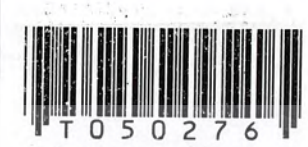
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างสัญญาณเคออสติกแบบลอเรนซ์และเชน

IMPLEMENTATION OF LORENZ'S AND CHEN'S CHAOTIC SIGNAL



โดย

นายสมศักดิ์ เหติพาณิชย์

นายสุริยา บุญอร่ามเรือง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50276
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPLEMENTATION OF LORENZ'S AND CHEN'S CHAOTIC SIGNAL

BY

MR. SOMSAK HETIPANIT

MR. SURIYA BOONARAMRUENG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างสัญญาณเคออสติกแบบลอเรนซ์และเชน	
ชื่อนักศึกษา	นายสมศักดิ์ เหตุพาณิชย์	รหัสประจำตัว 42010366
	นายสุริยา บุญอร่ามเรือง	รหัสประจำตัว 42010408
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ปิติเขต สู้รักษา	
	อาจารย์กฤดากร กล่อมการ	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2545	

บทคัดย่อ

ในโครงงานนี้เป็นการออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติก (Chaotic Signal) ในรูปแบบของ ลอเรนซ์ (Lorenz) และเชน (Chen) เพื่อการวิเคราะห์ปรากฏการณ์เคออสติก (Chaotic) ในการวิเคราะห์เราจะสร้างวงจรเพื่อแสดงพอยน์แคเร่ (Poincare) และออกแบบสร้างซอฟแวร์ (Software) ที่แสดงกราฟในรูป 3 มิติ ให้เป็นจุดตัดขวาง 2 มิติ แล้วจึงนำสัญญาณเคออส ในแบบลอเรนซ์ และเชนเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Implementation of Lorenz's and Chen's Chaostic Signal	
Student	Mr. Somsak Hetipanit	ID. 42010366
	Mr. Suriya Boonaramrueng	ID. 42010408
Advisor	Asst. Prof. D.r. Pitikate Suraksa	
	Mr. Kitdakorn Klomkarn	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2002	

Abstract

This project is concerned about design and construction generate chaotic signal of Lorenz and Chen attractor circuit. In analysis function as poincare also construction in a circuit to serve as chaotic phenomenon. Next graph 3D of Lorenz and Chen equation was display by software. And then 3D graphic was crossed section to 2D graphic. Finally apply chaotic signal for application in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ทางด้านต่าง ๆ ทั้งคำปรึกษาทางด้านวิชาการ และคำแนะนำในการปฏิบัติงาน รวมถึงความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ จากอาจารย์กฤดากร กล่อมการ จนกระทั่งสำเร็จเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณ รศ. ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำในการออกแบบโปรแกรม

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยห่วงใยและให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด รวมทั้งขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ และการดำเนินงานในหลาย ๆ ด้าน

คุณประโยชน์ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายสมศักดิ์ เหติพาณิชย์
นายสุริยา บุญอร่ามเรือง
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มา	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงงาน	2
2.1 ทฤษฎีของลอเรนซ์ (Lorenz's Theory)	2
2.2 สมการของลอเรนซ์และเชน (Lorenz and Chen Equation)	3
2.2.1 สมการของลอเรนซ์	3
2.2.2 สมการของเชน	4
2.3 ทฤษฎีพอยน์แคเร่ (Poincare Theiry)	5
บทที่ 3 การออกแบบ	7
3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบต่างๆ	7
3.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายลอเรนซ์	7
3.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบเชน	11
3.1.3 วงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายเชน	14
3.2 การออกแบบโปรแกรม	16
3.2.1 เวคเตอร์สเปซ (Vector Space) ของการตัดภาพพอยน์แคเร่	16
3.2.2 อัลกอริทึมของโปรแกรมตัดภาพพอยน์แคเร่	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	22
4.1 ผลการจำลองจากโปรแกรม	22
4.1.1 เส้นทางโคจรของเอคเทรคเตอร์ (Attractors)	22
4.1.1.1 แอคเทรคเตอร์ของเชน (Chen Attractor)	22
4.1.1.2 แอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชน (Modify Chen Attractor)	24
4.1.1.3 แอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายลอเรนซ์ (Modify Lorenz Attractor)	26
4.1.2 ลำดับการเกิดปรากฏการณ์เคออส	28
4.2 ผลการทดลองจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติก	31
4.2.1 ผลจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบเชน	31
4.2.2 ผลจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายเชน	35
4.2.3 ผลจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายลอเรนซ์	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง	43
5.3 แนวทางในการพัฒนา	44
บรรณานุกรม	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ภาพแสดงลักษณะของระนาบตัดทางโคจร	5
รูปที่ 2-2 แสดงการตัดและภาพตัดพอยน์แคเร่	5
รูปที่ 3-1 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากสมการของโมดิฟายลอเรนซ์	8
รูปที่ 3-2 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของสมการโมดิฟายลอเรนซ์	9
รูปที่ 3-3 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรสัญญาณเต็มลูกคลื่น	10
รูปที่ 3-4 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรสวิทช์	10
รูปที่ 3-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากสมการของเชน	12
รูปที่ 3-6 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของสมการเชน	13
รูปที่ 3-7 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากสมการของโมดิฟายเชน	14
รูปที่ 3-8 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของสมการโมดิฟายเชน	15
รูปที่ 3-9 แสดงการสร้างสมการเส้นตรง	17
รูปที่ 3-10 ภาพแสดงการตัดภาพพอยน์แคเร่เบื้องต้น ที่ระนาบ x + y = 0	18
รูปที่ 3-11 อัลกอริทึมของโปรแกรมตัดภาพพอยน์แคเร่	19
รูปที่ 3-12 อัลกอริทึมการหมุนระนาบให้เหมาะสม	20
รูปที่ 4-1 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a = 35, b = 3, c = 28 ที่ระนาบ XY, XZ และ YZ	22
รูปที่ 4-2 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนเทียบกับเวลา และพอยน์แคเร่	23
รูปที่ 4-3 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชนที่ a = 1.18, b = 0.168, c = 7 ที่ระนาบ XY, XZ และ YZ	24
รูปที่ 4-4 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชนเทียบกับเวลา และพอยน์แคเร่	25
รูปที่ 4-5 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายลอเรนซ์ที่ a = 0.55 ที่ระนาบ XY, XZ และ YZ	26
รูปที่ 4-6 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชนเทียบกับเวลา และพอยน์แคเร่	27
รูปที่ 4-7 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a=41.0181, b=11.5, c=28	28
รูปที่ 4-8 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a=44, b=11, c=28	29
รูปที่ 4-9 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a=35, b=3, c=28	30
รูปที่ 4-10 ภาพสัญญาณจากวงจรเชน ขณะสัญญาณเป็นคาบเดี่ยว	31
รูปที่ 4-11 ภาพสัญญาณจากวงจรเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออสคงที่	32
รูปที่ 4-12 ภาพสัญญาณจากวงจรเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออสไม่มาก	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-13 ภาพสัญญาณจากวงจรเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออส 34

รูปที่ 4-14 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นคาบเดี่ยว 35

รูปที่ 4-15 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออสคงที่ 36

รูปที่ 4-16 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออสไม่มาก 37

รูปที่ 4-17 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออส 38

รูปที่ 4-18 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นคาบเดี่ยว 39

รูปที่ 4-19 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นเคออสคงที่ 40

รูปที่ 4-20 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นเคออสไม่มาก 41

รูปที่ 4-21 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นเคออส 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบเมื่อ a = 10, c = 8/3 และค่า b เปลี่ยนค่า 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวความคิดและที่มา

ในโครงงานนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์เคออสติก (Chaotic) โดยการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกจากสมการของลอเรนซ์ (Lorenz) และสมการในรูปแบบต่าง ๆ ที่ปรับปรุงมาจากสมการของลอเรนซ์พร้อมทั้งศึกษาพอยน์แคเร่แมพ (Poincare Map) ของสัญญาณเคออสติกในรูปแบบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยได้แสดงการจำลองด้วยโปรแกรมจากสมการคณิตศาสตร์และแสดงผลการทดลองด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.2 จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์เคออสติก จากสมการของลอเรนซ์ และเชน
2. จำลองปรากฏการณ์เคออสติกจากสมการแบบต่าง ๆ ได้ด้วยโปรแกรม
3. สามารถสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกทั้งแบบลอเรนซ์และแบบต่าง ๆ ได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ทำการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกทั้งแบบลอเรนซ์และแบบต่าง ๆ ที่ปรับปรุงมาจากสมการของลอเรนซ์
2. วิเคราะห์พอยน์แคเร่แมพของสัญญาณเคออสติกในรูปแบบต่าง ๆ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างวงจรที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณเคออสติกในรูปแบบของลอเรนซ์ และรูปแบบอื่น ๆ ได้
2. แสดงสัญญาณเคออสติกในรูปแบบของพอยน์แคเร่แมพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงงาน

2.1 ทฤษฎีของลอเรนซ์ (Lorenz's Theory)

จากความก้าวหน้าของการประดิษฐ์เครื่องคอมพิวเตอร์ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่สำคัญคือ การทดลองคำนวณดินฟ้าอากาศระยะยาวของเอ็ดเวิร์ด ลอเรนซ์ (Edward Lorenz) แห่งสถาบัน MIT เมื่อกลางทศวรรษที่ 60 ศาสตราจารย์ด้านอุตุนิยมวิทยาผู้นี้พยายามสร้างโมเดลการคำนวณในการพยากรณ์อากาศโดยใช้สมการง่าย ๆ แสดงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสลม โดยศาสตราจารย์ลอเรนซ์ได้ป้อนข้อมูลที่มีจุดทศนิยมขนาด 6 หลัก คือ 0.506127 เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งพิมพ์ผลออกมาทุก ๆ นาที แต่ด้วยความที่ไม่ต้องการนั่งคอยผลลัพธ์นาน ๆ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ยุคนั้นทำงานช้าลอเรนซ์จึงตัดตัวเลขหลังจุดทศนิยมออกไปให้เหลือ 3 หลัก คือ 0.506 และได้เอาผลลัพธ์จากระยะหนึ่งมาเป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณแล้วเริ่มคำนวณใหม่ ผลของการคำนวณในระยะแรกเหมือนกับการทดลองเก่า ๆ ที่เคยทำมาครั้งแล้วครั้งเล่า หลังจากลุกไปชงกาแฟแล้วกลับมาดูตัวเลขใหม่ ปรากฏว่าผลลัพธ์ต่างกันโดยสิ้นเชิง โมเดลของดินฟ้าอากาศไปกันคนละทิศทาง เขาทำการทดลองซ้ำอีกเพื่อยืนยันความถูกต้อง

ในที่สุดเขาก็สรุปว่าการลดตัวเลขขนาด 3 หลักหลังจุดทศนิยมซึ่งเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการคำนวณทำให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปจากจุดเริ่มต้นจำนวนมหาศาลอย่างไม่น่าเชื่อ โดยสมการของ ลอเรนซ์ เป็นดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= a(Y - X) \\ \frac{dY}{dt} &= (b - Z)X - Y \\ \frac{dZ}{dt} &= XY - cZ \end{aligned}\right\} \quad \text{---------- (1)}$$

เมื่อ a, b และ c เป็นค่าคงที่ และสำหรับ a = 10, c = 8/3 เมื่อมีการเปลี่ยนค่า b จะทำให้เกิดพฤติกรรมต่าง ๆ ตามตารางที่ 2-1 โดยที่ลอเรนซ์ พบว่าระบบจะเกิดพฤติกรรมไร้ระเบียบเมื่อ b มีค่ามากกว่า 24.74 และผลที่ได้แตกต่างกันไปขึ้นกับเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ จากเหตุการณ์ดังกล่าวกระตุ้นให้นักวิจัยหลายท่านหันมาวิจัยทฤษฎีไร้ระเบียบมากขึ้น ทั้งที่นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของลอเรนซ์ มาศึกษาต่อและปรับเข้ากับงานของตนหรือคิดค้นระบบไร้ระเบียบใหม่ ๆ ในงานที่ตนเองเกี่ยวข้องอยู่

<u>ตารางที่ 2-1</u> แสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบเมื่อ a = 10, c = 8/3 และค่า b มีการเปลี่ยนค่าในช่วงต่างๆ กัน มีผลลัพธ์ในแต่ละช่วงดังต่อไปนี้

b	Attractor
$b < 1.00$	มีจุดสมดุลเสถียรที่จุดกำเนิด [0,0,0]
$1.00 \leq b \leq 13.93$	มีจุดสมดุลเสถียรเกิดขึ้นใหม่ 2 จุด ในขณะที่จุดกำเนิด [0,0,0] กลายเป็นจุดสมดุลไม่เสถียร
$13.93 \leq b \leq 24.74$	เกิดพฤติกรรมไร้ระเบียบชั่วคราว
$b > 24.74$	เกิดพฤติกรรมไร้ระเบียบ

2.2 สมการของลอเรนซ์และเชน (Lorenz and Chen Equation)

2.2.1 สมการของลอเรนซ์ (Lorenz Equation)

สมการลอเรนซ์เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) ซึ่งได้ถูกเผยแพร่ในปี 1963 โดยนักอุตุนิยมวิทยาและนักคณิตศาสตร์ที่ชื่อว่า เอดเวิร์ด ลอเรนซ์ โดยอธิบายถึงสภาพของชั้นบรรยากาศภายใต้ภาวะที่เกิดพายุซึ่งมีรูปแบบของสมการตามสมการที่ 1

โดยที่ a , b , c เป็นค่าคงที่ และมีพจน์ที่คูณกัน 2 พจน์ คือ XY และ XZ ซึ่งจะทำให้เกิดคุณสมบัติไม่เชิงเส้น (Non – Linear Property) และมีค่าคงที่ที่ทำให้เกิดสัญญาณเคออสติก ดังนี้คือ a = 10 , b = 8/3 , c = 38 และหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาสมการของลอเรนซ์ โดยไม่ใช้ค่าที่เป็นผลคูณซึ่งผู้คิดค้นคือ เอ เอส เอลวาไคล (A.S. Elwakil) และคณะ [1] และได้เรียกสมการนี้ว่า "โมดิฟายลอเรนซ์" (Modify Lorenz) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= a(Y - X) \\ \frac{dY}{dt} \mp &= \mp KZ \\ \frac{dZ}{dt} \pm &= \pm |X| \mp 1 \end{aligned}\right\} \quad \text{---------- (2)}$$

โดยตัวแปร K ที่นิยมใช้ในสมการคณิตศาสตร์เป็นดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K = \begin{cases} 1 & ; X \geq 0 \\ -1 & : X < 0 \end{cases}$$

ซึ่งจากค่า K จะเท่ากับ Signum Function และจะเห็นได้ว่าจากสมการที่ (2) ค่าตัวแปรในระบบจะเหลือค่าคงที่ a เพียงตัวเดียวเท่านั้นและมีช่วงของค่า a อยู่ระหว่าง $0 < a < 1$ และเมื่อเทียบกับสมการของลอเรนซ์ แล้วค่า |X| นั้นจะมีค่าเท่ากับ XY

2.2.2 สมการของเชน (Chen's Equation)

ต่อมาได้มีผู้ที่ต้องการจะควบคุมการเกิดสัญญาณเคออสติก (Chaostic Signal) ที่เกิดจากสมการของลอเรนซ์ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นโดยใช้สมการของลอเรนซ์เป็นพื้นฐาน ซึ่งเรียกว่าสมการของเชน และผู้ค้นคือ T etsushi Ueta และ Guanrong Chen [2] ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= a(Y - X) \\ \frac{dY}{dt} &= (c - a)x - XZ - cY \\ \frac{dZ}{dt} &= XY - bZ \end{aligned}\right\} \text{---------- (3)}$$

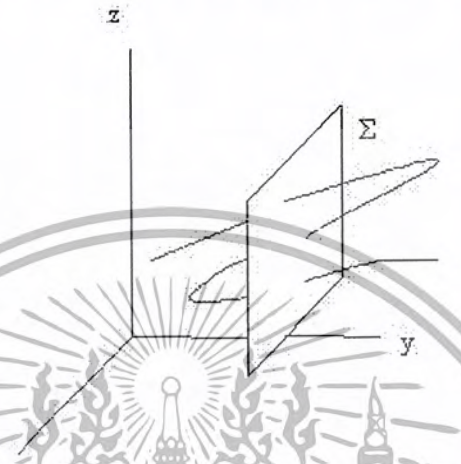
และหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาสมการของเชน เพื่อให้ปราศจากพจน์ที่เป็นการคูณกันของ XZ และ XY โดยใช้ Signum Function หรือเขียนย่อว่า sgn (.) ซึ่งถูกคิดค้นโดย M.A. Aziz – Alaout และ Guanrong Chen [3] ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= a(Y - X) \\ \frac{dY}{dt} &= \text{sgn}(X)(c - aZ) + cqY \\ \frac{dZ}{dt} &= \text{sgn}(Y)X - bZ \end{aligned}\right\} \text{---------- (4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีพอยน์แคเร่ (Poincare Theory)

พอยน์แคเร่เป็นการศึกษาเส้นทางโคจรของสัญญาณในระนาบ 3 มิติ โดยแสดงในระนาบ 2 มิติ ซึ่งภาพพอยน์แคเร่ถูกสร้างขึ้นโดยการนำระนาบหนึ่งๆ มาตัดเส้นทางโคจรนั้น



รูปที่ 2-1 ภาพแสดงลักษณะของระนาบที่ถูกตัดเส้นทางโคจร

จากรูปวิถีวงโคจรของสัญญาณถูกตัดด้วยระนาบ XZ

รูปที่ 2-2 แสดงการตัดเส้นทางโคจร (2 รูปบน) และภาพตัดพอยน์แคเร่ (2 รูปล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากสัญญาณมีคุณสมบัติเชิงคาบแล้ว เส้นทางโคจรในระนาบ 3 มิติจะได้ดังรูปซ้ายมือ เมื่อตัดภาพพอยน์แคเร่ ก็จะได้ดังรูปทางด้านล่างซ้าย ส่วนรูปทางขวาเป็นสัญญาณที่มี 2 คาบ แต่ถ้าหากเป็นสัญญาณเคออสติก ซึ่งเป็นสัญญาณไม่เป็นคาบ ก็จะมีความซับซ้อนของการตัดภาพเพิ่มขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบต่าง ๆ

3.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายลอเรนซ์

จากสมการของลอเรนซ์ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\frac{dX}{dt} = a(Y - X)$$

$$\frac{dY}{dt} = (b - Z)X - Y$$

$$\frac{dZ}{dt} = XY - bZ$$

สามารถที่จะนำมาปรับปรุงเพื่อให้เหลือพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมเพียงตัวเดียวคือ a ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 < a < 1$ ทำให้ได้สมการโมดิฟายลอเรนซ์ ดังนี้

$$\frac{dX}{dt} = a(Y - X) \quad \text{----------1.1}$$

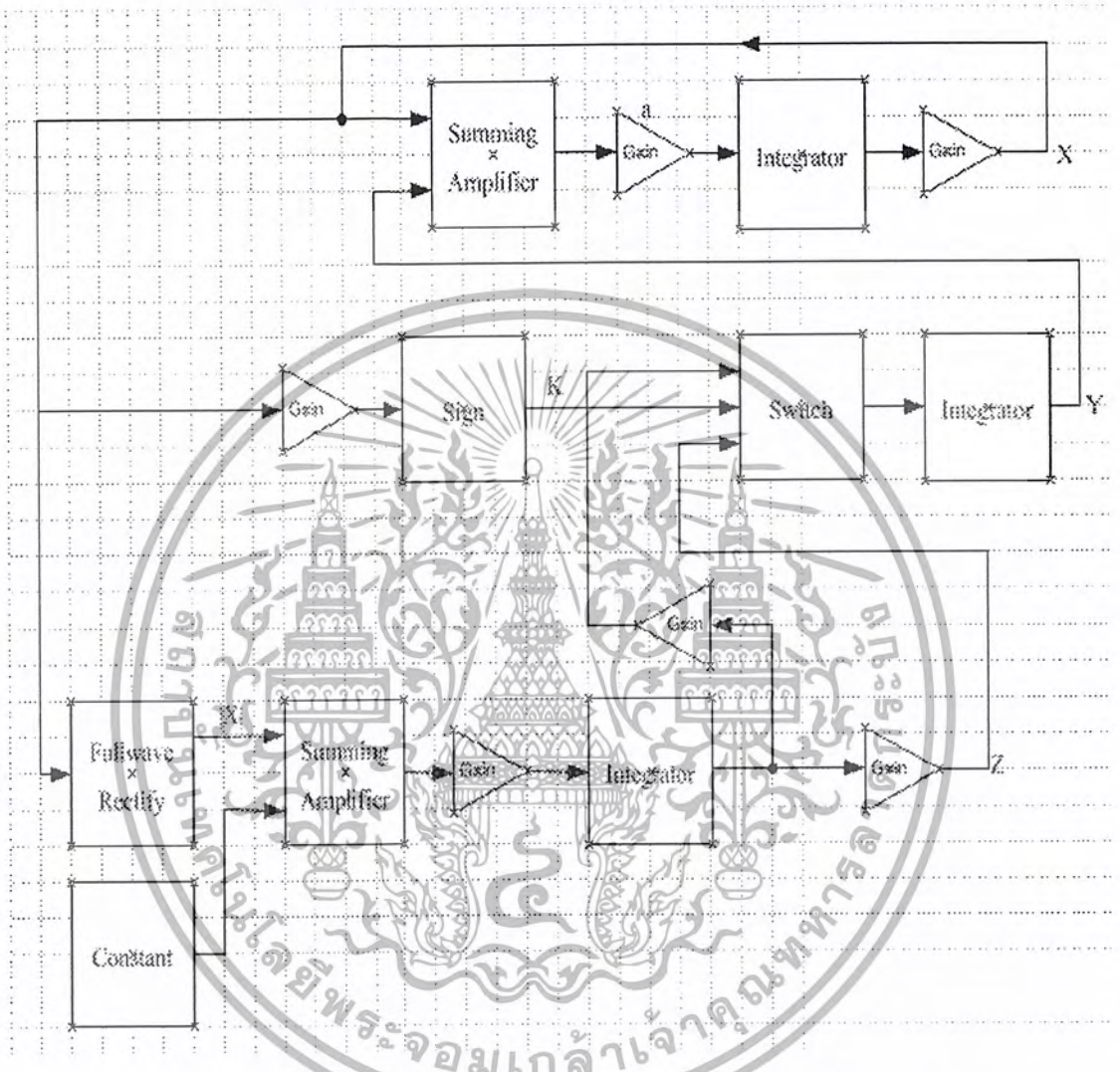
$$\frac{dY}{dt} \mp = \mp KZ \quad \text{----------1.2}$$

$$\frac{dZ}{dt} \pm = \pm |X| \mp 1 \quad \text{----------1.3}$$

โดยที่ $K = \begin{cases} 1 & : X \geq 0 \\ -1 & : X < 0 \end{cases}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

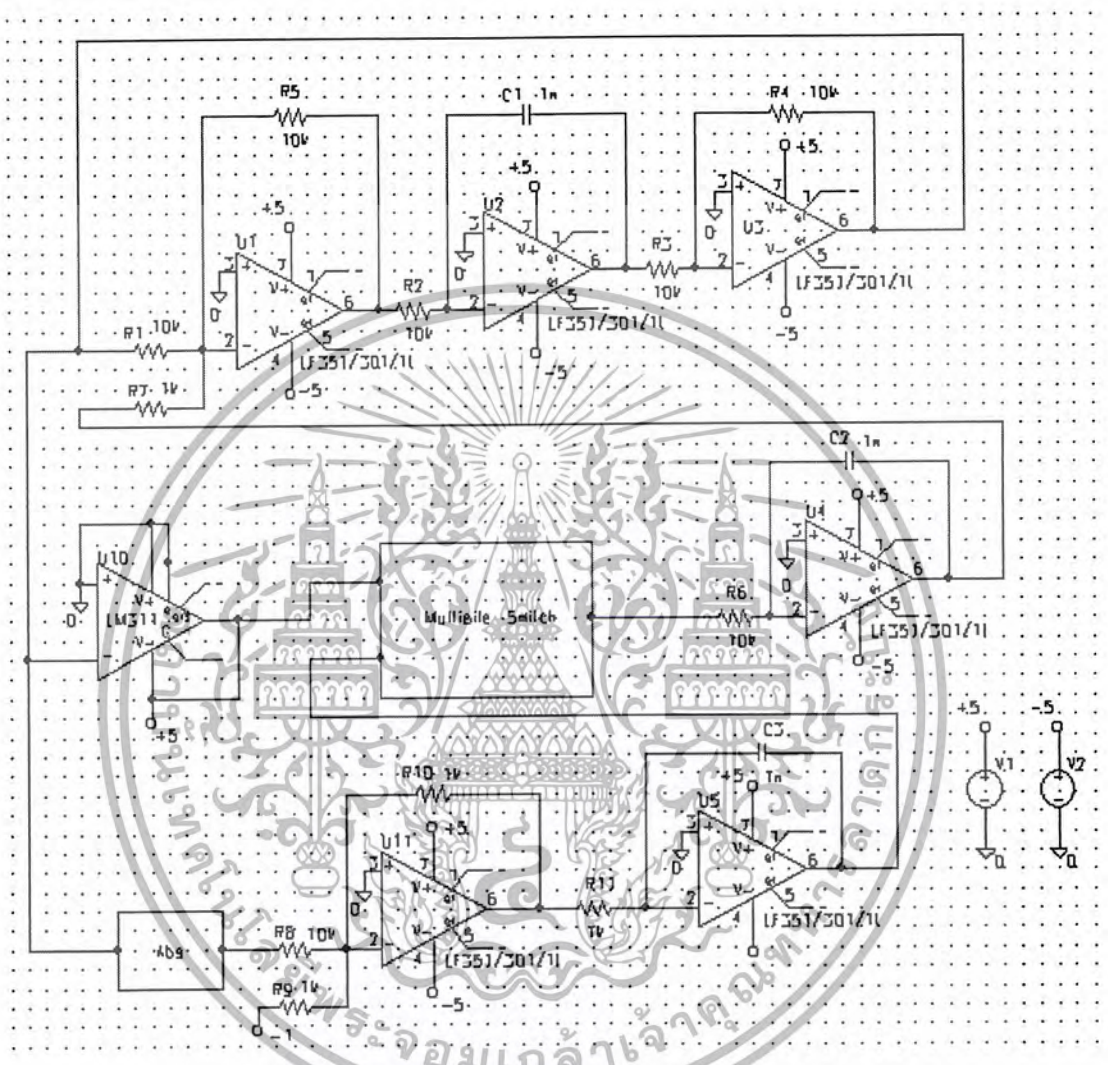
จากสมการโมดิฟายลอเรนซ์ สามารถที่จะนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3-1 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากสมการของโมดิฟายลอเรนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

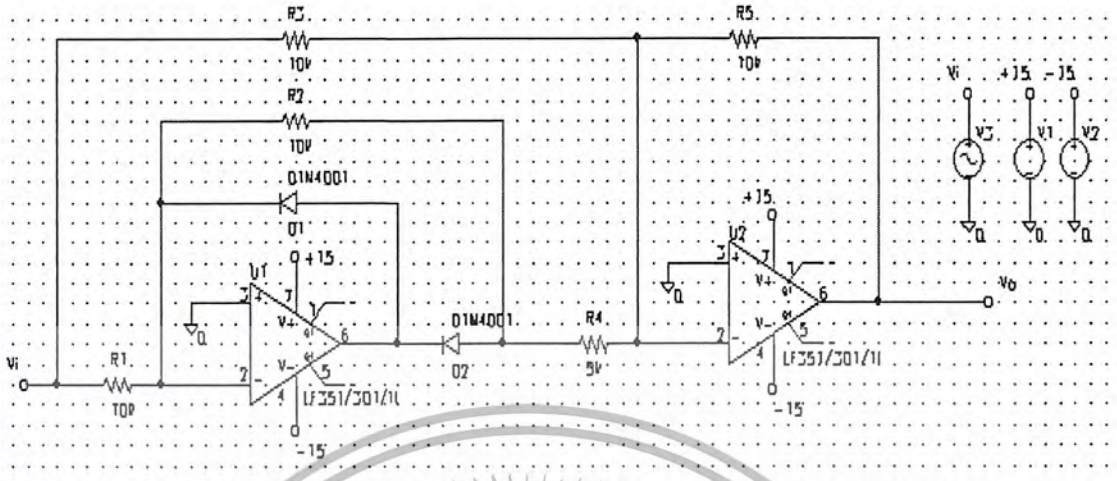
จากบล็อกไดอะแกรม สามารถที่จะนำมาเขียนเป็นวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ได้ดังนี้



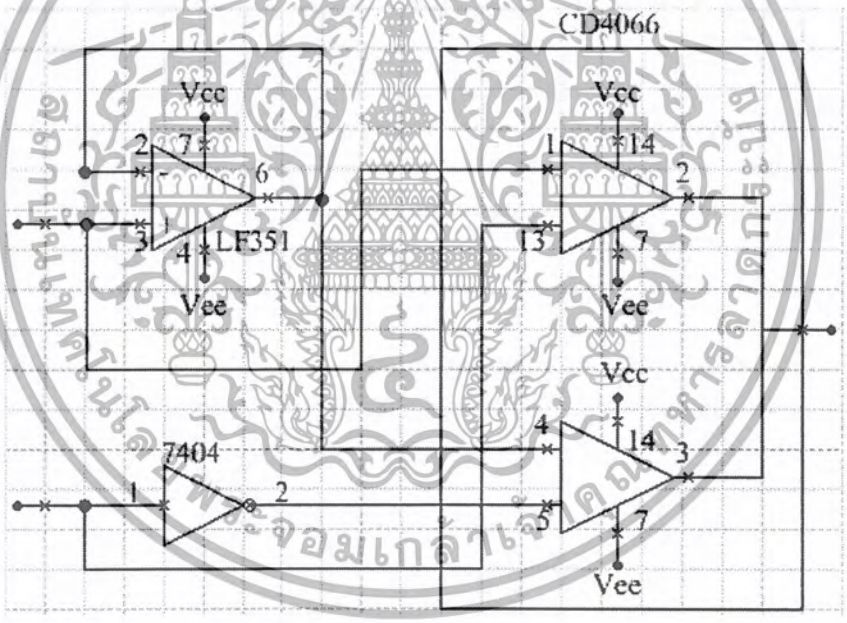
รูปที่ 3-2 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของสมการโมดิฟายลอเรนซ์

จากรูปวงจรจะประกอบไปด้วยวงจรย่อย ๆ คือวงจรเรียงสัญญาณเต็มลูกคลื่น (Full-Wave Rectifier) และวงจรสวิทซ์ (Switching Circuit) ซึ่งมีรูปแบบเป็นวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรเรียงสัญญาณเต็มลูกคลื่น



รูปที่ 3-4 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรสวิทช์

จากสมการที่ 1.1 ค่า $\frac{dX}{dt}$ หาได้จากค่า a X และ Y โดยการนำมาต่อผ่านวงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier) และเมื่อได้ค่า $\frac{dX}{dt}$ แล้วจึงนำมาต่อผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) จะทำให้ได้ค่า -X และเมื่อได้ค่า -X แล้วจึงนำมาผ่านวงจรขยายกลับขั้ว (Inverting Amplifier) จะทำให้ได้ค่า X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 1.2 ค่า $\frac{dY}{dt}$ หาได้จากค่า K และ Z โดยการนำค่าทั้งสองมาต่อผ่านวงจรสวิทช์ เมื่อได้ค่าแล้วนำมาต่อผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะได้ค่า Y

จากสมการที่ 1.3 ค่า $\frac{dZ}{dt}$ หาได้จากค่าสมบูรณ์ X โดยค่าสมบูรณ์X หาได้จากการนำค่า X มาต่อผ่านวงจรเรียงสัญญาณเต็มลูกคลื่นและเมื่อได้ค่าแล้วจึงนำมาต่อผ่านวงจรบวกสัญญาณจะได้ค่า -Z และเมื่อนำค่า -Z มาต่อผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะได้ค่า Z

3.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบเชน

จากการปรับปรุงสมการของลอเรนซ์ ทำให้ได้สมการของแบบจำลองปรากฏการณ์เคออสติก ในรูปแบบของสมการของเชนซึ่งประกอบด้วย

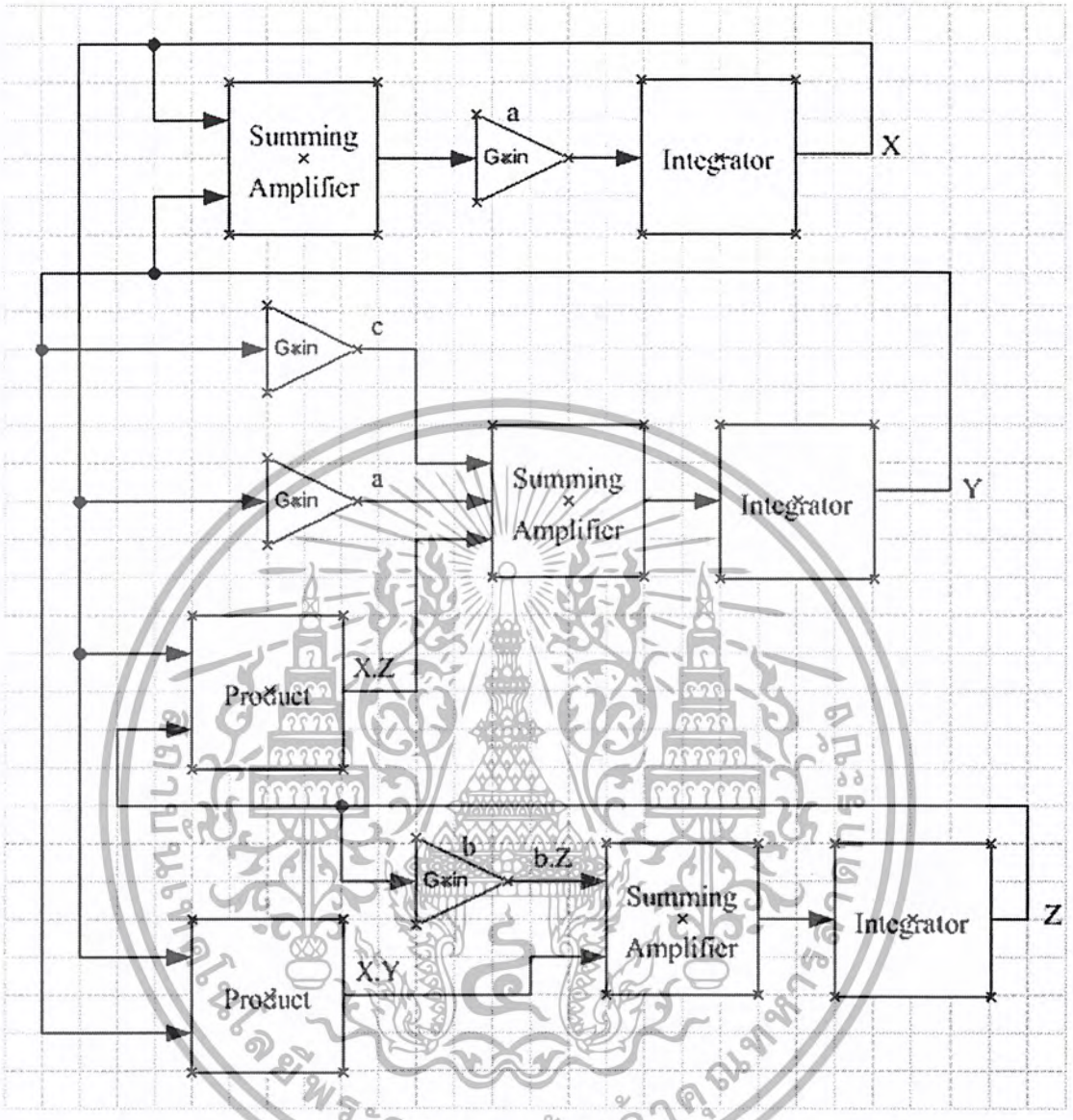
$$\frac{dX}{dt} = a(Y - X) \quad \text{---------- 2.1}$$

$$\frac{dY}{dt} = (c - a)X - XZ - cY \quad \text{---------- 2.2}$$

$$\frac{dZ}{dt} = XY - bZ \quad \text{---------- 2.3}$$

จากสมการเชนสามารถที่จะนำมาเขียนเป็นวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ดังนี้

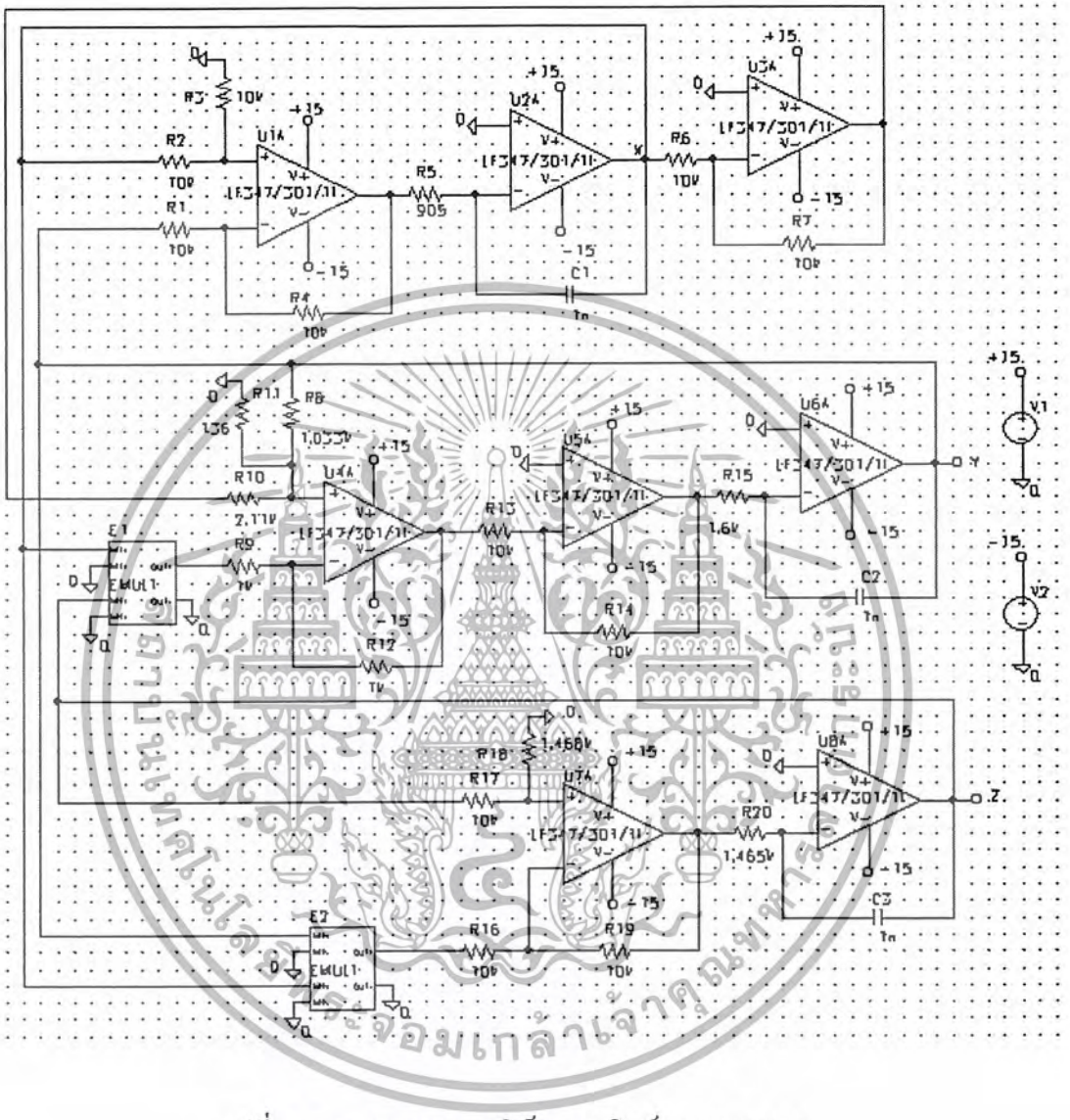
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากสมการของเชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล๊อกไดอะแกรมสามารถที่จะนำมาเขียนเป็นวงจรทางอิเล็คทรอนิกส์ได้ดังนี้



รูปที่ 3-6 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของสมการเชน

จากสมการที่ 2.1 ค่า $\frac{dX}{dt}$ หาได้จากค่า a, X และ Y โดยการนำค่าทั้งสามมาต่อผ่านวงจรบวกสัญญาณ และเมื่อได้ค่าแล้วจึงนำมาต่อผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ จะทำให้ได้ค่า X

จากสมการที่ 2.2 ค่า $\frac{dY}{dt}$ หาได้จากการนำค่า X และ Z มาผ่านวงจรคูณจะได้ค่า XZ และการนำค่าคงที่ a , c และค่า X มารวนกันจะได้ค่า (c-a)X แล้วนำค่าทั้งสองมาผ่านวงจรขยายกลับขั้ว แล้วนำค่าไปผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ จะได้ค่า Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.3 ค่า $\frac{dZ}{dt}$ หาได้จากการนำค่า X และ Y มาผ่านวงจรคูณจะได้ค่า XY แล้วนำไปรวมกันค่า bZ โดยใช้วงจรบวกสัญญาณ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ จะทำให้ได้ค่า Z

3.1.3 วงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายเชน (Modify Chen)

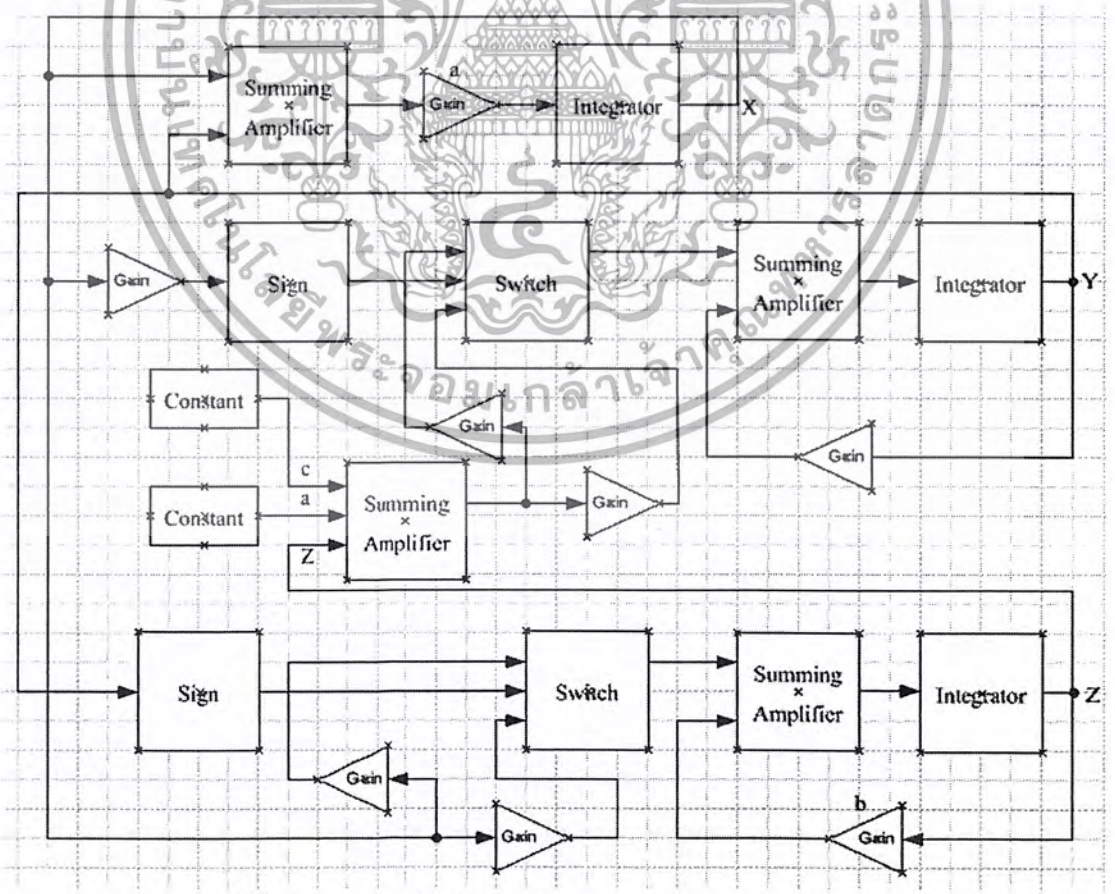
จากสมการของ Chen นำมาเป็นพื้นฐานปรับปรุง เพื่อขจัดพจน์ XZ และ XY ทำให้เกิดสมการของ Modify Chen ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\frac{dX}{dt} = a(Y - X) \quad \text{---------- 3.1}$$

$$\frac{dY}{dt} = \text{sgn}(X)(c - a - Z) + cqY \quad \text{---------- 3.2}$$

$$\frac{dZ}{dt} = \text{sgn}(Y)X - bZ \quad \text{---------- 3.3}$$

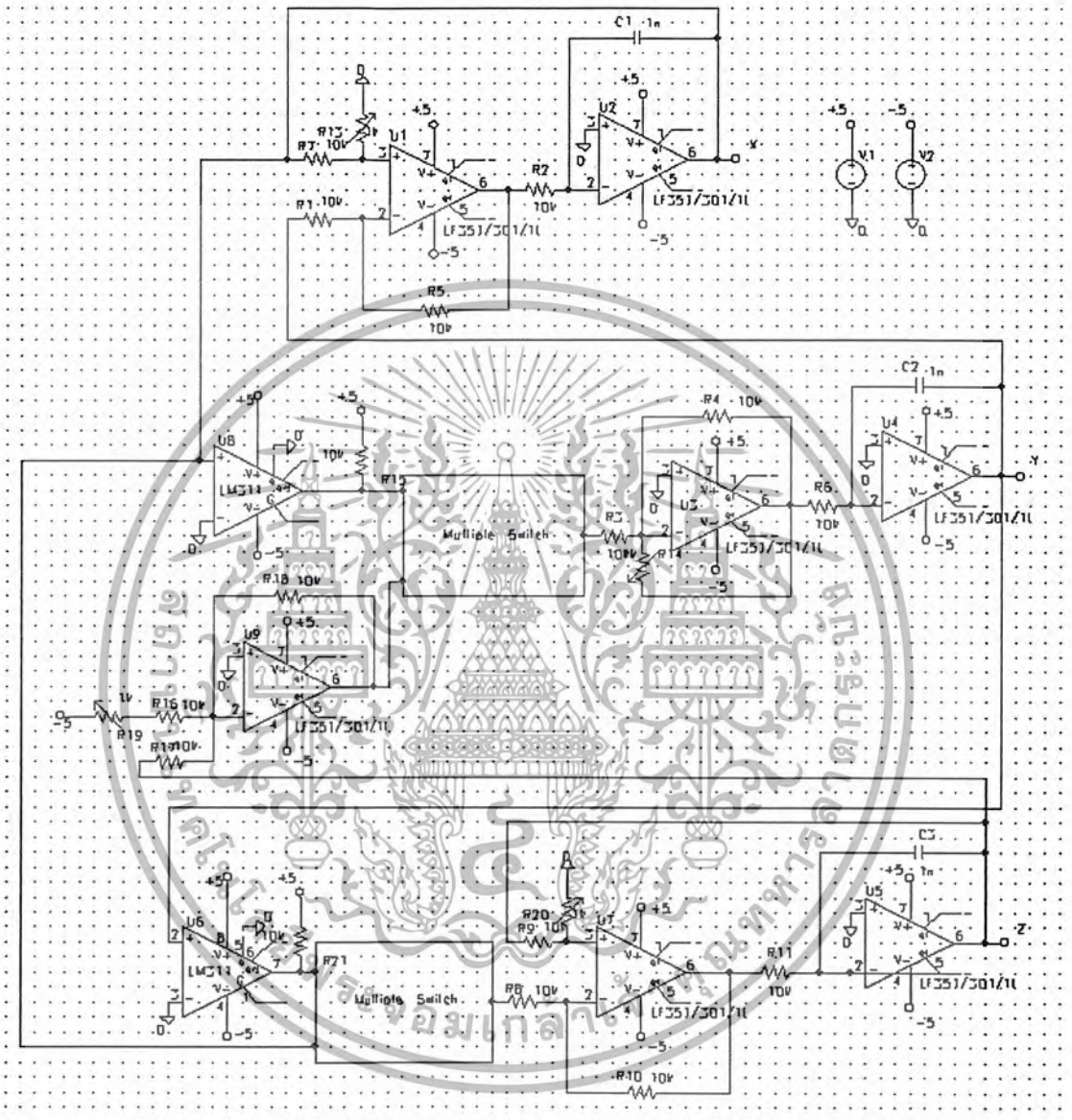
จากสมการโมดิฟายเชนสามารถที่จะนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3-7 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากสมการของโมดิฟายเชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมสามารถที่จะนำมาเขียนเป็นวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ได้ดังนี้



รูปที่ 3-8 รูปแสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ของสมการโมดิฟายเชน

จากสมการที่ 3.1 ค่า $\frac{dX}{dt}$ หาได้จากค่า a X และ Y โดยการนำค่าทั้งสามมาต่อผ่านวงจรบวกสัญญาณ และเมื่อได้ค่าแล้วจึงนำมาต่อผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ จะทำให้ได้ค่า X

จากสมการที่ 3.2 ค่า $\frac{dY}{dt}$ หาได้จากการรวมค่า sgn (X)(c – a -Z) กับค่า cqY โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรบวกสัญญาณ โดยค่า sgn (X)(c – a -Z) ได้จากการนำค่า sgn (X) กับค่า (c-a-Z) มาผ่านวงจรสวิทซ์ และเมื่อได้ค่า $\frac{dY}{dt}$ จึงนำมาผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะทำให้ได้ค่า Y

จากสมการที่ 3.3 ค่า $\frac{dZ}{dt}$ หาได้จากการรวมค่า sgn (Y) X กับค่า bZ โดยใช้วงจรบวกสัญญาณ โดยค่า sgn (Y) X หาได้จากการนำค่า sgn (Y) กับค่า X มาผ่านวงจรสวิทซ์ และเมื่อได้ค่า $\frac{dZ}{dt}$ จึงนำมาผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะทำให้ได้ค่า Z

3.2 การออกแบบโปรแกรม

3.2.1 เวคเตอร์สเปซ (Vector Space) ของการตัดภาพพอยน์แคเร่ (Poincare)

ในการศึกษาพฤติกรรมของปรากฏการณ์เคออสติก โดยสร้างภาพตัดพอยน์แคเร่ในระนาบต่าง ๆ ซึ่งการจะสร้างระนาบใด ๆ ขึ้นมานั้นจะต้องทราบเวกเตอร์ปกติ (Vector N) ที่ตั้งฉากกับระนาบ ซึ่งมีสมการเวกเตอร์คือ

$$\vec{N} = A\vec{i} + B\vec{j} + C\vec{k}$$

เมื่อ A, B, C เป็นค่าคงที่ และ $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ เป็นทิศทางของเวคเตอร์ และจุดเริ่มต้นของเวกเตอร์ปกติของระนาบนั้น ในที่นี้กำหนดให้เป็นจุด $P_0(x_0, y_0, z_0)$ ถ้าลากเวกเตอร์จากจุด P_0 ไปยังจุด P(x, y, z) ใด ๆ บนระนาบจะเกิดเป็นเวกเตอร์ U ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับเวกเตอร์ N เสมอไม่ว่าเวกเตอร์ U จะมีทิศทางเช่นไร ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\vec{U} = (x - x_0)\vec{i} + (y - y_0)\vec{j} + (z - z_0)\vec{k}$$

ดังนั้นเราสามารถสร้างสมการระนาบได้จากคุณสมบัติการคูณเชิงปริมาณ (dot product) ของเวกเตอร์ N กับเวกเตอร์ U ดังนี้

$$\vec{N} \bullet \vec{U} = 0$$

$$f(x) = \vec{N} \bullet \vec{U}$$

$$f(x) = A(x - x_0) + B(y - y_0) + C(z - z_0)$$

$$f(x) = Ax + By + Cz + (-ax_0 - by_0 - cz_0)$$

$$f(x) = Ax + By + Cz - D$$

$$Ax + By + Cz - D = 0$$

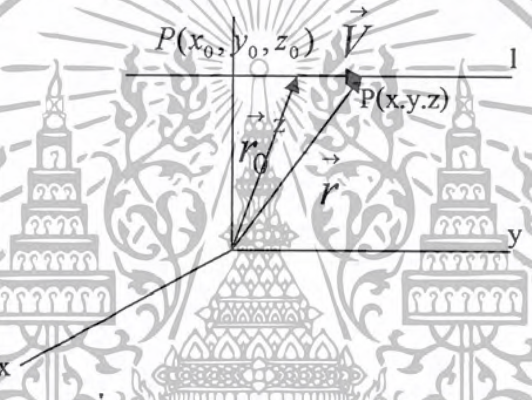
$$Ax + By + Cz = D \qquad \text{---------- (1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จึงเกิดสมการที่ (1) เป็นสมการทั่วไปของระนาบ (General Equation) โดยที่มี $A\vec{i}+B\vec{j}+C\vec{k}$ เป็นเวกเตอร์ปกติ

ในการตัดภาพพอยน์แคเร่จากวงโคจรของเอคเทรคเตอร์นั้น จำต้องทราบจุดบนเอคเทรค-เตอร์นั้น ซึ่งได้จากการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และจากการแก้สมการเชิงอนุพันธ์นี้ ทำให้สามารถสร้างภาพของเอคเทรคเตอร์บนปริภูมิ 3 มิติได้ จากจุด 2 จุด (P(i) และ P(i+1)) ในปริภูมิ 3 มิติสามารถสร้างเป็นเส้นตรง เพื่อตรวจสอบการตัดกันของเส้นตรงบนวงโคจรนี้กับระนาบที่สร้างขึ้นโดยการแก้สมการระนาบกับสมการเส้นตรง ซึ่งสามารถสร้างสมการเส้นตรงได้โดยใช้เวกเตอร์ในการพิจารณา



รูปที่ 3-9 แสดงการสร้างสมการเส้นตรง

จากรูปที่ 3-9 นำมาสร้างสมการเส้นตรง l โดยกำหนดให้ l เป็นเส้นตรงที่ผ่านจุด $P(x_0, y_0, z_0)$ และมีทิศทางตามเวกเตอร์ $\vec{V}=a\vec{i}+b\vec{j}+c\vec{k}$ ดังรูปที่ 3-9 ถ้า P(x,y,z) เป็นจุดใด ๆ บนเส้นตรง l จะได้ เวกเตอร์ $\vec{r}$ ซึ่งเชื่อมจุดกำเนิดกับจุด P และ $\vec{r_0}$ ซึ่งเชื่อมจุดกำเนิดกับจุด P_0 เพราะฉะนั้น

$$\vec{r}=\vec{r_0}+\vec{P_0P}$$

เนื่องจาก $\vec{P_0P}$ มีทิศทางเดียวกับ $\vec{V}$ จึงได้ว่า

$$\vec{P_0P}=t\vec{V} \qquad \text{เมื่อ t เป็นสเกลาร์}$$

เพราะฉะนั้น

$$\vec{r}=\vec{r_0}+t\vec{V}$$

$$x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}=(x_0\vec{i}+y_0\vec{j}+z\vec{k})+t(a\vec{i}+b\vec{j}+c\vec{k})$$

$$=(x_0+at)\vec{i}+(y_0+bt)\vec{j}+(z_0+ct)\vec{k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50276

นั้นคือ
$$x = x_0 + at$$
$$y = y_0 + bt \qquad \text{---------- (2)}$$
$$z = z_0 + ct$$

จึงได้สมการที่ (2) เป็นสมการอิงตัวแปรเสริม (parametric equation) ของเส้นตรง l โดยมี t เป็นตัวแปรเสริม (parameter)

เมื่อได้ทั้งสมการเส้นตรงและสมการระนาบแล้ว จึงนำสมการทั้งสองมาแก้สมการหาค่า x, y และ z โดยใช้เมทริกซ์ตามสมการที่ (3)

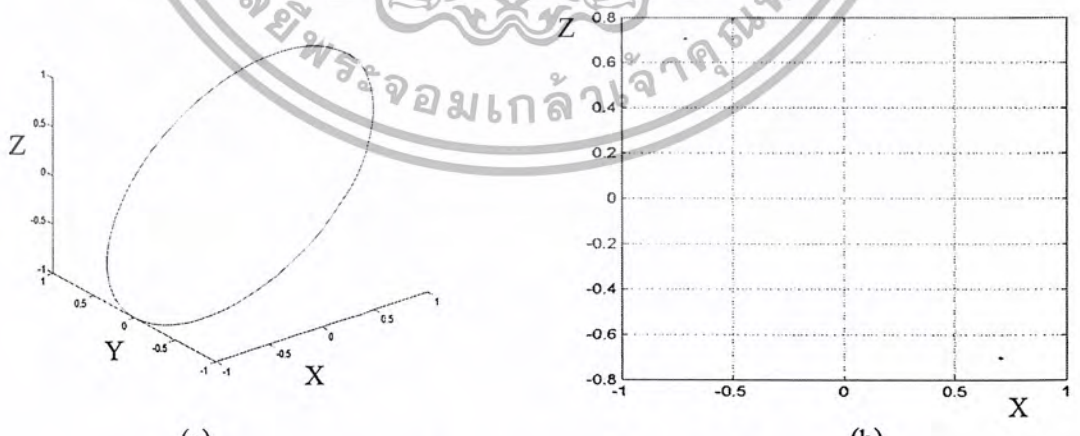
$$AX = B$$
$$\begin{bmatrix} A & B & C & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -a \\ 0 & 1 & 0 & -b \\ 0 & 0 & 1 & -c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \qquad \text{---------- (3)}$$

ค่า x , y และ z 1 ชุด คือจุดตัดที่เกิดระหว่างเส้นทางโคจรของเอกเทรคเตอร์ระหว่างจุด P ที่ i (P(i)) และ P ที่ i+1 (P(i+1)) จากนั้นจึงทำซ้ำอีกครั้งโดยให้ P(i) = P(i+1) และ P(i+1) = P(i+2)

ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้

$$0 \le t \le 2\prod$$
$$x = \sin(t)$$
$$y = \cos(t)$$
$$z = \sin(t)$$

เมื่อสร้างภาพในปริภูมิ 3 มิติ และตัดภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ x + y = 0 จะได้ดังนี้



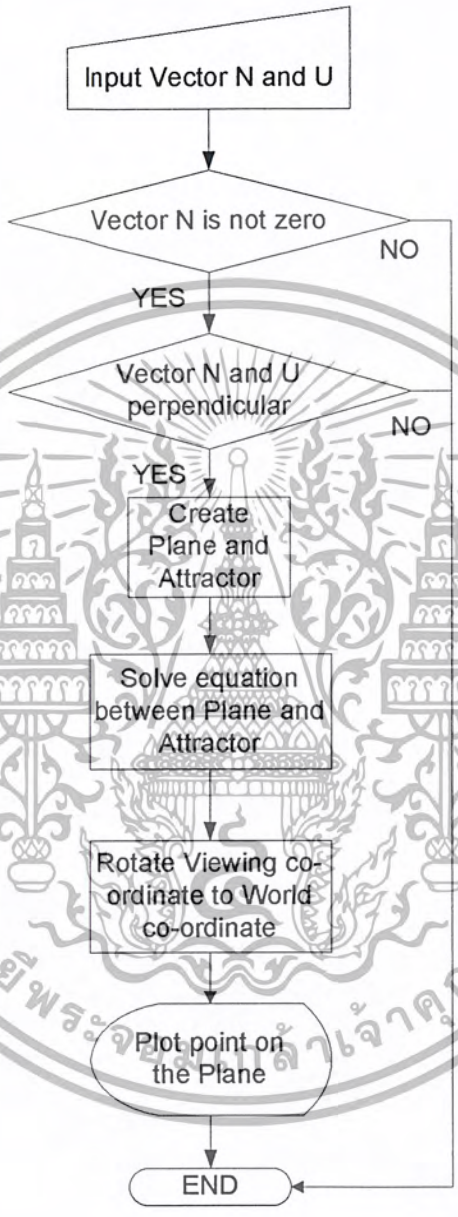
(a) (b)

รูปที่ 3-10 ภาพแสดงการตัดภาพพอยน์แคเร่เบื้องต้น ที่ระนาบ x + y = 0

(a) แสดงภาพในปริภูมิ 3 มิติ (b) ภาพพอยน์แคเร่ของภาพ (a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 อัลกอริทึม (Algorithm) ของโปรแกรมตัดภาพพอยน์แคเร่

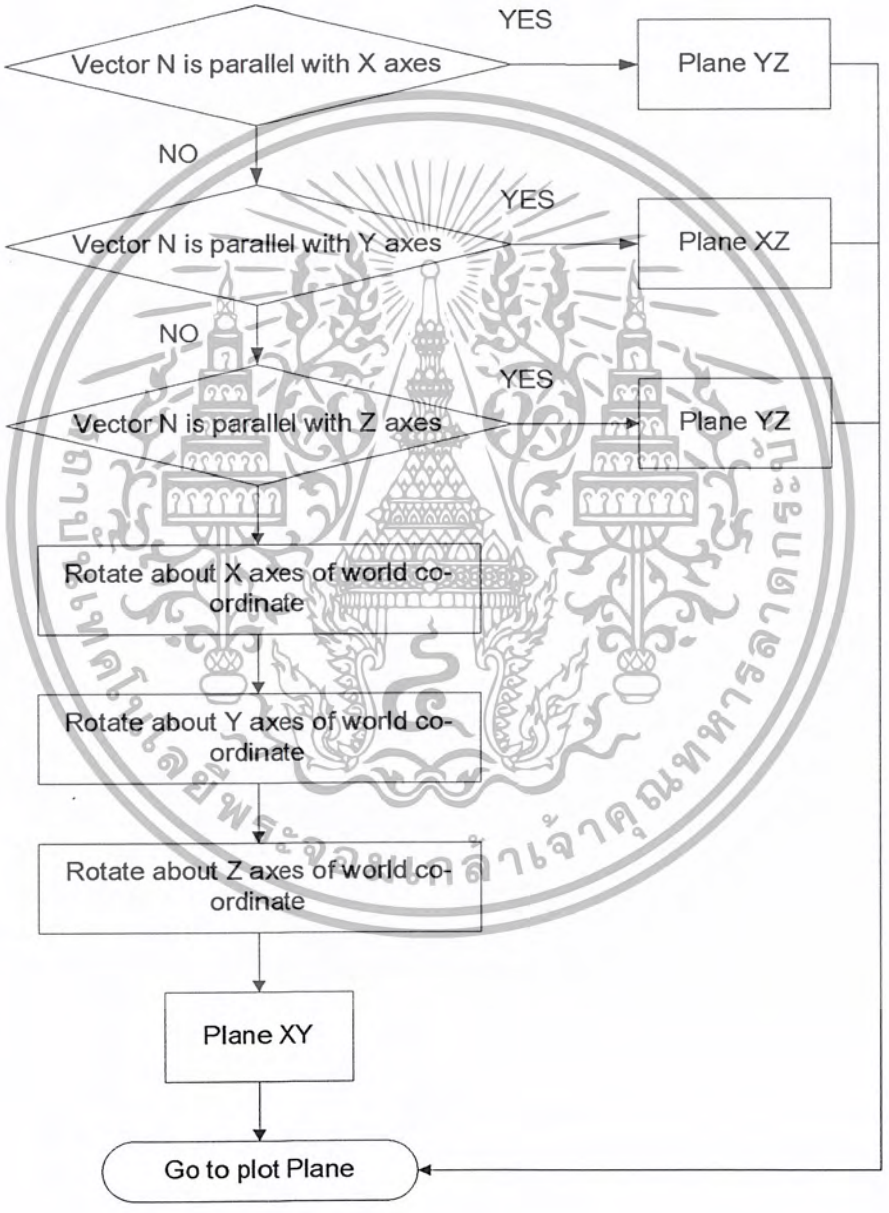


รูปที่ 3-11 อัลกอริทึมของโปรแกรมตัดภาพพอยน์แคเร่

จากรูปที่ 3-11 แสดงขั้นตอนการทำงาน โดยรับค่าอินพุท (input) เป็นเวกเตอร์ (vector) ขนาด N ซึ่งก็คือ เวกเตอร์ปกติ (normal vector) ของระนาบ และเวกเตอร์ U ซึ่งก็คือเวกเตอร์บนระนาบ โดยเวกเตอร์ N มีเงื่อนไขว่าต้องไม่เป็น 0 และเวกเตอร์ N และเวกเตอร์ U จะต้องตั้งฉากกัน จากนั้นจึงนำมาสร้างสมการระนาบ และแก้สมการกำเนิดสัญญาณเคออสติกในรูปแบบต่างๆ ตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้อง ในขั้นตอนนี้สามารถแทรกการสร้างรูปของเอคเทรคเตอร์นั้น ๆ ในปริภูมิ 3 มิติ หรือ 2 มิติได้ และนำผลลัพธ์ที่ได้ มาแก้สมการหาจุดตัดบนสมการระนาบนั้น โดยใช้เมทริกซ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และเพื่อให้ได้มุมมองที่เหมาะสมจึงหมุนระนาบ หรือก็คือจุดตัดบนระนาบนั้นเอง โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3-12 อัลกอริทึมการหมุนระนาบให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-12 กำหนดให้ระนาบที่สร้างขึ้นนั้นอยู่ในพิกัดทั่วไป (World Co-ordinate) จุดประสงค์คือ ต้องการหมุนให้ระนาบหรือก็คือจุดที่ได้จากการแก้สมการหาจุดตัดให้ขนานกับพิกัดมุมมอง (Viewing Co-ordinate) จนได้ระนาบที่อยู่ในมุมมองที่เหมาะสม

ลำดับแรกต้องตรวจสอบว่าเวกเตอร์ N ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับระนาบขนานกับแกนใดในพิกัดทั่วไปหรือไม่ ถ้าใช่ก็หมายความว่า พิกัดมุมมอง และ พิกัดทั่วไป นั้นขนานกันอยู่ไม่จำเป็นต้องหมุนระนาบสามารถวาดระนาบนั้นๆ ออกมาได้ทันที แต่ถ้าเวกเตอร์ N ไม่ขนานกับแกนใดในพิกัดทั่วไป จึงทำการหมุนรอบแกน X, Y และ Z จะทำให้เวกเตอร์ N ขนานกับแกน Z และเวกเตอร์ U ขนานกับแกน X แล้วจึงวาดระนาบนั้นๆ เป็นภาพ “พอยน์แคเร่” ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

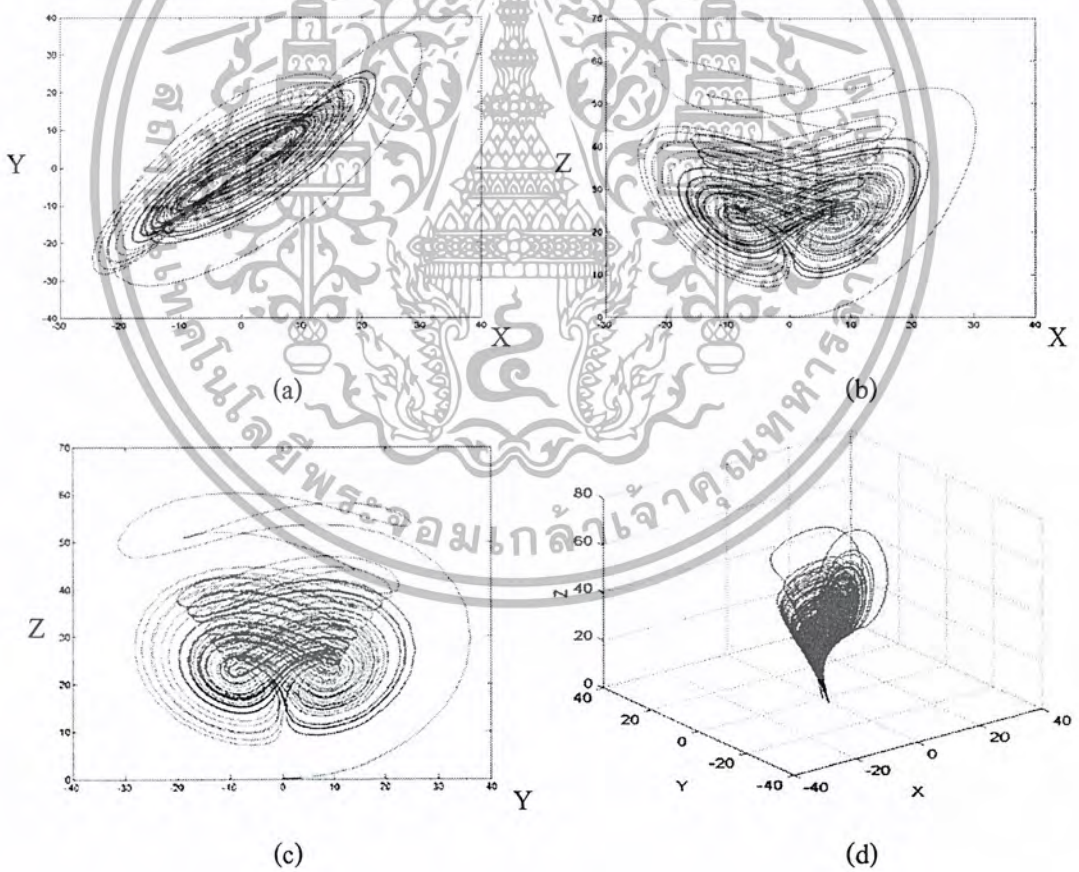
4.1 ผลการจำลองจากโปรแกรม

4.1.1 เส้นทางโคจรของเอคเทรคเตอร์ (Attractors)

จากโปรแกรมที่สร้างขึ้นนั้นประกอบไปด้วย การแก้สมการกำเนิดสัญญาณ, การสร้างระนาบ และการแก้สมการระหว่างระนาบกับเส้นทางโคจรของสัญญาณ ซึ่งส่วนของการกำเนิดสัญญาณสามารถแสดงผลเป็นเส้นทางโคจรของแต่ละเอคเทรคเตอร์ และพอยน์แคเร่ดังนี้

4.1.1.1 เอคเทรคเตอร์ของเชน (Chen Attractor)

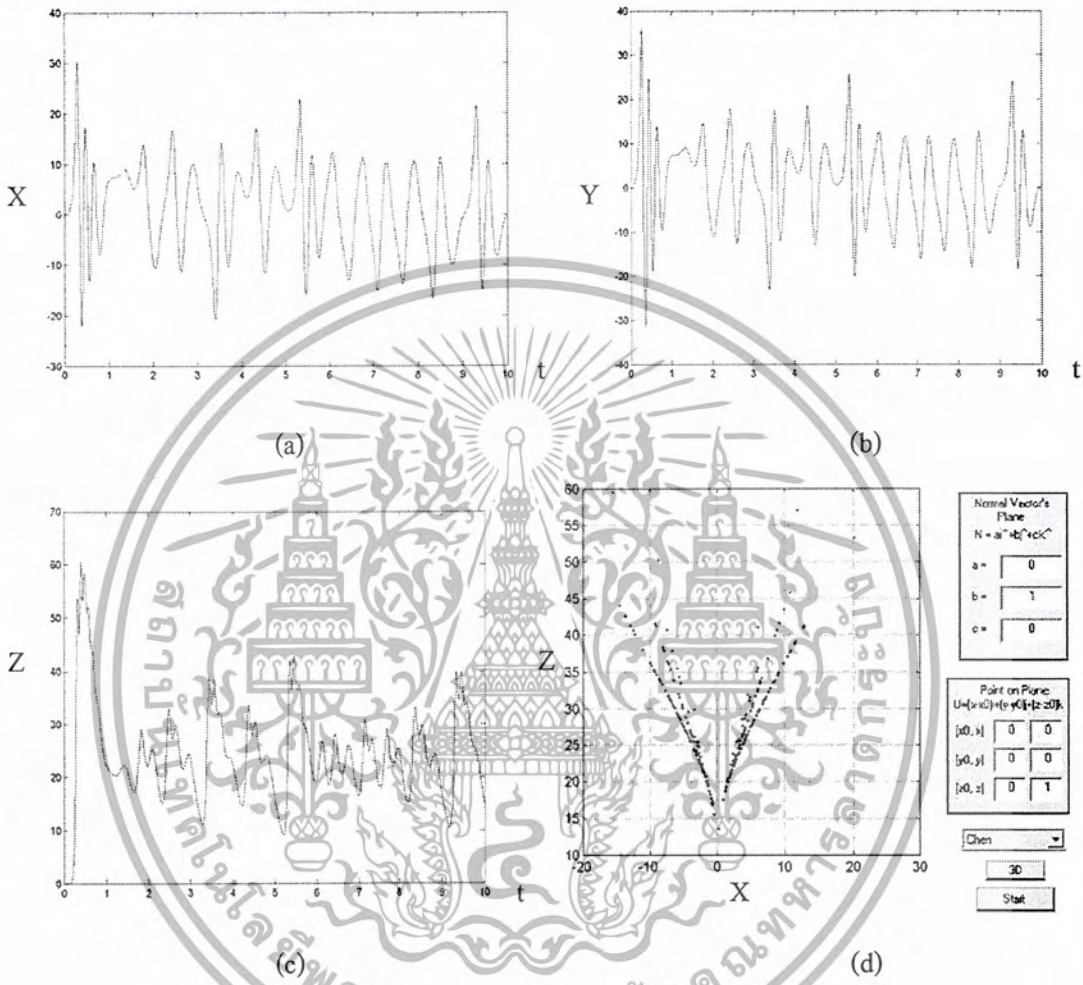
ต่อไปนี้เป็นการแสดงเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a = 35, b = 3, c = 28 ซึ่งแสดงเส้นทางโคจรบนระนาบ x-y, x-z และ y-z



รูปที่ 4-1 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a = 35, b = 3, c = 28 ที่ระนาบ XY, XZ และ YZ
(a) ระนาบ x-y (b) ระนาบ x-z (c) ระนาบy-z (d) เอคเทรคเตอร์ในระนาบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปข้างล่างนี้แสดงสัญญาณเคออสติกของX, Y และ Z ในขอบข่ายของเวลา และภาพ พอยน์แคเร่ที่ระนาบ x-z ที่ y เท่ากับ 0



รูปที่ 4-2 ภาพเอกเทรคเตอร์ของเชนเทียบกับเวลา และพอยน์แคเร่

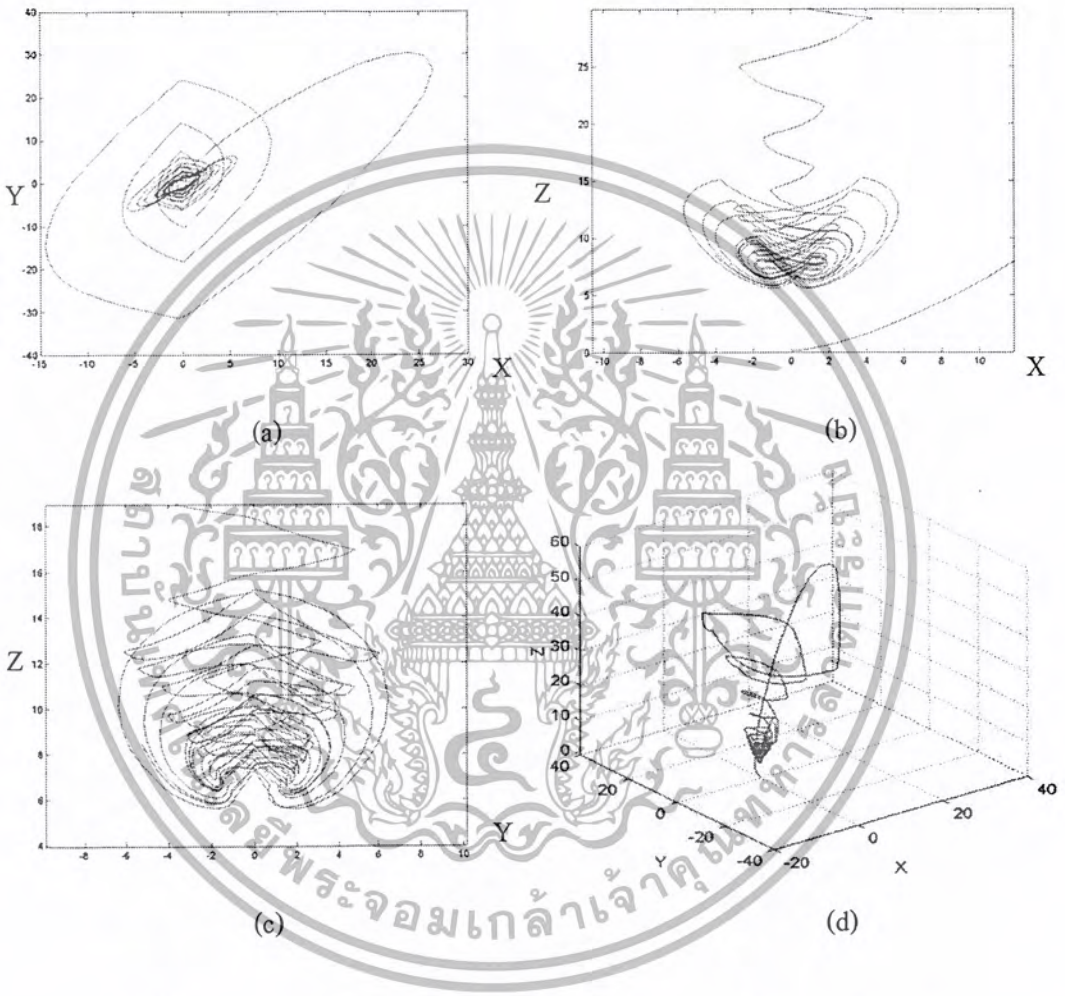
(a) ค่า X เทียบกับเวลา (b) ค่า Y เทียบกับเวลา (c) ค่า Z เทียบกับเวลา

(d) ภาพตัดพอยน์แคเร่ที่ Y=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 เอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชน (Modify Chen Attractor)

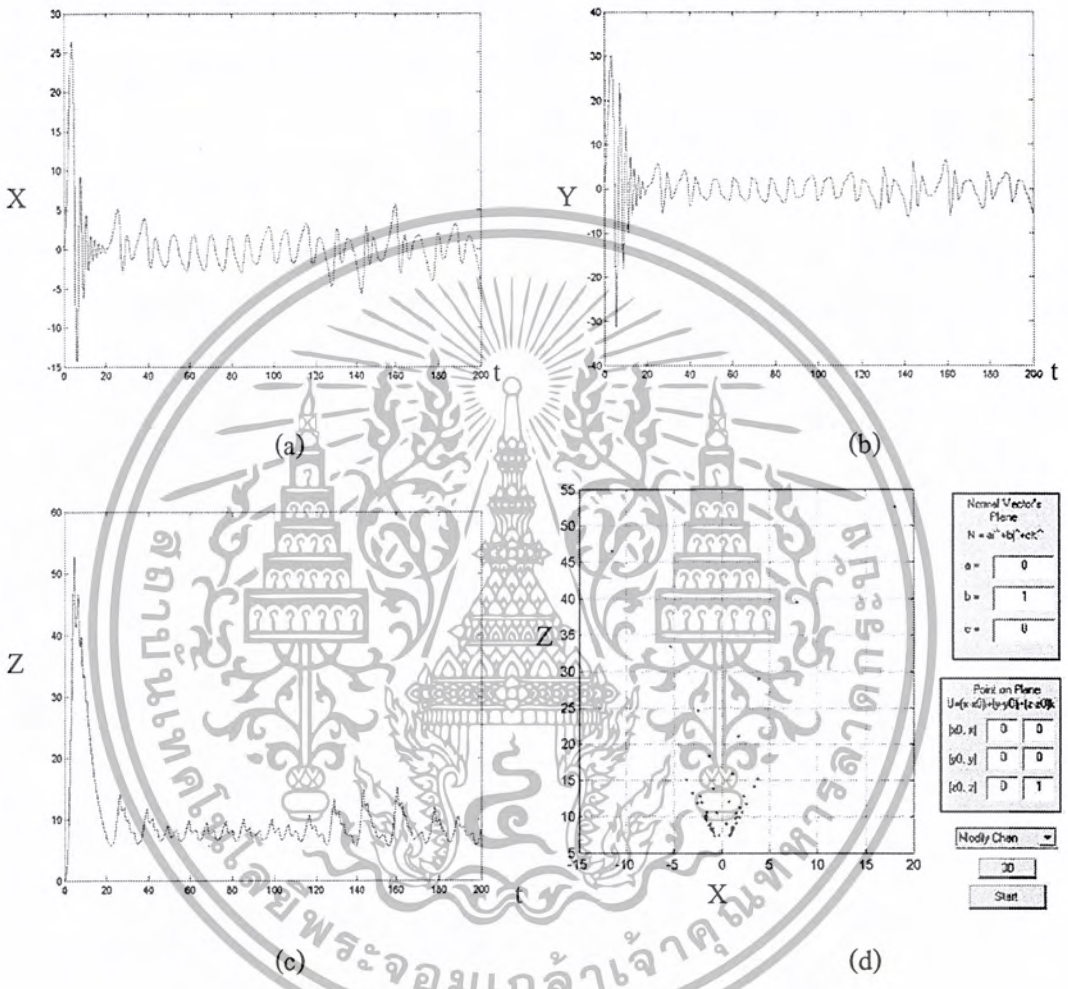
ต่อไปนี้เป็นการแสดงเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a = 1.18, b = 0.168, c = 7 ซึ่งแสดงเส้นทางโคจรบนระนาบ x-y, x-z และ y-z



รูปที่ 4-3 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชนที่ a = 1.18, b = 0.168, c = 7
ที่ระนาบ XY, XZ และ YZ
(a) ระนาบ x-y (b) ระนาบ x-z (c) ระนาบ y-z (d) เอคเทรคเตอร์ในระนาบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปข้างล่างนี้แสดงสัญญาณเคออสติกของX, Y และ Z ในขอบข่ายของเวลา และภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ x - z ที่ y เท่ากับ 0



รูปที่ 4-4 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชนเทียบกับเวลา และพอยน์แคเร่

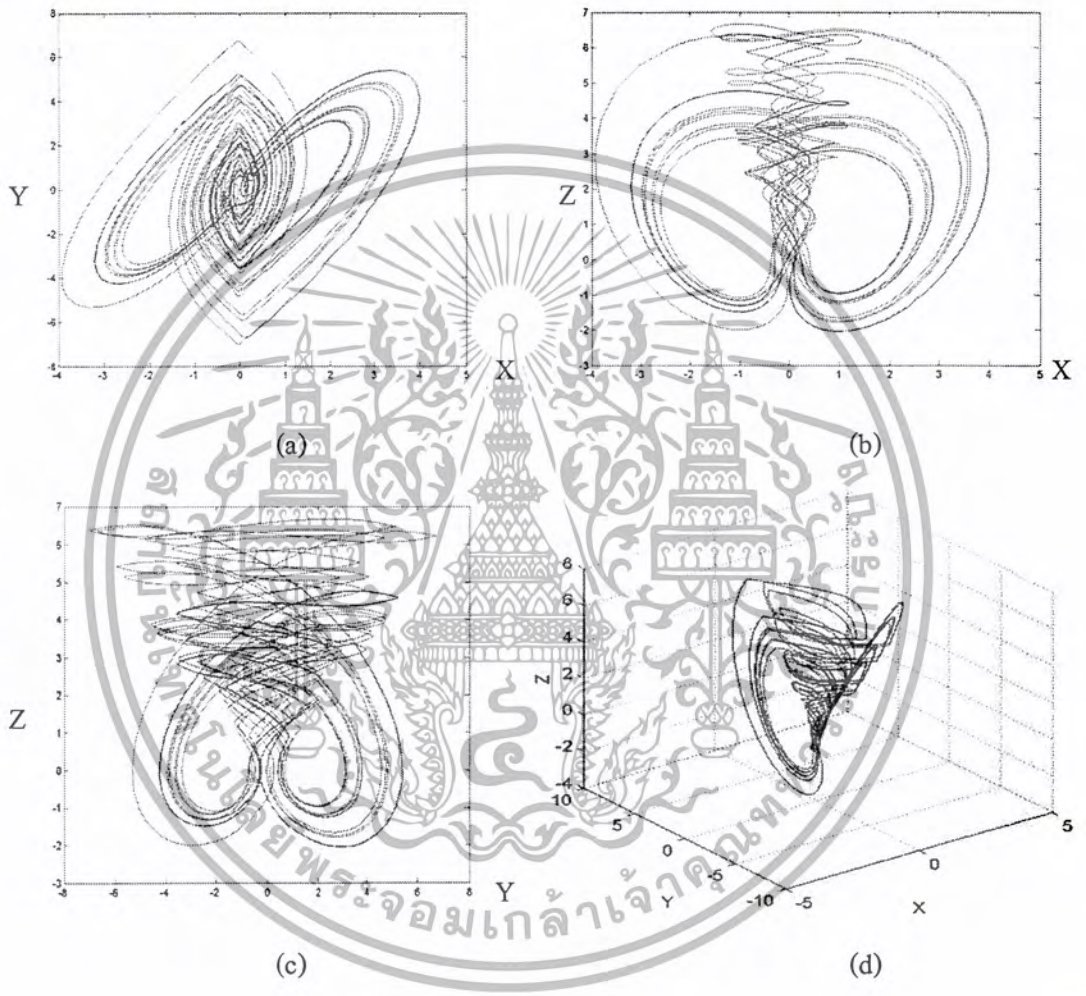
(a) ค่า X เทียบกับเวลา (b) ค่า Y เทียบกับเวลา (c) ค่า Z เทียบกับเวลา

(d) ภาพตัดพอยน์แคเร่ที่ Y=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 เอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายลอเลนซ์ (Modify Lorenz Attractor)

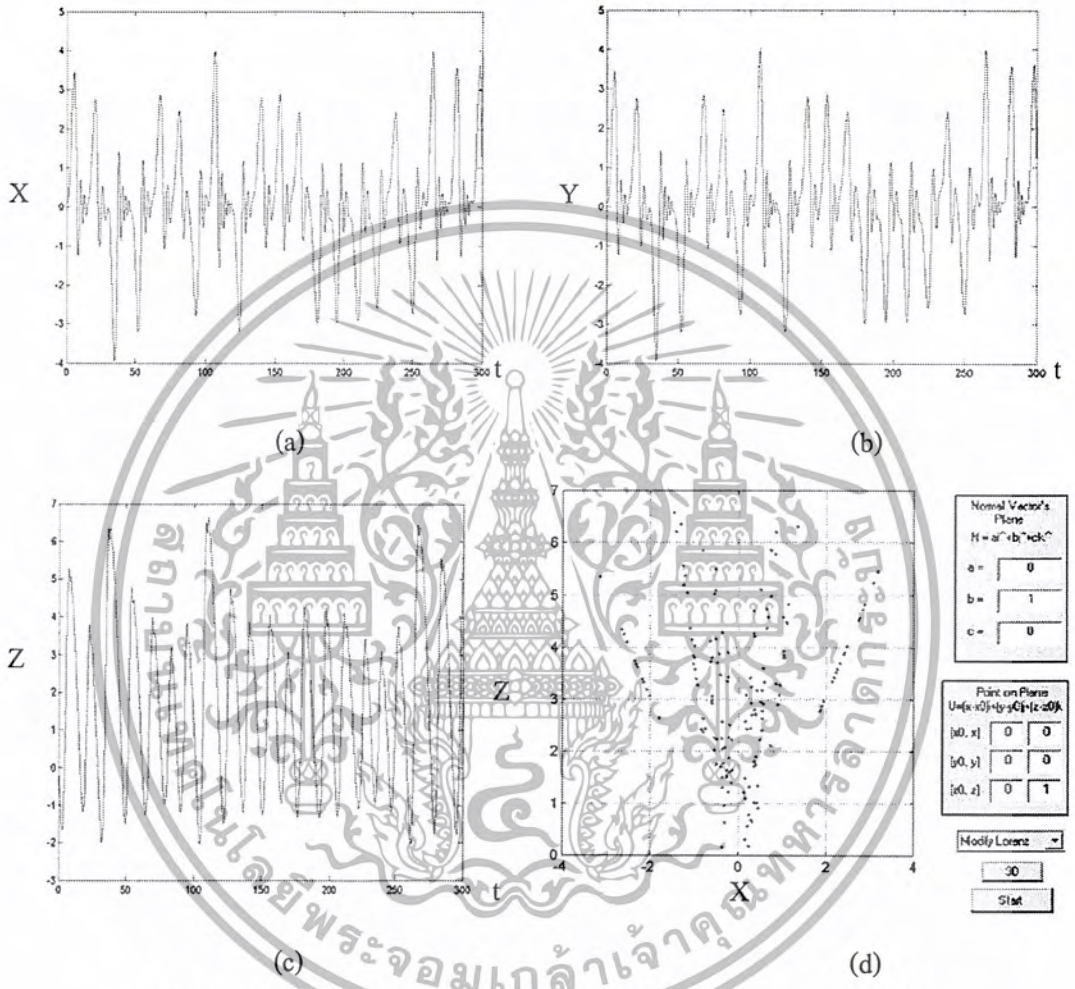
ต่อไปนี้เป็นการแสดงเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a = 0.55 (a = 0.55) ซึ่งแสดงเส้นทางโคจรบนระนาบ x-y, x-z และ y-z



รูปที่ 4-5 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายลอเลนซ์ที่ a = 0.55 ที่ระนาบ XY, XZ และ YZ
(a) ระนาบ x-y (b) ระนาบ x-z (c) ระนาบ y-z (d) เอคเทรคเตอร์ในระนาบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปข้างล่างนี้แสดงสัญญาณเคออสติกของX, Y และ Z ในขอบข่ายของเวลา และภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ x-z ที่ Y=0



รูปที่ 4-6 ภาพเอคเทรคเตอร์ของโมดิฟายเชนเทียบกับเวลา และพอยน์แคเร่

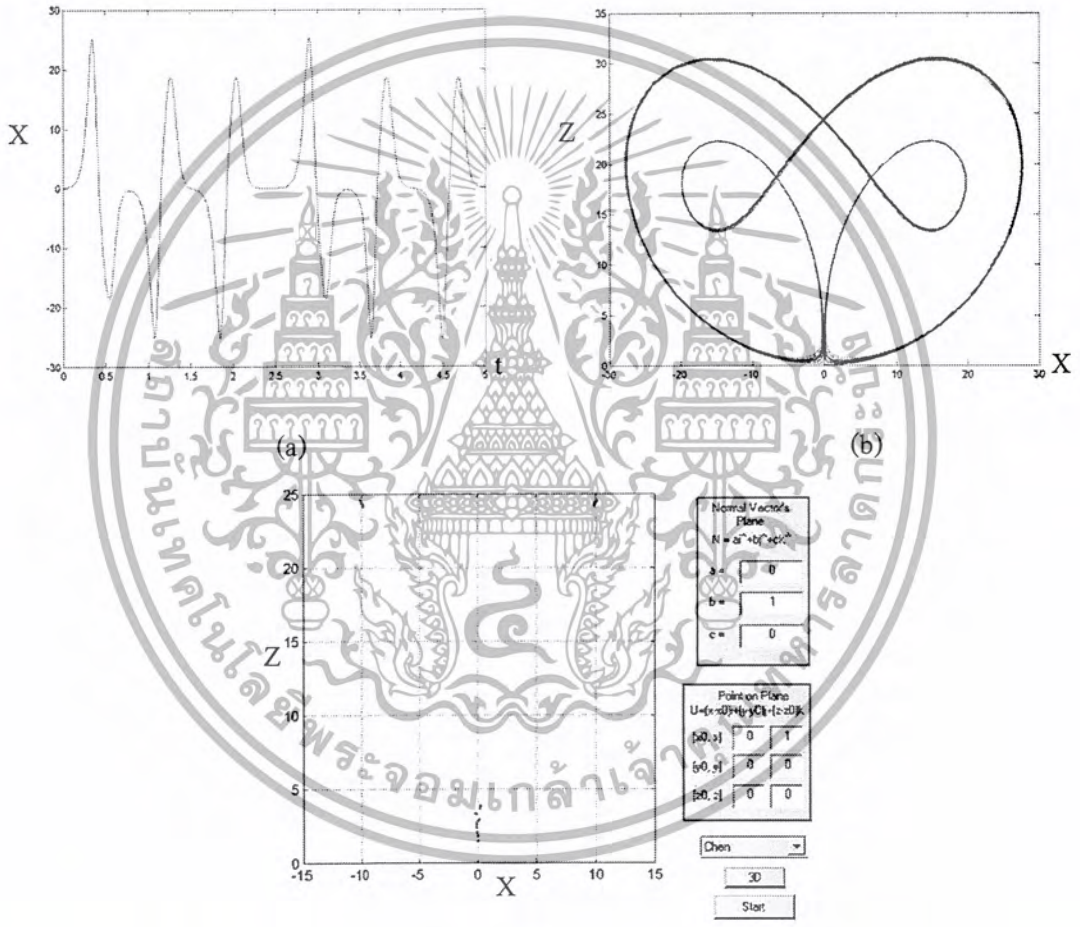
(a) ค่า X เทียบกับเวลา (b) ค่า Y เทียบกับเวลา

(c) ค่า Z เทียบกับเวลา (d) ภาพตัดพอยน์แคเร่ที่Y=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

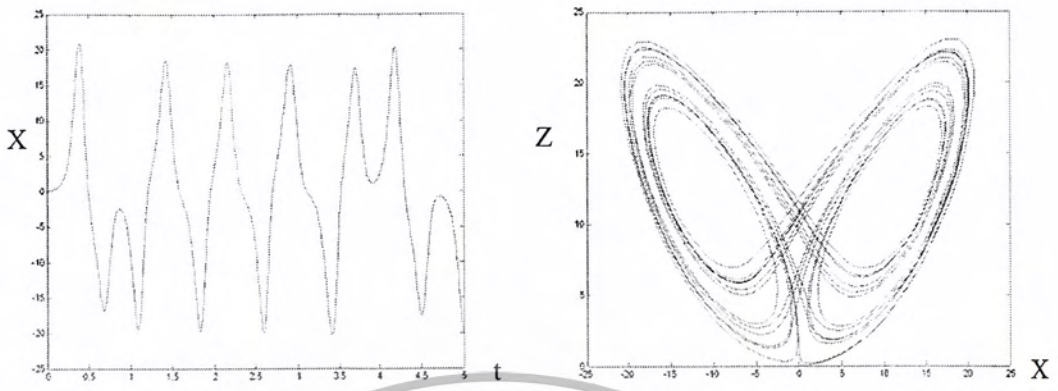
4.1.2 ลำดับการเกิดปรากฏการณ์เคออส

ลำดับการเกิดปรากฏการณ์เคออสนั้น เริ่มต้นโดยเป็นสัญญาณที่มีคาบ อาจมีเพียง 1 คาบ หรือเป็นคาบคู่ (period-double) ต่อมาคาบจึงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดก็เกิดเป็นเคออส ในรูปข้างล่างเป็นการลำดับการเกิดปรากฏการณ์เคออสสำหรับเอคเทรคเตอร์ของเชน ซึ่งเริ่มต้นโดยเป็นคาบคู่ ต่อมาความซับซ้อนของความเป็นคาบจึงเพิ่มขึ้น แล้วกลายเป็นเคออสในที่สุด

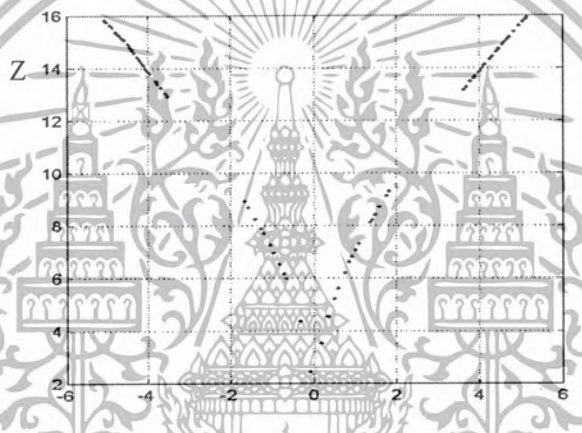


รูปที่ 4-7 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a=41.0181, b=11.5, c=28
(a) แสดงค่า X เทียบกับเวลา, (b) แสดงระนาบ XZ ของเอคเทรคเตอร์ของเชน,
(c) แสดงภาพตัดพอยน์แคเร่ที่ Y=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



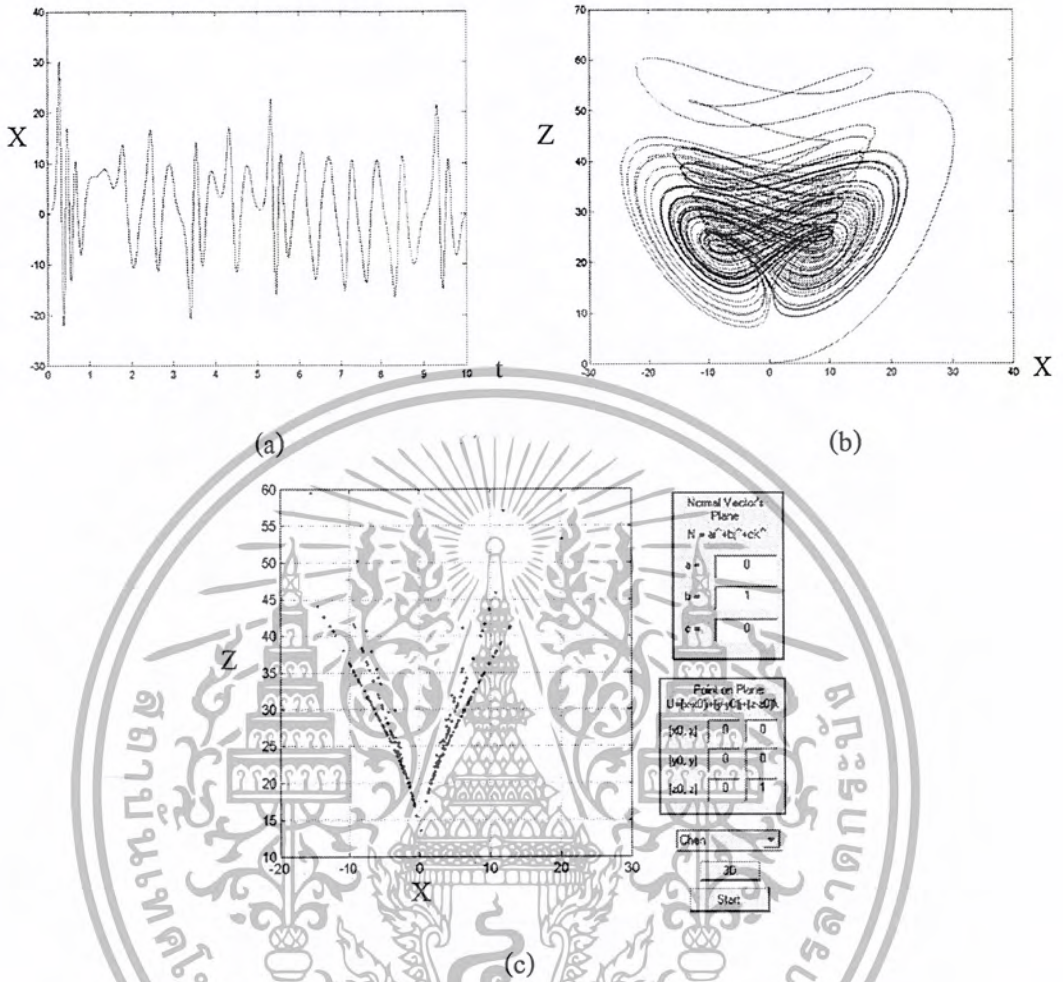
(a) (b)



(c)

รูปที่ 4-8 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a=44, b=11, c=28
(a) แสดงค่า X เทียบกับเวลา (b) แสดงระนาบ XZ ของเอคเทรคเตอร์ของเชน
(c) แสดงภาพตัดพอยน์แคเร่ที่ Y=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



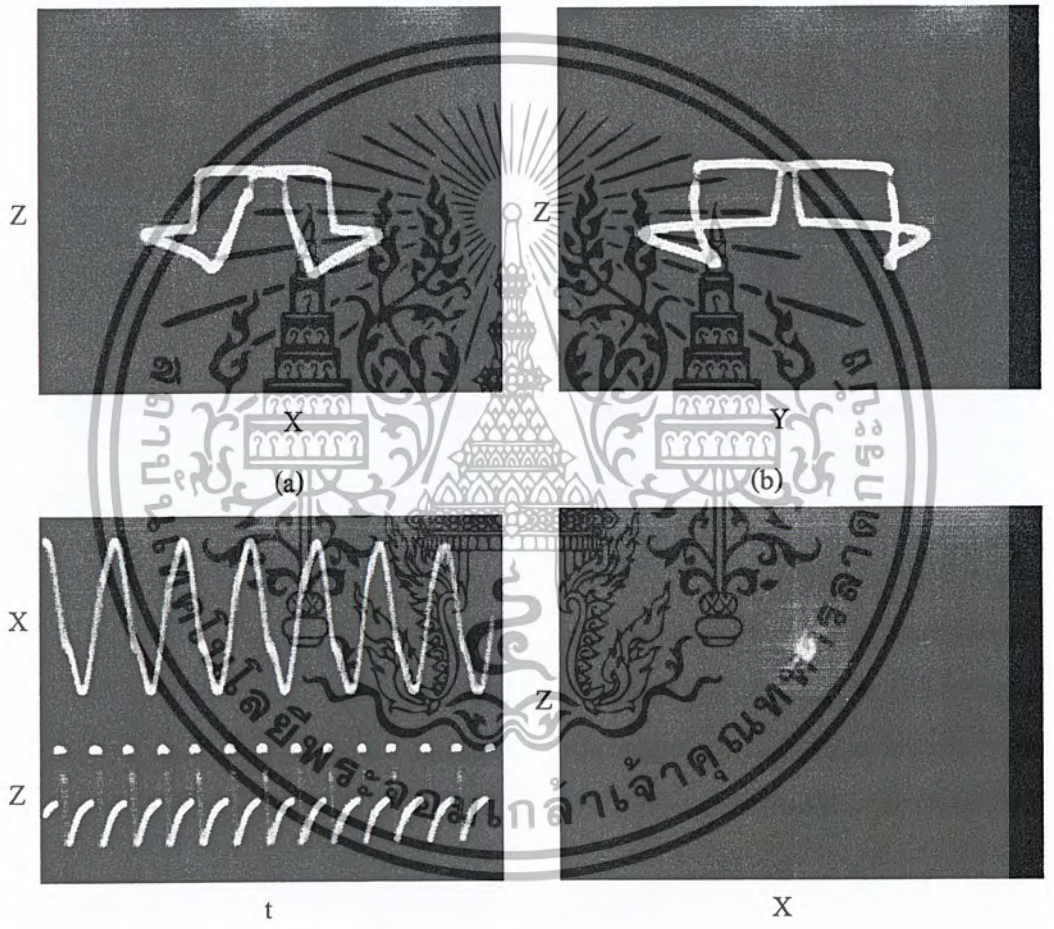
รูปที่ 4-9 ภาพเอคเทรคเตอร์ของเชนที่ a=35, b=3, c=28
(a) แสดงค่า X เทียบกับเวลา (b) แสดงระนาบ XZ ของเอคเทรคเตอร์ของเชน
(c) แสดงภาพตัดพอยน์แคเร่ที่ Y=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติก

4.2.1 ผลจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบเชน

จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้กล่าวแล้วนั้น เมื่อทำการทดลองปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ต่าง ๆ เพื่อปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร ซึ่งควบคุมการเกิดสัญญาณเคออสติก โดยลำดับความเป็นเคออส เริ่มจากสัญญาณที่เป็นคาบเดี่ยวเรื่อยไปจนถึงสัญญาณที่เป็นเคออส ดังภาพต่อไปนี้



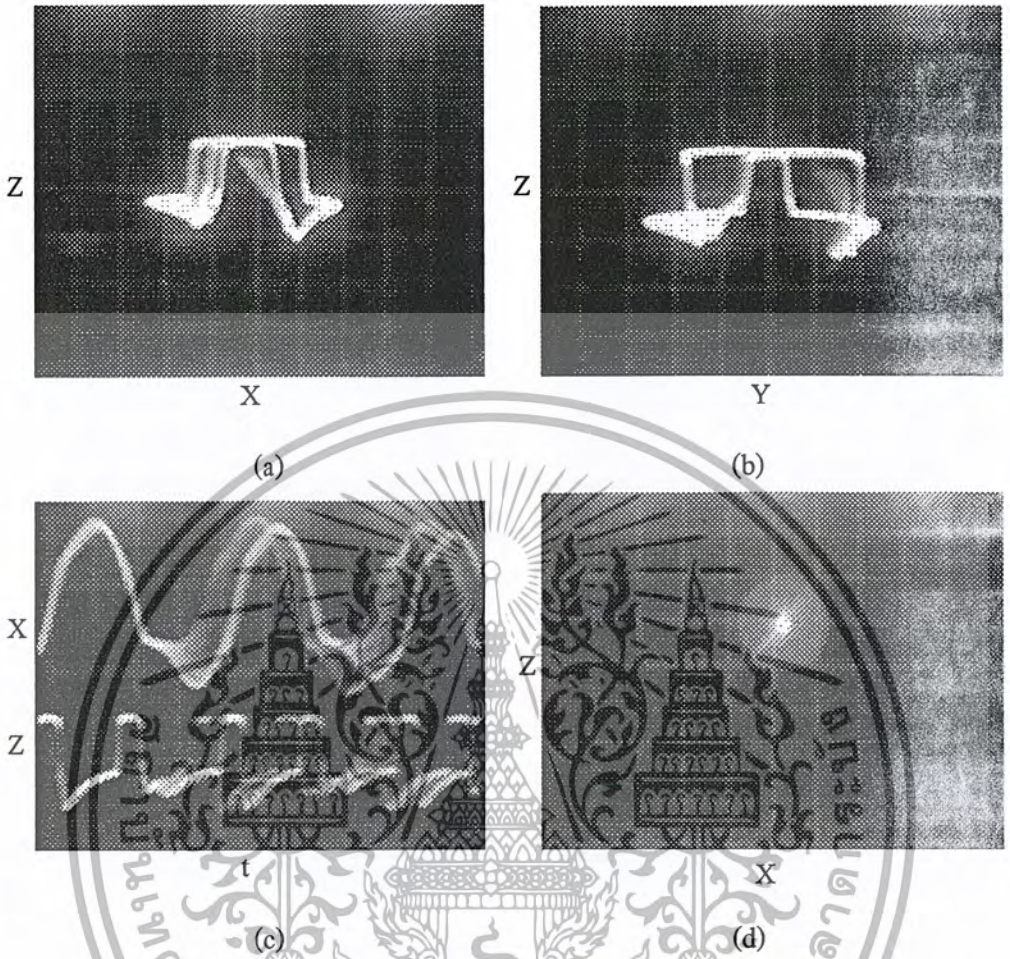
รูปที่ 4-10 ภาพสัญญาณจากวงจรเชน ขณะสัญญาณเป็นคาบเดี่ยว

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



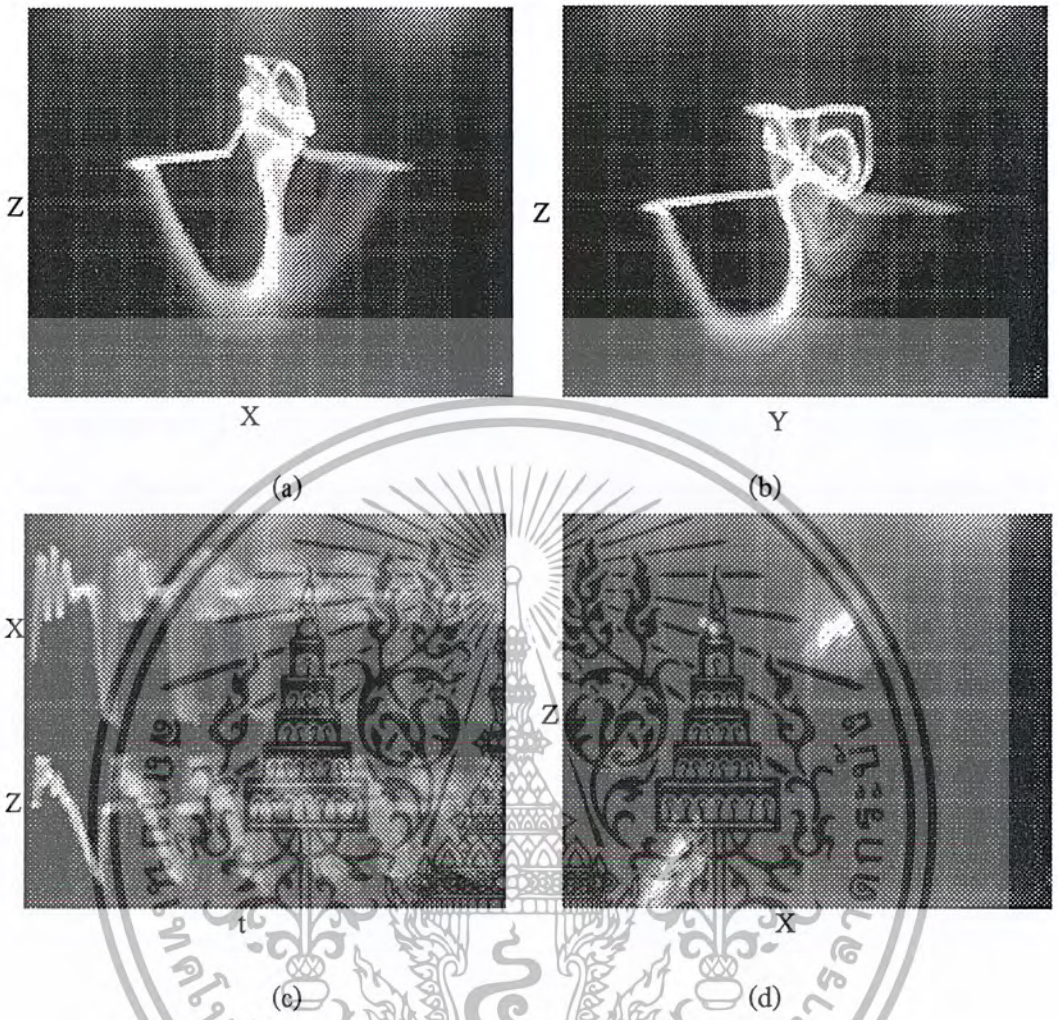
รูปที่ 4-11 ภาพสัญญาณจากวงจรเซน ขณะสัญญาณเป็นเคออสคงที่

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



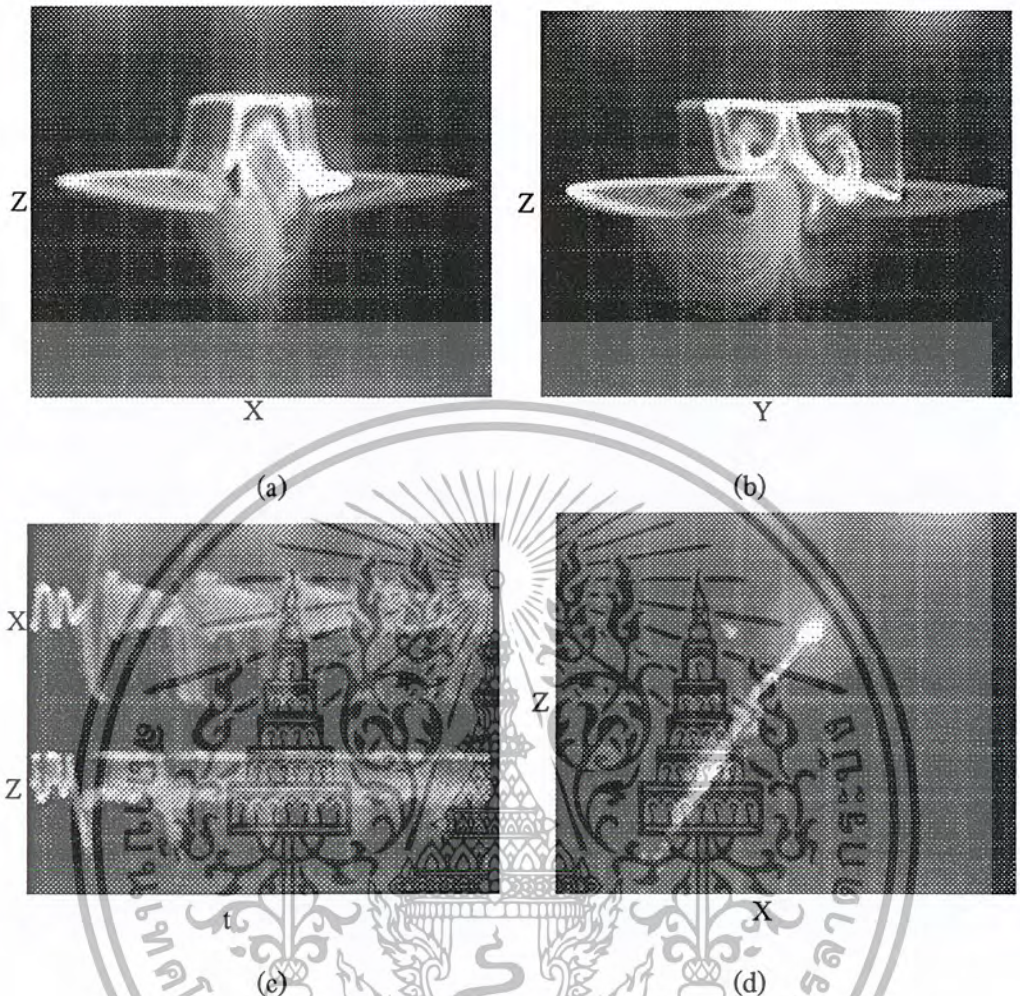
รูปที่ 4-12 ภาพสัญญาณจากวงจรเซน ขณะสัญญาณเป็นเคออสไม่มาก

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-13 ภาพสัญญาณจากวงจรเซน ขณะสัญญาณเป็นเคออส

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

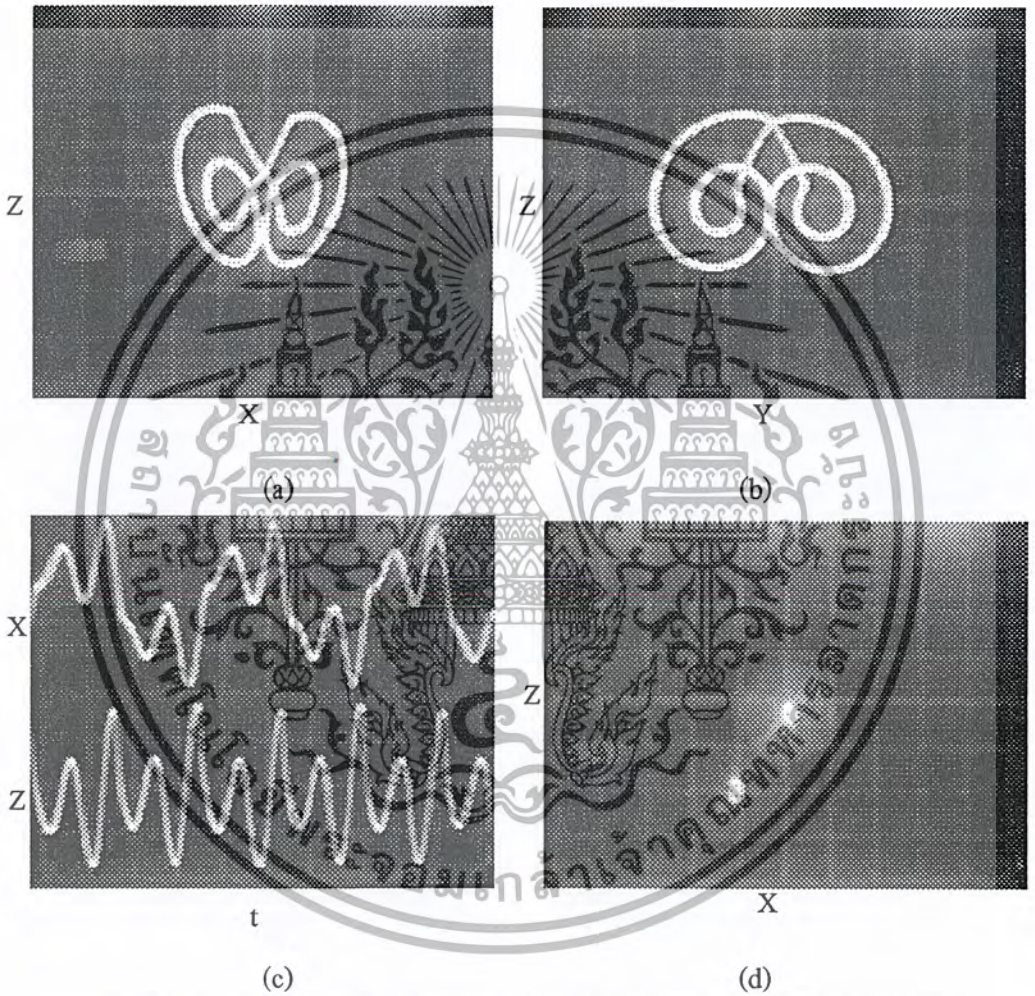
(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายเชน

จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้กล่าวแล้วนั้น เมื่อทำการทดลองปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ต่าง ๆ เพื่อปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร ซึ่งควบคุมการเกิดสัญญาณเคออสติก โดยลำดับความเป็นเคออส เริ่มจากสัญญาณที่เป็นคาบเดี่ยวเรื่อยไปจนถึงสัญญาณที่เป็นเคออส ดังภาพต่อไปนี้



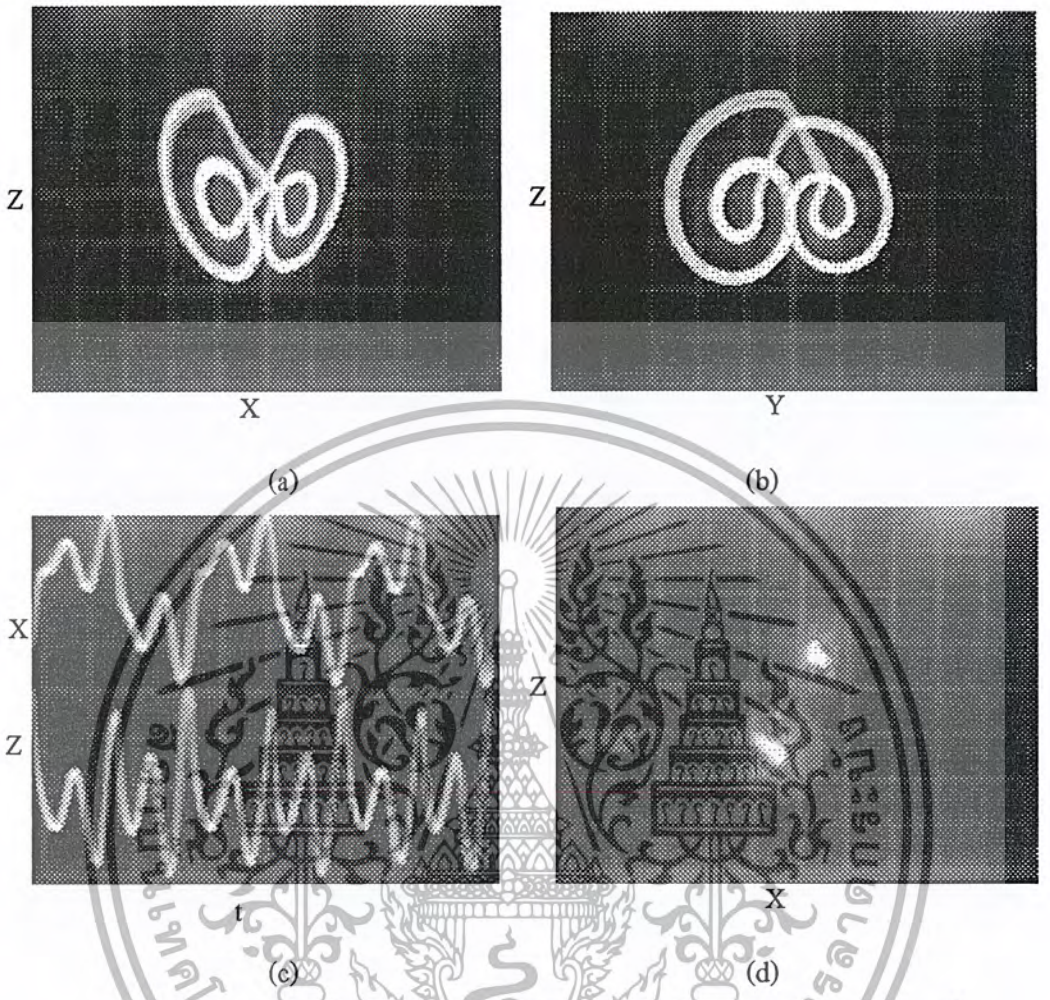
รูปที่ 4-14 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นคาบเดี่ยว

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



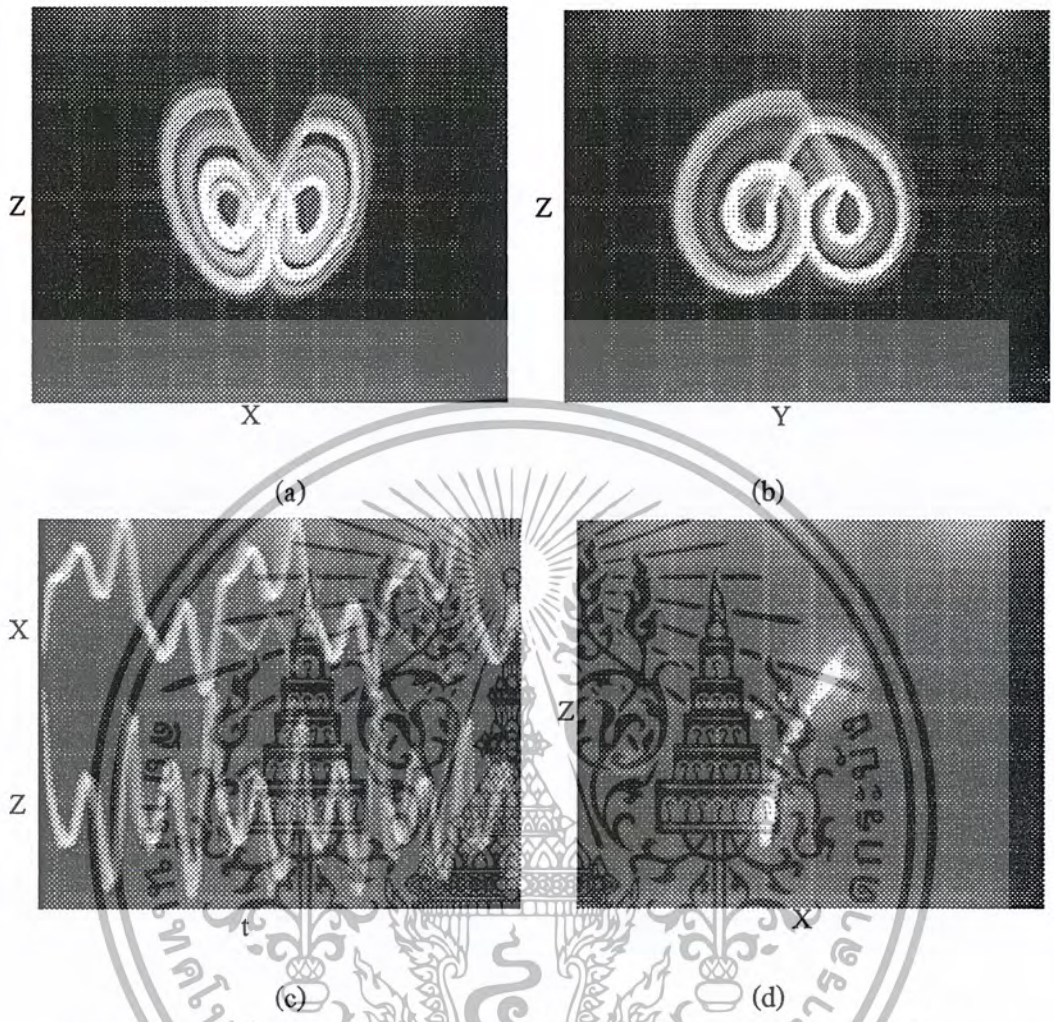
รูปที่ 4-15 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออสคงที่

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

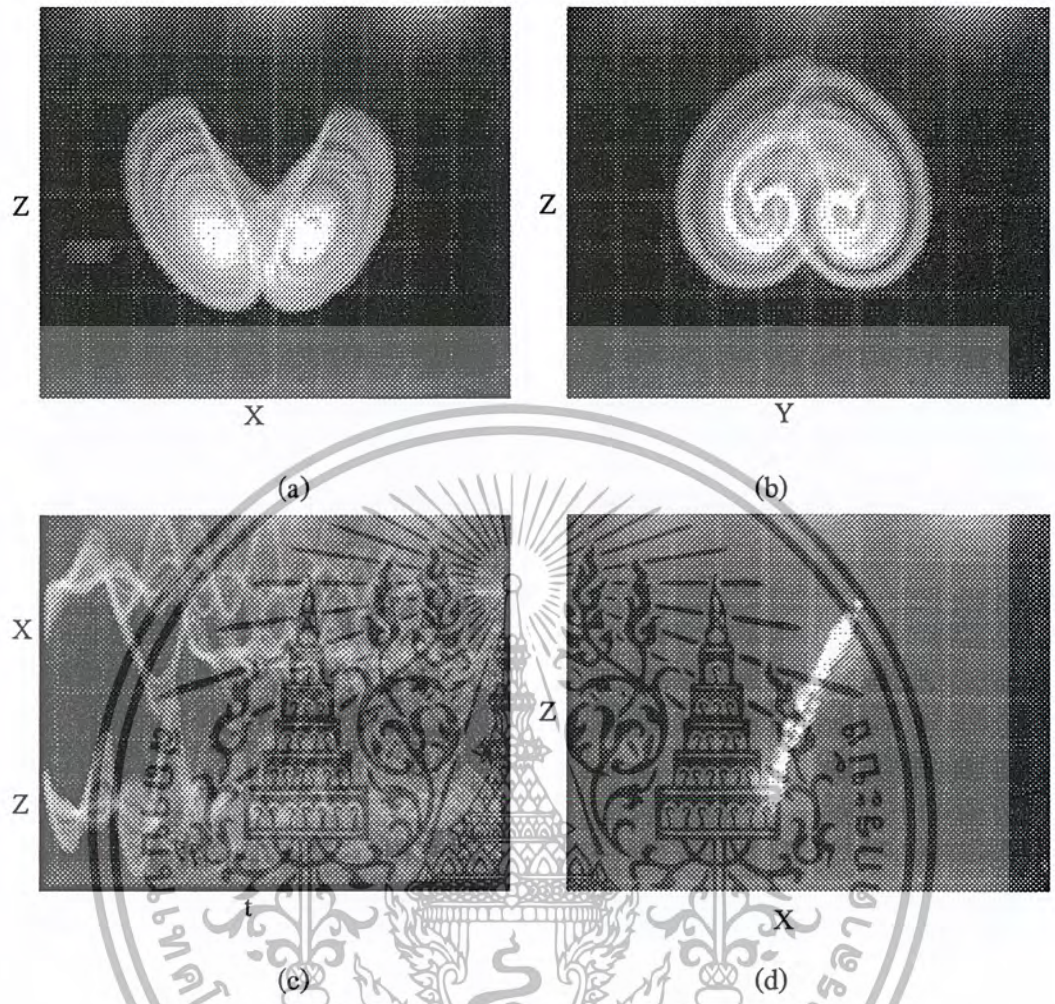
(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-16 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเซน ขณะสัญญาณเป็นเคออสไม่มาก
(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ
(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z
(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-17 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายเชน ขณะสัญญาณเป็นเคออส

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

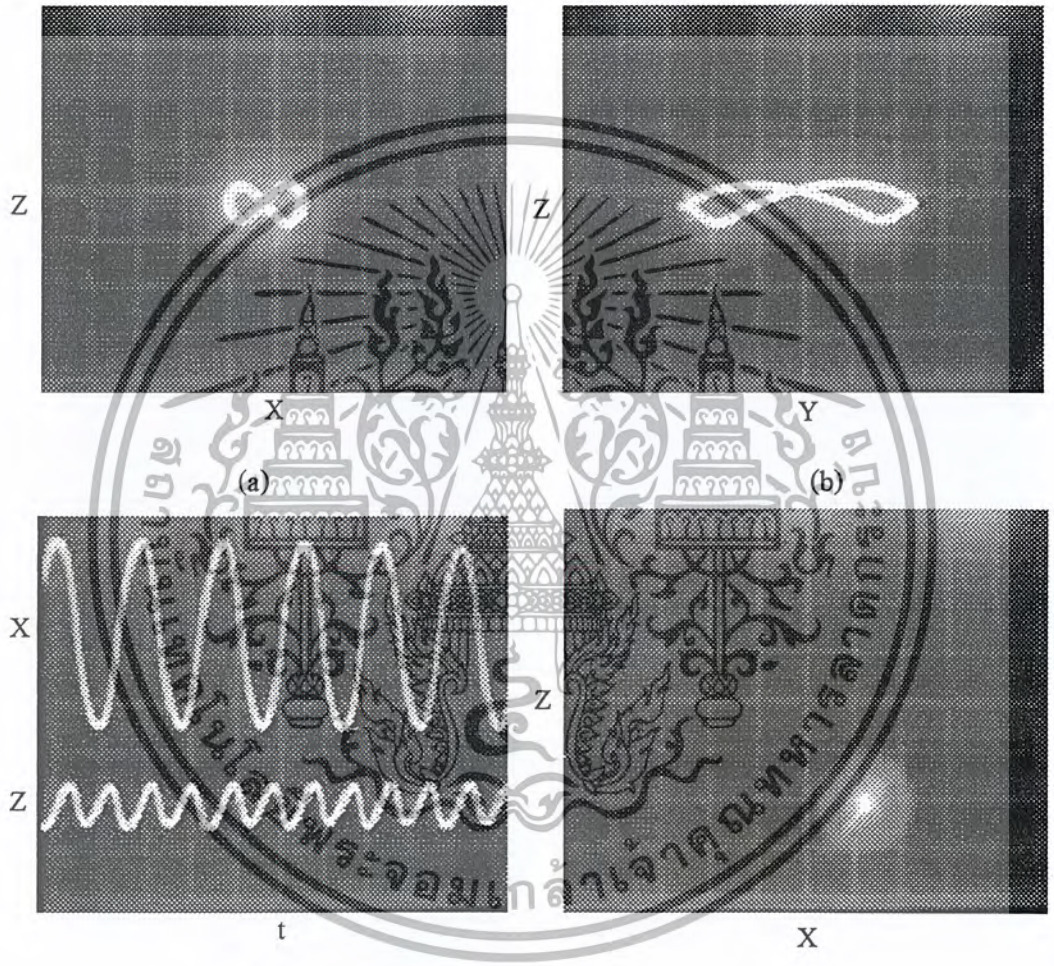
(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลจากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายลอเรนซ์

จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้กล่าวแล้วนั้น เมื่อทำการทดลองปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ต่าง ๆ เพื่อปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร ซึ่งควบคุมการเกิดสัญญาณเคออสติก โดยลำดับความเป็นเคออส เริ่มจากสัญญาณที่เป็นคาบเดี่ยวเรื่อยไปจนถึงสัญญาณที่เป็นเคออส ดังภาพต่อไปนี้



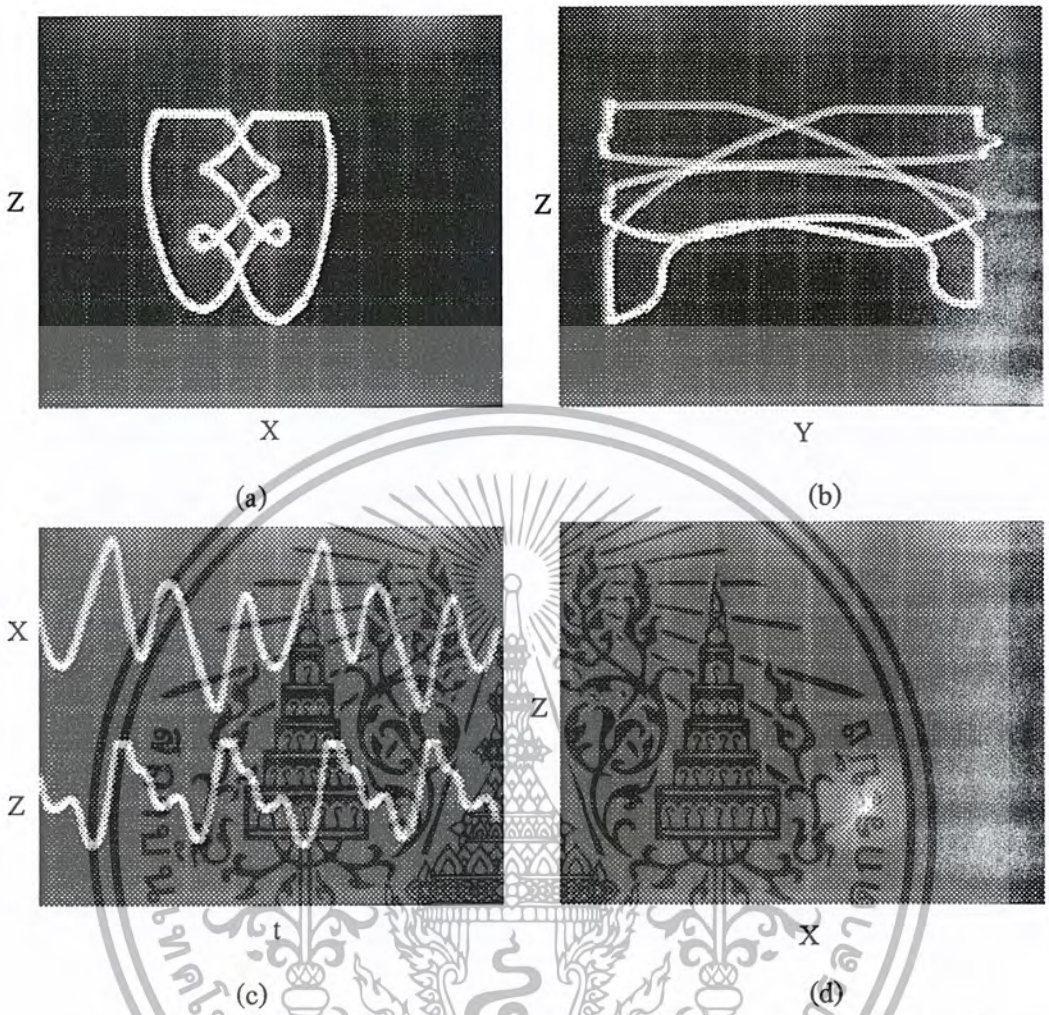
รูปที่ 4-18 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นคาบเดี่ยว

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

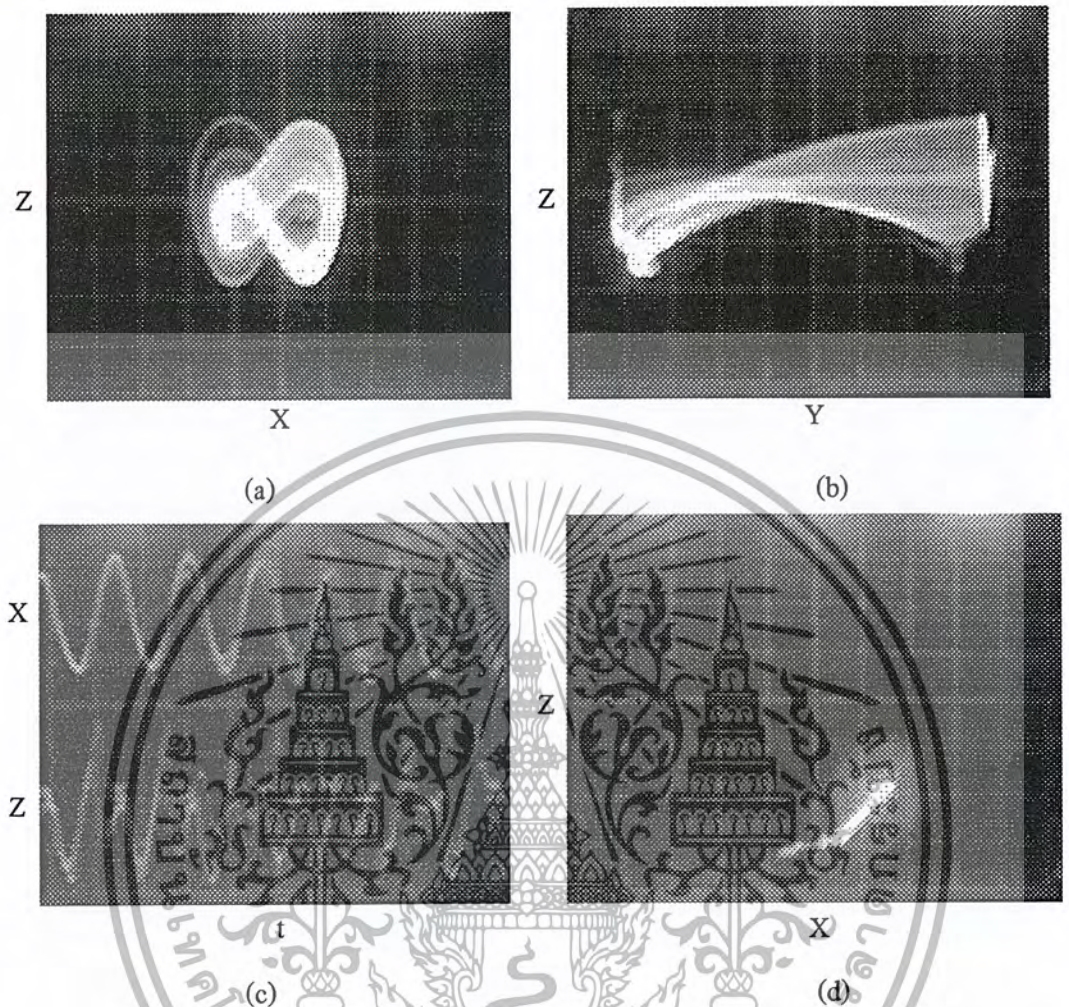
(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-19 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นเคออสคงที่
(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ
(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z
(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



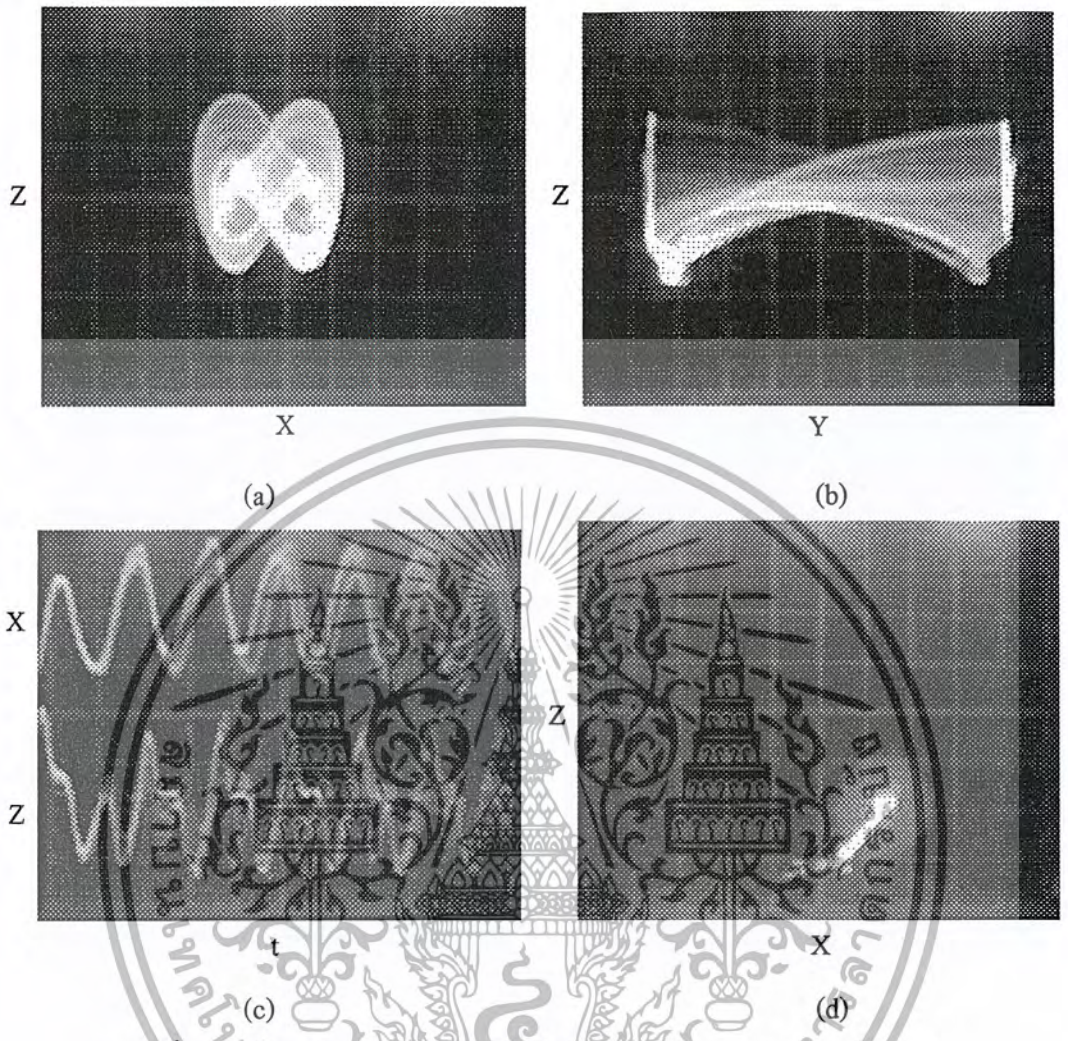
รูปที่ 4-20 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นเคออสไม่มาก

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-21 ภาพสัญญาณจากวงจรโมดิฟายลอเลน ขณะสัญญาณเป็นเคออส

(a) แสดงระนาบ XZ (b) แสดงระนาบ YZ

(c) แสดงค่า X และ Z เทียบกับเวลา โดยด้านบนเป็นค่า X และด้านล่างเป็นค่า Z

(d) แสดงภาพพอยน์แคเร่ที่ระนาบ XZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานนี้เป็นการสร้างสัญญาณเคออสติกแบบลอเรนซ์และเชน โดยทำการสร้างสัญญาณเคออสติก 3 แบบ คือ สัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายลอเรนซ์ สัญญาณเคออสติกแบบเชน และสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายเชน และจากการทดลองสร้างผลที่ได้ คือ สัญญาณเคออสติกแบบเชน และสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายเชน มีความยุ่งเหยิงมากกว่าสัญญาณเคออสติกในแบบโมดิฟายลอเรนซ์ และสัญญาณเคออสติกของทั้งสามแบบยังมีลักษณะที่แตกต่างกันไปเมื่อเทียบกันโดยการวัดสัญญาณในระนาบ XY, XZ และ YZ ส่วนค่าพารามิเตอร์ a, b และ c นั้นมีผลต่อการเกิดสัญญาณเคออสติกเป็นอย่างมาก โดยในการเกิดสัญญาณเคออสติกแบบโมดิฟายลอเรนซ์นั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเกิดสัญญาณเคออสติกคือค่า a เพียงค่าเดียวเนื่องจากสมการในแบบโมดิฟายลอเรนซ์ได้ทำการลดรูปแล้ว ส่วนในการเกิดสัญญาณเคออสติกแบบเชนและโมดิฟายเชนนั้นค่าพารามิเตอร์ a, b, c มีผลต่อการเกิดสัญญาณเคออสติกทั้งสิ้น ทั้งนี้ถ้าอยากให้เกิดสัญญาณเคออสติกที่มีความยุ่งเหยิงมากน้อยเพียงใดก็สามารถที่จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ a, b, c ได้

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

ในการสร้างโปรแกรมเพื่อสร้างภาพตัดพอยน์แคเร่นั้น ปัญหาที่พบได้ทั่วไปคือ ภาษาที่ใช้นั้นควรเป็นแบบไหนจึงเหมาะสม และออกแบบอย่างไรจึงได้ภาพที่ถูกต้อง ซึ่งในการแก้ปัญหานั้นได้เลือกใช้โปรแกรมเมทแลป (MATLAB) เข้ามาช่วยในการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และเนื่องจากในตัวของเมทแลปเองนั้น มีฟังก์ชั่นการทำงานในเชิงคณิตศาสตร์มาก จึงสะดวกต่อการพัฒนา โดยไม่จำเป็นต้องเขียนฟังก์ชั่นขึ้นมาใช้เองมากนัก ส่วนในการออกแบบนั้นได้นำหลักการทางคณิตศาสตร์มาใช้ โดยเทียบเคียงเส้นโค้งในเอคเทรคเตอร์เป็นส่วนย่อย ๆ แล้วจึงกำหนดให้เป็นเส้นตรงเล็ก ๆ และแก้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาจุดตัดของระนาบและเส้นตรงดังกล่าวในระนาบ 3 มิติ และกำหนดขอบเขตให้อยู่ในช่วงของเอคเทรคเตอร์ จึงได้ภาพพอยน์แคเร่ และเมื่อนำมาเทียบเคียงกับในเอกสารอ้างอิงพบว่ามีความเหมือนกัน จึงสรุปได้ว่าเป็นภาพพอยน์แคเร่ที่ถูกต้อง

ส่วนในการสร้างวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์นั้น ปัญหาที่พบคืออุปกรณ์บางประเภทไม่ได้คุณภาพจึงทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดผลการทดลองไม่มีความเที่ยงตรงจึงทำให้เป็นปัญหาในการเก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางในการพัฒนา

สัญญาณเคออสติกเป็นสัญญาณที่มีลักษณะคล้ายสัญญาณรบกวน แต่เราสามารถควบคุมการเกิดของสัญญาณได้โดยกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ และค่าเริ่มต้นให้กับตัวกำเนิดสัญญาณ

การใช้งานสัญญาณเคออสติกนั้น ในที่นี่ขอยกตัวอย่าง การใช้งานสัญญาณเคออสติกในระบบสื่อสาร ซึ่งสัญญาณเคออสติกนั้นมีลักษณะคล้ายสัญญาณรบกวน หากนำไปทำการเข้ารหัสลับกับข้อมูลสื่อสารที่ต้องการนั้น ทำให้ได้ชุดข้อมูลซับซ้อนยากต่อการถอดรหัส ซึ่งผู้ที่จะถอดรหัสได้นั้น จะต้องทราบค่าตัวแปรและค่าเริ่มต้นที่ตรงกันทั้งสองฝ่าย คือ ทั้งด้านรับและส่ง ในที่นี่จึงถือได้ว่าตัวแปรและค่าเริ่มต้นเป็นกุญแจที่ไว้สำหรับถอดรหัสลับ ซึ่งขึ้นกับผู้ใช้ว่าจะใช้เป็นกุญแจสาธารณะ หรือกุญแจส่วนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] IEEE Transactions On Circuit And Systems – I : Fundamental Theory And Applications. Vol. 49. No. 4. April 2002

[2] ISCAS 2000 – IEEE International Symposium On Circuits And Systems , May 28 – 31 , 2000 , Geneva , Switzerland

[3] International Journal Of Bifurcation And Chaos , Vol. 12 , No. 1 (2000) 147 – 157

http://glinda.lrsm.upenn.edu/~weeks/research/tseries7.html

http://www.enm.bris.ac.uk/teaching/projects/2000_01/tg7360/Poincare.htm

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้