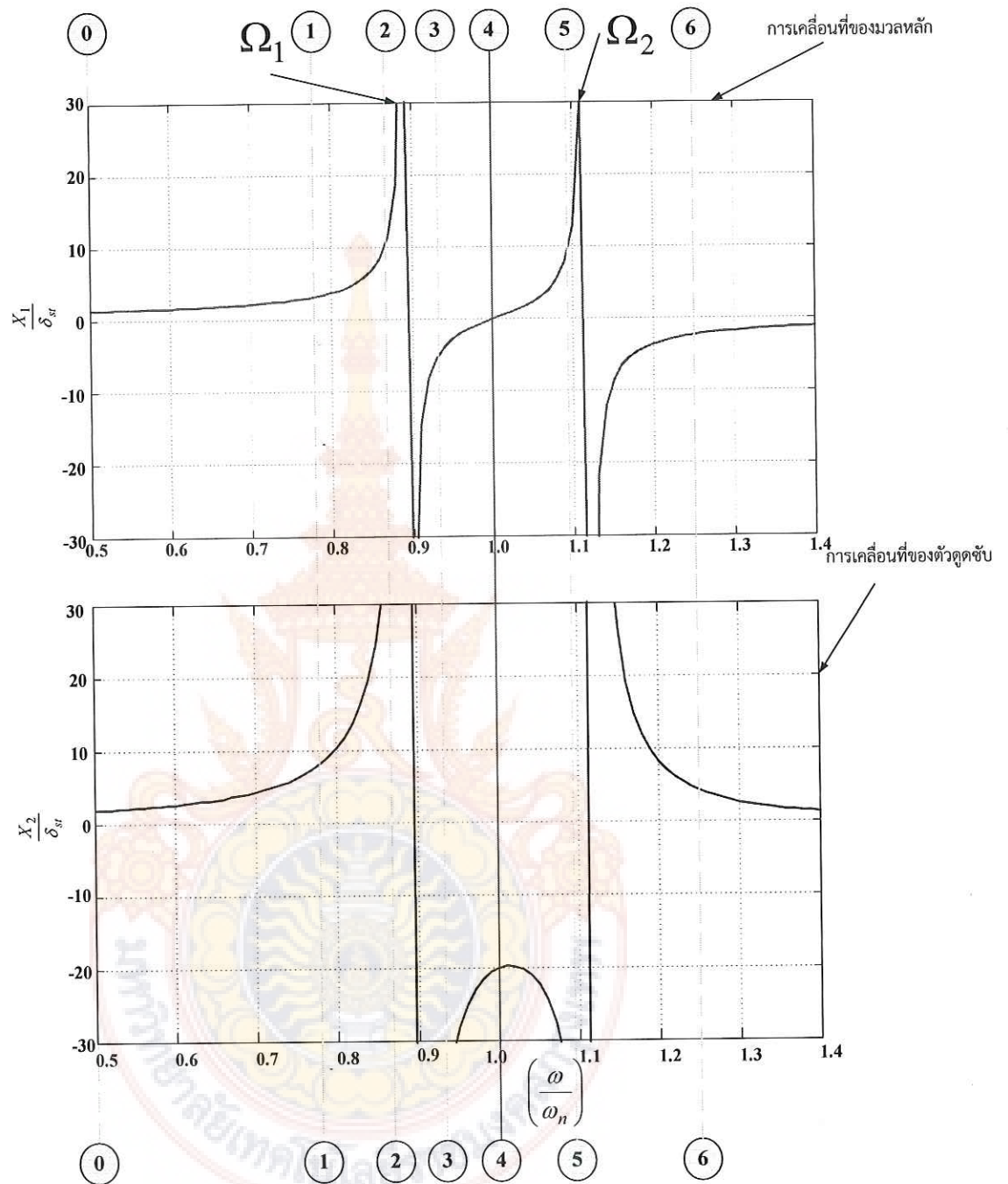


ตาราง 4.6 สัญญาณในช่วงความถี่ต่าง ๆ เมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

ช่วง	การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz	การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz
1.	$\omega < \Omega_1$	
		
2.	$\omega \approx \Omega_1$	
		
3.	$\Omega_1 < \omega < \omega_n$	
		

ตาราง 4.6 สัญญาณในช่วงความถี่ต่าง ๆ เมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน (ต่อ)

ช่วง	การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 6 Hz	การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 11 Hz
4.	$\omega \cong \omega_n$	
5.	$\omega_n < \omega < \Omega_2$	
6.	$\omega > \Omega_2$	



รูป 4.38 การเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับในทางทฤษฎี

จากตาราง 4.6 สามารถแบ่งการเคลื่อนที่ของมวลหลักและตัวดูดซับออกเป็น 6 ช่วง

ช่วงที่ 1 คือช่วงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติค่าแรก ($\omega < \Omega_1$) ช่วงดังกล่าวหากความถี่ของการสั่นน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติค่าแรกมากจะไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ จากตาราง 4.6 ในช่วงที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้มากนักทั้งที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz

ช่วงที่ 2 ช่วงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติค่าแรก ($\omega \approx \Omega_1$) จากตาราง 4.6 จะเห็นว่าสัญญาณจากสเตรนเกจ 1 และ สเตรนเกจ 2 มีทิศทางการเคลื่อนที่ไปในแนวทางเดียวกัน (In phase) และมีทิศทางเดียวกับแรงโดยมีแอมพลิจูดที่สูงเนื่องจากเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติค่าแรก และหากเปรียบเทียบกับช่วงที่ 2 ทางทฤษฎีในรูป 4.38 จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันคือมีทิศทางไปในแนวทางเดียวกันและมีแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่สูง

ช่วงที่ 3 ช่วงนี้เป็นช่วงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนมากกว่าความถี่ธรรมชาติค่าแรกแต่น้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก ($\Omega_1 < \omega < \omega_n$) จากตารางจะเห็นได้ว่าสัญญาณจากสเตรนเกจ 1 และ สเตรนเกจ 2 ทิศทางไปในแนวทางเดียวกัน (In phase) แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรง (ตรงข้ามกับสัญญาณพลัส) เกือบ 180° ซึ่งหากเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีแล้วจะพบว่าเป็นไปตามกราฟรูป 4.38 ในช่วงที่ 3 คือทั้งทิศทางของมวลหลักและตัวดูดซับมีค่าเป็นลบซึ่งหมายถึงตรงกันข้ามกับแรงที่กระทำ สำหรับสาเหตุที่ทำให้ไม่เท่ากับ 180° พอดีนั้นอาจเป็นผลมาจากความหน่วงที่เกิดขึ้นซึ่งทำให้มุมเฟสไม่เท่ากับ 180° พอดี

ช่วงที่ 4 เป็นช่วงที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นช่วงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก ($\omega \approx \omega_n$) และเป็นช่วงความถี่ที่ต้องการลดการสั่นสะเทือนซึ่งในทางทฤษฎีแล้วการสั่นสะเทือนของมวลหลักจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์แต่การสั่นสะเทือนของตัวดูดซับจะยังคงเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศของแรง (Out of phase) ซึ่งจากตารางจะพบว่าในช่วงที่ 4 นี้สัญญาณจากสเตรนเกจ 1 นั้นมีค่าน้อยมากที่ความถี่ทดลอง 6 Hz ซึ่งจากการวัดโดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือนพบว่าการสั่นสะเทือนเพียง 0.05 mm เท่านั้น สำหรับสัญญาณที่ความถี่ทดลอง 11 Hz พบว่าการเคลื่อนไหวของสัญญาณเล็กน้อยวัดการสั่นสะเทือนได้ 0.16 mm ซึ่งมีการสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยจึงมีความสอดคล้องกับทฤษฎี อย่างไรก็ตามสาเหตุที่การลดการสั่นสะเทือนไม่สามารถลดได้เท่ากับศูนย์เหมือนทางทฤษฎีในรูป 4.38 นั้นอาจเป็นผลมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่นการสั่นสะเทือนไม่ได้เป็นฮาร์มอนิกเดียว การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ทดลองให้มีความสม่ำเสมอที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง หรือการสั่นสะเทือนไม่ได้เกิดขึ้นในมิติเดียวอาจมีการสั่นสะเทือนในแนวแกนอื่นด้วยจึงทำให้การลดการสั่นสะเทือนไม่ได้ลดลง เท่ากับศูนย์เหมือนกับทางทฤษฎี

ช่วงที่ 5 ช่วงนี้เป็นช่วงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนมากกว่าความถี่ธรรมชาติของมวลหลักแต่น้อยกว่าความถี่ธรรมชาติค่าที่สอง ($\Omega_1 < \omega < \Omega_2$) จากตารางพบว่าการเคลื่อนที่ของมวลหลักมีทิศทางเดียวกันกับ

แรงแต่ตรงข้ามกับตัวดูดซับการสั่นสะเทือนและมีแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่สูงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีในรูป 4.38 จะเห็นได้ว่าการสั่นสะเทือนของมวลหลักจะมีค่าเป็นบวกแต่การเคลื่อนที่ของตัวดูดซับมีค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงเป็นไปตามทฤษฎี สำหรับแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่สูงขึ้นนั้นเป็นผลมาจากความถี่ของการสั่นสะเทือนเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติค่าที่สอง

ช่วงที่ 6 เป็นช่วงที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนมากกว่าความถี่ธรรมชาติค่าที่สอง ($\omega > \Omega_2$) ในช่วงนี้จะจากตารางจะพบว่าตรงกันข้ามกับรูปแบบการสั่นสะเทือนในช่วงที่ 5 กล่าวคือการเคลื่อนที่ของมวลหลักมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรง แต่การเคลื่อนที่ของตัวดูดซับกลับมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับแรงอีกทั้งยังขนาดการสั่นสะเทือนที่ลดลงซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบกับทฤษฎีในรูป 4.38 พบว่าการเคลื่อนที่ของมวลหลักจะมีค่าเป็นลบ ในขณะที่การเคลื่อนที่ของตัวดูดซับมีค่าเป็นบวกสำหรับแอมพลิจูดของการสั่นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้ในช่วงที่ 5 นั้นเป็นผลมาจากในช่วงที่ 6 นั้นความถี่ของการสั่นสะเทือนเกินความถี่ธรรมชาติค่าที่สองของการสั่นสะเทือน



บทที่ 5

จากผลการทดลองที่กล่าวมาในบทที่ 4 พบว่า ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ 6 Hz

การเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักระหว่างการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎีสามารถแสดงได้ดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณกับผลทางทฤษฎี (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 6 Hz)

	ผลการทดลอง	คำนวณทางทฤษฎี
ความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก, (ω_n)	6.10 Hz	6.3 Hz
ความถี่ธรรมชาติของระบบเมื่อใช้ตัวดูดซับ		
Ω_1	5.65 Hz	5.43 Hz
Ω_2	6.76 Hz	6.84 Hz

ความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนที่ต้องการที่ความถี่ 6 Hz

ก่อนใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน 6.41 mm(RMS) เมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน 0.05 mm (RMS)

การทดลองลดการสั่นสะเทือนที่ 11 Hz

การเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลักระหว่างการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎีสามารถแสดงได้ดังตาราง 5.2

ตาราง 5.2 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณกับผลทางทฤษฎี (ความถี่ที่ทดลองลดการสั่น 11 Hz)

	ผลการทดลอง	คำนวณทางทฤษฎี
ความถี่ธรรมชาติของระบบมวลหลัก, (ω_n)	10.6 Hz	11.0 Hz
ความถี่ธรรมชาติของระบบเมื่อใช้ตัวดูดซับ		
Ω_1	10.0 Hz	9.30 Hz
Ω_2	11.2 Hz	12.0 Hz

ความสามารถในการลดการสั่นสะเทือนที่ต้องการที่ความถี่ 6 Hz

ก่อนใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน 5.7 mm (RMS) เมื่อใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือน 0.16 mm (RMS)

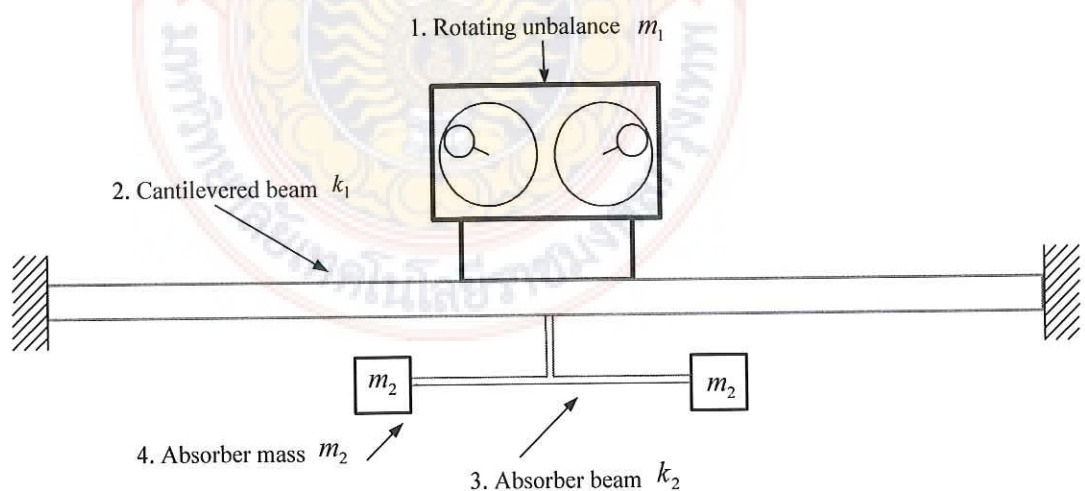
ความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริง

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการลดการสั่นสะเทือนด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถลดการสั่นสะเทือนได้อย่างมากโดยเฉพาะที่ความถี่ต่ำ อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวเป็นเพียงการสมมติให้แรงที่กระทำกับระบบมวลหลักเป็นแรงฮาร์มอนิก ในขณะที่การสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกลจริงนั้นไม่ใช่แรงฮาร์มอนิกเสมอไป ดังนั้นการลดการสั่นสะเทือนโดยวิธีดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดในกรณีที่แรงสั่นสะเทือนไม่ใช่แรงฮาร์มอนิก

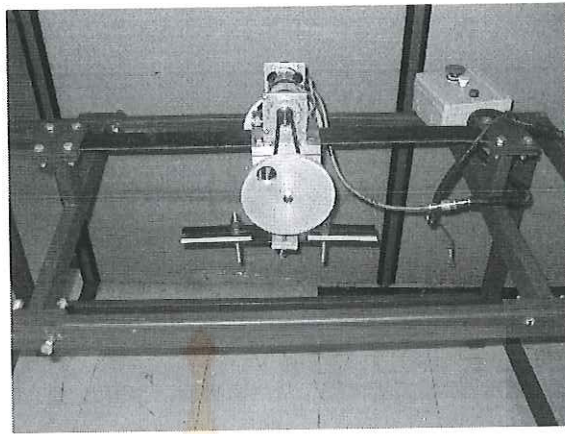
สำหรับความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในงานจริงนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของการสั่นสะเทือนของระบบมวลหลัก หากเป็นแรงฮาร์มอนิกเพียงความถี่เดียว วิธีการดังกล่าวพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการลดการสั่นสะเทือน อีกทั้งยังสร้างง่ายและปรับความถี่ธรรมชาติได้ง่ายโดยการปรับหรือเปลี่ยนคานของตัวดูดซับการสั่นสะเทือน ในทางตรงกันข้ามหากการสั่นสะเทือนมีหลายความถี่หรือหลายฮาร์มอนิก วิธีการดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมนักทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความถี่ที่เกิดขึ้นว่ามีความเด่นในฮาร์มอนิกใด หากการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มไปในความถี่ใดความถี่หนึ่งมากกว่าความถี่อื่นวิธีการนี้ก็ยังคงใช้ได้ผลดี

5.2 ข้อเสนอในการวิจัยต่อไป

จากผลการทดลองพบว่าการลดการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ที่ต้องการลด แต่การใช้ตัวดูดซับแบบสปริงแผ่นอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลเนื่องจากตัวดูดซับการสั่นสะเทือนทำให้เกิดโมเมนต์ได้ ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวในการพัฒนาตัวดูดซับการสั่นสะเทือนในขั้นต่อไปคือออกแบบตัวดูดซับการสั่นสะเทือนในเป็นแบบคานคู่เพื่อให้เกิดการสมดุลเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนดังแสดงในรูป 5.1 ซึ่งปัจจุบันกำลังดำเนินการวิจัยโดยสร้างชุดทดลองดังแสดงในรูป 5.2

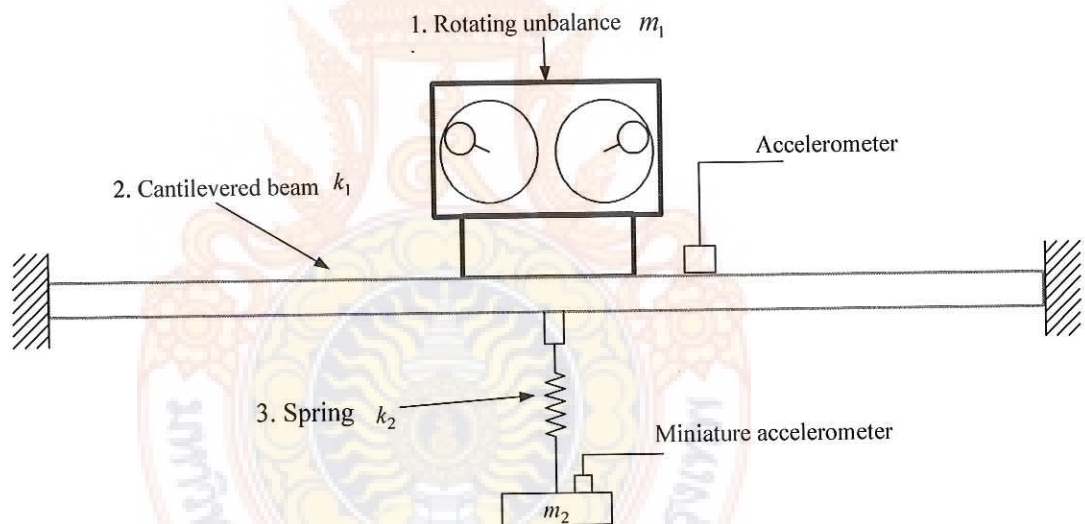


รูป 5.1 แผนภาพการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบคานคู่



รูป 5.2 ชุดทดลองการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบคานคู่

นอกเหนือจากการพัฒนาคานที่ใช้ทำตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแล้ว ยังสามารถพัฒนาสปริงให้เป็นแบบสปริงขดเพื่อลดโมเมนต์ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนดังแสดงในรูป 5.3



รูป 5.3 แผนภาพการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบสปริงขด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rao, S.S. 2005. Mechanical Vibrations, Prentice-Hall, Singapore, p 10.
- [2] เอกพงษ์ ตั้งพัฒน์เสรี และวิทยา ยงเจริญ. การควบคุมแรงส่งผ่านไปยังพื้นที่โดยใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรที่แปรความเร็วรอบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.



บรรณานุกรม

Floyd, T.L. 1996. Electronic Devices, Prentice-Hall, U.S.A.

Kelly, S.G. 2000. Fundamentals of Mechanical Vibrations, McGraw-Hill, Singapore.

Meirovitch, L. 2001. Fundamentals of Vibrations, McGraw-Hill, Singapore.

Rao, S.S. 2005. Mechanical Vibrations, Prentice-Hall, Singapore.

