

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชั่นมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง

A Study Effects of Vibration in Induction Motor by Acceleration Measurement Technique



นาย ชลรัตน์ เทวธรรมะ

นาย พรชัย ยงธนาภรณ์

นาย วีระศักดิ์ ทับเทศ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....49888

วัน,เดือน,ปี.....2..เม.ย..2547

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชั่นมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง
A Study Effects of Vibration in Induction Motor by Acceleration Measurement Technique

โดย

นาย ชลรัศนะ เทววรรณะ

นาย พรชัย ยงธนาบุญนะ

นาย วีระศักดิ์ ทับเทศ



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิชิต

สายอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชั่นมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง

A Study Effects of Vibration in Induction Motor by Acceleration Measurement Technique

ผู้จัดทำ

1. นาย ชลรัตน์ เทววรรณ รหัสประจำตัว 43015111
2. นาย พรชัย ยงธนาภรณ์ รหัสประจำตัว 43015127
3. นาย วีระศักดิ์ ทับเทศ รหัสประจำตัว 43015180

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศส. พิชิต ถ้ายอง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชันมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง

นาย ชลรัตน์	เทวธรรมะ	43015111
นาย พรชัย	ยงธนกาญจนะ	43015127
นาย วีระศักดิ์	ทับเทศ	43015180
ผศ. พิชิต	ถ้ายอง	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545		

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน เครื่องจักรหมุนมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งบางงานจำเป็นต้องมีการดูแลเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา เช่น โรงไฟฟ้า ซึ่งการหยุดเครื่องจักรแต่ละครั้งจะสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรหมุนขณะที่กำลังทำงานอยู่ ซึ่งในปฏิญานพันฉบับนี้ได้ใช้แนวทางในการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรหมุนโดยศึกษาลักษณะและสัญญาณการสั่นสะเทือนของอินดักชันมอเตอร์โดยใช้เทคนิคการวัดอัตราเร่ง โดยใช้หัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer) มาทำการศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหมุนโดยดูผลจากมวลที่ไม่สมดุลของการหมุน ศึกษาสัญญาณการสั่นสะเทือนเนื่องจากระบบทางกล และเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากผลของแหล่งจ่ายเพื่อเป็นแนวทางในการนำวิธีการวัดการสั่นสะเทือนไปใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำและตรวจสอบสภาพเครื่องจักรต่อไป

A Study Effects of Vibration in Induction Motor by Acceleration Measurement Technique

Mr. Chonratana	Tawanna	43015111
Mr. Phornchai	Yongthanakarnchana	43015127
Mr. Weerasak	Tubtej	43015180
Asst.Prof.Pichit	Lumyong	Advisor

ABSTRACT

In the presence , rotating machinery have to work in the industry witch a work require continuously to take maintenance for completion . Each shutdown-machinery is lose , so we must explore in working machine operation . This thesis is studied Vibration signal of induction motor by measurement accelerometer . To study unbalance effect of flywheel , resonance in mechanical system and comparison vibrant spectrum of induction motor from cause power supply effect. For guide to diagnosing health of machinery.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลง ได้ก็คือ ผศ. พิชิต ถ้ำทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอรบกวนขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 การสั่นสะเทือน	4
2.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน	4
2.1.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)	4
2.1.2 การสั่นสะเทือนแบบกระตุ้น (Forced Vibration)	4
2.2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน	5
2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีหน่วง (Undamped Free Vibration)	5
2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีการหน่วง (Damped Free Vibration)	6
2.3 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อขนาดของการสั่นสะเทือน	7
บทที่ 3 สัญญาณการสั่นสะเทือน	10
3.1 ความถี่	10
3.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน	10
3.3 มุมเฟส	12
บทที่ 4 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน	14
4.1 การประเมินค่าความรุนแรงของสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวม	14
4.2 การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม	14
4.3 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่	14
4.4 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม	15
4.5 การสั่นสะเทือนเนื่องจากความเสียหายของตลับลูกปืน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทที่ 5 การสั่นสะเทือนเนื่องจากสาเหตุของสัญญาณทางไฟฟ้า	18
5.1 Twice Line Frequency Vibration	18
5.2 Elliptical Stator Due to Fundamental Flux	19
5.3 Nonsymmetrical Air Gap	20
5.4 One Time Line Frequency Vibration	20
บทที่ 6 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์	21
6.1 หลักการทำงานของ Accelerometer	21
6.2 วงจรแหล่งจ่ายกระแสแรงดันของ Accelerometer	22
6.3 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง	24
6.4 ตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer	25
6.5 การทดสอบหาความถี่รีโซแนนท์	26
6.6 การทดสอบหาค่ารีโซแนนท์มอเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ	28
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	32
7.1 วัตถุประสงค์	32
7.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	32
7.3 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวัดอัตราเร่ง	32
7.4 การทดลองเรื่อง การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	33
7.5 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากขนาดของมวลถ่วง	35
7.6 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากระยะห่างของมวลถ่วง	40
7.7 การทดลองเรื่อง ความสมดุลของมวลถ่วง	48
7.8 การทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของเฟสอันเนื่องมาจากความถี่รีโซแนนท์	53
7.9 การทดลองเรื่อง ผลของความเร่งอันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น	59
7.10 การทดลองเรื่อง การหาค่าตำแหน่งของมวลโดยวิธีวัดเฟส	62
7.11 การทดลองเรื่อง การหาค่ารีโซแนนท์ของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบแรงสั่นสะเทือน	65
7.12 การทดลองเรื่อง สเปกตรัมการสั่นสะเทือน	66
7.12.1 มอเตอร์ในสภาวะ No load ปกติ	68
7.12.2 มอเตอร์ขณะทดลองปรับแรงดันเฟส A เป็น 170 V	70
7.12.3 มอเตอร์ขณะทดลองฮาร์มอนิกแบบ Positive Sequence	71
7.12.4 มอเตอร์ขณะทดลองฮาร์มอนิกแบบ Negative Sequence	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง	82
8.1 สรุปเรื่อง การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	82
8.2 สรุปเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากขนาดของมวลถ่วง	82
8.3 สรุปเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากระยะห่างของมวลถ่วง	82
8.4 สรุปเรื่อง ความสมดุลของมวลถ่วง	82
8.5 สรุปเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของเฟสอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์รีโซแนนซ์	83
8.6 สรุปเรื่อง ผลของความเร่งอันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น	83
8.7 สรุปเรื่อง การหาตำแหน่งของมวล โดยวิธีการวัดเฟส	83
8.8 สรุปเรื่อง สเปกตรัมการสั่นสะเทือน	83
ภาคผนวก ก. รายละเอียดของอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ	
ข. การติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ด้วยวิธีการต่าง ๆ	
ค. หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน	
บรรณานุกรม	



สารบัญญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2-1 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก	4
รูปที่ 2-2 ระบบมวลเดี่ยวและแผ่นฝั่งอิสระ	5
รูปที่ 2-3 แสดงการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบมวลเดี่ยว	6
รูปที่ 2-4 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด	7
รูปที่ 2-5 โมเดลของเครื่องจักรหมุนที่ไม่สมดุล	7
รูปที่ 2-6 ขนาดการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุล	9
รูปที่ 3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด ความเร็วและความเร่ง	11
รูปที่ 3-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของคลื่นลักษณะการสั่นสะเทือนต่าง ๆ	12
รูปที่ 3-3 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเฟสกับการวัด	13
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	15
รูปที่ 4-2 การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงบน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	16
รูปที่ 4-3 ความถี่ของการสั่นสะเทือนจากข้อบกพร่องของดัลท์ลูกปืน	16
รูปที่ 5-1 Stator and Rotor	18
รูปที่ 5-2 One period flux wave and magnetic force wave	19
รูปที่ 5-3 Electromechanical force on two and four pole motors	19
รูปที่ 5-4 Unsymmetrical air gap around rotor	20
รูปที่ 6-1 Diagram of an Accelerometer System	21
รูปที่ 6-2 แสดง โครงสร้างของ Accelerometer	22
รูปที่ 6-3 วงจรแหล่งจ่ายกระแสแรงดันของ Accelerometer	22
รูปที่ 6-4 วงจรรับ-ส่งสัญญาณแสง	24
รูปที่ 6-5 แสดงการติดตั้งหัววัดและเทป	24
รูปที่ 6-6 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer	25
รูปที่ 6-7 แสดงทดสอบหาความถี่เรโซแนนท์	26
รูปที่ 6-8 แสดงสัญญาณ Impulse Response	27
รูปที่ 6-9 แสดงตำแหน่งในการวัดหาค่ารีโซแนนท์	28
รูปที่ 6-10 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านหัวมอเตอร์แนวตั้ง	28
รูปที่ 6-11 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านหัวมอเตอร์แนวนอน	29
รูปที่ 6-12 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านหัวมอเตอร์แนวแกน	29
รูปที่ 6-13 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านท้ายมอเตอร์แนวตั้ง	30
รูปที่ 6-14 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านท้ายมอเตอร์แนวนอน	30
รูปที่ 6-15 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านท้ายมอเตอร์แนวแกน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 7-1 แสดงการทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	33
รูปที่ 7-2 มอเตอร์ขณะมี Fly wheel เพียงอย่างเดียว	35
รูปที่ 7-3 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 15 g	36
รูปที่ 7-4 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g	36
รูปที่ 7-5 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 35 g	37
รูปที่ 7-6 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 45 g	37
รูปที่ 7-7 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 50 g	38
รูปที่ 7-8 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 55 g	38
รูปที่ 7-9 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับอัตราเร่ง	39
รูปที่ 7-10 มอเตอร์ขณะมี Fly wheel เพียงอย่างเดียว	40
รูปที่ 7-11 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g ที่ระยะ 5.5 cm.	41
รูปที่ 7-12 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 29 g ที่ระยะ 5.5 cm.	41
รูปที่ 7-13 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 38 g ที่ระยะ 5.5 cm.	42
รูปที่ 7-14 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 43 g ที่ระยะ 5.5 cm.	42
รูปที่ 7-15 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 56.3 g ที่ระยะ 5.5 cm.	43
รูปที่ 7-16 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 74.7 g ที่ระยะ 5.5 cm.	43
รูปที่ 7-17 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g ที่ระยะ 8.0 cm.	44
รูปที่ 7-18 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 29 g ที่ระยะ 8.0 cm.	44
รูปที่ 7-19 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 38 g ที่ระยะ 8.0 cm.	45
รูปที่ 7-20 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 43 g ที่ระยะ 8.0 cm.	45
รูปที่ 7-21 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 56.3 g ที่ระยะ 8.0 cm.	46
รูปที่ 7-22 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 74.7 g ที่ระยะ 8.0 cm.	46
รูปที่ 7-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งกับมวลถ่วงที่ระยะ 5.5 และ 8.0 cm	47
รูปที่ 7-24 มอเตอร์ขณะมี Fly wheel เพียงอย่างเดียว	48
รูปที่ 7-25 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 15 g	49
รูปที่ 7-26 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g	49
รูปที่ 7-27 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 35 g	50
รูปที่ 7-28 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 45 g	50
รูปที่ 7-29 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 50 g	51
รูปที่ 7-30 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 55 g	51
รูปที่ 7-31 รูปแสดงการลดลงของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากมวลถ่วงสมดุล	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 7-32 แสดงความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ	53
รูปที่ 7-33 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.5 Hz	54
รูปที่ 7-34 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.6 Hz	54
รูปที่ 7-35 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.7 Hz	55
รูปที่ 7-36 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.8 Hz	55
รูปที่ 7-37 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.9 Hz	56
รูปที่ 7-38 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.0 Hz	56
รูปที่ 7-39 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.1 Hz	57
รูปที่ 7-40 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.2 Hz	57
รูปที่ 7-41 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.3 Hz	58
รูปที่ 7-42 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.4 Hz	58
รูปที่ 7-43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราเร่ง	61
รูปที่ 7-44 แสดงการหาตำแหน่งมวลโดยวิธีการวัดเฟส	62
รูปที่ 7-45 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวลห่างจากแท่งเป็นมุม 0 องศา	63
รูปที่ 7-46 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวลห่างจากแท่งเป็นมุม 90 องศา	63
รูปที่ 7-47 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวลห่างจากแท่งเป็นมุม 180 องศา	64
รูปที่ 7-48 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวลห่างจากแท่งเป็นมุม 270 องศา	64
รูปที่ 7-49 ค่าความถี่ตั้งแต่ช่วง 0 ถึง 500 Hz	65
รูปที่ 7-50 ค่าความถี่ตั้งแต่ช่วง 500 ถึง 1,000 Hz	65
รูปที่ 7-51 แสดงโครงสร้างการทดสอบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	66
รูปที่ 7-52 Block Diagram ของการทดสอบการสั่นสะเทือน	66
รูปที่ 7-53 รูปแสดงผลกระทบจากการเบี่ยงศูนย์	67
รูปที่ 7-54 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	69
รูปที่ 7-55 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	69
รูปที่ 7-56 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	70
รูปที่ 7-57 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	71
รูปที่ 7-58 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	72
รูปที่ 7-59 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	73
รูปที่ 7-60 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	74
รูปที่ 7-61 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 7-62 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	75
รูปที่ 7-63 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	76
รูปที่ 7-64 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	77
รูปที่ 7-65 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	78
รูปที่ 7-66 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	79
รูปที่ 7-67 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	79
รูปที่ 7-68 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz	80
รูปที่ 7-69 รูปแสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะการสั่นสะเทือนจากสาเหตุต่าง ๆ	17
ตารางที่ 7-1 การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	34
ตารางที่ 7-2 การทดสอบผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากขนาดมวลถ่วง	39
ตารางที่ 7-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร่งของมวลถ่วงที่ระยะ 5.5 และ 8.0 cm.	47
ตารางที่ 7-4 แสดงการลดลงของอัตราเร่งเมื่อเพิ่มขนาดมวลถ่วงสมดุล	52
ตารางที่ 7-5 แสดงผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากความเร่งรอบที่เพิ่มขึ้น	59



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไปนั้นเป้าหมายหลักอยู่ที่ตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพจะต้องมีกระบวนการและเครื่องจักรสำหรับการผลิตที่เหมาะสม แต่การที่เครื่องจักรนั้นจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลาไปจนกว่าจะหมดความต้องการใช้งานเป็นเรื่องที่ยาก ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาที่ดีซึ่งในความรู้สึกและความเข้าใจของคนทั่ว ๆ ไปแล้วมักจะมองกันว่าการบำรุงรักษานั้นเป็นเพียงการซ่อมแซม ปรับปรุงอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรที่เสียหายไปแล้วให้กลับมาทำงานได้และยังมีการยอมรับกันว่า ช่วงที่สามารถซ่อมเครื่องได้เร็วขึ้นนั้นเป็นช่วงที่มีความสามารถถึงแม้ว่าจะต้องซ่อมบ่อยแค่ไหนก็ตาม ซึ่งแนวความคิดนี้ไม่สามารถใช้ได้ในโลกปัจจุบันด้วยเหตุผลที่สำคัญประการหนึ่งคือการสูญเสียเวลาทำงานมากเกินไป

การบำรุงรักษา หมายถึง การจัดการดูแลให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมเพื่อการผลิตตลอดเวลา และสามารถให้ผลตอบแทนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้น การบำรุงรักษาที่ดี หมายถึง ความพยายามที่จะทำให้เครื่องจักรมีการหยุดการทำงาน โดยที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อนน้อยที่สุดและสามารถทำงานได้ด้วยขีดความสามารถสูงสุดตลอดเวลา ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการบำรุงรักษาได้ 4 ประเภท

1. การบำรุงรักษาแบบพัฒนา (Design - Out Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบนี้ครอบคลุมถึงการออกแบบใหม่ การแก้ไขปรับปรุง การดัดแปลง เครื่องมือ อุปกรณ์ เมื่อทำการพัฒนาให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการเสียหายของเครื่องจักรลดลง แต่การบำรุงรักษาแบบนี้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาค่อนข้างมากในการศึกษาและพัฒนา นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงที่จะไม่ประสบความสำเร็จ หากไม่มีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเป็นอย่างดี

2. การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม (On - Failure Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมเป็นการเข้าไปทำการซ่อมแซมเครื่องจักร หลังจากที่เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรขึ้นแล้ว ซึ่งทำให้การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้อย่างยิ่ง โดยเฉพาะ ในกรณีที่เป็นเครื่องจักรราคาแพง ซ่อมแซมยาก ซึ่งมีผลกระทบต่อการผลิตสูง มีผลกระทบต่อเครื่องจักรอื่นสูง

3. การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบนี้จะมีการกำหนดช่วงระยะเวลาที่จะเข้าดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องจักรแต่ละเครื่องอย่างสม่ำเสมอ จะเน้นที่การดูแลรักษาและตรวจสภาพการทำงานตามแผนดำเนินงานที่กำหนดขึ้นเป็นสำคัญ วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีเมื่อมีการวางแผนดำเนินงานอย่างเหมาะสมคือช่วงระยะเวลาระหว่างการเข้าบำรุงรักษาสองครั้งติดต่อกันจะต้องไม่นานเกินไปจนเครื่องจักรเกิดความเสียหายขึ้นก่อนที่จะทำการบำรุงรักษาหรือไม่กระชั้นเกินไปจนเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและอะไหล่โดยไม่จำเป็น

4. การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (Condition – Based Maintenance)

วิธีการบำรุงรักษาตามสภาพเป็นการนำแนวความคิดระหว่างการบริหารรักษาแบบซ่อมแซมกับการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดมาใช้ร่วมกัน โดยการบริหารรักษาแบบซ่อมแซมนั้นชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะถูกใช้งานไต่จนถึงที่สุด แต่ไม่สามารถควบคุมการเกิดความเสียหายได้ ขณะที่วิธีการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดจะเปลืองอะไหล่กว่า แต่ลดโอกาสความเสียหายของการผลิต ดังนั้นเราจะใช้วิธีการบำรุงรักษาตามสภาพ ซึ่งช่วยให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้อย่างเต็มที่และยังสามารถควบคุมความเสียหายที่ไม่ตั้งใจได้

เนื่องจากในโรงงานอุตสาหกรรมทุกแห่งจะต้องมีเครื่องจักรหมุนประกอบอยู่ด้วยอย่างแน่นอน และถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ซึ่งจากรูปแบบวิธีการบำรุงรักษาที่ศึกษามาข้างต้นจะพบได้ว่า การบำรุงรักษาตามสภาพมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบการผลิตที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงจักรไฟฟ้า เนื่องจากการหยุดกระบวนการผลิตไม่ว่าจะโดยตั้งใจหรือไม่ก็ตามจะทำให้สูญเสียผลประโยชน์มหาศาล วิธีการนี้จะช่วยในการตัดสินใจว่าสมควรที่จะหยุดเครื่องจักรเพื่อการบำรุงรักษาหรือไม่

โดยทั่วไปแล้ววิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพนั้นจะเน้นที่การคอยตรวจวัดสภาพเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งในการตรวจสภาพการทำงานสามารถทำได้ 3 ลักษณะคือ

1. การตรวจทั่วไป (Simple Inspection) เป็นการกระทำโดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้ตรวจเป็นเครื่องมือ ซึ่งได้แก่ การฟังเสียง การเผ่าดู การสัมผัส การกระทำเหล่านี้ไม่ต้องมีการลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ แต่ต้องอาศัยความชำนาญและความคุ้นเคยกับเครื่องจักรของผู้ตรวจมากกว่า อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ลืมว่า การรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสเป็นข้อมูลที่หายากและยากแก่การนำไปใช้วินิจฉัยสาเหตุของความเสียหายที่แท้จริงต่อไปได้

2. การตรวจสภาพ (Condition Checking) เป็นการตรวจสภาพสำหรับชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เสื่อมสภาพไปตามเวลา เช่น ความหนาของสายพานที่สึกหรอไปตามชั่วโมงการทำงาน ระดับของน้ำมันหล่อลื่นที่ค่อยๆ ลดลง เป็นต้น

3. การเฝ้าตรวจแนวโน้ม (Trend Monitoring) เป็นการตรวจการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นไปตามเวลาเหมือนกันแต่ไม่ได้แสดงอาการออกมาเป็นสัดส่วน โดยตรงกับเวลา ซึ่งจะไม่แสดงให้เห็นสภาพการเสื่อมในระยะแรกของการใช้งาน แต่ความผิดปกติที่แสดงอาการของการเสื่อมสภาพจะปรากฏออกมาอย่างฉับพลัน ยกตัวอย่างเช่น ความเสียหายของตลับลูกปืน

เทคนิคการตรวจสอบ

ในปัจจุบันเทคนิคการตรวจสอบที่ใช้กันสำหรับการบำรุงรักษาแบบตามสภาพมีอยู่หลายวิธี แต่เทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์ความผิดปกติหลาย ๆ อย่างของเครื่องจักรหมุนและเป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดก็คือ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ซึ่งการเฝ้าตรวจด้วยเทคนิคนี้จะสามารถวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องจักรหมุนที่มีอยู่หลายรูปแบบออกมาได้ เช่น ปัญหาที่เกิดจากการไม่สมดุล (Imbalance), การเยื้อง

แกน(Misalignment) , การหลุดหลวมทางกล(Mechanical Looseness) , การชำรุดของฟันเฟือง (Gear Tooth Defect) , สายพานชำรุด(Belt Defect) , คลับลูกปืนชำรุด(Bearing Defect) เป็นต้น

ดังนั้น ทางผู้จัดทำปฏิญานาพันธฉบับนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและการใช้งานเครื่องจักรอย่างคุ้มค่า จึงได้ศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชันมอเตอร์โดยใช้หัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer) ซึ่งการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถใช้วิเคราะห์ความผิดปกติหลาย ๆ อย่างของเครื่องจักรหมุนได้ดีที่สุด โดยสามารถตรวจสอบการติดตั้งได้ว่า เครื่องจักรมีการติดตั้งที่เหมาะสมหรือไม่ เช่น น็อตหลวม สายพานหย่อน การติดตั้งเบี่ยง นอกจากนี้ยังสามารถดำเนินการตรวจวัดได้ในขณะที่เครื่องจักรทำงานตามปกติ เมื่อเรานำหัววัดไปติดตั้งบนตัวมอเตอร์ก็จะสามารถนำค่าสัญญาณต่าง ๆ มาวิเคราะห์ซึ่งจะช่วยให้คุณหาแนวทางและเตรียมการแก้ไขไว้ก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นซึ่งเป็นการบำรุงรักษาตามสภาพ ที่วิธีหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนที่มีต่อขนาดของการสั่นสะเทือน เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน
2. เพื่อความเข้าใจในเรื่องของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อความแม่นยำในการวินิจฉัยข้อบกพร่องของเครื่องจักรหมุน
3. ศึกษาสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ไปวินิจฉัยหาข้อบกพร่องของเครื่องจักรกลหมุนหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรหมุนที่ไม่สมดุล

1.3 ขอบเขตของปฏิญานาพันธ

1. ศึกษาสาเหตุของการสั่นสะเทือน อันเนื่องมาจากความไม่สมดุลในการหมุนของอินดักชันมอเตอร์ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องว่าส่งผลต่อการสั่นสะเทือนอย่างไร โดยวัดออกมาในรูปของอัตราเร่ง รวมถึงการหาตำแหน่งของมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลโดยใช้วิธีในการวัดเฟส
2. ศึกษาผลของปรากฏการณ์รีโซแนนซ์ว่าส่งผลกระทบกับระบบอย่างไร
3. ศึกษาการทำงานของหัววัดอัตราเร่ง(Accelerometer)
4. ศึกษาลักษณะการวิเคราะห์สเปกตรัมการสั่นสะเทือนทางไฟฟ้า โดยดูจากลักษณะของสเปกตรัมการสั่นสะเทือน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าหาข้อมูลที่มีเนื้อหาของทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสั่นสะเทือน กรณีที่เป็นแบบเครื่องจักรหมุน
2. ออกแบบและสร้างต้นแบบ(Model) เพื่อที่จะนำมาใช้ทดสอบการสั่นสะเทือนดังกล่าว
3. เก็บผลที่ได้เพื่อคุณแนวโน้ม เพื่อที่จะนำมาอ้างอิงกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การสั่นสะเทือน

2.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนมีหลายรูปแบบ แต่แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

1. การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)
2. การสั่นสะเทือนแบบกระตุ้น (Forced Vibration)

2.1.1. การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)

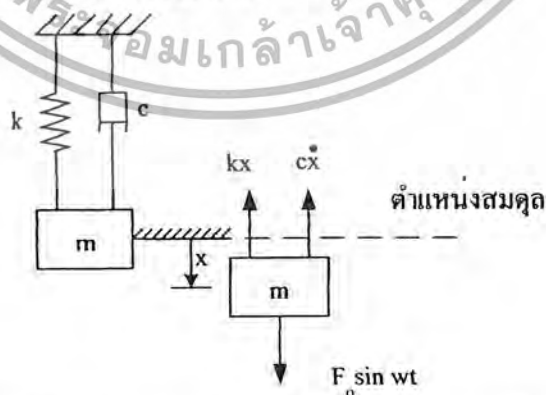
คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบ ภายใต้การกระทำของแรงภายในระบบโดยปราศจากแรงภายนอกมากระทำ

2.1.2. การสั่นสะเทือนแบบกระตุ้น (Forced Vibration)

คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบ อันเกิดจากแรงภายนอกและการสั่นสะเทือนนี้จะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ หากความถี่ภายนอกของแรงที่มากระทำนั้นตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) ของระบบเข้าก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ขึ้น นั่นคือขนาดของการสั่นสะเทือนจะถูกขยายขึ้นอย่างมากจนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้

ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระตุ้นมีได้หลายรูปแบบ แต่ในเครื่องจักรแบบหมุนการกระตุ้นของระบบมักจะอยู่ในรูปของแรงกระตุ้นแบบคาบและเนื่องจากแรงกระตุ้นแบบคาบนั้นจะสามารถแยกย่อยออกเป็นผลรวมของการกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่างๆ ได้ ดังนั้นจึงนิยมพิจารณาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนโดยใช้แบบจำลองในรูปของแรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก

เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก การสั่นสะเทือนของระบบจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแรง คือ จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแรงที่มากระตุ้น ดังนั้น การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนี้สามารถกระทำได้ โดยพิจารณาจากระบบมวลเดี่ยวที่มีความหน่วงภายใต้การกระตุ้นด้วยแรงแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ ω ดังรูป



รูปที่ 2-1 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก

สมการการเคลื่อนที่ของระบบเขียนโดยใช้ฟังก์ชันและกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$mx'' + cx' + kx = F_0 \sin \omega t \quad \dots 2.1$$

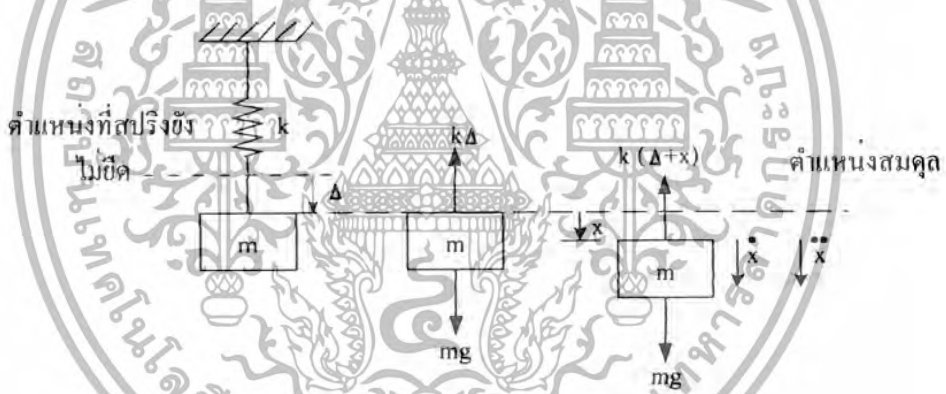
2.2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นแล้วนำผลเฉลยทางคณิตศาสตร์มาพิจารณาเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนที่จะนำมาวิเคราะห์มีทั้งการสั่นสะเทือนแบบที่มีหน่วงและไม่มีหน่วง

2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีหน่วง (Undamped Free Vibration)

คือ การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายในโดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนแบบอุดมคติ ทางทฤษฎี ไม่มีการสูญเสียพลังงานหรือไม่มีหน่วง จุดประสงค์เพื่อหาความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ.

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบอิสระนั้น ระบบหลายๆ ระบบสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ระบบมวลเดี่ยว (single mass system) มวลมีค่า m แขนงด้วยสปริงที่มีค่าความแข็ง (stiffness) เท่ากับ k และ x เป็นระยะยืดและหดที่วัดจากจุดสมดุล



รูปที่ 2-2 ระบบมวลเดี่ยวและแผนผังอิสระ

สมการเคลื่อนที่ของมวลนี้จะเขียนได้จากสมการข้อที่สองของนิวตัน

$$mx'' + kx = 0 \quad \dots 2.2$$

ผลเฉลยของสมการนี้เป็น

$$x = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad \dots 2.3$$

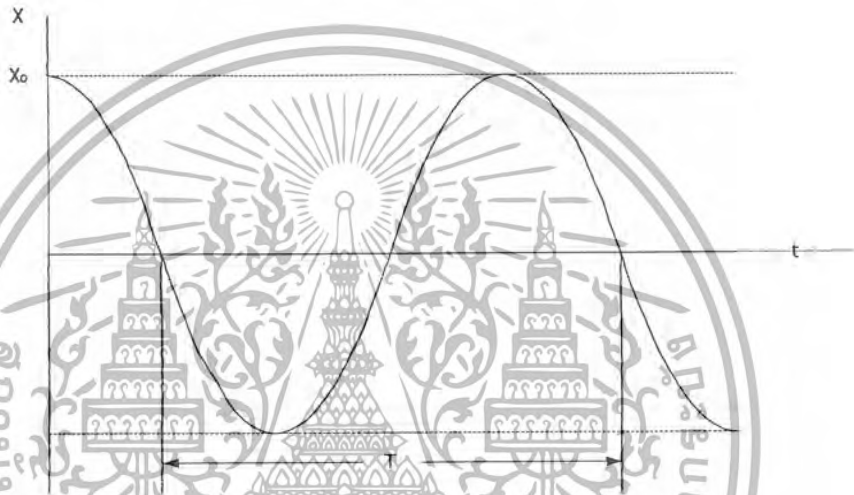
โดย ω คือ ความถี่รีโซแนนซ์ของระบบมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{k}{m}}$

A และ B เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

ตัวอย่างของผลเฉลยของระบบที่มีเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นมวล ยึดออกจากจุดสมดุลเป็นระยะ x_0 และความเร็วเริ่มต้นของมวลเป็นศูนย์ $\dot{x}(0) = 0$ จะเป็น

$$x = x_0 \cos \omega t \quad \dots 2.4$$

จากสมการที่ 2.3 สามารถเขียนเป็นเส้นโค้งไซน์ (sine curve) ได้ดังรูปด้านล่าง มวลจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามการยืดและหดของสปริง โดยเวลาในการที่มวลเคลื่อนที่จากจุดสมดุลกลับไปกลับมาครบรอบจะมีค่าเท่ากับ T ดังนั้นความถี่ของการแกว่งดังกล่าวสามารถเขียนได้เป็น $f_0 = 1/T$ รอบต่อหน่วยเวลา ความถี่ดังกล่าวก็คือความถี่โซแนนซ์ของระบบ ถ้าอยู่ในรูปของหน่วยเรเดียนต่อหน่วยเวลา ความถี่โซแนนซ์จะถูกเขียนเป็น ω_0 โดยที่ $\omega_0 = 2\pi f_0$



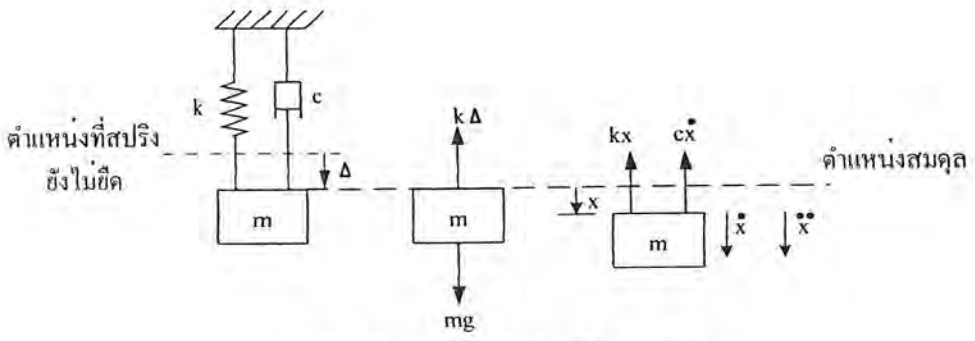
รูปที่ 2-3 แสดงการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบมวลเดียว

2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีหน่วง (Damped Free Vibration)

ระบบต่างๆที่ใช้ในงานจริงจะมีความหน่วงแฝงอยู่ ซึ่งความหน่วงนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป ถ้าปริมาณพลังงานสูญเสียเนื่องจากความหน่วงมีมากในการวิเคราะห์ก็ควรนำมาคิดด้วย ความหน่วงที่พิจารณานี้จะเป็นความหน่วงแบบหนืด (Viscous Damping)

ความหน่วงแบบหนืดจะก่อให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ (F_d) ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของมวล (\dot{x}) ซึ่งเขียนได้เป็น $F_d = c\dot{x}$ เมื่อ c คือค่าความหน่วง ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของระบบจะสามารถเขียนได้จากฝั่งแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad \dots 2.5$$



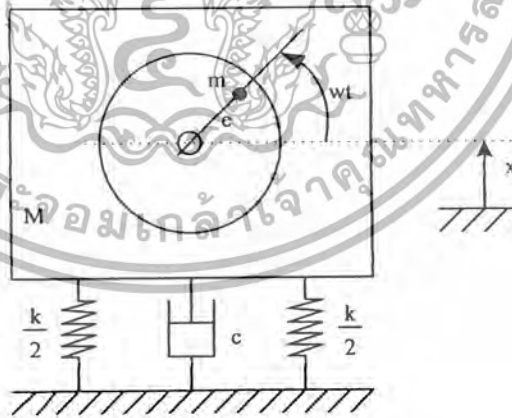
รูปที่ 2-4 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด

2.3 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อขนาดของการสั่นสะเทือน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการควบคุมขนาดของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยวภายใต้เงื่อนไขของแรงภายนอกที่มากระตุ้นแบบต่างๆ โดยพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่มีต่อขนาดของการสั่นสะเทือน ซึ่งจะพบว่าความถี่ของแรงที่กระตุ้น ความถี่ ไซเรนซ์และความหน่วงของระบบต่างมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนเนื่องมาจากการหมุนที่ไม่สมดุล (Vibration Due To Rotating Unbalance)

ความไม่สมดุลของเครื่องจักร สามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ง่าย โดยจะพิจารณาจากระบบที่ประกอบไปด้วยสปริงและมวลทั้งหมดของระบบ (M) ซึ่งมีส่วนหมุนคือค้อนและหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ซึ่งความไม่สมดุลนี้จะถูกแทนด้วยมวลเล็ก (m) ซึ่งเยื้องศูนย์กลางจากแกนหมุนเป็นระยะ e ตามที่แสดงไว้ในรูป



รูปที่ 2-5 โมเดลของเครื่องจักรหมุนที่ไม่สมดุล

โดยที่ x เป็นระยะในการเคลื่อนที่ของมวลจากตำแหน่งสมดุลและระยะการเคลื่อนที่ของมวลเล็ก m มีค่าเท่ากับ $x + e \cdot \sin \omega t$ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการเคลื่อนที่เขียนได้เป็น

$$(M-m)\ddot{x} + m\frac{d^2}{dt^2}(x + e \sin \omega t) = -kx - c\dot{x} \quad \dots\dots 2.7$$

เมื่อนำมาจัดรูปใหม่สมการการเคลื่อนที่ของระบบจะเขียนได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = me\omega^2 \sin \omega t \quad \dots\dots 2.8$$

โดยที่ $me\omega^2$ เป็นแรงกระตุ้นที่ทำให้ระบบเคลื่อนที่

ผลเฉลยของระบบในสภาวะคงตัว (steady state) เขียนได้เป็น

$$x = X \sin(\omega t - \phi) \quad \dots\dots 2.9$$

โดย X คือขนาดความสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงสุด และ ϕ เป็นมุมเฟสที่เทียบกับแรงที่มากระตุ้น

$$X = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad \dots\dots 2.10$$

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{k - M\omega^2} \quad \dots\dots 2.11$$

เมื่อเขียนเป็นเทอมไร้มิติ จะได้

$$\frac{MX}{me} = \frac{\left[\frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \quad \dots\dots 2.12$$

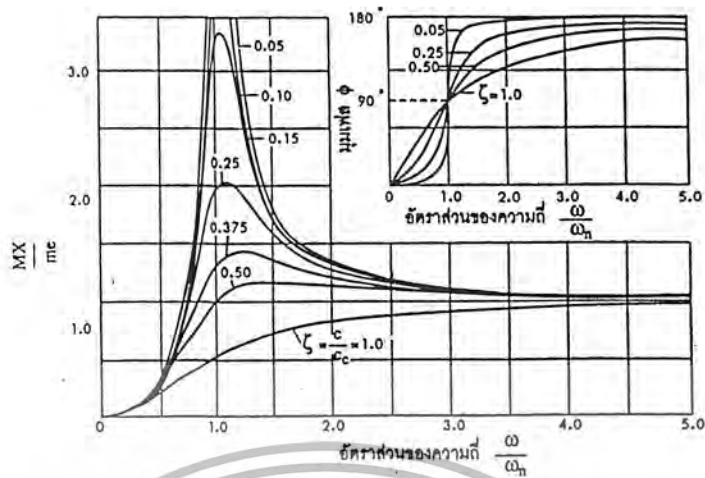
$$\tan \phi = \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad \dots\dots 2.13$$

เมื่อ ζ คือ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

ω คือ ค่าความถี่ของระบบ

ω_n คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกวรต้นสะเทือนในรูปของเทอมไร้มิติและมุมเฟสนี้ แสดงไว้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2-6 ขนาดของการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุล

ข้อมูลจากกราฟจะเห็นว่า

- ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่าสูง ในบริเวณที่ความถี่เข้าใกล้ความถี่ โชนแนนซ์
- ค่าอัตราส่วนความหน่วงจะมีผลต่อขนาดและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนมาก
- บริเวณซึ่งความถี่ของการหมุนมีค่ามากกว่าความถี่ โชนแนนซ์มากๆ ($\omega / \omega_n \gg 1$) ขนาดการสั่นสะเทือน X จะมีค่าเข้าสู่ me/M ไม่ว่าความหน่วงจะมีค่าเท่าใดก็ตาม
- บริเวณซึ่งความถี่ของการหมุนมีค่าน้อยกว่าความถี่ โชนแนนซ์มากๆ ($\omega / \omega_n \ll 1$) จะพบว่าอัตราส่วนการขยายมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ($m\omega^2$) ไม่มีความสำคัญ และไม่มีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น
- บริเวณซึ่งความถี่ของการหมุนมีค่าเท่ากับความถี่ โชนแนนซ์ ($\omega / \omega_n = 1$) พบว่าอัตราส่วนขยาย และแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าเข้าใกล้ค่าสูงสุด

แต่ถ้าไม่พิจารณาค่าความแข็งของสปริง ($k = 0$) และค่าความหน่วง ($c = 0$) เราจะได้ค่าอัตราเร่งโดยพิจารณาจากสมการที่ 2.8 ได้เป็น

$$x'' = \frac{me\omega^2}{M} \quad \dots 2.14$$

บทที่ 3

สัญญาณการสั่นสะเทือน

ชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือน (Type of Vibration Signal)

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรจะสามารถนำมาช่วยในการบ่งบอกถึงสภาพหรือข้อบกพร่องของเครื่องจักร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดจะประกอบด้วย

1. ความถี่
2. ขนาดของการสั่นสะเทือน
3. นูเมเฟส

3.1 ความถี่

ความถี่ในที่นี้หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน ซึ่งหากพิจารณาสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาที่จะหมายถึง จำนวนรอบของการสั่นสะเทือนต่อหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยที่นิยมใช้จะเป็น CPM (Cycle Per Minute) พารามิเตอร์ความถี่นี้จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่งในการบ่งบอกถึงสภาพความเสียหายได้ถ้าหากนำพารามิเตอร์นี้ไปใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

3.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวที่ใช้บ่งบอกสภาพของเครื่องจักร โดยทั่วไปแล้วขนาดของการสั่นสะเทือนหากมีขนาดใหญ่ออมหมายถึงเครื่องจักรเริ่มมีปัญหา ขนาดของการสั่นสะเทือนในปัจจุบันที่มีอยู่หลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ได้แก่

1. การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ (Displacement)
2. ความเร็ว (Velocity)
3. อัตราเร่ง (Acceleration)

การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่คือ ระยะการเคลื่อนที่ของมวลจากจุดสมดุล หรือขนาด $x(t)$ ในผลเฉลยของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว หรือ ในกรณีทั่วไปคือค่าสูงสุดไปยังค่าต่ำสุด (Peak to Peak) จะเป็นค่าระยะทางทั้งหมดที่ตัวมวลเคลื่อนที่จากจุดสูงสุด ไปสู่จุดต่ำสุดในแต่ละรอบ

ความเร็วของการสั่นสะเทือน คือ ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาของมวล ดังนั้นมวลจะมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อมวลเคลื่อนที่อยู่จุดสูงสุดและต่ำสุด และจะมีความเร็วสูงสุดในขณะที่มวลเคลื่อนที่ผ่านจุดสมดุล ค่าการขจัดจะสัมพันธ์กับค่าความเร็วเป็น

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \dots 3.1$$

อัตราเร่งในการสั่นสะเทือนก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมวลในขณะที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมวลอยู่ในตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดจากจุดสมดุล

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \dots 3.2$$

จะพบว่าในกรณีของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว ความสัมพันธ์ของการจัด ความเร็ว และอัตราเร่งสามารถเขียนได้เป็น

$$x = X \sin \omega t \quad \dots 3.3$$

$$v = \omega X \cos \omega t = \omega X \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad \dots 3.4$$

$$a = -\omega^2 X \sin \omega t = \omega^2 X \sin (\omega t + \pi) \quad \dots 3.5$$

เมื่อ X คือค่าขนาดของการจัดสูงสุด

t คือค่าความถี่ในหน่วยของรอบต่อหน่วยเวลา

ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดก็จะได้ความสัมพันธ์อย่างง่ายของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว ดังนี้

$$\text{การจัด (x)} = X$$

$$\text{ความเร็ว (v)} = \omega X$$

$$\text{อัตราเร่ง (a)} = \omega^2 X$$

จะพบว่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว เป็นไปตามสมการที่แสดงไว้ข้างต้น ส่วนความเร็วและอัตราเร่งจะมีเฟสนำการจัดอยู่ 90 องศาและ 180 องศา ตามลำดับ ดังที่แสดงไว้ในรูป

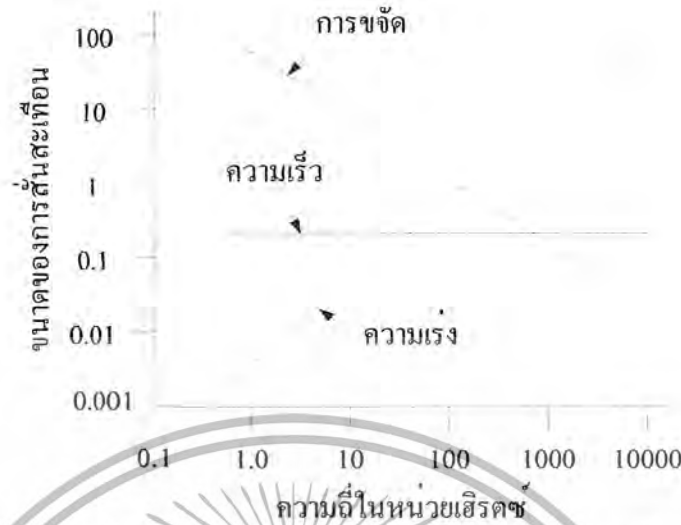


รูป 3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัด ความเร็ว และอัตราเร่ง

การเลือกว่าจะวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนอยู่ในรูปของการจัดหรือความเร็วหรืออัตราเร่งนั้น ขึ้นกับลักษณะการทำงานและความถี่ของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่จะทำการวัด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหากขนาดของพารามิเตอร์ (การจัดหรือความเร็วหรืออัตราเร่ง) ที่วัดได้มีค่ามาก มักจะบ่งบอกถึงสภาพที่มีปัญหาของเครื่องจักร แต่ตัวพารามิเตอร์อีกตัวที่จะเป็นตัวกำหนดว่าจะเลือกวัดด้วยค่าอะไรก็คือ ความถี่ที่ใช้งานของเครื่องจักรนั้น

เนื่องจากพลังงานที่สะสมในการสั่นสะเทือนเป็นฟังก์ชันของความเร็ว ดังนั้นความเร็วมักเป็นคุณลักษณะที่ถูกจัดเป็นพื้นฐานสำหรับอ้างอิง ถ้าใช้ความเร็วเป็นฐานเปรียบเทียบโดยสมมติว่ามีขนาดแอมพลิจูดคงที่ทุก ๆ ความถี่ แอมพลิจูดของการจัดก็จะมีค่าสูงที่ความถี่ต่ำและลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

ส่วนอัตราเร่งจะมีแอมพลิจูดน้อยที่ความถี่ต่ำและมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความถี่ดังที่แสดงไว้ในรูป ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าสัญญาณจะเด่นชัดสำหรับการขจัดที่ความถี่ต่ำและจะเด่นชัดสำหรับอัตราเร่งที่ความถี่สูง



รูป 3-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของคุณลักษณะการสั่นสะเทือนต่างๆ

ในกรณีที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนที่ด้วยความถี่ต่ำ (ต่ำกว่า 600 CPM) มักนิยมทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยปริมาณของการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ เนื่องจากเป็นปริมาณที่บอกลักษณะของการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำได้ดีที่สุด

สำหรับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ด้วยความถี่ประมาณ 600 CPM ถึง 60,000 CPM มักนิยมทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยปริมาณของความเร็ว

สรุปได้ว่า

- ที่ความถี่ต่ำเหมาะที่จะวัด โดยการขจัด
- ที่ความถี่ปานกลางเหมาะที่จะวัด โดยความเร็ว
- ที่ความถี่สูงเหมาะที่จะวัด โดยอัตราเร่ง

3.3 มุมเฟส

จะเป็นค่าความแตกต่างของตำแหน่งชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนขึ้นหนึ่ง เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงหรือชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนอีกชิ้นหนึ่ง มุมเฟสจะใช้เป็นข้อมูลบอกลักษณะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งต่าง ๆ บนเครื่องจักร ในทางปฏิบัติเมื่อทำการวัดมุมเฟส มุมเฟสมักหมายถึงมุมที่เฟลาเคลื่อนที่จากจุดที่เริ่มเก็บข้อมูล(มักหมายถึงจุดที่ Tachometer หรือ Photocell เริ่มวัด) จนถึงจุดที่ตัวเฟลาตรวจเริ่มจับค่าแรงทางด้านบวกที่มีค่าสูงสุด เฟสจะมีหน่วยเป็นองศา ในรูปด้านล่างแสดงถึงลักษณะการวัดมุมเฟส มุมเฟสจะเป็นข้อมูลเพิ่มเติมที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบน โดเมนความถี่ ทำให้สามารถบ่งบอกลักษณะความเสียหายได้ชัดเจนขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

จากที่กล่าวมาสามารถแบ่งชนิดสัญญาณที่จะวิเคราะห์ได้สองชนิดหลัก ๆ ได้แก่ สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall Value) และ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ โดยสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวมสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง โดยใช้หลักการที่ว่า ขนาดของสัญญาณยิ่งมาก เครื่องจักรก็ยิ่งมีแนวโน้มว่าจะบกพร่องได้มาก โดยจะมีค่าอ้างอิงของความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่จะวิเคราะห์ในรายละเอียดของข้อมูลที่ได้จากสัญญาณ ซึ่งนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องของเครื่องจักร

4.1 การประเมินค่าความรุนแรงของสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวม

เนื่องจากการวัดสัญญาณแบบรวม (Overall Value) เครื่องจักรอาจมีมวลต่าง ๆ กัน และทำงานที่ความเร็วต่างกัน ระดับการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้หรือยอมรับไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่ายอมรับกันที่ดีที่สุดควรมาจากการเก็บสะสมข้อมูลของเครื่องจักรแต่ละตัวภายใต้การทำงานจริง เนื่องจากว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่องถึงแม้จะมีลักษณะและเงื่อนไขที่เหมือนกัน ผลิตมาจากผู้ผลิตเดียวกันแต่ก็มีคุณลักษณะของการสั่นสะเทือนที่ไม่เหมือนกัน ค่าโดยรวมที่จะใช้สำหรับคู่มือแนวโน้มว่าระดับการสั่นสะเทือนถึงระดับที่เกณฑ์กำหนดหรือไม่ ถ้าพิจารณาแล้วเกินก็จะทำการแก้ไขก็จะทำการแก้ไขให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ปกติ ในส่วนนี้จะใช้ในการดูขนาด โดยรวมเพื่อกำหนดการบำรุงรักษาแต่ไม่สามารถรู้ถึงสาเหตุได้อย่างแท้จริง

4.2 การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม (Trend Analysis)

เป็นการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้จากการตรวจวัดเครื่องจักร ในช่วงเวลาที่ต่าง ๆ กัน แล้วนำมาเปรียบเทียบหาแนวโน้ม โดยข้อมูลที่เปรียบเทียบจะต้องเป็นข้อมูลที่วัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบเดียวกันและในตำแหน่งเดิมและทิศทางเดิมเสมอ เมื่อนำสัญญาณมาเปรียบเทียบบนแกนเวลา หากสัญญาณมีลักษณะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นมากขึ้นด้วยอัตราที่คงที่และสม่ำเสมอ ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบ่งบอกถึงการทำงานและการสึกหรอเป็นปกติ หากสัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีอัตราการเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อย ๆ (โดยที่ได้ตรวจสอบจนแน่ใจว่าสัญญาณที่วัดนั้นถูกต้อง) ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบอกให้รู้ว่า มีความบกพร่องเกิดขึ้นกับเครื่องจักรอย่างแน่นอน และจะต้องหยุดเครื่องจักรทำการซ่อมบำรุงเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้ทำการวิเคราะห์อาจไม่รู้ถึงเหตุผลของข้อบกพร่องของเครื่องจักรว่าคืออะไร

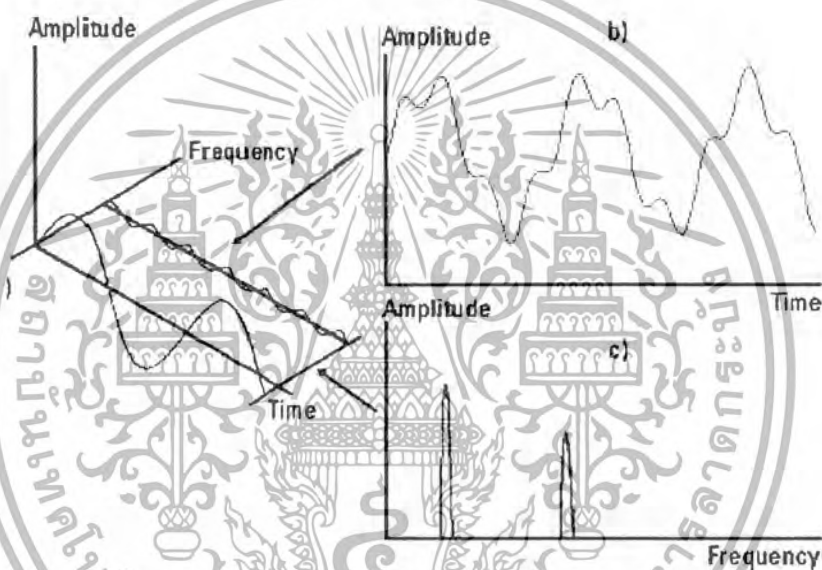
4.3 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยดูจากสัญญาณใน โดเมนความถี่ นั้นจะทำให้เราสามารถรู้ที่มาของสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ การแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีข้อมูลขนาดที่ความถี่ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสาเหตุต่างๆ แต่จะมีความถี่อื่นอีกที่รวมอยู่เนื่องจากความซับซ้อนของสัญญาณ

ที่มาจากลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องจักรแต่ละชนิด ซึ่งจะขอแยกการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เป็นทางกลและทางไฟฟ้า ทางกลนั้นจะพิจารณาผลกระทบจาก Bearing อย่างเดียวเพราะมีการเสียหายก่อนส่วนอื่นและเป็นสาเหตุสำคัญ

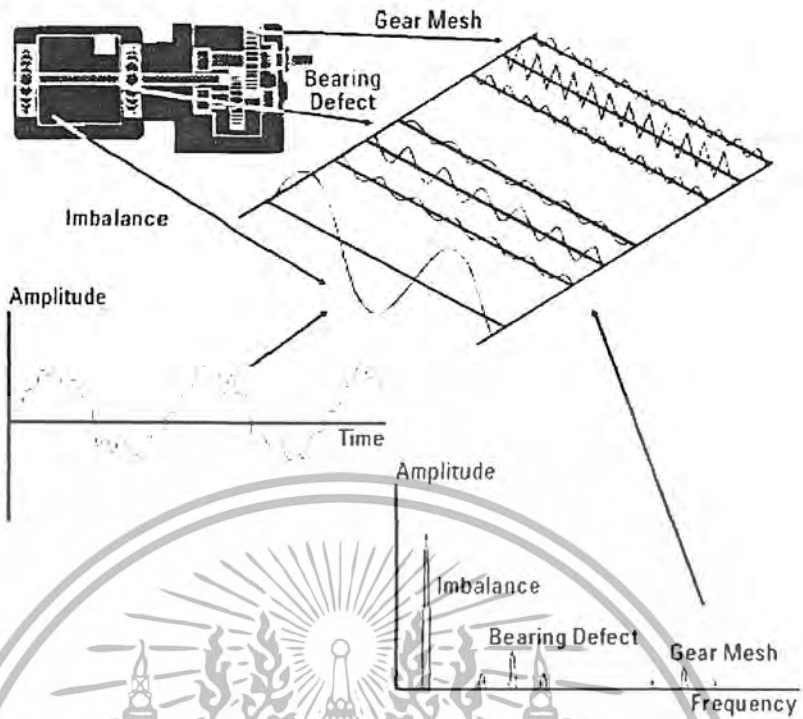
4.4 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้มานั้นจะเป็นสัญญาณแบบฮาร์มอนิก (harmonic) ที่เกิดจากลักษณะของแรงที่มากระตุ้นซึ่งมีลักษณะเป็นแบบฮาร์มอนิก ด้วย สัญญาณแต่ละฮาร์มอนิกนั้นจะเกิดจากความบกพร่องของเครื่องจักรในระบบความถี่ต่างๆ ซึ่งความถี่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความบกพร่องของเครื่องจักรนั้น ในการที่เราจะหาความบกพร่องของเครื่องจักรเราจึงต้องทำการแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบมาเป็นแกนความถี่ ซึ่งทำได้ด้วยขั้นตอนที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier transfer : FFT) เช่นในกรณีที่สัญญาณมีฮาร์มอนิก อันดับ 1, 2,3 เมื่อทำการแปลง FFT ก็จะได้



รูป 4-1 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

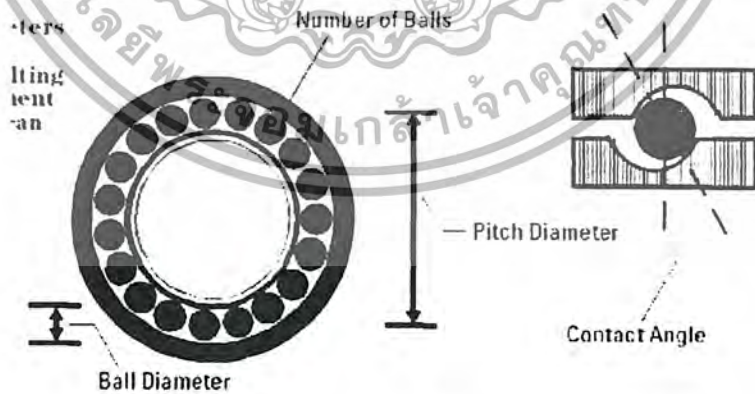
เมื่อทำการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมมาใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรก็จะทำให้ได้ข้อมูลในการบอกขนาดการสั่นสะเทือนซึ่งแสดงในรูปแบบค่ารวม (Overall Value) โดยมีค่าเป็นตัวเลขค่าหนึ่ง ในความเป็นจริงจะประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีขนาดต่างๆกันที่อยู่แต่ละความถี่ ซึ่งที่บางความถี่ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากก็จะเป็นตัวบ่งบอกว่าถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นก็จะเกิดจากชิ้นส่วนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับความถี่นั้นๆ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบรวมจะเป็นการบอกลักษณะทั่วไปถึงขนาดของการสั่นสะเทือนว่ามีขนาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่เท่านั้น แต่การวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจะบอกถึงค่าความถี่ใดมีขนาดการสั่นสะเทือนผิดปกติจากข้อมูลเหล่านี้มักจะสามารนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจึงให้ข้อมูลที่รายละเอียดกว่าและมีความสามารถในการบ่งบอกสาเหตุ การเกิดการสั่นสะเทือนได้มากกว่า



รูปที่ 4-2 การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

4.5 การสั่นสะเทือนเนื่องจากความเสียหายของตลับลูกปืน

ข้อบกพร่องของตลับลูกปืนมักเกิดจากความเสียหายของพื้นผิวของรางลูกปืน ทั้งทางด้านนอกและด้านใน ตลอดจนถึงมีคลูกปืนทำให้เกิดการอูเสียดสีกระแทกกันระหว่างลูกปืนกับรางลูกปืน การสั่นสะเทือนมักเกิดที่ความเร็วรอบของเพล่า ซึ่งความเสียหายจะขึ้นอยู่กับว่าเป็นส่วนไหนของ Bearing



รูปที่ 4-3 ความถี่ของการสั่นสะเทือนจากข้อบกพร่องของตลับลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะความถี่ของดรัมลูกปืน

- ความเสียหายของของรายนอก = $n/2 (rpm/60) (1-B_d \cos\phi/P_d)$ Hz
(ความถี่ของลูกปืนรายนอก)
- ความเสียหายของรางใน = $n/2 (rpm/60) (1+B_d \cos\phi/P_d)$ Hz
(ความถี่ดรัมลูกปืนรางใน)
- ลูกปืนเสียหาย = $P_d/B_d(rpm/60)(1-(B_d \cos\phi)^2/P_d)$ Hz
- ความถี่จุดพื้นฐาน = $1/2 (rpm/60)(1-B_d \cos\phi/P_d)$ Hz

เมื่อกำหนดให้

P_d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ (Pitch Diameter)

B_d = เส้นผ่านศูนย์กลางลูกปืน (Ball Diameter)

n = จำนวนลูกปืน

ϕ = มุมสัมผัส (Contact angle)

คุณลักษณะการสั่นสะเทือนจากสาเหตุทางกลส่วนอื่นสามารถสรุปมาได้ดังตาราง

ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะการสั่นสะเทือนจากสาเหตุต่างๆ

สาเหตุ	ลักษณะ	ความถี่	เฟส	ข้อสังเกต
การไม่สมดุล	มีขนาดมากที่สุดในแนวรัศมี	1x RPM	เป็นจุดเดียว	ต้นเหตุที่พบบ่อย
การเอียงแกนและเพลงอ	ขนาดใหญ่ตามแนวแกน มีการสั่นสะเทือนตามแนวรัศมีขนาด 50%	โดยทั่วไป 1xRPM และ 2,3xRPM ในบางครั้ง	เป็นจุดเดียว สองจุด สามจุด	มักมีขนาดใหญ่ตามแนวแกน
แบร์ริงชำรุด	ขนาดไม่สม่ำเสมอ ให้ความเร็ว อัตราเร่ง	สูงมากเป็นหลายเท่าของ RPM มักเป็นเลขไม่ลงตัว	เป็นลักษณะหลายจุด	แบร์ริงที่เสียวมักเป็นตัวที่ใกล้จุดที่สั่นสะเทือนสูงสุด
เอียงศูนย์	ขนาดมักไม่ใหญ่	1xRPM	จุดเดียว	ถ้าเป็นการเอียงศูนย์ของมอเตอร์ จะหายไปเมื่อหยุดจ่ายไฟ

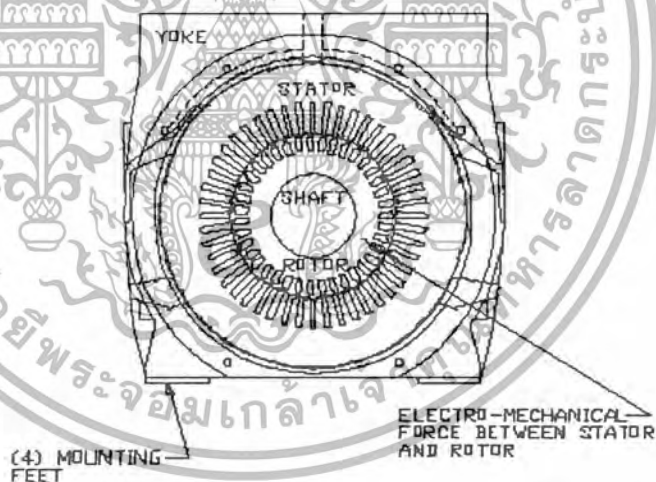
บทที่ 5

การสั่นสะเทือนเนื่องจากสาเหตุของสัญญาณทางไฟฟ้า

ในส่วนของ การสั่นสะเทือนทางไฟฟ้าจะเป็นผลที่เกิดจากความผิดพลาดหรือความไม่สมบูรณ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเบื้องต้นนั้นมาจาก 4 แหล่งดังนี้

5.1 Twice Line Frequency Vibration

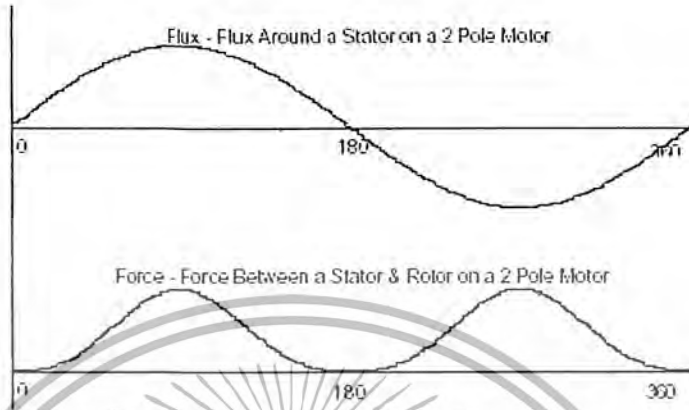
แรงหรือปฏิกิริยาระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ดังรูปที่ 5-1 เมื่อแหล่งจ่ายเป็น Sinewave จะมีทั้งทางบวกและลบนั้นเป็นผลที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งความต่างกันของทางกลและทางไฟฟ้าของการสั่นสะเทือนนั้นจะมีลักษณะความถี่เดียวกันซึ่งต้องดูที่ค่าสูงสุดของการสั่นสะเทือน ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์โดยจะมีค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเมื่อแรงดันมีค่าสูงสุดทั้งบวกและลบจึงทำให้ เฟส เกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนขึ้น 2 ถี่ แสดงดังรูปที่ 5-2 ซึ่งเป็นผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เฟรมมอเตอร์และฐาน นอกจากนี้ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งในการ balance ทางไฟฟ้านั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับโพลหรือกระแส แต่ขึ้นอยู่กับ ampere-turns ของสเตเตอร์และโรเตอร์นี้โดยมีลักษณะสัญญาณที่เหมือนกันทั้ง no-load และ full-load ดังนั้นในส่วนประกอบหลักของ Twice line frequency การสั่นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นโดยความไม่สมดุลของสนามแม่เหล็กที่เป็นแรงดึงระหว่างฝั่งตรงข้ามกันเองของ air gap และจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตาม โพล



รูปที่ 5.1 สเตเตอร์และโรเตอร์

สำหรับมอเตอร์ 2 pole ระดับสัญญาณการสั่นสะเทือนของ twice line frequency จะปรากฏที่ 2 ช่วงเวลาความถี่การหมุน ในปัญหาของมอเตอร์แต่ละตัว เช่น การเสียดสี, ส่วนที่หลวมและดัดปลุกปืน เบี้ยว นั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ 2 ช่วงเวลาความถี่การหมุนได้ ซึ่งการสั่นสะเทือนของ twice line frequency ที่ 2 ช่วงเวลาจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อมัน in phase และหักล้างเมื่อ out of phase และจะเพิ่มอีกเมื่อ in phase อีกครั้ง สัญญาณก็จะขึ้นลงที่ความถี่ 2 ช่วงเวลา ค่าสลิปของมอเตอร์ 2 pole ใน

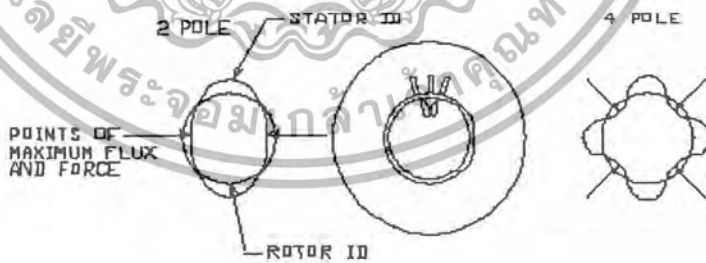
สภาวะ no load ความถี่ในการหมุน เมื่อมีโหลดความเร็วจะเปลี่ยนจาก 7200 cpm (120Hz, 2 pole) จนถึงความเร็วค่า สลิปซึ่งโรเตอร์จะหมุนช้ากว่าสลิปจะอยู่ที่ 1% ในที่คิด full load ในสภาวะ no load จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ระดับการสั่นสะเทือนจะไม่คงที่จึงต้องอ้างอิงกับ modulation ใน modulation test โดยจะให้มอเตอร์ทำงานเป็นเวลา 10-15 นาทีและบันทึกค่า max และ min



รูปที่ 5-2 One period flux wave and magnetic force wave

5.2 Elliptical สัตเตอร์ Due to Fundamental Flux

ในรูปที่ 5-3 แสดงมอเตอร์ 2 pole แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นรูปวงรี การต้านการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแกนเหล็กและ ความแข็งแรงของโครงสร้าง สัตเตอร์ ในมอเตอร์ 4 pole ระยะระหว่างขั้วจะเป็น 45 องศา ทางกล เป็น ครึ่งหนึ่งของมอเตอร์ 2 pole ในการคำนวณกับมอเตอร์ 1000-hp 2pole ที่ 60Hz เกิดการสั่นสะเทือนที่ 120Hz ที่แกนสตัเตอร์ ได้ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุด ประมาณ 0.12 in/s peak ถ้าเป็นมอเตอร์ 4pole ในขนาดความถี่เดียวกันจะได้ค่าการสั่นสะเทือน 0.02-0.03 in/s ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าขนาด twice line frequency vibration



รูปที่ 5-3 Electromechanical force on two and four pole motors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Nonsymmetrical Air Gap

ระดับการสั่นสะเทือนของ twice line frequency เมื่อ air gap ไม่เป็นสัดส่วนระหว่าง สเตเตอร์ และ โรเตอร์ แสดงดังรูปที่ 5-4 ในส่วนนี้จะมีผลให้แรงแม่เหล็กมากที่สุดที่ระยะ air gap น้อยที่สุด ค่าลึงแม่เหล็กที่ไม่สมดุลจะมีอยู่บริเวณระยะ air gap น้อยที่สุดซึ่งแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{Force} \approx B^2/d$$

โดย $B = \text{flux density}$

$D = \text{ระยะ air gap}$

ในส่วนนี้ไม่ใช่แรงจากสเตเตอร์คิงในทิศทางเดียว แต่จะเป็นแรงที่ดึงจากโรเตอร์ด้วย ในส่วนที่มีระยะช่องว่างอากาศน้อยที่สุดนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เพลลา ซึ่งเป็นผลเสียต่อการใช้งาน คลับลูกปืน



รูปที่ 5-4 Unsymmetrical air gap around โรเตอร์

5.4 One-Time-Line-Frequency Vibration

แม้ว่าจะมีสัญญาณที่ไม่เด่นชัดกว่าสัญญาณของ twice line frequency แต่ก็ยังถือว่ายังมีผลอยู่ สนามแม่เหล็กที่ไม่สมดุลจะมีผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ line frequency เท่ากับการสั่นสะเทือนของ twice line frequency ถ้าเกิดว่าสเตเตอร์หรือโรเตอร์ เกิดการเคลื่อนที่จากข้างหนึ่ง ไปอีกข้างหนึ่งทำให้จุดที่มีระยะ air gap น้อยสุด เกิดการเคลื่อนที่และเมื่อความถี่ในการเคลื่อนที่นี้เท่ากับความถี่ของสนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ เป็นผลให้สนามแม่เหล็กที่ไม่สมดุลเกิดการเคลื่อนที่ไปกับจุดที่มี air gap น้อยที่สุด จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ line frequency ในการสั่นสะเทือนที่ line frequency นี้ โดยปกติจะมีน้อยมาก หรือถือว่าไม่ปรากฏ แต่ถ้าระบบ สเตเตอร์ หรือ โรเตอร์ มีความความถี่ resonant แล้วนั้นจะทำให้มีขนาด การสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้นได้

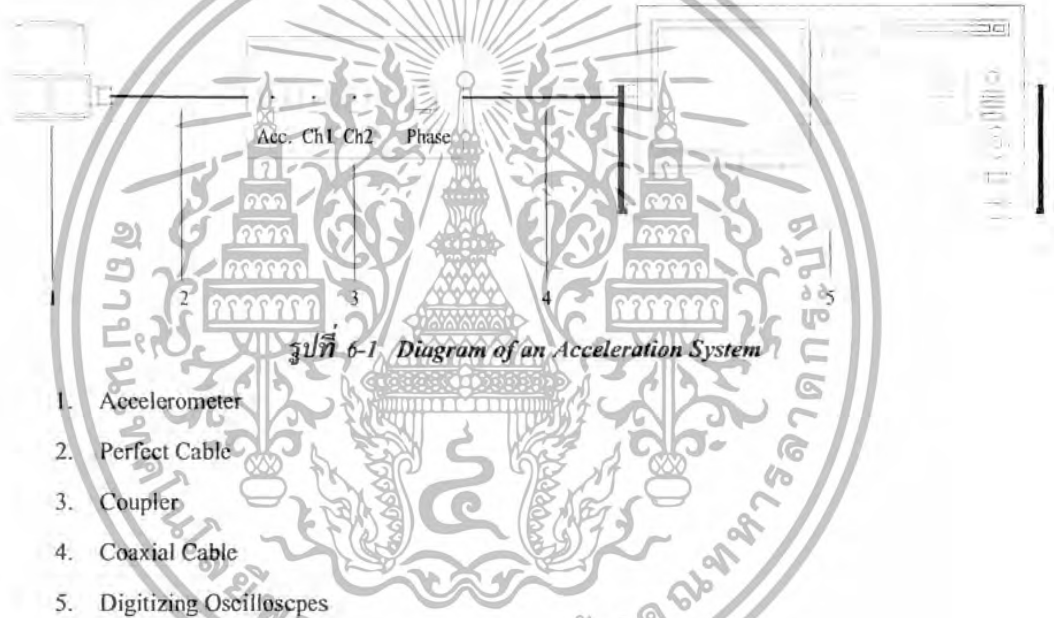
ซึ่งทั้ง 4 ข้อนั้นเป็นการสั่นสะเทือนพื้นฐานของมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วสาเหตุการสั่นสะเทือนที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถแยกเป็นสาเหตุต่าง ๆ ซึ่งจะมีลักษณะความถี่ต่างกันไป และวิธีการทดสอบที่จะหาสาเหตุการสั่นสะเทือนก็จะต่างกันไป เช่น eccentric โรเตอร์ ,broken โรเตอร์ bar เป็นต้น ซึ่งจะอ้างอิงกับเอกสาร IEEE(An Analytical approach to Solving Motor Vibration Problems)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

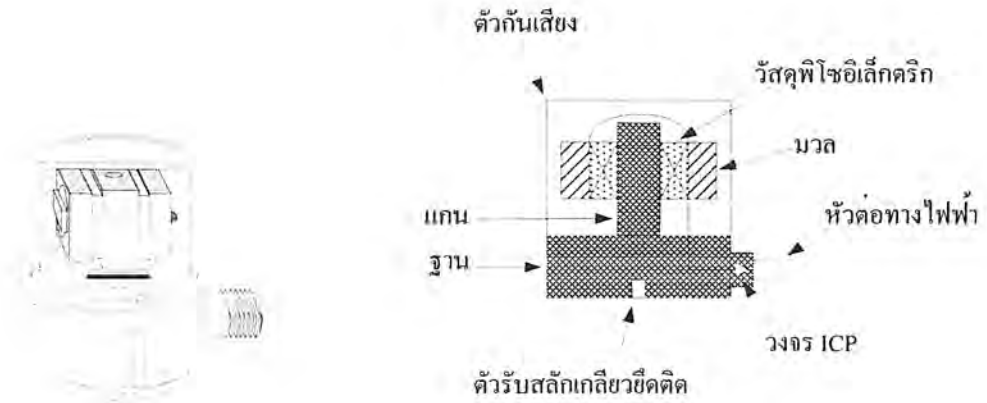
เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนจะมีองค์ประกอบหลัก ซึ่งประกอบด้วย หัวทรานส์ดิวเซอร์ สายวัด และเครื่องประมวลผลและอ่านผล ความเข้าใจในเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนนั้นมีความสำคัญอย่างมาก ต่อความแม่นยำในการวินิจฉัยข้อบกพร่องของเครื่องจักร เพราะว่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด จะต้องผ่านการแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและประมวลผลออกมา บางครั้งต้องผ่านตัวกรอง (Filter) ต่าง ๆ เช่น Fast Fourier Transform แล้วจึงแสดงผลออกมา ผลที่แสดงอาจให้ข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่ตรงกับ การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง หากมีการติดตั้งหัวทรานส์ดิวเซอร์ไม่ถูกต้อง มีการเลือกหัวทรานส์ดิวเซอร์ที่ไม่เหมาะสม หรือมีการเลือกวิธีการประมวลผลหรือตัววงจรการแปลงสัญญาณที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นความเข้าใจเรื่องเครื่องมือวัดและการใช้เครื่องมือวัดจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมาก



6.1 หลักการทำงานของ Accelerometer

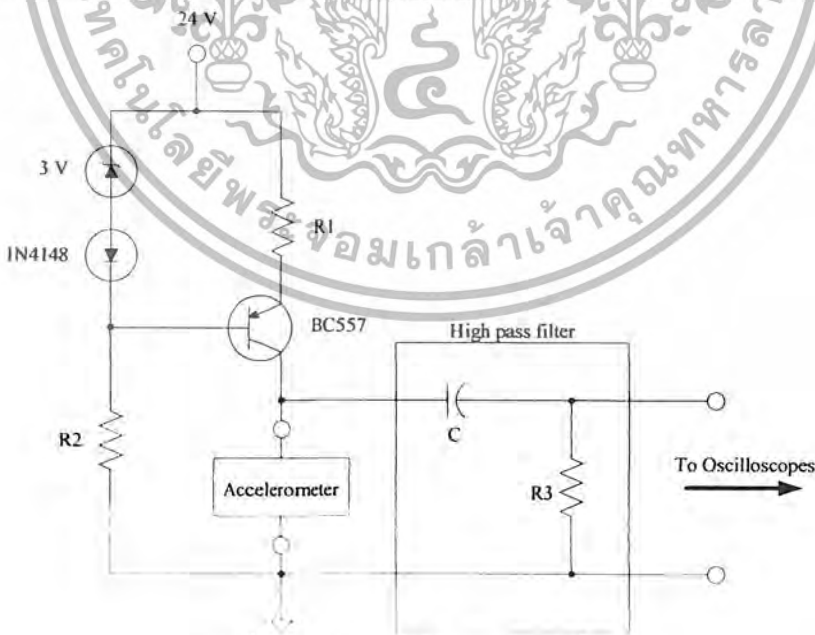
Accelerometer จะใช้แรงกดจากมวลในแนวเดียวกับสาร piezoelectric เมื่อฐานของ Accelerometer เคลื่อนที่จะส่งผลทำให้มวล m เคลื่อนที่ด้วย และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน $F = ma$ เมื่อมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a ก็จะทำให้เกิดแรง F กดลงบนสาร piezoelectric จนเกิดการยุบตัว เป็นเหตุให้มีประจุไฟฟ้าออกมาจากสาร piezoelectric ซึ่งแบบนี้จะมีอัตราส่วนความไวต่อมวลสูง



รูป 6-2 แสดงโครงสร้างของ Accelerometer

6.2 วงจรแหล่งจ่ายกระแสแสดงที่ของ Accelerometer

Accelerometer จะใช้หลักการพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) โดยจะใช้มวลวางกดทับกับวัสดุประเภทควอตซ์ (Quartz) ซึ่งคุณสมบัติของ Quartz นี้คือ จะเกิดประจุไฟฟ้าเมื่อถูกแรงกด ควอตซ์จะทำหน้าที่เป็นสปริงรับแรงกดจากก้อนมวลซึ่งสั่นทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้าตามแรงกด ดังนั้นเราจะต่อตัวเก็บประจุไว้ที่เอาต์พุตเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุทำให้เกิดสัญญาณคร่อมตัวต้านทาน และการต่ออนุกรมตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุก็เหมือนกับวงจร High pass filter ซึ่งความถี่ที่สูงกว่า 0.5 Hz จะสามารถผ่านไปได้ หลังจากนั้นเราจะนำสัญญาณที่ผ่านวงจร High pass filter แล้วไปเข้า Oscilloscopes ทำให้เราสามารถอ่านค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนได้ เราให้ความถี่ cut off ที่ 0.5 Hz เพราะว่าตัว Accelerometer นี้ทำงานที่ความถี่ต่ำสุด 0.5 Hz



รูปที่ 6-3 วงจรแหล่งจ่ายกระแสแสดงที่ของ Accelerometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรประกอบด้วยซีเนอร์ไดโอดที่มีค่า 3V , ไดโอดเบอร์ 1N4148 , R₁ , R₂ , ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC557 ชนิด PNP และมีอัตราขยายที่สูงเมื่อลดผลจากอุณหภูมิ ให้กระแสไหลเข้าขา B มีค่าน้อย ๆ สามารถคำนวณหาต่าง ๆ ได้ดังนี้

เรากำหนดให้ $I_{\text{constant}} = 4 \text{ mA}$, แหล่งจ่าย 24 V

$$R_1 = V_{\text{zener}} / I_{\text{constant}} = 3 / 0.004 = 750 \Omega$$

$$R_2 = \{ \text{แหล่งจ่าย} - (0.6 + V_{\text{zener}}) \} / I_{\text{zener}}$$

ในกรณีนี้ เราต้องการให้กระแสที่ไหลผ่าน Zener Diode เท่ากับ 10 mA

$$R_2 = \{ 24 - (0.6 + 3) \} / 10 \times 10^{-3}$$

$$= 2,040 \Omega$$

ดังนั้นเราเลือกใช้ $R_1 = 750 \Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

Z_0 จะมีค่าสูงมากประมาณ 2 M Ω

ค่ากระแสของตัว Accelerometer จะอยู่ประมาณ 2...20 mA

วงจรนี้ต้องการแหล่งจ่ายแรงดัน 20...30 V_{dc}

ความต้านทานของแหล่งจ่ายใช้มากกว่า 100 k Ω

สำหรับในส่วนของวงจร High pass filter จะเป็นการจำกัดช่วงความถี่ต่ำสุดที่สัญญาณผ่านไปได้อีกคือ 0.5 Hz โดยกำหนดให้ความถี่ cut off (f_c) = 0.5 Hz ซึ่งคำนวณจาก

$$F_c = 0.5 / (R * C)$$

กำหนดให้ R_3 มีค่า 1 M Ω และวงจรต่อกับ Oscilloscopes ที่มีค่า 10 M Ω

$$R_1 = R_3 // R_{\text{Oscilloscopes}}$$

$$= 909 \text{ k}\Omega$$

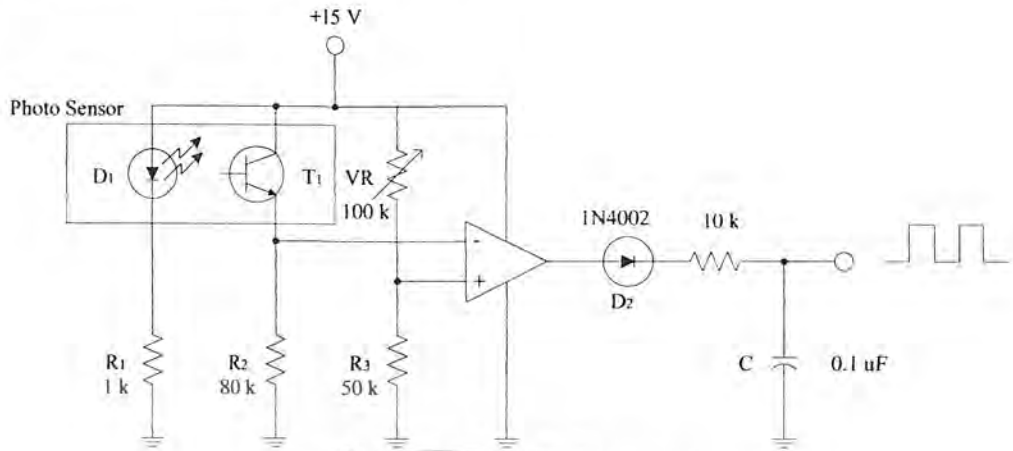
$$C = 0.5 / (0.5 * 909 * 10^3)$$

$$= 1.1 \mu\text{F}$$

ใช้ตัวเก็บประจุ 1 μF ซึ่งจะได้ความถี่ Cut off เท่ากับ 0.5 Hz ก็จะได้สัญญาณลดลงประมาณ -6 dB/octave หรือ -20 dB/decade

วงจรนี้จะทำงานได้ดีที่ความยาวของสายระหว่าง Sensor และแหล่งจ่ายมีค่าไม่เกิน 100 ฟุต

6.3 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง (Photo Sensor)



รูปที่ 6-4 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง

ในตัวอุปกรณ์รับส่งแสงจะเป็นตัวเดียวกัน แล้วอินฟราเรดจะส่งออกไปกระทบกับวัตถุสะท้อนแสงกลับมาให้ Photo-Transistor ทำกระแสไหลผ่านตัว T₁ ทำให้แรงดันตกคร่อม R₂ จ่ายให้กับขาลบ (-) ของออปแอมป์ ออปแอมป์จะทำการเปรียบเทียบแรงดันทั้ง 2 ขา ถ้าแรงดันที่ขาลบมากกว่าแรงดันทางด้านเอาต์พุทของออปแอมป์ก็จะเป็น 0 V แต่ถ้าแรงดันที่ขาบวก (+) มากกว่าแรงดันทางด้านเอาต์พุทของออปแอมป์ก็จะเป็น 15 V ในวงจรนี้เราคือสัญญาณไว้ที่ขาลบ เมื่อแสงไปกระทบวัตถุแล้วเกิดมีการสะท้อนกลับจะได้สัญญาณ 0 V ในการใช้งานนี้เราจะคิดเทปที่มีลักษณะทับแสงเพื่อไม่ให้มีแสงสะท้อนกลับได้ ทำให้เวลามอเตอร์หมุนจะเกิดระดับสัญญาณ 15 V ที่ตำแหน่งเทป



รูปที่ 6-5 แสดงการติดตั้งหัววัดและเทป

6.4 ตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer

ในการติดตั้งหัววัดจุดประสงค์ก็เพื่อรับแรงการสั่นสะเทือน ซึ่งจำเป็นต้องบอกตำแหน่งที่จะรับแรงการสั่นสะเทือนได้มากที่สุดและยังต้องเป็นตำแหน่งที่จะต้องรับผลกระทบของการสั่นสะเทือนเพื่อที่จะนำสัญญาณไปใช้การวิเคราะห์ ผลกระทบของการสั่นสะเทือนตำแหน่งที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816-1 ต้องมีการวัดทั้ง 3 แกนคือ แนวอน แนวตั้ง และแนวแกน (ในกรณีที่เป็นเครื่องจักรหมุน)

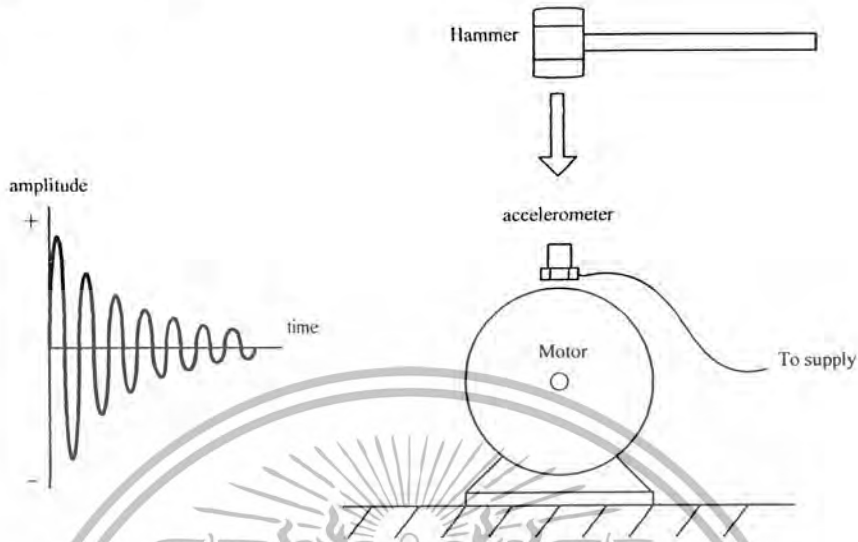


รูปที่ 6-6 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer

ผลกระทบที่จะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรลดลงก็คือ ความถี่ โชนั่นที่ ถ้าเราใช้งานเครื่องจักรหมุนที่เกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนตรงกับความถี่ โชนั่นของระบบทางกลแล้วจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดแรงกระทำที่ตำแหน่งที่เกิดริ โชนั่นจำนวนมาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทราบความถี่ โชนั่นของการสั่นสะเทือน ณ ตำแหน่งและทิศทางนั้นเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดขึ้น

6.5 การทดสอบหาความถี่โซแนนท์

ในการทดสอบเราจะใช้วิธีการกระตุ้น โดยใช้การกระแทกเข้าที่ตัวมอเตอร์ ณ ทิศทางเดียวกันกับการติดตั้ง Accelerometer



รูปที่ 6-7 แสดงการทดสอบหาความถี่โซแนนท์

ในกรณีที่มีการพิจารณาการสั่นสะเทือนที่ 1 ถ้าตั้งขึ้นความเป็นอิสระ ค่าความถี่ โซแนนท์จะหา

ได้จาก $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ซึ่งในการคำนวณนี้ใช้กับระบบที่มีความหน่วงต่ำ จากทฤษฎีผลกระทบต่อแรงคลจะ
ได้ผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{6.1}$$

จะมีค่าเท่ากับ

$$x(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left\{ X_0 \cos \omega_d t + \frac{X_0 + \zeta\omega_n X_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right\} \tag{6.2}$$

โดย

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} \tag{6.3}$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \tag{6.4}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{6.5}$$

ถ้ามวลอยู่ในสภาพหยุดนิ่งก่อนที่จะมีแรงคลขนาดหนึ่งหน่วยมากระทำ นั่นคือ

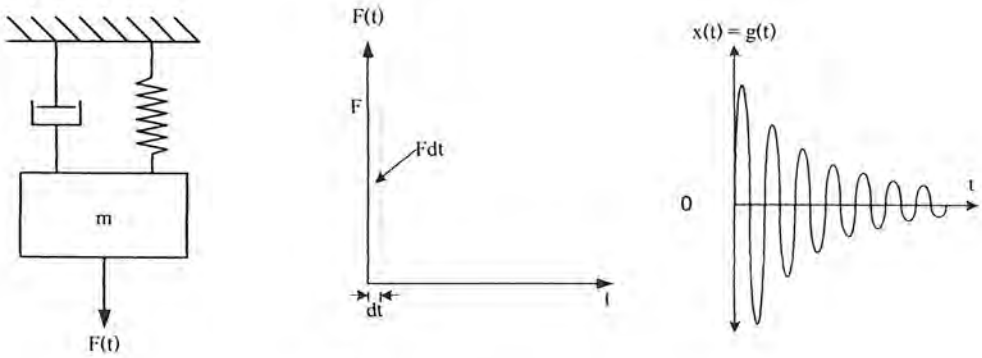
$$x = \dot{x} = 0 \quad \text{เมื่อ } t \leq 0$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ของ โมเมนต์คัมและแรงคล จะได้ว่า

$$\text{Unit Impulse} = \tilde{I} = 1 = m \dot{x}'(t=0) - m \dot{x}'(t=0^-)$$

$$m \dot{x}'(t=0) = m \dot{x}'_0$$

$$1 = m \dot{x}'_0$$



รูปที่ 6-8 แสดงสัญญาณ Impulse Response

ทำให้สภาพเริ่มต้นมีค่าเป็น

$$x(t=0) = x_0 = 0$$

และความเร็ว

$$\dot{x}(t=0) = \dot{x}_0 = 1/m \tag{6.6}$$

จากสมการที่ 3 จะทำให้สมการ (2) กลายเป็น

$$x(t) = \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{m\omega_d} \sin \omega_d t \tag{6.7}$$

เราเรียกสมการนี้ว่าฟังก์ชันตอบสนองต่อแรงคด (Impulse Response Function)

ถ้ามีแรงภายนอกมากระทำต่อระบบ ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเป็น

$$x(t) = \frac{\bar{F}e^{-\zeta\omega_n t}}{m\omega_d} \sin \omega_d t \tag{6.8}$$

กำหนดให้

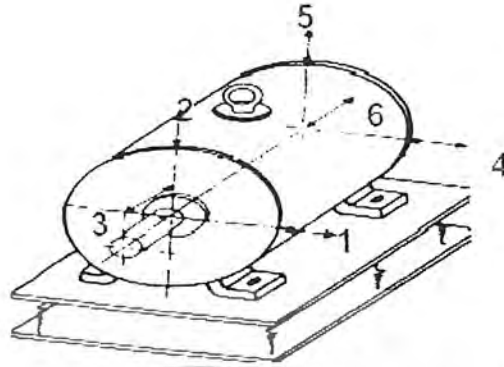
$$\bar{F} = F\Delta t$$

ω_d = ความเร็วเชิงมุมของการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงคด

แต่เนื่องจากในระบบทางกลจริงของมอเตอร์มีความถี่รีโซแนนซ์มากเนื่องจากมีความซับซ้อนของโครงสร้างและชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นโครงสร้างนั้น ในการทดสอบหาค่าความถี่รีโซแนนซ์ในปฏิยานุพันธ์นี้เป็นกรหาโดยการจ่ายแรงกระแสสลับ โดยใช้ค้อนพลาสติกกระแทกเข้าไปที่ตัวมอเตอร์ แล้วดูสเปกตรัมของสัญญาณซึ่งความถี่ต่าง ๆ ที่ปรากฏในแต่ละครั้งของการกระแทกจะเกิดขึ้นที่ความถี่เดียวกัน ในการทดสอบการสั่นสะเทือนทางไฟฟ้าของมอเตอร์นี้เราจะติดตั้ง Accelerometer ไว้ที่ตำแหน่งเดียว ดังนั้นเราจะหาความถี่รีโซแนนซ์ที่ตำแหน่งเดียว ซึ่งเราได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งติดตั้งหัววัดกับค่ารีโซแนนซ์

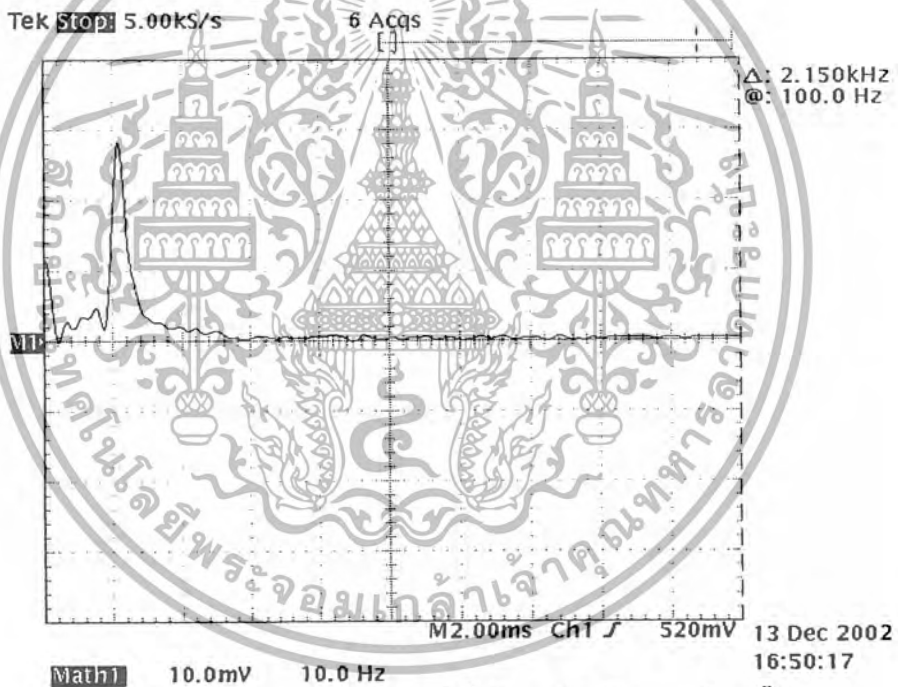
6.6 การทดสอบค่ารีโซแนนซ์มอเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50Hz 4 Pole



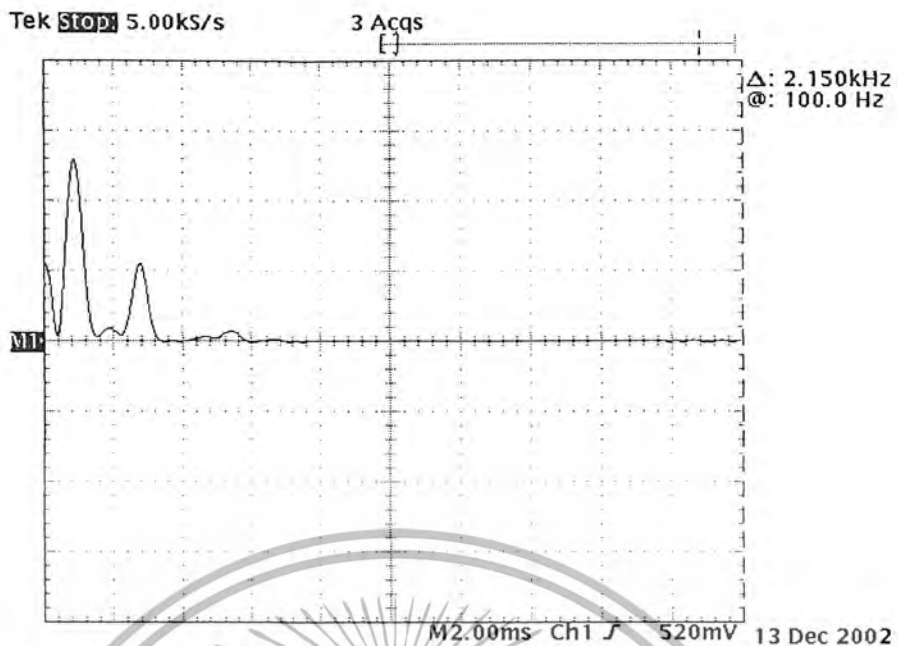
รูปที่ 6-9 แสดงตำแหน่งในการวัดค่ารีโซแนนซ์

ผลการทดลอง



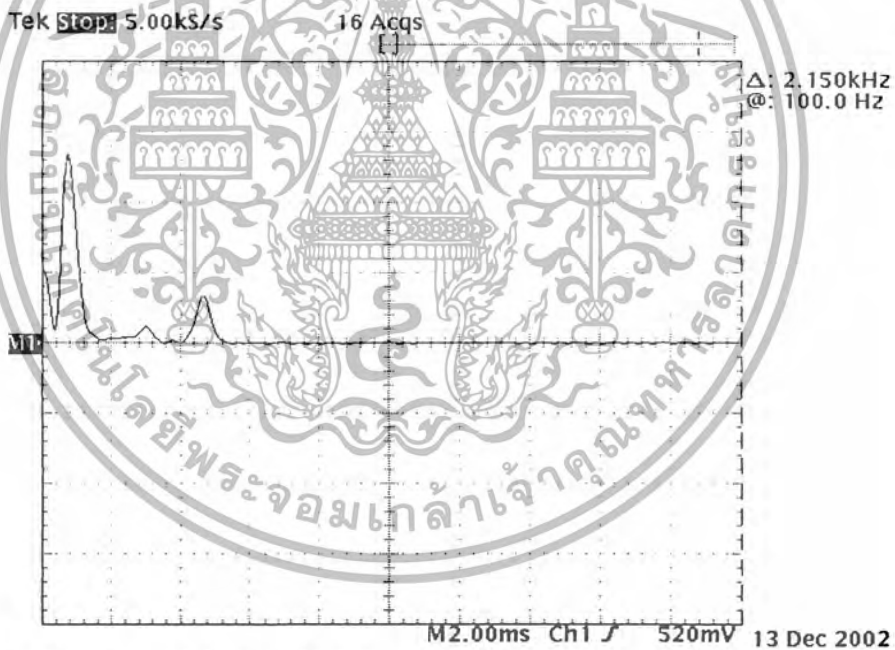
รูปที่ 6-10 แสดงค่ารีโซแนนซ์เมื่อวัดทางด้านหัวมอเตอร์แนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Math1 10.0mV 10.0 Hz

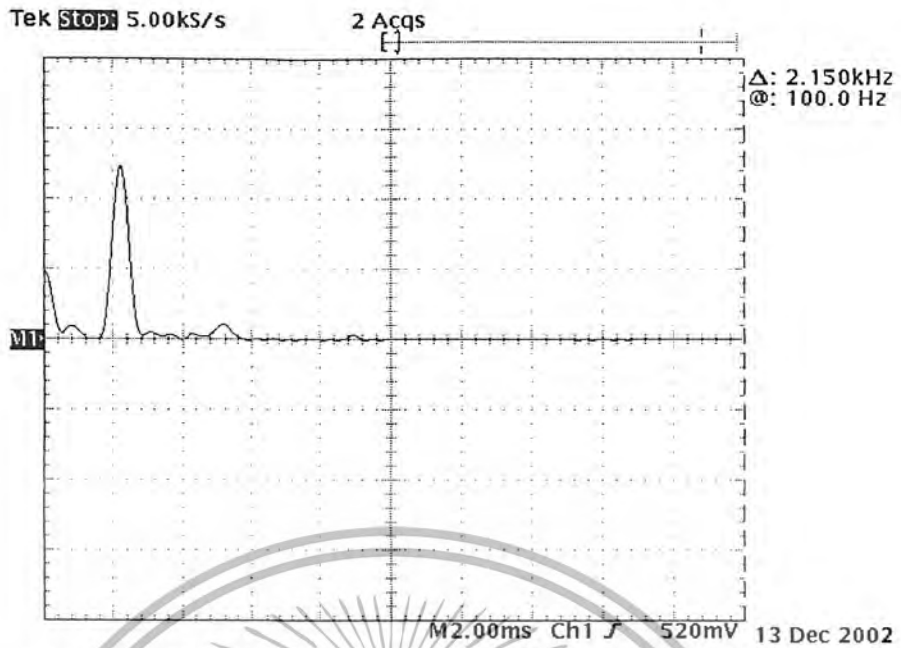
รูปที่ 6-11 แสดงค่ารีโซแนนซ์เมื่อวัดทางด้านหัวมอเตอร์แนวอน



Math1 10.0mV 10.0 Hz

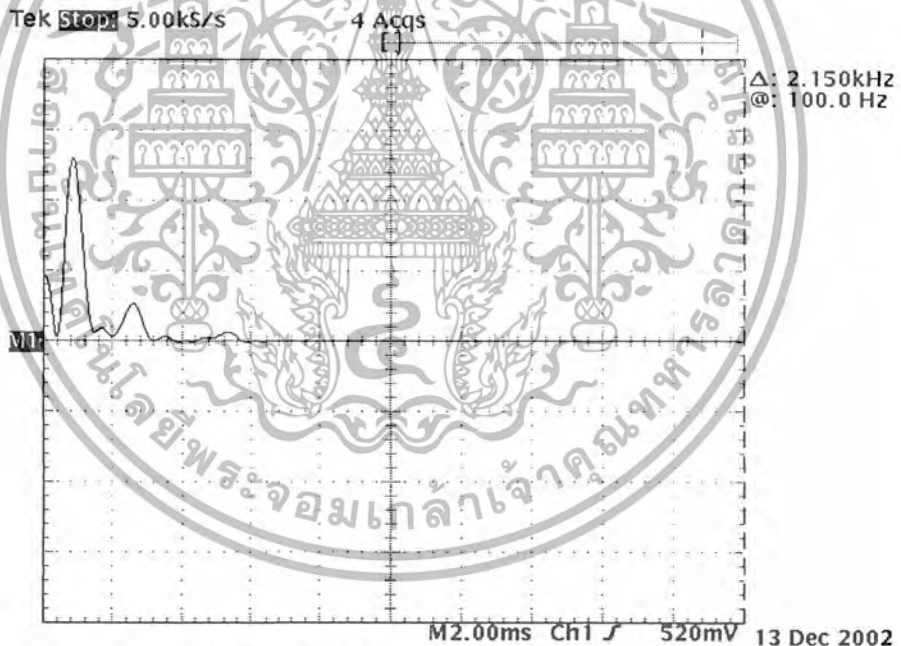
รูปที่ 6-12 แสดงค่ารีโซแนนซ์เมื่อวัดทางด้านหัวมอเตอร์แนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Math1 10.0mV 10.0 Hz 17:01:44

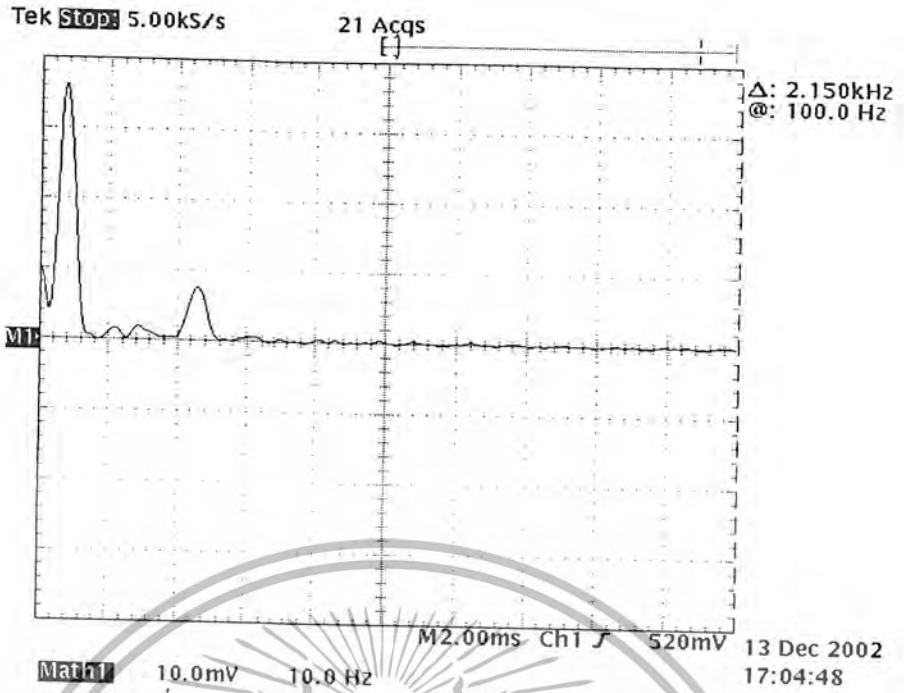
รูปที่ 6-13 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านท้ายมอเตอร์แนวตั้ง



Math1 10.0mV 10.0 Hz 17:02:38

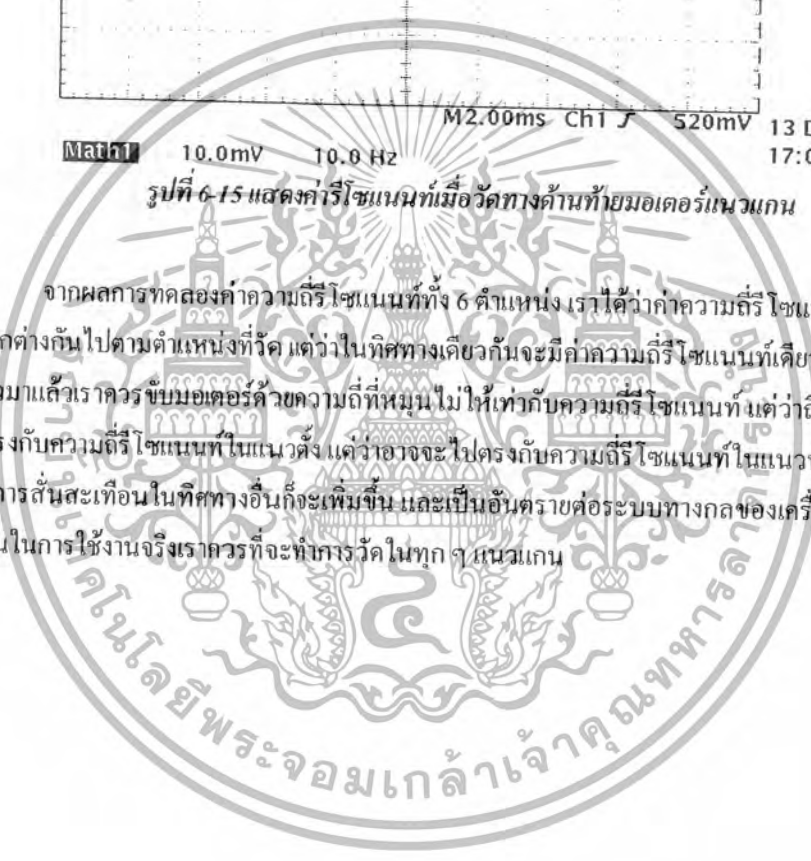
รูปที่ 6-14 แสดงค่ารีโซแนนท์เมื่อวัดทางด้านท้ายมอเตอร์แนวอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-15 แสดงค่ารีโซแนนซ์เมื่อวัดทางด้านท้ายมอเตอร์แนวแกน

จากผลการทดสอบค่าความถี่รีโซแนนซ์ทั้ง 6 ตำแหน่ง เราได้ค่าความถี่รีโซแนนซ์ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่วัด แต่ในทิศทางเดียวกันจะมีค่าความถี่รีโซแนนซ์เดียวกัน จากการที่ได้กล่าวมาแล้วเราควรขยับมอเตอร์ด้วยความถี่ที่หมุนไม่ ให้เท่ากับความถี่รีโซแนนซ์ แต่ว่าถึงแม้ว่าความถี่จะไม่ตรงกับค่าความถี่รีโซแนนซ์ในแนวตั้ง แต่ว่าอาจจะไปตรงกับค่าความถี่รีโซแนนซ์ในแนวนอนได้ ดังนั้นผลของการสั่นสะเทือนในทิศทางอื่นก็จะเพิ่มขึ้น และเป็นอันตรายต่อระบบทางกลของเครื่องจักรได้เช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานจริงเราควรที่จะทำการวัดในทุก ๆ แนวแกน



บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

7.1 วัตถุประสงค์

1. สามารถทราบค่าความถี่ โชนแนนซ์ของระบบได้
2. เพื่อตรวจสอบการติดตั้งของเครื่องจักรว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงพอหรือไม่
3. เพื่อศึกษาการแก้ไขเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือน เนื่องจากการไม่สมดุลให้มีขนาดการสั่นสะเทือนลดลง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรได้
4. เพื่อศึกษาว่าตำแหน่งของมวลถ่วงที่ระยะห่างต่างกันจะส่งผลอย่างไร
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเฟสอันเนื่องมาจากความถี่ โชนแนนซ์ เพื่อที่จะเลือกใช้งานและวิเคราะห์ตำแหน่งของมวลถ่วงได้อย่างถูกต้อง

7.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Accelerometer
2. สาย Perfect Cable
3. Coupler
4. สาย Coaxial Cable
5. Digitizing Oscilloscopes ยี่ห้อ Tektronix TDS 460A
6. มอเตอร์ขนาด 1 Hp 3 เฟส
7. แท่นทดสอบ
8. สปริง

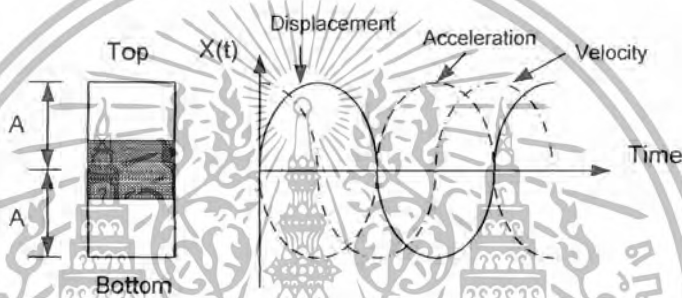
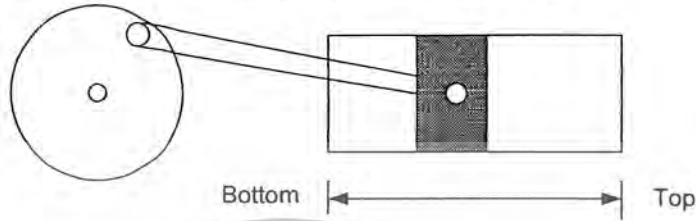
7.3 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวัดค่าแรง มีลำดับดังนี้

1. ต่อสาย Perfect Cable จากหัววัด Accelerometer เข้าที่ช่อง Acc. ของ Coupler ซึ่งภายในประกอบด้วย วงจรแหล่งจ่ายกระแสสลับที่และ วงจรรับ-ส่งสัญญาณแสง
2. ต่อสาย Coaxial Cable จาก Coupler ช่อง CH1 ไปเข้า Digitizing Oscilloscopes ช่อง CH1
3. ในกรณีที่ต้องการวัดเฟสด้วย ให้นำสายหัววัดเฟสต่อเข้ากับวงจรรับ-ส่งสัญญาณแสง
4. ต่อสาย Coaxial Cable จาก Coupler ช่อง CH2 ไปเข้า Digitizing Oscilloscopes ช่อง CH2
5. เสียบปลั๊กไฟเพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร แหล่งจ่ายกระแสสลับที่และ วงจรรับ-ส่งสัญญาณแสง และเสียบปลั๊กไฟของเครื่อง Digitizing Oscilloscopes
6. ทำความสะอาดพื้นผิวที่จะทำการวัดและทำความสะอาดพื้นผิวของ Accelerometer ด้านที่จะติดตั้ง
7. ทำการกำหนดจุดที่ต้องการวัดโดยทำเครื่องหมายไว้ที่พื้นผิวของเครื่องจักรเพื่อที่จะวัดได้ตรงตำแหน่งเดิมทุกครั้ง
8. ใช้ขี้ผึ้งเป็นตัวยึดระหว่าง Accelerometer กับพื้นผิว โดยทาขี้ผึ้งกับ Accelerometer ก่อนแล้วจึงนำไปติดตั้งตามจุดที่ต้องการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer

ขนาดอัตราเร่งที่เราได้มาจากเครื่องมือวัดนั้น จะต้องมีการตรวจสอบว่าขนาดที่ได้มีความถูกต้องหรือคลาดเคลื่อน (error) ไปมากน้อยเพียงใด และควรเลือกใช้ขนาดหัววัดเท่าใดกับการวัดการสั่นสะเทือนนั้น ในการทดสอบเราจำเป็นต้องมีเครื่องกำเนิดการสั่นสะเทือนซึ่งจากการพิจารณาการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบนั้น ค่าอัตราเร่งจะขึ้นอยู่กับความเร็ว ซึ่งเป็นตัวแปรเดียวเท่านั้น ทำให้เราสามารถปรับอัตราเร่งจากความเร็วรอบของการหมุนหรือการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบได้ ดังรูป



รูป 7-1 แสดงการทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer

การเคลื่อนที่ $x = x(t) = X \sin \omega t$ m7.1

อัตราเร็ว $v = \dot{x}(t) = \omega X \cos \omega t = \omega X \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ m/s7.2

อัตราเร่ง $a = \ddot{x}(t) = -\omega^2 X \sin \omega t = \omega^2 X \sin(\omega t + \pi)$ m/s²7.3

จะเห็นว่าค่าอัตราความเร็ว อัตราเร่ง จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ซึ่งการเคลื่อนที่ได้ถูกกำหนดโดยโครงสร้างของลูกสูบอยู่แล้ว ในการทดสอบอัตราเร่งของลูกสูบจะเก็บค่าในรูปผลรวม (rms) แล้วนำค่านั้นมาหาค่าอัตราเร่งสูงสุดของสัญญาณ

การแปลงค่าจากหน่วย Volt(rms) เป็น อัตราเร่ง (m/s²)

$$a = \frac{Volt(rms) * \sqrt{2}}{Sensitivity} \quad \dots\dots 7.4$$

$$\% \text{ error} = [(\text{ค่าคำนวณ} - \text{ค่าจากการทดลอง}) / \text{ค่าคำนวณ}] * 100 \quad \dots\dots 7.5$$

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ชุดลูกสูบที่มีช่วงชักขนาด 30 mm.
2. มอเตอร์ขนาด 1 Hp
3. Accelerometer ขนาด 5 v
4. Oscilloscopes

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 7-1 การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer

ค่าจากการคำนวณ		ค่าจากการทดลอง		ค่าคลาดเคลื่อน % error
ความเร็วรอบ (rps)	อัตราเร่ง (m/s^2)	ค่าที่วัดได้ (v)	อัตราเร่ง (m/s^2)	
4.00	9.806	0.756	10.483	-7.0
5.65	19.612	1.498	20.773	-6.0
6.90	29.418	2.036	28.234	4.0
8.00	39.224	2.638	36.583	6.7
8.95	49.03	3.268	45.319	7.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากขนาดของมวลถ่วง

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole น้ำหนักของFlywheelมีค่า 1.4 kg น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 kg ติดตั้งบนฐานสปริง
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการสตาร์ทมอเตอร์ซึ่งติดตั้งFlywheelเพียงอย่างเดียว แล้วทำการอ่านค่าสูงสุดและค่าสุด นานประมาณ 2 นาที บันทึกผลการทดลอง
2. ใส่มวลถ่วงขนาดตั้งแต่ 15 g จนถึง 55 g ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของFlywheel เป็นระยะทาง 8 cm บันทึกผลการทดลอง
3. หาค่าเฉลี่ย (a_w) โดยคำนวณจากค่า (max+min)/2
4. หาค่าอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากมวลถ่วง โดยนำค่าที่มีมวลถ่วงลบจากค่าขณะที่ไม่มีมวลถ่วง
5. ถ้านำค่าอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้น โดยใช้สูตร

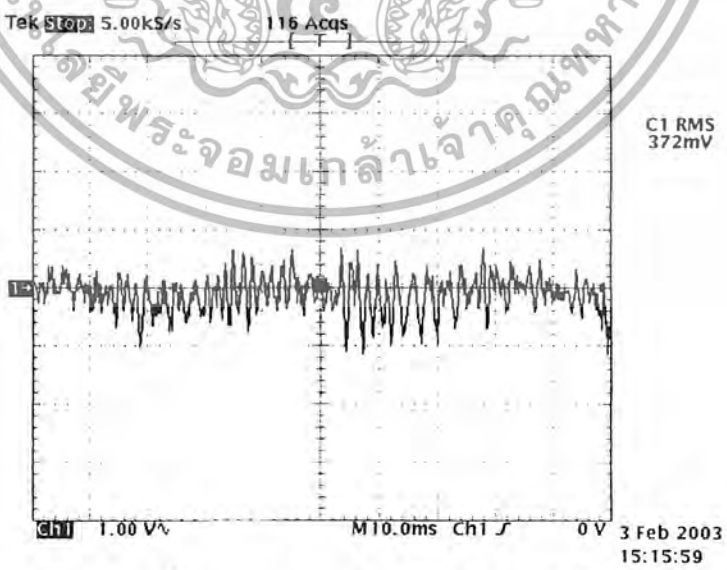
$$\ddot{x} = \frac{m\omega^2}{M}$$

..... m/s²

โดย \ddot{x} คือ ค่าอัตราเร่ง (m/s²)
 m คือ น้ำหนักของมวลถ่วง (g)
 e คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางกับมวลถ่วง (cm)
 ω คือ ความถี่ทางกล (rad/s)
 M คือ น้ำหนักของมวลรวม (g)

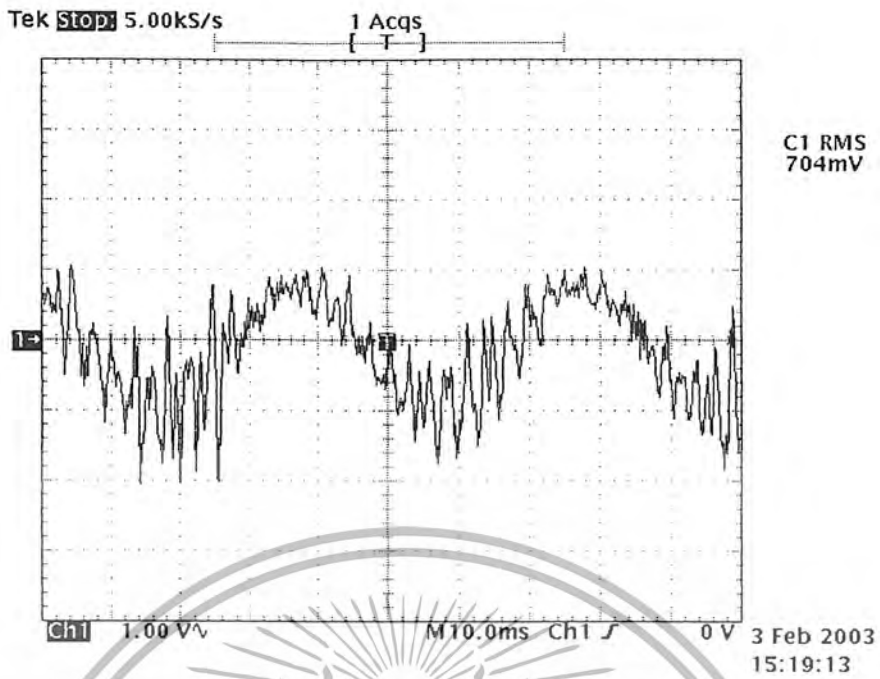
6. นำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ

ผลการทดลอง

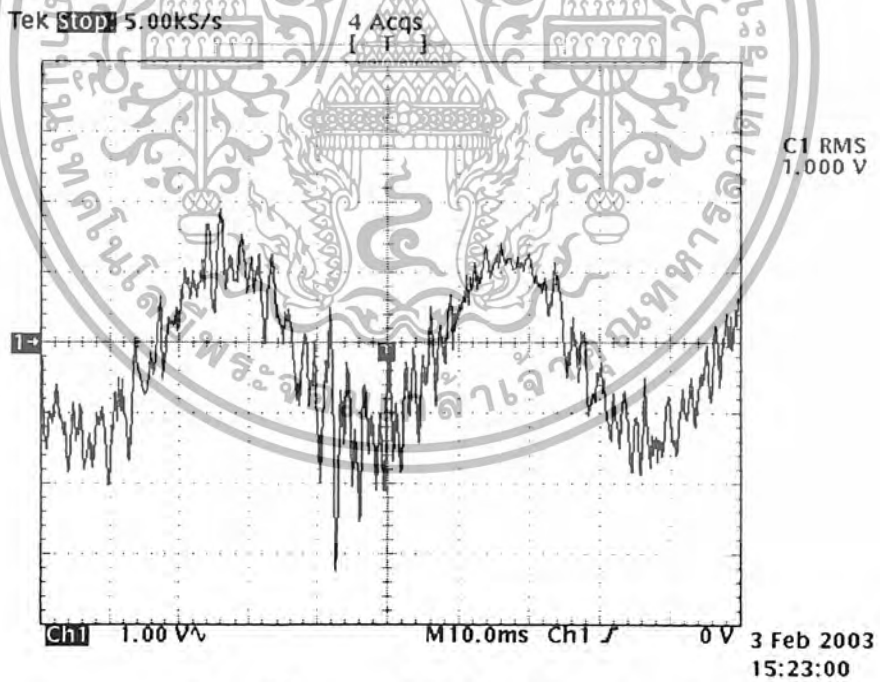


รูปที่ 7-2 มอเตอร์ขณะมี flywheel เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

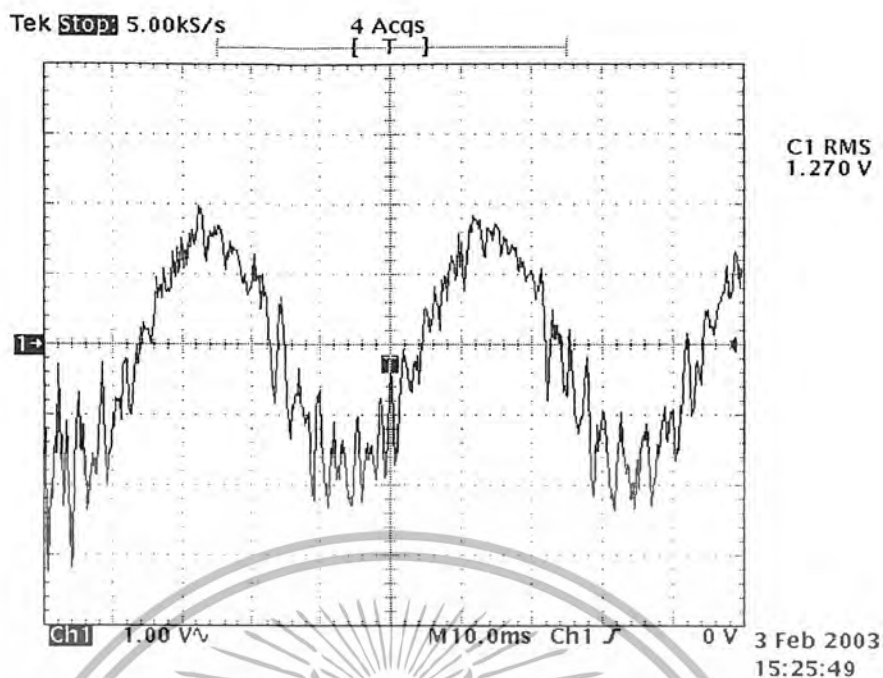


รูปที่ 7-3 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 15 g

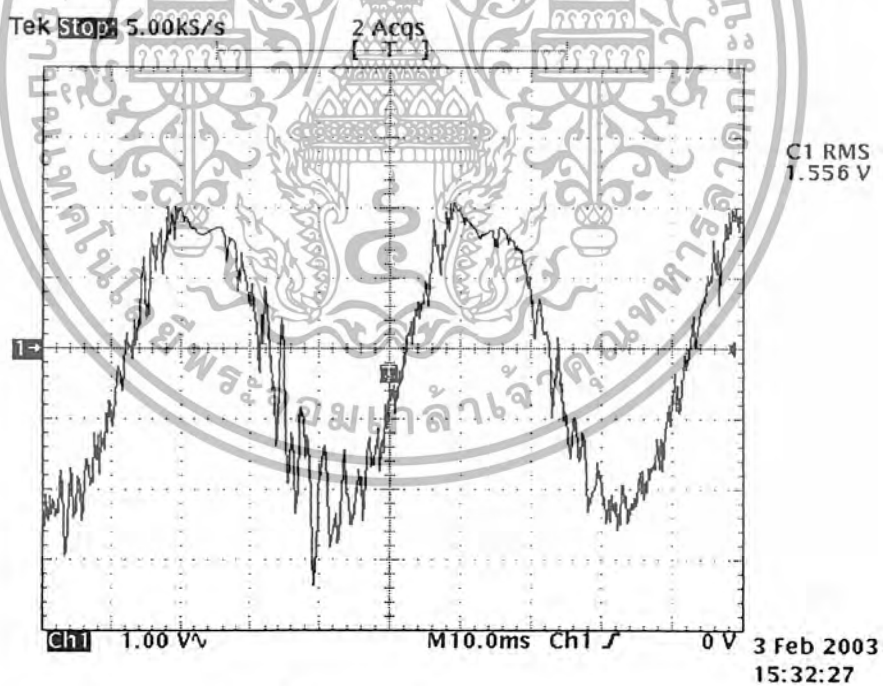


รูปที่ 7-4 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

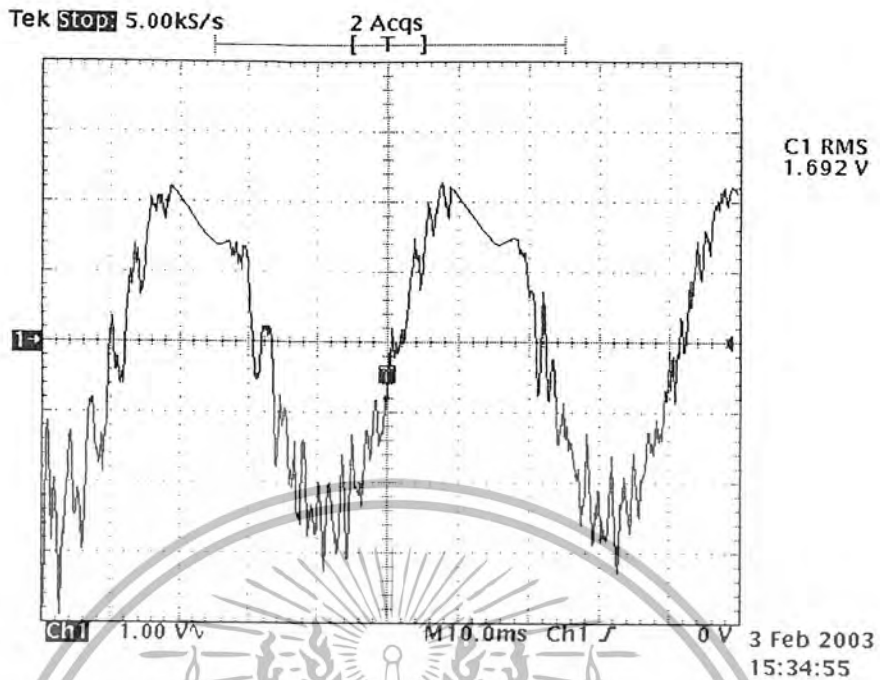


รูปที่ 7-5 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 35 g

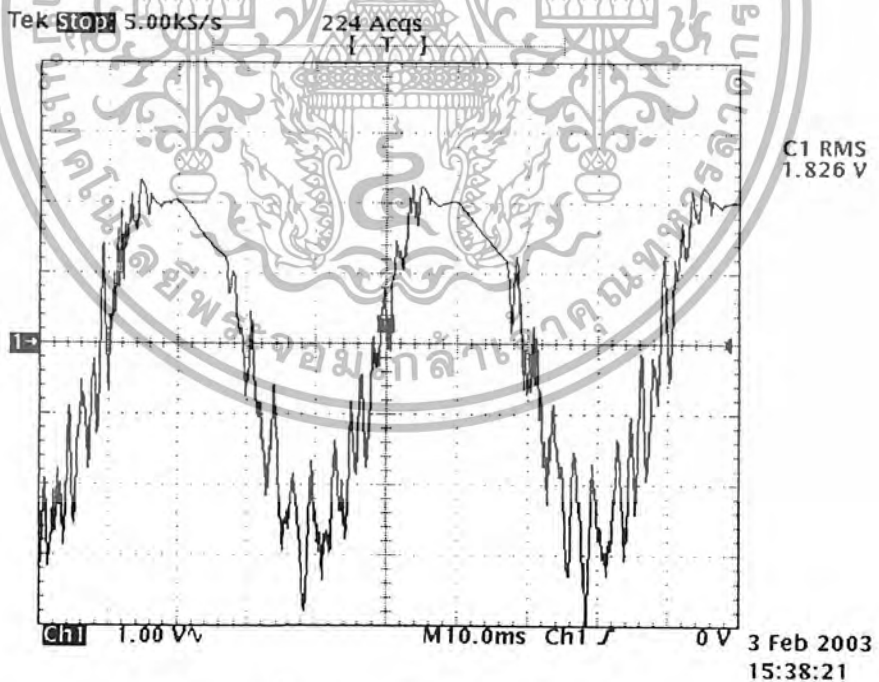


รูปที่ 7-6 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 45 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-7 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 50 g



รูปที่ 7-8 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 55 g

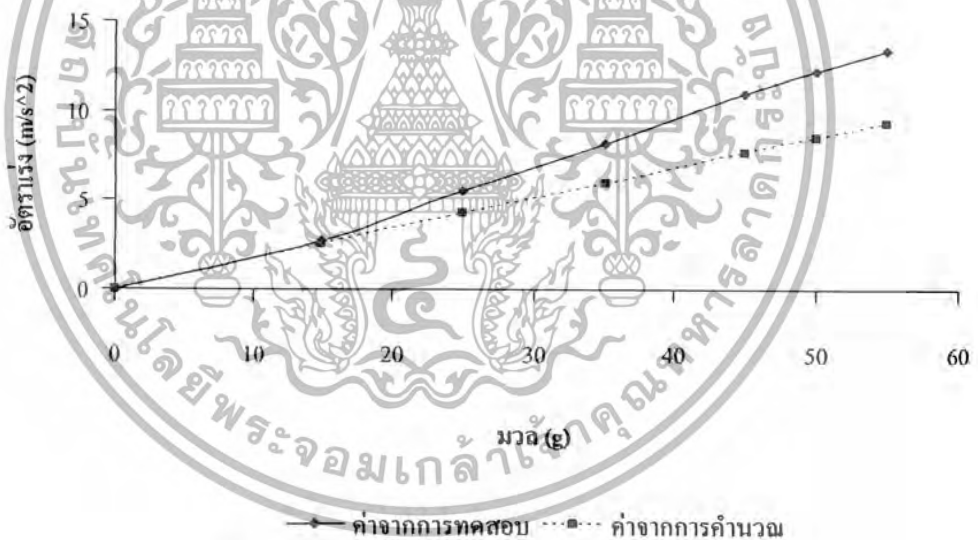
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าการทดลองต่าง ๆ นี้ เราสามารถนำมาเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบกับการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 7-2 การทดสอบผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากขนาดมวลถ่วง

มวลถ่วง m (g)	ค่าอัตราเร่งจากการทดสอบ (m/s ²)		ค่าอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้น (m/s ²)		error %
	ช่วงอัตราเร่ง Interval of acc.	ค่าเฉลี่ย a _{av}	ค่าจากการทดสอบ Test value : a _{test}	ค่าจากการคำนวณ Calculate value : a _{cal}	
0	3.335 - 5.886	4.611	0.000	0.000	0.00
15	6.592 - 8.142	7.367	2.756	1.802	34.61
25	9.516 - 10.693	10.105	5.494	3.002	45.36
35	12.164 - 13.342	12.753	8.142	4.195	48.48
45	15.088 - 16.010	15.549	10.938	5.394	50.68
50	16.285 - 17.266	16.776	12.165	5.991	50.75
55	17.658 - 18.305	17.982	13.371	6.587	50.73

สามารถนำค่าต่างๆ ในตารางมาวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 7-9 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับอัตราเร่ง

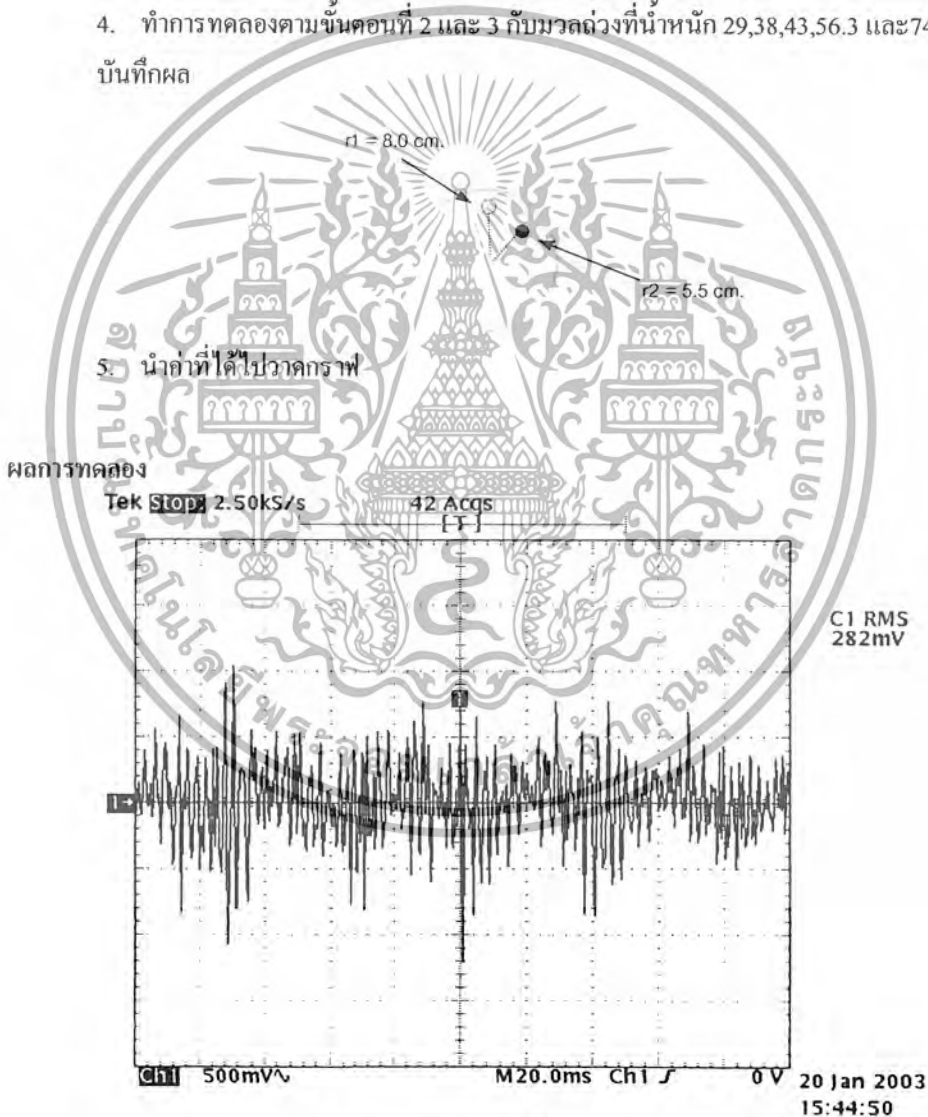
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากระยะห่างของมวลถ่วง

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole
น้ำหนักของFlywheelมีค่า 1.4 kg น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 kg
ติดตั้งบนฐานสปริง

ขั้นตอนการทดลอง

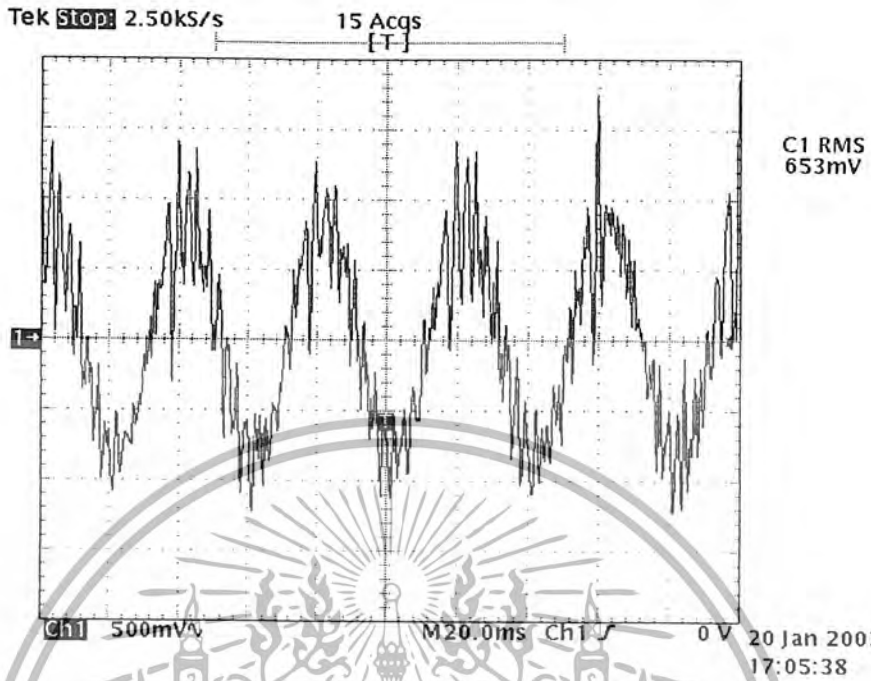
1. ทำการสาร์ทมอเตอร์ซึ่งติดตั้งFlywheelเพียงอย่างเดียว แล้วทำการอ่านค่าสูงสุดและต่ำสุดนานประมาณ 2 นาที บันทึกผลการทดลอง
2. ใส่มวลถ่วงขนาด 25 g ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของFlywheel เป็นระยะทาง 5.5 cm. บันทึกผลการทดลอง
3. ย้ายตำแหน่งมวลถ่วงไปที่ระยะห่าง 8 cm. แล้วบันทึกผล
4. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 กับมวลถ่วงที่น้ำหนัก 29,38,43,56.3 และ74.7 g แล้วบันทึกผล



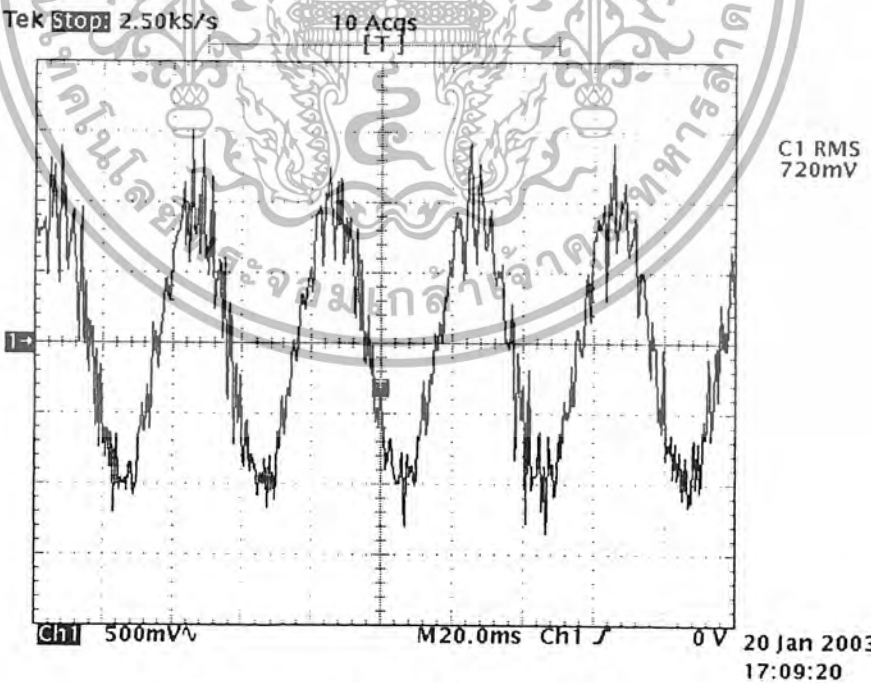
รูปที่ 7-10 มอเตอร์ขณะมี flywheel เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะ 5.5 cm ได้ผลการทดลองดังนี้

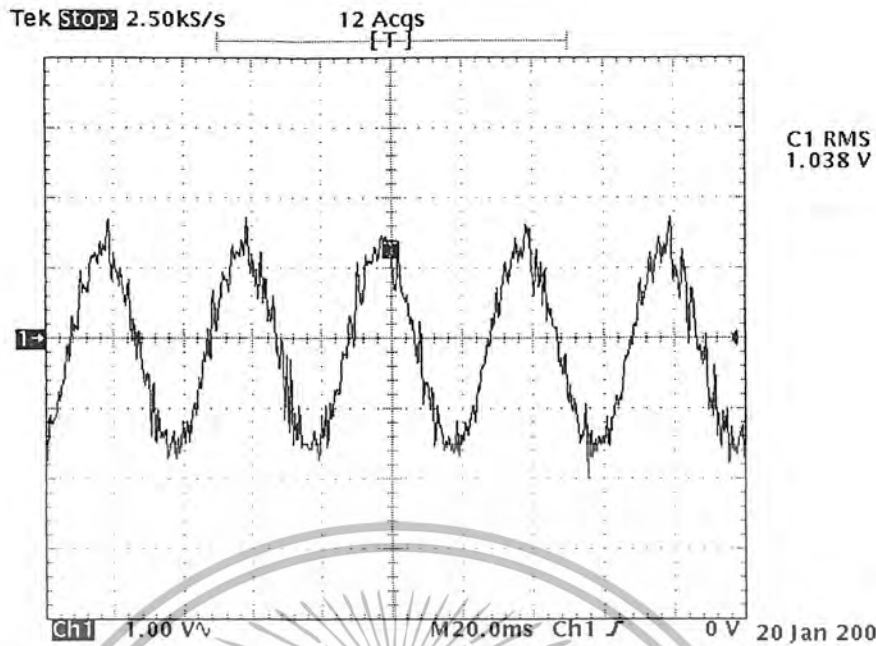


รูปที่ 7-11 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g ที่ระยะ 5.5 cm.



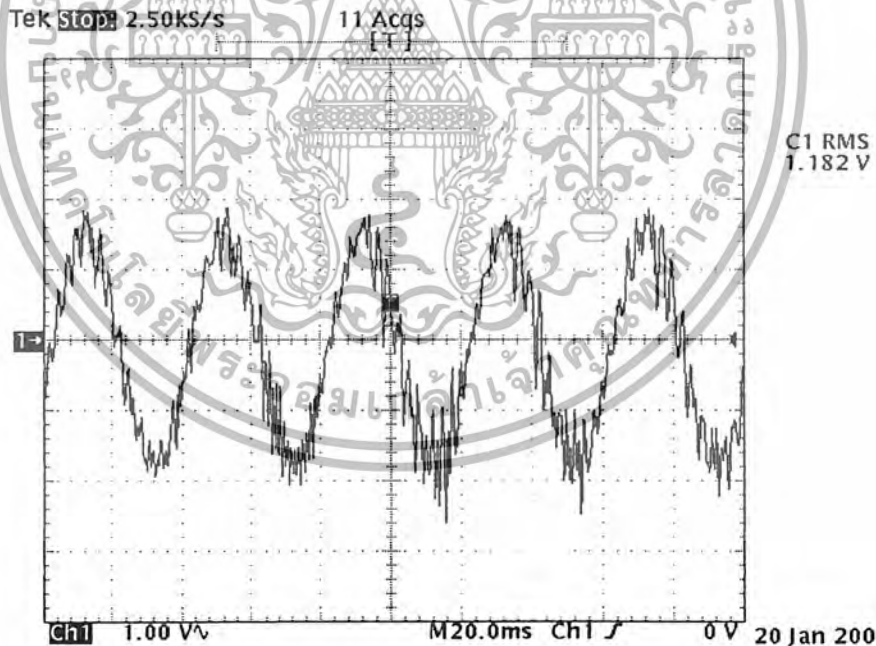
รูปที่ 7-12 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 29 g ที่ระยะ 5.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



20 Jan 2003
17:35:22

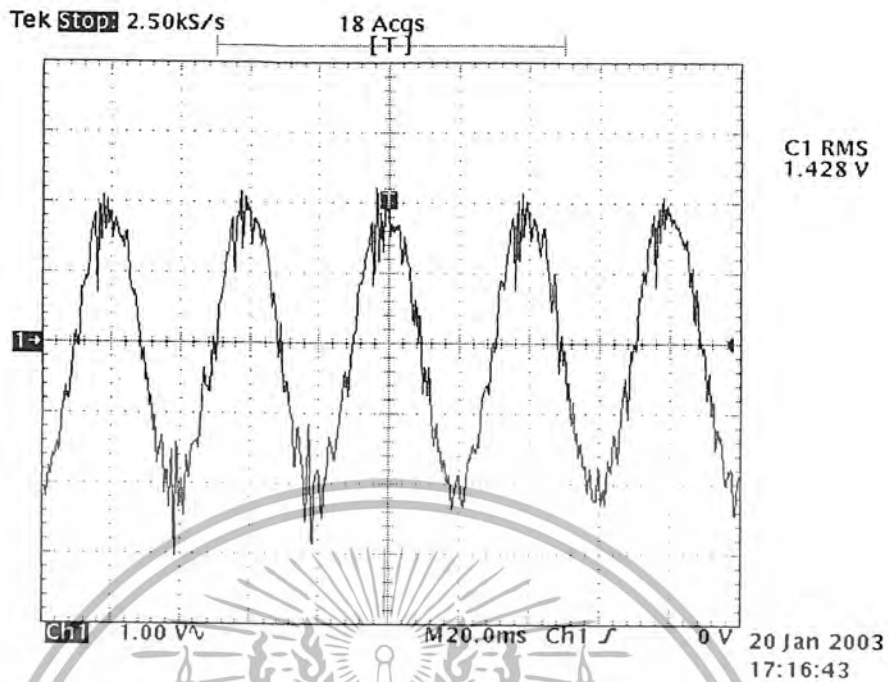
รูปที่ 7-13 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 38 g ที่ระยะ 5.5 cm.



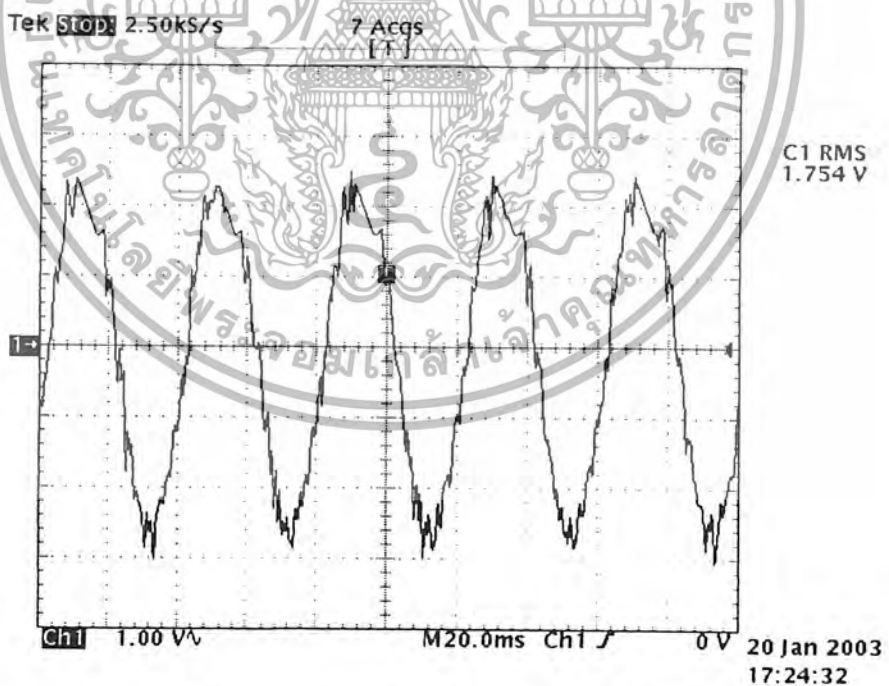
20 Jan 2003
17:41:51

รูปที่ 7-14 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 43 g ที่ระยะ 5.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



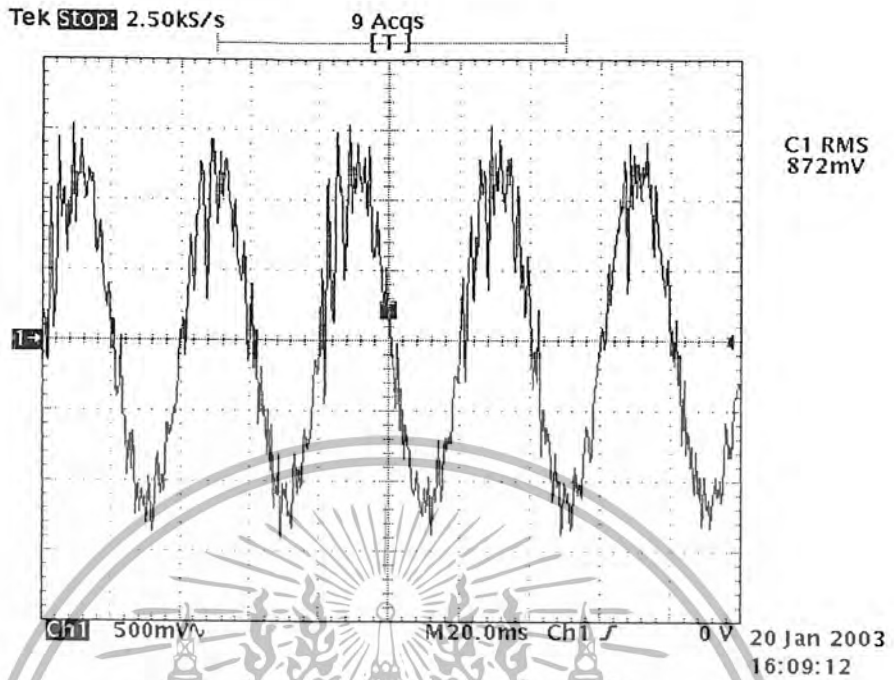
รูปที่ 7-15 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 56.3 g ที่ระยะ 5.5 cm.



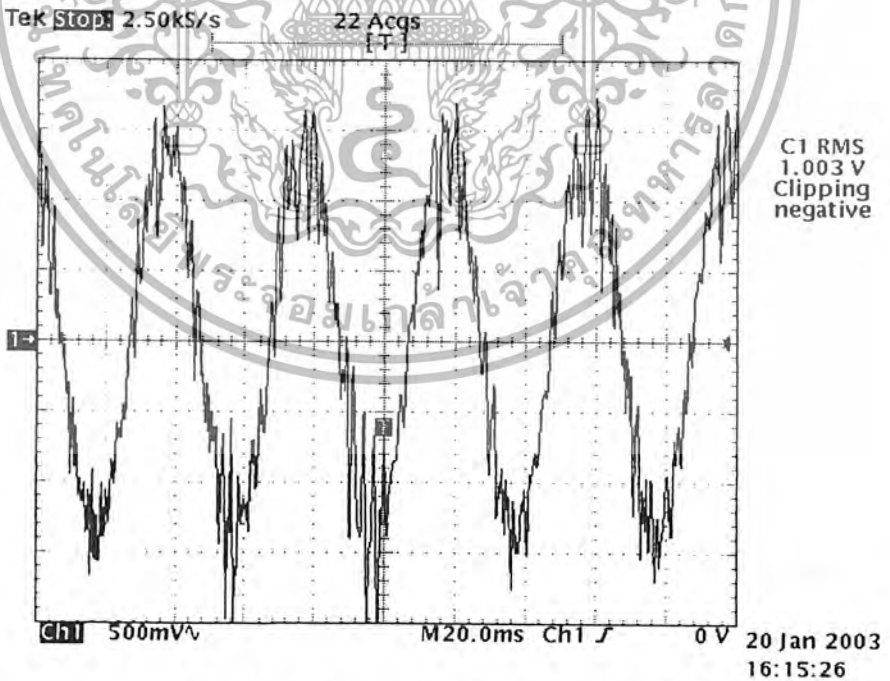
รูปที่ 7-16 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 74.7 g ที่ระยะ 5.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะ 8.0 cm ได้ผลการทดลองดังนี้

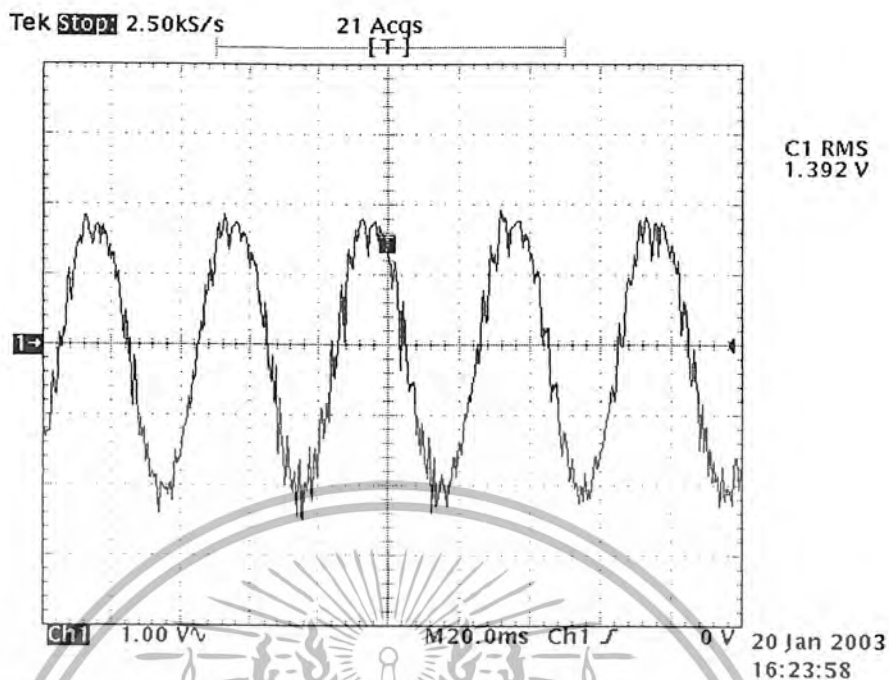


รูปที่ 7-17 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g ที่ระยะ 8.0 cm.

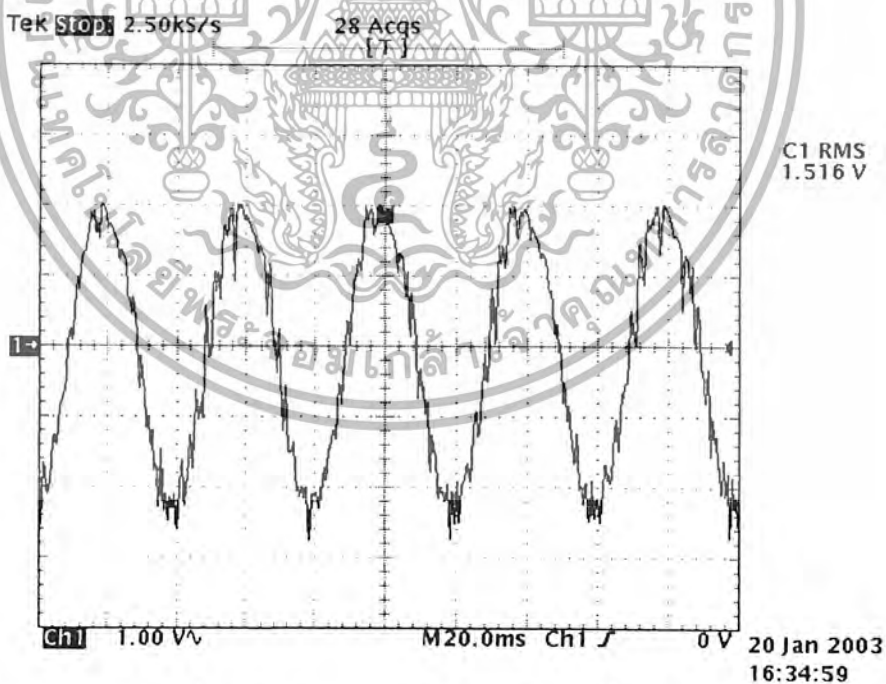


รูปที่ 7-18 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 29 g ที่ระยะ 8.0 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

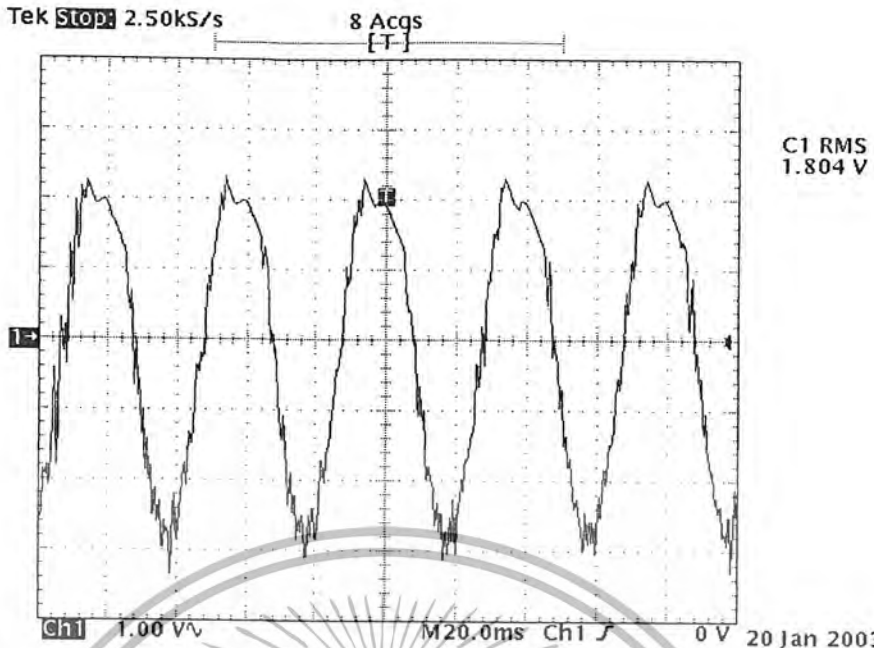


รูปที่ 7-19 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 38 กรัม ระยะ 8.0 cm.



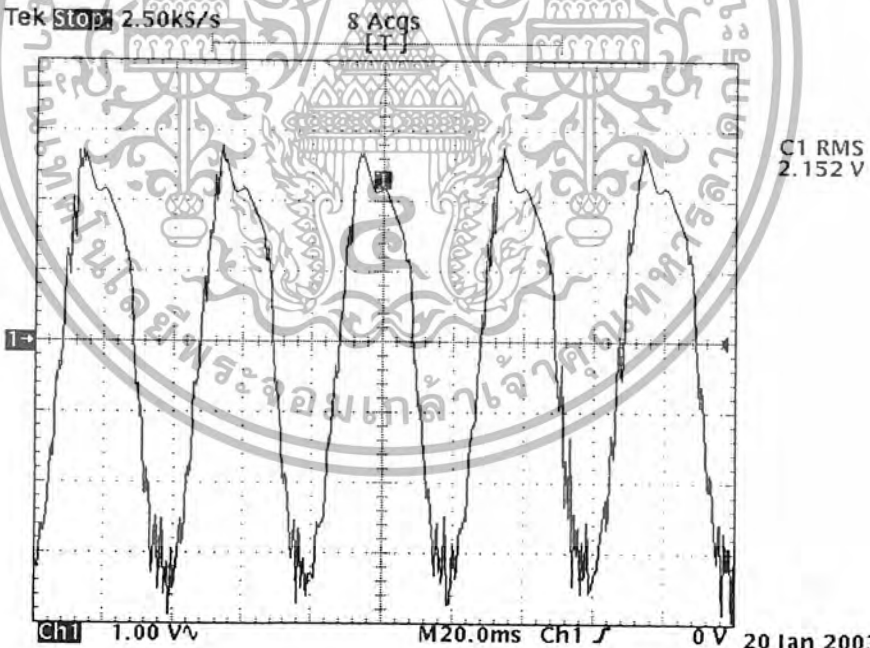
รูปที่ 7-20 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 43 กรัม ระยะ 8.0 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



20 Jan 2003 16:45:06

รูปที่ 7-21 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 56.3 g ที่ระยะ 8.0 cm.



20 Jan 2003 16:51:36

รูปที่ 7-22 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 74.7 g ที่ระยะ 8.0 cm.

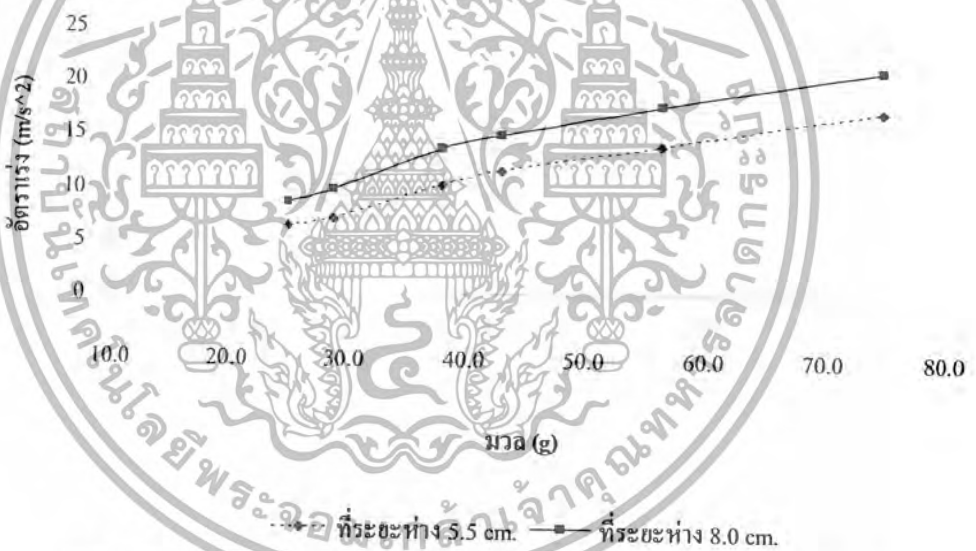
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าการทดลองต่าง ๆ นี้ เราสามารถนำมาเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ดังนี้
 ขณะรันมอเตอร์ซึ่งติดตั้งFlywheelเพียงอย่างเดียว มีค่าอัตราเร่งเท่ากับ 2.766 m/s^2

ตารางที่ 7-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร่งของมวลถ่วงที่ระยะ 5.5 และ 8.0 cm.

น้ำหนัก m (g)	ค่าอัตราเร่ง (m/s^2) ที่ระยะ	
	r1 = 5.5 cm.	r2 = 8.0 cm.
25.0	6.406	8.554
29.0	7.063	9.839
38.0	10.183	13.656
43.0	11.595	14.872
56.3	14.009	17.697
74.7	17.207	21.111

สามารถนำค่าต่าง ๆ ในตารางมาวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 7-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งกับมวลถ่วงที่ระยะ 5.5 และ 8.0 cm

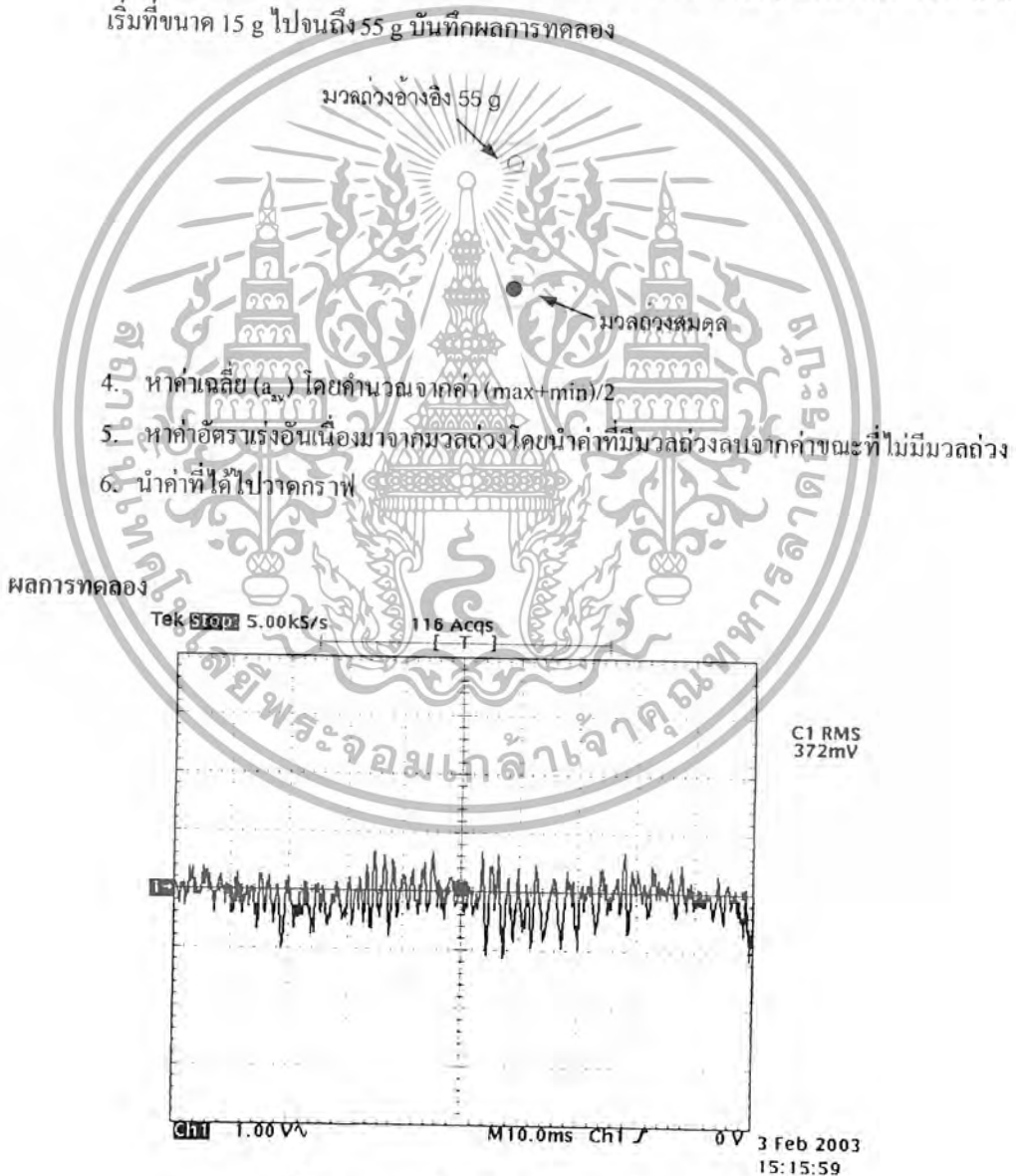
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 การทดลองเรื่อง ความสมดุลของมวลถ่วง

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole
น้ำหนักของFlywheelมีค่า 1.4 kg น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 kg
ติดตั้งบนฐานสปริง

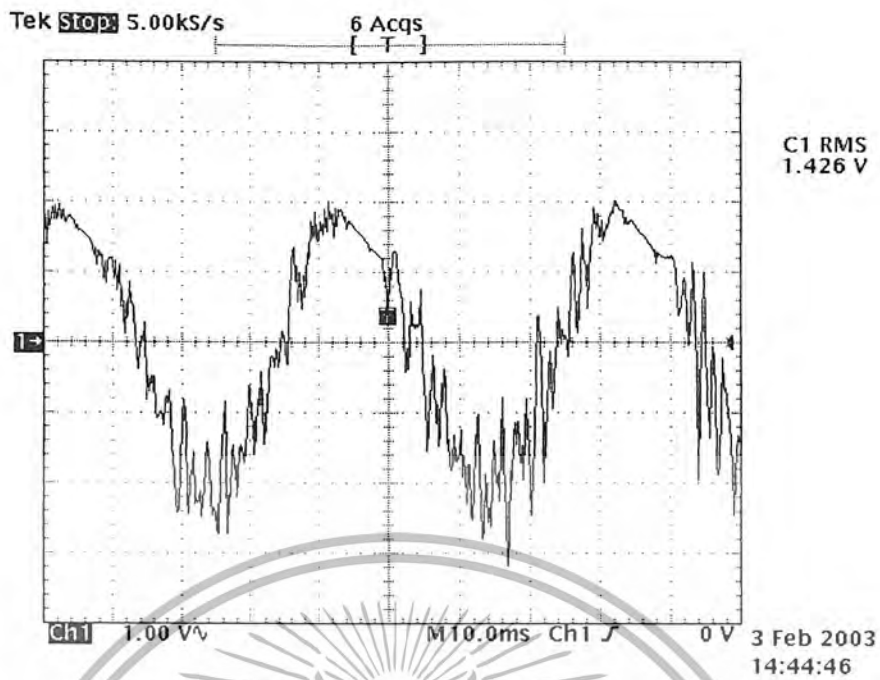
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการสควาร์ทมอเตอร์ซึ่งติดตั้งFlywheelเพียงอย่างเดียว แล้วทำการอ่านค่าสูงสุดและต่ำสุด นานประมาณ 2 นาที บันทึกผลการทดลอง
2. ใส่มวลถ่วงขนาด 55 g ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของFlywheel เป็นระยะทาง 8 cm. บันทึกผลการทดลอง
3. เพิ่มมวลถ่วงอีกอันที่ฝั่งตรงข้าม(180 องศา) กับมวลถ่วงขนาด 55 g ที่รัศมี 8 cm.เช่นกัน โดยเริ่มที่ขนาด 15 g ไปจนถึง 55 g บันทึกผลการทดลอง

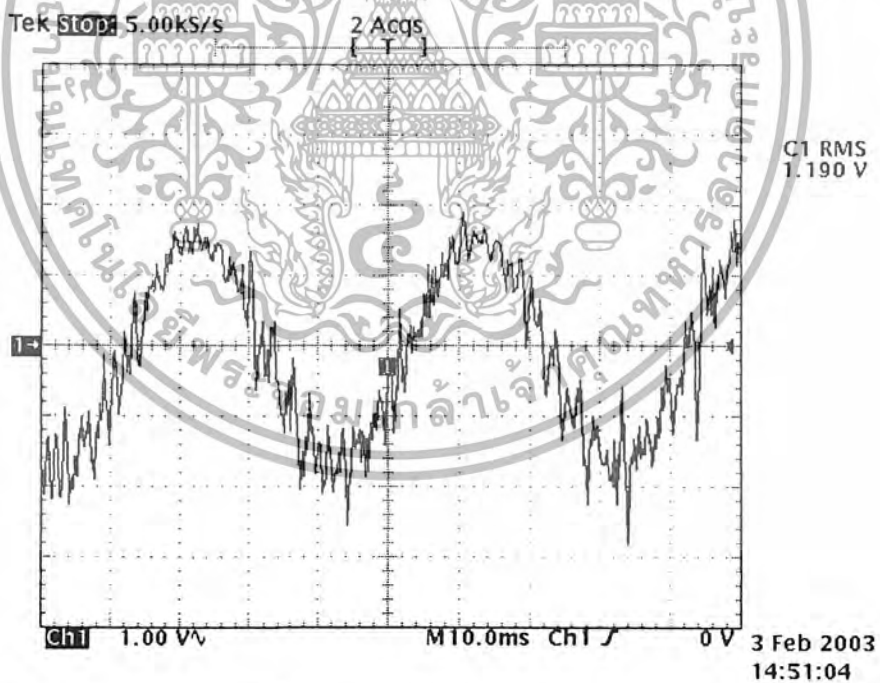


รูปที่ 7-24 มอเตอร์ขณะมี flywheely เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

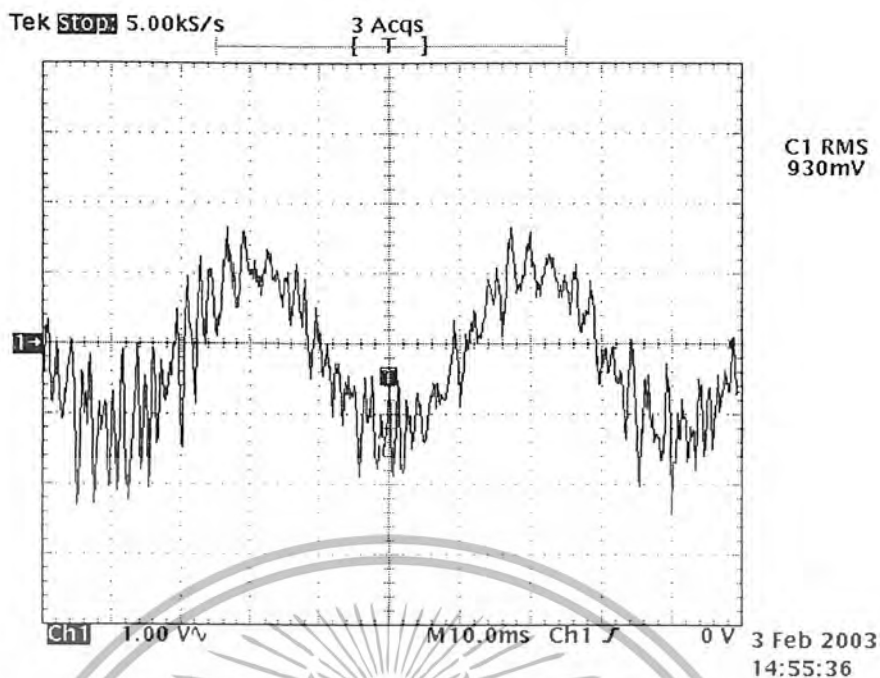


รูปที่ 7-25 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 75 g

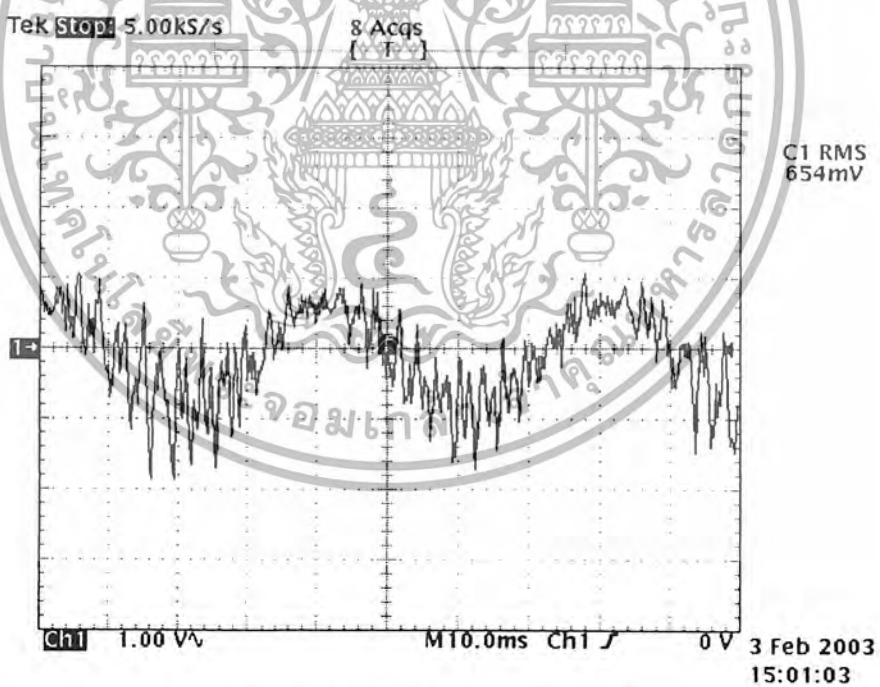


รูปที่ 7-26 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 25 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

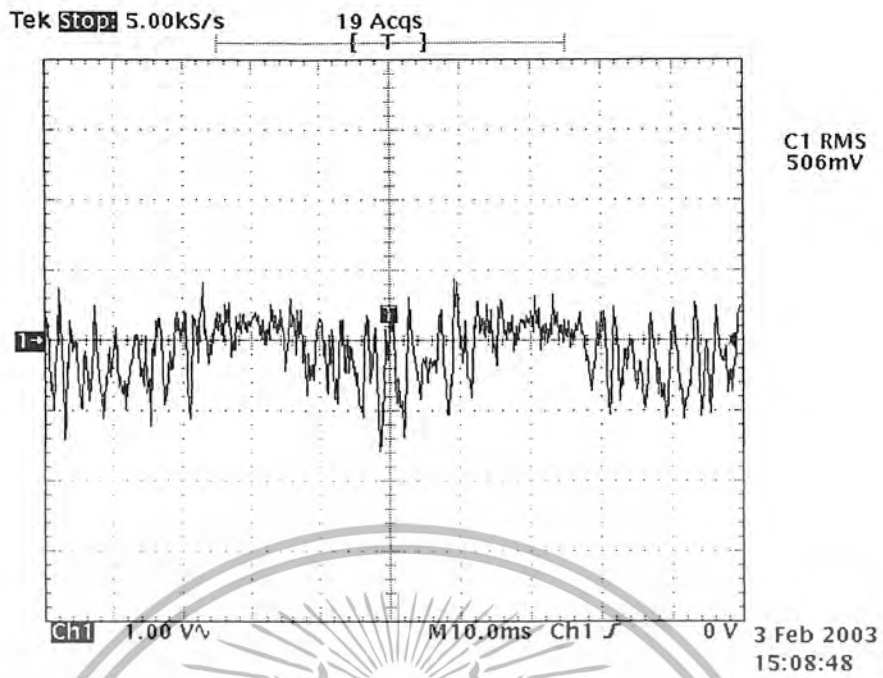


รูปที่ 7-27 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 35 g

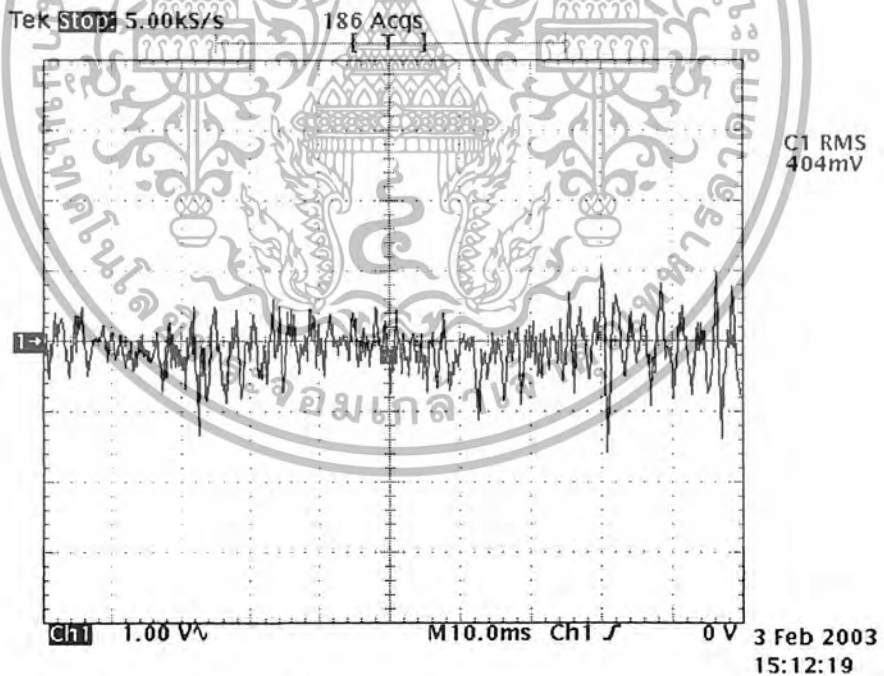


รูปที่ 7-28 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 45 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-29 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 50 g



รูปที่ 7-30 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 55 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

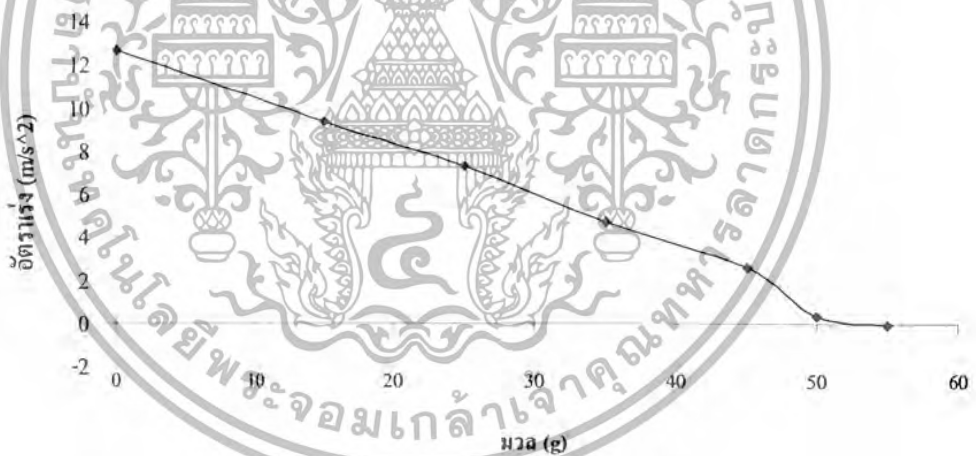
ขณะรันมอเตอร์ซึ่งติดตั้ง Fly wheel เพียงอย่างเดียว มีค่าอัตราเร่งเท่ากับ 4.611 m/s^2

จากค่าการทดลองต่างๆ นี้ เราสามารถนำมาเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบกับการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 7-4 แสดงการลดลงของอัตราเร่งเมื่อเพิ่มขนาดมวลถ่วงสมดุล

มวลถ่วงสมดุล m (g)	ค่าอัตราเร่งจากการทดสอบ (m/s^2)		ค่าอัตราเร่งที่เกิด จากมวลถ่วง (m/s^2)
	ช่วงอัตราเร่ง Interval of acc.	ค่าเฉลี่ย a_{av}	
0	16.991 - 17.540	17.266	12.655
15	13.773 - 14.185	13.979	9.368
25	11.478 - 12.361	11.920	7.309
35	8.947 - 9.614	9.281	4.670
45	6.082 - 8.339	7.211	2.600
50	4.022 - 5.886	4.954	0.343
55	3.139 - 5.886	4.513	-0.098

สามารถนำค่าต่างๆ ในตารางมาวาดกราฟได้ดังนี้



—●— ค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมวลถ่วง

รูปที่ 7-31 แสดงการลดลงของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากมวลถ่วงสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

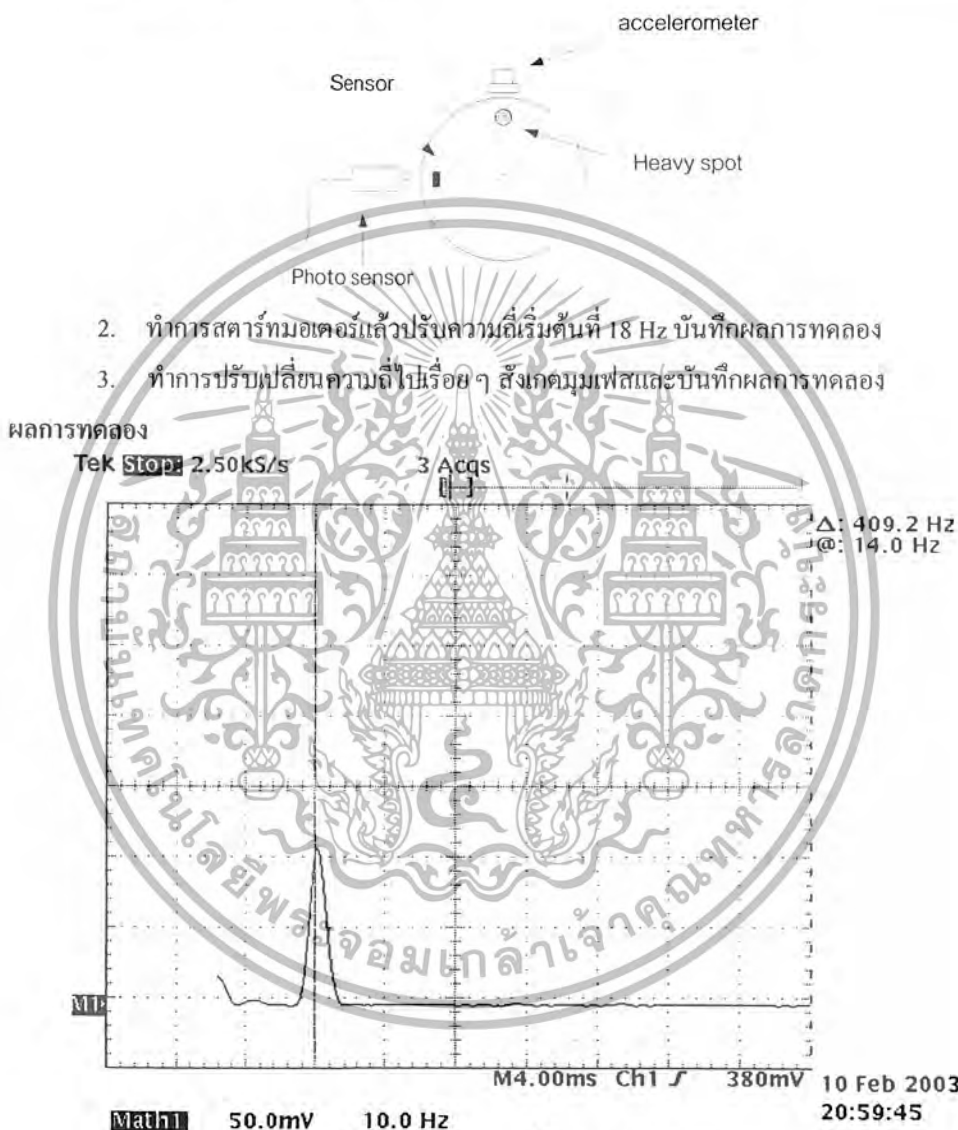
7.8 การทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของเฟสอันเนื่องมาจากความถี่โรเซนเนสซ์

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole

น้ำหนักของFlywheelมีค่า 1.4 kg น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 kg ติดตั้งบนฐานสปริง

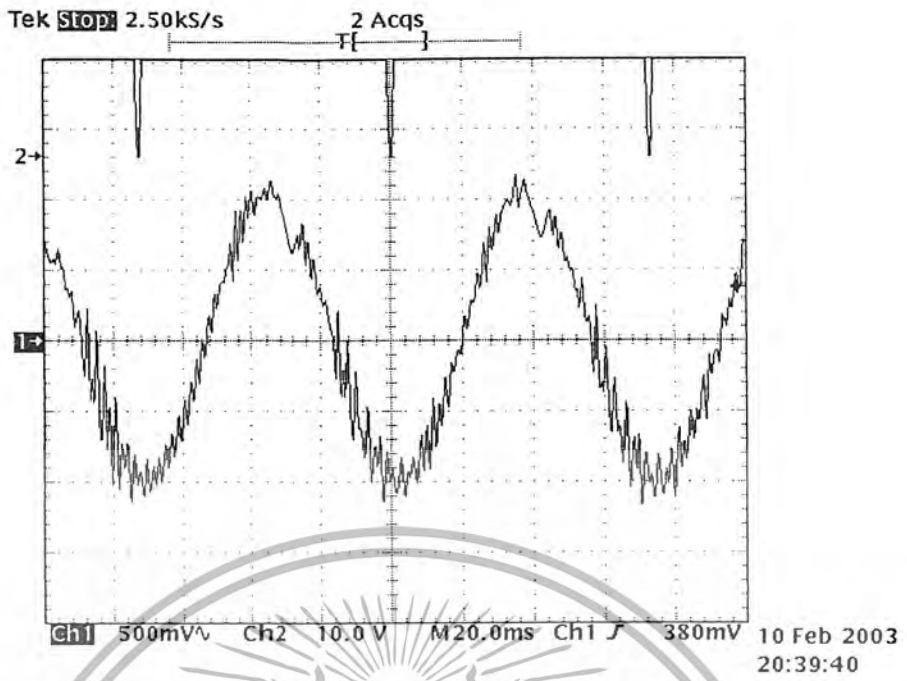
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการใส่มวลถ่วงขนาด 15 g เพื่อให้คู่สัญญาณได้ชัดเจน แล้วติดตั้งตำแหน่งของหัววัด อัตรารั้งและ photo sensor ดังรูป

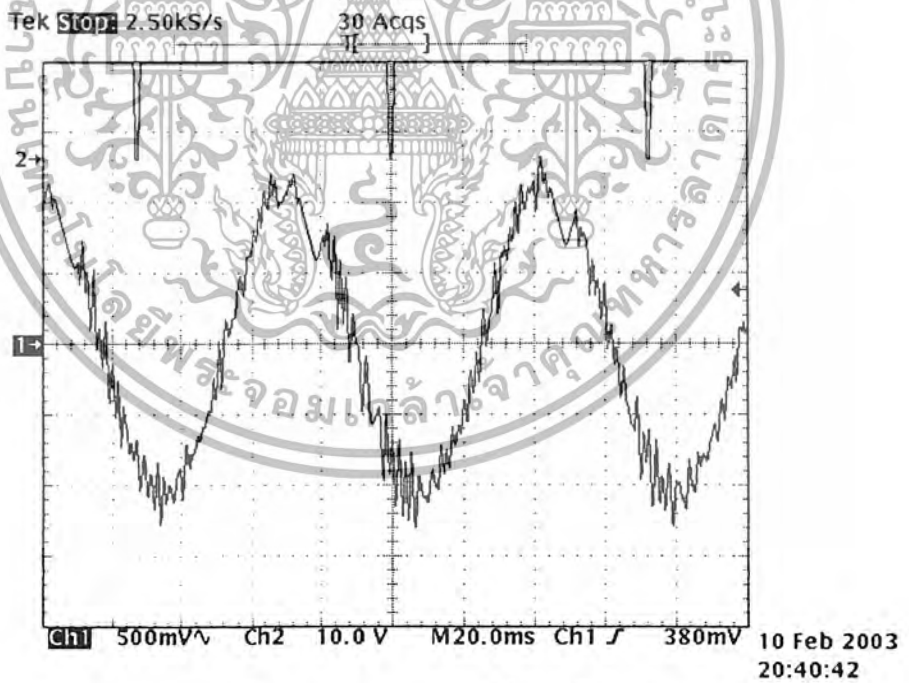


รูปที่ 7-32 แสดงความถี่โรเซนเนสซ์ของระบบ

ความถี่โรเซนเนสซ์ของมอเตอร์เท่ากับ 14.0 Hz

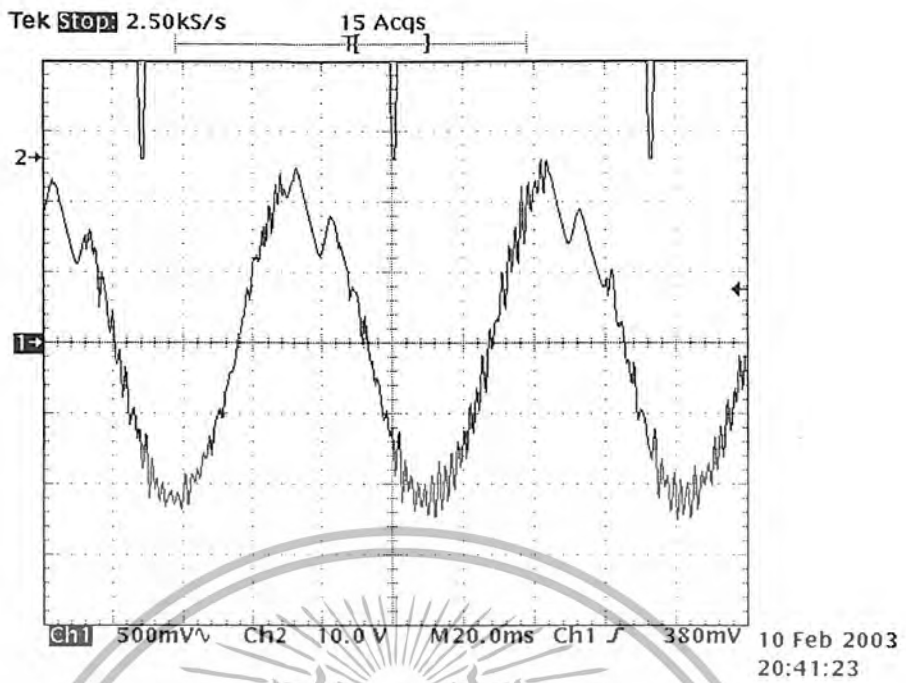


รูปที่ 7-33 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.5 Hz

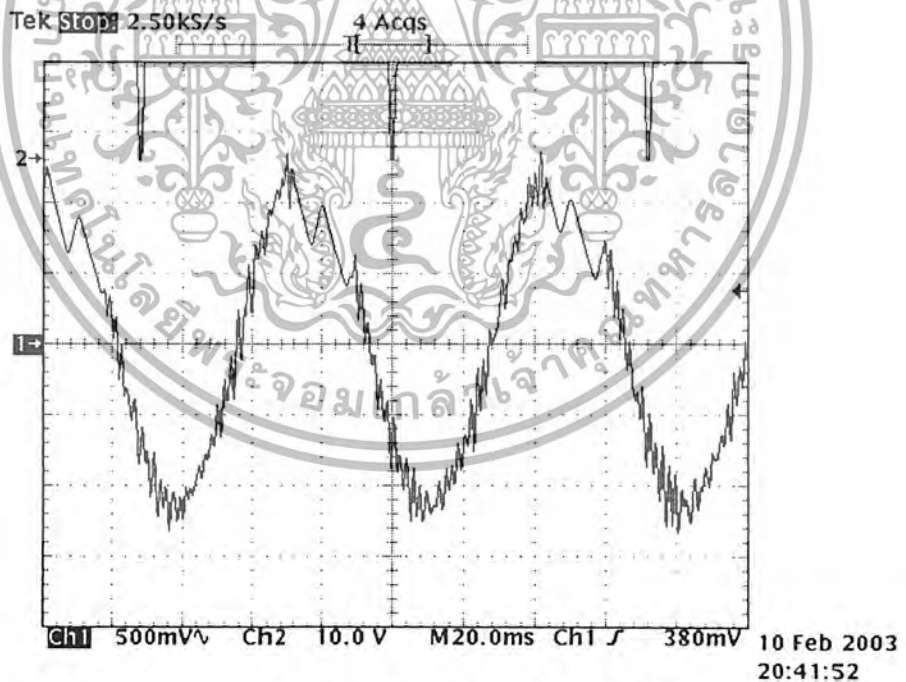


รูปที่ 7-34 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.6 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

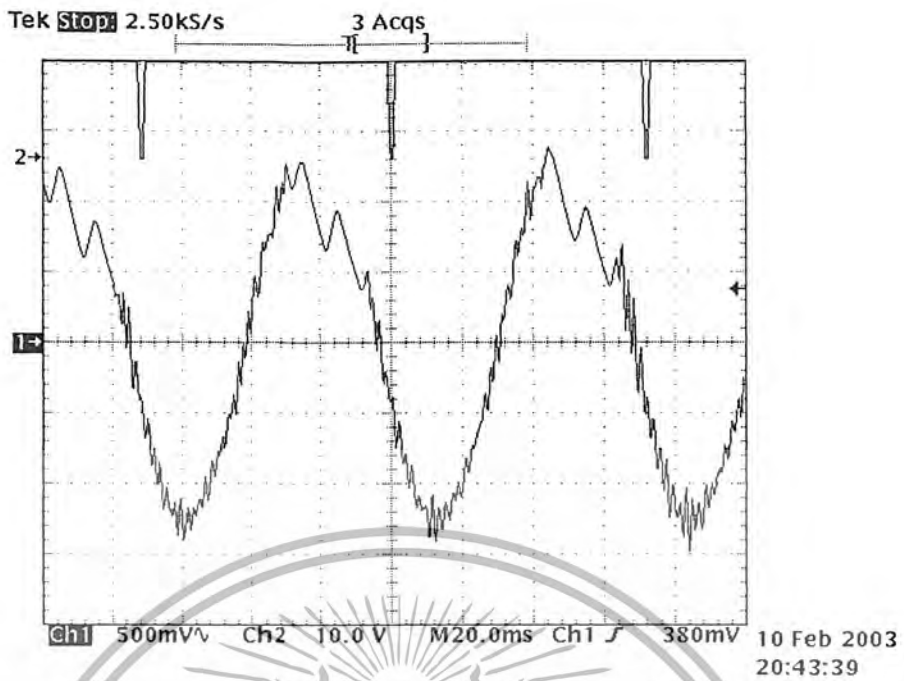


รูปที่ 7-35 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.7 Hz

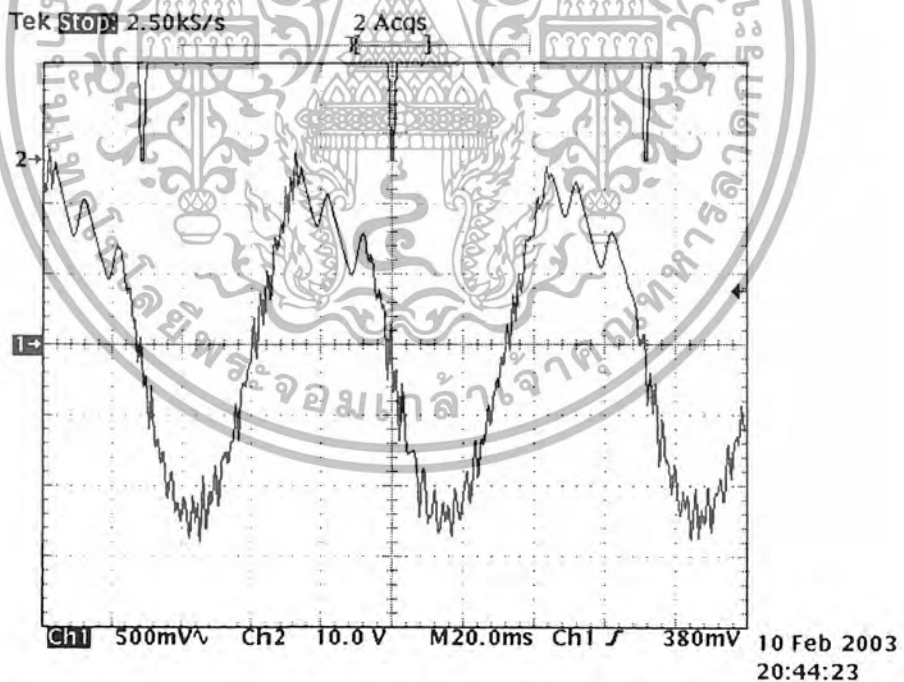


รูปที่ 7-36 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.8 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

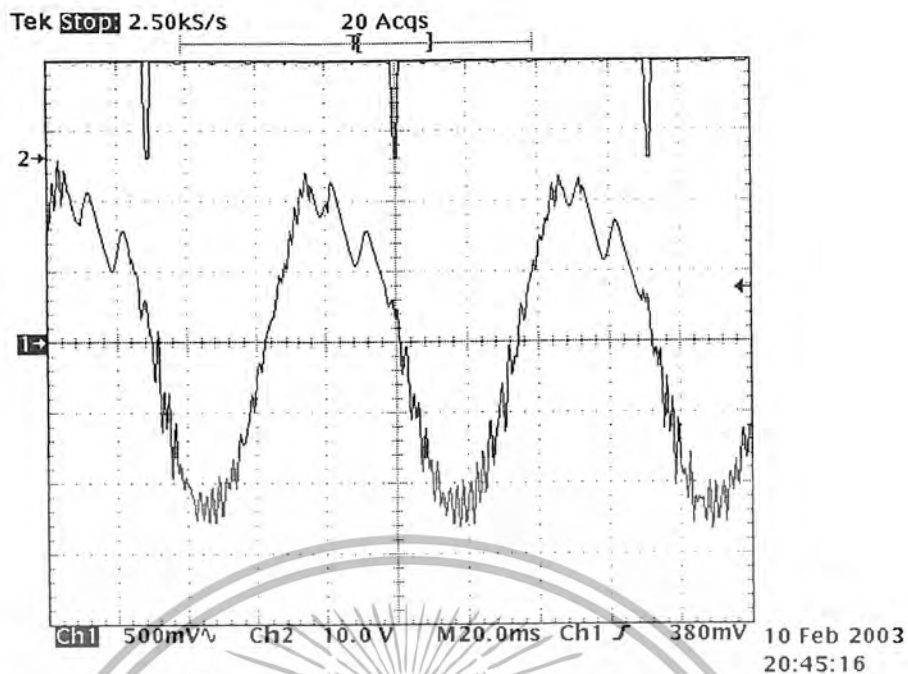


รูปที่ 7-37 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 27.9 Hz

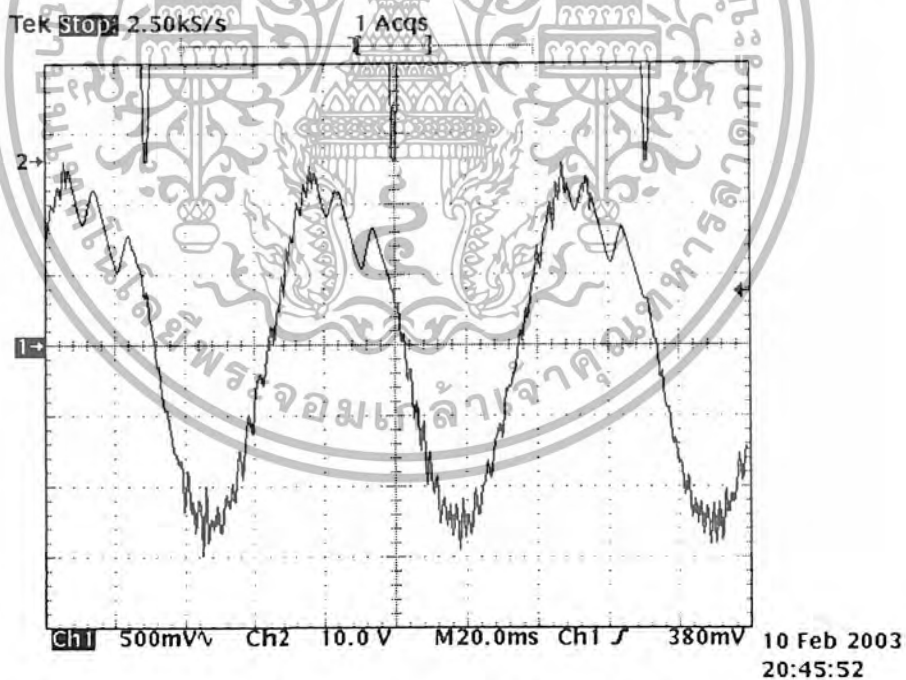


รูปที่ 7-38 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.0 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

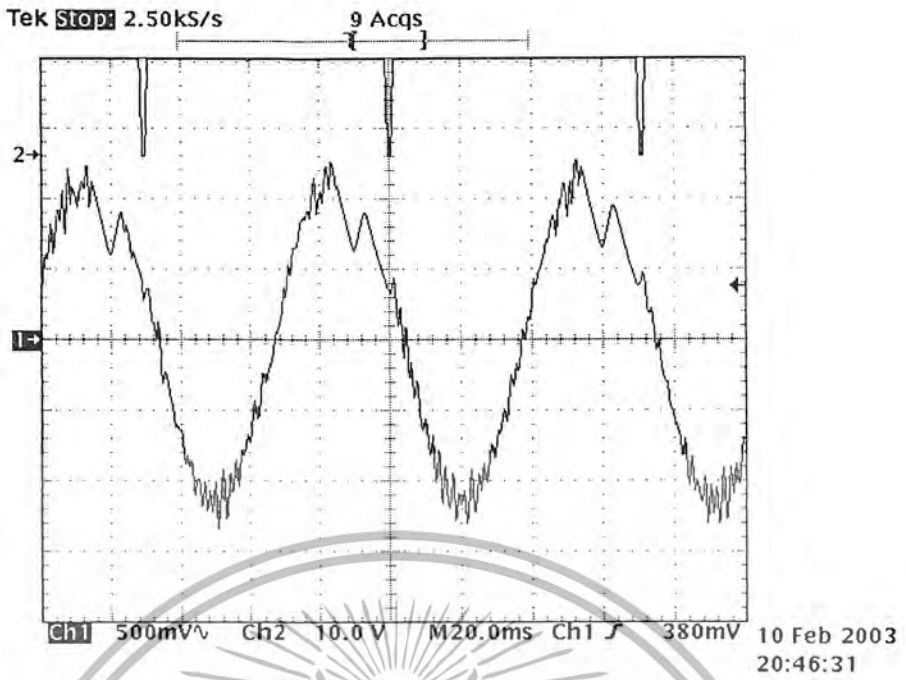


รูปที่ 7-39 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.1 Hz

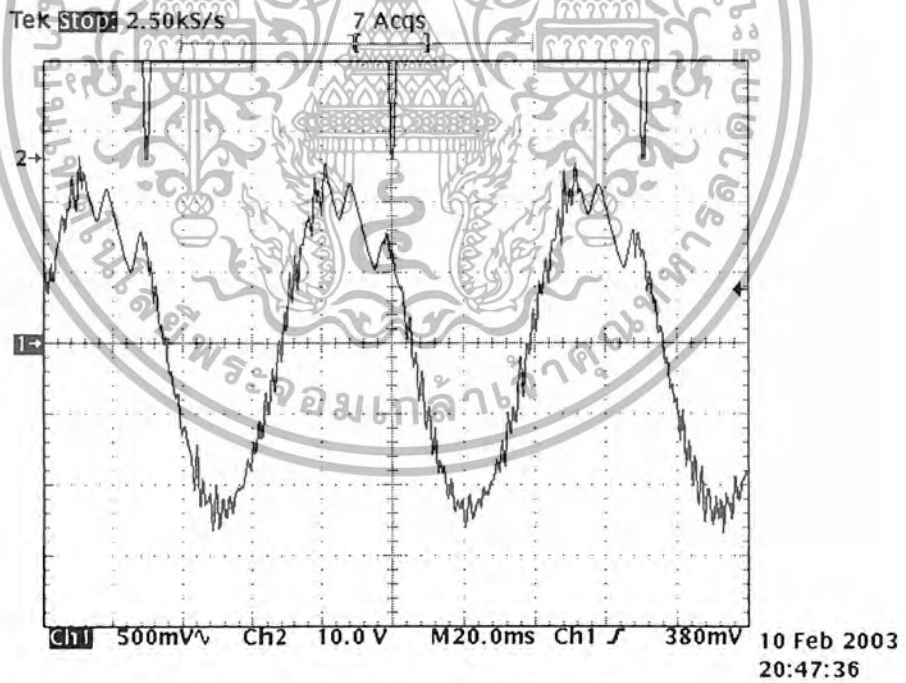


รูปที่ 7-40 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.2 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-41 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.3 Hz



รูปที่ 7-42 แสดงตำแหน่งเฟสที่ความถี่ 28.4 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.9 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50Hz 4 Pole

น้ำหนักของ Flywheel มีค่า 1.4 Kg น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 Kg ติดตั้งบนฐานสปริง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการถ่วงมวลด้วยน้ำหนัก 15 กรัม
2. ปรับความถี่ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ตั้งแต่ 15 จนถึงที่ 60 Hz โดยปรับเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 Hz
3. ทำการอ่านค่าสูงสุด และต่ำสุด แล้วบันทึกผลการทดลอง
4. หาค่าเฉลี่ยของอัตราเร่ง(a_w) โดยคำนวณจากค่า (max+min)/2
5. นำค่าที่ได้ไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าอัตราเร่ง

ผลการทดลอง

โดยที่สมการของอัตราเร่งมีค่าเป็น

$$x'' = \frac{me\omega^2}{M} \quad (\text{m/s}^2)$$

ตารางที่ 7-5 แสดงผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากความเร่งรอบที่เพิ่มขึ้น

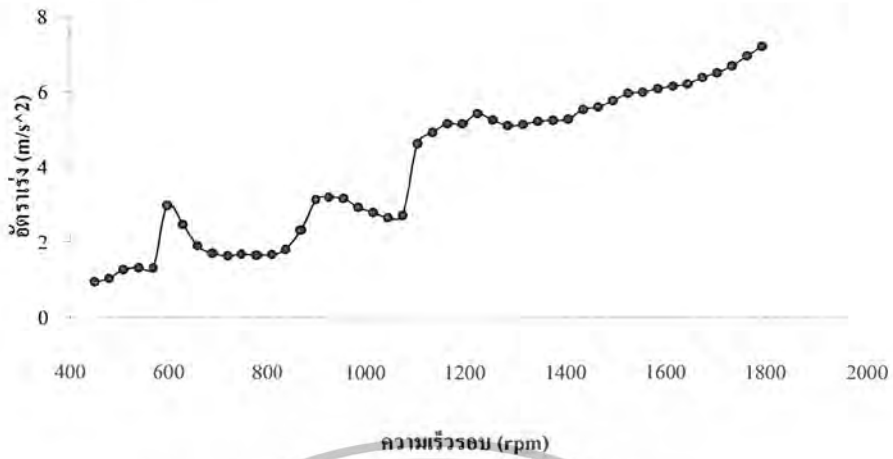
ความถี่ที่ป้อน (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าอัตราเร่งจากการทดสอบ	
		ช่วงอัตราเร่ง (m/s^2)	ค่าเฉลี่ย
15	448.80	0.912-0.961	0.936
16	478.72	1.010-1.0398	1.025
17	508.64	1.246-1.275	1.261
18	538.56	1.246-1.383	1.314
19	568.48	1.255-1.363	1.309
20	598.40	2.639-3.316	2.977
21	628.32	2.295-2.638	2.467
22	658.24	1.825-1.982	1.903
23	688.16	1.667-1.736	1.702
24	718.08	1.599-1.667	1.633
25	748.00	1.648-1.706	1.677
26	777.92	1.608-1.697	1.652
27	807.84	1.608-1.736	1.672
28	837.76	1.785-1.824	1.805
29	867.68	2.295-2.354	2.325
30	897.60	3.08-3.207	3.144
31	927.52	3.158-3.266	3.212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่ป้อน (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าอัตราเร่งจากการทดสอบ	
		ช่วงอัตราเร่ง (m/s^2)	ค่าเฉลี่ย
32	957.44	3.109-3.256	3.183
33	987.36	2.904-2.992	2.947
34	1017.28	2.727-2.893	2.811
35	1047.20	2.570-2.766	2.668
36	1077.12	2.609-2.854	2.732
37	1107.04	4.434-4.855	4.645
38	1136.96	4.669-5.218	4.944
39	1166.88	5.071-5.277	5.174
40	1196.80	5.091-5.258	5.174
41	1226.72	5.385-5.493	5.439
42	1256.64	5.218-5.317	5.267
43	1286.56	5.052-5.189	5.121
44	1316.48	5.101-5.209	5.155
45	1346.40	5.101-5.356	5.228
46	1376.32	5.140-5.366	5.253
47	1406.24	5.071-5.494	5.282
48	1436.16	5.248-5.817	5.532
49	1466.08	5.395-5.797	5.596
50	1496.00	5.640-5.886	5.763
51	1525.92	5.699-6.209	5.954
52	1555.84	5.768-6.199	5.984
53	1585.76	5.876-6.278	6.077
54	1615.68	5.984-6.307	6.145
55	1645.60	6.092-6.317	6.204
56	1675.52	6.327-6.4255	6.376
57	1705.44	6.347-6.651	6.499
58	1735.36	6.543-6.827	6.685
59	1765.28	6.778-7.132	6.955
60	1795.20	7.082-7.328	7.205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำค่าต่างๆ ในตารางมาวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 7-43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราเร่ง

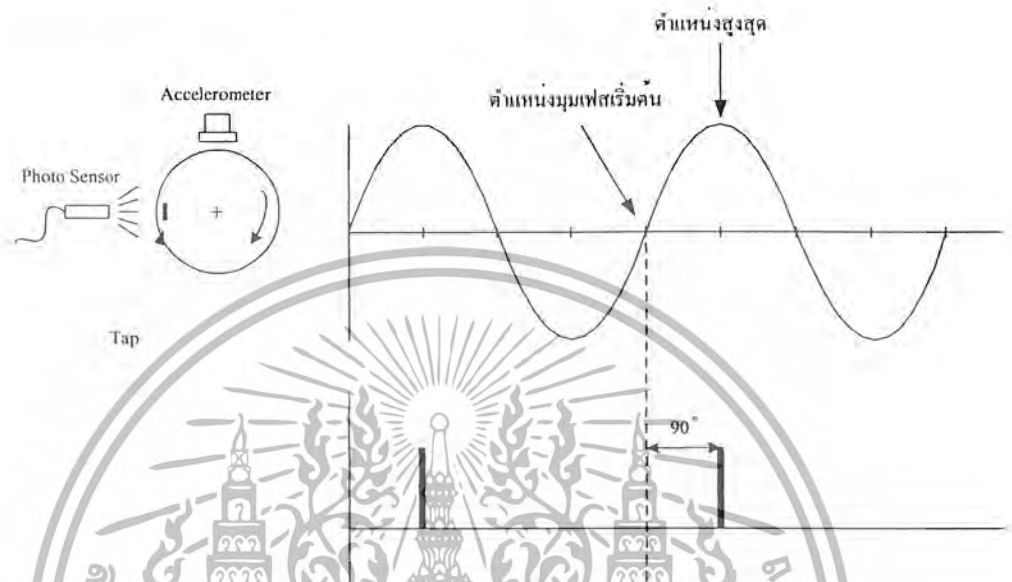


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.10 การทดลองเรื่อง การหาค่าตำแหน่งของมวลโดยวิธีวัดเฟส

พิจารณาที่ มอเตอร์ I แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole
 น้ำหนักของFlywheelมีค่า 1.4 kg น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 kg
 ติดตั้งบนฐานสปริง

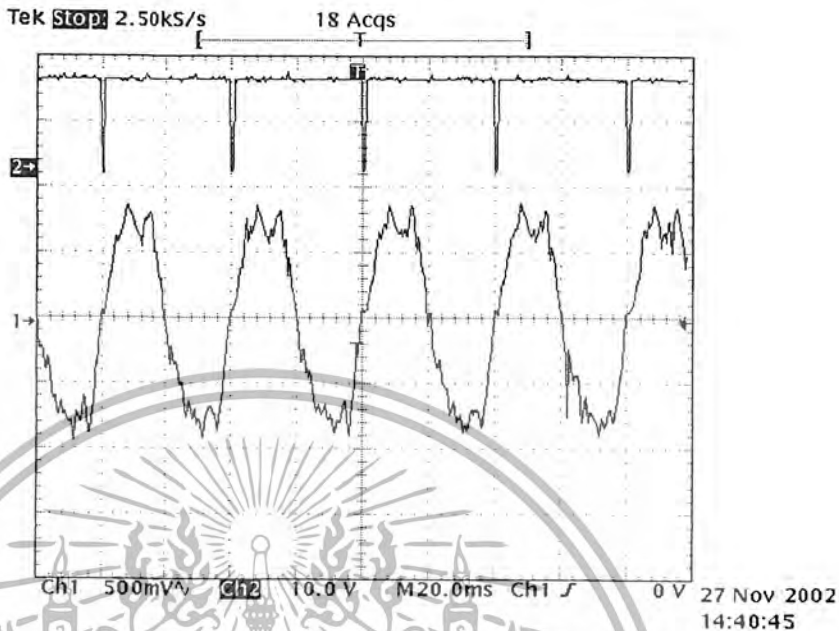
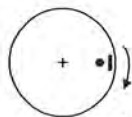
ขั้นตอนการทดลอง



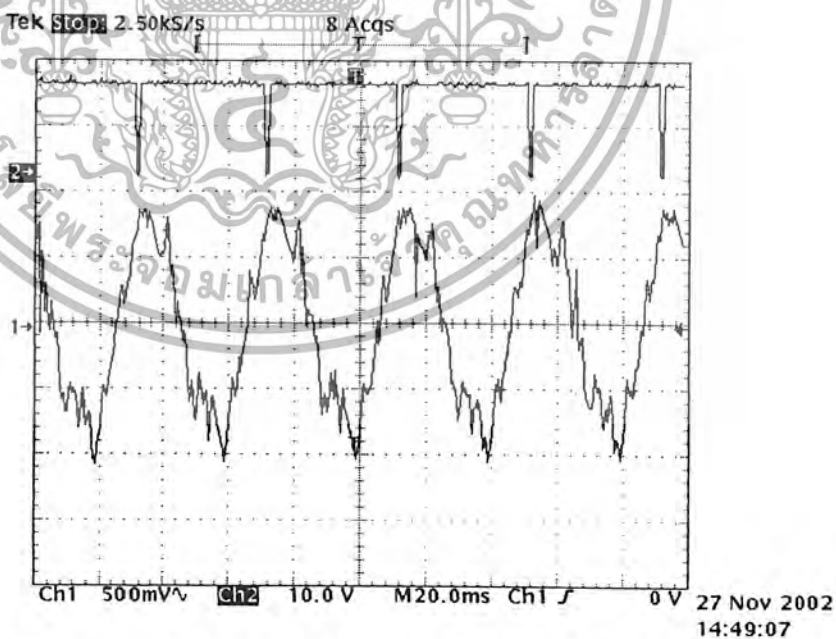
รูปที่ 7-11 แสดงการหาค่าตำแหน่งมวลโดยวิธีการวัดเฟส

1. พิจารณาที่ตำแหน่ง ณ จุดสูงสุดของรูปคลื่น (ทางด้านบวก) เพราะว่ามันคือ แรงสูงสุดที่มากระทำ กับ ตำแหน่งที่หัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer) วางอยู่
2. ณ ตำแหน่งที่จุดสูงสุดของรูปคลื่น (ทางด้านบวก) ให้ทับด้วย มุมระหว่าง ตำแหน่งของตัว photo sensor กับ ตำแหน่งของตัวหัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer) โดยคิดในทิศทาง “ ตามการหมุนของมอเตอร์ ” ซึ่งในที่นี้ห่างกัน 90° และอ้างอิงตำแหน่งเริ่มต้นที่ photo sensor เสมอ.
3. จากข้อที่2 จะ ได้ตำแหน่งของมุมเฟสเริ่มต้น ซึ่งจะใช้อ้างอิง เพื่อหามุมห่างระหว่างตำแหน่งของมวลถ่วง กับ ตำแหน่งของ Tab.
4. พิจารณาตำแหน่งเฟสที่วัดออกมาได้เปรียบเทียบกับตำแหน่งของมุมเฟสเริ่มต้น ว่าตำแหน่งเฟสที่วัดได้นั้นห่างจากมุมเฟสเริ่มต้น ไปกี่องศา โดย พิจารณาทางด้านขวามือของมุมเฟสเริ่มต้น มุมองศาที่อ่าน ได้ คือ มุมที่มวลห่างจากจุด Tab ในทิศทาง “ ตามการหมุนของมอเตอร์ ”

ผลการทดลอง

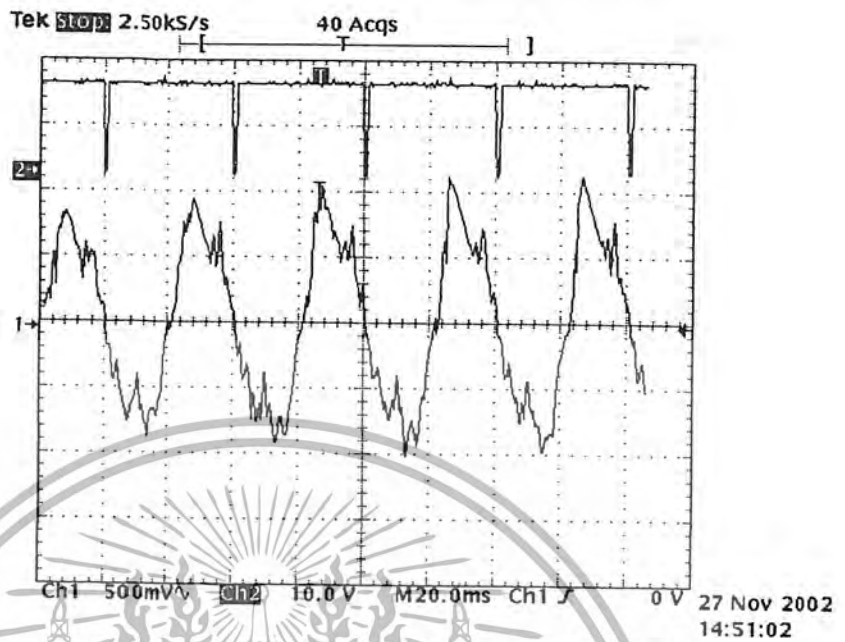
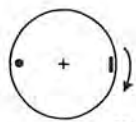


รูปที่ 7-45 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวลห่างจากแท็บเป็นมุม 0 องศา

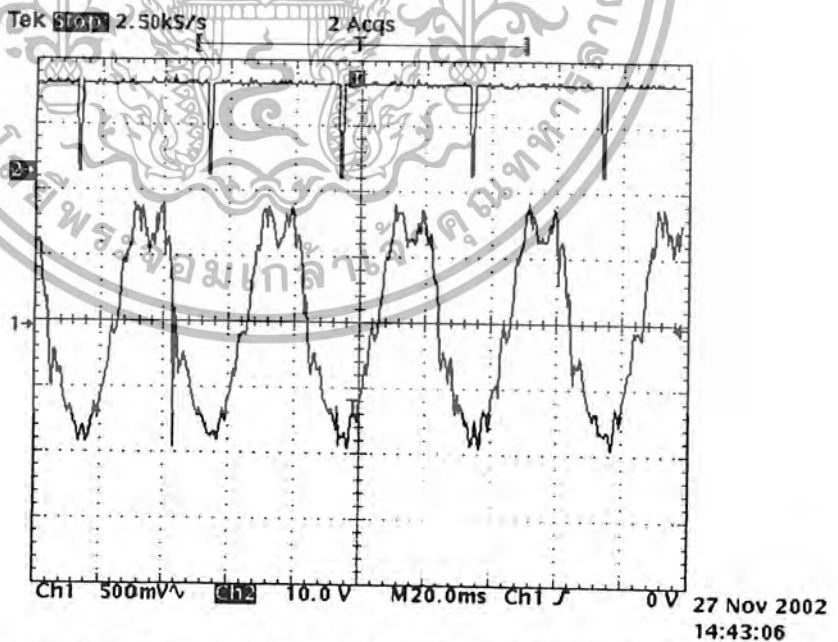


รูปที่ 7-46 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวลห่างจากแท็บเป็นมุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-47 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวนห่างจากแท่งเป็นมุม 180 องศา



รูปที่ 7-48 แสดงตำแหน่งของเฟส ณ ตำแหน่งที่มวนห่างจากแท่งเป็นมุม 270 องศา

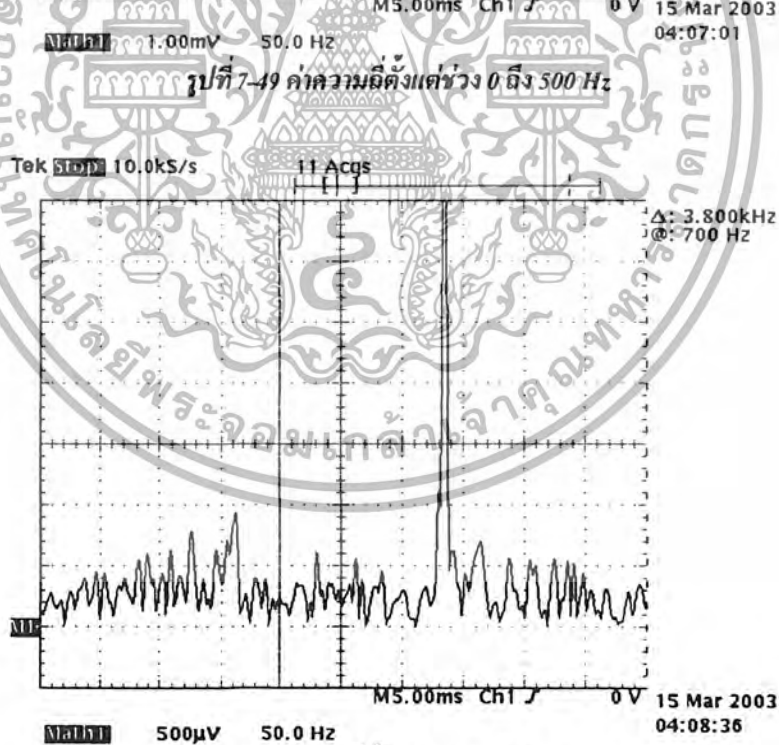
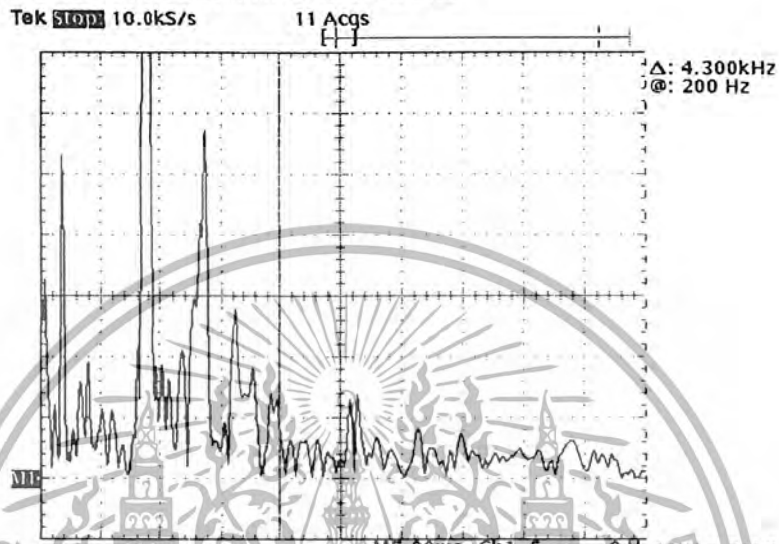
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.11 การทดลองเรื่อง การหาค่ารีโซแนนซ์ของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบแรงสั่นสะเทือน

พิจารณาที่ มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole น้ำหนักของFlywheelมีค่า 1.4 kg
น้ำหนักของมอเตอร์มีค่า 10.2 kg ติดตั้งบนฐานสปริง

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะติดตั้งหัววัด Accelerometer ไว้ที่ตำแหน่งแนวตั้งด้านต้นเพลลาขับ
ของมอเตอร์ ทำการบันทึกค่าความถี่ 0-2.5 kHz



จากกราฟสรุปได้ว่าความถี่รีโซแนนซ์อยู่ที่ตำแหน่ง 20 , 90 , 140 , 160 และ 835 Hz

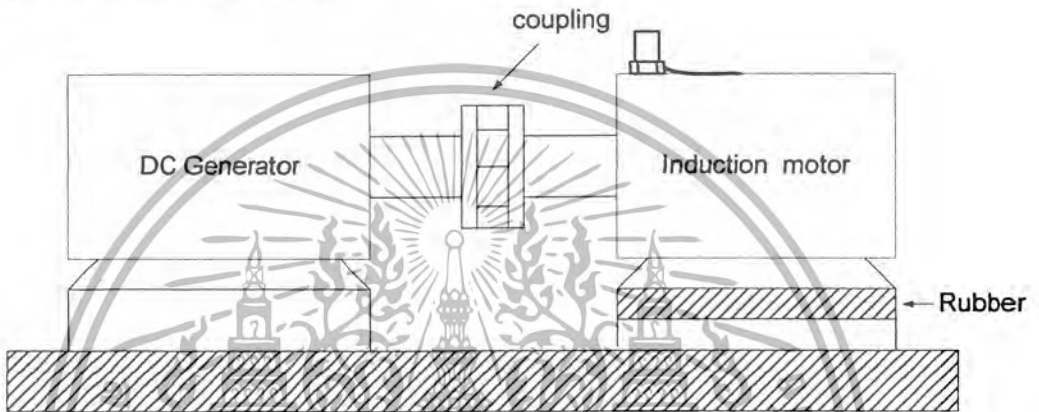
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.12 การทดลองเรื่อง สเปกตรัมการสั่นสะเทือน

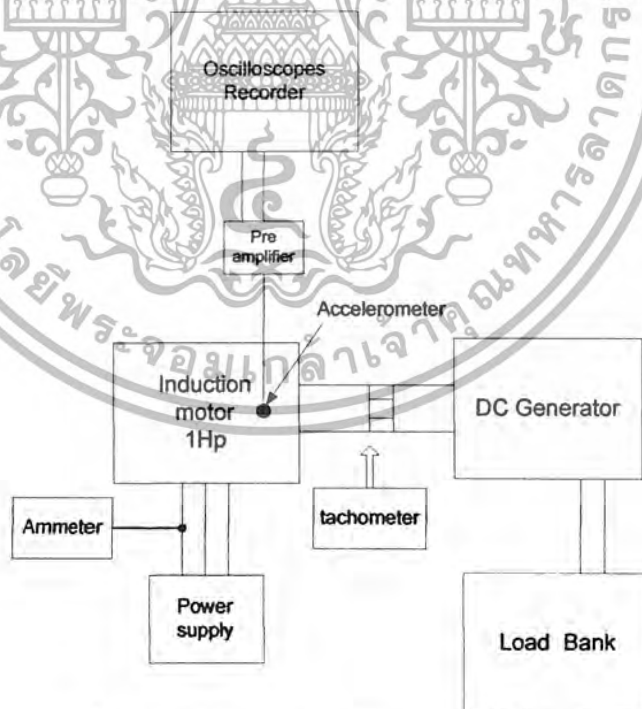
ทฤษฎีเบื้องต้น

ในการศึกษาการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำจำเป็นต้องทำการกำหนดพารามิเตอร์เพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง สัญญาณในรูปของ Frequency domain จะใช้วิเคราะห์การสั่นสะเทือนจากสาเหตุต่าง ๆ ได้ดีที่สุด

โครงสร้างที่เราใช้ในการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น เราต้องคัดแรงสั่นสะเทือนทางกลจากตัว Generator โดยใช้ Coupling ที่เป็นชนิดที่มีความยืดหยุ่นเพื่อให้การสั่นสะเทือนที่มีความถี่ที่สูงไม่เข้าไปที่ตัวมอเตอร์ใช้ทฤษฎีของ Isolation ส่วนที่ฐานมอเตอร์ เราใช้ยางรองไว้เพื่อลดค่าความถี่รีโซแนนซ์ซึ่งทำให้การตอบสนองที่ความถี่สูงดีขึ้น



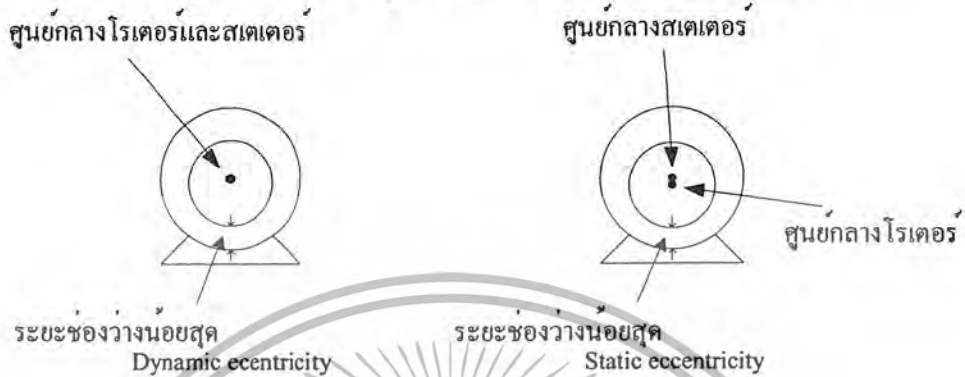
รูปที่ 7-51 แสดงโครงสร้างการทดสอบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 7-52 Block diagram ของการทดลองการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสั่นสะเทือนก็ต้องมีตัวกำเนิดแรงสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนทางไฟฟ้าก็จะได้จาก สัญญาณไฟฟ้า ซึ่งตัวที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนก็จะเกิดจากความไม่สมมาตรของเครื่องจักร ในกรณีนี้ ยกตัวอย่างเช่น การไม่ได้ศูนย์กลางระหว่างสเตเตอร์และ โรเตอร์ เรียกว่า Eccentricity ซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งก็ยังมีอีก 2 ประเภทคือ Dynamic และ Static ลักษณะของ Dynamic ส่วนใหญ่ เกิดจากโรเตอร์เบี่ยง ส่วน Static เกิดจากศูนย์กลางของสเตเตอร์และ โรเตอร์ไม่ตรงกัน



รูปที่ 7-53 แสดงผลกระทบจากการเยื้องศูนย์

สัญญาณการสั่นสะเทือนสามารถแสดงผลของ Eccentricity ทั้ง 2 ประเภทได้จาก Low Frequency ที่ความถี่

โดย $f_e = (2f \pm f_r)$
 คือ ความถี่ของการสั่นสะเทือน
 f_r คือ ความถี่ในการหมุนของโรเตอร์

อ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง [7] ซึ่งการจะวิเคราะห์ให้ชัดเจนก็ต้องดูที่ความถี่สูงด้วย ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่ครอบคลุมถึงรายละเอียดทฤษฎีทางสั่นสะเทือนทางไฟฟ้า แต่จะเปรียบเทียบลักษณะของสเปกตรัมของสัญญาณเพื่อจะเป็นการทำความเข้าใจ จากวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเบื้องต้น

เงื่อนไขในการทดสอบ

การทดสอบการสั่นสะเทือนจะ ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 Hp ต่อขลวดสเตเตอร์และ โรเตอร์เพื่อให้แรงดัน input คงที่ $V_{phase} = 220 V$ ทำการทดสอบมอเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. มอเตอร์ในสภาวะ No load ปกติ
2. ปรับแรงดันเฟสลงเป็น 170 V
3. ทดสอบฮาร์โมนิกแบบ Positive Sequence
 - order 3 (แรงดัน 66 v)
 - order 5 (แรงดัน 66 v)
 - order 7 (แรงดัน 66 v)
 -

4. ทดสอบฮาร์โมนิกแบบ Negative Sequence

- order 3 (แรงดัน 66 v)
- order 5 (แรงดัน 66 v)
- order 7 (แรงดัน 66 v)

ในการพิจารณาประเภทของการสั่นสะเทือนต้องพิจารณาถึงความถี่หลักในอันดับต่าง ๆ แล้ว การจะดูที่ความถี่ Side Band เพราะว่าจะบ่งบอกถึงลักษณะของการสั่นสะเทือน ได้ดีขึ้น ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาของการสั่นสะเทือน ในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนพิจารณาที่ความถี่ $4f$, $6f$, $8f$ อ้างอิงจากเอกสารอ้างอิงซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงการสั่นสะเทือนเนื่องจากสนามแม่เหล็กติดตัว เนื่องจากเมื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์จะทำให้มอเตอร์ร้อน ถ้าติดตั้งหัววัดโดยใช้ขี้ผึ้งจะทำให้ขี้ผึ้งละลายได้

ผลการทดสอบ

7.12.1 มอเตอร์ในสภาวะ No load ปกติ

ต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์ แล้วป้อนแรงดัน 220 V balance

กระแสที่วัดได้ เฟส A = 1.02 A

เฟส B = 1.04 A

เฟส C = 1.02 A

ความเร็วรอบ 1,497 rpm

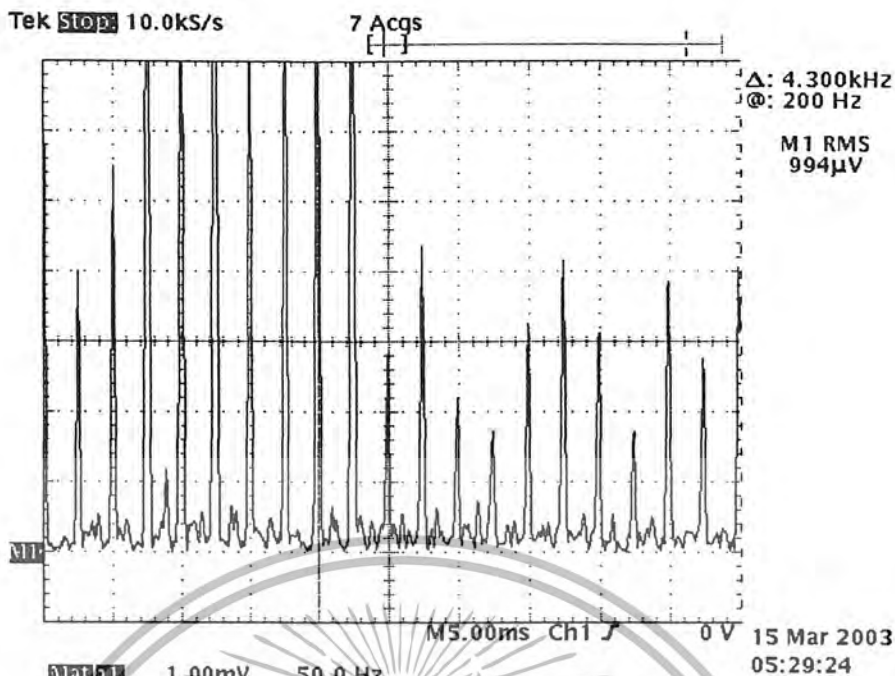
$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,497}{1,500} = 0.002$$

$f_r = 24.95 \text{ Hz}$

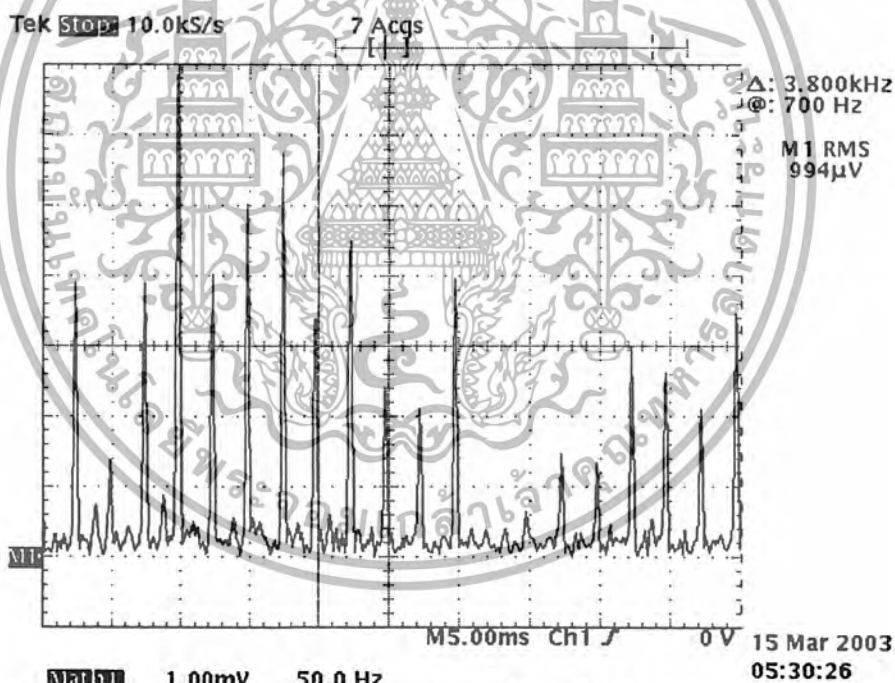
ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 990 μV (rms)

ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9,806 \text{ m/s}^2) \\ &= 990 \times 10^{-6} \times 9,806 \\ &= 9.708 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$



รูปที่ 7-54 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz



รูปที่ 7-55 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

จากรูปสามารถบอกได้ว่า มีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2f)	100 Hz	side band ($\pm f$)	75 และ 125 Hz
	200 Hz	side band ($\pm f$)	175 และ 225 Hz
	600 Hz	side band ($\pm f$)	575 และ 625 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.12.2 ปรับแรงดันเฟส A เป็น 170 V

ในการทดลองนี้จะปรับแรงดันเฟส A ลงจาก 220 V เป็น 170 V ส่วนเฟสอื่น ๆ ให้คงที่ที่ 220 V

กระแสที่วัดได้ เฟส A = 0.56 A

เฟส B = 1.52 A

เฟส C = 1.47 A

ความเร็วรอบ 1,490 rpm

$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,490}{1,500} = 0.0066$$

$$f_r = 24.83 \text{ Hz}$$

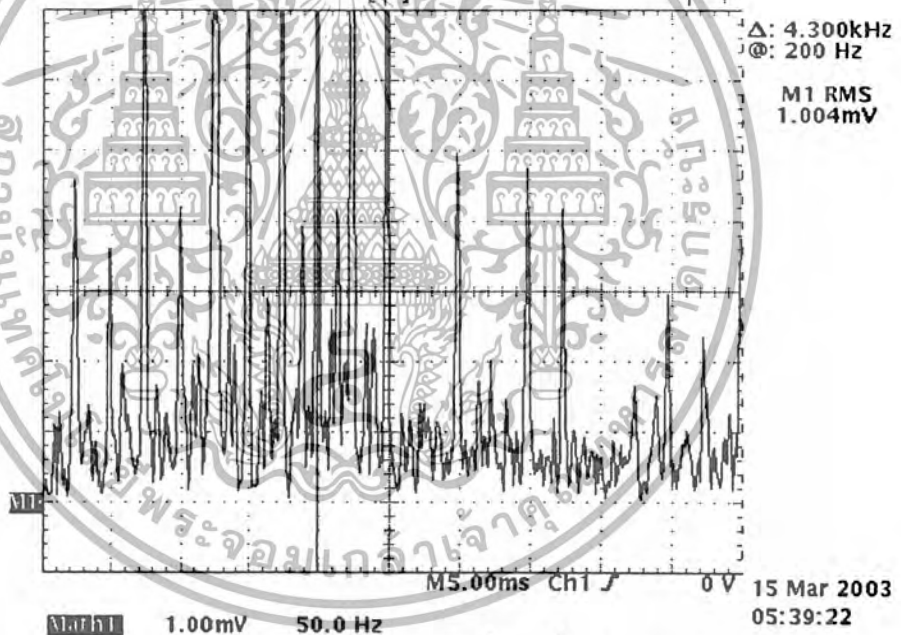
ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 1 mV (rms)

ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9.806 \text{ m/s}^2) \\ &= 1 \times 10^{-3} \times 9.806 \\ &= 9.806 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

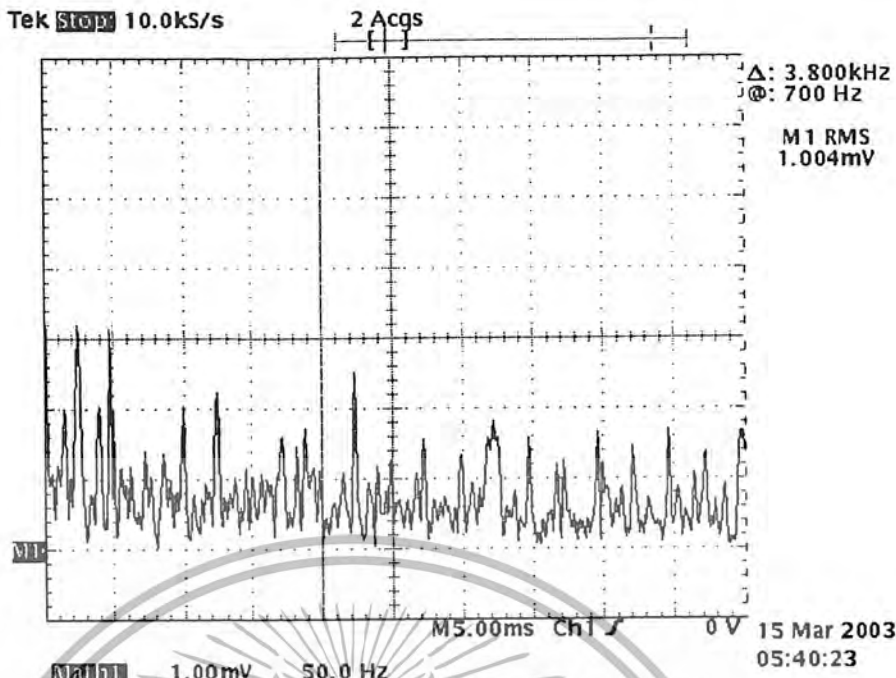
Tek Stop 10.0ks/s

2 Acqs



รูปที่ 7-56 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-57 แสดงสัญญาณเบกตัวที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

จากรูปสามารถบอกได้ว่ามีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

- ความถี่หลัก (2f) 100 Hz side band (± f) 75 และ 125 Hz
- 200 Hz side band (± f) 175 และ 225 Hz

7.12.3 ทดลองฮาร์มอนิกแบบ Positive Sequence

ปรับแรงดันสัญญาณฮาร์มอนิก 66V เป็น 30% ของแรงดัน Fundamental เครื่องกำเนิดสัญญาณ การสั้นสะเทือนมี 16 pole ดังนั้นในการปรับให้ ได้ order 3,5,7 จะต้องปรับความเร็วการหมุนของมอเตอร์ ให้ ได้ดังนี้

Order 3 ความถี่ 150 Hz

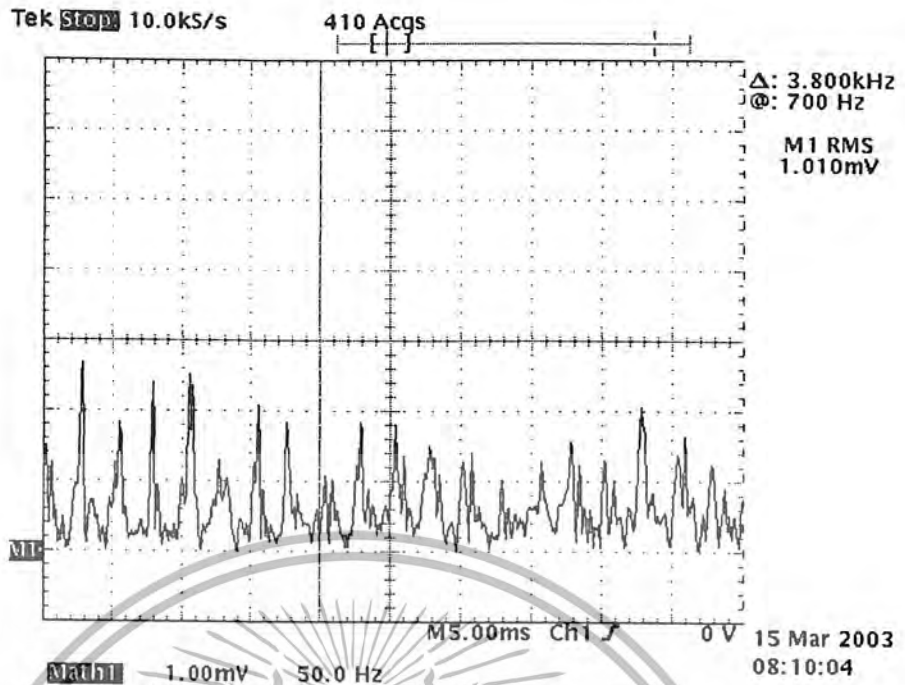
$$\text{ความเร็วรอบ} = \frac{120 \times 150}{16} = 1,125 \text{ rpm}$$

Order 5 ความถี่ 250 Hz

$$\text{ความเร็วรอบ} = \frac{120 \times 250}{16} = 1,875 \text{ rpm}$$

Order 7 ความถี่ 350 Hz

$$\text{ความเร็วรอบ} = \frac{120 \times 350}{16} = 2,625 \text{ rpm}$$



รูปที่ 7-59 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่มีความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

จากรูปสามารถบอกได้ว่า มีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2f)	100 Hz	side band ($\pm f_r$)	75 และ 125 Hz
	200 Hz	side band ($\pm f_r$)	175 และ 225 Hz
	500 Hz	side band ($\pm f_r$)	475 และ 525 Hz

ทดลองป้อนฮาร์โมนิก order 5 ในสภาวะ No load

ต่อขดลวดแบบ Star	ป้อนแรงดัน fundamental	220 V
	ป้อนแรงดัน harmonic order 5	66 V

กระแสที่วัดได้โดยประมาณ 1.15 A

ความเร็วรอบ 1,492 rpm

$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,492}{1,500} = 0.0053$$

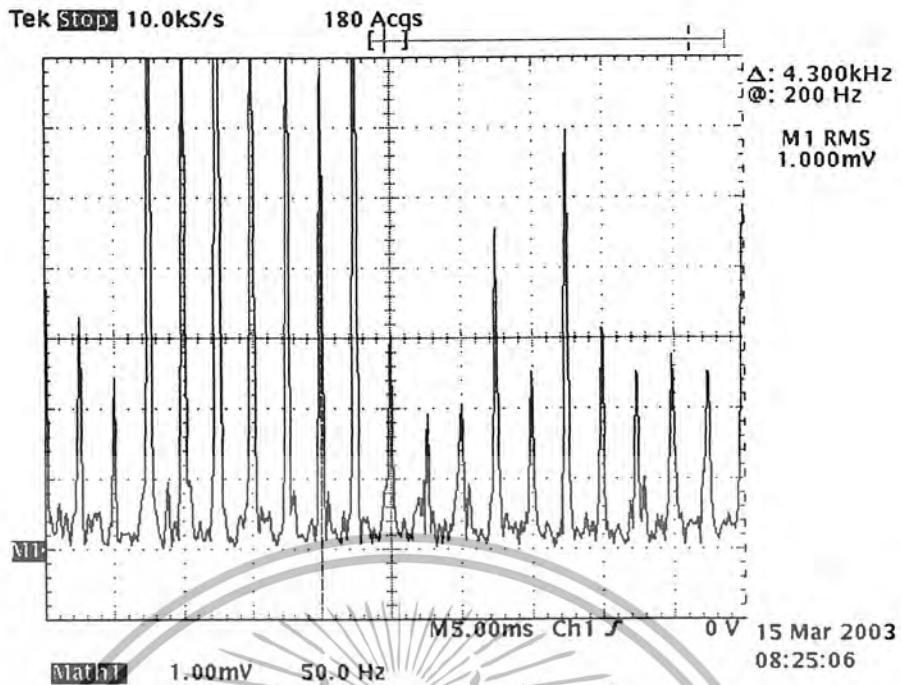
$$f_r = 24.86 \text{ Hz}$$

ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 1 mV (rms)

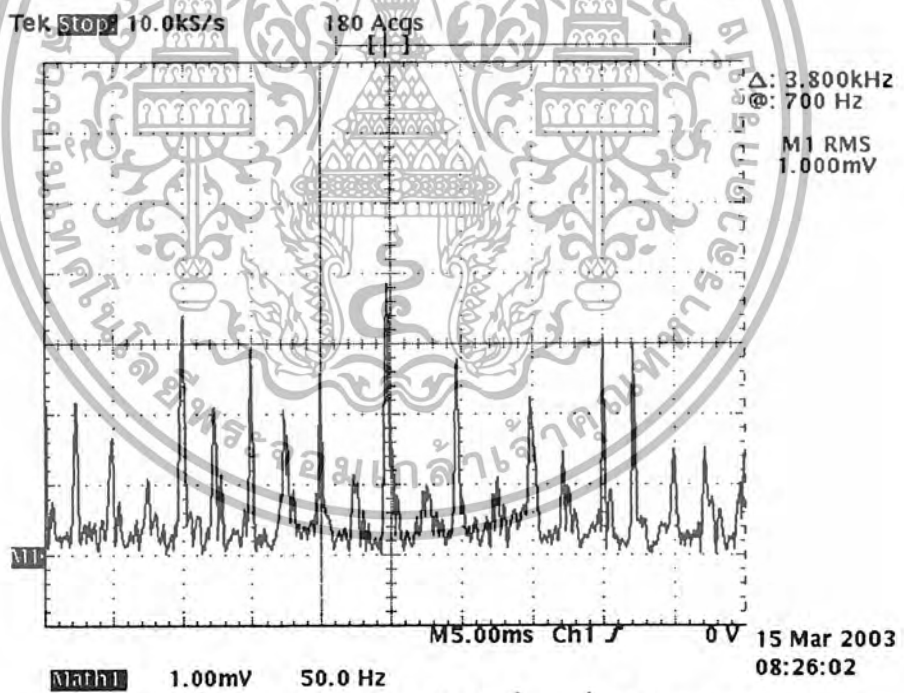
ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9.806 \text{ m/s}^2) \\ &= 1 \times 10^{-3} \times 9.806 \\ &= 9.806 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-60 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz



รูปที่ 7-61 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสามารถบอกได้ว่า มีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2f)	100 Hz	side band ($\pm f$)	75 และ 125 Hz
	200 Hz	side band ($\pm f$)	175 และ 225 Hz
	400 Hz	side band ($\pm f$)	375 และ 425 Hz

ทดลองป้อนฮาร์โมนิก order 7 ในสภาวะ No load

ต่อขดลวดแบบ Star	ป้อนแรงดัน fundamental	220 V
	ป้อนแรงดัน harmonic order 7	66 V

กระแสที่วัดได้โดยประมาณ 1.08 A

ความเร็วรอบ 1,495 rpm

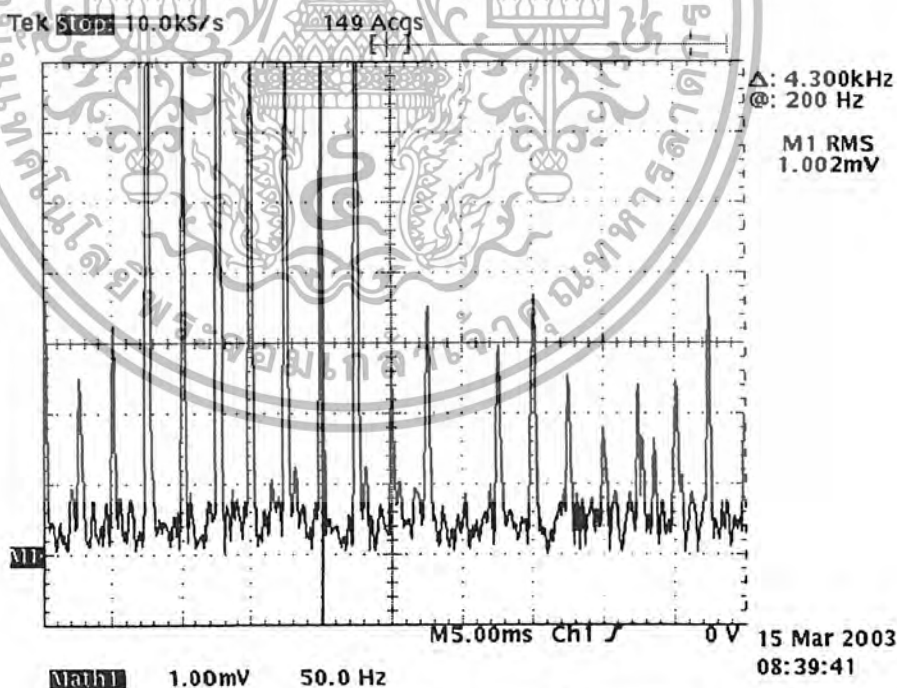
$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,495}{1,500} = 0.0033$$

$$f_r = 24.92 \text{ Hz}$$

ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 1.002 mV (rms)

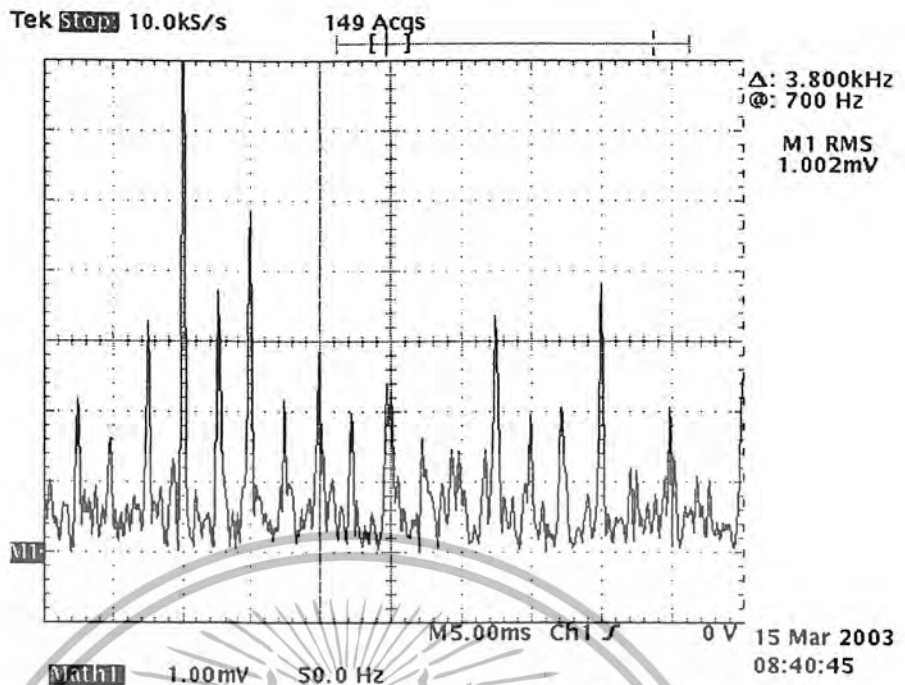
ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9.806 \text{ m/s}^2) \\ &= 1.002 \times 10^{-3} \times 9.806 \\ &= 9.82 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$



รูปที่ 7-62 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-63 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

จากรูปสามารถบอกได้ว่ามีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2f)	100 Hz	side band (± f)	75 และ 125 Hz
	200 Hz	side band (± f)	175 และ 225 Hz
	600 Hz	side band (± f)	575 และ 625 Hz

7.12.4 ทดลองอาร์มอนิกแบบ Negative Sequence

ปรับแรงดันสัญญาณอาร์มอนิก 66V เป็น 30% ของแรงดัน Fundamental เครื่องกำเนิดสัญญาณ การสั้นสะเทือนมี 16 pole ดังนั้น ในการปรับให้ ได้ order 3,5,7 จะต้องปรับความเร็วการหมุนของมอเตอร์ ให้ได้ดังนี้

Order 3 ความถี่ 150 Hz	ความเร็วรอบ	$\frac{120 \times 150}{16} = 1,125 \text{ rpm}$
Order 5 ความถี่ 250 Hz	ความเร็วรอบ	$\frac{120 \times 250}{16} = 1,875 \text{ rpm}$
Order 7 ความถี่ 350 Hz	ความเร็วรอบ	$\frac{120 \times 350}{16} = 2,625 \text{ rpm}$

ทดลองป้อนฮาร์โมนิก order 3 ในสภาวะ No load

ต่อขดลวดแบบ Star	ป้อนแรงดัน fundamental	220 V
	ป้อนแรงดัน harmonic order 3	66 V

กระแสที่วัดได้โดยประมาณ 1.59 A

ความเร็วรอบ 1,489 rpm

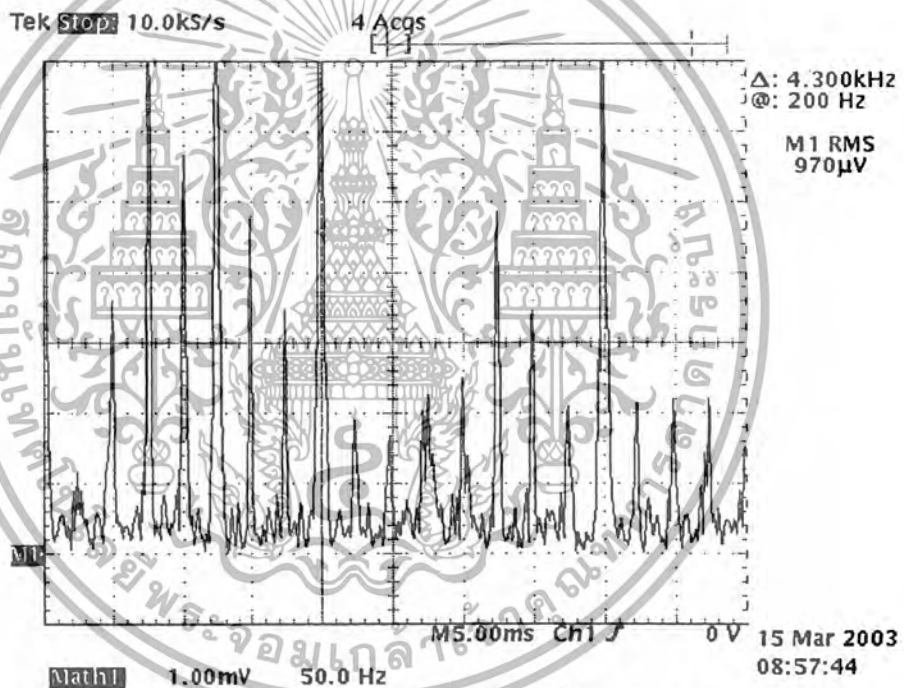
$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,489}{1,500} = 0.0073$$

$$f_r = 24.81 \text{ Hz}$$

ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 970 μV (rms)

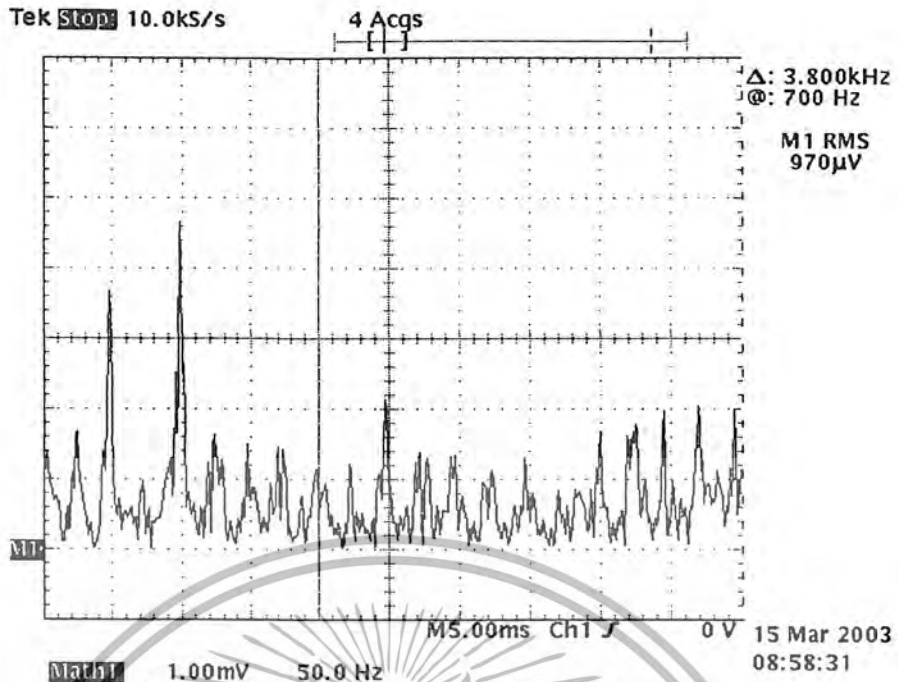
ค่านั้นขนาดการสั่นสะเทือนในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9.806 \text{ m/s}^2) \\ &= 970 \times 10^{-6} \times 9.806 \\ &= 9.51 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$



รูปที่ 7-64 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-65 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

จากรูปสามารถบอกได้ว่า มีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2 π)	100 Hz	side band ($\pm f$)	75 และ 125 Hz
	200 Hz	side band ($\pm f$)	175 และ 225 Hz
	400 Hz	side band ($\pm f$)	375 และ 425 Hz
	600 Hz	side band ($\pm f$)	575 และ 625 Hz

ทดลองป้อนฮาร์โมนิก order 5 ในสถานะ No load

ต่อขดลวดแบบ Star ป้อนแรงดัน fundamental 220 V

ป้อนแรงดัน harmonic order 5 66 V

กระแสที่วัดได้โดยประมาณ 1.23 A

ความเร็วรอบ 1,495 rpm

$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,495}{1,500} = 0.0033$$

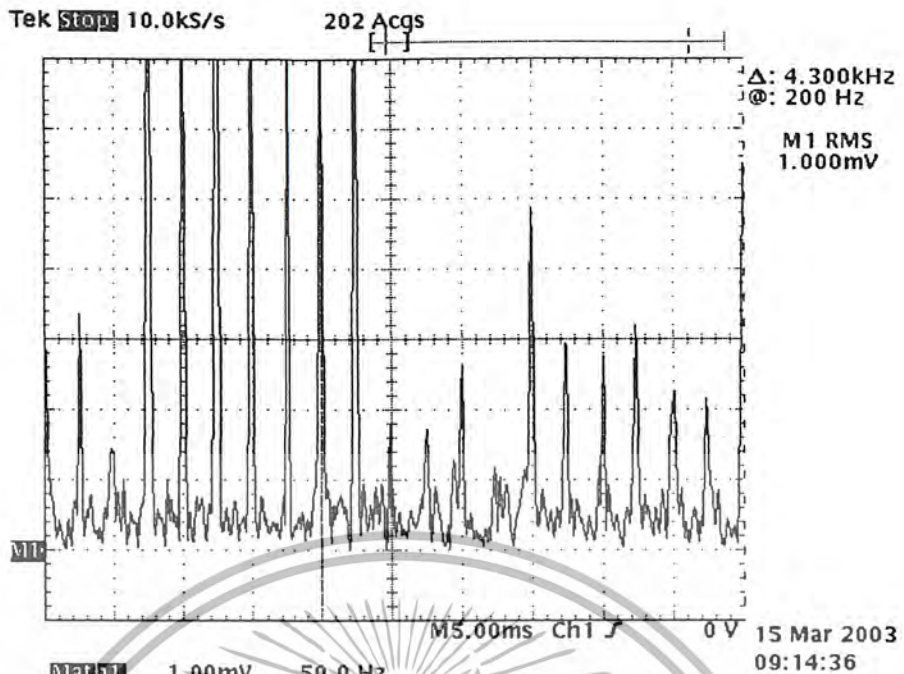
$$f_r = 24.92 \text{ Hz}$$

ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 1 mV (rms)

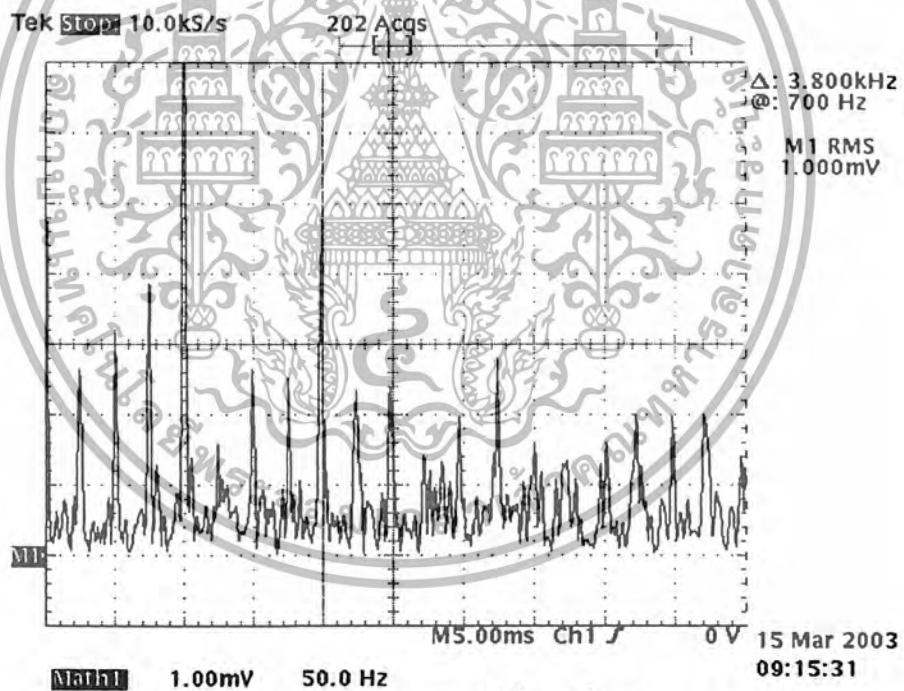
ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9.806 \text{ m/s}^2) \\ &= 1 \times 10^{-3} \times 9.806 \\ &= 9.806 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-66 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz



รูปที่ 7-67 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสามารถบอกได้ว่า มีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2f)	100 Hz	side band ($\pm f_r$)	75 และ 125 Hz
	200 Hz	side band ($\pm f_r$)	175 และ 225 Hz
	600 Hz	side band ($\pm f_r$)	575 และ 625 Hz
	700 Hz	side band ($\pm f_r$)	675 และ 725 Hz

ทดลองป้อนฮาร์โมนิก order 7 ในสภาวะ No load

ข้อขดลวดแบบ Star	ป้อนแรงดัน fundamental	220 V
	ป้อนแรงดัน harmonic order 7	66 V

กระแสที่วัดได้โดยประมาณ 1.07 A

ความเร็วรอบ 1,492 rpm

$$\text{Slip} = \frac{1,500 - 1,492}{1,500} = 0.0053$$

$$f_r = 24.87 \text{ Hz}$$

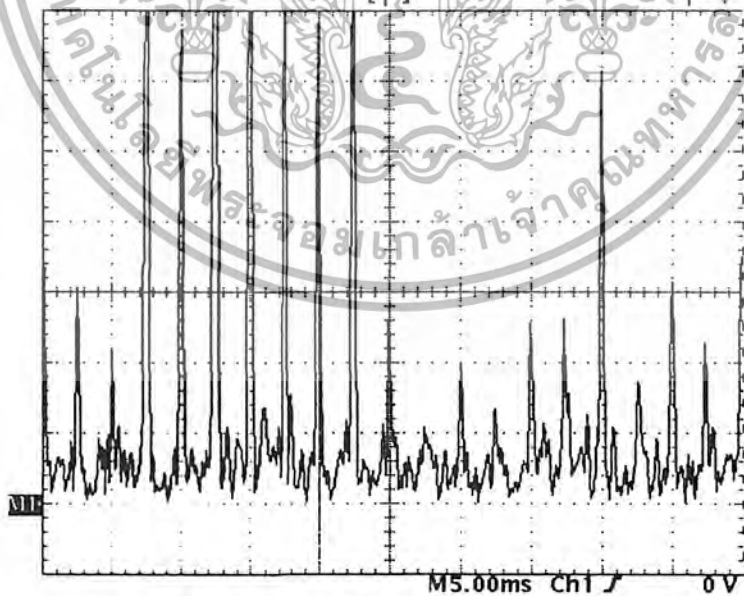
ค่าการสั่นสะเทือนวัดได้ 1 mV (rms)

ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือน ในรูปอัตราเร่ง (Acceleration) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= \text{ค่าจากการทดลอง (V)} / (1\text{V}/9.806 \text{ m/s}^2) \\ &= 1 \times 10^{-3} \times 9.806 \\ &= 9.806 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

Tek Stop 10.0ks/s

47 Acgs



Δ : 4.300kHz
@: 200 Hz

M1 RMS
996µV

M5.00ms Ch1

0 V

15 Mar 2003

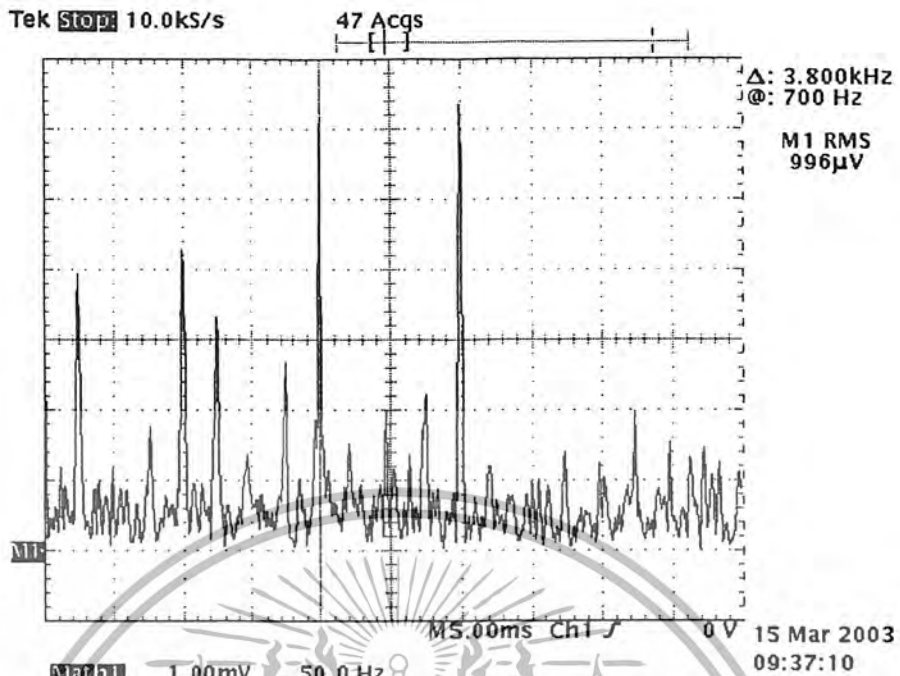
09:36:16

M1:1

1.00mV 50.0 Hz

รูปที่ 7-68 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 0 ถึง 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-69 แสดงสัญญาณสเปกตรัมที่ความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz

จากรูปสามารถบอกได้ว่ามีขนาด peak ที่ความถี่ต่อไปนี้

ความถี่หลัก (2f)	side band ($\pm f$)
100 Hz	75 และ 125 Hz
200 Hz	175 และ 225 Hz
400 Hz	375 และ 425 Hz
600 Hz	575 และ 625 Hz
700 Hz	675 และ 725 Hz
800 Hz	775 และ 825 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

สรุปเรื่องการทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer

การทดสอบอัตราเร่งจะเพิ่มตามความเร็วรอบของมอเตอร์โดยเป็นความสัมพันธ์กำลังสองของความถี่รอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าระหว่าง 4 – 8 % เนื่องมาจากโครงสร้างของกระบอกสูบที่ไม่สมบูรณ์

สรุปเรื่องผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากขนาดของมวลถ่วง

ขนาดของมวลมีผลกับอัตราเร่ง โดยที่ค่าอัตราเร่งจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดของมวลถ่วงใหญ่ขึ้น นั่นคือ ค่าอัตราเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล ซึ่งในขณะเดียวกันค่า error ที่เกิดขึ้น ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำค่าที่วัดได้ไปเทียบกับค่าที่คำนวณ (ทั้งนี้เพราะว่ามีแรงจากวัตถุที่อยู่ใกล้มากกระทำ อังการ สั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากมวลถ่วงมีค่ามาก แรงจากวัตถุที่อยู่ใกล้ก็จะมากตาม ค้วย)

สรุปเรื่องผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากระยะห่างของมวลถ่วง

จากการทดลองจะพบว่า ระยะห่างของมวลจากจุดศูนย์กลางมีผลกับค่าอัตราเร่ง โดยที่ขนาด น้ำหนักมวลถ่วงเท่ากัน มวลถ่วงที่อยู่ไกลจากจุดศูนย์กลางมากกว่าจะส่งผลให้มีขนาดการสั่นสะเทือนและอัตราเร่งสูงกว่า ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาเรื่องมอเตอร์สั่นสะเทือน เมื่อเราทราบตำแหน่งของมวลถ่วงที่ทำให้มอเตอร์ไม่สมดุลแล้ว เราก็จะทำการเพิ่มมวลในทิศทางตรงข้าม ซึ่งจากความรู้ในการทดลองนี้ เราก็จะทราบว่าควรเพิ่มมวลที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางมาก ๆ เพื่อที่จะ ได้ใช้มวลถ่วงขนาดเล็กลง

สรุปเรื่องความสมดุลของมวลถ่วง

จากการทดลองจะพบว่า เมื่อเราใส่มวลถ่วงเริ่มต้น 55 g มอเตอร์จะมีการสั่นสะเทือนมาก จากนั้นเมื่อเราถ่วงน้ำหนักที่ฝั่งตรงข้ามจะส่งผลให้มอเตอร์สั่นสะเทือนน้อยลง ยิ่งมวลที่ถ่วงให้สมดุลมีขนาดใกล้เคียงกับมวลฝั่งตรงข้ามมาก แรงสั่นสะเทือนก็จะยิ่งมีค่าน้อยลงมาก ค่าอัตราเร่งก็ยังมีค่าน้อยลง ค้วย จากตรงนี้ทำให้ทราบว่า เราสามารถที่จะลดขนาดการสั่นสะเทือนลงได้ ถ้าทราบตำแหน่งของมวลที่ทำให้เกิดความ ไม่สมดุล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ขนาดอื่นได้เช่นกัน

สรุปเรื่องการเปลี่ยนแปลงของเฟสอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์รีโซแนนซ์

ปรากฏการณ์รีโซแนนซ์ เกิดขึ้นเนื่องจาก ความถี่ของการหมุนตรงกับค่าความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของมุมเฟส โดยที่จากการทดลองพบว่า

- ถ้าความถี่ของการหมุนมีค่าน้อยกว่าค่าความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ จะทำให้มุมเฟสเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าน้อยกว่า 90 องศา
- ถ้าความถี่ของการหมุนมีค่ามากกว่าค่าความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ จะทำให้มุมเฟสเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา
- ถ้าความถี่ของการหมุนมีค่าตรงกับค่าความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ จะทำให้มุมเฟสเปลี่ยนแปลงไป 90 องศา นั่นหมายถึง การสั้นสะเทือนเกิดตามหลังแรงเป็นมุม 90 องศา นั่นเอง

สรุปเรื่องผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งจะเพิ่มขึ้นตามความถี่กำลังสอง ซึ่งค่าอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้นนี้จะแปรตามความเร็วรอบกำลังสองด้วย เพราะว่าความเร็วรอบแปรผันตามความถี่ แต่ก็จะมีบางช่วงที่ค่าอัตราเร่งมีค่าสูงมากกว่าปกติ นั่นก็เป็นเพราะว่าความเร็วรอบค่า นั้น ตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ

สรุปเรื่องการหาตำแหน่งของมวลโดยวิธีการวัดเฟส

จากการทดลองจะเห็นตำแหน่งของมุมเฟสเกิดขึ้นหลังจากที่ทำการใส่มวลถ่วงเข้าไปที่ตำแหน่ง 0, 90, 180 และ 270 องศา (ดังรูปที่ 7-45 ถึง 7-48) หลังจากทราบตำแหน่งที่เกิดขึ้นแล้วเราสามารถบอกตำแหน่งของมวลโดยใช้หลักการพิจารณาตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น

สรุปเรื่องสเปกตรัมการสั้นสะเทือน

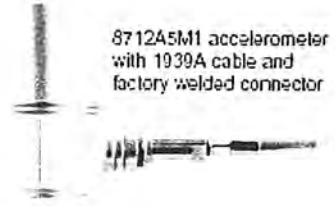
จากสเปกตรัมการสั้นสะเทือน ในการทดลองต่าง ๆ จะเห็นว่า การสั้นสะเทือนจะเป็นจำนวนเท่าของความเร็วในการหมุนและจะมีค่าการสั้นสะเทือนที่ความถี่นั้น ๆ สูงขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อลดแรงคืนลงเป็น 170V จะเห็นว่า ขนาดโดยรวมของการสั้นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติ Side band ของความถี่นั้น ๆ จะมีค่าที่สูงขึ้นมากจากเดิมแต่ว่าขนาดการสั้นสะเทือนที่ความถี่จำนวนเท่าในการหมุนจะไม่สูงไปกว่าสภาวะมอเตอร์ปกติมากนัก ในการทดลองป้อนฮาร์โมนิคค่าการสั้นสะเทือนโดยรวมของ Positive Sequence จะมากกว่า Negative Sequence สเปกตรัมการสั้นสะเทือน Positive Sequence จะมีค่าอยู่ที่ $2f, 4f$ แต่ว่า สเปกตรัมการสั้นสะเทือน Negative Sequence จะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ $4f, 8f, 12f$ ในการวิเคราะห์การสั้นสะเทือนต้องดูที่ความถี่หลักและความถี่ Side band เพื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะการสั้นสะเทือน ผลจากการสั้นสะเทือนเนื่องจากรีโซแนนซ์ไม่เกิดขึ้นเนื่องจากความถี่การสั้นสะเทือนไม่ตรงกับค่าความถี่รีโซแนนซ์เลย

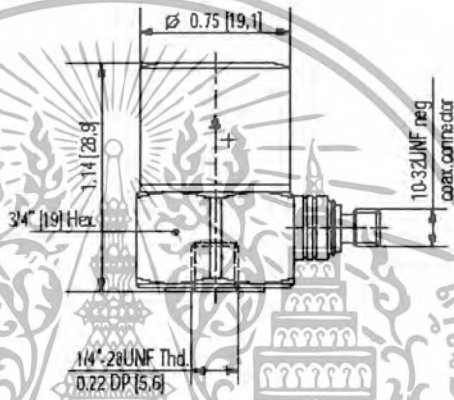
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ

สเปคของหัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer)



Dimensions in inches [mm]



Accelerometer ชื่อ KISTLER รุ่น 8712A5M1 K-SHEAR®

Low impedance voltage mode

Very high sensitivity

Technical Data	8712A5M1	Units
Acceleration Range	± 5	g
Acceleration Limit	± 50	g_{pk}
Transverse Acceleration	± 100	g_{pk}
Threshold nom.	0.0004	g_{rms}
Sensitivity $\pm 5\%$	1000	mV/g
Resonant Frequency mounted nom.	24	kHz
Frequency Response $\pm 5\%$	0.5...8000	Hz
$\pm 10\%$	0.3...11000	Hz
Amplitude Non-linearity	± 1	%FSO

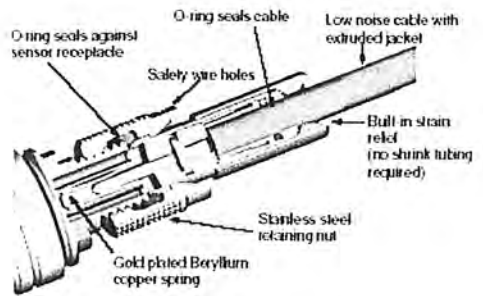
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Data	8712A5M1	Units
Time Constant nom.	1	s
Transverse Sensitivity nom (max 3%)	1.5	%
Base Strain Sensitivity @ 250 $\mu\epsilon$	≤ 0.002	g/ $\mu\epsilon$
Shock Limit (1 ms pulse) max.	1000	g _{pk}
Long Term Stability	± 1	%
Temperature Coefficient of Sensitivity	-0.03	%/ $^{\circ}$ F
	-0.06	%/ $^{\circ}$ C
Temperature Range Operating	-65 ...212	%/ $^{\circ}$ F
(4mA supply current)	-54 ...100	%/ $^{\circ}$ C
Storage	-105...300	%/ $^{\circ}$ F
	-75 ...150	%/ $^{\circ}$ C
Output		
Bias nom.	11	VDC
Impedance	<100	Ω
Voltage F.S.	± 5	V
Current	2	mA
Source		
Voltage	20...30	VDC
Constant Current	2...20	mA
Impedance	≥ 100	k Ω
Construction		
Sensing Element	quartz/shear	type
Housing/Base	Stl. St.	material
Sealing-Housing/Connector	hermetic	material
Connector	10-32 neg.	type
Ground Isolation min.	10	M Ω
Weight	51	g
Mounting Torque	18 (2)	lbf-in (Nm)

1 g = 9.80665 m/s² , 1 inch = 25.4 mm , 1 gram = 0.03527 oz ; 1 lbf-in = 0.1129 Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปคของสาย Perfect Cable

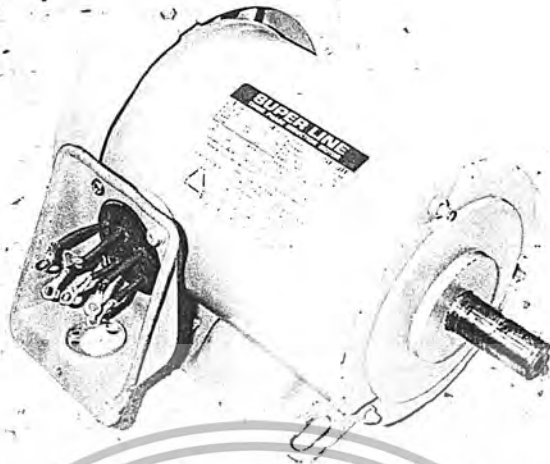


Kistler Connector

สาย Perfect Cable นี้ทำมาจาก Stainless Steel ซึ่งช่วยลดน้ำหนักลง 50% และยังสามารถใช้ได้กับเซ็นเซอร์ทั้งชนิด Low impedance และ High impedance ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูงถึง -295°F (-195°C) ถึง 460°F (24°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

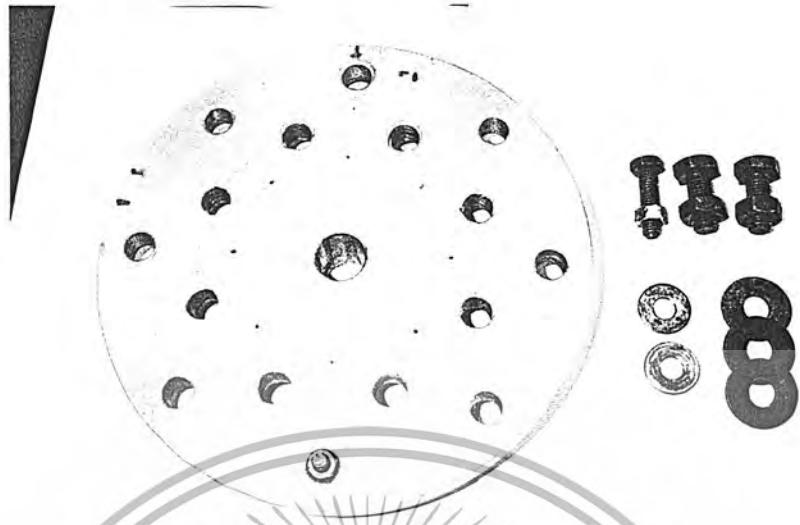
สเปคของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



3 Phase induction motor
1 Hp 4 Pole 50 Hz
220/380 volt 3.4/2.0 amp
1400 rpm
JIS C 4004
JP 44 JC 4
TYPE SF-JR
FRAME 80M
RATING CONT
INS CLASS B
AMB. TEMP 40°C
BEARING 6204-6203 ZZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ใช้ทดสอบมวลถ่วง

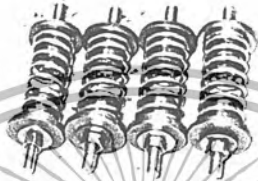
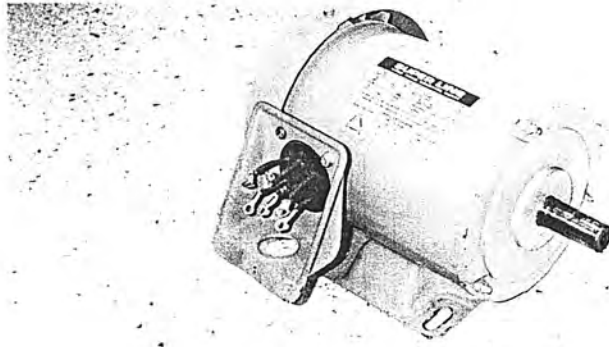


ชุดทดสอบการสั่นสะเทือน

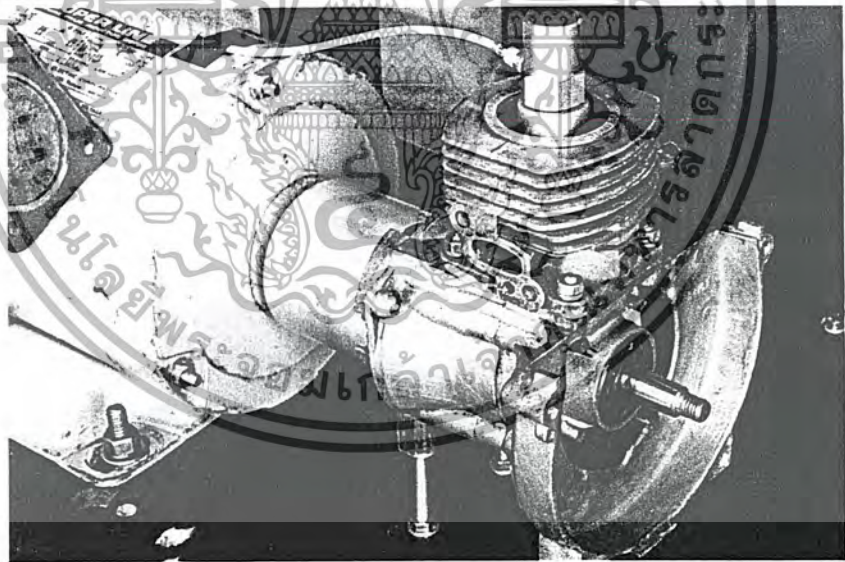


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์และสปริงที่ใช้ในการทดสอบ

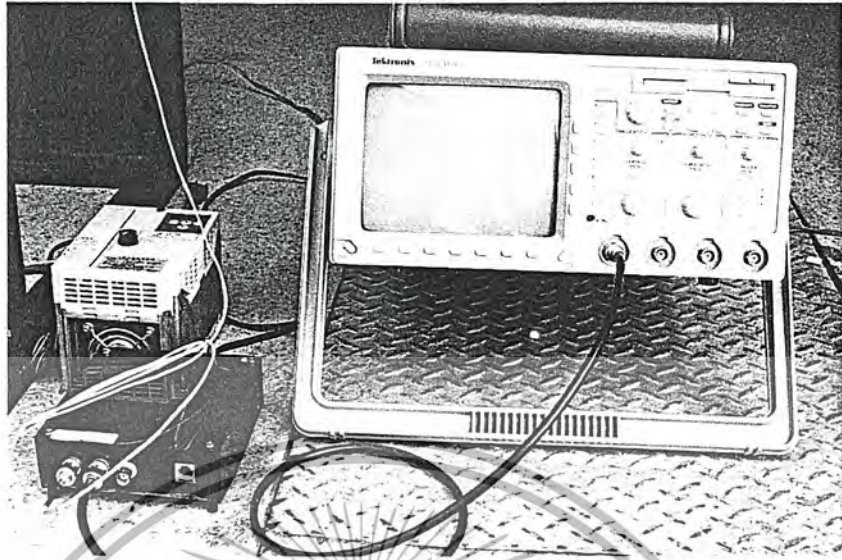


ชุดทดสอบอัตรแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดบันทึกผลสัญญาณการสั่นสะเทือน

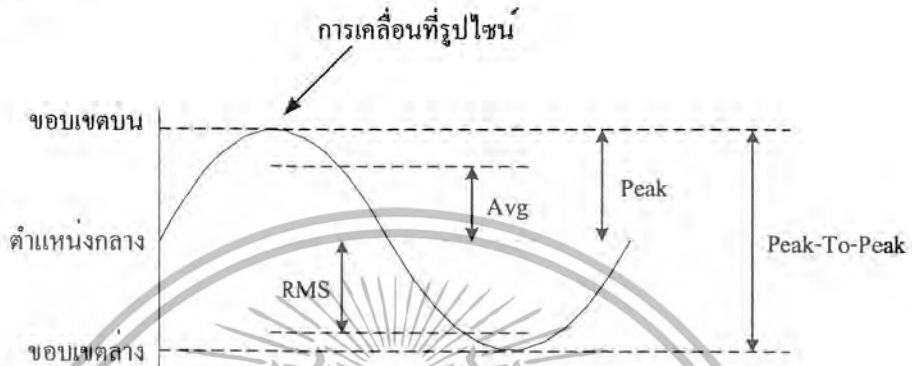


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน: (Units of Measurement Amplitude of Vibration Signal)

เมื่อสัญญาณการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็นการขจัด ความเร็วหรือความเร่งนั้นอยู่ในรูปของรูปคลื่นไซน์หรือรูปเป็นคาบ ซึ่งจะมีทั้งค่าบวกและค่าลบและมีค่าแปรเปลี่ยนตามเวลา การบอกขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนในลักษณะการบอกขนาดโดยรวม (Overall Value of Vibration) ที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้



1. ระดับยอดสูงสุด (Peak Level) เป็นการบอกค่าระดับสูงสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนไปจากระดับศูนย์ ทั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะการสั่นสะเทือนอย่างอื่น ค่านี้มักนิยมใช้วัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทกในช่วงเวลาสั้น ๆ
2. ระดับยอดสูงสุดถึงยอดสูงสุดอีกยอดหนึ่ง (Peak to Peak Level) ซึ่งก็คือการบอกขนาดของสัญญาณที่วัดจากจุดสูงสุดทางด้านบนถึงจุดต่ำสุดทางด้านล่าง
3. ค่าเฉลี่ย (Average Level) เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ในกรณีทั่วไปที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่าเป็นทั้งบวกและลบเมื่อเทียบกับตำแหน่งสมดุล ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยในกรณีนี้จะคิดโดยทำการเปลี่ยนเครื่องหมายของสัญญาณที่ลบให้เป็นบวกแล้วจึงคิดค่าเฉลี่ยออกมา

4. ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS: Root Mean Square) เป็นค่าที่ได้จากการนำสัญญาณที่วัดได้ในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่ง ๆ มายกกำลังสองแล้วทำการเฉลี่ยตลอดคาบและถอดรากที่สอง

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

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

ภาคผนวก ก

การติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ด้วยวิธีการต่าง ๆ

เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนสามารถทำงานได้สมบูรณ์ต้องติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ให้สัมพันธ์แนบสนิทกับผิวของชิ้นส่วนที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน โดยมีแนวแกนของทรานส์ดิวเซอร์ในทิศทางเดียวกับการสั่นสะเทือน ทั้งนี้เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ได้รับการถ่ายทอดการสั่นสะเทือนมาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการยึดทรานส์ดิวเซอร์ให้แนบสนิทกับผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรกระทำได้หลายวิธี และสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการใช้

1. การใช้สลักเกลียว

การใช้สลักเกลียวเป็นการยึดทรานส์ดิวเซอร์ที่แน่นหนามั่นคงจึงมีความถี่ตอบสนองที่สามารถใช้งานได้สูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่และแอมพลิจูดสูงได้และเป็นการติดตั้งหัววัดอัตราเร่งอย่างถาวร โดยที่ผิวหน้าต้องเรียบ แต่อาจจะไม่สะดวกถ้าต้องการตรวจวัดการสั่นสะเทือนเป็นครั้งคราว สลักเกลียวที่ใช้อาจเป็นสลักเกลียวที่ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นตัวจําไฟฟ้าและมีแผ่นฉนวนรองรับตัวหัววัดอัตราเร่งเพื่อป้องกันการลัดวงจรลงดิน (Ground Loop) ที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. การใช้กาวอีพอกซี (Epoxy)

ซึ่งจะสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าซีเมนต์ทนได้ประมาณ 80 °C ในขณะที่มีวิธีการและคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือน ๆ กัน แต่จะสามารถทนต่อการสั่นสะเทือนที่มีแอมพลิจูดสูง ๆ ได้ดีกว่า จุดอ่อนของการใช้กาวก็คือ ถ้าปากต่อการปลดหัววัดอัตราเร่งออกจากตำแหน่งที่ติดตั้งไว้

3. การใช้เทปกาว 2 หน้า

จะมีวิธีการติดตั้งและการใช้งานคล้ายคลึงกับการใช้ซีเมนต์หรือกาว เพียงแต่ว่าจะสะดวกต่อการติดตั้งมากขึ้นและเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ความหนาของเทปกาวจะมีผลต่อความถี่ตอบสนอง คือถ้ามีความหนามาก เช่น 0.8 mm. จะให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำประมาณ 500 Hz เนื่องจากความยืดหยุ่นของวัสดุทำเทป

4. การใช้มีดกด

ซึ่งอาจจะเป็นการกดหัววัดความเร่งลงบนเครื่องจักร โดยตรงหรืออาจเป็นการจ่อแท่งโพรบ (Probe) ซึ่งเป็นแท่นโลหะที่ขันติดแน่นกับหัววัดความเร่งให้ปลายสัมผัสกับเครื่องจักรแทนก็ได้ เพื่อให้สามารถครอบคลุมที่เข้าถึงลำบาก ทั้งนี้ที่ตำแหน่งผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรควรจะทำรอยบากไว้เพื่อป้องกันการลื่นและเป็นการกำหนดจุดที่แน่นอนให้การตรวจวัดทุกครั้งที่ตำแหน่งเดิมเสมอ เนื่องจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์กับขีดคิดของแท่ง โพรบกับชิ้นส่วนเครื่องจักรอาศัยแรงกดจากมือ ทำให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำ เพียงในช่วงประมาณ 1 kHz

5. การใช้แม่เหล็ก

เป็นการขีดด้วยแท่งแม่เหล็กถาวรที่ขั้วขั้วติดแน่นกับตัวทรานส์คิวเซอร์กับส่วนของเครื่องจักรที่ สั่นสะเทือนทำให้สะดวกและรวดเร็วตลอดจนมีความสม่ำเสมอของแรงดึงจุดที่ขีดคิดหัววัดความเร่งกับ เครื่องจักรจึงเหมาะสำหรับตรวจวัดเป็นครั้งคราว แต่อย่างไรก็ตาม ก็จะมีข้อดีคือตอบสนองลดต่ำกว่า วิธีการที่ผ่าน ๆ มาและที่สำคัญก็คือชิ้นส่วนที่จะวัดการสั่นสะเทือนต้องเป็นเหล็ก ตลอดจนแท่งแม่เหล็กที่ ใช้ก็จะเป็นการเพิ่มมวลให้กับชุดหัววัดความเร่งที่จะ ไปขีดกับชิ้นส่วน

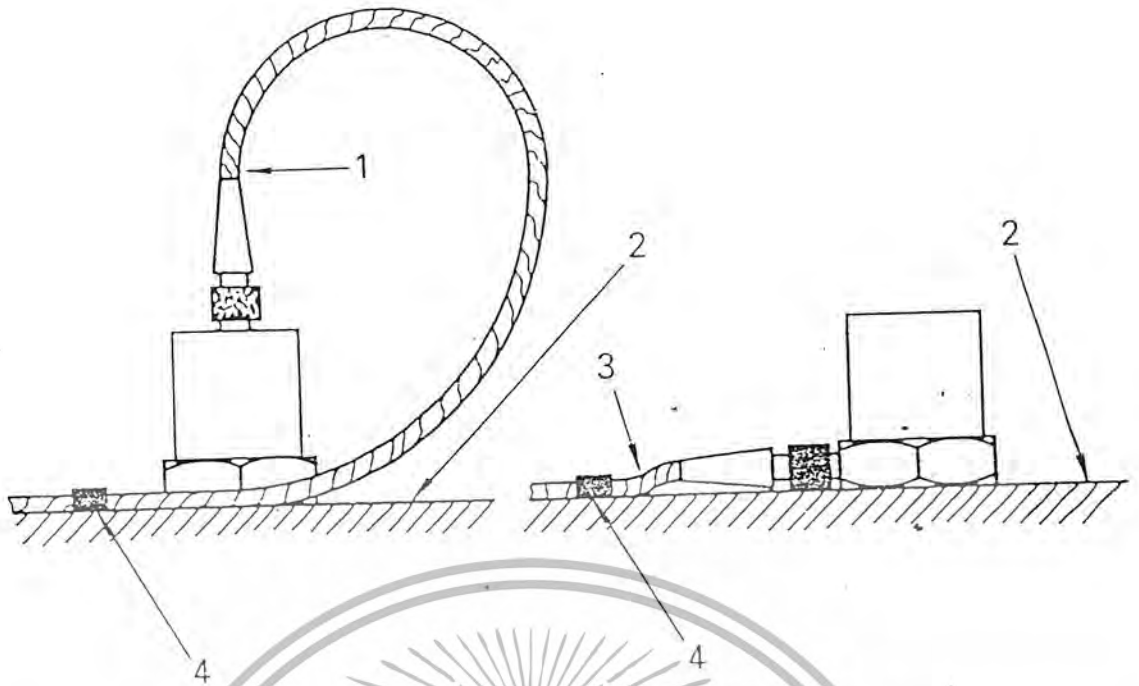
6. การใช้ขี้ผึ้ง

เนื่องจากการขีดทรานส์คิวเซอร์ด้วยขี้ผึ้ง ดังนั้นผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรต้องเรียบมาก และต้องสะอาดเพื่อให้ขี้ผึ้งยึดหัววัดความเร่งกับผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักร ได้ดีวิธีการนี้ใช้ได้สำหรับ หัววัดอัตราเร่งขนาดเล็ก เพราะสะดวกและมีความถี่ตอบสนองสูงใกล้เคียงกับการ ใช้สติกเก็ตขี้ผึ้ง แต่จะ ถูกจำกัดด้วยอุณหภูมิซึ่ง ไม่ควรเกิน 40 °C และแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน ไม่สูงมากนัก

7. การใช้ตัวกรองทางกล (Mechanical Filter)

เมื่อต้องการวัดความสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำและมีแอมพลิจูดน้อย ๆ ก็อาจจำเป็นต้องใช้ตัว กรองทางกล ซึ่งก็คือชุดมวลกับสปริงที่มีความถี่ตอบสนองต่ำ ซึ่งมีลักษณะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มี จำหน่าย ตัวกรองทางกลจะขีดคิดไว้ด้านหน้าของหัววัดความเร่ง ทำหน้าที่กรองการสั่นสะเทือนความถี่สูง ไม่ให้ผ่านเข้าถึงหัววัดความเร่ง

จากที่ผ่านมาเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งหัววัดอัตราเร่งแบบต่าง ๆ เพื่อแสดงช่วง ความถี่ตอบสนองที่สามารถใช้งานได้ดีของการติดตั้งหลาย ๆ แบบ



a) Accelerometer with axial connector

b) Accelerometer with radial connector

- 1 Do not stress
- 2 Vibrating surface
- 3 Do not stress
- 4 The cable is fixed to the vibrating surface

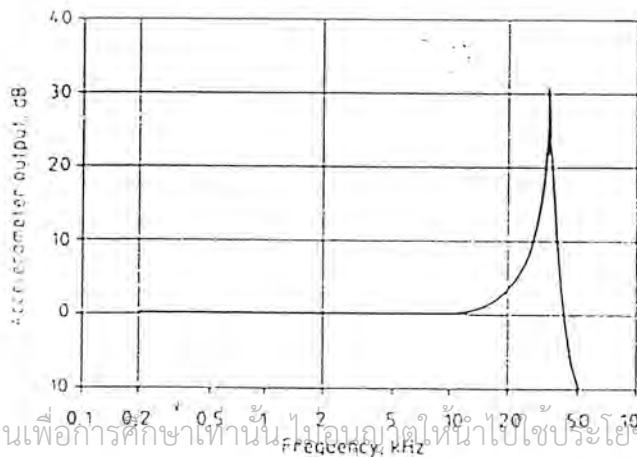
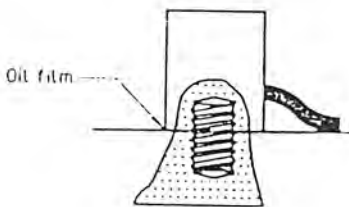
Figure 2 — Accelerometers with axial and radial connectors

Response influenced by: perpendicularity of mounting surface flatness and surface roughness mounting torque

Torque used for the test

M5 : 1,8 N·m

M3 : 0,6 N·m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5 — Typical frequency response of a representative stud-mounted accelerometer with oil film relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

Response influenced by: storage and mixture of cement
contamination by oil or grease
thickness of bond
complex elastic moduli of cement
temperature

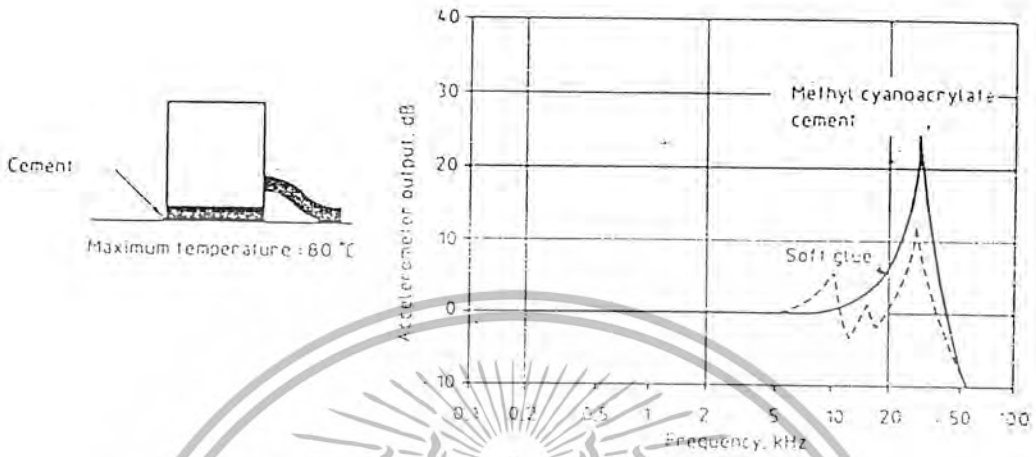
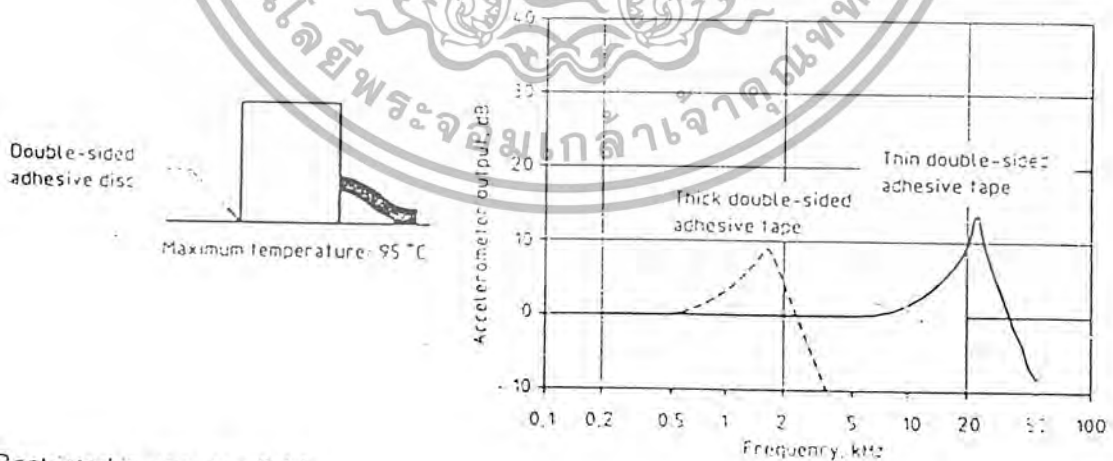


Figure 6 — Typical frequency response of a representative cement-mounted accelerometer relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

Response influenced by: sufficient surface contact
flatness of base and surface
material
complex elastic moduli of tape

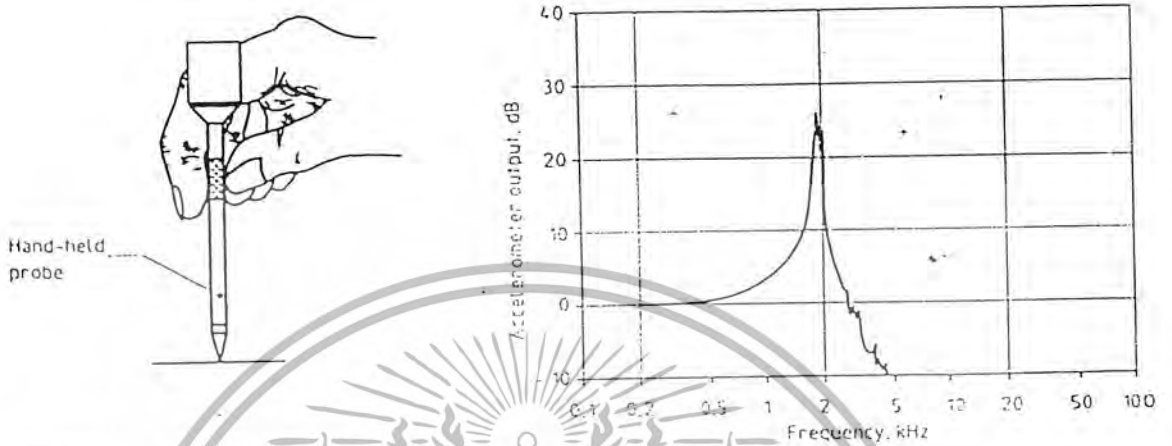


NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

Figure 7 — Typical frequency response of a representative accelerometer mounted by double-sided adhesive tape relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

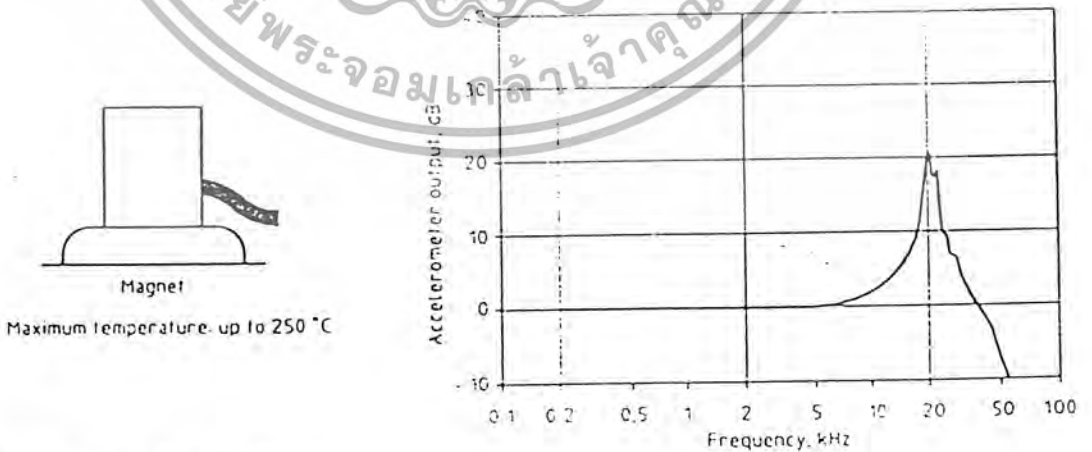
Response influenced by: constancy of measurement direction
 constancy of pressure
 sufficient pressure
 contact area
 orientation



NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

Figure 8 — Typical frequency response of a representative hand-held probe relative to the absolute acceleration of the structure at the contact point

Response influenced by: direction of mounting
 flatness of base and surface
 mass and thickness of magnet
 magnetic properties of material

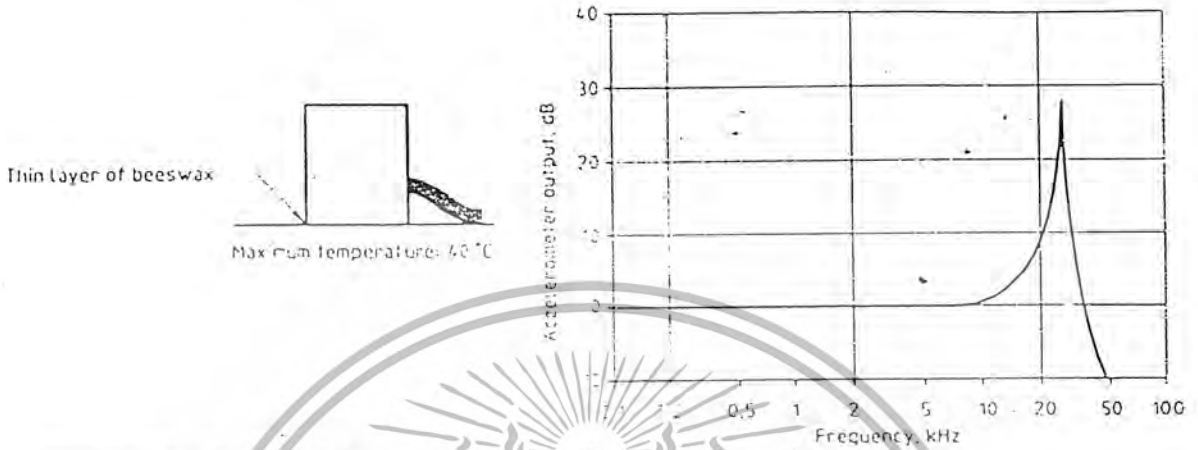


NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

Figure 9 — Typical frequency response of a representative magnetically mounted accelerometer relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

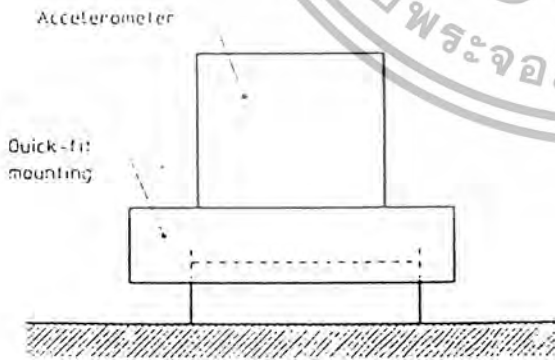
Response influenced by: thickness of wax layer (in relation to mounting area)
 temperature
 area of pick-up
 complex elastic moduli of wax



NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

Figure 10 — Typical frequency response of a representative accelerometer mounted with a thin layer of beeswax relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

Response influenced by: fitting of mounting stud
 mounting torque
 size of the mounting in relation to the accelerometer
 quality of mounting surfaces
 mechanical fixing force



NOTE — The resonance frequency and amplitude limit of the quick-fit mounting and its accelerometer should be investigated experimentally to determine the upper frequency limit and maximum amplitude that can be measured before distortion of the signal occurs. For this reason no frequency response graph is shown.

Figure 11 — Quick mount

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 — Criteria that affect selection of mounting methods (based on best practices)

	Resonance frequency	Temperature	Mass of transducer and stiffness of mounting	Resonance magnification factor 'Q'	Importance of surface preparation
Stud	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Methylcyano acrylate cement	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Beeswax	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Double-sided tape	○	⊗	○	○	⊗
Quick mount	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Vacuum mounted	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Magnet	⊗	⊗	○	○	⊗
Hand held	○	○	○	○	○

*) Depends entirely on distance between hand and measured surface.
 Key: ⊗ high ⊗ average ○ poor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] มนตรี พิรุณเกษศร: “วิศวกรรมการสั่นสะเทือน (ฉบับเสริมประสบการณ์)”, ซีเอ็ดยุคเข็ญ, 2542
- [2] ดร.ธนุ หุยฉาย: “การสั่นสะเทือนเชิงกล”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541
- [3] ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ: “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540
- [4] รศ.ดร. เดช พุทธเจริญทอง: “Vibration Analysis :การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน”, ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2539
- [5] Victor Wovk : “Machinery Vibration : balancing”, McGraw-Hill, Inc, 1995
- [6] Arthur R. Crawford and Steve Crawford.: “The Simplified Handbook of Vibration Analysis” , Computational System, Inc, 1992
- [7] J.R. Cameron , W.T. Thomson , and A.B. Dow , “ Vibration and Current monitoring for detecting air gap eccentricity in large induction motors ” , IEE Proceedings, pp 155-163 , vol. 133 , May 1986
- [8] S.P. Verma and A. Balan , “ Determination of radial – torques in relation to noise and vibration problems of squirrel-cage induction motors ” , IEEE Transactions on Energy Conversion , PP 404-412 , Vol 9 , No 2 , June 1994
- [9] William R. Finley , Mark M. Hodowance and Warren G. Holter “An Analytical Approach to Solving Motor Vibration Problems” , IEE Transactions on industry applications , pp 1467-1480 , Vol 36 , No 5 , September/October 2000
- [10] Singireso S. Rao , “Mechanical Vibration” Pearson Education Indochina LTD, 2545 , p 153