

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชั่นมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง

A study Effect of vibration in induction Motor by Acceleration Measurement Technicques



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...55590...
วัน,เดือน,ปี...20 พ.ค. 2548

.....ครั้งที่มีการนำไปใช้
.....

ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการสั่นสะเทือนของอินดักชันมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง

A study Effect of vibration in induction Motor by Acceleration Measurement Techniques

ผู้จัดทำ

1. นายเอกชัย แสนเกิด
2. นายพงศศิริ นพรัตน์
3. นายทรงพล สุคนธร
4. นายวัลลภ บุญณะชัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการสั่นสะเทือนของอินดิคชั่นมอเตอร์โดยเทคนิควัดอัตราเร่ง

นายเอกชัย	แสนเกิด	44015137
นายพงศ์ศิริ	นพรัตน์	44015157
นายทรงพล	สุคนธจร	44015158
นายวัลลภ	บุญณะชัย	44015124
รศ.พิชิต	ถ้ำยอง	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546		

บทคัดย่อ

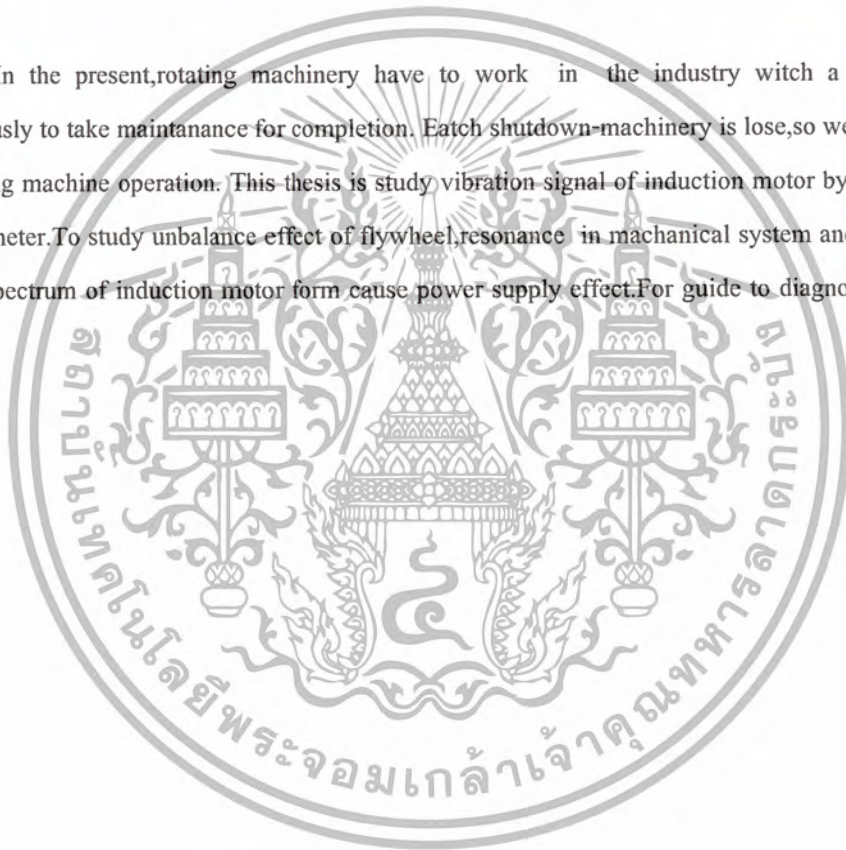
ในปัจจุบันเครื่องจักรหมุนมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจำเป็นต้องมีการดูแลเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานตลอดเวลา ซึ่งหากมีเหตุเครื่องจักรก็จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายและทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักอันเป็นเหตุให้กระบวนการผลิตล่าช้า ดังนั้นได้มีการคิดค้นวิธีการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรหมุนขณะกำลังทำงานอยู่ ซึ่งในปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ได้ชี้แนวทางในการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรหมุน โดยศึกษาลักษณะและสัญญาณการสั่นสะเทือนของอินดิคชั่นมอเตอร์ โดยใช้เทคนิคการวัดอัตราเร่ง โดยใช้หัววัดอัตราเร่ง(Accelerometer)มาทำการศึกษาลักษณะและสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหมุน โดยดูผลจากมวลที่ไม่สมดุลของการหมุน ศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนเนื่องจากรีโซแนนซ์ของระบบทางกล และเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนจากสัญญาณทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำเนื่องจากผลของแหล่งจ่ายเพื่อเป็นแนวทางในการนำวิธีการวัดการสั่นสะเทือนไปใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำและตรวจสอบสภาพเครื่องจักรต่อไป

A study Effect of vibration in induction Motor by Acceleration Measurement Technicques

Mr.Eakkachai	Sankird	44015137
Mr.Pongsiri	nopparat	44015157
Mr. Songpol	Sucounthajon	44015108
Mr. wanlop	Bunnachai	44015124
Asst.Prof.Pichit	Lumyong	Advisor

ABSTRACT

In the present, rotating machinery have to work in the industry with 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 study vibration signal of induction motor by measurement accelerometer. To study unbalance effect of flywheel, resonance in mechanical system and cooperation vibrant spectrum of induction motor form cause power supply effect. For guide to diagnosing health of machine.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่จะต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสิ้นลงได้ คือ รศ.พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษาโปรเจก ที่ได้ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และ ช่วยเหลือเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนที่ทำโปรเจกนี้ด้วยกัน ที่ตั้งใจช่วยกันทำงานอย่างเต็มที่จนสำเร็จ และต้องขอบคุณในการให้ความร่วมมือและช่วยจากเพื่อนๆที่ใช้ห้องทดลองด้วยกัน และที่ขาดเสียมิได้คือบุคคลที่ดูแลคอยเปิด ปิดห้องและดูแลรวมทั้งให้คำแนะนำดีๆในการทดลองไม่ว่าจะเป็น คุณ เปี่ยมภูมิ คุณเฉลิมชัย คุณเชษฐารวมถึงเจ้าหน้าที่คนอื่นๆที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้

และต้องขอบคุณตัวเองที่ทำหน้าที่ของตัวเองได้เป็นอย่างดีแม้จะออกนอกกลุ่มออกทางไปบ้างก็ยังมี จะสามารถระลึกได้เสมอมา และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดามารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งที่ได้เลี้ยงดูผู้เขียนเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายเอกชัย

แสนเกิด

นายพงศ์ศิริ

นพรัตน์

นายทรงพล

สุคนธจร

นายวัลลภ

บุญณะชัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของเครื่องจักรอุตสาหกรรม	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์	3
1.4 ลำดับขั้นการทำงาน	4
บทที่ 2 การสั่นสะเทือน	5
2.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน	5
2.1.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)	5
2.1.2 การสั่นสะเทือนแบบกระตุ้น (Force Vibration)	5
2.2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน	6
2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีหน่วง (Undamped Free vibration)	6
2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีหน่วง (Damped Free vibration)	8
2.3 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อขนาดของการสั่นสะเทือน	9
บทที่ 3 สัญญาณการสั่นสะเทือน	11
3.1 ความถี่	11
3.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน	11
3.3 มุมเฟส	14
บทที่ 4 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน	15
4.1 การประเมินค่าความรุนแรงของสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวม	15
4.2 การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม	15
4.3 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบน โดเมนความถี่	16
4.4 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม	16
4.5 การสั่นสะเทือนเนื่องจากความเสียหายของตลับลูกปืน	17

สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 5 การสั่นสะเทือนเนื่องจากสาเหตุของสัญญาณทางไฟฟ้า	19
5.1 Twice Line Frequency Vibration	19
5.2 Elliptical Stator Due to Fundamental Flux	20
5.3 Nonsymmetrical Air Gap	21
5.4 One Time Line Frequency Vibration	21
บทที่ 6 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์	22
6.1 ทรานดิวส์เซอร์สำหรับวัดอัตราเร่ง Acceleration Transducer or Accelerometer	22
6.2 วงจรแหล่งจ่ายกระแสแรงดันของ Accelerometer	25
6.3 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง	26
6.4 ตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer	27
6.5 การทดสอบหาความถี่ โชนันท์	29
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	32
7.1 การทดลองเรื่อง การทดสอบอัตราเร่ง	32
7.2 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งเนื่องมาจากการไม่สมดุลในการหมุน	34
7.2.1 ความไม่สมดุลในการหมุนจากขนาดของมวลถ่วง	34
7.2.2 ความไม่สมดุลในการหมุนจากระยะห่างของมวลถ่วง	41
7.2.3 ความสมดุลของมวลถ่วง	49
7.2.4 การหาค่าตำแหน่งของมวลถ่วง โดยวิธีการวัดเฟส	56
7.3 การทดลองเรื่อง การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบน โดเมนความถี่	59
7.3.1 การทดสอบความถูกต้องของ scope ที่ใช้ในการแตกสเปกตรัม	59
7.3.2 สเปกตรัมของการหมุนที่ไม่สมดุล	60
7.3.3 การหาค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนที่มาจากสัญญาณทางไฟฟ้า	65
7.4 การทดลองเรื่อง การวัดเรีวรอบของ Induction motor ด้วย Accelerometer	74

สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง	78
8.1 สรุปผลการทดลองที่ 7.1 การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	78
8.2 สรุปผลการทดลองที่ 7.2 ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากการไม่สมดุลในการหมุน	78
8.3 สรุปผลการทดลองที่ 7.3.1 ความถูกต้องของ scope ที่ใช้ในการแตกสเปกตรัม	78
8.4 สรุปผลการทดลองที่ 7.3.2 สเปกตรัมของการหมุนที่ไม่สมดุล	78
8.5 สรุปผลการทดลองที่ 7.3.3 ความถี่ของการสั่นสะเทือนที่มาจากสัญญาณทางไฟฟ้า	79
8.6 สรุปผลการทดลองที่ 7.4 การวัดเรีวรอบของ Induction motor ด้วย Accelerometer	80
ภาคผนวก ก. รายละเอียดของอุปกรณ์การทดลอง	
ข. การติดตั้งทรานซิวเซอร์ด้วยวิธีการต่างๆ	
ค. หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน	
บรรณานุกรม	



สารบัญญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 1-1 วัฏจักรของเครื่องจักร	1
รูปที่ 2-1 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก	6
รูปที่ 2-2 ระบบมวลเดี่ยวและแผนผังอิสระ	7
รูปที่ 2-3 แสดงการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบมวลเดี่ยว	8
รูปที่ 2-4 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด	8
รูปที่ 2-5 โมเดลของเครื่องจักรหมุนที่ไม่สมดุล	9
รูปที่ 2-6 ขนาดของการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุล	10
รูปที่ 3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด ความเร็ว และความเร่ง	12
รูปที่ 3-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของคลื่นลักษณะการสั่นสะเทือน	13
รูปที่ 3-3 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเฟสกับการวัด	14
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	16
รูปที่ 4-2 การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงบน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	17
รูปที่ 4-3 ความถี่ของการสั่นสะเทือนจากข้อบกพร่องของตลับลูกปืน	17
รูปที่ 5-1 สเตเตอร์และโรเตอร์	19
รูปที่ 5-2 One period flux wave and magnetic force wave	20
รูปที่ 5-3 Electromechanical force on two and four pole motors	20
รูปที่ 5-4 Unsymmetrical air gap around rotor	21
รูปที่ 6-1 Diagram of an Acceleration System	22
รูปที่ 6-2 ลักษณะของแรงกระตุ้นต่อผลึกกึ่งตัวนำ piezoelectric	23
รูปที่ 6-3 หัววัดความเร่งแบบแรงกด	23
รูปที่ 6-4 หัววัดความเร่งแบบแรงเฉือน	24
รูปที่ 6-5 วงจรแหล่งจ่ายกระแสแรงดันของ Accelerometer	25
รูปที่ 6-6 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง	26
รูปที่ 6-7 แสดงการติดตั้งหัววัดและเทป	27
รูปที่ 6-8 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer	27
รูปที่ 6-9 แสดงการทดสอบหาความถี่เรโซแนนท์	29
รูปที่ 6-10 แสดงสัญญาณ Impulse Response	30
รูปที่ 7-1 แสดงการทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	33
รูปที่ 7-2 มอเตอร์ขณะมี flywheel เพียงอย่างเดียว	35
รูปที่ 7-3 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 14 g	35
รูปที่ 7-4 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 16 g	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 7-5 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 18 g	36
รูปที่ 7-6 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 20 g	37
รูปที่ 7-7 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 22 g	37
รูปที่ 7-8 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 24 g	38
รูปที่ 7-9 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 26g	38
รูปที่ 7-10 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 28 g	39
รูปที่ 7-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับอัตราเร่ง	40
รูปที่ 7-12 มอเตอร์ขณะมี Flywheel เพียงอย่างเดียว	41
รูปที่ 7-13 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 16 g	42
รูปที่ 7-14 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 18 g	42
รูปที่ 7-15 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 20 g	43
รูปที่ 7-16 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 22 g	43
รูปที่ 7-17 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 24 g	44
รูปที่ 7-18 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 28 g	44
รูปที่ 7-19 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 16 g	45
รูปที่ 7-20 มอเตอร์ขณะมีมวล 18 g	45
รูปที่ 7-21 มอเตอร์ขณะมีมวล 20 g	46
รูปที่ 7-22 มอเตอร์ขณะมีมวล 22 g	46
รูปที่ 7-23 มอเตอร์ขณะมีมวล 24 g	47
รูปที่ 7-24 มอเตอร์ขณะมีมวล 28 g	47
รูปที่ 7-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งกับมวลถ่วงที่ระยะ 5.5 cm. และ 8.0 cm.	48
รูปที่ 7-26 มอเตอร์ขณะมี Flywheel เพียงอย่าง	49
รูปที่ 7-27 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 28 g	50
รูปที่ 7-28 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 14 g	50
รูปที่ 7-29 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 16 g	51
รูปที่ 7-30 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 18 g	51
รูปที่ 7-31 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 20 g	52
รูปที่ 7-32 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 22 g	52
รูปที่ 7-33 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 24 g.	53
รูปที่ 7-34 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 26 g.	53
รูปที่ 7-35 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 28 g.	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 7-36 แสดงผลของอัตราเร่งที่ลดลงตามขนาดความสมดุลของมวลถ่วง	55
รูปที่ 7-37 แสดงการหาค่าแหน่งการหาค่าแหน่งมวลถ่วงด้วยวิธีการวัดเฟส โดยที่มวลและแท่งห่างกัน 0 องศา	56
รูปที่ 7-38 แสดงการหาค่าแหน่งการหาค่าแหน่งมวลถ่วงด้วยวิธีการวัดเฟส โดยที่มวลและแท่งห่างกัน 90 องศา	56
รูปที่ 7-39 แสดงตำแหน่งมวลถ่วงห่างจากแท่งเป็นมุม 0 องศา	57
รูปที่ 7-40 แสดงตำแหน่งมวลถ่วงห่างจากแท่งเป็นมุม 45 องศา	57
รูปที่ 7-41 แสดงตำแหน่งมวลถ่วงห่างจากแท่งเป็นมุม 90 องศา	58
รูปที่ 7-42 แสดงตำแหน่งมวลถ่วงห่างจากแท่งเป็นมุม 180 องศา	58
รูปที่ 7-43 แสดงสเปกตรัมของ square wave	59
รูปที่ 7-44 ความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ	60
รูปที่ 7-45 สเปกตรัมขณะยังไม่ใส่มวลถ่วง	61
รูปที่ 7-46 สเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 14 g	61
รูปที่ 7-47 แอมพลิจูดของสเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 14 g	62
รูปที่ 7-48 สเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 20 g	62
รูปที่ 7-49 แอมพลิจูดของสเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 20 g	63
รูปที่ 7-50 สเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 26 g	64
รูปที่ 7-51 แอมพลิจูดของสเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 26 g	64
รูปที่ 7-52 ความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ	65
รูปที่ 7-53 R,S,T (220,220,220)	66
รูปที่ 7-54 R,S,T (220,220,220) จากโปรแกรม Math Lab	66
รูปที่ 7-55 R,S,T (200,220,220)	67
รูปที่ 7-56 R,S,T (200,220,220) จากโปรแกรม Math Lab	67
รูปที่ 7-57 R,S,T (180,220,220)	68
รูปที่ 7-58 R,S,T (180,220,220) จากโปรแกรม Math Lab	68
รูปที่ 7-59 R,S,T (220,200,220)	69
รูปที่ 7-60 R,S,T (220,200,220) จากโปรแกรม Math Lab	69
รูปที่ 7-61 R,S,T (220,180,220)	70
รูปที่ 7-62 R,S,T (220,180,220) จากโปรแกรม Math Lab	70
รูปที่ 7-63 R,S,T (220,220,200)	71
รูปที่ 7-64 R,S,T (220,220,200) จากโปรแกรม Math Lab	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 7-65 R,S,T (220,220,180)	72
รูปที่ 7-66 R,S,T (220,220,180) จากโปรแกรม Math Lab	72
รูปที่ 7-67 R,S,T (220,200, 180)	73
รูปที่ 7-68 R,S,T (220,200,180) จากโปรแกรม Math Lab	73
รูปที่ 7-69 ลักษณะรูปคลื่นที่เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล	74
รูปที่ 7-70 ความถี่ที่เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล	75
รูปที่ 7-71 สเปคตรัมที่ความเร็ว Nr เท่ากับ 1498 rpm	75
รูปที่ 7-72 สเปคตรัมที่ความเร็ว Nr เท่ากับ 1348 rpm	76
รูปที่ 7-73 สเปคตรัมที่ความเร็ว Nr เท่ากับ 1198 rpm	76
รูปที่ 7-74 สเปคตรัมความเร็วมอเตอร์ที่คลม 1Phase 4 Pole 50 Hz Ns = 1500 rpmNr = 1310 rpm	77
รูปที่ 7-75 แผนภูมิแสดงสเปคตรัมทางไฟฟ้า	79



สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะการสั่นสะเทือน	18
ตารางที่ 7-1 การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer	33
ตารางที่ 7-2 แสดงผลการทดลองที่ 7.2.1	39
ตารางที่ 7-3 แสดงผลการทดลองที่ 7.2.2	48
ตารางที่ 7-4 แสดงผลการทดลองที่ 7.2.3	54
ตารางที่ 7-5 แสดงผลการทดลองการวัดความเร็วรอบมอเตอร์	77



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของเครื่องจักรอุตสาหกรรม

ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไปนั้นเป้าหมายหลักอยู่ที่ตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพเป็นที่ต้องการของลูกค้า ก็จะต้องมีกระบวนการและเครื่องจักรสำหรับ การผลิตที่เหมาะสม การได้มาซึ่งเครื่องจักรที่เหมาะสมนั้นแม้จะไม่ใช่ว่าเรื่องง่ายดายนัก เนื่องจากต้องผ่านขั้นตอนหลายขั้นตอน ตั้งแต่การออกแบบหรือเลือกเครื่องจักร การจัดหา การติดตั้ง ฯลฯ แต่การทำให้เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ไปจนกว่าจะหมดความต้องการใช้นั้นเป็นเรื่องยากยิ่งกว่า การดำเนินการที่จะให้เครื่องจักรทำงานได้ดีนั้นคือการบำรุงรักษา รูปที่ 1-1 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นวัฏจักรอายุ (Life Cycle) ของเครื่องจักร โดยทั่วไป



วัฏจักรของเครื่องจักรประกอบไปด้วยขั้นตอนโดยทั่วไป 9 ขั้นตอน ซึ่งจะอธิบายให้ง่ายขึ้นโดยใช้รถยนต์เป็นตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

1. ความต้องการ คือ ความประสงค์ที่อยากจะได้ผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นเหตุของการที่ต้องหาเครื่องจักรมาเพื่อดำเนินการให้ได้ผลิตภัณฑ์

ในตัวอย่างของรานั้น ความต้องการคือความสะดวกในการเดินทาง และเครื่องจักรที่ต้องการเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว ได้แก่ ยานพาหนะต่างๆ ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจเป็นไปได้ทั้งรถยนต์ รถจักรยานยนต์ หรือแม้แต่รถจักรยาน

2. รายละเอียดจำเพาะ ความหมายในที่นี้คือการกำหนดรายละเอียดจำเพาะ (Specification) ของ

ความต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลที่สมบูรณ์และถูกต้องที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสำหรับยานพาหนะของเรา ขั้นตอนนี้คือการกำหนดว่า ต้องการยานพาหนะที่มีความเร็วสักเท่าไร บรรทุกคนได้กี่คน ต้องการความสามารถที่จะบรรทุกได้เท่าใด อย่างไรก็ตาม การกำหนดความต้องการนี้จะต้องพยายามให้ครบถ้วนและเป็นจริงมากที่สุดเพื่อที่จะได้ไม่ซื้อรถยนต์ 6 ล้อ สำหรับใช้ขับขีไปทำงาน

3. การออกแบบ/เลือก หลังจากที่กำหนดรายละเอียดจำเพาะของความต้องการแล้ว รายละเอียดเหล่านั้นจะถูกนำไปใช้ประกอบการออกแบบเครื่องจักร ถ้าหากเครื่องจักรนั้นเป็นเครื่องจักรต้นแบบหรือในกรณีที่เครื่องจักรนั้นเป็นเครื่องจักรอุตสาหกรรมทั่วไป ก็จะใช้การเลือกรุ่น/แบบที่ตรงกับความต้องการมากที่สุด

เพราะฉะนั้นในขณะนี้เราจะสามารถเลือกยานพาหนะที่ต้องการได้แล้วทั้งรูป รูน ขนาด รวมทั้งยี่ห้อด้วย

4. การลงทุน/จัดหา เมื่อเป็นที่แน่นอนแล้วว่าเลือกใช้เครื่องจักรอะไร หรือได้ออกแบบเครื่องจักรที่ต้องการแล้ว สิ่งที่ต้องทำต่อไปคือการจัดซื้อเครื่องจักรนั้น หรือจัดจ้างให้มีการสร้างเครื่องจักรตามแบบที่ทำไว้

ในตอนนี้อาจได้มีการสั่งซื้อรถยนต์ที่ต้องการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และกำลังรอคอยเวลาที่จะไปปรับรถเพื่อนำไปใช้

5. การติดตั้ง เครื่องจักรในอุตสาหกรรมส่วนหนึ่งจะเป็นเครื่องจักรที่ถูกวางอยู่กับที่ด้วยเหตุผลของกระบวนการผลิตหรือขนาดน้ำหนัก การเลือกตำแหน่งที่ตั้งและการติดตั้ง เครื่องจักรดังกล่าวมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพในการผลิต

สำหรับหรับรถยนต์ของเราและเครื่องจักรที่มีลักษณะที่เคลื่อนที่ไปมาได้ การติดตั้งในความหมายข้างต้นอาจจะไม่มีก็ได้

6. การทดสอบเครื่อง เมื่อเครื่องจักรถูกติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะเริ่มทำการผลิตจริงจำเป็นต้องมีการทดลองเดินเครื่องเพื่อให้ได้สมรรถนะที่พึงพอใจ

เมื่อได้รับทราบว่าจะสามารถไปปรับรถได้แล้ว ขั้นตอนที่สำคัญคือการตรวจสอบสภาพโดยรวม เช่น สีกันชน ฯลฯ การทดลองใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อที่จะดูว่าพอใจกับรถคันนี้หรือไม่

7. การเริ่มใช้งาน จากนั้นคือการเริ่มใช้งานเครื่องจักรในการผลิต นั่นคือการเริ่มใช้งานรถยนต์ที่ซื้อตามความประสงค์

8. การปรับปรุง หลังจากที่เราได้ใช้เครื่องจักรได้ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วชิ้นส่วนต่างๆย่อมมีการเสื่อมสภาพไปตามเวลา ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนดังกล่าวเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้เหมือนเดิม

ในกรณีที่รถยนต์ตัวอย่างก็เช่นกัน การเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนที่หมดสภาพ เช่น สายพาน ยางล้อที่ปัดน้ำฝน หรือแม้แต่เครื่องยนต์ เป็นสิ่งกระทำได้เมื่อพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมและคุ้มค่ากว่าที่จะเปลี่ยนรถยนต์ใหม่ทั้งคัน

9. การจำหน่ายทิ้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนเครื่องจักรเริ่มกลายเป็นการกระทำที่ไม่คุ้มค่าเพราะจำนวนชิ้นส่วนเสียหายเพิ่มขึ้น การเสื่อมสภาพเกิดเร็วขึ้น อะไหล่หายาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาแพง รวมทั้งเครื่องจักรจะล้าสมัย ไม่คุ้มค่าในการผลิตอีกต่อไปดังนั้นเครื่องจักรดังกล่าวจะถูกจำหน่ายทิ้งไป รวมทั้งรถยนต์คันดังกล่าวด้วย

จากวัฏจักรอายุของเครื่องจักรที่กล่าวมา ความสำคัญจะอยู่ที่การทำให้อายุของเครื่องจักรนั้นยืดยาวอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งช่วงปีอายุของเครื่องจักรดังกล่าวจะทำให้ได้มากที่สุดในช่วงระหว่างเริ่มใช้งานไปจนถึงการจำหน่ายทิ้ง และวิธีการที่ใช้ยืดอายุเครื่องจักรในช่วงดังกล่าวก็คือ “การบำรุงรักษา”

เราจะเห็นได้ว่าการบำรุงรักษานั้นสำคัญมาก แต่การที่เราจะบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพนั้นเราจะต้องทราบสาเหตุความเสียหายของเครื่องจักรนั้นด้วยและสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายของเครื่องจักรก็คือ “การสั่นสะเทือน”

ดังนั้น ทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สังเกตเห็นความสำคัญของการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและการใช้งานเครื่องจักรอย่างคุ้มค่าจึงศึกษาสาเหตุการสั่นสะเทือนของอินดักชั่นมอเตอร์โดยใช้หัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer) ซึ่งการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถใช้วิเคราะห์ความผิดปกติหลายๆอย่างของเครื่องจักรหมุนได้ดีที่สุด โดยสามารถตรวจสอบการติดตั้งได้ว่าเครื่องจักรมีการติดตั้งที่เหมาะสมหรือไม่ เช่น น็อตหลวม สายพานหย่อน การติดตั้งเบี่ยง นอกจากนี้ยังสามารถดำเนินการตรวจวัดได้ในขณะเครื่องจักรทำงานตามปกติ เมื่อเรานำหัววัดไปติดตั้งบนตัวมอเตอร์ก็จะสามารถนำค่าสัญญาณต่างมาวิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยให้ท่านสามารถหาแนวทางและเตรียมการแก้ไขไว้ก่อนที่จะเกิดความเสียหายได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในอินดักชั่นมอเตอร์
- 2.ศึกษาเทคนิคการวัดค่าสั่นสะเทือน โดยใช้หัววัดอัตราเร่ง

1.3ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาสาเหตุของการสั่นสะเทือน อันเนื่องมาจากความไม่สมดุลในการหมุนของอินดักชั่นมอเตอร์ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องว่าส่งผลต่อการสั่นสะเทือนอย่างไร โดยวัดออกมาในรูปของอัตราเร่ง รวมถึงการหาตำแหน่งของมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลในการหมุน โดยวิธีการวัดเฟส
2. หาค่าสเปคตรัมการสั่นสะเทือนที่เกิดจากความไม่สมดุลในการหมุนและจากสัญญาณทางไฟฟ้า
3. วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยหัววัดความเร็ว

1.4ลำดับขั้นการดำเนินโครงการ

ทอมที่ 1 - ค้นคว้าข้อมูลและศึกษาทฤษฎีของการสั้นสะเทือน

- ศึกษาและทำความเข้าใจอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- ทำการทดลองเบื้องต้น

ทอมที่ 2 - ทำการทดลองและสรุปผล

- แก้ไขข้อผิดพลาดและทำการลองเพิ่มเติม
- จัดทำรูปเล่มปริยฐานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การสั่นสะเทือน

บทนำ

การสั่นสะเทือน คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้ โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ แต่มักหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างดีที่สุดก็คือการพยายามจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแล้วสาเหตุการสั่นสะเทือนมีอยู่หลายสาเหตุ การไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุนนั้นก็ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนยังอาจเกิดได้จากการที่ชิ้นส่วนเครื่องจักร เคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงด้วยความเร่ง ชิ้นส่วนเครื่องจักรสองชิ้นที่เสียดกันหรือถูกันก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ของการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะเกิดจากไม่เรียบของผิวหน้าของชิ้นส่วนสองชิ้นที่สัมผัสกัน การหลุดหลวมของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เข้าคู่กันจะก่อให้เกิดการกระแทก ซึ่งก็จะทำให้เกิดการสั่น สะเทือนเช่นกัน การสั่นสะเทือนเหล่านี้ของเครื่องจักรมักมีผลต่อสมรรถนะสภาพใช้งานของเครื่องจักร ดังนั้นในการทำให้เครื่องจักรทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของ การสั่นสะเทือนเพื่อจะได้สามารถจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการสั่นสะเทือน พารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อขนาดของ การสั่นสะเทือน อาทิ ความถี่ธรรมชาติ ความหน่วง ปรากฏการณ์รีโซแนนซ์ และผลของการตอบสนอง ของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากพารามิเตอร์เหล่านี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือน

2.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนมีหลายรูปแบบ แต่แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ได้ 2 ประเภท คือ

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

2.1.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)

คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบ ภายใต้การกระทำของแรงภายในระบบโดย ปราศจากแรงภายนอกมากระทำ

2.1.2 การสั่นสะเทือนแบบกระตุ้น (Forced Vibration)

คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบ อันเกิดจากแรงภายนอกและการสั่นสะเทือน นี้จะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้น ระบบ หากความถี่ภายนอกของแรงที่มากระทำนั้นตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ขึ้น นั่นคือขนาดของการสั่น สะเทือนจะถูกขยายขึ้นอย่างมากจนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้

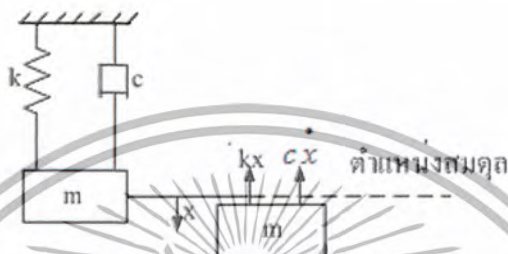
ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระตุ้นมีได้หลายรูปแบบ แต่ในเครื่องจักรแบบหมุนการกระตุ้น

ของระบบมักจะอยู่ในรูปของแรงกระตุ้นแบบคาบและเนื่องจากแรงกระตุ้นแบบคาบนั้นจะสามารถแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อย่อยนี้เป็นผลรวมของการกระตุ้นแบบฮาร์โมนิกที่มีความถี่ต่างๆ ได้ ดังนั้นจึงนิยมพิจารณาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนโดยใช้แบบจำลองในรูปของแรงกระตุ้นแบบฮาร์โมนิก

เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์โมนิก การสั่นสะเทือนของระบบจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแรง คือ จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแรงที่มากระตุ้น ดังนั้น การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนี้สามารถกระทำได้ โดยพิจารณาจากระบบมวลเดี่ยวที่มีความหน่วงภายใต้การกระตุ้นด้วยแรงแบบฮาร์โมนิกที่มีความถี่ ω ดังรูป



รูปที่ 2-1 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์โมนิก

สมการเคลื่อนที่ของระบบเขียนโดยใช้ฟังก์ชันแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad \dots 2.1$$

2.2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

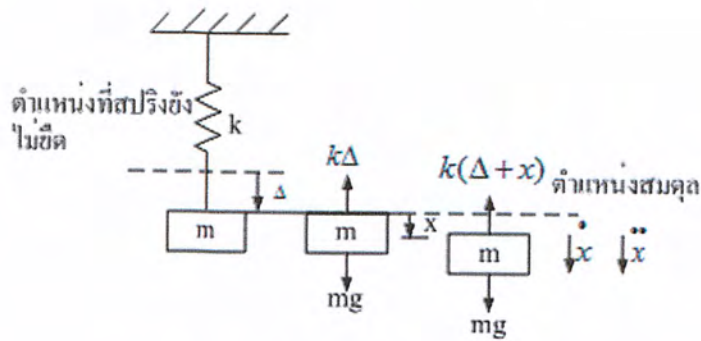
การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นแล้วนำผลเฉลยทางคณิตศาสตร์มาพิจารณาเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนที่จะนำมาวิเคราะห์หามีทั้งการสั่นสะเทือนแบบที่มีหน่วงและไม่มีหน่วง

2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีหน่วง (Undamped Free Vibration)

คือ การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายใน โดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนแบบอุดมคติ ทางทฤษฎีไม่มีการสูญเสียพลังงานหรือไม่มีหน่วง จุดประสงค์เพื่อหาความถี่รีโซแนนซ์ของระบบ

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบอิสระนั้น ระบบหลายๆ ระบบสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ระบบมวลเดี่ยว (single mass system) มาอธิบาย คือ มีมวล m แขนงด้วยสปริงที่มีค่าความแข็ง (stiffness) เท่ากับ k และ y เป็นระยะยืดและหดที่วัดจากจุดสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-2 ระบบมวลเดี่ยวและแผนผังอิสระ

สมการเคลื่อนที่ของมวลนี้จะเขียนได้จากสมการข้อที่สองของนิวตัน

$$m \ddot{x} + kx = 0 \quad \text{.....2.2}$$

ผลเฉลยของสมการนี้เป็น

$$x = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad \text{.....2.3}$$

โดย

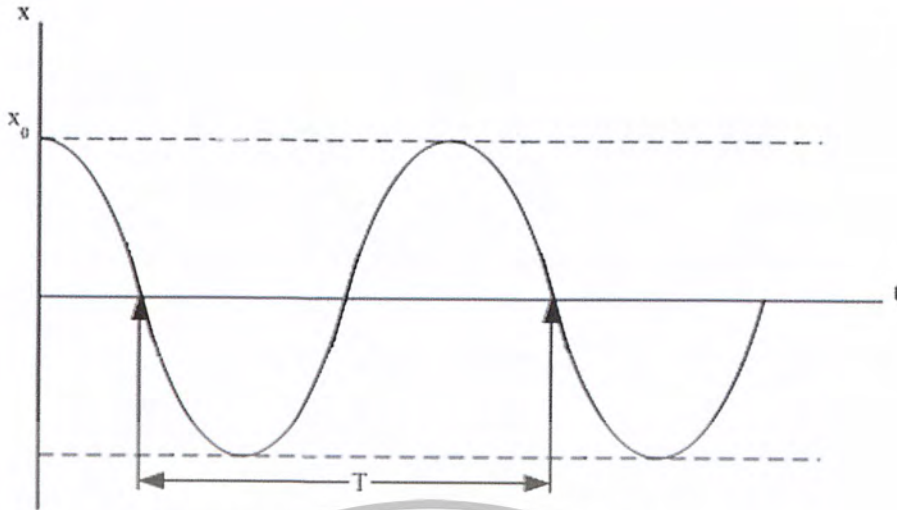
ω คือ ความถี่ไซแนสของระบบมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{k}{m}}$

A และ B เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

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

$$x = x_0 \cos \omega t \quad \text{.....2.4}$$

จากสมการที่ 2.3 สามารถเขียนเป็นเส้นโค้งไซน์ (sine curve) ได้ดังรูปด้านล่าง มวลจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามการยืดและหดของสปริง โดยเวลาในการที่มวลเคลื่อนที่จากจุดสมดุลกลับไปกลับมาครบรอบจะมีค่าเท่ากับ T ดังนั้นความถี่ของการแกว่งดังกล่าวสามารถเขียนได้เป็น $f_n = \frac{1}{T}$ รอบต่อหน่วยเวลา ความถี่ดังกล่าวก็คือความถี่ไซแนสของระบบ ถ้าอยู่ในรูปของหน่วยเรเดียนต่อหน่วยเวลา ความถี่ไซแนสจะถูกเขียนเป็น ω_n โดยที่ $\omega_n = 2\pi f_n$



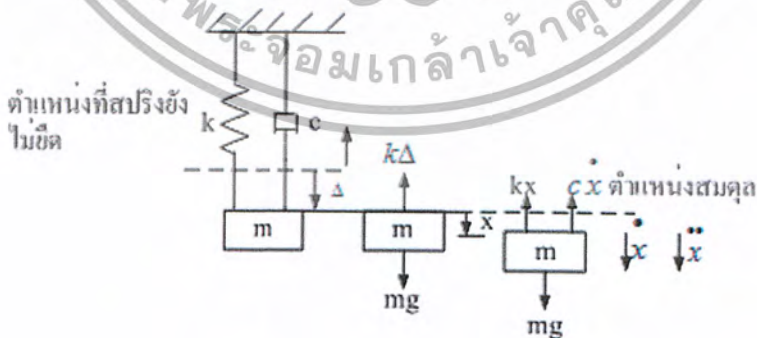
รูปที่ 2-3 แสดงการสั่นสะท้อนแบบอิสระของระบบมวลเดี่ยว

2.2.2 การสั่นสะท้อนแบบอิสระที่มีหน่วง (Damped Free Vibration)

ระบบต่างๆ ที่ใช้ในงานจริงจะมีความหน่วงแฝงอยู่ ซึ่งความหน่วงนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป ถ้าปริมาณพลังงานสูญเสียเนื่องจากความหน่วงมีมากในการวิเคราะห์ก็ต้องนำมาคิดด้วย ความหน่วงที่พิจารณานี้จะเป็นความหน่วงแบบหนืด (Viscous Damping)

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

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



รูปที่ 2-4 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด

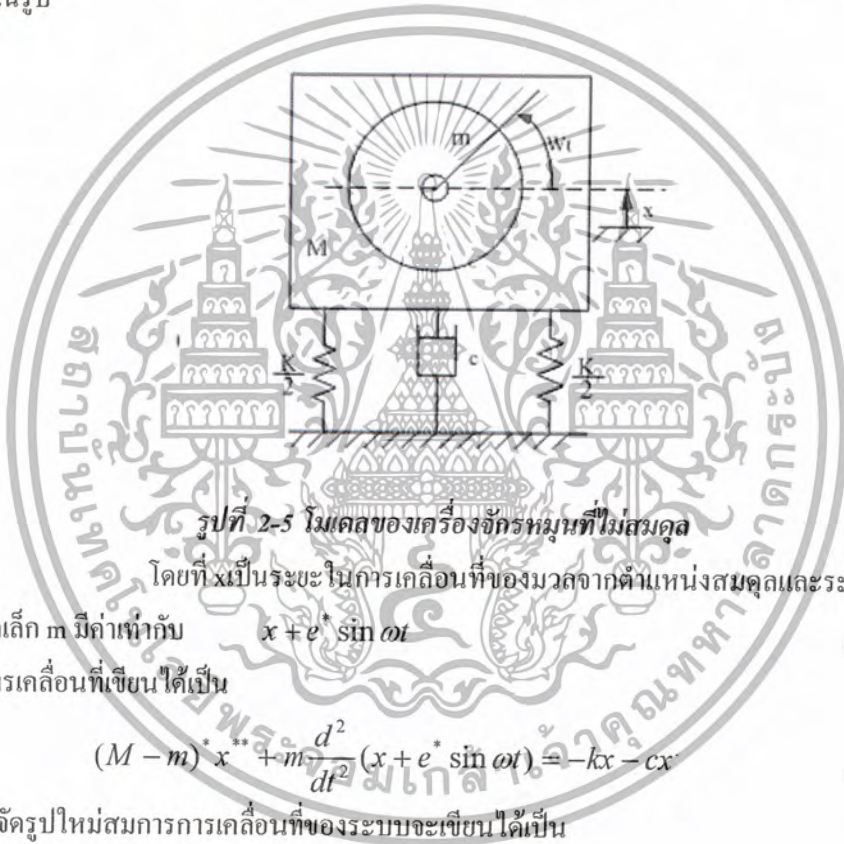
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อขนาดของการสั่นสะเทือน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการควบคุมขนาดของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยวภายใต้เงื่อนไขของแรงภายนอกที่มากระดับแบบต่างๆ โดยพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่มีต่อขนาดของการสั่นสะเทือน ซึ่งจะพบว่าความถี่ของแรงที่มากระดับ ความถี่รีโซแนนซ์และความหน่วงของระบบต่างมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนเนื่องมาจากการหมุนที่ไม่สมดุล (Vibration Due To Rotating Unbalance)

ความไม่สมดุลของเครื่องจักร สามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ง่าย โดยจะพิจารณาจากระบบที่ประกอบไปด้วยสปริงและมวลทั้งหมดของระบบ (M) ซึ่งมีส่วนหมุนติดอยู่และหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ซึ่งความไม่สมดุลนี้จะถูกแทนด้วยมวลเล็ก (m) ซึ่งเยื้องศูนย์กลางห่างจากแกนหมุนเป็นระยะ c ตามที่แสดงไว้ในรูป



รูปที่ 2-5 โมเดลของเครื่องจักรหมุนที่ไม่สมดุล

โดยที่ x เป็นระยะในการเคลื่อนที่ของมวลจากตำแหน่งสมดุลและระยะการเคลื่อน

ที่ของมวลเล็ก m มีค่าเท่ากับ $x + e^* \sin \omega t$ 2.6

สมการการเคลื่อนที่เขียนได้เป็น

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

.....2.7

เมื่อนำมาจัดรูปใหม่สมการการเคลื่อนที่ของระบบจะเขียนได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = me \sin \omega t$$

.....2.8

โดยเฉลยของระบบในสภาวะคงตัว (steady state) เขียนได้เป็น

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

.....2.9

โดย X คือขนาดความสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงสุด และ ϕ เป็นมุมเฟสที่เทียบกับแรงที่มากระดับ

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

.....2.10

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

.....2.11

เมื่อเขียนเป็นทอมโวลต์ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

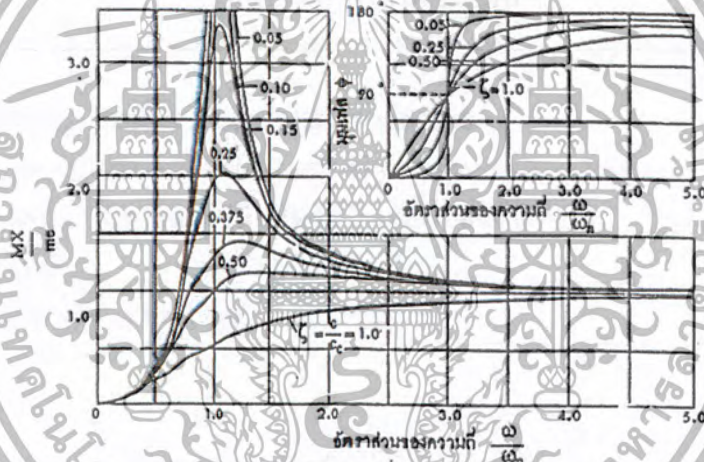
$$\tan \phi = \frac{2\xi \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} \quad \dots\dots 2.13$$

เมื่อ ξ คือ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

ω คือ ค่าความถี่ของระบบ

ω_n คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือนในรูปของเทอมไรมิตีและมุมเฟสนี้ แสดงไว้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2-6 ขนาดของการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุล

ข้อมูลจากกราฟจะเห็นว่า

- ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่าสูงในบริเวณที่ความถี่เข้าใกล้ความถี่เรโซแนนซ์
- ค่าอัตราส่วนความหน่วงจะมีผลต่อขนาดและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนมาก
- บริเวณซึ่งความถี่ของการหมุนมีค่ามากกว่าความถี่เรโซแนนซ์มาก ขนาดการสั่นสะเทือน จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ไม่มีความสำคัญ และไม่มีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น
- บริเวณซึ่งความถี่ของการหมุนมีค่าเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์มาก พบว่าอัตราส่วนขยาย และแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าเข้าใกล้สูงสุดแต่ถ้าพิจารณาค่าความแข็งของสปริง และค่าความหน่วง เราจะได้ค่าอัตราเร่งโดยพิจารณาจากสมการ

$$\ddot{x} = \frac{Me\omega^2}{M} \quad \dots\dots 2.14$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

สัญญาณการสั่นสะเทือน

ชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือน (Type of Vibration Signal)

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรจะสามารถนำมาช่วยในการบ่งบอกสภาพหรือข้อบกพร่องของเครื่องจักร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดจะประกอบด้วย

1. ความถี่
2. ขนาดของการสั่นสะเทือน
3. มุมเฟส

3.1 ความถี่

ความถี่ในที่นี้หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน ซึ่งหากพิจารณาสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาก็จะหมายถึง จำนวนรอบของการสั่นสะเทือนต่อหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยที่นิยมใช้จะเป็น CPM (cycle per Minut) พารามิเตอร์ความถี่นี้จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่งในการบ่งบอกถึงสภาพความเสียหายได้ถ้าหากนำพารามิเตอร์นี้ไปใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

3.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวที่ใช้บ่งบอกสภาพของเครื่องจักร โดยทั่วไปแล้วขนาดของการสั่นสะเทือนหากมีขนาดใหญ่มักหมายถึงเครื่องจักรเริ่มมีปัญหา ขนาดของการสั่นสะเทือนในปัจจุบันที่มีอยู่หลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ได้แก่

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

การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่คือ ระยะการเคลื่อนที่จากมวลจากจุดสมดุล หรือขนาด $x(t)$ ในผลเฉลยของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยวน หรือในกรณีที่วัดค่าจากค่าสูงสุดไปยังค่าต่ำสุด (Peak to Peak) จะเป็นค่าระยะทางทั้งหมดที่ตัวมวลเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปสู่จุดต่ำสุดในแต่ละรอบ

ความเร็วของการสั่นสะเทือน คือ ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาของมวล ดังนั้นมวลจะมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อมวลเคลื่อนที่อยู่จุดสูงสุดและต่ำสุดและจะมีความเร็วสูงสุดในขณะที่มวลเคลื่อนที่ผ่านจุดดุล ค่าการขจัดจะสัมพันธ์กับค่าความเร็วเป็น

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

อัตราเร่งในการสั่นสะเทือนก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมวลในขณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมวลอยู่ในตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดจากจุดสมดุล

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

จะพบว่าในกรณีของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว ความสัมพันธ์ของการจัด ความเร็ว และอัตราเร่งสามารถเขียนได้เป็น

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

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

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

เมื่อ X คือค่าขนาดของการจัดสูงสุด

f คือค่าความถี่ในหน่วยของรอบต่อหน่วยเวลา

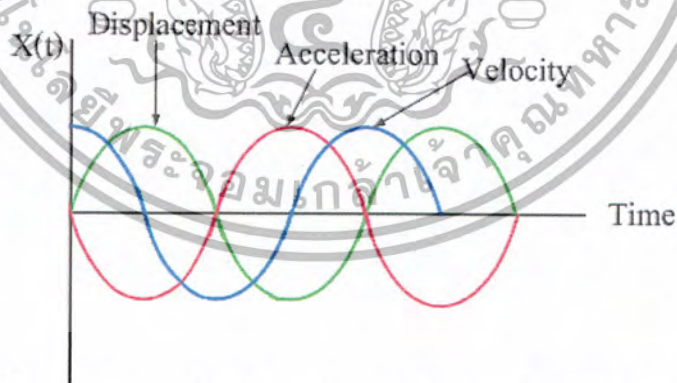
ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดก็จะได้ความสัมพันธ์อย่างง่ายของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวดังนี้

$$\text{การจัด (x)} = X$$

$$\text{ความเร็ว (v)} = \omega X$$

$$\text{อัตราเร่ง (a)} = \omega^2 X$$

จะพบว่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว เป็นไปตามสมการที่แสดงไว้ข้างต้น ส่วนความเร็วและอัตราเร่งจะมีเฟสนำการจัดอยู่ 90 องศาและ 180 องศาตามลำดับ ดังที่แสดงไว้ในรูป



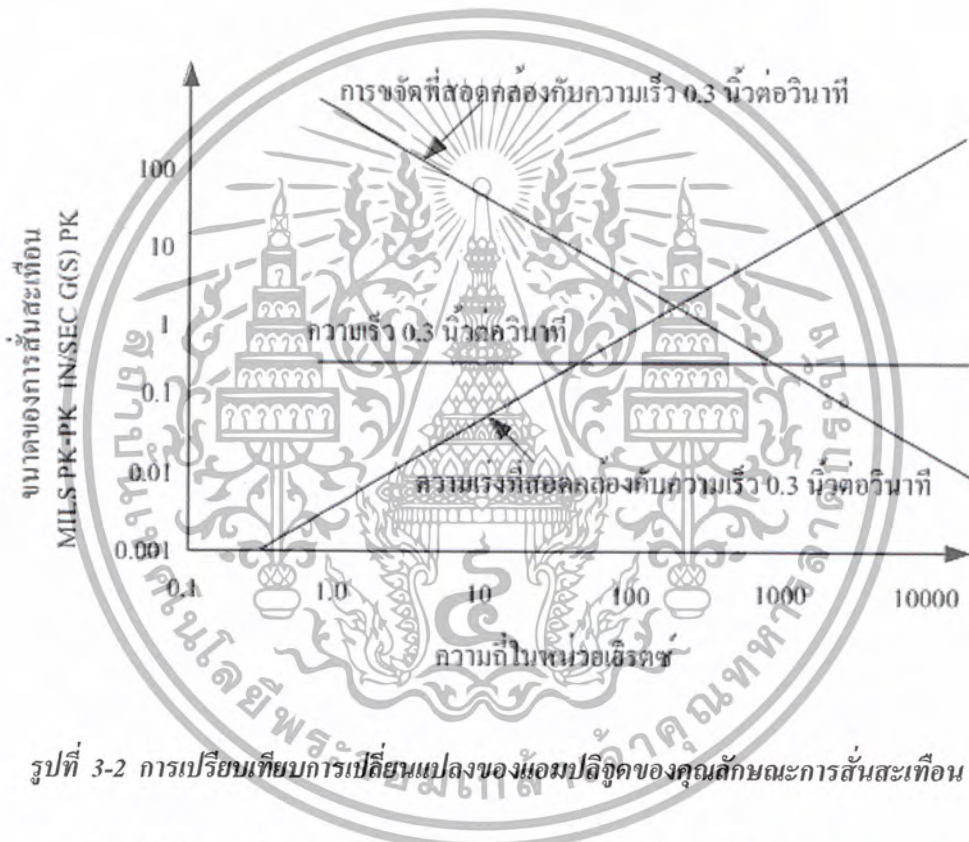
รูปที่ 3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัด ความเร็ว และความเร่ง

การเลือกที่จะวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนอยู่ในรูปของการจัดหรือความเร็วหรืออัตราเร่งนั้น ขึ้นกับลักษณะการทำงานและความถี่ของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ทำการวัด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหากขนาดของพารามิเตอร์ (การจัดหรือความเร็วหรืออัตราเร่ง) ที่วัดได้มีค่ามาก มักจะบ่งบอกถึงสภาพที่มีปัญหาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักร แต่ตัวพารามิเตอร์อีกตัวที่จะเป็นตัวกำหนดว่าจะเลือกวัดด้วยค่าอะไรก็คือ ความถี่ที่ใช้งานของเครื่องจักรนั้น

เนื่องจากพลังงานที่สะสมในการสั่นสะเทือนเป็นฟังก์ชันของความเร็ว ดังนั้นความเร็วมักเป็นคุณลักษณะที่ถูกจัดเป็นพื้นฐานสำหรับอ้างอิง ถ้าใช้ความเร็วเป็นฐานเปรียบเทียบโดยสมมติว่ามีขนาดแอมพลิจูดคงที่ทุกๆความถี่ แอมพลิจูดของการขจัดก็จะมีค่าสูงที่ความถี่ต่ำและลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนอัตราเร่งจะมีแอมพลิจูดน้อยที่ความถี่ต่ำและมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความถี่ดังที่แสดงไว้ในรูป ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าสัญญาณจะเด่นชัดสำหรับการขจัดที่ความถี่ต่ำและจะเด่นชัดสำหรับอัตราเร่งที่ความถี่สูง



รูปที่ 3-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของคุณลักษณะการสั่นสะเทือน

ในกรณีที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนที่ด้วยความถี่ต่ำ (ต่ำกว่า 600 CPM) มักนิยมทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยปริมาณของการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ เนื่องจากเป็นปริมาณที่บอกลักษณะของการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำได้ดีที่สุด

สำหรับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ด้วยความถี่ประมาณ 600 CPM ถึง 60000 CPM มักนิยมทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยปริมาณของความเร็ว

- สรุปได้ว่า
 - ที่ความถี่ต่ำเหมาะที่จะวัด โดยการขจัด
 - ที่ความถี่ปานกลางเหมาะที่จะวัด โดยความเร็ว
 - ที่ความถี่สูงเหมาะที่จะวัด โดยอัตราเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 มุมเฟส

- จะเป็นค่าความแตกต่างของตำแหน่งชิ้นส่วนที่การสั่นสะเทือนขึ้นหนึ่ง เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงหรือชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนอีกชิ้นหนึ่ง มุมเฟสจะใช้เป็นข้อมูลบอกลักษณะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งต่างๆบนเครื่องจักร ในทางปฏิบัติเมื่อทำการวัดมุมเฟส มุมเฟสก็หมายถึงมุมที่เพลาเคลื่อนที่จากจุดที่เริ่มเก็บข้อมูล (มักหมายถึงจุดที่ Tachometer หรือ Photocell เริ่มวัด) จนถึงจุดที่ตัวที่ตัวเฟ้าตรวจเริ่มจับค่าแรงทางด้านบวกที่มีค่าสูงสุด เฟสจะมีหน่วยเป็นองศา ในรูปด้านล่างแสดงถึงลักษณะการวัดมุมเฟส มุมเฟสจะเป็นข้อมูลเพิ่มเติมที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ ทำให้สามารถบ่งบอกลักษณะความเสียหายได้ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 3-3 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเฟสกับการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์สัญญาณการสิ้นสะท้อน

จากที่กล่าวมาสามารถแบ่งชนิดสัญญาณที่จะวิเคราะห์ได้สองชนิดหลักๆ ได้แก่ สัญญาณการสิ้นสะท้อนแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณการสิ้นสะท้อนบนโดเมนความถี่โดยสัญญาณการสิ้นสะท้อนแบบรวมสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงโดยใช้หลักการที่ว่าขนาดของสัญญาณยิ่งมาก เครื่องจักรก็จะมีแนวโน้มว่าจะบกพร่องได้มาก โดยจะมีค่าอ้างอิงของความรุนแรงของการสิ้นสะท้อนที่ยอมรับได้เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ ส่วนสัญญาณการสิ้นสะท้อนบนโดเมนความถี่จะวิเคราะห์ในรายละเอียดของข้อมูลที่ได้จากสัญญาณ ซึ่งนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องของเครื่องจักร

4.1 การประเมินค่าความรุนแรงของสัญญาณการสิ้นสะท้อนแบบรวม

เนื่องจากการวัดสัญญาณแบบรวม (Overall Value) เครื่องจักรอาจมีมวลต่างๆกัน และทำงานที่ความเร็วต่างกัน ระดับการสิ้นสะท้อนที่ยอมรับได้หรือยอมรับไม่ได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข ค่ายอมรับกันที่ดีที่สุดควรมาจากการเก็บสะสมข้อมูลของเครื่องจักรแต่ละตัวภายใต้การทำงานจริง เนื่องจากว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่องถึงแม้จะมีลักษณะเงื่อนไขที่เหมือนกัน ผลิตมาจากผู้ผลิตเดียวกันแต่ก็มีคุณลักษณะการสิ้นสะท้อนไม่เหมือนกัน ค่าโดยรวมที่จะใช้สำหรับดูแนวโน้มว่าระดับการสิ้นสะท้อนถึงระดับที่เกณฑ์กำหนดหรือไม่ ถ้าพิจารณาแล้วก็ทำการแก้ไขให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ปกติ ในส่วนนี้จะใช้การดูขนาดโดยรวมเพื่อกำหนดการบำรุงรักษาแต่ไม่สามารถรู้ถึงสาเหตุได้อย่างแท้จริง

4.2 การวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis)

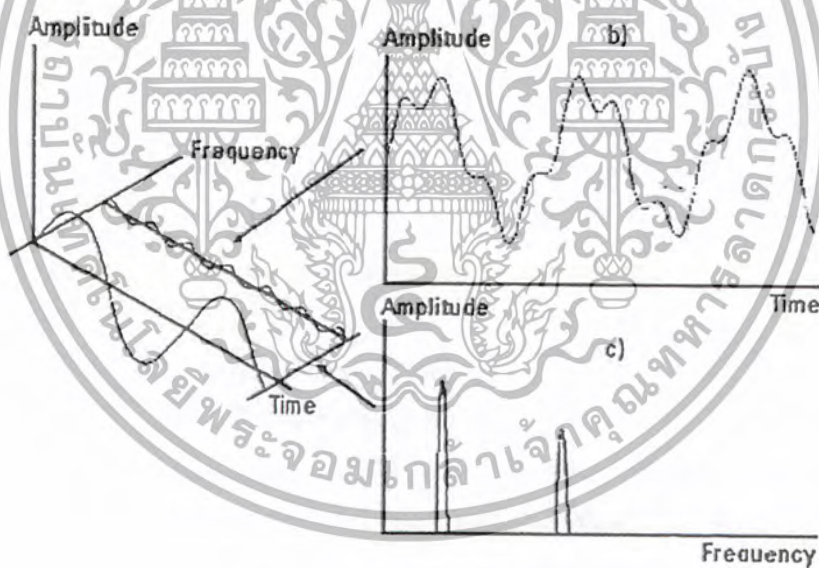
เป็นการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้จากการตรวจวัดเครื่องจักรในช่วงเวลาที่ต่างกันแล้วนำมาเปรียบเทียบหาแนวโน้ม โดยข้อมูลที่เปรียบเทียบจะต้องเป็นข้อมูลที่วัดด้วยสัญญาณการสิ้นสะท้อนแบบเดียวกันและในตำแหน่งเดิมและทิศทางเดิมเสมอ เมื่อนำสัญญาณมาเปรียบเทียบบนแกนเวลา หากสัญญาณมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขนาดขึ้นด้วยอัตราที่คงที่และสม่ำเสมอ ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบ่งบอกถึงการทำงานและการสึกหรอเป็นปกติ หากสัญญาณเพิ่มขนาดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีอัตราการเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ (โดยที่ได้ตรวจจนแน่ใจว่าสัญญาณที่วัดนั้นถูกต้อง) ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบอกให้รู้ว่ามี ความบกพร่องเกิดขึ้นกับเครื่องจักรอย่างแน่นอน และจะต้องหยุดเครื่องจักรทำการซ่อมบำรุงเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้ทำการวิเคราะห์อาจไม่รู้ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องของเครื่องจักรว่าคืออะไร

4.3 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยดูจากสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นจะทำให้สามารถรู้ที่มาของสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ การแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีข้อมูลขนาดที่ความถี่ที่จากลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องจักรแต่ละชนิด ซึ่งจะขอแยกการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เป็นทางกลและทางไฟฟ้า ทางกลนั้นจะพิจารณาผลกระทบจาก Bearing อย่างเดียวเพราะมีการเสียหายก่อนส่วนอื่นและเป็นสาเหตุสำคัญเป็นลักษณะเฉพาะของสาเหตุต่างๆ แต่จะมีความถี่อื่นที่รวมอยู่เนื่องจากความซับซ้อนของสัญญาณที่มา

4.4 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม

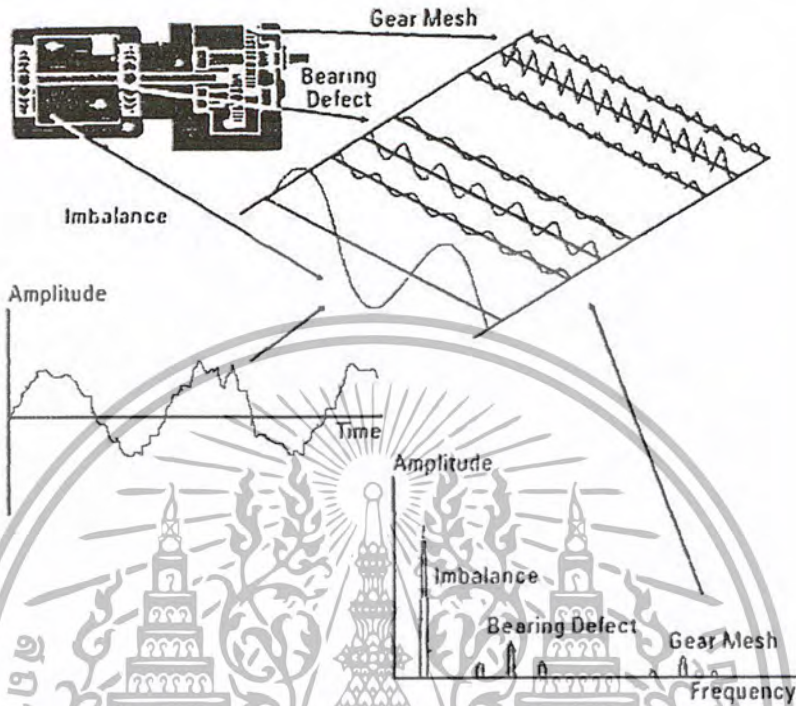
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้มานั้นจะเป็นสัญญาณแบบฮาร์โมนิก (Harmonic) ที่เกิดจากลักษณะของแรงที่มากระตุ้นซึ่งมีลักษณะเป็นแบบฮาร์โมนิกด้วย สัญญาณแต่ละฮาร์โมนิกนั้นจะเกิดจากความบกพร่องของเครื่องจักรในระบบความถี่ต่างๆ ซึ่งความถี่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความบกพร่องของเครื่องจักรนั้น ในการที่จะหาความบกพร่องของเครื่องจักรเราจึงต้องทำการแปลงสัญญาณลักษณะที่เป็นคาบมาเป็นแกนความถี่ซึ่งทำได้ด้วยขั้นตอนที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier transfer :FFT) เช่นในกรณีที่มีฮาร์โมนิก อันดับที่ 1,2,3 เมื่อทำการแปลง FFT ก็จะได้



รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เมื่อทำการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมมาใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรก็จะทำให้ได้ข้อมูลในการบอกว่าขนาดการสั่นสะเทือนซึ่งแสดงในรูปแบบค่ารวม (Overall Value) โดยมีค่าเป็นตัวเลขค่าหนึ่ง ในความเป็นจริงจะประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีขนาดต่างๆกันที่อยู่แต่ละความถี่ ซึ่งที่บางความถี่ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากมักจะเป็นตัวบ่งบอกว่าถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นก็จะเกิดจากชิ้นส่วนที่ทำงานเกี่ยวกับความถี่นั้นๆ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบรวมจะเป็นการบอกลักษณะทั่วไปถึงขนาดการสั่นสะเทือนว่ามีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่เท่านั้น แต่การวิเคราะห์แบบสเปกตรัมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

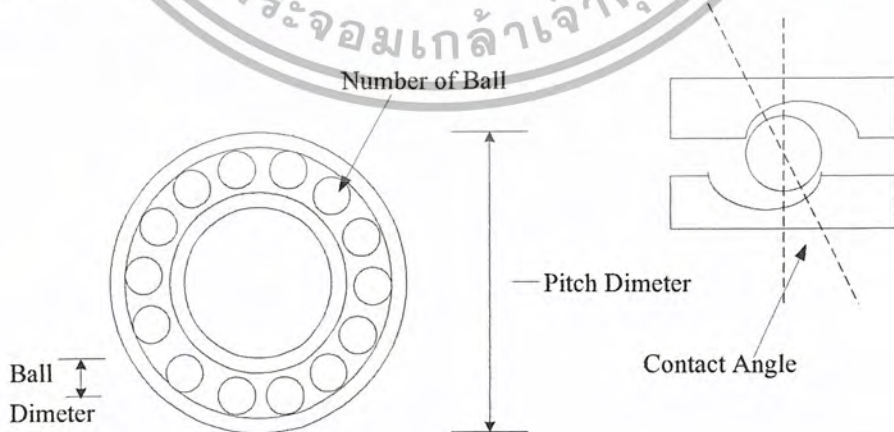
จะบอกถึงค่าความถี่ได้มีขนาดการสั่นสะเทือนผิดปกติจากข้อมูลเหล่านี้มักจะสามารถนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจึงให้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าและมีความสามารถในการบ่งบอกสาเหตุ การเกิดการสั่นสะเทือนได้มากกว่า



รูปที่ 4-2 การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

4.5 การสั่นสะเทือนเนื่องจากความเสียหายของตลับลูกปืน

ข้อบกพร่องของตลับลูกปืนมักเกิดจากความเสียหายของพื้นผิวของรางลูกปืนทั้งทางด้านนอกและด้านใน ตลอดจนถึงเม็ดลูกปืนทำให้เกิดการสูญเสียสัมผัสกันระหว่างลูกปืนกับรางลูกปืน การสั่นสะเทือนมักเกิดที่ความเร็วรอบของเพลซึ่งความเสียหายจะขึ้นอยู่กับว่าส่วนไหนของ Bearing



รูปที่ 4-3 ความถี่ของการสั่นสะเทือนจากข้อบกพร่องของตลับลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะความถี่ของตลับลูกปืน

- ความเสียหายของรางนอก = $n/2(\text{rpm}/60)(1 - B_d \cos \phi / P_d)$ Hz
(ความถี่ของลูกปืนรางนอก)
- ความเสียหายของรางใน = $n/2(\text{rpm}/60)(1 + B_d \cos \phi / P_d)$ Hz
(ความถี่ตลับลูกปืนรางใน)
- ลูกปืนเสียด $= P_d / B_d (\text{rpm}/60)(1 - (B_d \cos \phi)^2 / P_d)$ Hz
ความถี่จุดพื้นฐาน $= 1/2(\text{rpm}/60)(1 - B_d \cos \phi / P_d)$ Hz

เมื่อกำหนดให้

P_d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์ (Pitch Diameter)

B_d = เส้นผ่านศูนย์กลางลูกปืน (Ball Diameter)

n = จำนวนลูกปืน

ϕ = มุมสัมผัส (Contact angle)

คุณลักษณะการสันสะท้อนจากสาเหตุทางกลส่วนอื่นสามารถสรุปมาได้ดังตาราง

ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะการสันสะท้อน

สาเหตุ	ขนาด	ความถี่	เฟส	ข้อสังเกต
การไม่สมดุล	สัดส่วนกับปริมาณการไม่สมดุลมีค่าสูงสุดในทิศตามแนวรัศมี (แนวตั้งและแนวนอน)	1 * rpm	เป็นจุดเดียว	ต้นเหตุที่พบบ่อยของการสันสะท้อน
การเยื้องแกนและเพลงอ	ขนาดใหญ่ในทิศทางตามแนวแกน มีการสันสะท้อนตามแนวรัศมีขนาด 50% หรือมากกว่า	โดยทั่วไป 1 * rpm และมี 2,3 * rpm ในบางครั้ง	เป็นจุดเดียว สองจุด สามจุด	มักจะมีการสันสะท้อนขนาดใหญ่ในทิศทางตามแนวแกน
แบร์ริงชำรุด	ขนาดไม่สม่ำเสมอ ให้ใช้การวัดด้วยหัววัดความเร่ง	สูงมากเป็นหลายเท่าของ rpm มักเป็นเลขไม่ลงตัว	เป็นลักษณะยุ่งเหยิงเห็นหลายจุด	แบร์ริงที่เสียมักเป็นเลขไม่ลงตัวที่อยู่ใกล้กับจุดที่มีการสันสะท้อนสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

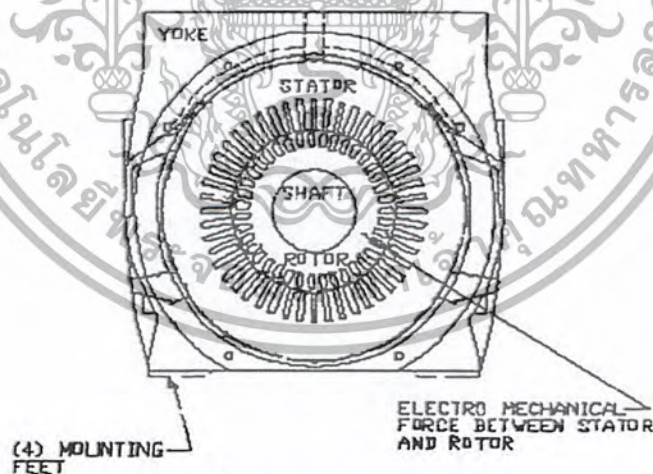
บทที่ 5

การสั่นสะเทือนเนื่องจากสาเหตุของสัญญาณทางไฟฟ้า

ในส่วนของ การสั่นสะเทือนทางไฟฟ้าจะเป็นผลที่เกิดจากความผิดพลาดหรือความไม่สมบูรณ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเบื้องต้นนั้นมาจาก 4 แหล่งดังนี้

5.1 Twice Line Frequency vibration

แรงหรือปฏิกิริยาระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ดังรูปที่ 5-1 เมื่อแหล่งจ่ายเป็น Sinewave จะมีทั้งทางบวกและลบนั้นเป็นผลที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งความแตกต่างกันทางกลและทางไฟฟ้าของการสั่นสะเทือนนั้นจะมีลักษณะความถี่เดียวกันซึ่งต้องดูที่ค่าสูงสุดของการสั่นสะเทือน ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ โดยจะมีค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดเมื่อแรงดันมีค่าสูงสุดทั้งทางบวกและลบจึงทำให้ 1 เฟสเกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนขึ้น 2 ที แสดงดังรูปที่ 5-2 ซึ่งเป็นผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เฟรมมอเตอร์และฐานนอกจากนี้ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งในการสมดุลย์ทางไฟฟ้านั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับโพลหรือกระแส แต่ขึ้นอยู่กับ ampere-turns ของสเตเตอร์และโรเตอร์นี้ โดยมีลักษณะสัญญาณที่เหมือนกันทั้ง no-load และ full-load ดังนั้นในส่วนประกอบหลักของ Twice line frequency การสั่นสะเทือนที่ถูกสร้างขึ้นโดยความไม่สมดุลย์ของสนามแม่เหล็กที่เป็นแรงดึงระหว่างฝั่งตรงข้ามกันเองของ airgap และจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตามโหลด

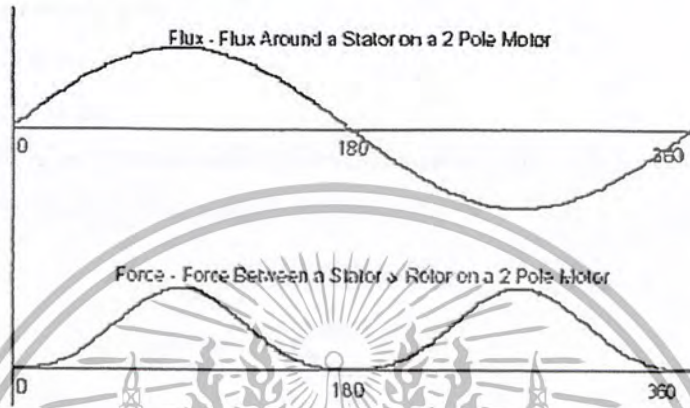


รูปที่ 5-1 สเตเตอร์และโรเตอร์

สำหรับมอเตอร์ 2 pole ระดับสัญญาณการสั่นสะเทือนของ Twice line frequency จะปรากฏอยู่ที่ 2 ช่วงเวลาความถี่การหมุน ในปัญหาของมอเตอร์แต่ละตัวเช่น การเสียดสี ส่วนที่หลวมและดัดปลุกป็น เบี้ยว นั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ 2 ช่วงเวลาความถี่การหมุนได้ ซึ่งการสั่นสะเทือนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

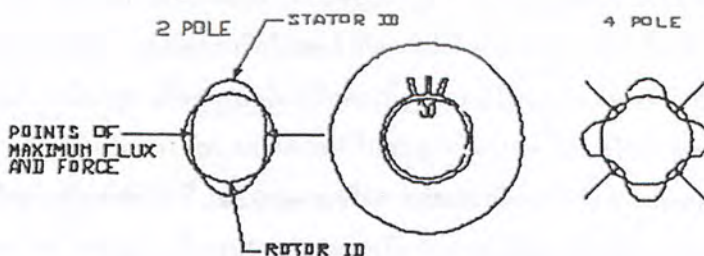
twice line frequency ที่ 2 ช่วงเวลาจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อมัน in phase และหักล้างเมื่อ out of phase และจะเพิ่มขึ้นเมื่อ in phase อีกครั้ง สัญญาณก็จะขึ้นลงที่ความถี่ 2 ช่วงเวลา ค่าสลิปของมอเตอร์ 2 pole ในสถานะ no load ความถี่ในการหมุน เมื่อมีโหลดความเร็วจะเปลี่ยนจาก 7200 rpm (120 Hz, 2 pole) จนถึงความเร็วค่าสลิปซึ่งโรเตอร์จะหมุนช้ากว่า สลิปจะอยู่ที่ 1% ในพิกัด full load ในสถานะ no load จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ระดับการสั่นสะเทือนจะไม่คงที่จึงต้องดูอ้างอิงกับ modulation test โดยจะให้มอเตอร์ทำงานเป็นเวลา 10-15 นาทีและบันทึกค่า min และ max



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

5.2 Elliptical Stator Due to Fundamental Flux

ในรูปที่ 5-3 แสดงมอเตอร์ 2 pole แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นรูปวงรี การต้านการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแกนเหล็กและความแข็งแรงของโครงสร้าง สเตเตอร์ ในมอเตอร์ 4 pole ระยะระหว่างจุดจะเป็น 45 องศาทางกล เป็นครึ่งหนึ่งของมอเตอร์ 2 pole ในการคำนวณกับมอเตอร์ 1000 hp ที่ 60 Hz เกิดการสั่นสะเทือนที่ 120 Hz ที่แกนสเตเตอร์ ได้ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดประมาณ 0.12 in/s,peak ถ้าเป็นมอเตอร์ 4 pole ในขนาดความถี่เดียวกันจะได้ค่าการสั่นสะเทือน 0.02-0.03 in/s ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าขนาด twice line frequency vibration



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Nonsymmetrical Air Gab

ระดับการสั่นสะเทือนของ twice line frequency เมื่อ air gab ไม่เป็นสัดส่วนระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ แสดงดังรูปที่ 5.4 ในส่วนนี้จะมีผลให้แรงแม่เหล็กมากที่สุดที่ระยะ air gab น้อยที่สุด กำลังแม่เหล็กที่ไม่สมดุลจะมีอยู่บริเวณระยะ air gab น้อยที่สุดซึ่งแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

โดย

B = flux density

d = ระยะ air gab

ในส่วนนี้ไม่ใช่แรงจากสเตเตอร์ตั้งในทิศทางเดียว แต่จะเป็นแรงที่ดึงจากโรเตอร์ด้วย ในส่วนที่มีระยะช่องว่างอากาศน้อยที่สุดนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เพลลา ซึ่งเป็นผลเสียต่อการใช้งานถลับลูกปืน



รูปที่ 5-4 Unsymmetrical air gab around rotor

5.4 One-Time-Line-Frequency vibration

แม้ว่าจะมีสัญญาณไม่เด่นชัดกว่าสัญญาณของ twice line frequency แต่ก็ยังถือว่ามีผลอยู่สนามแม่เหล็กที่ไม่สมดุลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ line frequency เท่ากับการสั่นสะเทือนของ twice line frequency ถ้าเกิดว่าสเตเตอร์หรือโรเตอร์เกิดการเคลื่อนที่จากข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่งทำให้จุดที่มีระยะ air gab น้อยที่สุดเกิดการเคลื่อนที่และเมื่อความถี่ในการเคลื่อนที่นี้เท่ากับความถี่สนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่เป็นผลให้สนามแม่เหล็กที่ไม่สมดุลเกิดการเคลื่อนที่ไปกับจุดที่มี air gab น้อยที่สุดจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ line frequency ในการสั่นสะเทือนที่ line frequency นี้ โดยปกติจะน้อยมาก หรือถือว่าไม่ปรากฏ แต่ถ้าระบบสเตเตอร์ หรือ โรเตอร์ที่มีความถี่โซแนนท์แล้วนั้นจะทำให้มีขนาดการสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้นได้

ซึ่งทั้ง 4 ข้อนั้นเป็นการสั่นสะเทือนพื้นฐานของมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วสาเหตุการสั่นสะเทือนที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถแยกเป็นสาเหตุต่างๆ ซึ่งจะมีลักษณะความถี่ต่างกันไปและวิธีการทดสอบที่จะหาสาเหตุการสั่นสะเทือนก็จะต่างกัน ไปเช่น eccentric rotor, broken rotor bar เป็นต้นซึ่งจะ

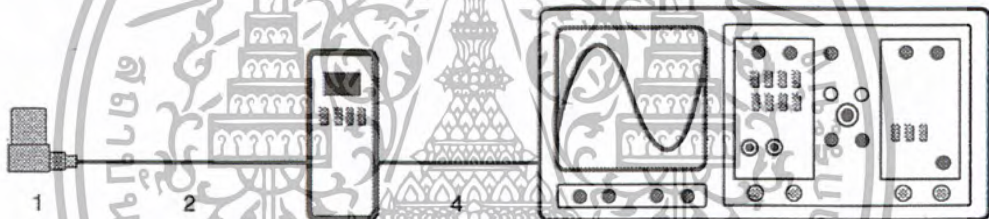
อ้างอิงเอกสาร IEEE (An Analytical approach to solving Motor Vibration Problems)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนจะมีองค์ประกอบหลัก ซึ่งประกอบด้วย หัวทรานส์ดิวเซอร์ สายวัด และเครื่องมือประมวลผลและอ่านผล ความเข้าใจในเรื่องเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อความแม่นยำในการวินิจฉัยข้อบกพร่องของเครื่องจักร เพราะว่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด จะต้องผ่านการแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและประมวลผลออกมา บางครั้งต้องผ่านตัวกรอง (Filter) ต่างๆเช่น Fast Fourier Transform แล้วจึงแสดงผลออกมา ผลที่แสดงออกอาจให้ข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่ตรงกับกาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง หากมีการติดตั้งหัวทรานส์ดิวเซอร์ไม่ถูกต้อง มีการเลือกหัวทรานส์ดิวเซอร์ที่ไม่เหมาะสม หรือมีการเลือกวิธีการประมวลผลหรือตัววงจรการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นความเข้าใจเรื่องเครื่องมือวัดและการใช้เครื่องมือวัด จึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมาก



รูปที่ 6-1 Diagram of an Acceleration System

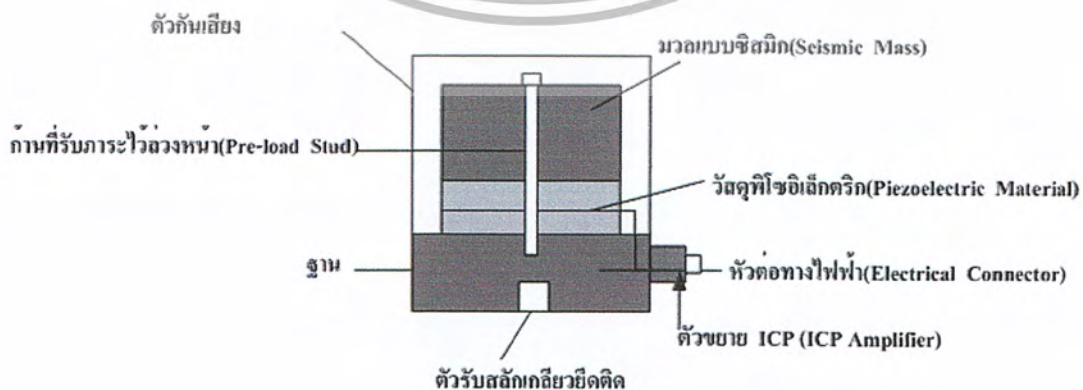
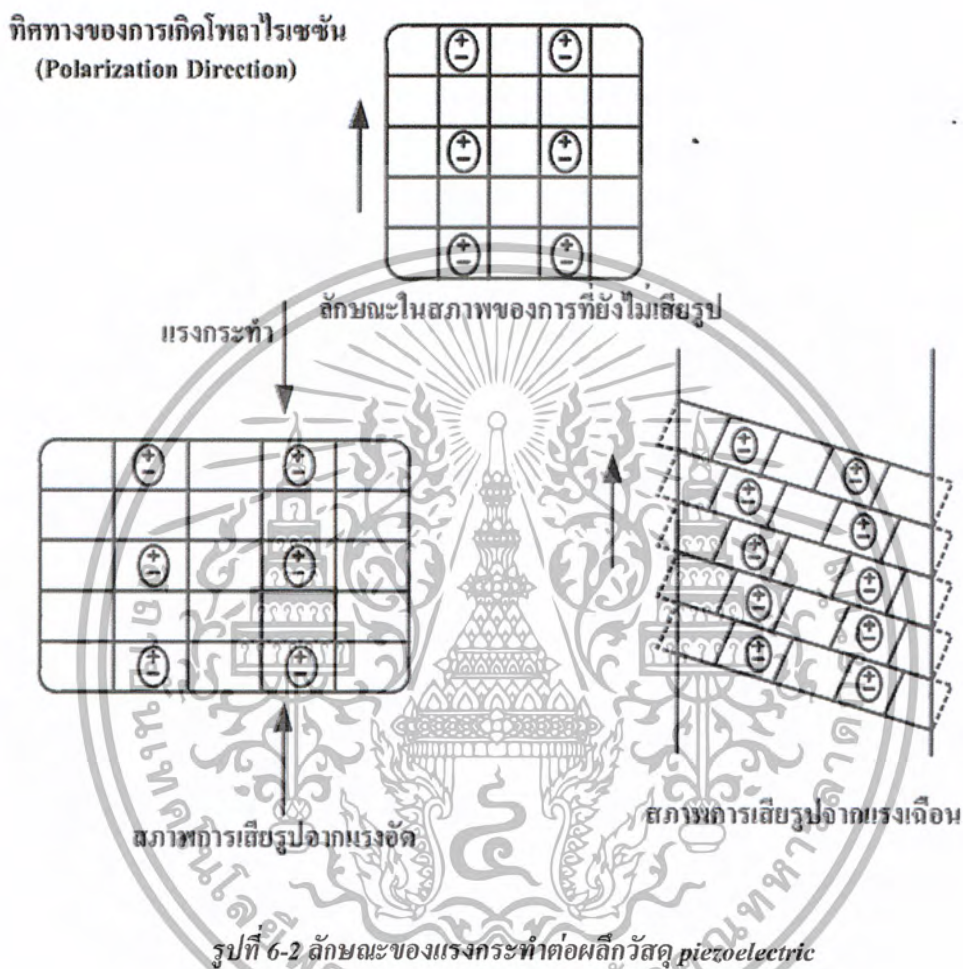
1. Accelerometer
2. Perfect Cable
3. Coupler
4. Coaxial Cable
5. Digitizing Oscilloscopes

6.1 ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง (Acceleration Transducer or Accelerometer)

เป็นทรานสดิวเซอร์ซึ่งใช้วัดความเร่งของการสั่นสะเทือน(จากความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ได้) ซึ่งเป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้มวล (ขดลวด) กับสปริงที่เคลื่อนที่ตัด เส้น

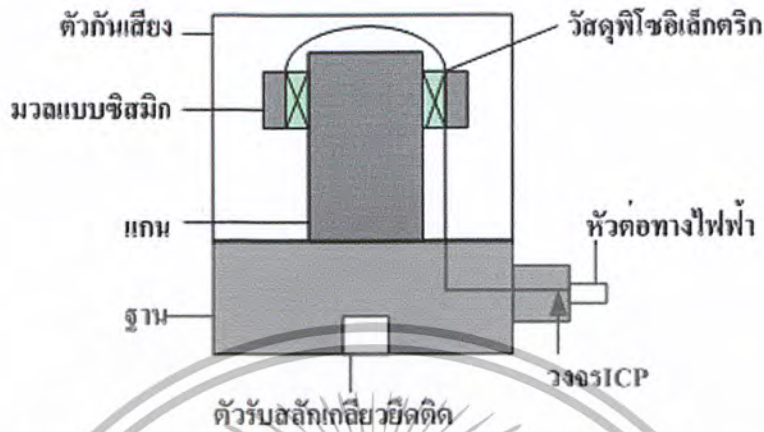
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงแม่เหล็กกระยะที่มวลเคลื่อนที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับแรงหรือความเร่งที่กระทำ แต่จะมีข้อจำกัดที่ความเร็วรอบตอบสนองต่อความถี่และการรบกวนของสนามแม่เหล็กจากภายนอก



รูปที่ 6-3 หัววัดความเร่งแบบแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-4 หัววัดความเร่งแบบแรงเฉือน

ปัจจุบันมักนิยมใช้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้หลักการ พิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) นั่นคือ วัสดุบางประเภท เช่น ควอตซ์ (Quartz) และ เฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric Ceramics) บางชนิด จะเกิดประจุไฟฟ้าเมื่อถูกแรงกด วัสดุพิโซอิเล็กทริกจะทำหน้าที่เป็นสปริงรับแรงกดจากก้อนมวลซึ่งสั่นทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้า ตามการสั่นสะเทือนแรงกดอาจจะกระทำในแนวตั้งฉาก (Compression) กับผลึก หรืออาจจะกระทำในแนวเฉือน (Shear) กับผลึก ดังแสดงในรูปที่ 8.7

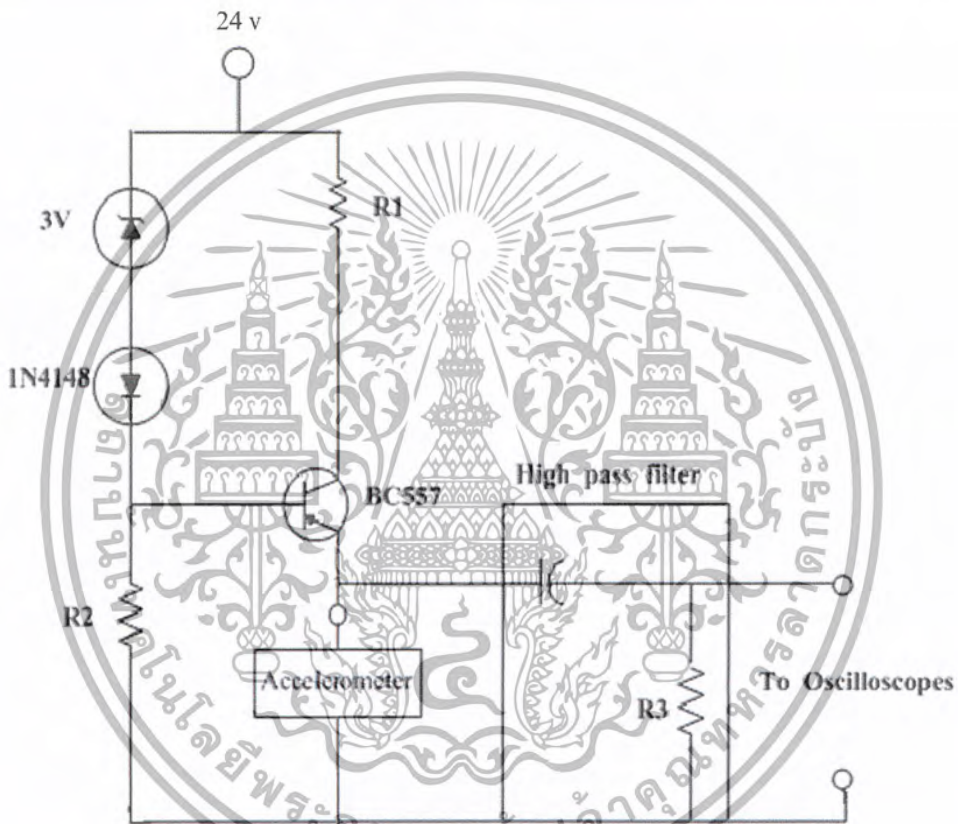
เนื่องจากหลักการดังกล่าว หัววัดความเร่ง (Accelerometer) ที่ใช้งานจะมีทั้งสองแบบ โดย หัววัดความเร่งที่ใช้แรงกดจากมวลในแนวตั้งฉากกับผลึกจะมีอัตราส่วนความไวต่อมวลปานกลาง และอาจมีผลกระทบจากการโค้งงอของฐานและจากอุณหภูมิ ทำให้เกิดความเค้นในวัสดุ พิโซอิเล็กทริก ได้ แต่จะผลิตได้ง่ายกว่าและแข็งแรงกว่า หัววัดความเร่งแบบนี้นิยมใช้กับความเร่งสูงๆ เพื่อชดเชยปัญหาดังกล่าว ส่วนหัววัดความเร่งที่ใช้แรงกดจากมวลในแนวเฉือนกับผลึกจะมีอัตราส่วนความไวต่อมวลสูง แต่จะผลิตได้ยากกว่า โครงสร้างของหัววัดความเร่งทั้งสองแบบแสดงไว้ในรูปที่ 8.8 และ 8.9 ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกมีปริมาณน้อยมากจึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ประมวลสัญญาณซึ่งจากสัญญาณความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นหัววัดความเร่งจึงเป็นทรานส์ดิวเซอร์ ที่นิยมใช้เพราะมีขนาดเล็กและมีความแข็งแรงทนทาน

หัววัดความเร่งแบบพิโซอิเล็กทริกก็มีข้อจำกัดเนื่องจาก การรั่วไหล (Leakage) ของประจุที่เกิดการก้อง (Ringing) เมื่อทำงานใกล้ความธรรมชาติ และการเคลื่อนที่ของตำแหน่งศูนย์ (Zeroshift) ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อนำหัววัดความเร่งมาใช้งานนอกช่วงที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ของ Accelerometer

ใช้หลักการ พิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) โดยจะใช้มวลวางกดทับวัสดุประเภทควอตซ์ (Quartz) ซึ่งคุณสมบัติของควอตซ์ นี้คือ จะเกิดประจุไฟฟ้าเมื่อถูกแรงกด ควอตซ์จะทำหน้าที่เป็นสปริงรับแรงกดจากก้อนมวลซึ่งสั้นจะทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้า ตามแรงกด ดังนั้นเราจะต่อตัวเก็บประจุไว้ที่เอาต์พุตเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงประจุทำให้เกิดสัญญาณคร่อมตัวต้านทาน และการต่อ อนุกรมตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุก็เหมือนกับวงจร High Pass Filter ซึ่งความถี่ที่สูงกว่า 0.5 Hz จะสามารถผ่านไปได้ หลังจากนั้นเราจะนำสัญญาณที่ผ่านวงจร High pass filter แล้วนำเข้า Oscilloscopes ทำให้เราสามารถอ่านค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนได้เราได้ความถี่ cut off ที่ 0.5 Hz เพราะว่าตัว Accelerometer นี้ทำงานที่ความถี่ต่ำสุด 0.5 Hz



รูปที่ 6-5 วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ของ Accelerometer

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

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

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

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

ในกรณีนี้ เราต้องการให้กระแสที่ไหลผ่าน Zener Diode เท่ากับ 10 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$= 2,040 \Omega$$

ดังนั้นเราเลือกใช้ $R_1 = 750 \Omega$, $R_2 = 2k\Omega$

Z_0 จะมีค่าสูงมากประมาณ $2M\Omega$

ค่ากระแสของตัว Accelerometer จะอยู่ประมาณ 2.....20 mA

วงจรนี้ต้องการแหล่งจ่ายแรงดัน 20.....30 V_{dc}

ความต้านทานของแหล่งจ่ายใช้มากกว่า 100 k Ω

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

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

กำหนดให้ R_3 มีค่า $1M\Omega$ จะวงจรต่อกับ Oscilloscopes ที่มีค่า $10M\Omega$

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

$$= 909 k\Omega$$

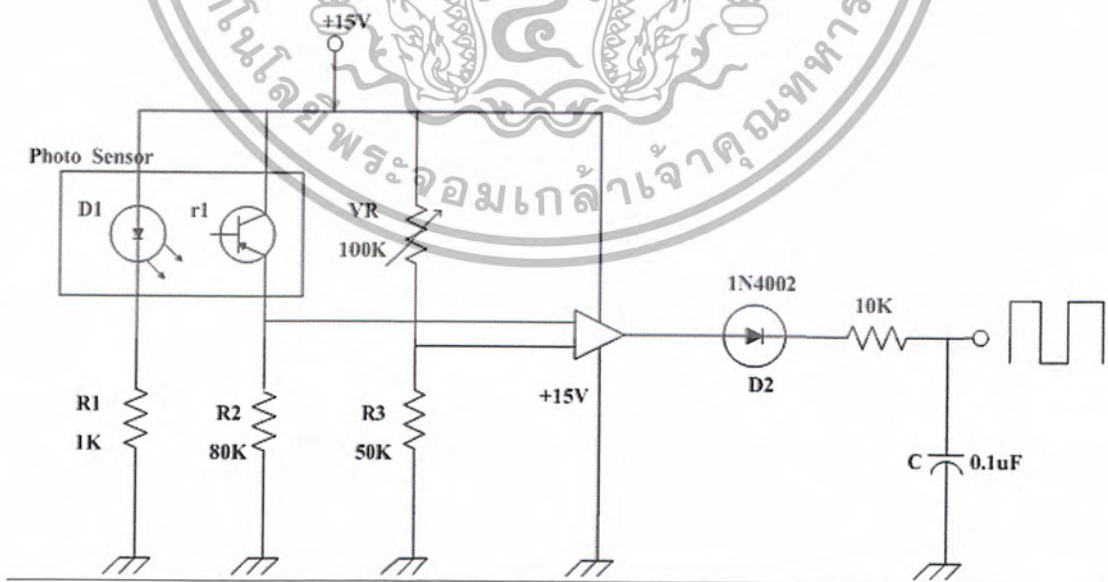
$$C = 0.5 / (0.5 * 909 * 10^3)$$

$$= 1.1 \mu F$$

จะใช้ตัวเก็บประจุ $1 \mu F$ ซึ่งจะได้ความถี่ Cut off เท่ากับ 0.5 Hz ก็จะได้สัญญาณลดลงประมาณ 6 dB/octave หรือ -20 dB/decade

วงจรนี้จะทำงานได้ดีที่ความยาวของสายระหว่าง Sensor และแหล่งจ่ายมีค่าไม่เกิน 100 ฟุต

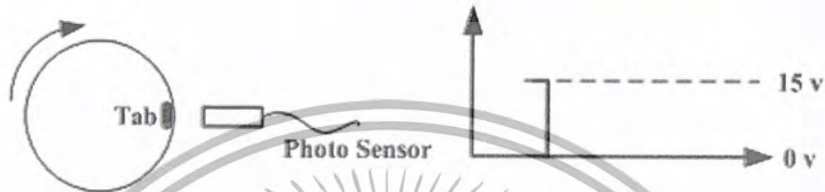
6.3 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง (Photo Sensor)



รูปที่ 6-6 วงจรส่งและรับสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

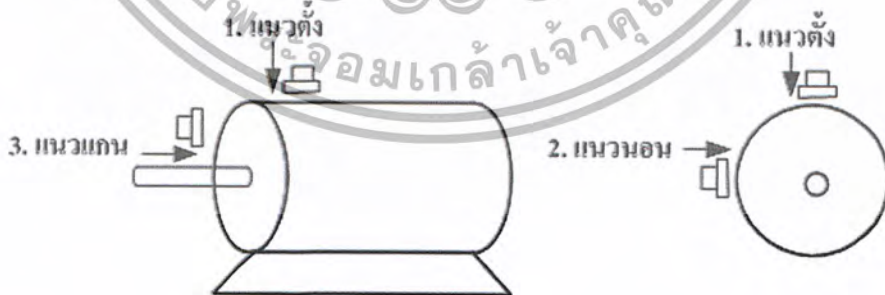
ในตัวอุปกรณ์รับ ส่งแสงจะเป็นตัวเดียวกัน แล้วอินฟราเรดจะส่งออกไปกระทบกับวัตถุสะท้อนแสงกลับ มาให้ Photo Transistor ทำกระแสไหลผ่านตัว T ทำให้แรงดันตกคร่อม R_2 จ่ายให้กับขาลบ (-) ของออปแอมป์ ออปแอมป์จะทำการเปรียบเทียบแรงดันทั้ง 2 ขา ถ้าแรงดันที่ขาลบมากกว่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์ก็จะเป็น 15 V ในวงจรนี้เราต่อสัญญาณ 0 V ในการใช้งานนี้เราจะคิดเทปที่มีลักษณะที่บแสงเพื่อไม่ให้มีแสงสะท้อนกลับได้ ทำให้เวลามอเตอร์หมุนจะเกิดระดับสัญญาณ 15 V ที่ตำแหน่งเทป



รูปที่ 6-7 แสดงการติดตั้งหัววัดและเทป

6.4 ตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer

ในการติดตั้งหัววัดจุดประสงค์ก็เพื่อรับแรงการสั่นสะเทือน ซึ่งจำเป็นต้องบอกตำแหน่งที่จะรับแรงการสั่นสะเทือน ได้มากที่สุดและยังต้องเป็นตำแหน่งที่จะต้องรับผลกระทบของการสั่นสะเทือน เพื่อที่จะนำสัญญาณไปใช้การวิเคราะห์ผลกระทบของการสั่นสะเทือนตำแหน่งที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816-1 ต้องมีการวัดทั้ง 3 แกนคือแนวนอน แนวตั้ง และแนวแกน (ในกรณีที่เป็นเครื่องจักรหมุน)



รูปที่ 6-8 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer

ผลกระทบที่จะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรสั้นลงก็คือ ความถี่รีโซแนนซ์ถ้าเราใช้งานเครื่องจักรหมุนที่เกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ของระบบทางกลแล้วจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดแรงกระทำที่ตำแหน่งที่เกิดรีโซแนนซ์จำนวนมาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ตามสมควร ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องทราบความถี่รีโซแนนซ์ของการสั่นสะเทือน ณ ตำแหน่งและทิศทางนั้นเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดขึ้น

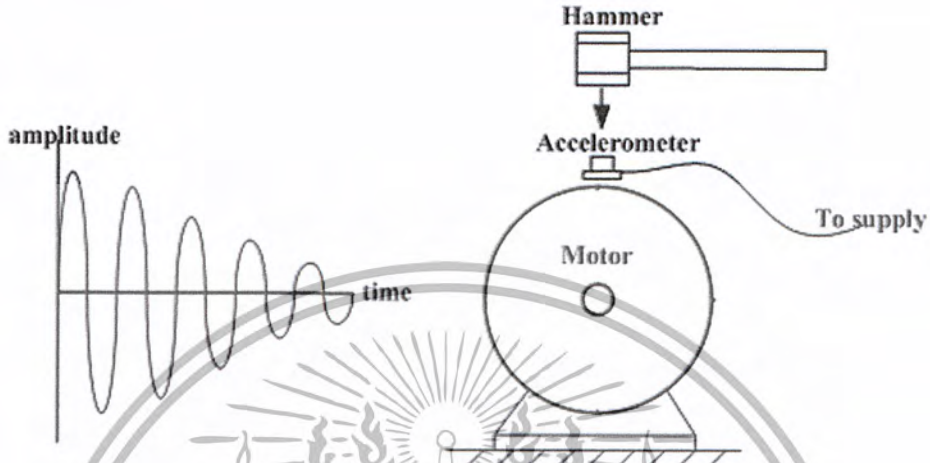
ตารางที่ 6.1 เกณฑ์การเลือกใช้ทรานส์ดิวเตอร์และค่าการสั่นสะเทือน

ลักษณะของเครื่องจักร	พารามิเตอร์	ช่วงความถี่ CPM	ตำแหน่งของทรานส์ดิวเตอร์	ทรานส์ดิวเซอร์
กังหันไอน้ำ เครื่องสูบน้ำ	ระยะเวลาเคลื่อนที่	600 – 6000	วัดระยะห่าง	หัววัดแบบไม่สัมผัส
		600 – 60000	กัมพัทธ์กับเพลลา	
คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้เบริงฟิล์มน้ำมัน	ความเร็ว	600 – 60000	วัดที่เบริง	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
		600 – 600000	วัดที่เบริง	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
เครื่องสูบน้ำ-ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์หรือกังหัน	ความเร็ว	600 – 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
		600 – 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
มอเตอร์ไฟฟ้า-พัดลม	ความเร็ว	600 – 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
		600 – 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
พัดลมที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ใช้เบริงชนิดชิ้นส่วน	ความเร็ว	600 – 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
		600 – 6000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
ที่กลิ้งชุดเฟืองที่ใช้เบริงชนิดชิ้นส่วนกลิ้ง	ระยะเวลาเคลื่อนที่	600 – 600000	วัดระยะห่าง	หัววัดแบบไม่สัมผัส
			สัมผัสกับเพลลา	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
ชุดเฟืองที่ใช้เบริงฟิล์มน้ำมัน	ความเร่ง		ตัวโครงเรือน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 การทดสอบหาความถี่รีโซแนนท์

ในการทดสอบเราจะใช้วิธีการกระตุ้นโดยใช้การกระแทกเข้าที่ตัวมอเตอร์ ณ ทิศทางเดียวกันกับการติดตั้ง Accelerometer



รูปที่ 6-9 แสดงการทดสอบหาความถี่รีโซแนนท์

ในกรณีที่มีการพิจารณาการสั่นสะเทือนที่ 1 ถ้าดัชนีความหน่วงเป็นอิสระ ค่าความถี่รีโซแนนท์จะหาได้จาก $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 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

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

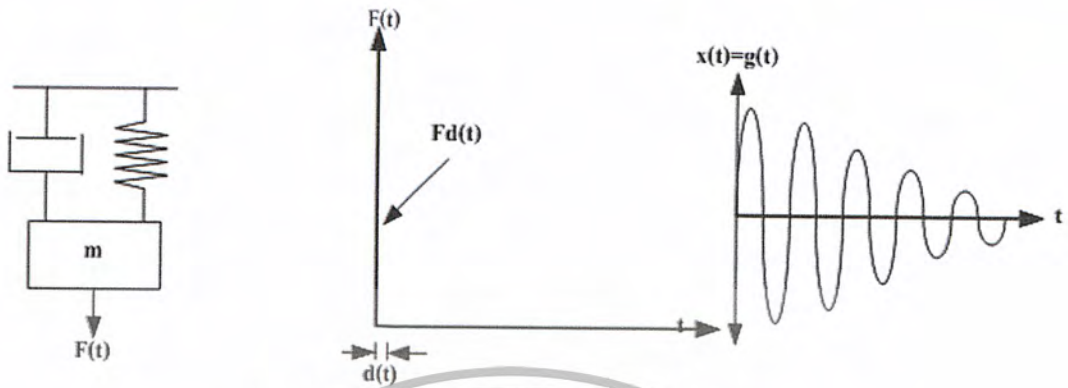
ดังนั้นความสัมพันธ์ของโมเมนต์ตัมและแรงคล จะได้ว่า

$$\text{Unit Impulse} = \tilde{t} = 1 = m\dot{x}^*(t=0) - m\dot{x}^*(t=0)$$

$$m\dot{x}^*(t=0) = m\dot{x}_0^*$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l = mx_0$$



รูปที่ 6-10 แสดงสัญญาณ Impulse Response

ทำให้สภาพเริ่มต้นมีค่าเป็น

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

และความเร็ว

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

จากสมการที่ 3 จะทำให้สมการ (2) กลายเป็น

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

เราเรียกสมการนี้ว่าฟังก์ชันตอบสนองต่อแรงดล (Impulse Response Function)

ถ้ามีแรงภายนอกมากกระทำต่อระบบทำให้ผลตอบสนองมีค่าเป็น

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

กำหนดให้ $\tilde{F} = F\omega\Delta t$

$\omega_d =$ ความเร็วเชิงมุมของการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงดล

แต่เนื่องจากในระบบทางกลจริงของมอเตอร์มีความถี่โซแนนท์มากเนื่องจากมีความซับซ้อนของโครงสร้าง และชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นโครงสร้างนั้น ในการทดสอบหาค่าความถี่โซแนนท์ในปริญญานิพนธ์นี้เป็นการหาโดยการจ่ายแรงกระแทก โดยใช้ค้อนพลาสติกกระแทกเข้าไปที่ตัวมอเตอร์ แล้วดูสเปกตรัมของสัญญาณซึ่งความถี่ต่างๆ ที่ปรากฏในแต่ละครั้งของการกระแทกจะเกิดขึ้นที่ความถี่เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบการสั่นสะเทือนทางฟ้าของมอเตอร์นี้เราจะติดตั้ง Accelerometer ไว้ที่ตำแหน่งเดียว ดังนั้นเราจะหาความถี่รีโซแนนซ์ที่ตำแหน่งเดียว ซึ่งเราได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งติดตั้งหัววัดกับค่ารีโซแนนซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

7.1 การทดลองเรื่อง การทดสอบอัตราเร่งของ accelerometer

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีของอัตราเร่งโดยศึกษาจากกระบอกสูบ
2. เพื่อศึกษาค่าอัตราเร่งที่ accelerometer วัดได้
3. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้วัดความสั่นสะเทือน

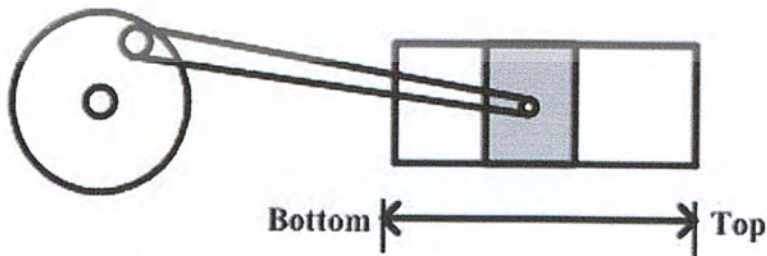
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

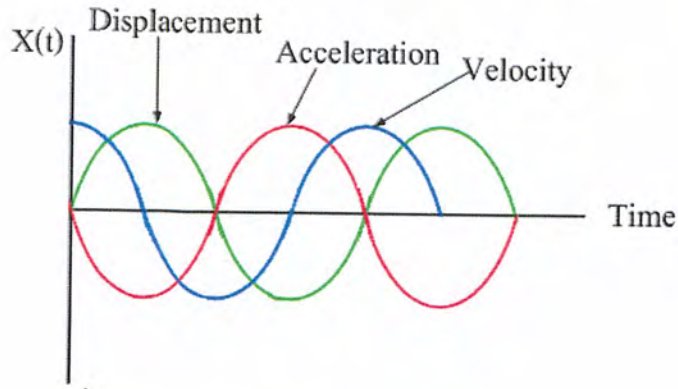
1. ชุดลูกสูบที่มีช่วงชักขนาด 30 mm
2. มอเตอร์ขนาด 1 HP
3. Accelerometer ขนาด 5 x
4. Osilloscope

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการติดตั้ง Accelerometer บนหัวลูกสูบ
2. ปรับความเร็วมอเตอร์ตามที่กำหนดแล้วบันทึกผล
3. คำนวณค่าอัตราเร่งตามทฤษฎีดังนี้

ขนาดอัตราเร่งที่เราได้จากเครื่องมือวัดนั้น จะต้องมีการตรวจสอบว่าขนาดที่ได้มีความต้องหรือคลาดเคลื่อน (error) ไปมากน้อยเพียงใด และควรเลือกใช้ขนาดหัววัดเท่าใดกับการวัดการสั่นสะเทือนนั้น ในการทดสอบเราจำเป็นต้องมีเครื่องกำเนิดการสั่นสะเทือนซึ่งจากการพิจารณาการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบนั้น ค่าอัตราเร่งจะขึ้นอยู่กับความเร็ว ซึ่งเป็นตัวแปรเดียวเท่านั้น ทำให้เราสามารถปรับอัตราเร่งจากความเร็วรอบของการหมุนหรือการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบได้ ดังรูป





รูปที่ 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 จะขึ้นอยู่กับความถี่รอบหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ซึ่งการเคลื่อนที่ได้ถูกกำหนดโดยโครงสร้างของลูกสูบอยู่แล้ว ในการทดสอบอัตราเร่งของลูกสูบจะเก็บค่าในรูปผลรวมแล้วนำค่านั้นมาหาค่าอัตราเร่งสูงสุดของสัญญาณ

การแปลงค่าจากหน่วย Volt(rms) เป็นอัตราเร่ง (m/s²)

$$A = [\text{Volt(rms)} * \sqrt{2}] / \text{Sensitivity}$$

$$\% \text{ error} = [(\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากการทดลอง}) / \text{ค่าจากการคำนวณ}] * 100$$

ผลการทดลอง

ตารางที่ 7-1 การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer

ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่วัดได้ (v)	ค่าอัตราเร่ง(m/s ²)		Error %
		ทดลอง	คำนวณ	
150	258	3.577	3.697	3.2
175	322	4.630	5.032	8.5
200	445	6.177	6.573	6.0
225	585	8.110	8.319	2.5
250	778	10.790	10.270	-5.0
275	999	13.850	12.427	-11.0
300	1188	16.472	14.789	-11.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การทดลองเรื่อง ผลของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากการไม่สมดุลในการหมุน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในลักษณะต่างๆ
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของมวลในลักษณะต่างๆ ที่มีต่อขนาดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์
3. เพื่อสามารถแก้ไขและลดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เบื้องต้นได้
4. เพื่อให้เกิดความชำนาญในการใช้อุปกรณ์

อุปกรณ์การทดลอง

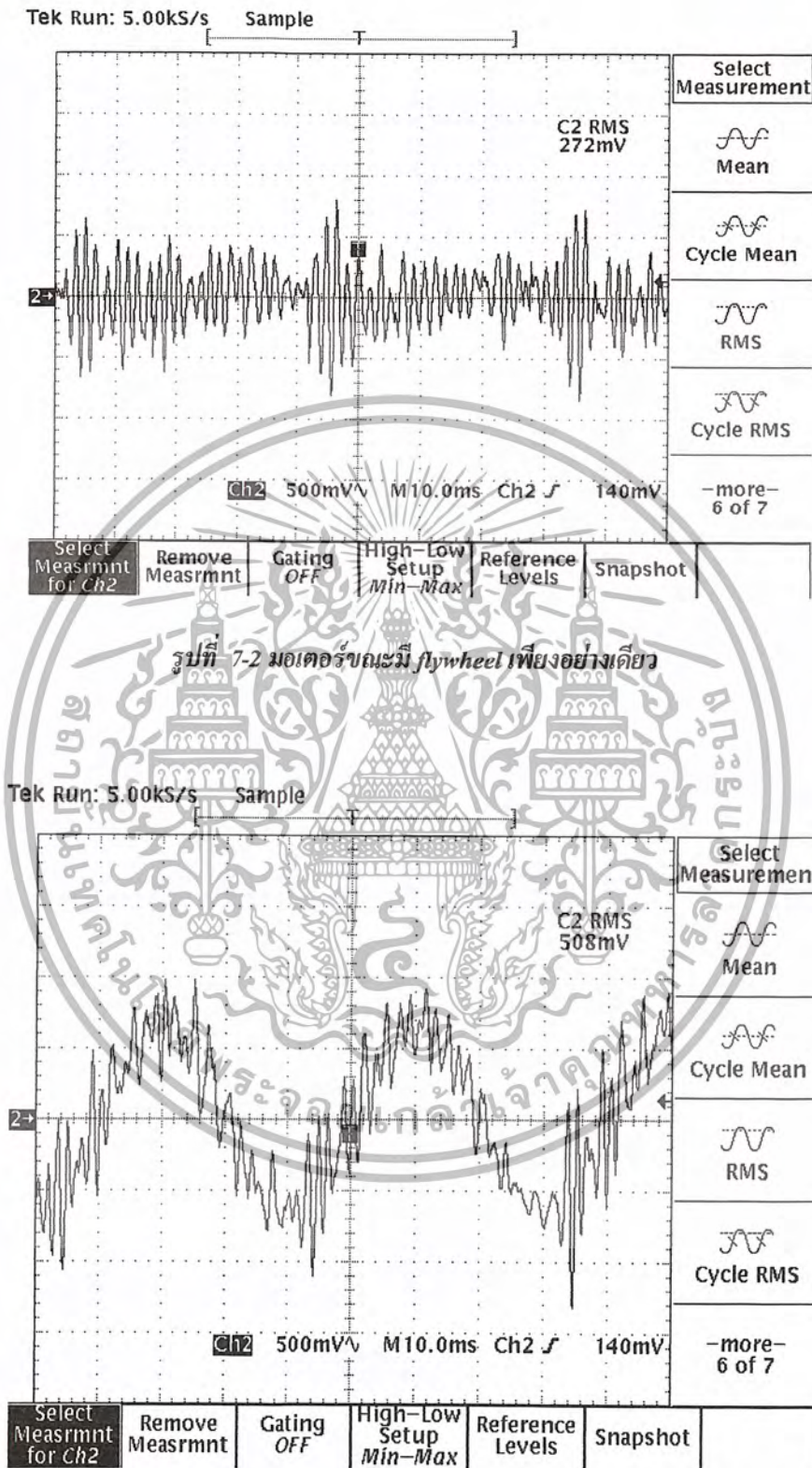
1. มอเตอร์ 1 แรงม้า ความถี่ 50 Hz 4 pole ตั้งบนฐานสปริง
2. Flywheel 1.4 kg
3. สกรูและน็อต ขนาด 14 g, 16 g, 18 g, 20 g, 22 g, 24 g, 26 g, 28 g
4. Accelerometer ขนาด 5 โวลต์
5. Oscilloscope

7.2.1 ความไม่สมดุลในการหมุนจากขนาดของมวลถ่วง

ขั้นตอนการทดลอง

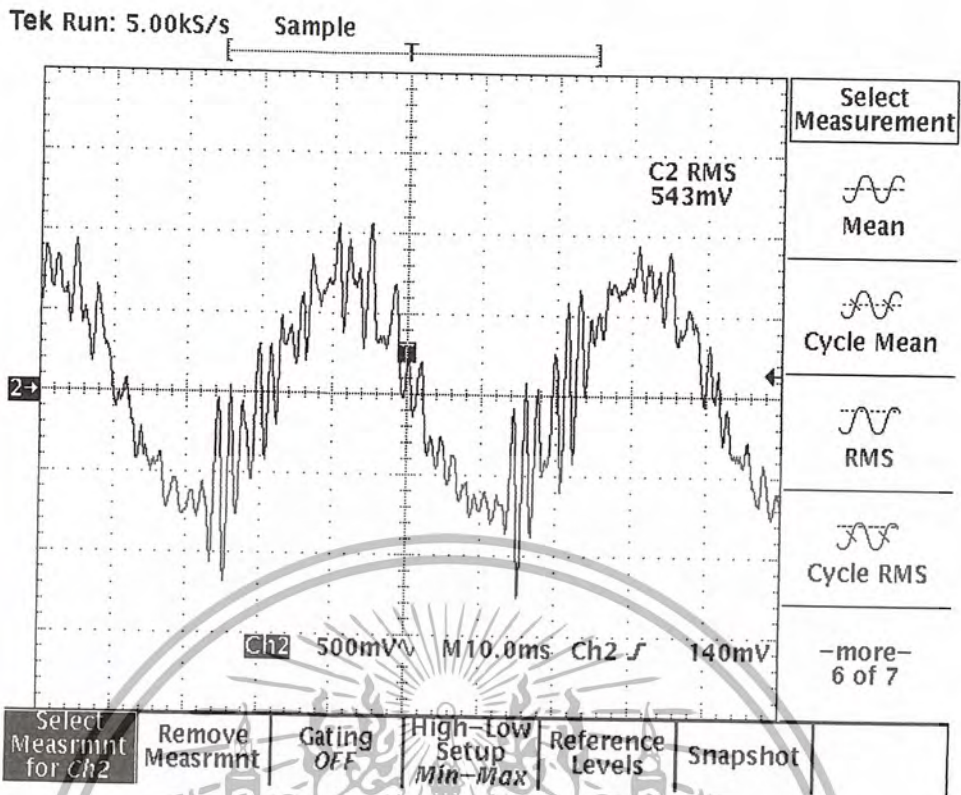
1. ทำการสตาร์ทมอเตอร์ ซึ่งติดตั้ง flywheel เพียงอย่างเดียววนประมาณ 1 นาที อ่านค่าสูงสุดต่ำสุด บันทึกผลการทดลอง
2. ใส่มวลถ่วงขนาดตั้งแต่ 14 g จนถึง 28 g ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของ flywheel 8 cm บันทึกผลการทดลอง
3. หาค่าเฉลี่ย A_{avg} โดยคำนวณจากค่า $(max + min)/2$
4. หาค่าอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากมวลถ่วง โดยนำค่าที่มีมวลถ่วงลบค่าขณะที่ไม่ม่มีมวลถ่วง
5. คำนวณอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้นโดยใช้สูตร

ผลการทดลอง

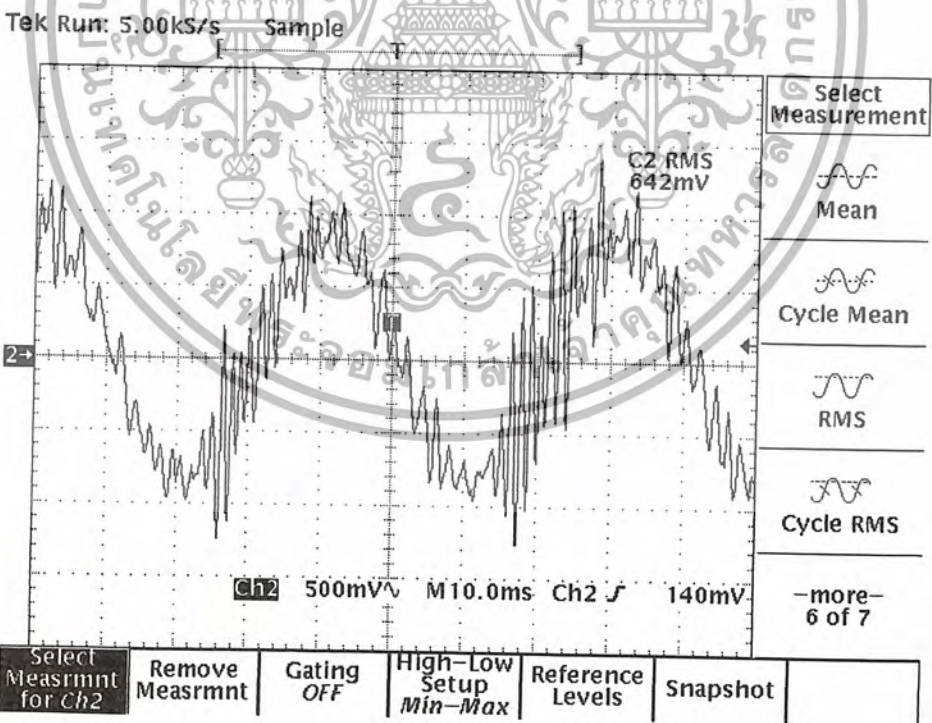


รูปที่ 7-3 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 14 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

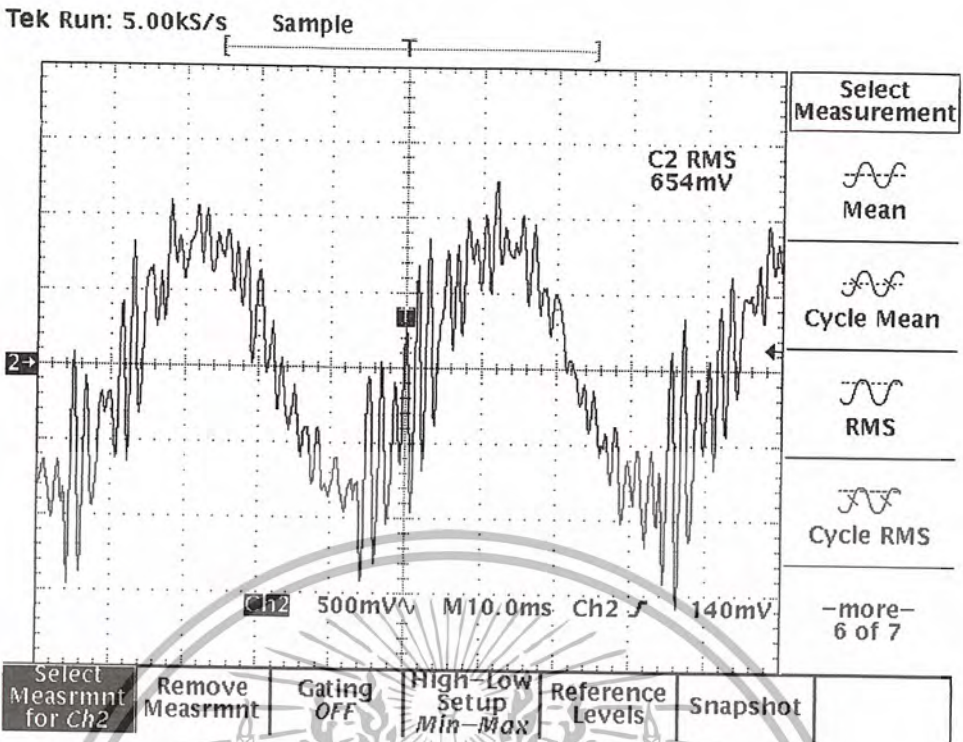


รูปที่ 7-4 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 16 g

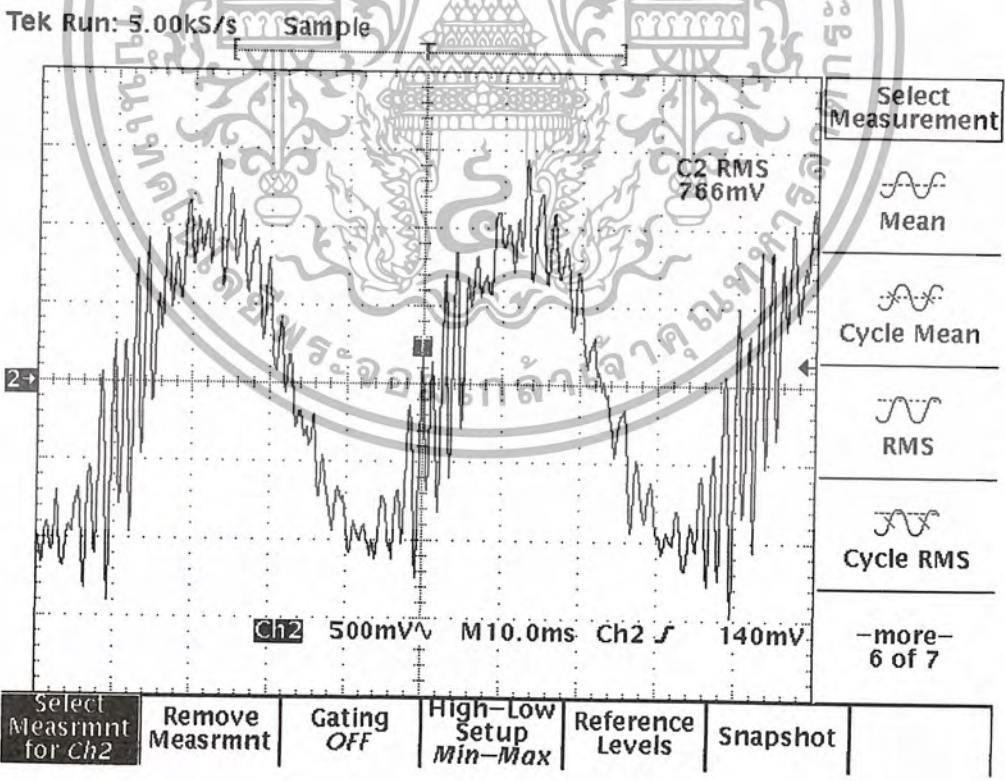


รูปที่ 7-5 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 18 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

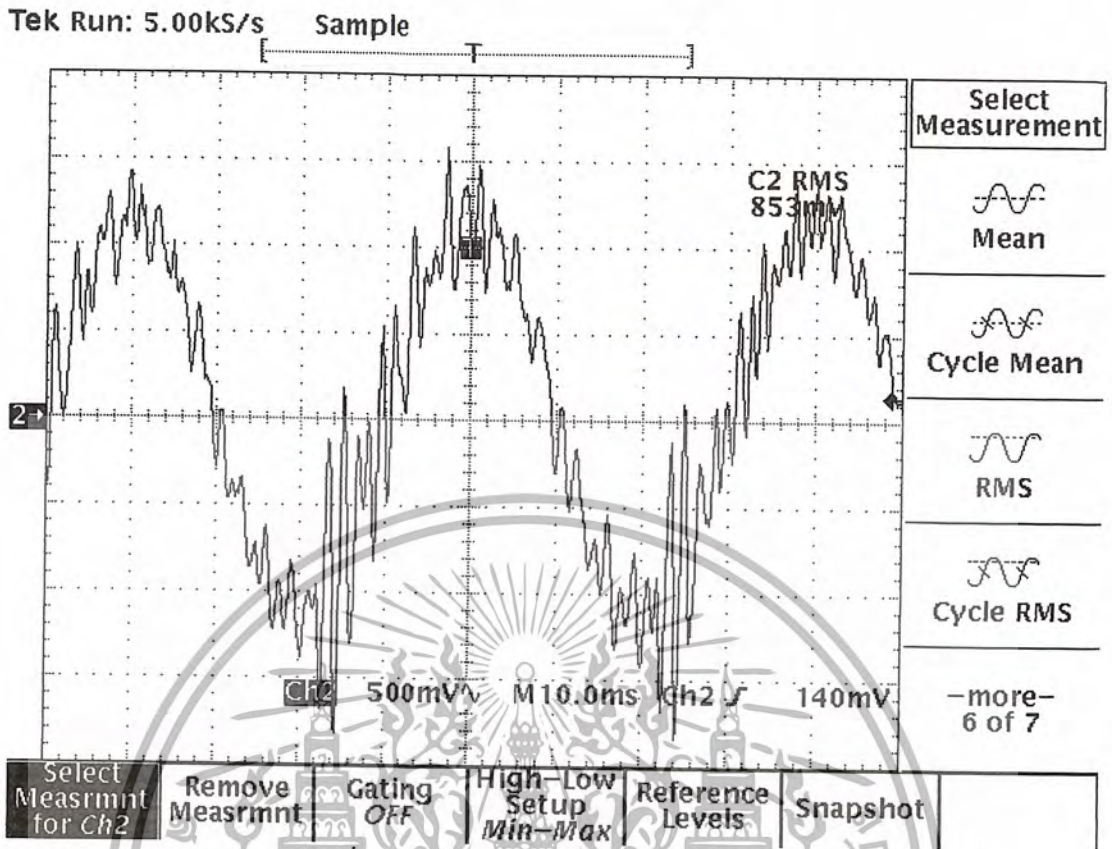


รูปที่ 7-6 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 20 g

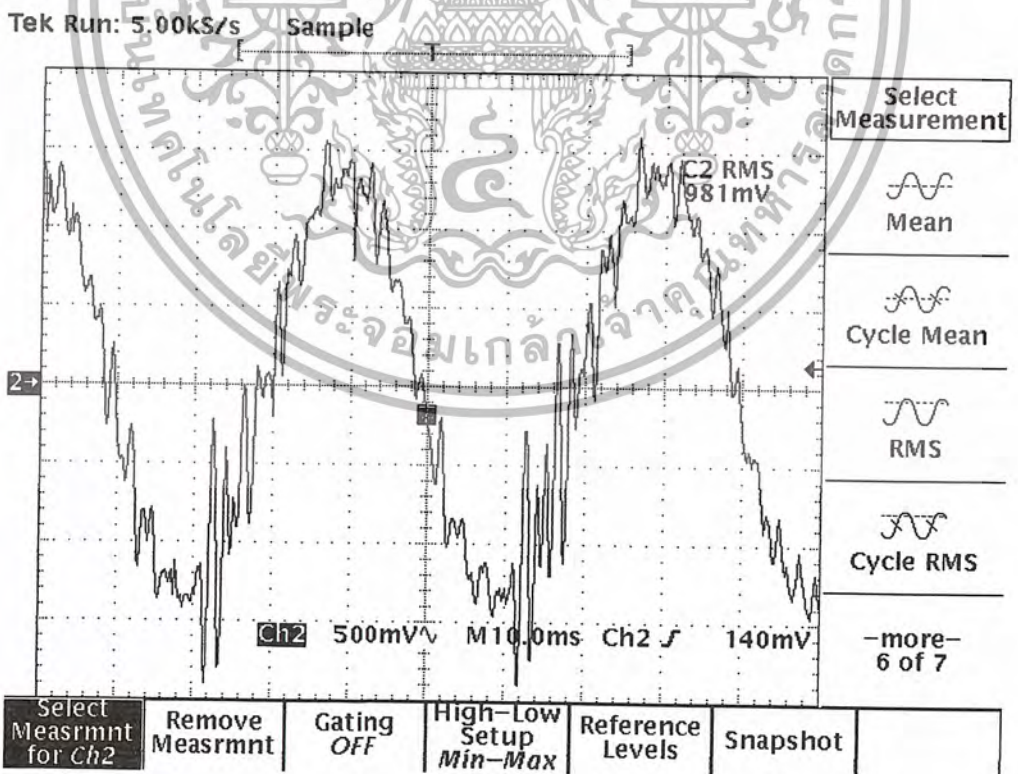


รูปที่ 7-7 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 22 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

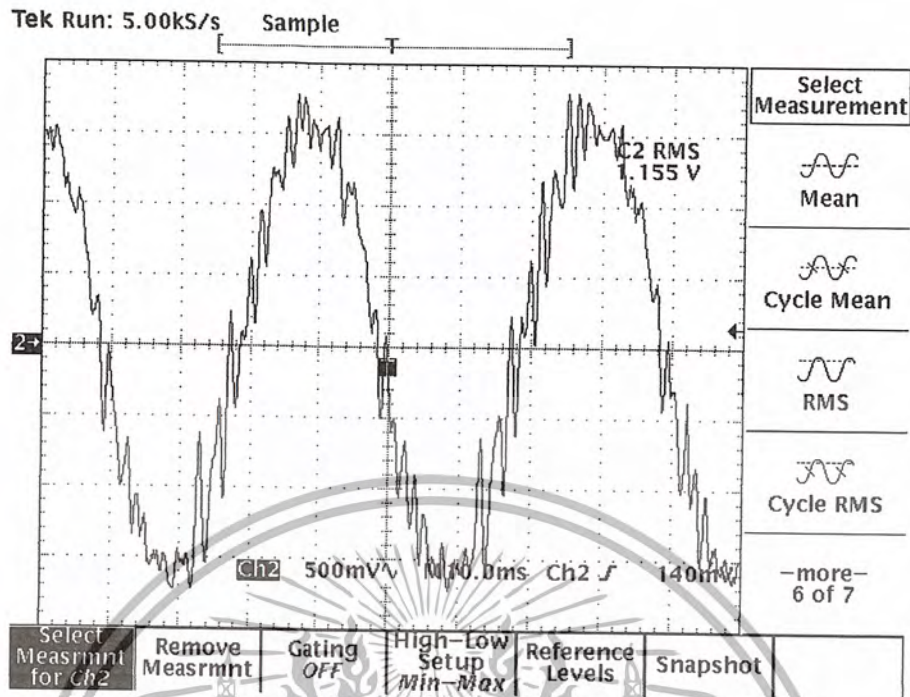


รูปที่ 7-8 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 24 g



รูปที่ 7-9 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 26g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

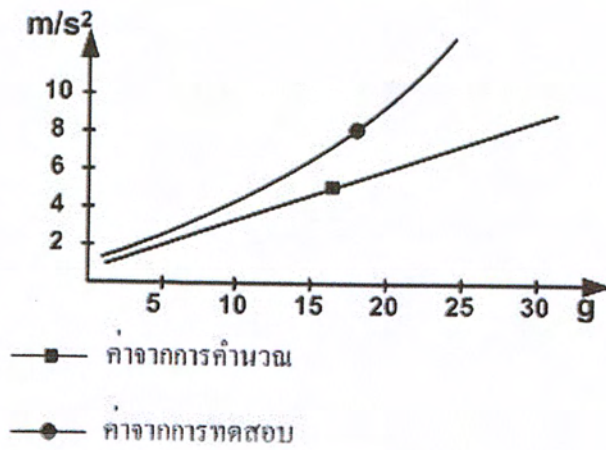


รูปที่ 7-10 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงขนาด 28 g

ตารางที่ 7-2 แสดงผลการทดลองที่ 7.2.1

มวลถ่วง (g)	ค่าที่วัดได้ (v)	อัตราเร่ง (m/s ²)	อัตราเร่งที่เพิ่มขึ้น(m/s ²)		
			ทดลอง	คำนวณ	
0	233.5	2.279	0	0	0
14	487.5	4.780	2.501	2.373	-5.4
16	588.0	5.765	3.485	2.712	-28
18	645.5	6.329	4.050	3.051	-32
20	743.0	7.285	5.006	3.390	-49
22	825.0	8.089	5.810	3.729	-55
24	904.5	8.869	6.591	4.068	-62
26	1091.1	10.690	8.411	4.407	-90.8
28	1190.0	10.780	8.501	4.746	-79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับอัตราเร่ง

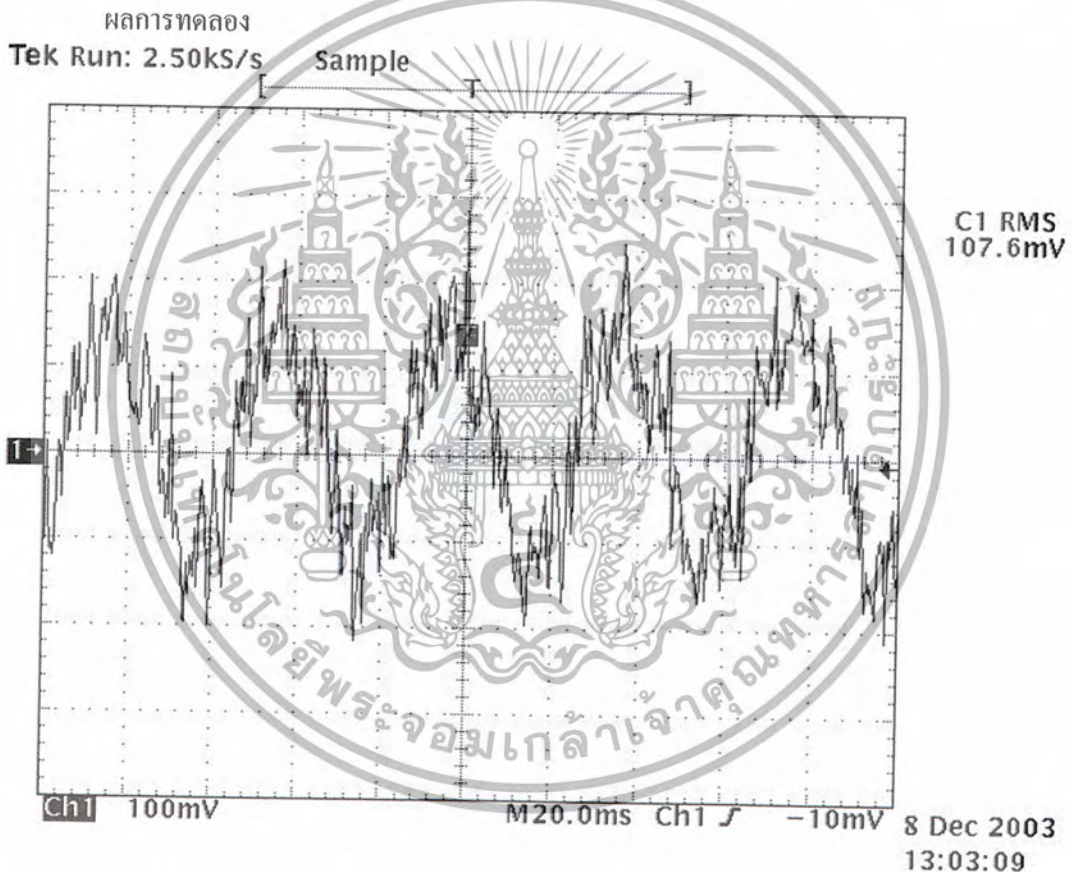


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 ความไม่สมดุลในการหมุนจากระยะห่างของมวลถ่วง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการสตาร์ทมอเตอร์ซึ่งติดตั้ง Flywheel เพียงอย่างเดียวแล้วอ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดนาน ประมาณ 1 นาทีบันทึกผลการทดลอง
2. ใช้มวลขนาด 14 g ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของ Flywheel ที่ระยะห่าง 8 cm. บันทึกผลการทดลอง
3. ใช้มวลขนาดเดิมแต่เปลี่ยนเป็นระยะ 5.5 cm. บันทึกผลการทดลอง
4. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 กับมวลขนาด 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 g บันทึกผลการทดลอง
5. นำผลการทดลองที่ได้ไปวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์



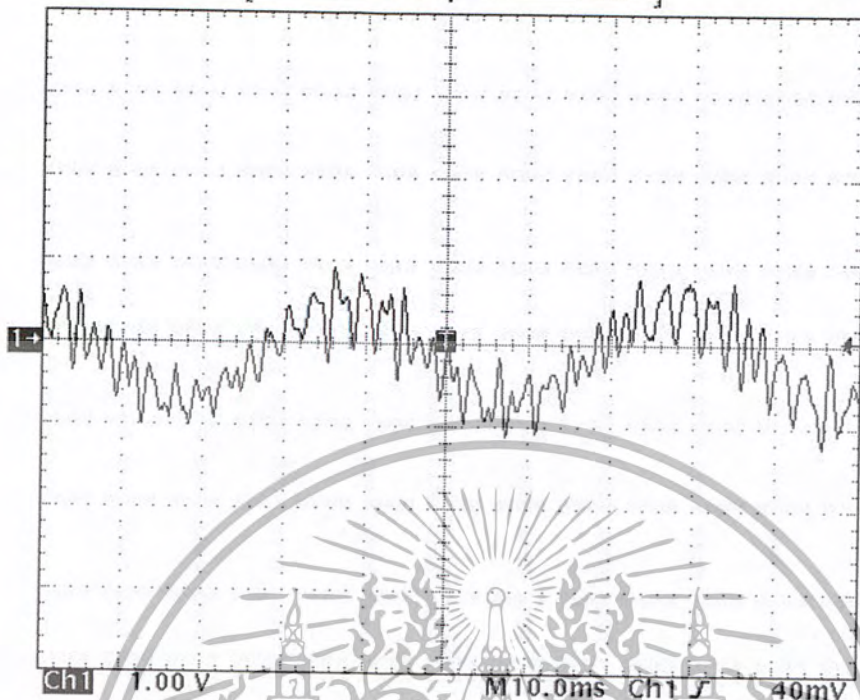
รูปที่ 7-12 มอเตอร์ขณะมี Flywheel เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะ 5.5 cm

Tek Run: 5.00kS/s

Sample

C1 RMS
504mV

Ch1

1.00 V

M10.0ms

Ch1

40mV

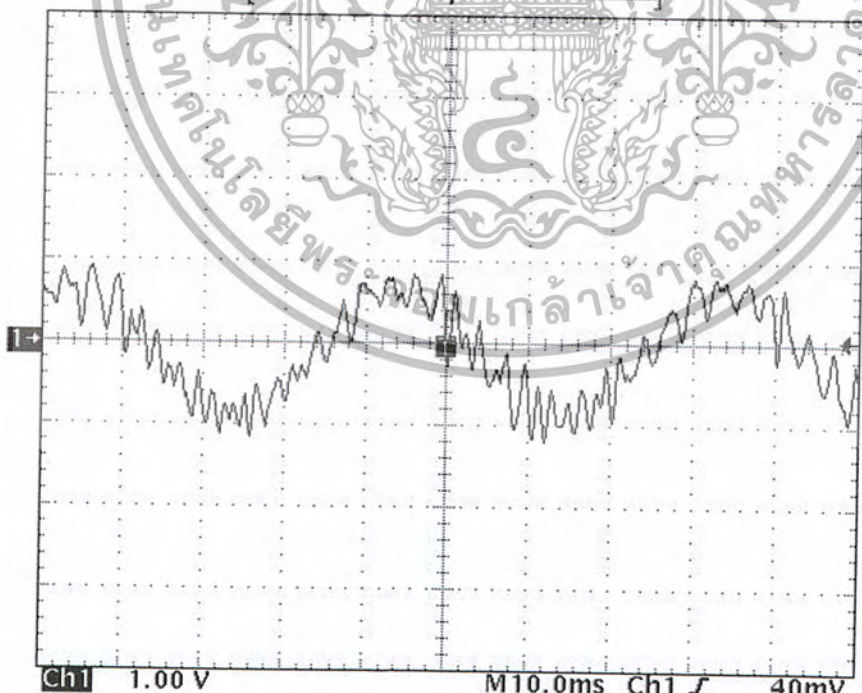
8 Dec 2003

13:35:31

รูปที่ 7-13 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 16 g

Tek Run: 5.00kS/s

Sample

C1 RMS
580mV

Ch1

1.00 V

M10.0ms

Ch1

40mV

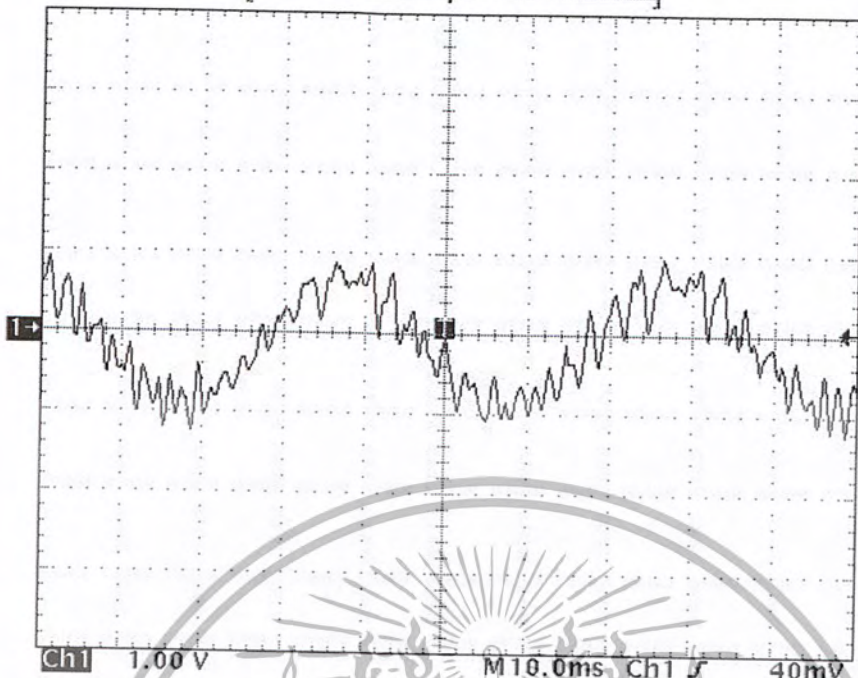
8 Dec 2003

13:41:45

รูปที่ 7-14 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 18 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Run: 5.00kS/s Sample



C1 RMS 600mV

Ch1 1.00 V

M 10.0ms

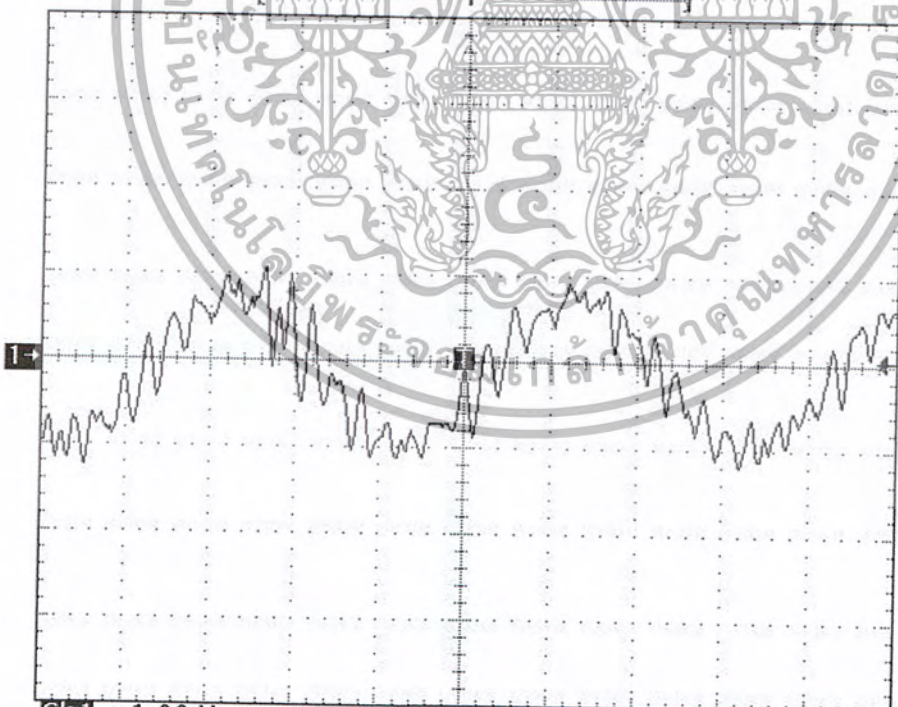
Ch1

40mV

8 Dec 2003 13:52:51

รูปที่ 7-15 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 20 g

Tek Run: 5.00kS/s Sample



C1 RMS 654mV

Ch1 1.00 V

M 10.0ms

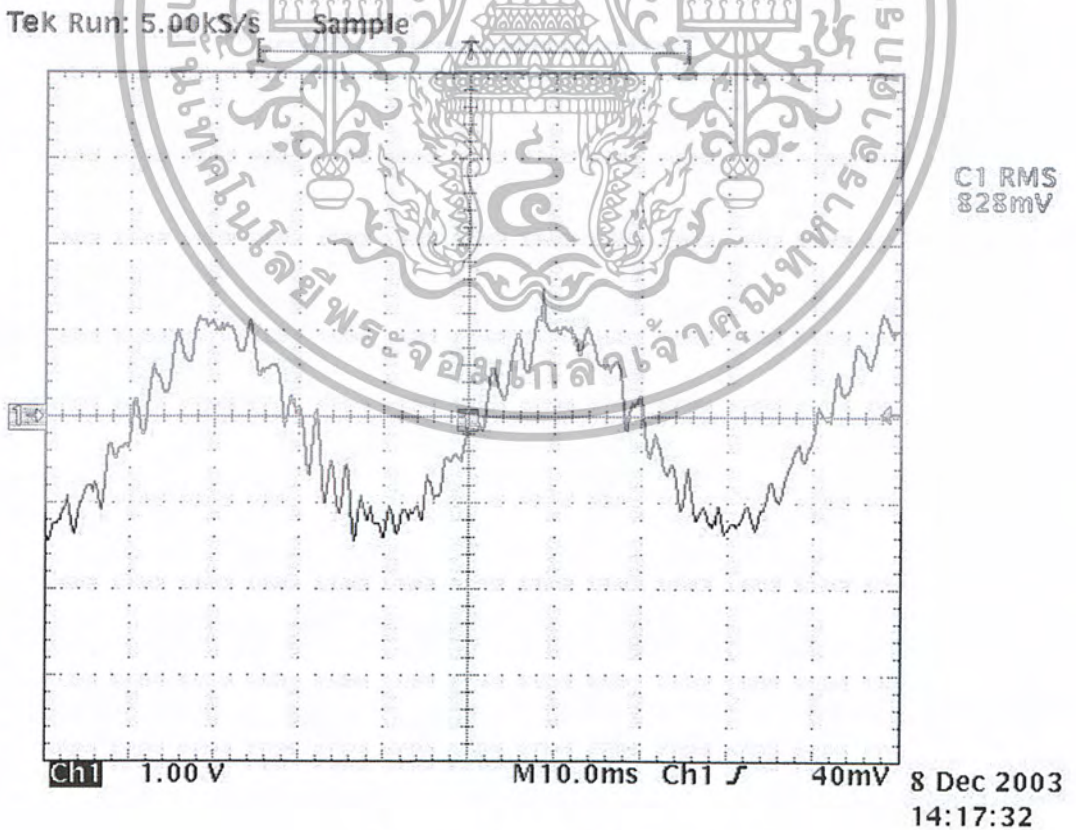
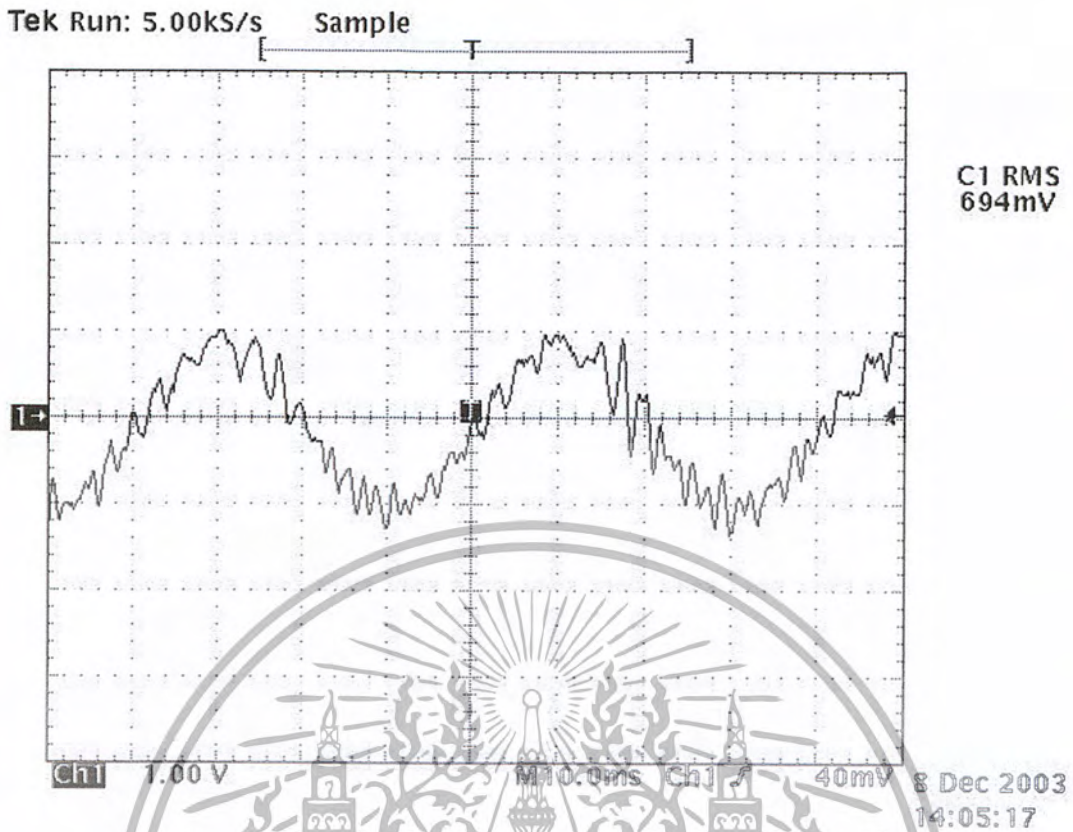
Ch1

40mV

8 Dec 2003 13:59:04

รูปที่ 7-16 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 22 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



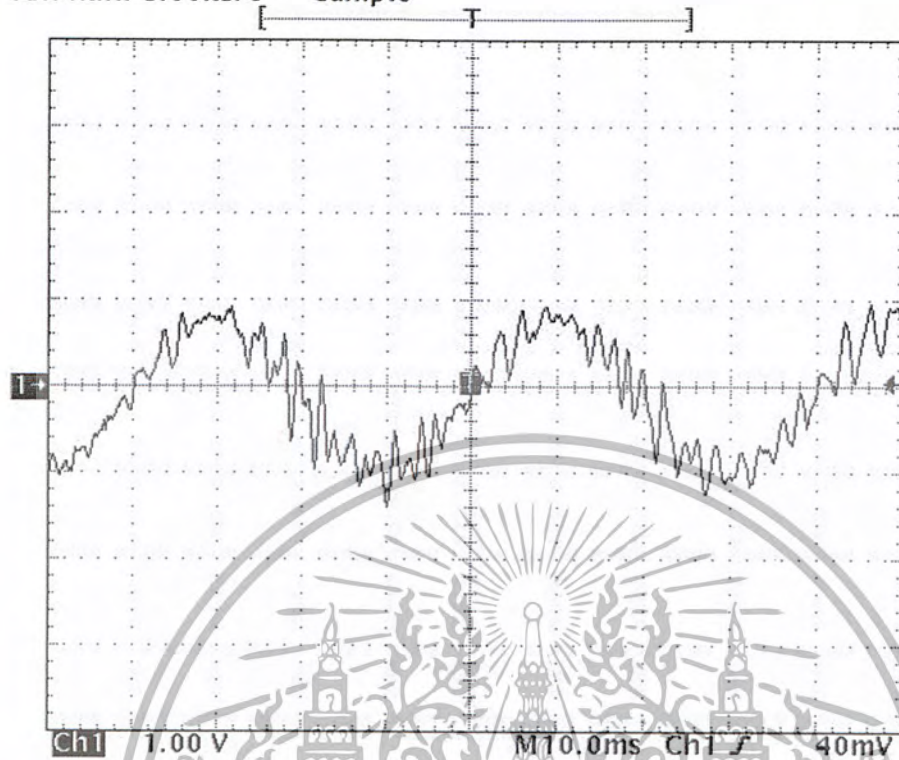
รูปที่ 7-18 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 28 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะ 8.0 cm

Tek Run: 5.00kS/s

Sample



C1 RMS
650mV

Ch1

1.00 V

M10.0ms

Ch1

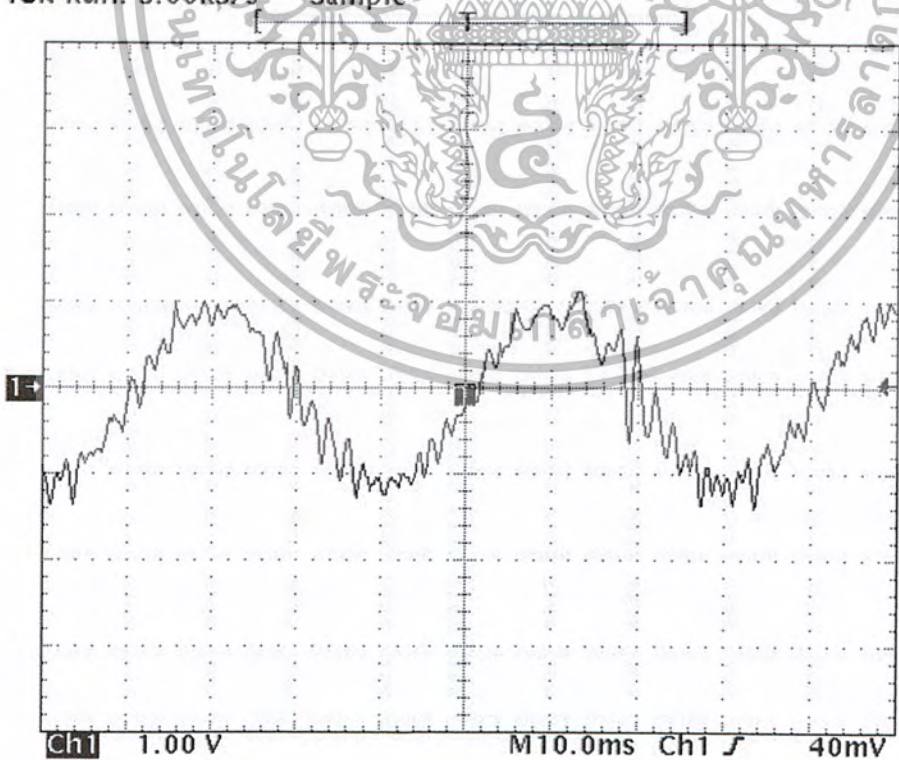
40mV

8 Dec 2003
13:37:49

รูปที่ 7-19 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วง 16g

Tek Run: 5.00kS/s

Sample



C1 RMS
750mV

Ch1

1.00 V

M10.0ms

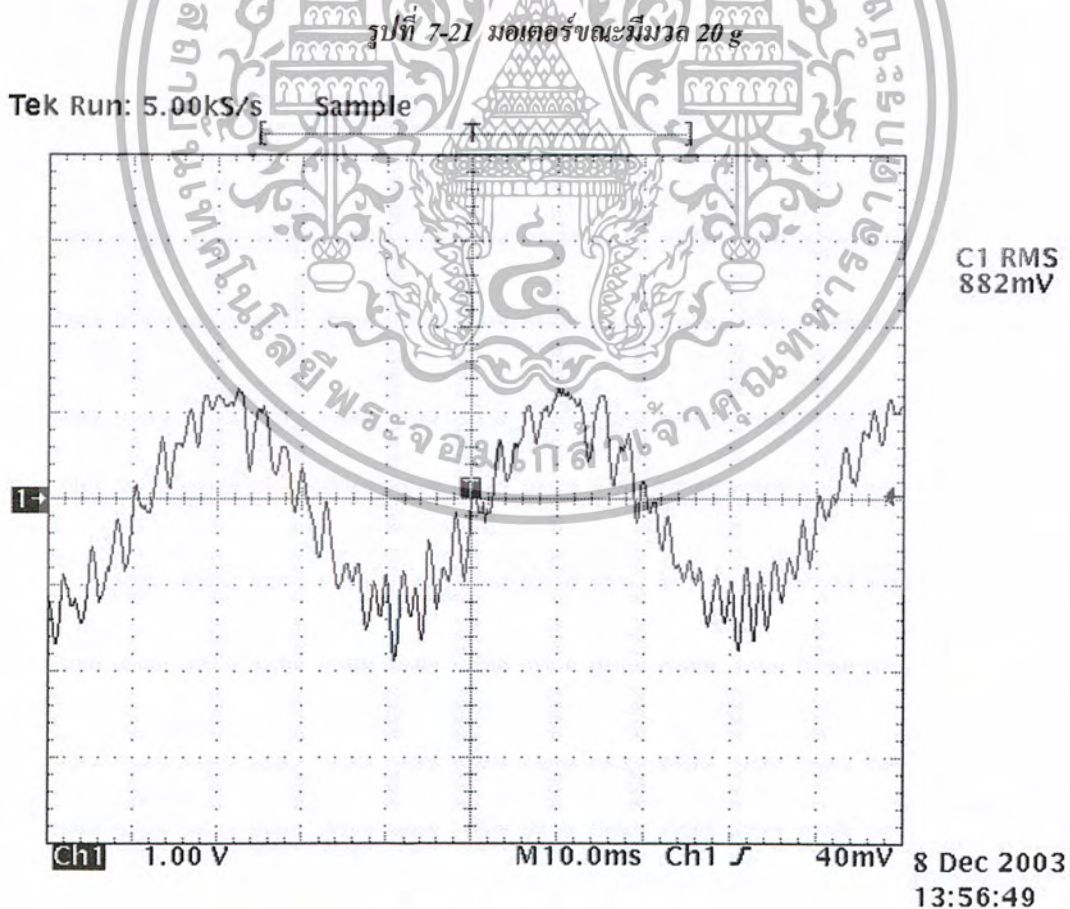
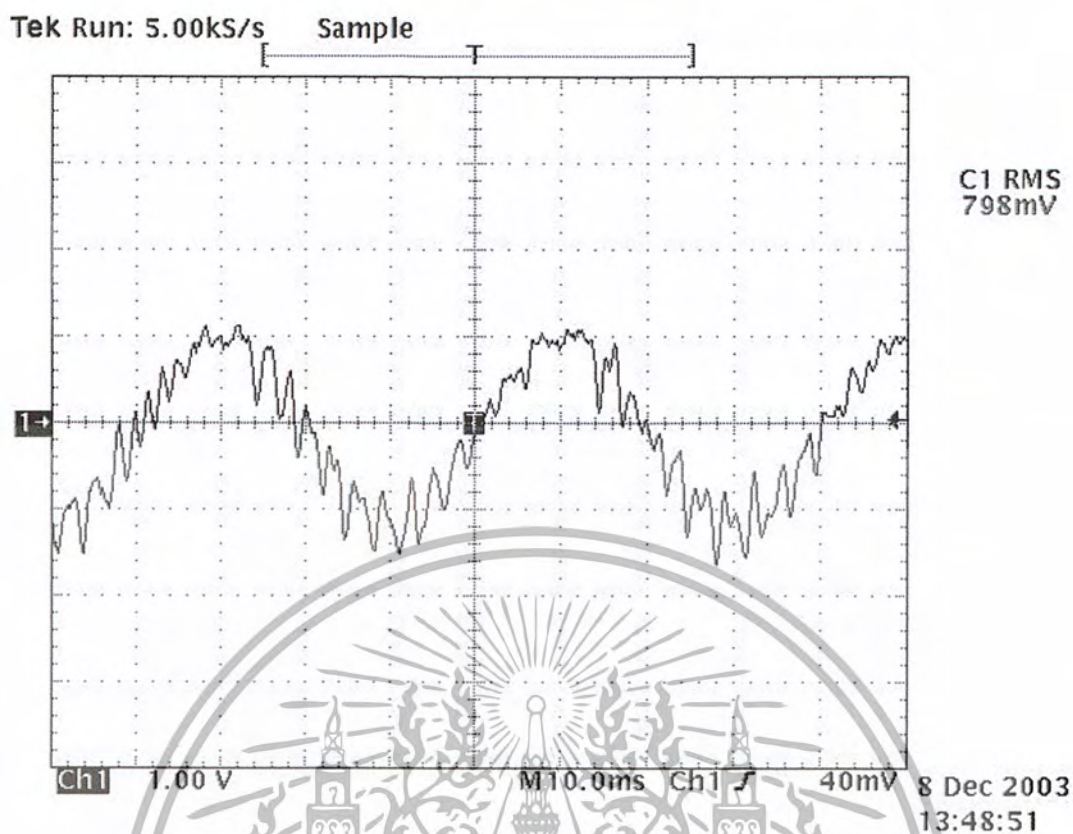
Ch1

40mV

8 Dec 2003
13:43:59

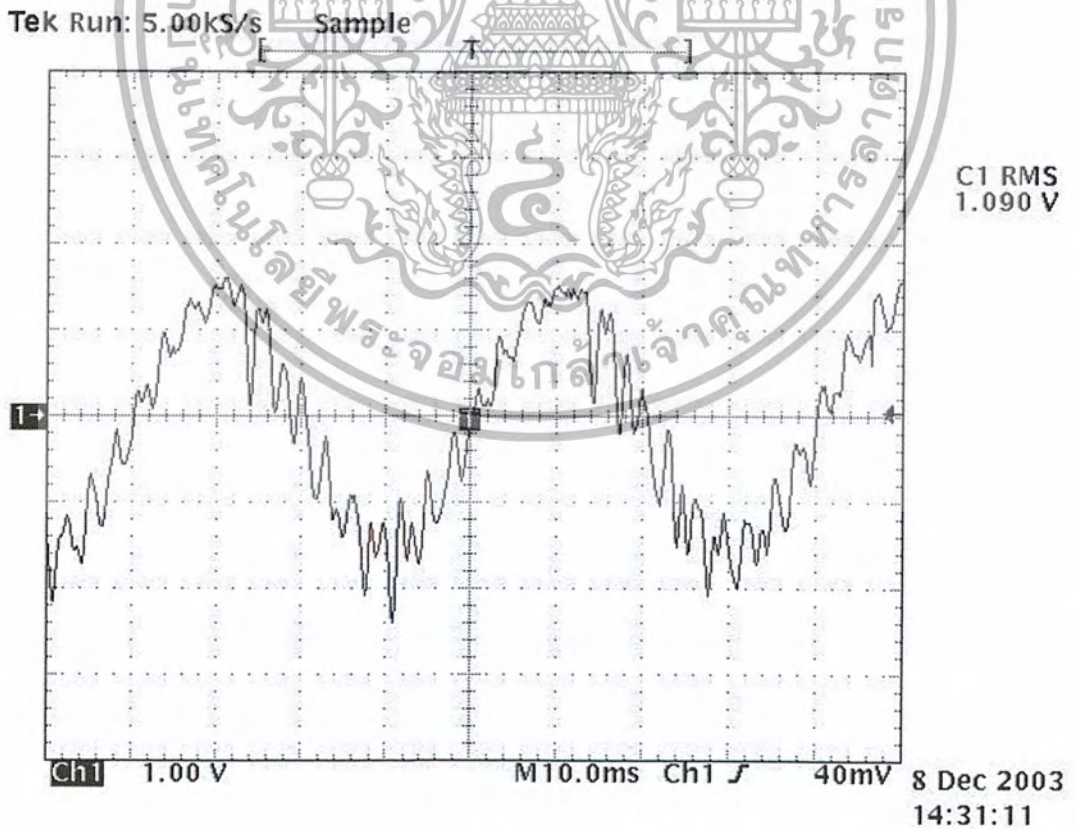
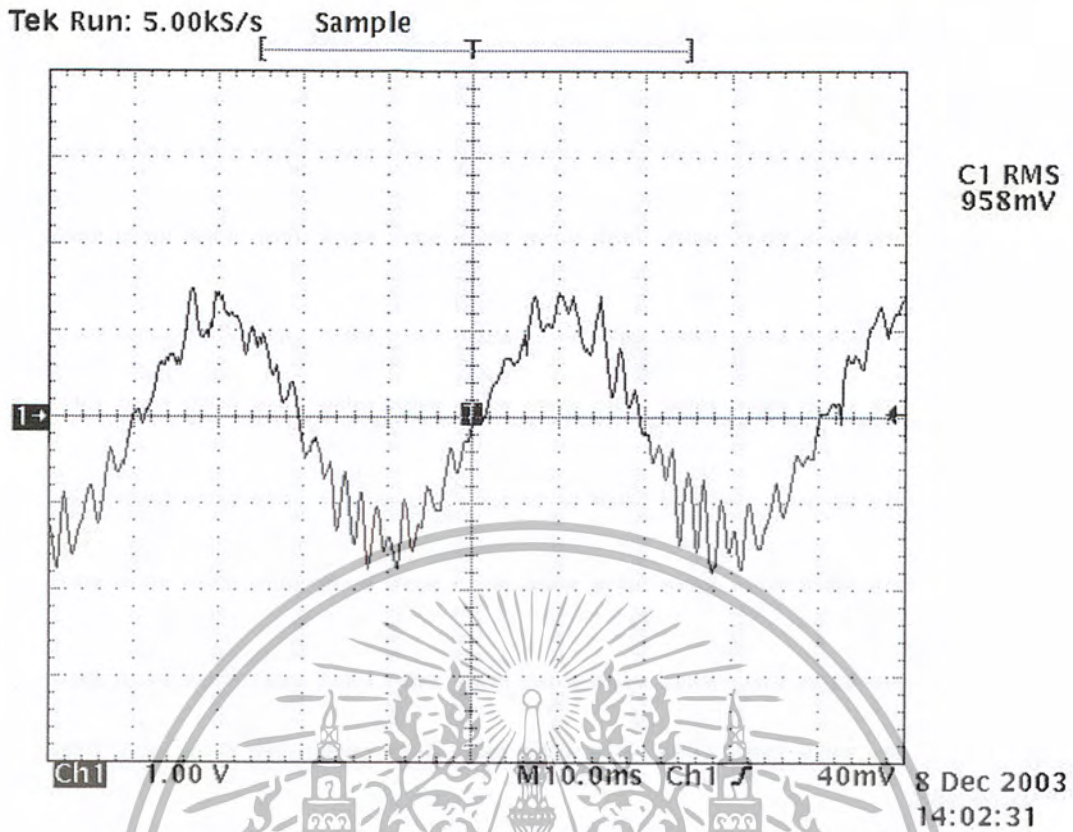
รูปที่ 7-20 มอเตอร์ขณะมีมวล 18g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-22 มอเตอร์ขณะมีมวล 22 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



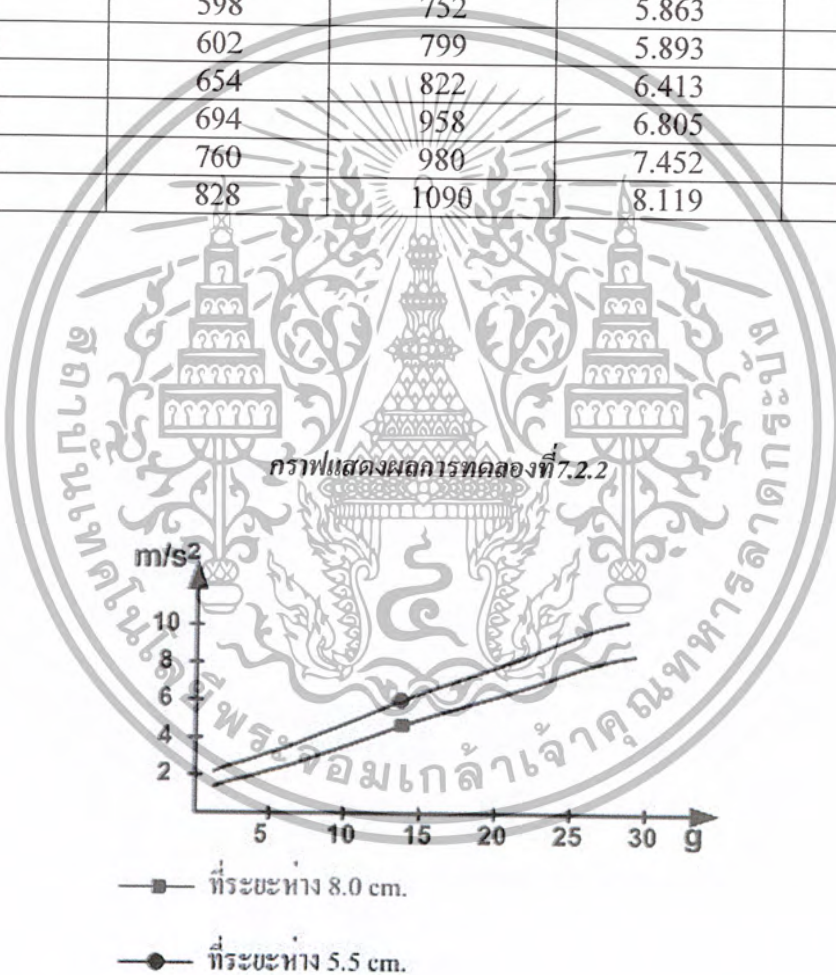
รูปที่ 7-24 มอเตอร์ขณะมีมวล 28 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7-3 แสดงผลการทดลองที่ 7.2.2

ขณะมอเตอร์มี Flywheel เพียงอย่างเดียวมีอัตราเร่งเท่ากับ 2.279 m/s^2

น้ำหนักมวลถ่วง (g)	ค่าที่วัดได้(mv)		ค่าอัตราเร่ง(m/s ²)	
	r ₁ =5.5 cm.	r ₂ =8.0 cm.	r ₁ =5.5 cm.	r ₂ =8.0 cm.
14	469	583	4.599	5.716
16	590	649	4.991	6.364
18	598	752	5.863	7.374
20	602	799	5.893	7.834
22	654	822	6.413	8.060
24	694	958	6.805	8.394
26	760	980	7.452	9.609
28	828	1090	8.119	10.688



รูปที่ 7-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งกับมวลถ่วงที่ระยะ 5.5 cm. และ 8.0 cm.

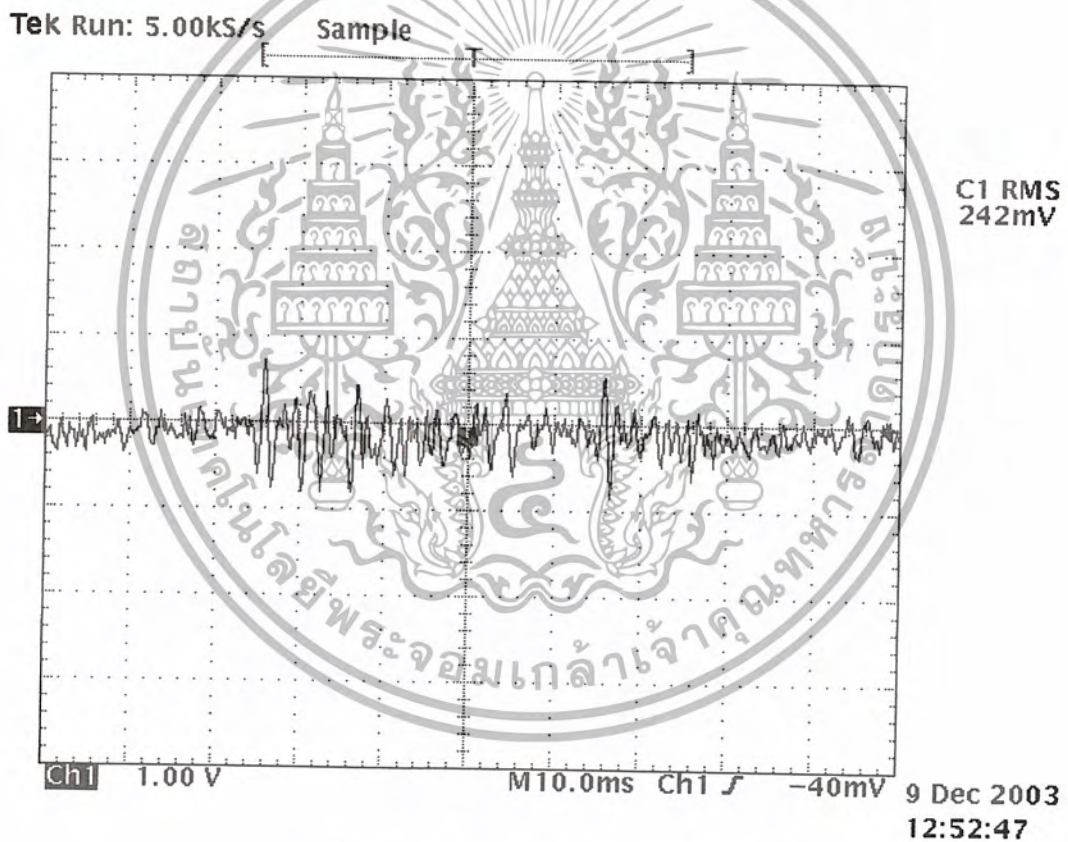
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.3 ความสมดุลของมวลถ่วง

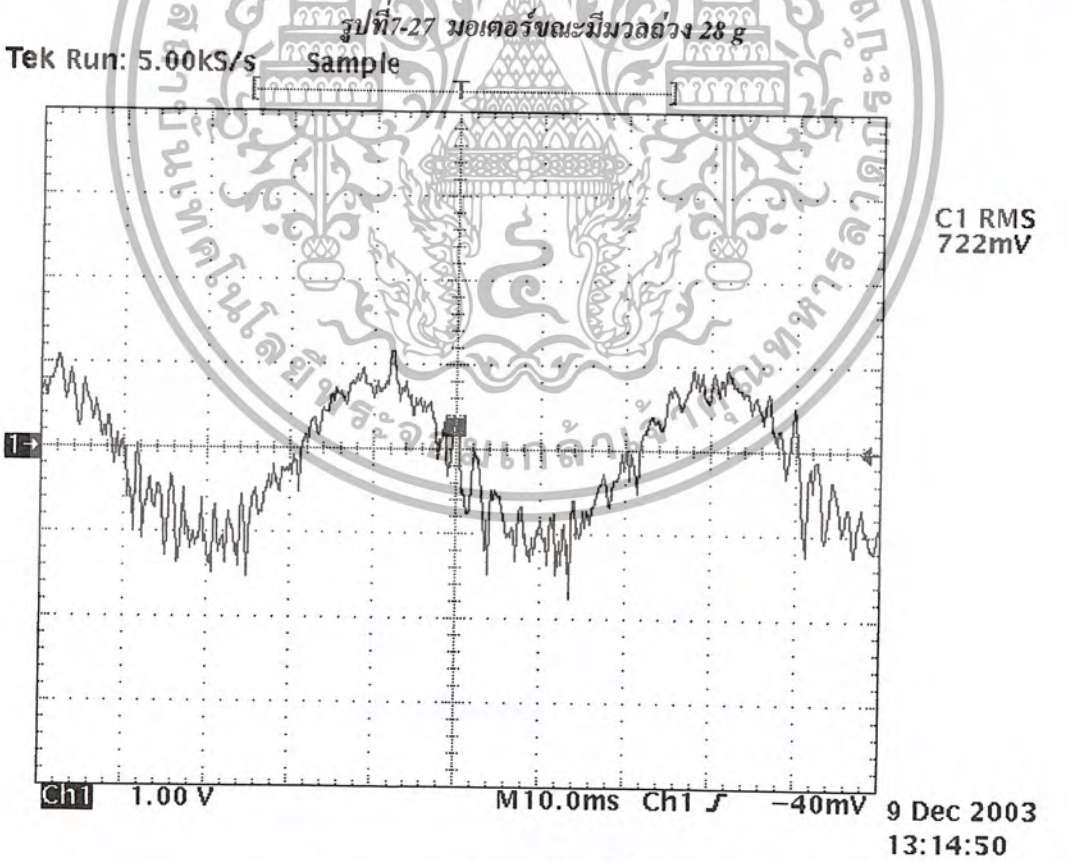
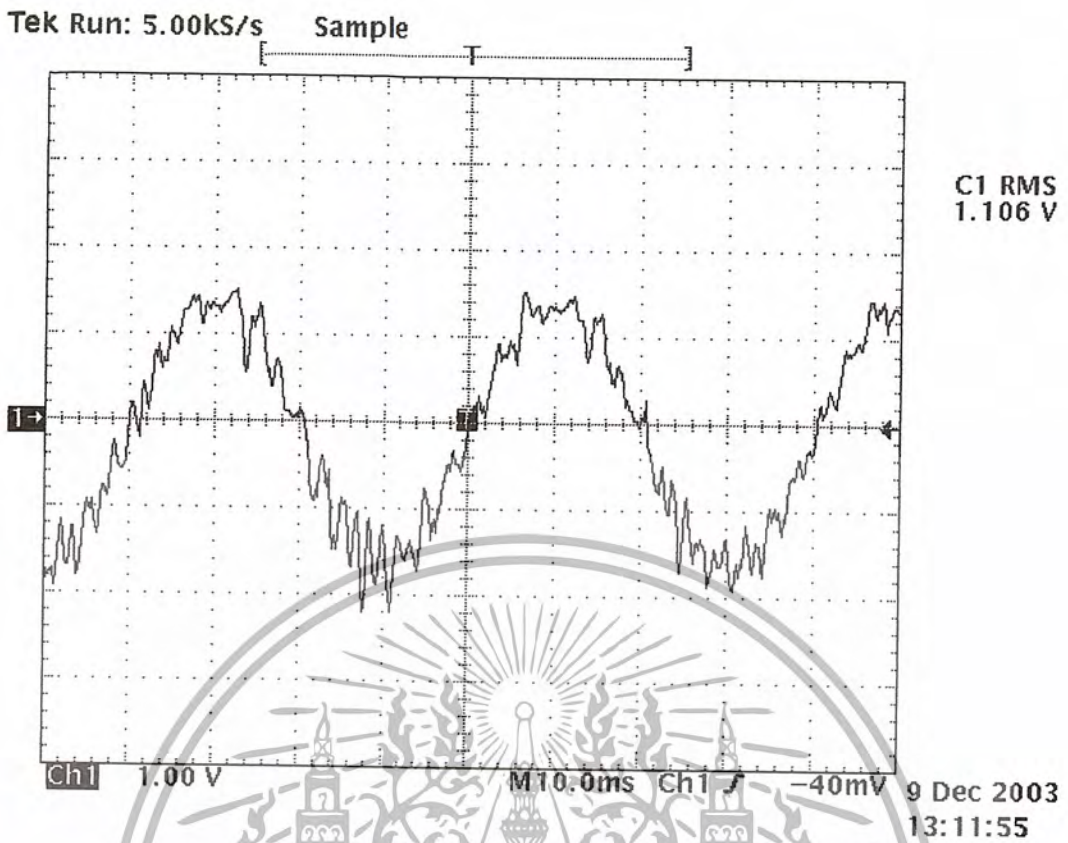
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการสตาร์ทมอเตอร์ซึ่งติดตั้ง Flywheel เพียงอย่างเดียวแล้วทำการอ่านค่าสูงสุดและต่ำสุดนานประมาณ 1 นาทีบันทึกผลการทดลอง
2. ใส่มวลขนาด 28 g ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลาง Flywheel 8.0 cm. บันทึกผลการทดลอง
3. ใส่มวลฝั่งตรงข้ามของมวล 28 g โดยเริ่มใส่ตั้งแต่ 14 ,16, 18, 20, 22, 24, 28 g บันทึกผลการทดลอง
4. หาค่าเฉลี่ยโดยคำนวณจากค่า (min/max)/2
5. นำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ

ผลการทดลอง

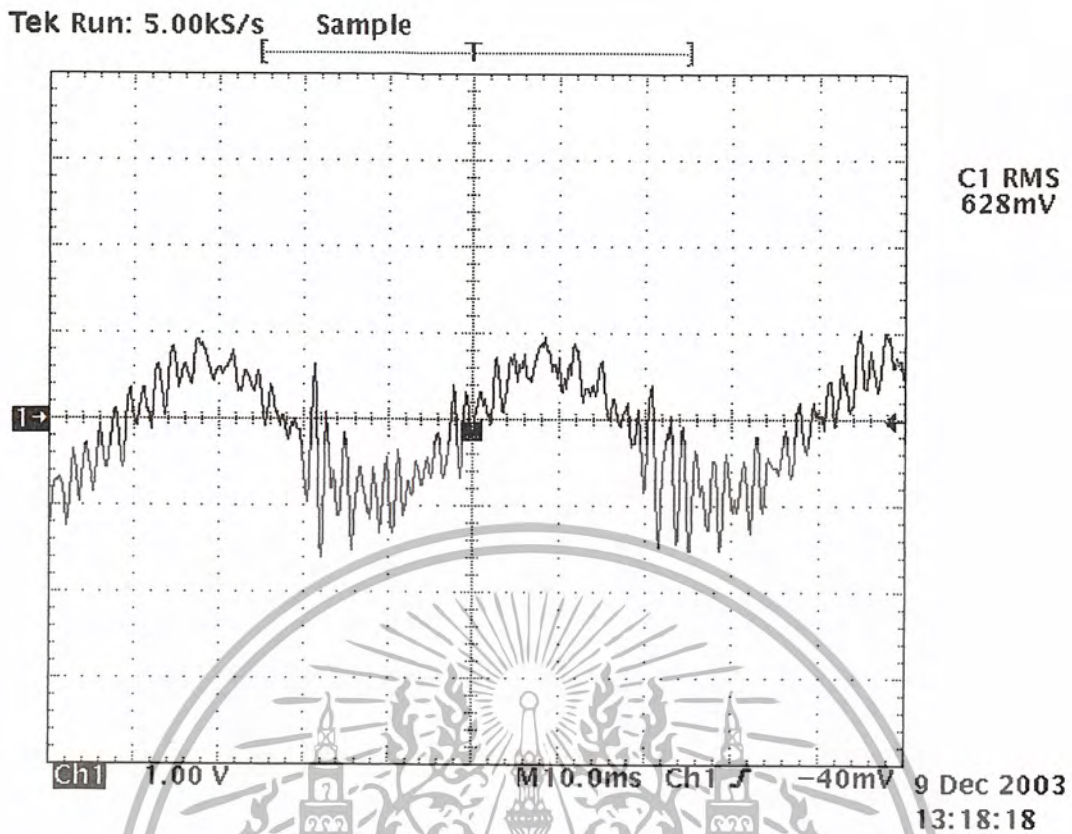


รูปที่ 7-26 มอเตอร์ขณะมี Flywheel เพียงอย่าง

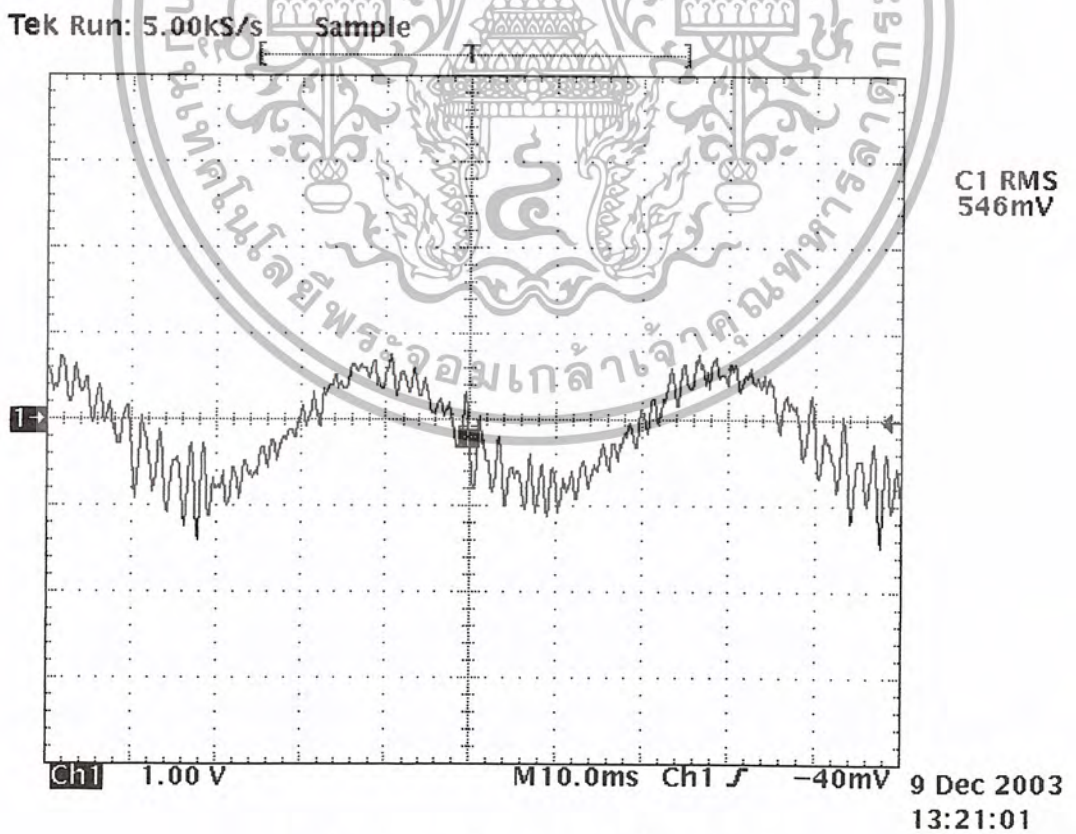


รูปที่ 7-28 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 14 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

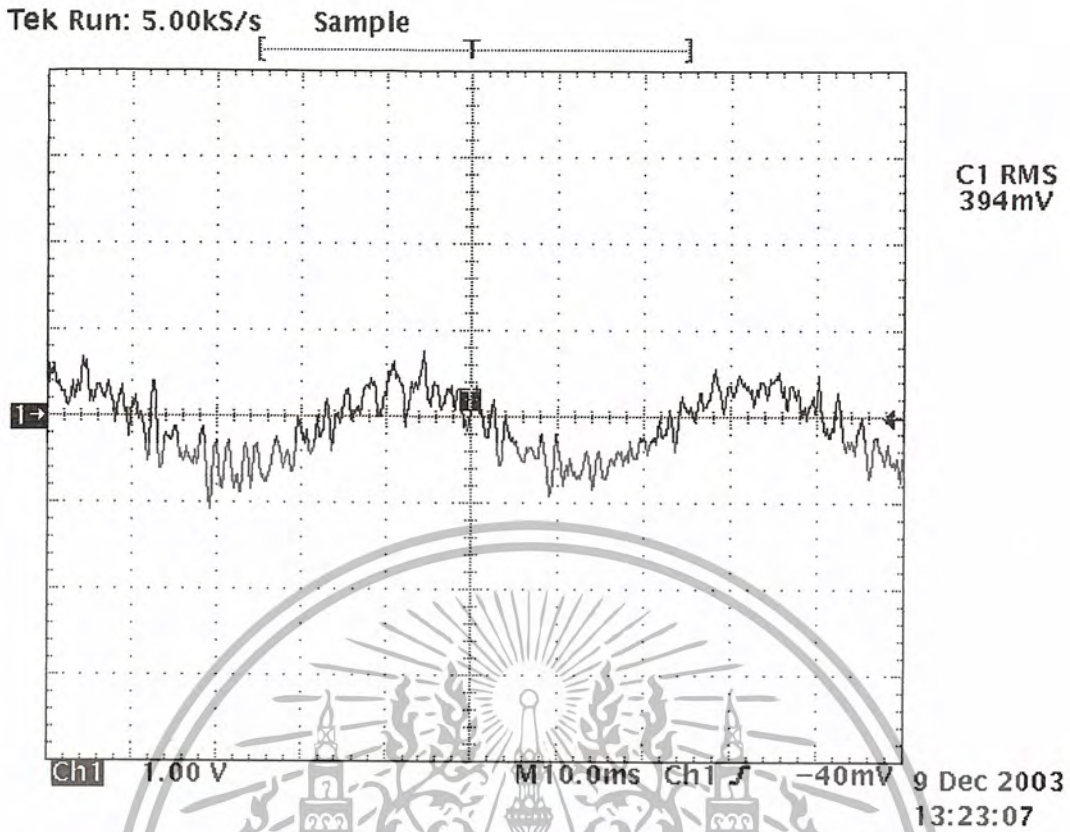


รูปที่7-29 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 16 g

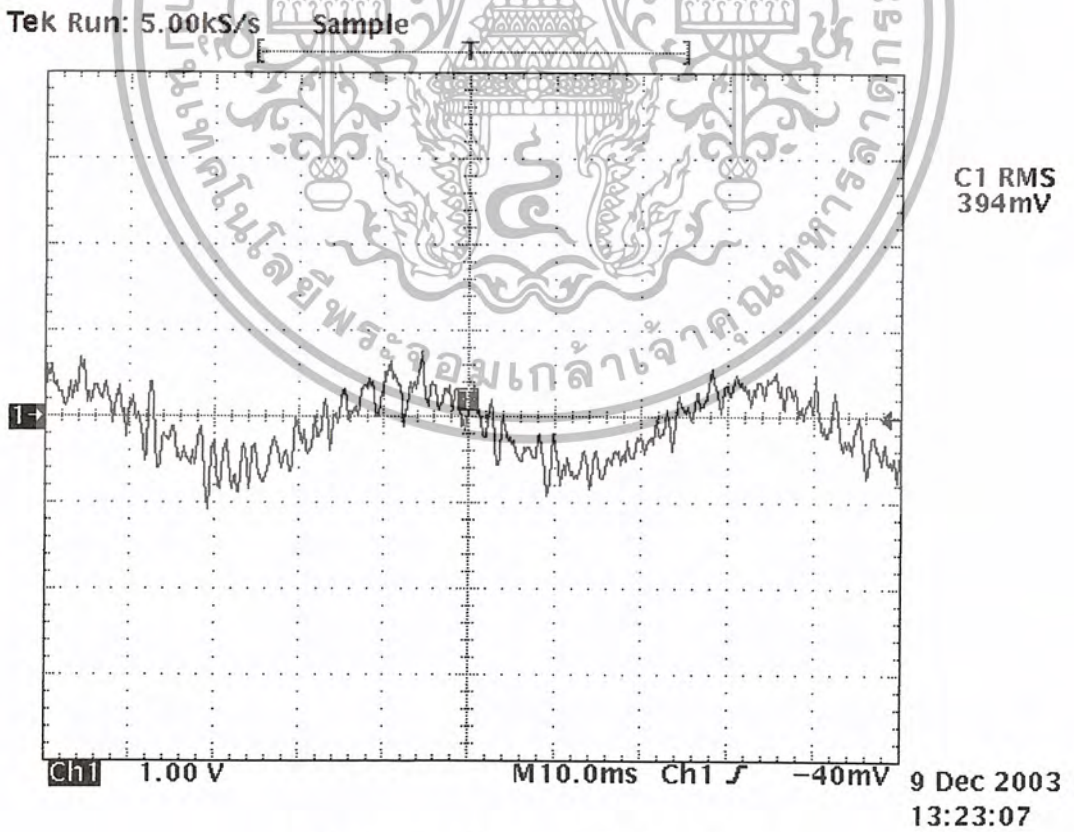


รูปที่7-30 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 18 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

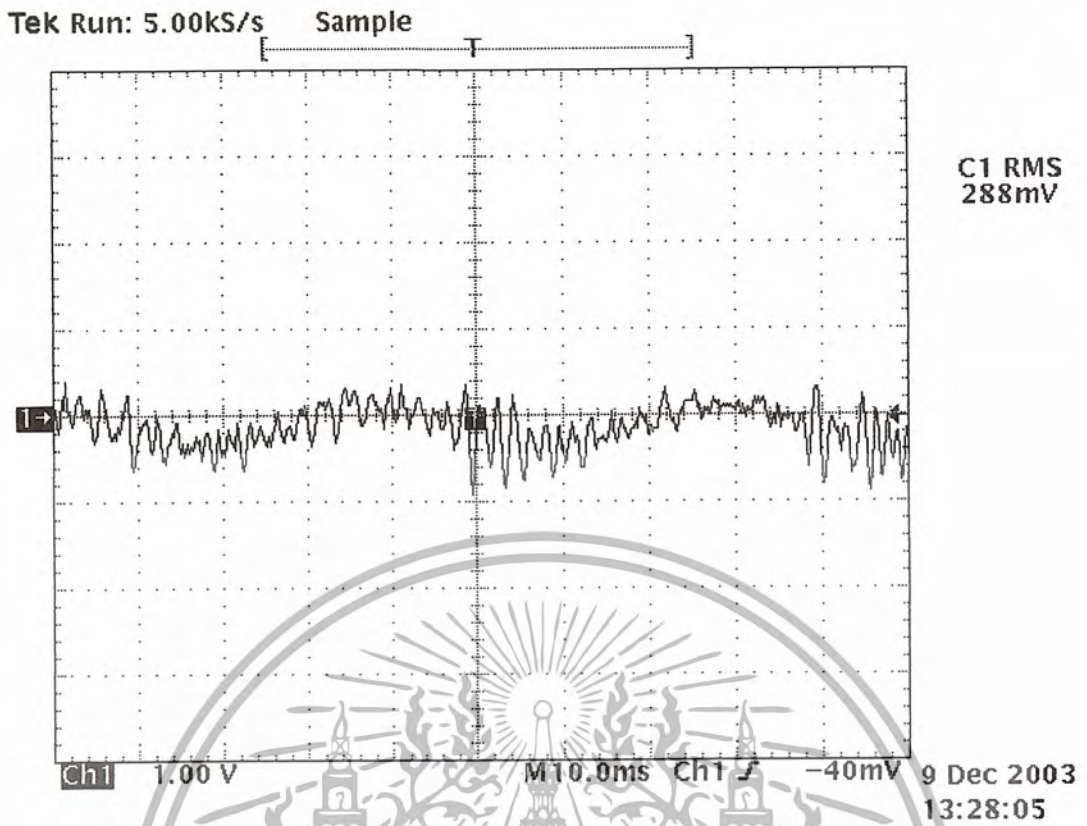


รูปที่7-31 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 20 g

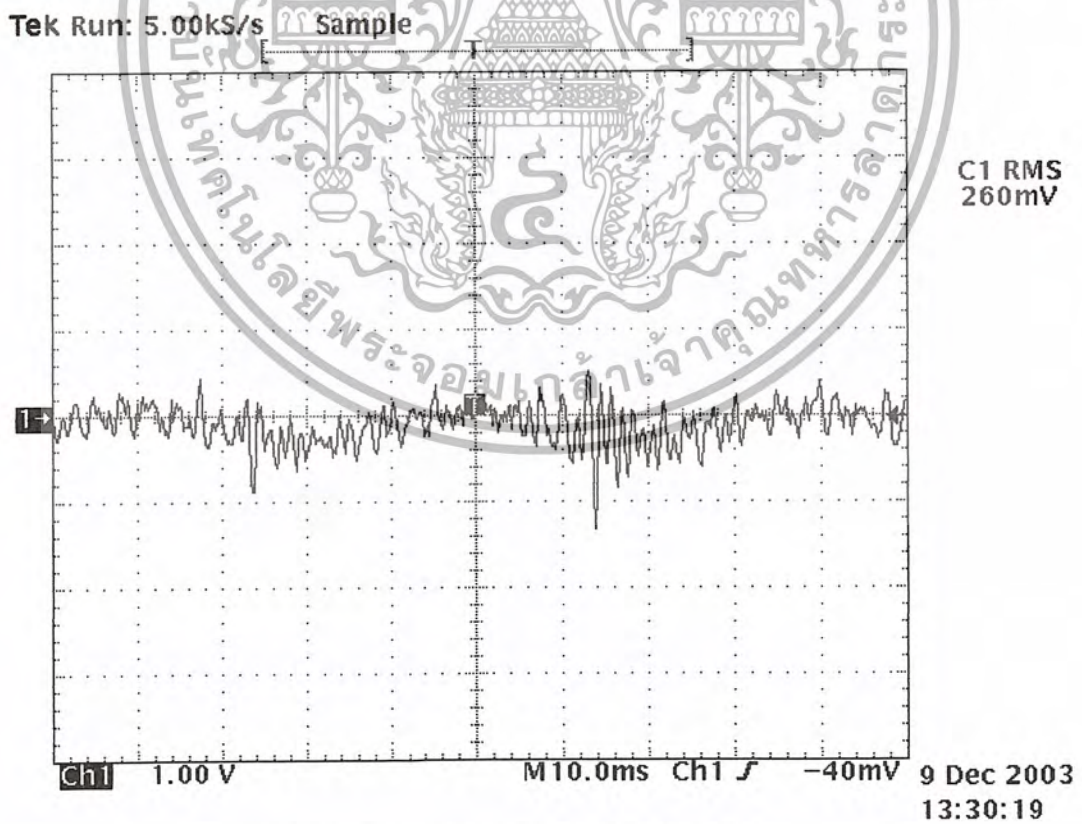


รูปที่7-32 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝั่งตรงข้าม 22 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

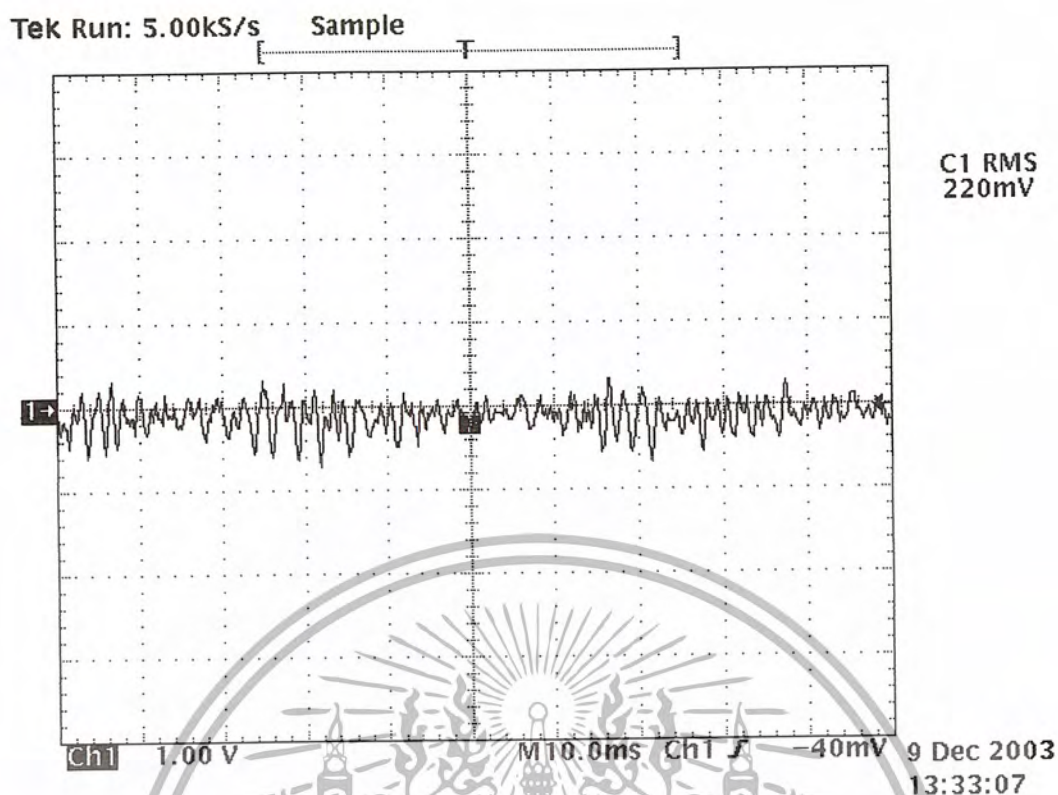


รูปที่ 7-33 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝังตรงข้าม 24 g.



รูปที่ 7-34 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝังตรงข้าม 26 g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-35 มอเตอร์ขณะมีมวลถ่วงฝังตรงข้าม 28 g.

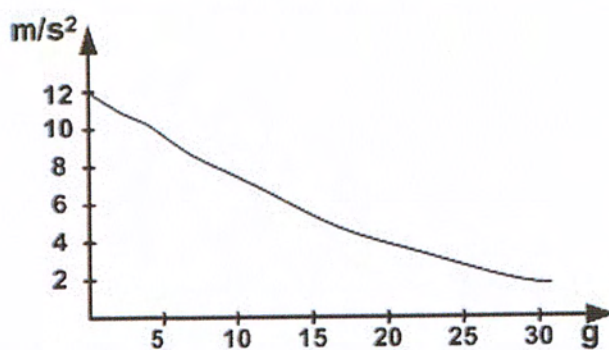
ตารางที่ 7-4 แสดงผลการทดลองที่ 7.2.3

ขณะมอเตอร์มี Flywheel เพียงอย่างเดียวมีค่าอัตราเร่งเท่ากับ 2.279 m/s^2

มวลถ่วงสมดุล(m) (g)	ค่าที่วัดได้ (mv)	ค่าอัตราเร่ง (m/s^2)
0	1106	10.845
14	688	6.746
16	604	5.922
18	539	5.285
20	401	3.932
22	346	3.392
24	303	2.970
26	265	2.598
28	233	2.284

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 7.2.3



รูปที่ 7-36 แสดงผลของอัตราเร่งที่ลดลงตามขนาดความสมดุลของมวลถ่วง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.4 การหาตำแหน่งของมวลถ่วงโดยวิธีการวัดเฟส

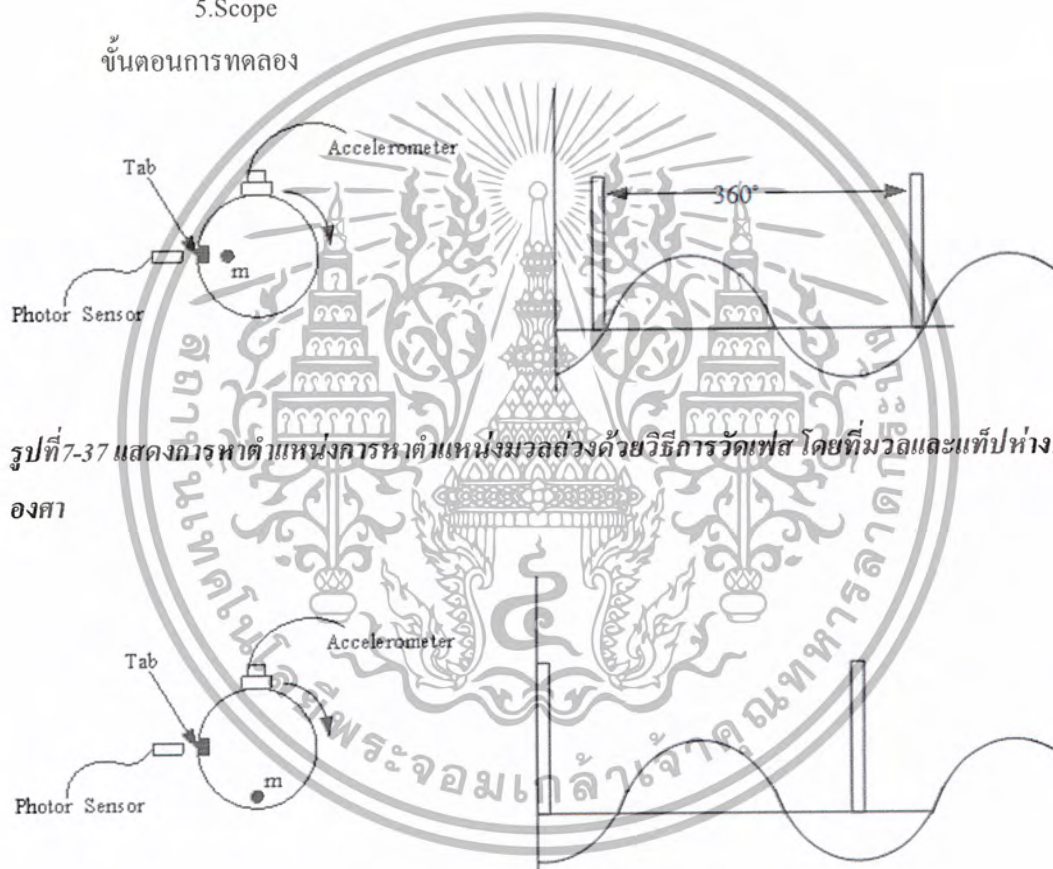
วัตถุประสงค์

1. สามารถหาตำแหน่งของมวลที่ไม่สมดุลได้
2. สามารถแก้ไขการสั่นสะเทือนเบื้องต้นได้

อุปกรณ์การทดลอง

1. Accelerometer
2. Induction Motor ติด Flywheel ตั้งบนฐานสปริง
3. Photo sensor
4. มวลถ่วง 14 g
5. Scope

ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 7-37 แสดงการหาตำแหน่งการหาตำแหน่งมวลถ่วงด้วยวิธีการวัดเฟส โดยที่มวลและแท็บห่างกัน 0 องศา

รูปที่ 7-38 แสดงการหาตำแหน่งการหาตำแหน่งมวลถ่วงด้วยวิธีการวัดเฟส โดยที่มวลและแท็บห่างกัน 90 องศา

- สัญญาณรูปคลื่น sine ที่เกิดขึ้นคือสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มาจากมวลที่ไม่สมดุล
- สัญญาณรูปคลื่นแท่งสี่เหลี่ยมคือสัญญาณที่ photo sensor วัดได้จากแท็บ

พิจารณาที่ตำแหน่งการเกิดของทั้งสองรูปคลื่นซึ่งเราจะใช้รูปคลื่นจาก photo sensor เป็นตัวอ้างอิง โดยรูปคลื่น sine ที่เกิดขึ้นห่างจากรูปคลื่นจาก photo sensor เท่าไหร่ นั่นคือตำแหน่งมวลที่ทำให้เกิดการ

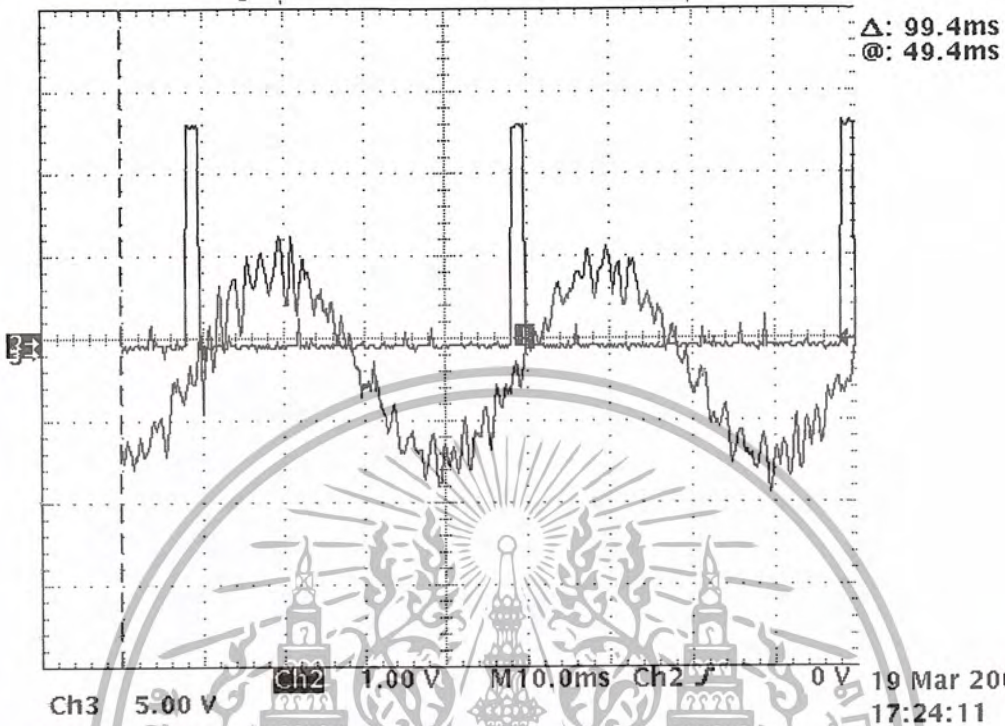
ไม่สมดุลวางอยู่ในทิศทางทวนการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 7.2.4

Tek Stop: 5.00kS/s

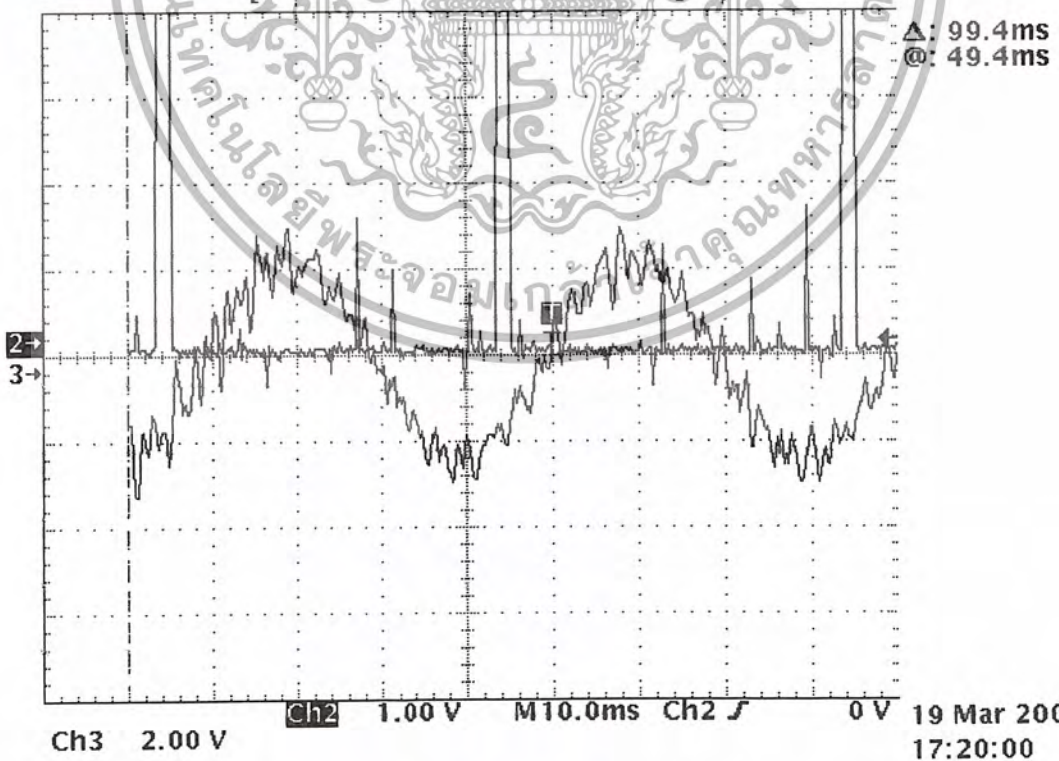
37 Acqs



รูปที่ 7-39 แสดงตำแหน่งมวลด่วงห่างจากแท็บเป็นมุม 0 องศา

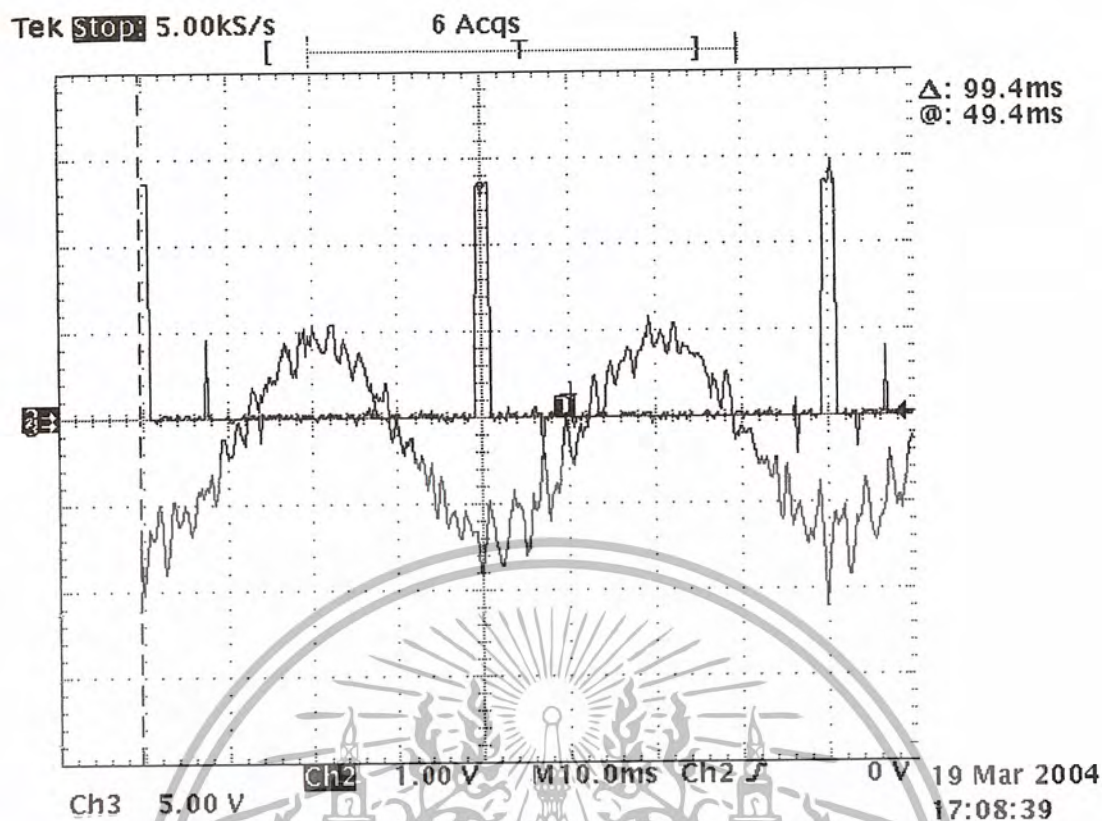
Tek Stop: 5.00kS/s

139 Acqs

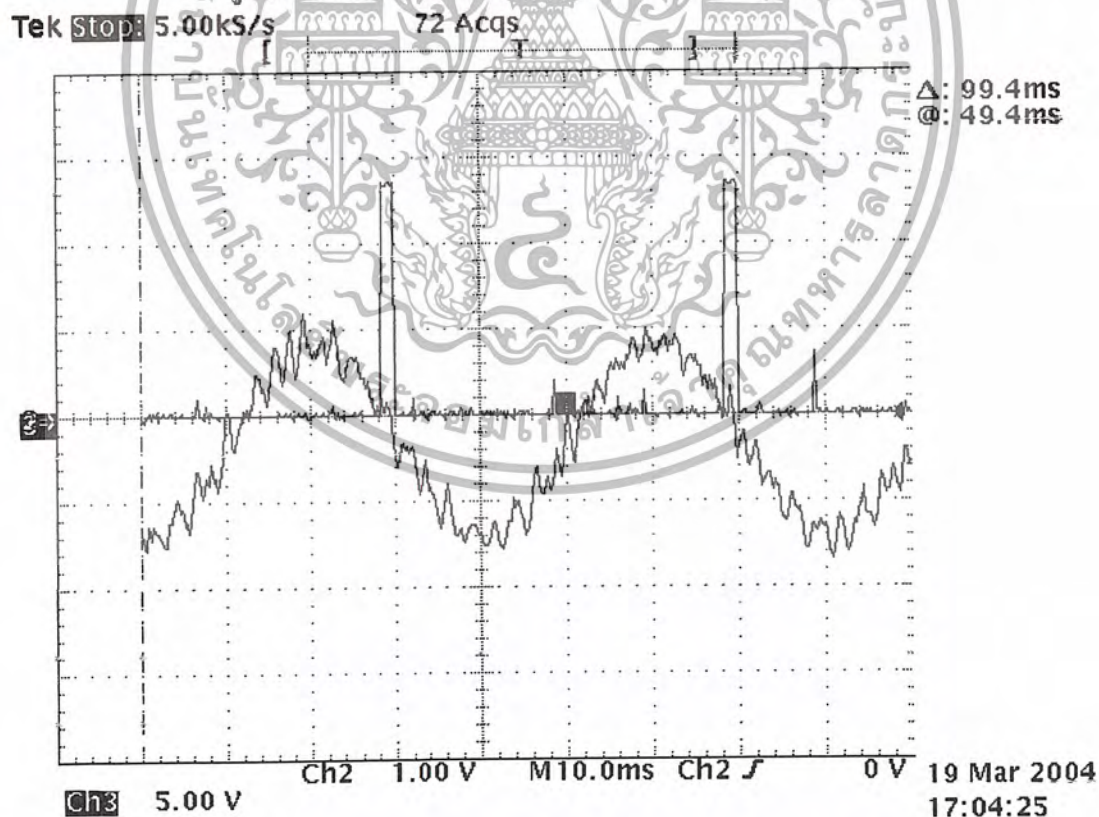


รูปที่ 7-40 แสดงตำแหน่งมวลด่วงห่างจากแท็บเป็นมุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-41 แสดงตำแหน่งมวดอ่วงห่างจากแท็บเป็นมุม 90 องศา



รูปที่ 7-42 แสดงตำแหน่งมวดอ่วงห่างจากแท็บเป็นมุม 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การทดลองเรื่อง การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

7.3.1 การทดสอบความถูกต้องของ scope ที่ใช้ในการแตกสเปกตรัม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อยืนยันความถูกต้องของสเปกตรัมที่ได้จาก scope
2. เพื่อความชำนาญในการใช้ scope

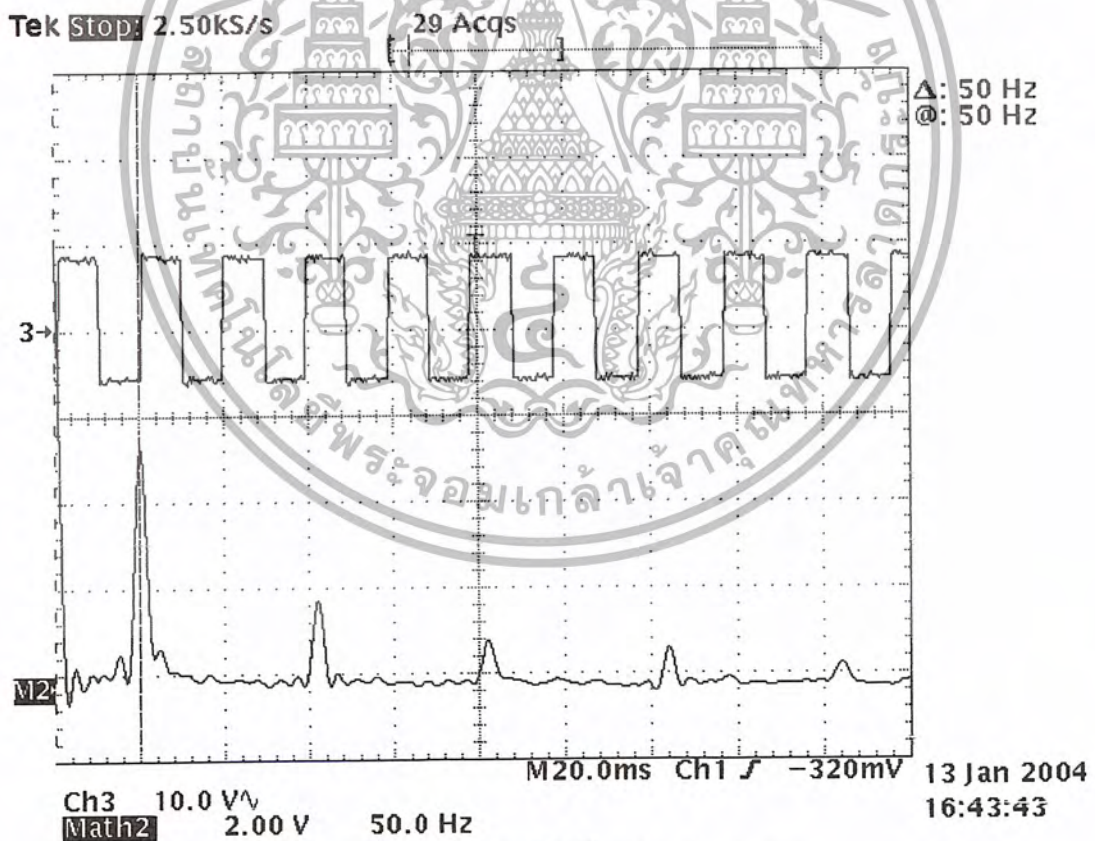
อุปกรณ์การทดลอง

1. Digitizing Oscilloscope ยี่ห้อ Tektronix TSD 460 A
2. Signal Generator

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อสัญญาณ Signal Gen เข้ากับ Scope
2. ป้อนสัญญาณ square wave ให้กับ Scope]
3. ใช้ function FFT ของ Scope เพื่อทำการแตก spectrum ของสัญญาณ square wave
4. บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง



รูปที่ 7-43 แสดงสเปกตรัมของ square wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 สเปกตรัมของการหมุนที่ไม่สมดุล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าความถี่ของการไม่สมดุลในการหมุน
2. เพื่อสามารถแก้ไขและลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหมุนได้

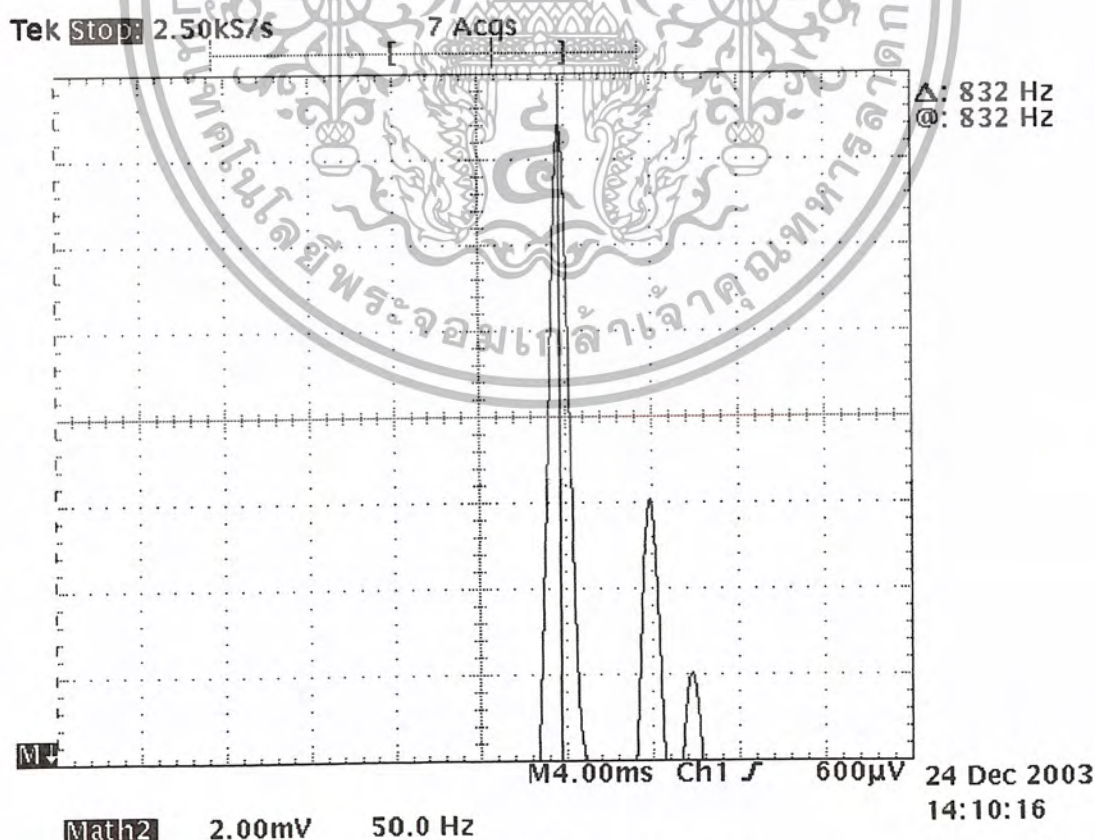
อุปกรณ์การทดลอง

1. Accelerometer
2. Scope
3. Induction Motor
4. Flywheel
5. Inverter
6. มวลถ่วงขนาด 14 ,20, 26,g

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งหัววัดอัตราเร่งบนหัวมอเตอร์พร้อมต่อสัญญาณเข้า Scope
2. หาค่าความถี่รีโซแนนท์ของระบบ บันทึกผลการทดลอง
3. run motor ที่ 50 Hz ในขณะที่ไม่ใส่มวลถ่วงที่ Flywheel บันทึกผลการทดลอง
4. ใส่มวลถ่วงขนาด 14, 20, 26 g ดูสเปกตรัมและแอมพลิจูดที่เกิดขึ้น

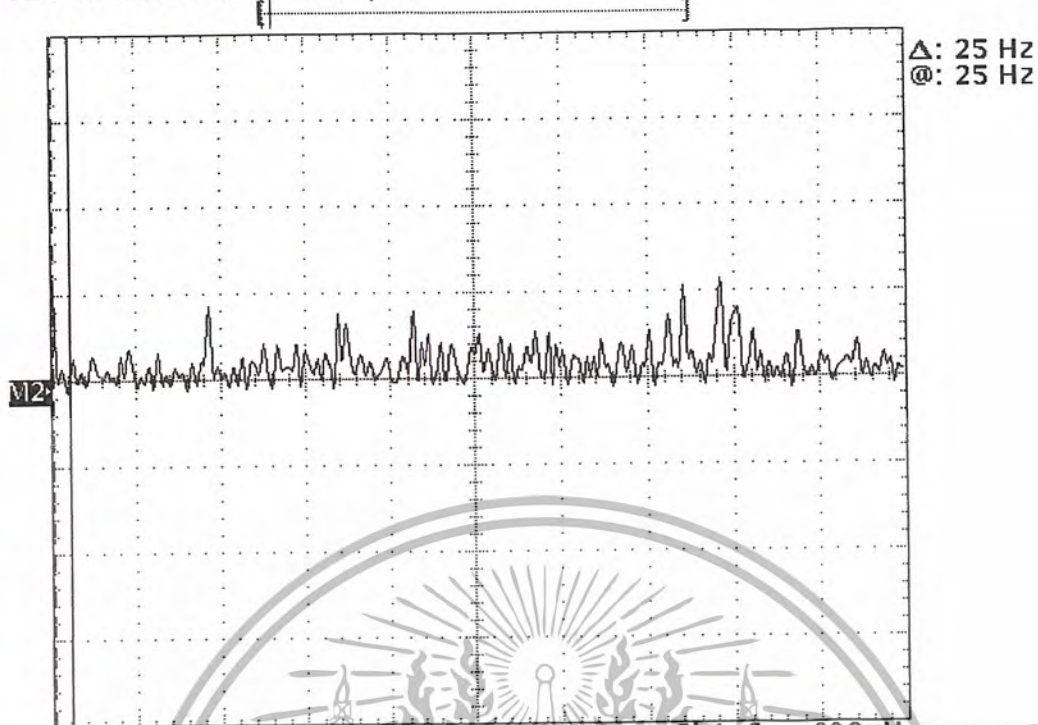
ผลการทดลอง



รูปที่ 7-44 ความถี่รีโซแนนท์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Run: 2.50KS/s Sample



△: 25 Hz
@: 25 Hz

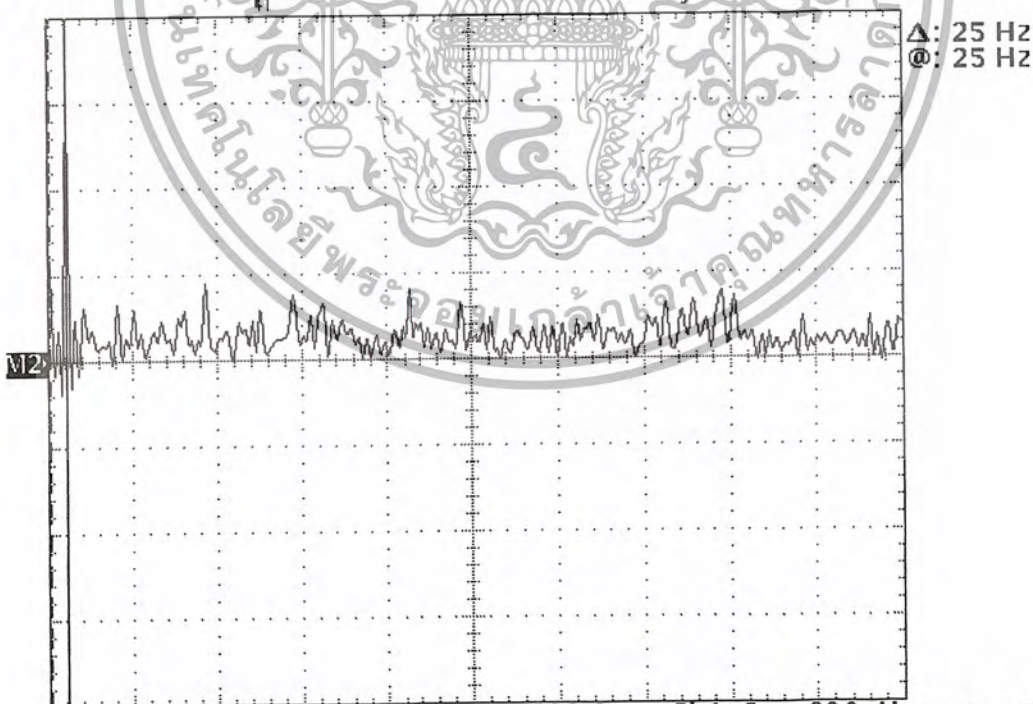
Math2

10.0mV 125 Hz

M10.0ms Ch1 600µV 24 Dec 2003 14:37:29

รูปที่ 7-45 สเปกตรัมขณะยังไม่ใส่มวลถ่วง

Tek Run: 2.50KS/s Sample



△: 25 Hz
@: 25 Hz

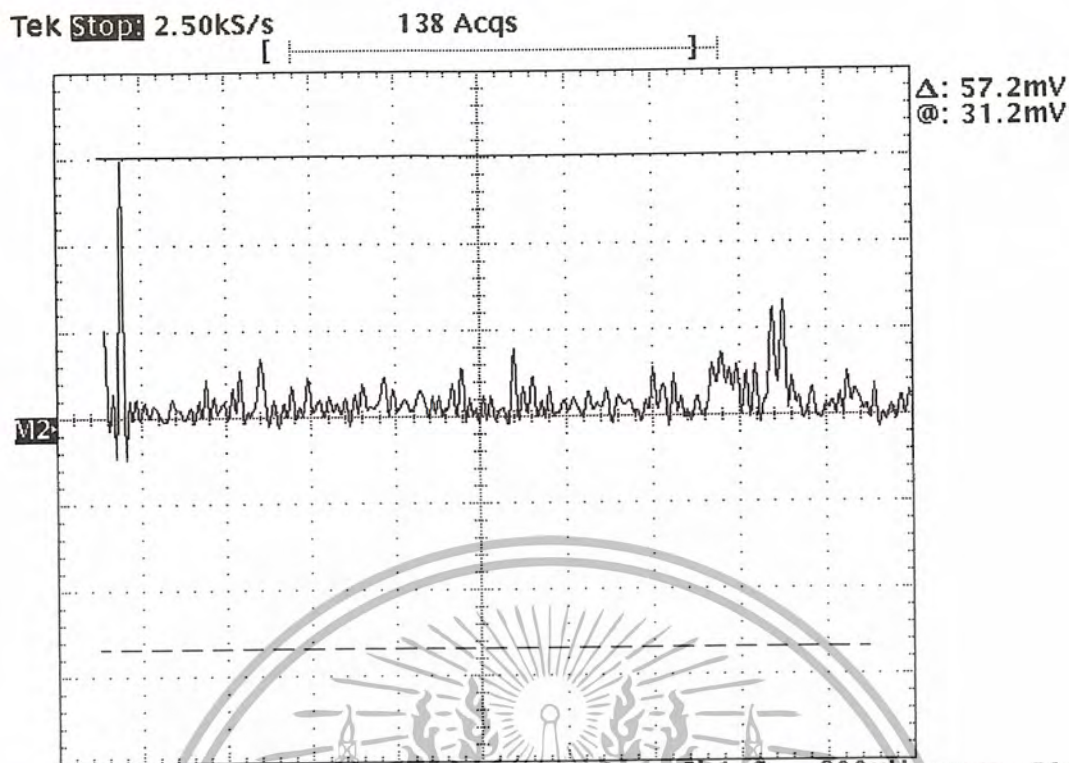
Math2

10.0mV 125 Hz

M10.0ms Ch1 600µV 24 Dec 2003 14:53:26

รูปที่ 7-46 สเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 14 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



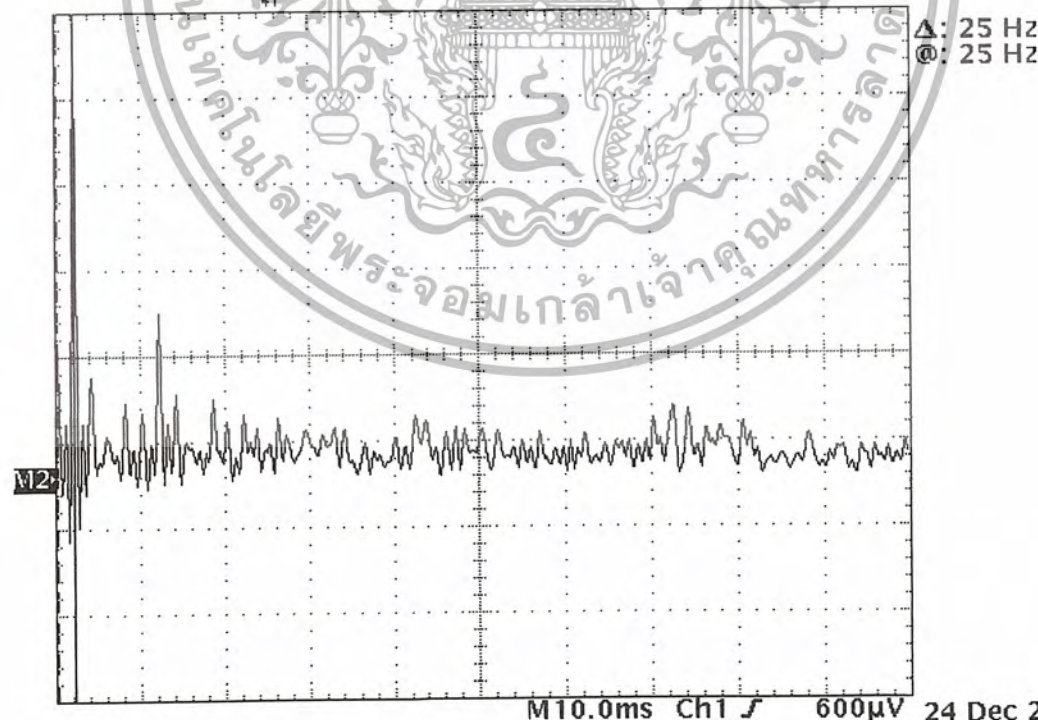
Math2

10.0mV 125 Hz

รูปที่ 7-47 แอมพลิจูดของสเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 14 g

24 Dec 2003
14:56:02

Tek Run: 2.50kS/s Sample



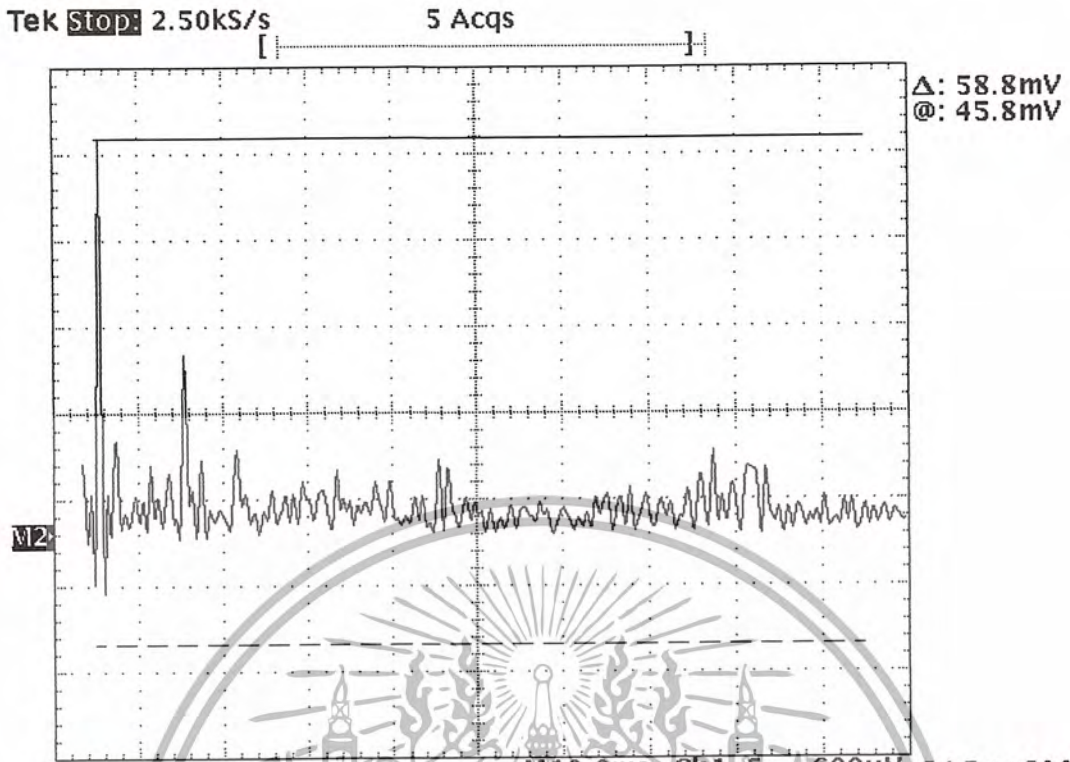
Math2

10.0mV 125 Hz

รูปที่ 7-48 สเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 20 g

24 Dec 2003
15:00:29

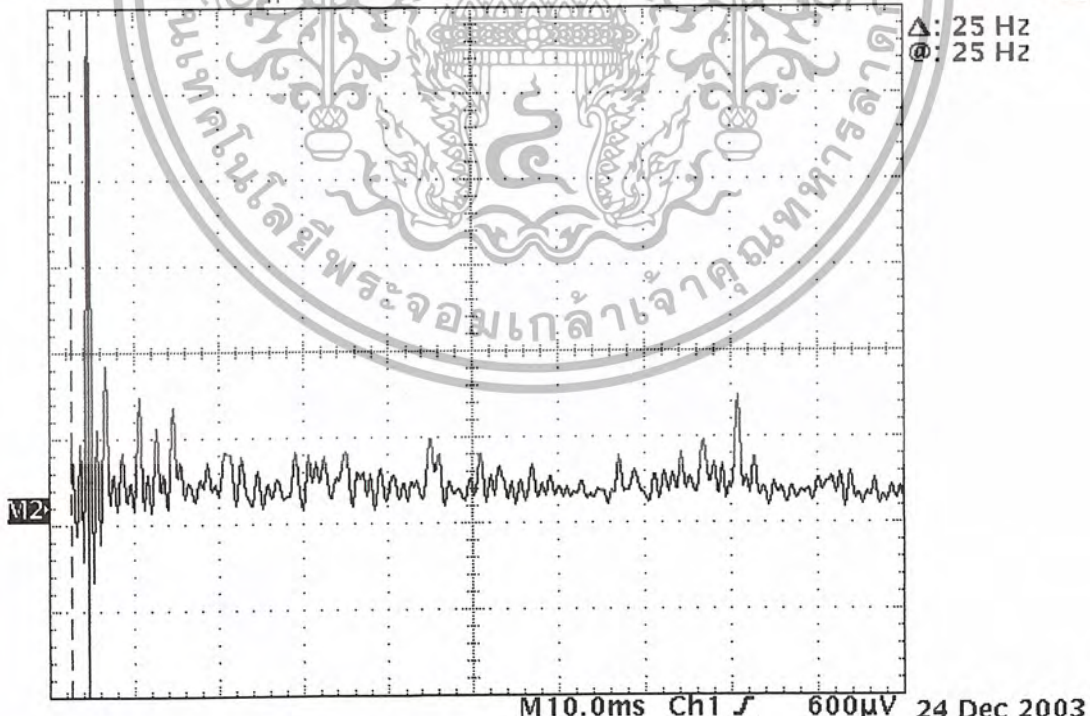
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Math2 10.0mV 125 Hz 24 Dec 2003 15:02:24

รูปที่ 7-49 แอมพลิจูดของสเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 20 g

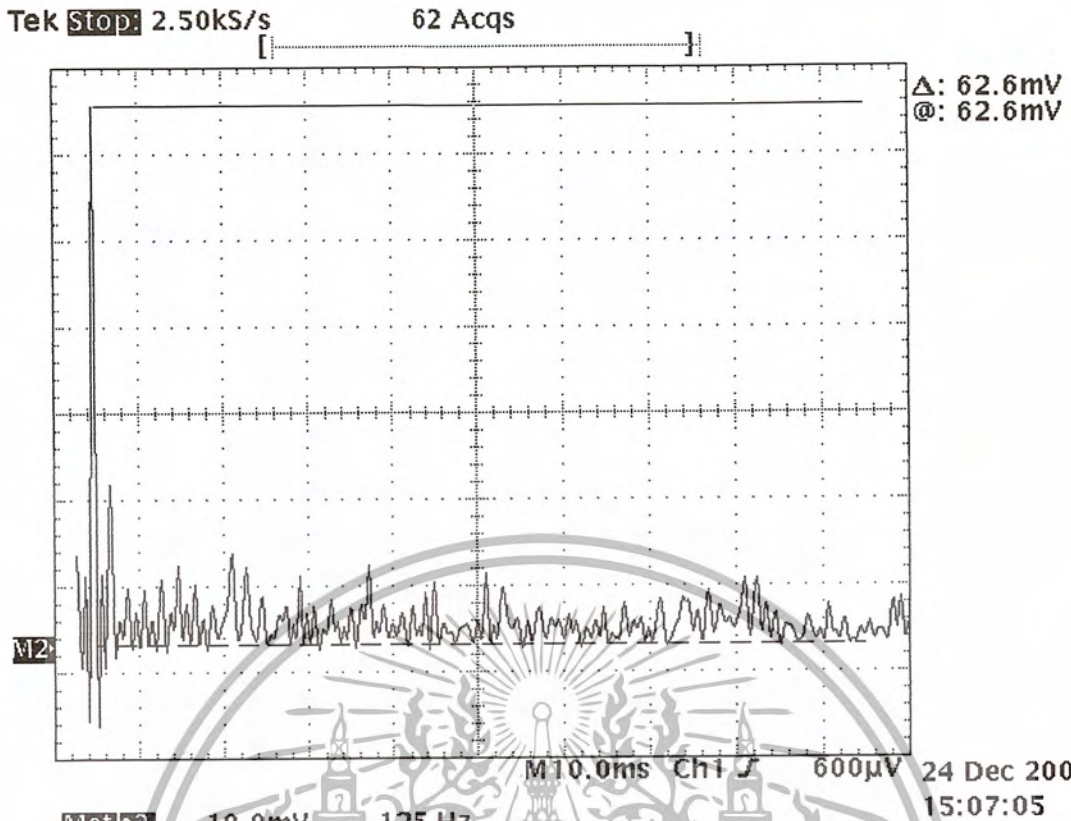
Tek Run: 2.50KS/s Sample



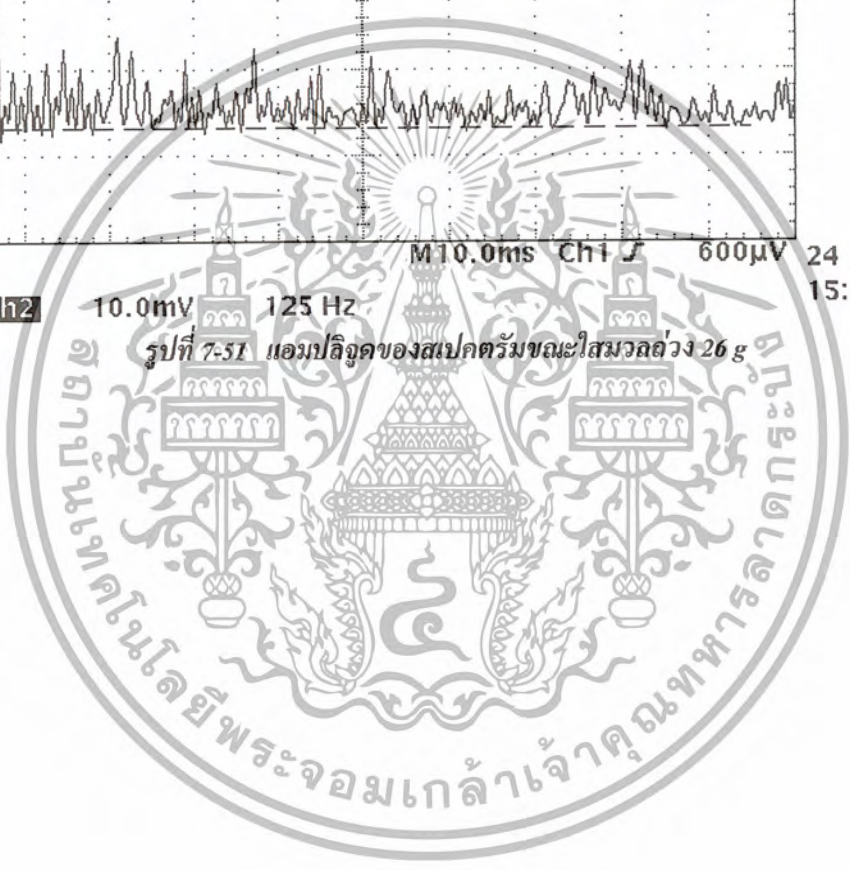
Math2 10.0mV 125 Hz 24 Dec 2003 15:05:20

รูปที่ 7-50 สเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 26 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-51 แอมพลิจูดของสเปกตรัมขณะใส่มวลถ่วง 26 g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 การหาค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนที่มาจากสัญญาณทางไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสามารถหาค่าสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนจากสัญญาณ Unbalance phase
2. เพื่อเรียนรู้และสามารถนำไปใช้ได้จริง

อุปกรณ์การทดลอง

1. Accelerometer
2. Scope
3. Induction motor 3 Hz
4. Varyacc 3 ตัว
5. แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส 380 V 50Hz

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้ง Accelerometer บนตัว Induction motor และต่อสัญญาณเข้า Scope
2. เปลี่ยนย่าน Scope ไปที่ฟังก์ชัน FFT
3. จ่ายไฟตามชุดสามเฟสให้กับ Induction motor ดูสเปกตรัมที่เกิดขึ้นบันทึกผลการทดลอง

ทดลอง

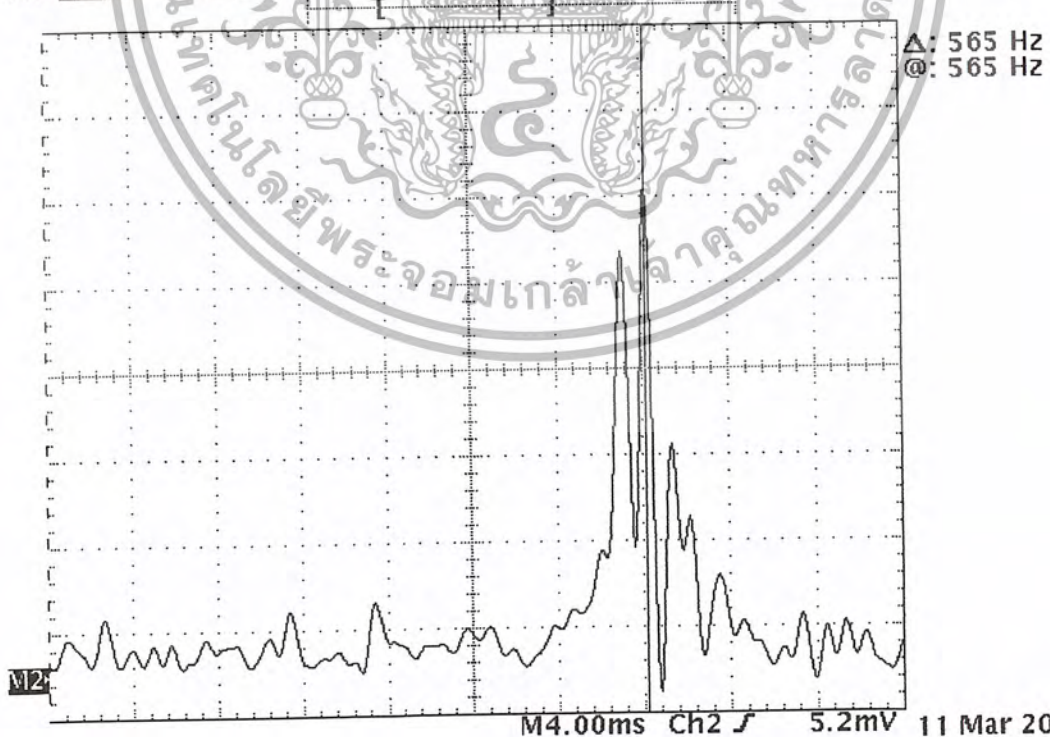
4. จ่ายไฟไม่สมดุลสามเฟส โดยเปลี่ยนไปที่ละเฟส ดูสเปกตรัมที่เกิดขึ้นบันทึกผลการทดลอง

ทดลอง

ผลการทดลอง

Tek Stop: 2.50KS/s

5 Acqs



Math2

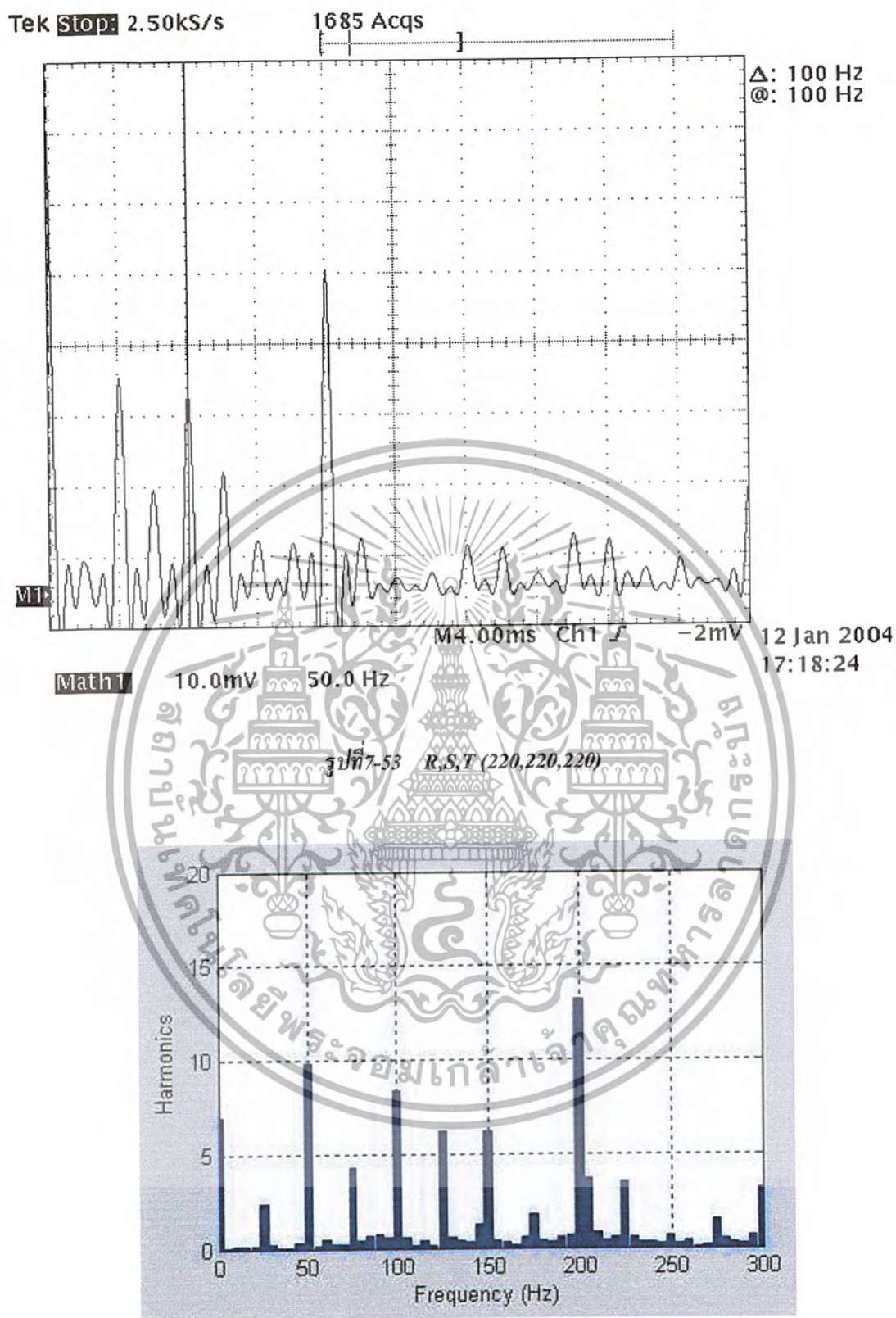
400µV

50.0 Hz

รูปที่ 7-52 ความถี่โซแนนท์ของระบบ

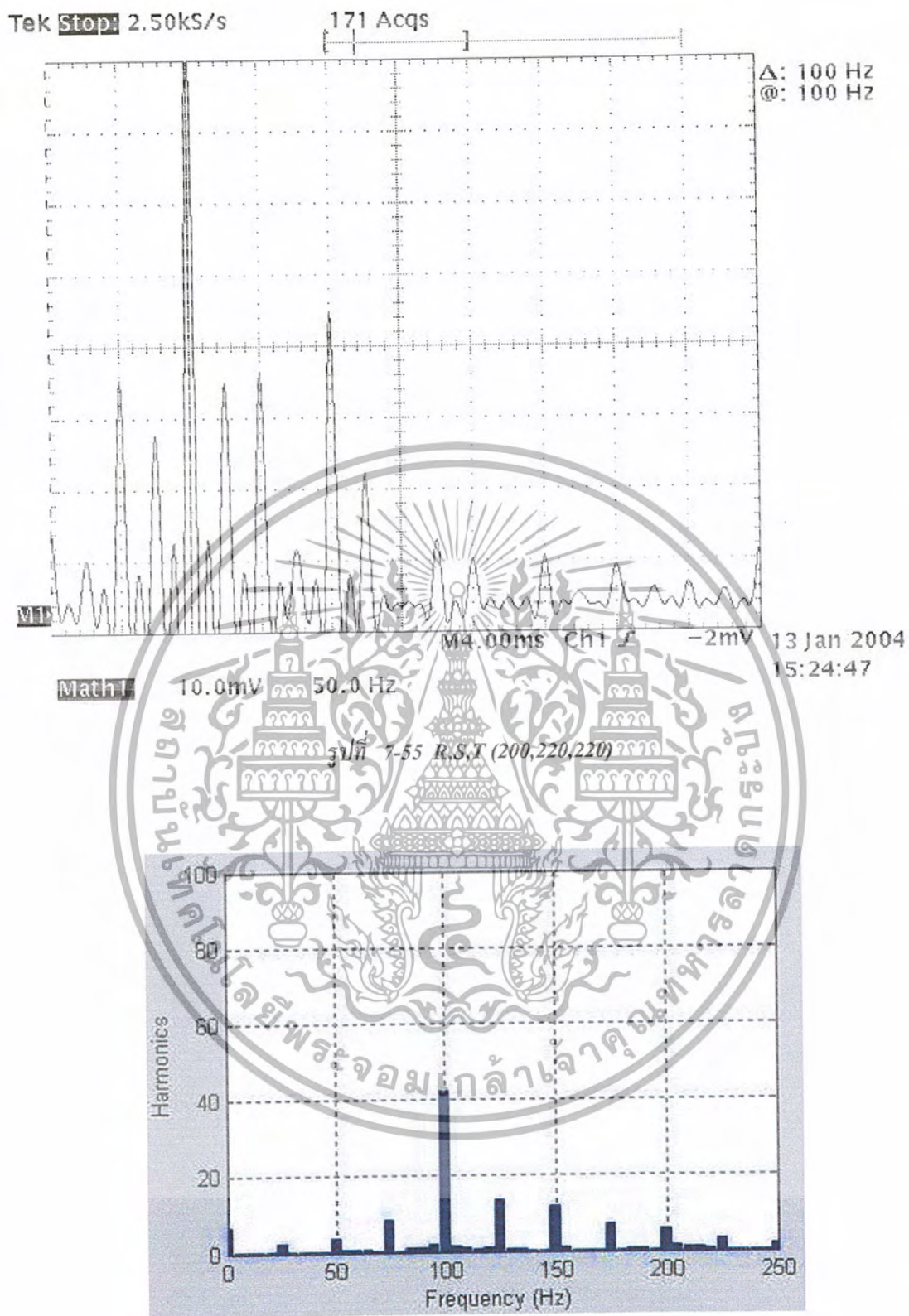
11 Mar 2004
14:33:34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-54 R,S,T (220,220,220) จากโปรแกรม Math Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

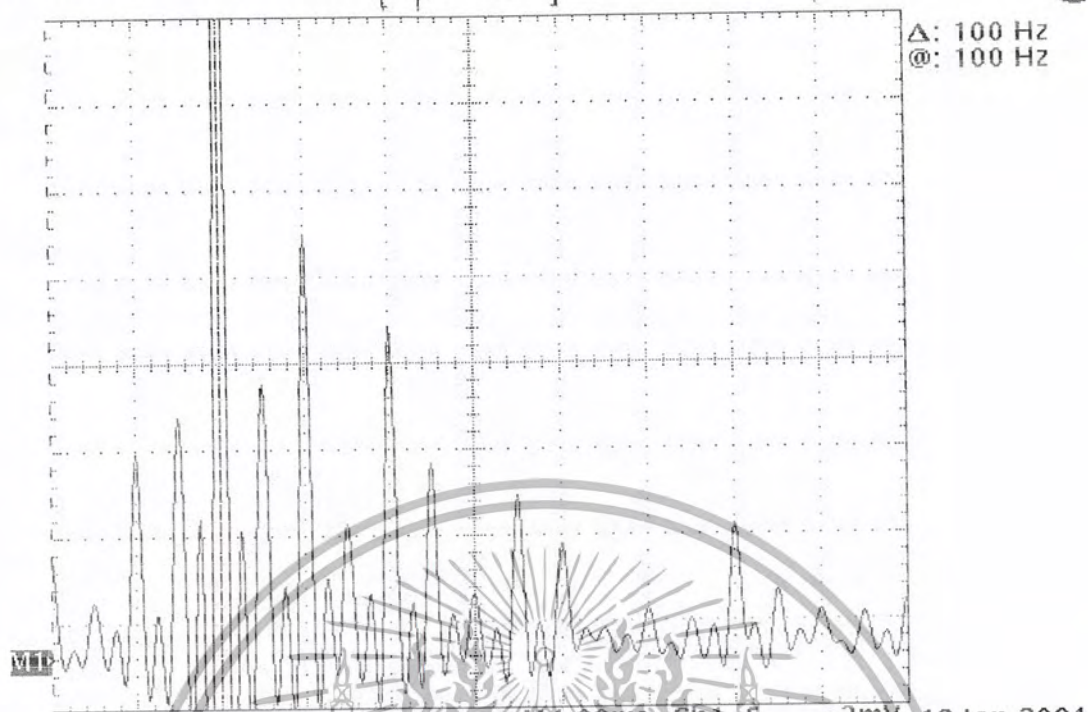


รูปที่ 7-56 R,S,T (200,220,220) จากโปรแกรม Math Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Stop: 2.50kS/s

103 Acqs



Math1

10.0mV 50.0 Hz

M4.00ms

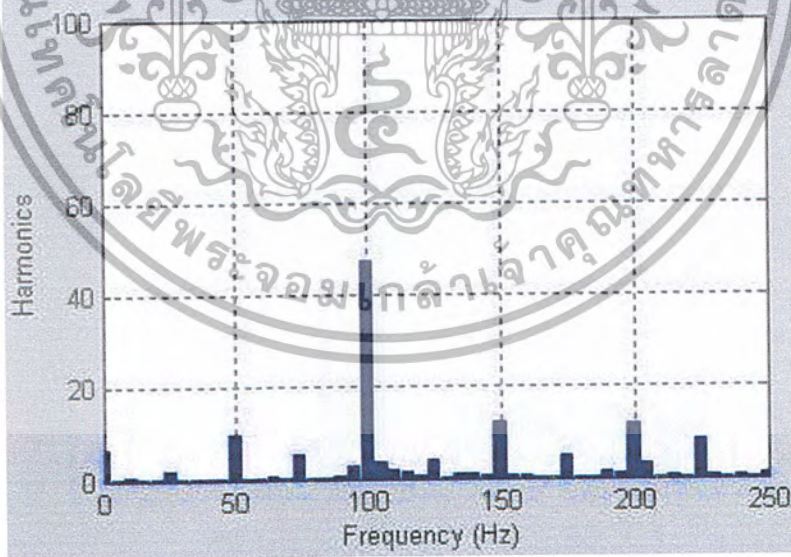
Ch1 A

-2mV

13 Jan 2004

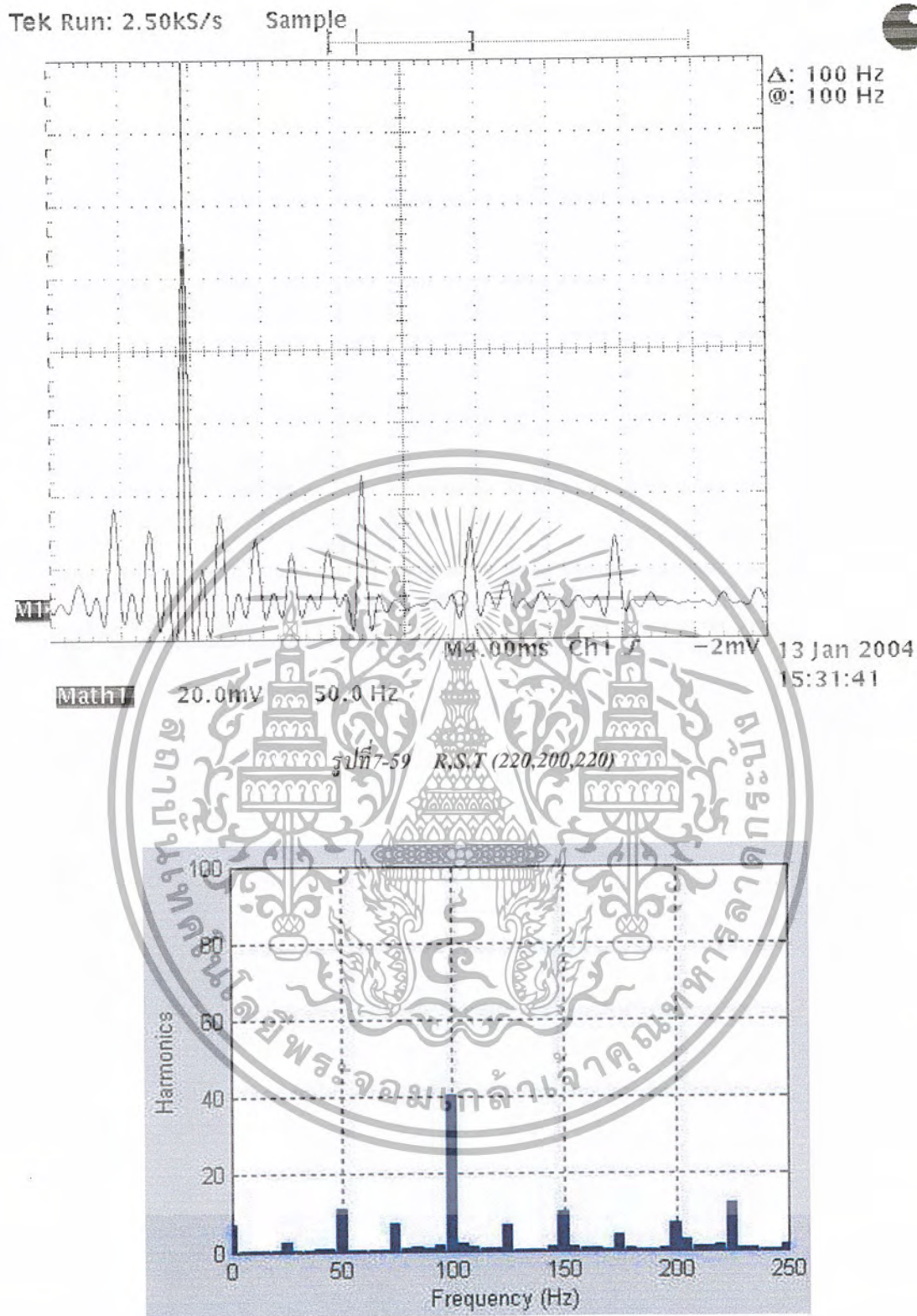
15:28:01

รูปที่ 7-57 R,S,T (180,220,220)



รูปที่ 7-58 R,S,T (180,220,220) จากโปรแกรม Math Lab

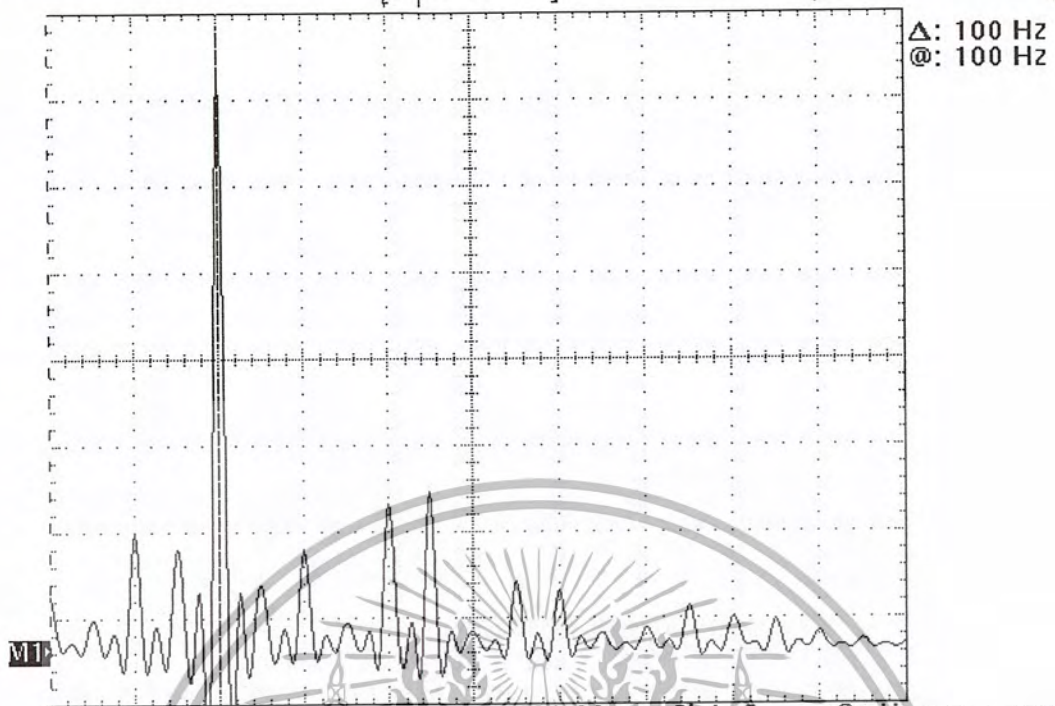
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-60 R,S,T (220,200,220) จากโปรแกรม Muth Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Run: 2.50kS/s Sample



Δ: 100 Hz
@: 100 Hz

Math1

20.0mV 50.0 Hz

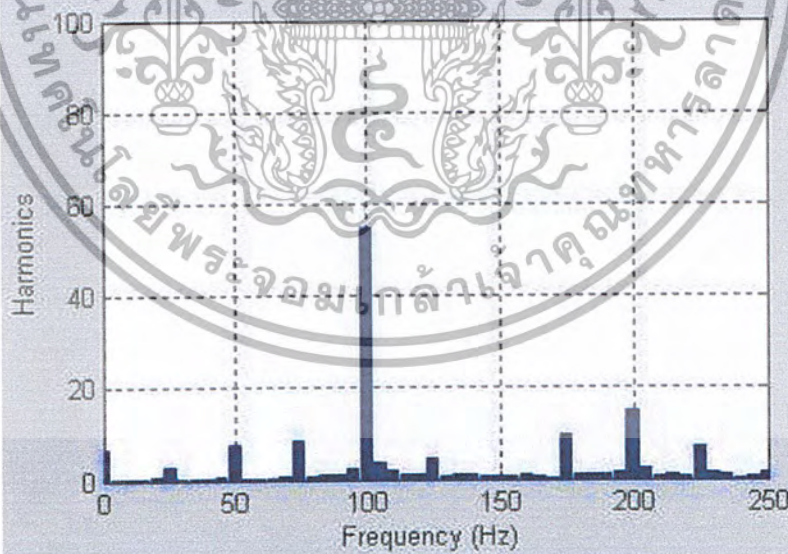
M4.00ms Ch1

-2mV

13 Jan 2004

15:33:52

รูปที่ 7-61 R,S,T (220,180,220)

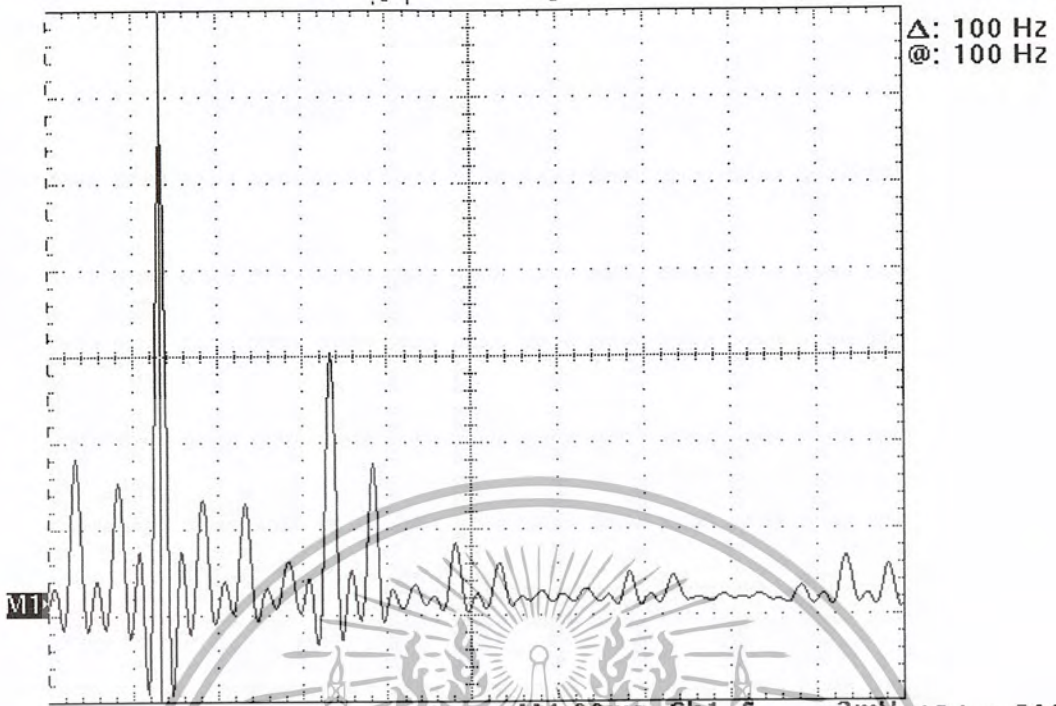


รูปที่ 7-62 R,S,T (220,180,220) จากโปรแกรม Math Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Run: 2.50kS/s

Sample



△: 100 Hz
@: 100 Hz

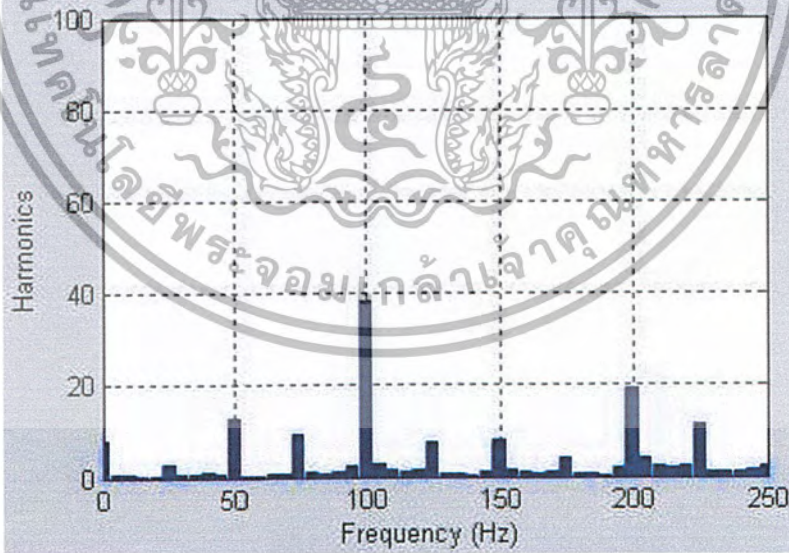
Math: 20.0mV 50.0 Hz

M4.00ms Ch1 2 -2mV

13 Jan 2004

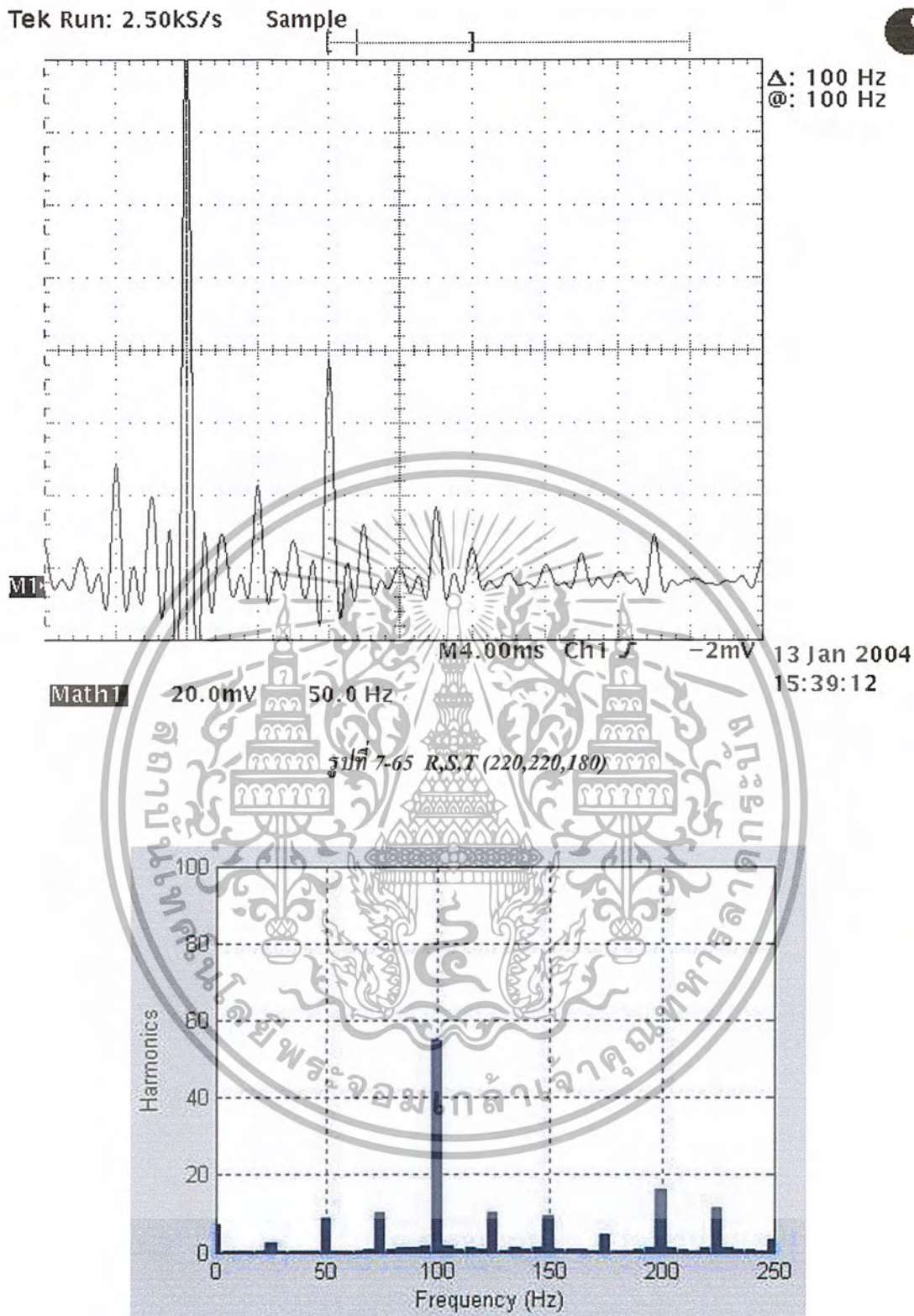
15:36:33

รูปที่ 7-63 R,S,T (220,220,200)



รูปที่ 7-64 R,S,T (220,220,200) จากโปรแกรม Math Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

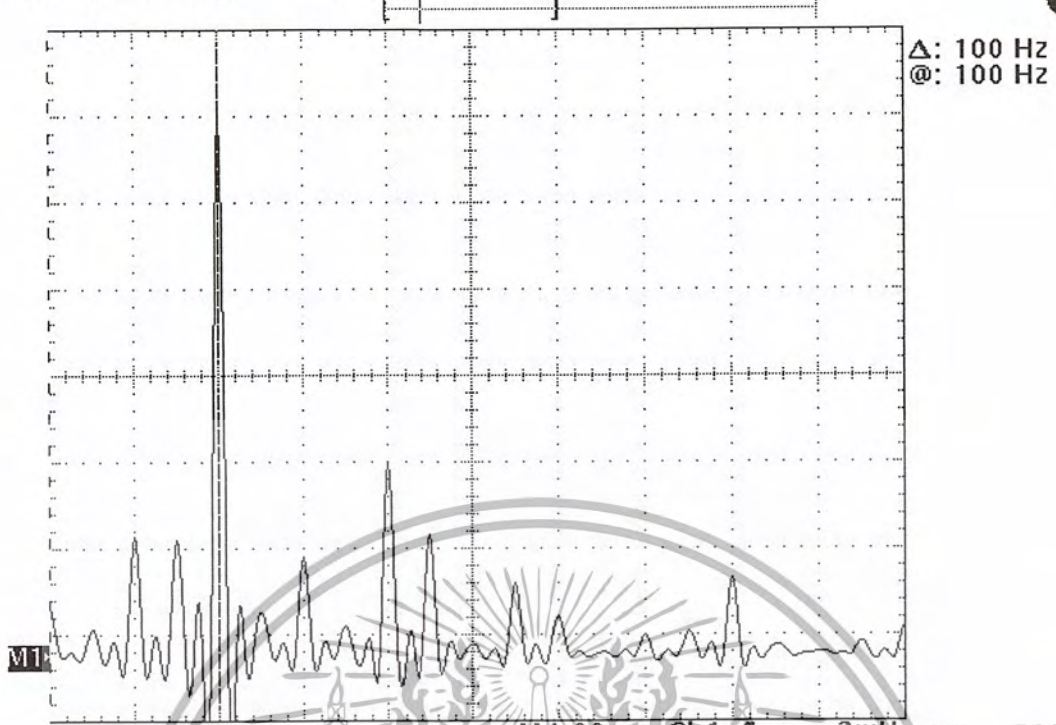


รูปที่ 7-66 R,S,T (220,220,180) จากโปรแกรม Math Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Run: 2.50kS/s

Sample



Δ: 100 Hz
@: 100 Hz

Math1

20.0mV 50.0 Hz

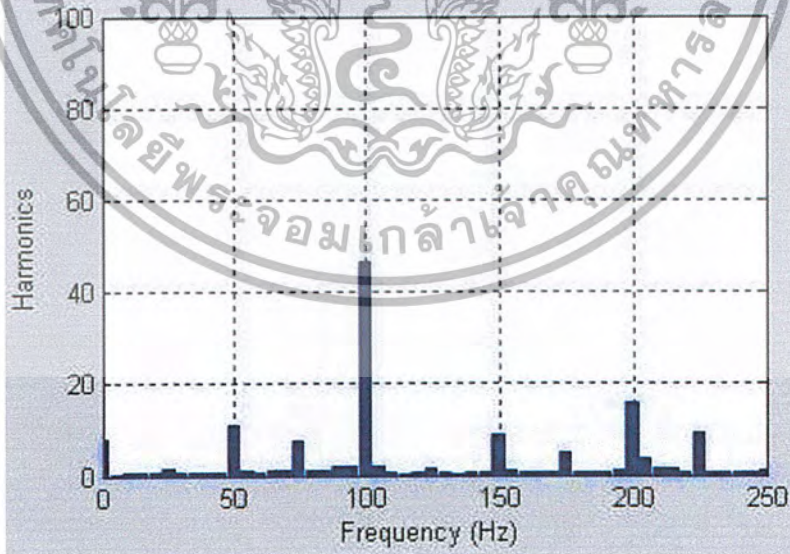
M4.00ms Ch1

-2mV

13 Jan 2004

15:41:31

รูปที่ 7-67 R,S,T (220,200,180)



รูปที่ 7-68 R,S,T (220,200,180) จากโปรแกรม Math Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 การทดลองเรื่อง การวัดเร็วรอบของ Induction motor ด้วย Accelerometer

วัตถุประสงค์

1. สามารถวัดความเร็วรอบของ Induction ด้วย Accelerometer
2. เป็นแนวทางในวัดความเร็วรอบของ Induction motor ที่ไม่สามารถวัดด้วย Tachometer เช่น Motor compressor

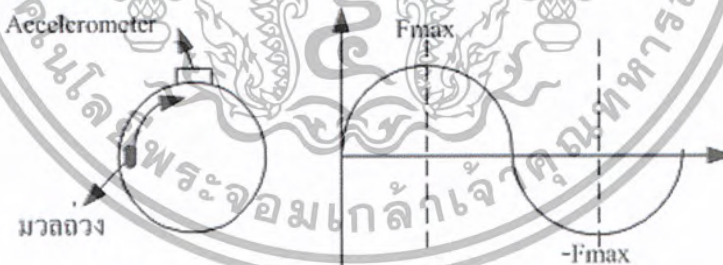
อุปกรณ์การทดลอง

1. Accelerometer
2. Scope
3. Induction motor 1 Hp ติด Flywheel และมวลถ่วง 14 g
4. Tachometer
5. Motor พัดลมลม 1Phase 4 Pole 50 Hz $N_s = 1500$ rpm $N_r = 1310$ rpm

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

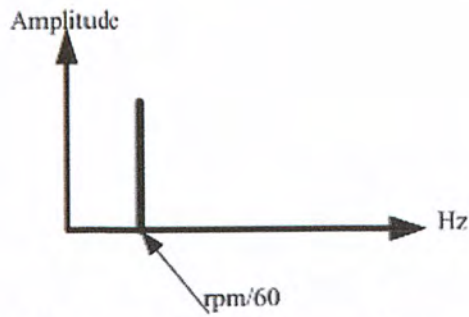
1. ติดตั้ง Accelerometer บน Induction motor ที่ติด Flywheel และมวลถ่วง 14 g พร้อมกับต่อสัญญาณเข้า Scope
2. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และดูความสัมพันธ์ระหว่างสเปคตรัมที่เกิดขึ้นกับความถี่รอบของมอเตอร์
3. ทดลองติดตั้ง Accelerometer บนมอเตอร์ compressor ดูสเปคตรัมที่เกิดขึ้นประจำหาความเร็วรอบเบื้องต้น

ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง



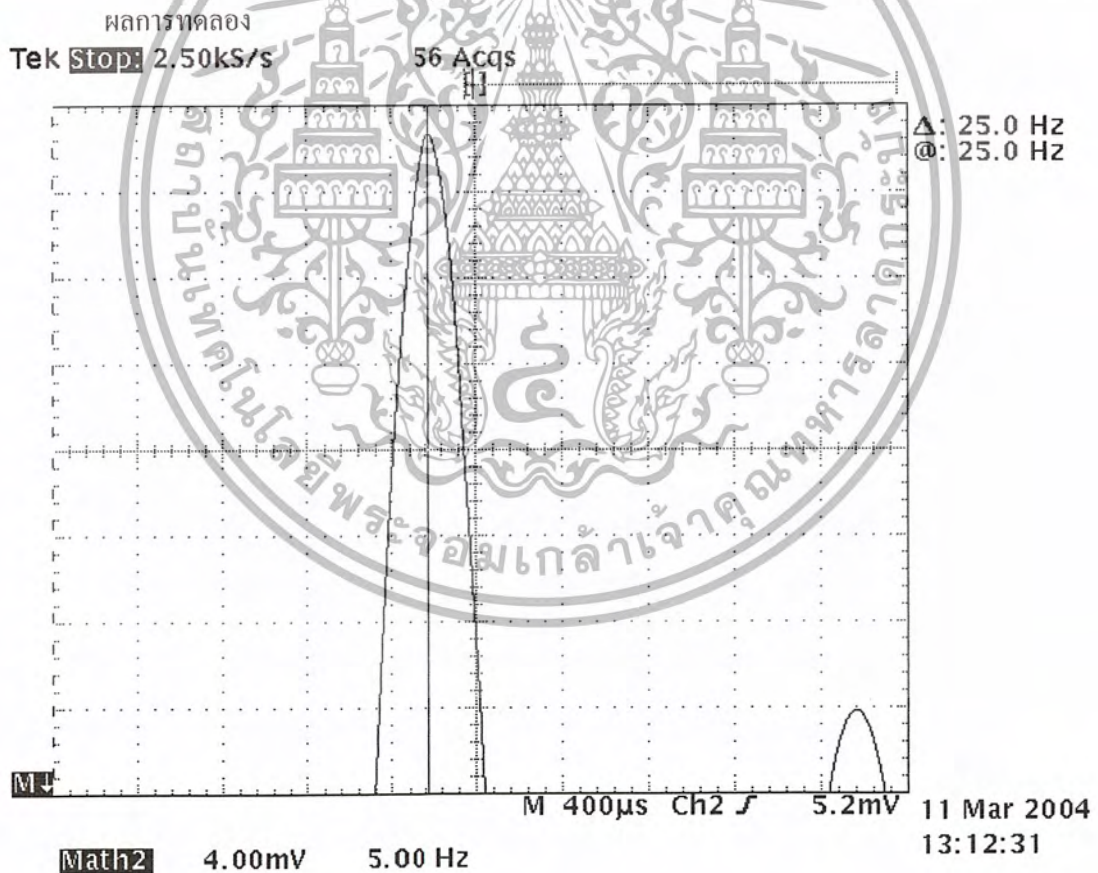
รูปที่ 7-69 ลักษณะรูปคลื่นที่เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล

การเคลื่อนที่ของมวลถ่วง 1 รอบจะได้รูปคลื่น 1 cycle เพราะฉะนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์ในหนึ่งนาทีก็จะเท่ากับจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในหนึ่งนาทีที่เราสามารถหาความถี่ของรูปคลื่นได้เท่ากับ rpm/60 รอบต่อวินาที(Hz) และสเปคตรัมที่เกิดขึ้นจะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 7-70 ความถี่ที่เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล

และจากทฤษฎีเบื้องต้นนี้ถ้าหากมอเตอร์ตัวใดที่มีการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุล หรือการสั่นสะเทือนที่สัมพันธ์กับความเร็วรอบ ก็สามารถจะหาความเร็วรอบได้ จากแนวคิดนี้จึงสามารถใช้ได้ในการหาความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เพราะลูกสูบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่สัมพันธ์กับความเร็วรอบ

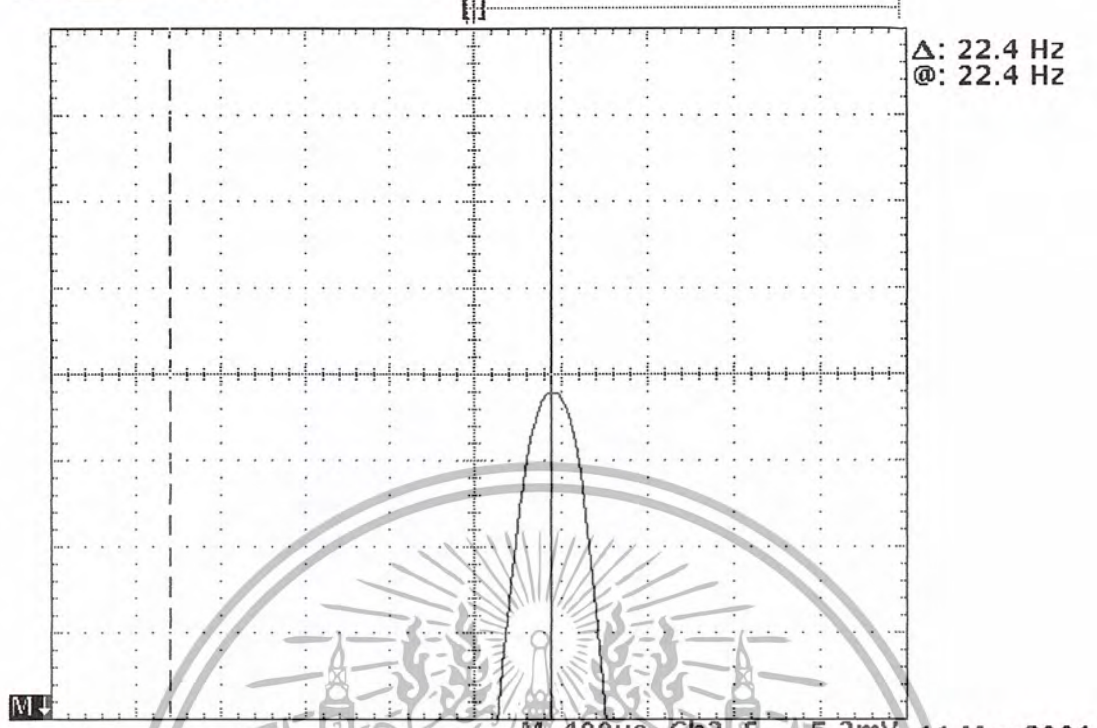


รูปที่ 7-71 สเปกตรัมที่ความเร็ว Nr เท่ากับ 1498 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Stop: 2.50kS/s

3 Acqs



△: 22.4 Hz
@: 22.4 Hz

M ↓

Math2

1.00mV 5.00 Hz

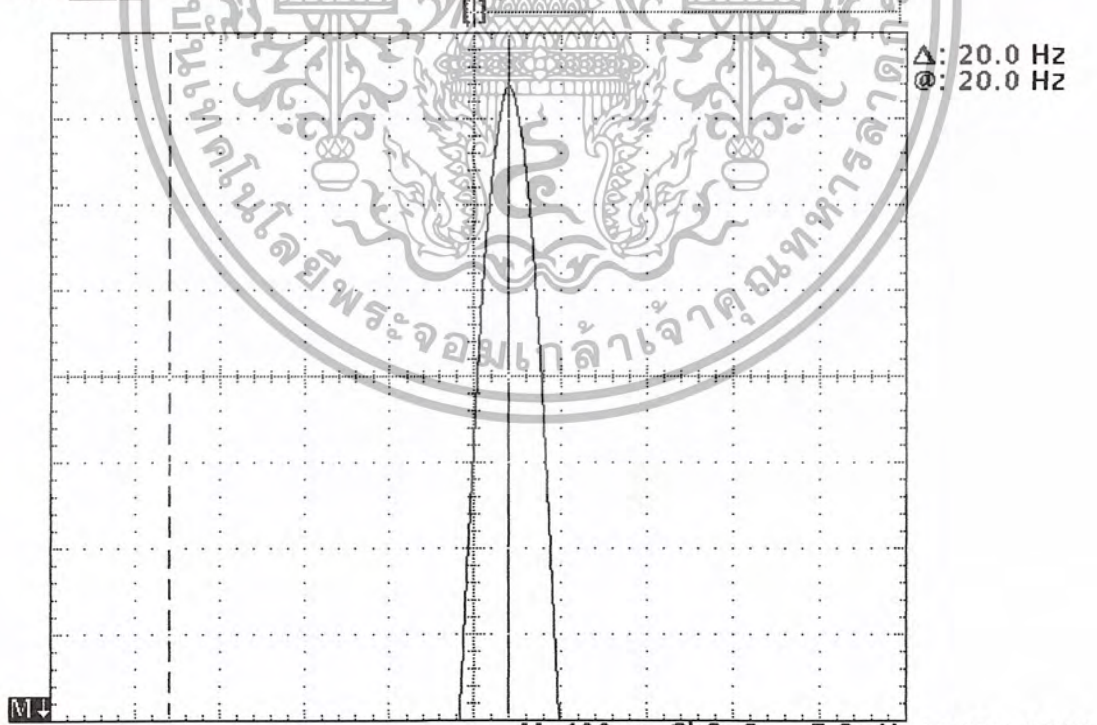
M 400µs Ch2 5.2mV

11 Mar 2004
13:28:12

รูปที่ 7-72 สเปกตรัมที่ความเร็ว N_r เท่ากับ 1348 rpm

Tek Stop: 2.50kS/s

18 Acqs



△: 20.0 Hz
@: 20.0 Hz

M ↓

Math2

1.00mV 5.00 Hz

M 400µs Ch2 5.2mV

11 Mar 2004
13:33:05

รูปที่ 7-73 สเปกตรัมที่ความเร็ว N_r เท่ากับ 1198 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7-5 แสดงผลการทดลองการวัดความเร็วรอบมอเตอร์

ความเร็วโรเตอร์ (rpm)	ความถี่ (Hz)		ความเร็วโรเตอร์ที่คำนวณได้ (rpm)	Error %
	จำนวน	ทดลอง		
1498	24.96	25.0	1500	0.13
1348	22.46	22.4	1344	-0.29
1198	19.96	20.0	1200	0.13



รูปที่ 7-74 สเปกตรัมความเร็วมอเตอร์พัฒนา 1Phase 4 Pole 50 Hz

$$N_s = 1500 \text{ rpm} \quad N_r = 1310 \text{ rpm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

8.1 สรุปผลการทดลองที่ 7.1 เรื่อง การทดสอบอัตราเร่งของ Accelerometer

จากผลการทดลองค่าอัตราเร่งที่วัดได้จาก Accelerometer มีค่าถูกต้องตามทฤษฎี เราจึงสามารถใช้ Accelerometer วัดค่าความถี่ของวัตถุในรูปแบบการวัดอัตราเร่งได้ และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามรูปแบบของแต่ละระบบ จากระบบที่เราทำการทดลองหากความเร็วรอบสูงจะทำให้ฐานของระบบเกิดการสั่นจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

8.2 สรุปผลการทดลองที่ 7.2 เรื่อง ผลของอัตราเร่งอื่นเนื่องมาจากการไม่สมดุลในการหมุน

จากทดลองที่ 7.2.1, 7.2.2 และ 7.2.3 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการสั่นสะเทือนในรูปของอัตราเร่ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งประกอบด้วย ความเร็วของมอเตอร์, ขนาดของมวลถ่วง, ระยะห่างของมวลถ่วง และความสมดุลของมวลถ่วง การหมุนที่ไม่สมดุลของมอเตอร์นั้นจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ตัวของมอเตอร์ รวมไปถึงฐานและอุปกรณ์อื่นที่ต่อเชื่อมกับมอเตอร์ซึ่งขนาดการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับแรงที่มาจากการไม่สมดุลนั่นเอง ในกรณีที่มีมอเตอร์มีการติดตั้ง Flywheel หรือจานหมุนต่างๆเมื่อเราทราบจุดที่มีมวล ไม่สมดุลเราก็สามารถนำมวลขนาดเท่ากัน มาติดตั้งที่ระยะห่างเท่ากันจากจุดศูนย์กลาง ก็สามารถลดการสั่นสะเทือนลงได้ซึ่งผลการทดลองที่ จะเห็นว่าเมื่อมวลทั้งสองสมดุลกันค่าอัตราเร่งที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราเร่งขณะยังไม่ใส่มวล

และในการทดลองที่ 7.2.4 นั้นเราได้ทำการหาตำแหน่งของมวลถ่วงโดยวิธีการวัดเฟสซึ่งได้อธิบายไปแล้วข้างต้น

8.3 สรุปผลการทดลองที่ 7.3.1 เรื่อง ความถูกต้องของ scope ที่ใช้ในการแตกสเปกตรัม

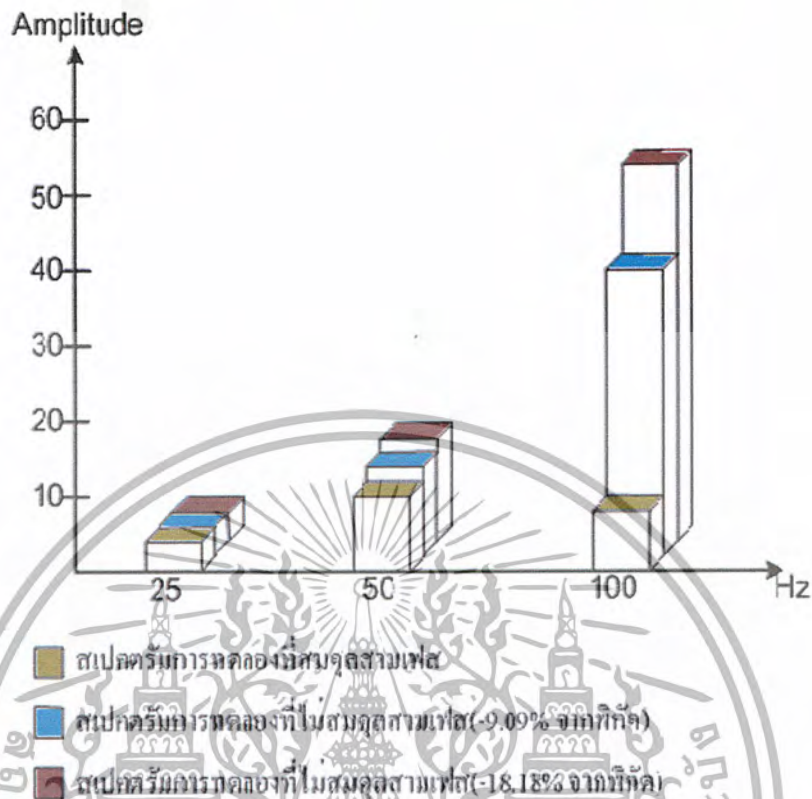
จากผลการทดลองซึ่งตามทฤษฎีค่าสเปกตรัมของสัญญาณ square wave จะอยู่ที่ความถี่ลำดับที่ 3, 5, 7, 9, ตามลำดับ ผลการทดลองก็เป็นไปตามทฤษฎีจึงยืนยันได้ว่า Scope ตัวนี้สามารถแตกสเปกตรัมได้ตามความเป็นจริง

8.4 สรุปผลการทดลองที่ 7.3.2 เรื่อง สเปกตรัมของการหมุนที่ไม่สมดุล

จากผลการทดลองความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการไม่สมดุลในการหมุนจะสัมพันธ์กับความถี่รอบของมอเตอร์ ซึ่งความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ทำการทดลองเท่ากับ 1498 rpm เราสามารถหาความถี่ของการสั่นสะเทือน (f_v) ได้เท่ากับ 24.96 Hz (เปลี่ยนจาก rpm เป็น rps) ซึ่งในการทดลอง scope ไม่สามารถวัดเป็นจุดทศนิยมได้ จึงอ่านค่าได้เท่ากับ 25 Hz ซึ่งถือว่าถูกต้องตามความเป็นจริง และจากผลการทดลองนี้ทำให้เราได้สเปกตรัมของการไม่สมดุลในการหมุน ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุของการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 สรุปผลการทดลองที่ 7.3.3 เรื่อง การหาค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนที่มาจากสัญญาณทางไฟฟ้า
จากการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 7-75 แผนภูมิแสดงสเปกตรัมทางไฟฟ้า

จากการทดลอง มอเตอร์ 4 pole 3 แรงม้า 50 Hz ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน (N_s) เท่ากับ 1500 rpm ความเร็วโรเตอร์ (N_r) เท่ากับ 1498 rpm ซึ่งในการทดลองนี้จะเกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลค่าความถี่จะอยู่ที่ 24.96 Hz (แต่ scope วัดได้ 25 Hz เนื่องจากย่านวัดยังไม่ละเอียดพอ)

ทฤษฎีในบทที่ 5 เราจะได้ค่าสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนจากการไม่สมดุลสามเฟสมาสองส่วนคือที่ 50 Hz (line frequency) และที่ 100 Hz (twice line frequency) ในการทดลองเราจึงสนใจเฉพาะสองส่วนนี้เท่านั้น และจากการทดลองเราได้ลดแรงดันที่เฟสต่างๆ เพื่อให้ทำให้เกิดเฟสไม่สมดุล (Unbalance Phase) ค่าสเปกตรัมที่ 100 Hz จะสูงขึ้นตามแรงดันที่ต่ำลงเช่นเดียวกับที่ 50 Hz จึงสรุปได้ว่าการสั่นสะเทือนของอินดักชันมอเตอร์ เนื่องจากการไม่สมดุลของเฟสนี้สามารถดูได้ที่ความถี่ 50 Hz (line frequency) และความถี่ที่ 100 Hz (twice line frequency)

หมายเหตุ ประเทศไทยใช้ไฟ 50 Hz line frequency คือ 50 Hz และ twice line frequency คือ $2f$ (2×50 Hz) และที่ line frequency จะเห็นน้อยกว่า twice line frequency

8.6 สรุปผลการทดลองที่ 7.4 เรื่อง การวัดความเร็วรอบของ Induction motor ด้วย Accelerometer

ในการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดของ scope ซึ่งย่านวัดยังไม่ละเอียดเพียงพอ จึงทำให้ความเร็วที่วัดได้ไม่ตรงตามความเป็นจริง แต่เราสามารถประมาณค่าความเร็วรอบเบื้องต้นได้ ซึ่งย่านวัดไม่สามารถวัดความถี่ในทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ได้ ดังนั้นค่าที่ผิดพลาดจากทศนิยมตำแหน่งที่ 2 จะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความเร็วรอบโรเตอร์ที่เกิดขึ้นจริงไม่เกิน 6 รอบ จากการศึกษาทดลองในเรื่องนี้ทำให้เราสามารถประมาณหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้

และเราได้ทำการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์พัดลม ซึ่งความเร็วโรเตอร์ที่เราวัดได้มีค่าเท่ากับ 1310 rpm. ตามทฤษฎีสเปคตรัมของความเร็วจะเท่ากับ 21.83 Hz ในการทดลองเราวัดสเปคตรัมของความเร็วได้เท่ากับ 21.8 Hz. ซึ่งจะได้ความเร็วโรเตอร์เท่ากับ 1308 rpm น้อยกว่าความเป็นจริง 2 รอบ (มากกว่าและน้อยกว่าความเป็นจริงไม่เกิน 6 รอบ)

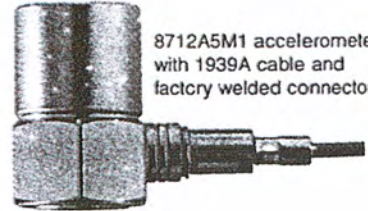
ประโยชน์ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ทำให้เราสามารถประมาณความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ไม่สามารถวัดได้ด้วย Tachometer ได้เช่นมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เพราะความเร็วที่บริษัทผลิตระบุมากับมอเตอร์นั้น ไม่รู้ว่าถูกต้องตามความเป็นจริงหรือไม่



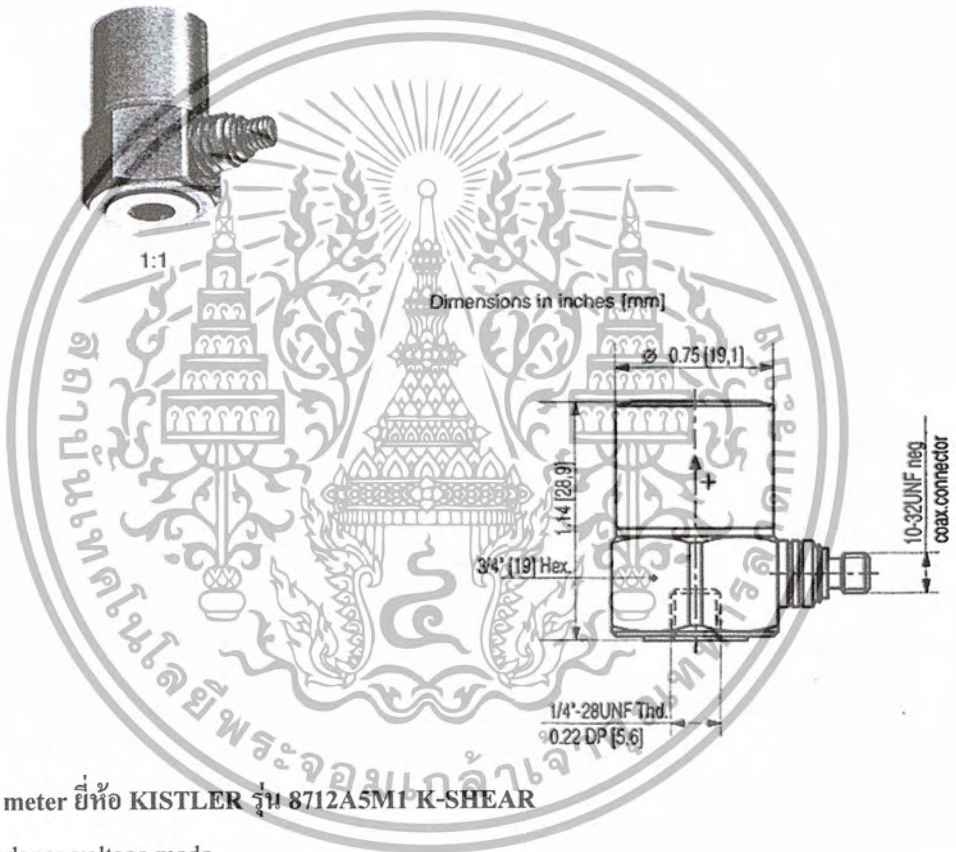
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ทดลอง

สเปกหัววัดอัตราเร่ง(Accelerometer)



8712A5M1 accelerometer with 1939A cable and factory welded connector



Accelerometer ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 8712A5M1 K-SHEAR

Low impedance voltage mode

Very high sensitive

Technical Data	8712A5M1	Unit
Acceleration Range	± 5	g
Acceleration Limit	± 50	g_{kp}
Transvers Acceleration	± 100	g_{kp}
Threshold nom	0.0004	g_{rms}
Sensitivity $\pm 5\%$	1000	MV/g

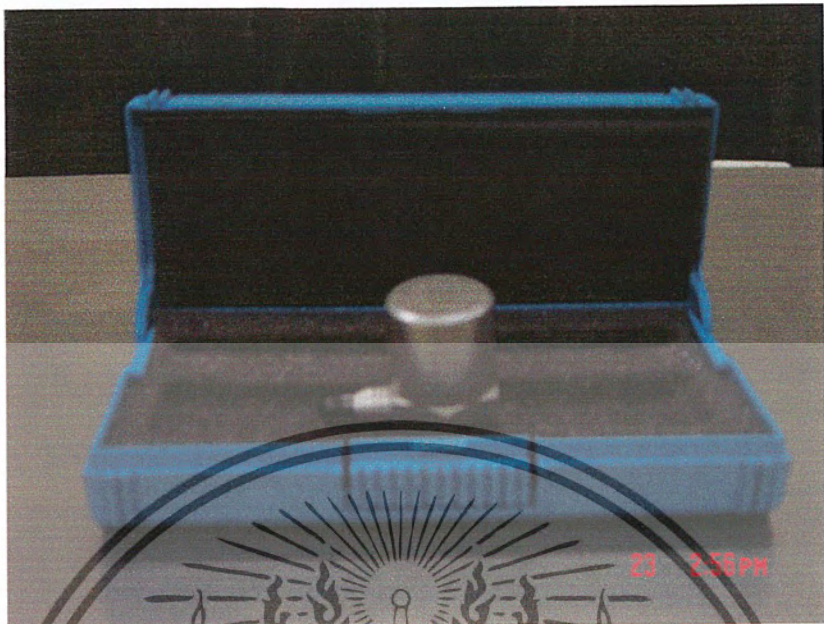
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Resonant Frequency mounted nom.	24	kHz
Frequency Response $\pm 5\%$	0.5...8000	Hz
$\pm 10\%$	0.3...11000	Hz
Technical Data	8712A5M1	Units
Amplitude Non-linearity	± 1	%FSO
Time Constant nom.	1	5
Transvers Sensivity nom (max 3%)	1.5	%
Base Strain Sensivity @ 250 $\mu\epsilon$	≤ 0.002	$g/\mu\epsilon$
Shock limi : (1 ms Pulse) max	1000	g_{pk}
Long Term Stability	± 1	%
Temperature Coeficient of Sensivity	-0.03	%/°F
	-0.06	%/°C
Temperature Rang Operation	-65...212	%/°F
(4mA supply current)	-54...100	%/°C
Starage	-105...300	%/°F
	-75...150	%/°C
Output		
Bias nom.	11	VDC
Impedance	<100	Ω
Voltage F.S.	± 5	V
Current	2	mV
Source		
Voltage	20...30	VDC
Constant Current	2...20	mA
Impedance	>100	k Ω
Constction		
Sensing Element	Quart/shear	Type
Housing/Base	Stl.St.	Material
Sealing-Housing/Connector	Hermertic	Material
Connector	10-32 neg.	Type
Ground Isolation min	10	M Ω
Weigh	51	g
Mounting Torque	18(2)	Lbf-in(Nm)

1 g = 9.8665 m/s², 1 inch = 25.4 mm, 1 gram = 0.03527 oz ; 1 lbf-in = 0.1129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Accelerometer



สายสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photo sensor

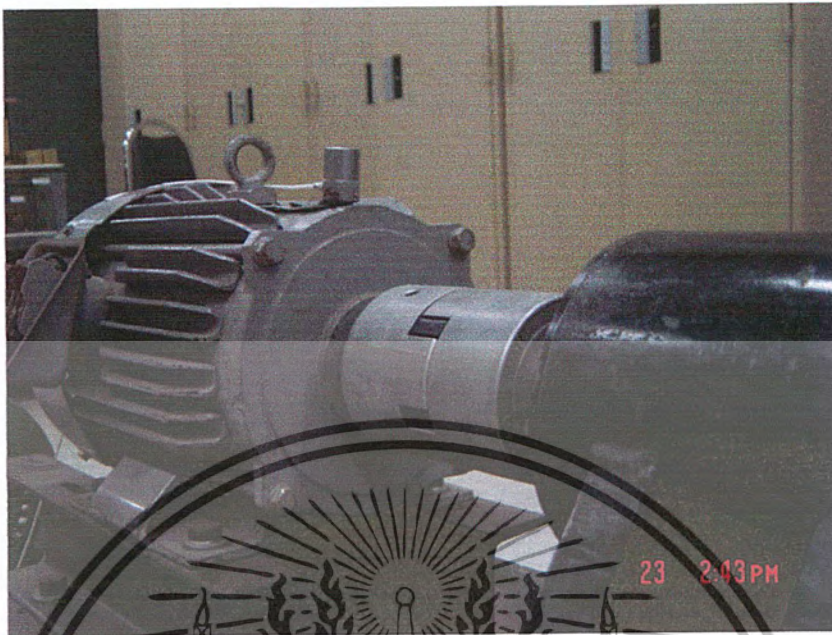


จับสัญญาณการผันสะเทือนเพื่อนำค่าที่ได้ไปแปลงหาความเร็วรอบ

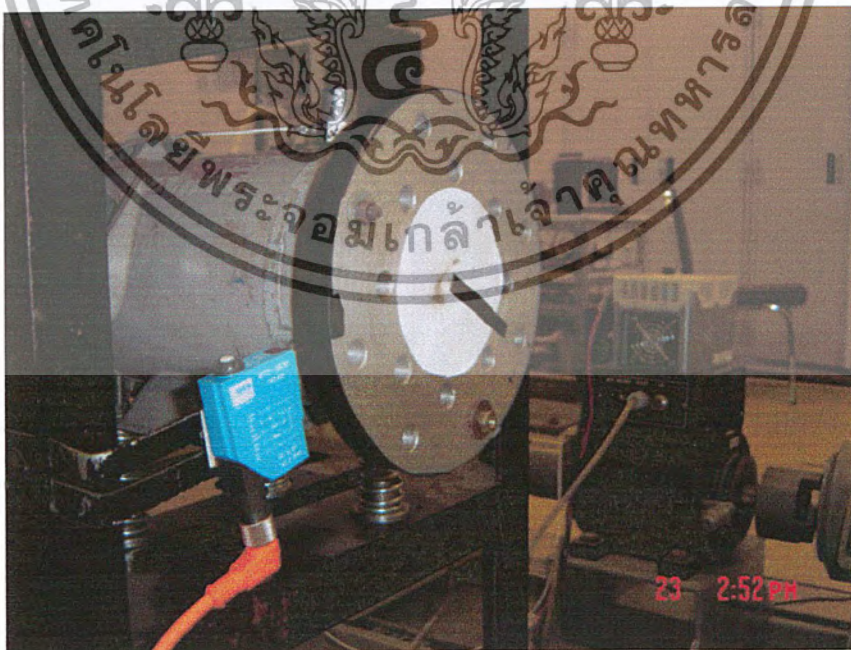


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินดิคชันมอเตอร์ 3 Phase, 4 Pole, 380V

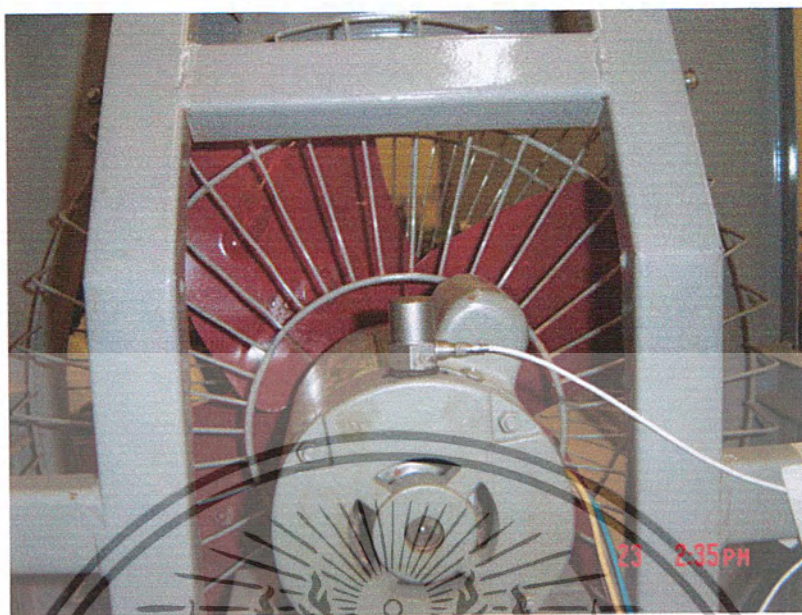


ตำแหน่งการติดตั้งPotor sensor เพื่อวัดสัญญาณในการหาตำแหน่งมวล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer เพื่อวัดความเร็วรอบ



ชุดทดสอบอีกร่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดบันทึกผลสัญญาณการสั่นสะเทือน

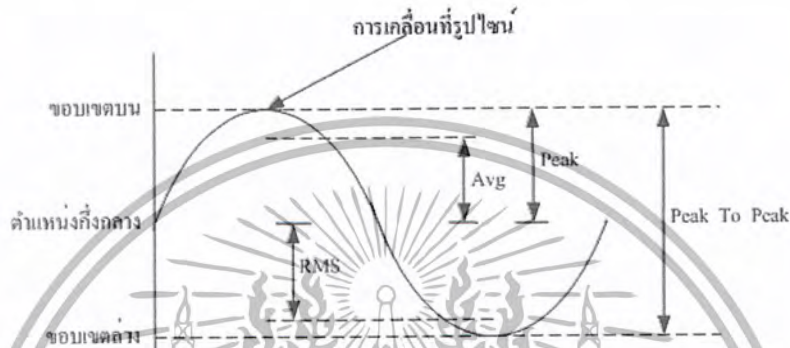


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน (Unit of Measurement Amplitude of Vibration Signal)

เมื่อสัญญาณการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็นการขจัด ความเร็ว หรือความเร่งนั้นอยู่ในรูปของรูปคลื่นไซน์หรือรูปเป็นคาบ ซึ่งจะมีทั้งค่าบวกและค่าลบและมีค่าแปรเปลี่ยนตามเวลา การบอกขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนในลักษณะในลักษณะการบอกขนาดโดยรวม(Overall Value of Vibration)ที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้



1. ระดับยอดสูงสุด(peak level)เป็นการบอกค่าระดับสูงสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนไปจากระดับศูนย์ ทั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะการสั่นสะเทือนอย่างอื่น ค่านี้มักนิยมใช้วัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทกในช่วงเวลาสั้นๆ

2. ระดับยอดสูงสุดถึงยอดสูงสุดอีกยอดหนึ่ง(peak to peak level)ซึ่งก็คือการบอกขนาดของสัญญาณที่วัดจากจุดสูงสุดทางด้านบวกถึงจุดต่ำสุดทางด้านลบ

3. ค่าเฉลี่ย(average level)เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งในกรณีทั่วๆไปที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีทั้งค่าบวกและลบและเมื่อเทียบกับตำแหน่งสมดุลย์ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยในกรณีนี้จะคิด โดยทำการเปลี่ยนเครื่องหมายของสัญญาณที่เป็นลบให้เป็นบวกแล้วคิดเฉลี่ยออกมา

4. ค่าอาร์เอ็มเอส(rms: root mean square)เป็นค่าที่ได้จากการนำสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งมากำลังสองแล้วทำการเฉลี่ยตลอดคาบแล้วถอดรากที่สองออกมา

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

5. แฟกเตอร์เครสท์(crest factor)เป็นอัตราส่วนของ peak level กับ rms level ซึ่งค่าดังกล่าวจะให้ข้อมูลว่าลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัด ได้มีแนวโน้มเป็นการสั่นสะเทือนลักษณะแบบกระแทก(impulse)หรือแบบสุ่ม(random)ในกรณีที่เป็นลักษณะแบบกระแทกค่า แฟกเตอร์เครสท์จะสูง ส่วนกรณีที่เป็นลักษณะแบบสุ่มค่าแฟกเตอร์เครสท์จะต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ด้วยวิธีการต่างๆ

เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนสามารถทำงานได้สมบูรณ์ต้องติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ให้สัมพันธ์แนบสนิทกับผิวของชิ้นส่วนที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน โดยมีแนวแกนของทรานส์ดิวเซอร์ในทิศทางเดียวกับการสั่นสะเทือน ทั้งนี้เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ได้รับการถ่ายทอดการสั่นสะเทือนมาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการยึดทรานส์ดิวเซอร์ให้ยึดแนบแน่นกับผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรกระทำได้หลายวิธีและสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการใช้

1. การใช้สลักเกลียว

การใช้สลักเกลียวเป็นการยึดทรานส์ดิวเซอร์ที่แน่นหนามั่นคงจึงมีความถี่ตอบสนองที่สามารถทำงานได้สูงดังนั้นจึงเหมาะสำหรับวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่และแอมพลิจูดสูงได้และเป็นการติดตั้งหัววัดอัตราเร่งอย่างถาวร โดยที่ผิวหน้าต้องเรียบแต่อาจไม่สะดวกถ้าต้องการตรวจวัดการสั่นสะเทือนเป็นครั้งคราวสลักเกลียวที่ใช้อาจเป็นสลักเกลียวที่ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าและมีแผ่นฉนวนรองรับหัววัดอัตราเร่งเพื่อป้องกันการลัดวงจรลงดินที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. การใช้กาวอีพอกซี

ซึ่งสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าซีเมนต์ที่ทนได้ประมาณ 80°C ในขณะที่มีวิธีการและคุณสมบัติต่างๆเหมือนกันแต่สามารถต่อการสั่นสะเทือนที่มีแอมพลิจูดสูงๆได้ดีกว่า จุดอ่อนของการใช้กาวคือลำบากต่อการปลดหัววัดออกจากตำแหน่งที่ติดตั้งไว้

3. การใช้เทปกาวสองหน้า

จะมีวิธีการติดตั้งและการใช้งานคล้ายกับการใช้ซีเมนต์หรือกาวเพียงแต่จะสะดวกต่อการติดตั้งและเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ความหนาของเทปกาวจะมีผลต่อความถี่ตอบสนองคือถ้าหนามากเช่น 0.8mm. จะให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำคือประมาณ 500 Hz เนื่องจากความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเทปกาว

4. การใช้มือกด

ซึ่งอาจเป็นการกดหัววัดความเร่งลงบนเครื่องจักร โดยตรงหรือจะเป็นการจ่อแท่งโพรบ(Probe)ซึ่งเป็นแท่งโลหะที่ขันแน่นกับหัววัดอัตราเร่งให้ปลายสัมผัสกับเครื่องจักรแทนก็ได้เพื่อให้สามารถกดในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก ทั้งนี้ตำแหน่งผิวของเครื่องจักรควรทำรอยบากไว้เพื่อป้องกันการลื่นและเป็นการกำหนดจุดที่แน่นอนให้การตรวจวัดทุกครั้งที่ทำตำแหน่งเดิมเสมอเนื่องจากการสัมผัสยึดติดของแท่งโพรบและชิ้นส่วนเครื่องจักรอาศัยแรงกดจากมือทำให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำเพียงในช่วงประมาณ 1kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การใช้แม่เหล็ก

เป็นการขีดด้วยแม่เหล็กถาวรที่ขันชนิดแน่นกับกับตัวทรานส์ดิวเซอร์กับส่วนของเครื่องจักรที่สั้น สะเทือนทำให้สะดวกและรวดเร็วตลอดจนมีความสม่ำเสมอของแรงดูดที่ขีดติดหัววัดความเร่งกับเครื่องจักรจึงเหมาะสำหรับตรวจวัดเป็นครั้งคราวแต่อย่างไรก็ตาม ก็จะตอบสนองความถี่ต่ำกว่าวิธีที่ผ่านๆมาและที่สำคัญก็คือชิ้นส่วนที่จะทำการวัดต้องเป็นเหล็กตลอดจนแท่นแม่เหล็กที่ใช้ก็จะเป็นการเพิ่มมวลกับชุดหัววัดอัตราเร่งที่จะไปขีดกับชิ้นส่วน

6. การใช้ขี้ผึ้ง

เนื่องจากการขีดตัวทรานส์ดิวเซอร์ด้วยขี้ผึ้งดังนั้นผิวหน้าของชิ้นส่วนต้องเรียบมากและต้องสะอาดเพื่อให้ขี้ผึ้งยึดหัววัดกับผิวหน้าของเครื่องจักร ได้ดีวิธีนี้ใช้ได้กับหัววัดขนาดเล็กเพราะสะดวกและมีความถ่วงตอบสนองสูง ใกล้เคียงกับกับการใช้สลักเกลียวยึดแต่จะถูกจำกัดด้วยอุณหภูมิซึ่งไม่ควรเกิน 40°C และแอมพลิฟิเคชันสั้นสะเทือนไม่สูงมากนัก

7. การใช้ตัวกรองทางกล

เมื่อต้องการวัดความสั้นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำและแอมพลิฟิเคชันน้อยๆก็อาจจำเป็นต้องใช้ตัวกรองทางกลซึ่งก็คือชุดมวลกับสปริงที่มีความถี่การตอบสนองต่ำซึ่งมีลักษณะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีจำหน่าย ตัวกรองทางกลจะขีดติดไว้ด้านหน้าของหัววัดความเร่งทำหน้าที่กรองการสั้นสะเทือนความถี่สูงไม่ให้ผ่านเข้าถึงหัววัดความเร่ง

จากที่ผ่านมาเป็นารเปรียบเทียบระหว่างการจัดตั้งหัววัดอัตราเร่งแบบต่างๆเพื่อแสดงช่วงความถี่ตอบสนองที่สามารถใช้งานได้ดีของการติดตั้งหลายๆแบบ

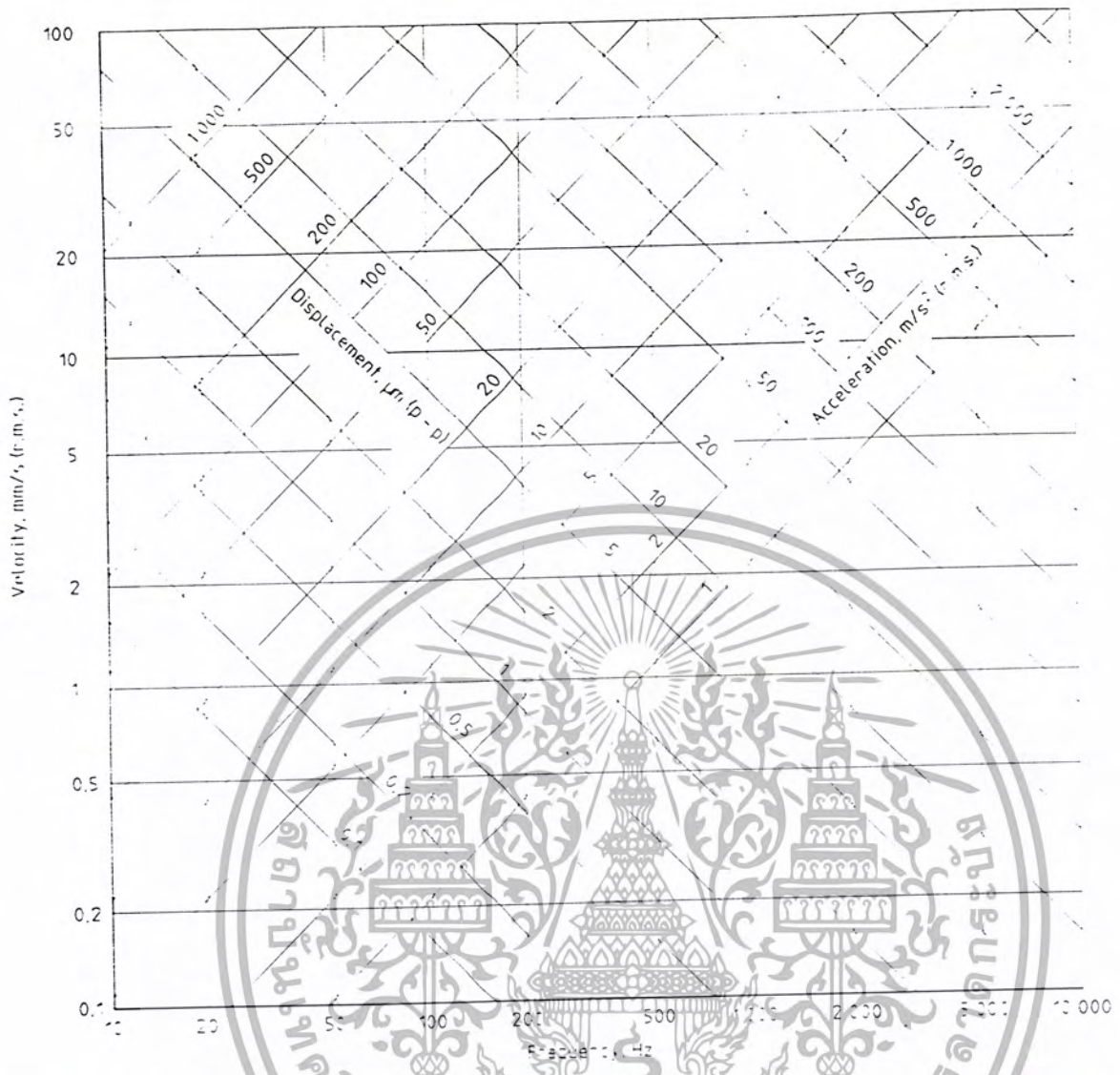


Figure A.1 — Relationship between acceleration, velocity and displacement for single-frequency harmonic components

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Scanning Distance

13.5 mm

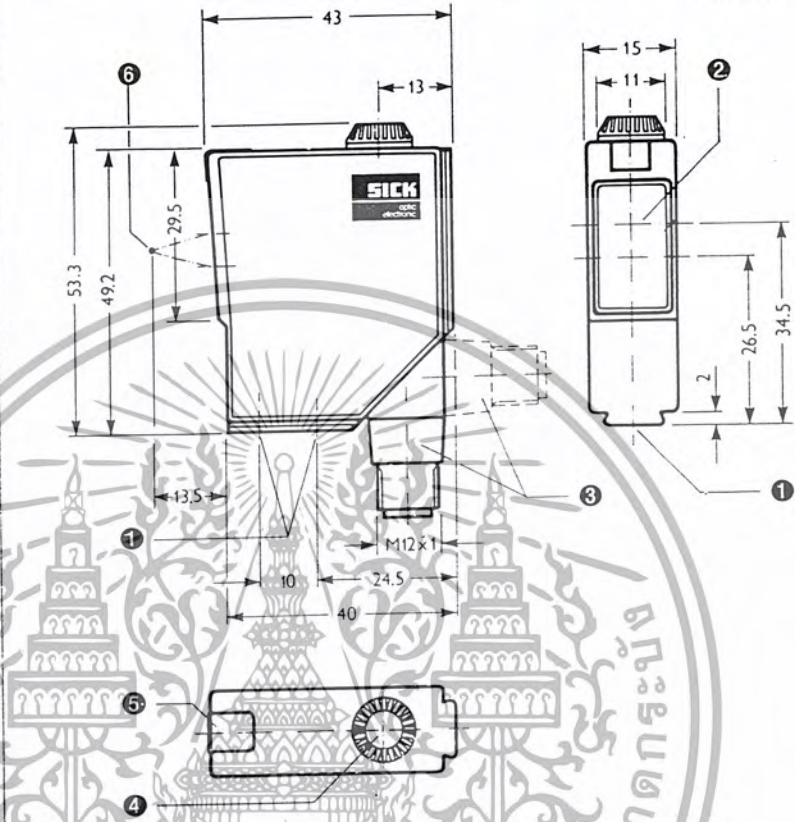


Features:

- LED light sender (green)
- Supply connections reverse-polarity protected
- Insensitive to ambient light
- Light- or dark-switching, selection via control line
- Status indicator
- Switching frequency up to 1.3 kHz
- Solid metal housing, zinc diecasting
- Adjustable sensitivity
- NPN and PNP switching outputs
- CE

WT 12-B 5781

Dimensions in mm

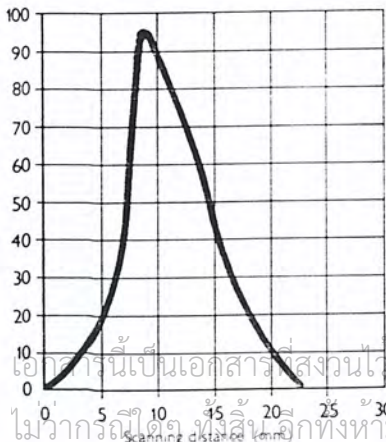
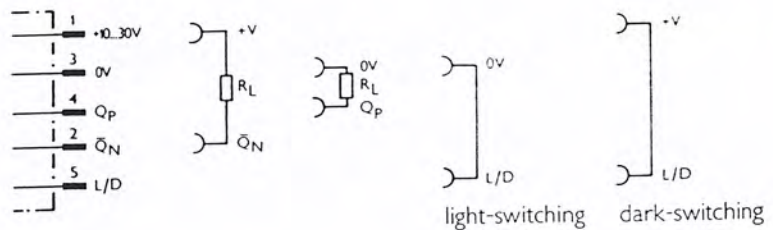


- 1 M4 threaded mounting hole, 4 mm deep
- 2 Centre of receiver optical axis
- 3 5-pin plug
- 4 Sensitivity control
- 5 Signal strength indicator
- 6 Scanning plane

Mounting brackets and cable receptacles: see Accessories (page 238, 242)

Connection Diagram

WT 12-B 5781



WT 12-B 5781

Contrast Sensor

with low Switching Hysteresis

WT 12-B 5781

Scanning distance	13.5 mm	
Scanning-distance tolerance	± 1.5 mm	
Light spot diameter	2 mm	
Supply voltage V_S	10 to 30 VDC (limit values)	
Current consumpt. (no load) at 24 VDC	≤ 25 mA	
Ripple ¹⁾	≤ 5 V _{PP}	
Light sender	LED, modulated, average life 100,000 h ²⁾	
Light wavelength	565 nm (green)	
Switching outputs Q_P and Q_N	light- or dark-switching, reversible L/D via control line	
Operating mode	PNP	NPN
Signal voltage HIGH	$V_S - \leq 2V$	V_S
Signal voltage LOW	0 V	≤ 2 V
Output current I_A max.	100 mA	100 mA
L/D control input	0 V or unswitched: light-switching	
L/D control input	V_S : dark-switching	
Resp. time, max., Switching freq., max. ³⁾	360 μs; 1300/s	
VDE protection class⁴⁾	IP 67	
Enclosure rating	IP 67	
Protection circuits ⁵⁾	A, B, C	
Ambient operating temperature ⁶⁾	-25 to +55°C	
Storage temperature ⁶⁾	-25 to +75°C	
Weight	approx. 130 g	

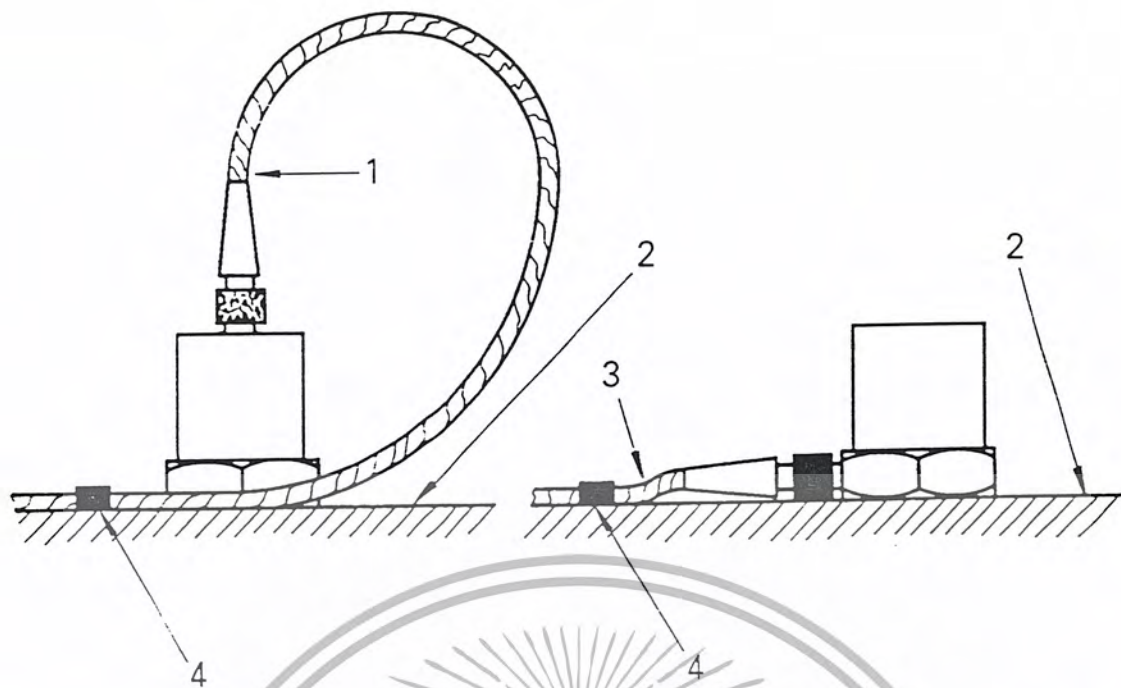
- 1) Must remain within V_S tolerances
- 2) At room temperature = +25°C
- 3) With scanning ratio 1:1
- 4) Withstand voltage 50 V
- 5) A = V_S connections reverse-polarity protected
 B = Q_P and Q_N outputs short-circuit protected
 C = Interference suppression
- 6) Do not distort cable below 0°C;
 do not operate controls below -25°C

Selection Table

Housing	Plug, rear		Plug, below	
	Model	Part No.	Model	Part No.
Standard housing	B 5771	1011 061	B 5781	1010 823

Accessories: 2 m connecting cable with straight cable connector: part no. 6 008 899
 2 m connecting cable with right angle cable connector: part no. 6 008 900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

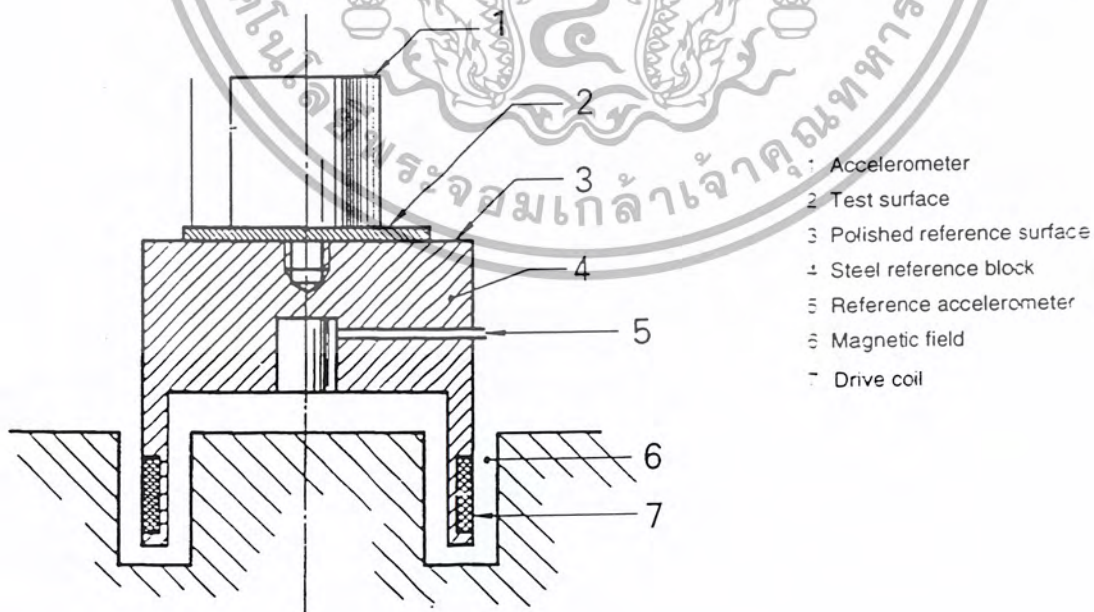


a) Accelerometer with axial connector

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



- 1 Accelerometer
- 2 Test surface
- 3 Polished reference surface
- 4 Steel reference block
- 5 Reference accelerometer
- 6 Magnetic field
- 7 Drive coil

Figure 3 — Accelerometer test arrangement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้ามคัดลอก

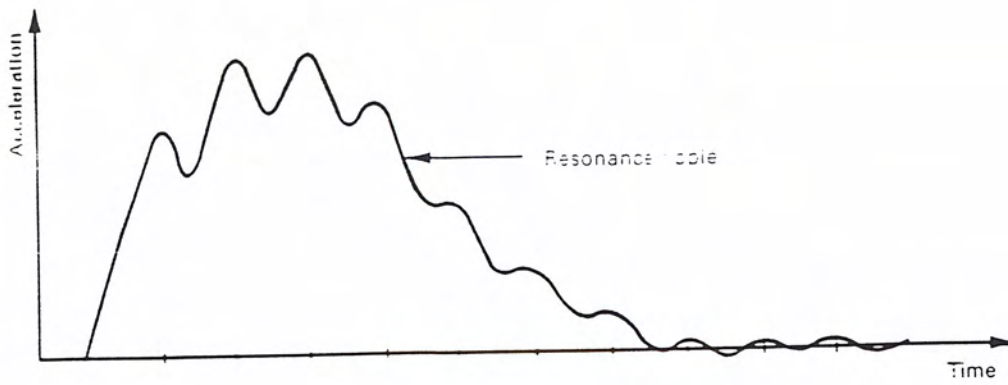


Figure 4 — Accelerometer response to shock

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

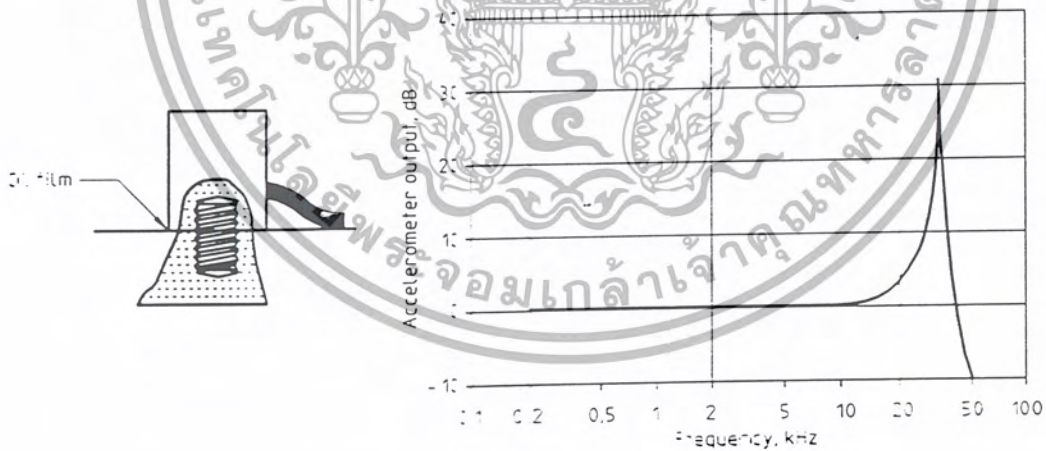


Figure 5 — Typical frequency response of a representative stud-mounted accelerometer with oil film relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

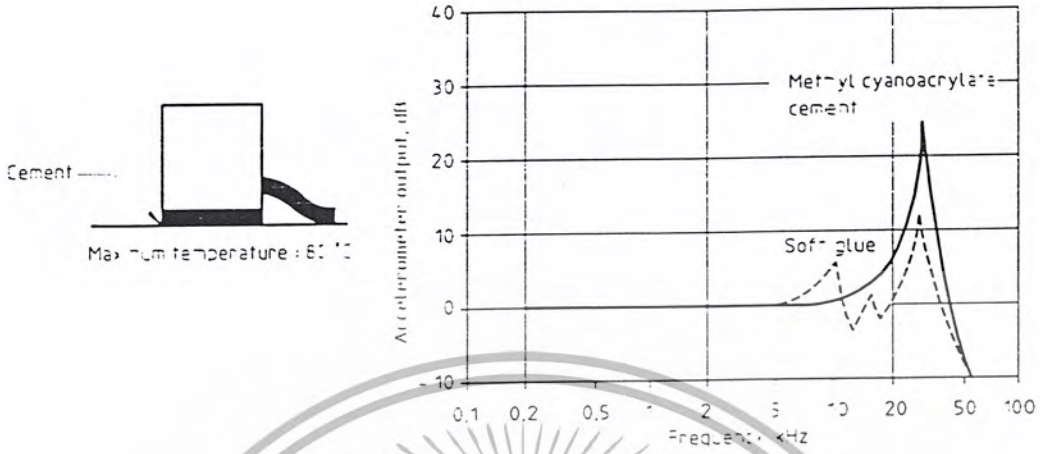
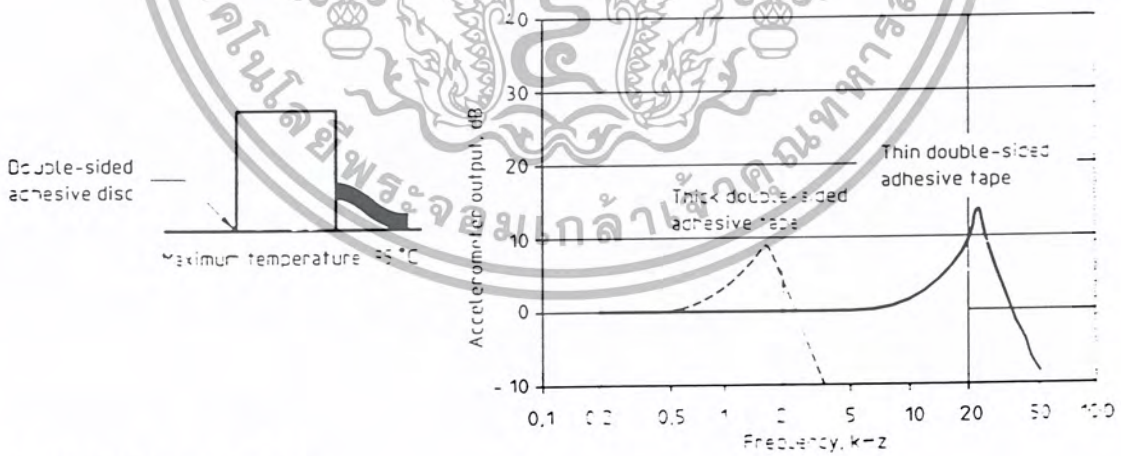


Figure 6 — Typical frequency response of a representative cement-mounted accelerometer relative to the absolute acceleration of the structure at its attachment

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

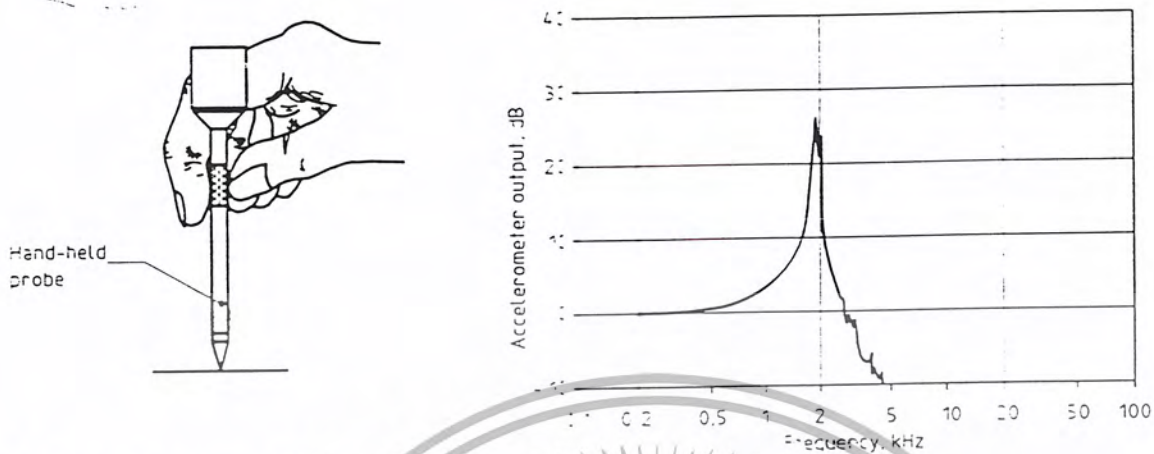


NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

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

Response influenced by:

- constancy of measurement direction
- constancy of pressure
- sufficient pressure
- contact area
- orientation

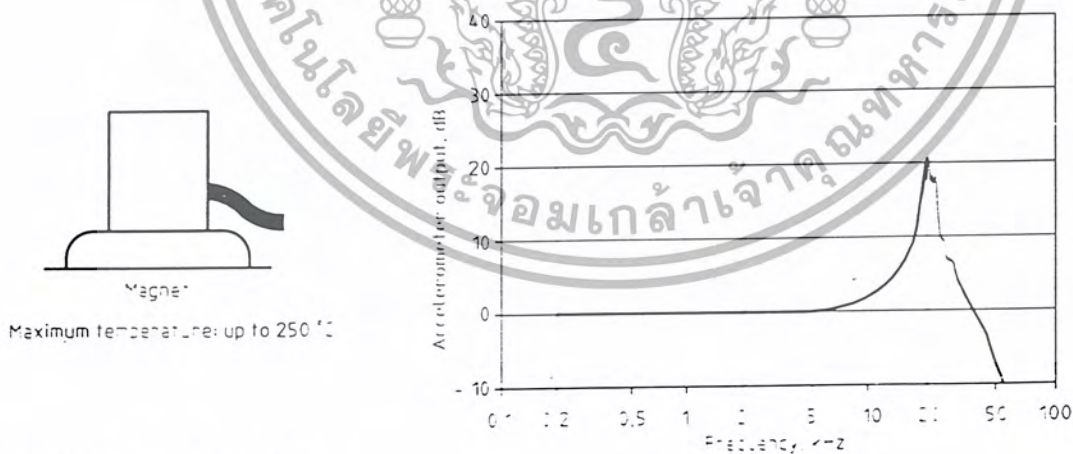


NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

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

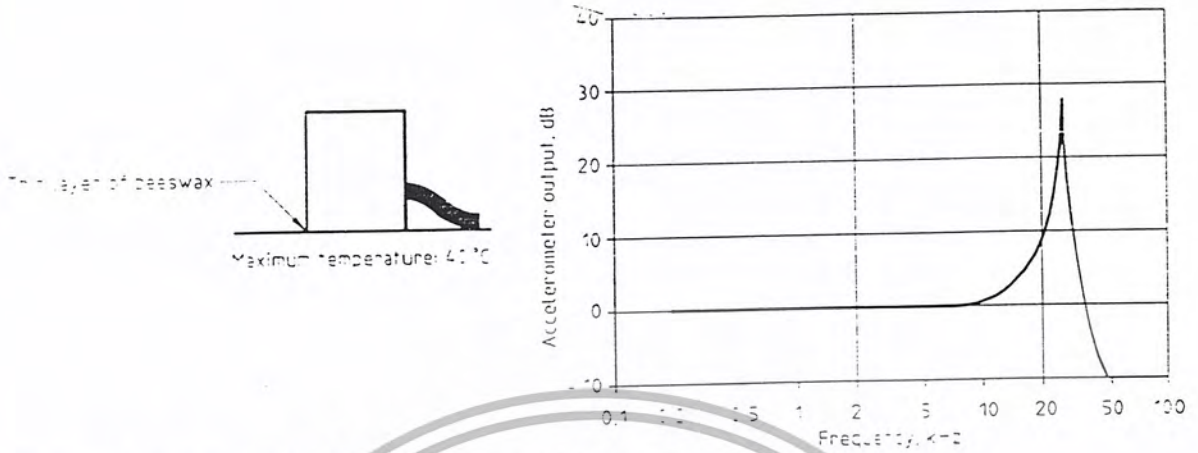


NOTE — Restricted in use, see 5.4.5.

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 อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

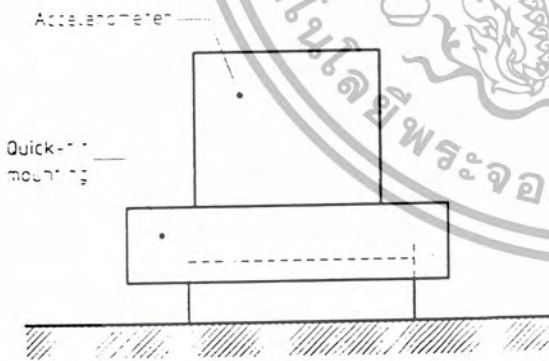
Response influenced by: thickness of wax layer (in relation to mounting area)
 temperature
 area of pick-up
 complex elastic moduli of wax



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

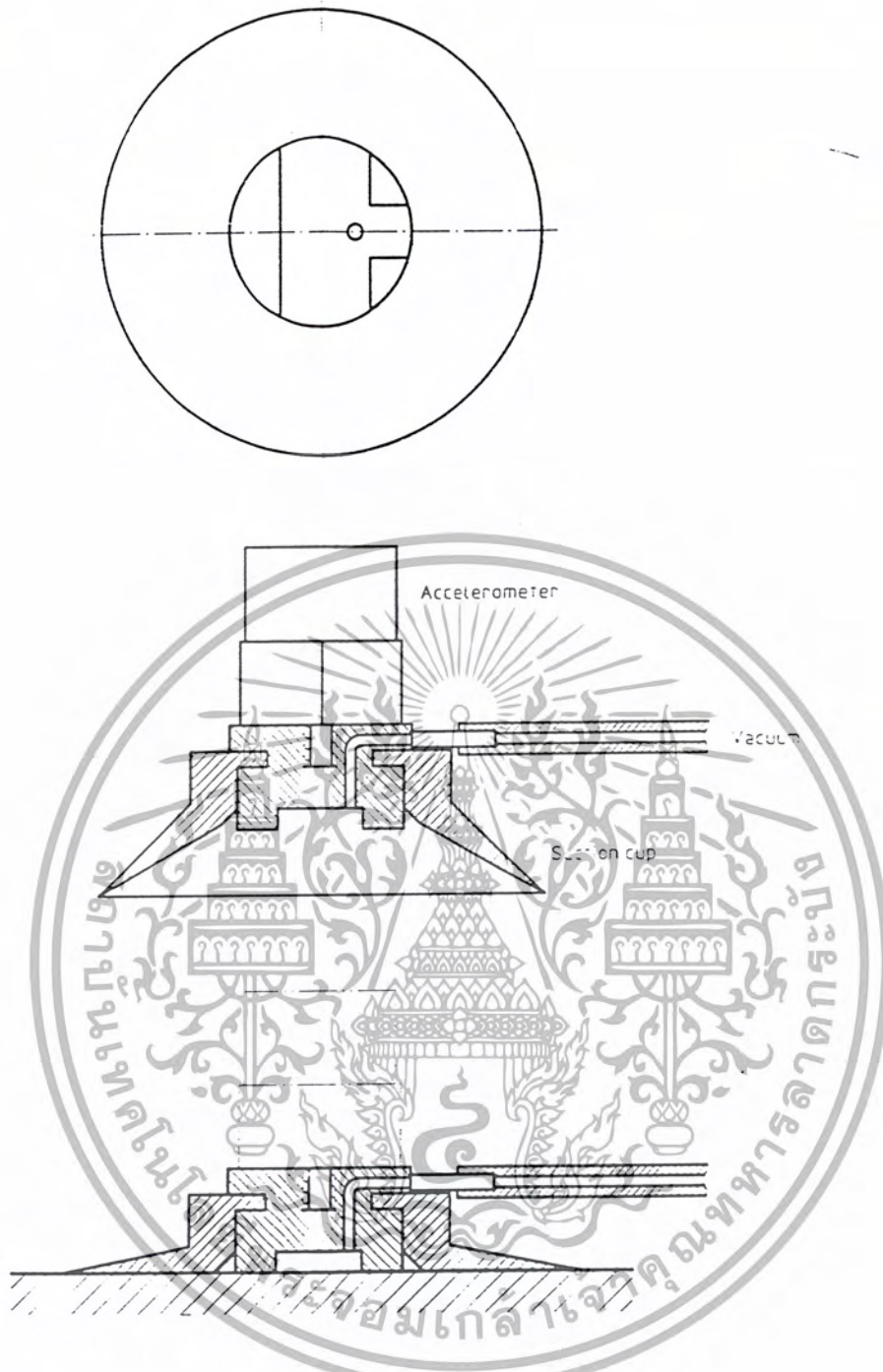


Figure 12 — Vacuum mounting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่ได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Engineering Vibration, Daniel J. Inman, London : Pentice-Hill International ,C 1994
2. Elements of Vibration analysis, Leonard Meirovitch, New York : Mc Grow Hill ,C 1986
3. Fundamental of Mechanical Vibration, A.J. Pretlove, London : Butter Worths, C 1985
4. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน, เดช พุทธเจริญทอง, กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2540
5. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนและการเฝ้าตรวจบำรุงรักษา, ก่อเกียรติ บุญชูกุล, 2539
ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ, สมศักดิ์ ไชยพินันท์, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้