

การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั้นสะท้อนของเครื่องจักรกลหมุน



นายจตุโรจน์ เบ็ญจลักษณะณ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

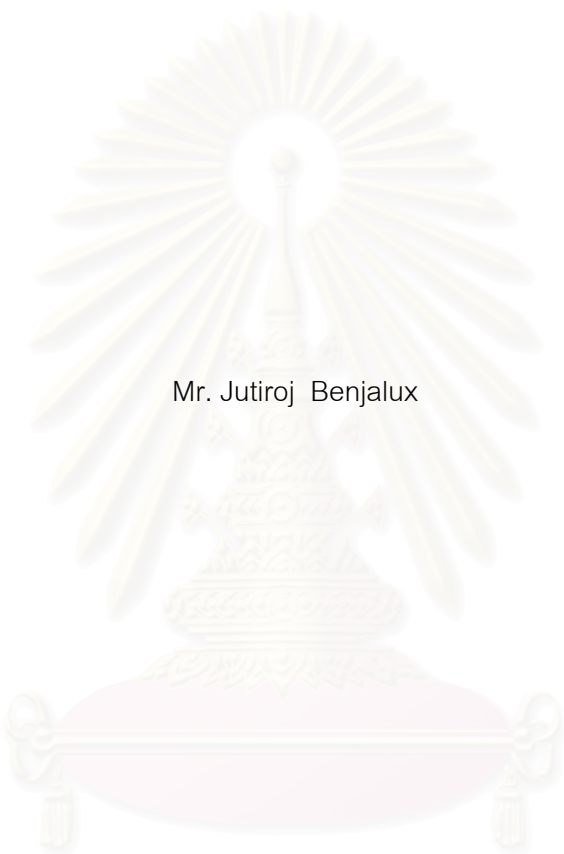
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2696-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DEVELOPMENT OF VIBRATION ANALYSIS SOFTWARE FOR ROTATING MACHINES



Mr. Jutiroj Benjalux

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2696-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสิ้นสะท้อนของเครื่องจักรกลหมุน
โดย	นายจตุโรจน์ เบ็ญจลักษณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์)

จตุโรจน์ เบ็ญจลักษณ์ : การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน.
(A Development of Vibration Analysis Software for Rotating Machines) อ. ที่ปรึกษา :
อ.ดร.สมบุญ งามชัยกิจ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ จำนวน 76
หน้า. ISBN 947-17-2696-1

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน
การพัฒนาโปรแกรมอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10816-1, ISO 10816-2, และ ISO 10816-3
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานในลักษณะต่อเนื่องในเวลาจริง เปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือน
ในแกนเวลาให้อยู่ในแกนความถี่ วิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรกลหมุน เก็บข้อมูลสำหรับการ
แสดงข้อมูลในอดีต และเตือนเมื่อเครื่องจักรกลหมุนเริ่มเสียหาย

โปรแกรมที่พัฒนาสามารถทำงานกับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ โปรแกรมนี้
สามารถนำไปพัฒนาเพื่อการประยุกต์ใช้งานสำหรับการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของเครื่องจักรกลหมุน
ในโรงงานอุตสาหกรรมได้.

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิติ.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

427025521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: VIBRATION ANALYSIS / PREDICTIVE MAINTENANCE / CONDITION BASED
MAINTENANCE

JUTIROJ BENJALUX : A DEVELOPMENT OF VIBRATION ANALYSIS SOFTWARE
FOR ROTATING MACHINES THESIS ADVISOR : DR.SOMBOON CHONGCHAIKIT,
THESIS COADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR. CHAIROTE KUNPANITCHAKIT,
76 pp. ISBN 974-17-2696-1

The objective of this thesis is to design and develop a program for monitoring and analyzing vibration of rotating machines. The program is developed based on ISO 10816-1, ISO 10816-2 and ISO 10816-3 standards. It is capable of working on-line in real time manner, transforming vibration signals form time domain to frequency domain, analyzing faults of rotation machines, collecting data for historical data display and showing alarms when the rotating machines begin to be damaged.

The developed software can work with signals from an arbitrary waveform generator. The software can be developed for application in predictive maintenance for rotating machines in factories.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Electrical Engineering... Student's signature.....
Field of study ...Electrical Engineering... Advisor's signature
Academic year ...2002..... Coadvisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้มีโอกาสสำเร็จได้หากขาดความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของข้าพเจ้า ผศ.ดร. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ รวมทั้งจัดหาข้อมูลสำหรับการวิจัย จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองด้วยใจ

ขอขอบคุณ รศ. ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และอาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้าขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิจัย ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณลุง คุณป้าของข้าพเจ้าที่ได้อบรมเลี้ยงดูและสนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่	
2. ลักษณะของการสิ้นสุดเงื่อนไข	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ประเภทของการสิ้นสุดเงื่อนไข	4
2.3 การวิเคราะห์การสิ้นสุดเงื่อนไขบนแกนเวลา.....	5
2.4 การวิเคราะห์การสิ้นสุดเงื่อนไขบนแกนความถี่	11
2.5 สัญญาณการสิ้นสุดเงื่อนไขบนแกนความถี่จากสาเหตุต่างๆ ตามทฤษฎี	18
บทที่	
3. โครงสร้างฮาร์ดแวร์และการออกแบบ	25
3.1 บทนำ	25
3.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องในระบบ	25
บทที่	
4. โครงสร้างโปรแกรมและการออกแบบ	28
4.1 บทนำ	28

บทที่	หน้า
4.2 ความต้องการของผู้ใช้	28
4.3 การออกแบบโปรแกรม	29
4.4 โครงสร้างทั้งหมดของโปรแกรม.....	29
4.5 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการติดต่อกับผู้ใช้	31
4.6 โครงสร้างการติดต่อระหว่างโปรแกรมกับการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็น ดิจิทัล	37
4.7 โครงสร้างของฐานข้อมูล	40
4.8 โครงสร้างโปรแกรมในส่วนแปลงสัญญาณการสันสะท้อนในแกนเวลาให้อยู่ใน แกนความถี่	42
4.9 โครงสร้างโปรแกรมการจัดเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล	43
4.10 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการวิเคราะห์ความเสียหาย	44
4.11 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการแจ้งเตือน	46
4.12 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการพิมพ์ข้อมูล	47
4.13 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมโดยรวม	47
บทที่	
5. การทดสอบ	53
5.1 บทนำ	53
5.2 วิธีการทดสอบ	53
5.3 ผลการทดสอบและข้อสรุป	55
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	63
6.1 สรุปผล.....	63
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	63
รายการอ้างอิง	65
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก. ตารางตามมาตรฐาน ISO 10816 – 1	68
ภาคผนวก ข. ตารางตามมาตรฐาน ISO 10816 – 2	70
ภาคผนวก ค. ตารางตามมาตรฐาน ISO 10816 – 3	72
ภาคผนวก ง. ผังประกอบการพิจารณาการสันสะท้อน	74

บทที่

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 76



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะการสันตะเพื่อนที่มีความถี่เดียว	24
ตารางที่ 2.2 ลักษณะการสันตะเพื่อนที่มีหลายความถี่	24



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบมวลเดี่ยวและฝั้ววัตถุอิสระ	5
รูปที่ 2.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบมวลเดี่ยว	6
รูปที่ 2.3 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด	7
รูปที่ 2.4 การสั่นสะเทือนแบบหนืดที่มีการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา	8
รูปที่ 2.5 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก	9
รูปที่ 2.6 การขยายทางพลวัตและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น	10
รูปที่ 2.7 การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบ (Periodic Motion)	12
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการแปลงฟาสต์ฟูรีเยร์จากตัวอย่าง 8 จุด	14
รูปที่ 2.9 การคำนวณแบบวัตเตอร์พลาซที่ใช้ในการคำนวณฟาสต์ฟูรีเยร์	14
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกที่ความถี่ต่างๆ	15
รูปที่ 2.11 การสั่นสะเทือนบนแกนเวลา	16
รูปที่ 2.12 การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่	16
รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่แบบคาบบนแกนเวลา	17
รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่แบบคาบบนแกนความถี่	17
รูปที่ 2.15 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะไม่สมดุล	18
รูปที่ 2.16 สัญญาณการสั่นสะเทือนของสภาวะจากกรณีแรงกระทำจากของไหล	19
รูปที่ 2.17 สัญญาณการสั่นสะเทือนของสภาวะการเยื้องแกน	19
รูปที่ 2.18 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการขัดสีของชิ้นงานหมุน	20
รูปที่ 2.19 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการสึกหรอหรือมีระยะห่าง	20
รูปที่ 2.20 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการไหลวนของน้ำมันในรองลื่น ไม่คงที่	21
รูปที่ 2.21 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการเสียหายของตลับลูกปืน....	23
รูปที่ 2.22 ลักษณะทั่วไปและค่าที่เกี่ยวข้องของตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้ง	23
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์	25
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการรื้อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของบริษัท Acqutek รุ่น PA-C12	27
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการเชื่อมต่อของส่วนย่อยต่างๆ ของโปรแกรม	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ฎ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.2 ลำดับการใช้งานของโปรแกรมส่วนการติดต่อกับผู้ใช้	31
รูปที่ 4.3 หน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้น	32
รูปที่ 4.4 โครงสร้างการทำงานของหน้าต่างการรับค่าเริ่มต้น	33
รูปที่ 4.5 หน้าต่างการสอบเทียบโปรแกรม	34
รูปที่ 4.6 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น	34
รูปที่ 4.7 โครงสร้างโปรแกรมการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น	35
รูปที่ 4.8 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล	36
รูปที่ 4.9 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เก็บอยู่ในรูปกราฟกำลังสองเฉลี่ย	37
รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการติดต่อกับฮาร์ดแวร์	39
รูปที่ 4.11 โครงสร้างโปรแกรมการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล	41
รูปที่ 4.12 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงสัญญาณในแกนเวลาเป็นสัญญาณในแกน ความถี่ (FFT)	42
รูปที่ 4.13 โครงสร้างโปรแกรมการเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล	44
รูปที่ 4.14 โครงสร้างของโปรแกรมการวิเคราะห์ความเสียหาย	45
รูปที่ 4.15 โครงสร้างของโปรแกรมส่วนการแจ้งเตือน	46
รูปที่ 4.16 โครงสร้างของโปรแกรมส่วนการพิมพ์ข้อมูล	47
รูปที่ 4.17 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม	49
รูปที่ 4.18 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม (ต่อ)	50
รูปที่ 4.19 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม (ต่อ)	51
รูปที่ 4.20 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม (ต่อ)	52
รูปที่ 5.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณ Function Generator/Arbitrary Waveform Generator ของ Agilent รุ่น 33120A	54
รูปที่ 5.2 วิธีการทดสอบ	54
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบการทำงานที่ความถี่ต่าง ๆ	55
รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบการทำงานที่ความถี่ต่าง ๆ (ต่อ)	56
รูปที่ 5.5 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีกรณีเกิดการไม่สมดุล	57
รูปที่ 5.6 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีเกิดการไม่สมดุล	57
รูปที่ 5.7 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีกรณีแรงกระทำจากของไหล	57

	หน้า
ภาพประกอบ	
รูปที่ 5.8 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีแรงกระทำจากของไหล	58
รูปที่ 5.9 สัญญาณการสันสะเทือนตามทฤษฎีกรณีตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย	58
รูปที่ 5.10 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้(ซ้าย BPF1, ขวา BPF0) กรณีตลับลูกปืนชนิด ลูกกลิ้งเสียหาย	58
รูปที่ 5.11 สัญญาณการสันสะเทือนตามทฤษฎีกรณีการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่	59
รูปที่ 5.12 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่กรณีการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่	59
รูปที่ 5.13 สัญญาณการสันสะเทือนตามทฤษฎีและสัญญาณที่ป้อนเข้ากรณีการเยื้องแกน.....	60
รูปที่ 5.14 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีการเยื้องแกน	60
รูปที่ 5.15 สัญญาณการสันสะเทือนตามทฤษฎีและสัญญาณที่ป้อนเข้ากรณีการสีกหรือหรือ มีระยะห่าง	61
รูปที่ 5.16 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีการสีกหรือหรือมีระยะห่าง	61
รูปที่ 5.17 สัญญาณการสันสะเทือนตามทฤษฎีและสัญญาณที่ป้อนเข้ากรณีการขัดสีของ ชิ้นงานหมุน	62
รูปที่ 5.18 สัญญาณและผลวิเคราะห์ที่ได้กรณีการขัดสีของชิ้นงานหมุน	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงเหล็ก โรงไฟฟ้า โรงงานกระดาษ เป็นต้น การหยุดการทำงานเนื่องจากเครื่องจักรเสียแต่ละครั้งโดยไม่ได้มีการเตรียมการล่วงหน้าแต่ละครั้งทำให้การผลิตต้องหยุดชะงัก โรงงานต้องสูญเสียรายได้เป็นจำนวนมาก การวางแผนในการซ่อมเครื่องจักร จึงเป็นวิธีการที่จะป้องกันการสูญเสีย จากการหยุดการทำงานเนื่องจากเครื่องจักรเสียที่ไม่ได้คาดไว้ ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวจึงมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต โดยการบำรุงรักษาที่ป้องกันปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ได้แก่ การบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และ การบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)[1]

ในการบำรุงรักษาทั้ง 2 แบบ การบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกันมีโอกาสที่เครื่องจักรจะต้องหยุดซ่อมบำรุงก่อนทั้งๆ ที่ยังสามารถทำงานได้ หรือเครื่องจักรอาจจะเสียก่อนที่จะถึงกำหนดเวลาการซ่อมบำรุงได้ แต่ในการบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์ จะหยุดการทำงานของเครื่องจักรต่อเมื่อเครื่องจักรต้องได้รับการซ่อมบำรุงจริงๆ เท่านั้น ทำให้การใช้งานเครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด

การบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์ จำเป็นต้องอาศัยสถานะของเครื่องจักร ในการทำนายว่าเครื่องจักรที่ใช้งานอยู่เริ่มที่จะต้องตรวจสอบหรือว่าทำการซ่อมแล้วหรือไม่ สถานะการทำงานของเครื่องจักรสามารถตรวจสอบได้จาก อุณหภูมิ เสียง การสั่นสะเทือน ฯลฯ [1] การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรมีลักษณะเฉพาะ สามารถแยกแยะความผิดปกติของเครื่องจักรได้ เหมาะสมที่จะนำมาตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องจักร

จึงทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรกลหมุน เพื่อตรวจสอบสถานะของเครื่องจักรสำหรับการบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ลักษณะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน
2. พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ลักษณะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุนเพื่อประโยชน์ในการบำรุงรักษาเครื่องจักร

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุนให้สามารถแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง
2. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้และส่งค่าพารามิเตอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น

1.4. ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักรกลหมุน
2. ศึกษามาตรฐานของการสั่นสะเทือน
3. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ในการวัดและส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ
4. พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์สภาพการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน
5. ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ
6. ทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นให้ทำงานได้ตามต้องการ
7. สรุปผลงานวิจัย
8. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โปรแกรมในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน เพื่อประโยชน์ในด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักรกลหมุน

2. สามารถนำโปรแกรมไปติดตั้งใช้ในทางปฏิบัติตามโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรกลหมุนและต้องการใช้การบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์

3. ลดปัญหาการเสียหายแบบทันทีทันใดของเครื่องจักรกลหมุน ทำให้ลดค่าเสียหาย และการขาดทุนจากการหยุดกระบวนการผลิตโดยไม่ได้วางแผนไว้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ลักษณะของการสั่นสะเทือน

2.1 บทนำ

การสั่นสะเทือน[2][3] คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้ โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ แต่มักหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างดีที่สุดก็คือการพยายามจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแล้ว การสั่นสะเทือนอาจเกิดได้หลายสาเหตุเช่น การไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน การเลื่อนของชิ้นส่วนของเครื่องจักรตามแนวเส้นตรง การขัดสีหรือถูกันระหว่างชิ้นส่วนสองชิ้น การหลุดหลวมของชิ้นส่วนของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งการสั่นสะเทือนเหล่านี้ของเครื่องจักรมักมีผลต่อสมรรถนะและสภาพการใช้งานของเครื่องจักร ดังนั้นในการทำให้เครื่องจักรทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนเพื่อจะได้สามารถจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2 ประเภทของการสั่นสะเทือน[2][3]

การสั่นสะเทือนแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

- การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)
- การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Forced Vibration)

2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ คือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบภายใต้การกระทำของแรงภายในระบบ โดยปราศจากแรงภายนอกกระทำ

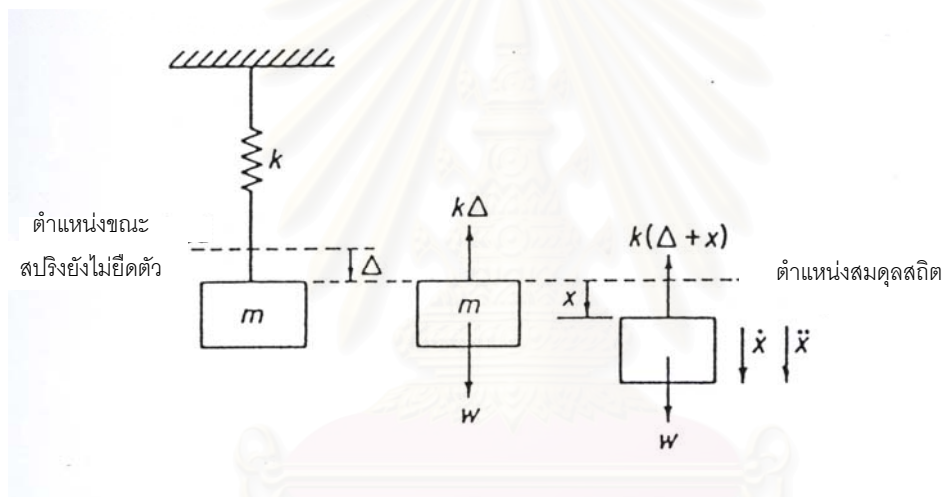
2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น คือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบอันเกิดจากแรงภายนอก และการสั่นสะเทือนนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากกระตุ้นระบบ หากความถี่ของแรงภายนอกที่มากกระทำนั้นตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบเข้า ก็จะทำให้เกิดการสั่นพ้องขึ้น นั่นคือ ขนาดของการสั่นสะเทือนจะถูกขยายขึ้นอย่างมากจนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้

2.3 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนเวลา[2][3]

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้น แล้วนำผลเฉลยทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา ซึ่งการสั่นสะเทือนที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งการสั่นสะเทือนที่มีความหน่วงและไม่มีความหน่วง

2.3.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง (Undamped Free Vibration)

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบอิสระนั้น ระบบหลาย ๆ ระบบจะสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ระบบมวลเดี่ยว (Single Mass System) มาอธิบาย ระบบมวลเดี่ยวนี้นี้คือ มีมวล m มาแขวนด้วยสปริงที่มีค่าความแข็งตึง (Stiffness) = k และให้ระยะ x เป็นระยะยืดและหดที่วัดจากจุดสมดุล



รูปที่ 2.1 ระบบมวลเดี่ยวและผั่งวัตถุอิสระ

สมการการเคลื่อนที่ของมวลนี้จะสามารถเขียนได้จากกฎข้อที่สองของนิวตันเป็น

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

ซึ่งจะสามารถเขียนผลเฉลยได้เป็น

$$x = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t \quad (2)$$

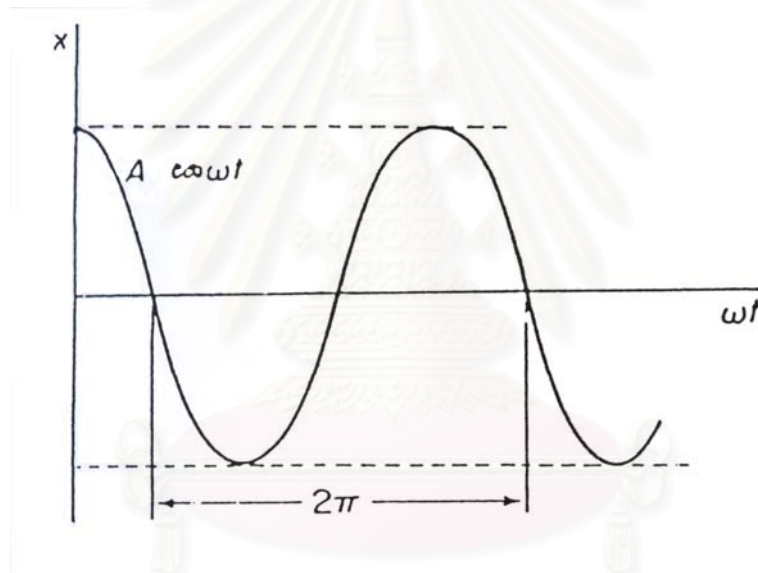
โดย ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{k}{m}}$

A และ B คือค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

ตัวอย่างของผลเฉลยของระบบที่มีเงื่อนไขเริ่มต้นเป็น ตัวมวลยึดออกจากจุดสมดุลเป็นระยะ x_0 และความเร็วเริ่มต้นของมวลเป็นศูนย์ $\dot{x}(0) = 0$ จะเป็น

$$x = x_0 \cos \omega_n t \quad (3)$$

ผลเฉลยในสมการที่ (3) นี้สามารถเขียนอยู่ในรูปโค้งรูปไซน์ (Sine Wave) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า มวลจะเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาตามการยืดและหดของสปริง โดยมีความถี่ของการเคลื่อนที่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ ω_n



รูปที่ 2.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบมวลเดี่ยว

ในกรณีที่ต้องการรู้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ ω_n โดยไม่รู้ค่า k ของสปริง อาจสามารถหาค่าความถี่ธรรมชาติได้โดยนำมวล m มาห้อยติดกับสปริง แล้ววัดค่ายืดหรือหดตัวจากความยาวสปริงปรกติภายใต้สภาวะสมดุลทางสถิต และจากความสัมพันธ์ของแรงของมวลที่อยู่ในสมดุลจะสามารถเขียนได้เป็น

$$k\Delta = mg$$

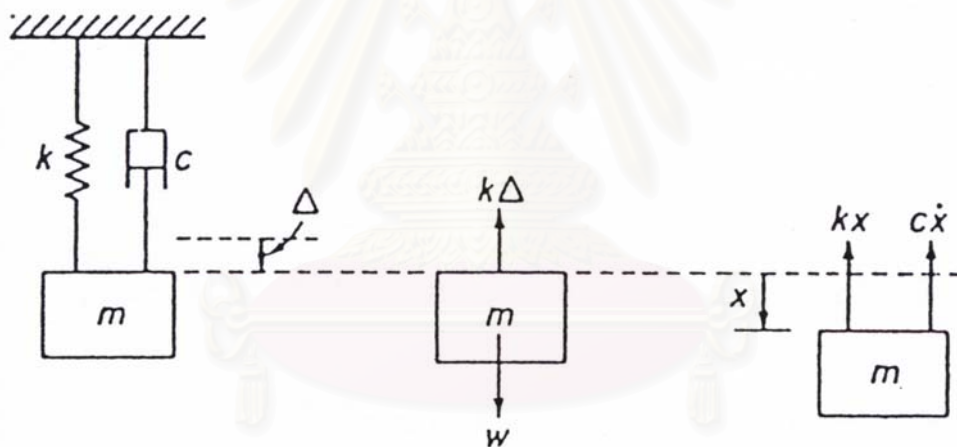
$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{\Delta}}$$

2.3.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีความหน่วง (Damped Free Vibration)

ระบบการสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วงนั้นเป็นระบบทางอุดมคติ ระบบต่างๆ ที่ใช้งานอยู่จริงจะมีความหน่วงแฝงอยู่ ซึ่งความหน่วงนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป ถ้าปริมาณของพลังงานสูญเสียเนื่องจากความหน่วงนี้มีค่ามาก ในการวิเคราะห์ระบบก็จะต้องนำเอาความหน่วงนี้มาคิดด้วย ความหน่วงที่จะทำการวิเคราะห์และพิจารณาในที่นี้จะมีความหน่วงแบบหนืด (Viscous Damping)

การหน่วงแบบหนืดนี้จะก่อให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของมวล ซึ่งเขียนได้เป็น $F_d = c\dot{x}$ เมื่อ F_d คือ แรงที่เกิดจากความหน่วง c คือ ค่าความหน่วง และ x คือ อัตราเร็วของมวล ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของระบบจะสามารถเขียนได้จากผังวัตถุอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (4)$$



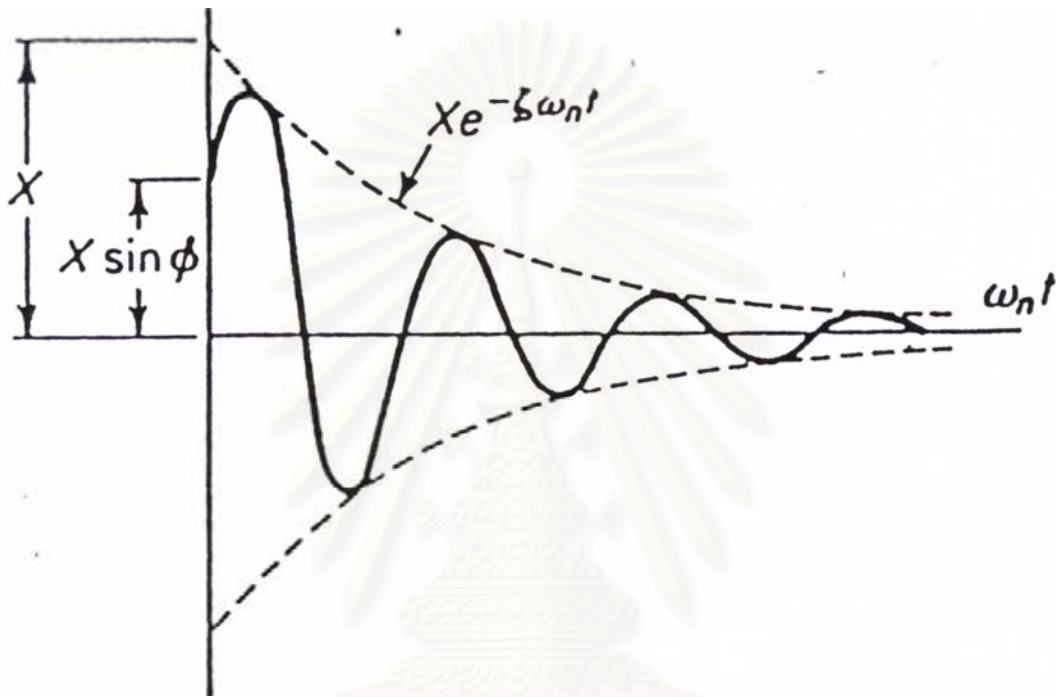
รูปที่ 2.3 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด

ผลเฉลยของสมการนี้จะเป็น

$$x = e^{-\zeta\omega_n t} [D \sin(\omega_d t + \phi)] \quad (5)$$

เมื่อ ϕ คือ มุมเฟส (Phase Angle)
 D คือ ค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

- ζ คือ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) = $\frac{c}{c_c}$
- c_c คือ ค่าความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{km}$
- ω_n คือ ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{k}{m}}$
- ω_d คือ ค่าความถี่ของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ $\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$



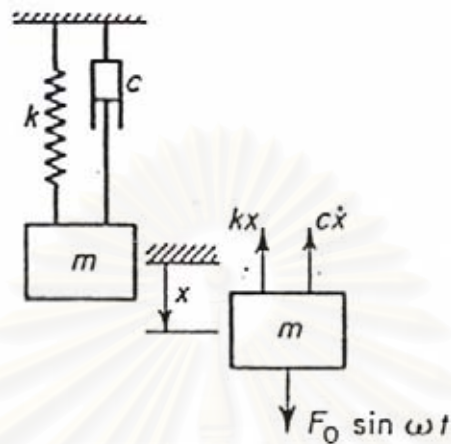
รูปที่ 2.4 การสั่นสะเทือนแบบหนืดที่มีการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา

สมการที่ (5) นี้เป็นสมการที่ใช้กับระบบที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงน้อยกว่าหนึ่งเท่านั้น กล่าวคือ การตอบสนองของระบบจะเป็นการเคลื่อนที่แบบสั่นกลับไปกลับมา (Oscillatory Motion)

2.3.3 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Forced Vibration)

เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก (Harmonic) การสั่นสะเทือนของระบบจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับแรง คือ จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแรงที่มากระตุ้น ต้นกำเนิดของแรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกที่พบได้ง่ายที่สุด ได้แก่ ความไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนี้อาจมีผลต่อสมรรถนะและการทำงานตามปกติของเครื่องจักร และอาจทำให้เครื่องจักรเสียหายได้ ถ้าการสั่นสะเทือนนั้นมีขนาดใหญ่

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนี้สามารถทำได้ โดยพิจารณาจากระบบมวลเดี่ยวที่มีความหน่วงภายใต้การกระตุ้นด้วยแรงแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ ω



รูปที่ 2.5 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก

สมการการเคลื่อนที่ของระบบสามารถเขียนโดยใช้ผังวัตถุอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (6)$$

ผลเฉลยของสมการนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นผลเฉลยของการสั่นสะเทือนแบบอิสระ $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ ซึ่งจะมีขนาดลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป ส่วนการสั่นสะเทือนส่วนที่เหลือที่ยังเกิดขึ้นต่อเนื่องจะเป็นส่วนที่เกิดจากแรงกระตุ้น $F_0 \sin \omega t$ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ที่อยู่ในรูปเดียวกับแรงกระตุ้น ผลเฉลยของการสั่นสะเทือนส่วนที่สองนี้จะสามารถเขียนได้เป็น

$$x = X \sin(\omega t - \phi) \quad (7)$$

เมื่อ X เป็นขนาดของการสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงสุดและ ϕ เป็นมุมเฟสที่เทียบกับแรงที่มากกระตุ้น ขนาดของค่า X สามารถเขียนได้เป็น

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (8)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right] \quad (9)$$

จากการจัดรูปของผลเฉลยขึ้นใหม่จะได้

$$\frac{X}{F_0/k} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \quad (10)$$

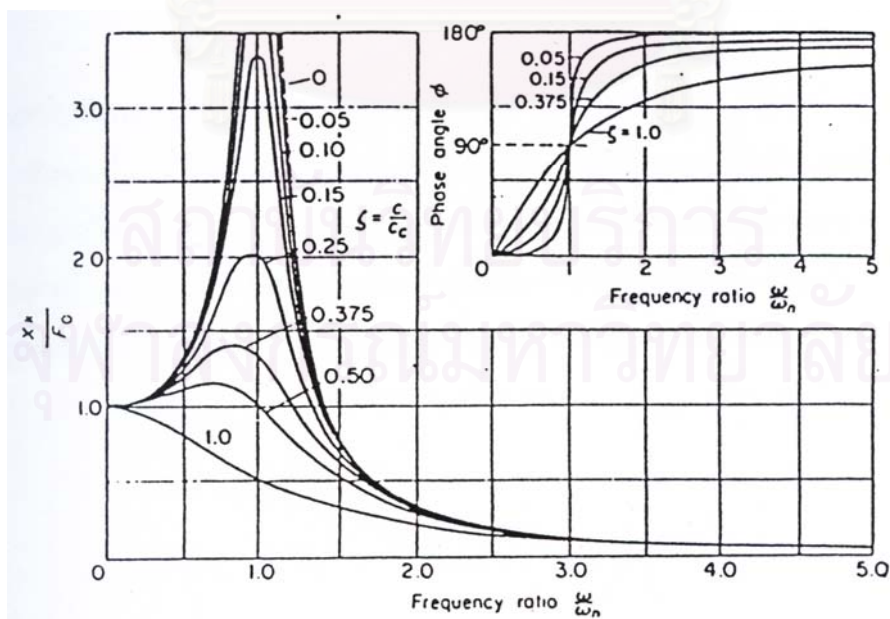
$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right] \quad (11)$$

โดยที่

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

$$c_c = 2\sqrt{km}$$

$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$



รูปที่ 2.6 การขยายทางพลวัตและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น[3]

รูปที่ 2.6 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูด $\frac{X}{F_0/k}$ กับค่าอัตราส่วนความถี่ $\frac{\omega}{\omega_n}$ และค่า

อัตราส่วนความหน่วง ζ และ ความสัมพันธ์ของมุมเฟส ϕ กับค่าอัตราส่วนความถี่ $\frac{\omega}{\omega_n}$ และค่า

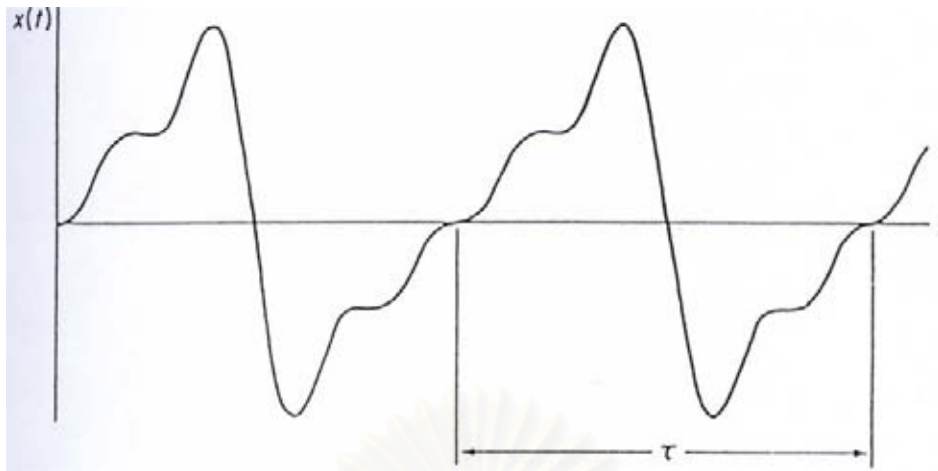
อัตราส่วนความหน่วง ζ

และจากรูปจะสังเกตได้ว่า

- ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นถ้าค่าอัตราส่วนความหน่วงลดลง
- อัตราส่วนของความถี่ $\frac{\omega}{\omega_n}$ จะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือนเป็นอย่างมาก
- เมื่อความถี่ของแรงที่ใช้มากระตุ้นมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก การตอบสนองจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบ ขนาดของการสั่นสะเทือน X จะมีค่าเท่ากับ $\frac{F_0}{2\zeta k}$ (ขึ้นกับค่าอัตราส่วนความหน่วงเป็นอย่างมาก)
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก การตอบสนองจะมีค่ามุมเฟสน้อยกว่า 90 องศา
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก การตอบสนองจะมีค่ามุมเฟสเข้าใกล้มุม 180 องศา
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ การตอบสนองจะมีมุมเฟสเป็น 90 องศา นั่นคือ การสั่นสะเทือนเกิดตามหลังแรงเป็นมุม 90 องศา

2.4 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่[2][3]

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นนั้นจะเห็นได้ว่า แรงที่มากระตุ้นจะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเดียว แต่ในความเป็นจริงแล้วแรงที่มากระตุ้นอาจจะเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน และรูปแบบของแรงอาจไม่ใช่เป็นแบบฮาร์มอนิกเดียว แต่อาจเป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบ(Periodic Motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบเหมือนกันในแต่ละคาบ แต่ไม่ใช่รูปของฟังก์ชันไซน์ (Sine)



รูปที่ 2.7 การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบ (Periodic Motion)

รูปการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบนี้ สามารถแยกเขียนออกมาเป็นผลรวมของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกหลายๆ ฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่างๆ กันได้

2.4.1 การแปลงสัญญาณในแกนเวลาเป็นสัญญาณในแกนความถี่

โดยทั่วไป เราจะใช้ อนุกรมฟูรีเยร์ในการแปลงสัญญาณในแกนเวลาให้เป็นสัญญาณในแกนความถี่โดยเราเขียน ได้ดังนี้

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_1 t + a_2 \cos \omega_2 t + K + b_1 \sin \omega_1 t + b_2 \sin \omega_2 t + K \quad (12)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{\tau} \quad \text{เมื่อ } \tau = \text{คาบของการเคลื่อนที่ และ } n = 1, 2, 3, K$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ a_n และ b_n หาได้จาก

$$a_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \cos \omega_n t dt \quad (13)$$

$$b_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \sin \omega_n t dt \quad (14)$$

เนื่องจากระบบจะรับค่าที่เป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องดังนั้น การคำนวณจะใช้การแปลงแบบ
 ดิสครีตฟูริเยร์ (Discrete Fourier Transform or DFT) แทนซึ่งจะเขียนสมการได้เป็น[4]

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)w_N^{nk}$$

เมื่อ

$$w_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}$$

เราสามารถลดขั้นตอนการคำนวณจากการใช้ DFT โดยใช้วิธีฟาสต์ฟูริเยร์ในการคำนวณ
 ซึ่งสามารถคำนวณได้เร็วกว่า ดังจะสามารถคำนวณได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รับค่าเข้ามาให้จำนวนตัวอย่างมีค่าเท่ากับกำลังของ 2 เช่น 8, 16, 32, 64, 128,
 256, 512, ...

ขั้นตอนที่ 2 ทำการผันบิต (Bit Reverse) ของลำดับตัวอย่างที่รับเข้ามา ดังตัวอย่าง การรับค่าตัว
 อย่างทั้งหมด 8 ค่า

ลำดับก่อนการผันบิต		ลำดับหลังการผันบิต	
ฐานสิบ	ฐานสอง	ฐานสอง	ฐานสิบ
0	000	000	0
1	001	100	4
2	010	010	2
3	011	110	6
4	100	001	1
5	101	101	5
6	110	011	3
7	111	111	7

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณด้วยบัตเตอร์ฟลายจากตัวอย่าง 2 ตัวที่ผ่านมาจากขั้นตอนที่ 2 ทั้งหมด N/2

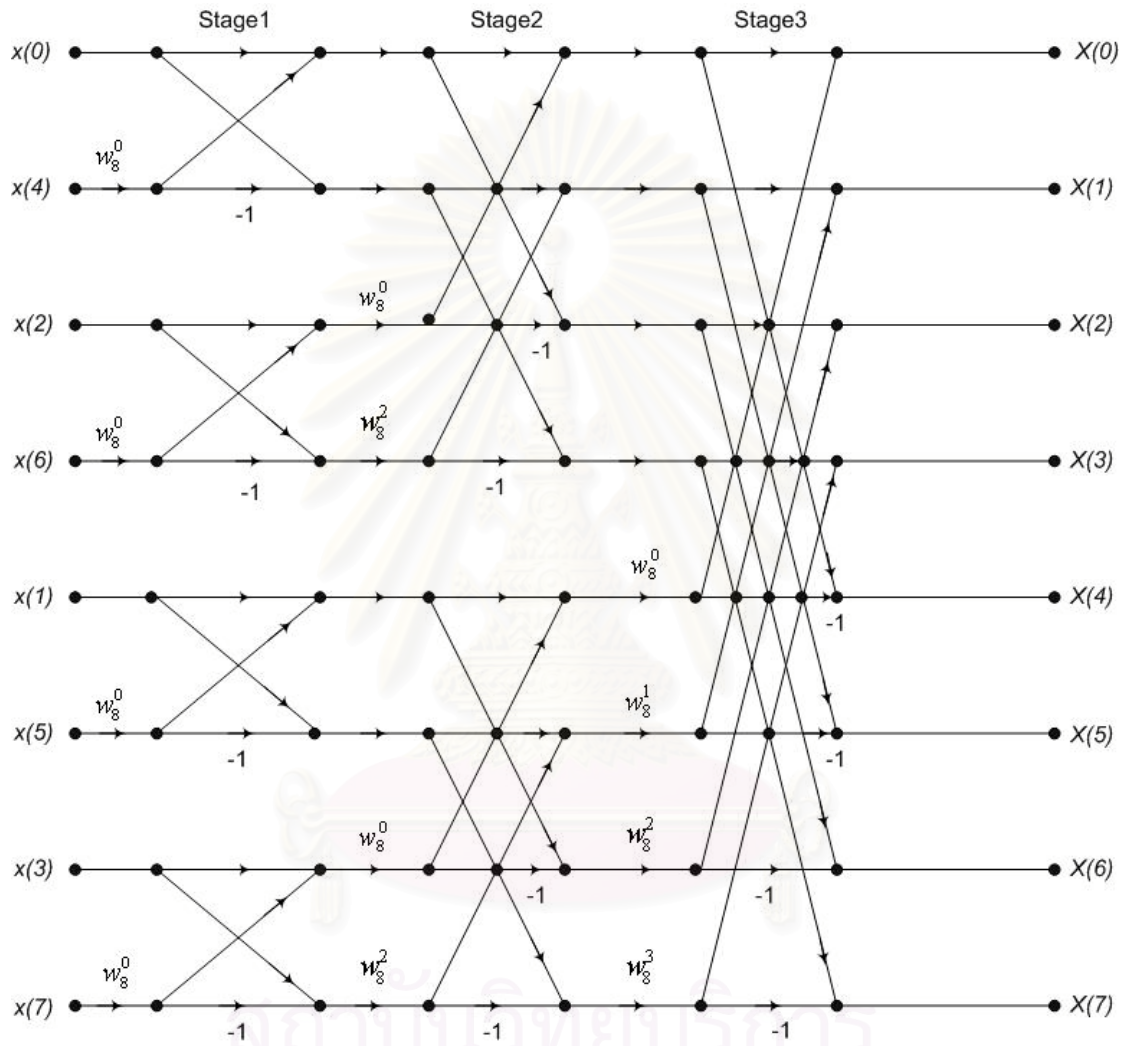
ชุด

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณด้วยบัตเตอร์ฟลายจากตัวอย่าง 4 ตัวที่ผ่านมาจากขั้นตอนที่ 3 ทั้งหมด N/4

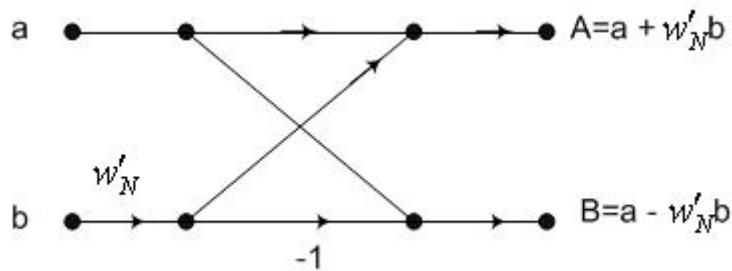
ชุด

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณด้วยบัตเตอร์ฟลายจากตัวอย่าง 8 ตัวที่ผ่านมาจากขั้นตอนที่ 4 ทั้งหมด $N/8$ ชุด

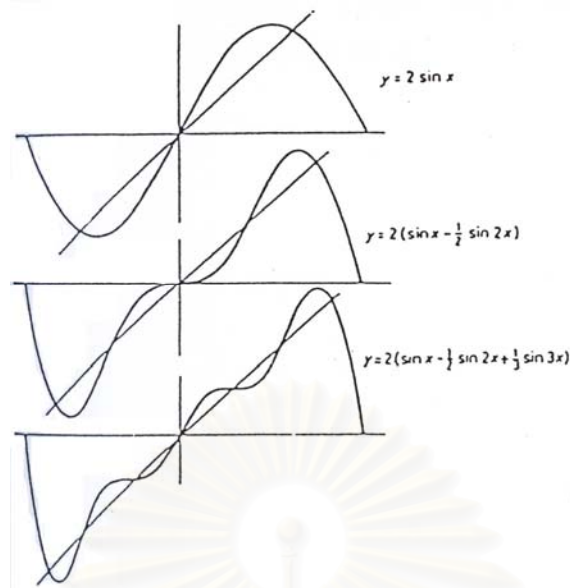
ขั้นตอนที่ 6 คำนวณจนกระทั่งเป็นจากตัวอย่าง N ตัวทั้งหมด 1 ชุด ดังรูป 2.8 แสดงตัวอย่างการแปลงฟาสต์ฟูริเยร์



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการแปลงฟาสต์ฟูริเยร์จากตัวอย่าง 8 จุด[4]



รูปที่ 2.9 การคำนวณแบบบัตเตอร์ฟลายที่ใช้ในการคำนวณฟาสต์ฟูริเยร์[4]



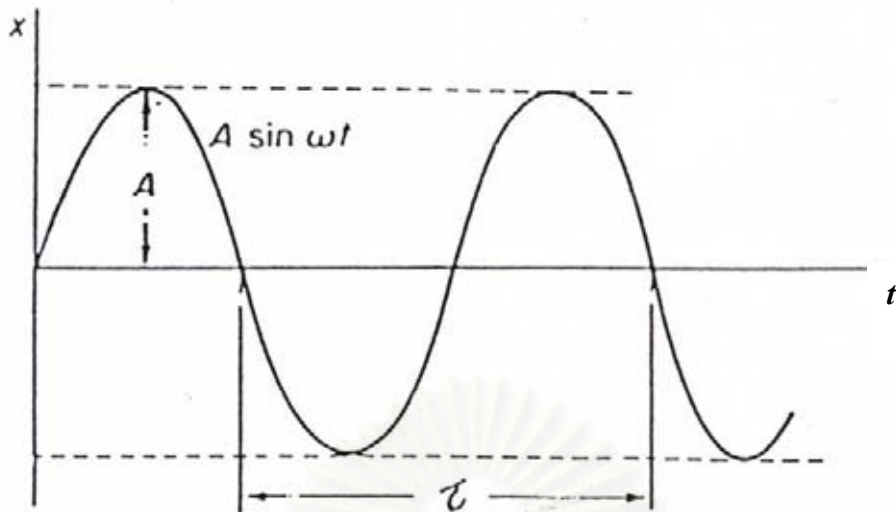
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่างๆ[2][3]

ตัวอย่างของการแยกการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบในแกนเวลาในรูป 2.7 แยกออกมาเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกในความถี่ต่างๆ ในรูป 2.10

จะเห็นได้ว่าถึงแม้แรงที่มากระตุ้นจะเป็นแรงแบบอื่นที่ไม่ใช่แรงแบบฮาร์มอนิก แต่แรงนี้ก็สามารถแยกออกเป็นผลรวมของแรงแบบฮาร์มอนิกที่มีหลายความถี่ได้ ดังนั้นผลการสั่นสะเทือนของระบบจากแรงที่มากระตุ้นแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบฮาร์มอนิกนั้น จะสามารถเขียนเป็นผลบวกของผลเฉลยของระบบที่ถูกกระตุ้นด้วยแรงแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่างๆ กันได้ โดยใช้การวิเคราะห์ตามแบบที่ได้บรรยายเบื้องต้นมาทำการหาผลเฉลยได้

2.4.2 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม[3]

การสั่นสะเทือนทั้งหมดที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นจะถูกแสดงด้วยขนาดที่แปรเปลี่ยนตามเวลาดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเราจะเรียกว่าการวิเคราะห์บนแกนเวลา (Time Domain) สำหรับการเคลื่อนที่ที่เป็นรูปฟังก์ชันซายน์บนแกนของเวลา การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะมีค่าความถี่ค่าเดียว ซึ่งก็คือ $\frac{1}{\tau}$ เมื่อ τ คือ คาบซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 ดังนั้นถ้าเขียนขนาดการเคลื่อนที่นี้ โดยเขียนขนาดบนแกน Y และค่าความถี่บนแกน X จะได้ค่าเพียงค่าเดียว ดังรูปที่ 2.12

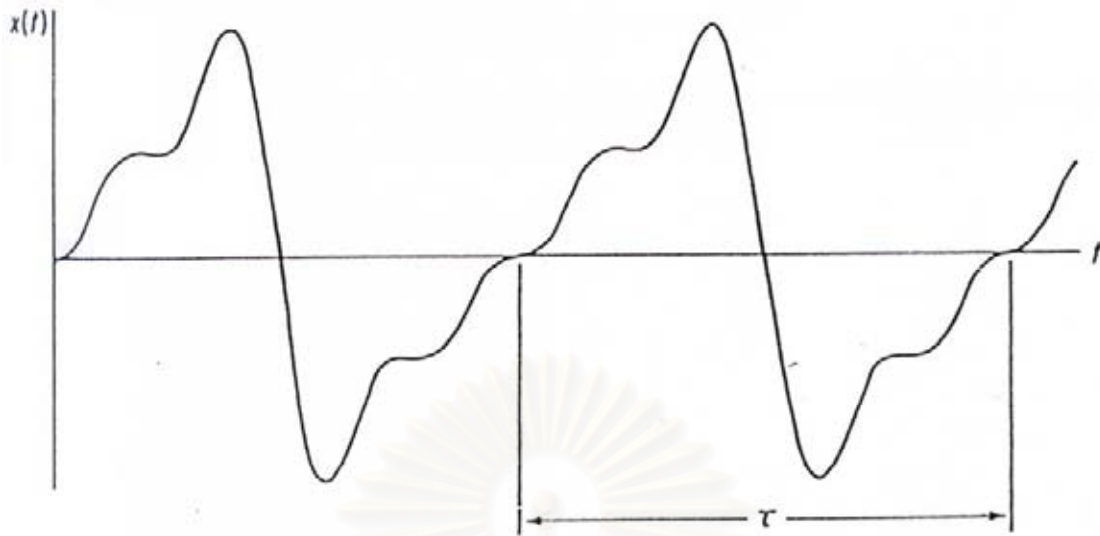


รูปที่ 2.11 การสั่นสะเทือนบนแกนเวลา



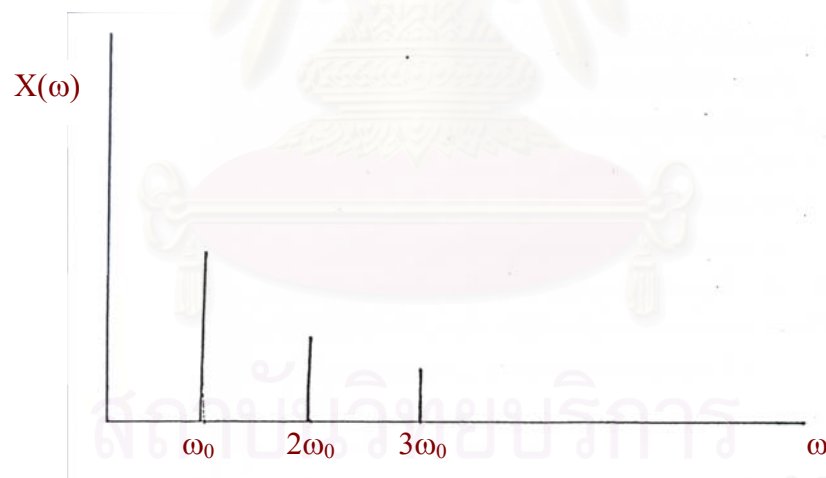
รูปที่ 2.12 การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่

สำหรับค่าการสั่นสะเทือนที่มีสัญญาณดังในรูปที่ 2.13 ประกอบด้วยการสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิกหลายสัญญาณ โดยแต่ละสัญญาณจะมีขนาดต่างกัน และ ความถี่ต่างกัน



รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่แบบคาบบนแกนเวลา

แปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปที่ 2.13 ไปอยู่ในแกนความถี่ จะได้สัญญาณในแกนถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่แบบคาบบนแกนความถี่

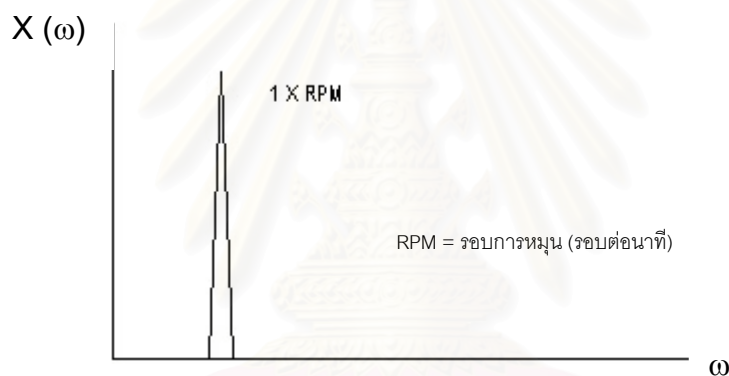
2.5 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่างๆ ตามทฤษฎี[3][5][6]

โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรมักเป็นตัวบอกรถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร ซึ่งจะมีลักษณะการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันไป

2.5.1 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีไม่สมดุล

การไม่สมดุลในเครื่องจักรกลหมุน เป็นสาเหตุที่สำคัญและพบได้บ่อยของการทำให้เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนสูง การไม่สมดุลจะเกิดขึ้นเมื่อจุดศูนย์กลางมวลไม่ซ้อนทับกับเส้นกึ่งกลางเพลลา

กรณีการไม่สมดุลนั้นจะมีสัญญาณเด่นชัดที่ความถี่เท่ากับรอบการหมุนของเพลลาในแนวรัศมี ดังรูปที่ 2.15

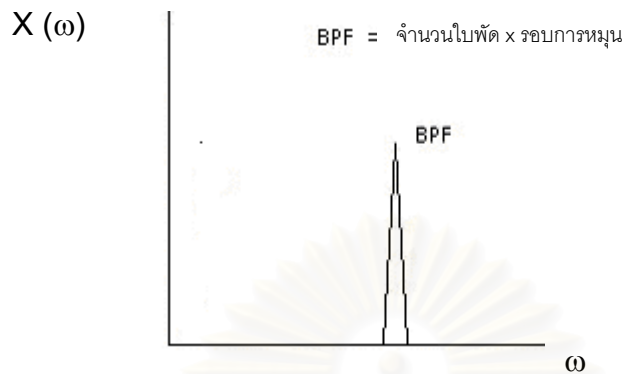


รูปที่ 2.15 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะไม่สมดุล

2.5.2 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีแรงกระทำจากของไหล

แรงกระทำของลม น้ำ หรือน้ำมันที่ไหลผ่านด้วยความเร็ว ไปกระทบใบพัด หรือคิริบ ของบีม พัดลม หรือคอมเพรสเซอร์ ที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเร็วรอบและจำนวนใบพัด

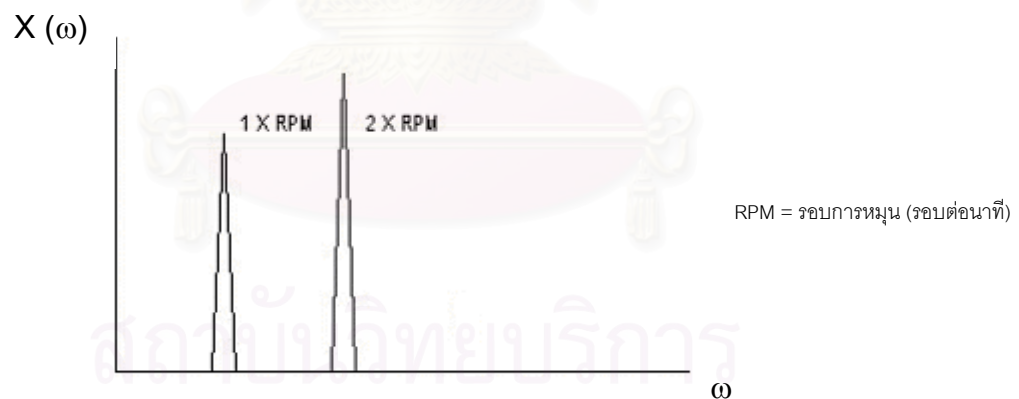
กรณีนี้จะมีสัญญาณเด่นชัดที่ความถี่ เท่ากับจำนวนใบพัดคูณกับรอบการหมุนของเพลลา ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สัญญาณการสั่นสะเทือนของสภาวะจากกรณีแรงกระทำจากของไหล

2.5.3 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีการเยื้องแกน

สัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีที่เกิดการเยื้องแกนจะปรากฏสัญญาณเด่นชัดที่ ความถี่ 1 เท่าของความเร็วรอบการหมุนและที่ 2 เท่าของความเร็วรอบของการหมุน หรืออาจจะมี ที่ 3 เท่าของความเร็วรอบการหมุนด้วย ดังรูปที่ 2.17

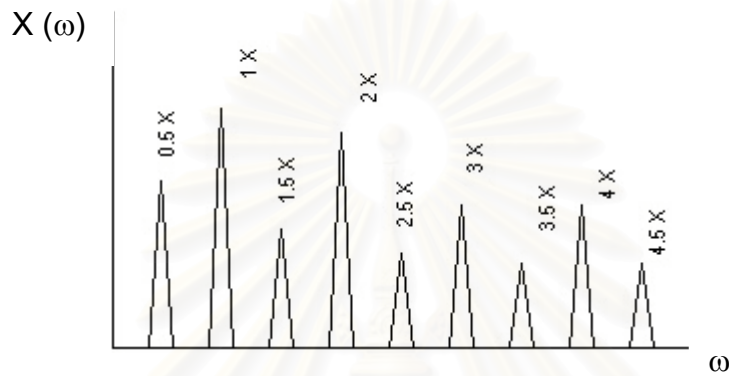


รูปที่ 2.17 สัญญาณการสั่นสะเทือนของสภาวะการเยื้องแกน

ซึ่งถ้าเกิดลักษณะสัญญาณนี้ในแนวแกนของแกนหมุนจะเป็นการเยื้องแกนแบบเชิงมุมแต่ถ้าเกิดขึ้นในแกนรัศมีจะเป็นการเยื้องแกนแบบขนาน

2.5.4 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีการขัดสีของชิ้นงานหมุน

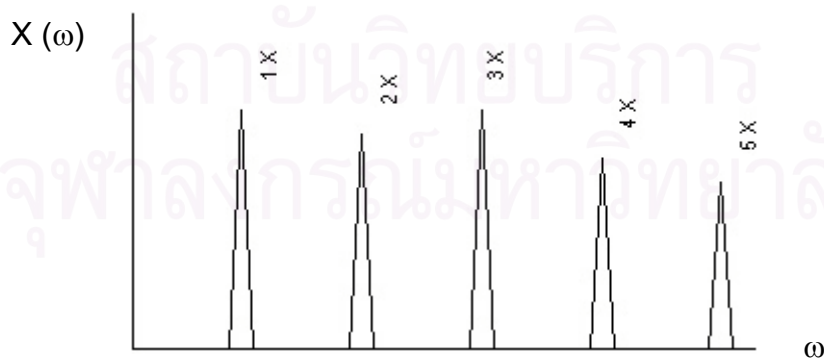
การขัดสีอาจจะเป็นบางส่วนหรือตลอดทั้งรอบการหมุนโดยปกติก่อให้เกิดอนุกรมของความถี่ บ่อยครั้งที่เกิดการกระตุ้นที่จำนวนเท่าของ 0.5 คุณลักษณะเร็วรอบของการหมุนดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการขัดสีของชิ้นงานหมุน

2.5.5 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีการสึกหรอหรือมีระยะห่าง

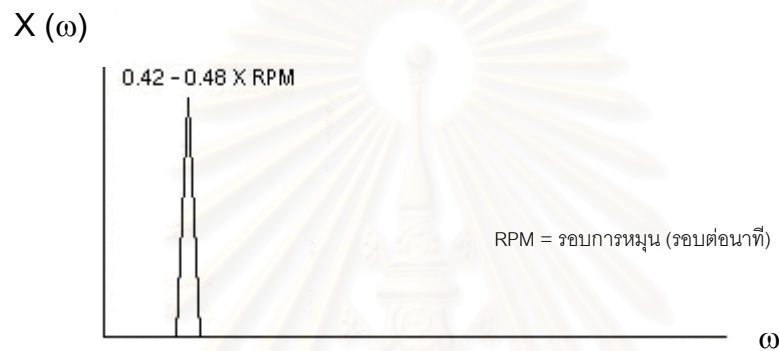
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องจักรเกิดการสึกหรอหรือมีระยะห่างจะปรากฏสัญญาณความถี่เป็นอนุกรมของจำนวนเท่าของความถี่รอบ (อาจถึง 10 หรือ 20 เท่า) ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่
ของสภาวะการสึกหรอหรือมีระยะห่าง

2.5.6 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่

การไหลวนของน้ำมันไม่คงที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 0.42 - 0.48 เท่าของความถี่รอบ และบ่อยครั้งที่จะรุนแรงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่

2.5.7 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณการสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนนั้น มีดังต่อไปนี้

- ความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนตลับลูกปืนและฐานรองรับ (Natural Frequency of Installed Bearing Components and Supported Structure)
- ความถี่การเสียหายของตลับลูกปืน (Bearing Defect Frequency) ซึ่งจะมีความถี่อยู่หลายค่าได้แก่

1. ความถี่รางใน (Inner Race Frequency) BPF_I ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$BPF_I = \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_c} \cos \theta \right) RPM$$

เมื่อ N_b = จำนวนลูกปืนหรือลูกกลิ้ง

B_d = เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปืนหรือลูกกลิ้ง

P_d = เส้นผ่านศูนย์กลางของตลับลูกปืน

θ = มุมสัมผัส

RPM = รอบการหมุน (รอบต่อนาที)

2. ความถี่รางนอก(Outer Race Frequency) BPF0 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$BPF0 = \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_c} \cos \theta \right) RPM$$

3. ความถี่ของการหมุนของลูกปืน (Ball Spin Frequency) BSF ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_c} \right)^2 \cos^2 \theta \right) RPM$$

4. ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Cage (Train) Frequency) FTF ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_c} \cos \theta \right) RPM$$

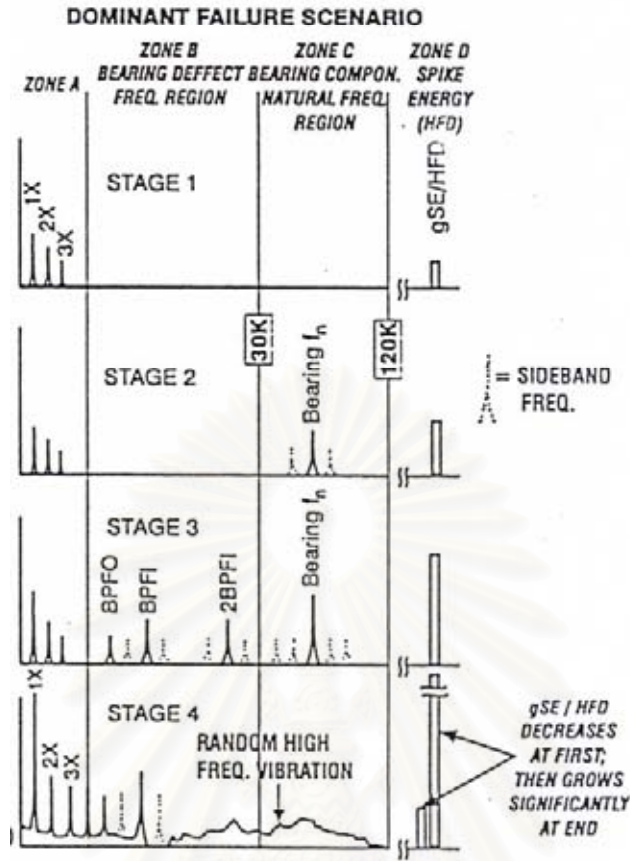
สภาวะที่ 1 เป็นสภาวะการเสียหายของตลับลูกปืนในช่วงแรกซึ่งมักจะไม่สามารถบ่งบอกได้จากสัญญาณการสั่นสะเทือนปกติ สัญญาณความเสียหายจะไปปรากฏที่ความถี่อุลตราโซนิก 250,000 – 350,000 Hz และ เมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นสัญญาณมักจะเคลื่อนตัวไปปรากฏที่ความถี่ต่ำลงมาคือประมาณ 20,000 – 60,000 Hz

สภาวะที่ 2 เป็นสภาวะการเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะแรก ทำให้เกิดการกระตุ้นความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนตลับลูกปืน ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดอยู่ในช่วง 30,000 – 120,000 รอบต่อนาที

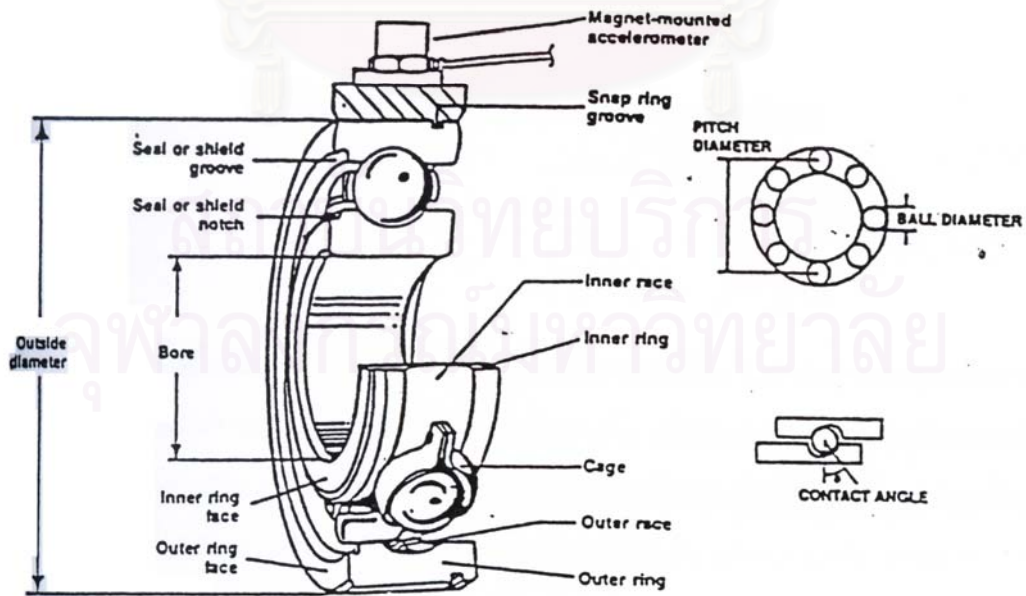
สภาวะที่ 3 เป็นสภาวะการเสียหายของตลับลูกปืนที่เพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนขึ้นที่ความถี่ของการเสียหายของตลับลูกปืน

สภาวะที่ 4 เป็นสภาวะที่ตลับลูกปืนเสียหายมาก ซึ่งในสภาวะนี้สัญญาณการสั่นสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้น จนส่งผลกระทบต่อขนาดของสัญญาณที่ความถี่ 1 เท่าของรอบการหมุนและ ชุดฮาร์มอนิกของสัญญาณดังกล่าว สัญญาณที่ความถี่ของการเสียหายของตลับลูกปืนและความถี่ธรรมชาติ ที่เป็นลักษณะแยกกันจะถูกทำให้หายไปกลายเป็นสัญญาณที่คลุมกว้างตลอดช่วงความถี่สูง

ตัวอย่างสัญญาณทั้งสี่สภาวะดังที่ได้กล่าวมานั้นจะถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ของสภาวะการเสียหายของตลับลูกปืน[3][6]



รูปที่ 2.22 ลักษณะทั่วไปและค่าที่เกี่ยวข้องของตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้ง[3]

ซึ่งลักษณะความผิดปกติต่างๆ ของเครื่องจักรกลหมุนสามารถสรุปได้เป็นดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ความถี่หลัก	ความผิดปกติที่เกิดขึ้น
1 เท่าของRPM	ไม่สมดุล
จำนวนใบพัดXRPM	แรงกระทำจากของไหล
ความถี่การเสียหายของตลับลูกปืน (Bearing Defect Frequency)	ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย
0.42ถึง0.48 เท่าของRPM	การไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่
กำหนดให้ RPM คือความเร็วรอบการหมุนของเพลลา (รอบต่อนาที)	

ตารางที่ 2.1 ลักษณะการสั่นสะเทือนที่มีความถี่เดียว

ลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือน	ความผิดปกติที่เกิดขึ้น
1 เท่าและ 2 เท่าของความเร็รรอบ	การเยื้องแกน
เป็นจำนวนเท่าของ RPM (1XRPM, 2XRPM,3XRPM,4XRPM, ...)	การสึกหรอหรือมีระยะห่าง
เป็นจำนวนเท่าของ1/2ของRPM (0.5XRPM, 1XRPM,1.5XRPM,2XRPM, ...)	การขัดสีของชิ้นงานหมุน
กำหนดให้ RPM คือความเร็วรอบการหมุนของเพลลา (รอบต่อนาที)	

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการสั่นสะเทือนที่มีหลายความถี่

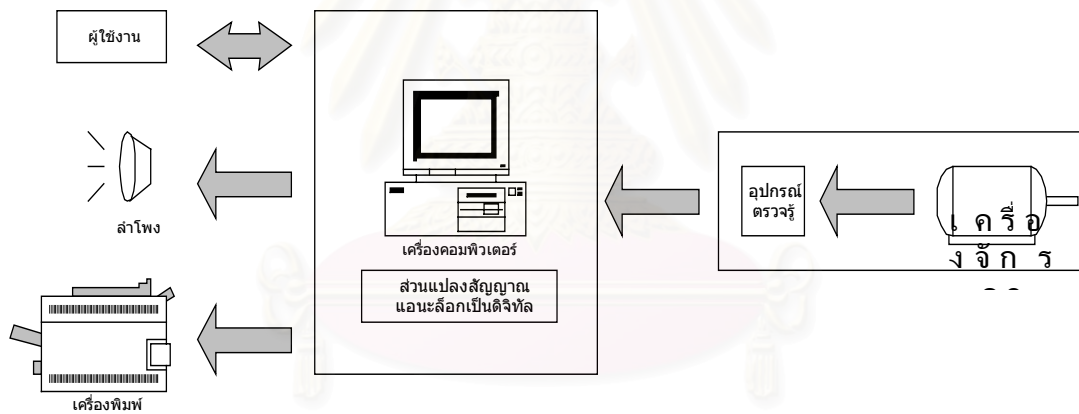
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

โครงสร้างฮาร์ดแวร์และการออกแบบ

3.1 บทนำ

โครงสร้างของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบประกอบด้วยสี่ส่วนหลักได้แก่ ส่วนแรกส่วนหนึ่งของเครื่องจักรกลหมุน ส่วนที่สองเป็นส่วนการวัดค่า ซึ่งต้องใช้ตัวตรวจรู้ประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับว่าลักษณะการใช้งานและอุปกรณ์ที่มีอยู่ ส่วนที่สามเป็นส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ส่วนสุดท้ายได้แก่ส่วนของคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน, จัดการกับข้อมูลที่ได้รับจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล, ติดต่อกับฐานข้อมูลเพื่อทำการเก็บค่าตัวแปรที่เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์, คำนวณค่าต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม, และแสดงผล โดยมีโครงสร้างระบบการทำงานรวมทั้งระบบดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์

3.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องในระบบ

3.2.1 ผู้ใช้งาน

ผู้ใช้งานควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบการสั่งระเหือนของเครื่องจักรกลหมุนและการบำรุงรักษาพอสมควร

3.2.2 ตัวตรวจรู้

ทำหน้าที่แปลงการสั่งระเหือนของเครื่องจักรกลหมุน ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งต่อไปยังส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

3.2.3. การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกที่รับจากตัวตรวจรู้

การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่เลือกใช้เป็นของบริษัท Acqutek รุ่น PA-C12 ซึ่งมีโครงสร้างภายในดังในรูปที่ 3.2 การ์ดดังกล่าวมีลักษณะสมบัติที่สำคัญดังนี้[7]

- มี 16 ช่องรับสัญญาณ
- มีความละเอียดในการแปลง 12 บิต
- ความแม่นยำ 2 บิต
- พิสัยแรงดันรับเข้า มีได้ 4 แบบ คือ -5 ถึง 5 โวลต์, -10 ถึง 10 โวลต์, 0 ถึง 5 โวลต์ และ 0 ถึง 10 โวลต์
- ทนแรงดันสูงสุดได้ 35 โวลต์
- ความเร็วสูงสุดในการแปลงสัญญาณ 200 ไมโครวินาที (5 กิโลเฮิร์ตซ์)

3.2.4 คอมพิวเตอร์

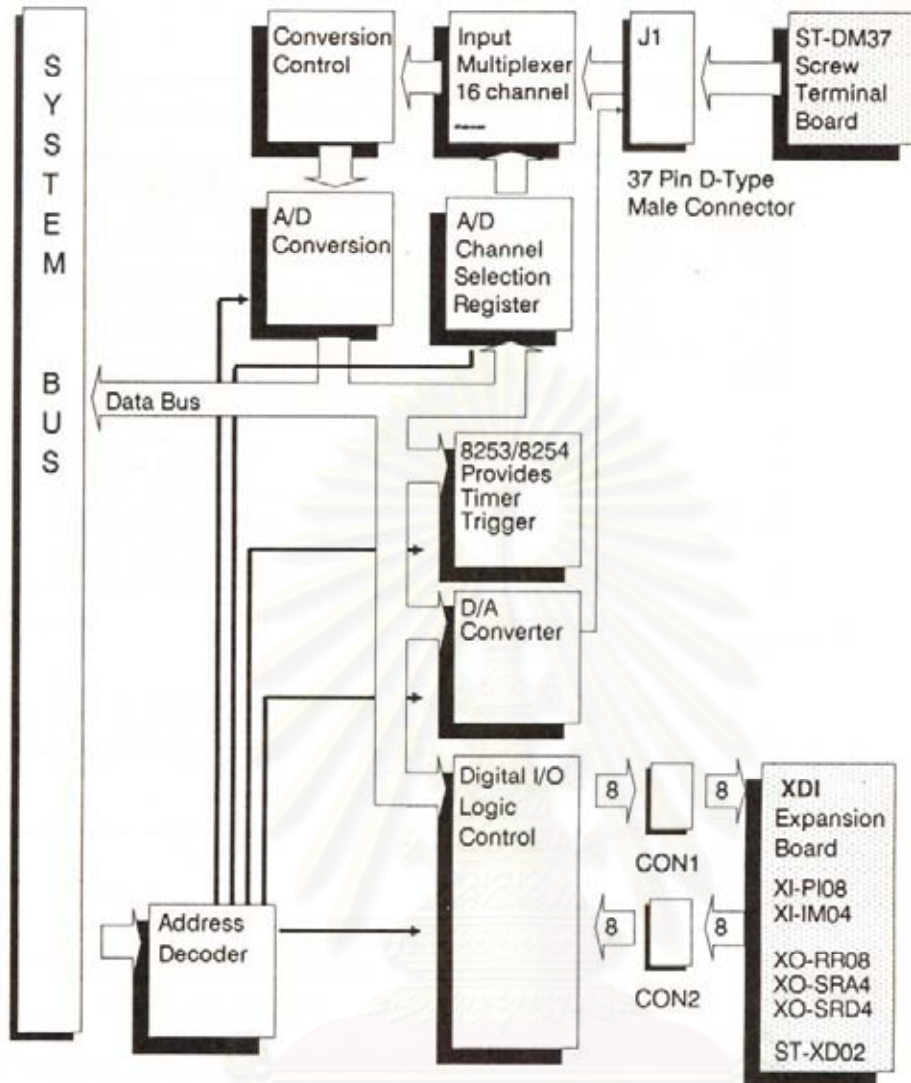
คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับโปรแกรมและทดสอบการทำงานใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล IBM-PC Compatible ซึ่งทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการ Windows Millenium โดยใช้หน่วยความจำขั้นต่ำ 128 เมกะไบต์ ฮาร์ดดิสก์ความจุ 10 จิกะไบต์ แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล นอกจากนี้อาจมีลำโพงในกรณีต้องการเสียงเตือนเพื่อแจ้งเหตุการณ์ผิดปกติควรใช้ลำโพงที่มีเสียงดังเพียงพอที่ผู้ดูแลระบบจะสามารถได้ยินได้

3.2.5 เครื่องพิมพ์

ใช้สร้างรายงานเมื่อผู้ดูแลระบบต้องการข้อมูลที่จำเป็น หรือต้องการส่งข้อมูลที่ได้นำไปใช้งานที่อื่นหรือต้องการนำไปเป็นเอกสารอ้างอิงต่างๆ

3.2.6 อุปกรณ์อื่น

อุปกรณ์เสริมอื่นๆ ได้แก่ กล้องที่ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อ, สายสัญญาณ



รูปที่ 3.2 โครงสร้างการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของบริษัท Acqutek รุ่น PA-C12[7]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

โครงสร้างโปรแกรมและการออกแบบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้าง, การออกแบบ และการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์การสิ้นสະเทือนสำหรับเครื่องจักรกลหมุน เพื่อประโยชน์ในการทำการบำรุงรักษาแบบคาดการณ์ ความเสียหายของเครื่องจักร

โปรแกรมในวิทยานิพนธ์ถูกพัฒนาขึ้นโดยภาษาเดลไฟ (DELPHI) เวอร์ชัน 6.0 เป็นตัวพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เนื่องจากเดลไฟมีความเรียบง่ายในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ และความสามารถด้านการจัดการด้านฐานข้อมูลทำให้เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถสูงในปัจจุบัน การทำงานติดต่อกับฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมพาราดอกซ์ (PARADOX) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ติดมากับเดลไฟเอง ทำให้มีความเข้ากันได้เป็นอย่างดี

ภายในโปรแกรมได้แบ่งการออกแบบส่วนหลักต่างๆ ดังนี้ ส่วนเชื่อมต่อทั้งส่วนติดต่อกับฮาร์ดแวร์และส่วนติดต่อกับผู้ใช้, ส่วนการคำนวณวิเคราะห์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลหมุน ทั้งการแยกสัญญาณออกเป็นสัญญาณย่อยที่ความถี่ต่าง ๆ และการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรกลหมุน, และสุดท้ายซึ่งได้แก่ส่วนแสดงผลทั้งในรูปแบบรายงาน เสียงเตือน และกราฟ

ในการพัฒนามุ่งเน้นในทางปฏิบัติงานจริงและตามความต้องการของผู้ใช้ แต่ต้องมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ใช้งานได้ง่ายด้วย

4.2 ความต้องการของผู้ใช้

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมได้ตั้งเป้าหมายของโปรแกรมโดยกำหนดความต้องการของผู้ใช้ไว้ดังนี้

4.2.1. การติดต่อระหว่างโปรแกรมและผู้ใช้ต้องสามารถทำได้ง่าย, การตั้งค่าเริ่มต้นต้องเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน และครบถ้วน, การเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมกับฐานข้อมูลทำได้ง่าย โดยสามารถเก็บข้อมูลที่วัดได้ เก็บค่าการคำนวณต่างๆ เก็บค่าเหตุการณ์ที่ผิดปกติ โดยผู้ใช้โปรแกรมไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านฐานข้อมูลมาก่อน

4.2.2. สามารถใช้โปรแกรมในการเก็บข้อมูลต่อเนื่องให้มากที่สุด

4.2.3. โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรกลหมุนได้อย่างรวดเร็ว

4.2.4. โปรแกรมสามารถเฝ้าตรวจการทำงานของเครื่องจักรกลหมุนแบบเวลาจริงแทนผู้ดูแลระบบ

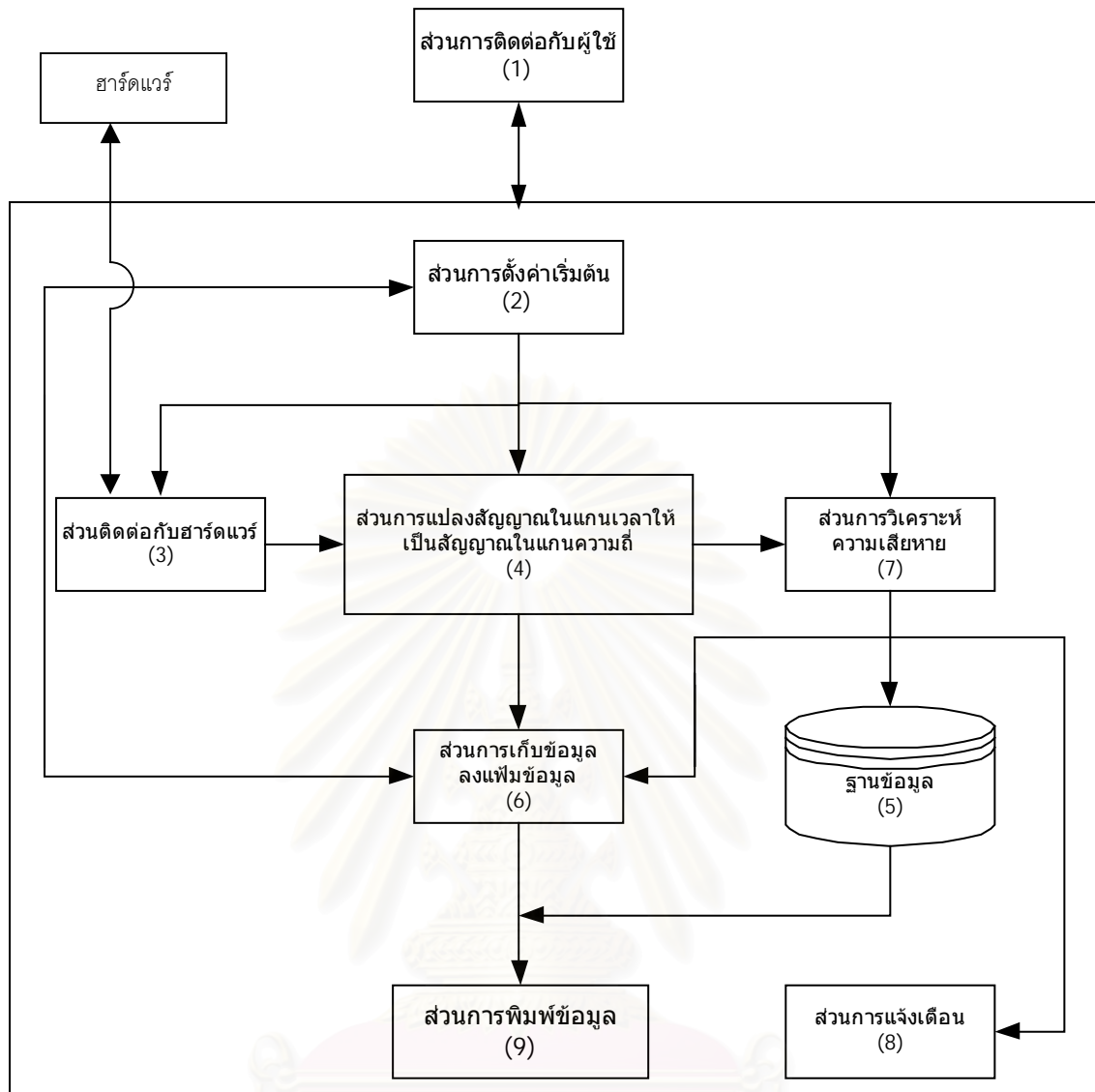
4.3. การออกแบบโปรแกรม

คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมและทดสอบการทำงานใช้คอมพิวเตอร์ IBM – PC Compatible ซึ่งทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการ Windows Millenium และใช้ภาษา Delphi 6.0 ซึ่งเป็นของบริษัท Inprise (บริษัท Borland เดิม) โดยโปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่มีสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Development Environment) ที่ช่วยให้สามารถทำทุกอย่างได้จากในเดสก์ท็อปเอง มีเครื่องมือทุกชนิดที่จำเป็นสำหรับสร้างโปรแกรมประยุกต์บน Windows ทั้งในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้ การแสดงผลกราฟฟิก การติดต่อกับฐานข้อมูล การจัดการระบบ ในส่วนของฐานข้อมูลนั้นติดต่อกับจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลพาราด็อกซ์ (Paradox) ผ่านทาง Borland Database Engine (BDE) และนำเอาภาษาฐานข้อมูล SQL (Structured Query Language) ซึ่งเป็นภาษามาตรฐาน[7] ใช้กับระบบจัดการฐานข้อมูลได้กับหลายโปรแกรมมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูล และการออกแบบโปรแกรมตามความต้องการของผู้ใช้

4.4. โครงสร้างทั้งหมดของโปรแกรม

โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมีหน้าที่การทำงานหลายส่วนได้แก่ ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ ส่วนการตั้งค่าเริ่มต้น ส่วนการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ ส่วนการแปลงสัญญาณในแกนเวลาเป็นสัญญาณในแกนความถี่ ส่วนการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล ส่วนการเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล (Save File) ส่วนการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรกลหมุน ส่วนแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ โดยมีโครงสร้างดังรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการเชื่อมต่อของส่วนย่อยต่าง ๆ ของโปรแกรม

โปรแกรมในส่วนต่างๆ มีหน้าที่ทำงานดังนี้

1. ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมรับค่า แสดงผลการคำนวณและการวิเคราะห์
2. ส่วนการตั้งค่า ทำหน้าที่ตั้งค่าเริ่มต้น รับค่าข้อมูลที่เป็นกับโปรแกรม
3. ส่วนการติดต่อฮาร์ดแวร์ ทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก รับสัญญาณ รับค่าตัวอย่างสัญญาณ
4. ส่วนการแปลงสัญญาณในแกนเวลาเป็นสัญญาณในแกนความถี่ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่รับค่าตัวอย่างมาแปลงให้อยู่ในแกนความถี่

5. ส่วนการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลที่จำเป็น เก็บลงในฐานข้อมูลที่จัดเตรียมไว้

6. ส่วนการเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล จะจัดเก็บข้อมูลที่เป็นสัญญาณการสัมผัสเพื่อนในแกนความถี่ให้อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลที่เป็นตารางข้อความเนื่องจากง่ายในการจัดเก็บและง่ายในการเปิดดูข้อมูลในอดีต

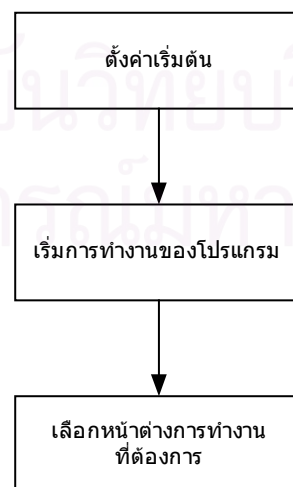
7. ส่วนการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรกลหมุน ทำหน้าที่วิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายของเครื่องจักร

8. ส่วนการแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ ทำหน้าที่เตือนเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติซึ่งมาจากค่าที่ไม่ผ่านตามมาตรฐาน ISO 10816 – 1[9], ISO 10816 – 2[10] และ ISO 10816 – 3 [11] หรือเกณฑ์ที่กำหนดไว้

9. พิมพ์ข้อมูล ทำหน้าที่พิมพ์หน้าตาต่างการทำงานที่ต้องการให้เป็นเอกสาร

4.5 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการติดต่อกับผู้ใช้

การเริ่มต้นใช้โปรแกรมผู้ใช้ควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับส่วนประกอบของเครื่องจักรกลหมุนและค่าต่างๆ ของเครื่องจักรกลหมุนที่นำมาวิเคราะห์ ไม่เช่นนั้นโปรแกรมอาจทำงานได้ไม่ตรงตามความต้องการ แต่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับการเก็บข้อมูลในฐานฐานข้อมูล เนื่องจากผู้ออกแบบไม่ต้องการให้เกิดความยุ่งยากด้านต่างๆ เกี่ยวกับฐานข้อมูล จึงออกแบบในลักษณะให้โปรแกรมจัดการด้านฐานข้อมูลด้วยตัวมันเองแล้ว ลักษณะการทำงานและลำดับการทำงานมีลักษณะต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 ลำดับการใช้งานของโปรแกรมการติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งานคือส่วนที่เป็นหน้าต่างสำหรับการรับค่าและแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ออกแบบไว้มีหน้าต่างหลัก อยู่ 5 หน้าต่างได้แก่

- หน้าต่างการรับค่าเริ่มต้น
- หน้าต่างการสอบเทียบโปรแกรม
- หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น
- หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล
- หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่อยู่ในรูปของรอกกำลังสองเฉลี่ย

4.5.1 หน้าต่างการรับค่าเริ่มต้น

ทำหน้าที่รับค่าที่จำเป็นในการคำนวณและวิเคราะห์ของโปรแกรม โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.3

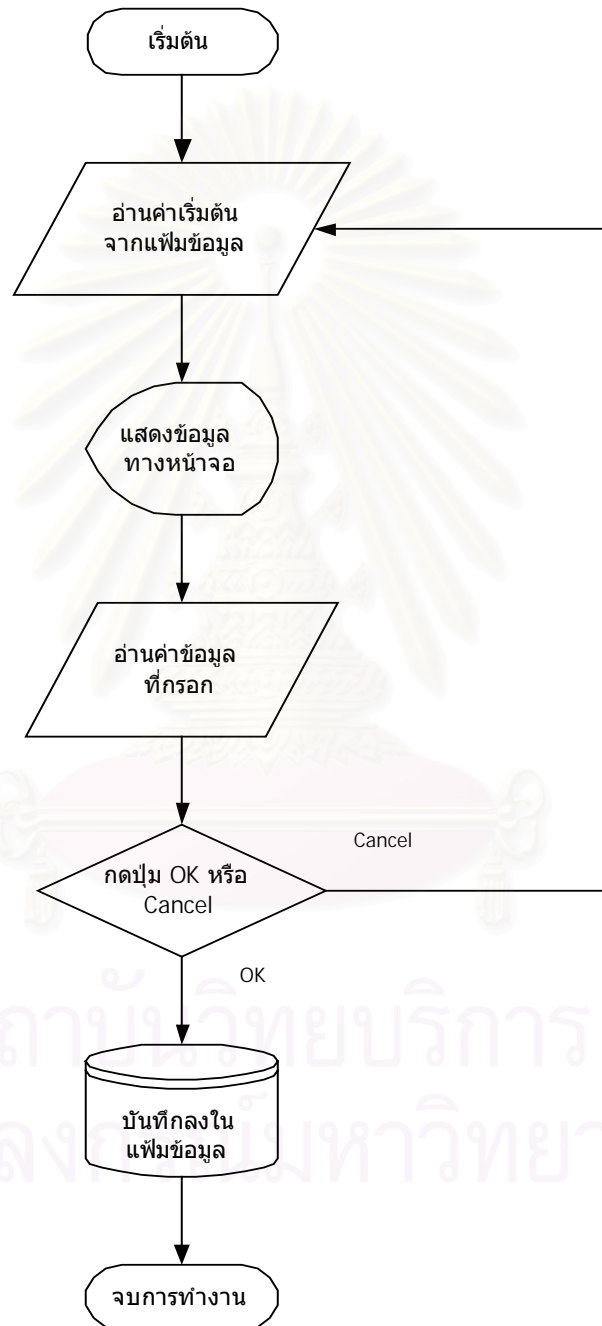
รูปที่ 4.3 หน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้น

มีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

- ส่วนการตั้งค่าทั่วไปของเครื่องจักรกลหมุน หน้าทีรับข้อมูลของเครื่องจักรกลหมุน ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องจักร ขนาดของกำลังไฟฟ้า ขนาดของเพลลา ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ จำนวนใบพัด
- ส่วนกำหนดประเภทของเครื่องจักรกลหมุน
- ส่วนกำหนดเครื่องมือวัดที่ใช้
- ส่วนกำหนดลักษณะของเพลลา
- ส่วนกำหนดลักษณะเฉพาะของลูกปืน

- ส่วนกำหนดช่องสัญญาณในการรับค่าสัญญาณเข้า
- ส่วนแสดงขอบเขตของการสิ้นสุดของเครื่องจักรที่ได้รับค่าจากการป้อนข้อมูล

โดยหลักการทำงานของหน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้นเป็นดังรูปที่ 4.4

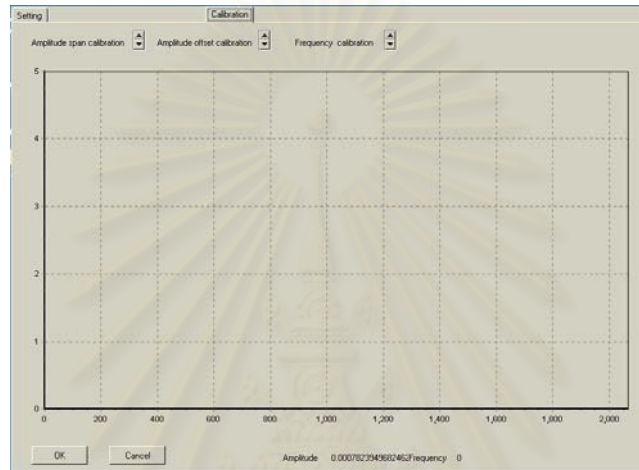


รูปที่ 4.4 โครงสร้างการทำงานของหน้าต่างการรับค่าเริ่มต้น

4.5.2 หน้าต่างการสอบเทียบโปรแกรม

หน้าต่างนี้จะมีหน้าที่ในการปรับค่าสัญญาณในตัวโปรแกรมเอง เพื่อใช้ในการปรับค่าที่วัดได้ให้ตรงกับค่าจริงโดยจะมีอยู่ 2 ส่วนในการปรับค่า คือส่วนที่เป็นความถี่ กับส่วนที่เป็นขนาด

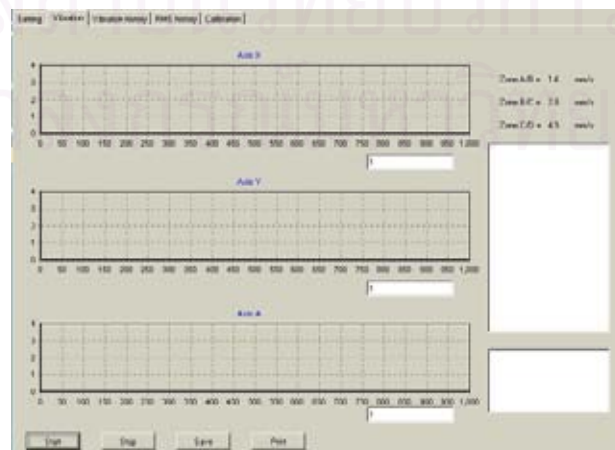
ในส่วนที่เป็นขนาดของสัญญาณจะมีตัวปรับอยู่ 2 ส่วน คือปุ่ม Offset สำหรับปรับค่าออฟเซตและปุ่ม Span สำหรับปรับค่าช่วงของสัญญาณ แต่ในส่วนของความถี่จะมีแต่ส่วนการปรับค่าช่วงของสัญญาณเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการ คำนวณด้วยฟาสฟูริเยร์จะไม่มี ความผิดพลาดทางด้านออฟเซต



รูปที่ 4.5 หน้าต่างการสอบเทียบโปรแกรม

4.5.3 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น

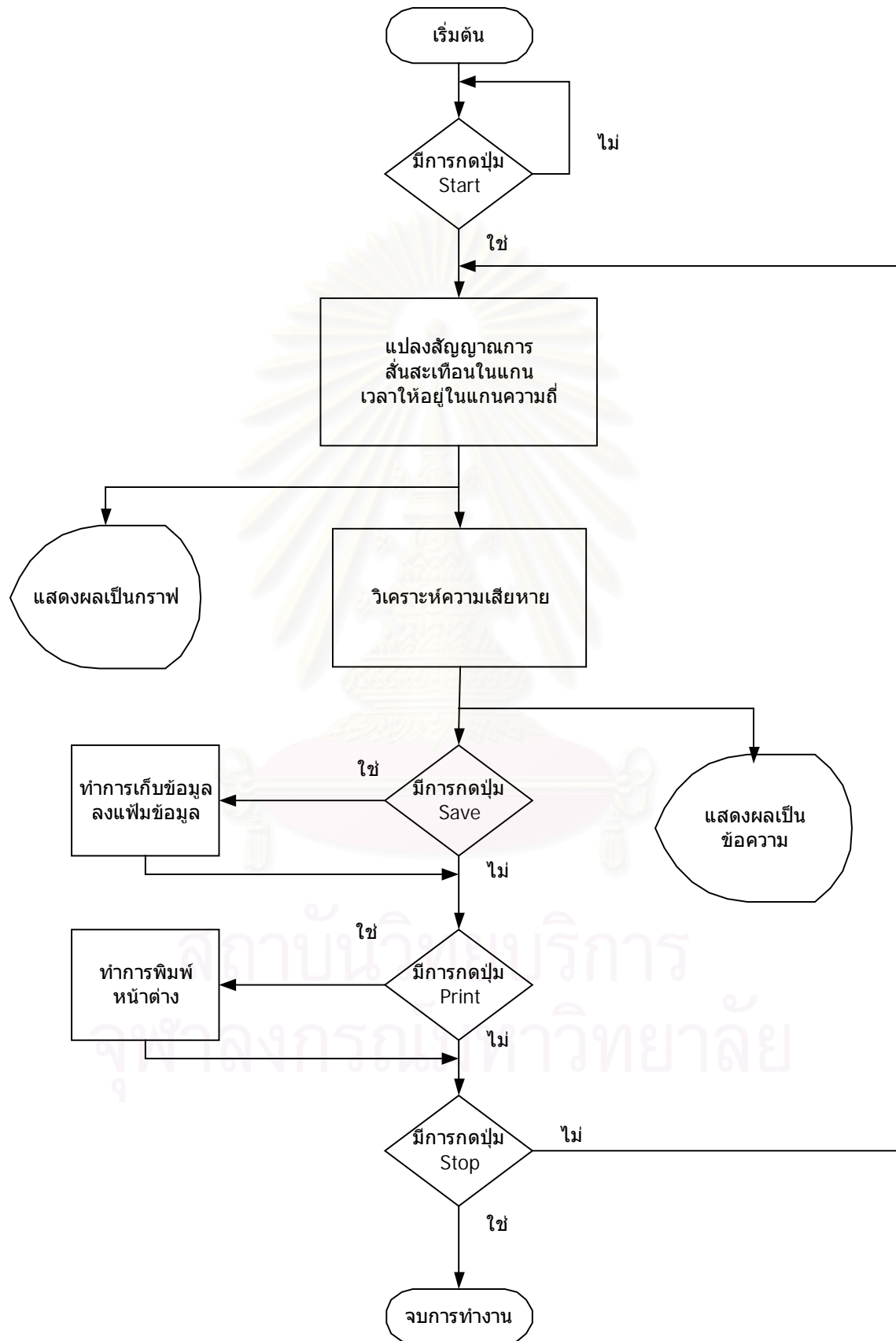
โดยหน้าต่างนี้จะทำหน้าที่ในการแสดงลักษณะการสั่นสะเทือนในแกนความถี่, ผลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน, ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณการสั่นสะเทือนทั้ง 3 แกน, และค่าขอบเขตการแบ่งช่องของสัญญาณการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816 –1[9], ISO 10816 –2[10] และ ISO 10816 – 3[11] (ดูในภาคผนวก)



รูปที่ 4.6 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น

โดยหน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั้นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น มีการทำงานดังรูปที่

4.7

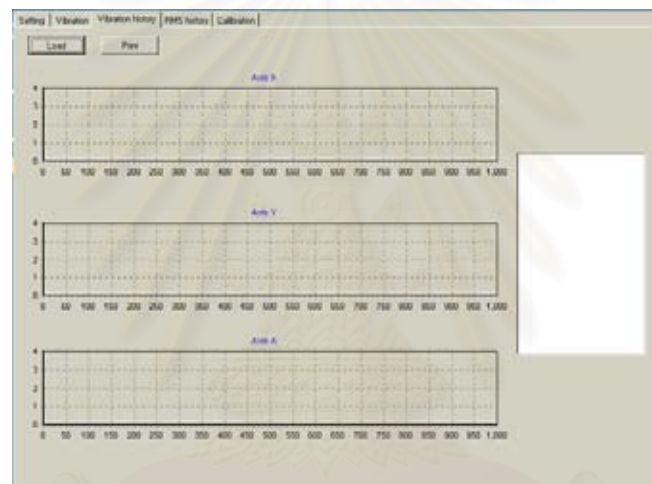


รูปที่ 4.7 โครงสร้างโปรแกรมการแสดงผลสัญญาณการสั้นสะเทือนที่วัดได้ในขณะนั้น

มีรายละเอียดของหน้าต่างดังนี้

- กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในแกนความถี่
- ส่วนแสดงค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณ
- ส่วนแสดงลักษณะที่ผิดปกติของเครื่องจักร
- ส่วนแสดงขอบเขตสภาวะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
- ส่วนแสดงขอบเขตที่เครื่องจักรอยู่
- ปุ่มรับค่า ได้แก่ ปุ่มเริ่มการทำงาน ปุ่มหยุดการทำงาน ปุ่มพิมพ์ และปุ่ม เก็บข้อมูล

4.5.4 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล



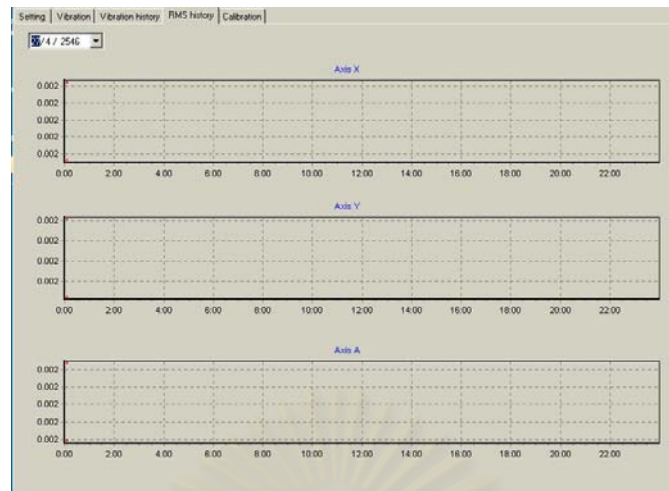
รูปที่ 4.8 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล

หน้าต่างนี้ทำหน้าที่ในการแสดงผลค่าการสั่นสะเทือนในแกนความถี่ที่ได้จัดเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลซึ่งจะสามารถเรียกมาตรวจสอบได้ว่าลักษณะการสั่นสะเทือนในอดีตมีลักษณะอย่างไร

โดยหน้าจอจะมีปุ่ม Load และปุ่ม Print ซึ่ง ปุ่ม Load ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ทำการเก็บในแฟ้มข้อมูลมาดู ส่วนปุ่ม Print จะทำหน้าที่ในการพิมพ์หน้าต่างนี้

4.5.5 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เก็บอยู่ในรูปรากกำลังสองเฉลี่ย

ทำหน้าที่แสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่อยู่ในรูปรากกำลังสองเฉลี่ยที่ถูกเก็บลงในฐานข้อมูลเพื่อดูแนวโน้มของการสั่นสะเทือนว่าลักษณะเป็นอย่างไร



รูปที่ 4.9 หน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือน
ที่เก็บอยู่ในรูปกราฟกำลังสองเฉลี่ย

ในหน้าต่างนี้จะมีวันที่สำหรับรับค่าว่าต้องการดูข้อมูลในวันที่เท่าไร โดยกราฟจะแสดงผลตั้งแต่เวลา 0:00:00 – 23:59:59 ทั้ง 3 แกน

4.6 โครงสร้างการติดต่อระหว่างโปรแกรมกับการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

การติดต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอกทำโดยผ่านการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลโดยโปรแกรมในส่วนนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนการเริ่มต้น
- ขั้นตอนการเลือกช่องสัญญาณ
- ขั้นตอนการสั่งให้ทำงาน
- ขั้นตอนการรับค่าข้อมูล

โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

4.6.1. ขั้นตอนการเริ่มต้น

เมื่อจะทำการใช้งานการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลรุ่น PA – CP12 จะต้องทำการกำหนดการเริ่มต้นให้กับการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลก่อนซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนดังนี้

- การกำหนดการเริ่มต้นสัญญาณนาฬิกาภายใน การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลรุ่น PA – CP12 ใช้ไอซีเบอร์ 8253/8254 สร้างสัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ 0 ถึง 74 กิโลเฮิรตซ์สำหรับใช้ภายใน เพราะฉะนั้นไม่ว่าจะเลือกโหมดการทำงานใด ไอซี 8253/8254 ต้องถูกสั่งให้เริ่ม

ต้นสร้างสัญญาณขึ้นภายในเมื่อทำการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานให้ โดยการเขียนคำสั่ง 3 คำสั่งตามลำดับดังนี้

เขียน 34H ให้กับไอซี 8253/8254 ไปยังพอร์ต (base+15)

เขียน 36H ให้กับไอซี 8253/8254 ไปยังพอร์ต (base+12)

เขียน 00H ให้กับไอซี 8253/8254 ไปยังพอร์ต (base+12)

การกำหนดค่าเริ่มต้นนี้จะทำให้ไอซีเบอร์ 8253/8254 ทำงานในโหมดสองคือทำการสร้างสัญญาณขาออกรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) และสัญญาณนาฬิกา 74.074 กิโลเฮิร์ตซ์

- การกำหนดคำสั่งเริ่มต้นไปยังพอร์ต การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลรุ่น PA – CP12 จะกำหนดคำสั่งไปยังพอร์ต Base+3 เพื่อหาแหล่งเกิดสัญญาณทริก การสั่งเริ่มต้นคำสั่งไปยังพอร์ตสามารถทำได้โดยการเขียนสั่งไปยังพอร์ต Base+3

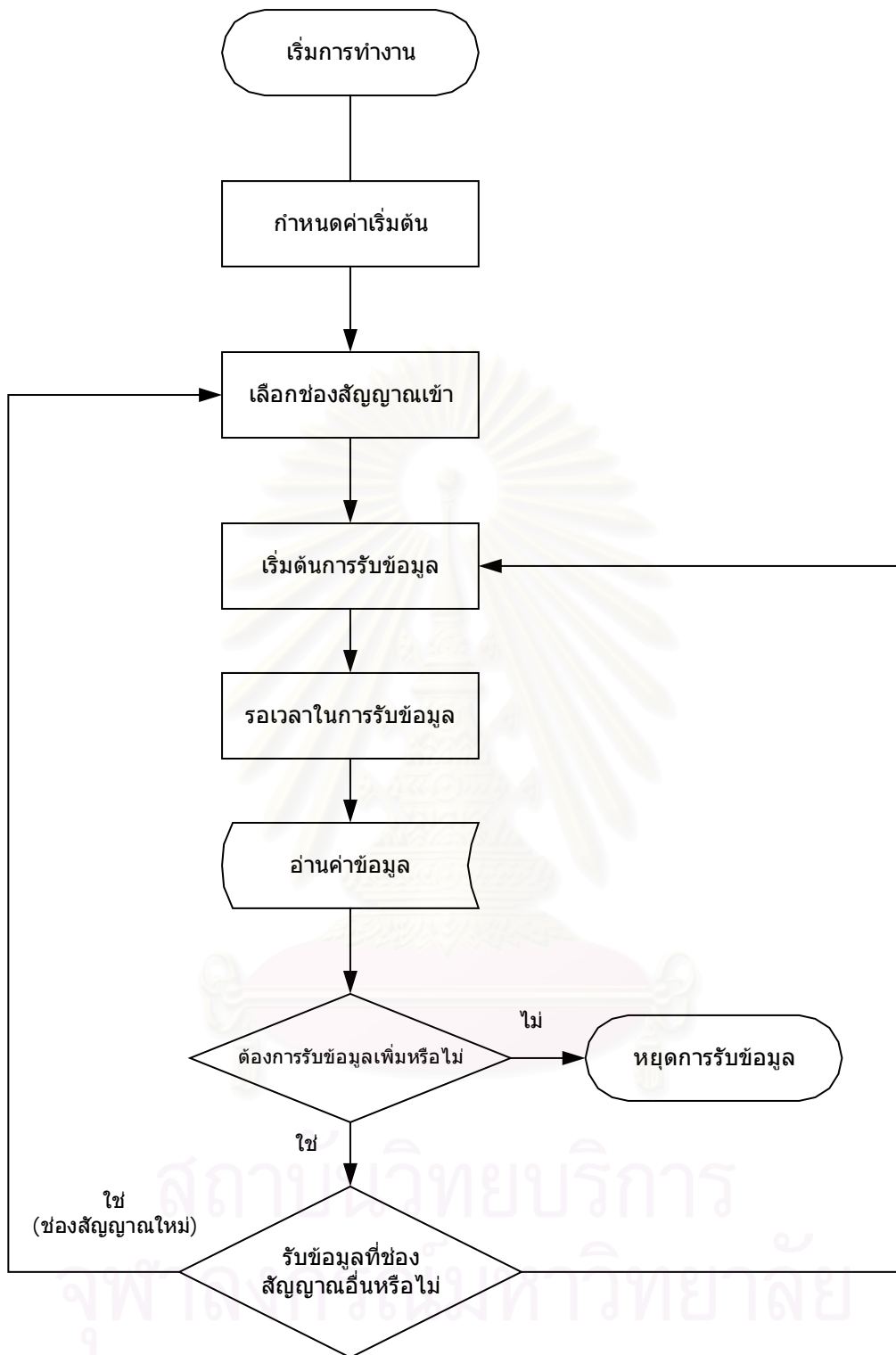
4.6.2. ขั้นตอนการเลือกช่องสัญญาณ

การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลรุ่น PA – CP12 สามารถรับสัญญาณอินพุตทั้งสิ้น 16 ช่องสัญญาณ การเลือกช่องสัญญาณจะใช้โปรแกรมกำหนดช่องสัญญาณที่จะทำการดึงตัวอย่างข้อมูล โดยถูกเขียนคำสั่งไปยังพอร์ต Base+2 ช่องสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าสู่การมัลติเพล็กซ์ การเปลี่ยนไปอ่านช่องสัญญาณอื่นควรรออย่างน้อย 1 ไมโครวินาที

4.6.3 ขั้นตอนการทำการรับข้อมูล

การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลรุ่น PA – CP12 จะสร้างสัญญาณเพื่อเริ่มการสุ่ม การ์ดจะเริ่มแปลงสัญญาณนำเข้าจากช่องสัญญาณแอนะล็อกที่ถูกเลือกไปเป็นสัญญาณ 12 บิตดิจิทัล วิธีการสั่งให้การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำงานจะเริ่มต้นเมื่อเขียน(ค่าใดก็ได้) ไปยังพอร์ต Base+0 โดยมีลักษณะการทำงานดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการติดต่อกับฮาร์ดแวร์

4.7 โครงสร้างของฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลถูกใช้ในการจัดเก็บข้อมูลซึ่งเป็นค่าสัญญาณรบกวนกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณการสั่นสะเทือน เพื่อเป็นตัวตรวจสอบว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เวลาใดเกินระดับมาตรฐานหรือที่กำหนดไว้ซึ่งค่าที่จัดเก็บนั้นจะจัดเก็บแบบเวลาจริงทุกๆ 1 วินาที

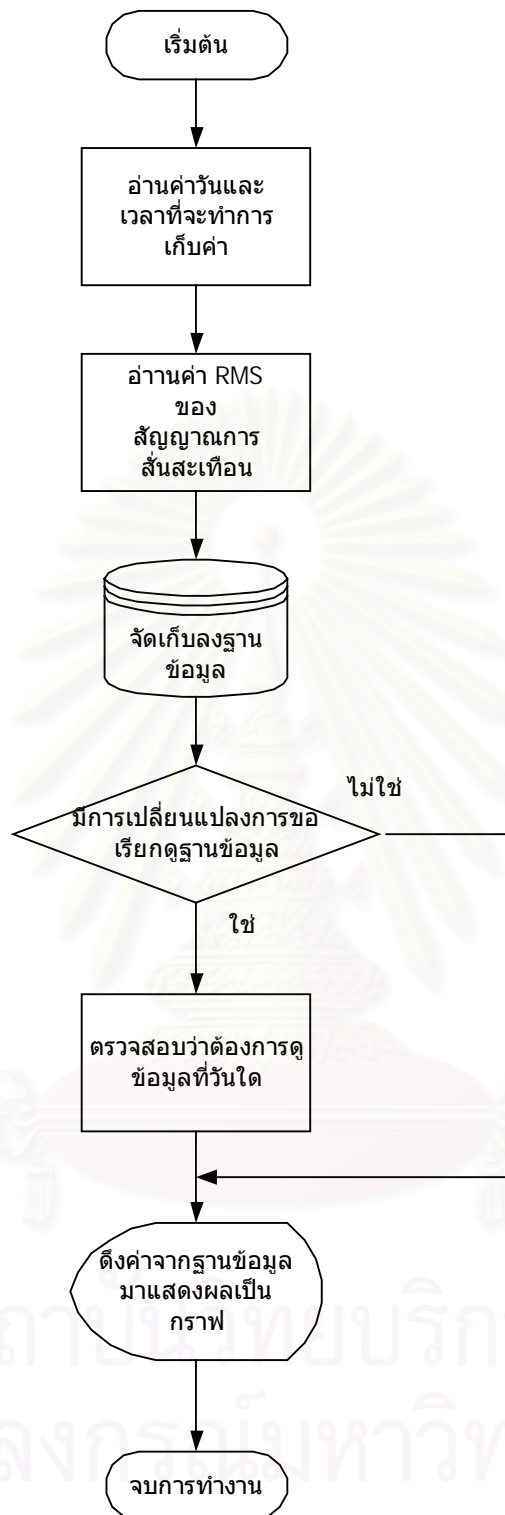
ฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลพาราด็อก ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่อยู่ในโปรแกรมเดลไฟเอง ทำให้มีความเข้ากันได้เป็นอย่างดี ฐานข้อมูลนี้จัดเก็บเป็นนามสกุล .DB โดยตารางจะมีหลักในการค้นหาเป็นวันและเวลาที่จัดเก็บ ทั้งนี้เพื่อสำหรับการอ้างอิงข้อมูลในการค้นหาฐานข้อมูลนั้นๆ

ลักษณะของฐานข้อมูลที่ออกแบบไว้นั้นจะมีทั้งหมด 4 เขตข้อมูล

1. เขตข้อมูลที่เก็บเป็นค่าวันและเวลา ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลที่เป็นวันและเวลาเพื่อเป็นตัวอ้างอิงในการเรียงลำดับในการค้นหา ซึ่งเป็นตัวหลักของฐานข้อมูล
2. เขตข้อมูลที่เก็บเป็นค่าวัน ใช้สำหรับการคัดเลือกค่าวันที่ต้องการ ในการแสดงผลในกราฟ ที่ใช้ในการแสดงฐานข้อมูล
3. เขตข้อมูลที่เก็บเป็นค่าเวลา ใช้สำหรับเป็นตัวแสดงค่าเวลาต่างๆ ที่มีการเก็บค่าของสัญญาณเข้ามา
4. เขตข้อมูลที่เก็บเป็นค่าสัญญาณรบกวนกำลังสองเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในแนวแกน X ใช้สำหรับเก็บค่าที่วัดในแนวแกน X ได้ลงในฐานข้อมูลที่จัดขึ้น
5. เขตข้อมูลที่เก็บเป็นค่าสัญญาณรบกวนกำลังสองเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในแนวแกน Y ใช้สำหรับเก็บค่าที่วัดในแนวแกน Y ได้ลงในฐานข้อมูลที่จัดขึ้น
6. เขตข้อมูลที่เก็บเป็นค่าสัญญาณรบกวนกำลังสองเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนในแนวแกน A ใช้สำหรับเก็บค่าที่วัดในแนวแกน A ได้ลงในฐานข้อมูลที่จัดขึ้น

ในส่วนของการเก็บข้อมูลได้นำภาษาฐานข้อมูลมาตรฐาน ที่เรียกกันว่า ภาษา SQL มาใช้ในการจัดเก็บ เนื่องจากเป็นภาษาที่มีรูปแบบเข้าใจง่าย ใช้กับฐานข้อมูลได้แทบทุกประเภท และเข้าถึงข้อมูลโดยไม่เกิดข้อผิดพลาด ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความผิดพลาดน้อย

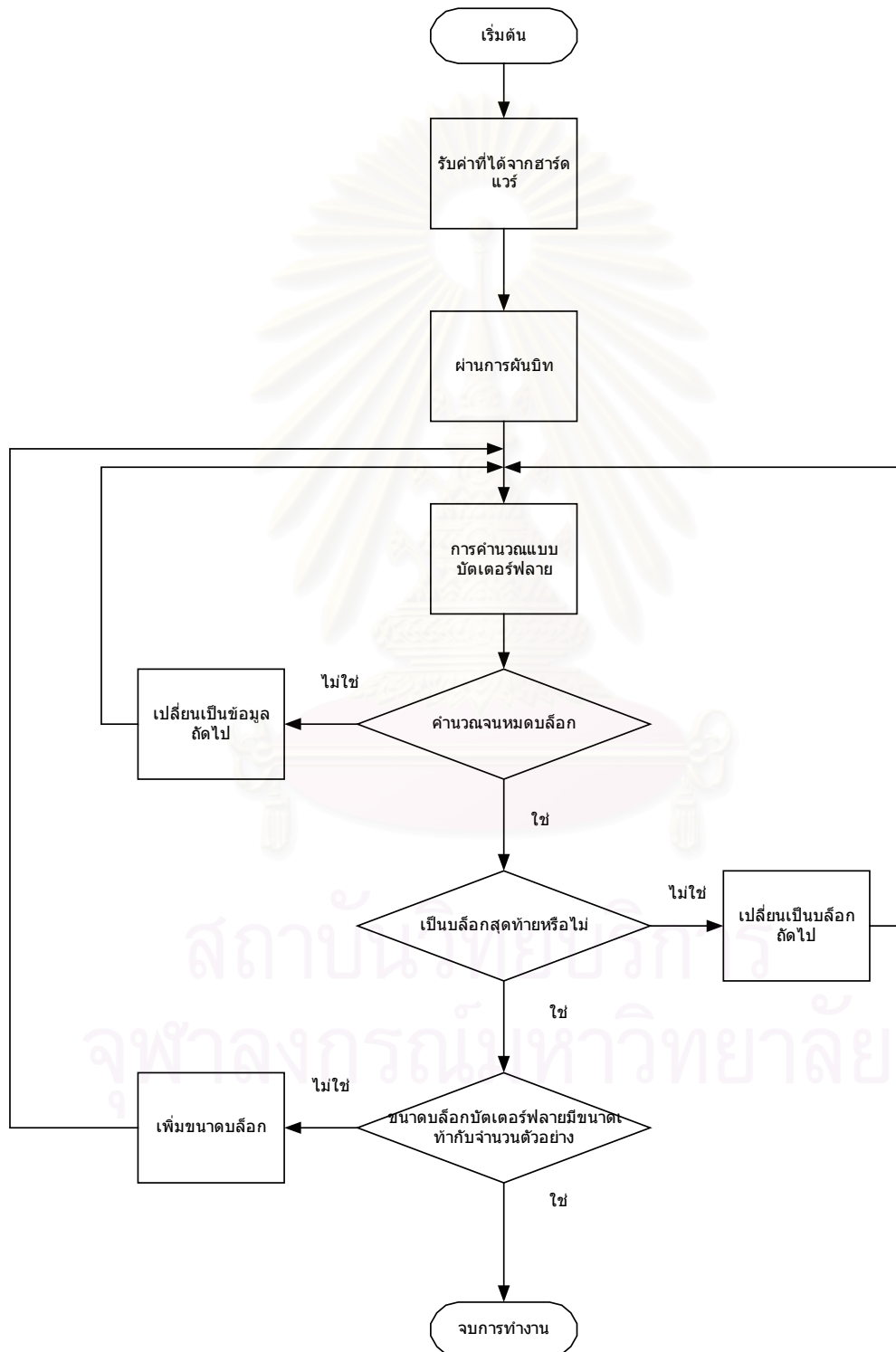
การเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลจะทำการเก็บค่าไปเรื่อยๆ ตามเวลาที่มีการเปิดโปรแกรมให้ทำงานโดยจะเก็บค่าตามที่กล่าวแล้วไว้ในส่วนการออกแบบฐานข้อมูล ซึ่งจะมีลักษณะโครงสร้างการทำงานของโปรแกรกดังนี้



รูปที่ 4.11 โครงสร้างโปรแกรมการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล

4.8 โครงสร้างโปรแกรมในส่วนแปลงสัญญาณการสั้นสะท้อนในแกนเวลาให้อยู่ในแกนความถี่

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณในแกนเวลาให้เป็นสัญญาณในแกนความถี่โดยใช้วิธีการแปลงแบบฟาสฟูริเยร์



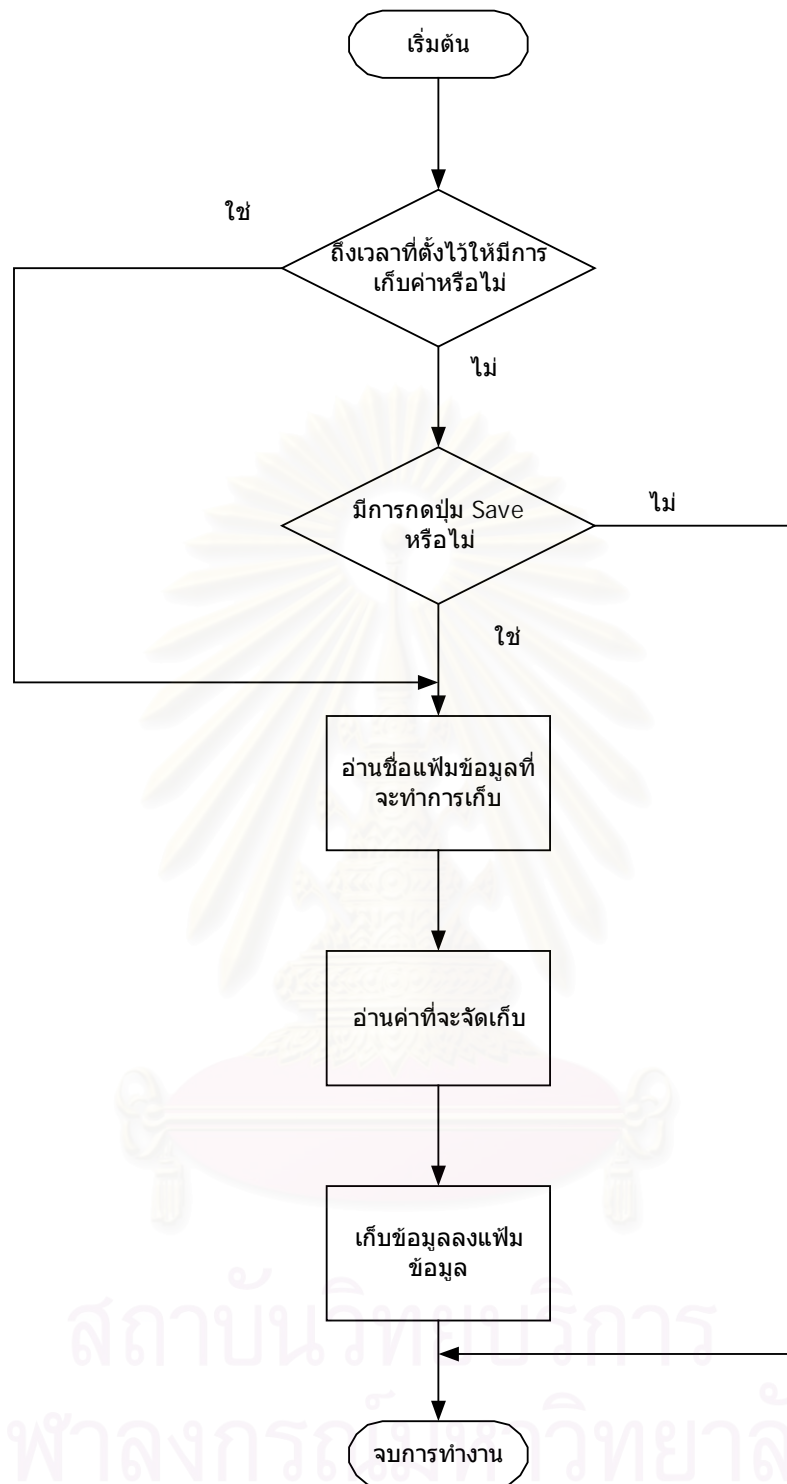
รูปที่ 4.12 โครงสร้างโปรแกรมการแปลงสัญญาณในแกนเวลาเป็นสัญญาณในแกนความถี่ (FFT)

หลักการคำนวณมีดังนี้ (ดูรูปที่ 2.8 ประกอบ)

- โดยเริ่มต้นจะรับค่าที่ได้มาจากฮาร์ดแวร์โดยจำนวนค่าที่รับนั้นจะต้องมีค่าเป็นกำลังของ 2 เช่น 8, 16, 32, 64, ...
- จากนั้นจะทำการเรียงลำดับใหม่ด้วยการผันบิต
- แบ่งกลุ่มการคำนวณโดยเริ่มแรกแบ่งเป็นกลุ่มละ 2 ค่าโดยเป็นค่าที่ติดกัน จะได้ทั้งหมดเป็นจำนวนค่าที่รับมาทั้งหมด (N) หรือ 2 กลุ่ม
- คำนวณแบบบิตเตอร์ฟลายในแต่ละกลุ่มโดยจะคำนวณกลุ่มละ 1 ชุดจากนั้นจะเพิ่มขนาดของชุดการคำนวณโดยการเพิ่มเป็น 2 เท่าของที่ผ่านมา จาก 2 เป็น 4 และมี N หรือ 4 กลุ่ม
- คำนวณแบบบิตเตอร์ฟลายในแต่ละกลุ่มโดยจะทำการคู่กับค่าที่ห่างจากตัวมันเอง 2 ค่า ทำจนครบ
- เพิ่มขนาดชุดคำนวณเป็น 2 เท่าของที่ผ่านมา จาก 4 เป็น 8 และมี N หรือ 8 กลุ่ม
- คำนวณแบบบิตเตอร์ฟลายในแต่ละกลุ่มโดยจะทำการคู่กับค่าที่ห่างจากตัวมันเอง 4 ค่า ทำจนครบ
- เพิ่มขนาดชุดคำนวณเป็น 2 เท่าของที่ผ่านมา จาก 8 เป็น 16 และมี N หรือ 16 กลุ่ม
- คำนวณแบบบิตเตอร์ฟลายในแต่ละกลุ่มโดยจะทำการคู่กับค่าที่ห่างจากตัวมันเอง 8 ค่า ทำจนครบ
- คำนวณในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะมีขนาดชุดในการคำนวณเท่ากับ N ค่า มี 1 กลุ่ม และคู่ของบิตเตอร์ฟลาย ห่างกัน N หรือ 2 ค่า

4.9 โครงสร้างโปรแกรมการจัดเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล

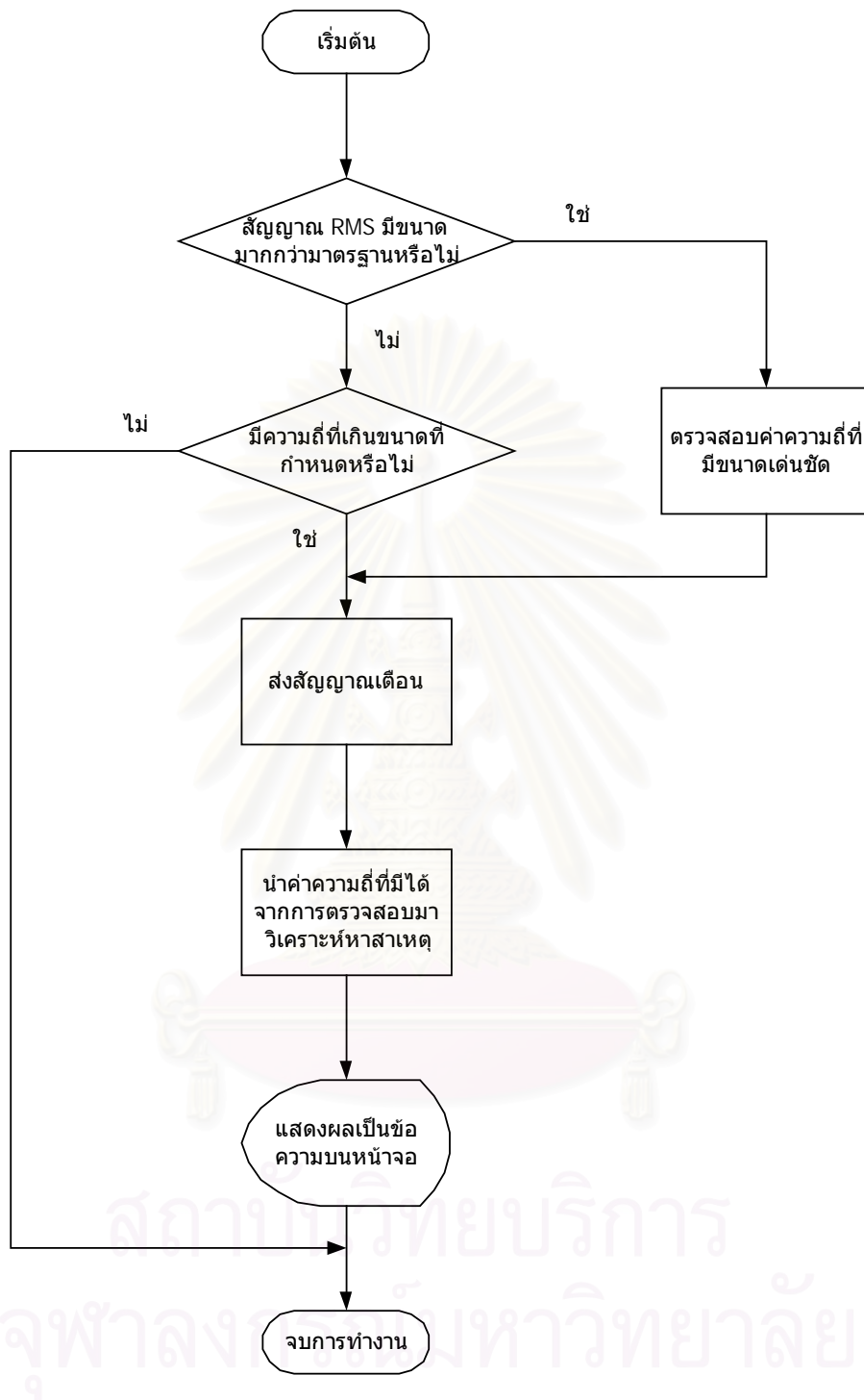
การเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูลนั้นจะทำการเก็บเป็นช่วงเวลา โดยจะจัดเก็บวันละ 1 ครั้งหรือถ้าต้องการจะจัดเก็บข้อมูลเพิ่มเองก็สามารถทำได้โดยกดปุ่ม Save ในหน้าต่างการแสดงผล สัญญาณการสิ้นสุดที่วัดได้ในขณะนั้น ซึ่งจะมีโครงสร้างการทำงานของโปรแกรกดังนี้



รูปที่ 4.13 โครงสร้างโปรแกรมการเก็บข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล

4.10 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการวิเคราะห์ความเสียหาย

ทำหน้าที่รับค่าสัญญาณการสั้นสะพานที่อยู่ในแกนความถี่แล้วมาพิจารณาว่าสัญญาณนี้มีความผิดปกติหรือไม่ถ้ามีเกิดจากสาเหตุใด โดยมีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.14 โครงสร้างของโปรแกรมการวิเคราะห์ความเสียหาย

มาตรฐาน ISO 10816 [9][10][11] เป็นมาตรฐานการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยมี การกำหนดขอบเขตการแบ่งระดับค่าการสั่นสะเทือนไว้ 4 ขอบเขต [9][10][11] คือ ขอบเขตที่ 1 (Zone A) สัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่เริ่มใช้งานควรจะตกอยู่ในขอบเขตนี้

ขอบเขตที่ 2 (Zone B) โดยปรกติการสั้นสะเทือนของเครื่องจักรที่อยู่ในขอบเขตนี้จะสามารถทำงานได้ต่อไปเป็นเวลานาน

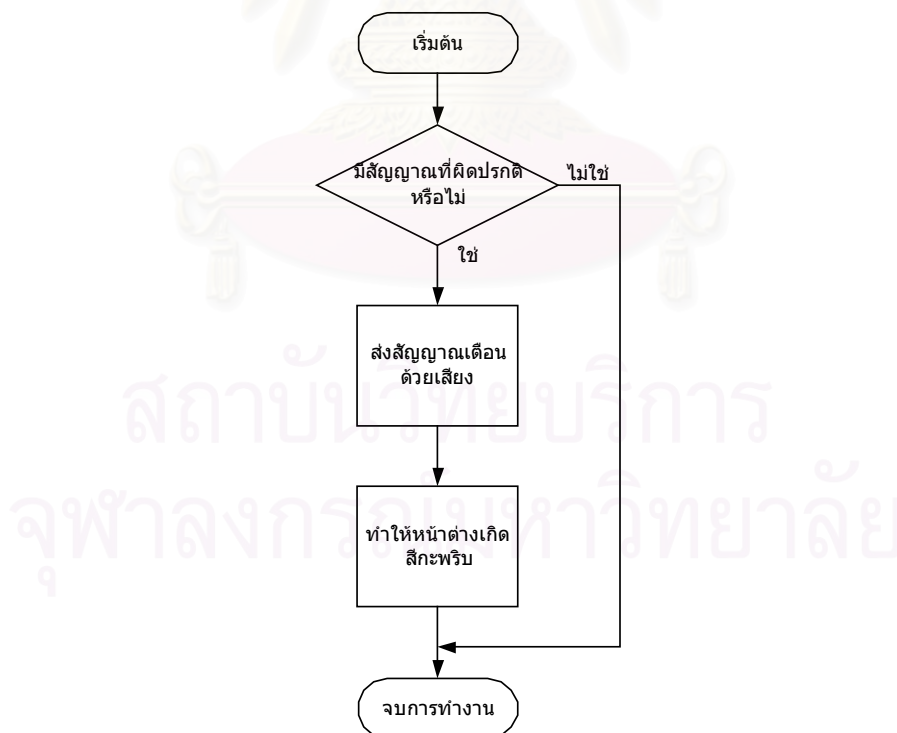
ขอบเขตที่ 3 (Zone C) โดยปรกติการสั้นสะเทือนของเครื่องจักรที่อยู่ในขอบเขตนี้จะไม่ดีพอที่จะทำงานต่อไปเป็นเวลานาน และเครื่องจักรควรจะทำหน้าที่ไม่เกินเวลาที่กำหนดไว้จนกว่าจะมีโอกาสซ่อม

ขอบเขตที่ 4 (Zone D) โดยปรกติการสั้นสะเทือนของเครื่องจักรที่อยู่ในขอบเขตนี้จะมีผลอย่างมากที่จะทำให้เครื่องจักรเสียหาย

และการตั้งค่าแจ้งเตือนตามมาตรฐานจะตั้งค่าอยู่ในขอบเขตที่ 3 โดยจะมีค่าเท่ากับ ค่าแบ่งขอบเขตที่ 2 และ 3 คูณด้วย 1.25

4.11 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการแจ้งเตือน

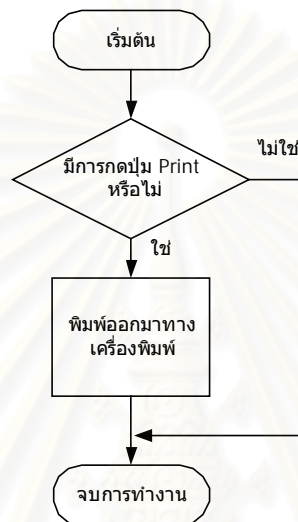
ทำหน้าที่แจ้งเตือนที่พบความผิดปกติของสัญญาณการสั้นสะเทือนโดยมีโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมดังนี้



รูปที่ 4.15 โครงสร้างของโปรแกรมส่วนการแจ้งเตือน

4.12 โครงสร้างโปรแกรมส่วนการพิมพ์ข้อมูล

ทำหน้าที่พิมพ์หน้าตาการทำงานที่กำลังแสดงผลอยู่ ซึ่งหน้าตาการทำงานที่มีโปรแกรมส่วนนี้จะมียู่ 2 หน้าตาด้วยกันคือ หน้าตาการแสดงผลสัญญาณการสิ้นสุดเงื่อนไขที่วัดได้ในขณะนั้น และหน้าตาการแสดงผลสัญญาณการสิ้นสุดเงื่อนไขที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล



รูปที่ 4.16 โครงสร้างของโปรแกรมส่วนการพิมพ์ข้อมูล

4.13 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมโดยรวม

เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน โปรแกรมจะดึงค่าเริ่มต้นที่เคยบันทึกไว้ในแฟ้มข้อมูลมาเป็นค่าเริ่มต้นในปัจจุบัน เพื่อง่ายสำหรับผู้ใช้ที่เคยใช้โปรแกรมนี้มาก่อนแล้ว และไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นอีก แต่ก็ยังรับค่าเริ่มต้นใหม่ได้ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นใหม่ โปรแกรมก็จะเก็บค่าเริ่มต้นลงแฟ้มข้อมูลใหม่อีกครั้ง

หลังจากรับค่าเริ่มต้นมาแล้วโปรแกรมก็จะให้ผู้ใช้เลือกหน้าตาการทำงานว่าจะใช้หน้าตาการทำงานใด โดยถ้าเลือกหน้าตา การสอบเทียบโปรแกรม จะรับค่าจากฮาร์ดแวร์แล้วแปลงค่าสัญญาณการสิ้นสุดเงื่อนไขในแกนเวลาให้เป็นสัญญาณในแกนความถี่ จากนั้นผู้ใช้จะปรับค่าที่ต้องการสอบเทียบให้ถูกต้องแล้วโปรแกรมจะบันทึกค่าที่สอบเทียบแล้วลงในแฟ้มข้อมูล

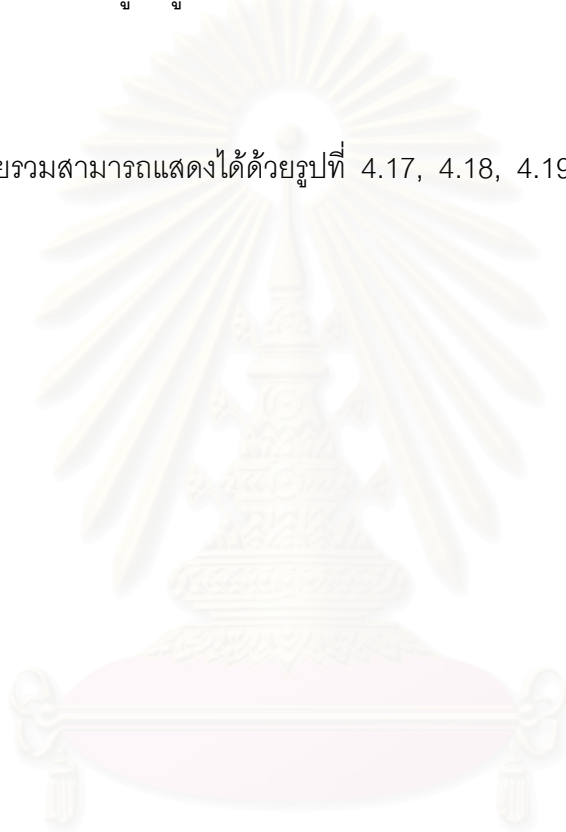
ถ้าผู้ใช้เลือกหน้าตาการแสดงผลสัญญาณการสิ้นสุดเงื่อนไขที่วัดได้ในขณะนั้น โปรแกรมจะรับค่าจากฮาร์ดแวร์แล้วแปลงค่าสัญญาณการสิ้นสุดเงื่อนไขในแกนเวลาให้เป็นสัญญาณในแกนความถี่ จากนั้นจะนำค่าสัญญาณในแกนความถี่มาหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยแล้วนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์สภาพของเครื่องจักร หลังจากนั้นจะเก็บค่าต่างที่คำนวณมา โดย ค่ารากกำลัง

สองเฉลี่ยจะถูกเก็บลงฐานข้อมูล ส่วนสัญญาณการสันตะเทือนในแกนความถี่และผลการวิเคราะห์ จะเก็บอยู่ในแฟ้มข้อมูล จากนั้นจะตรวจสอบผลวิเคราะห์ว่าเครื่องจักรเสียหายหรือไม่ถ้าเสียก็ จะแจ้งเตือนให้ทราบ

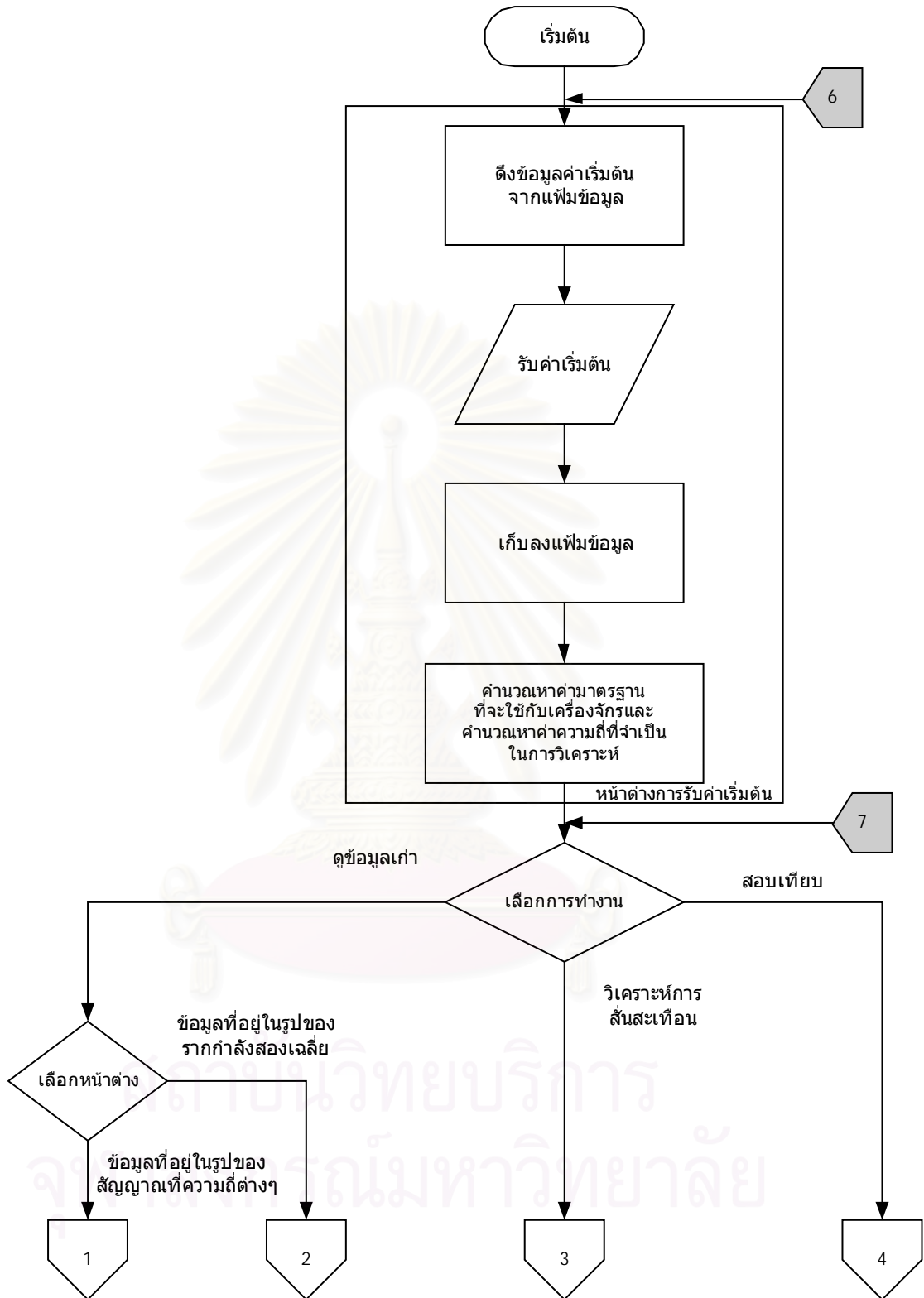
ถ้าผู้ใช้เลือกหน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสันตะเทือนที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล โปรแกรม จะรอรับว่าผู้ใช้ต้องการดูข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลชื่ออะไร และผู้ใช้ต้องการพิมพ์หน้าต่างนี้หรือไม่

ถ้าผู้ใช้เลือกหน้าต่างการแสดงผลสัญญาณการสันตะเทือนที่อยู่ในรูปกำลังสองเฉลี่ย โปรแกรมจะรอรับว่าผู้ใช้ต้องการดูข้อมูลของวันที่เท่าไร จากนั้นโปรแกรมจะไปดึงข้อมูลจากฐาน ข้อมูลลงมาแสดงผล

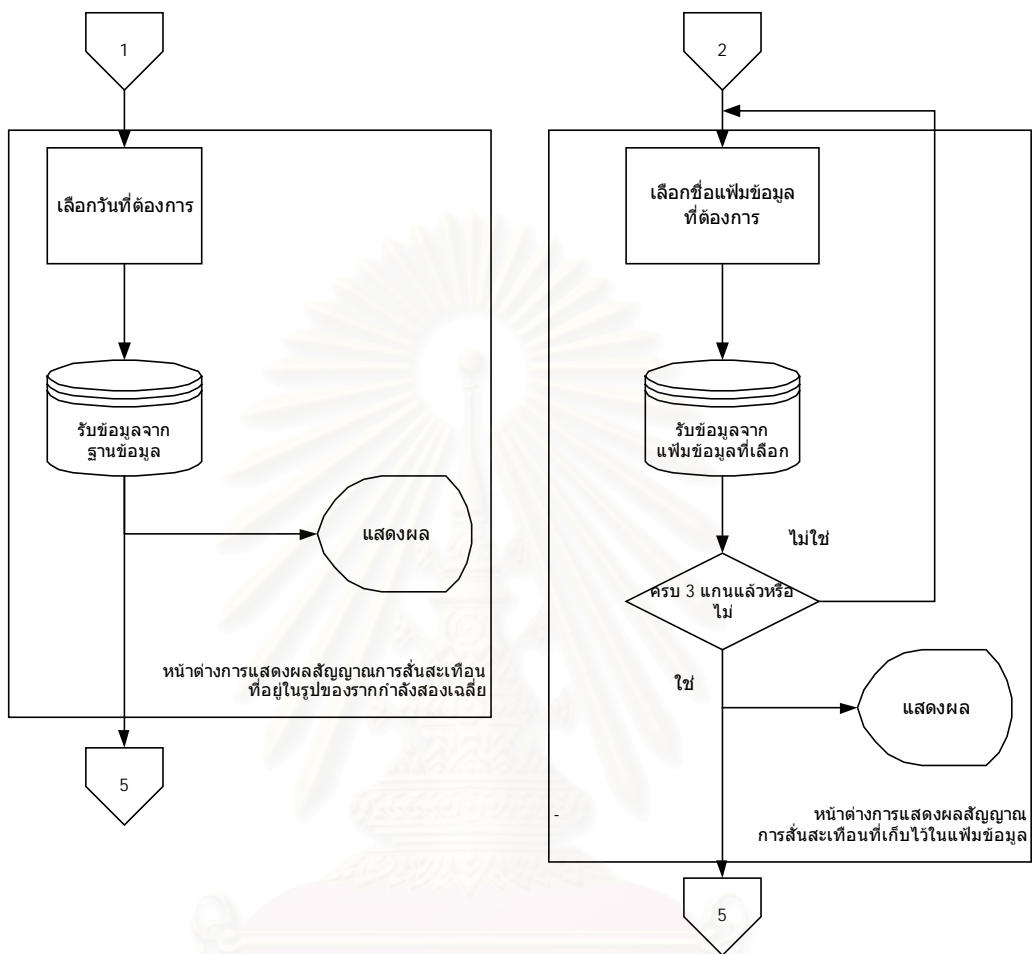
โครงสร้างโปรแกรมโดยรวมสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19 และ 4.20 ดังต่อไปนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

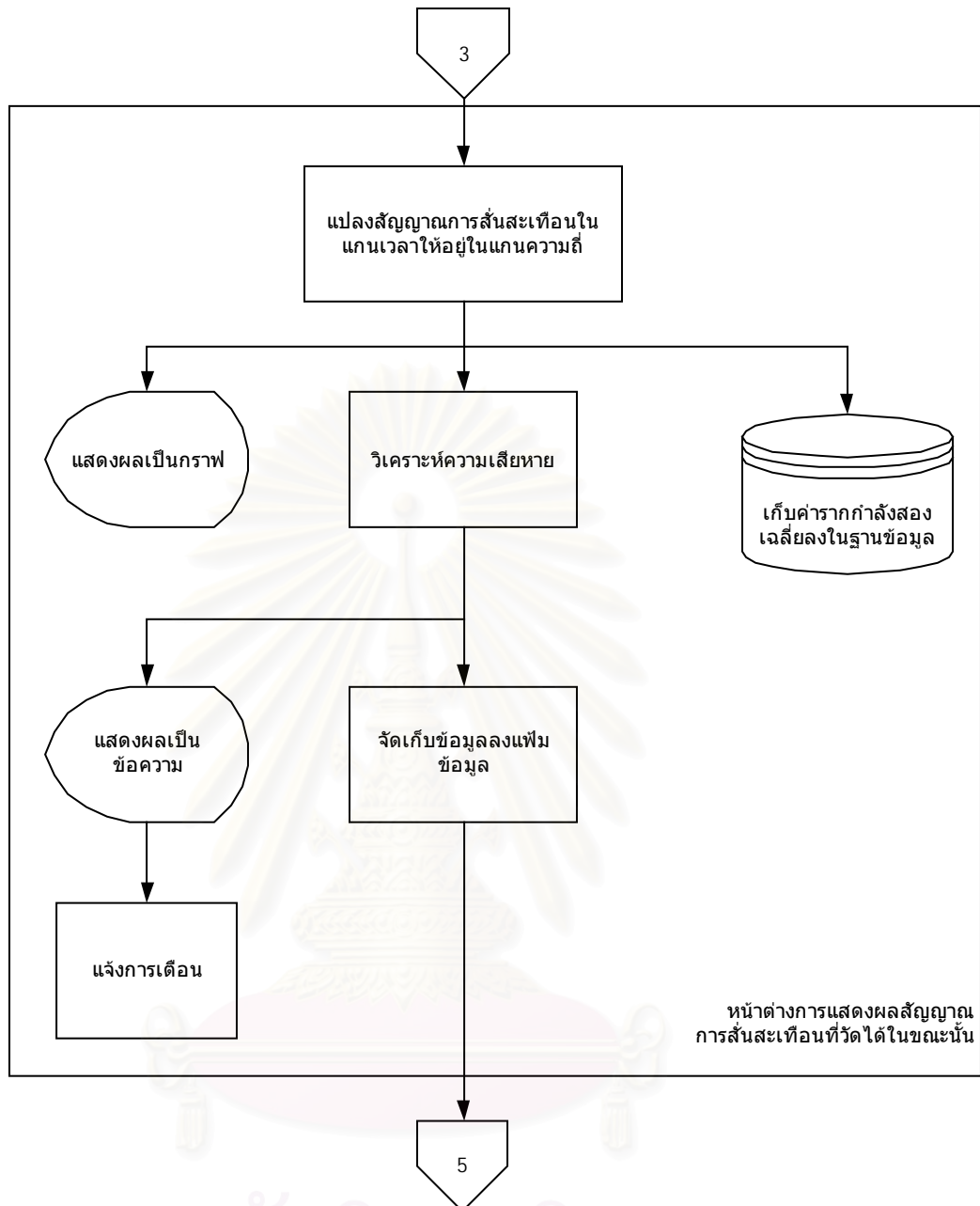


รูปที่ 4.17 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม



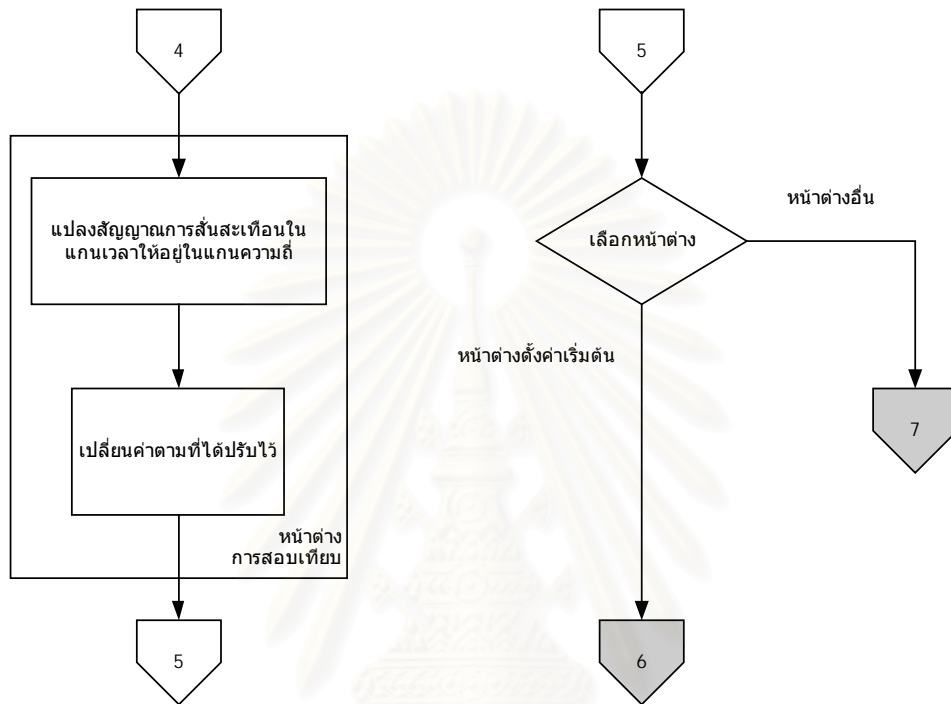
รูปที่ 4.18 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 โครงสร้างของโปรแกรมโดยรวม (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยผู้วิจัยได้เดินทางไปหาข้อมูลและศึกษาการทำการบำรุงรักษาแบบการคาดการณ์ความเสียหายที่ โรงไฟฟ้า (ฝ่ายบำรุงรักษา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี) และ โรงงานผลิตเหล็ก (บริษัท สยามยามาโตะจำกัด จังหวัดระยอง) หน่วยงานทั้งสองได้เริ่มทำการบำรุงรักษาแบบการคาดการณ์ความเสียหายมาซัก 2 – 4 ปีแล้ว โรงไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่ได้ทำการบำรุงรักษาแบบการคาดการณ์ความเสียหายได้แก่ โรงไฟฟ้าราชบุรี โดยได้ทำการจัดซื้อซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเพื่อการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลของการสั่นสะเทือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดแผนการหยุดโรงไฟฟ้าเพื่อการซ่อมบำรุง อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลเฉพาะของซอฟต์แวร์สำเร็จรูปดังกล่าว ไม่สามารถนำมาใช้กับงานวิจัยได้ โรงงานผลิตเหล็กที่ได้เดินทางไปหาข้อมูลก็ได้มีการทำการบำรุงรักษาแบบการคาดการณ์ความเสียหาย โดยได้ว่าจ้างบริษัทผู้ผลิตมอเตอร์และระบบควบคุม (บริษัท ABB จำกัด) เป็นผู้ดำเนินการดูแลมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศทิ้งของโรงงาน บริษัทดังกล่าวได้ทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยอุปกรณ์วัดแบบพกพาแล้วนำเอาข้อมูลไปป้อนให้โปรแกรมวิเคราะห์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หลังจากที่ได้ผลการวิเคราะห์ บริษัทก็จัดส่งเอกสารรายงานผลการวิเคราะห์ให้โรงงานผลิตเหล็ก จากการเดินทางไปศึกษาเพื่อหาข้อมูลที่โรงผลิตเหล็กปรากฏว่า มอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศทิ้งที่ทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือนดังกล่าวเคยหยุดการทำงานเพื่อซ่อมบำรุงจากการตรวจวัดดังกล่าวเพียงครั้งเดียว ผู้วิจัยได้ติดต่อขอข้อมูลการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะมอเตอร์เริ่มเสียหาย แต่ไม่สามารถหาได้

จากการศึกษาข้อมูลจริงจากหน่วยงานทั้งสอง แม้ว่าจะไม่สามารถนำเอาสัญญาณจริงจากเครื่องจักรกลหมุนมาใส่ในงานวิจัย แต่ก็สามารถสรุปความต้องการของผู้ใช้และลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนที่แสดงว่าเครื่องจักรหมุนเริ่มเสียหายได้

5.2 วิธีการทดสอบ

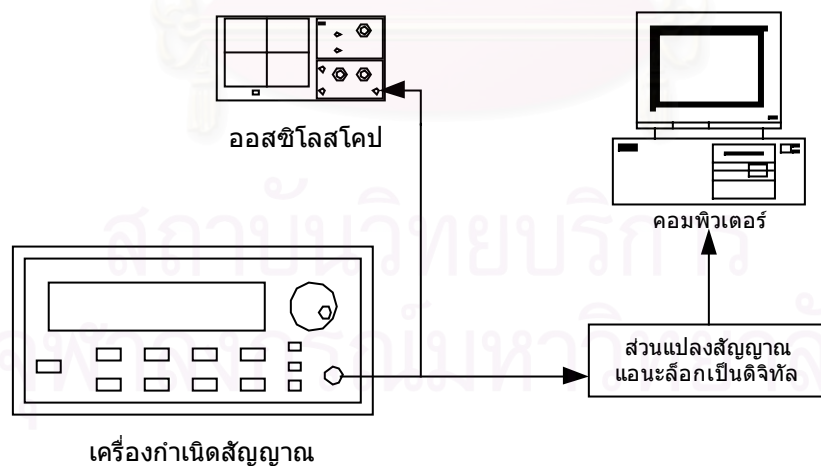
การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยข้อมูลจากการวัดการสั่นสะเทือนจริง ๆ ขณะเครื่องจักรหมุนเริ่มเสียแต่ละลักษณะ ทำได้ยากมาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัยแทน การทดสอบจะอาศัยเครื่องกำเนิดสัญญาณที่สามารถสร้างสัญญาณไฟ

ฟ้าที่เหมือนกับสัญญาณการสั้นสะเทือนขณะเครื่องจักรหมุนเสียหายทั้ง 7 ลักษณะตามตาราง 2.1 และ 2.2 สัญญาณไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปป้อนเพื่อทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้คือ Function Generator/Arbitrary Waveform Generator ของ Agilent รุ่น 33120A ดังรูปที่ 5.1 จึงสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าเพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมได้ครบทั้ง 7 ลักษณะ การทดสอบสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณ Function Generator/Arbitrary Waveform Generator ของ Agilent รุ่น 33120A



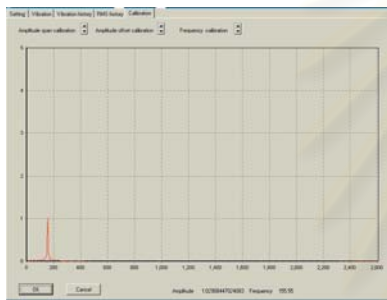
รูปที่ 5.2 วิธีการทดสอบ

5.3 ผลการทดสอบและข้อสรุป

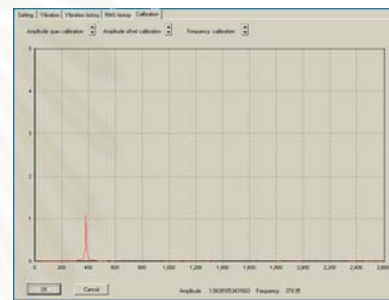
การทดสอบจะมี 2 ขั้นตอน เริ่มจากการทดสอบความสามารถเชิงความถี่ของโปรแกรมซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ความถี่ต่าง ๆ เพื่อหาข้อจำกัดของระบบในด้านความถี่ จากนั้นจะทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมโดยการป้อนสัญญาณจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติแบบต่าง ๆ ทั้ง 7 ลักษณะ โดยสัญญาณทั้ง 7 ลักษณะนั้นสามารถใช้สัญญาณชายน์และสัญญาณแบบคาบที่ไม่ใช่ชายน์ (ซึ่งเมื่อนำมาแยกเป็นสัญญาณย่อย ๆ รูปชายน์ได้สูงสุด 10 สัญญาณชายน์) จากเครื่องกำเนิดสัญญาณดังกล่าวสร้างขึ้นได้

5.3.1 การทดสอบความสามารถในการทำงานของโปรแกรม

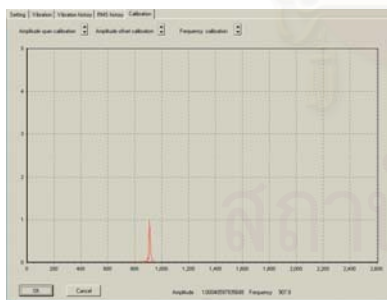
เป็นการทดสอบหาผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ โดยการป้อนสัญญาณขนาดคงที่ (1 โวลต์) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 180 ถึง 1900 เฮิรตซ์ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ



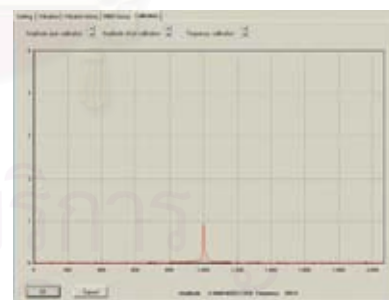
ที่ความถี่ 180 เฮิรตซ์



ที่ความถี่ 385 เฮิรตซ์

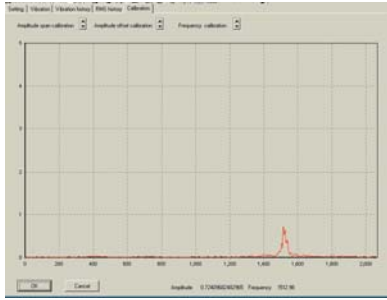


ที่ความถี่ 850 เฮิรตซ์

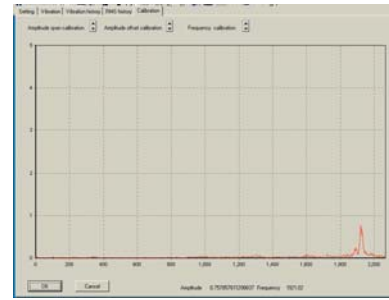


ที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์

รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบการทำงานที่ความถี่ต่างๆ



ที่ความถี่ 1600 เฮิรตซ์



ที่ความถี่ 1900 เฮิรตซ์

รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบการทำงานที่ความถี่ต่างๆ (ต่อ)

จากการทดสอบได้ผลว่าระบบทำงานได้ดีที่ความถี่ไม่เกิน 1000 เฮิรตซ์ ที่ความถี่เกิน 1000 เฮิรตซ์ สัญญาณหลังจากแปลงให้อยู่ในแกนความถี่จะเริ่มลดลง และเริ่มจะมีการแกว่ง

ข้อจำกัดเชิงความถี่ที่ 1000 เฮิรตซ์ เกิดขึ้นเนื่องจากการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีความเร็วของการแปลงสัญญาณไม่สูงนัก หากต้องการปรับปรุงให้ระบบมีข้อจำกัดเชิงความถี่สูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยการเลือกใช้การ์ดที่มีความเร็วของการแปลงสัญญาณสูงขึ้น อย่างไรก็ตามสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรกลเสียหายเกือบทั้งหมดจะมีความถี่สูงสุดไม่เกิน 1000 เฮิรตซ์

5.3.2 ทดสอบการทำงานโดยการป้อนสัญญาณจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติแบบต่างๆ

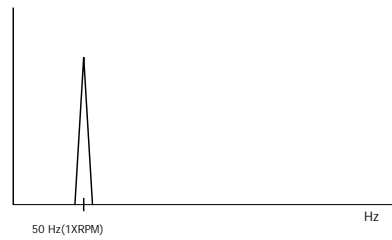
ความผิดปกติแบบต่างๆ สามารถจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 2 แบบ ดังแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2 ได้ดังนี้

5.3.2.1 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีความถี่เดียว

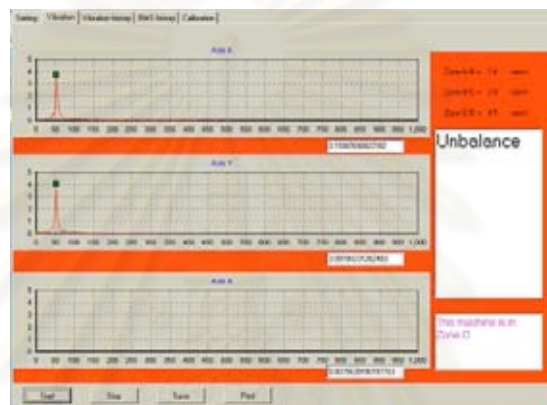
เป็นสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบกรณีที่เกิดการไม่สมดุล เกิดการตัดผ่านใบพัดผิดปกติ เกิดการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่ และตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย

โดยสามารถแสดงผลการทดสอบได้เป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีเกิดการไม่สมดุล



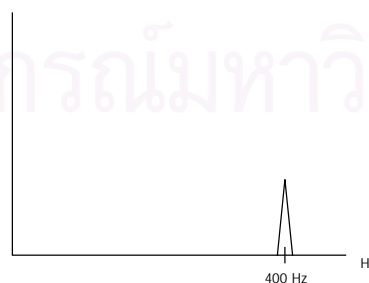
รูปที่ 5.5 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีของกรณีเกิดการไม่สมดุล



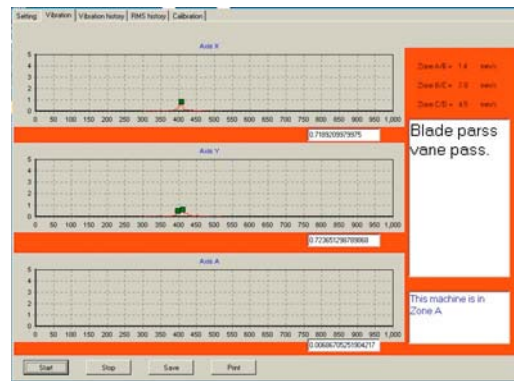
รูปที่ 5.6 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีเกิดการไม่สมดุล

การทดสอบได้กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนเท่ากับ 3000 รอบต่อนาทีหรือมีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนสัญญาณที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แล้วโปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติในกรณีเกิดการไม่สมดุล

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีแรงกระทำจากของไหล



รูปที่ 5.7 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีของกรณีแรงกระทำจากของไหล



รูปที่ 5.8 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีแรงกระทำจากของไหล

การทดสอบได้กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนเท่ากับ 3000 รอบต่อนาทีหรือมีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ และกำหนดให้มีจำนวนใบพัดเท่ากับ 8 ใบ เมื่อป้อนสัญญาณที่มีความถี่ 400 เฮิร์ตซ์แล้ว (จำนวนใบพัดคูณความเร็วรอบ) โปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติในกรณีแรงกระทำจากของไหล

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย



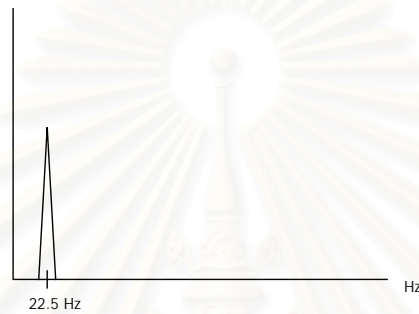
รูปที่ 5.9 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีของกรณีตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย



รูปที่ 5.10 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้ (ซ้าย BPF1, ขวา BPFO)
กรณีตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย

การทดสอบได้กำหนดให้จำนวนลูกปืนเท่ากับ 10 เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปืนเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของตลับลูกปืนเท่ากับ 200 มิลลิเมตร มุมสัมผัสเท่ากับ 20 องศา และความเร็วรอบเท่ากับ 3000 รอบต่อนาที (50 เฮิร์ตซ์) จะได้ค่าBPFI เท่ากับ 523.5 เฮิร์ตซ์และค่า BPFO มีค่าเท่ากับ 476.5 เฮิร์ตซ์เมื่อป้อนสัญญาณที่มีความถี่ 523.5 เฮิร์ตซ์ และ 476.5 เฮิร์ตซ์ โปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติในกรณีตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งเสียหาย

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่



รูปที่ 5.11 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีกรณีการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่



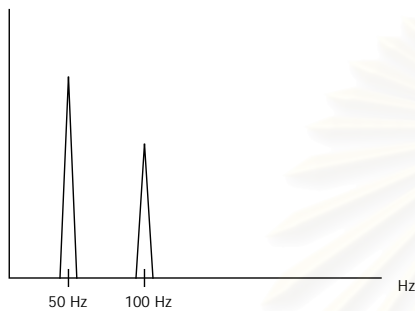
รูปที่ 5.12 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่

การทดสอบได้กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนเท่ากับ 3000 รอบต่อนาทีหรือมีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนสัญญาณที่มีความถี่ 22.5 เฮิร์ตซ์ (0.42 เท่าของความเร็วรอบ) แล้วโปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติในกรณีเกิดการไหลวนของน้ำมันในร่องลื่นไม่คงที่

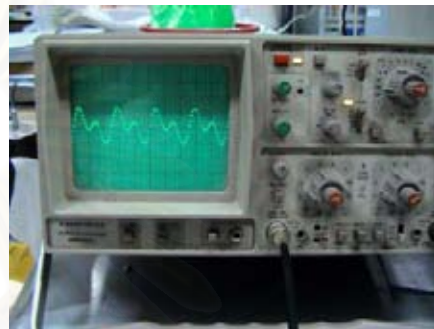
5.3.2.2 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีหลายความถี่ เป็นสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบกรณีที่เกิดการเยื้องแกนหมุน การสึกหรอหรือมีระยะห่าง และการขัดสีชิ้นงานหมุน

โดยสามารถแสดงผลการทดสอบได้เป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีการเยื้องแกน

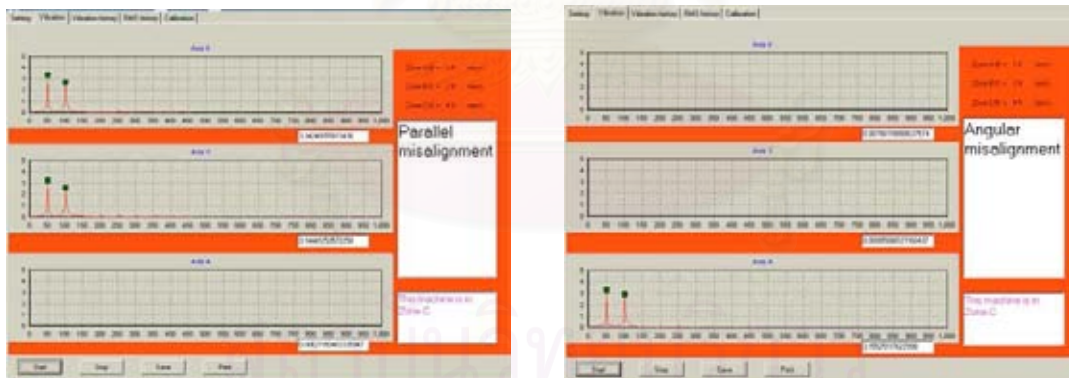


สัญญาณตามทฤษฎี



สัญญาณที่ป้อนเข้า

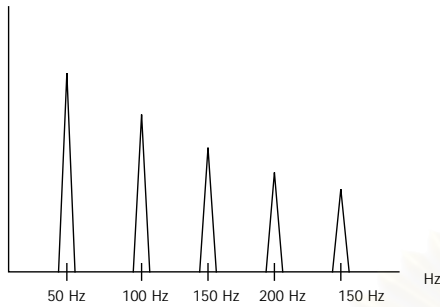
รูปที่ 5.13 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีและสัญญาณที่ป้อนเข้ากรณีการเยื้องแกน



รูปที่ 5.14 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีการเยื้องแกน

การทดสอบได้กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนเท่ากับ 3000 รอบต่ออนาทีหรือมีค่าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์ เมื่อป้อนสัญญาณที่มี 2 ความถี่ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และ 100 เฮิรตซ์ ที่ช่องสัญญาณแกน X และแกน Y แล้วโปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติกรณีการเยื้องแกนแบบขนาน และป้อนสัญญาณป้อนสัญญาณที่มี 2 ความถี่ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์และ 100 เฮิรตซ์ ที่ช่องสัญญาณแกน A แล้วโปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติกรณีการเยื้องแกนแบบเชิงมุม

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนกรณีการสึกหรอหรือมีระยะห่าง

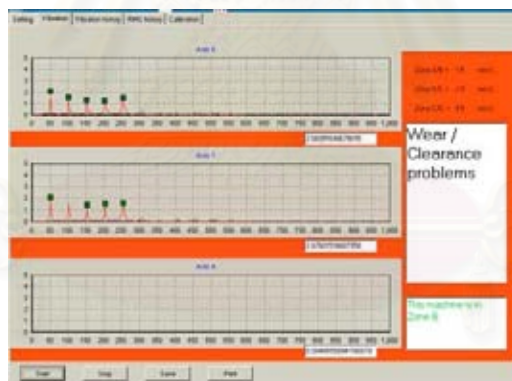


สัญญาณตามทฤษฎี



สัญญาณที่ป้อนเข้า

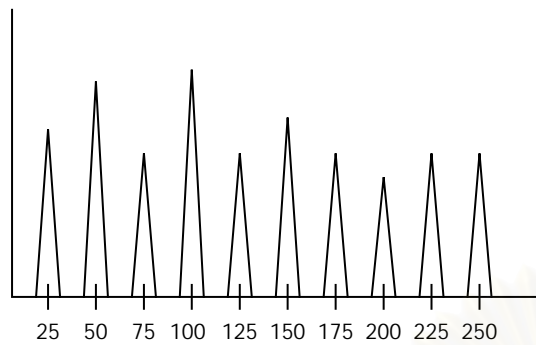
รูปที่ 5.15 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีและสัญญาณที่ป้อนเข้า
กรณีการสึกหรอหรือมีระยะห่าง



รูปที่ 5.16 สัญญาณและผลการวิเคราะห์ที่ได้กรณีการสึกหรอหรือมีระยะห่าง

การทดสอบได้กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนเท่ากับ 3000 รอบต่อนาทีหรือมีค่าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์ เมื่อป้อนสัญญาณที่มี 5 ความถี่ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์, 100 เฮิรตซ์, 150 เฮิรตซ์, 200 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ แล้วโปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติกรณีการสึกหรอหรือมีระยะห่าง

- ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนในกรณีการขัดสีของชิ้นงานหมุน

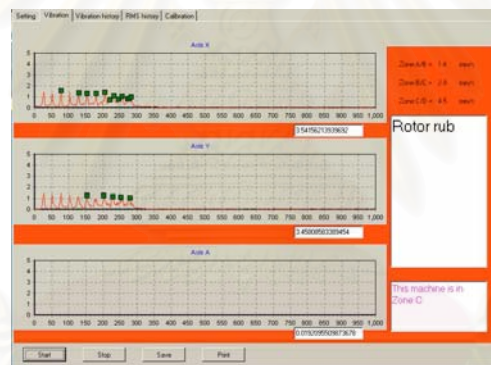


สัญญาณตามทฤษฎี



สัญญาณที่ป้อนเข้า

รูปที่ 5.17 สัญญาณการสั่นสะเทือนตามทฤษฎีและสัญญาณที่ป้อนเข้า
กรณีการขัดสีของชิ้นงานหมุน



รูปที่ 5.18 สัญญาณและผลวิเคราะห์ที่ได้กรณีการขัดสีของชิ้นงานหมุน

การทดสอบได้กำหนดให้ความเร็วรอบของการหมุนเท่ากับ 3000 รอบต่อนาทีหรือมีค่าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์ เมื่อป้อนสัญญาณที่มี 10 ความถี่ ที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์, 50 เฮิรตซ์, 75 เฮิรตซ์, 100 เฮิรตซ์, 125 เฮิรตซ์, 150 เฮิรตซ์, 175 เฮิรตซ์, 200 เฮิรตซ์, 225 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ แล้วโปรแกรมได้แจ้งเตือนว่าสัญญาณเป็นความผิดปกติกรณีการขัดสีของชิ้นงานหมุน

จากการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ Function Generator/Arbitrary Waveform Generator ของ Agilent รุ่น 33120A สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้โดยไม่พบข้อผิดพลาดในการทำงาน

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน โดยได้ทำการพัฒนาตามความต้องการของผู้ใช้ การทดสอบโดยอาศัยเครื่องกำเนิดสัญญาณ ปรากฏว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ ไม่ปรากฏความผิดพลาดขณะทำงานแต่อย่างใด โดยโปรแกรมที่พัฒนามีคุณสมบัติดังนี้

- ในการตั้งค่าเริ่มต้นจะมีการเก็บข้อมูลเมื่อทำการเปิดโปรแกรมใหม่จะสามารถใช้ค่าเดิมที่เคยใช้งานได้
- สามารถสอบเทียบตัวโปรแกรมได้ง่ายโดยมีหน้าต่างในการปรับแต่งค่าที่วัดได้
- มีการแสดงผลทั้งสัญญาณที่เป็นการแยกความถี่และสัญญาณรบกวนกำลังสองเฉลี่ย
- มีการสืบค้นประวัติการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้ง่าย
- สามารถรับความถี่สูงสุดได้ 1000 เฮิรตซ์
- โปรแกรมมีลักษณะที่ใช้งานได้ง่าย
- สามารถใช้งานได้กับตัวตรวจรู้ที่เป็นตัววัดความเร็วหรือวัดความเร่งก็ได้

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ขณะทำการวิจัยได้ติดต่อกับโรงงานผลิตเหล็ก โดยไปเยี่ยมชมโรงงานเพื่อขอข้อมูลการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ปรากฏว่า ทางบริษัทไม่ได้ทำการวัดและตรวจสอบสภาพการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรด้วยตนเอง แต่ได้ว่าจ้างบริษัทภายนอกมาทำการวัดและตรวจสอบสภาพการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแทน ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลที่เป็นการสั่นสะเทือนที่มีสภาพผิดปกติที่เกิดขึ้นจริงแบบต่างๆ มาทดสอบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทดสอบการทำงานของระบบด้วยสัญญาณที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ

โปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนี้ยังมีจุดที่ควรปรับปรุงและพัฒนาต่อไป เพื่อเพิ่มเติมความสามารถให้ดียิ่งขึ้น โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรหาชุดอุปกรณ์สำหรับการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีช่วงเวลาในการแปลงข้อมูลที่สูงเพื่อให้โปรแกรมสามารถรับค่าความถี่ที่สูงกว่า 1000 เฮิร์ตซ์ ได้ ซึ่งสัญญาณการสั่นสะเทือนการสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงมากกว่า 1000 เฮิร์ตซ์ ได้แก่สัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดจากเฟือง
2. ควรเพิ่มส่วนวิเคราะห์ที่เป็นปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากปัญญาประดิษฐ์มีข้อดีคือสามารถเรียนรู้ และรู้จำรูปแบบต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ที่มีลักษณะที่ไม่ชัดเจน
3. สัญญาณการสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์ตรวจรู้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไม่สามารถส่งสัญญาณได้ไกล การใช้งานจริงอาจจำเป็นต้องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตัวเครื่องจักรกลหมุนแล้วนำมาป้อนให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ในภายหลัง หรืออาจจะนำเอาเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless LAN) มาใช้
4. ควรเพิ่มส่วนการวัดเฟสของสัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อประโยชน์ในการแยกชนิดของความเสียหายได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการการทำสมมูลของแกนหมุน
5. ควรเพิ่มความสามารถในการติดต่อกับส่วนจัดซื้อและของโรงงานเพื่อความสะดวกในการจัดหาอะไหล่ที่จะนำมาซ่อมบำรุง

รายการอ้างอิง

1. ก่อเกียรติ บุญชูกุล. เอกสารประกอบการสอนเรื่อง การบำรุงรักษา. หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการบำรุงรักษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (ม.ป.ป.)
2. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. เอกสารประกอบการสอนเรื่อง การสั่นสะเทือน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (ม.ป.ป.)
3. ก่อเกียรติ บุญชูกุล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. รายงานฉบับสมบูรณ์เรื่องการออกแบบและสร้างชุดทดลองการสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องจักรกลที่หมุน. ทุนโครงการพัฒนาวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2539
4. John G. Proakis, Kimitris G. Manolakis. Digital signal processing principles, algorithms, and applications. 3rd ed. New Jersey : Prentice hall, 1996
5. Arthur R. Crawford, Steve Crawford. The simplified handbook of vibration analysis. Vol. 1: Introduction to vibration analysis fundamentals. TN: Computational Systems, 1992
6. ตารางการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด
7. Acqutek Corporation. PA-CP12 A/D D/A and digital I/O card Manual. Acqutek Corporation, 1994
8. กมลมาศ กำจรกิจการ. คู่มือ Borland delphi 5 ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ Provision, 2543
9. International standard ISO 10816-1 Mechanical vibration – evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part1: General guidelines. 1st ed. Geneva: ISO, 1995
10. International standard ISO 10816-2 Mechanical vibration – evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part2: Land – based steam turbines and generators in excess of 50MW with normal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000r/min and 3600 r/min. 2nd ed. Geneva: ISO, 2001
11. International standard ISO 10816-3 Mechanical vibration – evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts –. Part3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ. 1st ed. Geneva: ISO, 1998

12. Steve Goldman. Vibration spectrum analysis a practical approach. 2nd ed.
Industrial press, 1999



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ตารางตามมาตรฐาน ISO 10816 - 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

R.m.s. vibration velocity mm/s	Class I	Class II	Class III	Class IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	B	B
4,5				
7,1	D	D	C	C
11,2				
18				
28				
45				
			D	D

ตารางที่ ก. 1 ค่าการกำหนดขอบเขตตาม มาตรฐาน ISO 10816 – 1[9]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ตารางตามมาตรฐาน ISO 10816 - 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Zone boundary	Shaft rotational speed	
	r/min	
	1 500 or 1 800	3 000 or 3 600
	R.m.s. vibration velocity	
	mm/s	
A/B	2,8	3,8
B/C	5,3	7,5
C/D	8,5	11,8

NOTE 1 These values relate to steady-state operating conditions at rated speed for the recommended measurement locations (see Figure 1). They apply to radial vibration measurements on all bearings and to axial vibration measurements on thrust bearings.

NOTE 2 These values are valid for steam turbines and generators mounted on rigid and flexible foundations. However, in general, vibration magnitudes observed on machines on massive concrete foundations are lower than those for machines with more flexible foundations.

ตารางที่ ข. 1 ค่าแนะนำการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรไอน้ำและเครื่องกำเนิดสัญญาณ
ที่ขอบเขตต่างๆ ตามมาตรฐาน ISO 10816 – 2[10]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ตารางตามมาตรฐาน ISO 10816 - 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Support class	Zone boundary	R.m.s. displacement	R.m.s. velocity
		μm	mm/s
Rigid	A/B	29	2,3
	B/C	57	4,5
	C/D	90	7,1
Flexible	A/B	45	3,5
	B/C	90	7,1
	C/D	140	11,0

ตารางที่ ค. 1 ค่าขอบเขตการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลุ่มที่ 1 เครื่องจักรขนาดใหญ่
ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า มากกว่า 300 กิโลวัตต์ และ ไม่เกิน 50 เมกกะวัตต์
: เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดความสูงเพลาดั้งแต่ 315 มิลลิเมตร[11]

Support class	Zone boundary	R.m.s. displacement	R.m.s. velocity
		μm	mm/s
Rigid	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Flexible	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

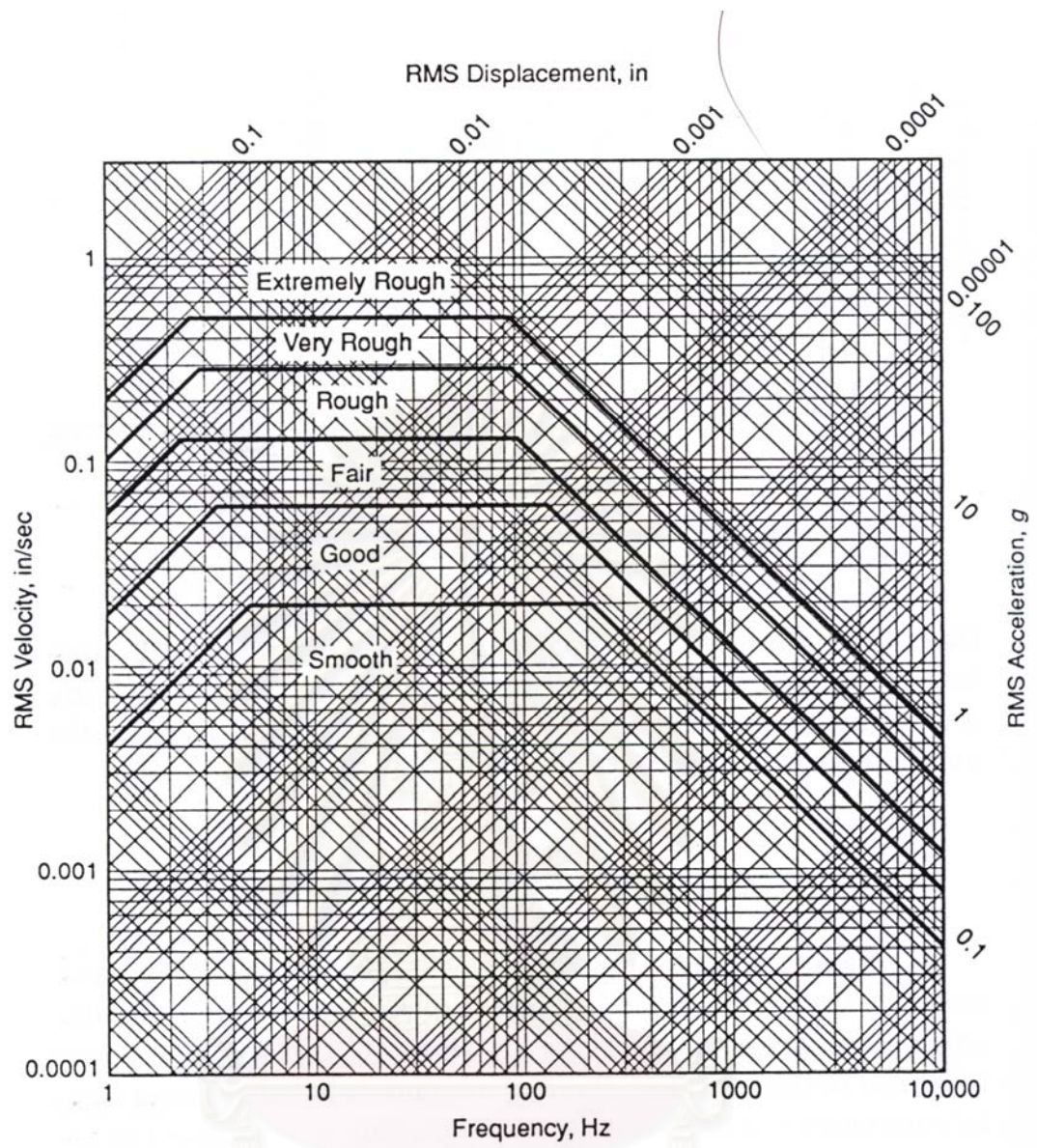
ตารางที่ ค. 2 ค่าขอบเขตการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลุ่มที่ 2 เครื่องจักรขนาดกลางที่มีขนาด
กำลังไฟฟ้า มากกว่า 15 กิโลวัตต์ และ ไม่เกิน 300 กิโลวัตต์: เครื่องจักรกลไฟฟ้า
ที่มีขนาดความสูงเพลาดั้งแต่ 160 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 315 มิลลิเมตร[11]



ภาคผนวก ง

ผังประกอบการพิจารณาการขึ้นทะเบียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง. 1 ผังขอบเขตของการสั่นสะเทือน [12]

สงวนลิขสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจตุโรจน์ เบ็ญจลักษณ์ เกิดวันที่ 6 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย