

การพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ปริญญานิพนธ์

ของ

พีรเชษฐ์ ศรีชัย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2546

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๖๓.๕๑๑

พ.๗๑๑๗

๐.๖

การพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

๑๗ พ.ย. ๒๕๔๖

บทคัดย่อ
ของ
พีรเชษฐ์ ศรีชัย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม ๒๕๔๖

๐.๐๐๐๐๐๐

พีรเชษฐ์ ศรีชัย.(2546). *การพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร*. ปริญญาโท ภาศ.ม.

(อุตสาหกรรมศึกษา).กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.คณะกรรมการ

ควบคุม : อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล, อาจารย์ โอบาส สุขหวาน.

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมาย เพื่อ การพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร แล้วนำมาประเมินหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับเครื่องวัด Tektronix โดยการทดสอบวัดค่าความถี่ทดสอบ 3 ช่วง พบว่าไม่มีค่าความแตกต่างกันใน ช่วงความถี่ทดสอบ 50 – 500 เฮิร์ตซ์ และช่วงความถี่ทดสอบ 550 – 1,000 เฮิร์ตซ์ แต่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในช่วงความถี่ทดสอบ 1,100 – 2,000 เฮิร์ตซ์โดยเกิดความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.20

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน เปรียบเทียบกับเครื่อง Stetchoscope ผลปรากฏว่า เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร สามารถตรวจฟังในจุดทดสอบต่างๆได้ตรงกับเครื่อง Stetchoscope

การประเมินสมรรถนะของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ใน 3 ด้าน คือด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา พบว่า ด้านกายภาพโดยรวม อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.12 ด้านการใช้งานโดยรวม อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.36 และด้านการบำรุงรักษาโดยรวม อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.36

DEVELOPMENT OF MACHINE VIBRATION INSPECTING INSTRUMENT

AN ABSTRACT

BY

PHEERACHET SRICHAH

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
May 2003

Pheerachet Srichai. (2003). *Development of machineVibration inspecting instument.*

Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School,Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Uppawit Suwakhunthakul,Ophast Sookwhan.

The objectives of this thesis were to Development of Machine Vibration inspecting instrument and Evaluated the capability of machine vibration inspecting instrument.

The efficiency test of machine vibration inspecting instrument was made by comparing it with Tektronix instrument. The measurement was made in 3 range of frequency. There are not difference in 50 – 500 and 550 – 1,000 frequency range but in 1,100 – 2,000 frequency range has 0.20 percentage error.

The efficiency test of machine vibration inspecting instrument made by experts to compare with stethoscope instrument appeared that the machine vibration inspecting instrument was able to examine at various testing points in conforming to stethoscope instrument.

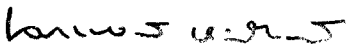
The capability evaluation of machine vibration inspecting instrument were evaluated in 3 criterions. First in the physical characteristics, appropriate operation and maintenance. The result of five experts were: the physical characteristics as a total was in good level has average of 4.12 the appropriate operation as a total was in good level has average of 4.36 and maintenance as a total was in good level has average of 4.36.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

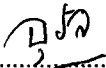
การพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ของ
นายพีรเชษฐ์ ศรีชัย

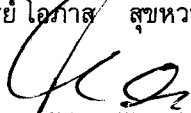
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

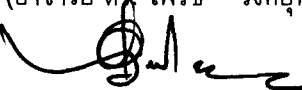
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพรณ์ ทะวานนท์)
วันที่ 7..... เดือน พฤษภาคม..... พ.ศ. 2546

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร. อูปวิทย์ สุวคันธกุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ โอมาส สุขหวาน)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างสูงจาก ดร. อุปวิทย์ สุวคันทรกุล ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ โอภาส สุขหวาน กรรมการ ควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่องอีกทั้งยังประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้เพิ่มเติม อีกทั้งยังให้กำลังใจในขณะดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงตลอดไป

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ดร. ละเอียด รักษ์เฒ่า ที่ท่านให้ความอนุเคราะห์ตรวจแบบประเมินหาประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และอาจารย์ วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม ที่ท่านให้คำแนะนำ ชี้แนะ ช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่อง ในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้จัดการฝ่าย CP Production Division บริษัท อี.ที.เอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการสร้างผลงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้จัดการแผนก CP Maintenance ที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้ใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ขอขอบคุณ คุณ เตชา ชุมพาลี วิศวกร แผนก Engineer ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร และขอขอบคุณ คุณ สุวัฒน์ ยุทธสินเสวี ผู้ช่วยผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง บริษัทไมโครคริสตอลที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องทดลองเพื่อสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ท้ายที่สุดแล้วผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัย ครู-อาจารย์ อันเป็นที่เคารพรักสูงสุด ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้กำลังใจสนับสนุนการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

พีรเชษฐ์ ศรีชัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	2
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	2
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
การบำรุงรักษาและการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน.....	6
ทฤษฎีและการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร.....	10
เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง.....	18
หลักและการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร.....	22
อุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน.....	28
สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน.....	38
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	42
ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน.....	44
ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน.....	45
กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน.....	47
กำหนดระยะเวลา และสถานที่ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน.....	47
สร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้.....	48
ทดสอบปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น.....	48
วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ.....	50
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	61
ความมุ่งหมายการวิจัย.....	61
ความสำคัญของการวิจัย.....	61
สมมุติฐานการวิจัย.....	61
การดำเนินการวิจัย.....	61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5(ต่อ) ผลการวิจัย.....	62
อภิปรายผล.....	64
ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	70
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	111

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงตำแหน่งการวัดในแต่ละจุดของเครื่องจักร และทำการเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน.....	51
2	แสดงผลการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญถึงระดับความผิดปกติที่เกิดขึ้น.....	51
3	การวิเคราะห์หาสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยรวมทั้ง 3 ด้าน.....	53
4	แสดงผลการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร.....	54
5	ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่มีต่อสมรรถนะโดยรวม.....	55
6	ผลการวัดค่าความถี่เครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix ในช่วง 50 – 500 เฮิร์ตซ์.....	56
7	ผลการวัดค่าความถี่เครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix ในช่วง 550 – 1,000 เฮิร์ตซ์.....	57
8	ผลการวัดค่าความถี่เครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix ในช่วง 1,100 – 2,000 เฮิร์ตซ์.....	58
9	แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน กับเครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tomos M7 โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน.....	59
10	แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน กับเครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tomos MS โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน.....	59
11	แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน กับเครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tomos MTH โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน.....	60

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ตัวอย่างของการสั่นสะเทือน แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย.....	10
2 ตัวอย่างสัญญาณเป็นคาบเวลาแบบฮาร์โมนิกผสม ($f+2f$).....	11
3 เป็นการแยกส่วนประกอบสัญญาณ.....	11
4 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่จะมีความสั่นสะเทือนมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า.....	12
5 หลักการวัดความสั่นสะเทือนจะเหมือนกับการแกว่งไปมาของลูกตุ้ม.....	13
6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรวม ความเร็ว และอัตราเร่ง.....	15
7 จุดที่ต้องวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร.....	16
8 ทิศทางในการอ่านค่าความสั่นสะเทือน.....	16
9 ปากกาวัดความสั่นสะเทือน.....	17
10 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่-ความเร็ว).....	21
10 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่-ความเร็ว) โดยพิจารณาขนาด และ ชนิดของเครื่องจักร.....	22
12 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ความเร่ง-ความเร็ว).....	23
13 ระดับความรุนแรงความสั่นสะเทือนตามประเภทเครื่องจักรตามมาตรฐาน ISO 2372-1974 (E)	27
14 ระบบการวัดความสั่นสะเทือน.....	28
15 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	30
16 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	30
17 วงจรขยายรวมสัญญาณ.....	31
18 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดความถี่แบบพื้นฐาน.....	32
19 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดคาบเวลา.....	33
20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดอัตราส่วนความถี่.....	34
21 ลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการส่งผ่าน (ก) แบบไฟตรง (ข) แบบไฟสลับ.....	35
22 ความผิดพลาดในการเปิดเกดที่เวลาต่างกัน (ก) สัญญาณอินพุต (ข) สัญญาณเปิดเกดลูกที่หนึ่ง (ค) สัญญาณเปิดเกดลูกที่สอง.....	36
23 วงจรภายในไอซี เบอร์ 4553.....	37
24 การต่อใช้งานเป็นวงจรนับความถี่.....	38
25 จุดที่ทำการตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อเปรียบเทียบ.....	39
26 กรอบความคิดในการศึกษาค้นคว้า.....	43
27 วงจรขยายสัญญาณโดยใช้ไอซี LM 386.....	44
28 วงจรขยายสัญญาณทางเสียง.....	45
29 บล็อกไดอะแกรมการทำงานพื้นฐานของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน.....	46

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
30 ตัวเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน.....	46
31 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องตามลำดับ เลข 1-6.....	70
32 การกลิ้งขึ้นรูปอลูมิเนียมเพื่อทำอุปกรณ์ติดตัวทรานสดิวเซอร์.....	74
33 การกัดขึ้นรูปอลูมิเนียมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และชุดขยายสัญญาณ.....	74
34 การกัดแผ่นอลูมิเนียมขนาด 3 มิลลิเมตร เพื่อทำตัวกล่องเครื่องมือ.....	75
35 การเจาะเพื่อขยายรูสำหรับติดตั้งอุปกรณ์.....	75
36 การตะไบชิ้นงานเพื่อเก็บรายละเอียด.....	76
37 การตีปเกลียวสำหรับยึดสกรูเบอร์ 3.....	76
38 เขียนลายวงจรลงบนแผ่นปริ๊นซ์.....	77
39 กัดแผ่นปริ๊นซ์ด้วยกรด.....	77
40 บัดกรีอุปกรณ์ต่างๆลงบนแผ่นวงจร.....	78
41 ตรวจสอบความถูกต้องของวงจร โดยใช้มัลติมิเตอร์.....	78
42 การปรับแต่งเพื่อความถูกต้อง.....	79
43 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายใน.....	79
44 เครื่องวัดความถี่ Tektronix.....	80
45 การวัดค่าเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน.....	80
46 ตรวจวัดความสั่นสะเทือนด้วยเครื่อง Stetchoscope โดยผู้เชี่ยวชาญ.....	81
47 ตรวจวัดความสั่นสะเทือนด้วยเครื่องที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	82
48 ส่วนประกอบชุดตรวจสอบความสั่นสะเทือน.....	86
49 ชุดแสดงผลทางเสียงและตัวเลข.....	89
50 ชุดแสดงผลทางเสียง.....	87
51 ส่วนประกอบภายในเครื่อง.....	88
52 ส่วนแปลงสัญญาณและนับความถี่.....	89

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

เครื่องมือเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น อุตสาหกรรมต่างก็มุ่งหวังต้องการให้เครื่องมือเครื่องจักรเหล่านั้น สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพไม่เกิดการติดขัดหรือหยุดชะงักในการผลิต เพราะการที่เครื่องมือจักรเหล่านั้นสามารถทำการผลิตโดยไม่เกิดการติดขัดหรือหยุดชะงักส่งผลให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสุดท้ายก็คือ ผลกำไรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกธุรกิจต้องการ งานบำรุงรักษาเครื่องจักร และงานผลิตจึงเปรียบเสมือนสิ่งที่ดำเนินไปด้วยกัน โดยจุดประสงค์หลักของการบำรุงรักษา คือ การควบคุมรักษาให้เครื่องจักรและอุปกรณ์อยู่ในสภาพที่ดีมีประสิทธิภาพ ลดเวลาชารุดของเครื่องจักร และเป็นหลักประกันว่า เครื่องจักรอุปกรณ์พร้อมที่จะใช้งานได้เสมอ มีอะไหล่ชิ้นที่จำเป็นสามารถจะเบิกได้ทันที ในการบำรุงรักษาที่ดีนำไปสู่ผลผลิตที่สูงมากกว่าเดิม คุณภาพมีมากขึ้น และต้นทุนการผลิตต่ำลง (ชรัส จิมพาลี, 2538: 4)

การบำรุงรักษาเครื่องจักรมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของเครื่อง และความสำคัญของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เป็นต้น วิธีหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องจักรคือการตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งเป็นวิธีที่จะทำให้ เราทราบอาการของเครื่องจักรในกระบวนการทำงานว่าอยู่ในสภาพ เช่นใด หรือมีปัญหาเกิดขึ้นในระดับใดเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขให้เครื่องจักรสามารถทำงานต่อเนื่องได้ดีที่สุด เครื่องจักรประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันตามหน้าที่ๆ ได้ถูกออกแบบไว้ขณะเครื่องจักรทำงาน สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นเสมอโดยเฉพาะเครื่องจักรที่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ คือ เสียงและการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากชิ้นส่วนต่างๆ ที่มีการสัมผัส กระแทกหรือเสียดสีและอาจเกิดจากฟกคุดความเคืองที่กำหนดในช่วงการออกแบบและขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วน ขณะเครื่องจักรทำงานเกิดการสั่นสะเทือน หรือมีเสียงดังจึงเป็นเรื่องปกติ แม้ว่าเครื่องจักรนั้นจะเป็นเครื่องจักรใหม่ก็ตาม (เว้นแต่ว่าระดับของการสั่นสะเทือนหรือระดับของเสียงผิดปกติ) หากแต่ถ้าเครื่องจักรทำงานไประยะหนึ่งแล้ว ระดับการสั่นสะเทือนหรือระดับเสียงสูงขึ้น ย่อมแสดงว่าชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรเริ่มมีการสึกหรอเกิดขึ้น หรือเป็นไปได้ที่อาจจะมีส่วน บางชิ้นเริ่มมีอาการผิดปกติเกิดขึ้น หากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ หรือผู้ที่ทำงานกับเครื่องจักรมานานจะสามารถรู้ถึงอาการของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นและทราบว่าปัญหานั้นมาจากสาเหตุใด อีกทั้งการที่จะค้นเคยกับเครื่องจักรแต่ละประเภทยังต้องอาศัยประสบการณ์ และระยะเวลาอันจึงเป็นการยากที่จะอาศัยความเชี่ยวชาญของคนและความรู้สึกถึงอาการผิดปกติ (อุดมจิตต์ นิวาตะบุตร, 2538: 1)

การตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักรโดยการตรวจสอบความสั่นสะเทือน ที่เกิดจากการชำรุดเสียหายของทาลับลูกปืนเป็นวิธีการตรวจสอบวิธีหนึ่งที่จะทำให้ทราบผลความผิดปกติในแต่ละจุดได้อย่างรวดเร็วโดยผู้เชี่ยวชาญที่ทำการตรวจสอบจะใช้ก้านโลหะหรือไขควงแตะบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ แล้วฟังเสียงความสั่นสะเทือนที่ผ่านทางก้านโลหะหรือไขควง วิธีการดังกล่าวให้ผลการตรวจฟังได้ดีในระดับหนึ่งแต่มีข้อเสียตรงที่ไม่มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการตรวจสอบ เพราะการฟังความสั่นสะเทือนต้องทำในขณะที่เครื่องจักรทำงาน จึงอาจทำให้ผู้ตรวจได้รับอันตรายจากการสัมผัสถูกส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรได้ เช่น สายพาน เครื่อง พลุเลย์ หรือ ชุดเฟืองขับ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจสอบเครื่องจักรจึงได้ผลิตอุปกรณ์ตรวจสอบความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยลักษณะคล้ายกับเครื่องตรวจฟังปอดและหัวใจของแพทย์ซึ่งเรียกว่า สเตทโคสโคป (Stethoscope) แต่แตกต่างกันที่มีก้านวัดยาวออกมาเพื่อเพิ่มความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน และยังมีวงจรขยายสัญญาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจได้อย่างละเอียดยิ่งขึ้น เครื่องตรวจชนิดนี้ให้ผลของการตรวจได้ดี

กว่าการใช้ก้านโลหะและไขควงและยังเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น แต่มีข้อจำกัดในเรื่องราคาเครื่องค่อนข้างสูง และการแสดงผลทางด้านเสียงเพียงอย่างเดียว อาจทำให้ผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถบอกถึงปริมาณความสั่นสะเทือนที่ได้จากการตรวจในกรณีที่ต้องการตรวจเพื่อบันทึกประวัติของเครื่องจักรเพื่อการวางแผนซ่อมบำรุง ดังนั้นการออกแบบหรือพัฒนาให้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนสามารถแสดงผลความสั่นสะเทือนออกมาเป็นตัวเลขในรูปแบบของความถี่เสียงที่ได้ยิน จะทำให้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนมีประสิทธิภาพในการตรวจที่ดีขึ้นกว่าเดิม

จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้ศึกษาจึงได้พัฒนาและสร้างเครื่องตรวจ การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อใช้ในการตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรอันมีสาเหตุหลายประการ เช่น ความไม่สมดุลย์ (Unbalance) การสึกหรอของระบบส่งกำลัง ทลับลูกปืน (Bearing) หรือชิ้นส่วนหลวม โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ลดระยะเวลาในการตรวจซ่อม และทำให้การวิเคราะห์หาจุดที่เกิดความบกพร่องของเครื่องจักรมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

จุดมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อพัฒนาเครื่องตรวจ ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ของเครื่องจักร

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

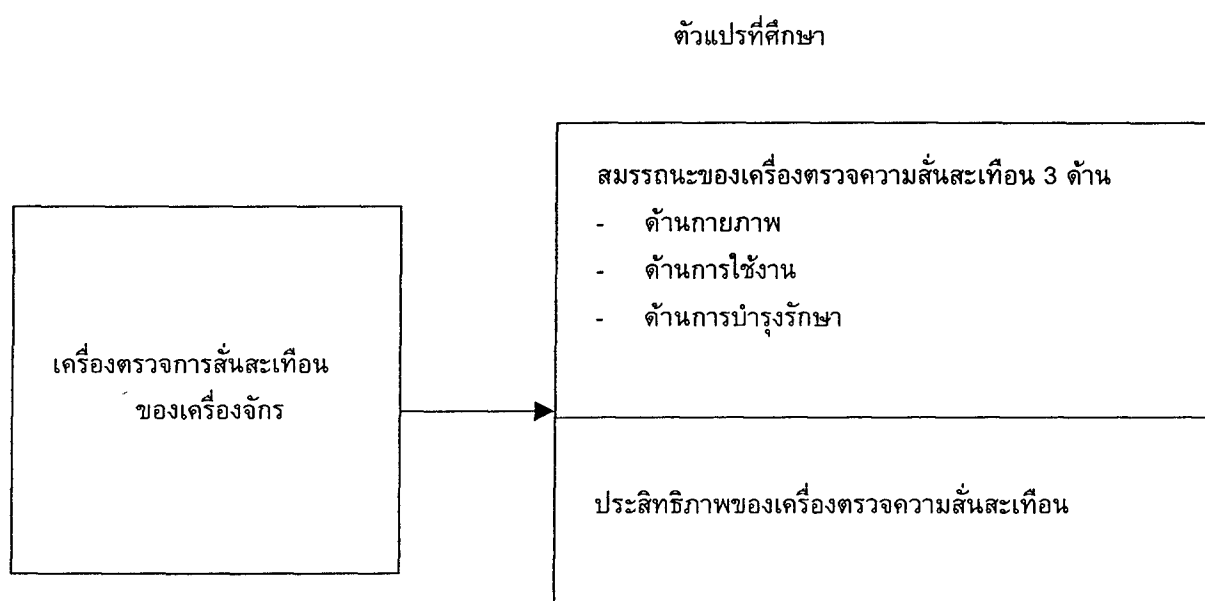
สามารถนำไปใช้ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้การวิเคราะห์หาสาเหตุความผิดปกติของเครื่องจักรทำได้ถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วขึ้น พร้อมคู่มือการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้ศึกษามุ่งที่จะพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือนทางกลให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ประกอบด้วย
 - 1.1 หัวทรานสดิวเซอร์ (Displacement Transducer)
 - 1.2 สายสัญญาณ
2. อุปกรณ์ ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ เพื่อความถูกต้องของสัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วย
 - 2.1 ชุดตรวจสอบสัญญาณ หรือ อุปกรณ์ดีเทคสัญญาณ
 - 2.2 ชุดอุปกรณ์ขยายสัญญาณ
3. อุปกรณ์วิเคราะห์และแสดงผล โดยผลของสัญญาณที่ได้ถูกวิเคราะห์และแสดงผลออกมาในรูปแบบความถี่เสียง และแปลผลความถี่เสียงออกมาเป็นตัวเลขดิจิทัลในหน่วยความถี่เฮิรตซ์
4. ตัวแปรที่ศึกษาค้นคว้า ได้แก่
 - 4.1 สมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร 3 ด้าน ได้แก่
 - ด้านกายภาพ
 - ด้านการนำไปใช้งาน
 - ด้านการบำรุงรักษา
 - 4.2 ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน
5. คู่มือการใช้งานของเครื่องตรวจการสั่นสะเทือน ซึ่งแสดงรายละเอียด การใช้งาน การบำรุงรักษา และความปลอดภัยในการใช้งาน

กรอบแนวคิดการวิจัย



นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ความสั่นสะเทือน

หมายถึง ผลที่เกิดจากความผิดปกติของการหมุนของเครื่องจักรที่มีเพลลาเป็นตัวหมุน และวางอยู่บนตัวรองรับการหมุนที่เป็นลูกปืนหรือแบร์ริงค์ (bearing) สิ่งนี้มีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลง

2. เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

หมายถึง เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ตรวจความสั่นสะเทือนเครื่องกลึงอัตโนมัติ โดยปริมาณความสั่นสะเทือนที่ตรวจได้จะแสดงปริมาณออกมาในรูปของความถี่เสียงเป็นตัวเลขดิจิทัลมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์และแสดงผลความถี่ที่ฟังได้ออกมาทางหูฟัง

3. เครื่องจักร

หมายถึง เครื่องกลึงอัตโนมัติ ซึ่งใช้ผลิตชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือ โดยมีส่วนประกอบหลักสองส่วน คือชุดแท่นเครื่องซึ่งประกอบไปด้วยชุดมีดกลึงจำนวน ห้าป้อมมีด และส่วนที่สองคือชุดป้อนชิ้นงานเรียกว่าชุดโหลดเตอร์โดยอุปกรณ์ทั้งสองส่วนจะทำงานร่วมกันเป็นระบบอัตโนมัติ

4. อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือน

หมายถึง อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นขดลวด พันอยู่บนแกนเหล็ก มีโครงสร้างภายนอกเป็นแม่เหล็กถาวรแล้วอาศัยสภาพการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นตัวทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแรงดัน เพื่อนำไปวิเคราะห์และแสดงผล

5. ตำแหน่งการตรวจฟังสัญญาณสั่นสะเทือน

หมายถึง บริเวณที่เกิดการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความผิดปกติของแบร์ริงค์ โดยมีสาเหตุมาจากความสมดุลย์ของเครื่องจักรในขณะที่ทำงาน และตำแหน่งที่ทำการวัดนี้จะไม่สัมผัสโดยตรงกับแบร์ริงค์

6. การทดสอบ

หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ตรวจความสั่นสะเทือนในแต่ละจุดของเครื่องจักรโดยการนำอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณหรือหัวเซนเซอร์ไปแตะบริเวณที่ต้องการตรวจ เพื่อฟังความผิดปกติและอ่านค่าจากเครื่องแสดงผลดิจิทัล เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินความผิดปกติของเครื่องจักร

7. ผู้เชี่ยวชาญ

หมายถึง บุคคลที่ทำการทดสอบและประเมินสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยมีประสบการณ์ในการซ่อม บำรุงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้เครื่องจักรขนาดเล็กโดยมีขนาดไม่เกิน 20 แรงม้า มีความรู้ ความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับชนิด ขนาดการใช้งาน และการบำรุงรักษาแบร์ริงค์ มีวุฒิการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี และมีประสบการณ์ในการทำงาน ไม่ต่ำกว่า 5 ปี หรือมีวุฒิการศึกษาระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงแต่ต้องมีประสบการณ์ในการทำงานไม่ต่ำกว่า 10 ปีขึ้นไป

8. สมรรถนะของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

หมายถึง ความสามารถในการตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยการนำ ส่วนปลายของอุปกรณ์ไปสัมผัสตำแหน่งที่ต้องการวัด และฟังเสียง เพื่อให้ทราบความผิดปกติของเครื่องจักร หรือทำให้ทราบว่าตลับลูกปืนกำลังเกิดปัญหา เหมาะสำหรับใช้งานในที่ๆ มีเสียงดังรบกวน โดยแบ่งกลุ่มสมรรถนะได้ 3 ด้าน ดังนี้

8.1 ด้านกายภาพ

หมายถึง ขนาดของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ของเครื่องจักร มีขนาดกระทัดรัดสวยงาม เหมาะแก่การใช้งานและมีความแข็งแรงปลอดภัยในขณะใช้งาน

8.2 ด้านการใช้งาน

หมายถึง ผู้ใช้สามารถนำอุปกรณ์ตรวจฟัง ไปใช้งานได้ง่าย เนื่องจากมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้สะดวก และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลท์

8.2 ด้านการบำรุงรักษา

หมายถึง การบำรุงรักษาก่อนและหลังการใช้งาน ทำได้อย่างเหมาะสม เพราะมีอุปกรณ์หลัก 3 ส่วน คือ ส่วนตัวเครื่อง ส่วนหัวสัมผัส และส่วนหูฟัง สามารถถอดประกอบได้ง่ายไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย

9. ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนหมายถึง

9.1 ประสิทธิภาพจากการตรวจฟังโดยผู้เชี่ยวชาญ

หมายถึง ความสามารถในการตรวจฟังการทำงานของเครื่องจักรว่ามีสภาพการทำงานเป็นปกติหรือไม่ โดยประเมินจากการตรวจฟังโดยผู้เชี่ยวชาญว่า สัญญาณที่ฟังได้มีความราบเรียบดีไม่มีการสะดุดติดขัดหรือการกระแทกกับรางลูกปืนจะแสดงให้เห็นว่าจุดที่ทำการตรวจสอบมีสภาพเป็นปกติ หากมีปริมาณของการสะดุดหรือการกระแทกเกิดขึ้นจะแสดงให้เห็นว่าเกิดความผิดปกติกับจุดที่ทำการตรวจฟัง จนถึงขนาดของสัญญาณที่ตรวจฟังมี

ขนาดไม่คงที่และสูงกว่าสัญญาณที่ตรวจได้ในสภาวะปกติย่อมแสดงว่าเกิดการชำรุดเสียหายของตัวลูกปืนในจุดที่ทำการตรวจฟัง โดยจะใช้ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการตรวจฟังกับค่าที่วัดได้จากการแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิตอล

9.2 ประสิทธิภาพจากการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน

หมายถึง ความสามารถในการตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องตรวจฟังจะแสดงผลความถี่เสียงที่ฟังได้ออกมาเป็นตัวเลขดิจิตอลในหน่วยความถี่เฮิรตซ์ ได้เท่ากับเครื่องวัดความถี่ Tektronix รุ่น CMC 250 โดยการดูผลการวัดและเปรียบเทียบ

สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า

เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี และมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและสร้าง เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร มีดังนี้

1. การบำรุงรักษาและการตรวจสอบเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน
2. ทฤษฎีและการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
3. เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
4. หลักและการวิเคราะห์ สัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
5. อุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน
6. สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน
7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การบำรุงรักษาและการตรวจสอบเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน

การบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบตามสภาพ จะเน้นที่การตรวจวัดสภาพเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งกระทำได้ 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. การตรวจทั่วไป (Simple Inspection) กระทำโดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้ตรวจเป็นเครื่องมือ ได้แก่ การฟังเสียง การเฝ้าดู การสัมผัส การกระทำเหล่านี้ไม่ต้องการลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ แต่ต้องการความเชี่ยวชาญและความคุ้นเคยกับเครื่องจักรของผู้ตรวจสอบ ดังนั้นอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับการตัดสินใจเกี่ยวกับสภาพของเครื่องจักร เนื่องจากผู้ตรวจสอบไม่ได้ทำงานอยู่กับเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งตลอดเวลา ทำให้ขาดความรู้สึกคุ้นเคยกับเครื่องจักร เช่น โดยการใช้มือแตะดูความร้อนที่เสื้อตลับลูกปืน ช่างบำรุงรักษาไม่มีทางที่จะบอกได้ว่าตลับลูกปืนลูกนั้นร้อนขึ้นหรือเย็นลงกว่าเมื่อครั้งที่ตรวจคราวที่แล้ว หรือเมื่อเดือนที่แล้ว ผู้ปฏิบัติงานของฝ่ายผลิตที่ทำงานอยู่กับเครื่องจักรเป็นประจำจะทำงานนี้ได้ดีกว่า ดังนั้นกว่าที่ประสาทสัมผัสของคนจะเริ่มรับรู้ความผิดปกติของเครื่องจักรได้นั้นแสดงว่าสภาพของเครื่องจักรก็มักจะอยู่ในขั้นที่เสื่อมสภาพไปมากแล้ว ซึ่งในบางครั้งอาจจะสายเกินไปที่จะเตรียมการบำรุงรักษาได้ทัน

2. การตรวจสอบสภาพ (Condition Checking) สำหรับชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เสื่อมสภาพ ไปตามเวลา การคอยเฝ้าตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วน เครื่องจักรจะทำให้สามารถคาดคะเนถึงความเสียหายของชิ้นส่วน เครื่องจักรนั้นล่วงหน้าได้

3. การเฝ้าตรวจแนวโน้ม (Trend Monitoring) การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นไปตามเวลาเหมือนกันแต่ไม่ได้แสดงอาการออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาเหมือนแบบที่ 1 จะไม่แสดงให้เห็นสภาพการเสื่อมในระยะแรกของการใช้งาน ความผิดปกติที่แสดงอาการของการเสื่อมสภาพจะปรากฏออกมาอย่างฉับพลัน อย่างไรก็ตามมีแนวความคิดที่ว่ารูปแบบการเสื่อมสภาพแบบนี้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเองอยู่เหมือนกันแม้ว่าจะไม่เป็นรูปแบบเชิงเส้นก็ตาม ตัวอย่างของรูปแบบเช่นนี้ได้แก่ ความเสียหายของตลับลูกปืน

การบำรุงรักษาแบบตามสภาพกระทำโดยอาศัยวิธีการ คือใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ช่วยในการตรวจวัด ทำให้สามารถตั้งระดับเตือนภัย (Alarm Level) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรนั้นได้ก่อนที่จะถึงระดับเสียหาย

(Failure Level) การกำหนดช่วงหมดอายุ (ระยะเวลาจากตั้งเตือนภัยถึงระดับเสียหาย) ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการเตรียมการบำรุงรักษาของหน่วยงานการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เครื่องจักรจะได้รับการบำรุงรักษาที่ต่อเนื่องพบว่สภาพของมันไม่เป็นที่ยอมรับอีกต่อไปแล้วเท่านั้น ซึ่งนั่นหมายความว่าชิ้นส่วนเครื่องจักรนั้นได้ถูกใช้งานจนเกิดความชำรุดเสียหาย

ในปัจจุบันมีเทคนิควิธีการตรวจสอบสำหรับการบำรุงรักษาแบบตามสภาพหลายอย่าง โดยวิธีการตรวจสอบเหล่านี้สามารถทำได้ขณะที่เครื่องจักรทำงาน และที่ทำได้เฉพาะในขณะที่เครื่องจักรต้องหยุดทำงานแล้วเท่านั้น สำหรับรายละเอียดของวิธีการตรวจสอบแต่ละวิธีนั้นเป็นเรื่องทางด้านเทคนิคและวิชาการเฉพาะตัวต้องใช้เวลาศึกษาเป็นเรื่อง ๆ ไป ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงแนวทางการใช้งานวิธีต่าง ๆ พอสังเขปดังนี้

1.1 การตรวจสอบความร้อน (Thermal Monitoring) ใช้ตรวจสอบการทำงานของชิ้นส่วนที่มีการเสียดสี ใช้ตรวจสอบสภาพของฉนวนกันความร้อนต่าง ๆ แลใช้ตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ความร้อน

1.2 การวิเคราะห์สารหล่อลื่น (Lubricant Analysis) ใช้ตรวจสอบความสึกหรอของชิ้นส่วนที่น้ำมันไหลผ่าน โดยใช้การวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

1.3 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) ใช้วิเคราะห์ความผิดปกติหลาย ๆ อย่างของเครื่องจักรได้ดีที่สุด การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนได้ถูกพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เครื่องจักรที่มีการเคลื่อนไหวแบบต่างๆได้ รวมทั้งใช้ในการหาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างที่อยู่กับที่ด้วย

1.4 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Test) ใช้ตรวจสอบหารอยร้าวและข้อบกพร่องอื่นๆ ทั้ง ภายนอกและภายในชิ้นงาน เป็นวิธีจำเป็นด้านความปลอดภัยของอุปกรณ์และภาชนะความดันต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้ได้ในงานควบคุมคุณภาพ เช่น การวัดความหนา การตรวจสอบสภาพพื้นผิว

1.5 การตรวจสอบรอยรั่ว (Leak Test) ใช้ในการตรวจสอบหารอยรั่วภายในชิ้นงาน และใช้ในการควบคุมคุณภาพมากกว่าการบำรุงรักษา

1.6 การตรวจสอบการกัดกร่อน (Corrosion Analysis) เป็นการตรวจสอบสภาพเนื่องจากการกัดกร่อนโดยใช้ขั้นตอนทดสอบเปรียบเทียบเพื่อประเมินการกัดกร่อนในระบบทั้งหมด เช่น ระบบท่อขนส่งสารเคมี

1.7 การวิเคราะห์การไหล (Flow Analysis) โดยการวัดอัตราการไหลของของไหลที่มีอยู่ในระบบ จะทำให้สามารถประเมินสมรรถนะและข้อบกพร่องของระบบได้ เช่น เครื่องสูบลม (Pump)

1.8 การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis) การใช้อุปกรณ์วัดความเค้น เช่น Strain Gauge ติดตั้งอยู่กับชิ้นงานที่ต้องรับแรง จะช่วยให้วิเคราะห์สภาพของชิ้นส่วนนั้นได้ และยังทำให้รู้สภาพการกระทำของแรงต่าง ๆ ในระบบอีกด้วย

1.9 การวิเคราะห์จากคลื่นเสียง (Acoustic Emission Analysis) ใช้การตรวจจับคลื่นเสียงที่เกิดจากความผิดปกติขึ้นภายในเนื้อชิ้นงาน เช่น การขยายตัวของรอยร้าว การเกิด Strain Hardening

เครื่องจักรกับการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

เครื่องจักรที่ใช้กันทั่วไปในโรงงาน เช่น เครื่องสูบลม (Pump), เครื่องเป่าลม (Blower), เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor), ถังเก็บ (Storage Tank), เครื่องกวน (Stirrer), หม้อน้ำ (Boiler), ห้องเฟือง (Gear-box), เครื่องกลึง (Lathe), เป็นต้น เมื่อพิจารณาในแง่ของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพแล้วอาจจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเครื่องจักรกลหมุนและกลุ่มภาชนะความดัน ซึ่งเทคนิคของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพที่มีความ

เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดอาการของข้อบกพร่องอาจถูกแยกแยะได้หลายอย่าง ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะในกลุ่มของเครื่องจักรกลหมุน เนื่องจากมีความสำคัญโดยตรงต่องานวิจัย

กลุ่มเครื่องจักรกลหมุน

ได้แก่ เครื่องสูบลม (Pump), มอเตอร์ (Mortor), หีบเฟือง (Gear-box), เครื่องเป่าลม (Blower), เครื่องกลึง (Lathe) เป็นต้น เทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ปัญหาของเครื่องจักรกลหมุนหลายรูปแบบจะถูกวิเคราะห์ออกมาได้จากการเฝ้าตรวจด้วยเทคนิคนี้ เช่น การไม่สมดุลย์ (Imbalance), การเยื้องแกน (Misalignment), การหลุดหลวมทางกล (mechanical Looseness), การชำรุดของฟันเฟือง (Gear Tooth Defect), ตลับลูกปืนชำรุด (Bearing Defect) เป็นต้น

ข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของเทคนิคนี้คือสามารถดำเนินการตรวจสอบได้ในขณะที่เครื่องจักรทำงานตามปกติ นอกจากเทคนิคนี้แล้วยังมีเทคนิคอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้ได้อีก เช่น

- การตรวจสอบความร้อนสามารถบอกสภาพผิดปกติของตลับลูกปืน
- การวิเคราะห์สารหล่อลื่นช่วยบอกอัตราการสึกหรอของชุดเฟืองทดและตลับลูกปืน
- การวิเคราะห์การไหลช่วยบอกสภาพการทำงานของเครื่องสูบลม
- การวิเคราะห์จากคลื่นเสียงจะทำให้รู้ความผิดปกติภายในโครงสร้างได้ทันที เช่น การเกิดแตกร้าว

(Crack)

การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน

การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน โดยการตรวจวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนจะทำได้ในเชิงความถี่ เนื่องจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกำเนิดขึ้นจากชิ้นส่วนหลาย ๆ ชิ้น ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีความถี่เฉพาะตามลักษณะและคุณสมบัติ การสั่นสะเทือนที่วัดได้หากพิจารณาในเชิงคาบเวลา (Time Domain) จะวิเคราะห์ได้ยาก เพราะการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องจักรจะรวมกันออกมา ปัญหาที่เกิดขึ้นจะไม่ชัดเจนและลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือนแต่ละรอบการหมุนของเครื่องจักรจะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการสั่นสะเทือนซึ่งจะเสริมกันและหักล้างกันในแต่ละช่วง อีกทั้งการบันทึกสัญญาณการสั่นสะเทือนในแต่ละคาบเวลาให้มีความละเอียดมากพอจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความเร็วในการวัดสูงกว่าความถี่ของการสั่นสะเทือน จึงกระทำได้ยากเนื่องจากปัญหาของเครื่องจักรบางปัญหามีความถี่สูงมาก ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้แน่นอน

การวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนจึงต้องทำในเชิงความถี่ (Frequency Domain) เนื่องจากสามารถให้ความแม่นยำสูงกว่าและสามารถใช้เครื่องมือที่มีความถี่ในการวัดไม่สูงมากนัก และสามารถวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหลาย ๆ รอบการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากขึ้น

หลังบันทึกสัญญาณการสั่นสะเทือน ลำดับต่อไปเป็นการนำสัญญาณมาวิเคราะห์ตรวจสอบสภาพปัญหาโดยวิธีการวิเคราะห์และแยกออกเป็น 4 ลักษณะตามฐานข้อมูลของเครื่องจักรดังนี้

- วิเคราะห์จากลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วนเครื่องจักร
- วิเคราะห์จากสัญญาณมูลฐาน
- วิเคราะห์จากย่านความถี่ปัญหา
- วิเคราะห์จากพิกัดสภาพของเครื่องจักร

การเลือกวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับข้อมูลของเครื่องจักรและผลของการวิเคราะห์แต่ละวิธีจะให้คำตอบที่มีความแม่นยำไม่เท่ากัน การเก็บข้อมูลมากจะให้ความแม่นยำและรายละเอียดการวิเคราะห์ได้ดีกว่าวิธีที่ไม่มีข้อมูลของเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

1. วิเคราะห์จากลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วน การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนสามารถตรวจสอบปัญหาได้ดีที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลจากคุณลักษณะของชิ้นส่วนในเครื่องจักร จากหลักการที่ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีลักษณะเฉพาะของการทำงานที่แตกต่างกัน จึงมีพฤติกรรมการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน มีความถี่ของการสั่นสะเทือนแตกต่างกัน ดังนั้นหากมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนใด ระดับการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นของชิ้นส่วนนั้นจะแสดงออกมา ณ ความถี่ของชิ้นส่วนนั้นๆ ดังนั้นหากนำสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรมาพิจารณาจากความถี่ที่มีระดับการสั่นสะเทือนผิดปกติเปรียบเทียบกับความถี่ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น หากตรงกับชิ้นส่วนใดแสดงว่าชิ้นส่วนนั้นมีข้อบกพร่อง นอกจากการตรวจสอบความถี่จากชิ้นส่วนแล้วยังต้องพิจารณาเปรียบเทียบกับลักษณะอาการที่เกิดขึ้น และพิจารณาการสั่นสะเทือนในจุดอื่นๆ ประกอบ

ปัญหาที่สำคัญของการวิเคราะห์วิธีนี้คือ ต้องทราบข้อมูลของเครื่องจักรที่ต้องการตรวจสอบทุกชิ้น เช่น เครื่องจักรมีตลับลูกปืนชนิดใด ขนาดของตลับลูกปืนมีค่าเท่าใด ตลับลูกปืนหมุนที่ความเร็วรอบเท่าใด เป็นต้น เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความเร็วรอบของการทำงานแตกต่างกันออกไป ดังนั้นวิธีนี้ต้องมีการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก และต้องมีข้อมูลครบจึงจะสามารถนำไปคำนวณหาความถี่ได้ ดังนั้นหากเครื่องจักรที่ไม่มีข้อมูลชิ้นส่วนเลยจะไม่สามารถวิเคราะห์โดยวิธีนี้ได้

2. วิเคราะห์จากสัญญาณข้อมูลฐาน การวิเคราะห์วิธีนี้ เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้กับสัญญาณที่บันทึกไว้ในคาบการตรวจสอบครั้งก่อน และสัญญาณการที่บันทึกขณะเครื่องจักรทำงานปกติ (ข้อมูลฐาน) การเปรียบเทียบจะพิจารณาจากแนวโน้มของระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้นจากเดิม และพิกัดสูงสุดของสัญญาณที่ยอมให้มีได้

การวิเคราะห์สัญญาณวิธีนี้ช่วยให้ทราบแนวโน้มและความเปลี่ยนแปลงแต่ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าปัญหาเกิดขึ้นจากชิ้นส่วนใด หรือมีอาการผิดปกติที่ใด แต่ช่วยให้ทราบว่าเกิดอาการผิดปกติขึ้นกับเครื่องจักร

3. วิเคราะห์จากย่านความถี่ของปัญหา จากหลักการที่ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเมื่อมีข้อบกพร่องจะมีระดับของการสั่นสะเทือนสูงขึ้น ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีความถี่การสั่นสะเทือนเฉพาะตามลักษณะ หากพิจารณาลักษณะของชิ้นส่วนจะพบว่าในการตรวจสอบชิ้นส่วนที่เป็นมาตรฐานจะมีอยู่ไม่กี่ชิ้น โดยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับขนาด ความเร็วรอบ จึงสามารถกำหนดได้ว่าความถี่ของปัญหามาจากชิ้นส่วนใด โดยพิจารณาความถี่ของปัญหาอยู่ในย่านความถี่ใด และในย่านความถี่นั้นเกิดจากชิ้นส่วนใดบ้าง

การวิเคราะห์วิธีนี้สามารถใช้กับเครื่องจักรที่ไม่มีข้อมูลของชิ้นส่วน แต่ทราบความเร็วรอบการทำงาน ผลของการวิเคราะห์วิธีนี้จะเป็นเพียงการคาดการณ์ปัญหาที่จะเกิดขึ้น แต่ไม่สามารถให้คำตอบที่แม่นยำเนื่องจากขาดข้อมูลของเครื่องจักรประกอบการวิเคราะห์

4. วิเคราะห์จากเงื่อนไขที่กำหนด เครื่องจักรบางชนิดมีความซับซ้อนมาก หรือมีชิ้นส่วนที่มีลักษณะพิเศษ ผู้ที่ตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอาจทำการเพิ่มเงื่อนไขในการตรวจสอบและลักษณะปัญหาขึ้นมาใหม่ นอกเหนือจากฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม เช่น เมื่อทำการตรวจสอบพบอาการผิดปกติที่ชิ้นส่วนใดและชิ้นส่วนนั้น

ก่อให้เกิดความถี่การสั่นสะเทือนค่าหนึ่งขึ้นมา จากลักษณะความผิดปกติ ความถี่ของปัญหา และวิธีแก้ไข สามารถนำมาเพิ่มเข้าไปในฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบภาพครั้งต่อไป

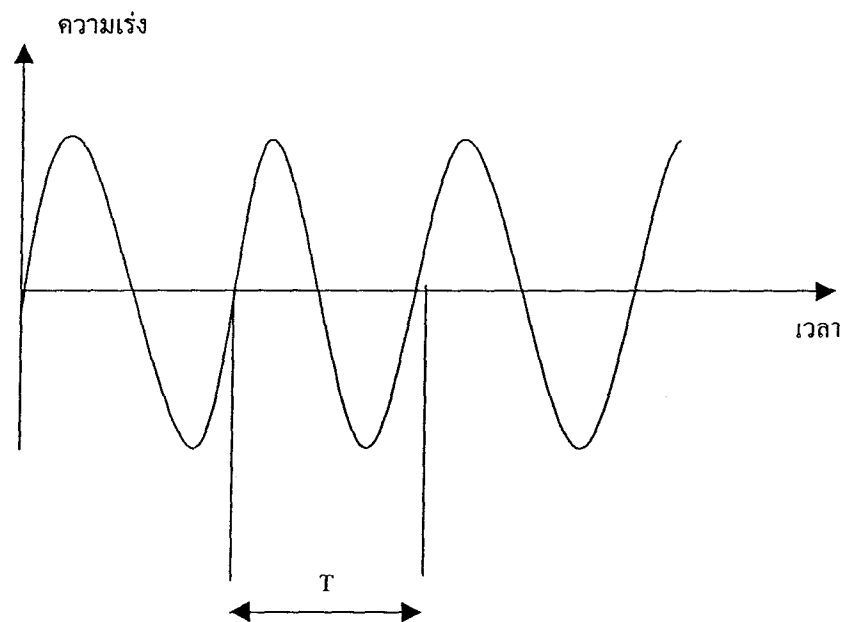
2. ทฤษฎีและการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

การศึกษาทฤษฎีด้านกลศาสตร์ เพื่อจุดประสงค์ในการออกแบบสร้างเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน เพื่อการถ่วงดุลย์แบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Balancing Machines) จะประกอบด้วยทฤษฎีที่สำคัญ คือ ธรรมชาติของการสั่นสะเทือน และทฤษฎีการสั่นสะเทือน

ธรรมชาติของการสั่นสะเทือน (Natural of Vibration)

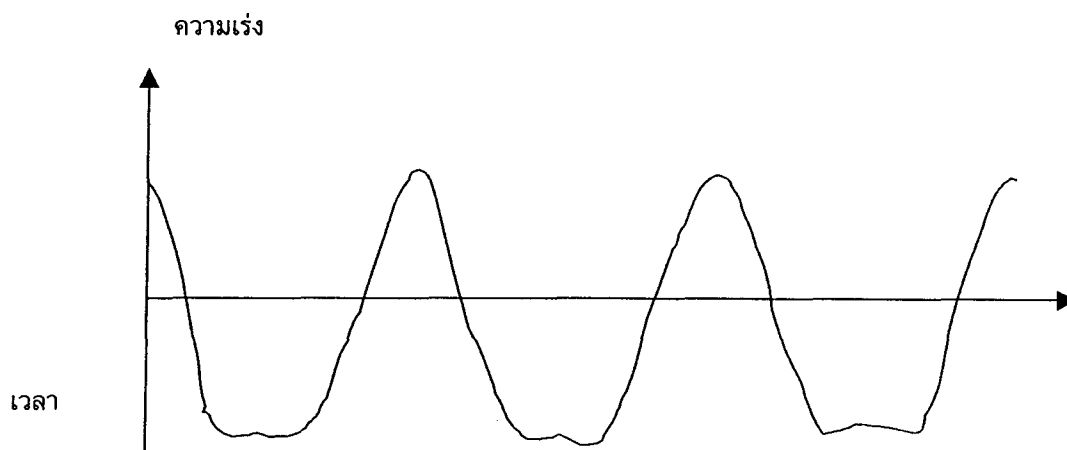
การสั่นสะเทือน อาจพิจารณาเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Particle) ลักษณะแกว่งไปแกว่งมาเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงการเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา (Periodic) แบบสุ่ม (Random) แบบชั่วคราว (Transient) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา

การเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา



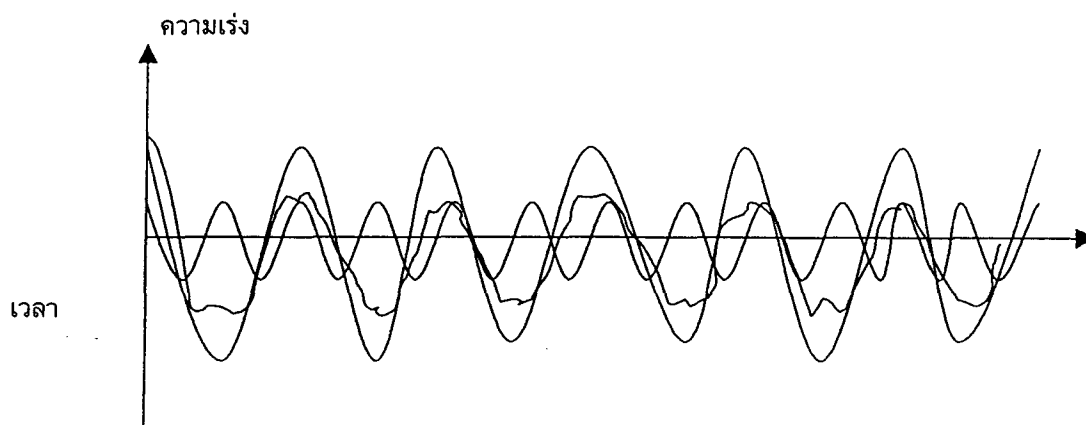
ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างของการสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิคอย่างง่าย

สัญญาณรูปไซน์ (Sinusoidal) ของภาพประกอบ 1 จะเป็นความถี่แยกความถี่เดียว (One discrete frequency) ซึ่งถูกกำหนดโดย $f = 1/T$ และมีหน่วยเป็น เฮิรตซ์



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างสัญญาณเป็นคาบเวลาแบบฮาร์โมนิคผสม ($f+2f$)

จากภาพประกอบ 3 สัญญาณยังคงเป็นคาบเวลาเพราะว่าสัญญาณยังคงซ้ำรูปร่างและคาบเวลาเดิม แต่มีฮาร์โมนิคบนเข้ามา ตัวอย่างนี้เป็นการผสมสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 2 รูปคลื่น



ภาพประกอบ 3 เป็นการแยกส่วนประกอบของสัญญาณ

สัญญาณของภาพประกอบ 3 ประกอบด้วยสัญญาณ 2 รูป ที่มีความถี่และแอมพลิจูด (Amplitude) แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีรูปคลื่นไซน์ รูปหนึ่งมีความถี่เป็น 2 เท่าของอีกรูปคลื่นหนึ่งแต่มีแอมพลิจูดเล็กกว่ามาก ผลรวมของสัญญาณทั้งสองทางคณิตศาสตร์ จะให้ผลลัพธ์เป็นระดับสัญญาณรวม

การวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

การวัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิการทำงานของเครื่องจักรเป็นวิธีการธรรมดาที่สุดที่ใช้ในการตรวจเช็คสภาพการทำงานของเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดอุณหภูมิเป็นวิธีการที่ใช้กันมานานแล้ว ส่วนการวัดความสั่นสะเทือนเป็นวิธีการที่วิวัฒนาการขึ้นมาใหม่ซึ่งนับเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ผลออกมาได้ละเอียดแม่นยำและเที่ยงตรง

โรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากที่มีกรรมวิธีการผลิตอย่างต่อเนื่อง เช่น โรงงานผลิตปูนซีเมนต์, โรงกลั่นน้ำมัน, โรงงานปิโตรเคมี ต้องใช้เครื่องจักรกลที่มีกำลังสูงถึง 40,000 แรงม้าและบางครั้งอาจมีความเร็วรอบสูงถึง 10,000 รอบ/นาที การหยุดชงักจากการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรจะมีผลต่อต้นทุนการผลิตและทำให้ผลผลิตตกต่ำลง

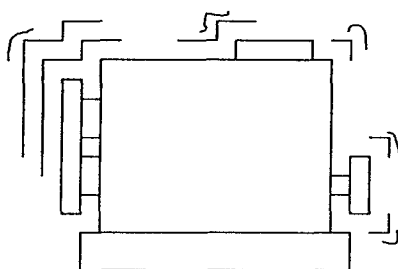
ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดความสั่นสะเทือนจะช่วยให้การวางแผนตรวจซ่อมหรือเปลี่ยนอะไหล่เครื่องจักรก่อนที่จะหยุดชะงักเสียในทันทีทันใด ทำให้ลดเวลาการหยุดเครื่องจักรประหยัดและลดต้นทุนการสูญเสียอุปกรณ์ต่าง ๆ อีกด้วย

ความสั่นสะเทือนเหตุแห่งอันตราย

ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรทุกตัวที่ทำให้เกิดงานนั้น จะมีแรงกระทำที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ปกติจะเป็นคลื่นวงกลมหมุนเวียนตลอดอย่างสม่ำเสมอในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางอื่น

การเคลื่อนที่อาจจะกระทำในทิศทางใหญ่ๆ ได้ 2 ทิศทางคือ การเคลื่อนที่ในแนวนั้น ลงเหมือนกับลูกสูบเครื่องยนต์หรือการหมุนสั่นของเพลลา ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยอันสิ่งที่เกิดขึ้นได้เป็นธรรมดา โดยในการออกแบบการทำงานของเครื่องจักรเราถือว่า "ปกติ" ในการวิเคราะห์สภาพการทำงานของเครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่งเราจะต้องหาระดับความสั่น "ปกติ" ของมันก่อน แล้ววัดความสั่นสะเทือนจากการทำงานจริง ๆ ของมันชนิดของความสั่นสะเทือน แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ส่วนการตัดสินใจว่าจะอะไรอยู่ในเกณฑ์ปกติ จะพิจารณาได้ดังนี้

- การทำงานของเครื่องจักรและแรงที่เกี่ยวข้อง
- ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องจักร เช่นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่จะมีความสั่นสะเทือนมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เพราะแรงกระทำที่มาเกี่ยวข้องแตกต่างกันมาก ดังภาพประกอบ 4



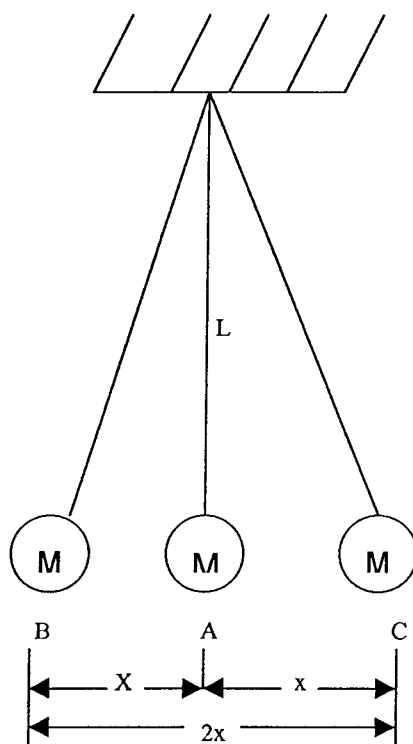
ภาพประกอบ 4 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่จะมีความสั่นสะเทือนมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า

การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรบนแท่นคอนกรีตที่แข็งทื่อเมื่อเทียบกับเครื่องจักรที่ติดตั้งบนแท่นโลหะที่ไม่แข็งแรงแล้วระดับความสั่นสะเทือนบนแท่นคอนกรีตจะเกิดน้อยกว่าและอยู่ในระดับปกติ

การเปลี่ยนแปลงสภาพ เงื่อนไขและขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรการหลดหลวมของสกรู หรือ ระยะรุนของลูกปืน แบร้งมากเกินไป ล้วนแต่จะทำให้ความมั่นคงและความแข็งแรงลดลงจึงอันส่งผลให้เกิดความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นดังภาพประกอบ 4 นอกจากนี้การพอกสะสมของฝุ่นขม่าที่ใบพัดลมก็เป็นส่วนที่ทำให้แรงเกิดการไม่สมดุล และถ้าระดับการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเกินกว่าระดับปกติแสดงว่าเครื่องจักรมีอาการผิดปกติ

หลักการในการวัดความสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรโดยทั่ว ๆ ไปมีหลักการง่าย ๆ เหมือนกับการแกว่งไปแกว่งมาของลูกตุ้ม ดังแสดงเอาไว้ภาพประกอบ 5



M = มวล L = ความยาว
 X = ช่วงกว้าง $2X$ = ช่วงกว้างรวม ปริมาณความกว้าง

ภาพประกอบ 5 หลักการวัดความสั่นสะเทือนจะเหมือนกับการแกว่งไปมาของลูกตุ้ม

เมื่อลูกตุ้ม M เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง A มาจุด B ระยะทางการเคลื่อนที่นี้เราเรียกว่าแอมพลิจูด (Amplitude) อย่างไรก็ตามแรงด้นโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อลูกตุ้มจะทำให้มันเคลื่อนที่กลับไปในตำแหน่ง A

และเกิดแรงสะสมในตัวของมันเอง ทำให้เคลื่อนที่ต่อไปถึงจุด C ระยะทางการเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด C จะเท่ากับระยะทางจากจุด A ไปจุด B

เราจะเห็นว่าระยะทางจากจุด A ไปจุด C จะเท่ากับระยะทางจากจุด A ไปจุด B ระยะทางรวมจากจุด B ถึงจุด C เราเรียกว่า "displacement" (ปริมาณรวมการเคลื่อนที่ของลูกตุ้ม)

ถ้าระยะทางการเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B หรือจากจุด A ไปจุด C แทนการเคลื่อนที่สูงสุดจากจุด A และถ้าลูกตุ้มเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุดนิ่งที่จุด A ระยะทางการเคลื่อนที่ก็จะเท่ากับศูนย์ ถ้าลูกตุ้มยังมีการเคลื่อนที่ต่อไปในขณะที่มีความเร็วโดยเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B หรือจุด A ไปจุด C ความเร็วจะเริ่มลดลงที่จุด B หรือที่จุด C เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของตลกและจุด C จะเป็นจุดที่มีความเร็วสูงสุด

ฉะนั้นความเร็วก็คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของระยะทางใน 1 หน่วยเวลา ถ้าพิจารณาความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มจาก 0.1 นิ้ว/วินาที และมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 0.3 นิ้ว/วินาที การเพิ่มความเร็วนี้จะทำให้เกิดแรงผลักดันลูกตุ้มต่อเนื่องต่อไปอีกเล็กน้อย สมมติว่าใช้เวลา 2 วินาทีในการเปลี่ยนแปลงความเร็วจาก 0.1 นิ้ว/วินาที เป็น 0.3 นิ้ว/วินาที จะได้ค่าของอัตราเร่ง

$$= \frac{0.3 \text{ นิ้ว/วินาที} - 0.1 \text{ นิ้ว/วินาที}}{2 \text{ วินาที}}$$

$$= 0.1 \text{ นิ้ว / (วินาที)}$$

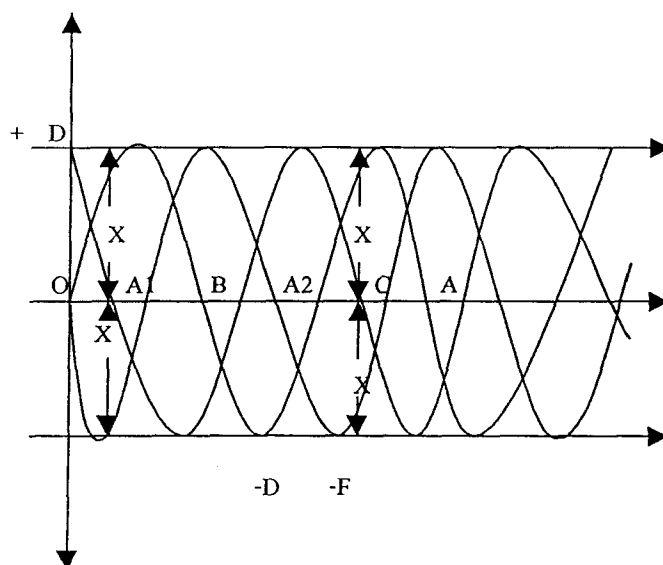
ดังนั้นอัตราเร่ง (Acceleration) ก็คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วใน 1 หน่วยเวลา

ความสัมพันธ์ของปริมาณรวม ความเร็ว และอัตราเร่ง

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 5 จะเห็นว่าที่จุด D เป็นจุดที่มีความเร็วสูงสุดและลดลงมาจุด B ซึ่งมีความเร็วเป็น 0 และลดลงต่อไปอีกเป็นลบหรือเปลี่ยนทิศทางไปทางจุด C ความเร็วเป็น 0 แล้ว กลับไปที่จุด D ที่ความเร็วสูงสุด การเคลื่อนที่รวมจากจุด D ถึง B ถึง - D ถึง C และ ถึง D เป็น 1 ไซเคิลหรือ 1 รอบ สังเกตว่าเส้น displacement curve ที่จุด A1 มีความสูงเท่ากับ 0 และสูงสุดที่จุด F และเปลี่ยนทิศทางกลับไปที่ A2 เป็น 0 ต่อไปที่ -F ซึ่งมีตำแหน่งสูงสุดเช่นกันและกลับไปครบที่จุด A3 สำหรับเส้น accurve ก็คล้ายกับ displacement แต่กลับทิศทางกันเป็นลบเพราะเปลี่ยนทิศทางความเร็วที่จุด B และจุด C

ฉะนั้นระยะทางการเคลื่อนที่จากจุดศูนย์กลางของมวลจะเป็นจุดวิกฤตของการเปลี่ยนแปลง หน่วยที่ใช้วัด displacement คือมิล (mil) ซึ่งเท่ากับ 1 ใน 1000 นิ้ว (0.001 นิ้ว) หรือเป็นมิลลิเมตร

- ความเร็วเป็น มิลลิเมตร / วินาที หรือ นิ้ว / วินาที
- อัตราเร่ง (g) มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที² (g=9.81 เมตร/วินาที² หรือ 32 ฟุต/วินาที²)



ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรวม ความเร็วและอัตราเร่ง

ถ้าลูกตุ้มเคลื่อนที่แกว่งไป-กลับ มาจนครบรอบใน 1 หน่วยเวลา เราเรียกว่า ความถี่ มีหน่วยวัดเป็น "เฮิรตซ์" (Hertz = Hz) ฉะนั้นความถี่ = ไซเคิล/วินาที

ตัวอย่าง ถ้าเรารู้ความเร็วรอบของเครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่ง เช่น พัดลมหมุนด้วยความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที เราก็สามารถหาค่าความถี่เบื้องต้นได้

$$\text{ความถี่} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ Hz}$$

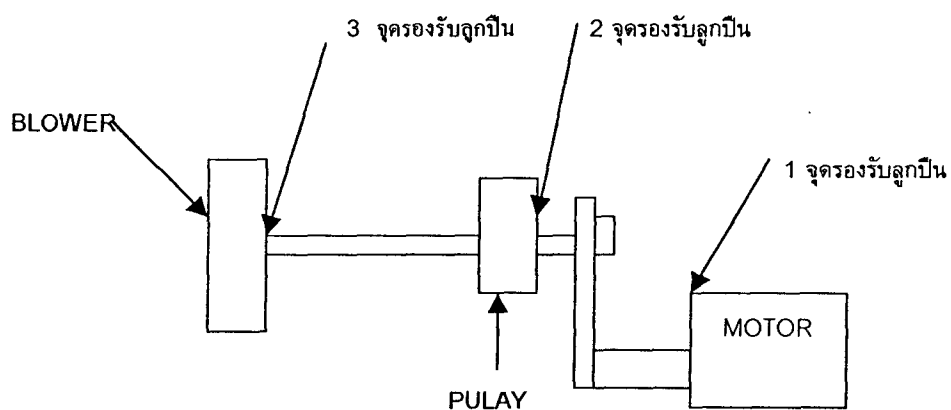
ในทางปฏิบัติ การตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลที่ใช้กันมากมีอยู่ 3 แบบคือ

1. เป็นระยะทาง หรือ Displacement
2. ใช้ความเร็ว
3. ใช้อัตราเร่ง

จุดวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

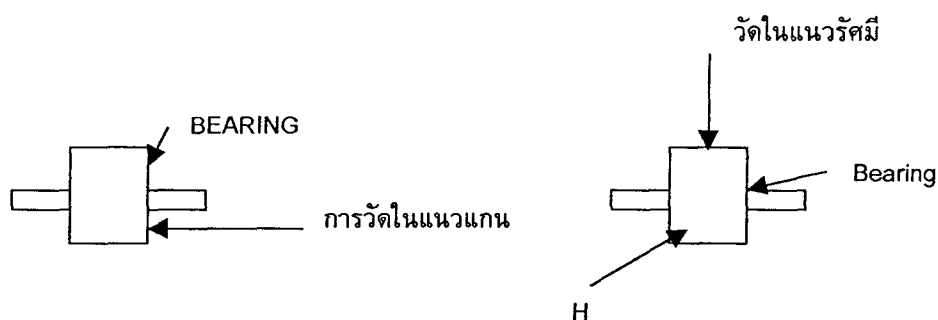
ความสั่นสะเทือนที่จุดวัดควรเป็นจุดที่ควบคุมการสั่นสะเทือนทั้งหมดของเครื่องจักร แรงที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทผ่านลูกปืน แบริ่ง เสือลูกปืน และแท่นรองรับของเครื่องจักร ในการวัดการสั่นสะเทือนหัววัด (accelerometer) ควรจะอยู่บนเสื่อของลูกปืนหรือใกล้กับเสื่อลูกปืน

การ์ด ฝาครอบ แท่นหน้าปัดต่าง ๆ ไม่ควรใช้เป็นจุดวัดโดยทั่วๆ ไป จุดที่เราเลือกวัดจะเน้นเฉพาะจุดที่ทำให้เกิดปัญหาซึ่งประกอบด้วยใบพัดลม สายถ่านขับพัดลม หน้าแปลนต่อเพลากการวัดที่จุด 3 จุดนี้จะทำให้เราทราบความสมดุลของใบพัดลม ถ้าไม่สมดุลจะมีปัญหากระทบกระเทือนถึงจุดอื่นๆ ได้ นอกจากนี้เรายังสามารถวิเคราะห์สภาพของเครื่องจักรทั้งหมดได้อีกโดยวัดที่จุด 2 และจุด 1 ดูภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 จุดที่ต้องวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ทิศทางการวัดเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ความไม่สมดุลของพลาหมุนและการสั่นสะเทือนในแนวรัศมีจะกระทำทุกทิศทุกทางในแนวการหมุน



ภาพประกอบ 8 ทิศทางในการอ่านค่าความสั่นสะเทือน

ในทางปฏิบัติการอ่านค่าความสั่นสะเทือนจะอ่านได้ 3 ทิศทางคือ

1. แนวแกนของเพลลา (Axial = A)
2. แนวตั้ง (Vertical = V)
3. แนวราบ (Horizontal = H)

ผลจากการตรวจวัดในแนวแกนของเพลลา A จะทำให้เราทราบความผิดพลาดจากการปรับตั้งศูนย์ เช่น ระยะการรูนของเพลลา การบิดดัด-งอ และการประกอบหน้าแปลนของต่อเพลลาเป็นต้น

- ผลจากการวัดในแนวตั้ง V จะทำให้เราทราบการชำรุด - เสียของชิ้นส่วน ส่วนประกอบของโครงสร้างเครื่องจักร

- ผลจากการวัดในแนวราบ H จะทำให้เราทราบลักษณะความไม่สมดุลของเพลลาหมุนเป็นต้น

3. เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์

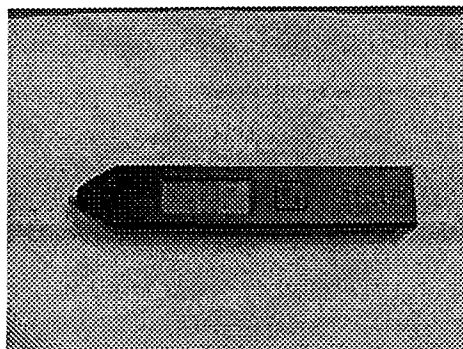
เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน มีองค์ประกอบหลักประกอบด้วย หัว ทรานส์ดิวเซอร์สายวัด และเครื่องประมวลผลและอ่านผล เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อความแม่นยำในการวินิจฉัยข้อบกพร่องของเครื่องจักร เพราะว่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะต้องผ่านการแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และประมวลผลออกมาซึ่งบางครั้งต้องผ่านตัวกรอง Filter ตัวแปลงต่างๆ เช่น Fast Fourier Transform แล้วแสดงผลออกมา ผลที่แสดงอาจให้ข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น หากมีการติดตั้งหัวทรานส์ดิวเซอร์ที่ไม่ถูกต้อง การเลือกหัวทรานส์ดิวเซอร์ที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นความเข้าใจเรื่องเครื่องมือวัด และการใช้เครื่องมือวัด จึงเป็นปัจจัยสำคัญ

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนประกอบด้วย หัวทรานส์ดิวเซอร์ สายเคเบิลและเครื่องประมวลผลและอ่านผล สำหรับเครื่องประมวลผลและผ่านผลนั้นมีหลายแบบ อาทิ มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter) เครื่องเฝ้าตรวจการสั่นสะเทือน (Vibration Monitor) เครื่องวิเคราะห์แบบตัวกรองกวาด (Swept Filter Analyzer) เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที (FFT Data Collector and Analyzer) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเวลาจริง (Real Time Spectrum Analyzer) และอื่น ๆ แต่เครื่องที่นิยมใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรและวิเคราะห์ข้อบกพร่องนั้น จะเป็นมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนและเครื่อง วิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที เนื่องจากใช้งานง่ายและเป็นเครื่องมือที่มีขนาดกระทัดรัดหิ้วไปมาได้

3.1. เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Pen)

จะเป็นเครื่องมือวัดขนาดเล็กแบบมือถือ สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้ ทำงานด้วยแบตเตอรี่ สามารถวัดขนาดการสั่นสะเทือนเป็นขนาดรวม (Overall Value) โดยจะแสดงผลด้วยตัวเลขดิจิทัล บอกขนาดเป็นระยะทางใช้งานง่ายให้ผลที่รวดเร็ว



ภาพประกอบ 9 ปากกาวัดความสั่นสะเทือน

3.2 เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที (FFT Data Collector and Analyzer)

จะเป็นเครื่องที่มีความสามารถสูงกว่ามิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน ตัวเครื่องจะสามารถวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นทั้งแบบรวม (Overall Value) และด้วยสัญญาณบนโดเมนความถี่เป็นอย่างน้อย เครื่องบางเครื่องจะสามารถวัดข้อมูลเฟสและทำสมมูลได้ด้วย และมักจะแสดงผลเป็นกราฟของสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่บนจอภาพ ในเครื่องที่มีราคาแพงจะมีฟังก์ชันการใช้งานที่ซับซ้อนขึ้น อาทิ สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก และสามารถถ่ายข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ เครื่องมีนี้มักถูกออกแบบให้เป็นแบบหิ้วไปมาได้การวัดมุมเฟสจะทำการวัดได้ โดยใช้เครื่อง Strobe Light หรือใช้จุด Photo Cell ร่วมกับหัวทรานส์ดิวเซอร์และเครื่องวิเคราะห์

3.3 หัวทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Measuring Transducers)

ทรานส์ดิวเซอร์จะเป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่แปลงสภาพการสั่นสะเทือนที่ต้องการเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีรูปแบบและคุณสมบัติเฉพาะอย่างไรขึ้นกับรุ่นและแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิต

ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือนสามารถแยกประเภทตามหลักการของการเกิดสัญญาณได้เป็น

3.3.1 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่

3.3.2 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็ว

3.3.3 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง

ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer)

เป็นทรานส์ดิวเซอร์แบบที่ไม่ต้องมีการสัมผัสโดยตรง (Non-Contact) ใช้หลักการของการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนเข้าไปเมื่อระยะห่างระหว่างวัตถุและขดลวดเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้กระแสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับระยะห่าง ซึ่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกนำไปประมวลผลต่อไป

ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็ว (Velocity Transducer)

เป็นทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งใช้วัดความเร็วของการสั่นสะเทือนโดยตรง และยังสามารถทำการคำนวณเป็นระยะการเคลื่อนที่ได้ด้วย ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็วมีหลักการทำงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของขดลวด (Seismic Velocity Pickup) ซึ่งขดลวดนั้นจะถูกรองรับด้วยสปริงและมีแม่เหล็กถาวรและยึดติดกับตัวเรือนเมื่อมีการสั่นสะเทือนขดลวดจะสั่นและเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และจำนวนรอบของขดลวดและความต่างศักย์ไฟฟ้าจะถูกนำไปประมวลผลต่อไป

ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง (Acceleration Transducer or accelerometer)

เป็นทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งใช้วัดความเร่งของการสั่นสะเทือน (จากความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ได้) ซึ่งเป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้มวล (ขดลวด) กับสปริงที่เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กขณะที่มวลเคลื่อนที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับแรงหรือความเร่งที่กระทำ แต่จะมีข้อจำกัดที่ความเร็วตอบสนองต่อความถี่และการรบกวนของสนามแม่เหล็กจากภายนอก

ปัจจุบันนิยมใช้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้หลักการพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) นั่นคือ วัสดุบางประเภท เช่น ควอตซ์ (Quartz) และเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric Ceramics) บางชนิดจะเกิดประจุไฟ

ฟ้าเมื่อถูกแรงกด วัสดุพิโซอิเล็กทริกจะทำหน้าที่เป็นสปริงแรงกดจากก้อนมวลซึ่งสั่นทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้าตามการสั่นสะเทือนแรงกดอาจจะกระทำในแนวตั้งฉาก (Compression) กับผลึก หรืออาจจะกระทำในแนวเฉือน (Shear) กับผลึก

แต่อย่างไรก็ตาม หัววัดความเร่งแบบพิโซอิเล็กทริกก็มีข้อจำกัดเนื่องจาก การรั่วไหล (Leakage) ของประจุที่เกิดขึ้นได้ การก้อง(Ringing) เมื่อทำงานใกล้ความถี่ธรรมชาติ และการเคลื่อนของตำแหน่งศูนย์ (Zeroshift) ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อนำหัววัดความเร่งมาใช้งานนอกช่วงที่ออกแบบไว้

3.4 การติดตั้งทรานสดิวเซอร์

เพื่อให้ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนสามารถทำงานได้สมบูรณ์ต้องติดตั้งทรานสดิวเซอร์ให้สัมพันธ์แนบสนิทกับผิวของชิ้นส่วนที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน โดยมีแนวแกนของทรานสดิวเซอร์ในทิศทางเดียวกับการสั่นสะเทือน ทั้งนี้เพื่อให้ทรานสดิวเซอร์ได้รับการถ่ายทอดการสั่นสะเทือนมาได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งวิธีการยึดทรานสดิวเซอร์ให้แนบกับส่วนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกระทำได้หลายวิธี และสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการได้

3.4.1 การใช้สลักเกลียว

เป็นการยึดทรานสดิวเซอร์ที่แน่นหนาแน่นคงจึงมีความถี่ตอบสนองที่สามารถใช้งานได้สูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการสั่นสะเทือนที่มีความถี่และแอมพลิจูดสูงได้ และเป็นการติดตั้งหัววัดความเร่งอย่างถาวรโดยที่ผิวหน้าต้องเรียบ แต่อาจจะไม่สะดวกถ้าต้องการตรวจวัดการสั่นสะเทือนเป็นครั้งคราว

3.4.2 การใช้ขี้ผึ้ง

เป็นการยึดทรานสดิวเซอร์ด้วยขี้ผึ้ง ดังนั้นผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรต้องเรียบมากและต้องสะอาดเพื่อให้ขี้ผึ้งยึดหัววัดความเร่งกับผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ดี วิธีการนี้ใช้ได้ดีสำหรับหัววัดความเร่งขนาดเล็ก เพราะสะดวกและมีความถี่ตอบสนองสูงใกล้เคียงกับการใช้สลักเกลียวยึดแต่จะถูกจำกัดด้วยอุณหภูมิ

3.4.3 การใช้กาวอีพอกซี (Epoxy)

เป็นการยึดทรานสดิวเซอร์ด้วยกาวอีพอกซี หรือกาว Cyanoacrylate ซึ่งจะสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าขี้ผึ้งคือ ประมาณ 800C ในขณะที่มีวิธีการและคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือน ๆ กัน แต่จะสามารถทนต่อการสั่นสะเทือนที่มีแอมพลิจูดสูง ๆ ได้ดีกว่า

3.4.4 การใช้เทปกาวยสองหน้า

เป็นการยึดทรานสดิวเซอร์ด้วยเทปกาวยสองหน้า ซึ่งจะมีวิธีการติดตั้งและการใช้งานคล้ายคลึงกับการใช้ขี้ผึ้งหรือกาว เพียงแต่ว่าจะสะดวกต่อการติดตั้งมากขึ้นและเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ความหนาของเทปกาวยจะมีผลต่อความถี่ตอบสนองคือ ถ้ามีความหนามาก เช่น 0.8 mm จะทำให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำประมาณ 500 Hz เนื่องจากความยืดหยุ่นของวัสดุทำเทป

3.4.5 การใช้แม่เหล็ก

เป็นการยึดด้วยแท่นแม่เหล็กถาวรที่ขันยึดแน่นกับตัวทรานสดิวเซอร์กับส่วนของเครื่องจักรที่สั่นสะเทือน ทำให้สะดวกและรวดเร็วตลอดจนมีความสม่ำเสมอของแรงดึงดูดที่ยึดติดกับหัววัดความเร่งกับเครื่องจักรจึงเหมาะสำหรับตรวจวัดเป็นครั้งคราวแต่อย่างไรก็ตามก็จะมีความถี่ตอบสนองลดต่ำกว่าวิธีการที่ผ่าน ๆ มาและที่สำคัญก็คือ ชิ้นส่วนที่จะวัดการสั่นสะเทือนต้องเป็นเหล็กเพื่อผลในการยึดติด

3.4.6 การใช้มือกด

ซึ่งอาจจะเป็นการกดหัววัดความเร่งลงบนเครื่องจักรโดยตรง หรืออาจจะเป็นการต่อแท่งโพรบ (Probe) ซึ่งเป็นแท่งโลหะที่ขันติดแน่นกับหัววัดความเร่ง ให้ปลายสัมผัสกับเครื่องจักรแทนก็ได้ แท่งโพรบอาจมีความยาว 3 นิ้ว 6 นิ้ว 9 นิ้ว หรือมากกว่าตามความเหมาะสม มีทั้งปลายแหลมและปลายมน เพื่อให้สามารถกดบริเวณที่เข้าถึงลำบาก

3.4.7 การใช้ตัวกรองทางกล (Mechanical Filter)

เมื่อต้องการวัดความสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำ และมีแอมพลิจูดน้อยๆ ก็อาจจำเป็นต้องใช้ตัวกรองทางกล ซึ่งก็คือชุดมวลกับสปริงที่มีความถี่ตอบสนองต่ำ ซึ่งมีลักษณะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

4. หลักและการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

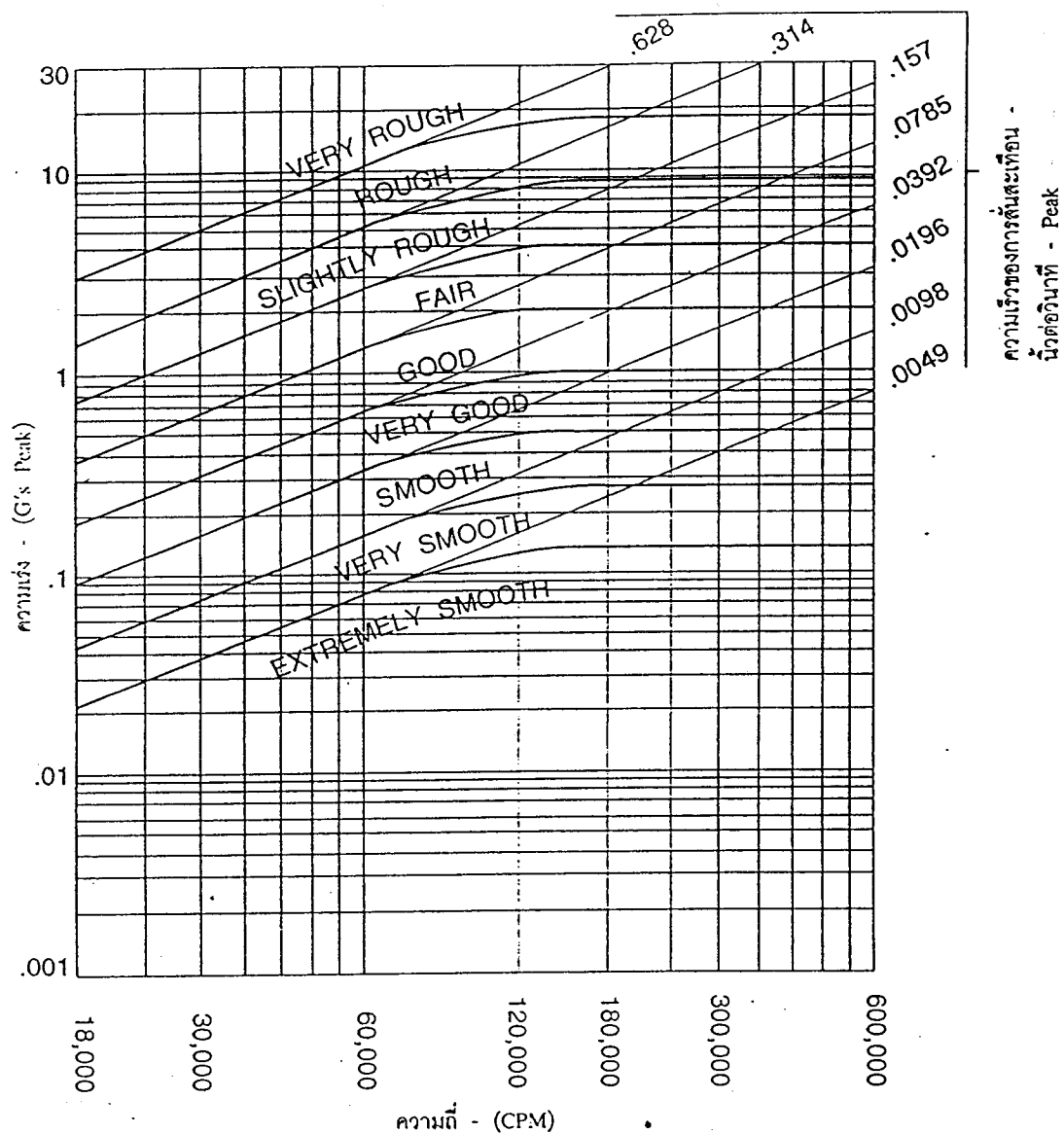
จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สัญญาณสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถแบ่งชนิดสัญญาณที่จะวิเคราะห์เป็นสองชนิด คือ สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรูปรวม สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง โดยใช้หลักการที่ว่า ขนาดของสัญญาณยิ่งมากเครื่องจักรก็ยิ่งมีแนวโน้มว่าจะบกพร่องได้มาก ในขณะเดียวกันค่าอ้างอิงของความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้สำหรับแต่ละสัญญาณ (ระยะการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง) จะถูกนำเสนอเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์จะกล่าวถึงในรายละเอียดของข้อมูลที่ได้จากสัญญาณ ซึ่งสามารถนำไปใช้ใน

การวิเคราะห์หาสาเหตุและข้อบกพร่องของเครื่องจักร

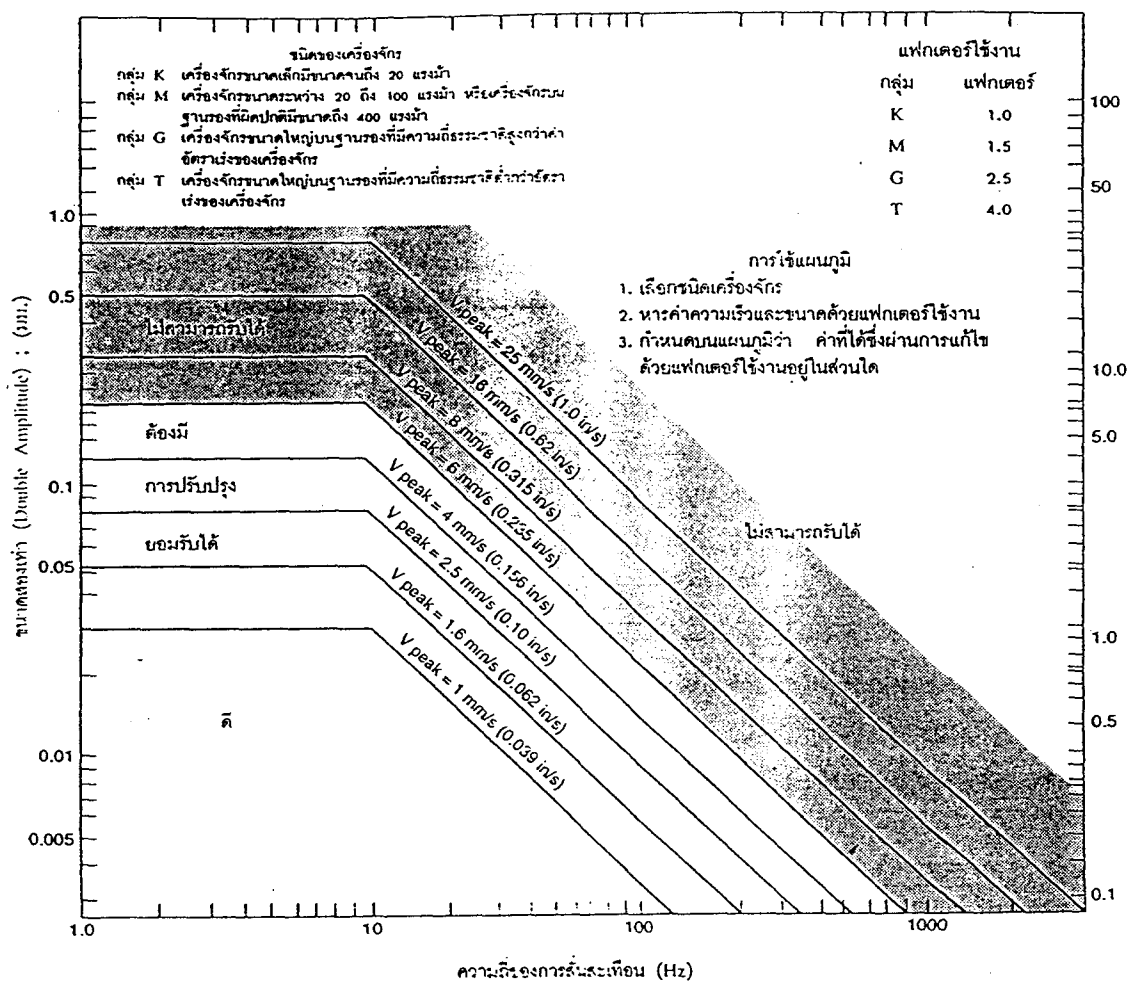
4.1 การประเมินค่าความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของสัญญาณแบบรวม

การวัดสัญญาณแบบรวมจะแสดงผลเป็นตัวเลขค่าเดียว เครื่องจักรอาจมีมวลต่าง ๆ กัน ทำงานที่ความเร็วต่าง ๆ กัน ดังนั้นการสั่นสะเทือนแค่ไหนถือว่ารุนแรง แคไหน ถือว่ายังยอมรับได้ ภาพประกอบ 10 ถึง 12 จะเป็นข้อมูลกว้าง ๆ ที่ถือเป็นเกณฑ์ปฏิบัติ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลสะสมมาจากสภาพปฏิบัติงานหลาย ๆ แบบ แต่ต้องใจถึงการใช้อ้างอิงใน ภาพประกอบ 10 ถึง 12 ว่าข้อมูลเหล่านั้นเป็นเพียงเกณฑ์กว้าง ๆ ที่นำมาอ้างอิงในกรณีที่ไม่มีการใช้ข้อมูลอื่น ข้อมูลที่ดีที่สุดที่ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดว่า ระดับการสั่นสะเทือนโดยยอมรับได้ ระดับใดเริ่มยอมรับไม่ได้ ควรมาจากการเก็บข้อมูลสะสมของเครื่องจักรแต่ละตัวในโรงงานภายใต้การทำงานจริง หากพิจารณาใน ภาพประกอบ 10 เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจะพบว่า แกนในแนวตั้งจะเป็นค่าการสั่นสะเทือนที่อยู่ในรูปของการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ ในขณะที่แกนในแนวนอนจะเป็นแกนความถี่ ตัวอย่างการใช้งานก็คือ สมมติว่ามีการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูประยะการเคลื่อนที่ได้ค่า 0.4 mil ที่ความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 3000 รอบต่อนาที เมื่อนำค่ามาใช้ในภาพประกอบ 10 จะพบว่า จุดตัดจะอยู่ในบริเวณที่ถือว่ายังอยู่ในสภาพดี (Good) และในภาพประกอบ 10 ก็ยังมีเส้นทแยงมุมซึ่งกำหนดค่าเป็นช่วงของค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปความเร็ว ซึ่งมีหน่วยเป็นนิ้วต่อวินาทีและวัดในรูปของค่าสูงสุด (Peak) ภาพประกอบ 11 เป็นตัวอย่างของเกณฑ์ความรุนแรงอีกแบบ โดยมีลักษณะและขนาดต้นกำลังของเครื่องจักร เพื่อกำหนดประเภทของเครื่องจักรจากนั้นจึงนำไปหาค่าตัวประกอบบริการ (Service Factor) แล้วจึงนำเอาค่าตัวประกอบนี้ไปหารกับค่าสัญญาณที่วัดได้ แล้วจึงไปกำหนดจุดลงใน ภาพประกอบ 11 เพื่อหาสภาพที่เครื่องจักรเป็นอยู่ สำหรับ ภาพประกอบ 12 จะมีลักษณะคล้ายกับ ภาพประกอบ 10 ยกเว้นแกนตั้งเป็นค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปความเร่งที่มีหน่วย

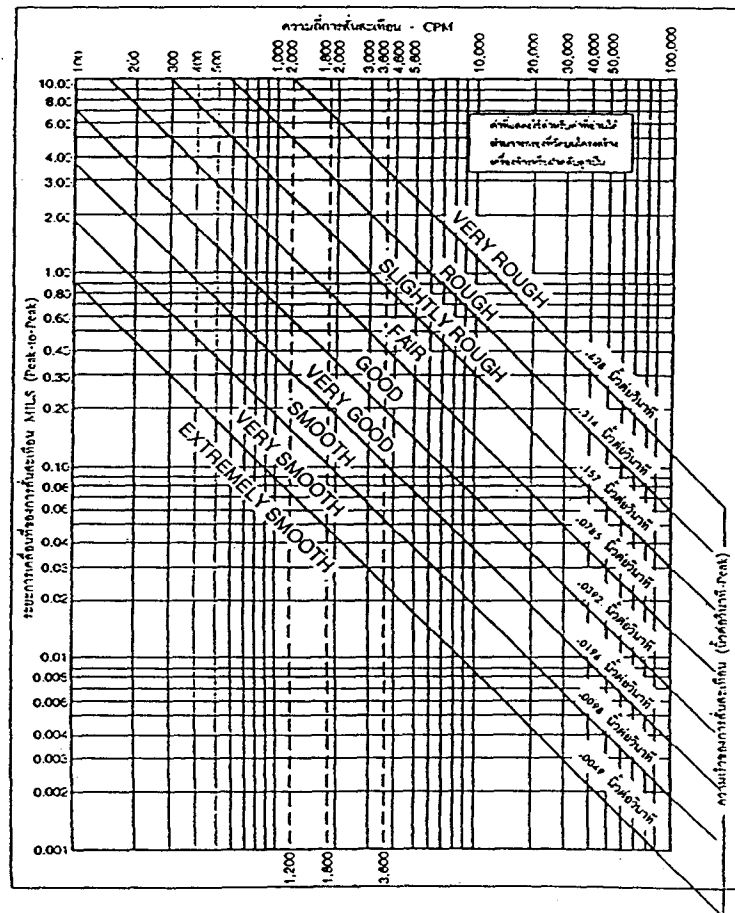
เป็น G (คือ สัดส่วนกับค่าความโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 981 มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง หรือ 386.4 นิ้วต่อวินาทีกำลังสอง)



ภาพประกอบ 10 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่ - ความเร็ว)
(ก่อเกียรติ บุญชูกุล และคนอื่นๆ. 2540)



ภาพประกอบ 11 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่ - ความเร็ว)
โดยพิจารณาขนาดและชนิดของเครื่องจักร (ก่อเกียรติ บุญชูกุล และคนอื่นๆ, 2540)



ภาพประกอบ 12 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ความเร่ง – ความเร็ว)
(ก่อเกียรติ บุญชูกุล และคนอื่นๆ. 2540)

4.2 การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม (Trend Analysis)

ในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อบอกสภาพเครื่องจักรนั้น การใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวมมักจะไม่สามารถใช้ข้อมูลเพียงพอที่จะบอกถึงสภาพการชำรุดเสียหาย หรือสาเหตุของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนั้นได้อย่างชัดเจน แต่สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวมก็ให้ข้อมูลมากพอในการบ่งบอกว่าเครื่องจักรเริ่มชำรุดโดยดูจากขนาด และวิธีวิเคราะห์ในลักษณะนี้มักจะเรียกว่าการวิเคราะห์แบบแนวโน้ม (Trend Analysis) ซึ่งจะทำโดยการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้จากการตรวจวัดเครื่องจักรในช่วงเวลาที่ต่าง ๆ กัน แล้วนำมาเปรียบเทียบหาแนวโน้ม โดยข้อมูลที่เปรียบเทียบจะต้องเป็นข้อมูลที่วัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบเดียวกัน (อาทิ ความเร็ว หรือความเร่ง หรือระยะการเคลื่อนที่) และในตำแหน่งเดิมและทิศทางเดิมเสมอ เมื่อนำสัญญาณมาเปรียบเทียบบนแกนเวลา หากสัญญาณมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่คงที่และสม่ำเสมอลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบ่งบอกถึงการทำงานและการสึกหรอเป็นปกติ หากสัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ (โดยที่ได้ตรวจสอบจนแน่ใจว่าสัญญาณที่วัดนั้นถูกต้อง) ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบอกให้รู้ว่ามี ความผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องจักร

4.3 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

จากการวัดการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็นระยะเคลื่อนที่ ความเร็ว หรือความเร่งนั้น ขนาดโดยรวมของการสั่นสะเทือน (Overall Value of Vibration) เช่น ค่า Peak-to-Peak ค่า RMS สามารถใช้บอกสภาพของเครื่องจักรกลได้ โดยเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าที่วัดได้จากเครื่องจักรกลในชนิด และแบบ รุ่นเดียวกันแต่อย่างไรก็ตาม ขนาดโดยรวมของการสั่นสะเทือนไม่ได้ระบุถึงสาเหตุหรือแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนเพราะเกี่ยวข้องกับเฉพาะขนาดของการสั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียว

การไม่สมดุล (Unbalance)

เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อวัสดุที่ประกอบเป็นโรเตอร์หรือชิ้นส่วนที่หมุนของเครื่องจักร ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะของการไม่สมดุลแบบสถิต (Static Unbalance) หรือการไม่สมดุลแบบพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) เมื่อโรเตอร์หมุนจะทำให้เกิดแรงไม่สมดุลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลที่ไม่สมดุล และเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วรอบในการหมุน โดยมีทิศทางของแรงกระทำในแนวรัศมีที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่ไม่สมดุล ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

- ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1xRPM ของชิ้นส่วนที่ไม่สมดุล
- ขนาดของการสั่นสะเทือนขึ้นกับขนาดของมวลที่ไม่สมดุล และความเร็วรอบกำลังสอง
- มุมเฟสสม่ำเสมอคงที่ เห็นจุดเดียว

การเยื้องแนวแกน (Misalignment)

เกิดจากการตั้งศูนย์ในการติดตั้งเครื่องจักรไม่ได้แนวขนานกัน (Offset) หรือแนวแกนเอียงทำมุมกัน (Angular) หรือผลรวมของทั้งสองแบบ ซึ่งอาจเกิดขึ้นที่ข้อต่อ (coupling) กาบเพลลา (Sleeve) และมู่เล่ (Pulley) ต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการโก่งงอของเพลลาเมื่อมีการหมุนและมีภาระกระทำ ดังนั้นเมื่อเพลลาหมุนก็จะทำให้เกิดการขึ้นตัวดันกันระหว่างเพลลาทั้งสองหรือระหว่างเพลลา กับตลับลูกปืนที่รองรับ โดยมีลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

- ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1xRPM และจะมี 2xRPM แล 3xRPM ของชิ้นส่วนที่หมุน
- ขนาดของการสั่นสะเทือนกับขนาดของการเยื้องแนวแกนและมักจะมีขนาดของการสั่นสะเทือนตามแนวแกนสูงเช่นเดียวกับการสั่นสะเทือนตามแนวรัศมี
- มุมเฟสสม่ำเสมอที่จะเห็น 1, 2 หรือ 3 จุด

การเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity)

เกิดจากการผลิตและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่มักมีตำแหน่งจุดศูนย์กลางผิดเพี้ยนไปจากที่กำหนดไว้ ทำให้ระยะห่างจากแกนหมุนไม่คงที่ คือ เส้นกึ่งทางเพลานับจากศูนย์กลางทางเรขาคณิตของโรเตอร์ การเยื้องศูนย์กลางคือสาเหตุสำคัญของการไม่สมดุล เพราะทำให้มวลด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลางเพลามีค่ามากกว่าอีกด้านหนึ่งดังนั้นลักษณะการสั่นสะเทือนทั่วๆ ไปจะเหมือนกับการไม่สมดุล ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

- ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1x RPM ของชิ้นส่วนที่หมุน
- ขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงในทิศทางแนวจุดศูนย์กลางของเพลาทิศทั้งสอง
- มุมเฟสสม่ำเสมอที่จะเห็นในจุดเดียว

การหลุดหลวม (Mechanical Looseness)

เกิดจากการยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรไม่แน่นพอ หรือมีการคลายตัวของสกรูเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง หรือเกิดจากช่องว่างในตลับลูกปืนกว้างเกินไป หรือเกิดจากการแตกร้าวของโครงสร้าง เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากสาเหตุอื่น ๆ มากกระตุ้น ก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มีขนาดโตขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงของการยึดเกาะลดน้อยลง การขยับตัวมักจะเคลื่อนไปกระแทกตัวกันด้านหนึ่งแล้วขยับกลับมากกระแทกด้านตรงข้าม ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

- ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, ----x RPM และมักจะมีขนาดการสั่นสะเทือนสูงที่ความถี่เท่ากับ 2xRPM ของชิ้นส่วนที่หมุน
- ขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าไม่สม่ำเสมอ
- มุมเฟสค่อนข้างคงที่ เห็น 2 จุด

ข้อบกพร่องของตลับลูกปืนแบบชิ้นส่วนกลิ้ง (Faulty Rolling Elements Bearing)

มันเกิดจากความเสียหายของพื้นผิวของรางลูกปืนทั้งด้านนอกและด้านใน ตลอดจนเม็ดลูกปืนทำให้เกิดการสูญเสียสภาวะเสถียรกันระหว่างลูกปืนกับรางลูกปืน การสั่นสะเทือนมักเกิดที่ความถี่สูงกว่าความเร็วรอบของเพลาน โดยที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืนจะมีสาเหตุมากมาย เช่น ภาวะมากเกินไป การเยื้องแนวแกน การติดตั้งไม่ดี เป็นต้น ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

- ความถี่ของการสั่นสะเทือนไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์เป็นจำนวนเท่าของความเร็วรอบ RPM มักมีค่าเป็นตัวเลขไม่ลงตัวของ RPM
- ขนาดไม่สม่ำเสมอ ควรจะตรวจวัดด้วยความเร็ว ความแรงและพลังงาน
- มุมเฟสไม่สม่ำเสมอเห็นหลายจุด

4.4 หลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเครื่องจักร

หลักการทางปฏิบัติเมื่อต้องใช้เครื่องมือวัดความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรเครื่องมือที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 แบบคือ

4.4.1 วัดเป็นปริมาณหรือระยะทางการเคลื่อนที่ (displacement) ใช้วัดกับเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบ หรือความถี่ต่ำไม่เกิน 20 เฮิร์ตซ์ ใช้วิเคราะห์สภาพความสัมพันธ์การสึกหรอของบุชเพลลาแบบเรียบแบบกาน (plain bearing)

4.4.2 วัดเป็นความเร็ว (Velocity) ใช้วัดกับเครื่องจักรที่มีความถี่ปานกลาง 20-1000 เฮิร์ตซ์ ใช้วิเคราะห์สภาพความไม่สมดุลของเพลลาหมุน พัดลม มอเตอร์ การติดตั้งเครื่องจักรไม่ได้แนวศูนย์ (misalignment) การหลวมของเครื่องจักร เป็นต้น

4.4.3 วัดเป็นอัตราเร่ง (acceleration) ใช้วัดกับเครื่องจักรความถี่สูงมากกว่า 1000 เฮิร์ตซ์ ส่วนมากใช้วิเคราะห์สภาพการชำรุด-เสียหายของลูกปืนแบบรีง

ในระยะแรกผู้ผลิตเครื่องมือวัดส่วนใหญ่จะผลิตเครื่องมือวัดเฉพาะแบบที่เป็นแบบใดแบบหนึ่ง เช่น วัดเป็นระยะทางอย่างเดียว หรือวัดเป็นความเร็วอย่างเดียว แต่ในปัจจุบันนี้ผู้ผลิตได้ใช้วิวัฒนาการทางเทคโนโลยีที่สูงขึ้น โดยผลิตเครื่องมือวัดที่สามารถเลือกวัดแบบใด ๆ ก็ได้ทั้ง 3 แบบในเครื่องมือวัดตัวเดียวกัน

ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าที่วัดได้จากแบบใดแบบหนึ่งเป็นอีกแบบหนึ่งนั้น ต้องใช้วิธีคำนวณตามสูตรคณิตศาสตร์หรือใช้โนโมกราฟเปรียบเทียบ สำหรับสูตรการคำนวณมีดังนี้

$$V = \sqrt{\frac{2}{2} \times 0 \times 2 \pi f}$$

$$V = \sqrt{\frac{2}{2} \times \frac{A}{2 \pi f}}$$

เมื่อ V = ค่าความสัมพันธ์เป็นความเร็วเฉลี่ย RMS (ค่า RMS จะได้อธิบายต่อไป)'

D = ค่าความสัมพันธ์เป็นระยะทางเฉลี่ย RMS

A = ค่าความสัมพันธ์เป็นอัตราเร่งเฉลี่ย RMS

F = ความถี่เป็นเฮิร์ตซ์

หน่วยวัดความสัมพันธ์มีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาดังนี้

ค่าเฉลี่ย RMS ส่วนมากเรียกว่าค่า RMS (Root Mean Square) คือรากที่สองของผลบวกยกกำลังสองของขนาดความสัมพันธ์ในช่วงหนึ่งอยู่ในรูปของสมการ คือ

เมื่อ RMS = ขนาดความสัมพันธ์เป็นค่า RMS

T = คาบเวลาใน 1 ไซเคิล

t = เวลา

ค่าพีก (peak level) คือ ระดับความสั่นสะเทือนสูงสุด จากศูนย์ถึงยอดภายในช่วงเวลาที่กำหนดและเป็นค่าครึ่งคลื่นของขนาดความสั่นสะเทือนทั้งหมด

ค่าพีกถึงพีก (peak-to-peak, P-P) หรือค่า 2 เท่าของขนาดความสั่นสะเทือน คือระดับความสั่นสะเทือนสูงสุดระหว่างยอดบนกับยอดล่าง

อัตราส่วนพีก (peak ratio) คือ อัตราส่วนของค่าพีกต่อค่า RMS ซึ่งเราเรียกว่า “เครืทแฟกเตอร์” (crest factor)

ระดับความรุนแรงความสั่นสะเทือน

ระดับความรุนแรงจะแบ่งตามประเภทเครื่องจักร ตามมาตรฐาน ISO 2372 – 1974 (E) ภาพประกอบ 63 เป็นตารางที่ใช้วิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรว่าอยู่ในระดับใด โดยวัดความสั่นสะเทือนในรูปของความถี่ (เป็นมิลลิเมตรต่อวินาที) แบ่งออกเป็น 4 ระดับคือ

1. ดี หมายถึงเครื่องจักรอยู่ในสภาพการใช้งานปกติ
2. พอใช้ได้ หมายถึงเครื่องจักรเริ่มมีความผิดปกติเกิดขึ้นแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
3. ผิดปกติ หมายถึงเครื่องจักรเกิดความเสียหายจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงตาม

กระบวนการ

4. ยอมรับไม่ได้ หมายถึงเครื่องจักร ต้องหยุดการผลิตไม่สามารถเดินเครื่องได้ และจะต้องดำเนินการแก้ไขในทันที อาจจะต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนบางชิ้น

ระดับความสั่นสะเทือน		ขีดจำกัดค่าความเร็วและประเภทของเครื่องจักร มาตรฐาน ISO 2372-1974			
CMVP40 in/s eq.	CMVP50 mm/sRMS	เครื่องจักร ขนาดเล็ก	เครื่องจักร ปานกลาง	เครื่องจักรขนาดใหญ่	
		ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ฐานแข็งแรง	ฐานให้คว่ำได้
				ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4
0.02	0.28				
0.03	0.45				
0.04	0.71				
0.06	1.12				
0.10	1.80				
0.16	2.80				
0.25	4.50				
0.39	7.10				
0.62	11.20				
1.00	18.00				
1.56	28.00				
2.50	45.00				
3.95	71.00				

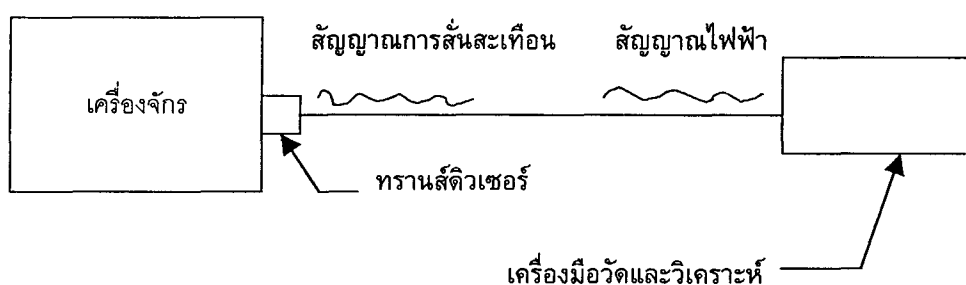
วิธีกำหนดประเภทของแท่นรองตามมาตรฐาน ISO 2372
ฐานให้คว่ำได้: ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักร/ระบบแท่นรองมีค่าต่ำกว่าความถี่หลักที่มากกระตุ้น
ฐานแข็งแรง: ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักร/ระบบแท่นรองมีค่าสูงกว่าความถี่หลักที่มากกระตุ้น

ภาพประกอบ 13 แสดงระดับความรุนแรงความสั่นสะเทือนตามประเภทเครื่องจักร ตามมาตรฐาน ISO 2372-1974 (E) (วินัย เวชวิทยาลัง. 2538)

5. อุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่สร้างขึ้น คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจากการตรวจฟังความผิดปกติของเครื่องจักรในแต่ละจุดต่างๆที่เกิดความผิดปกติ ซึ่งได้พัฒนามาจากอุปกรณ์ตรวจความสั่นสะเทือนที่เรียกว่า สเตทโคสโคป (Stetchocope) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถตรวจฟังและบันทึกค่าความถี่จากการตรวจฟังได้ซึ่งการบันทึกและจัดทำประวัติของเครื่องจักรตามคาบเวลาการตรวจซ่อมมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์และวางแผนการซ่อมบำรุง ความสำคัญในการวิเคราะห์วิธีนี้คือจะใช้ข้อมูลการสั่นสะเทือนในขณะที่เครื่องจักรทำงานปกติหรือข้อมูลฐานและข้อมูลที่บันทึกไว้ในช่วงเวลาก่อนหน้า โดยข้อมูลฐานเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกหลังจากการติดตั้งเครื่องจักรและเครื่องจักรทำงานในสภาวะปกติ หรือทำการบันทึกเมื่อมีการซ่อม ปรับปรุงเครื่องจักรสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกนี้จะต้องอยู่ในสภาวะที่เครื่องจักรสมบูรณ์ที่สุด และสัญญาณนี้จะนำไปใช้อ้างอิงตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักร การวิเคราะห์วิธีนี้ช่วยให้ทราบแนวโน้มและความเปลี่ยนแปลงแต่ไม่สามารถระบุได้ว่าปัญหาเกิดขึ้นจากส่วนใดหรือมีความผิดปกติที่ใด แต่จะช่วยให้ทราบว่าเมื่อการผิดปกติเกิดขึ้น (อุดมจิตต์ นิวาตะบุตร. 2538:16)

เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่พัฒนาขึ้นมีอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณของความสั่นสะเทือนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) การวัดค่าความสั่นสะเทือนทำได้โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์ จับสัญญาณการสั่นสะเทือนกับเครื่องจักรกล ทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนสัญญาณทางกลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเพื่อแปลงค่า แรงดันของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นหน่วยวัดทางแรงกระทำ (วินัย ชูณหภูมกดา. 2533:22) โดยสามารถแสดงเป็นระบบการวัดได้ดังนี้



ภาพประกอบ 14 ระบบการวัดการสั่นสะเทือน

ทรานสดิวเซอร์ที่นิยมใช้มีดังนี้

1. ตัวแปลงปริมาณขจัดเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Displacement Transducer)
2. ตัวแปลงความเร็วเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Velocity Transducer)
3. ตัวแปลงความเร่งเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Accelerometer Transducer)
4. ตัวแปลงความเค้นเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Strain Gauge Transducer)

นอกจากอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีความสำคัญต่อเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนแล้วยังมีส่วนประกอบที่มีความสำคัญอีกสองส่วนด้วยกันคือ วงจรขยายสัญญาณ และ วงจรแสดงผลความถี่หรือวงจรรีบความถี่ ซึ่งจะได้นำเสนอถึงทฤษฎีของวงจรขยายสัญญาณ และ ทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรรีบความถี่ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปประยุกต์และพัฒนาในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

5.1 วงจรขยายสัญญาณ

โอเปอเรชันแนล แอมพลิไฟเออร์ (Operational Amplifier : OP-AMP) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ออปแอมป์ หมายถึง วงจรขยายสัญญาณไฟตรงที่มีอัตราขยายสูงมาก ซึ่งใช้ในเครื่องแอนะล็อกเพื่อทำหน้าที่คำนวณทางคณิตศาสตร์บางอย่าง เช่น การรวมสัญญาณ การหากล้างสัญญาณ การอินทิเกรต และการดิฟเฟอเรนซ์ เป็นต้น ซึ่งเป็นการทำงานทางคณิตศาสตร์ จึงได้ชื่อออกมาว่า ออปแอมป์

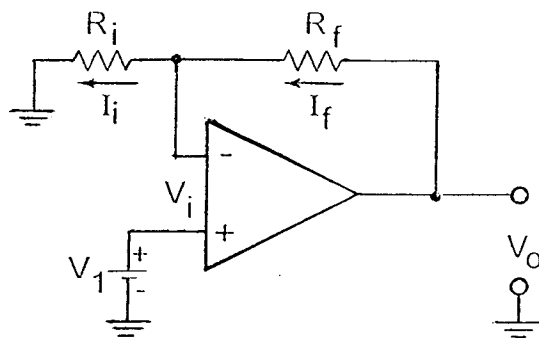
ออปแอมป์ในรูปแบบไอซี ถูกผลิตขึ้นมาโดยบริษัทไฟร์ไซด์ ซึ่งผลิต ออปแอมป์เบอร์ 702, 709, และ 741 ขึ้นมาในช่วงปี พ.ศ. 2507-2511 ขณะที่บริษัทเนชั่นแนลเซมิคอนดักเตอร์ (National Semiconductor) ได้ผลิต ไอซีออปแอมป์เบอร์ 101/103 ขึ้นมาเช่นกัน เมื่อออปแอมป์มีการเปลี่ยนรูปแบบจาก หลอดสุญญากาศ เป็นไอซีซึ่งมีขนาดเล็กและราคาถูก จึงส่งผลกระทบต่ออย่างมากในการออกแบบวงจร เช่น แทนที่จะใช้ทรานซิสเตอร์จำนวนมากต่อเป็นวงจรขยาย ก็สามารถนำออปแอมป์เพียงตัวเดียวกับตัวต้านทานอีกไม่กี่ตัวมาใช้แทนทำให้ลดเวลาในการออกแบบ การเลือกใช้งานบางอย่างผู้ใช้สามารถเลือกหาออปแอมป์ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานที่ใช้ได้สะดวกขึ้น เวลาที่ผู้ต้องการเลือกออปแอมป์สำหรับงานๆหนึ่ง ผู้ใช้ก็สามารถเลือกดูชนิดของออปแอมป์จากคู่มือลิเนียร์ว่าต้องการชนิดใด ดังต่อไปนี้

- พวกที่มีความสามารถในการทนกระแสหรือแรงดันสูงได้ (High Current and/or High Voltage Capability)
- พวกที่ใช้เป็นตัวรับ-ส่งสัญญาณโซนาร์ (Sonar Sent/receive Modules)
- ออปแอมป์สำหรับงานมัลติเพลกซ์สัญญาณ (Multiplexed Amplifiers)
- วงจรขยายที่โปรแกรมอัตราขยายได้ (Programmable Gain Amplifiers)
- พวกที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ในเครื่องมือวัดหรือเครื่องมือสำหรับควบคุมอัตโนมัติ (Automation Instrumentation and Control)
- ไอซีที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (Communication ICS)
- ไอซีที่ใช้กับโทรทัศน์/เครื่องเสียง/วิดีโอ (Radio/Audio/Video ICS)

วงจรขยายสัญญาณแบ่งออกได้หลายชนิดดังต่อไปนี้

5.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ลักษณะวงจรคือที่ขั้วอินพุตขา นอนอินเวอร์ต (ขา+) จะถูกต่อลงกราวด์ ส่วนสัญญาณอินพุต V_i ถูกป้อนผ่าน R_i เข้าขาอินเวอร์ต (ขา-) มีตัวต้านทาน R_f เป็นตัวป้อนกลับสัญญาณจาก เอาต์พุตมาอินพุต สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาจะถูกกลับเฟสไป 180 องศา ก่อนส่งออกเอาต์พุต ลักษณะของวงจรแสดง ดังภาพประกอบ 15



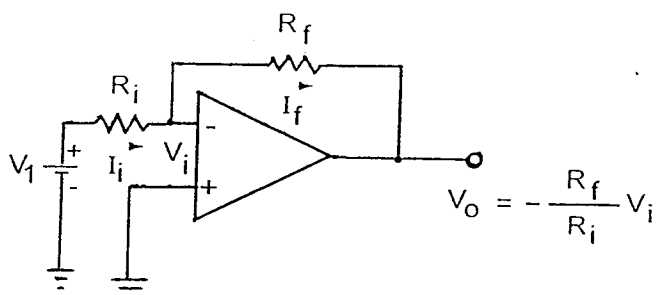
ภาพประกอบ 15 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

จากภาพประกอบ 15 ค่าแรงดัน $V_i \approx 0$ ส่งผลให้จุด A เสมือนถูกต่อลงกราวด์ กระแส I_i ที่ไหลผ่าน R_i เท่ากับกระแส I_f ที่ไหลผ่าน R_f สมการจะหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_o &= -I_f R_f \\ V_i &= I_i R_i \\ \therefore A_o &= V_o / V_i \\ &= (-I_f R_f) / (I_i R_i) \\ (\text{ideal op-amp}) A_o &= R_f / R_i \end{aligned}$$

5.1.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสมีลักษณะวงจรดังนี้ ตัวต้านทาน R_f เป็นตัวต้านทานป้อนกลับ ตัวต้านทาน R_i เป็นตัวต้านทานต่ออันดับกับ ขั้วอินพุต ขาอินเวอร์ต (-) อีกด้านหนึ่งของตัวต้านทาน R_i ถูกต่อลงกราวด์ สัญญาณอินพุต V_i จะป้อนเข้าขาอินเวอร์ต (+) ทำให้สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน วงจรแสดงดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

สามารถหาสมการได้ดังนี้

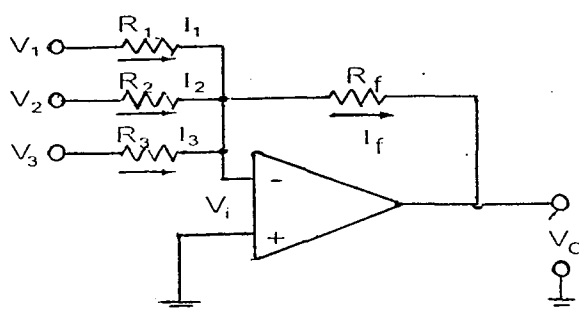
$$\begin{aligned} V_i &= V_1 - I_i - I_i R_i = 0 \\ \text{หรือ } V_i &= I_i R_i \\ \text{แรงดันเอาต์พุตคือ} \\ V_o &= I_i (R_i + R_f) \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราขยาย A_v จะเป็น

$$\begin{aligned}
 A_v &= V_o / V_i = [I_i (R_i + R_f)] / I_i R_i \\
 A_v &= (R_i + R_f) / R_i \\
 \therefore A_o &= 1 + (R_f + R_i)
 \end{aligned}$$

5.1.3 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสเป็นวงจรที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณด้านเข้าจากหลายแหล่งจ่ายแล้วให้ค่าแรงดันด้านออก มีลักษณะตรงกันข้ามกับสัญญาณทางด้านเข้า โดยลักษณะการเชื่อมต่อวงจร แสดงดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 วงจรขยายรวมสัญญาณ

จากวงจรในภาพประกอบ แรงดัน V_o มีค่าเท่ากับ

$$V_o = -(I_f R_f)$$

เมื่อพิจารณาที่ขั้วเข้าด้านลบจะเห็นเป็นจุดเสมือนกราวด์ ดังนั้นกระแส I_1 , I_2 , และ กระแส I_3 มีค่าเท่ากับ

$$I_1 = V_1 / R_1 ; I_2 = V_2 / R_2 ; I_3 = V_3 / R_3$$

$$\text{และ } I_f = I_1 + I_2 + I_3$$

$$V_o = -[(R_f / R_1) * V_1 + (R_f / R_2) * V_2 + (R_f / R_3) * V_3]$$

$$\text{หรือ } V_o = -[(V_1 / R_1) + (V_2 / R_2) + (V_3 / R_3) * R_f]$$

เมื่อพิจารณาคูณสมบัติของออปแอมป์แล้วจะพบว่าออปแอมป์ได้รวมเอาข้อดี ของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราการขยายเป็นอนันต์ และสามารถขยายได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (วิโรจน์ อัครรังสี, ชัชวาล เต็มฤทธิ์วงศ์ และกรชูลี ไซส์ถิตย์. 2521 : 1-22)

5.1.4 วงจรอินสตรูเมนเตชัน

การทำงานของวงจร วงจรขยายอินสตรูเมนเตชันเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นราคาจึงค่อนข้างแพงกว่าวงจรปกติทั่วไป ซึ่งอาจเป็นต้องใช้ออปแอมป์จำนวนที่มากกว่า และออปแอมป์ที่นำมาใช้และตัวต้านทานต้องเป็นชนิดที่มีผิดพลาดต่ำมาก ๆ ในปัจจุบันชิปไอซีประเภทแสวงหาข้อมูล (Data Acquisition) จะมีการนำวงจรชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ภายในทุกตัว อย่างน้อย 1 วงจรเสมอการนำออปแอมป์ 3 ตัวมาต่อกันเป็นวงจรขยายอินสตรูเมนชันดังภาพประกอบ แม้จะไม่ดีเท่ากับไอซีที่ออกมาเพื่อใช้กับงานนี้

โดยเฉพาะ การออกแบบวงจรจะเป็นการออกแบบเพิ่มวงจรใน อัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า เป็นการปรับค่าวงจรที่แรงดันวิธีการปรับค่าแรงดันคอมมอน

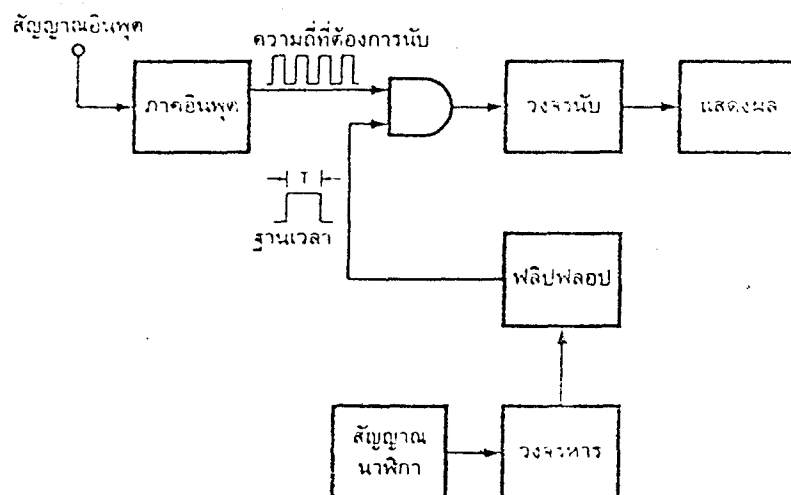
$$\text{เมื่อ } a = aR/R$$

และเมื่อ E_1 ถูกป้อนเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ ในขณะที่ E_2 ป้อนเข้าที่ขาลบ จะได้คุณสมบัติโดยย่อของวงจรอินสตรูเมนต์เช่นดังนี้

1. อัตราขยายแรงดันซึ่งจะนำมาคูณกับค่า $E_1 - E_2$ จะกำหนดได้โดยตัวต้านทานเพียงตัวหนึ่ง
2. ความต้านทานทางดำนอินพุตจะมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย ในขณะที่ออปแอมป์ธรรมดาทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีเสมอ
3. V_o ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจากที่ E_1 และ E_2 แต่จะเป็นผลที่ขึ้นกับค่าของแรงดันแตกต่างหรือแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลเท่านั้น

5.2 เครื่องวัดความถี่

เครื่องวัดความถี่หรือที่เรียกว่าฟริควเ็นซีเคาน์เตอร์ (Frequency Counter) เป็นเครื่องมือชิ้นหนึ่งที่มักพบเห็นตามห้องทดลอง ซึ่งมีความจำเป็นมากสำหรับงานที่ต้องการทราบค่าของความถี่ เช่น งานทางด้านวงจรดิจิทัล งานทางด้านอุปกรณ์หรือเครื่องมือสื่อสารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่มีความถี่สูงแล้วความถูกต้องของความถี่เป็นสำคัญมาก ดังนั้นเครื่องวัดความถี่จึงเข้ามามีบทบาทในการช่วยงานต่าง ๆ ได้มาก



ภาพประกอบ 18 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องวัดความถี่แบบพื้นฐาน
(ณรงค์ ย่างสกุล. 2537)

ในภาพประกอบ 18 ก่อนที่สัญญาณจะถูกนำมานับจะต้องนำมาผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้เป็นสัญญาณที่สามารถนำมาทำการนับได้ กระบวนการนี้เรียกว่า ดิจิตอลโปรเซสซิง (Digital Processing) สัญญาณที่ได้จะผ่านเข้าสู่วงจรนับโดยมีฐานเวลา (Timebase) เป็นตัวกำหนด

ฐานเวลาเป็นส่วนที่สำคัญมากที่จะทำให้การวัดได้ค่าที่ถูกต้อง โดยมากแล้วการสร้างฐานเวลามักจะใช้ วงจรกำเนิดความถี่ด้วยคริสตอล ซึ่งจะมีความเที่ยงตรงสูงและจะนำความถี่จากคริสตอลมาหาร ซึ่งก็มีวงจรหลายแบบสามารถเลือกได้ เช่น หาร 10, หาร 100, หาร 1,000 หรืออื่น ๆ นำความถี่จากการหารมาเป็นฐานเวลาในการเปิดเกต

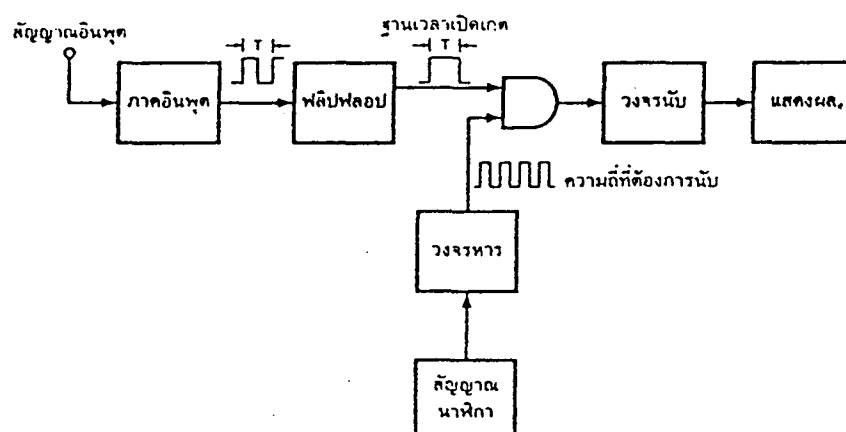
เมื่อสัญญาณฐานเวลาทำการเปิดเกตแล้ว ความถี่ที่ต้องการนับจะผ่านเข้าไปยังวงจรมับและแสดงผล ตัวอย่างถ้ามีพัลส์เข้ามาทำการนับจำนวน 45,500 ลูกฐานเวลาเปิดเกตเท่ากับ 1 วินาที จะอ่านค่าความถี่ได้เท่ากับ 45,500 ลูกต่อวินาที หรือ 45.5 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ถ้าฐานเวลาเปิดเกตลดลงเป็น 0.1 วินาทีจะสามารถอ่านค่าความถี่ได้เท่ากับ 45,500 ลูกต่อ 0.1 วินาที หรือ 455.0 กิโลเฮิร์ตซ์ นั่นคือเมื่อฐานเวลาเปิดเกตลดลงสิบเท่าก็สามารถวัดความถี่ได้สูงขึ้นอีกสิบเท่านั่นเอง

นอกจากการวัดความถี่แล้วเครื่องวัดความถี่นี้ยังสามารถดัดแปลงไปวัดค่าอื่น ๆ ได้อีกมากมาย แต่ไม่ว่าจะดัดแปลงนำไปวัดอะไรก็ตามก็จะมีการทำงานที่อยู่บนพื้นฐานอันเดียวกัน และที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นบางส่วนที่เครื่องวัดความถี่ทั่ว ๆ ไปสามารถทำได้

การวัดคาบเวลา (Period Measurement)

การวัดคาบเวลาก็มีหลักการเช่นเดียวกับการวัดความถี่การทำงานแสดงไว้ในภาพประกอบ 18 คาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดถูกนำมาเป็นสัญญาณฐานเวลาในการเปิดเกต โดยผ่านฟิลิปฟลอปหนึ่งตัวก่อนจะเข้าทำการเปิดเกต ความถี่จากสัญญาณนาฬิกาจะผ่านเข้าสู่วงจรมับและแสดงผลจำนวนของพัลส์ที่นับได้จะเป็นสัดส่วนกับคาบเวลาที่ทำกรวัด

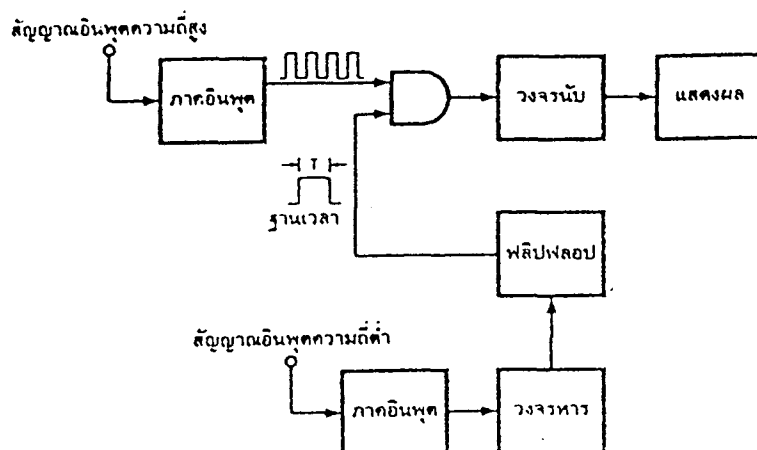
ความเที่ยงตรงของการวัดคาบเวลาขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่นับได้ ถ้าต้องการให้การวัดคาบเวลามีความถูกต้องเที่ยงตรงมาก ๆ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจะต้องมีความถี่สูงมาก ๆ เป็นเมกะเฮิร์ตซ์แต่สำหรับที่สัญญาณนาฬิกาความถี่ต่ำ ๆ แล้ว การวัดจะไม่มี ความเที่ยงตรงเลย



ภาพประกอบ 19 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดคาบเวลา (ณรงค์ อย่างสกุล. 2537)

การวัดอัตราส่วนของความถี่ (Frequency Ratio)

ในภาพประกอบ 20 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำงานการวัดอัตราส่วนของความถี่ สังเกตว่าในวงจรนี้จะไม่มีส่วนของวงจรสร้างสัญญาณฐานเวลาอยู่ ความถี่สองความถี่ถูกป้อนเข้าทำการวัดพร้อมกัน โดยความถี่ที่ต่ำกว่าถูกนำมาผ่านวงจรหารให้เป็นสัญญาณควบคุมการเปิดเกตและความถี่ที่สูงจะถูกนำมานับด้วยวงจรรนับและแสดงผล ความเที่ยงตรงของการวัดอัตราส่วนของความถี่ต้องอาศัยเทคนิคของการเฉลี่ย (averaging technique) ซึ่งในที่นี้ไม่ได้กล่าวไว้



ภาพประกอบ 20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำงานการวัดอัตราส่วนความถี่(ณรงค์ ย่างสกุล. 2537)

กระบวนการทางอินพุต

เนื่องจากสัญญาณที่วัดนั้นมีรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างกันไป เช่น อาจจะเป็นพัลส์, สัญญาณซายน์, สัญญาณรูปสามเหลี่ยม, สัญญาณรูปฟันเลื่อย หรือสัญญาณรูปอื่น ๆ สัญญาณต่าง ๆ เหล่านี้ไม่สามารถที่จะวัดได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำสัญญาณที่ต้องการวัดมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่า อินพุตคอนดิชัน (Input Condition) เงื่อนไขแรกที่ต้องทราบคือ เลือกแบบของการส่งผ่านว่าต้องการในลักษณะใด ไฟตรงหรือไฟสลับ หลังจากเลือกแบบการส่งผ่านแล้ว สัญญาณจะถูกลดทอนลงด้วยวงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) เพื่อให้ขนาดของสัญญาณพอเหมาะ หลังจากนั้นจะถูกจำกัดสัญญาณโดย วงจรจำกัดสัญญาณ (Limiter) ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ และทำการปรับระดับอิมพีแดนซ์ให้เหมาะสมเพื่อป้อนให้กับวงจรขยายความถี่แถบกว้าง (Wide-band Amplifier) ต่อไป

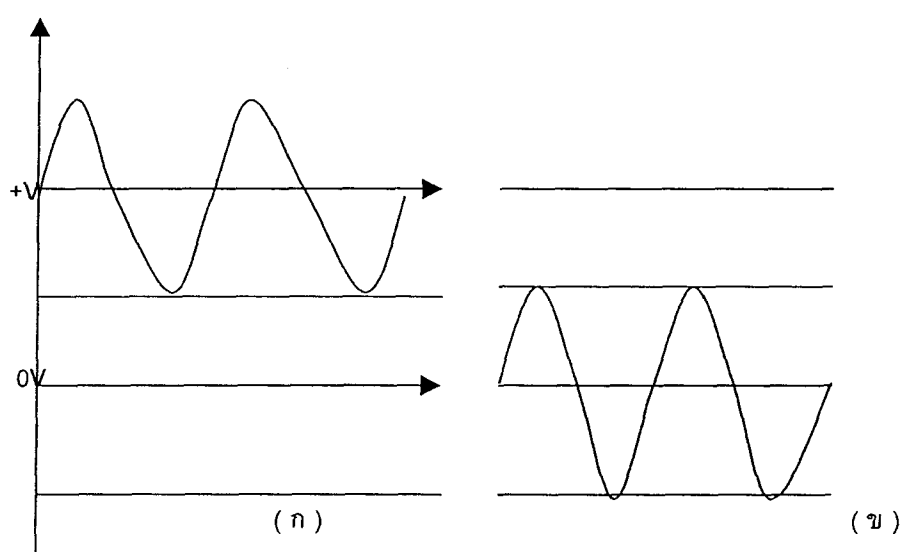
สำหรับวงจร AGC (Automatic Gain Control) จะป้อนกลับสัญญาณบางส่วนจากเอาต์พุตของวงจรขยายกลับมายังอินพุตของวงจรลดทอนสัญญาณ วงจร AGC นี้จะปรับระดับของอัตราขยายให้มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เมื่อความแรงของสัญญาณอินพุตจะมีค่าแตกต่างกันไปก็ตาม

สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วจะส่งผ่านวงจรชmittทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) เพื่อแปลงสัญญาณรูปต่าง ๆ ให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์ จากนั้นจึงเลือกที่จะนับที่ขอบขาขึ้นหรือขอบขาลงของสัญญาณ ลักษณะของสัญญาณที่ผ่านวงจรชmittทริกเกอร์เมื่อสัญญาณผ่านกระบวนการต่าง ๆ มาแล้ว จะผ่านเกตเข้าสู่วงจรรนับและแสดงผลต่อไป

สภาวะของสัญญาณอินพุต

การส่งผ่านทางอินพุต (Input Coupling)

การส่งผ่านสัญญาณทางอินพุตกระทำได้สองลักษณะคือ ไฟตรงและไฟสลัป ในภาพประกอบ 21(ก) เป็นการส่งผ่านแบบไฟตรง จะเห็นว่าสัญญาณที่ต้องการวัดจะมีระดับกึ่งกลางสัญญาณวางอยู่บนระดับแรงดันไฟตรงสำหรับภาพประกอบ 21 (ข) เป็นการส่งผ่านแบบไฟสลัป การส่งผ่านแบบนี้จะต่อตัวเก็บประจุกันแรงดันไฟตรงเอาไว้ ทำให้ได้เอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นไฟสลัปเท่านั้น



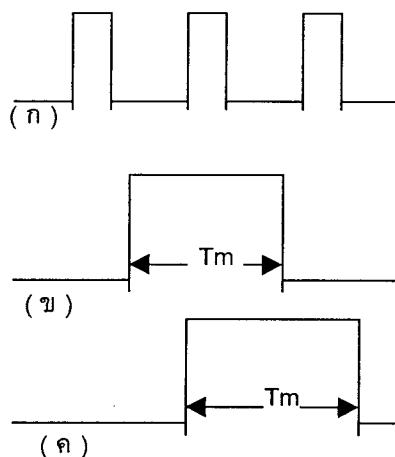
ภาพประกอบ 21 ลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการส่งผ่าน (ก) แบบไฟตรง (ข) แบบไฟสลัป

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในเครื่องวัดความถี่

ความผิดพลาดที่เกิดในเครื่องวัดความถี่แยกเป็นหัวข้อได้ 4 หัวข้อ :

ความผิดพลาดจากการเปิดเกต (Quantizing Error)

พิจารณาภาพประกอบ 22 (ก) เป็นสัญญาณที่ต้องการวัดในภาพประกอบ 22(ข) เป็นสัญญาณเปิดเกตเมื่อเปิดเกตแล้วจะนับสัญญาณได้ 1 ลูก แต่ในภาพประกอบ 22 (ค) ซึ่งเป็นสัญญาณเปิดเกตในช่วงเวลาต่อมา มีความยาวเท่ากับสัญญาณเปิดเกตอันแรก การเปิดเกตครั้งหลังนี้นับเป็นสัญญาณได้ 2 ลูก แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ความยาวในการเปิดเกตจะเท่ากัน ความถี่ที่ได้อาจจะไม่เท่ากันทุกครั้งในการวัด ความผิดพลาดแบบนี้เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก



ภาพประกอบ 22 แสดงความผิดพลาดในการเปิดเกตที่เวลาต่างกัน (ก) สัญญาณอินพุต (ข) สัญญาณเปิดเกตลูกที่หนึ่ง (ค) สัญญาณเปิดเกตลูกที่สอง

ความผิดพลาดจากการทริกเกอร์ (Trigger Error)

สาเหตุของความผิดพลาดแบบนี้เกิดมาจากสัญญาณรบกวนที่ปนมากับสัญญาณอินพุตที่ต้องการวัด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเปิดและปิดเกตโดยไม่ต้องการได้ทำให้การวัดออกมาผิดพลาด

ความผิดพลาดจากระบบ (Systematic Error)

ความผิดพลาดจากระบบเกิดขึ้นเนื่องมาจากอุปกรณ์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบเครื่องมือวัดนั่นเอง เช่น การหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ภายใน ความยาวของสายที่ทำการวัดทำให้ไม่แมตช์กันระหว่างสายโพรบกับเครื่องวัด ฯลฯ เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดความผิดพลาดได้ทั้งสิ้น

ความผิดพลาดจากฐานเวลา (Time-base Error)

ฐานเวลาเป็นส่วนที่สำคัญมากในเครื่องวัดความถี่ หากเกิดความผิดพลาดแม้จะเป็นเพียงเล็กน้อย แต่จะทำให้ผลการวัดผิดพลาดไปมากในเครื่องวัดความถี่ทั่ว ๆ ไปแล้ว มักจะใช้วงจรกำเนิดความถี่ด้วยแร่คริสตอล (Crystal Oscillator) เพราะมีความเที่ยงตรงสูงกว่าแบบอื่น ๆ วงจรกำเนิดความถี่ด้วยแร่คริสตอลที่พบเห็นกันมี 3 แบบ คือ

- คริสตอลออสซิลเลเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง
- คริสตอลออสซิลเลเตอร์ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ
- คริสตอลออสซิลเลเตอร์ที่มีการชดเชยอุณหภูมิ

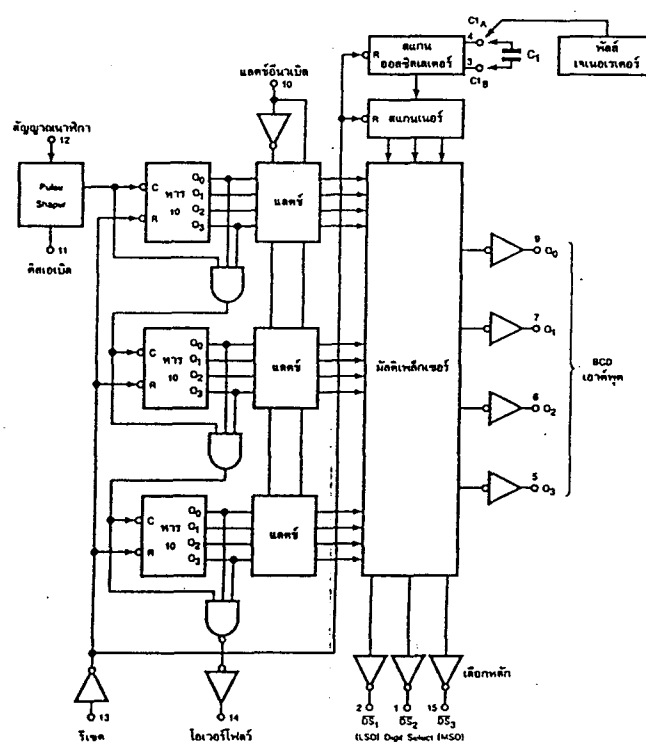
ออสซิลเลเตอร์แบบแรกเป็นแบบง่าย ๆ ออกแบบได้โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เลย ออสซิลเลเตอร์แบบที่สองมีการควบคุมอุณหภูมิภายในวงจร ส่วนในแบบที่สาม

เป็นการออกแบบที่มีการพยายามที่จะปรับและชดเชยอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนไป เพื่อลดผลของอุณหภูมิอันอาจจะทำให้การกำเนิดความถี่ผิดพลาดได้

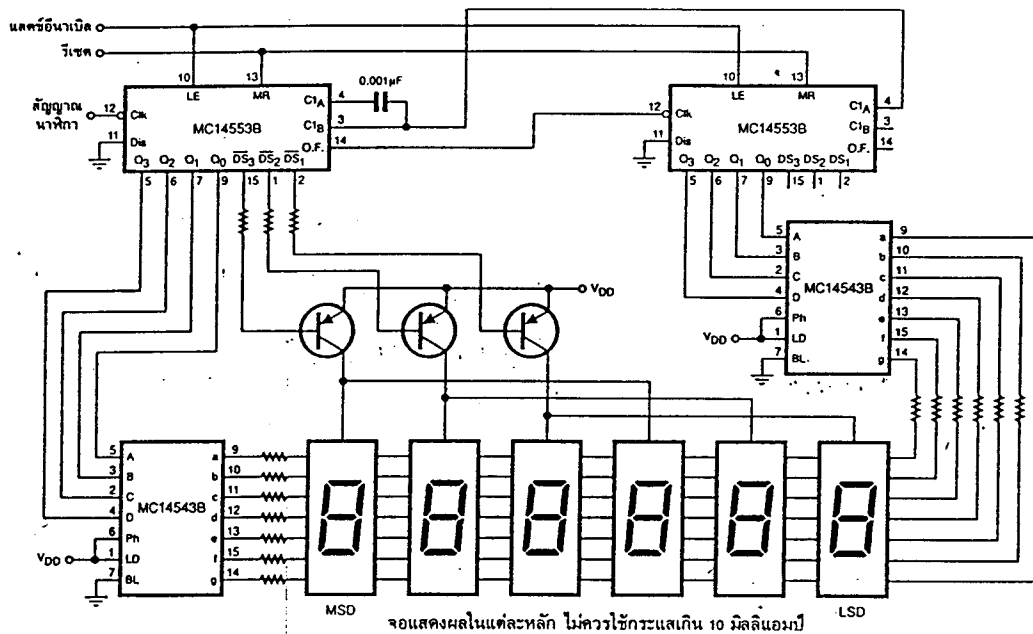
ปัจจุบันมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกไอซีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการใช้งาน ในการออกแบบสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนจำเป็นจะต้องมีส่วนของวงจรนับความถี่เพื่อแสดงผลการตรวจฟัง ในที่นี้จะยกตัวอย่างไอซีเบอร์ 4553 ซึ่งภายในมีวงจรนับและแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์โดยง่ายต่อการนำไปใช้งาน

ข้อมูลภายในของ ไอซีเบอร์ 4553

ภายในไอซี 4553 จะประกอบด้วยวงจรนับสิบฐาน 2 ต่อเรียงกัน 3 ชุดโดยเอาต์พุตแต่ละชุดจะมีแลตช์ (Latch) ไว้เก็บข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลในส่วนแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ โดยจะเก็บข้อมูลก็ต่อเมื่อขาแลตช์อีนาเบิล (LE) มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก 0 มาเป็นลอจิก 1 คล็อกอินพุตจะผ่านวงจร Pulse Shaper ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้สัญญาณที่เข้ามามีรูปร่างดีขึ้นและผู้ใช้สามารถจะหยุดสัญญาณอินพุตที่เข้ามาโดยให้ขาดีสเอเบิล (Dis) เป็นลอจิก 1 นอกจากนั้นยังสามารถรีเซ็ตวงจรนับทั้งหมดโดยการให้ขารีเซ็ต (MR) มีลอจิกเป็น 1 หากวงจรนับทั้งหมดนับเกินค่าสิบก็จะส่งลอจิก 1 ออกมาที่ขา โอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ซึ่งจะแสดงวงจรภายในของไอซี 4553 และวงจรการต่อใช้งานใน ภาพประกอบ 23 และ ภาพประกอบ 24 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 23 แสดงวงจรภายในไอซี เบอร์ 4553



ภาพประกอบ 24 แสดงการต่อใช้งานเป็นวงจรนับความถี่

6. สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

การตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเป็นการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเมื่อเครื่องจักรทำงานครบกำหนดตามคาบเวลา โดยทำการวัดสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ในคู่มือเครื่องจักรโดยตำแหน่งที่ทำการวัดต้องเป็นตำแหน่งที่แสดงอาการของเครื่องจักรได้ดีที่สุด เช่น บริเวณระบบรอกลิ้น เป็นต้น และการตรวจวัดบางปัญหาต้องทำการวัดทั้ง 3 แนว คือ แนวตั้ง แนวนอน และแนวแกน อีกทั้งการตรวจวัดต้องทำที่ตำแหน่งเดิมทุกครั้งในแต่ละคาบเวลา

การวิเคราะห์จากย่านความถี่ของปัญหา ซึ่งมาจากหลักการที่ว่าชิ้นส่วนของเครื่องจักรเมื่อเกิดข้อบกพร่องจะมีระดับของการสั่นสะเทือนสูงขึ้น และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีความถี่การสั่นสะเทือนเฉพาะตามลักษณะ หากพิจารณาลักษณะของชิ้นส่วนเครื่องจักรจะพบว่าในการตรวจสอบชิ้นส่วนที่เป็นมาตรฐานมีอยู่ไม่กี่ชนิด โดยชิ้นส่วนแต่ละชนิดจะมีความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักร ความเร็วรอบของการหมุน จึงสามารถคาดได้ว่าความถี่ของปัญหามาจากชิ้นส่วนใด การวิเคราะห์วิธีนี้สามารถใช้กับเครื่องจักรที่ไม่มีข้อมูลของชิ้นส่วน แต่ทราบความเร็วรอบการทำงาน ซึ่งผลของการวิเคราะห์วิธีนี้เป็นเพียงการคาดปัญหาไม่สามารถให้คำตอบที่แม่นยำเนื่องจากไม่มีข้อมูลเครื่องจักรมาประกอบ (อุดมจิตต์ นีวาสะบุตร. 2538:16)

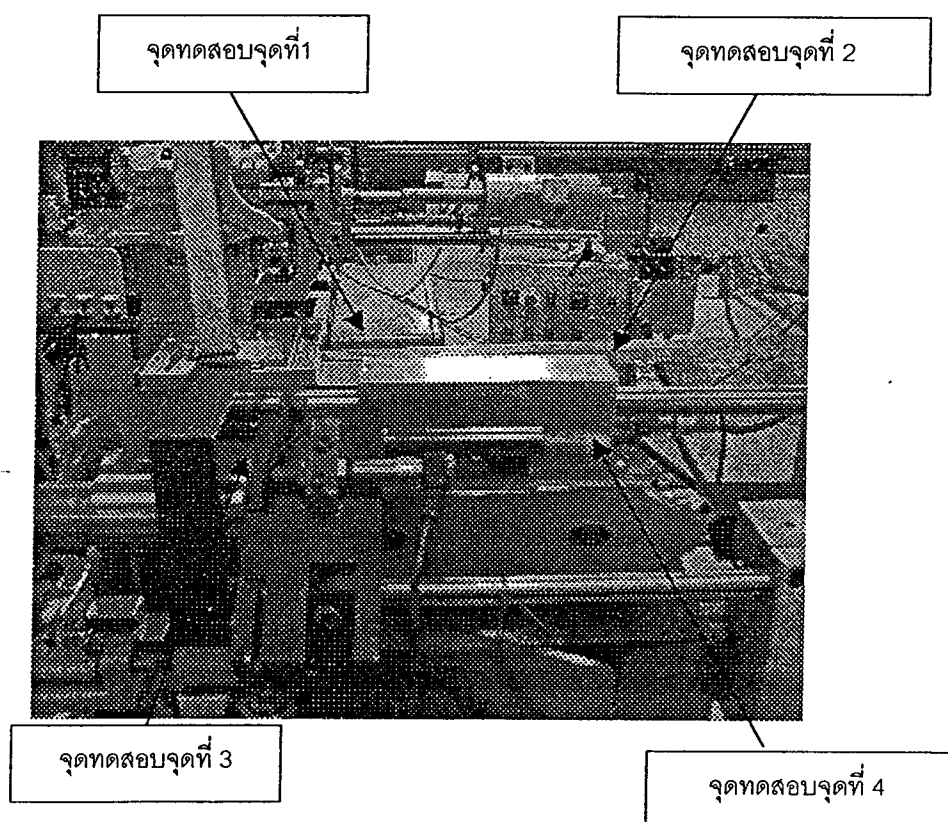
สมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนสามารถหาได้จากการทดลองนำไปใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญแล้วทำการประเมินจากสภาพการใช้งานจริงของเครื่องโดยประเมินจากหัวข้อต่อไปนี้

1. ด้านกายภาพของเครื่อง เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนมีความสามารถในการนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสมสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในสายการผลิต มีความแข็งแรงปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ตัวผู้ใช้งาน

2. ด้านการใช้งานของเครื่อง เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อใช้ตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ใช้งานโดยการนำหัวเซนเซอร์ไปสัมผัสบริเวณที่ต้องการวัดละตรวจฟัง เช่นจุดรองรับตลับลูกปืน ชุดเฟืองส่งกำลัง เพื่อใช้วิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักร หรือทำให้ทราบว่ตลับลูกปืนกำลังเกิดปัญหา โดยมีภาคขยายสัญญาณต่ำๆที่สามารถแสดงผลการตรวจฟังได้ชัดเจนยิ่งขึ้น มีหูฟังสำหรับงานอุตสาหกรรมที่มีคุณภาพสูง เหมาะแก่การนำไปใช้งานในที่ๆมีเสียงรบกวน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการซ่อมแซมและการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

3. ด้านการบำรุงรักษาเครื่อง เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนมีอุปกรณ์หลักที่ทำงานประกอบกันอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยวงจรภาคขยายสัญญาณเพื่อแสดงผลความสั่นสะเทือนออกมาทางหูฟัง ส่วนภาคจัดเรียงสัญญาณแล้วแสดงสัญญาณออกมาในรูปความถี่เสียงเป็นตัวเลขดิจิตอลมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ และส่วนสุดท้ายคือส่วนแสดงผลสัญญาณทางเสียงคือ หูฟัง ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสามส่วนนี้สามารถถอดประกอบออกจากกันได้ง่ายจึงไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย

ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน สามารถแสดงผลของการตรวจฟังในแต่ละจุดที่ทำการวัดโดย ผู้ใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง ดังตัวอย่างเช่น



ภาพประกอบ 25 แสดงจุดที่ทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อเปรียบเทียบ

ทดลองให้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องมือวัดในจุดต่างๆ แล้วสรุปผล

ทดสอบจุดที่ 1.....

ทดสอบจุดที่ 2.....

ทดสอบจุดที่ 3.....

ทดสอบจุดที่ 4.....

หมายเหตุ กำหนดให้จุดที่ 2 และ 3 เป็นจุดที่เกิดความเสียหายจากตลับลูกปืน

สรุป ผู้เชี่ยวชาญที่ทดลองใช้เครื่องจะต้องสรุปผลการใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนออกมาได้ตรงกับสภาพความเป็นจริงที่กำหนดไว้ของเครื่องจักรคือ จุดที่ทำการวัดในจุดที่ 1 กับ จุดที่ 4 มีความปกติ ส่วนจุดที่ 2 กับจุดที่ 3 เกิดความเสียหายจากตลับลูกปืน

ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่แสดงผลออกมาในรูปของค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น จะต้องมีประสิทธิภาพในการแสดงผลได้เท่ากับเครื่องวัดความถี่ดิจิทัล

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยผู้วิจัยพบว่า ไม่มีการศึกษาหรือกล่าวถึงการสร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร แต่พบว่ามีงานวิจัยบางเรื่องที่เกี่ยวข้อง เช่น

อุดมจิตต์ นิวาตะบุตร (2538) การตรวจสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน ได้ศึกษาการทำงานของเครื่องจักรซึ่งประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งที่หยุดนิ่งและที่เคลื่อนที่ประสานกันตามที่ได้รับารออกแบบไว้ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนรอบแกนขณะทำงานจะเกิดการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความไม่สมดุล การสัมผัส การกระทบ การเสียดสีระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดการสึกหรอและระดับการสั่นสะเทือนสูงขึ้น เป็นผลให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงหรือผลิตงานไม่ได้คุณภาพ การตรวจสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือนช่วยให้ทราบถึงสถานะและความผิดปกติของเครื่องจักร จึงช่วยยืดระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักร ลดระยะเวลาการซ่อมบำรุงและสามารถทำการแก้ปัญหาได้ก่อนที่ระดับความเสียหายจะเพิ่มสูงขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและเพิ่มความมั่นคงให้กระบวนการผลิต

วินัย ชุนหมุกดา (2533) เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนเพื่อการถ่วงดุลย์ แบบ Centrifugul Balancing Machine เสนอทฤษฎีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของวัตถุหมุนที่เกิดเนื่องจากความไม่สมดุลย์ของวัตถุเอง และผลที่ได้จากทฤษฎีจะถูกนำไปใช้ เพื่อหาทราบสวิตเซอร์ที่เหมาะสม สำหรับติดตั้งบนแท่นรองรับวัตถุแบบเคลื่อนที่ เพื่อออกแบบและสร้างวงจรที่สามารถแปลงสัญญาณที่ได้จากทราบสวิตเซอร์ให้เป็นค่าของน้ำหนัก และตำแหน่งโดยจะบอกเป็นเชิงตัวเลข ผลการทดลองการทำงาน และความแม่นยำของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับสัญญาณรูปไซน์ที่ป้อนจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ แสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดมีความเป็นเชิงเส้นในช่วงน้ำหนักไม่เกิน 900 กรัม และในตำแหน่ง 64 ตำแหน่ง ต่อ 360 องศา เครื่องวัดนี้ได้ถูกพัฒนาให้สามารถอินเทอร์เฟซ กับไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อให้แสดงผลบนจอภาพ และให้สามารถแทนสูตรการคำนวณถ่วงดุลย์แบบอื่น ๆ ขีดจำกัดของเวลาและความไม่สมบูรณ์ของระบบขับเคลื่อนในห้องทดลอง

ชลวิทย์ สืบหิรัญ , สุกิจ สิทธิสังธรรม (2534) การออกแบบและสร้างชุดทดสอบการสั่นสะเทือน การตรวจสอบ หรือการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะบางอย่าง หรือพฤติกรรมของระบบ เป็นไปอย่างยากลำบาก อย่างเช่นการวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนเนื่องจากจำเป็นต้องใช้ความละเอียดสูง ดังนั้นจึงต้องมีการนำเอาเครื่องมือ

โครคอมพิวเตอรืมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัด ทำให้ได้ผลที่แน่นอนรวดเร็วโดยใช้เวลานั้น ได้ความเที่ยงตรงสูง ประกอบกับปัจจุบันได้มีการผลิตอุปกรณ์ยังสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ ออกมามากมาย ซึ่งสามารถช่วยในงานวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งสัญญาณขาเข้าที่ป้อนให้แต่ละระบบนั้น ก็มีเครื่องสร้างความสั่นสะเทือน โดยสามารถเลือกปรับค่าความถี่และแอมพลิจูด ได้ตามความต้องการเพื่อให้สามารถทดสอบได้หลาย ๆ ค่า และยังเป็นการทดลองใช้ อุปกรณ์เชื่อมโยงการทำงานเพื่อรับข้อมูลและส่งข้อมูล เพื่อให้ได้ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ ผลในภายหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิกรม สุวิกรม (2540) การใช้ประโยชน์จากข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกรณีศึกษาเครื่องจักรกลหลัก เหมืองแม่เมาะ การปฏิบัติงานด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักรกลหลักที่ใช้งานที่เหมืองถ่านหินแม่เมาะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้มีการพัฒนามาจากการซ่อมเมื่อพบเครื่องจักรเสียหาย มาเป็นการซ่อมบำรุงแบบมีแผน แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์การใช้ข้อมูลจากประวัติการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลหลัก เพื่อวิเคราะห์หาค่าเวลาเฉลี่ย สาเหตุการขัดข้องของอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ การวิเคราะห์หาค่าใช้จ่าย ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล

จากข้อมูลงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำมาเป็นข้อมูลในเรื่องการพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อที่จะทำให้เนื้อหาในงานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ขึ้น

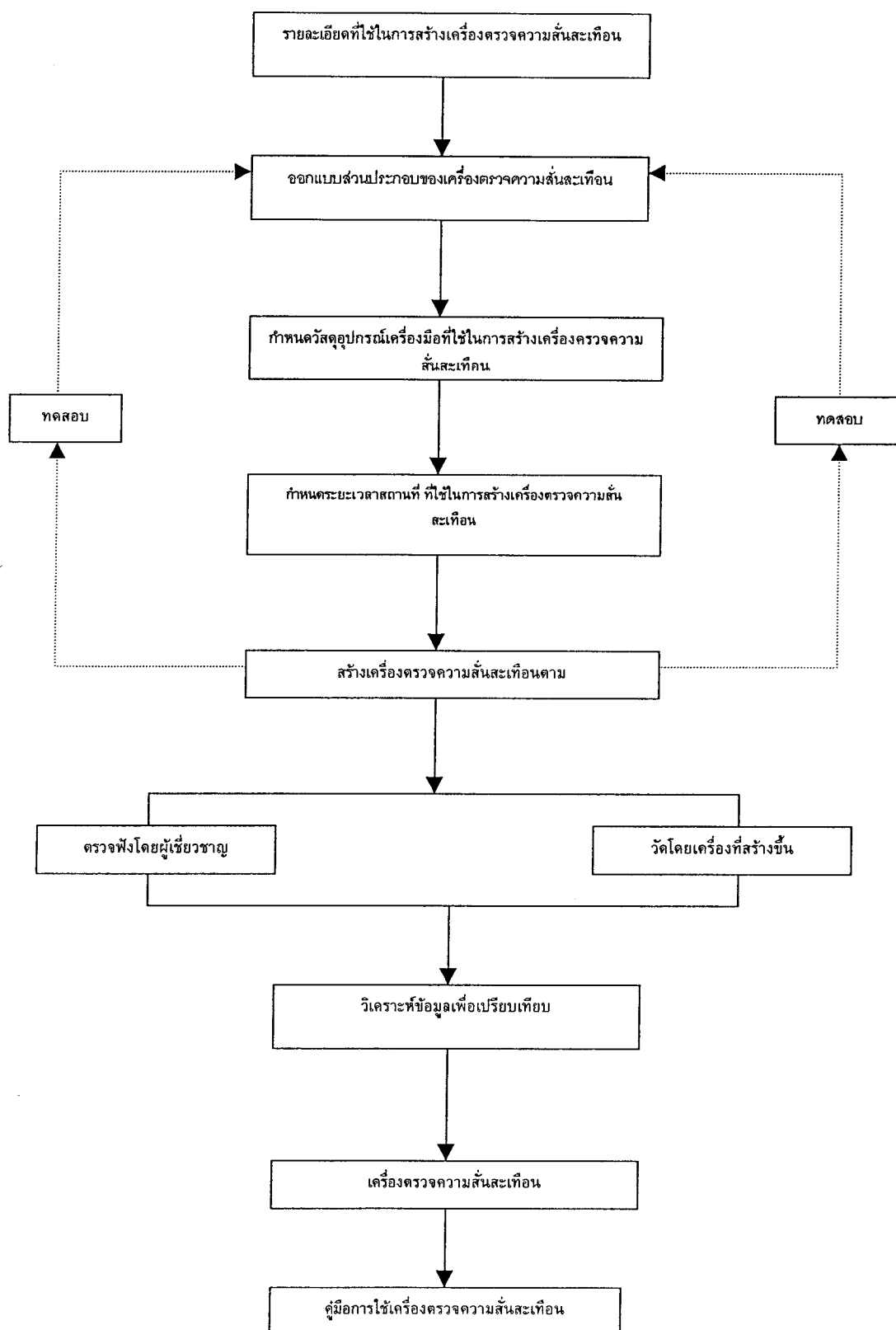
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าทดลอง โดยการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องกลึงซึ่งผู้ศึกษาค้นคว้าดำเนินการโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน
2. ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน
3. กำหนด วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการก่อสร้างเครื่องตรวจสั่นสะเทือน
4. กำหนดระยะเวลา และสถานที่ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน
5. สร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้
6. ทดสอบปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของเครื่องตรวจ ความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น
7. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ

ซึ่งสามารถเขียนเป็นกรอบความคิดได้ดังนี้



ภาพประกอบ 26 แสดงกรอบความคิดในการศึกษาค้นคว้า

1. ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน

การศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนประกอบด้วย

1.1 ศึกษาค้นคว้า ทำรา และงานทดลอง ที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องตรวจฟัง ความสั่นสะเทือน ในการตรวจฟัง ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร

1.2 ศึกษาคุณสมบัติส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน เพื่อจัดหา วงจร วัสดุอุปกรณ์ ที่เหมาะสมมาประกอบเป็น เครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร

2. ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน

สร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นมา มี วงจรและส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

2.1 อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือน

ซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

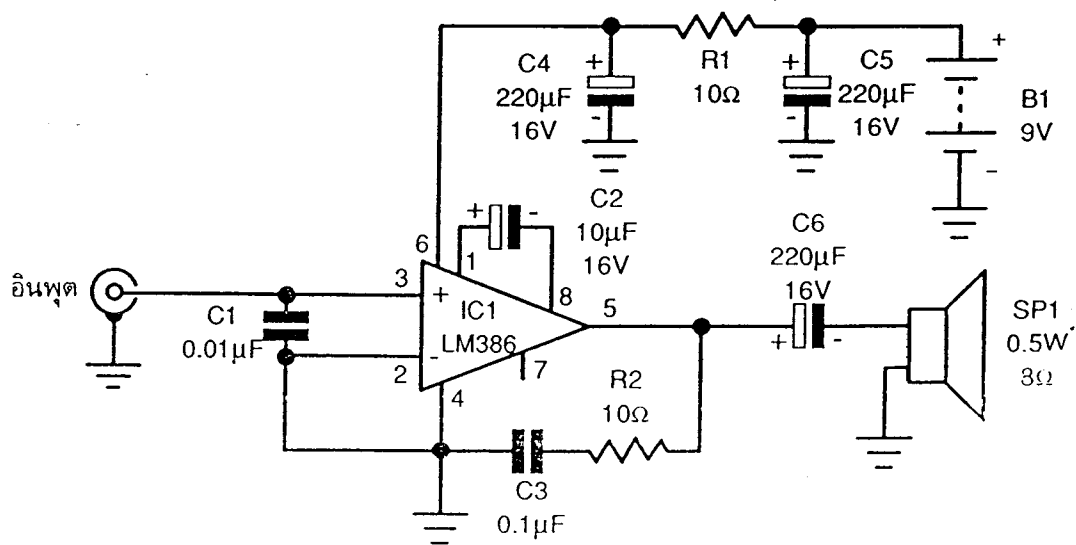
2.1.1 ทรานส์ดิวเตอร์ (Displacement Transducer)

เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณ ความสั่นสะเทือน โดยใช้เพียโซ ทรานส์ดิวเซอร์ (PIEZO TRANSDUCER) เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ ความสั่นสะเทือน แล้วทำการเปลี่ยน ความสั่นสะเทือน ที่เป็นสัญญาณทางกล ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

2.1.2 สายสัญญาณ เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงระหว่างหัวทรานส์ดิวเซอร์ กับ ตัวเครื่องวัด เพื่อส่งผ่านสัญญาณ การสั่นสะเทือน ในรูป คลื่นไฟฟ้า มายังตัวเครื่องเพื่อแสดงผล

2.2 ชุดอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อความถูกต้อง ซึ่งประกอบไปด้วย

2.2.1 วงจรขยายสัญญาณ ที่มีความไวสูง เพื่อที่จะนำสัญญาณที่เกิดจากความสั่นสะเทือน มาขยายสัญญาณเพื่อให้มีความแรงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ผล โดยวงจรขยายสัญญาณที่เลือกใช้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมและมีอัตราการขยายสัญญาณที่ดีพอและมีขนาดของวงจรที่เล็กเหมาะสำหรับการนำไปติดตั้งในชุดตรวจสอบสัญญาณ ในที่นี้เลือกใช้ไอซี เบอร์ LM 386 ซึ่งมีอัตราขยายสัญญาณได้ถึง 0.5 วัตต์ ภาพประกอบ 25 แสดงวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ไอซี LM 386 เป็นอุปกรณ์หลัก

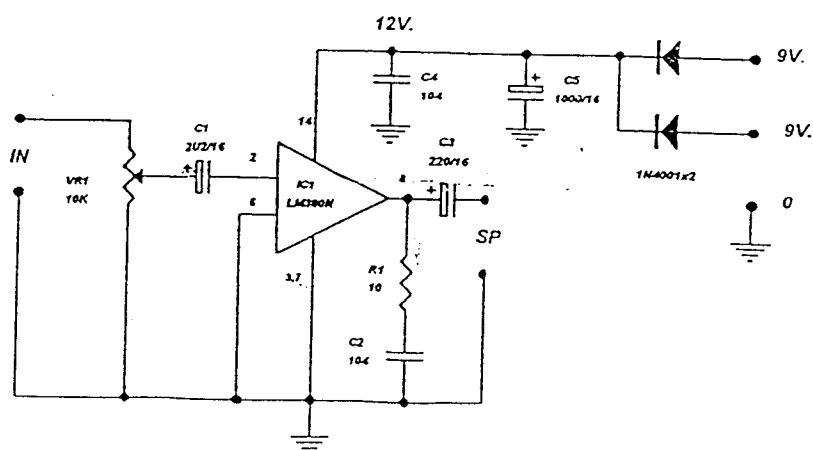


ภาพประกอบ 27 แสดงวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ไอซี LM 386

การทำงานของวงจร

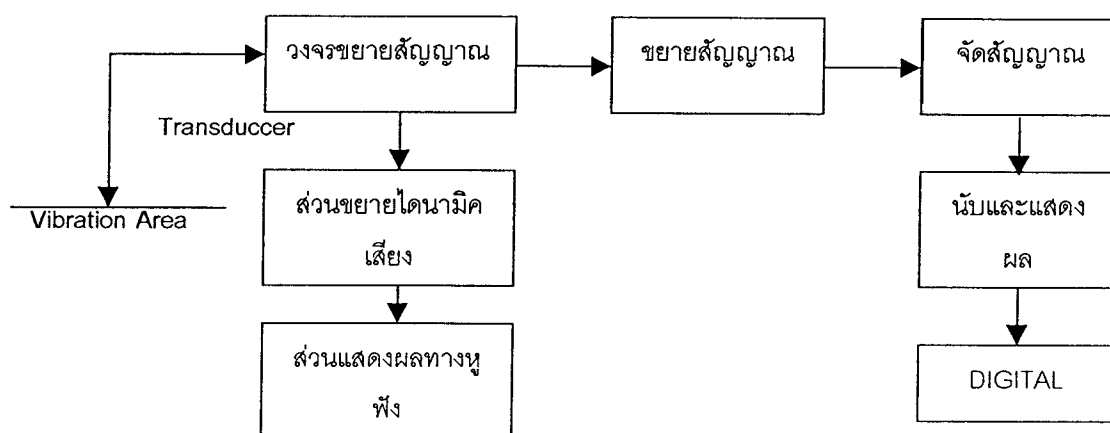
จากภาพประกอบ แสดงวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ไอซี LM 386 ซึ่งเป็นไอซีที่รวมเอาวงจรต่างๆไว้ภายในจึงทำให้การออกแบบและนำไปใช้งานง่ายโดยจะเห็นได้ว่า ในขณะที่มีสัญญาณความถี่ผ่านเข้ามาทางด้าน อินพุตซึ่งในที่นี้จะใช้สัญญาณที่ได้จากการแปลงสัญญาณความถี่เสียงเป็นรูปสัญญาณความถี่โดยใช้เปียโซ ทรานสดิวเซอร์ อุปกรณ์คาปาซิเตอร์ C1 จะทำหน้าที่จำกัดความถี่สูงซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนให้ลงกราวด์ และถ้าหากมีสัญญาณเอาต์พุตออกมา R2 กับ C3 จะคอยกรองความถี่สูงลงกราวด์อีกทีหนึ่ง ทำให้ไม่มีสัญญาณรบกวนออกมา ในส่วนของ C2 จะทำหน้าที่ป้องกันกลับสัญญาณเพื่อรักษาเสถียรภาพของการทำงานในไอซี C6 คอยป้องกันไม่ให้ไฟตรงผ่านออกไปทางด้านเอาต์พุต R1 , C4 , และ C5 จะทำหน้าที่รักษาไฟเลี้ยงของวงจรให้เรียบและป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนที่ปะปนที่มากับแหล่งจ่ายเข้าไปภายในตัวไอซีซึ่งจะทำให้ไอซีทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย

2.2.2 วงจรขยายไดนามิกทางเสียง เพื่อให้สัญญาณที่ได้อยู่ช่วงที่เหมาะสม สำหรับนำไปแสดงผล วงจรขยายสัญญาณนี้ได้ออกแบบโดยใช้ไอซีเบอร์ LM 380 N ซึ่งเป็นแอมป์ที่ทำงานด้วยอัตราขยายที่ 36 db โดยใช้แรงดันได้ตั้งแต่ 10 โวลท์ จนถึง 22 โวลท์ ไอซีเบอร์นี้มีข้อดีตรงที่มีวงจรภายในสำหรับควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ร้อนเกินไปกรณีที่เอาต์พุตเกิดการลัดวงจร โดยขา 3 ,4 ,5 และ 10 ,11 ,12 ต่อลงกราวด์บนแผ่นปริ้นท์ทำหน้าที่ระบายความร้อนจึงสะดวกต่อการออกแบบใช้งานเพราะไม่ต้องใช้แผ่นฮีตซิงค์สำหรับระบายความร้อนจากภายนอก ซึ่งไม่ทำให้เปลืองพื้นที่และยังทำให้วงจรมีขนาดกระทัดรัด การออกแบบจะต่อขา 6 ของไอซี 380 N ซึ่งเป็นขั้วอินเวอร์ตติงลงกราวด์ ส่วนสัญญาณจะส่งผ่าน C1 เข้าขา 2 ซึ่งเป็นขั้วอินเวอร์ตติง เอาต์พุตที่ได้จะออกทางขา 8 จะมีรีซิสเตอร์ ขนาด 10 โอห์มต่ออนุกรมกับ C2 ลงกราวด์ โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ป้องกันความไม่สม่ำเสมอของสัญญาณที่มีความถี่สูงเนื่องจากค่ารีแอคแตนซ์ของเอาต์พุตจากลำโพง โดยขา 3,4,5,7, ของไอซีจะต่อลงกราวด์กับแรงดันแหล่งจ่ายป้อนเข้าขา 14 ด้วยแรงดัน 12 โวลท์ ภาพประกอบ 26 แสดงวงจรขยายสัญญาณทางเสียง

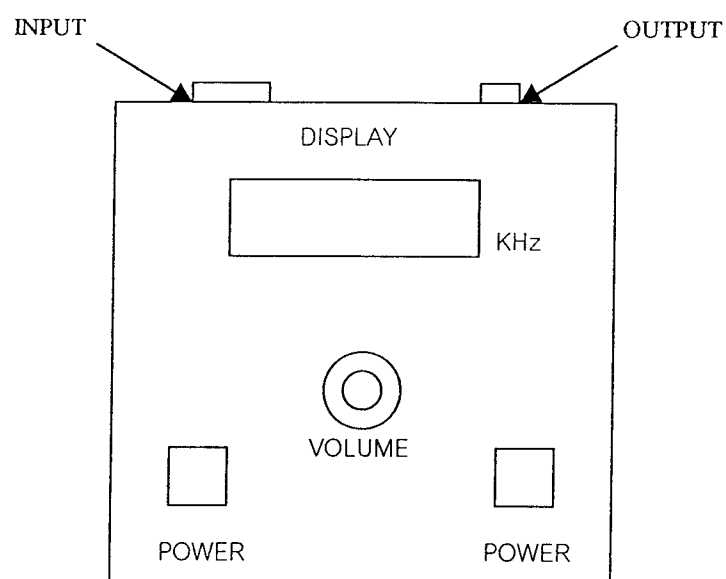


ภาพประกอบ 28 แสดงวงจรขยายสัญญาณทางเสียง

2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์และแสดงผล โดยผลของสัญญาณที่ได้จะถูกวิเคราะห์และแสดงผลออกมาในรูปของคลื่นความถี่ทางเสียง และแปลงสัญญาณออกมาทางลำโพงของหูฟัง



ภาพประกอบ 29 บล็อกไดอะแกรมการทำงานพื้นฐานของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน



ภาพประกอบ 30 ตัวเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน

3.1 วัสดุอุปกรณ์ได้แก่

3.1.1 อลูมิเนียม ขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตรหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น

3.1.2 อลูมิเนียม ขนาด กว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตรหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น

3.1.3 อลูมิเนียม ขนาด กว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตรหนา 3 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น

3.1.4 อลูมิเนียม กลม ขนาด 2.5 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น

3.1.5 สกรู ขนาด 12.5 มิลลิเมตร ยาว 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 6 ตัว

3.1.6 สกรูเกลียวปล่อย ขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 6 ตัว

3.1.7 พลาสติกกลม ขนาด 4 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น

3.1.8 ตัวต้านทานประกอบด้วย

ตัวต้านทานขนาด 0.5 วัตต์ ค่าความผิดพลาด ร้อย ละ 5

ค่าความต้านทาน 10 โอห์ม จำนวน 2 ตัว

ค่าความต้านทาน 100 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 300 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 820 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 1 เมกกะโอห์ม จำนวน 2 ตัว

ค่าความต้านทาน 4.7 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

3.1.9 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ 470โอห์ม จำนวน 1 ตัว

3.1.10 ตัวเก็บประจุ ประกอบด้วย

ค่าความจุ 10 ไมโครฟารัด 16 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 3 ตัว

ค่าความจุ 100 ไมโครฟารัด 16 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 2 ตัว

ค่าความจุ 47 ไมโครฟารัด 16 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 2 ตัว

ค่าความจุ 220 ไมโครฟารัด 16 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 4 ตัว

ค่าความจุ 0.22 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 1 ตัว

ค่าความจุ 0.01 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 1 ตัว

ค่าความจุ 220 นาโนฟารัด 16 โวลต์ อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 1 ตัว

3.1.11 ทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย

BC549 จำนวน 1 ตัว

2N5485จำนวน 1 ตัว

2N4403จำนวน 1 ตัว

3.1.12 ไอ ซี ประกอบด้วย

T B A 820M จำนวน 1 ตัว
 L M 386 N-4 จำนวน 2 ตัว
 LM 380N จำนวน 1 ตัว
 PIC16C54 จำนวน 1 ตัว
 74HC132 จำนวน 1 ตัว
 78L05 จำนวน 1 ตัว
 TRIMMER CAP จำนวน 1 ตัว

3.1.13 อุปกรณ์อื่น ๆ

L C D ไตโอดเปล่งแสง สีแดงขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว
 เบ้าโซทรานสดิวเซอร์ แบบพลาสติกครอบ จำนวน 1 ตัว
 แจ็กโมโน ตัวผู้ จำนวน 2 ตัว
 อะแดปเตอร์ลงปริ้นซ์ จำนวน 3 ตัว
 แผ่นปริ้นขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น
 สายซีลด์โมโน จำนวน 1 เส้น
 ไข้อกเก็ต ไอ ซี 8 ขา จำนวน 3 ตัว
 ขั้วถ่าน 9 โวลต์ พร้อมถ่านจำนวน 3 ชุด
 สวิตช์ปิดเปิด จำนวน 1 อัน
 สายไฟ ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 1 เมตร
 ตะกั่วบัดกรี ความยาว 1 เมตร
 ท่อหด ขนาด 0.4 มิลลิ เมตร ความยาว 1 ฟุต
 หูฟังชนิดเฮดโฟน ขนาด 4 โอห์ม 1 วัตต์

3.2 เครื่องมือประกอบด้วย

- 3.2.1 ส่วนไฟฟ้าชนิดแท่นเจาะ จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.2 เครื่องกัดชิ้นงานจำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.3 เครื่องกลึง จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.4 ไขควงชุด จำนวน 1 ชุด
- 3.2.5 มัลติมิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.6 ตะไบชุด จำนวน 1 ชุด
- 3.2.7 หัวแร้งไฟฟ้าชนิดแช่ ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 ตัว
- 3.2.8 คีมปากตัด จำนวน 1 ตัว

3.2.9คีมจับ จำนวน 1 ตัว

3.2.10เลื่อย ตัดเหล็กจำนวน 1 อัน

3.2.11ชุดมีดกลึง จำนวน 1 ชุด

3.2.12ชุดอุปกรณ์มีดกัด จำนวน 1 ชุด

4. กำหนดระยะเวลา สถานที่

สถานที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจ ความสั่นสะเทือน เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึง วันที่ 31 เมษายน 2546 โดยใช้สถานที่ในการทดลอง คือ แผนก ช่อมบำรุงเครื่องจักร บริษัท อี.ที. เอ ประเทศไทย

5. สร้างเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

การสร้างเครื่องตรวจฟังของเครื่องจักร ครั้งนี้ ดำเนินการสร้าง ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องเสร็จแล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

5.1 สั่งซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้าง

5.2 สร้างตัวเครื่อง โดยการกัด และเจาะขึ้นรูป อลูมิเนียม เพื่อทำเป็นตัวเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน พร้อมทั้งเจาะรู และทำการ ต๊าปเกลียว เพื่อทำการยึด เป็นฝาปิดเครื่อง

5.3 สร้างชุด ตัว ตรวจจับ ความสั่นสะเทือน โดยการกลึงขึ้นรูปจากอลูมิเนียม กลม เพื่อใช้ติดอุปกรณ์ เปียโซ ทรานสดิวเซอร์

5.4 จัดทำแผ่นวงจรพิมพ์ โดยจัดทำแผ่นวงจรพิมพ์ของชุดปรีขยายสัญญาณชุดกรองความถี่ และชุดขยายไดนามิกทางเสียง

5.5 ประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นพิมพ์วงจรโดยการประกอบและบัดกรีอุปกรณ์ทุกตัวลงบนแผ่นพิมพ์วงจรเริ่มจากอุปกรณ์ตัวต่ำสุดไปหาอุปกรณ์สูงสุด พร้อมทั้งตรวจสอบจุดบัดกรีให้เรียบร้อย

5.6 ประกอบแผ่นวงจรพิมพ์ในตัวเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน พร้อมทั้งเดินสายไฟควบคุมภายในแต่ละจุด

5.7 ประกอบชุดตัวตรวจจับความสั่นสะเทือนเข้ากับตัวเครื่อง

5.8 ทดลองการทำงานของแต่ละส่วนโดยใช้มัลติมิเตอร์ทำการวัดแต่ละจุดของวงจรเพื่อหาข้อบกพร่องเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไข เมื่อไม่พบข้อบกพร่องจึงดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

6. ทดสอบปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของเครื่องตรวจ ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

หลังจากทดลองการทำงานของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแล้วพบว่าทำงานได้ปกติ จึงนำเครื่องที่ได้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อทำการประเมินสภาพการใช้งานว่ามีความเหมาะสมหรือไม่กับเครื่องจักรที่จุดต่าง ๆ เช่น ที่จุดรองรับเพลามีแบริ่งเป็นตัวหมุน เพลาของมอเตอร์ชุดเฟืองทดชุดส่งกำลัง และทำการปรับปรุง แก้ไข ชุดทรานสดิวเซอร์ให้งานได้อย่างถูกต้อง มั่นยำ

7. การวิเคราะห์ ข้อมูล

นำแบบทดสอบและประเมินผลมาดำเนินการวิเคราะห์ หาสมรรถนะของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน ของเครื่องจักร ด้วยวิธีทางสถิติดังนี้

7.1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะ ของการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา สมรรถนะของเครื่อง ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและ ความเหมาะสม ของการนำไปใช้งาน

7.2 นำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

7.2.1 หาคาเฉลี่ยเลขคณิต

7.2.2 หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

7.2.3 หา ค่าสัมประสิทธิ์แห่งการกระจาย

7.3 กำหนดเกณฑ์ ในการแปลความหมายของข้อมูลโดยเป็นค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ดังนี้

ระดับการประเมิน	คะแนน
ดีมาก	5
ดี	4
พอใช้	3
ต้องปรับปรุง	2
ใช้ไม่ได้	1

7.4 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายทางด้านสมรรถนะ ดังต่อไปนี้

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.50 - 5.00	ดีมาก
3.50 - 4.49	ดี
2.50 - 3.49	พอใช้
1.50 - 2.49	ต้องปรับปรุง
1.00 - 1.49	ใช้ไม่ได้

7.5 หาค่า t

$$\frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

$$t = df = n - 1$$

$$x = \text{ค่าเฉลี่ยของประชากร}$$

$$s = \text{ส่วนเบี่ยงเบนของกลุ่มมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง}$$

$$n = \text{จำนวนกลุ่มตัวอย่าง}$$

นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล 2 แบบดังนี้

7.3.1 เสนอเป็นการบรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะ ทั้ง 3 ด้านของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยตารางแปลความหมายเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นการประเมินหาสมรรถนะของเครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ของผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

7.3.2 ส่วนของข้อมูลจากคำถามปลายเปิด แสดงความคิดเห็นอิสระโดยผู้วิจัย จะนำ คำตอบและข้อเสนอแนะ เพื่อรวบรวม และเรียงลำดับนำเสนอเป็นข้อ จากข้อที่มีความถี่ของผู้ตอบมากที่สุด ไปจนน้อยที่สุดตามลำดับ

7.4 ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน โดยการนำไปตรวจฟังความผิดปกติของเครื่องจักรในแต่ละจุด แล้วทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตารางเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐาน

ตาราง 1 แสดงตำแหน่งการวัดในแต่ละจุดของเครื่องจักร และทำการเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องที่สร้างขึ้นกับ เครื่องมาตรฐาน

จุดที่ทำการวัด	เครื่องที่สร้างขึ้น	เครื่องมาตรฐาน
1. ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ	 Hz	 Hz
2. ชุดทำเกลียว	 Hz	 Hz
3. มอเตอร์ส่งกำลัง	 Hz	 Hz
4. อุปกรณ์เปิดปิดการกลึง	 Hz	 Hz
5. เพลาทดกำลัง	 Hz	 Hz

7.5 ทำการทดสอบประสิทธิภาพโดยการให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนทำการฟังในแต่ละจุด แล้วทำการประเมินผลลงในตารางว่าจุดที่ทำการทดสอบในแต่ละจุดมีความผิดปกติระดับใดเกิดขึ้น

ตาราง 2 แสดงผลการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญถึงระดับความผิดปกติที่เกิดขึ้น

จุดที่ทำการวัด	ระดับที่ประเมิน	ค่าที่วัดเป็นตัวเลข
จุดวัดที่ 1		 Hz
จุดวัดที่ 2		 Hz
จุดวัดที่ 3		 Hz
จุดวัดที่ 4		 Hz
จุดวัดที่ 5		 Hz

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย การศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ของเครื่องจักร ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ กำหนดวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้าง กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างทดสอบปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน การสร้างแบบประเมินสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่อง และการประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลการทดลองใช้เครื่อง และการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

1. การหาสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรมีรายละเอียดดังนี้

✓ 1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

จากการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร จำนวน 5 คน ผู้วิจัยได้ทำการประเมินสมรรถนะและได้แสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้

1.1.1 การประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนด้านกายภาพแสดงในตาราง

ตาราง 3 การวิเคราะห์หาสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรโดยรวมทั้ง 3 ด้าน
(N = 5)

ด้านกายภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน	$\bar{X}$	SD	แปลความหมาย
เครื่องมือขนาดกระทัดรัดสวยงาม	4.20	0.45	ดี
ชุดตรวจสอบสัญญาณและชุดแสดงผลออกแบบให้	4.00	0.00	ดี
สามารถแยกและประกอบกันในขณะใช้งาน			
ตัวเครื่องและชุดตรวจสอบมีความแข็งแรง	4.20	0.45	ดี
ตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบออกแบบให้มีความปลอดภัย	4.00	0.00	ดี
ในขณะใช้งาน			
เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนออกแบบให้สามารถตรวจ	4.20	0.45	ดี
ความสั่นสะเทือนในจุดที่ยากต่อการตรวจสอบ			
เฉลี่ยด้านกายภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน	4.12	0.27	ดี
ด้านการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน			
โดยใช้คนเพียง 1 คนสามารถปฏิบัติงานได้สะดวกรวดเร็ว	4.80	0.45	ดีมาก
สามารถนำไปใช้ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่หมุน	4.20	0.45	ดี
หรือเคลื่อนที่ได้			
สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละจุดเพื่อเปรียบเทียบได้	4.20	0.45	ดี
สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรเป็นต้น	4.00	0.00	ดี
กำลังการผลิต			
สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว	4.60	0.55	ดีมาก
เฉลี่ยด้านการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน	4.36	0.30	ดี
ด้านการบำรุงรักษาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน			
การบำรุงรักษาก่อนใช้งานทำได้สะดวก	4.40	0.55	ดี
การถอดประกอบชิ้นส่วนก่อนและหลังการใช้งานง่ายไม่ทำ	4.40	0.55	ดี
ให้เกิดความชำรุดเสียหาย			
วัสดุที่ใช้ทำตัวเครื่องมีความแข็งแรงทนทาน	4.40	0.77	ดี
วัสดุและอุปกรณ์ที่เกิดการชำรุดเสียหายสามารถเปลี่ยนหรือ	4.20	0.45	ดี
ซ่อมแซมได้ง่าย			
แบตเตอรี่ใช้งานสามารถหาซื้อได้ง่าย	4.40	0.55	ดี
เฉลี่ยด้านการบำรุงรักษาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน	4.36	0.62	ดี
เฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.28	0.36	ดี

จากตาราง 3 สมรรถนะโดยรวมของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ย 4.28 โดยสามารถแยกวิเคราะห์สมรรถนะในแต่ละด้านได้ดังนี้

สมรรถนะด้านกายภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดยภาพรวมแล้ว อยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 และเมื่อวิเคราะห์เป็นรายข้อแล้วพบว่า เครื่องมีขนาดกระทัดรัดสวยงามอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.20 ตัวเครื่องและชุดตรวจสอบมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.20 เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนออกแบบให้สามารถตรวจความสั่นสะเทือนในจุดที่ยากต่อการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.20 ชุดตรวจสอบสัญญาณและชุดแสดงผลออกแบบให้สามารถแยกและประกอบกันในขณะที่ใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.00 ตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบออกแบบให้มีความปลอดภัยในขณะที่ใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.00 ตามลำดับ

สมรรถนะด้านการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดยภาพรวมแล้ว อยู่ในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 และเมื่อวิเคราะห์เป็นรายข้อแล้วพบว่า โดยใช้คนเพียง 1 คนสามารถปฏิบัติงานได้สะดวกรวดเร็วอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.80 สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆได้อย่างสะดวกรวดเร็วอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 สามารถนำไปใช้ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.20 สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละจุดเพื่อเปรียบเทียบได้อยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.20 สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรเป็นต้นกำลังการผลิตอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.00 ตามลำดับ

สมรรถนะด้านการบำรุงรักษาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดยภาพรวมแล้วอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.36 และเมื่อวิเคราะห์เป็นรายข้อแล้วพบว่า การบำรุงรักษาก่อนการใช้งานทำได้ง่ายสะดวกอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.40 การถอดประกอบชิ้นส่วนก่อนและหลังใช้งานง่ายไม่ทำให้เกิดความชำรุดเสียหายอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.40 วัสดุที่ใช้ทำตัวเครื่องมีความแข็งแรงทนทานอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.40 แบตเตอรี่ใช้งานสามารถหาซื้อได้ง่ายอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 และวัสดุอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหายสามารถเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ง่ายอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.20 ตามลำดับ

ตาราง 4 แสดงผลการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

รายละเอียดสมรรถนะ	X	SD	t	Sig
1. ด้านกายภาพ	4.12	0.27	1.000	0.374
2. ด้านการใช้งาน	4.36	0.30	2.714	0.053
3. ด้านการบำรุงรักษา	4.36	0.62	1.292	0.266
รวม	4.28	0.36	1.723	0.160

Ho = 4.00

จากตาราง 4 เมื่อทดสอบสมมุติฐาน ค่าสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือ ยอมรับ $H_0 = 4.00$ หมายความว่า สมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนในด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน และ ด้านการบำรุงรักษา โดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี จริง

1.1.2 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในสมรรถนะโดยรวมของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

สำหรับข้อมูลจากคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระเกี่ยวกับสมรรถนะโดยรวมของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ และได้นำเสนอ ในตาราง 5 ดังนี้

ตาราง 5 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรที่มีต่อสมรรถนะโดยรวมของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ข้อเสนอแนะ	จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ให้ข้อเสนอแนะ
1. หูฟังควรมีขนาดใหญ่กว่านี้เพื่อจะได้ป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกในขณะที่ใช้งาน	3 คน
2. ชุดตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์แสดงผลควรออกแบบให้อยู่ภายในชุดเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน	2 คน
3. ส่วนหัวของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณควรออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บ	1 คน
4. ควรมี หลอด ไฟ LED แสดงสถานะการใช้งานของเครื่อง เช่น ในภาคแสดงผลทางหูฟัง หลอดไฟ LED ควรจะติดในขณะที่ใช้งานเพื่อแสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะใช้งานในส่วนนี้	2 คน

จากตาราง 5 แสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะโดยรวมของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน โดยผู้เชี่ยวชาญ ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับหูฟังควรให้มีขนาดใหญ่เพื่อที่จะได้ป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกมีผู้เสนอแนะจำนวน 3 คน ชุดตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์แสดงผลควรออกแบบให้อยู่ในชุดเดียวกันเพื่อความสะดวกในการใช้งานมีผู้เสนอแนะจำนวน 2 คน ส่วนหัวของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณควรออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บมีผู้เสนอแนะจำนวน 1 คน และควรมีหลอดไฟ LED แสดงสถานะการทำงานของเครื่องมีผู้ให้ข้อเสนอแนะจำนวน 2 คน

2. การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นโดยการทดลอง วัดและแสดงผลในรูป ความถี่ (เฮิร์ตซ์) โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความถี่ Tektronix รุ่น CMC 250

ขั้นตอนการทดลอง

ทดลองวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความถี่ Tektronix รุ่น CMC 250 โดยการกำหนดค่าความถี่ทดสอบเป็น 3 ช่วงคือ

1. ช่วงความถี่ทดสอบ 50 – 500 เฮิร์ตซ์
2. ช่วงความถี่ทดสอบ 550 – 1,000 เฮิร์ตซ์
3. ช่วงความถี่ทดสอบ 1,100 – 2,000 เฮิร์ตซ์

โดยทำการวัดตำแหน่งละ 5 ครั้ง และแสดงผลในตาราง

ตาราง 6 เปรียบเทียบผลการวัดค่าความถี่เครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix ในช่วงการทดสอบ 50 – 500 เฮิร์ตซ์

ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น (เฮิร์ตซ์)						เครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 (เฮิร์ตซ์)					
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	$\bar{X}$	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	$\bar{X}$
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500

จากตาราง 6 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวัดค่าความถี่ระหว่างเครื่องตรวจสั่นสะเทือนกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 ได้ว่า ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จนถึง ความถี่ 500 เฮิร์ตซ์ตามลำดับ โดยทำการวัดในแต่ละช่วงความถี่จำนวน 5 ครั้งผลการวัดของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่ได้มีค่าเท่ากับเครื่องวัด Tektronix ซึ่งสรุปได้ว่าเครื่องมือทั้งสอง ไม่มีค่าความแตกต่างกันในช่วงการทดสอบ 50 – 500 เฮิร์ตซ์

ตาราง 7 เปรียบเทียบผลการวัดค่าความถี่ของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix ในช่วงทดสอบ 550 – 1,000 เฮิร์ตซ์

ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	เครื่องตรวจความถี่อิสระที่สร้างขึ้น						เครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250					
	(เฮิร์ตซ์)						(เฮิร์ตซ์)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{X}$	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{X}$
550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

จากตาราง 7 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวัดค่าความถี่ระหว่างเครื่องตรวจอิสระที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 ได้ว่า ที่ความถี่ 550 เฮิร์ตซ์ จนถึง ความถี่ 1,000 เฮิร์ตซ์ตามลำดับ โดยทำการวัดในแต่ละช่วงความถี่จำนวน 5 ครั้งผลการวัดของเครื่องตรวจความถี่อิสระที่ได้มีค่าเท่ากับเครื่องวัด Tektronix ซึ่งสรุปได้ว่าเครื่องมือทั้งสอง ไม่มีค่าความแตกต่างกันในช่วงการทดสอบ 550 – 1,000 เฮิร์ตซ์

ตาราง 8 เปรียบเทียบผลการวัดค่าความถี่ของเครื่องวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix ในช่วงทดสอบ
1,100 – 2,000 เฮิร์ตซ์

ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	เครื่องตรวจความถี่ที่สร้างขึ้น						เครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250					
	(เฮิร์ตซ์)						(เฮิร์ตซ์)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{X}$	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{X}$
1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300
1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
1,600	1,601	1,601	1,601	1,601	1,601	1,601	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
1,700	1,701	1,701	1,701	1,701	1,701	1,701	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
1,800	1,802	1,802	1,802	1,802	1,802	1,802	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
1,900	1,903	1,903	1,903	1,903	1,903	1,903	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
2,000	2,004	2,004	2,004	2,004	2,004	2,004	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

จากตาราง 8 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวัดค่าความถี่ระหว่างเครื่องตรวจความถี่ที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 ได้ว่าที่ความถี่ 1,100 เฮิร์ตซ์ จนถึงความถี่ 1,500 เฮิร์ตซ์ โดยทำการวัดในแต่ละช่วงทดสอบจำนวน 5 ครั้ง ผลการวัดของเครื่องตรวจความถี่ที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับเครื่อง Tektronix แต่ผลการวัดในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1,600 – 2,000 เฮิร์ตซ์ เกิดค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 – 4 เฮิร์ตซ์ตามลำดับซึ่งค่าสูงสุดของความคลาดเคลื่อนมีค่าร้อยละ 0.20 ซึ่งสรุปได้ว่ามีความแตกต่างน้อยมาก จนถึงได้ว่าไม่แตกต่างกันในช่วงทดสอบ 1,100 – 2,000 เฮิร์ตซ์

3. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความดันสะท้อนที่สร้างขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญทดลองวัดและตรวจฟัง ความผิดปกติในแต่ละจุดทดสอบ จำนวน 5 จุดทดสอบ กับเครื่องจักรรุ่น Tomos จำนวน 3 รุ่น

ตาราง 9 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความดันสะท้อนที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐานกับเครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tomos M7 โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องตรวจความดันสะท้อน		เครื่อง Stethoscope	
		ตรวจฟังได้	ผลการตรวจฟัง	ตรวจฟังได้	ผลการตรวจฟัง
1	ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ	5 คน	ปกติ(1,957 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
2	ชุดทำเกลียว	5 คน	ปกติ (1,745 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
3	มอเตอร์ส่งกำลัง	5 คน	ปกติ (25 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
4	อุปกรณ์ปิดเปิดการกลึง	5 คน	ปกติ (957 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
5	เพลาทดกำลัง	5 คน	เสียหาย (589 เฮิร์ตซ์)	5 คน	เสียหาย

ตาราง 10 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความดันสะท้อนที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐานกับเครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tomos MS โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องตรวจความดันสะท้อน		เครื่อง Stethoscope	
		ตรวจฟังได้	ผลการตรวจฟัง	ตรวจฟังได้	ผลการตรวจฟัง
1	ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ	5 คน	ปกติ (1,875 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
2	ชุดทำเกลียว	5 คน	ปกติ (1,795 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
3	มอเตอร์ส่งกำลัง	5 คน	ปกติ (23 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
4	อุปกรณ์ปิดเปิดการกลึง	5 คน	ปกติ (879 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
5	เพลาทดกำลัง	5 คน	ปกติ (58 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ

ตาราง 11 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐานกับ
เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tomos MTH โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน		เครื่อง Stethoscope	
		ตรวจฟังได้	ผลการตรวจฟัง	ตรวจฟังได้	ผลการตรวจฟัง
1	ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ	5 คน	ปกติ (1,897 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
2	ชุดทำเกลียว	5 คน	ผิดปกติ (2,315 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ผิดปกติ
3	มอเตอร์ส่งกำลัง	5 คน	ปกติ (27 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
4	อุปกรณ์เปิดปิดการกลึง	5 คน	ปกติ (1,120 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ
5	เพลาทดกำลัง	5 คน	ปกติ (60 เฮิร์ตซ์)	5 คน	ปกติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองให้ผู้เชี่ยวชาญ ทดลองวัดและตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ในแต่ละจุดทดสอบ ตามตาราง 9 – 11 ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ก. ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทดลองใช้เครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน เปรียบเทียบกับเครื่อง Stethoscope แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน สามารถใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ตรวจฟังความผิดปกติในแต่ละจุดทดสอบ จำนวน 5 จุด กับเครื่องจักร จำนวน 3 รุ่น คือ M7 MS และ MTH ได้ผลการตรวจสอบตรงกันทั้งหมดคือ สามารถตรวจฟังได้ ตรงกับเครื่อง Stethoscope

2. ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คนสามารถใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน ตรวจฟังความผิดปกติในแต่ละจุดทดสอบ จำนวน 5 จุด กับเครื่องจักร จำนวน 3 รุ่น คือ M7 MS และ MTH ได้ผลการตรวจสอบตรงกันทั้งหมดคือ เครื่องจักรทดสอบรุ่น Tomos M7 พบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นที่จุดทดสอบ ที่ 5 คือ เพลาทดกำลัง และในเครื่องจักรทดสอบรุ่น Tomos MTH ตรวจพบความผิดปกติของเครื่องจักร ที่จุดทดสอบที่ 2 คือ อุปกรณ์ชุดทำเกลียว ซึ่งผลการตรวจสอบตรงกับเครื่อง Stethoscope

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อทดลองตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร มีรายละเอียดดังนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

ความสำคัญของการวิจัย

สามารถนำไปใช้ตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมทำให้การวิเคราะห์หาสาเหตุความผิดปกติของเครื่องจักร ทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็วขึ้น พร้อมคู่มือการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

สมมุติฐานการวิจัย

เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่สร้างขึ้นมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี และมีประสิทธิภาพ

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดแบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 7 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1. การหาข้อมูลพื้นฐานและศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยโดยศึกษาจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับการสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนเพื่อเตรียมการในการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2. กำหนดรายละเอียดสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน เพื่อให้สอดคล้องกับสมรรถนะที่กำหนดขึ้น

ขั้นตอนที่ 3. การสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน โดยทำการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ ทำการทดสอบเบื้องต้นแล้วปรับปรุงแก้ไข จากนั้นเชิญผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักรมาทดลองการใช้เครื่อง เพื่อขอคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

ขั้นตอนที่ 4. นำเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างเสร็จไปทดลองตรวจฟังความสั่นสะเทือนในจุดทดสอบต่างๆ เพื่อทดสอบและยืนยันความถูกต้องของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนว่าสามารถตรวจฟังความสั่นสะเทือนได้จริง และนำไปทดสอบวัดค่าความถี่เปรียบเทียบกับเครื่อง Tektronix

ขั้นตอนที่ 5. สร้างคู่มือการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน เพื่อเป็นคู่มือประกอบการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน และใช้ประกอบการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน และใช้ประกอบการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

ขั้นตอนที่ 6. สร้างแบบประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความดัน เพื่อนำไปใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความดันสะท้อนในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 7. ทำการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความดันสะท้อนของเครื่องจักร โดยการนำเครื่องตรวจความดันสะท้อน คู่มือการใช้เครื่อง แบบประเมินสมรรถนะไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 5 คน ที่มีประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรไม่น้อยกว่า 10 ปี ทดลองใช้เครื่องตรวจความดันสะท้อน ตรวจฟังความผิดปกติของเครื่องจักรในจุดทดสอบ ทั้งหมด 5 จุด กับเครื่องจักรจำนวน 3 รุ่น เปรียบเทียบกับเครื่อง Stethoscope แล้วจึงทำการประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความดันสะท้อนลงในแบบประเมิน ซึ่งการประเมินสมรรถนะมีอยู่ด้วยกัน 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างเครื่องตรวจความดันสะท้อนของเครื่องจักร โดยการพัฒนาเครื่องตรวจความดันสะท้อน ขึ้นมาจากเครื่องมือมาตรฐานที่เรียกว่า Stethoscope โดยทำการออกแบบส่วนประกอบของเครื่องตรวจความดันสะท้อนออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. อุปกรณ์แปลงสัญญาณความดันสะท้อนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยการใช้ piezotransducer เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานแล้วจะให้ผลการแปลงสัญญาณความดันสะท้อนออกมาได้ตรงกัน ซึ่งทรานสดิวเซอร์ที่ใช้มีขนาดเล็กกระทัดรัดและมีความเหมาะสมดี

2. ชุดอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ผู้วิจัยเลือกใช้วงจรขยายสัญญาณที่ใช้ไอซี เบอร์ LM 386 และ LM 380 ซึ่งมีอัตราการขยายสัญญาณที่เหมาะสมและใช้อุปกรณ์ประกอบไม่มากจึงทำให้สามารถออกแบบให้บรรจุอยู่ในตัวเครื่องซึ่งมีขนาดเล็กได้อย่างเหมาะสม

3. ชุดแสดงผลสัญญาณความดันสะท้อนในรูปความถี่ โดยใช้วงจรสำเร็จรูป ซึ่งใช้ไอซี ที่ผ่านการโปรแกรมค่าเรียบร้อยแล้ว เบอร์ PIC16C54 ทำการประกอบลงบนแผ่นวงจรและทำการปรับตั้งค่าการใช้งานโดยการนำไปทดสอบกับแหล่งจ่ายความถี่ที่ทราบค่า แล้วทำการปรับค่า ทริมเมอร์แคปจนค่าที่อ่านได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นได้เท่ากับค่าความถี่ของแหล่งจ่าย

นำเครื่องตรวจความดันสะท้อนที่สร้างเสร็จไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะของเครื่องตรวจความดันสะท้อน ทดลองวัดและเปรียบเทียบผลการวัดความถี่เปรียบเทียบกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 ทดลองตรวจฟังความดันสะท้อนของเครื่องจักรในจุดทดสอบต่างๆ โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับความมุ่งหมายของการวิจัยดังนี้

4. การวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องตรวจความดันสะท้อนของเครื่องจักร โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานและมีรายละเอียดดังนี้

- 1.1 การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องตรวจความดันสะท้อน ด้านกายภาพโดยรวมพบว่า มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี

- 1.2 การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องตรวจความดันสะท้อน ด้านการใช้งานโดยรวมพบว่า มีสมรรถนะ อยู่ในเกณฑ์ดี โดยใช้คนเพียง 1 คน สามารถปฏิบัติงานได้สะดวกรวดเร็วและสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ ได้ อย่างสะดวกรวดเร็ว อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ซึ่งเป็นระดับการประเมินสูงสุด

- 1.3 การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องตรวจความดันสะท้อน ด้านการบำรุงรักษาโดยรวมพบว่า มีสมรรถนะ อยู่ในเกณฑ์ดี

1.4 การวิเคราะห์ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักร พบว่ามีข้อเสนอแนะบางข้อที่ผู้วิจัยควรให้ข้อมูลเพิ่มเติม

- 1.4.1 หูฟังควรมีขนาดใหญ่กว่านี้ เพื่อจะได้ป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกในขณะที่ใช้งาน
- 1.4.2 ชุดตรวจจับสัญญาณกับชุดแสดงผลควรรอยู่ในชุดเดียวกันเพื่อความสะดวกในการใช้งาน
- 1.4.3 ส่วนหัวของอุปกรณ์ตรวจจับควรรออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้เพื่อความสะดวกในการเก็บ
- 1.4.4 ควรมีหลอดไฟ LED แสดงผลการทำงานของเครื่อง

5. การทดลองตรวจวัดความถี่ของเครื่องที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 สามารถนำมาอภิปรายผลดังนี้

5.1. การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าความถี่ในช่วงทดสอบที่ 1 – 500 เฮิร์ตซ์ พบว่าเครื่องตรวจความถี่สะเทือนที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 สามารถแสดงผลการตรวจวัดได้ไม่แตกต่างกัน

5.2. การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าความถี่ในช่วงทดสอบที่ 500 – 1,000 เฮิร์ตซ์ พบว่าเครื่องตรวจความถี่สะเทือนที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัด Tektronix รุ่น CMC 250 สามารถแสดงผลการตรวจวัดได้ไม่แตกต่างกัน

5.3. การวิเคราะห์ ผลการตรวจวัดค่าความถี่ในช่วงทดสอบที่ 1,000 – 2,000 เฮิร์ตซ์ พบว่า ในช่วงความถี่ทดสอบ ตั้งแต่ 1,600 เฮิร์ตซ์ จนถึง 2,000 เฮิร์ตซ์ เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น 1 – 4 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ซึ่งค่าสูงสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.20

6. การทดสอบประสิทธิภาพ เครื่องตรวจความถี่สะเทือนโดยผู้เชี่ยวชาญทดลองวัดและตรวจฟังความผิดปกติในแต่ละจุดทดสอบ จำนวน 5 จุดทดสอบกับเครื่องจักรจำนวน 3 รุ่น เปรียบเทียบค่ากับเครื่อง Stethoscope

6.1 การวิเคราะห์ ผลการตรวจฟังความผิดปกติในเครื่องจักรทดสอบรุ่น Tomos M7 พบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน สามารถใช้เครื่องตรวจความถี่สะเทือนตรวจฟังจุดทดสอบได้ทั้ง 5 จุด และผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน ยังตรวจสอบได้ว่า จุดทดสอบที่ 5 คือเพลาทดกำลังเกิดความเสียหาย

6.2 การวิเคราะห์ผลการตรวจฟังความผิดปกติในเครื่องจักรทดสอบรุ่น Tomos MS พบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน สามารถใช้เครื่องตรวจความถี่สะเทือน ตรวจฟังจุดทดสอบได้ทั้ง 5 จุด และผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน ยังตรวจสอบได้ว่า จุดทดสอบทั้ง 5 จุดปกติ

6.3 การวิเคราะห์ผลการตรวจฟังความผิดปกติในเครื่องจักรทดสอบรุ่น Tomos MTH พบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน สามารถใช้เครื่องตรวจความถี่สะเทือน ตรวจฟังจุดทดสอบได้ทั้ง 5 จุด และผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน ยังตรวจสอบได้ว่า จุดทดสอบที่ 2 คือชุดทำเกลียวมีความผิดปกติเกิดขึ้น

อภิปรายผล

จากสมมุติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้คือเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้น มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์และมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยในบทที่ 4 คือ

ด้านสมรรถนะโดยรวมของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร อยู่ในเกณฑ์ดี เช่น เครื่องมีขนาดกระทัดรัด แข็งแรงทนทานสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ การบำรุงรักษาทำได้ง่าย มีความปลอดภัยในขณะที่ใช้งานเพราะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนได้พัฒนามาให้สามารถใช้งานได้สะดวกเนื่องจากการวัดความสั่นสะเทือนมีข้อจำกัดในการตรวจวัด เพราะจะต้องทำการตรวจวัดในขณะที่เครื่องจักรทำงาน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ การใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่พัฒนาขึ้นจะทำให้ผู้ใช้งานเกิดความปลอดภัยมากขึ้นเพราะไม่ต้องสัมผัสโดยตรงกับจุดที่ทำการทดสอบ เพียงแต่นำส่วนปลายของชุดตรวจสอบไปสัมผัสจุดที่ทำการตรวจวัดและฟังความผิดปกติ จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์ความผิดปกติในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัดได้ ซึ่งเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่พัฒนาขึ้นนี้มีสมรรถนะการใช้งานของเครื่องตรงกับ คู่มือการใช้งาน เครื่องตรวจฟังความสั่นสะเทือน Daiichi รุ่น HLS-10 คือเป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาให้ใช้ในการตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรโดยการตรวจฟังความผิดปกติ หรือทำให้ทราบว่าคุณลักษณะกำลังจะเกิดปัญหา

ด้านประสิทธิภาพ

1. ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่อง Tektronix รุ่น CMC 250 โดยการทดลองวัดเปรียบเทียบ ในช่วงความถี่ทดสอบ จำนวน 3 ช่วง พบว่าเกิดค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นในช่วงความถี่ทดสอบช่วงที่ 3 คือ 1,100 – 2,000 เฮิร์ตซ์ โดยค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงสุดคือ 4 เฮิร์ตซ์ ซึ่งผลของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจมาจาก ในขณะที่ทำการวัดอาจเกิดสัญญาณรบกวนจากภายนอก เช่น สัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง เพราะห้องที่ทำการทดลองไม่มีอุปกรณ์ป้องกันเหมือนห้องที่ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของห้อง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ในขณะที่ทำการวัด อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการวัดอาจทำให้เกิดค่าความผิดพลาดได้ เช่น สายสัญญาณ อาจทำให้เกิดค่าความสูญเสียได้เนื่องจากไม่ได้มาตรฐาน หรืออาจเกิดความผิดพลาดภายในตัววงจรเอง เช่นการปรับแต่งค่า หรือ การผิดพลาดจากฐานของเวลาในการแสดงผลมาจากวงจรกำเนิดความถี่ด้วยแรมป์คริสตอลซึ่งมีความสำคัญมากในวงจรนับความถี่ ซึ่งสอดคล้องกับ ทฤษฎีเครื่องวัดความถี่ ของ ณรงค์ ข่างสกุล (2540 : 77) ที่ว่าความผิดพลาดจากการทำงานของเครื่องวัดความถี่ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 4 หัวข้อคือ ความผิดพลาดจากการเปิดเกต (Quantizing Error) ความผิดพลาดจากการทริกเกอร์ (Trigger Error) ความผิดพลาดจากระบบ (Systematic Error) และความผิดพลาดจากฐานเวลา (Time-base Error) ซึ่งมีความสำคัญมากในเครื่องวัดความถี่ หากเกิดความผิดพลาดแม้แต่น้อยจะทำให้ผลการวัดผิดพลาดไปมาก เพราะวงจรที่ใช้แรมป์คริสตอลเป็นตัวกำเนิดความถี่บางวงจรจะมีผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งในวงจรที่มีความละเอียดมากจะสามารถชดเชยอุณหภูมิได้ แต่ในวงจรขนาดเล็กที่ใช้ในเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นไม่มีวงจรชดเชยอุณหภูมิจึงทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนขึ้น

2. ประสิทธิภาพเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่สร้างขึ้นทดลองตรวจฟังโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน กับเครื่องจักร จำนวน 3 รุ่น ในแต่ละจุดทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจฟังกับเครื่องมือมาตรฐาน Stethoscope พบว่าเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นสามารถให้ผลการตรวจฟังได้ตรงกับเครื่องมือมาตรฐาน Stethoscope ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนโดยการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่เรียกว่า Transducer มาใช้เป็นอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณความสั่นสะเทือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชลวิทย์ สืบหิรัญ และ สุกิจ สิทธิสังจะธรรม. (2534) ได้นำเอาอุปกรณ์หึ่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Transducer) มาใช้ในการ

ออกแบบและสร้างชุดทดสอบการสั่นสะเทือนเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์เชื่อมโยงข้อมูลการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์และนำผลความสั่นสะเทือนไปวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นยังให้ผลการตรวจฟังได้ดีกว่าเครื่อง Stethoscope ตรงที่สามารถแสดงผลความสั่นสะเทือนออกมาในรูปความถี่ (เฮิร์ตซ์) ซึ่งสามารถบันทึกค่าความสั่นสะเทือนแล้วนำไปจัดทำคู่มือหรือประวัติของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อความถี่ของการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นย่อมแสดงว่าเริ่มมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องจักร โดยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของอุดมจิตต์ นิวาสะบุตร.(2538)เรื่องการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือนโดยการนำข้อมูลของความสั่นสะเทือนที่ได้มาวิเคราะห์ในเชิงความถี่และกำหนดคุณลักษณะต่างๆของชิ้นส่วนเครื่องจักรเพื่อนำไปพยากรณ์แนวโน้มขนาดของการสั่นสะเทือนจากข้อมูลประวัติเพื่อช่วยในการจัดเตรียมการซ่อมบำรุงทำให้ทราบสาเหตุของการสั่นสะเทือนว่ามาจากชิ้นส่วนใดและจะช่วยในการจัดเก็บประวัติเครื่องเพื่อใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยขอเสนอแนะบางสิ่งบางอย่าง เพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ เกี่ยวกับงานวิจัยที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไป

1. การปรับปรุงเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ควรออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณความสั่นสะเทือนโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณความสั่นสะเทือนที่เป็นทรานสดิวเซอร์ชนิด Accelerometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความสั่นสะเทือนของวัตถุต่างๆซึ่งมีค่ามาตรฐาน ISO/DIS 5437/1 และควรออกแบบวงจรองความถี่ที่สามารถคัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไปเพื่อที่จะได้สัญญาณความสั่นสะเทือนที่มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

ควรออกแบบให้การแสดงผลการตรวจความสั่นสะเทือนออกมาเป็นหน่วยของความสั่นสะเทือนตรงกับเครื่องตรวจวัดผลความสั่นสะเทือนทั่วไป คือ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร / วินาที (mm / s) ซึ่งจะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพมากกว่าแสดงผลออกมาในรูปของความถี่ (เฮิร์ตซ์)

บรรณานุกรม

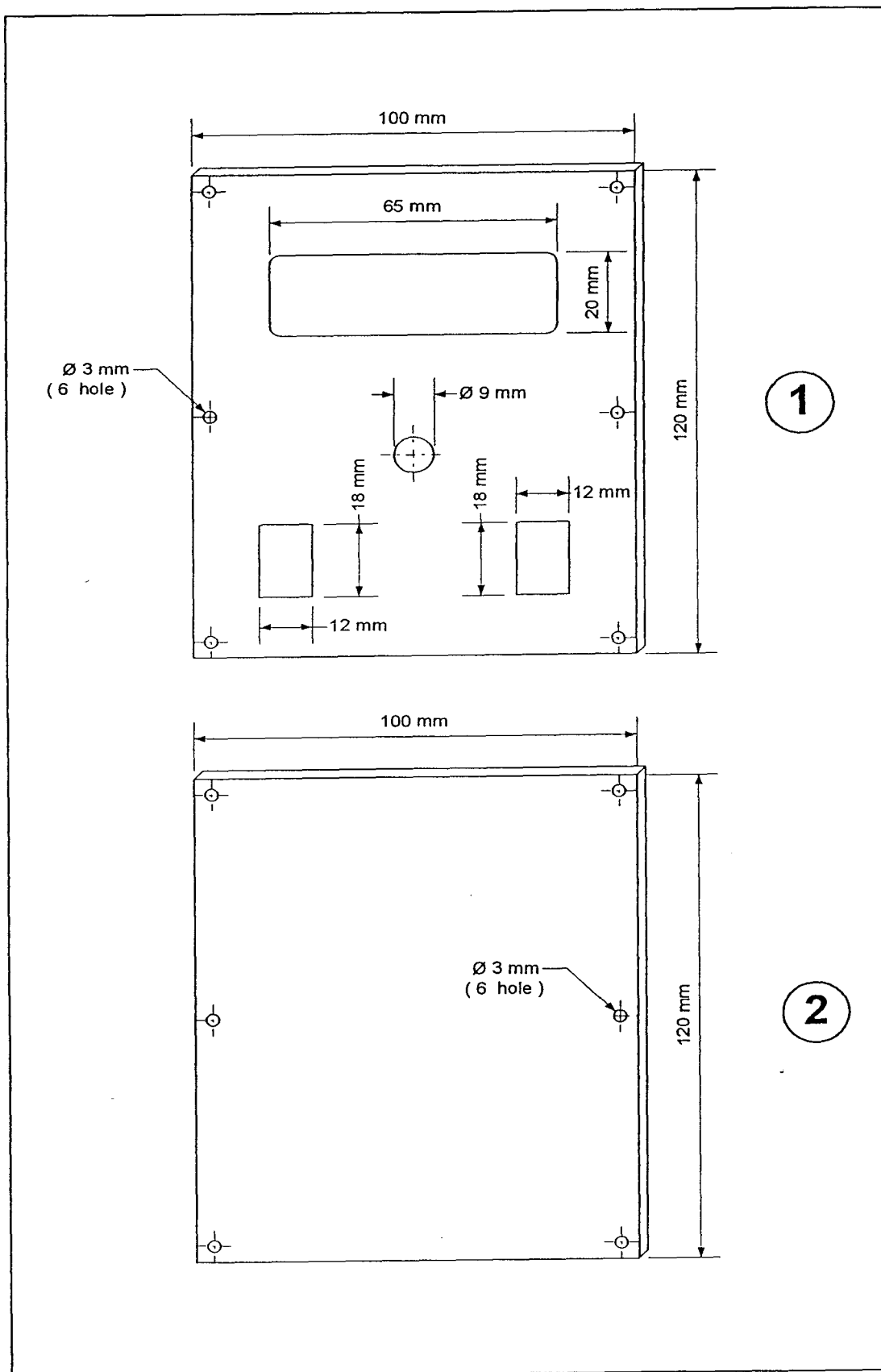
บรรณานุกรม

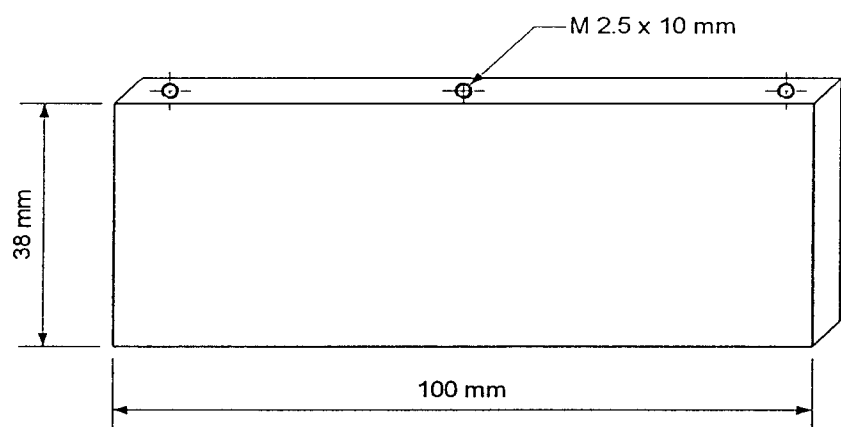
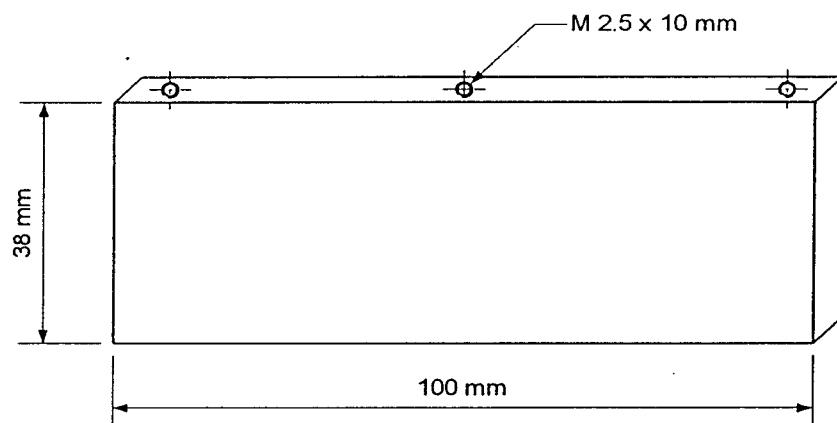
- ก่อเกียรติ บุญชูกุลและคนอื่นๆ. (2540). *การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การเฝ้าตรวจและการจัดการการบำรุงรักษา*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- ชลวิทย์ สืบศิริบุญ และ สุกิจ สิทธิสังธรรม. (2538). *การออกแบบสร้างชุดทดสอบการสั่นสะเทือน*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ . ถ่ายเอกสาร.
- ชิต เหล่าวัฒนาและคนอื่นๆ. (2544). *การปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั่นสะเทือนของสปินเดลมอเตอร์ โดยผ่านแนวทางซิกซิกม่า*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ณรงค์ ย่างสกุล. (2537). *เครื่องมือวัดความถี่*. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด.
- ฐิรพงษ์ นามแดง. (2540). *เครื่องนับความถี่ 10 เมกเฮิรตซ์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ทรงชัย วีระทิวมาศ. (2540). *เครื่องนับความถี่*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ประสาน ยูวณิชตานนท์. (2540). *ทรานส์ดิวเซอร์คืออะไร*. กรุงเทพฯ : เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.
- ปาริฉัตร คำเหล็ก. (2544). *การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ปิยะเทพ วิริยะเขตต์. (2541). *ระบบการวัดทางไฟฟ้า*. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ฉบับที่ 33 ปีที่ 11
- มงคล มงคลวงศ์โรจน์และคนอื่นๆ. (2543). *สมรรถนะการหล่อขึ้นของเบร็กส์ลักลูกสูบ*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- ยีน ภูววรรณ. (2534). *ทฤษฎีการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ยีน ภูววรรณ. (2538). *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์เล่ม 3*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- จิกรม สุจิกรม. (2540). *การใช้ประโยชน์จากข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกรณีศึกษาเครื่องจักรกลหลักแม่เกาะ*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- วินัย ชุนหมุกดา. (2533). *เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนเพื่อการสั่นสะเทือนถ่วงดุลย์แบบ Centifugal Balancing Machine*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- วินัย เวชวิทยาขลัง. (2538). *การปรับความสมดุลเครื่องจักรกล*. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น.
- เศกสิทธิ์ คำชมภู. (2537). *เครื่องวัดความถี่มัลติฟังก์ชัน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- สุรพงษ์ ธรรมานาสติ (2540). *การประยุกต์ใช้ระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบทวิผลที่ทุกคนมีส่วนร่วมกับสายงานการผลิตวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.

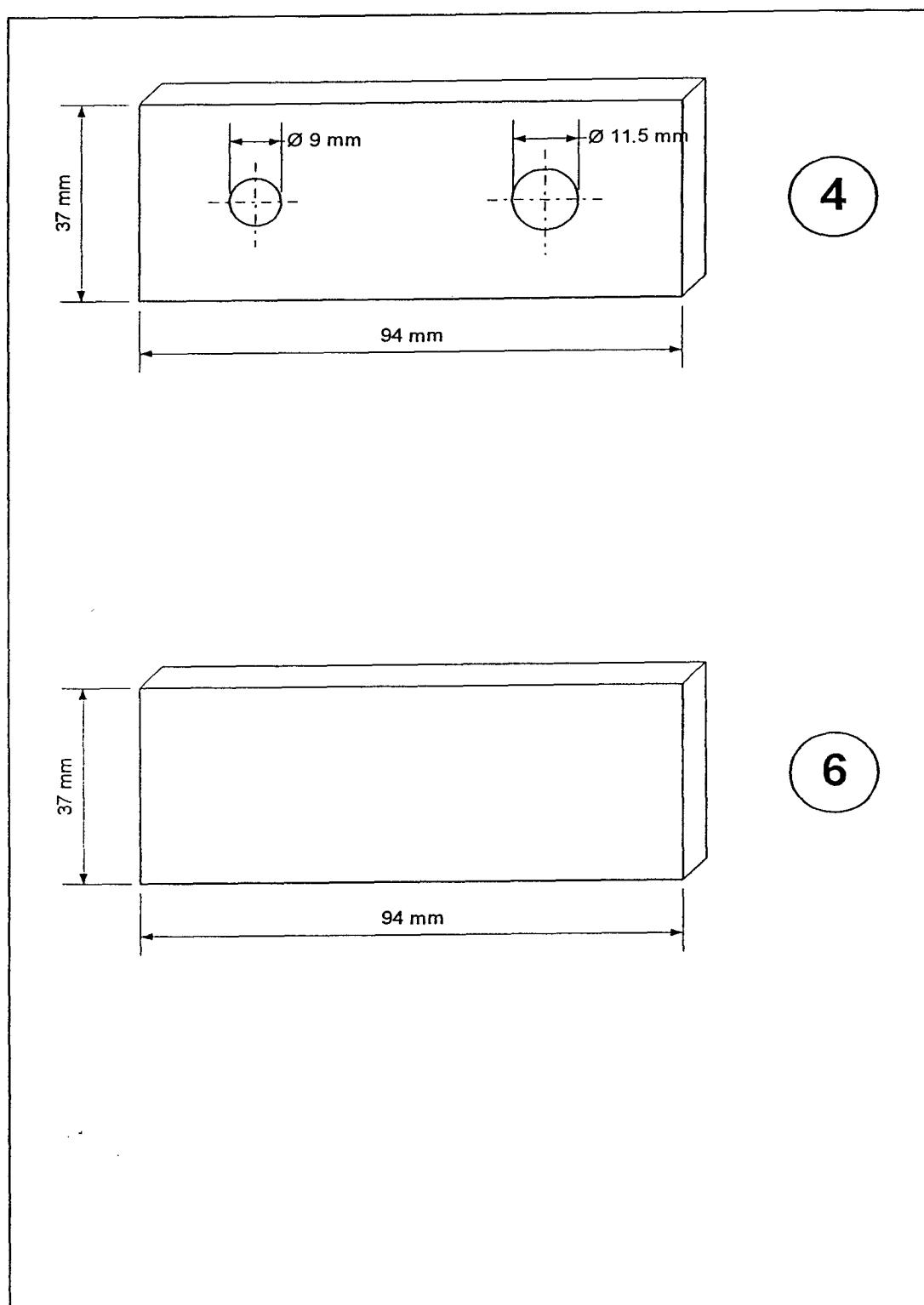
- สุภาพร จาตุรันต์เรืองศรีและคนอื่นๆ. (2542). *การสอบเทียบปฐมภูมิของหัววัด Accelerometer โดยใช้เทคนิคของ Laser Interferometry*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- อาทร ไทยเจริญ.(2537). *การควบคุมเครื่องกลึงด้วยคอมพิวเตอร์*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- อุดมจิตต์ นิวาตะบุตร.(2538).*การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน*. วิทยานิพนธ์ วศ. ม. กรุงเทพฯ ฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- Alber Helfrick, D. WilliamCooper,D. (1990). *Modern Electronic Instrumenttation and Measurement* Techiquess . America : Prentice Hall,Inc.
- Neamen, Donald A. (1996). *Electronic Circuit Analysis and Design*. Mc Graw-Hill.
- Phillps. (1995). *ECG semiconductors Master Replacement Guide*.

ภาคผนวก

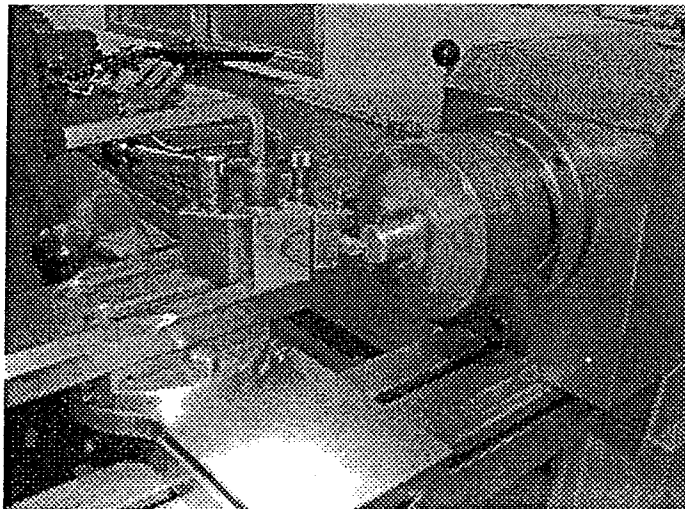
ภาคผนวก ก
ส่วนประกอบเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร



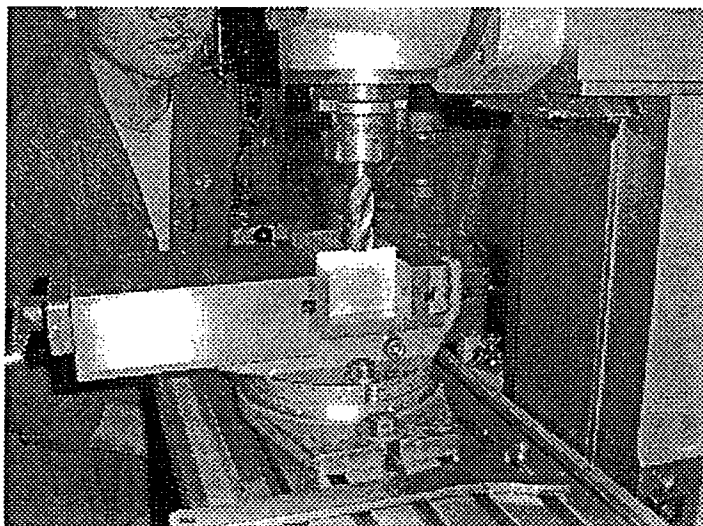




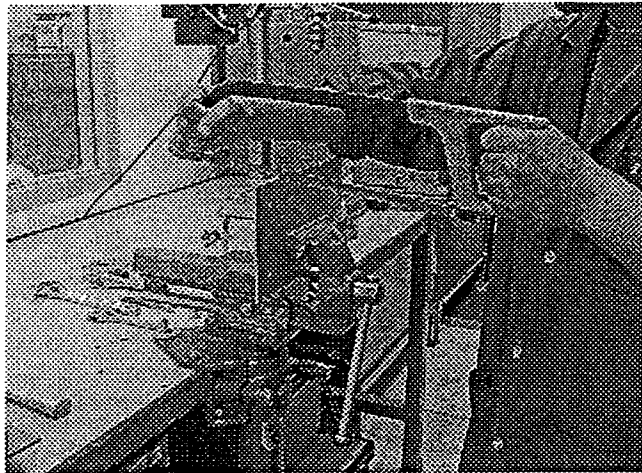
ภาพประกอบ 31 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง ตามลำดับเลข 1 - 6



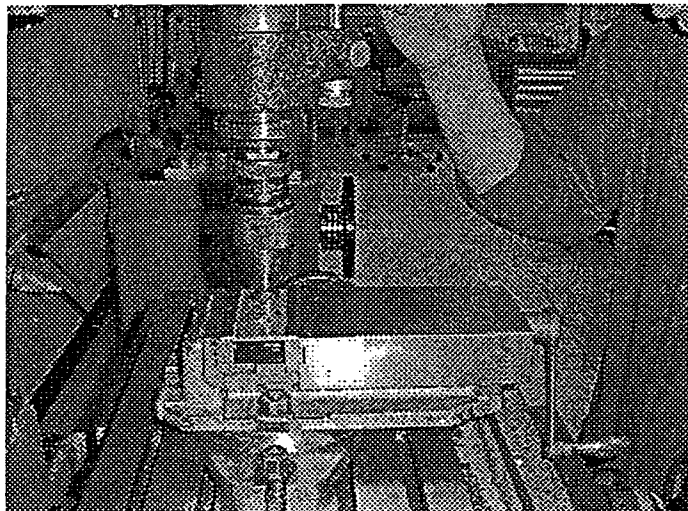
ภาพประกอบ 32 แสดงการกลึงขึ้นรูปอลูมิเนียมเพื่อทำอุปกรณ์ติดตั้งทรานสดิวเซอร์



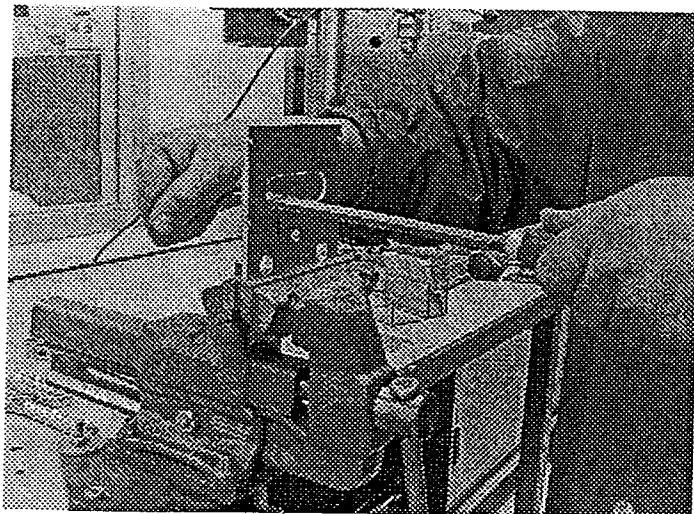
ภาพประกอบ 33 แสดงการกัดขึ้นรูปอลูมิเนียมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และชุดขยายสัญญาณ



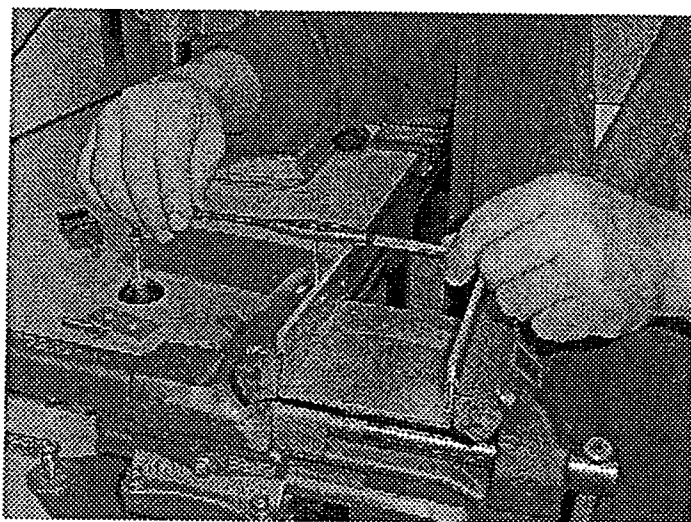
ภาพประกอบ 34 แสดงการตัดแผ่นอลูมิเนียมขนาด 3 มิลลิเมตรเพื่อทำตัวกล่องเครื่องมือ



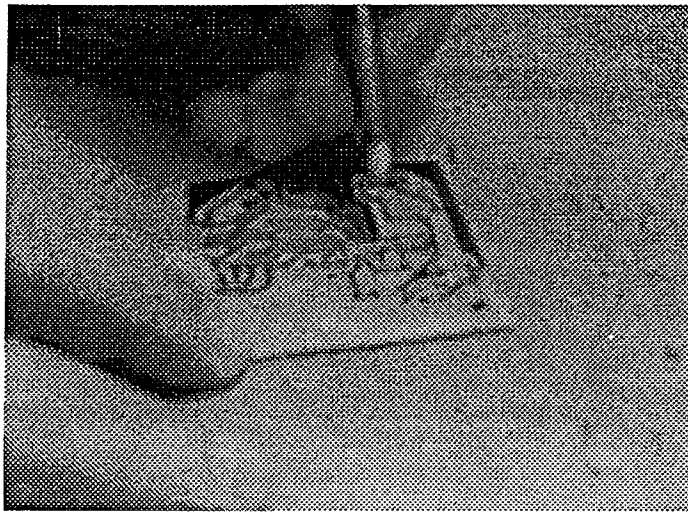
ภาพประกอบ 35 แสดงการเจาะเพื่อขยายรูสำหรับติดตั้งอุปกรณ์



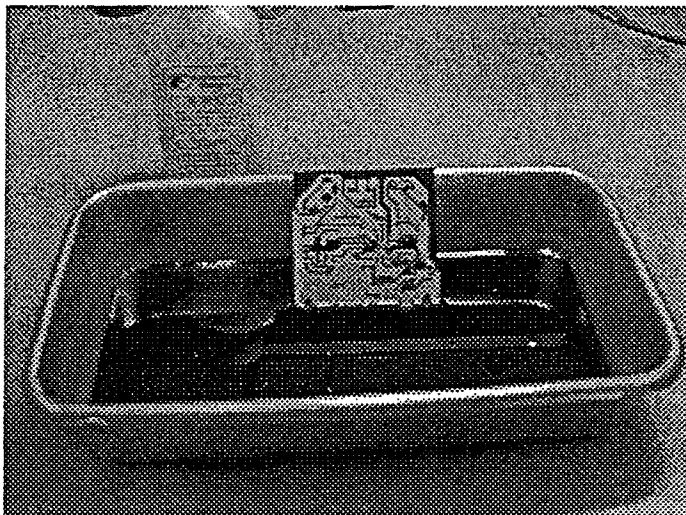
ภาพประกอบ 36 แสดงการตะโปขึ้นงานเพื่อเก็บรายละเอียด



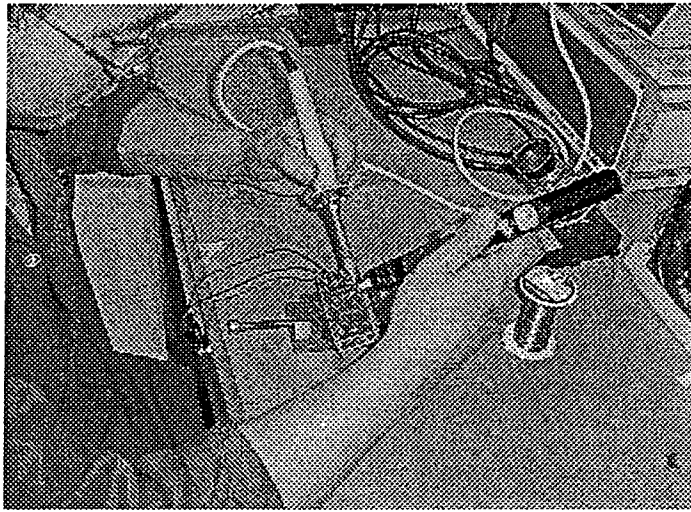
ภาพประกอบ 37 แสดงการตีปเกลียวสำหรับยึดสกรูเบอร์ 3



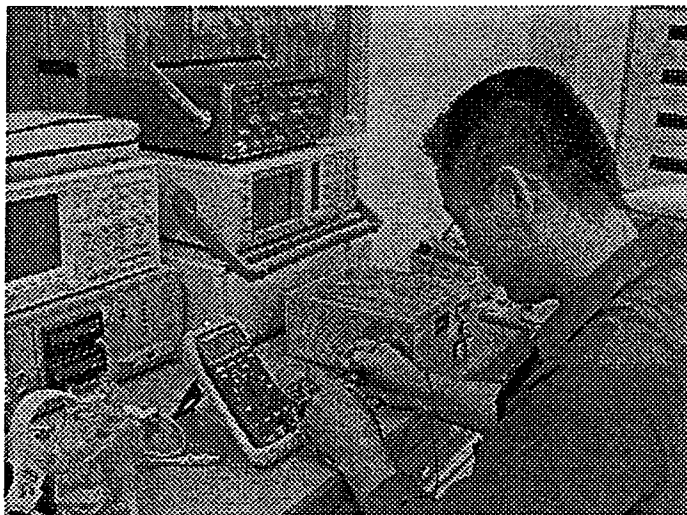
ภาพประกอบ 38 แสดงการเขียนลายวงจรลงบนแผ่นปริ๊นท์



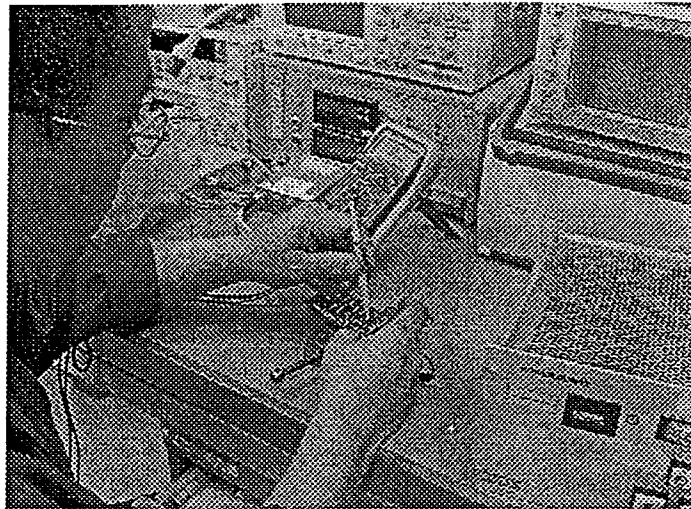
ภาพประกอบ 39 แสดงการกัดแผ่นปริ๊นท์ด้วยกรด



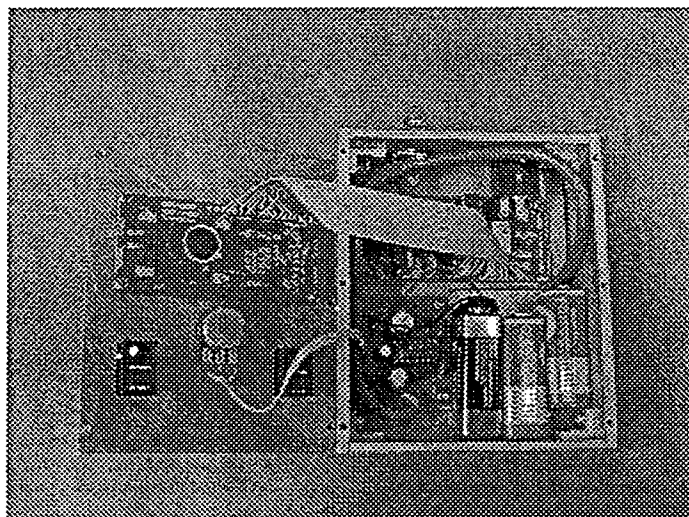
ภาพประกอบ 40 แสดงการบัดกรีอุปกรณ์ต่างๆลงบนแผ่นวงจร



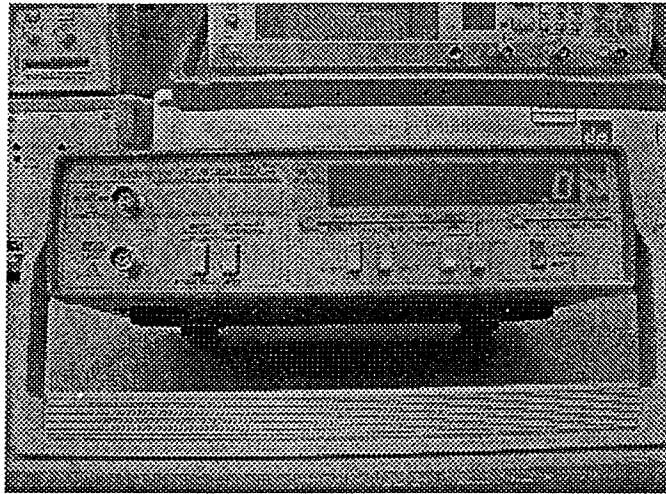
ภาพประกอบ 41 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของวงจรโดยใช้มัลติมิเตอร์



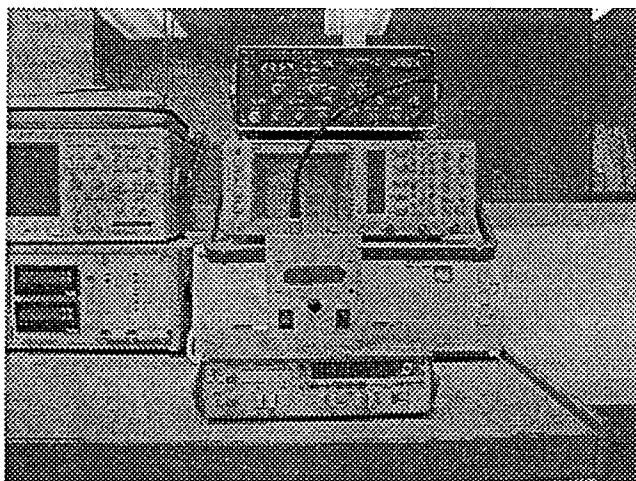
ภาพประกอบ 42 แสดงการปรับแต่งเครื่องเพื่อความถูกต้อง



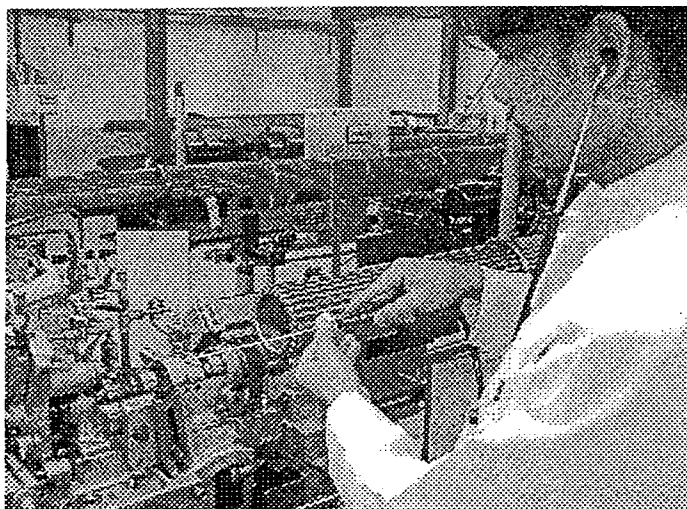
ภาพประกอบ 43 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายใน



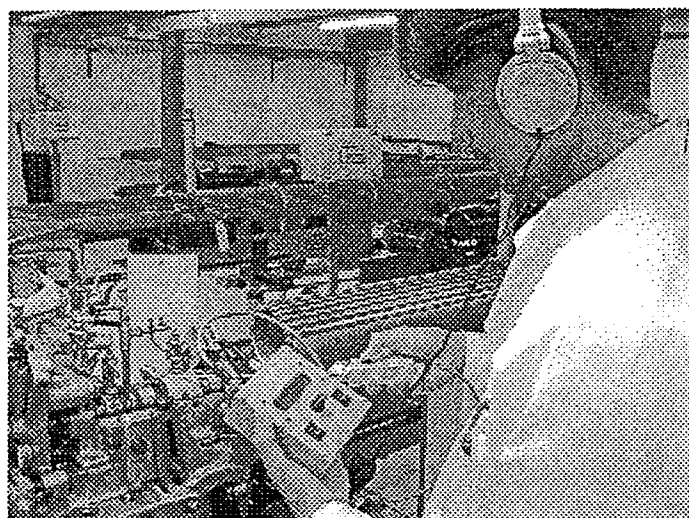
ภาพประกอบ 44 เครื่องวัดความถี่ Tektronix รุ่น CMC 250



ภาพประกอบ 45 แสดงการวัดค่าความถี่เปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน



ภาพประกอบ 46 แสดงการตรวจวัดความดันโลหิตด้วยเครื่อง Stethoscop โดยผู้เชี่ยวชาญ



ภาพประกอบ 47 แสดงการตรวจวัดความดันโลหิตด้วยเครื่องที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

คู่มือ
การใช้งานเครื่องตรวจความสิ้นสะท้อนของเครื่องจักร

คำนำ

คู่มือการใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทำความเข้าใจกับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือน รวมทั้งการใช้งานและการบำรุงรักษาเพื่อให้การใช้งาน เป็นไปอย่างถูกต้อง ปลอดภัย และมีอายุการใช้งานที่ทนทาน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมั่นใจว่าคู่มือการใช้งาน ฉบับนี้ จะทำให้ผู้ใช้งานใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

พิรเชษฐ์ ศรีชัย

สารบัญ

	หน้า
1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร	86
2. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร	86
2.1 ส่วนประกอบชุดตรวจสอบความสั่นสะเทือน	86
2.2 ส่วนประกอบชุดแสดงผลทางเสียงและตัวเลข	87
2.3 ชุดแสดงผลทางเสียง (Head Phone)	87
2.4 ส่วนประกอบภายในเครื่อง	88
3. วิธีใช้งานเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร	90
4. การบำรุงรักษาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร	91

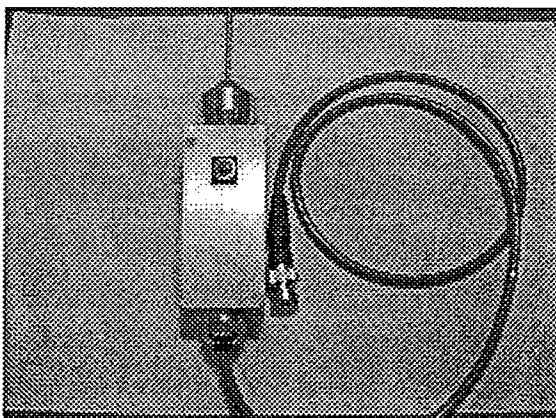
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้งานด้านการตรวจสอบความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในขณะที่ทำงาน กล่าวคือ

1. เป็นเครื่องมือที่ออกแบบให้สามารถตรวจฟังการสั่นสะเทือน ของเครื่องจักรโดยการนำหัวเซนเซอร์ ไปสัมผัสบริเวณ หรือตำแหน่งที่ต้องการวัด และฟังเสียงเพื่อวิเคราะห์หาความผิดปกติของเครื่องจักร เช่น การชำรุดเสียหายของคลัตช์ลูกปืนการสึกหรือหลวมของเพลลา หรือ บูช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการซ่อมแซมและการบำรุงรักษาเครื่อง
2. เป็นเครื่องมือที่แสดงผลการสั่นสะเทือนและความถี่ของเครื่องจักรในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบออกมาเป็นตัวเลขมีหน่วยเป็น เฮิร์ตซ์ เพื่อใช้ในการจัดทำประวัติการใช้งานของเครื่องจักรเปรียบเทียบผลการใช้งานและอายุการทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร

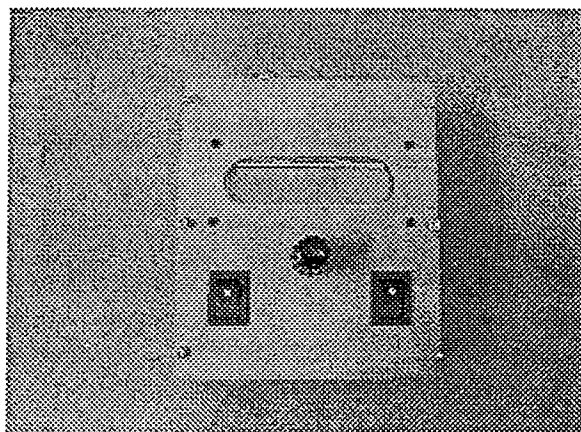
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

1. ส่วนประกอบชุดตรวจสอบความสั่นสะเทือน



ภาพประกอบ48 แสดงส่วนประกอบชุดตรวจสอบความสั่นสะเทือน

2. ส่วนประกอบ ชุดแสดงผลทางเสียงและตัวเลข



ภาพประกอบ 49 แสดงส่วนประกอบชุดแสดงผลทางเสียงและตัวเลข

3. ชุดแสดงผลทางเสียง (Head Phone)

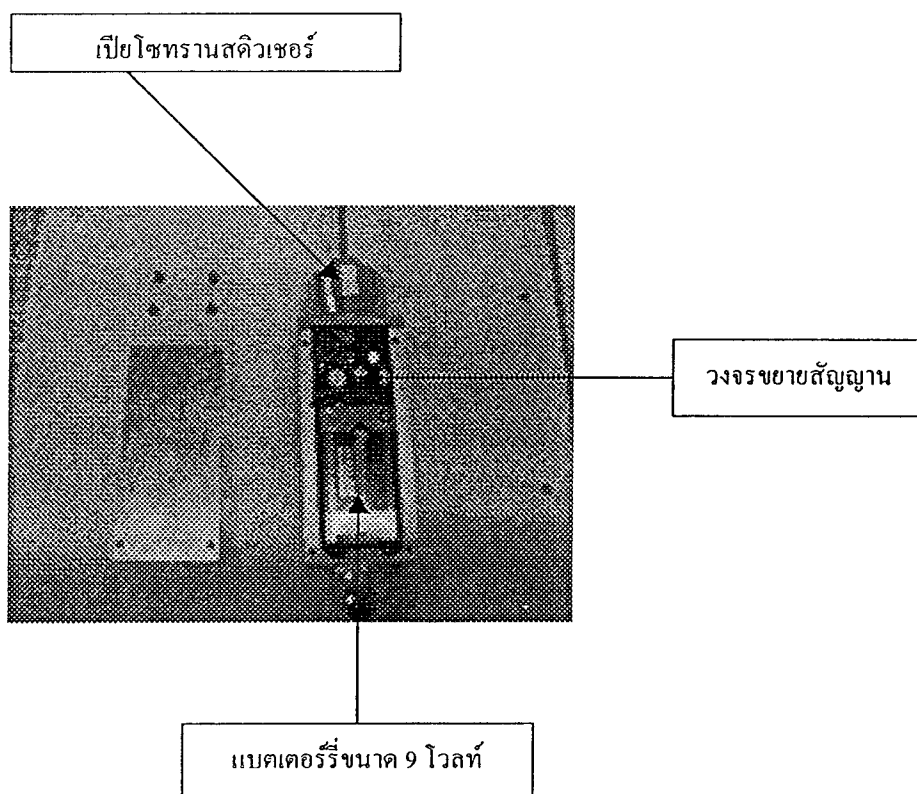


ภาพประกอบ 50 แสดงส่วนประกอบชุดแสดงผลทางเสียง

4. ส่วนประกอบภายในเครื่อง

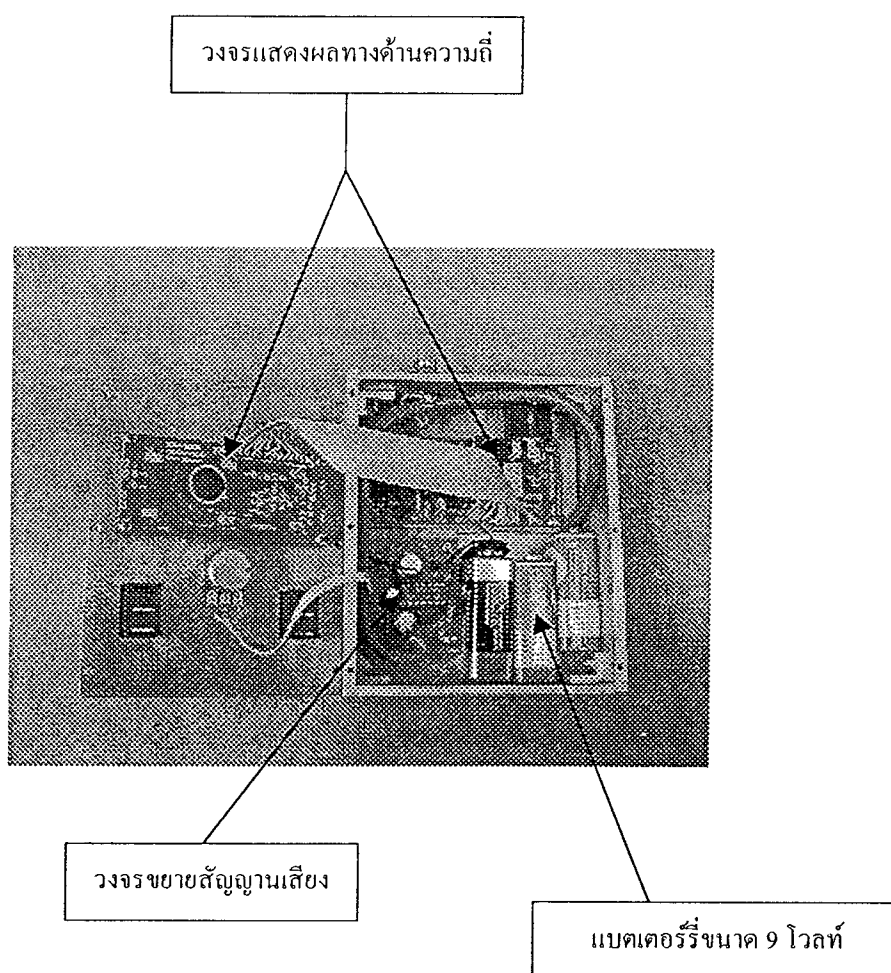
ภายในเครื่องตรวจความสั้นของเครื่องจักรจะประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

4.1 ส่วนประกอบชุดตรวจสอบ ความสั้นสะเทือน จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณการสั้นสะเทือน เปียโซทรานสดิวเซอร์ ชุดวงจรขยายสัญญาณ และแบตเตอรี่รีขนาด 9 โวลต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 51 แสดงส่วนประกอบภายในเครื่อง

4.2 ส่วนประกอบชุดแสดงผลทางเสียงและตัวเลข จะประกอบไปด้วย ชุดวงจรขยายสัญญาณและแสดงผลทางเสียง พร้อมแบตเตอรี่ 9 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน วงจรนับและแสดงผลสัญญาณเสียงให้ออกมาในรูปแบบความถี่ พร้อมแบตเตอรี่ 9 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน ดังแสดงในภาพประกอบ 47 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 52 แสดงวงจรส่วนแปลงสัญญาณและนับความถี่

วิธีใช้งานเครื่องตรวจสอบความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

การเตรียมเครื่องก่อนการใช้งาน

1. ประกอบชุดตรวจสอบความสั่นสะเทือนเข้ากับตัวเครื่องทางจุดต่อด้านซ้าย
2. ประกอบชุดแสดงผลสัญญาณทางเสียงเข้ากับตัวเครื่องทางจุดต่อด้านขวา
3. ปรับปุ่ม โวลุ่ม ความดังของเครื่องให้อยู่ในตำแหน่งปิด (หมุนทวนเข็มนาฬิกา)
4. สวมชุดหูฟัง (Head Phone) แล้วอัดตำแหน่งในการฟังให้เหมาะสม
5. เปิดปุ่ม Power Plead Phone ให้อยู่ในตำแหน่ง ON
6. เปิดปุ่ม Power Display ให้อยู่ในตำแหน่ง ON

วิธีใช้งาน

1. นำส่วนปลายของชุดหัวเซนเซอร์ไปสัมผัสกับจุดที่ต้องการตรวจสอบบริเวณที่ใกล้กับแหล่งที่เป็นจุดกำเนิดความสั่นสะเทือน เช่น จูครองรับเบร้งค์ ปอกเพลลา ชุดเฟืองเกียร์ แต่ห้ามนำหัวเซนเซอร์ไปสัมผัสโดยตรงกับอุปกรณ์ที่เกิดการหมุนหรือเคลื่อนที่โดยตรงเพราะจะทำให้ หัวเซนเซอร์เกิดความเสียหายได้

2. กดปุ่ม สวิตช์ที่อยู่บนอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณ
3. ปรับโวลุ่มความดังของเสียงที่อยู่บนตัวเครื่องแสดงผลจนได้ยินสัญญาณชัดเจน

4. อ่านและบันทึกค่าความถี่จากการสั่นสะเทือนที่ได้จากเครื่องวัดแล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับเครื่องจักรหลาย ๆ ตัว เพื่อสรุปและประเมินระดับความเสียหายในแต่ละจุดที่ทำการตรวจสอบ

การวิเคราะห์ผลความสั่นสะเทือนที่ได้จากการตรวจฟัง

การตรวจฟังความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบเป็นการยากที่จะระบุว่าจะจุดที่ทำการตรวจสอบ เกิดความเสียหายขึ้นในระดับใด จำเป็นจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ หลาย ๆ ท่านเป็นผู้วิเคราะห์และสรุปผล เพราะการตรวจฟังความสั่นสะเทือนเป็นเพียงการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรเบื้องต้น ซึ่งเป็นขั้นตอนและกระบวนการหนึ่งในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร แต่ผลของการตรวจฟังอาจจะพอสรุปเป็นเบื้องต้นได้ดังนี้

1. ลักษณะของสัญญาณที่ตรวจฟังได้มีเสียงดังที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร เช่น เสียง ช่า ๆ เสียงครางหึ่ง ๆ แต่มีความดังที่สม่ำเสมอ ราบเรียบไม่มีการสั่นหรือติดขัด หรือการกระแทกเป็นช่วง ๆ แสดงว่าจุดที่ทำการตรวจสอบมีความปกติ

2. ลักษณะของสัญญาณที่ตรวจฟังได้มีเสียงดังที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร เช่น เสียง ช่า ๆ เสียง ครางหึ่ง ๆ แต่มีเสียงอื่นสอดแทรกเข้ามาบ้างเช่น เสียงแครก เสียงกระแทกบ้างเป็นช่วง ๆ เล็ก ๆ แต่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก อาจแสดงให้เห็นว่าจุดที่ทำการตรวจสอบเริ่มมีความผิดปกติเกิดขึ้น เช่น เสียงแครก และเสียงกระแทกอาจเกิดจากการชำรุดเสียหายของ รางลูกปืน หรือลูกปืน ที่หมุนเคลื่อนที่ภายในรางแล้วกระแทกกับเศษหรือชิ้นส่วนที่หลุดออกมา หรือปริมาณของสารหล่อลื่นมีไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดการแครกและกระแทก

3. ลักษณะของสัญญาณที่ตรวจฟังได้มีเสียงดังที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร เช่น เสียง ช่า ๆ เสียงกรางหึ่ง ๆ แต่มีความดังของเสียง มากกว่าปกติ มีเสียงสั่นสอດแทรกออกมามาก มีความถี่ของเสียงสูงต่ำไม่สม่ำเสมอ มีเสียงแฉก ดังขาดหายไปเป็นช่วง ๆ มีเสียงกระแทกในปริมาณที่ไม่เท่ากัน เช่น ดังบ้าง ค่อยบ้าง แสดงว่าจุดที่ทำการตรวจสอบมีความผิดปกติและเกิดชำรุดเสียหายของคลัทช์ลูกปืน หรือการขาดสารหล่อลื่น หรือถ้าดูจากปริมาณค่าความถี่ที่อ่านได้จะเห็นว่าสูงกว่า เครื่องจักรที่ทำงานเป็นปกติ หลายเท่าตัว

การบำรุงรักษาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

โดยปกติเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนมีส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ในขณะใช้งาน ดังนั้นการใช้งานจึงจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ กล่าวคือ

1. ไม่ควรให้อยู่ใกล้กับแหล่งความร้อนสูง หรืออยู่กลางแดดนาน ๆ
2. อย่าให้เครื่องโดนน้ำหรืออยู่ในที่เปียกชื้น
3. ไม่ควรทำเครื่องตกหรือกระแทกอย่างรุนแรง
4. อย่าให้ส่วนหัวของเซนเซอร์สัมผัส โดยตรงกับส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องจักร เช่น เพลา หรือ เฟือง เกียร์ เพราะจะทำให้หัวเซนเซอร์เกิดความชำรุดเสียหาย
5. ควรตรวจสอบ แบตเตอรี่ ตลอดเวลาถ้าไม่อยู่ในสภาพใช้งานให้ทำการเปลี่ยน

ภาคผนวก ค

แบบประเมินและแบบทดสอบเครื่องตรวจความสิ้นสະเทือนของเครื่องจักร

คู่มือทดสอบ การใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนกับเครื่องจักร โดยผู้เชี่ยวชาญทดลองวัดและตรวจฟัง ความผิดปกติในแต่ละจุดทดสอบ

ตรวจฟังได้ หมายถึง ลักษณะของสัญญาณที่ตรวจฟังได้ มีความชัดเจน สามารถฟังและวิเคราะห์ได้ว่า จุดที่ทดสอบมีความผิดปกติ หรือไม่ (ความผิดปกติ เช่น ความเสียหายของตลับลูกปืน ความเสียหายของเพลาลูกเบี้ยว ความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณที่ฟัง ความสูงต่ำของสัญญาณไม่สม่ำเสมอ)

ตรวจฟังไม่ได้ หมายถึง ไม่มีลักษณะสัญญาณออกมา หรือมีสัญญาณเบาเกินไปไม่สามารถฟังและวิเคราะห์ผลการตรวจฟังออกมาได้

เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tornos M7

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น		หมายเหตุ
		ตรวจฟังได้	ตรวจฟังไม่ได้	
1	ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ			
2	ชุดทำเกลียว			
3	มอเตอร์ส่งกำลัง			
4	อุปกรณ์เปิดเปิดการกลิ้ง			
5	เพลาทดกำลัง			

เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tornos MS

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น		หมายเหตุ
		ตรวจฟังได้	ตรวจฟังไม่ได้	
1	ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ			
2	ชุดทำเกลียว			
3	มอเตอร์ส่งกำลัง			
4	อุปกรณ์เปิดเปิดการกลิ้ง			
5	เพลาทดกำลัง			

เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tornos MTH

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น		หมายเหตุ
		ตรวจฟังได้	ตรวจฟังไม่ได้	
1	ชุดปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติ			
2	ชุดทำเกลียว			
3	มอเตอร์ส่งกำลัง			
4	อุปกรณ์เปิดเปิดการกลิ้ง			
5	เพลาทดกำลัง			

เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tornos M7

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องมือวัด Stethoscope		หมายเหตุ
		ตรวจฟังได้	ตรวจฟังไม่ได้	
1	ชุดปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติ			
2	ชุดทำเกลียว			
3	มอเตอร์ส่งกำลัง			
4	อุปกรณ์เปิดเปิดการกลิ้ง			
5	เพลาทดกำลัง			

เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tornos MS

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องมือวัด Stethoscope		หมายเหตุ
		ตรวจฟังได้	ตรวจฟังไม่ได้	
1	ชุดปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติ			
2	ชุดทำเกลียว			
3	มอเตอร์ส่งกำลัง			
4	อุปกรณ์เปิดเปิดการกลิ้ง			
5	เพลาทดกำลัง			

เครื่องจักรทดสอบ รุ่น Tornos MTH

	จุดต่างๆที่ทำการตรวจฟัง	เครื่องมือวัด Stethoscope		หมายเหตุ
		ตรวจฟังได้	ตรวจฟังไม่ได้	
1	ชุดปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติ			
2	ชุดทำเกลียว			
3	มอเตอร์ส่งกำลัง			
4	อุปกรณ์เปิดเปิดการกลิ้ง			
5	เพลาทดกำลัง			

แบบประเมินชุดนี้เป็นแบบทดสอบจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ด้านงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร เกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

คำชี้แจง

แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยคำถาม 5 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร เกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร จำนวน 15 ข้อ

1. ด้านกายภาพ 5 ข้อ

2. ด้านการใช้งาน 5 ข้อ

3. ด้านการบำรุงรักษา 5 ข้อ

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นอื่นๆและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1. วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ด้านงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้สร้างขึ้น

ดังนั้นแบบประเมินนี้ จึงมีเนื้อหาครอบคลุมถึงสมรรถนะในด้านต่างๆ ของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนทั้ง 3 ด้าน ดังนี้

1. ด้านกายภาพ

2. ด้านการใช้งาน

3. ด้านการบำรุงรักษา

ตอนที่ 2. ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ () หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ
หรือเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่าง

1. เพศ

() ชาย

() หญิง

2. อายุ ปี

3. ระดับการศึกษา

() ต่ำกว่าปริญญาตรี

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

4. ประสบการณ์ด้านงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร..... ปี

5. ตำแหน่งในหน่วยงาน

.....
.....
.....
.....

ตอนที่ 3. ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร เกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่อง
ตรวจความสั่นสะเทือน

ข้อเสนอแนะในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 3 นี้มีทั้งหมด 15 ข้อ

2. โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็น
ของท่าน หลังจากทดสอบใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือน

3. ค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้การไม่ได้

ข้อที่	หัวข้อรายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
1.	ความคิดเห็นด้านกายภาพของเครื่องตรวจสอบความสั่นสะเทือน					
	1.1 เครื่องมีขนาดกระทัดรัดสวยงาม					
	1.2 ชุดตรวจสอบสัญญาณและชุดแสดงผลออกแบบให้สามารถแยกและประกอบกันในขณะใช้งาน					
	1.3 ตัวเครื่องและชุดตรวจสอบมีความแข็งแรง					
	1.4 ตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบออกแบบให้มีความปลอดภัยในขณะใช้งาน					
	1.5 เครื่องตรวจสอบความสั่นสะเทือนออกแบบให้สามารถตรวจสอบความสั่นสะเทือนในจุดที่ยากต่อการตรวจสอบ					
2.	ความคิดเห็นด้านการใช้งานเครื่องตรวจสอบความสั่นสะเทือน					
	2.1 โดยใช้คนเพียง 1 คน สามารถปฏิบัติงานได้สะดวกรวดเร็ว					
	2.2 สามารถนำไปใช้ตรวจสอบความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้					
	2.3 สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละจุดเพื่อเปรียบเทียบได้					
	2.4 สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรเป็นต้นกำลังการผลิต					
	2.5 สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว					
3.	ความคิดเห็นด้านการบำรุงรักษา					
	3.1 การบำรุงรักษาก่อนใช้งานทำได้อย่างสะดวก					
	3.2 การถอดประกอบชิ้นส่วนก่อนและหลังใช้งานง่ายไม่ทำให้เกิดความชำรุดเสียหาย					
	3.3 วัสดุที่ใช้ทำตัวเครื่องมีความแข็งแรงทนทาน					
	3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่เกิดการชำรุดเสียหายสามารถเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ง่าย					
	3.5 แบตเตอรี่ใช้งานสามารถหาซื้อได้ง่าย					

ตอนที่ 4. ความคิดเห็นอื่นๆและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

4.1 ด้านกายภาพ

.....

.....

.....

4.2 ด้านการใช้งาน.....

.....

.....

.....

4.3 ด้านการบำรุงรักษา.....

.....

.....

.....

4.4 อื่นๆ

.....

.....

.....

ผู้เชี่ยวชาญ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ง
หนังสือขอความร่วมมือในการวิจัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มศว โทร. 5731, 5618

ที่ ทม 1012/๔7๐3

วันที่ /๐ มีนาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

เนื่องด้วย นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร" โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ละเอียด รัชณ์เผ่า และ อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบให้ นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ทม 1012/ ๕ ๖๐๔



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

1๐ มีนาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการฝ่าย CP Production Division บริษัท อีทีเอ (ประเทศไทย) จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและแบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร" โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายวินัย เกษะนันท์ ผู้จัดการแผนกเครื่องกลึงอัตโนมัติ และ นายบุญจันทร์ เหล่าอันอัน หัวหน้าแผนกเครื่องดัดงานอัตโนมัติ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบ ให้ นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-3153161 ต่อ 2235, 02-7534479

ที่ ทม 1012/ ๔ ๗๐ 5



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

1๐ มีนาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการแผนกวิศวกรรม บริษัท อีทีเอ (ประเทศไทย) จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและแบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร" โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายเดชา ชุมพาลี วิศวกรเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบ ให้ นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-3153161 ต่อ 2235, 02-7534479



ที่ ทม 1012/ ๔ ๗๐๘

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

1๐ มีนาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการ บริษัท ไมโครคริสตอล (ประเทศไทย) จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและแบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร" โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายสุวัฒน์ ยุทธศิลป์เสรี หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบ ให้ นายพิรเชษฐ์ ศรีชัย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภกรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-3153161 ต่อ 2235, 02-7534479

ที่ ทม 1012/ ๒ ๗๐๗



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

10 มีนาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการ บริษัท คอมมาคูล (ประเทศไทย) จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินและแบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายพีรเชษฐ์ ศรีชัย นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร" โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายพัฒนชัย สมถวิล หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินและแบบทดสอบ ให้ นายพีรเชษฐ์ ศรีชัย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-3153161 ต่อ 2235, 02-7534479

ภาคผนวก จ
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

1. นายเดชา ชุมพาลี
ผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักร
ประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร 10 ปี
ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า
สถานที่ทำงาน แผนก Engineer
บริษัท อี.ที.เอ(ประเทศไทย) จำกัด
2. นายวินัย เคะนันท์
ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักร
ประสบการณ์ในการควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักร 13 ปี
ตำแหน่งผู้จัดการแผนก Lathing
สถานที่ทำงาน แผนก Lathing Department
บริษัท อี.ที.เอ(ประเทศไทย) จำกัด
3. นายบุญจันทร์ เหล่าจันอัน
ผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักร
ประสบการณ์ในการควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักร 10 ปี
ตำแหน่งหัวหน้าแผนก Gearhobbing
สถานที่ทำงาน แผนก Gearhobbing Department
บริษัท อี.ที.เอ(ประเทศไทย) จำกัด
4. นายสุวัฒน์ ยุทธสินเสวี
ผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักร
ประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร 10 ปี
ตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง
สถานที่ทำงาน แผนก Maintenance
บริษัท ไมโครคริสตอล (ประเทศไทย) จำกัด
5. นายพัฒนชัย สมถวิล
ผู้เชี่ยวชาญด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักร
ประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร 10 ปี
ตำแหน่งหัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
สถานที่ทำงาน แผนก Maintenance
บริษัท คอมมาดูล (ประเทศไทย) จำกัด

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ สกุล
สถานที่เกิด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน

ตำแหน่งหน้าที่การงาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2528

พ.ศ. 2530

พ.ศ. 2533

พ.ศ. 2538

พ.ศ. 2546

นาย พิรเชษฐ์ ศรีชัย

อำเภอ พังโคน จังหวัดสกลนคร

2137/7 บ้านเทพารักษ์ ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง

จังหวัดสมุทรปราการ 10270

ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง

บริษัท อี.ที.เอ. (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ
10540

มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนพังโคนวิทยาคม จ. สกลนคร

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิค
สกลนคร จ. สกลนคร

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ไฟฟ้ากำลังเทคโนโลยี
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ. ขอนแก่น

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วทบ.) เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
สถาบัน ราชภัฏพระนคร จ. กรุงเทพฯ

กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ