สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและการสร้างวงจรโครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่า

THE DESIGN AND CONSTRUCTION CELLULAR NEURAL NETWORK CIRCUIT

โดย

นาย บัญชา ตู้สำราญ

นาย วรชาติ มีพวกมาก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55755
วัน,เดือน,ปี 25 พ.ค. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

THE DESIGN AND CONSTRUCTION
CELLULAR NEURAL NETWORK CIRCUIT

BY

MR. BANCHA TOOSAMRAN

MR. WORACHAT MEEPOUKMAK

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
2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบและการสร้างวงจรโครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่า
ชื่อนักศึกษา	นายบัญชา ตู้สำราญ รหัสประจำตัว 43010228
	นายวรชาติ มีพวกมาก รหัสประจำตัว 43010364
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์นิกร สุขุตมตันติ
	อาจารย์กฤดากร กล่อมการ
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2546

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(รองศาสตราจารย์นิกร สุขุตมตันติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

กฤดากร กล่อมการ

.....

(อาจารย์กฤดากร กล่อมการ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบและการสร้างวงจรโครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่า
ชื่อนักศึกษา	นายบัญชา ตู้สำราญ รหัสประจำตัว 43010228
	นายวรชาติ มีพวกมาก รหัสประจำตัว 43010364
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์นิกร สุขุตมตันติ
	อาจารย์กฤดากร กล่อมการ
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2546

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการนำเสนอการใช้งานวงจรโครงข่ายเซลล์ประสาทแบบเซลลูล่า (Cellular Neural Networks Circuit) เพื่อนำมาสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติค (Chaotic Signal) โดยนำทฤษฎีของวงจรโครงข่ายเซลล์ประสาทแบบเซลลูล่ามาสร้างวงจรขนาดเล็ก เราเรียกว่า เซลล์ (Cell) ในแต่ละเซลล์จะสร้างจากออปแอมป์ (Op-Amp) แหล่งกำเนิดแรงดัน แหล่งกำเนิดกระแส ซึ่งมีคุณสมบัติในแต่ละเซลล์ไม่เหมือนกัน และนำเซลล์ที่ได้มาต่อเป็นวงจรที่สามารถสร้างสัญญาณเคออสติคได้หลายรูปแบบ และทำการซิงโครนัส (Synchronous) ระหว่าง 2 วงจรวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคที่มีรูปแบบสัญญาณเหมือนกันเข้าด้วยกัน โดยประโยชน์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการเข้ารหัสช่องสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Design and Construction Cellular Neural Network Circuit
Student	Mr. Bancha Toosamran ID. 43010228
	Mr. Worachat Meepoukmak ID. 43010364
Advisor	Assoc.Prof. Nikorn Sukutamatanti
	Mr. Kitdakorn Klomkarn
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2003

Abstract

This project presents the design and Construction Cellular Neural Networks (CNN) Circuit of using generates chaotic signals. In CNN theory consists of a small circuit, calls "cell". Each cell has built from OP-AMP, Voltage Source and Current Source. Each cell has not same property. The circuit generates more pattern chaotic signals and test to synchronous between 2 circuits with a same pattern chaotic signals. Project's benefits apply to encrypt and decrypt voice signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบพระคุณอาจารย์กฤดากร กล่อมการที่ได้ช่วยเหลือชี้แนะสิ่งต่าง ๆ ตลอดมา และสนันสนุนเครื่องมือในการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมทั้งแนวทางความคิดและแนวทงปฏิบัติให้แก่คณะผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายบัญชา ดู้สำราญ

นายวรชาติ มีพวกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงข่ายประสาทแบบเซลลูลา	3
2.2 State Control CNN (SC-CNN)	6
2.3 สมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส	9
2.4 สมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว	10
2.5 สมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคของ Saito Hysteresis Chaos Generator	12
2.6 การซิงโครนัสในระบบเคออสติค	13
บทที่ 3 การออกแบบ	
3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส	16
3.2 การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส ในทางปฏิบัติ	18
3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว	19
3.4 การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว ในทางปฏิบัติ	20
3.5 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไฮเปอร์เคออสติคแบบ SHCG	22
3.6 การซิงโครนัสวงจรในระบบเคออสติค	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส	28
4.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส	29
4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว	30
4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างวงจรจริงของวงจรของฉั่ว	31
4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบ SHCG	33
4.6 ผลการทดลองการซิงโครนัสของวงจรของฉั่ว	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ	38
บรรณานุกรม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงเซลล์พื้นฐาน	3
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของสมการไม่เชิงเส้น Y_{ij} กับ X	4
รูปที่ 2.3 แสดงเซลล์ CNN ขนาด 4×4	4
รูปที่ 2.4 แสดงรัศมีเซลล์ เมื่อ r=1, 2, 3 ตามลำดับ	5
รูปที่ 2.5 แสดงวงจร SC-CNN อย่างง่าย	6
รูปที่ 2.6 แสดงวงจร SC-CNN แบบประยุกต์	7
รูปที่ 2.7 แสดงฟังก์ชั่นฮิสเทอเรซีส	9
รูปที่ 2.8 แสดงออสซิลเลเตอร์ของฉั่ว	10
รูปที่ 2.9 แสดงวงจร Saito Hysteresis Chaos Generator	12
รูปที่ 2.10 แสดงระบบสมการตามสมการ (2.24)	14
รูปที่ 2.11 ระบบที่ถูกแบ่งเป็น 2 ระบบย่อย ตามสมการ (2.25)	15
รูปที่ 2.12 แสดงภาครับที่สามารถกู้สัญญาณพื้นฐานได้	15
รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองของสมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส	16
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเสมือนสมการฮิสเทอเรซีส	17
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส โดยใช้เซลล์ SC-CNN 2 เซลล์	19
รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองของสมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว	20
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรของฉั่วที่แทนด้วยวงจรของ SC-CNN 3 เซลล์	21
รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองของสมการกำเนิดสัญญาณ ไฮเปอร์เคออสติคแบบ SHCG	22
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรของ SHCG ที่แทนด้วย SC-CNN 4 เซลล์	23
รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองการซิงโครนัสของสมการของฉั่ว	24
รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร	25
รูปที่ 3.10 แสดงรายละเอียดของบล็อกต่างๆ	26
รูปที่ 3.10(ต่อ) แสดงรายละเอียดของบล็อกต่างๆ	27
รูปที่ 4.1 แสดงผลตอบสนองทางเวลา ของ x_1 และ x_2	28
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY	28
รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_2	29
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY จากออสซิเลเตอร์	30
รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1 x_2 และ x_3	30
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY	31
รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1	31
รูปที่ 4.9 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_2	32
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY จากออสซิเลเตอร์	32
รูปที่ 4.11 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1 , x_2 , x_3 และ x_4	33
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY	33
รูปที่ 4.13 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ X	34
รูปที่ 4.14 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ Y	34
รูปที่ 4.15 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ Z	34
รูปที่ 4.16 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ W	35
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณของ X และ Y บนระนาบ XY จากออสซิเลเตอร์	35
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของ x_1 กับ x'_1	35
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของ x_1 กับ x'_1	36
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง	36
รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณที่ภาครับตรวจจับได้	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคสร้างจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่เชิงเส้นแบบต่างๆ หลายชนิด แต่ส่วนใหญ่ยังต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำในการสร้างวงจร ส่งผลให้วงจรมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถที่จะย่อให้มีขนาดเล็กลงได้ ในโครงงานนี้จึงได้นำวงจรโครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่า มาสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแทน ซึ่งไม่ต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำในการสร้างวงจร ทำให้วงจรที่สร้างได้มีขนาดเล็กลง อีกทั้งยังสามารถสร้างสัญญาณเคออสได้หลายรูปแบบ

โดยตัวโครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่าสามารถนำไปสร้างเป็นชิป(Chip) ที่มีขนาดเล็กเพื่อประหยัดพื้นที่ในการใช้งานทางด้านการเข้ารหัสข้อมูลที่ต้องการส่งได้

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการของเซลลูลานิวรอลเน็ทเวิร์ค (Cellular Neural Network) และนำไปประยุกต์ใช้งานได้

1.2.2 ออกแบบและสร้างสัญญาณเคออสติครูปแบบต่าง ๆ โดยใช้วงจรที่สร้างด้วย CNN

1.2.3 ทำการซิงโครนัสสัญญาณเคออสติคของทั้งสองวงจรได้

1.2.4 เพื่อศึกษารูปแบบของสัญญาณเคออสติคที่ได้และนำไปประยุกต์ใช้ในการสื่อสาร

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สร้างวงจร CNN ได้

1.3.2 สร้างสัญญาณเคออสติครูปแบบต่าง ๆ ได้

1.3.3 ทำการซิงโครนัสวงจร 2 วงจรเข้าด้วยกันเพื่อสร้างสัญญาณเคออสติคในหลายรูปแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สร้างสัญญาณเคออสติครูปแบบที่ซับซ้อนได้

1.4.2 ทักษะในการใช้เครื่องมือวัด

1.4.3 ทักษะในการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.4.4 เข้าใจแนวคิดและหลักการของ CNN

1.4.5 นำความรู้เกี่ยวกับ CNN ที่ได้ไปประยุกต์ให้กับงานอื่นๆได้ในอนาคต

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

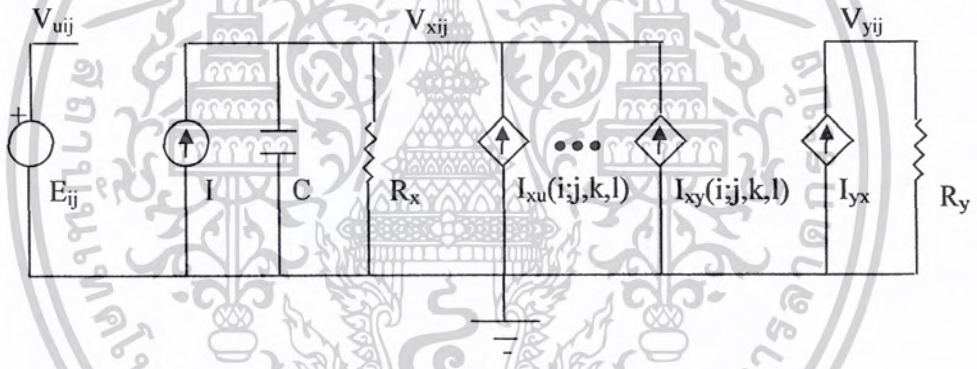
	ลำดับงาน	2003							2004		
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	ตั้งปัญหา และ ความต้องการ										
2	ศึกษาทฤษฎีของ CNN										
3	ออกแบบวงจร CNN										
4	ทดลองวงจรที่ได้ออกแบบ										
5	ทำการซิงโครนัสสัญญาณ										
6	ทดลองและสรุปผลการทดลอง										
7	ทำชิ้นงาน										
8	จัดการเอกสาร										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่า

Cellular Neural Networks:CNN ได้ถูกเสนอโดยศาสตราจารย์ลีออน โอ ฉั่ว (Leon O. Chua) และ ลิน หยาง (Lin Yang) ในปี ค.ศ.1988 โดย ศาสตราจารย์ฉั่วได้เสนอแบบจำลองที่ใช้งานง่าย เพื่อประมวลผลข้อมูลที่ต้องการความเร็วสูง ความคิดที่ว่านี้ได้แนวความคิดมาจากเซลลูล่าออโต้มาตา (Cellular Automata) และระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) ศาสตราจารย์ฉั่วได้เสนอสถาปัตยกรรมใหม่ที่ใช้จัดการงานที่ต้องประมวลผลอย่างหนัก เช่น การประมวลผลภาพ และการแก้สมการอนุพันธ์ เป็นต้น และสามารถนำไปประยุกต์สร้างวงจรรวม(Integrated Circuit) ได้ง่าย



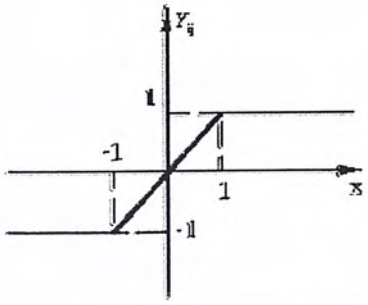
รูปที่ 2.1 แสดงเซลล์พื้นฐาน

จากรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงหน่วยพื้นฐานของ CNN เรียกว่า เซลล์ โดยวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์เชิงเส้นและอุปกรณ์ไม่เชิงเส้น แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยเซลล์ $C(i,j)$ มี 1 อินพุต (u_{ij}), 1 เอาท์พุต (y_{ij}) และ 1 ตัวแปรสถานะ u_{ij} (แทนในรูปด้วยโหนด v_{uij}, v_{yij} และ v_{xij}) มีเอาท์พุต y_{ij} เป็นฟังก์ชันกับสถานะ x_{ij}

$$v_{yij} = f(x_{ij}) = \frac{1}{2}\left(|x_{ij}+1| - |x_{ij}-1|\right) \qquad (2.1)$$

แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.2

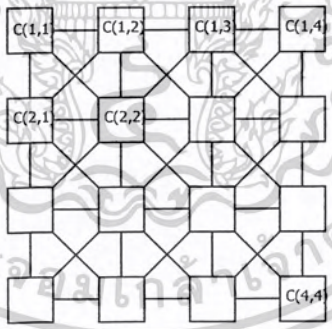
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของสมการไม่เชิงเส้น Y_{ij} กับ X

จากรูปที่ 2.1 เซลล์ CNN ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดกระแสควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Current Source) $I_{yx} = (1/R_y) \cdot f(v_{xij})$ เป็นอุปกรณ์ไม่เชิงเส้น โดยหัวใจหลักของวงจรอยู่ที่ ตัวเก็บประจุ(C) ต่อขนานกับความต้านทาน (R_x) แหล่งกำเนิดกระแสอิสระ (I) และกลุ่มของแหล่งกำเนิดกระแสควบคุมด้วยแรงดัน $I_{xu}(i,j;k,l)$, ... , $I_{xy}(i,j;k,l)$ โดยสมมติให้มีค่าเริ่มต้น $|x_{ij}(0)| \le 1$ และ $|u_{ij}| \le 1$

สำหรับโครงข่ายประสาทแบบเซลลูล่าจะประกอบด้วยเซลล์หลาย ๆ เซลล์ แต่ละเซลล์ติดต่อได้กับเซลล์ข้างเคียงเท่านั้น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงเซลล์ CNN ขนาด 4 × 4

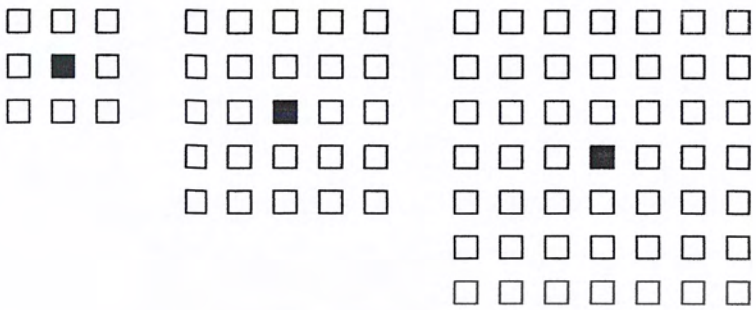
รูปสี่เหลี่ยมแทนตัวเซลล์ ขณะที่เส้นที่ลากระหว่างเซลล์แทนเชื่อมต่อของเซลล์ CNN

เราจะทำการให้นิยามเซลล์ข้างเคียง(N_r) ของเซลล์ CNN ให้

$$N_r(i,j) = \left\{ C(k,l) \,|\, \max\left\{ |k-i|, |l-j| \right\} \le r,\ 1 \le k \le M, 1 \le l \le N \right\} \quad (2.2)$$

โดย $r \in \mathrm{N} - \{0\}$ เป็นรัศมีของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงรัศมีเซลล์ เมื่อ r =1, 2, 3 ตามลำดับ

การเชื่อมต่อเซลล์ $C(i,j)$ (เซลล์สีดำตรงกลาง) และเซลล์ข้างเคียง $N_r(i,j)$ เมื่อมีรัศมีเซลล์เป็น 1, 2, 3 ดังรูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อเซลล์ $C(i,j)$ กับเซลล์ข้างเคียง $N_r(i,j)$ ถูกเชื่อมต่อด้วยแหล่งกำเนิดกระแสควบคุมด้วยแรงดันแบบเชิงเส้น อินพุตและเอาท์พุตของเซลล์ที่ล้อมรอบมีผลต่อค่ากระแส $I_{i,j}$ ของ $C(i,j)$ ที่อยู่ตรงกลางด้วยการใช้แหล่งกำเนิดกระแสควบคุมด้วยแรงดัน 2 ค่า ถูกนิยามตามสมการ

$$I_{xy}(i,j;k,l) = A(i,j;k,l) \bullet v_{ykl}$$
$$I_{xu}(i,j;k,l) = B(i,j;k,l) \bullet v_{ukl} \qquad (2.3)$$

โดย $A(i,j;k,l)$, $B(i,j;k,l) \in R$

เรียก $A(i,j;k,l)$ ว่า สัมประสิทธ์การป้อนกลับ (Feedback Template Coefficient)

$B(i,j;k,l)$ ว่า สัมประสิทธ์การควบคุม (Control Template Coefficient)

จากการใช้ กฎกระแสและแรงดันของเคอร์ชอฟ ได้ว่า

$$C\frac{dv_{xij}}{dt} = -\frac{1}{R_x}v_{xij}(t) + A \bullet v_{yij}(t) + B \bullet v_{uij}(t) + I \qquad (2.4)$$
$$1 \le i \le M, 1 \le j \le N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

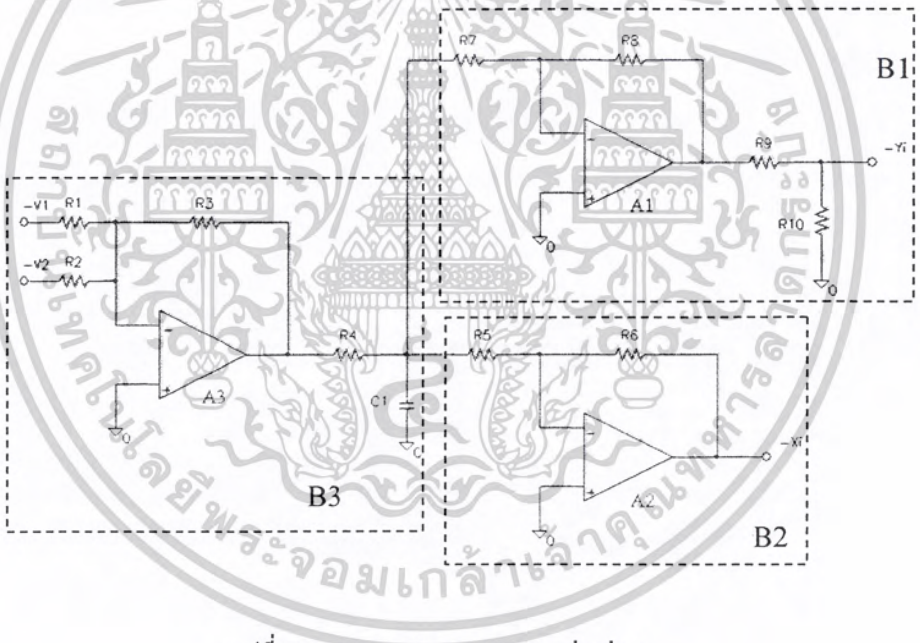
2.2 State Control CNN (SC-CNN)

SC-CNN ต่างจาก CNN คือ SC-CNN มีการป้อนกลับของสถานะ s_{ij} และไม่มีอินพุต แสดงได้ดังสมการ คือ

$$\frac{dx_i}{dt} = -x_i + \sum_{C(j)\in N_r(i)} \left[S_{i;j} x_j + A_{i;j} y_i \right] + I \qquad (2.5)$$

$$1 \le i, j \le N$$

จากสมการ(2.5) สามารถสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ออปแอมป์ได้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงวงจร SC-CNN อย่างง่าย

จากรูปที่ 2.5 กลุ่ม B1 เป็นวงจรของสมการไม่เชิงเส้น $f(x_{ij}) = \frac{1}{2}\left(|x_{ij}+1| - |x_{ij}-1|\right)$ ประกอบไปด้วยวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) และวงจรแบ่งแรงดันเพื่อลดขนาดของเอาท์พุต ให้อยู่ในช่วง [-1, 1] พิจารณาสมการเพื่อการออกแบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_8 / R_7 = V_{sat_A} / V_{sat_x}$$
$$R_7 / R_8 = R_{10} / (R_9 + R_{10}) \qquad (2.6)$$

เมื่อ V_{sat_A} เป็นแรงดันเอาท์พุตอิ่มตัวของออปแอมป์ A1

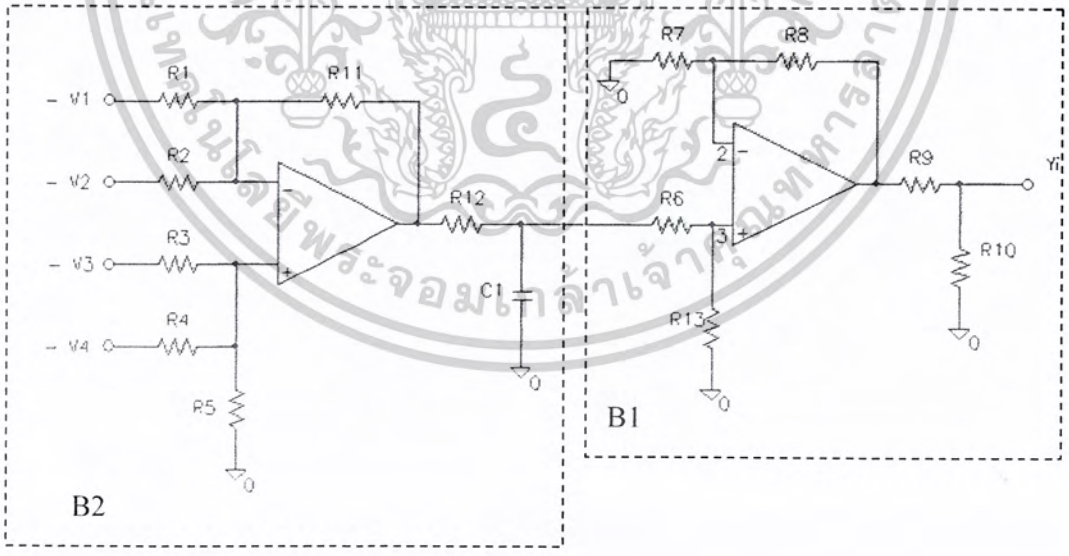
V_{sat_x} เป็นแรงดันอินพุต (ในกรณีนี้ $V_{sat_x} = 1$)

จากรูปที่ 2.5 กลุ่ม B2 เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส มีอัตราขยายเป็น 1

จากรูปที่ 2.5 กลุ่ม B3 เป็นหัวใจหลักของวงจรประกอบด้วยวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Summing Amplifier) และวงจรอินทิเกรเตอร์ (RC) ให้อินพุตของกลุ่ม B1 และB2 ไม่มีผลต่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ จะได้ว่า

$$C_j \frac{dx_j}{dt} = -\frac{x_j}{R_4} + \frac{R_3}{R_1 R_4} V_1 + \frac{R_3}{R_2 R_4} V_2 \qquad (2.7)$$

อย่างไรก็ตาม เราสามารถที่จะลดจำนวนของออปแอมป์ลงได้ โดยการลดวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส(B2) เพราะเราสามารถกลับเฟสของสัญญาณได้ที่อินพุตของออปแอมป์โดยตรง และเปลี่ยนวงจรไม่เชิงเส้นเสียใหม่ จะได้วงจรดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงวงจร SC-CNN แบบประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดเงื่อนไขค่าความต้านทานของวงจรเป็นดังนี้

$$\frac{1}{R_5}=\frac{1}{R_{11}}+\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}-\frac{1}{R_3}-\frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R_{13}}=\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_7}-\frac{1}{R_6} \qquad (2.8)$$

ทำให้เราได้สมการของวงจรเป็นดังนี้

$$C_j\frac{dx_j}{dt}=-\frac{x_j}{R_{12}}+\frac{R_{11}}{R_1R_{12}}V_1+\frac{R_{11}}{R_2R_{12}}V_2-\frac{R_{11}}{R_3R_{12}}V_3-\frac{R_{11}}{R_4R_{12}}V_4 \qquad (2.9)$$

จากสมการนี้ทำให้เราออกแบบวงจรได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องคำนึงถึงเฟสของแรงดัน หากต้องการให้ค่าที่ได้เป็นกลับเฟสสัญญาณก็ต่อสัญญาณเข้าที่ขากลับเฟสของออปแอมป์(ขาลบ) หรือไม่ต้องการกลับเฟสของสัญญาณก็ต่อสัญญาณเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส (Hysteresis)

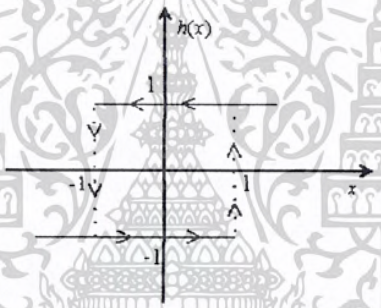
เป็นสมการที่คิดค้นโดย Saito, T. Mitsubori

$$\begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & \omega \\ -\omega & \sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ h(x_1) \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

โดย

$$h(x_1) = \begin{cases} 1 & for \quad x_1 \geq 1 \\ -1 & for \quad x_1 \leq -1 \end{cases} \tag{2.11}$$

ค่า σ และ ω เป็นค่าบวกทั้งคู่ ซึ่ง $\omega = \sqrt{1-\sigma^2}$ และค่า $h(x_1)$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7 แสดงฟังก์ชั่นฮิสเทอเรซีส

จากสมการ(2.10) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการ SC-CNN ได้

$$\frac{dx_1}{dt} = -x_1 + a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2 + i_1 \tag{2.12a}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -x_2 + a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + s_{21}x_1 + s_{22}x_2 + i_2 \tag{2.12b}$$

โดย

$$y_1 = h(x) \tag{2.13}$$

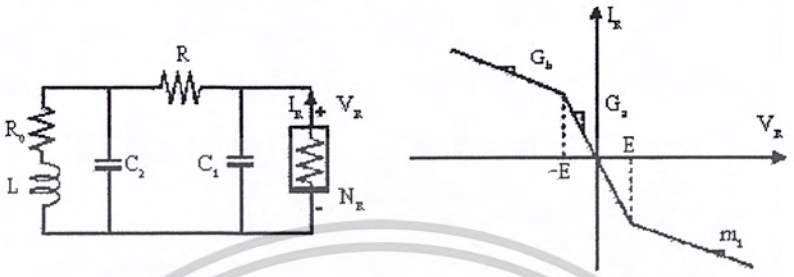
เมื่อเปรียบเทียบสมการฮิสเทอเรซีส กับ สมการ SC-CNN ได้ว่า

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad s_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma+1 & \omega \\ -\omega & \sigma+1 \end{bmatrix} \qquad i_1 = i_2 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว

เป็นวงจรที่คิดค้นโดยศาสตราจารย์ฉั่ว เป็นวงจรไม่เชิงเส้นอันดับที่สามที่สามารถสร้างระบบไดนามิคได้หลายรูปแบบ มีวงจรเป็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ออสซิลเลเตอร์ของศาสตราจารย์ ฉั่ว

จากรูปที่ 2.8 นำมาเขียนสมการสถานะ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\frac{dv_1}{d\tau} &= \frac{1}{C_1}\left[G(v_2 - v_1) - g(v_1)\right] \\ \frac{dv_2}{d\tau} &= \frac{1}{C_2}\left[G(v_1 - v_2) + i_3\right] \\ \frac{dv_3}{d\tau} &= -\frac{1}{L}\left[v_2 - R_0 \cdot i_3\right]\end{aligned} \tag{2.14}$$

โดย
$$g(v_1) = G_b v_1 + 0.5 \cdot (G_a - G_b) \cdot \left[|v_1 + E| - |v_1 - E|\right] \tag{2.15}$$

เขียนสมการใหม่ โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} x &= v_1 / E & y &= v_2 / E & z &= i_3 /(E \cdot G) \\ t &= (\tau \cdot G)/C_2 & m_0 &= (G_a / G) + 1 & m_1 &= (G_b / G) + 1 \\ \alpha &= C_2 / C_1 & \beta &= C_2 /(L \cdot G^2) & \gamma &= (C_2 \cdot R_0)/(G \cdot L) \end{aligned} \tag{2.16}$$

สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \alpha \cdot \left[y - h(x)\right] \\ \frac{dy}{dt} &= x - y + z\end{aligned} \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dz}{dt} = -\beta \cdot y - \gamma \cdot z$$

โดย $$h(x) = m_1 \cdot x + 0.5 \cdot (m_0 - m_1) \cdot [|x+1| - |x-1|] \quad (2.18)$$

เมื่อ x, y, z เป็นตัวแปรสถานะ และ α, β, γ, m_0, m_1 เป็นตัวแปรของระบบ เขียนให้อยู่ในรูปของสมการ SC-CNN 3 เซลล์ ได้

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -x_1 + a_1 y_1 + s_{11} x_1 + s_{12} x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -x_2 + s_{21} x_1 + s_{23} x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} &= -x_3 + s_{32} x_2 + s_{33} x_3 \end{aligned} \quad (2.19)$$

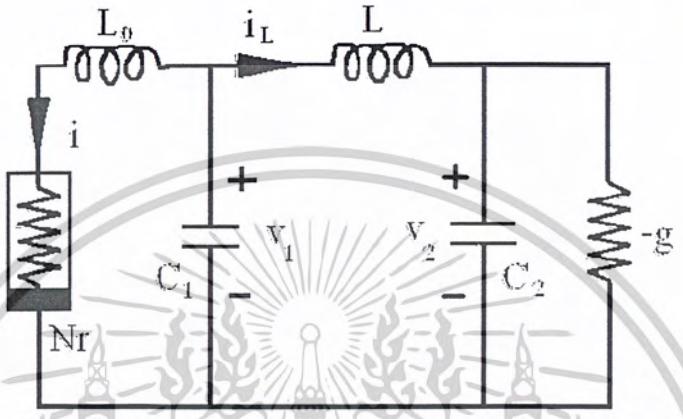
ให้ $x = x_1$, $y = x_2$ และ $z = x_3$ เมื่อแทนค่าตัวแปรเพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของฉั่ว กับสมการ SC-CNN ได้ว่า

$$s_{ij} = \begin{bmatrix} 1-\alpha m_1 & \alpha & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & -\beta & 1-\gamma \end{bmatrix} \quad a_{ij} = \begin{bmatrix} \alpha(m_1 - m_0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สมการกำเนิดสัญญาณไฮเปอร์เคออสติคของ Saito Hysteresis Chaos Generator (SHCG)

T. Saito ได้เสนอวงจรไม่เชิงเส้นอันดับที่สี่เพื่อสร้างสัญญาณไฮเปอร์เคออสติค มีวงจรเป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงวงจร Saito Hysteresis Chaos Generator

สมการสถานะของ SHCG คือ

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -z - w \\ \frac{dy}{dt} &= \gamma(2\delta y + z) \\ \frac{dz}{dt} &= \rho(x - y) \\ \varepsilon\frac{dw}{dt} &= x - h(w)\end{aligned} \tag{2.21}$$

โดยที่ $h(w) = w - (|w+1| - |w-1|)$ (2.22)

x, y, z และ w เป็นตัวแปรสถานะ และ γ, δ, ρ และ ε เป็นค่าพารามิเตอร์ของระบบ

Nr เป็นความต้านทานไม่เชิงเส้นและเป็นฟังก์ชัน $h(x)$ โดยให้ ε เข้าใกล้ 0 ความต้านทานไม่เชิงเส้น Nr และ ตัวเหนี่ยวนำ L_0 ทำให้เกิดปรากฏการณ์การกระโดดและฮิสเทอเรซีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของ SHCG ทำให้สามารถเกิดพฤติกรรมต่าง ๆ เช่น ฟังก์ชันคาบ, เคออสติค, ไฮเปอร์เคออสติคได้

ให้ $x = x_1$, $y = x_2$, $z = x_3$ และ $w = x_4$ จากสมการของ SHCG เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมการของ CNN แล้วจะได้ว่า

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2/\varepsilon \end{bmatrix} \qquad s_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 1+2\gamma\delta & \gamma & 0 \\ \rho & -\rho & 1 & 0 \\ 1/\varepsilon & 0 & 0 & 1-1/\varepsilon \end{bmatrix} \tag{2.23}$$

2.6 การซิงโครนัสในระบบ เคออสติค

เป้าหมายของการซิงโครนัสในระบบสื่อสาร คือ การที่สามารถกู้ข้อมูลพื้นฐานจากสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนปะปนมาได้โดยมีความสามารถในการตรวจสอบแก้ไขข้อมูลที่ส่งมาให้ถูกต้องได้มากที่สุดเท่าที่ทำได้

2.6.1 การซิงโครนัสระหว่างระบบ 2 ระบบที่เหมือนกันเข้าด้วยกัน

กำหนดให้ระบบต่อเนื่อง 2 ระบบดังนี้

$$\frac{dx}{dt} = f(x) \tag{2.24}$$

และ

$$\frac{dx'}{dt} = f'(x') \tag{2.25}$$

จะซิงโครนัสกันเมื่อ

$$\lim_{t\to\infty} \| x'(t) - x(t) \| = 0$$

โดยมี $x(0)$ และ $x'(0)$ เป็นค่าเริ่มต้นของภาคส่งและภาครับตามลำดับและมี $s_i(t)$ เป็นสัญญาณตั้งต้นในการส่งโดยรวมสัญญาณนี้กับสัญญาณพื้นฐาน $g_i(t)$ ในรูปแบบเชิงเส้น

สมมุติให้ $s_i(t) \equiv g_i(t)$ ที่ภาครับต้องมีการกู้ฟังก์ชันพื้นฐานโดย $g(t) = h(x(t))$ ซึ่งได้รับจากสถานะของภาคส่ง ทำให้ภาครับกับภาคส่งซิงโครนัสกันโดยอัตโนมัติและมีฟังก์ชัน $h(\bullet)$ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกันทำให้สามารถกู้ฟังก์ชันพื้นฐานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าสามารถทำให้ $x'(t)$ ลู่เข้าหา $x(t)$ ทำให้ค่าประมาณ $\hat{g}(t) = h(x'(t))$ เข้าใกล้ $g(t)$

2.6.2 การซิงโครนัสแบบทั่วๆไป จากสมการ (2.24) และ (2.25) เป็นการซิงโครนัสแบบทั่วไป ถ้ามีการส่งข้อมูล M ดังนี้

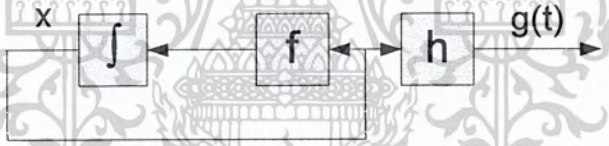
$$\lim_{t\to\infty} \| x'(t) - M(x(t)) \| = 0$$

โดยที่ค่าเริ่มต้น $x(0)$ ไม่สัมพันธ์กันกับ $x'(0)$

2.6.3 การซิงโครนัสแบบเฟส การทำเฟสซิงโครนัสของระบบ 2 ระบบเข้าด้วยกันเกิดขึ้นได้ ถ้ามีความแตกต่าง $|\phi'(t) - \phi(t)|$ ระหว่างเฟส ของ 2 ระบบซึ่งถูกแบ่งด้วยค่าคงที่เฟส $\phi(t)$ ที่เหมาะสม

2.6.4 การซิงโครนัสแบบ Pecora - Carroll

ในระบบซิงโครนัสแบบ Drive-Response ที่เสนอโดย Pecora-Carroll ให้ระบบเดออสติกเป็นดังสมการ (2.24)



รูปที่ 2.10 แสดงระบบสมการตามสมการ (2.24)

ให้ ผลลัพธ์ ที่ได้ $g(t) = h(x)$

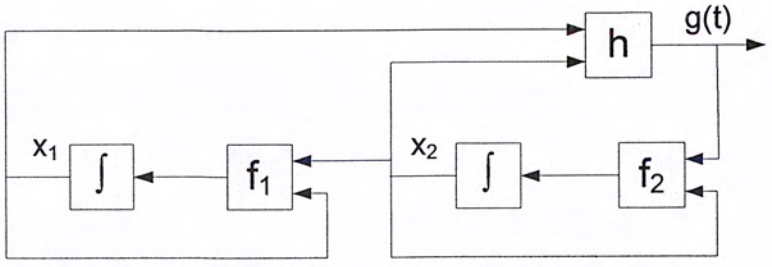
เราทำการแบ่งสมการออกเป็น 2 ส่วนด้วย สถานะ x_1 และ x_2 ได้ดังสมการที่ 2.25

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, x_2)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = f_2(x_2, g(t)) \qquad (2.26)$$

ซึ่ง $x = (x_1, x_2)$ และ $g(t) = h(x_1(t), x_2(t))$ เป็นสัญญาณที่ใช้ส่งออก แสดงได้ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระบบย่อย 1 ระบบย่อย 2

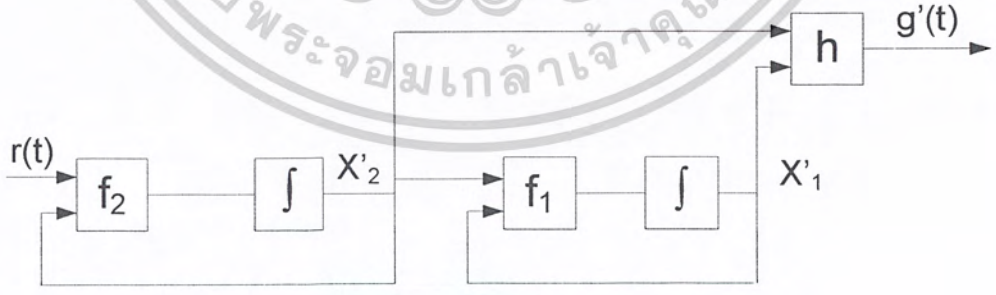
รูปที่ 2.11 แสดงระบบที่ถูกแบ่งเป็น 2 ระบบย่อย ตามสมการ (2.25)

ระบบได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยมีเงื่อนไขของ Lyapunov (Conditional Lyapunov Exponents) ของระบบย่อยที่สองเป็นลบ ซึ่งจะบอกว่าระบบมีเสถียรภาพและสามารถทำการซิงโครนัสได้

พื้นฐานการซิงโครนัสของ Pecora – Carroll คือ คุณสมบัติของ CLE ของระบบย่อยที่สองต้องเป็นลบ เมื่อถูกขับด้วยสัญญาณ $g(t)$ จะลู่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง แสดงว่าระบบจะซิงโครนัส เมื่อถูกขับด้วยสัญญาณเดียวกัน

พิจารณาส่วนย่อยที่สอง ถ้าเงื่อนไขของ Lyapunov เป็นลบ แล้ว ค่าของ $x'_2(0)$ จะเข้าใกล้ค่า $x_2(0)$ และ $r(t) = g(t)$ จะทำให้ค่าสถานะของ x'_2 เข้าใกล้ x_2

$$\lim_{t\to\infty}\|x'_2(t) - x_2(t)\| = 0$$



รูปที่ 2.12 แสดงภาครับที่สามารถกู้สัญญาณพื้นฐานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

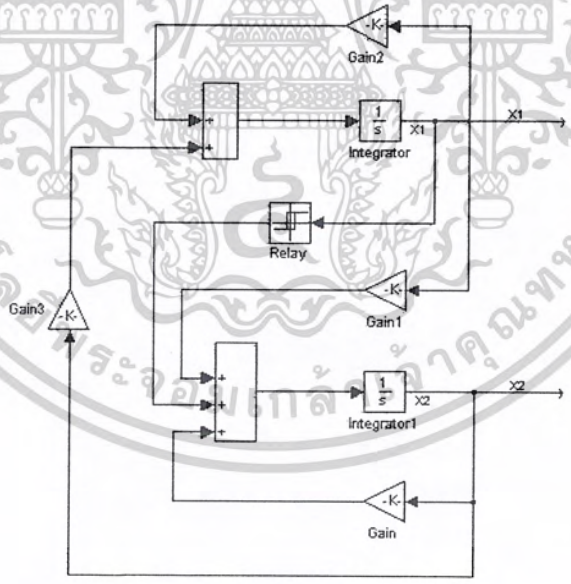
3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส

จากสมการ (2.9) เราสามารถเปรียบเทียบสมการฮิสเทอเรซีส กับสมการของ SC-CNN แล้วจะได้ว่า

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad s_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma+1 & \omega \\ -\omega & \sigma+1 \end{bmatrix} \quad i_1 = i_2 = 0$$

$$y_1 = h(x_1) \tag{3.1}$$

ทำการจำลองสมการ (2.9) ด้วยโปรแกรม Matlab simulink ได้ดังนี้

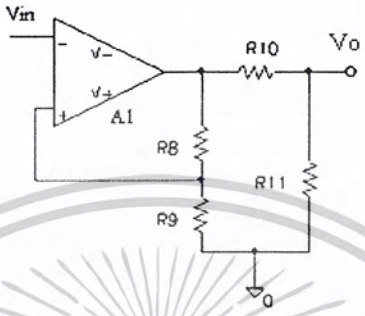


รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองของสมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากรูปที่ 2.5 เราจะนำวงจรดังกล่าวไปใช้งาน โดยการดัดแปลงวงจรในกลุ่ม B1 ใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับสมการ ฮิสเทอเรซีส ตามรูปที่ 3.1 และหาค่าของความต้านทานที่เหมาะสมให้กับวงจร



รูปที่ 3.2 วงจรเสมือน สมการ ฮิสเทอเรซีส

จากรูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของ V_o และ V_{in} ดังสมการ

$$V_o = \begin{cases} +V_{sat} & for \quad V_{in} \geq V_{LT} \\ -V_{sat} & for \quad V_{in} \leq V_{LT} \end{cases} \tag{3.2}$$

โดย V_{LT} เป็น แรงดันเปลี่ยนต่ำสุด, V_{UT} เป็นแรงดันเปลี่ยนสูงสุด มีความสัมพันธ์กับแรงดันอิ่มตัวของออปแอมป์ตามสมการ

$$V_{LT} = \frac{R_9}{R_8 + R_9}(V_{sat}) \quad \text{และ} \quad V_{UT} = \frac{R_9}{R_8 + R_9}(-V_{sat}) \tag{3.3}$$

โดยมี R_{10} และ R_{11} เป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อลดแรงดันเอาท์พุตให้อยู่ในช่วง [-1, 1] หาค่าของ R_{10} และ R_{11} ได้จาก

$$\frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} = \frac{V_{in}}{V_{sat}} \tag{3.4a}$$

$$\frac{R_9}{R_8 + R_9} = \frac{V_{in}}{V_{sat}} \tag{3.4b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55755

เมื่อ V_{in} เป็นแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามาทางออปแอมป์

จากรูปที่ 2.5 กลุ่มวงจร B3 เราจะได้สมการเป็น

$$C_j \frac{dx_j}{dt} = -\frac{x_j}{R_4} + \frac{R_3}{R_1 R_4} V_1 + \frac{R_3}{R_2 R_4} V_2$$

จากรูปที่ 2.5 กลุ่มวงจร B2 เป็นวงจรกลับเฟสมีอัตราขยายเท่ากับ 1 ได้ว่า

$$R_5 = R_6$$

3.2 การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส ในทางปฏิบัติ

1. เลือกค่า σ เพื่อหาค่า ω จากสมการ $\omega = \sqrt{1-\sigma^2}$

   $a_{21} = 1; \quad s_{11} = s_{22} = \sigma + 1; \quad s_{12} = -s_{21} = \omega;$

2. กำหนดค่าอินพุตของเซลล์ ให้ $V_1 = x_1, V_2 = x_2, V_3 = 0$

3. เลือกค่า $C = 50nF$ และ $R_3 = R_4 = R_5 = 1k\Omega$

4. คำนวณหาค่า

   $$R_1 = \frac{R_4}{s_{11}}, R_2 = \frac{R_4}{s_{12}}$$

5. ให้ $R_6 = R_7 = 100k\Omega \quad R_9 = R_{11} = 1k\Omega$ คำนวณหา ค่า

   $R_8 = R_9 V_{sat} - R_9$

   $R_{10} = R_{11} V_{sat} - R_{11}$

กำหนด ให้ค่า $\sigma = 0.05$ จะได้ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุเป็นดังนี้

เซลล์ที่ 1

$R_1 = 952\Omega; \quad R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 1k\Omega \quad R_6 = R_7 = 100k\Omega$

$R_8 = R_{10} = 14k\Omega; \quad R_9 = R_{11} = 1k\Omega; \quad C_1 = 50nF$

เซลล์ที่ 2

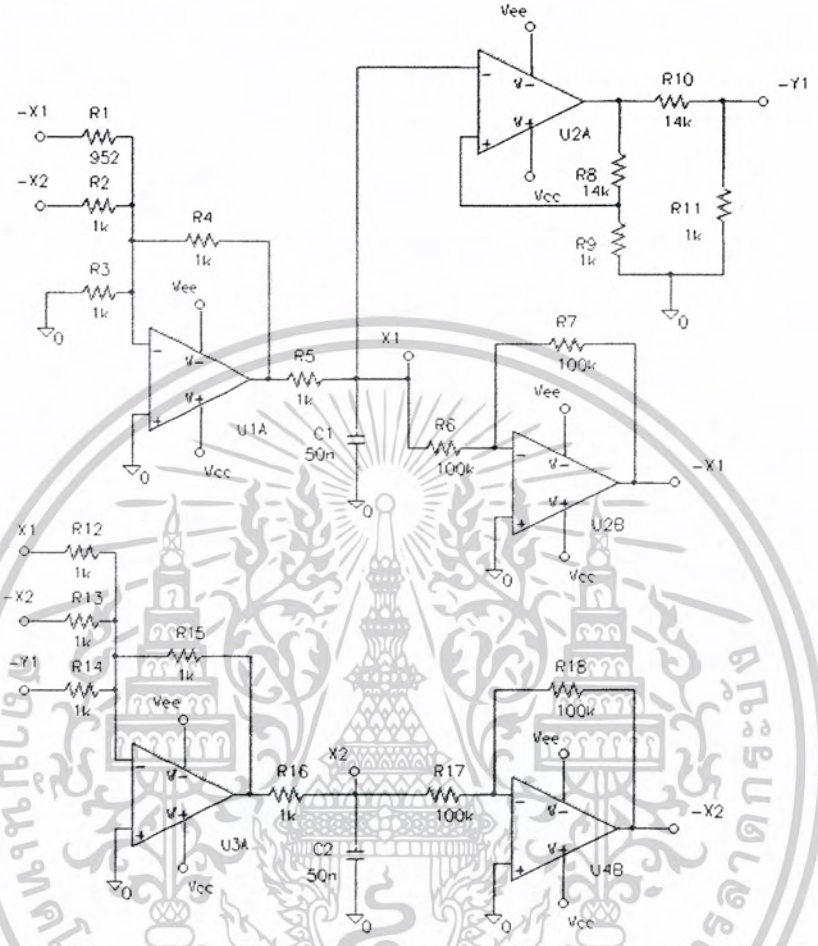
$R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = R_{16} = 1k\Omega; \quad R_{17} = R_{18} = 100k\Omega$

$C_2 = 50nF$

โดย Vcc = 15 V, Vee = -15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างเป็นวงจรได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส โดยใช้เซลล์ SC-CNN 2 เซลล์

3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว

กำหนดให้พารามิเตอร์ของสัญญาณเคออสติคแบบ Chua มีดังนี้

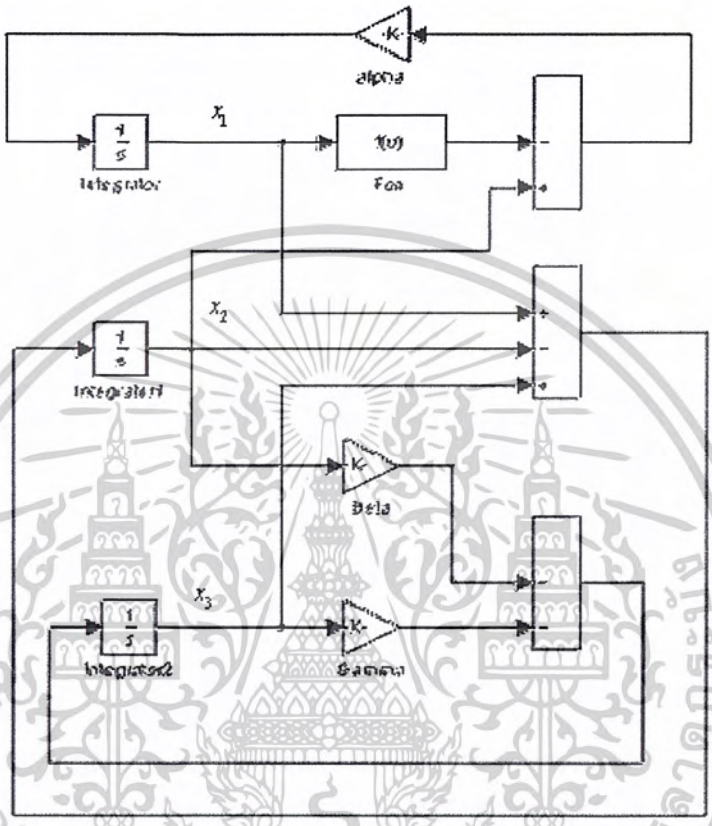
$$\alpha = 9, \quad \beta = 14.286, \quad \gamma = 0, \quad m_0 = -1/7, \quad m_1 = 2/7$$

แทนค่าที่กำหนดให้ลงในสมการ (2.20) ได้ว่า

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 3.8571 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad s_{ij} = \begin{bmatrix} -1.5714 & 9 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & -14.286 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการจำลองสมการ (2.18) ด้วยโปรแกรม Matlab simulink ได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองของสมการกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว

3.4 การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว ทางปฏิบัติ

1. กำหนดอินพุตของแต่ละเซลล์ จากรูปที่ 2.5

เซลล์ที่ 1 มี 3 อินพุต ให้ $V_1 = y_1, \quad V_2 = x_1, \quad V_3 = x_2$

เซลล์ที่ 2 มี 2 อินพุต ให้ $V_1 = x_1, \quad V_2 = x_3$

เซลล์ที่ 3 มี 2 อินพุต ให้ $V_1 = x_2, \quad V_2 = x_3$

2. เปรียบเทียบสัมประสิทธ์ของแต่ละเซลล์ กับค่าความต้านทาน

ให้ $R_3 = 100k\Omega$ และ $R_4 = 1k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลุ่มวงจร B2 เป็นวงจรกลับเฟสมีอัตราขยายเท่ากับ 1

ดังนั้น $R_5 = R_6 = 100k\Omega$

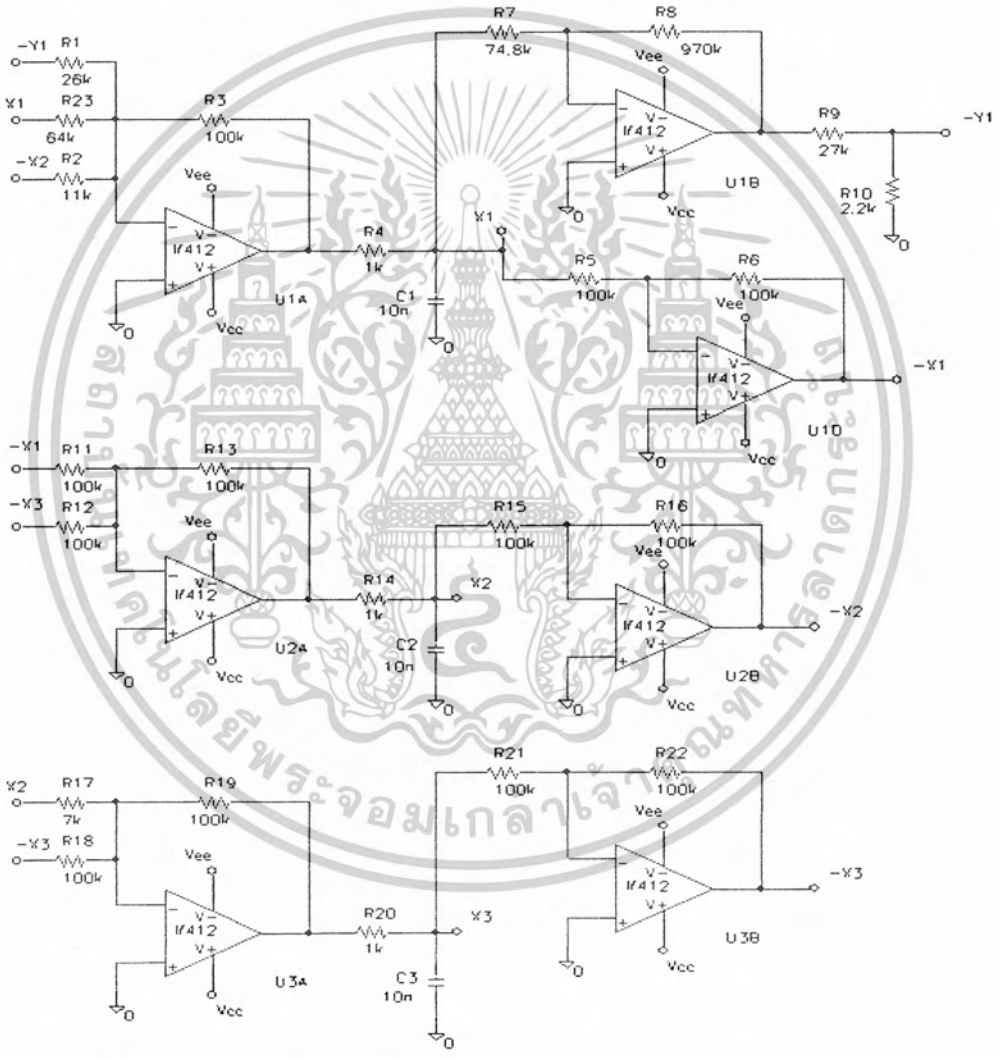
4. กลุ่มวงจร B1 หาค่าความต้านทานได้จากสมการ (2.7)

ให้ $V_{sat} = 15V$ ได้

$$R_8 = 15R_7$$

$$R_9 = 14R_{10}$$

5. นำไปสร้างวงจรได้ดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรของฉั่ว ที่แทนด้วยวงจรของ SC-CNN 3 เซลล์

โดย Vcc = 15 V, Vee = -15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไฮเปอร์เคออสติคแบบ SHCG

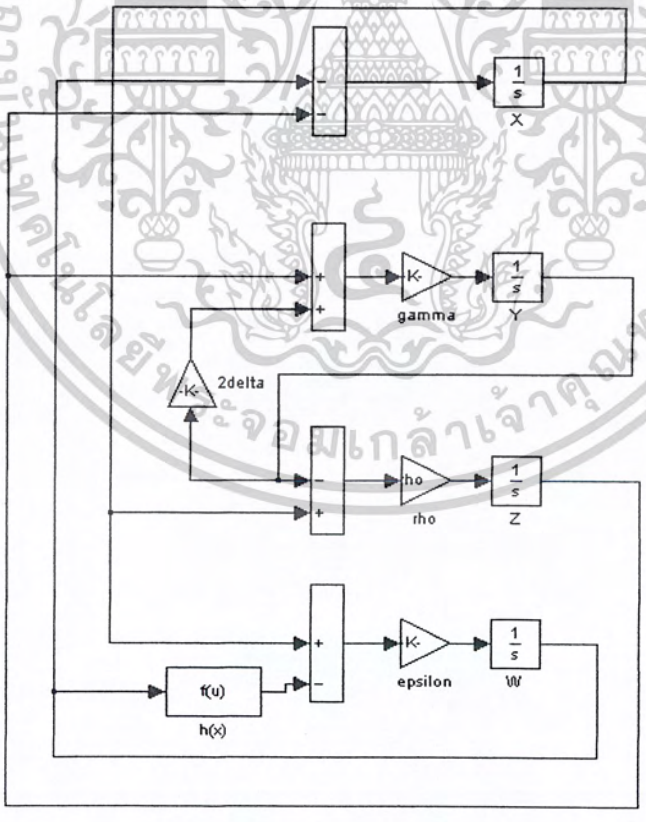
กำหนดให้พารามิเตอร์ของสัญญาณไฮเปอร์เคออสติคแบบ SHCG มีดังนี้

$\gamma = 1, \rho = 14, \delta = 1$ และ $\varepsilon \to 0$ (ในทางปฏิบัติให้ $\varepsilon = 10^{-2}$)

เมื่อแทนค่าสมการของ CNN (2.23) จะได้ว่า

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 200 \end{bmatrix} \qquad s_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 14 & -14 & 1 & 0 \\ 100 & 0 & 0 & -99 \end{bmatrix}$$

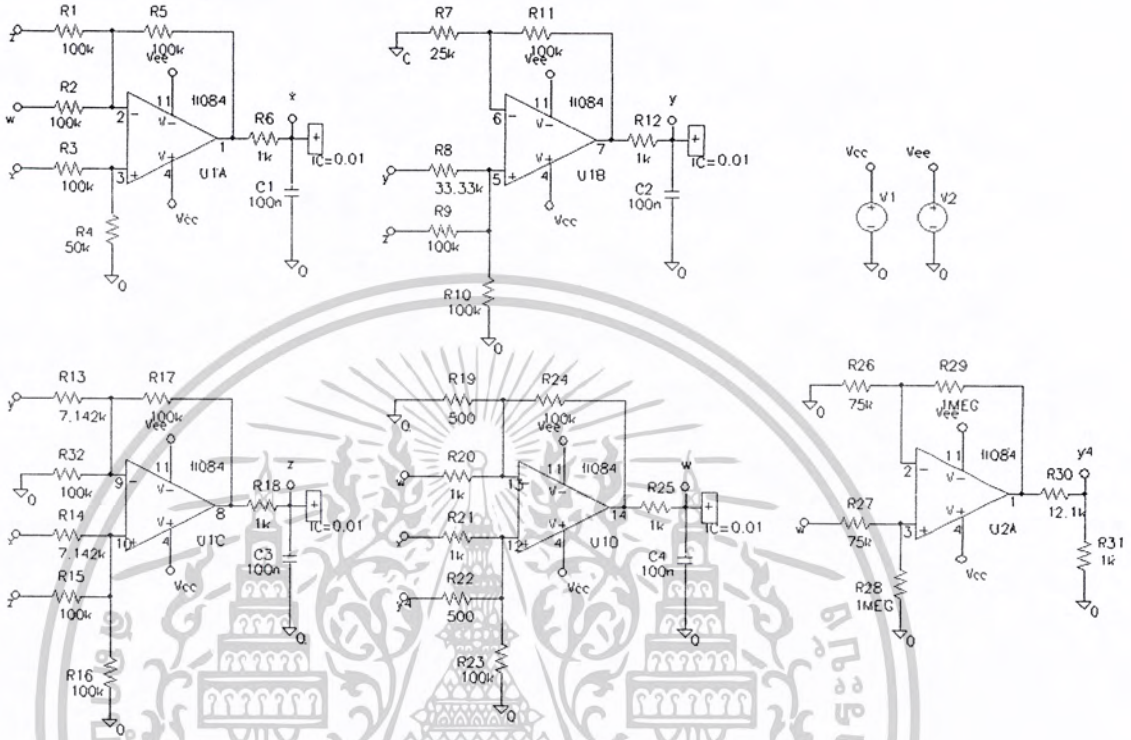
ทำการจำลองสมการ (2.21) ด้วยโปรแกรม Matlab simulink ได้ดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองของสมการกำเนิดสัญญาณไฮเปอร์เคออสติคแบบ SHCG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองในโปรแกรม MATLAB ที่ได้นำไปสร้างเป็นวงจรได้ตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรของ SHCG ที่แทนด้วย SC-CNN 4 เซลล์

3.6 การซิงโครนัสวงจรในระบบ เคออสติค

จากสมการของ Chua (2.14) นำมาเขียนใหม่เพื่อความสะดวกเป็นสมการ (3.1)

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \alpha \cdot \left[y - h(x) \right] \\ \frac{dy}{dt} &= x - y + z \\ \frac{dz}{dt} &= -\beta \cdot y - \gamma \cdot z\end{aligned} \tag{3.1}$$

โดย $$h(x) = m_1 \cdot x + 0.5 \cdot (m_0 - m_1) \cdot \left[|x+1| - |x-1| \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ภาครับ เราแบ่งระบบสมการของฉั่ว ออกเป็น 2 ส่วนย่อย ๆ ได้ดังนี้

ส่วนย่อยที่หนึ่ง :

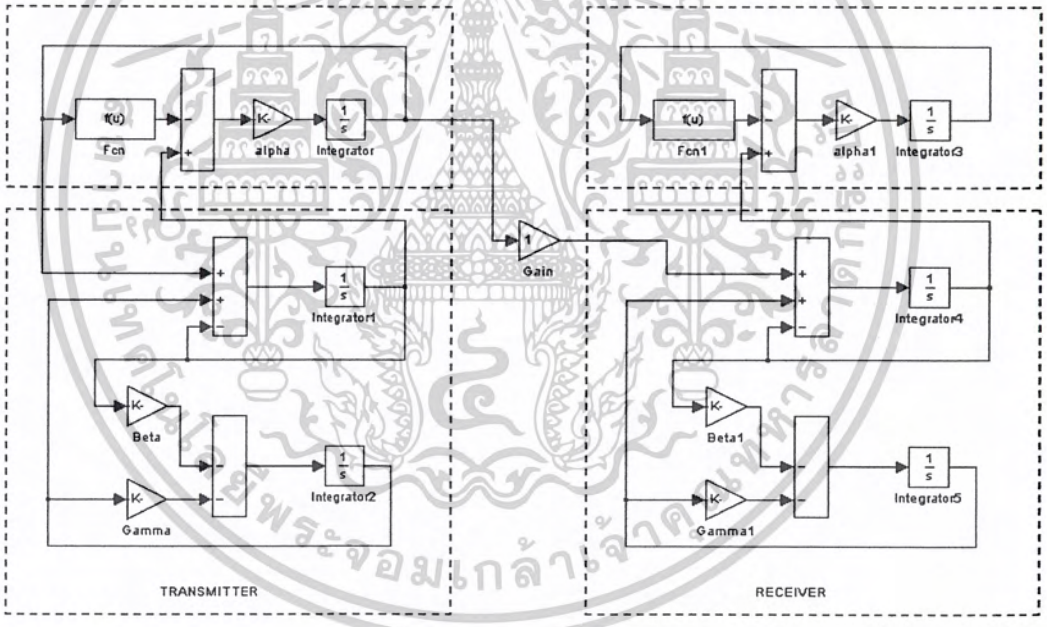
$$\frac{dx_2}{dt} = \alpha \cdot \left[y_2 - h(x_2) \right]$$

ส่วนย่อยที่สอง :

$$\frac{dy_2}{dt} = x - y + z$$

$$\frac{dz_2}{dt} = -\beta \cdot y_2 - \gamma \cdot z_2$$

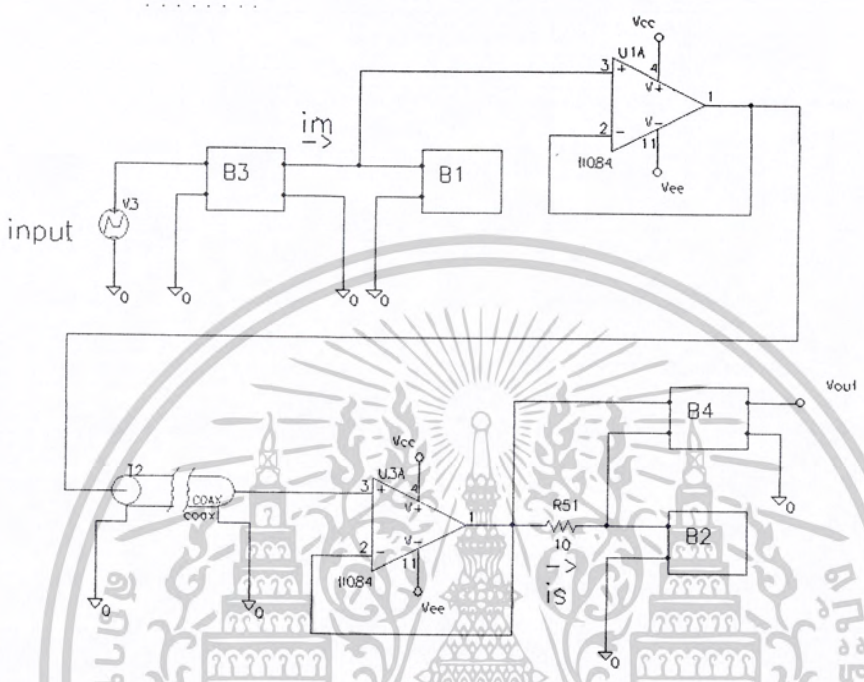
เมื่อนำไปจำลองสมการด้วยโปรแกรม MATLAB ได้ดังรูปที่



รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองการซิงโครนัสของสมการของฉั่ว

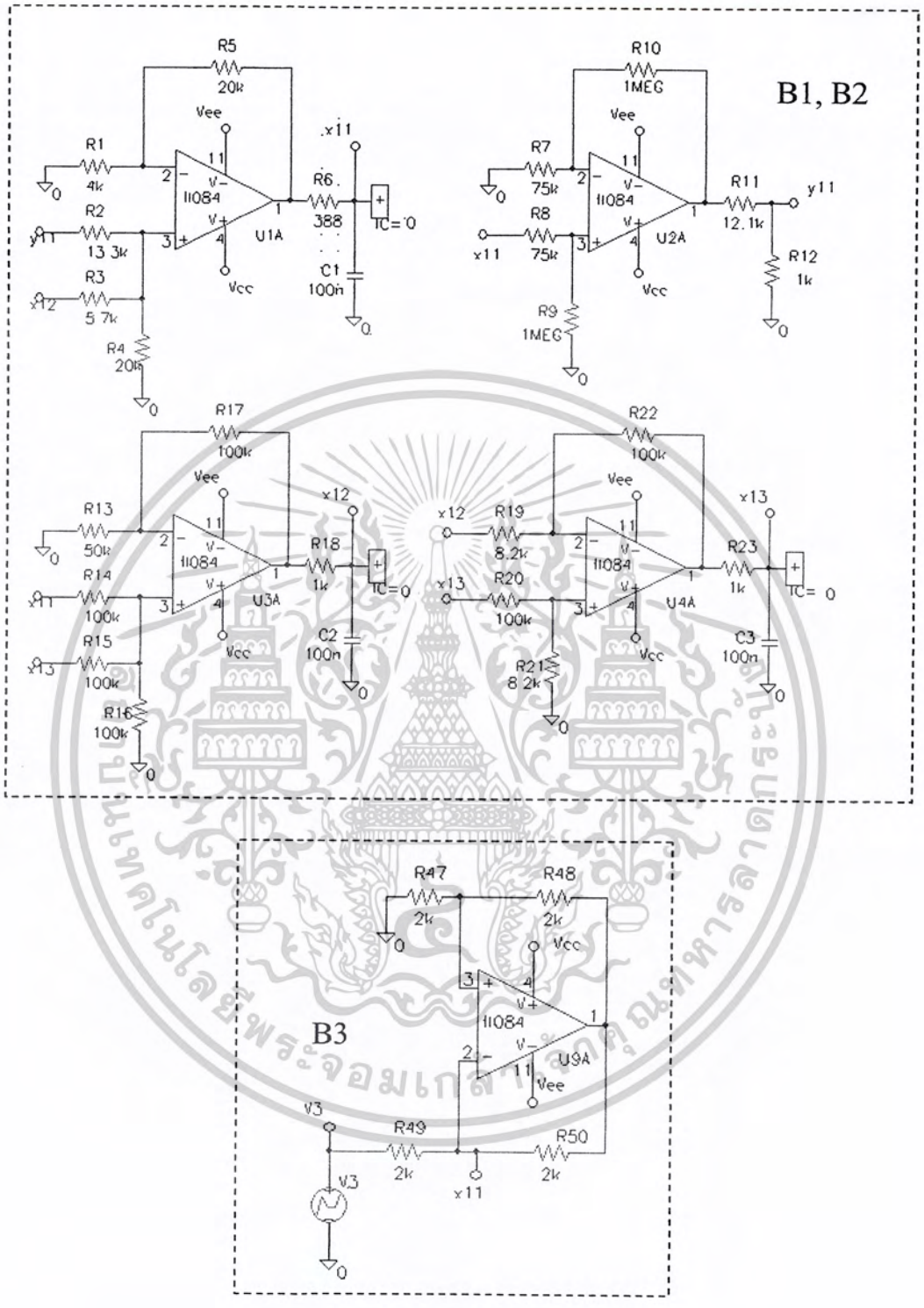
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรายังได้ลองสร้างวงจรเข้ารหัสสัญญาณที่ต้องการเข้ากับสัญญาณเคออสติคเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลโดยมีรูปแบบวงจรดังรูป



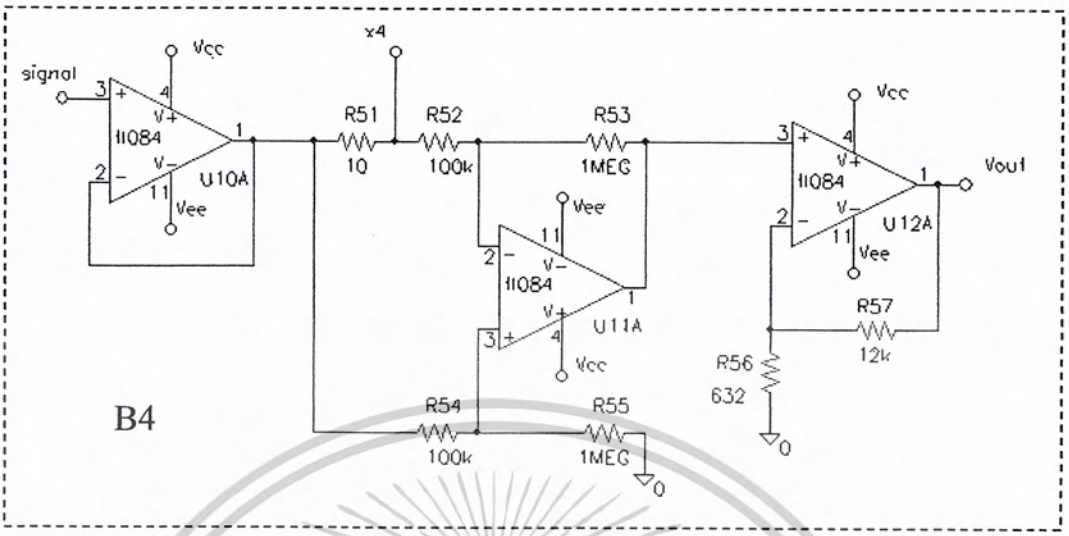
รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงรายละเอียดของบล็อกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 (ต่อ) แสดงรายละเอียดของบล็อกต่างๆ

จากรูปที่ 4.21 วงจรประกอบไปด้วย 4 กลุ่ม คือ

B1 และ **B2** เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบ SC-CNN แบบ 2 scrolls

B3 เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้า (เปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูปที่ต้องการ)

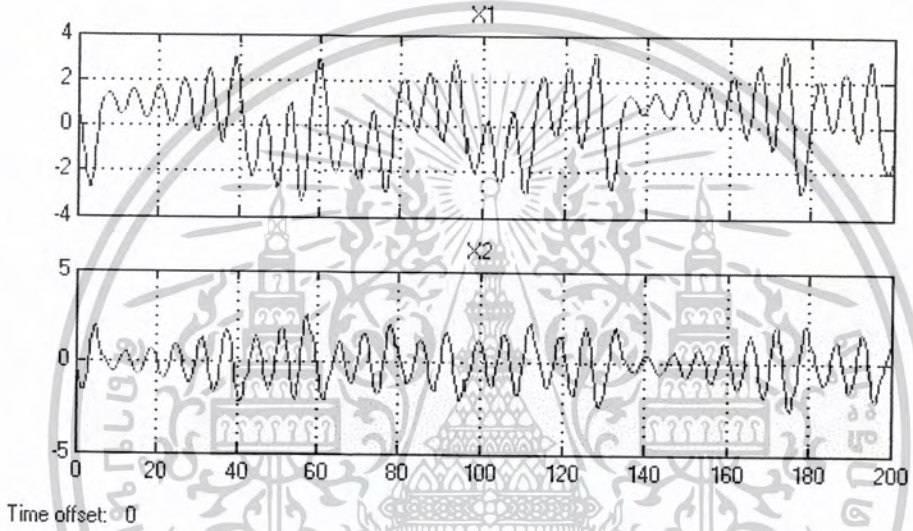
B4 เป็นวงจรแปลงสัญญาณที่รับได้กลับเป็นข้อมูลที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

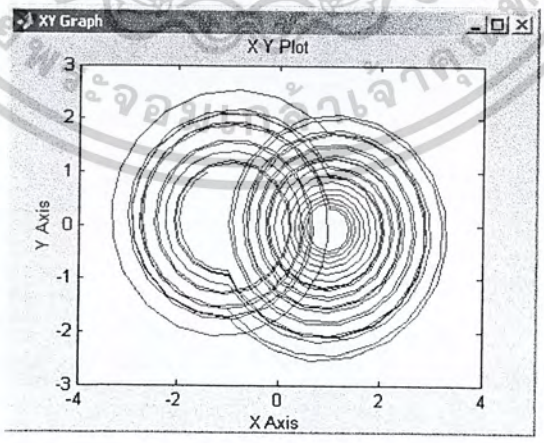
4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส

ทำการวัดผลตอบสนองทางเวลาที่จุด x_1 และ x_2 ของวงจรหน้า ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงผลตอบสนองทางเวลา ของ x_1 และ x_2

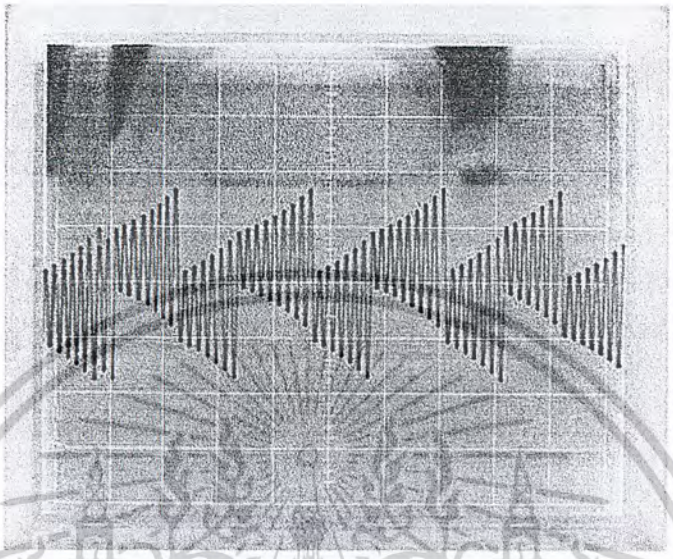
เมื่อนำ x_1 และ x_2 มาวาดกราฟบนระนาบ XY จะได้ดังรูปที่ 4.2



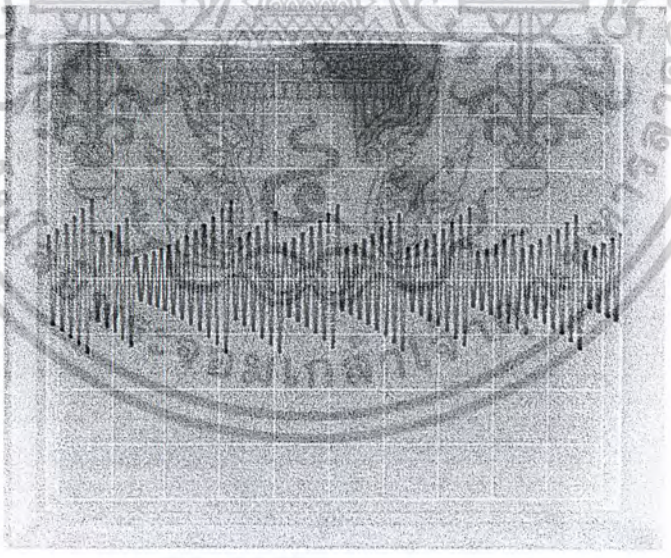
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบฮิสเทอเรซีส



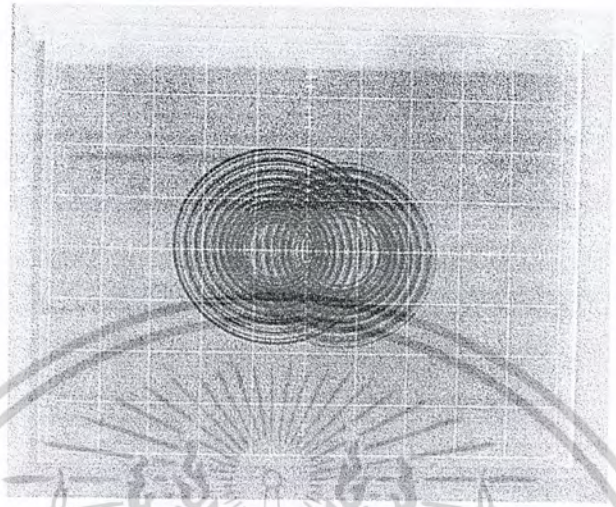
รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1



รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

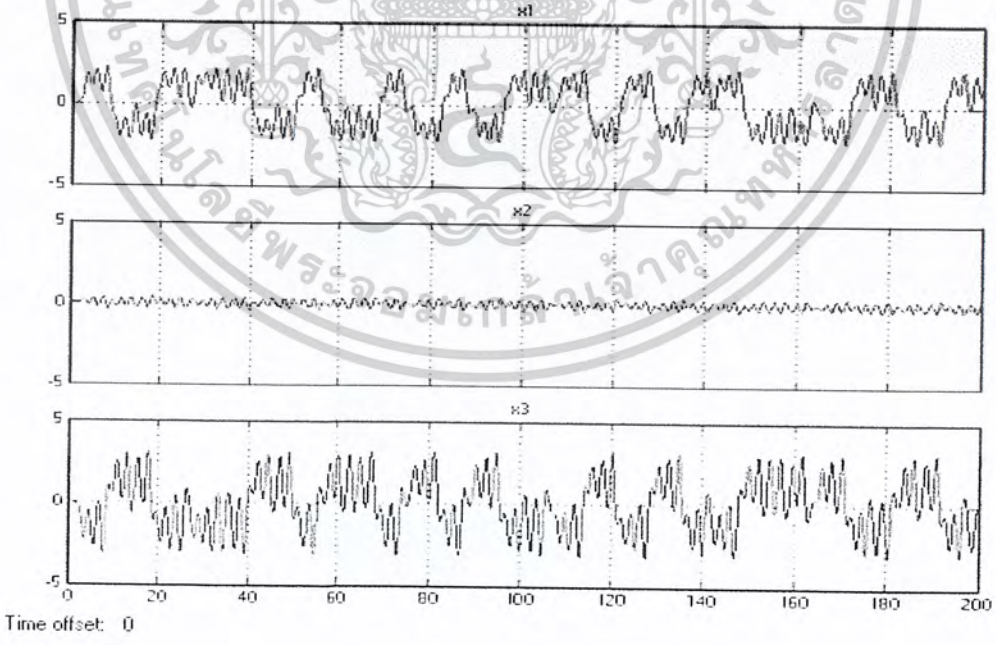
เมื่อนำสัญญาณ x_1 และ x_2 มาแสดงบนระนาบ XY ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY จากออสซิเลเตอร์

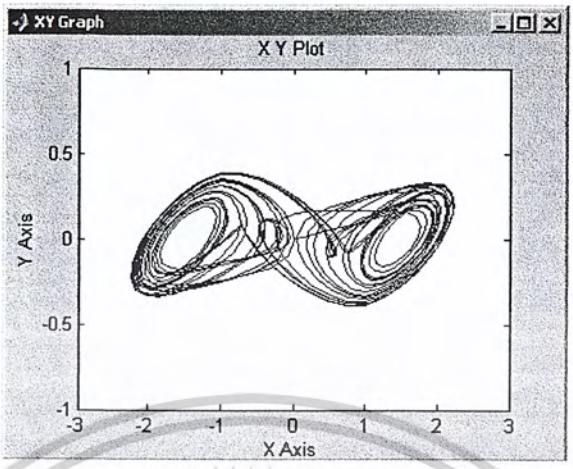
4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบของฉั่ว

ทำการวัดผลตอบสนองทางเวลาที่จุด x_1 x_2 และ x_3 ได้ผลดังรูปที่ 4.6



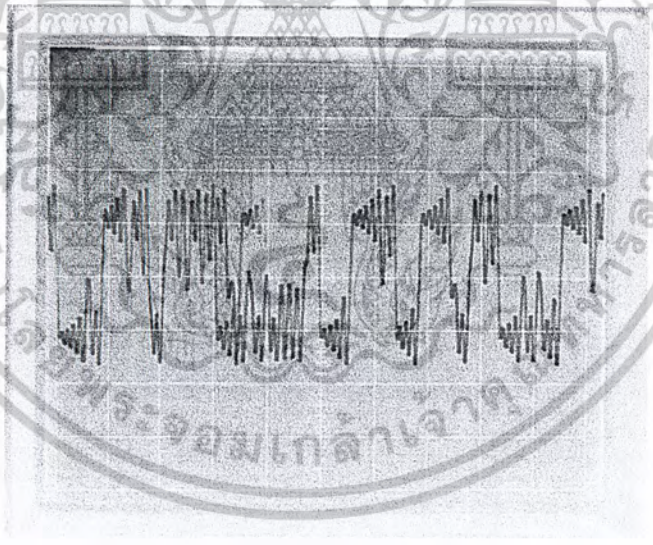
รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1 x_2 และ x_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



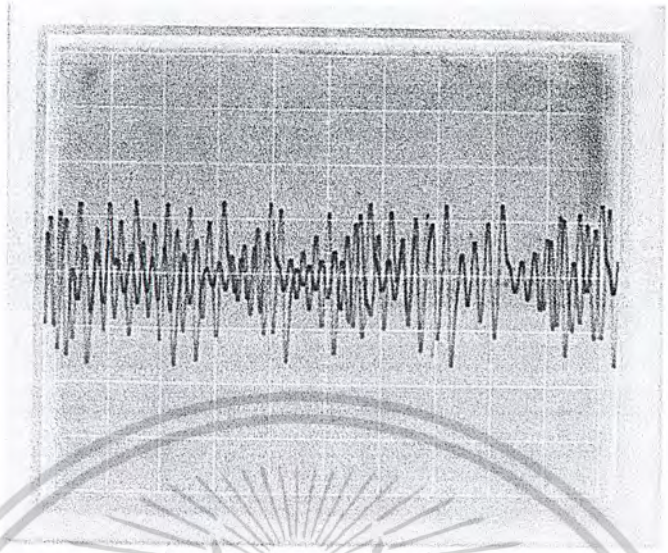
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY ของวงจรหน้า 19

4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างวงจรจริงของวงจรของฉั่ว



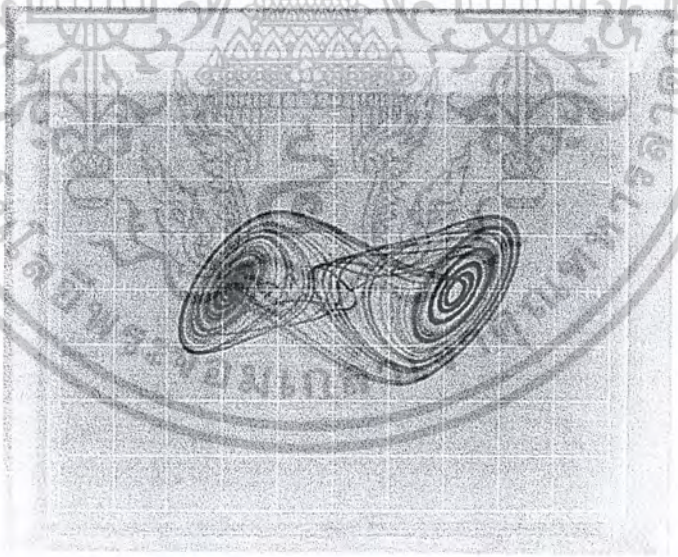
รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_2

เมื่อนำสัญญาณ x_1 และ x_2 มาวาดบนระนาบ XY ได้ดังรูปที่ 4.10

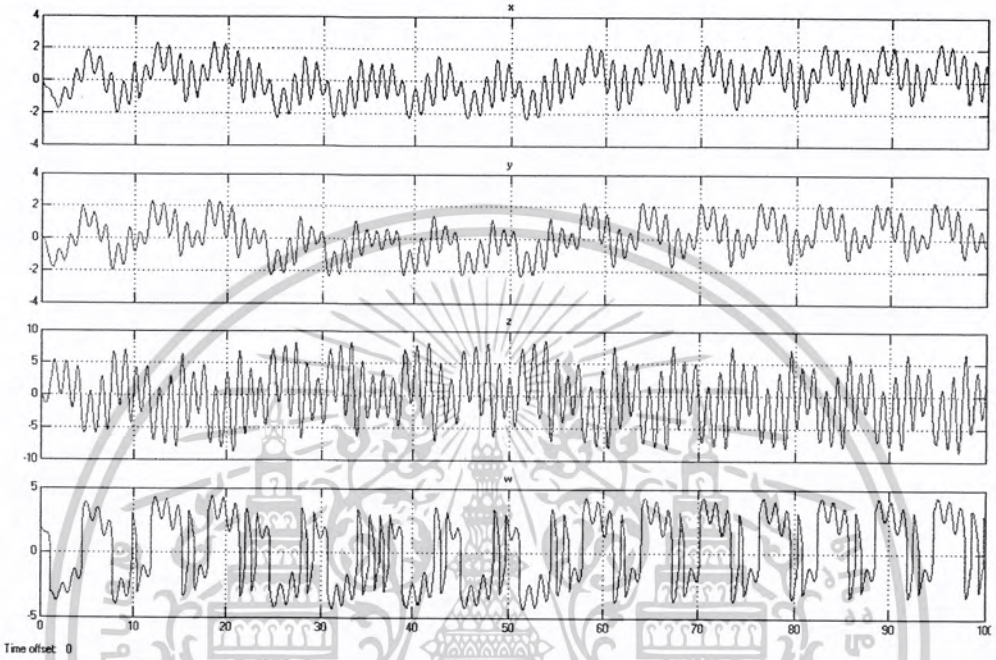


รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY จากออสซิเลเตอร์

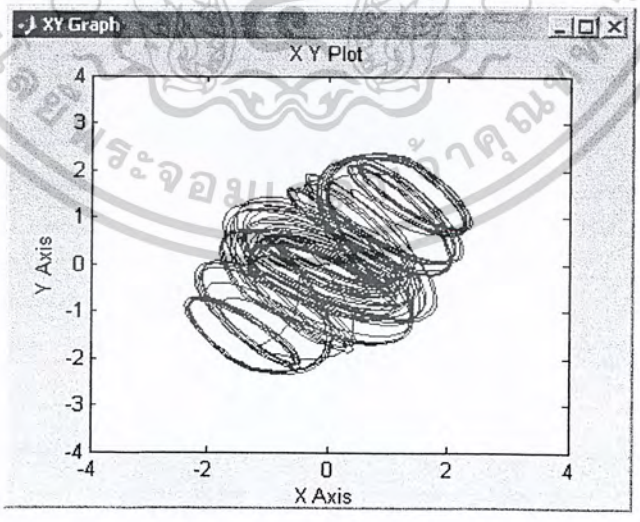
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติคแบบ SHCG

ทำการวัดผลตอบสนองทางเวลาที่จุด x_1, x_2, x_3 และ x_4 ได้ผลดังรูปที่ 4.6

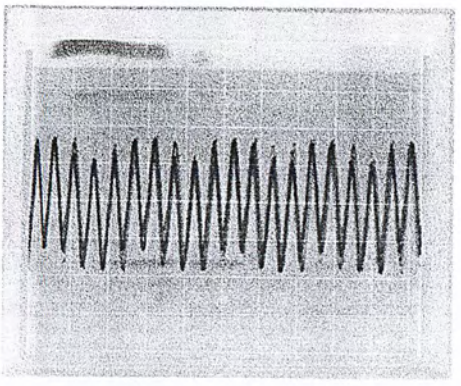


รูปที่ 4.11 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ x_1, x_2, x_3 และ x_4

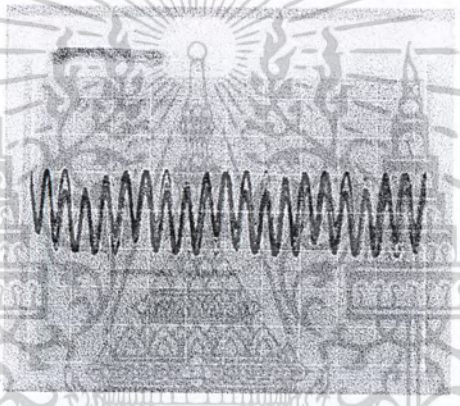


รูปที่ 4.12 แสดงกราฟของ x_1 และ x_2 บนระนาบ XY ของวงจรหน้า 22

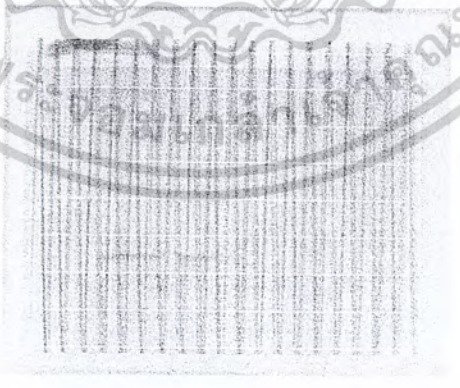
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ X

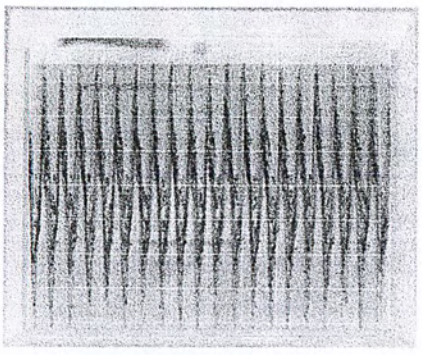


รูปที่ 4.14 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ Y



รูปที่ 4.15 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

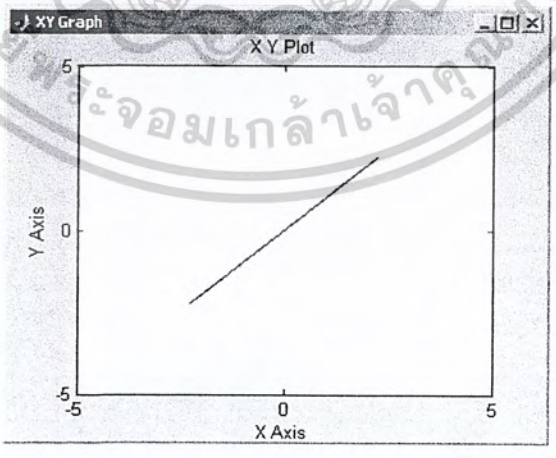


รูปที่ 4.16 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของ W

รูปที่ 4.17 สัญญาณของ X และ Y บนระนาบ XY จากออสซิเลเตอร์

4.6 ผลการทดลองการซิงโครนัสของวงจรของฉั่ว

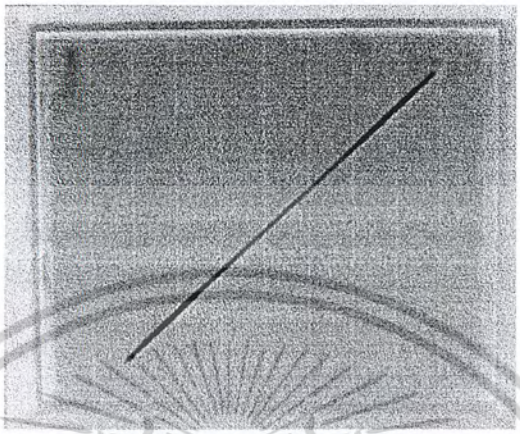
ผลที่ได้จากโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของ x_1 กับ x'_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

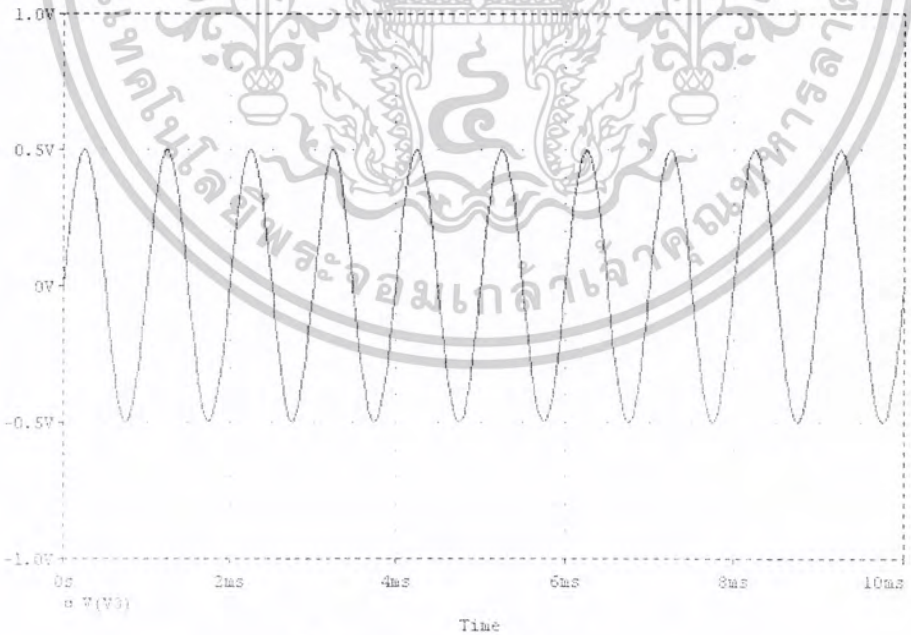
ผลที่ได้จากวงจรของฉั่ว



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของ x_1 กับ x'_1

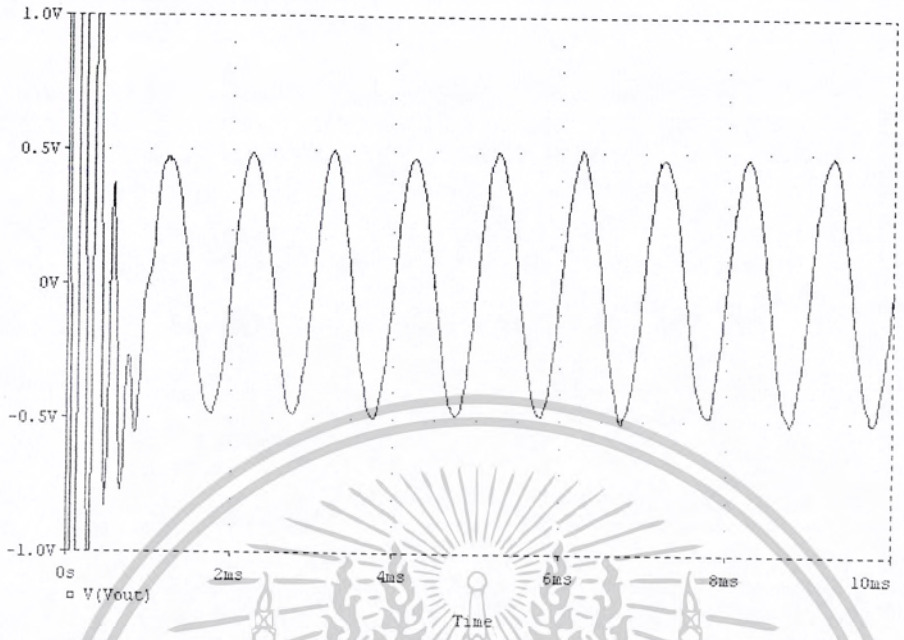
ผลการทดลองเมื่อต้องการส่งคลื่นไซน์ไปกับสัญญาณเคออส

ทำการจำลองวงจร โดยใช้โปรมแกรม PSPICE ได้ผลดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณที่ภาครับตรวจจับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบวงจรนั้นค่าของตัวเก็บประจุไม่มีผลต่อการจำลองวงจรเป็นเพียงการเพิ่มหรือลดคาบเวลาเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงค่าของตัวเก็บประจุมีผลเป็นอย่างมาก ในการเกิดสัญญาณเคออสติค

ในการแทนค่าความต้านทานที่ได้จากสมการไม่มีค่าที่ต้องการ ทำให้ต้องใช้ความต้านทานปรับค่าได้แทน ซึ่งค่าที่ได้ไม่ตรงกับสมการเท่าใดนัก ถึงแม้จะความต้านทานปรับค่าแบบรอบสูงก็ตาม ทำให้รูปสัญญาณเคออสติคที่ไม่ตรงกับความจริงเท่าไรนัก

การส่งสัญญาณเสียงไปกับสัญญาณเคออสติคยังไม่สามารถที่จะใช้งานได้จริง ซึ่งเมื่อทำการมอดสัญญาณเสียง จะทำให้สัญญาณเคออสติคไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ จึงไม่สามารถทำการส่งได้

สรุปผลการทดลอง เราสามารถใช้วงจร CNN สร้างสัญญาณเคออสติคในรูปแบบต่าง ๆ ได้ โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้กับวงจร CNN หรือกำหนดฟังก์ชันไม่เชิงเส้น เป็นรูปแบบต่าง ๆ

5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. ทำการซิงโครนัสวงจรที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้
2. นำวงจรที่ซิงโครนัสแล้วไปใช้ประโยชน์ในการสื่อสาร เช่นการมอดสัญญาณเสียงเข้ากับสัญญาณเคออสติค เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- L.O. Chua and L. Yang, **Cellular Neural Networks: Theory** IEEE Transactions on Circuit and Systems p.1257-1272
- L.O. Chua and L. Yang, **Cellular Neural Networks: Applications** IEEE Transactions on Circuit and Systems p.1273-1290
- L.O. Chua and Tamas Roska, **Cellular Neural Networks and Visual Computing** Cambridge University Press,
- Cherif Aissi and Ahmed Shams, **A CNN Implementation of a Hysteresis Chaos Generator** IEEE Transactions on Circuit and Systems
- P. Arena et Al., **Chua's Can Be Generated by CNN Cells** IEEE Transactions on Circuit and Systems I, volume 42 p.123-125 February 1995
- Geza Kalumban, **The Role of Synchronization in Digital Communications Using Chaos Part II: Chaotic Modulation and Chaotic Synchronization** IEEE Transactions on Circuits and Systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้