สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ

นายกมล สงวนวงศ์
นายไชยา นันทโสภา
นายปิยะวัฒน์ แจ้วเสียง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72273
วัน,เดือน,ปี 13 มิ.ย. 2550

b 11477594
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vibration Control With Constraint Force Method

MR.KAMOL SANGUANWONG

MR.CHAIYA NANTASOPA

MR.PIYAWAT JAEWSIANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อปริญญานิพนธ์ การควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ

Vibration Control With Constraint Force Method

นักศึกษา	นายกมล สงวนวงศ์	รหัสประจำตัว	47015625
	นายไชยา นันทโสภา	รหัสประจำตัว	47015636
	นายปิยะวัฒน์ แจ้วเสียง	รหัสประจำตัว	47015649

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต)

(ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อปริญญานิพนธ์	การควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ
นักศึกษา	นายกมล สงวนวงศ์
	นายไชยา นันทโสภา
	นายปิยะวัฒน์ แจ้วเสียง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต
	ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างแบบจำลองการควบคุมการสั่นสะเทือน โดยวิธีแรงบังคับ (Constraint Force) โดยแบบจำลองที่จะศึกษาในครั้งนี้ จะอ้างอิงจากความเป็นจริงของลักษณะฐานรองรับของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม โดยตั้งข้อสมมุติฐาน ไว้ว่า การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากพื้น หรือ ฐานรองรับเท่านั้น ในการจำลองการควบคุมการสั่นสะเทือนโดยนำวิธี แรงบังคับ (Constraint Force) มาประยุกต์ใช้ในครั้งนี้นั้น รูปแบบของการวิเคราะห์ จะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน ซึ่งต้องใช้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) มาช่วยในการคำนวณ และ แก้ปัญหาระบบสมการ แบบจำลองที่สร้างขึ้นครั้งนี้ จัดเตรียมไว้เพื่อ ให้สามารถกำหนดเงื่อนไขของการสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ และ สามารถคำนวณหาค่าแรงบังคับที่ใช้ในการจำลองได้อีกด้วย ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงผลออกมาอยู่ในรูปแบบของกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ และ แสดงพฤติกรรมการสั่นของมวลในแบบจำลองในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Vibration Control With Constraint Force Method
Student	Mr.Kamol Sanguanwong
	Mr.Chaiya Nantasopa
	Mr.Piyawat Jaewsiang
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2006
Thesis Advisor	Dr. Sakon Klongboonjit
	Asst.Prof.Dr. Sumpasit Limnararat

ABSTRACT

This project aims to develop the vibration control model basing on the constraint force method. This model is used to explain the movement of the support elements of a real machine in an industrial factory. The project assumption is that the vibration is only generated from the floor nearby the support element. The analysis of this model is in the form of complex mathematical equation system, and we apply the Matlab software to solve the results system. The model can show proposes for characterizing the condition of the vibration, and can calculate the value of constraint forces for controlling movement of mass. Furthermore, we also show the propose results in a form of graphs and series of the mass movement so that it is easy to understand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทางคณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมไปถึงความรู้ คำแนะนำ และการให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความเอาใจใส่และทุกสิ่งทุกอย่าง ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ข้อคิดที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงานในอนาคต และความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ความรู้ และความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจตลอดมาจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายกมล สงวนวงศ์
นายไชยา นันทโสภา
นายปิยะวัฒน์ แจ้วเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.2 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ 3

2.1.1 การสั่นสะเทือนอย่างอิสระสำหรับระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดี่ยว 3

2.1.2 การสั่นสะเทือนแบบบังคับสำหรับระบบที่มีระบบขั้นความเสรีเดี่ยว 6

2.1.3 การสั่นสะเทือนของระบบที่ไม่มีการหน่วงใน 2 ระดับขั้นความเสรี 8

2.2 วิธีแรงบังคับ 9

2.3 วิธีรุงเง คุตตา 10

2.4 โปรแกรมแมทแลบ 16

2.4.1 ข้อดีของโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) 17

2.4.2 การใช้งานโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) 17

บทที่ 3 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน 19

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 19

3.2.1 กำหนดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา 19

3.2.2 ศึกษาการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทดสอบ 20

3.2.3 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองทดสอบ 22

3.2.4 การควบคุมการสั่นแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.5 การควบคุมการสั่นแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ 26
3.2.6 เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลในลักษณะภาพเคลื่อนไหว 28
3.2.7 ทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่อง 28

บทที่ 4 ผลดำเนินงาน

4.1 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองทดสอบ 29
4.2 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ 31
4.3 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ 34
4.4 การแสดงผลในลักษณะภาพเคลื่อนไหว 37

บทที่ 5 สรุปผลดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง 42
5.2 วิจารณ์การทดลอง 42
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงงาน 42
5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน 43

หนังสืออ้างอิง 44
ภาคผนวก ก. โปรแกรมจำลองการสั่นสะเทือนของแบบจำลองสั่นที่ใช้ในการศึกษา ..... ผก 1
ภาคผนวก ข. คำสั่งและเครื่องหมายที่ใช้งานในโปรแกรม MATLAB ..... ผข 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การสั่นจากมวลบนฐานรองรับ 1
รูปที่ 1.2 การสั่นจากฐานรองรับ 1
รูปที่ 2.1 มวลและสปริง 4
รูปที่ 2.2 ระบบมวลติดสปริงและมีการหน่วงด้วยความหนืด 5
รูปที่ 2.3 การสั่นสะเทือนแบบบังคับด้วยแรงฮาร์มอนิก 7
รูปที่ 2.4 การสั่นลงแบบบังคับของระบบที่มีการหน่วงและถูกกระตุ้นด้วยแรงฮาร์มอนิก 7
รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์สมการของการเคลื่อนที่ของระบบที่ไม่มีการหน่วงใน 2 ระดับขั้นเสรี 8
รูปที่ 2.6 การประมาณค่าโดยใช้ความชัน 1 เส้น 10
รูปที่ 2.7 การประมาณค่าโดยใช้ความชันหลายเส้น 11
รูปที่ 2.8 แสดงหน้าต่างคำสั่งของโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) 18
รูปที่ 2.9 แสดงหน้าต่างสำหรับใช้เขียนโปรแกรม 18
รูปที่ 3.1 แบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ 19
รูปที่ 3.2 แบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ 19
รูปที่ 3.3 แบบจำลองทดสอบ 20
รูปที่ 3.4 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_1 20
รูปที่ 3.5 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_2 21
รูปที่ 3.6 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_1 24
รูปที่ 3.7 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_2 24
รูปที่ 3.8 แบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ 27
รูปที่ 4.1 การสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง 29
รูปที่ 4.2 เงื่อนไขควบคุมการสั่นของแบบจำลอง 30
รูปที่ 4.3 แรงที่ใช้ควบคุมมวล ในแบบจำลอง 30
รูปที่ 4.4 การสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง 31
รูปที่ 4.5 เงื่อนไขควบคุมการสั่นของแบบจำลอง 32
รูปที่ 4.6 แรงที่ใช้ควบคุมมวลในแบบจำลอง 32
รูปที่ 4.7 การสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง 33
รูปที่ 4.8 แรงที่ใช้ควบคุมมวลในแบบจำลอง 33
รูปที่ 4.9 การสั่นของพื้นใต้ฐานรองรับของเครื่องจักรทั้ง 4 จุด 34
รูปที่ 4.10 การสั่นของมวลเครื่องจักรบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด 35
รูปที่ 4.11 แรงบังคับที่ใช้ควบคุมมวลเครื่องจักรบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด 36
รูปที่ 4.12 การสั่นแบบสุ่มของพื้นใต้ฐานเครื่องจักร 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

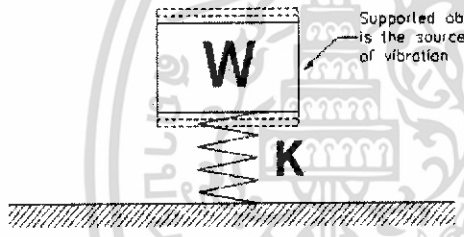
หน้า

รูปที่ 4.12 การสั่นแบบสุ่มของพื้นใต้ฐานเครื่องจักร(ต่อ)..... 38
รูปที่ 4.13 การสั่นอย่างอิสระของเครื่องจักร ก่อนการควบคุม..... 39
รูปที่ 4.13 การสั่นอย่างอิสระของเครื่องจักร ก่อนการควบคุม(ต่อ)..... 40
รูปที่ 4.14 การสั่นของเครื่องจักรหลังการควบคุมการสั่น..... 41

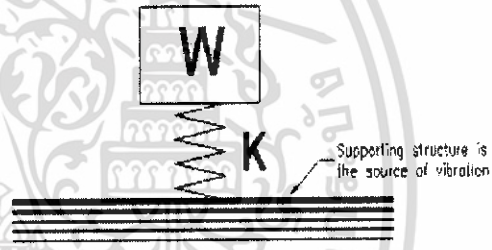
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนใหญ่ จะประกอบด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่ ซึ่งมักจะพบปัญหาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนขณะเครื่องจักรทำงาน โดยส่วนใหญ่สาเหตุของการสั่นสะเทือนมักเกิดจากการติดตั้งเครื่องจักรไม่ถูกต้องตามวิธีการ หรือฐานรองรับไม่ได้มาตรฐาน ตลอดจนการขนส่งภายในโรงงาน ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลทำให้เครื่องจักรทำงานไม่ได้เต็มประสิทธิภาพ อายุการทำงานของเครื่องจักรลดลง อีกทั้งอาจส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในระบบสายการผลิตอีกด้วย จากการศึกษาพบว่าการสั่นสะเทือนเกิดจาก 2 สาเหตุ หลัก คือการสั่นที่เกิดจากมวลบนฐานรองรับ และ การสั่นที่เกิดจากฐานรองรับ ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2



รูปที่ 1.1 การสั่นจากมวลบนฐานรองรับ



รูปที่ 1.2 การสั่นจากฐานรองรับ

ซึ่งในปัจจุบันได้มีการออกแบบระบบเพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการสั่นสะเทือนมากมายหลายชนิด เช่น ระบบควบคุมแบบนิวแมติกส์ ระบบควบคุมแบบไฮดรอลิก หรือ ระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบต่างๆที่ได้กล่าวมานั้น แต่ละชนิดก็มีหลักการเพื่อลดสั่นที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการควบคุมการสั่นด้วยวิธีแรงบังคับนี้ เป็นอีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งอาศัยหลักการของการสร้างแรงเพื่อควบคุมวัตถุให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่เราต้องการ โดยวิธีการนี้ไม่เพียงแต่จะสามารถลดการสั่นได้เท่านั้น แต่ยังสามารถควบคุมการสั่นให้เป็นไปตามต้องการได้อีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาวิธีการควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ
2. นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้วิเคราะห์และควบคุมการสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับควบคุมการสั่นสะเทือนโดยยึดหลักวิธีแรงบังคับ
2. ใช้โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาของแบบจำลองที่สร้างขึ้น
3. ในการศึกษาครั้งนี้เราจะตั้งสมมติฐานว่า การสั่นเกิดขึ้นมาจากฐานรองรับของเครื่องจักร หรือ อุปกรณ์เท่านั้น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมการสั่นสะเทือน
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น การออกแบบระบบรองรับการสั่นสะเทือนของสายพานลำเลียง หรือ เครื่องจักร
3. เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการสร้างแรงบังคับเพื่อช่วยในการควบคุมการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

อุปกรณ์ชิ้นส่วนทางกล หรือเครื่องจักรกลทั่วไปที่ทั้งสภาพด้านการเคลื่อนที่ (เช่น มวล หรือโมเมนต์ความเฉื่อย) และสภาพยืดหยุ่นได้ (เช่น ค่าคงตัวของสปริง) ระบบทางกลนั้นจะสามารถสั่นสะเทือนได้เสมอ ถ้าระบบทางกลนั้นถูกกระตุ้นให้สั่นด้วยความถี่ค่าหนึ่ง หรืออาจถูกทำให้สั่นด้วยแรงภายนอกโดยตรง แล้วทำให้ระบบทางกลมีการสั่นหรือเคลื่อนที่แบบซ้ำลักษณะเดียวกันอย่างสม่ำเสมอในคาบที่พิจารณาเดียวกัน จะเรียกการเคลื่อนที่เช่นนี้ว่า การสั่นสะเทือนทางกล (Mechanical Vibration)

การสั่นสะเทือนทางกลนี้จำแนกออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ การสั่นสะเทือนอย่างอิสระ (Free Vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced Vibration) การสั่นสะเทือนอย่างอิสระ จะเกิดขึ้นเมื่อระบบทางกลนั้นถูกกระตุ้นให้สั่นอย่างต่อเนื่องด้วยความถี่ธรรมชาติ(Natural Frequency) ค่าหนึ่งหรือหลายค่า โดยไม่ต้องอาศัยแรงกระตุ้นภายนอกอย่างต่อเนื่อง สมบัติของระบบทางกลที่นำไปสู่การสั่นสะเทือน ได้แก่ มวล และสภาพยืดหยุ่นได้ของระบบทางกลนั้น การสั่นสะเทือนแบบบังคับ จะเกิดขึ้นภายใต้การกระตุ้นระบบทางกลด้วยแรงภายนอกอย่างต่อเนื่อง ระบบจะสั่นด้วยความถี่ค่าเดียวกับความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้นนั้น ถ้าความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้นตรงกับความถี่ธรรมชาติของระบบทางกล จะทำให้ระบบทางกลดังกล่าวอยู่ภายใต้ภาวะของการสั่นพ้อง (Resonance) จึงทำให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรงและอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบทางกลนั้นได้ เช่นการสั่นอันเกิดจากการเสียสมดุลขณะหมุนของชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล หรือการสั่นสะเทือนของอาคารสิ่งก่อสร้างขณะแผ่นดินไหว ดังนั้นระบบทางกลหนึ่ง ๆ จึงจำเป็นต้องคำนวณความถี่ธรรมชาติให้ได้

ในการลดแอมพลิจูด(Amplitude) ของการสั่นของระบบทางกลนั้น จะอาศัยการติดตั้งตัวหน่วง (Damper) เข้ากับระบบ ภายใต้ตัวหน่วงนี้จะอาศัยการทำให้เกิดความต้านทานต่อการสั่นโดยอาศัยหลักของความเสียดทานแห้ง ความเสียดทานเนื่องจากความหนืดของของเหลวในตัวหน่วง หรือความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุของแข็งที่ใช้ทำตัวหน่วง นอกจากนี้ตัวหน่วงยังมีความสำคัญต่อการจำกัดแอมพลิจูดของการสั่นที่ภาวะของการสั่นพ้องได้อีกด้วย

2.1.1 การสั่นสะเทือนอย่างอิสระสำหรับระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดี่ยว

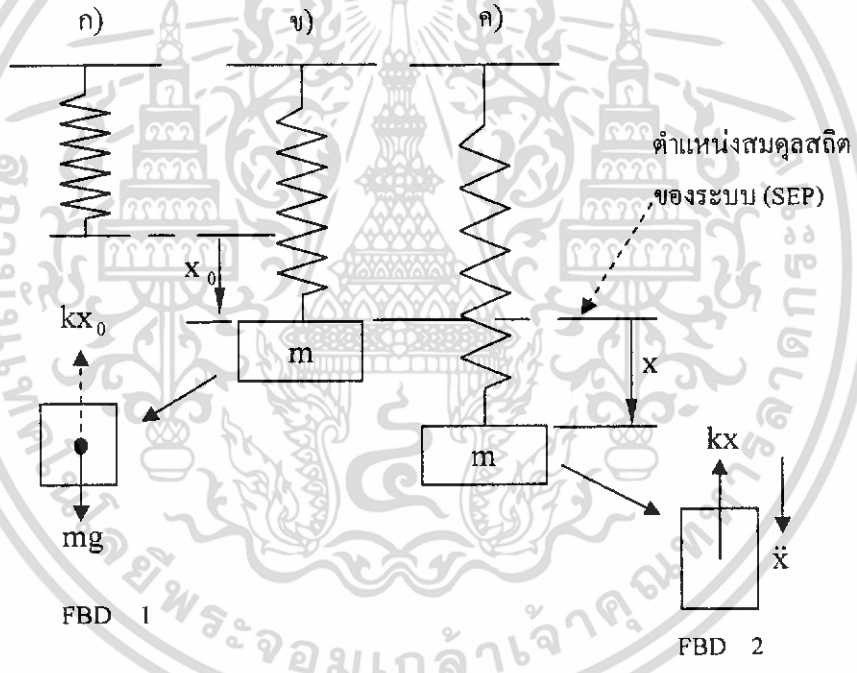
ระบบทางกลที่มีความสามารถในการสั่นสะเทือนได้ ระบบนั้นจะมีสมบัติทางกายภาพคือ สภาพยืดหยุ่นตัวและสภาพด้านการสั่นสะเทือน เมื่อมีการใส่แรงกระตุ้นเริ่มต้นแล้วหยุดการกระตุ้น ระบบทางกลนั้นจะสั่นสะเทือนได้อย่างต่อเนื่องด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่ง การสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการกระตุ้นจากแรงภายนอกอย่างต่อเนื่องได้นี้เรียกว่า การสั่นสะเทือนอย่างอิสระ ความถี่ขณะสั่นสะเทือนอย่างอิสระนี้เรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ ในแต่ละระบบทางกลนั้นพบว่าความถี่ธรรมชาติขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของสภาพยืดหยุ่นตัวต่อสภาพด้านการสั่นสะเทือน ทั้งนี้อัตราส่วนดังกล่าวจะพิจารณาได้จากสมการของการเคลื่อนที่ของระบบนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นของระบบอย่างต่อเนื่องด้วยความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่งนั้นจะมีแอมพลิจูดของการสั่นค่าหนึ่ง การลดแอมพลิจูดของการสั่นจะต้องอาศัยการหน่วงระบบ (Damper) การหน่วงในปริมาณที่เหมาะสมจะไม่มีผลต่อความถี่ธรรมชาติของระบบทางกลดังกล่าว การหน่วงจะมีผลต่อการลดแอมพลิจูดของการสั่นกับระยะเวลาเท่านั้น นอกจากการพิจารณาความถี่ธรรมชาติจากการสร้างสมการของการเคลื่อนที่โดยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน การอาศัยกฎการอนุรักษ์ของพลังงาน และวิธีพลังงานของเรย์ลี (Rayleigh Energy Method) เป็นอีกหนทางหนึ่งที่นำมาใช้วิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติของระบบทางกลที่มีการสั่นสะเทือนอย่างอิสระได้อีกด้วย

2.1.1.1 สมการการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนอย่างอิสระ

พิจารณาการสั่นสะเทือนอย่างอิสระที่ไม่มีการหน่วงกับระบบที่ประกอบด้วยมวล (m) ติดกับปลายสปริง k คงที่ (แรงสปริงจะเป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้นกับระยะยืดหรือหดตัวของสปริง) ดังรูปที่ 2.1 ในภาพ (ก) แสดงสปริงก่อนผูกมวล ภาพ (ข) สปริงผูกติดมวลและอยู่ในสมดุลสถิต กำหนดให้ระยะ x_0 เป็นระยะยืดตัวของสปริงที่ตำแหน่งสมดุลสถิต (Static Equilibrium Position, SEP) ของระบบ พิจารณาจากผังวัตถุอิสระ FBD 1 ภายใต้สมดุลสถิต



รูปที่ 2.1 มวลและสปริง

จาก FBD 1 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$\uparrow^{+} \quad \sum F_0 = 0$$

$$kx_0 - mg = 0$$

$$x_0 = \frac{mg}{k} \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก FBD 2 แสดงถึงการออกแรงดึงมวลติดสปริงในระยะกระจัด วัดเทียบตำแหน่ง SEP ลงมา แล้วปล่อยมวล (ขณะปล่อยมวลจะมีแรงสปริง $F_{sp} = kx$ กระทำตรงกันข้ามกับแรงดึงนั้น) กำหนดทิศทางของความเร่ง $(\ddot{x})$ มีทิศเดียวกับระยะกระจัด (x) จาก FBD 2 จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้ (ในที่นี้กำหนดให้ความเร่ง $d^2x/dt^2 = \ddot{x}$)

$$\downarrow_{-} \quad \sum F_x = m\ddot{x}$$

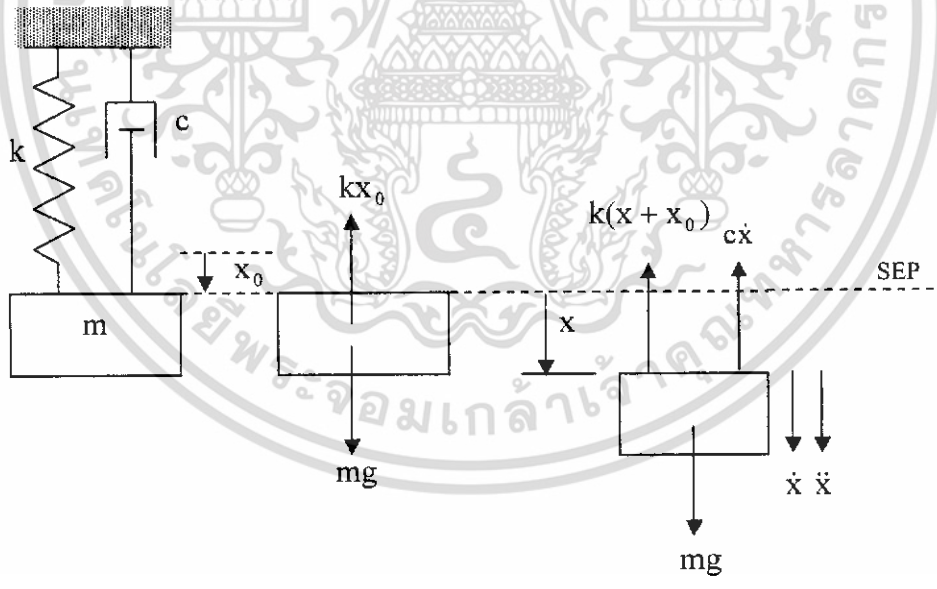
$$-kx = m\ddot{x}$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \qquad (2.2)$$

2.1.1.2 <u>การสั่นสะเทือนอย่างอิสระที่มีการหน่วงด้วยความหนืด</u>

ในการสั่นสะเทือนอย่างอิสระของระบบทางกลที่ไม่มีการหน่วงโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน จะพบว่าระบบนั้นจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่ง และมีแอมพลิจูดของการสั่นคงที่ หากต้องการลดแอมพลิจูดของการสั่นก็คือต้องลดพลังงานในการสั่นลง ตัวหน่วง(Damper) จะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานออกจากระบบที่มีการสั่น ทำให้แอมพลิจูดของการสั่นค่อยๆ ลดลง และอาจหยุดการสั่นในที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดของตัวหน่วงอย่างเหมาะสม

พิจารณาการสั่นสะเทือนในระดับขั้นความเสรีเดี่ยวของระบบมวลติดสปริงดังรูปที่ 2.2 ระบบประกอบด้วยมวล m สปริงที่มีค่าคงตัวสปริง k พิจารณาเป็นการหน่วงด้วยความหนืดและมีค่าคงตัวการหน่วงเท่ากับ c จากสมดุลสถิตในภาพ (ข) พบว่า $kx_0 = mg$ จาก FBD ที่ตำแหน่ง x ใดๆ วัดจากตำแหน่งสมดุลสถิตดังภาพ (ค) พบว่า



ก) มีการหน่วง ข) ที่ตำแหน่ง SEP ค) FBD ที่ตำแหน่ง x จาก SEP

รูปที่ 2.2 ระบบมวลติดสปริงและมีการหน่วงด้วยความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$+\downarrow \sum F = m\ddot{x}$$

$$mg - k(x + x_0) - c\dot{x} = m\ddot{x}$$

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \qquad (2.3)$$

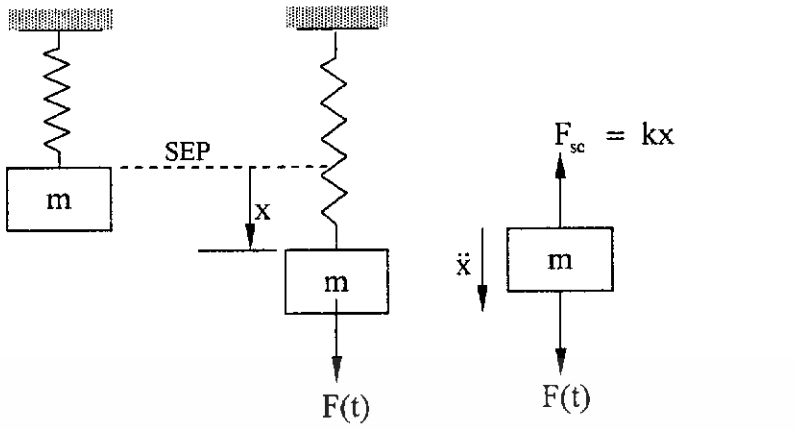
2.1.2 การสั่นสะเทือนแบบบังคับสำหรับระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดี่ยว

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบบังคับ จะกล่าวถึงการสั่นไปมาอย่างต่อเนื่องของระบบทางกลอันเป็นผลมาจากการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องด้วยแรงภายนอก หรือผลจากการหมุนที่เสียสมดุลของชิ้นส่วนที่ประกอบอยู่ในระบบทางกลดังกล่าว โดยในที่นี้จะพิจารณาเป็นการกระตุ้นในรูปของฮาร์มอนิก ผลตอบสนองของระบบที่มีต่อการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องของแรงที่ศึกษาก็คือ แอมพลิจูดของการสั่นของระบบนั้น กล่าวคือ แอมพลิจูดของการสั่นของระบบขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงภายนอกที่กระทำต่อระบบ ถ้าความถี่ของแรงภายนอกเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบทางกลพบว่าแอมพลิจูดของการสั่นจะมีค่าสูงสุด และอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบทางกลนั้นได้ สภาวะการสั่นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การสั่นพ้อง (Resonance) การสั่นพ้องสามารถเกิดขึ้นได้ไม่ว่าระบบนั้นจะมีการหน่วงหรือไม่ก็ตาม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความถี่(Frequency Ratio) ของระบบ ในที่นี้ อัตราส่วนความถี่ คือ อัตราส่วนของความถี่ของแรงภายนอกต่อความถี่ธรรมชาติของระบบทางกลที่ถูกกระตุ้นนั่นเอง จะพบว่าแอมพลิจูดของการสั่นจะเปลี่ยนแปลงกับค่าอัตราส่วนกับค่าอัตราส่วนความถี่ดังกล่าว การออกแบบระบบที่มีการลดการสั่นสะเทือนจึงจำเป็นต้องพิจารณาอัตราส่วนการส่งผ่านแรง(Remissibility) ที่ค่าเหมาะสมของอัตราส่วนความถี่ดังกล่าว นอกจากนี้ผลตอบสนองของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนยังจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าอัตราส่วนความถี่ด้วยเช่นกัน

2.1.2.1 <u>การสั่นสะเทือนแบบบังคับของระบบที่ไม่มีการหน่วง</u>

พิจารณาระบบที่ไม่มีการหน่วงซึ่งประกอบด้วยมวล m ผูกติดด้วยสปริง k และยึดติดแน่นไว้กับเพดานดังรูปที่ 2.3 (ก) มีการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องด้วยแรงฮาร์มอนิก $F(t) = F_0 \sin \omega t$ ซึ่งพิจารณาที่ตำแหน่ง x ใดๆ วัดจากตำแหน่งสมดุลสถิต (SEP) ดังภาพ (ข) ในที่นี้ F_0 คือ แอมพลิจูดของแรงภายนอก และ ω คือ ความถี่เชิงมุมของแรงภายนอก จาก FBD ของมวลขณะสั่นตามแรงภายนอกที่กระทำแสดงในภาพ (ค) จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันภายนอก จาก FBD ของมวลขณะสั่นตามแรงภายนอกที่กระทำแสดงในภาพ (ค) จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) สมดุลสถิต ข) ภายใต้ $F(t)$ ค) FBD มวล m ขณะสั่น

รูปที่ 2.3 การสั่นสะเทือนแบบบังคับด้วยแรงฮาร์มอนิก

สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

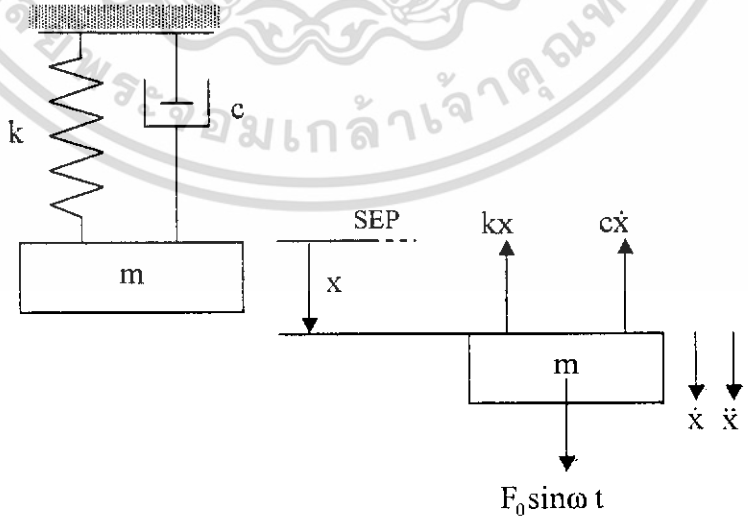
$$+\downarrow \quad \sum F = m\ddot{x}$$

$$F(t) - kx = m\ddot{x}$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\sin\omega t \qquad (2.4)$$

2.1.2.2 <u>การสั่นสะเทือนแบบบังคับของระบบที่มีการหน่วง</u>

การสั่นสะเทือนแบบบังคับของระบบที่มีการหน่วง จะวิเคราะห์มาจากระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดี่ยว ซึ่งถูกกระตุ้นอย่างต่อเนื่องด้วยแรงฮาร์มอนิก $F(t) = F_0 \sin\omega t$ ดังรูปที่ 2.4 ในที่นี้กำหนดให้มีการหน่วงด้วยความหนืด แรงต้านการเคลื่อนที่เป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้นกับความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของระบบ $F_d = c\dot{x}$ จาก FBD ของมวล m ที่ตำแหน่ง x ใดๆ วัดจากตำแหน่งสมดุลสถิตของระบบ



รูปที่ 2.4 การสั่นลงแบบบังคับของระบบที่มีการหน่วงและถูกกระตุ้นด้วยแรงฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$+\downarrow \quad \sum F = m\ddot{x}$$

$$F_0 \sin \omega t - kx - c\dot{x} = m\ddot{x}$$

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

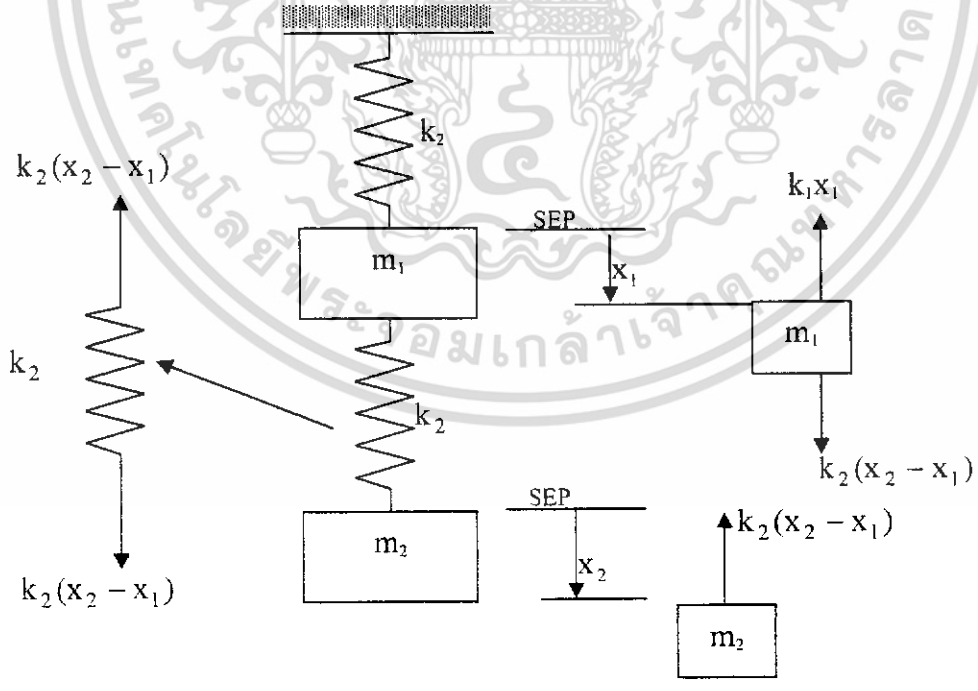
$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F_0}{m} \sin \omega t \qquad (2.5)$$

2.1.3 การสั่นสะเทือนของระบบที่ไม่มีการหน่วงใน 2 ระดับขั้นความเสรี

ในการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนทางกลในเครื่องจักรกลหรือโครงสร้างอาจจะไม่สามารถวิเคราะห์เป็นระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดี่ยวได้ ดังนั้นระยะกระจัดของชิ้นส่วน (หรือมวล) ในระบบต้องกำหนดมากกว่าหนึ่งพิกัด ทำให้ต้องพิจารณาเป็นการสั่นสะเทือนของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีระดับหลายขั้น ถ้ากำหนดให้ระยะกระจัดของแต่ละมวลเป็น x_1 และ x_2 ตามลำดับ จากผังวัตถุอิสระของแต่ละมวล ทำให้ได้สมการการเคลื่อนที่ 2 สมการ ในแต่ละสมการจะผูกโยงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดทั้งสองของแต่ละมวล

2.1.3.1 <u>การพิจารณาสมการการเคลื่อนที่</u>

พิจารณาระบบที่ไม่มีการหน่วงดังรูปที่ 2.5 และระบบประกอบด้วยมวล 2 มวล m_1 และ m_2 พร้อมยึดติดกับสปริง 2 ตัวที่มีค่าคงตัว k_1 และ k_2 ตามลำดับ กำหนดให้ระบบมีการเคลื่อนที่เพียงทิศทางในแนวดิ่งเท่านั้น โดยมีมวล m_1 และ m_2 กำหนดตำแหน่งด้วยพิกัด x_1 และ x_2 ตามลำดับ เพื่อให้สะดวกต่อการเขียนผังวัสดุอิสระของแต่ละมวล m_2 จะสมมติให้มวลเคลื่อนที่เร็วกว่ามวล m_1 ดังนั้น $x_2 > x_1$



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์สมการของการเคลื่อนที่ของระบบที่ไม่มีการหน่วงใน 2 ระดับขั้นเสรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$+\downarrow \quad \Sigma F_x = m\ddot{x}$$

$$-k_1x_1 + k_2(x_2 - x_1) = m_1\ddot{x}_1 \qquad (\text{มวล } m_1)$$

$$-k_2(x_2 - x_1) = m_2\ddot{x}_2 \qquad (\text{มวล } m_2)$$

จัดสมการใหม่จะได้

$$m_1\ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 = 0 \qquad (2.6)$$

$$m_2\ddot{x}_2 - k_2x_1 + k_2x_2 = 0 \qquad (2.7)$$

เขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1+k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \{0\} \qquad (2.8)$$

2.2 วิธีแรงบังคับ

เป็นวิธีการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆในระบบกลศาสตร์ โดยการใช้วิธีเพิ่มแรงบังคับเข้าไปในระบบ เพื่อให้วัตถุต่างๆสามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ โดยเริ่มจากการพิจารณาการเคลื่อนที่ของอนุภาคจากจุดเริ่มต้น ในระบบซึ่งจะประกอบไปด้วยอนุภาคจำนวน n อนุภาค และมีมวล $m_1, m_2, ..., m_n$, โดยตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจะอยู่ในรูปของเวกเตอร์ คือ $x_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ และแต่ละอนุภาคจะมีแรง $F_i(t)$ มากระทำ ซึ่งมีผลทำให้แต่ละอนุภาคเกิดความเร่ง $a_i = \frac{1}{m_i}F_i(t)$ โดยความเร่งของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับเวลา เมื่อพิจารณากฎข้อที่สองของนิวตันจะได้สมการการเคลื่อนที่ของอนุภาค ดังต่อไปนี้

$$Ma(t) = F(x(t), \dot{x}(t), t) \qquad (2.9)$$

โดยที่ $F(x(t), \dot{x}(t), t)$ เป็นเมตริกซ์ของแรงที่กระทำต่ออนุภาคในระบบ มีรูปแบบดังนี้

$$F(t) = [F_1^T, F_2^T, ..., F_n^T]^T$$

$a(t)$ หรือ $\ddot{x}(t)$ เป็นเมตริกซ์ของความเร่งของอนุภาคในระบบ มีรูปแบบดังนี้

$$a(t) = [a_1^T, a_2^T, ..., a_n^T]^T$$

หรือ $$a(t) = M^{-1}F(x(t), \dot{x}(t), t)$$

M เป็นเมตริกซ์ของมวลของอนุภาคในระบบ โดยจะอยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ทแยงมุม ดังนี้

$$M = \text{Diag}\{m_1, m_1, m_1, m_2, ..., m_n, m_n, m_n\}$$

จากสมการที่ (2.9) เป็นสมการของการเคลื่อนที่ของระบบซึ่งยังไม่มีการเพิ่มแรงใดๆเข้าไปในระบบ ต่อจากนั้นเมื่อต้องการควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เป็นไปตามต้องการ ดังสมการที่ (2.10)

$$A(x, \dot{x}, t)\ddot{x}(t) = b(x, \dot{x}, t) \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $A(x\ ,\ \dot{x}\ ,\ t)$ และ $b(x\ ,\ \dot{x}\ ,\ t)$ อยู่ในรูปของเมตริกซ์

การควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคในระบบทำได้โดยการเพิ่มแรงเข้าไปในสมการที่ (2.9) ซึ่งแรงที่เพิ่มเข้าไปนี้เรียกว่า แรงบังคับ (Constraint Force) ดังนั้นจึงทำให้สมการที่ (2.9) กลายเป็น

$$M\ddot{x}(t) \quad = \quad F(x(t)\ ,\ \dot{x}(t)\ ,\ t) + F^{c}(x(t)\ ,\ \dot{x}(t)\ ,\ t) \tag{2.11}$$

โดยที่ $F^{c}(x(t)\ ,\ \dot{x}(t)\ ,\ t)$ เป็นเมตริกซ์ของแรงบังคับ ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เป็นไปตามสมการที่ (2.10)

ในการคำนวณหาค่า เมตริกซ์ของแรงบังคับ(Constraint Force) ทำได้โดยคำนวณตามสมการที่ (2.12)

$$F^{c}(t) \quad = \quad M^{1/2}\,(AM^{-1/2})^{+}(b - Aa) \tag{2.12}$$

แทนค่า สมการที่ (2.12) ลงในสมการที่ (2.11) จะได้ว่า

$$M\ddot{x}(t) \quad = \quad F + M^{1/2}(AM^{-1/2})^{+}(b - Aa) \tag{2.13}$$

หรือ $$\ddot{x}(t) \quad = \quad M^{-1}F + M^{-1/2}(AM^{-1/2})^{+}(b - Aa) \tag{2.14}$$

โดยที่ $\ddot{x}(t)$ เป็นเมตริกซ์ของความเร่งของอนุภาคในระบบ หลังการควบคุมการเคลื่อนที่

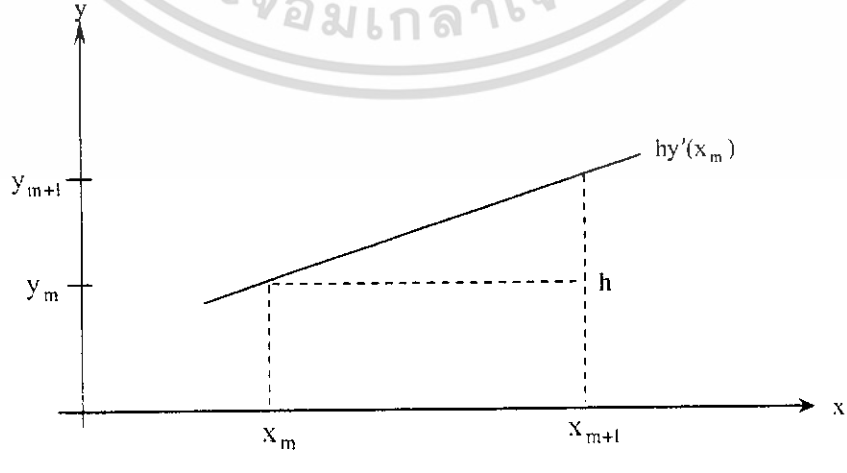
2.3 วิธีรุงเง คุตตา (Runge Kutta)

วิธีการแก้สมการอนุพันธ์เชิงปกติที่นิยมใช้กันมากก็คือ วิธีของรุงเง-คุตตา ซึ่งเป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธีของออยเลอร์ กล่าวคือ วิธีของออยเลอร์ซึ่งมีสูตร

$$\begin{aligned} y_{m+1} &= y_m + hf(x_m, y_m) \\ &= y_m + hy' + x_m \end{aligned}$$

หรือ $$y'(x_m) \quad = \quad \frac{y_{m+1} - y_m}{h} \tag{2.15}$$

นั่นคือ วิธีของออยเลอร์จะหา y_{m+1} โดยใช้เส้นตรงที่มีความชันเป็น $y'(x_m)$ และผ่านจุด (x_m, y_m) เป็นตัวกำหนด ดังรูปที่ 2.6 L เป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $y'(x_m)$ และผ่านจุด (x_m, y_m)



รูปที่ 2.6 การประมาณค่าโดยใช้ความชัน 1 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

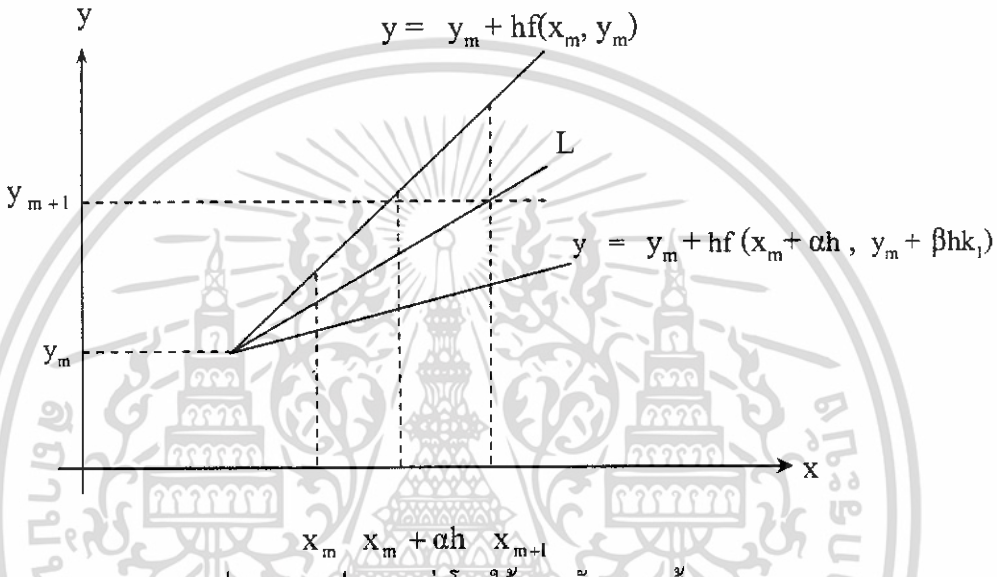
สำหรับวิธีของรุงเง-คุตตาจะใช้เส้นตรงที่ผ่านจุด (x_m, y_m) และมีความชันเป็นค่าเฉลี่ยของอนุพันธ์ที่หลายจุด เช่นในกรณีที่ใช้ความชันเป็นค่าเฉลี่ยของอนุพันธ์ที่สองจุด จะได้สมการ (2.16)

$$y_{m+1} = y_m + h(a_1k_1 + a_2k_2) \tag{2.16}$$

โดย $k_1 = f(x_m, y_m) = y'(x_m)$

$k_2 = f(x_m + \alpha h, y_m + \beta h k_1)$

นั่นคือ วิธีนี้ใช้เส้นตรงที่ผ่านจุด (x_m, y_m) และมีความชันเท่ากับค่าเฉลี่ยของ $y'(x_m)$ และ $f(x_m + \alpha h\ ,\ y_m + \beta h k_1)$ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การประมาณค่าโดยใช้ความชันหลายเส้น

จากรูปที่ 2.7 เส้นตรง L มีสมการเป็น

$$y = y_m + h(a_1 f(x_m, y_m) + a_2 f(x_m + \alpha h, y_m + \beta h f(x_m, y_m)))$$

ดังนั้น

$$y_{m+1} = y_m + h(a_1 f(x_m, y_m) + a_2 f(x_m + \alpha h, y_m + \beta h f(x_m, y_m))) \tag{2.17}$$

รูปแบบของสมการที่ (2.17) เรียกว่า วิธีรุงเง- คุตตา อันดับที่ 2 ซึ่งจะต้องหาค่า a_1, a_2, a และ β วิธีการหาค่าเหล่านี้จะกระทำโดยใช้ความรู้ของการขยายของเทย์เลอร์ของฟังก์ชั่นสองตัวแปร ดังนี้

$$g(x+h, y+k) = g(x,y) + [h\frac{\partial g}{\partial x} + k\frac{\partial g}{\partial y}] + \frac{1}{2}[h^2\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + 2hk\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y} + k^2\frac{\partial^2 g}{\partial y^2}] \tag{2.18}$$

ดังนั้น $k_2 = f(x_m + \alpha h.\ y_m + \beta h k_1)$

$= f(x_m, y_m) + \alpha h f_x(x_m, y_m) + \beta h k_1 f_y(x_m, y_m) + \ldots\ldots$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_{m+1} = y_m + ha_1 f(x_m, y_m) + ha_2 f(x_m, y_m) + h^2\alpha a_2 f(x_m, y_m) + h^2\beta a_2 k_1 f_y(x_m, y_m) + \cdots\cdots$$

$$= y_m + ha_1 f(x_m, y_m) + ha_2 f(x_m, y_m) + h^2\alpha a_2 f_x(x_m, y_m) + h^2\beta a_2 f(x_m, y_m) f_y(x_m, y_m)$$

$$y_{m+1} = y(x_{m+1}) = y(x_m + h)$$

$$= y(x_m) + hy'(x_m) + \frac{h^2}{2} y''(x_m) + \frac{h^3}{6} y'''(x_m) + \cdots\cdots$$

$$= y_m + hf(x_m, y_m) + \frac{h^2}{2}[f_x + ff_y] + \frac{h^3}{6}[f_{xx} + 2f_{xy}f + f_x f_y + f_y^2 f + f^2 f_{yy}] + \cdots\cdots$$

เทียบสัมประสิทธิ์ในเทอมของ h จากสมการข้างต้นสองสมการจะได้ว่า

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$\alpha a_2 = \frac{1}{2}$$

$$\beta a_2 = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \quad a_1 + a_2 = 1$$

$$\alpha a_2 = \frac{1}{2}$$

$$\alpha = \beta$$

จะเห็นได้ว่ามีสมการ 3 สมการ แต่มีค่าที่จะต้องหา 4 ค่า ดังนั้น ถ้าสมมติให้ $\alpha = \beta = 1$

$$\therefore \quad a_1 + a_2 = \frac{1}{2}$$

ดังนั้น สมการที่ (2.16) จะเป็น

$$y_{m+1} = y_m + \frac{h}{2}(k_1 + k_2) \tag{2.19}$$

โดย $k_1 = f(x_m, y_m)$, $k_2 = f(x_m + h, y_m + hk_1)$

ในทำนองเดียวกันถ้าให้ $\alpha = \beta = \frac{1}{2}$ จะได้ $a_2 = 1$ และ $a_1 = 0$

ดังนั้น รูปแบบที่ (1.1) จะเป็น

$$y_{m+1} = y_m + hf(x_m + \frac{h}{2}) , y_m + \frac{h}{2}k_1) \tag{2.20}$$

โดย $k_1 = f(x_m, y_m)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสมการที่ (2.19) และ (2.20) เป็นวิธีรุงเง – คุตตาอันดับที่สอง แต่รูปแบบที่ นิยมใช้คือ รูปแบบจากรูปแบบที่ (2.19)

ถ้าให้ $a_1 = 1$ และ $a_2 = 0$ จะได้เป็นรูปแบบของออยเลอร์ตามเดิม

วิธีของรุงเง – คุตตาแบบสองชั้น ใช้ค่าอนุพันธ์เฉลี่ยที่สองจุด เป็นความชันของเส้นตรงที่ผ่านจุด (x_m, y_m) เพื่อหาค่าประมาณของ $y(x_{m+1})$ วิธีที่จะศึกษาต่อไปเป็นวิธีของรุงเง – คุตตา อันดับที่สาม ซึ่งใช้ค่าอนุพันธ์เฉลี่ยที่สามจุด เป็นความชันของเส้นตรงที่ผ่านจุด (x_m, y_m) เพื่อหาค่า y_{m+1} ดังนี้

$$y_{m+1} = y_m + h(a_1k_1 + a_2k_2 + a_3k_3) \tag{2.21}$$

โดย

$$k_1 = f(x_m, y_m)$$
$$k_2 = f(x_m + \alpha_1 h, y_m + \beta_1 hk_1)$$
$$k_3 = f(x_m + \alpha_2 h, y_m + \beta_2 hk_1 + \beta_3 hk_2)$$

จากสมการที่ (2.18) กระจาย k_1 และ k_3 ได้ดังนี้

$$k_2 = f + \alpha_1 hf_x + \beta_1 hk_1 f_y + \alpha_1^2 h^2 f_{xx} + \alpha_1\beta_1 h^2 k_1 f_{xy} + \beta_1^2 h^2 k_1^2 f_{yy}$$
$$= f + h(\alpha_1 f_x + \beta_1 ff_y) + h^2(\frac{1}{2}\alpha_1^2 f_{xx} + \alpha_1\beta_1 ff_{xy} + \frac{1}{2}\beta_1^2 f^2 f_{yy}) + ...$$
$$k_3 = f + \alpha_2 hf_x + \beta_2 hk_1 f_y + \beta_3 hk_2 f_y + \alpha_2^2 h^2 f_{xx} + \alpha_2\beta_2 h^2 k_1 f_{xy}$$
$$+ \alpha_2\beta_3 h^2 k_2 f_{xy} + (\beta_2 hk_1 + \beta_3 hk_2)^2 f_{yy} + ...$$
$$= f + h(\alpha_2 f_x + \beta_2 ff_y + \beta_3 ff_y) + h^2(\alpha_1\beta_1 f_x f_y + \beta_1\beta_3 ff_y^2 + \alpha_2^2 f_{xx}$$
$$+ \alpha_2\beta_2 ff_{xy}$$
$$= + \alpha_2\beta_3 ff_{xy} + \frac{1}{2}\beta_2^2 f^2 f_{yy} + \frac{1}{2}\beta_3^2 f^2 f_{yy} + \beta_2\beta_3 f^2 f_{yy} + ...$$

$$y_{m+1} = y_m + ha_1 f + ha_2 f + h^2 a_2 \alpha_1 f_x + h^2 a_2 \beta_1 ff_y$$
$$+ h^3 a_2 \alpha_1^2 f_{xx} + h^3 a_2 \alpha_1 \beta_1 ff_{xy} + h^3 a_2 \beta_2^2 f^2 f_{yy}$$
$$+ ha_3 f + h^2 a_3 \alpha_3 f_x + h^3 a_3 \beta_2 ff_y + h^2 a_3 \beta_3 ff_y$$
$$+ h^3 a_3 \alpha_1 \beta_3 f_x f_y + h^3 a_3 \beta_1 \beta_3 ff_y^2 + h^3 \alpha_2^2 a_3 f_{xx}$$
$$+ h^3 a_3 \alpha_2 \beta_2 ff_{xy} + h^3 a_3 \alpha_2 \beta_3 ff_{xy} + h^3 a_3 \beta_2 f^2 f_{yy}$$
$$+ h^3 a_3 \beta_3 f^2 f_{yy} + h^3 a_3 \beta_2 \beta_3 f^2 f_{xy} + ...$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= y_m + h(a_1 f + a_2 f + a_3 f) + h^2\left(a_2\alpha_1 f_x + a_3\alpha_2 f_x + a_2\beta_1 f f_y\right.$$
$$+ a_3\beta_2 f f_y + a_3\beta_3 f f_y \Big) + h^3\Big(\frac{1}{2}a_2\alpha_1^2 f_{xx} + a_2\alpha_1\beta_1 f f_{xy} + \frac{1}{2}a_2\beta_1^2 f^2 f_{yy}$$
$$+ \frac{1}{2}a_2\beta_1^2 f^2 f_{yy} + a_3\alpha_1\beta_3 f_x f_y + a_3\beta_1\beta_3 f f_y^2$$
$$+ \frac{1}{2}\alpha_2^2 a_3 f_{xx} + a_3\alpha_2\beta_2 f f_{xy} + a_3\alpha_2\beta_3 f_{xy}$$
$$+ \frac{1}{2}a_3\beta_2^2 f^2 f_{yy} + \frac{1}{2}a_3\beta_3^2 f^2 f_{yy} + a_3\beta_2\beta_3 f^2 f_{yy}\Big) + \ldots\ldots\ldots$$

$$y_{m+1} = y(x_{m+1}) = y(x_{m+1} + h)$$
$$= y(x_m) + hy'(x_m) + \frac{h^2}{2}y''(x_m) + \frac{h^3}{2}y'''(x_m) + \ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$= y_m + hf + \frac{h^2}{2}[f_x + ff_y] + \frac{h^3}{6}[f_{xx} + 2f_{xy}f + f_x f_y + f_y^2 f$$
$$+ f^2 f_{yy}] + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

โดยค่า $f, f_x, f_y, f_{xx}, f_{xy}, f_{yy}$ แทนค่าที่จุด (x_m, y_m) และสมมุติว่า $f_{xy} = f_{yx}$ เทียบสัมประสิทธิ์ในเทอมของ h จากสมการข้างต้นสองสมการจะได้ว่า

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1$$
$$a_2 + a_3 = \frac{1}{2}$$
$$a_2\beta_1 + a_3\beta_2 + a_3\beta_3 = \frac{1}{2}$$
$$a_2\alpha_1^2 + a_3\alpha_2^2 = \frac{1}{3}$$
$$a_2\alpha_1\beta_1 + a_3\alpha_3\beta_2 + a_3\alpha_2\beta_3 = \frac{1}{3}$$
$$a_3\alpha_1\beta_3 = \frac{1}{6}$$
$$a_3\alpha_1\beta_3 = \frac{1}{6}$$
$$a_2\beta_1^2 + a_3\beta_2^2 + a_3\beta_3^2 + 2a_3\beta_2\beta_3 = \frac{1}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลำดับสมการใหม่จะได้

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1$$

$$a_2\alpha_1 + a_3\alpha_2 = \frac{1}{2}$$

$$a_2\alpha_1^2 + a_3\alpha_2^2 = \frac{1}{3}$$

$$\alpha_2 = \beta_2 + \beta_3$$

$$a_3\alpha_1\beta_3 = \frac{1}{6}$$

$$\alpha_1 = \beta_1$$

ดังนั้น จะมี 6 สมการ แต่มีค่าที่จะต้องหา 8 ค่า

ดังนั้น ถ้าให้ $\alpha_1 = \frac{1}{2}$ และ $\alpha_1 = 1$

$\beta_1 = \frac{1}{2}$, $\beta_2 = -1$, $\beta_3 = 2$, $a_1 = \frac{1}{6}$, $a_2 = \frac{2}{3}$ และ

$a_3 = \frac{1}{6}$

ดังนั้น สมการที่ (2.21) จะเป็น

$$y_{m+1} = y_m + \frac{h}{6}(k_1 + 4k_2 + k_3) \qquad (2.22)$$

โดย

$$k_1 = f(x_m, y_m)$$

$$k_2 = f(x_m + \frac{h}{2}, y_m + \frac{h}{2}k_1)$$

$$k_2 = f(x_m + h, y_m - hk_1 + 2hk_2)$$

หรือ ถ้าให้ $\alpha_2 = 1$, $\beta_2 = 0$

$\therefore$ $\alpha_1 = 1$, $\beta_2 = 1$, $\beta_3 = 1$, $a_1 = \frac{1}{2}$, $a_2 = \frac{1}{3}$

และ $a_3 = \frac{1}{6}$

ดังนั้น สมการที่ (2.21) จะเป็น

$$y_{m+1} = y_m + \frac{h}{6}(3k_1 + 2k_2 + k_3) \qquad (2.23)$$

โดย

$$k_1 = f(x_m, y_m)$$

$$k_2 = f(x_m + h, y_m + hk_1)$$

$$k_3 = f(x_m + h, y_m + hk_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสมการที่ (2.22) และ (2.23) เป็นวิธีรุงเง – คุตตาอันดับที่สาม แต่วิธีที่นิยมที่สุดเป็นรูปแบบของสมการที่ (2.22)

ในทำนองเดียวกันกับวิธีรุงเง – คุตตาอันดับที่สองและอันดับที่สามอาจจะหาวิธีของรุงเง – คุตตาอันดับสูงขึ้นไปเรื่อยๆ ได้แต่ทั้งนั้นในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติวิธีของรุงเง - คุตตาอันดับที่สูงเกินกว่าสี่จะไม่ทำให้การหาผลเฉลยได้ดีขึ้น ดังนั้นโดยทั่วไปจึงใช้วิธีของรุงเง – คุตตาอันดับที่สอง อันดับที่สามและอันดับที่สี่ และวิธีรุงเง – คุตตาอันดับที่สี่ที่นิยมใช้จะมีรูปแบบดังนี้

$$y_{m+1} = y_m + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \qquad (2.24)$$

โดย

$$k_1 = f(x_m, y_m)$$

$$k_2 = f(x_m + \frac{h}{2}, y_m + \frac{h}{2}k_1)$$

$$k_3 = f(x_m + \frac{h}{2}, y_m + \frac{h}{2}k_2)$$

$$k_4 = f(x_m + h, y_m + hk_3)$$

โดยทั่วไปจะเขียน RK – 2 , RK - 3 , และ RK - 4 แทนวิธีของรุงเง – คุตตาอันดับที่สอง อันดับที่สามและอันดับที่สี่ตามลำดับ

2.4 โปรแกรมแมทแลบ(Matlab)

โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูง (High – level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิก (Graphics) ที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อใช้มองภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจนชื่อของแมทแลบ (Matlab) ย่อมาจาก matrix laboratory เดิมโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทางเมตริกซ์ (Matrix) ที่พัฒนาจากโพรเจ็ค (Project) ที่ชื่อว่า ลิงค์แพค (Linkpack)

โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) ได้พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ส่งมาจากหลายๆ ผู้ใช้เป็นระยะเวลาหลายปีจึงทำให้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย บางมหาวิทยาลัยได้ใช้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาทางคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ตลอดจนในด้านอุตสาหกรรมได้ใช้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย พัฒนาและวิเคราะห์

โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า ทูลล์บอก(Toolbox) โดยโปรแกรมแมทแลบ(Matlab) จะมี ทูลล์บอก(Toolbox) ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing toolbox) การประมวลผลภาพ(Image processing toolbox) ระบบควบคุม(Control system toolbox) โครงข่ายประสาท(Neural networks toolbox) ฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy logic toolbox) เวฟเลท(Wavelet toolbox) การติดต่อสื่อสาร (Communication toolbox) สถิติ(Statistics toolbox) และสาขาอื่นๆ มากมายภายในทูลล์บอก(Toolbox) แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.1 ข้อดีของโปรแกรมแมทแลบ (Matlab)

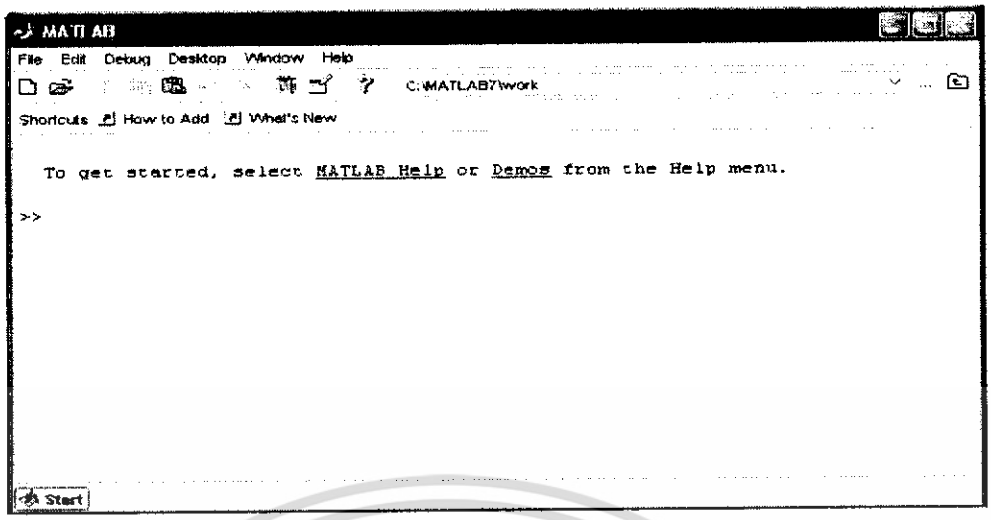
1. มีฟังก์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมายตลอดจนสามารถสร้างฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้เองในสาขาที่ต้องการ
2. โปรแกรมพัฒนาได้ง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ง่าย และรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่นๆ เช่น C , Fortran , Basic เป็นต้น
3. มีโครงสร้างแบบจำลอง(Simulink) ซึ่งเป็นชุดคำสั่ง ที่นำไปสร้างบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทดสอบประเมินผลระบบทางกล ต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง
4. สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว
5. นำไปใช้ในงานทางด้านกราฟิกได้เป็นอย่างดีทั้งในด้านการแสดงภาพตั้งแต่สองมิติ และสามมิติในรูปแบบพื้นผิว (Surface) และระดับสูงต่ำ (Contour) ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกัน และเก็บไว้เพื่อที่จะสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย
6. ประยุกต์ใช้ในการสร้างรูปแบบการเชื่อมต่อภายนอก ได้โดยการเลือกใช้เมนูต่างๆ โดย โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) จะมีเครื่องมือให้เลือกใช้ เช่น เมนู รายการ และ ปุ่มกด เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
7. ทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นได้ เช่น Fortran , Borland C/C++ , Microsoft Visual C++ และ Watcom C/C++ ด้วยการเขียนฟังก์ชันที่เป็น เม็กซ์ไฟล์ (Mex file) โดยโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) จะเรียกใช้รูทีน จากโปรแกรมภาษา C และ Fortran
8. โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) เป็นระบบอินเทอร์แอคทีฟ (Interactive) ซึ่งส่วนของข้อมูลพื้นฐานเป็นอาร์เรย์ที่ไม่ต้องการมิติทำให้โปรแกรม แมทแลบ (Matlab) สามารถทำการแก้ปัญหาทางเทคนิคต่างๆ ได้มาก ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และดีกว่าโปรแกรมภาษา C และ Fortran

2.4.2 การใช้งานโปรแกรมแมทแลบ (Matlab)

เมื่อเริ่มต้นใช้งาน โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) หน้าต่างแรกที่พบก็คือหน้าต่างคำสั่ง บนหน้าต่างคำสั่งจะพบเครื่องหมาย Matlab Prompt (>>) ซึ่งเครื่องหมายนี้จะแสดงความหมายว่าพร้อมที่จะรอรับคำสั่งต่างๆ เพื่อทำการคำนวณและประมวลผล โดยที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ จะอยู่ด้านขวามือของเครื่องหมาย ">>" ของหน้าต่างคำสั่งดังรูปที่ 2.8

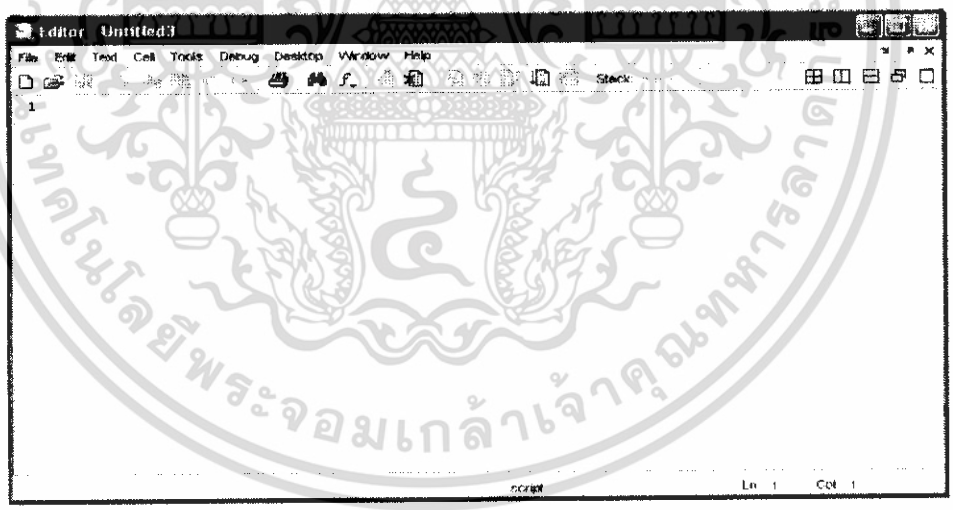
72273

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงหน้าต่างคำสั่งของโปรแกรมแมทแลบ (Matlab)

โดยปกติจะไม่นิยมเขียนโปรแกรมลงบนหน้าต่างคำสั่ง ส่วนใหญ่หน้าต่างคำสั่งจะมีไว้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรม หรือใช้ในการทดสอบคำสั่งก่อนที่จะเขียนคำสั่งนั้นๆลงในโปรแกรม สำหรับการเขียนโปรแกรมนั้นจะต้องทำการเปิดหน้าต่างที่จะใช้เขียนโปรแกรมขึ้นมาก่อน โดยการเลือก File => > New =>> M-File ก็จะปรากฏหน้าต่างสำหรับใช้เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงหน้าต่างสำหรับใช้เขียนโปรแกรม

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะต้องทำการบันทึกข้อมูลไว้ในรูปแบบของ M-File จากนั้นจึง Run โปรแกรมเพื่อแสดงผลของโปรแกรม การ Run โปรแกรมทำโดยเลือก Debug =>> Run ซึ่งถ้าไม่มีความผิดพลาดใดๆ จากการเขียนโปรแกรม โปรแกรมก็จะแสดงผลตามคำสั่งต่างๆที่เขียนไว้ในโปรแกรม แต่ถ้ามีจุดที่ผิดพลาดโปรแกรมจะแสดงสาเหตุของความผิดพลาดไว้ในหน้าต่างแรกของโปรแกรม การออกจากโปรแกรมทำโดย เลือก File =>> Exit MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน ประกอบด้วย 9 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาโปรแกรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา
3. ศึกษาการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทดสอบ
4. ทำการควบคุมการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทดสอบ
5. ประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมการสั่นกับแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ
6. ประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมการสั่นกับแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ
7. เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลในลักษณะภาพเคลื่อนไหว
8. ทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่อง
9. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

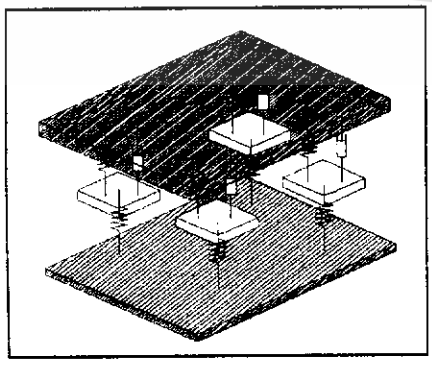
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 กำหนดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

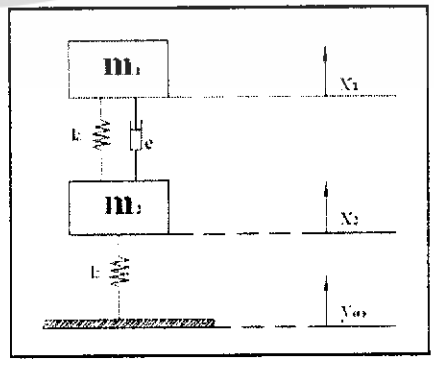
ได้ทำการกำหนดลักษณะของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา ดังต่อไปนี้

3.2.1.1 <u>แบบจำลองจริง</u>

เป็นแบบจำลองการพิจารณาลักษณะฐานรองรับโดยทั่วไปของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วยสปริง โช๊คอัพ และ ยางรองฐานเครื่องจักร ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ



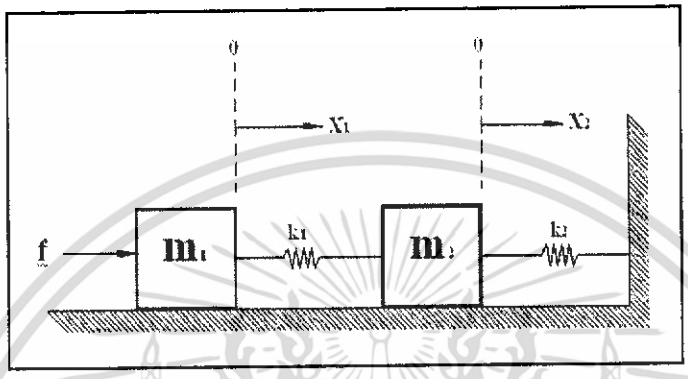
รูปที่ 3.2 แบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในรูปที่ 3.1 เป็นแบบจำลองสมบูรณ์ที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยจุดรองรับน้ำหนัก 4 จุด ส่วนในรูปที่ 3.2 เป็นการนำจุดรองรับเพียงจุดเดียวของแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ มาทำการพิจารณา

3.2.1.2 <u>แบบจำลองทดสอบ</u>

เป็นแบบจำลองอย่างง่าย ที่ใช้ในการศึกษาขั้นตอนการควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ ก่อนที่จะประยุกต์ใช้กับแบบจำลองจริง โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองทดสอบ

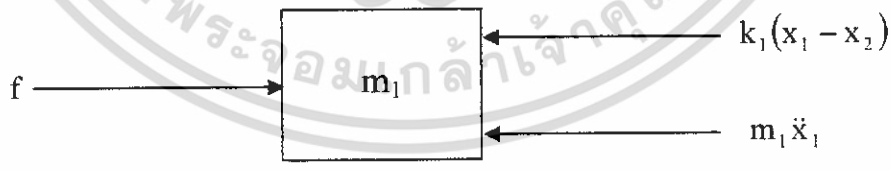
3.2.2 ศึกษาการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทดสอบ

เป็นการพิจารณาลักษณะการสั่นสะเทือนของแบบจำสองทดสอบ ดังรูปที่ 3.3 โดยในขั้นตอนนี้ได้ทำการสมมติให้แรงที่กระทำกับมวลในแบบจำลองมีลักษณะการสั่นแบบคลื่นไซน์ (Sinusoidal) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.2.1 <u>สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์</u>

เป็นการพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลในแบบจำลอง ให้ออกมาเป็นสมการการเคลื่อนที่ โดยการวิเคราะห์จะออกมาในรูปแบบของสมการ ดังต่อไปนี้

พิจารณามวล m_1



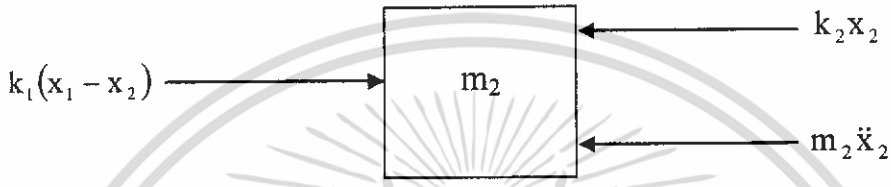
รูปที่ 3.4 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการ

$$
\begin{aligned}
f &= k_1(x_1 - x_2) + m_1\ddot{x}_1 \\
f - k_1(x_1 - x_2) - m_1\ddot{x}_1 &= 0 \\
f - k_1x_1 - k_1x_2 - m_1\ddot{x}_1 &= 0 \\
m_1\ddot{x}_1 &= f - k_1x_1 - k_1x_2 \\
\ddot{x}_1 &= \frac{1}{m_1}\{f - k_1x_1 - k_1x_2\} \qquad (3.1)
\end{aligned}
$$

พิจารณามวล m_2



รูปที่ 3.5 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_2

จะได้สมการ

$$
\begin{aligned}
k_1(x_1 - x_2) &= k_2x_2 + m_2\ddot{x}_2 \\
k_1(x_1 - x_2) - k_2x_2 - m_2\ddot{x}_2 &= 0 \\
k_1x_1 - k_1x_2 - k_2x_2 - m_2\ddot{x}_2 &= 0 \\
m_2\ddot{x}_2 &= k_1x_1 - k_1x_2 - k_2x_2 \\
\ddot{x}_2 &= \frac{1}{m_2}\{k_1x_1 - k_1x_2 - k_2x_2\} \qquad (3.2)
\end{aligned}
$$

3.2.2.2 <u>เขียนโปรแกรมเพื่อแก้ระบบสมการ</u>

นำสมการการเคลื่อนที่ของมวลแต่ละก้อนไปแก้สมการหาค่าระยะของการสั่น ณ. เวลาใดๆ โดยใช้โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) โดยสมมติค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

m_1 = น้ำหนักของมวล m_1 มีค่า 30 กิโลกรัม

m_2 = น้ำหนักของมวล m_2 มีค่า 5 กิโลกรัม

k_1 = k_2 = ค่าความแข็งของสปริง มีค่า 5 นิวตันต่อเมตร

f = แรงที่กระทำกับมวล m_1 มีค่า $D\sin(\omega t)$

ω = ความเร็วเชิงมุม มีค่า $2\pi f_1$ เรเดียนต่อวินาที

f_1 = ความถี่ของการสั่น มีค่า 15 เฮิร์ต

D = แอมพลิจูดของการสั่น มีค่า 2 เมตร

t = เวลาที่ใช้ในการพิจารณา มีหน่วย วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองทดสอบ

เป็นการประยุกต์ใช้วิธีแรงบังคับ(Constraint Force) เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทดสอบ ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$\ddot{X} = M^{-1}F + M^{-1/2}\left(AM^{-1/2}\right)^{+}\left(b - Aa\right) \tag{3.3}$$

$$F^{c}(t) = M^{1/2}\left(AM^{-1/2}\right)^{+}\left(b - Aa\right) \tag{3.4}$$

โดยสมการที่ (3.3) เป็นระบบสมการ การเคลื่อนที่ของมวลในแบบจำลองหลังจากที่ได้ทำการควบคุมการสั่นสะเทือนแล้ว และสมการที่ (3.4) เป็นสมการแรงบังคับที่ต้องใช้เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามต้องการ สำหรับขั้นตอนในควบคุมการสั่นมีดังต่อไปนี้

3.2.3.1 <u>กำหนดเงื่อนไขควบคุมการสั่น</u>

เป็นการกำหนดข้อจำกัดให้กับแบบจำลองในรูปของสมการเงื่อนไข เพื่อหาค่าของตัวแปร $\ddot{X}$, A และ b ในสมการแรงบังคับ โดยในที่นี้จะเป็นการกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของมวลให้เป็นไปตามต้องการหลังทำการควบคุมแล้ว

$X_1 = 2X_2$ มวล m_1 สั่นเป็น 2 เท่าของมวล m_2

$X_1 = Q\sin(\omega_c t) + P\cos(\omega_c t)$ มวล m_1 สั่นตามสมการที่กำหนด

เมื่อ $P = Q =$ แอมพลิจูดของการสั่น มีค่า 1 มิลลิเมตร

$\omega_c =$ ความเร็วเชิงมุม มีค่า $2\pi f_2$ เรเดียนต่อวินาที

$f_2 =$ ความถี่ของการสั่น มีค่า 0.04 เฮิร์ต

ปรับสมการให้อยู่ในรูปของสมการความเร่ง จะได้

$$\ddot{X}_1 = 0$$

$$\ddot{X}_2 = -Q\omega^2_c\sin(\omega_c t) - P\omega^2_c\cos(\omega_c t)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ จะได้

$$\ddot{X}_1 + 0\ddot{X}_2 = 0$$

$$0\ddot{X}_1 + \ddot{X}_2 = -Q\omega^2_c\sin(\omega_c t) - P\omega^2_c\cos(\omega_c t)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix}\ddot{X}_1\\ \ddot{X}_2\end{bmatrix}}_{\ddot{X}} = \underbrace{\begin{bmatrix}0\\ -Q\omega^2_c\sin(\omega_c t) - P\omega^2_c\cos(\omega_c t)\end{bmatrix}}_{b} \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 กำหนดค่าตัวแปรจากสมการการเคลื่อนที่

เป็นการหาค่าตัวแปร M, F และ a ในสมการแรงบังคับ จากสมการการเคลื่อนที่อย่างอิสระของมวลในแบบจำลองก่อนการควบคุม ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1}\{F - k_1 x_1 - k_1 x_2\} \quad \text{สมการการเคลื่อนที่ของมวล } m_1 \text{ ก่อนการควบคุม}$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2}\{k_1 x_1 - k_1 x_2 - k_2 x_2\} \quad \text{สมการการเคลื่อนที่ของมวล } m_2 \text{ ก่อนการควบคุม}$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ จะได้

$$\underbrace{\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \end{bmatrix}}_{a} = \underbrace{\begin{bmatrix} -k_1 & -k_1 \\ k_1 & -(k_1+k_2) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f \\ 0 \end{bmatrix}}_{F}$$

$$a = M^{-1} F \tag{3.6}$$

3.2.3.3 เขียนโปรแกรมเพื่อแก้ระบบสมการ

เป็นการใช้โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) เพื่อช่วยในการแก้ระบบสมการ เพื่อหารูปแบบการสั่นของแบบจำลองที่ควบคุมแล้ว รวมถึงค่าของแรงบังคับที่ใช้ในการควบคุมมวลให้เป็นไปตามสมการเงื่อนไข โดยจะแสดงผลในรูปของกราฟเส้น

3.2.3.4 ตรวจสอบความถูกต้อง

เป็นการตรวจสอบลักษณะการสั่นของแบบจำลองที่ควบคุมแล้ว ว่าตรงตามสมการเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในข้างต้นหรือไม่

3.2.4 การควบคุมการสั่นแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ

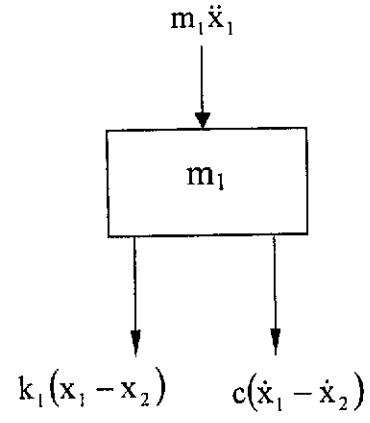
เป็นการนำวิธีการการควบคุมการสั่นสะเทือนที่ได้จากศึกษาแบบจำลองทดสอบมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ โดยในขั้นตอนนี้ได้กำหนดสัญญาณการสั่นจากพื้นเป็น 2 ลักษณะคือ สัญญาณการสั่นแบบคลื่นไซน์ (Sinusoidal) และสัญญาณการสั่นแบบสุ่ม (Random) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของมวลแต่ละก้อนในแบบจำลอง ตลอดจนการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการควบคุมการสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามต้องการ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.4.1 ศึกษาการสั่นสะเทือนอย่างอิสระของแบบจำลอง

ได้นำมวลในแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ มาพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลแต่ละก้อนออกมาในรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ ดังต่อไปนี้

พิจารณามวล m_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

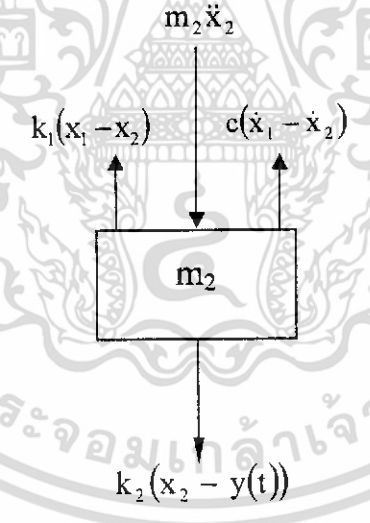


รูปที่ 3.6 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_1

จะได้สมการ

$$\begin{aligned} k_1(x_1 - x_2) + c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + m_1\ddot{x}_1 &= 0 \\ k_1x_1 - k_1x_2 + c\dot{x}_1 - c\dot{x}_2 + m_1\ddot{x}_1 &= 0 \\ m_1\ddot{x}_1 &= c\dot{x}_2 - c\dot{x}_1 + k_1x_2 - k_1x_1 \end{aligned} \tag{3.7}$$

พิจารณามวล m_2



รูปที่ 3.7 การพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวล m_2

จะได้สมการ

$$\begin{aligned} k_1(x_1 - x_2) - m_2\ddot{x}_2 + c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= k_2(x_2 - y(t)) \\ k_1x_1 - k_1x_2 - m_2\ddot{x}_2 + c\dot{x}_1 - c\dot{x}_2 &= k_2(x_2 - y(t)) \\ m_2\ddot{x}_2 &= c\dot{x}_1 - c\dot{x}_2 + k_1x_1 - k_1x_2 + k_2x_2 - k_2y(t) \\ m_2\ddot{x}_2 &= c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - (k_1 + k_2)x_2 + k_1x_1 - k_2y(t) \end{aligned} \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เมื่อทำการพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลแต่ละก้อนจะได้สมการการเคลื่อนที่ ดังต่อไปนี้

$m_1\ddot{x}_1 = c\dot{x}_1 - c\dot{x}_2 + k_1x_1 - k_1x_2$ สมการการเคลื่อนที่ของมวล m_1

$m_2\ddot{x}_2 = c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - (k_1 + k_2)x_2 + k_1x_1 - k_2y(t)$ สมการการเคลื่อนที่ของมวล m_2

3.2.4.2 <u>เขียนโปรแกรมเพื่อแก้ระบบสมการ</u>

นำสมการการเคลื่อนที่ของมวลแต่ละก้อนไปแก้สมการหาค่าระยะของการสั่น โดยใช้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) โดยสมมติค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

m_1 = น้ำหนักของมวล m_1 มีค่า 100 กิโลกรัม

m_2 = น้ำหนักของมวล m_2 มีค่า 2 กิโลกรัม

k_1 = ค่าความแข็งของสปริง มีค่า 10 นิวตันต่อเมตร

k_2 = ค่าความแข็งของสปริง มีค่า 3 นิวตันต่อเมตร

c = ค่าความหน่วงของโช๊คอัพ มีค่า 20 นิวตันวินาทีต่อเมตร

โดยพิจารณาสัญญาณการสั่นจากพื้น 2 ลักษณะ คือ

1) $y(t) = D\sin(\omega t)$

เมื่อ ω = ความเร็วเชิงมุม มีค่า $2\pi f_1$ เรเดียนต่อวินาที

f_1 = ความถี่ของการสั่น มีค่า 15 เฮิร์ต

D = แอมพลิจูดของการสั่น มีค่า 2 เมตร

t = เวลาที่ใช้ในการพิจารณา มีหน่วย วินาที

2) $y(t)$ เป็นสัญญาณการสั่นจากพื้นแบบสุ่ม

3.2.4.3 <u>ควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลอง</u>

เป็นการประยุกต์ใช้วิธีแรงบังคับ(Constraint Force) ซึ่งมีรูปแบบดังสมการที่ (3.3) และ (3.4) เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนของแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดเงื่อนไขควบคุมการสั่น

เป็นการกำหนดข้อจำกัดให้กับแบบจำลองในรูปของสมการเงื่อนไข เพื่อหาค่าของตัวแปร $\ddot{X}$, A และ b ในสมการแรงบังคับ โดยในที่นี้จะเป็นการกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของมวลให้เป็นไปตามต้องการหลังทำการควบคุมแล้ว

$X_1 = 0$ มวล m_1 นิ่งอยู่กับที่ไม่เกิดการสั่น

$X_2 = (0.15*10^{-3})\sin(\omega_c t)$ มวล m_2 เคลื่อนที่อยู่ในระยะ ± 0.15 มิลลิเมตร

เมื่อ ω_c = ความเร็วเชิงมุม มีค่า $2\pi f_1$ เรเดียนต่อวินาที

f_2 = ความถี่ของการสั่น มีค่า 0.04 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับสมการให้อยู่ในรูปของสมการความเร่ง จะได้

$$\ddot{X}_1 = 0$$
$$\ddot{X}_2 = -(0.15*10^{-3})\omega^2{}_c\sin(\omega_c t)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของของเมตริกซ์ จะได้

$$\ddot{X}_1 + 0\ddot{X}_2 = 0$$
$$0\ddot{X}_1 + \ddot{X}_2 = -(0.15*10^{-3})\omega^2{}_c\sin(\omega_c t)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix}\ddot{X}_1\\ \ddot{X}_2\end{bmatrix}}_{\ddot{x}} = \underbrace{\begin{bmatrix}0\\ -(0.15*10^{-3})\omega^2{}_c\sin(\omega_c t)\end{bmatrix}}_{b} \qquad (3.9)$$

2) กำหนดค่าตัวแปรจากสมการการเคลื่อนที่

เป็นการหาค่าตัวแปร M, F และ a ในสมการแรงบังคับ จากสมการการเคลื่อนที่อย่างอิสระของมวลในแบบจำลองก่อนการควบคุม

$m_1\ddot{x}_1 = c\dot{x}_1 - c\dot{x}_2 + k_1x_1 - k_1x_2$ สมการการเคลื่อนที่ของมวล m_1

$m_2\ddot{x}_2 = c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - (k_1 + k_2)x_2 + k_1x_1 - k_2y(t)$ สมการการเคลื่อนที่ของมวล m_2

จัดสมการให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ จะได้ว่า

$$\underbrace{\begin{bmatrix}m_1 & 0\\ 0 & m_2\end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix}\ddot{X}_1\\ \ddot{X}_2\end{bmatrix}}_{a} = \underbrace{\begin{bmatrix}-k_1 & -k_1\\ k_1 & -(k_1+k_2)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}X_1\\ X_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-c & c\\ c & -c\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{X}_1\\ \dot{X}_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ k_2y(t)\end{bmatrix}}_{F}$$

$$a = M^{-1}F \qquad (3.10)$$

3) เขียนโปรแกรมเพื่อแก้ระบบสมการ

เป็นการใช้โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) เพื่อช่วยในการแก้ระบบสมการ เพื่อหารูปแบบการสั่นของแบบจำลองที่ควบคุมแล้ว รวมถึงค่าของแรงบังคับที่ใช้ในการควบคุมมวลให้เป็นไปตามสมการเงื่อนไข

4) ตรวจสอบความถูกต้อง

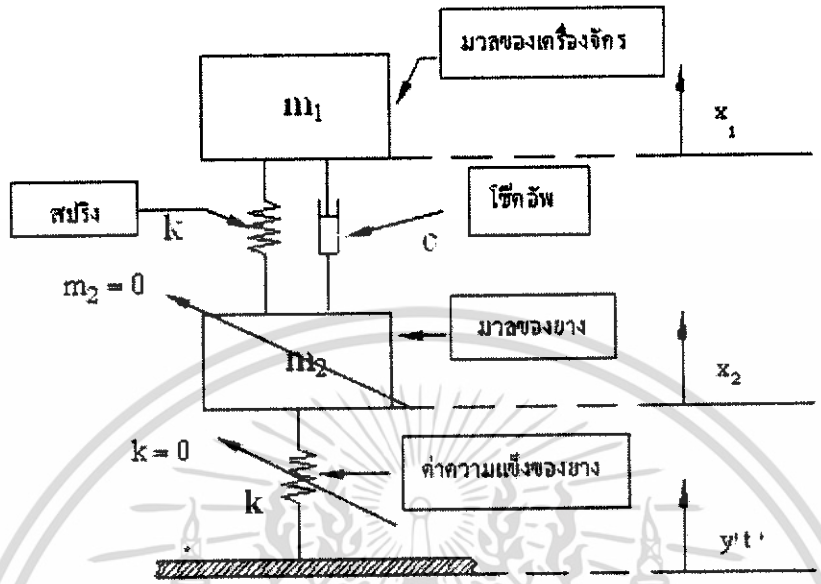
เป็นการตรวจสอบลักษณะการสั่นของแบบจำลองที่ควบคุมแล้ว ว่าตรงตามสมการเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในข้างต้นหรือไม่

3.2.5 การควบคุมการสั่นแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ

เป็นการนำความรู้ทั้งหมดที่ได้จากการจำลองการควบคุมการสั่นของแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ มาประยุกต์ใช้ในการจำลองการควบคุมการสั่นกับแบบจำลองในระบบ 3 มิติ ซึ่งประกอบด้วยจุดรองรับน้ำหนัก 4 จุด โดยในขั้นตอนนี้จะกำหนดให้สัญญาณการสั่นจากพื้นให้มีลักษณะเป็นแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจำลองการควบคุมการสั่นในครั้งนี้ ได้พิจารณาให้มวลและค่าความแข็งของยางรองมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากมวลของยางรองมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของเครื่องจักร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ

ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลในแบบจำลองจะได้สมการการเคลื่อนที่ใหม่ดังต่อไปนี้

$$m\ddot{x}(t) + k((x(t) - y(t)) + c((\dot{x}(t) - \dot{y}(t)) = 0$$
$$m\ddot{x}(t) = -kx(t) + ky(t) - c\dot{x}(t) + c\dot{y}(t)$$
$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = c\dot{y}(t) + ky(t) \qquad (3.11)$$

โดยได้ทำการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

x = ระยะการสั่นของมวลของเครื่องจักร

m = น้ำหนักของมวลเครื่องจักร มีค่า 100 กิโลกรัม

k = ค่าความแข็งของสปริง มีค่า 10 นิวตันต่อเมตร

c = ค่าความหน่วงของโช๊คอัพ มีค่า 5 นิวตันวินาทีต่อเมตร

y(t) = สัญญาณการสั่นจากพื้นแบบสุ่ม โดยสัญญาณการสั่นที่กระทำต่อฐานรองรับแต่ละจุดจะแตกต่างกัน จากนั้นได้ใช้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) ทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนอย่างอิสระของฐานรองรับแต่ละจุดในแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ

นำวิธีแรงบังคับ(Constraint Force) ดังสมการที่ (3.3) และ (3.4) มาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการสั่นของฐานรองรับทั้ง 4 จุด

กำหนดเงื่อนไขควบคุม ดังต่อไปนี้

$$X = (0.15 * 10^{-3})\sin(\omega_c t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลังจากการควบคุมแล้วต้องการให้มวลของเครื่องจักรสั่นอยู่ในระยะไม่เกิน ± 0.15 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะการสั่นที่น้อยมากไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องจักร จากนั้นทำการแก้สมการ ที่ (3.3) และ (3.4) เพื่อคำนวณหาขนาดของแรงที่ใช้ในการควบคุมมวลของเครื่องจักรในแบบจำลอง และลักษณะการสั่นของเครื่องจักรหลังการควบคุม

3.2.6 เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลในลักษณะภาพเคลื่อนไหว

ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำผลการวิเคราะห์ลักษณะการสั่นทั้งหมด มาแสดงผลในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว โดยใช้โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) โดยแบ่งการแสดงผลออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1. การสั่นสะเทือนแบบสุ่มจากพื้น
2. การสั่นของมวลเครื่องจักรอย่างอิสระ
3. การสั่นของมวลเครื่องจักรหลังการควบคุม

3.2.7 ทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่อง

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย

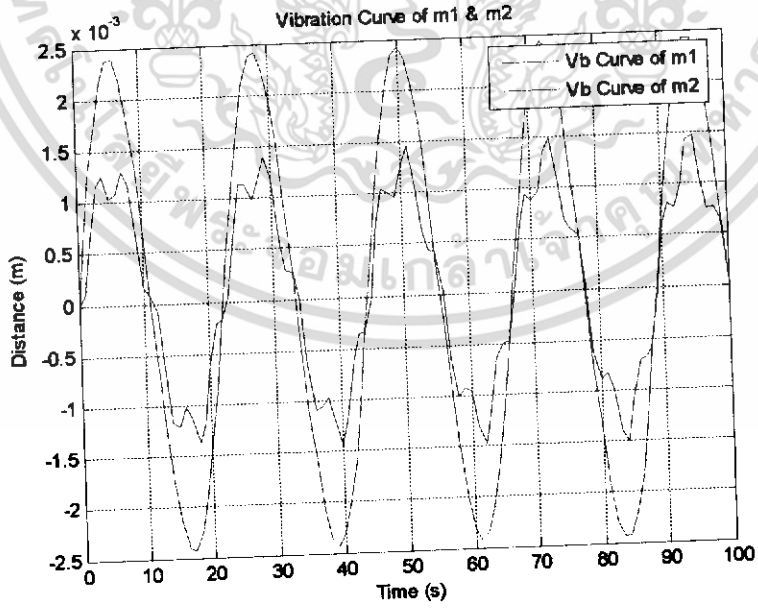
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ในการควบคุมการสั่นสะเทือนของมวลในแบบจำลองด้วยวิธีแรงบังคับนี้ ได้แบ่งลักษณะของการแสดงผลออกเป็น 4 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะเป็นการควบคุมการสั่นของแบบจำลองทดสอบ โดยกำหนดให้สัญญาณการสั่นที่ป้อนให้กับแบบจำลองเป็นแบบคลื่นไซน์(Sinusoidal) ส่วนต่อมาเป็นการควบคุมการสั่นของแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ ในส่วนนี้ได้พิจารณาสัญญาณการสั่น 2 ลักษณะคือ การสั่นแบบคลื่นไซน์ (Sinusoidal) และการสั่นแบบสุ่ม (Random) ส่วนที่สามเป็นการควบคุมการสั่นของแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ โดยในส่วนนี้สัญญาณการสั่นจากพื้นจะเป็นแบบสุ่ม (Random) และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการแสดงผลลักษณะการสั่นในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว

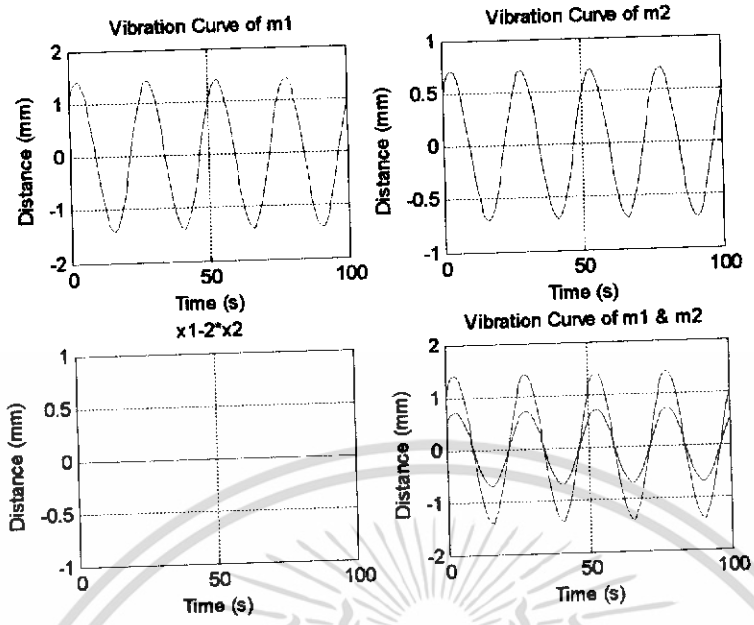
4.1 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองทดสอบ

ได้ทำการจำลองลักษณะการสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้สัญญาณการสั่นเป็นแบบคลื่นไซน์(Sinusoidal) หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการควบคุมการสั่นสะเทือน ในขั้นตอนแรกได้ทำการกำหนดเงื่อนไขของการสั่นของมวลในแบบจำลอง โดยในที่นี้ได้กำหนดให้มวล m_1 มีการสั่นตามสมการที่กำหนด และสั่นเป็น 2 เท่าของมวล m_2 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา 100 วินาที



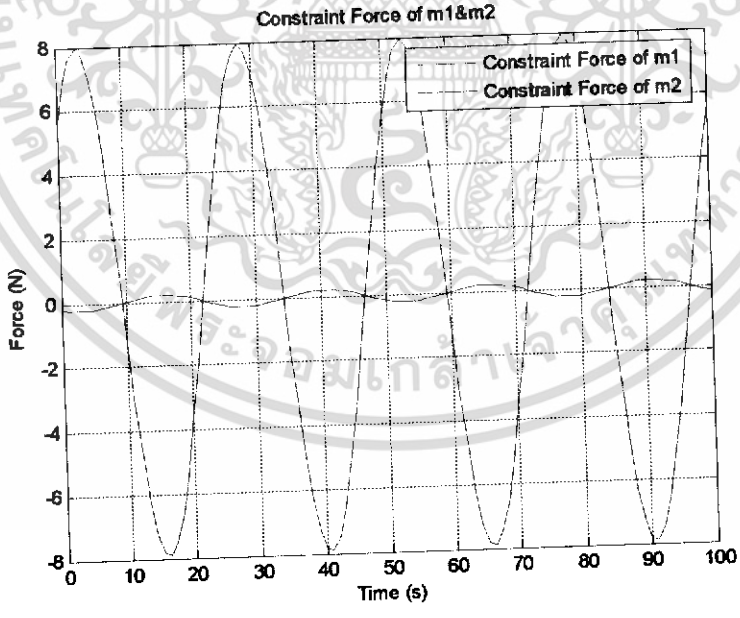
รูปที่ 4.1 การสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เงื่อนไขควบคุมการสั่นของแบบจำลอง

จากนั้นได้ประยุกต์ใช้วิธีแรงบังคับ(Constraint Force) เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทดสอบ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าของแรงที่ต้องใช้ในการควบคุมมวลในแบบจำลองให้มีลักษณะการสั่นตามที่ได้กำหนดไว้ในเงื่อนไขควบคุมการสั่น โดยลักษณะของแรงที่ใช้ในการควบคุมมวลที่เวลาใดๆแสดงในรูปที่ 4.3

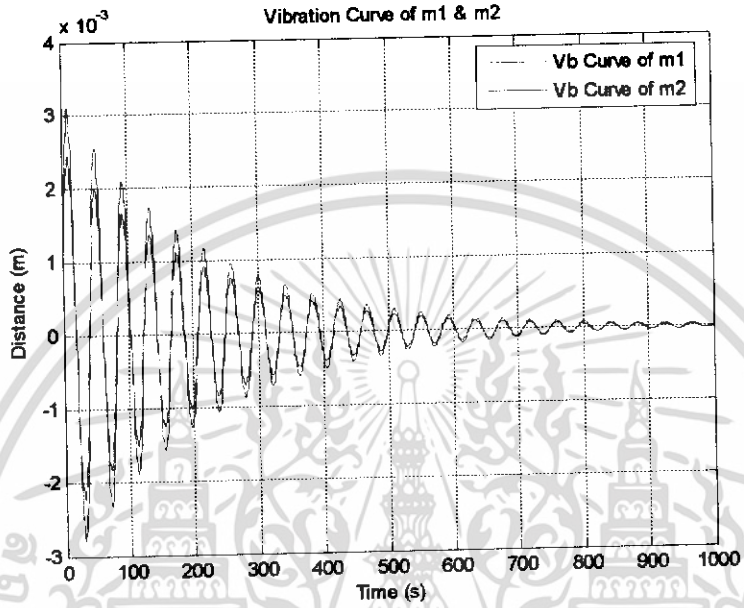


รูปที่ 4.3 แรงที่ใช้ควบคุมมวล ในแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ

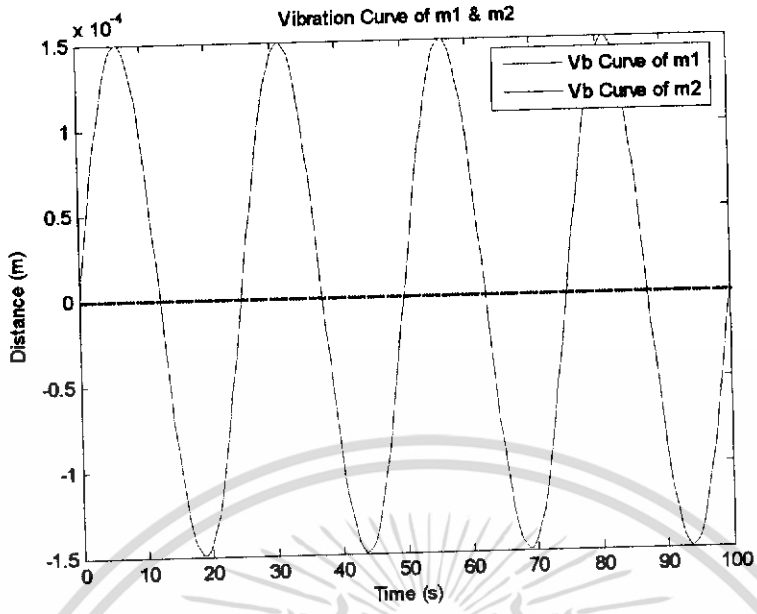
ได้นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาแบบจำลองทดสอบมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยแบบจำลองดังกล่าวได้มีการติดตัวหน่วง(Damper) เพิ่มเข้ามาในแบบจำลองและแบบจำลองมีการรับสัญญาณการสั่นจากพื้นในขั้นตอนแรกได้กำหนดสัญญาณการสั่นเป็นแบบคลื่นไซน์ (Sinusoidal) ซึ่งลักษณะการสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.4 โดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา 1000 วินาที



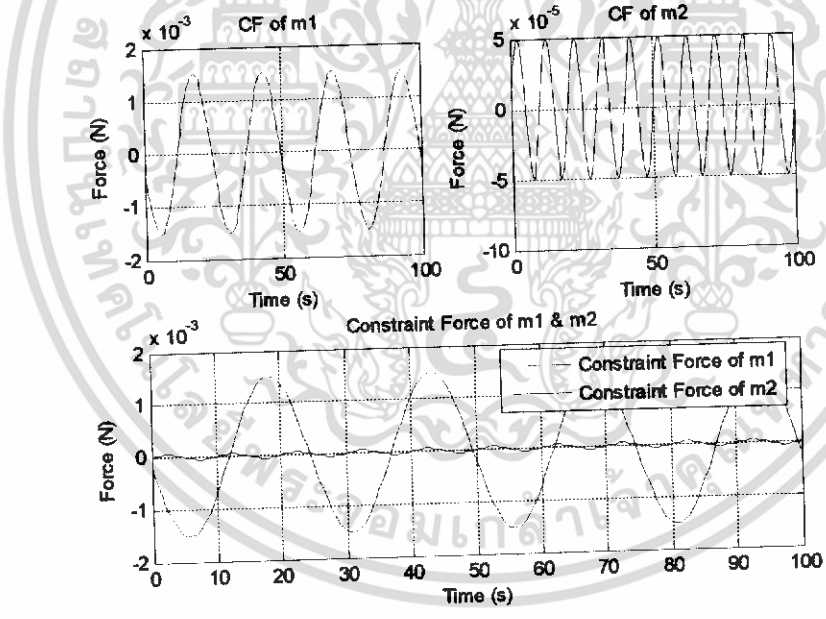
รูปที่ 4.4 การสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง

ต่อมาได้กำหนดเงื่อนไขควบคุมให้กับแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยในที่นี้ได้กำหนดให้มวล m_1 นิ่งไม่เกิดการสั่น และมวล m_2 สั่นอยู่ในระยะไม่เกิน $\pm$ 0.15 มิลิเมตร จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ค่าของแรงที่ใช้ในการควบคุมการสั่นของมวลในแบบจำลองที่เวลาใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา 100 วินาที เพื่อให้เห็นรายละเอียดของกราฟอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



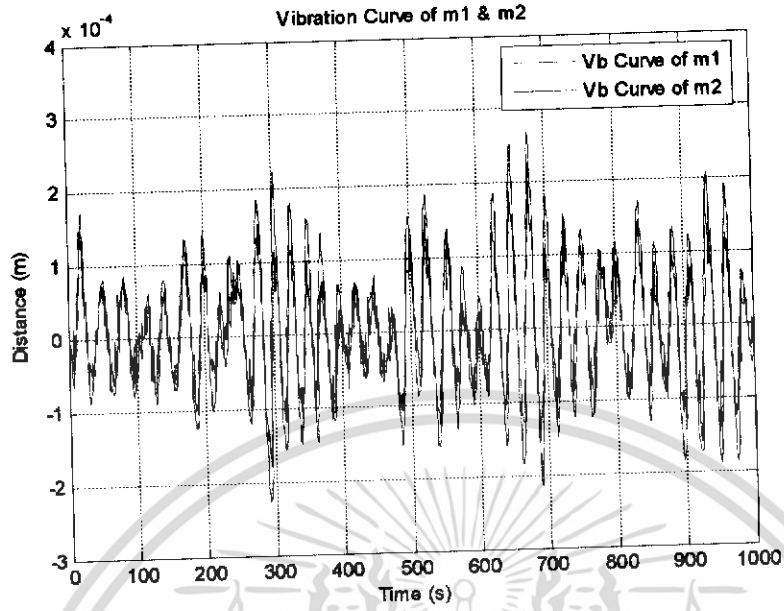
รูปที่ 4.5 เงื่อนไขควบคุมการสั่นของแบบจำลอง



รูปที่ 4.6 แรงที่ใช้ควบคุมมวลในแบบจำลอง

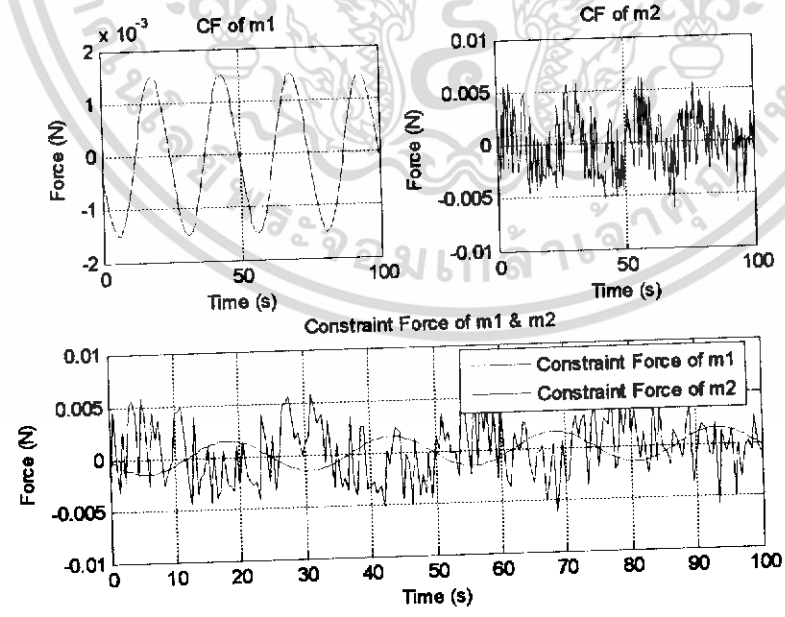
จากนั้นจึงเพิ่มความซับซ้อนให้กับแบบจำลอง โดยการกำหนดสัญญาณการสั่นจากพื้นให้มีการสั่นแบบสุ่ม (Random) โดยอ้างอิงจากลักษณะของพื้นที่มีการสั่นไม่คงที่ แล้วได้แสดงลักษณะการสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง โดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา 1000 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลอง

จากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขการสั่นให้กับแบบจำลอง โดยจะใช้เงื่อนไขเดิม คือ กำหนดให้มวล m_1 นิ่งไม่เกิดการสั่น และมวล m_2 สั่นอยู่ในระยะไม่เกิน ±0.15 มิลิเมตร จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ค่าของแรงที่ใช้ในการควบคุมการสั่นของมวลในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา 100 วินาที เพื่อให้เห็นรายละเอียดของกราฟได้อย่างชัดเจน

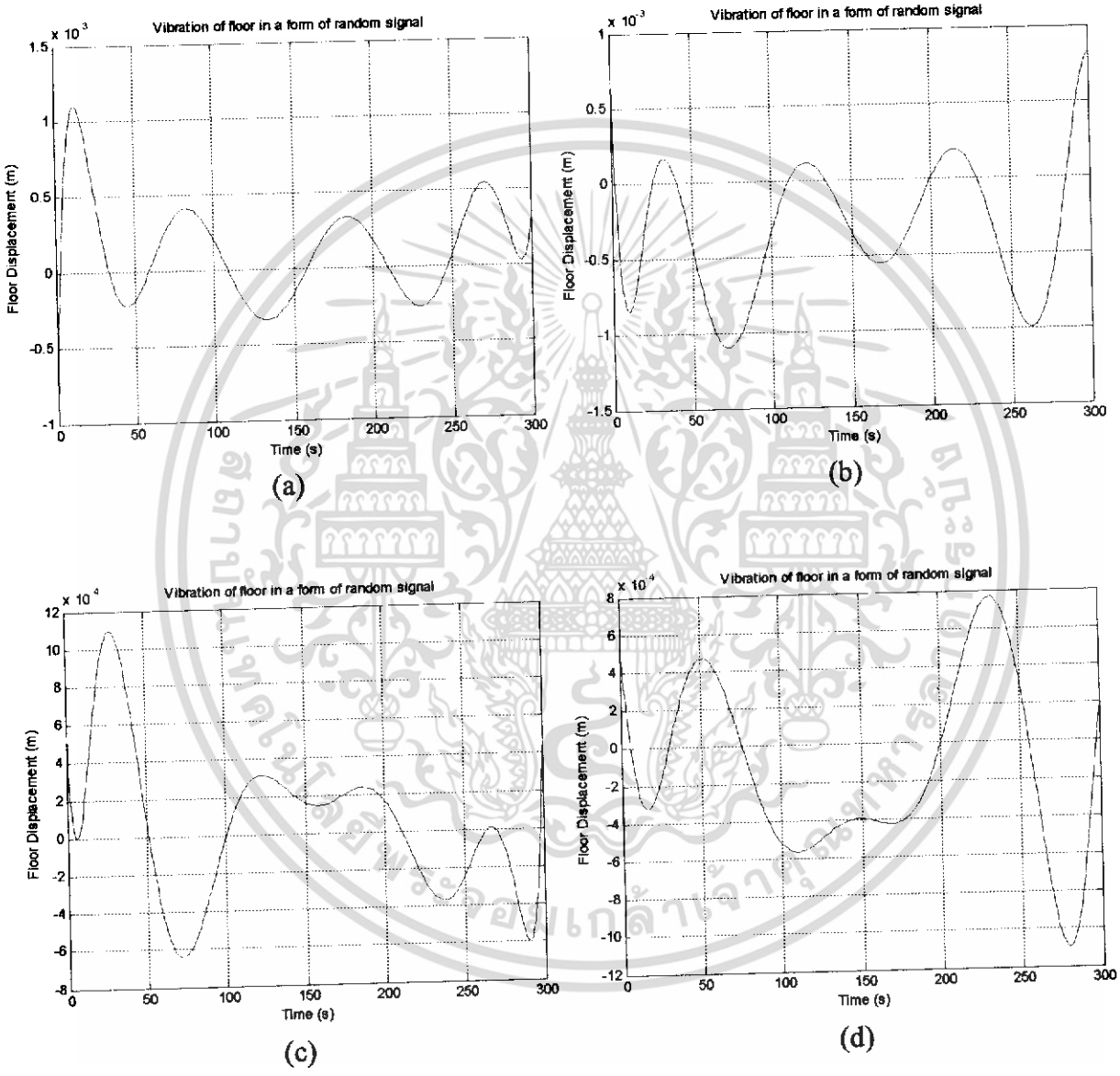


รูปที่ 4.8 แรงที่ใช้ควบคุมมวลในแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ

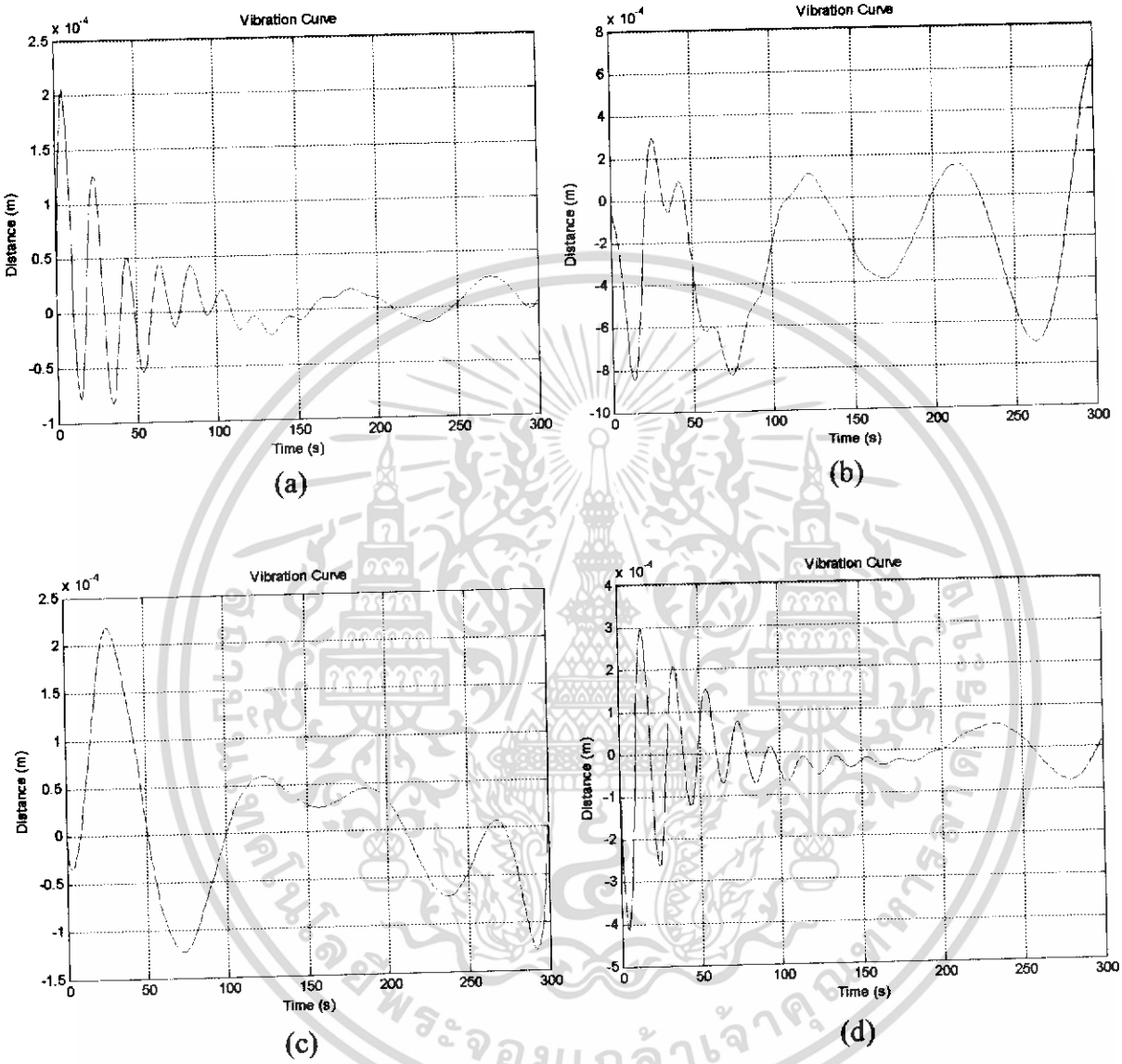
แบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ 4 จุดรวมกันเป็นฐานรองรับของเครื่องจักร ดังรูปที่ 3.1 ในการควบคุมการสั่นในครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า แต่ละจุดของฐานรองรับจะได้รับสัญญาณการสั่นแบบสุ่มที่แตกต่างกันไป ดังรูปที่ 4.9 โดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา 300 วินาที



รูปที่ 4.9 การสั่นของพื้นใต้ฐานรองรับของเครื่องจักรทั้ง 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

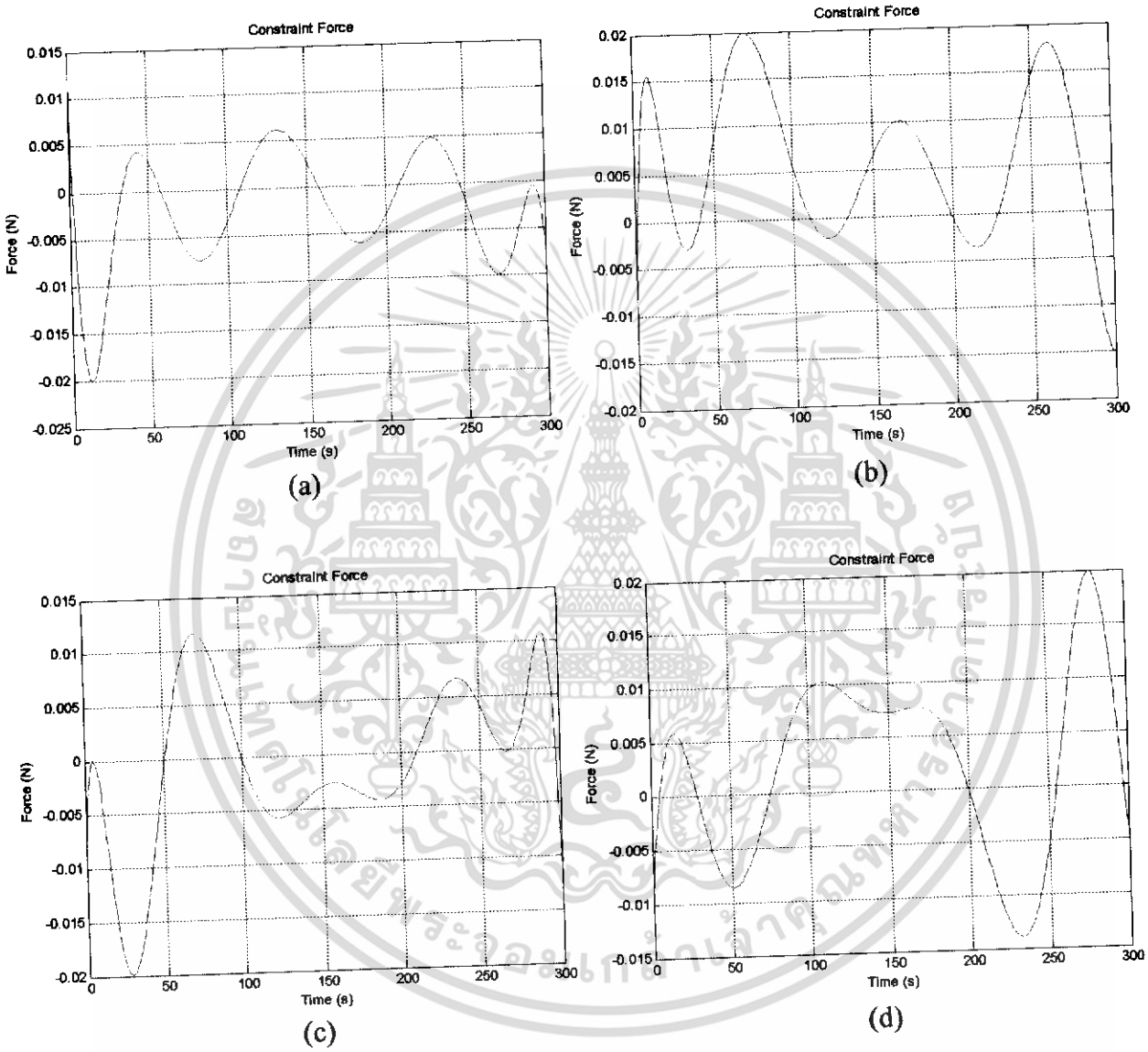
จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ลักษณะการสั่นอย่างอิสระของเครื่องจักรในแต่ละจุดบนฐานรองรับ ดังรูปที่ 4.10 โดยการสั่นของเครื่องจักรในแต่ละจุดจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามลักษณะการสั่นจากพื้น



รูปที่ 4.10 การสั่นของมวลเครื่องจักรบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นได้ประยุกต์ใช้วิธีแรงบังคับ(Constraint Force) เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในแต่ละจุดรองรับ โดยได้กำหนดให้เมื่อทำการควบคุมการสั่นเรียบร้อยแล้วมวลของเครื่องจักรในแต่ละจุดบนฐานรองรับจะสั่นได้ไม่เกิน ±0.15 มิลลิเมตร หลังจากที่ใช้โปรแกรมแมทแลบ (Matlab) ช่วยในการแก้ระบบสมการทำให้ได้ค่าของแรงที่ใช้ในการควบคุมมวลเครื่องจักรในแต่ละจุดให้สั่นตามเงื่อนไขที่กำหนด ดังรูปที่ 4.11

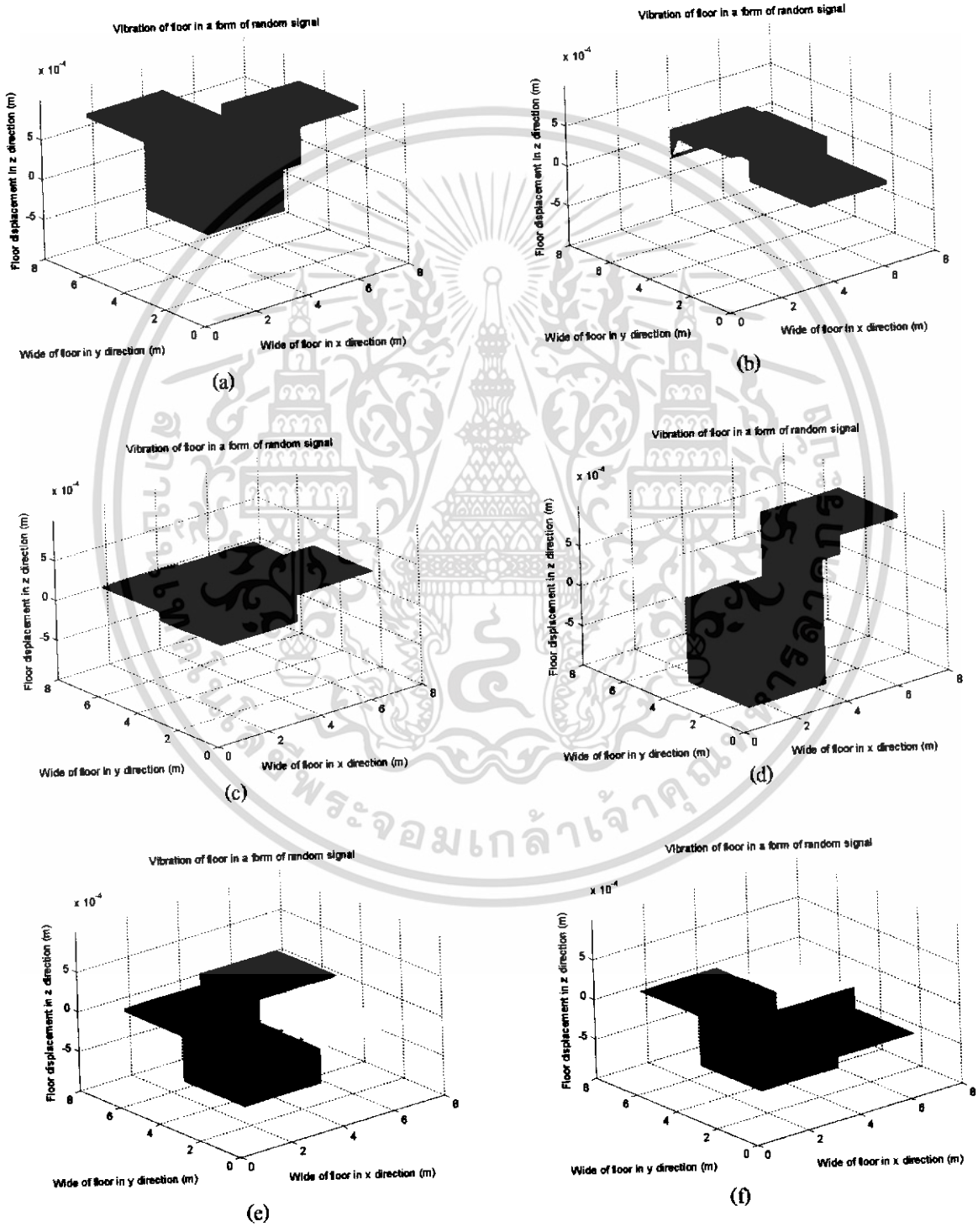


รูปที่ 4.11 แรงบังคับที่ใช้ควบคุมมวลเครื่องจักรบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

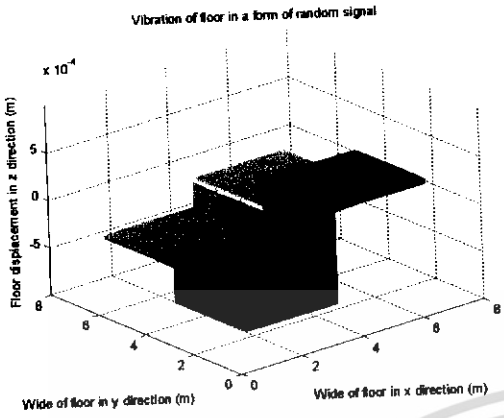
4.4 การแสดงผลในลักษณะภาพเคลื่อนไหว

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการใช้โปรแกรมแมทแลบ(Matlab) ช่วยในการแสดงผลลักษณะการสั่นในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว โดยจะรับข้อมูลการสั่นจากแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ การแสดงผลแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ ส่วนแรกจะเป็นการแสดงลักษณะการสั่นแบบสุ่ม ของพื้นใต้ฐานรองรับของเครื่องจักร ดังรูปที่ 4.12 ส่วนต่อมาจะเป็นลักษณะการสั่นของมวลเครื่องจักรอย่างอิสระก่อนการควบคุมการสั่น ดังรูปที่ 4.13 และส่วนสุดท้ายจะเป็นการแสดงลักษณะการสั่นของเครื่องจักรหลังจากควบคุมการสั่นแล้ว ดังรูปที่ 4.14

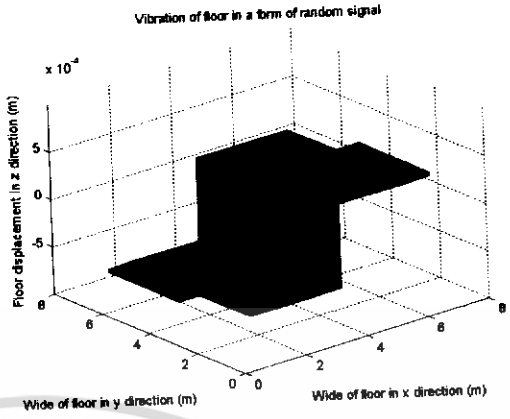


รูปที่ 4.12 การสั่นแบบสุ่มของพื้นใต้ฐานเครื่องจักร

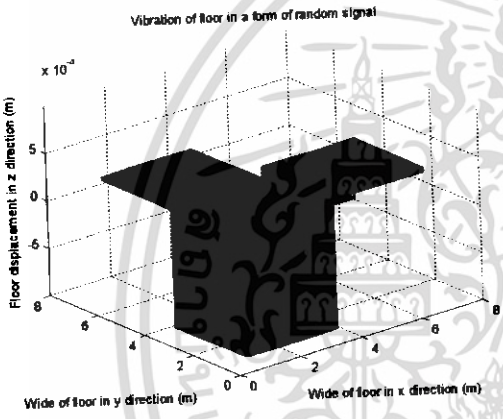
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



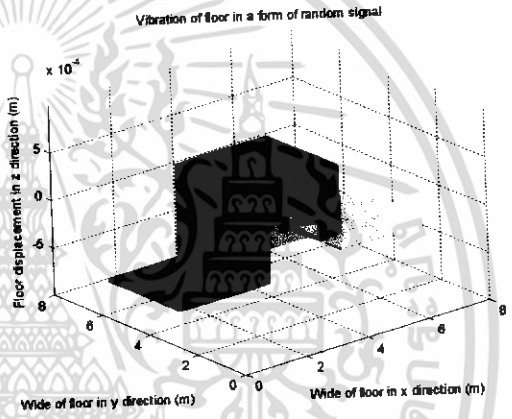
(g)



(h)



(i)

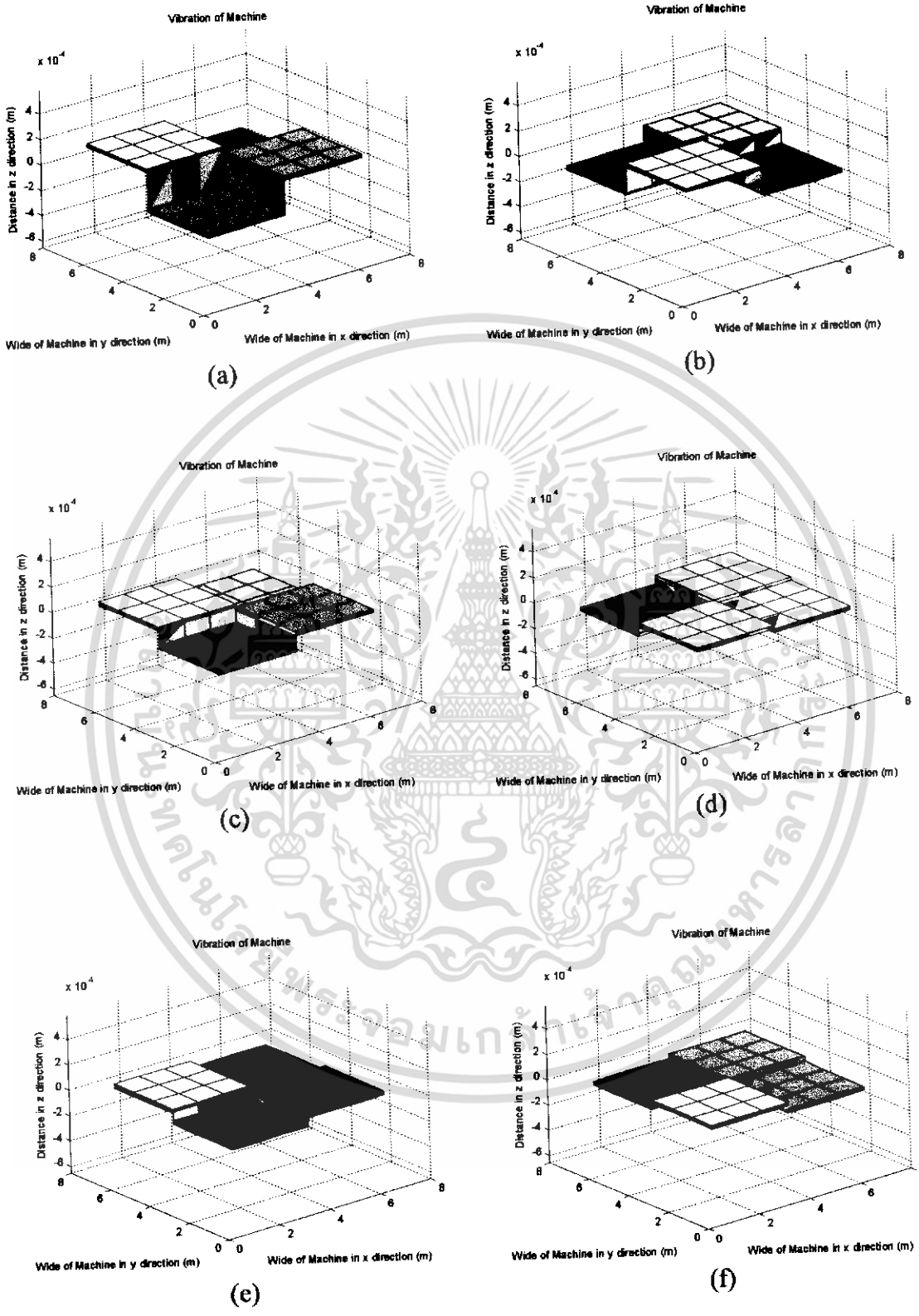


(j)

รูปที่ 4.12 การสั่นแบบสุ่มของพื้นใต้ฐานเครื่องจักร (ต่อ)

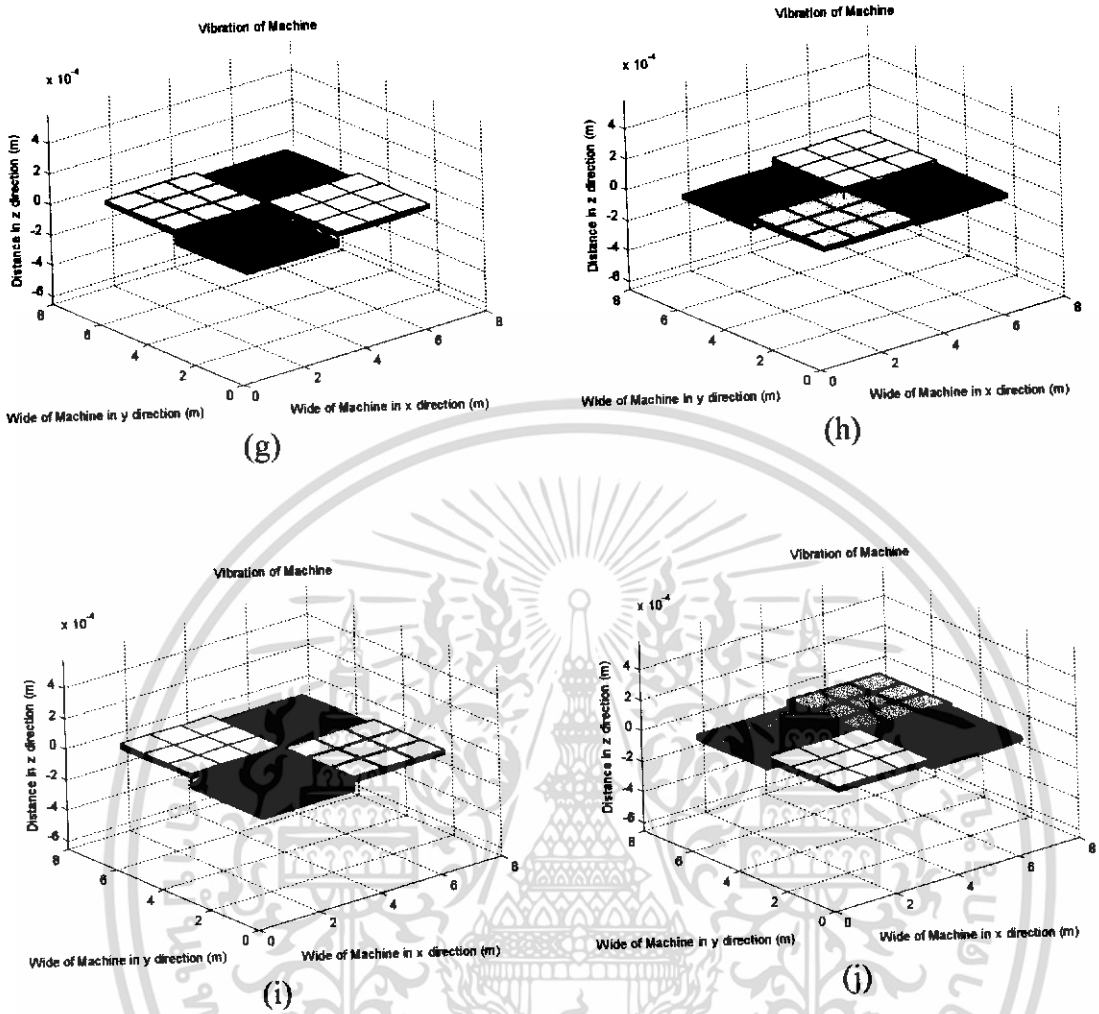
จากรูปที่ 4.12 เป็นการแสดงลักษณะการสั่นของพื้นใต้ฐานรองรับของเครื่องจักร โดยได้แบ่งพื้นออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนจะแสดงตำแหน่งของพื้นใต้จุดรองรับแต่ละจุดของเครื่องจักร การแสดงผลแบ่งออกเป็น 10 ภาพ โดยเวลาในแต่ละภาพจะห่างกัน 10 วินาที ลักษณะการสั่นดังกล่าวจะส่งผลทำให้มวลของเครื่องจักรในแต่ละจุดเกิดการสั่นในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยการแสดงผลในลักษณะของภาพเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ จะทำให้เห็นลักษณะการสั่นของพื้นใต้ฐานรองรับของเครื่องจักรชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การสั่นอย่างอิสระของเครื่องจักร ก่อนการควบคุม

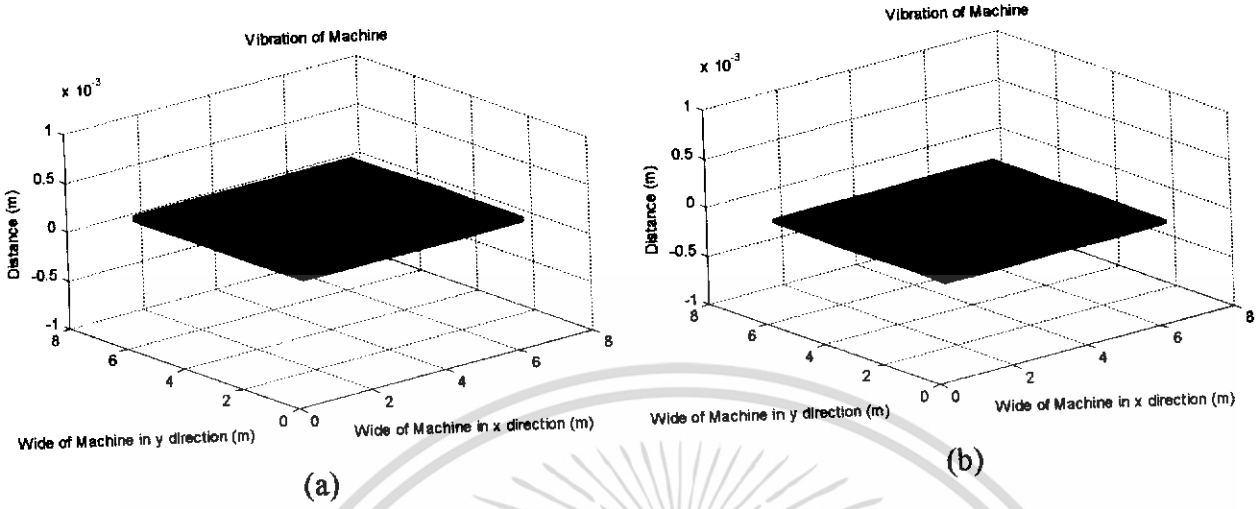
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การสั่นอย่างอิสระของเครื่องจักร ก่อนการควบคุม (ต่อ)

จากรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงลักษณะการสั่นอย่างอิสระของเครื่องจักร ก่อนการควบคุม จะเห็นได้ว่าแต่ละจุดของเครื่องจักรมีการสั่นที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการสั่นของพื้นใต้ฐานรองรับของเครื่องจักร เมื่อการสั่นในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันมาก จะทำให้เกิดแรงเฉือนบริเวณรอยต่อระหว่างมวลของเครื่องจักร โดยอาจส่งผลทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับมวลของเครื่องจักรได้ หลังจากได้ประยุกต์ใช้วิธีแรงบังคับ(Constraint Force) เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนแล้ว จะทำให้มวลของเครื่องจักรในแต่ละจุดมีการสั่นที่คงที่เท่าๆกันทุกจุด ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การสั่นของเครื่องจักรหลังการควบคุมการสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

ได้ทำการจำลองการควบคุมการสั่นสะเทือน โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถจำลองลักษณะการสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลองก่อนการควบคุมการสั่นสะเทือนโดยรับสัญญาณการสั่นแบบสุ่ม(Random) จากพื้นพร้อมทั้งสามารถจำลองลักษณะการสั่นของมวลในแบบจำลองหลังการควบคุมการสั่นสะเทือน และสามารถคำนวณค่าของแรงบังคับ (Constraint Force) ที่ใช้ในการควบคุมการสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ ตลอดจนสามารถแสดงผลการสั่นสะเทือนของแบบจำลองในลักษณะของภาพเคลื่อนไหวได้

5.2 วิจารณ์การทดลอง

จากการจำลองการควบคุมการสั่นสะเทือน ของแบบจำลองการควบคุมการควบคุมการสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นมีข้อดีและปัญหาข้อจำกัด เป็นข้อๆดังนี้

1. แบบจำลองการควบคุมการสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้น ตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน
2. ลักษณะของการแสดงผลมีความชัดเจน สวยงาม และเข้าใจง่าย
3. แบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ ถ้าจะประยุกต์ใช้กับงานจริงจะต้องจะต้องเพิ่มความสมจริงให้กับแบบจำลอง โดยพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างรอยต่อของมวลเครื่องจักรในแต่ละจุดบนฐานรองรับ
4. ค่าของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองเป็นเพียงค่าสมมติ ในการประยุกต์แบบจำลองกับเครื่องจักรจริงต้องทำการเก็บค่าตัวแปรต่างๆจากเครื่องจักรอีกครั้งหนึ่ง
5. การแสดงผลการสั่นในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว ลักษณะการสั่นจะเห็นได้ชัดเจนถ้าใช้ความถี่การสั่นต่ำๆ ในกรณีที่ใช้ความถี่การสั่นสูงเกินไปลักษณะการสั่นจะเร็วมากจนมองไม่ทัน
6. แบบจำลองที่สร้างขึ้นกำหนดให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่กึ่งกลางแบบจำลอง จึงไม่มีผลกระทบต่อการคำนวณในแบบจำลอง

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงงาน

1.พัฒนาแบบจำลองโดยเพิ่มความซับซ้อนให้กับแบบจำลอง โดยการกำหนดให้รอยต่อระหว่างมวลของเครื่องจักรในแต่ละจุดบนฐานรองรับมีความสัมพันธ์กัน เพื่อความสมจริงของแบบจำลอง

2. เปลี่ยนลักษณะของแบบจำลอง โดยอ้างอิงจากฐานรองรับจริงของเครื่องจักรซึ่งจำนวนจุดรองรับอาจมีมากกว่า 4 จุด สำหรับค่าของตัวแปรต่างๆในแบบจำลองก็ใช้ค่าจริงจากเครื่องจักรนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำแบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองของจริง มีการติดตั้งอุปกรณ์สร้างแรงที่มวลในแบบจำลองแล้วใช้วิธีแรงบังคับเพื่อควบคุมการสั่นสะเทือน จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการจำลองการสั่นในคอมพิวเตอร์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน

1. ได้แบบจำลองการควบคุมการสั่นสะเทือน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมการสั่นสะเทือนต่อไป

2. มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยวิธีแรงบังคับ (Constraint Force)

3. มีทักษะในการเขียนโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) เพื่อแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

มนัส สังวรศิลป์, 2543.คู่มือโปรแกรม MATLAB ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่1. บริษัท ควงกมลสมัย จำกัด, กรุงเทพ ฯ

เมธินทร์ ทรงชัยกุล, 2521. MATLAB เพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม. มหาลัยวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพ ฯ

Martin Margreaves, 2539. Engineering Systems Modelling and Control. Addison Wesley Longman Ltd.England

ไมตรี โพธิ์สุข, 2529. การวิเคราะห์เชิงตัวเลขพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่1. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง , กรุงเทพ ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
โปรแกรมจำลองการสั่นสะเทือนของแบบจำลองสั่นที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจำลองการสั่นอย่างอิสระของมวลในแบบจำลองทดสอบ

ส่วนของฟังก์ชัน

```
function u_prime = a(t,u)
u_prime = zeros(4,1);    % a column vector
m1 = 30 ;
m2 = 5 ;
k1 = 5 ;
k2 = 5 ;
D  = 2 ;
f  = 15 ;
y  = D*sin(2*pi*f*t);
u_prime(1)= (1/m1)*(-k1*u(2)+k1*u(4)+y);
u_prime(2)= u(1);
u_prime(3)= (1/m2)*(k1*u(2)-(k1+k2)*u(4));
u_prime(4)= u(3);
```

ส่วนของการพล็อตกราฟ

```
clear;clc;
[t,d] = ode45('fn_LM',[0:1:100],[0,0,0,0]);
figure(1)
plot(t,d(:,2),'b');
hold on
plot(t,d(:,4),'r');
hold off
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve of m1 & m2');
grid on
legend('Vb Curve of m1','Vb Curve of m2');
```

คำนวณแรงบังคับและแสดงเงื่อนไขควบคุมการสั่น

```
clear;clc;
t  = 0:1:100 ;
m1 = 30.00 ;
m2 = 5.00 ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
k1 = 5 ;
k2 = 5 ;
D = 2*10^-3 ;
f = 15 ;
y = D*sin(2*pi*f*t);
q = 1 ;
p = 1 ;
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
o = q*(omaga^2)*sin(omaga*t) ;
r = p*(omaga^2)*cos(omaga*t) ;
x1 = q*sin(omaga*t)+p*cos(omaga*t) ;
x2 = 0.5*q*sin(omaga*t)+0.5*p*cos(omaga*t) ;
v1 = q*omaga*cos(omaga*t)-p*omaga*sin(omaga*t) ;
v2 = 0.5*q*omaga*cos(omaga*t)-0.5*omaga*p*sin(omaga*t) ;
figure(1)
subplot(221)
plot(t,x1,'b');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (mm)');
title('Vibration Curve of m1 ');
subplot(222)
plot(t,x2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (mm)');
title('Vibration Curve of m2');
subplot(223)
plot(t,x1-2*x2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (mm)');
title('x1-2*x2 ');
subplot(224)
plot(t,x1,'b',t,x2,'r ');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (mm)');
title('Vibration Curve of m1 & m2');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
legend('Vb Curve of m1','Vb Curve of m2');
Fc1 = 5*x1+5*x2+29.9959*y-29.9959*o-29.9959*r;
Fc2 = -5*x1+10*x2-2.5*o-2.5*r ;
figure(2)
subplot(211)
plot(t,Fc1,'b');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m1');
subplot(212)
plot(t,Fc2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m2');
figure(3)
plot(t,Fc1,'b',t,Fc2,'r ');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m1&m2');
legend('Constraint Force of m1','Constraint Force of m2');
```

โปรแกรมจำลองการสั่นของแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ รับสัญญาณแบบคลื่นไซน์ ส่วนของฟังก์ชัน

```
function u_prime = a(t,u)
u_prime = zeros(4,1);   % a column vector
m1 = 100 ;  m2 = 5 ;
k1 = 10 ;    k2 = 3 ;
c = 20 ;     D  = 2 ;
f = 15 ;
y  = D*sin(2*pi*f*t);
u_prime(1)= (1/m1)*(-k1*u(2)+k1*u(4)-c*u(1)+c*u(3));
u_prime(2)= u(1);
u_prime(3)= (1/m2)*(k1*u(2)-(k1+k2)*u(4)+c*u(1)-c*u(3)+k2*y);
u_prime(4)= u(3);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการพล็อตกราฟ

```
[t,d] = ode45('mol',[0:1:1000],[0,0,0,0]);
figure(1)
plot(t,d(:,2),'b');
hold on
plot(t,d(:,4),'r');
hold off
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve of m1 & m2');
grid on
legend('Vb Curve of m1','Vb Curve of m2');
```

คำนวณค่าแรงบังคับและเงื่อนไขควบคุมการสั่น

```
clear;clc;
t = 0:0.5:100 ;
m1 = 100.00 ;
m2 = 2 ;
k1 = 3 ;
k2 = 10 ;
D = 2 ;
c = 20 ;
f = 0.04 ;
s = size(t);
Fc1 = zeros(s(1),s(2)); % clear data Fc1
Fc2 = zeros(s(1),s(2)); % clear data Fc2
for i = 1:s(:,2)
n(i)= t(i) ;
y = D*sin(2*pi*f*n(i));
q = 0.00015 ;
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
o = q*(omaga^2)*sin(omaga*n(i)) ;
x1 = 0 ;
x2 = q*sin(omaga*n(i));
v1 = 0 ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
v2 = q*omaga*cos(omaga*n(i));
M  = [m1 0;0 m2] ;
F  = ([-k1 k1;k1 -(k1+k2)]*[x1;x2])+([-c c;c -c]*[v1;v2])+[0;k2*y];
a  = (inv(M))*F;
A  = [1 0;0 1] ;
b  = [0;-o] ;
ACC = a+(M^(-1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc = (M^(1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc1(i) = Fc(1);
Fc2(i) = Fc(2);
end ;
%Plot Constraint
q  = 0.00015 ;
e  = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
o  = q*(omaga^2)*sin(omaga*n(i)) ;
x1 = 0 ;
x2 = q*sin(omaga*t);
figure(2)
subplot(221)
plot(t,Fc1,'b');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m1');
subplot(222)
plot(t,Fc2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m2');
subplot(212)
plot(t,Fc1,'b',t,Fc2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m1 & m2');
legend('Constraint Force of m1','Constraint Force of m2');
figure(4)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(t,x1,'k',t,x2,'r');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve of m1 & m2');
legend('Vb Curve of m1','Vb Curve of m2');
```

โปรแกรมจำลองการสั่นของแบบจำลองส่วนประกอบย่อยในระบบ 3 มิติ โดยรับสัญญาณแบบสุ่ม

ส่วนของฟังก์ชัน

```
function u_prime = a(t,u)
u_prime = zeros(4,1);    % a column vector
y = (2*rand-1)*(10^-3);
m1 = 100 ;
m2 = 5 ;
k1 = 10 ;
k2 = 3 ;
c  = 5 ;
u_prime(1)= (1/m1)*(-k1*u(2)+k1*u(4)-c*u(1)+c*u(3));
u_prime(2)= u(1);
u_prime(3)= (1/m2)*(k1*u(2)-(k1+k2)*u(4)+c*u(1)-c*u(3)+k2*y);
u_prime(4)= u(3);
```

ส่วนของการพล็อตกราฟ

```
[t,d] = ode45('aa',[0:1:1000],[0,0,0,0]);
figure(1)
plot(t,d(:,2),'b');
hold on
plot(t,d(:,4),'r');
hold off
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve of m1 & m2');
grid on
legend('Vb Curve of m1','Vb Curve of m2');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบังคับมวลในแบบจำลอง

```
clear;clc;
t = 0:0.5:100 ;
m1 = 100.00 ;
m2 = 5 ;
k1 = 10 ;
k2 = 3 ;
D = 2 ;
c = 5 ;
f = 15 ;
s = size(t);
Fc1 = zeros(s(1),s(2));  % clear data Fc1
Fc2 = zeros(s(1),s(2));  % clear data Fc2
for i = 1:s(:,2)
        y(i) = (3*rand-1.5)*(10^-3) ;
        n(i) = t(i) ;
q = 0.00015 ;
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
o = q*(omaga^2)*sin(omaga*n(i)) ;
x1 = 0 ;
x2 = q*sin(omaga*n(i));
v1 = 0 ;
v2 = q*omaga*cos(omaga*n(i));
M = [m1 0;0 m2] ;
F = ([-k1 k1;k1 -(k1+k2)]*[x1;x2])+([-c c;c -c]*[v1;v2])+[0;k2*y(i)];
a = (inv(M))*F;
A = [1 0;0 1] ;
b = [0;-o] ;
x2(i) = q*sin(omaga*n(i));
ACC = a+(M^(-1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc = (M^(1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc1(i) = Fc(1);
Fc2(i) = Fc(2);
end ;
% Constraint
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
q = 0.00015 ;e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
o = q*(omaga^2)*sin(omaga*n(i)) ;
x1 = 0 ;
x2 = q*sin(omaga*t);
% Plot Vibration of floor in a form of random signal
figure(1)
plot(t,y,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal');
% Plot Constraint Force (FC)
figure(2)
subplot(221)
plot(t,Fc1,'b');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('CF of m1');
subplot(222)
plot(t,Fc2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('CF of m2');
subplot(212)
plot(t,Fc1,'b',t,Fc2,'r');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force of m1 & m2');
legend('Constraint Force of m1','Constraint Force of m2');
% Plot Constraint x1 = 0 , x2 = q*sin(omaga*t);
figure(4)
plot(t,x1,'k',t,x2,'r');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve of m1 & m2');
legend('Vb Curve of m1','Vb Curve of m2');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการควบคุมการสั่นสะเทือนแบบจำลองการสั่นในระบบ 3 มิติ

การสั่นของมวล , พื้น และ คำนวณค่าแรงบังคับที่ใช้บังคับมวล

```
% constraint x = 0.00015 * sin(omaga*t)
clear;clc;
order = 10 ;
dt = 1 ;
t  = 0:dt:100 ;
s = size(t) ;
m = 100 ;
k = 10 ;
c = 5 ;
aa = -0.025 ;
bb =  0.315 ;
temp_t = t ;
%11111111111111111111111111111111111111111111111111
for i = 1:(s(:,2)) ;
            temp_y(i)= (2*rand-1)*(10^-3) ;  % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_y,order);
temp_y2 = polyval(coef,temp_t);
for i = 1:(s(:,2));
temp_y3(i) = coef(order+1) + coef(order)*temp_t(i) + coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
            coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
            coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
            coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
ratio = max(abs(temp_y))/max(abs(temp_y2));
temp_y2 = ratio*temp_y2;
coef = ratio*coef ;
a10 = coef(order+1-10);      a9  = coef(order+1-9) ;
a8  = coef(order+1-8) ;      a7  = coef(order+1-7) ;
a6  = coef(order+1-6) ;      a5  = coef(order+1-5) ;
a4  = coef(order+1-4) ;      a3  = coef(order+1-3) ;
a2  = coef(order+1-2) ;      a1  = coef(order+1-1) ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
a0 = coef(order+1) ;
s1 = (10*c*a10)+(k*a9) ;   s2 = (9*c*a9)+(k*a8) ;
s3 = (8*c*a8)+(k*a7) ;     s4 = (7*c*a7)+(k*a6) ;
s5 = (6*c*a6)+(k*a5) ;     s6 = (5*c*a5)+(k*a4) ;
s7 = (4*c*a4)+(k*a3) ;     s8 = (3*c*a3)+(k*a2) ;
s9 = (2*c*a2)+(k*a1) ;     s10 = (c*a1)+(k*a0) ;
D10 = a10 ;        D9 = (1/k)*(s1-10*c*D10) ;
D8 = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ; D7 = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ;
D6 = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ; D5 = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ;
D4 = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ; D3 = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ;
D2 = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ; D1 = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3) ;
D0 = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
  x1(i) = exp(aa*t(i)) ;
  x2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
  x3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
          (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
          (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
x_1 = x1.*x2+x3 ;
% Vibration Control with Constraint Force
q = 0.00015 ;
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
  xx(i) = q*sin(omaga*t(i)) ;
  v(i) = q*omaga*cos(omaga*t(i)) ;
  o(i) = q*(omaga^2)*sin(omaga*t(i)) ;
F(i) = (-c*v(i))-(k*xx(i))+((k*a10*t(i)^10)+(s1*t(i)^9)+(s2*t(i)^8)+(s3*t(i)^7)+...
     (s4*t(i)^6)+(s5*t(i)^5)+(s6*t(i)^4)+(s7*t(i)^3)+(s8*t(i)^2)+(s9*t(i))+ s10) ;
end ;
M = m ;
a = (inv(M))*F ;
A = 1 ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
b = -o ;
ACC_1 = a+(M^(-1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc_1 = (M^(1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
%22222222222222222222222222222222222222222222
for i = 1:(s(:,2)) ;
   temp_yy(i)= (2*rand-1)*(10^-3) ; % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yy,order);
temp_yy2 = polyval(coef,temp_t);
for i = 1:(s(:,2));
temp_yy3(i) = coef(order+1) + coef(order)*temp_t(i) + coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
ratio = max(abs(temp_yy))/max(abs(temp_yy2));
temp_yy2 = ratio*temp_yy2;
coef = ratio*coef ;
a10 = coef(order+1-10);     a9 = coef(order+1-9) ;
a8 = coef(order+1-8) ;      a7 = coef(order+1-7) ;
a6 = coef(order+1-6) ;      a5 = coef(order+1-5) ;
a4 = coef(order+1-4) ;      a3 = coef(order+1-3) ;
a2 = coef(order+1-2) ;      a1 = coef(order+1-1) ;
a0 = coef(order+1) ;
s1 = (10*c*a10)+(k*a9) ;    s2 = (9*c*a9)+(k*a8) ;
s3 = (8*c*a8)+(k*a7) ;      s4 = (7*c*a7)+(k*a6) ;
s5 = (6*c*a6)+(k*a5) ;      s6 = (5*c*a5)+(k*a4) ;
s7 = (4*c*a4)+(k*a3) ;      s8 = (3*c*a3)+(k*a2) ;
s9 = (2*c*a2)+(k*a1) ;      s10 = (c*a1)+(k*a0) ;
D10 = a10 ;        D9 = (1/k)*(s1-10*c*D10) ;
D8 = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ; D7 = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ;
D6 = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ; D5 = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ;
D4 = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ; D3 = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ;
D2 = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ; D1 = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3) ;
D0 = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
   x1(i) =  exp(aa*t(i)) ;
   x2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
   x3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
        (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
        (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
x_2 = x1.*x2+x3 ;
% Vibration Control with Constraint Force
q = 0.00015 ;
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
xx(i) = q*sin(omaga*t(i)) ;
v(i) = q*omaga*cos(omaga*t(i)) ;
o(i) = q*(omaga^2)*sin(omaga*t(i)) ;
F(i) = (-c*v(i))-(k*xx(i))+((k*a10*t(i)^10)+(s1*t(i)^9)+(s2*t(i)^8)+(s3*t(i)^7)+...
     (s4*t(i)^6)+(s5*t(i)^5)+(s6*t(i)^4)+(s7*t(i)^3)+(s8*t(i)^2)+(s9*t(i))+ s10) ;
end ;
M = m ;
a = (inv(M))*F ;
A = 1 ;
b = -o ;
ACC_2 = a+(M^(-1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc_2 = (M^(1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
%3333333333333333333333333333333333333333333333
for i = 1:(s(:,2)) ;
   temp_yyy(i)= (2*rand-1)*(10^-3) ;  % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yyy,order);
temp_yyy2 = polyval(coef,temp_t);
for i = 1:(s(:,2));
temp_yyy3(i) = coef(order+1) + coef(order)*temp_t(i) + coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
ratio = max(abs(temp_yyy))/max(abs(temp_yyy2));
temp_yyy2 = ratio*temp_yyy2;
coef = ratio*coef ;
a10 = coef(order+1-10);      a9  = coef(order+1-9) ;
a8  = coef(order+1-8) ;      a7  = coef(order+1-7) ;
a6  = coef(order+1-6) ;      a5  = coef(order+1-5) ;
a4  = coef(order+1-4) ;      a3  = coef(order+1-3) ;
a2  = coef(order+1-2) ;      a1  = coef(order+1-1) ;
a0  = coef(order+1)   ;
s1  = (10*c*a10)+(k*a9) ;    s2  = (9*c*a9)+(k*a8) ;
s3  = (8*c*a8)+(k*a7) ;      s4  = (7*c*a7)+(k*a6) ;
s5  = (6*c*a6)+(k*a5) ;      s6  = (5*c*a5)+(k*a4) ;
s7  = (4*c*a4)+(k*a3) ;      s8  = (3*c*a3)+(k*a2) ;
s9  = (2*c*a2)+(k*a1) ;      s10 = (c*a1)+(k*a0) ;
D10 = a10 ;        D9  = (1/k)*(s1-10*c*D10) ;
D8  = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ; D7  = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ;
D6  = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ; D5  = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ;
D4  = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ; D3  = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ;
D2  = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ; D1  = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3)  ;
D0  = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
   x1(i) =  exp(aa*t(i)) ;
   x2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
   x3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
        (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
        (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
x_3  = x1.*x2+x3 ;
% Vibration Control with Constraint Force
q  = 0.00015 ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
xx(i) = q*sin(omaga*t(i)) ;
v(i) = q*omaga*cos(omaga*t(i)) ;
o(i) = q*(omaga^2)*sin(omaga*t(i)) ;
F(i) = (-c*v(i))-(k*xx(i))+((k*a10*t(i)^10)+(s1*t(i)^9)+(s2*t(i)^8)+(s3*t(i)^7)+...
    (s4*t(i)^6)+(s5*t(i)^5)+(s6*t(i)^4)+(s7*t(i)^3)+(s8*t(i)^2)+(s9*t(i))+ s10) ;
end ;
M = m ;
a = (inv(M))*F ;
A = 1 ;
b = -o ;
ACC_3 = a+(M^(-1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc_3 = (M^(1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
%44444444444444444444444444444444444444444444444
for i = 1:(s(:,2)) ;
  temp_yyyy(i)= (2*rand-1)*(10^-3) ; % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yyyy,order);
temp_yyyy2 = polyval(coef,temp_t);
for i = 1:(s(:,2));
temp_yyyy3(i) = coef(order+1) + coef(order)*temp_t(i) + coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
ratio = max(abs(temp_yyyy))/max(abs(temp_yyyy2));
temp_yyyy2 = ratio*temp_yyyy2;
coef = ratio*coef ;
a10 = coef(order+1-10);     a9 = coef(order+1-9) ;
a8 = coef(order+1-8) ;      a7 = coef(order+1-7) ;
a6 = coef(order+1-6) ;      a5 = coef(order+1-5) ;
a4 = coef(order+1-4) ;      a3 = coef(order+1-3) ;
a2 = coef(order+1-2) ;      a1 = coef(order+1-1) ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
a0 = coef(order+1) ;
s1 = (10*c*a10)+(k*a9) ;   s2 = (9*c*a9)+(k*a8) ;
s3 = (8*c*a8)+(k*a7) ;     s4 = (7*c*a7)+(k*a6) ;
s5 = (6*c*a6)+(k*a5) ;     s6 = (5*c*a5)+(k*a4) ;
s7 = (4*c*a4)+(k*a3) ;     s8 = (3*c*a3)+(k*a2) ;
s9 = (2*c*a2)+(k*a1) ;     s10 = (c*a1)+(k*a0) ;
D10 = a10 ;        D9 = (1/k)*(s1-10*c*D10) ;
D8 = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ; D7 = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ;
D6 = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ; D5 = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ;
D4 = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ; D3 = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ;
D2 = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ; D1 = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3) ;
D0 = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
  x1(i) = exp(aa*t(i)) ;
  x2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
  x3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
      (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
      (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
x_4 = x1.*x2+x3 ;
% Vibration Control with Constraint Force
q = 0.00015 ;
e = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
xx(i) = q*sin(omaga*t(i)) ;
v(i) = q*omaga*cos(omaga*t(i)) ;
o(i) = q*(omaga^2)*sin(omaga*t(i)) ;
F(i) = (-c*v(i))-(k*xx(i))+((k*a10*t(i)^10)+(s1*t(i)^9)+(s2*t(i)^8)+(s3*t(i)^7)+...
    (s4*t(i)^6)+(s5*t(i)^5)+(s6*t(i)^4)+(s7*t(i)^3)+(s8*t(i)^2)+(s9*t(i))+ s10) ;
end ;
M = m ;
a = (inv(M))*F ;
A = 1 ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
b =-o ;
ACC_4 = a+(M^(-1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
Fc_4  = (M^(1/2))*pinv(A*(M^(-1/2)))*(b-(A*a));
figure(1)
plot(t,Fc_4,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force 4');
figure(2)
plot(t,x_4,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve 4');
figure(3)
plot(t,temp_yyyy3,'k');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal 4');
figure(4)
plot(t,Fc_3,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force 3');
figure(5)
plot(t,x_3,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve 3');
figure(6)
plot(t,temp_yyy3,'k');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
title('Vibration of floor in a form of random signal 3');
figure(7)
plot(t,Fc_2,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force 2');
figure(8)
plot(t,x_2,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve 2');
figure(9)
plot(t,Fc_1,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Force (N)');
title('Constraint Force 1');
figure(10)
plot(t,temp_yy3,'k');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal 2');
figure(11)
plot(t,x_1,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve 1');
figure(12)
plot(t,temp_y3,'k');grid
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal 1');
figure(13)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(t,xx,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Constraint Equation');
```

โปรแกรมการแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว

โปรแกรมแสดงผลการสั่นของพื้น

```
clear; clc;
order = 10 ;
dt = 1 ;
t  = 0:dt:100 ;
s = size(t) ;
m = 100 ;
k = 10  ;
c = 5   ;
aa = -0.025 ;
bb = 0.315  ;
temp_t = t  ;
for i = 1:(s(:,2));    % 1111111111111111111111111
  temp_y(i)= (2*rand-1)*(10^-3);  % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_y,order);
temp_y2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_y))/max(abs(temp_y2));
temp_y2 = ratio*temp_y2;
coef = ratio*coef ;

for i = 1:(s(:,2));
temp_y3(i) = coef(order+1) + coef(order)*temp_t(i) + coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for i = 1:(s(:,2));   % 22222222222222222222222222
    temp_yy(i)= (2*rand-1)*(10^-3);  % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yy,order);
temp_yy2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_yy))/max(abs(temp_yy2));
temp_yy2 = ratio*temp_yy2;
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
temp_yy3(i) = coef(order+1)+ coef(order)*temp_t(i)+ coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
for i = 1:(s(:,2)); % 33333333333333333333333333333
    temp_yyy(i)= (2*rand-1)*(10^-3);  % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yyy,order);
temp_yyy2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_yyy))/max(abs(temp_yyy2));
temp_yyy2 = ratio*temp_yyy2;
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
temp_yyy3(i) = coef(order+1)+ coef(order)*temp_t(i)+ coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
for i = 1:(s(:,2)); % 44444444444444444444444444444
   temp_yyyy(i)= (2*rand-1)*(10^-3);  % Random signal
end ;
coef = polyfit(temp_t,temp_yyyy,order);
temp_yyyy2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_yyyy))/max(abs(temp_yyyy2));
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
temp_yyyy2 = ratio*temp_yyyy2;
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
temp_yyyy3(i) = coef(order+1)+ coef(order)*temp_t(i)+ coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
ddd = [max(temp_y3);max(temp_yy3);max(temp_yyy3);max(temp_yyyy3)];
ggg = [min(temp_y3);min(temp_yy3);min(temp_yyy3);min(temp_yyyy3)];
max_z = max(ddd) ;
min_z = min(ggg) ;
f1 = temp_y3    ;
f2 = temp_yy3   ;
f3 = temp_yyy3  ;
f4 = temp_yyyy3 ;
v = [0,8,0,8,min_z,max_z]; % axis z
M = moviein(s(:,2)-1);
for i = 1:1:s(:,2)-1
% plate 1
 x1 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y1 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z1 = [f1(i) f1(i) f1(i) f1(i) f3(i) f3(i) f3(i) f3(i); f1(i) f1(i) f1(i) f1(i) f3(i) f3(i) f3(i) f3(i);...
    f1(i) f1(i) f1(i) f1(i) f3(i) f3(i) f3(i) f3(i); f1(i) f1(i) f1(i) f1(i) f3(i) f3(i) f3(i) f3(i);...
    f2(i) f2(i) f2(i) f2(i) f4(i) f4(i) f4(i) f4(i); f2(i) f2(i) f2(i) f2(i) f4(i) f4(i) f4(i) f4(i);...
    f2(i) f2(i) f2(i) f2(i) f4(i) f4(i) f4(i) f4(i); f2(i) f2(i) f2(i) f2(i) f4(i) f4(i) f4(i) f4(i)];
% plate 2
x2 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
 y2 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z2 = [f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z)
f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z); f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z)
f3(i)+(0.01*max_z);...
    f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z)
f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z); f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z)
f1(i)+(0.01*max_z) f1(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z) f3(i)+(0.01*max_z)
f3(i)+(0.01*max_z);...
    f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z)
f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z); f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z)
f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z)
f4(i)+(0.01*max_z);...
    f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z)
f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z); f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z)
f2(i)+(0.01*max_z) f2(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z) f4(i)+(0.01*max_z)
f4(i)+(0.01*max_z)];
% plate 3
x3 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y3 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z3 = [f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-
(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z); f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z)
f1(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z);...
    f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-
(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z); f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z) f1(i)-(0.01*max_z)
f1(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z) f3(i)-(0.01*max_z);...
    f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-
(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z); f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z)
f2(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z);...
 f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-
(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z); f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z) f2(i)-(0.01*max_z)
f2(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z) f4(i)-(0.01*max_z)];
% plate 4
x4 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y4 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
z4 = [f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z)
f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z); f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z)
f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z)
f3(i)+(0.02*max_z);...
    f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z)
f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z); f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z)
f1(i)+(0.02*max_z) f1(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z) f3(i)+(0.02*max_z)
f3(i)+(0.02*max_z);...
    f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z)
f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z); f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z)
f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z)
f4(i)+(0.02*max_z);...
    f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z)
f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z); f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z)
f2(i)+(0.02*max_z) f2(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z) f4(i)+(0.02*max_z)
f4(i)+(0.02*max_z)];
% plate 5
 x5 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y5 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z5 = [f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-
(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z); f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z)
f1(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z);...
    f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-
(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z); f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z) f1(i)-(0.02*max_z)
f1(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z) f3(i)-(0.02*max_z);...
 f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-
(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z); f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z)
f2(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z);...
 f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-
(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z); f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z) f2(i)-(0.02*max_z)
f2(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z) f4(i)-(0.02*max_z)];
surf(x1,y1,z1);hold;  % plate 1
surf(x2,y2,z2);       % plate 2
surf(x3,y3,z3);       % plate 3
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
surf(x4,y4,z4);        % plate 4
surf(x5,y5,z5);        % plate 5
axis(v)
figure(2)
M(:,i)= getframe;
end
movie(M,1)
figure(3)
plot(t,f1,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal...1');
figure(4)
plot(t,f2,'k');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal...2');
figure(5)
plot(t,f3,'m');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal...3');
figure(6)
plot(t,f4,'r');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Floor Displacement (m)');
title('Vibration of floor in a form of random signal...4');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมแสดงการสั่นของมวลเครื่องจักรก่อนการควบคุม

```
clear; clc;
order = 10;
dt = 1;
t  = 0:dt:100 ;
s = size(t) ;
m = 100 ;
k = 10 ;
c = 5 ;
aa = -0.025 ;
bb = 0.315 ;
temp_t = t;
for i = 1:(s(:,2)); % 1111111111111111111111111111
   temp_y(i) = (2*rand-1)*(10^-3)  % Random signal
end ;
%Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_y,order);
temp_y2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_y))/max(abs(temp_y2));
temp_y2 = ratio*temp_y2;
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
temp_y3(i) = coef(order+1) + coef(order)*temp_t(i) + coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
a10 = coef(order+1-10);      a9  = coef(order+1-9) ;
a8  = coef(order+1-8) ;      a7  = coef(order+1-7) ;
a6  = coef(order+1-6) ;      a5  = coef(order+1-5) ;
a4  = coef(order+1-4) ;      a3  = coef(order+1-3) ;
a2  = coef(order+1-2) ;      a1  = coef(order+1-1) ;
a0  = coef(order+1)   ;
s1  = (10*c*a10)+(k*a9) ;    s2  = (9*c*a9)+(k*a8) ;
s3  = (8*c*a8)+(k*a7) ;      s4  = (7*c*a7)+(k*a6) ;
s5  = (6*c*a6)+(k*a5) ;      s6  = (5*c*a5)+(k*a4) ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
s7 = (4*c*a4)+(k*a3) ;      s8 = (3*c*a3)+(k*a2) ;
s9 = (2*c*a2)+(k*a1) ;      s10 = (c*a1)+(k*a0) ;
D10 = a10 ;
D9 = (1/k)*(s1-10*c*D10) ; D8 = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ;
D7 = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ; D6 = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ;
D5 = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ; D4 = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ;
D3 = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ; D2 = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ;
D1 = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3) ; D0 = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
   x1(i) = exp(aa*t(i)) ;
   x2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
   x3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
       (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
       (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
x = x1.*x2+x3 ;
for i = 1:(s(:,2)); % 22222222222222222222222222
   temp_yy(i)= (2*rand-1)*(10^-3); % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yy,order);
temp_yy2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_yy))/max(abs(temp_yy2));
temp_yy2 = ratio*temp_yy2;
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
temp_yy3(i) = coef(order+1)+ coef(order)*temp_t(i)+ coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
aa10 = coef(order+1-10);    aa9 = coef(order+1-9) ;
aa8 = coef(order+1-8) ;     aa7 = coef(order+1-7) ;
aa6 = coef(order+1-6) ;     aa5 = coef(order+1-5) ;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
aa4 = coef(order+1-4) ;      aa3 = coef(order+1-3) ;
aa2 = coef(order+1-2) ;      aa1 = coef(order+1-1) ;
aa0 = coef(order+1) ;        s1 = (10*c*aa10)+(k*aa9) ;
s2 = (9*c*aa9)+(k*aa8) ;     s3 = (8*c*aa8)+(k*aa7) ;
s4 = (7*c*aa7)+(k*aa6) ;     s5 = (6*c*aa6)+(k*aa5) ;
s6 = (5*c*aa5)+(k*aa4) ;     s7 = (4*c*aa4)+(k*aa3) ;
s8 = (3*c*aa3)+(k*aa2) ;     s9 = (2*c*aa2)+(k*aa1) ;
s10 = (c*aa1)+(k*aa0) ;      D10 = aa10 ;
D9 = (1/k)*(s1-10*c*D10) ; D8 = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ;
D7 = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ; D6 = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ;
D5 = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ; D4 = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ;
D3 = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ; D2 = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ;
D1 = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3) ; D0 = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
   xx1(i) = exp(aa*t(i)) ;
   xx2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
   xx3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
        (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
        (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
xx = xx1.*xx2+xx3 ;
for i = 1:(s(:,2)); % 3333333333333333333333333333
  temp_yyy(i)= (2*rand-1)*(10^-3); % Random signal
end ;
% Estimate random signal equation
coef = polyfit(temp_t,temp_yyy,order);
temp_yyy2 = polyval(coef,temp_t);
ratio = max(abs(temp_yyy))/max(abs(temp_yyy2));
temp_yyy2 = ratio*temp_yyy2;
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
      temp_yyy3(i) = coef(order+1)+ coef(order)*temp_t(i)+ coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
                     coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
                     coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
 end ;
 aaa10 = coef(order+1-10);   aaa9  = coef(order+1-9) ;
 aaa8  = coef(order+1-8) ;   aaa7  = coef(order+1-7) ;
 aaa6  = coef(order+1-6) ;   aaa5  = coef(order+1-5) ;
 aaa4  = coef(order+1-4) ;   aaa3  = coef(order+1-3) ;
 aaa2  = coef(order+1-2) ;   aaa1  = coef(order+1-1) ;
 aaa0  = coef(order+1)   ;   s1  = (10*c*aaa10)+(k*aaa9) ;
 s2  = (9*c*aaa9)+(k*aaa8) ; s3  = (8*c*aaa8)+(k*aaa7) ;
 s4  = (7*c*aaa7)+(k*aaa6) ; s5  = (6*c*aaa6)+(k*aaa5) ;
 s6  = (5*c*aaa5)+(k*aaa4) ; s7  = (4*c*aaa4)+(k*aaa3) ;
 s8  = (3*c*aaa3)+(k*aaa2) ; s9  = (2*c*aaa2)+(k*aaa1) ;
 s10 = (c*aaa1)+(k*aaa0)   ;  D10 = aaa10 ;
 D9  = (1/k)*(s1-10*c*D10) ; D8  = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ;
 D7  = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ; D6  = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ;
 D5  = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ; D4  = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ;
 D3  = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ; D2  = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ;
 D1  = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3)  ;  D0  = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
 c1 = -D0 ;
 c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
 for i = 1:(s(:,2)) ;
    xxx1(i) =  exp(aa*t(i)) ;
    xxx2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
    xxx3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
          (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
          (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
 end ;
 xxx  = xxx1.*xxx2+xxx3 ;
 for i = 1:(s(:,2)); % 44444444444444444444444444444444
    temp_yyyy(i)= (2*rand-1)*(10^-3);  % Random signal
 end ;
 % Estimate random signal equation
 coef = polyfit(temp_t,temp_yyyy,order);
 temp_yyyy2 = polyval(coef,temp_t);
 ratio = max(abs(temp_yyyy))/max(abs(temp_yyyy2));
 temp_yyyy2 = ratio*temp_yyyy2;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
coef = ratio*coef ;
for i = 1:(s(:,2));
temp_yyyy3(i) = coef(order+1)+ coef(order)*temp_t(i)+ coef(order-1)*temp_t(i)^2 +...
        coef(order-2)*temp_t(i)^3 + coef(order-3)*temp_t(i)^4 + coef(order-4)*temp_t(i)^5 +...
        coef(order-5)*temp_t(i)^6 + coef(order-6)*temp_t(i)^7 + coef(order-7)*temp_t(i)^8 +...
        coef(order-8)*temp_t(i)^9 + coef(order-9)*temp_t(i)^10;
end ;
aaaa10 = coef(order+1-10);  aaaa9  = coef(order+1-9) ;
aaaa8  = coef(order+1-8) ;   aaaa7  = coef(order+1-7) ;
aaaa6  = coef(order+1-6) ;   aaaa5  = coef(order+1-5) ;
aaaa4  = coef(order+1-4) ;   aaaa3  = coef(order+1-3) ;
aaaa2  = coef(order+1-2) ;   aaaa1  = coef(order+1-1) ;
aaaa0  = coef(order+1)  ;    s1  = (10*c*aaaa10)+(k*aaaa9) ;
s2  = (9*c*aaaa9)+(k*aaaa8) ; s3  = (8*c*aaaa8)+(k*aaaa7) ;
s4  = (7*c*aaaa7)+(k*aaaa6) ; s5  = (6*c*aaaa6)+(k*aaaa5) ;
s6  = (5*c*aaaa5)+(k*aaaa4) ; s7  = (4*c*aaaa4)+(k*aaaa3) ;
s8  = (3*c*aaaa3)+(k*aaaa2) ; s9  = (2*c*aaaa2)+(k*aaaa1) ;
s10 = (c*aaaa1)+(k*aaaa0)  ; D10 = aaaa10 ;
D9  = (1/k)*(s1-10*c*D10) ; D8  = (1/k)*(s2-9*c*D9-90*m*D10) ;
D7  = (1/k)*(s3-8*c*D8-72*m*D9) ; D6  = (1/k)*(s4-7*c*D7-56*m*D8) ;
D5  = (1/k)*(s5-6*c*D6-42*m*D7) ; D4  = (1/k)*(s6-5*c*D5-30*m*D6) ;
D3  = (1/k)*(s7-4*c*D4-20*m*D5) ; D2  = (1/k)*(s8-3*c*D3-12*m*D4) ;
D1  = (1/k)*(s9-2*c*D2-6*m*D3)  ; D0  = (1/k)*(s10-c*D1-2*m*D2) ;
c1 = -D0 ;
c2 = (1/bb)*((-5*D0)-D1) ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
   xxxx1(i) =  exp(aa*t(i)) ;
   xxxx2(i) = ((c1*cos(bb*t(i)))+(c2*sin(bb*t(i)))) ;
   xxxx3(i) = (D10*(t(i))^10)+(D9*(t(i))^9)+(D8*(t(i))^8)+(D7*(t(i))^7)+...
        (D6*(t(i))^6)+(D5*(t(i))^5)+(D4*(t(i))^4)+(D3*(t(i))^3)+...
        (D2*(t(i))^2)+(D1*(t(i)))+D0 ;
end ;
xxxx  = xxxx1.*xxxx2+xxxx3 ;
ddd = [max(x);max(xx);max(xxx);max(xxxx)];
ggg = [min(x);min(xx);min(xxx);min(xxxx)];
max_z = max(ddd);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
min_z = min(ggg);
v = [0,8,0,8,min_z,max_z]; % axis z
M = moviein(s(:,2)-1);
for i = 1:1:s(:,2)-1
% plate 1
x1 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y1 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z1 = [x(i) x(i) x(i) x(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i); x(i) x(i) x(i) x(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i);...
    x(i) x(i) x(i) x(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i); x(i) x(i) x(i) x(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i) xxx(i);...
    xx(i) xx(i) xx(i) xx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i); xx(i) xx(i) xx(i) xx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i);...
    xx(i) xx(i) xx(i) xx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i); xx(i) xx(i) xx(i) xx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i) xxxx(i)];
% plate 2
x2 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y2 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z2 = [x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z)
xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z); x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z)
xxx(i)+(0.01*max_z);...
    x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z)
xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z); x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z) xxx(i)+(0.01*max_z)
xxx(i)+(0.01*max_z);...
    xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z)
xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z); xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z)
xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z)
xxxx(i)+(0.01*max_z);...
    xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z)
xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z); xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z)
xx(i)+(0.01*max_z) xx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z) xxxx(i)+(0.01*max_z)
xxxx(i)+(0.01*max_z)];
% plate 3
x3 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y3 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z3 = [x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-
(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z); x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z);...
    x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-
(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z); x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z) xxx(i)-(0.01*max_z);...
    xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-
(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z); xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-
(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-
(0.01*max_z);...
    xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-
(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z); xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xx(i)-
(0.01*max_z) xx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-(0.01*max_z) xxxx(i)-
(0.01*max_z)];
% plate 4
x4 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y4 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z4 = [x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z)
xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z); x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z)
xxx(i)+(0.02*max_z);...
    x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z)
xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z); x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z) xxx(i)+(0.02*max_z)
xxx(i)+(0.02*max_z);...
    xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z)
xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z); xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z)
xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z)
xxxx(i)+(0.02*max_z);...
    xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z)
xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z); xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xx(i)+(0.02*max_z) xx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z) xxxx(i)+(0.02*max_z)
xxxx(i)+(0.02*max_z)];
% plate 5
x5 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y5 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z5 = [x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-
(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z); x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z);...
    x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-
(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z); x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z) xxx(i)-(0.02*max_z);...
    xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-
(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z); xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-
(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-
(0.02*max_z);...
    xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-
(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z); xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xx(i)-
(0.02*max_z) xx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-(0.02*max_z) xxxx(i)-
(0.02*max_z)];
% plate 6
x6 = [1 1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7 7];
y6 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z6 = [x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z)
xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z); x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z)
x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z)
xxx(i)+(0.03*max_z);...
    x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z)
xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z); x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z)
x(i)+(0.03*max_z) x(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z) xxx(i)+(0.03*max_z)
xxx(i)+(0.03*max_z);...
    xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z)
xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z); xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z)
xxxx(i)+(0.03*max_z);...
    xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z)
xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z); xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z)
xx(i)+(0.03*max_z) xx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z) xxxx(i)+(0.03*max_z)
xxxx(i)+(0.03*max_z)];
surf(x1,y1,z1);hold;  % plate 1
surf(x2,y2,z2);       % plate 2
surf(x3,y3,z3);       % plate 3
surf(x4,y4,z4);       % plate 4
surf(x5,y5,z5);       % plate 5
surf(x6,y6,z6);       % plate 6
axis(v)
figure(2)
M(:,i)= getframe;
end
movie(M,1)
figure(3)
plot(t,x,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve ');
figure(4)
plot(t,xx,'k');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve ');
figure(5)
plot(t,xxx,'m');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve ');
figure(6)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(t,xxxx,'r');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve ');
```

โปรแกรมแสดงการสั่นของมวลเครื่องจักรหลังการควบคุม

```
clear; clc;
order = 10;
dt = 1;
t  = 0:dt:100 ;
s = size(t) ;
m = 100 ;
k = 10 ;
c = 5 ;
aa = -0.025 ;
bb = 0.315 ;
temp_t = t;
q  = 0.00015 ;
e  = 0.04 ;
omaga = 2*pi*e ;
for i = 1:(s(:,2)) ;
x(i) = q*sin(omaga*t(i)) ;
end ;
max_z =  1*10^-3 ;
min_z = -1*10^-3 ;
v = [0,8,0,8,min_z,max_z]; % axis z
M = moviein(s(:,2)-1);
for i = 1:1:s(:,2)-1
% plate 1
x1 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y1 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z1 = [x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i); x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i);...
    x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i); x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i);...
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i); x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i);...
    x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i); x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i) x(i)];
% plate 2
x2 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y2 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z2 = [x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z); x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z);...
    x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z); x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z);...
    x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z); x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z);...
    x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z); x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)
x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z) x(i)+(0.01*max_z)];
% plate 3
x3 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y3 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z3 = [x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-
(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z); x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-
(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z);...
    x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z); x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z);...
    x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z); x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z);...
    x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z); x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)
x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z) x(i)-(0.01*max_z)];
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
% plate 4
x4 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y4 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z4 = [x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z); x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z);...
    x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z); x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z);...
    x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z); x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z);...
    x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z); x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)
x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z) x(i)+(0.02*max_z)];
% plate 5
x5 = [1 1 1 1 1 1 1; 2 2 2 2 2 2 2; 3 3 3 3 3 3 3; 4 4 4 4 4 4 4;...
    4 4 4 4 4 4 4; 5 5 5 5 5 5 5; 6 6 6 6 6 6 6; 7 7 7 7 7 7 7];
y5 = [1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7;...
    1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7; 1 2 3 4 4 5 6 7];
z5 = [x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-
(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z); x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-
(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z);...
    x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z); x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z);...
    x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z); x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z);...
    x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z); x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)
x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z) x(i)-(0.02*max_z)];
surf(x1,y1,z1); hold;  % plate 1
surf(x2,y2,z2);          % plate 2
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
surf(x3,y3,z3);        % plate 3
surf(x4,y4,z4);        % plate 4
surf(x5,y5,z5);        % plate 5
axis(v)
figure(2)
M(:,i) = getframe;
end
movie(M,1)
figure(3)
plot(t,x,'b');
grid on
xlabel('Time (s)');
ylabel('Distance (m)');
title('Vibration Curve ');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คำสั่งและเครื่องหมายที่ใช้งานในโปรแกรมแมทแลบ (Matlab)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมายทั่วไป

>>	เครื่องหมาย prompt ใน command windows
help	คำสั่งที่ใช้ในการอธิบายฟังก์ชันต่างๆ ใน MATLAB
demo	ให้ run การทำงานของ MATLAB อย่างคร่าวๆ ดู
who	ให้บอกตัวแปรที่อยู่ในหน่วยความจำ
whos	ให้บอกตัวแปรที่อยู่ในหน่วยความจำพร้อมขนาด
what	ให้บอก M- files ที่มีอยู่ในแผ่นดิสก์ของเมตริกซ์หนึ่ง
size	บอกขนาด row และ column
length	ความยาวเวกเตอร์
clear	ให้เคลียร์ พื้นที่ใช้งาน
computer	บอกชนิดของคอมพิวเตอร์
^ c	ยกเลิก, break ออกจากโปรแกรมที่กำลัง run อยู่
quit	ให้หยุดโปรแกรม
exit	ออกจาก MATLAB

คำสั่งที่ใช้ในหน้าต่างคำสั่ง

clc	เคลียร์ command screen
home	ให้ย้ายเคอร์เซอร์ไปตำแหน่งเดิม
format	ตั้งรูปแบบเอาท์พุท
disp	แสดงเมตริกซ์หรือข้อความ
fprintf	พิมพ์เลขจำนวนที่มีในรูป
echo	ให้แสดง M- file ขณะที่ execute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมายพิเศษ

=	กำหนดค่า
[ ]	สร้างเวกเตอร์และเวกเตอร์
( )	subscripts
.	จุดทศนิยม
...	กระทำคำสั่งยังบรรทัดถัดไป
,	แยกเอเลเมนต์ภายในเมตริกซ์และ subscripts
;	แยกเมตริกซ์หรือคำสั่ง หรือไม่ให้พิมพ์ค่า
%	หมายเหตุ
:	สร้างเวกเตอร์

ตัวดำเนินการ

+	บวก
-	ลบ
*	คูณ
/	หาร
^	ยกกำลัง
'	ทรานสโปส

เมตริกซ์พิเศษ

eye	เมตริกซ์เอกลักษณ์
magic	เมตริกซ์จัตุรัสมายากล
ones	เมตริกซ์คงที่
rand	เมตริกซ์ที่มีเอเลเมนต์สุ่ม
zeros	เมตริกซ์ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่ใช้กับกราฟ

plot	พล็อตกราฟเชิงเส้น x -y
loglog	พล็อตกราฟ log ทั้งแกน x และ y
semilog x	พล็อตกราฟ log เฉพาะแกน x
semilog y	พล็อตกราฟ log เฉพาะแกน y
polar	พล็อตเชิงขั้ว
mesh	พื้นผิวร่างแหแบบ 3 มิติ
contour	พล็อตเส้นโครงร่าง
meshdom	โดเมน สำหรับพล็อตพื้นผิวร่างแห
bar	แผนภูมิแท่ง
stairs	กราฟขั้นบันได
title	หัวข้อของกราฟ
xlabel	คำอธิบายบนแกน x
ylabel	คำอธิบายบนแกน y
grid	แสดงเส้นกริด
text	ข้อความที่วางตำแหน่งใดๆ
gtext	ข้อความที่วางไว้ที่ตำแหน่งที่เมาส์ชี้
axis	ปรับสเกลบนแกน
hold	แสดงกราฟที่สร้างไว้บนจอ
shg	แสดง graph screen
clg	เคลียร์ graph screen
subplot	แยก graph window
print	ส่งกราฟไปยังเครื่องพิมพ์
prtsc	พิมพ์สิ่งที่ปรากฏบนจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งควบคุมสายงาน

if	คำสั่งให้ปฏิบัติคำสั่งอย่างมีเงื่อนไข
elseif	ใช้กับ if
else	ใช้กับ if
end	หยุด if , for , while
for	ให้กระทำคำสั่งเป็นจำนวน n ครั้ง
while	สร้างโครงสร้างแบบ loop
break	ออกจาก for และ while loops
return	กลับจาก functions
pause	หยุดชั่วขณะจนกว่าจะกดคีย์ใดๆ

ฟังก์ชันตรีโกณมิติ

sin	ไซน์
cos	โคไซน์
tan	แทนเจนต์
asin	อาร์คไซน์
acos	อาร์คโคไซน์
atan	อาร์คแทนเจนต์
atan2	อาร์คแทนเจนต์แบบ 4 ควอแดรน
sinh	ไฮเบอร์โบลิกไซน์
cosh	ไฮเบอร์โบลิกโคไซน์
tanh	ไฮเบอร์โบลิกแทนเจนต์
asinh	ไฮเบอร์โบลิกอาร์คไซน์
acosh	ไฮเบอร์โบลิกอาร์คโคไซน์
atanh	ไฮเบอร์โบลิกอาร์คแทนเจนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่ใช้ในการประมาณค่าระหว่างและวางเส้นโค้ง

polyfit	คำนวณหาโพลิโนเมียลที่เหมาะสมที่สุด
polyval	หาค่าโพลิโนเมียล
spline	การประมาณค่าระหว่างแบบ cubic spline
table1	การประมาณค่าระหว่างแบบ linear 2 มิติ
table2	การประมาณค่าระหว่างแบบ linear 1 มิติ

คำสั่งที่ใช้ในโพลิโนเมียล

poly	คำนวณหาสัมประสิทธิ์ของโพลิโนเมียล
roots	คำนวณหารากของโพลิโนเมียล
conv	การคูณโพลิโนเมียล
Deconv	การหารโพลิโนเมียล

การอินทิเกรตและการหาอนุพันธ์เชิงตัวเลข

diff	หาผลต่างระหว่าง 2 ค่าที่ติดกัน
quad	หาอินทิกรัลได้ส่วนโค้งใช้กฎของ simpson
quad8	หาอินทิกรัลได้ส่วนโค้งใช้กฎของ Newton- cote

สมการ ODE

ode23	การหาคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ด้วยวิธี Runge-Kutta อันดับ 2 และ 3
ode45	การหาคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ด้วยวิธี Runge-Kutta อันดับ 4 และ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเมตริกซ์สำหรับแก้ปัญหาระบบเชิงเส้น

det	การหาค่าดีเทอร์มิแนนท์ของเมตริกซ์
inv	การหาค่าเมตริกซ์ผกผัน
pinv	การหาค่าเมตริกซ์ผกผันเสมือน
rank	การหาค่า rank ของเมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้