

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ระบบมัลติดีทนต์สปริงที่ลั่นอย่างอิสระ.....	4
ระบบมัลติดีทนต์สปริงที่ลั่นภายใต้แรงหน่วง.....	11
ระบบมัลติดีทนต์สปริงที่ลั่นภายใต้แรงหน่วงและแรงบังคับภายนอก.....	19
ระบบเพนดูลัมอย่างง่าย.....	30
ฟังก์ชันถ่ายโอนและผลตอบสนองความถี่.....	36
เทคนิคตัวแปรเวลาหลายตัว.....	43
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	49
การวิเคราะห์หาผลเฉลยของระบบมัลติดีทนต์สปริงที่ถูกแรงภายนอกกระทำโดยนำ หลักการตัวแปรเวลาหลายตัวและการแปลงฟูเรียร์เข้าช่วย.....	49
การทดลองของระบบมัลติดีทนต์สปริงที่ถูกแรงภายนอกกระทำ.....	57
การวิเคราะห์หาผลเฉลยของระบบเพนดูลัมที่ถูกแรงภายนอกกระทำโดยใช้ เทคนิคตัวแปรเวลาหลายตัวและใช้การแปลงฟูเรียร์เข้าช่วยเพื่อหา ผลตอบสนองบังคับ.....	63
การทดลองของระบบเพนดูลัมที่ถูกกระทำโดยแรงบังคับภายนอก.....	64

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	69
ผลการทดลองของระบบมวลติดสปริงที่ถูกบังคับโดยแรงภายนอก.....	69
ผลการทดลองของระบบเพนดูลัมที่ถูกบังคับโดยแรงภายนอก.....	72
อภิปรายผลการทดลองของระบบมวลติดสปริงที่ถูกบังคับจากแรงภายนอก.....	74
อภิปรายผลการทดลองของระบบเพนดูลัมที่ถูกบังคับจากแรงภายนอก.....	75
5 บทสรุป.....	76
สรุป.....	76
ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์.....	80
ประวัติผู้วิจัย.....	105

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ระบบมวลติดกับสปริง.....	4
2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $a$ , $b$ และ $\phi$ .....	8
3 การกระจัดและความเร็วของระบบที่ไม่ถูกหน่วง.....	10
4 การเคลื่อนที่ของระบบที่ถูกหน่วงมากเกินไป.....	13
5 การเคลื่อนที่ของระบบที่ถูกหน่วงอย่างวิกฤติ.....	14
6 การกระจัดและความเร็วของระบบที่ถูกหน่วงน้อยๆ.....	18
7 ระบบมวลติดสปริงที่ถูกแรงภายนอกกระทำ.....	19
8 เพนดูลัมอย่างง่าย.....	30
9 เพนดูลัมถูกแรงกระทำจากภายนอก.....	34
10 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต.....	40
11 ผลตอบสนองที่เอาต์พุตที่ความถี่ของอินพุตแตกต่างกัน.....	42
12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา $t$ และ $\tau$ ในทางปฏิบัติ.....	44
13 ผลการทดลองเมื่อป้อนอินพุตบังคับที่แปรเปลี่ยนตามเวลาให้กับวงจร ออสซิลเลเตอร์.....	47
14 ผลการทดลองเมื่อป้อนอินพุตบังคับที่แปรเปลี่ยนตามเวลาให้กับวงจร ออสซิลเลเตอร์ภายใต้เงื่อนไขผลตอบสนองบังคับและฟังก์ชันบังคับที่แปร ผันตามเวลามีค่าเท่ากันโดยประมาณ.....	48
15 สเปกตรัมจำลองของผลเฉลยที่ได้จากการใช้เทคนิคตัวแปรเวลาหลายตัว.....	56
16 สเปกตรัมจำลองของผลเฉลยที่ได้จากการใช้วิธีการแบบดั้งเดิม.....	57
17 การทดลองสปริงที่กำลังสั่นอยู่ภายใต้แรงกระทำจากภายนอก.....	58
18 ภาพรวมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	59
19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่เป็นแรงดัน.....	60

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
20 สัญญาณเส้นบนเป็นเอาต์พุตของเซนเซอร์ และสัญญาณเส้นล่างเป็นสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบนในการทดลองที่ให้สปริงสั้นโดยไม่ป้อนแรงภายนอก (ลำโพงไม่สั่น).....	61
21 สัญญาณเส้นบนเป็นเอาต์พุตของเซนเซอร์ และสัญญาณเส้นล่างเป็นสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบนในการทดลองที่ให้ลำโพงสั่นแต่ไม่ให้สปริงสั้น (สปริงถูกพันด้วยเทปกาว).....	62
22 ชุดการทดลองของเพนดูลัมที่ถูกแรงบังคับ.....	65
23 เซนเซอร์สนามแม่เหล็กที่ถูกวางใกล้กับแม่เหล็กกลมแบนที่ติดอยู่ใกล้จุดหมุนของเพนดูลัม.....	66
24 ผลการทดลองเนื่องจากการสั่นของเพนดูลัมที่ไม่มีแรงภายนอกกระทำ โดยสัญญาณเส้นบนเป็นเอาต์พุตของเซนเซอร์ UGN3503 และสัญญาณเส้นล่างเป็นสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	67
25 ผลการทดลองในกรณีที่มีเพียงแต่การสั่นของแรงภายนอก (จากดอกลำโพง) เท่านั้น (เพนดูลัมไม่สั่น).....	68
26 ผลการทดลองของระบบมวลติดสปริงที่ถูกบังคับ โดยที่ความถี่ของแรงบังคับภายนอกมีค่าเท่ากับ 1.40 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นผลตอบสนองของสมบรูณ์ของมวลที่กำลังสั่นในโดเมนเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	69
27 (ต่อเนื่องจากภาพ 26) หลังจากช่วงสั้นๆ ช่วงหนึ่ง ขนาดขององค์ประกอบความถี่ 1.70 Hz ลดลงเล็กน้อย และขนาดขององค์ประกอบความถี่ 0.30 และ 3.10 Hz ไม่สามารถสังเกตเห็นได้.....	70
28 ผลการทดลองของระบบมวลติดสปริงที่ถูกบังคับซึ่งมีความถี่ของแรงบังคับภายนอก 1.50 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นผลตอบสนองของสมบรูณ์ของการเคลื่อนที่ของมวลในโดเมนเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	70

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
29 ผลการทดลองของระบบมวลติดสปริงที่ถูกบังคับซึ่งมีความถี่ของแรงบังคับเท่ากับ 1.90 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นเอาต์พุตผลตอบสนองสมบูรณ์ของการเคลื่อนที่ของมวลบนสปริงในโดเมนเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	71
30 ผลการทดลองของระบบมวลติดสปริงที่ถูกบังคับซึ่งมีความถี่ของแรงบังคับภายนอกเท่ากับ 2.00 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นเอาต์พุตผลตอบสนองสมบูรณ์ของการเคลื่อนที่ของมวลบนสปริงในโดเมนเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	71
31 ผลการทดลองของเพนดูลัมที่ถูกบังคับโดยที่ความถี่ของแรงภายนอกมีค่าเท่ากับ 1.10 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นผลตอบสนองสมบูรณ์ของเพนดูลัมในโดเมนเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	72
32 (ต่อจากภาพ 31) หลังจากช่วงเวลาหนึ่ง ขนาดขององค์ประกอบความถี่ 1.50 Hz จะลดลงเล็กน้อย และองค์ประกอบความถี่ 0.40 และ 2.60 Hz ไม่สามารถสังเกตเห็นได้.....	72
33 ผลการทดลองของเพนดูลัมที่ถูกบังคับด้วยแรงภายนอกที่มีความถี่ 1.20 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นผลตอบสนองสมบูรณ์ของการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมในโดเมนเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงให้เห็นสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	73
34 ผลการทดลองของเพนดูลัมที่ถูกบังคับด้วยแรงภายนอกที่มีความถี่ 1.90 Hz สัญญาณเส้นบนเป็นเอาต์พุตที่เป็นผลตอบสนองสมบูรณ์ของการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมในโดเมนของเวลา สัญญาณเส้นล่างแสดงสเปกตรัมของสัญญาณเส้นบน.....	73