



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบปีกผีเสื้อความถี่สูง

High-frequency chaotic butterfly attractor circuit

กฤตากร กล่อมการ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RDH

๗๒๗๓๐

๒๕๕๗

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **137849**

วันเดือนปี **6 ต.ค. 2558**



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) วงจรสร้างสัญญาณออลวันแบบปีกผีเสื้อความถี่สูง
แหล่งเงิน เงินรายได้

ประจำปี งบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 60,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 - 30 กันยายน 2557

หัวหน้าโครงการ นาย กฤตากร กล่อมการ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างสัญญาณออลวันที่มีความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อ สำหรับใช้งานการกวนความถี่หรือการสร้างสัญญาณสุ่ม ในการสร้างเพื่อจุดสัทิจงานวิจัยเสนอการวงจรกำเนิดความถี่แบบ Colpitt ร่วมกับวงจรสร้างสัญญาณกึ่งสุ่มโดยใช้วงจรคูณแบบสวิทช์เป็นตัวขยายให้เป็น 2 ปีก โครงสร้างของวงจรสามารถสร้างได้ตั้งแต่ความถี่ย่าน HF ไปจนถึงระดับ 1GHz

คำสำคัญ : วงจรออลวันความถี่สูง, อิเล็กทรอนิกส์ไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research High-frequency chaotic butterfly attractor circuit

Researcher Mr. Kitdakorn Klomkarn

Faculty Engineering, Department Computer Engineering

ABSTRACT

This research project presents a construction of high frequency chaotic circuit for application in radio jamming and random test signal. The purpose of circuit construction is used to apply for patent, the cooperation between Colpitt-oscillator circuit and pseudo random binary generator circuit and using a switched multiplier to achieve for generate two wings butterfly type attractor. The proposed-structure can be used to generate frequency in high frequency band to 1 GHz.

Keyword high frequency chaotic circuit, nonlinear electronics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยเงิน
รายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557

กฤตดากร กล่อมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้อง.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 ทฤษฎีออลวน.....	4
2.3 แอทแทรกเตอร์ต่างๆ.....	5
บทที่ 3 ระบบที่ออกแบบ.....	13
3.1 แอทแทรกเตอร์ที่ปรับปรุงใหม่.....	14
3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt.....	15
3.3 การสร้างซีเควนกึ่งสุ่ม.....	17
3.4 การสร้างสัญญาณอลวนแบบปีกผีเสื้อที่ความถี่สูง.....	20
บทที่ 4 ผลการจำลองวงจร.....	22
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	25
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	25
เอกสารอ้างอิง.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Lorenz.....	8
2.2 แอทแทรกเตอร์แบบ Lorenz ในแกนเวลา.....	8
2.3 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Chen.....	9
2.4 แอทแทรกเตอร์แบบ Chen ในแกนเวลา.....	9
2.5 แอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 2 ปีก.....	11
2.6 แอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 4 ปีกในแกนเวลา.....	11
2.7 ค่า x, y ของแอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 4 ปีก ในแกนเวลา.....	12
2.8 ค่า x, z ของแอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 4 ปีก ในแกนเวลา.....	12
3.1 สัญญาณในแกน x, y, z ของ Lorenz attractor.....	13
3.2 สัญญาณในแกน x, y, z ของแอทแทรกเตอร์ที่ปรับปรุงขึ้น.....	14
3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt.....	15
3.4 สัญญาณจากวงจรถูกกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt โดยสมการ 3.8.....	16
3.5 วงจรชิฟท์รีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้น.....	17
3.6 ชิฟท์รีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้นแบบป้อนกลับแบบภายใน.....	18
3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณกึ่งสุ่มที่สร้างจากพหุนาม $1 + x + x^4$	19
3.8 การสร้างสัญญาณอลวนแบบปีกผีเสื้อที่ความถี่สูง.....	20
3.9 ผลการจำลองการสร้างสัญญาณอลวนแบบปีกผีเสื้อที่ความถี่สูง.....	21
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt ในทางปฏิบัติ.....	22
4.2 ผลการจำลองวงจรถูกกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt ในทางปฏิบัติ.....	22
4.3 โครงสร้างวงจรถอลวนความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อ.....	23
4.4 ผลการจำลองสัญญาณจาก โครงสร้างวงจรถอลวนความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สัญญาณอลวนเป็นสัญญาณที่มีคล้ายสัญญาณรบกวนมีคุณสมบัติแถบกว้างในโดเมนความถี่ และมีคุณสมบัติที่สามารถชิงโครโนซ์เข้ากับระบบอลวนที่มีพารามิเตอร์เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์สัญญาณอลวนในการสื่อสาร[1] หรืองานทางด้านวิศวกรรมระบบควบคุม[2]ได้และด้วยลักษณะทางเวลาที่เป็นเหมือนค่าสุ่มจึงสามารถนำสัญญาณอลวน มาประยุกต์สำหรับการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ลาดตระเวนให้เคลื่อนที่ครอบคลุมพื้นที่ในเวลาจำกัด[4] การใช้เป็นสัญญาณสุ่มจริงเพื่องานวิทยาการรหัสลับหรือการจำลองทางวิทยาศาสตร์[5] และการใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อประหยัดพลังงานในงานปั้นผสมอุตสาหกรรม[6] โดยวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณอลวนดังกล่าวอาจใช้วงจรของ Chua[3] หรือวงจรที่สร้างจากสมการอนุพันธ์ที่สามารถกำเนิดพฤติกรรมอลวน[3] โดยผู้วิจัยได้เสนอวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลายรูป[35] ที่ทำงานในย่านความถี่ 10KHz-1MHz เพื่อใช้สำหรับงานดังกล่าวข้างต้น

ด้วยลักษณะของสัญญาณเหมือนค่าสุ่มทำให้การสื่อสารแบบอลวนมีคุณสมบัติเข้ารหัสลับได้โดยตัวสัญญาณเอง[7] หรือสัญญาณมีความถี่แถบกว้าง ดังนั้นจึงสามารถใช้สัญญาณอลวนเป็นคลื่นพาห้สำหรับการสื่อสารแบบกระจายสเปกตรัมหรือการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง[8] และด้วยที่ลักษณะของสัญญาณคล้ายสัญญาณรบกวนแต่สามารถวัดค่าคุณสมบัติทางโดเมนของเวลาได้เช่นค่า Lyapunov และค่า correlation dimension ทำให้สามารถใช้เป็นคลื่นพาห้เรดาร์[9] และสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลที่ป้องกันการรบกวน(Jamming) ดังในสิทธิบัตร[25]ได้เช่นกัน

โดยหัวใจสำคัญของการสื่อสารดังกล่าวคือวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนความถี่สูง และงานการสื่อสารทุกประเภทที่ใช้สัญญาณอลวนนี้มักถูกจดสิทธิบัตรผลิตภัณฑ์ก่อนผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะสิทธิบัตรการสร้างสัญญาณอลวนที่ความถี่สูงซึ่งถูกจดสิทธิบัตรในยุโรป[22-23] สหรัฐอเมริกา [24-34]

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยเสนอการสร้างวงจรอลวนความถี่สูงแบบปิกฟีลด์ที่ยังไม่มีการจดสิทธิบัตรมาก่อนเพื่อใช้ประโยชน์เป็นคลื่นพาห้สำหรับการสื่อสารแบบอลวนดังกล่าว และด้วยคุณสมบัติที่สามารถปรับการกระจายสเปกตรัมโดยการปรับพารามิเตอร์ของวงจรที่สร้างขึ้น จึงสามารถใช้อัลกอริทึมที่ความถี่สูงแบบปิกฟีลด์เป็นสัญญาณ jamming แบบเลือกแถบความถี่อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 สร้างวงจรอลวนความถี่สูงแบบปิกฟีลด์เพื่อใช้กับงานสื่อสารแบบอลวน
- 2.2 สร้างองค์ความรู้การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนที่ความถี่สูง
- 2.3 จดสิทธิบัตรวงจรต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การสร้างวงจรรอความถี่สูงแบบปิกฟีลด์ โดยสามารถปรับการกระจายสเปกตรัมเพื่อใช้เป็นสัญญาณ jamming แบบเลือกแถบความถี่ โดยตัวต้นแบบสามารถผลิตได้ในอุตสาหกรรมได้จริง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทำการค้นหาสมการอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่กำหนดสัญญาณอลวน 2 ปีคเพื่อปรับเทอมการคูณในสมการให้เป็นการคูณแบบสวิตซ์ที่สามารถสร้างได้ที่มีความถี่สูง

1.4.2 จำลองคุณลักษณะของสมการ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการกำเนิดความถี่

1.4.3 จดสิทธิบัตรวงจรถูกกำเนิดวงจรถูกกำเนิดสัญญาณอลวนความถี่สูงที่ได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้สิทธิบัตรชื่อ “วงจรรอความถี่สูงแบบปิกฟีลด์” ที่สามารถใช้กับการสื่อสารแบบอลวนประเภทต่างๆ

1.5.2 ต้องความรู้การสร้างวงจรรอความถี่สูงในการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนเพื่อประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมต่างๆเช่น การขับหุ่นยนต์ [4] เป็นสัญญาณสุ่ม[5] การขับมอเตอร์เพื่อเป็นการปั่นผสม[6] สามารถใช้สัญญาณที่มีความถี่ขนาดต่ำกว่า 1MHz สำหรับการสร้างสัญญาณอลวนความถี่สูงที่สำหรับการสื่อสาร[1,7] ได้มีผู้เสนอวิธีการสร้างแบบต่างๆเช่น ในงานวิจัยของ Christopher และ Young [10] เสนอการสร้างวงจรในย่านความถี่ VHF โดยดัดแปลงจากวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ Duffing [11]ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ non-autonomous โดยประมาณเทอม cubic ให้เป็นฟังก์ชันเชิงท่อนและผู้วิจัยได้ทำการจัดสิทธิบัตรวงจร[24] ในงานวิจัย [12] เป็นการการดัดแปลงวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนจากวงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นไซน์แบบ Wein bridge โดยใช้วงจรรวมโมดกระแสแต่ขนาดของความถี่ที่ได้ยังอยู่ในช่วงไม่เกิน 10 MHz

การดัดแปลงวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนจากวงจร Colpitts ซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้สร้างสัญญาณไซน์ความถี่สูงสามารถสามารถกระทำได้ โดย[14]แสดงการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ autonomous และ[15]แสดงการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ hyper-chaos จากวงจร Colpitts ในย่าน VHF และ UHF แต่สัญญาณที่ได้จากวงจรทั้งสองมีลักษณะไม่ซับซ้อนและขนาดของแถบความถี่ที่ได้มีขนาดแคบ สำหรับวิธีสร้างสัญญาณอลวนความถี่สูงแถบกว้างสามารถกระทำได้โดยใช้วงจรขยายความถี่สูงร่วมกับสายส่งทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงเวลาที่แสดงการสร้างและวิเคราะห์ใน[16-17] แต่วิธีการนี้ได้ถูกจดสิทธิบัตรยุโรป[22]การอ้างสิทธิครอบคลุมถึงวิธีการ ใช้การหน่วงเวลาในการกำเนิดสัญญาณอลวน ในงานวิจัย[18] แสดงการสร้างสัญญาณอลวนจากสายส่งร่วมกับวงจรสร้างความต้านทานลบที่สังเคราะห์จากอุปกรณ์แอคทีฟแต่สัญญาณที่ได้ไม่ซับซ้อน และในงานวิจัย[19]แสดงการวิเคราะห์และจำลองการทำงานวงจร Chua ความถี่สูงขนาด 30 MHz ที่สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนที่มีความซับซ้อนโดยใช้สายส่ง และ [20] แสดงการสร้างวงจร Chua จริงในทางปฏิบัติเสนอโดยใช้ tunnel diode เป็นวงจรต้านทานลบแบบไม่เป็นเชิงเส้น แต่วงจรทำงานในระดับย่านความถี่ VHF ยังสร้างได้ยากในทางปฏิบัติรวมทั้งสิทธิบัตรการสื่อสารแบบอลวนมักอ้างสิทธิโดยใช้วงจร Chua เป็นหลักเช่นสิทธิบัตร[22,25,26] สำหรับการสร้างวงจรอลวนกำเนิดสัญญาณเป็นปิกคี่เลื้อยที่มักสร้างจากสมการของ Lorenz หรือ Butterfly attractor ที่มีความซับซ้อนเหมาะกับการสื่อสาร ในงานวิจัย[21]แสดงการสร้างโดยใช้วงจรคูณที่ความถี่สูงร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟแต่ขนาดของสัญญาณที่ได้มีแถบความถี่เพียง 0-5 MHz

สำหรับสิทธิบัตรของการสร้างสัญญาณอลวนความถี่สูงที่จดในสหรัฐอเมริกาซึ่งมักครอบคลุมสิทธิบัตรในยุโรปด้วยเช่นกัน มีดังต่อไปนี้ สิทธิบัตร[27] เป็นการสร้างสัญญาณอลวนสำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งโดยใช้วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบวงแหวน(ring oscillator) 2 วงจรทำการผสมสัญญาณ(mixing) โดยการป้อนกลับในแต่ละสเตจของวงแหวนเลือกกำหนดความถี่ที่ต่างกัน สิทธิบัตร [28]เป็นสร้างสัญญาณอลวนที่ความถี่สูงโดยใช้สัญญาณพัลส์สามเหลี่ยมหลายๆลูกมารวมกันเพื่อขับวงจรกำเนิดความถี่สูงควบคุมด้วยแรงดัน(voltage control oscillator: VCO) สิทธิบัตร[29] ใช้สัญญาณจากเอาต์พุทของวงจรเฟสดีเทคเตอร์ในวงจรเฟสล็อกซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณไม่เป็นรายคาบทำการผสมทางความถี่เข้ากับสัญญาณที่ได้จาก VCO สิทธิบัตร[30]เป็นวงจรที่ใช้ Heterojunction Bipolar Transistor:HBT จัดวงจรเป็นแบบคู่ differential โดยมีวงจรคูณที่ความถี่สูงป้อนกลับแบบบวก สิทธิบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[31] เป็นการใช่วงจรขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้นความถี่สูง 3 ตัวทำการต่อ cascade โดยเอาที่พหุสุดท้ายป้อนกลับไปที่อินพุตโดยมีการคัปปลิงจากสเตตพหุสุดท้ายผ่านวงจร กรองความถี่ผ่านนำไปใช้งาน สิทธิบัตร [32]เป็นการใช่วงจรพัลส์สี่เหลี่ยมหลายๆสัญญาณมอดูเลตเข้ากับวงจรถ้าเนตคลิ้นไซน์ที่ความถี่สูงหลายชุด แล้วนำเอาสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ้าเนตคลิ้นไซน์รวมกันเพื่อใช้เป็นสัญญาณอลวน ในสิทธิบัตร [33]เป็นการใช้สัญญาณกึ่งสุ่ม(pseudo random)ความถี่สูงผสมกับสัญญาณไซน์ที่ความถี่สูงเพื่อกำเนิดเป็นสัญญาณอลวนโดยในสิทธิบัตรแสดงเทคนิคการสร้างฟิลิฟลอบความเร็วสูงของวงจรถ้าเนตคลิ้นไซน์กึ่งสุ่ม สิทธิบัตร[34]ใช้เทคนิคเช่นเดียวกับ[31] แต่ทำการเปลี่ยนการป้อนกลับโดยใช่วงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรถองความถี่ผ่านเพื่อขับวงจรมันไม่เป็นเชิงเส้น

จากตัวอย่างสิทธิบัตรข้างต้นผู้วิจัยเห็นว่ายังมีแนวทางจดสิทธิบัตรโดยสร้างวงจรถองความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อซึ่งยังไม่มีผู้ใดอ้างสิทธิมาก่อน โดยการวิจัยทำการหาแบบสมการอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนแบบสองปีกเช่นสมการของ Lorenz หรือ Chen หรือแบบต่างๆที่มีผู้ค้นพบหลังปี ค.ศ. 2000 แล้วการแปลงวงจรถองความถี่สูงที่ใช้ในสมการให้เป็นวงจรถองความถี่สูงโดยใช้เทคนิคการคำนวณเชิงเลขเพื่อหาพารามิเตอร์ โดยการใช่วงจรถองความถี่สูงหรือวงจรถองความถี่สูง mixer นี้สามารถสร้างได้ที่ความถี่สูง

2.2 ทฤษฎีอลวน นิยาม

เคออสแอตแทรกเตอร์ (Chaotic attractor) หรือ แอทแทรกเตอร์แบบประหลาด (strange attractor) เป็นเส้นทางโคจร (trajectory) ที่มีขอบเขตอยู่ใน space ขนาด 3 มิติ โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ถ้าให้ A เป็นขนาดขอบเขตใน 3 มิติแล้ว ทุกๆ เส้นทางโคจรใน A จะอยู่ใน A ตลอดไป และถ้าค่าเริ่มต้นนอกขอบเขตของ A แล้วในเวลาต่อมาเส้นทางโคจรจะต้องอยู่ใน A เราเรียกคุณสมบัติแบบนี้ว่าคุณสมบัติดึงดูด (attractor) หรือเรียกว่า attractor ถ้า $A \subset \mathbb{R}^n$ และ U เป็นค่าใกล้เคียง นอกบริเวณ A แล้ว x จะเป็นเส้นทางโคจรของแอตแทรกเตอร์

$$\forall x \in U : \varphi(x, t) \in A \quad \text{for } t \geq 0$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \varphi(x, t) = A \quad (2.1)$$

2. เคออสติกแอตแทรกเตอร์ มีความไวขึ้นอยู่กับสถานะเริ่มต้น (Sensitive dependence on the initial conditions) ถ้าให้ x เป็นเส้นทางโคจรของแอตแทรกเตอร์และ s เป็นเซตที่แสดงว่าไวต่อค่าเริ่มต้นแล้ว

$$\exists \delta > 0 \quad \forall x(0) \in s, \quad \varepsilon > 0, \quad \exists y \in s : \\ |x(0) - y(0)| < \varepsilon, \quad |x(t) - y(t)| > \delta \quad (2.2)$$

3. เคออสติกแอตแทรกเตอร์ไม่สามารถแยกเป็นเซตย่อยได้ (Indecomposability) แม้แต่ให้ attractor ทางการเมืองเล็กน้อยดังนั้น attractor มีรายคาบยาวมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญที่แสดงว่าแอทแทรกเตอร์เป็นเคออส คือคุณสมบัติที่ไวต่อค่าเริ่มต้น ซึ่งเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นให้ต่างกันเพียงเล็กน้อย เส้นทางโคจรก็จะให้ลักษณะที่ต่างกันโดยสิ้นเชิงนั้น เราสามารถวัดค่าความไวนี้ได้โดย Lyapunov exponents ซึ่งแสดงเส้นทางโคจรของ x เมื่อ เวลา t ได้คือ

$$|x(t)| = |x(0)|e^{\lambda t} \quad (2.3)$$

โดย λ เป็นค่า Lyapunov เนื่องจากเคออสติกแอทแทรกเตอร์เกิดขึ้นในมิติขนาด 3 มิติ ดังนั้น เวกเตอร์ที่แสดงความไวต่อค่าเริ่มต้น ของสมการที่ (2.2) ค่า Lyapunov ของทิศทางของการเคลื่อนที่ใน 3 มิติ (x,y,z) จะต้องมี ค่าเป็น บวก 1 ค่าเพื่อแสดงทิศทางการแยกจากกัน(stretch) ของเส้นโคจรของแอทแทรกเตอร์ และเพื่อให้แอทแทรกเตอร์อยู่ในขอบเขตจะต้องมีค่า Lyapunov เป็นลบหนึ่งค่าเพื่อแสดงการพับเข้า(fold) และมีค่า Lyapunov เป็น 0 อยู่หนึ่งค่าเพื่อแสดงทิศทางของการไหลของแอทแทรกเตอร์ หรือกล่าวได้ว่า ค่า ถ้าแอทแทรกเตอร์เกิดขึ้นใน 3 มิติและเป็นเคออสแล้ว ถ้า λ_1 เป็น Lyapunov ที่มากที่สุด และ λ_3 เป็นค่า Lyapunov ที่น้อยที่สุดแล้วค่า Lyapunov ของระบบจะแสดงค่า $\lambda_1 > \lambda_2 = 0 > \lambda_3$ ซึ่งมีค่า $(+,0,-)$ โดยในระบบที่มีขอบเขตค่า $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 < 0$

2.3. การสร้างเคออสติกแอทแทรกเตอร์แบบต่างๆ

2.3.1 แอทแทรกเตอร์แบบ Lorenz

เป็นเคออสแอทแทรกเตอร์แรกที่ถูกค้นพบโดย E.N Lorenz [1] จากการสร้างแบบจำลองพยากรณ์อุตุนิยมวิทยาของการแปรผันของสภาวะอากาศ โดยแบบจำลองแสดงได้ โดยสมการอนุพันธ์ลำดับ 3 คือ

$$x' = -ax + ay \quad (2.4.1)$$

$$y' = rx - y - zy \quad (2.4.2)$$

$$z' = -bz + xy \quad (2.4.3)$$

จากสมการเป็นการแสดงการไหลของอากาศจากการนำความร้อน โดยอากาศร้อนจะไหลขึ้นที่สูง และอากาศเย็นจะตกสู่ระดับล่างเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก โดยการเคลื่อนที่ในลักษณะวงแหวน ตัวแปร x ขึ้นอยู่กับการนำความร้อน และตัวแปร y และ z จะเป็นการวัดการกระจายของความร้อนรอบๆ วงแหวนในงานวิจัย Lorenz ได้ให้ $a=10$, $b = 8/3$ และค่า r . กำหนดให้เป็นพารามิเตอร์ควบคุมโดยปรับให้มีขนาดต่างๆ

จากสมการ (2.4) หากจุดสมดุลของระบบโดย $x'=y'=z'=0$ จะได้ $y=x, z=r-1$ และ $x^2 = y^2 = b(r-1)$ ดังนั้นระบบจะมีจุดสมดุลอยู่ 3 จุดคือที่ $P^0 = (0,0,0)$ และ $P^\pm = (\pm\sqrt{b(r-1)}, \pm\sqrt{b(r-1)}, r-1)$ โดยจุดสมดุลที่ P^+ และ P^- จะเกิดขึ้นเมื่อค่า $r > 1$ จากสมการที่ (4) เพื่อหาคุณสมบัติของระบบ ทำการหาค่า Jacobian matrix ซึ่งแสดงได้

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial fx}{\partial x} & \frac{\partial fx}{\partial y} & \frac{\partial fx}{\partial z} \\ \frac{\partial fy}{\partial x} & \frac{\partial fy}{\partial y} & \frac{\partial fy}{\partial z} \\ \frac{\partial fz}{\partial x} & \frac{\partial fz}{\partial y} & \frac{\partial fz}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

โดยค่า Jacobian matrix ของสมการที่ (4) มีค่า

$$J = \begin{bmatrix} -\partial & \partial & 0 \\ r-z & -1 & -x \\ y & x & -b \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

สมการคุณสมบัตินี้ของระบบหาได้จาก $|J - \lambda I|$ โดยที่จุดสมดุล P^0 มีสมการคุณสมบัตินี้คือ

$$\lambda^3 + (a+b+1)\lambda^2 + (a-ar+ab+b)\lambda + ab(1-r) \quad (2.7)$$

และที่จุดสมดุล P^\pm มีสมการคุณสมบัตินี้คือ

$$\lambda^3 + (a+b+1)\lambda^2 + b(a+r)\lambda + 2ab(r-1) \quad (2.8)$$

ค่า eigen ซึ่งเป็นค่าแสดงพฤติกรรมของระบบหาได้จากให้ $|J - \lambda I| = 0$ ดังนั้นที่จุดสมดุล P^0 ในกรณี $r < 1$ ค่า eigen ทั้งหมด 3 ค่าจะเป็นค่าจริงและเป็นลบหรืออยู่ด้านซ้ายของระนาบ S (S Plane) และถ้าหาก $r > 1$ แล้วระบบจะมีค่า eigen 1 ค่าเป็นค่าจริงบวกอยู่ด้านขวาของระนาบ S โดยถ้าหากให้ index n แสดงจำนวนค่ารากอยู่ด้านขวาของระนาบ S แล้ว เมื่อ $r > 1$ ระบบจะมีค่า index = 1 และจุดที่นี้เส้นทางโคจรจะมีทั้งเคลื่อนที่เข้าและออก (Saddle point index 1) สำหรับที่จุดสมดุล P^\pm จะเกิดขึ้นเมื่อ $r > 1$ ดังนั้น ถ้าให้ $a_1 = (a+b+1)$, $a_2 = (a+r)b$, $a_3 = 2ab(r-1)$ แล้วจากเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz ระบบจะมีเสถียรภาพภายใต้เงื่อนไขเมื่อ $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, $a_3 > 0$ หรือ $a_1 a_2 - a_3 > 0$ ซึ่งเขียนได้

$$(a+b+1)(a+r)b - 2ab(r-1) > 0 \quad (2.9)$$

ดังนั้นที่จุดสมดุล P^\pm ระบบจะมีเสถียรภาพถ้า

$$r < \frac{a(a+b+3)}{a-b-1} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในทางตรงกันข้ามถ้าให้ $a=10$, $b=8/3$ และถ้าให้ $r > \frac{470}{19}$ ซึ่งทำให้ระบบไม่มี

เสถียรภาพที่จุดสมดุล P^\pm จะมีค่ารากเป็นบวก 1 ค่าอยู่ทางด้านซ้ายของระนาบ S และมีรากเป็น $\sigma \pm j\omega$ 1 คู่อยู่ด้านขวามือของระนาบ S ซึ่งที่จุดสมดุล P^\pm นี้ เส้นโคจรจะแสดงการไหลเข้าและหมุนออกหรือเรียกว่า eigen มีลักษณะเป็น Spiral saddle index 2 ดังนั้นจากจุดสมดุลถ้าที่ P^0 แทนการไหลเข้าและไหลออกและที่จุด P^\pm แทนการไหลเข้าและหมุนออกแล้ว หลังจากค่าเริ่มต้นเส้นทางโคจรไม่สามารถออกจากแอทแทรกเตอร์ได้ ดังนั้นเมื่อแอทแทรกเตอร์ไหลออกจากจุดสมดุล P^0 แล้วจะไหลเข้าสู่สมดุล P^+ หรือ P^- และที่สองจุดนี้จะแทนจุดหมุนออกซึ่งอาจจะหมุนรอบจุดสมดุลนี้หรือไหลกลับเข้าสู่จุดสมดุล P^0 ซึ่งพฤติกรรมนี้จะเกิดการไหลวนในลักษณะหลากหลายหรือแสดงสภาวะเคออส (Chaotic attractor) และเพื่อแสดงว่าระบบ Lorenz เป็นระบบที่มีขอบเขตค่า divergence ของการไหลของแอทแทรกเตอร์ต้องอยู่ในเงื่อนไข

$$\nabla F = \frac{\partial Fx}{\partial x} + \frac{\partial Fy}{\partial y} + \frac{\partial Fz}{\partial z} < 0 \quad (2.11)$$

และสำหรับค่า Lyapunov ของระบบ Lorenz มีค่า $\lambda_1 = 0.9, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -14.57$

2.3.2 การสร้างแอทแทรกเตอร์แบบปรับได้

จากแอทแทรกเตอร์ของ Lorenz เมื่อสังเกตค่า x, y แล้วมีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นในบริบทนี้จึงเสนอรูปแบบแอทแทรกเตอร์ใหม่โดยประมาณ $xy \approx |x|$ และตัดเทอม y ออกจากสมการ y' ซึ่งแสดงระบบใหม่ได้

$$x' = -ax + ay \quad (2.12.1)$$

$$y' = rx - kz \quad (2.12.2)$$

$$z' = -bz + k|x| \quad (2.12.3)$$

โดยค่า k เป็นค่าคงที่เพื่อใช้ scale ขนาดของแอทแทรกเตอร์ จากสมการ (2.12) ระบบมีจุดสมดุลที่ $P^0 = (0,0,0)$, $P^\pm = (\pm \frac{br}{k^2}, \pm \frac{br}{k^2}, \frac{r}{k})$ และค่า Jacobian matrix ของสมการ (2.12) แสดงได้

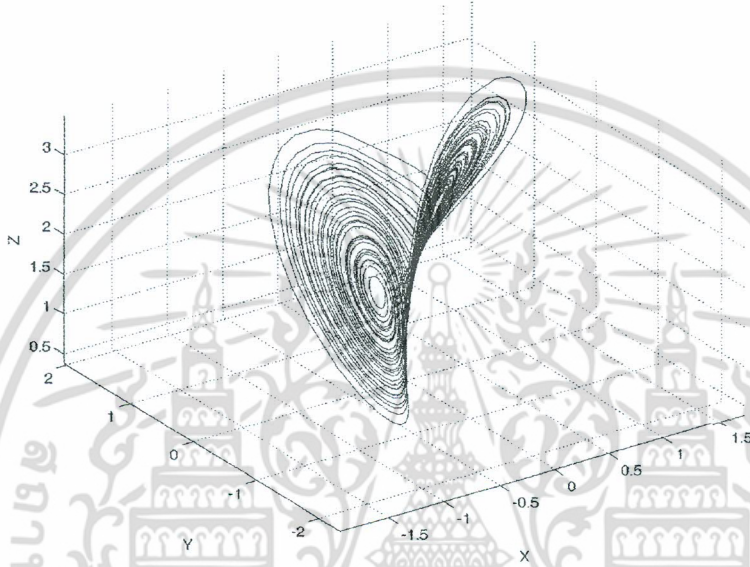
$$J = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ -kz+r & 0 & -kx \\ k \operatorname{sgn}(x) & 0 & -b \end{bmatrix}$$

ซึ่งค่าของสมการคุณลักษณะหาได้จาก $|J - \lambda I|$ มีค่า

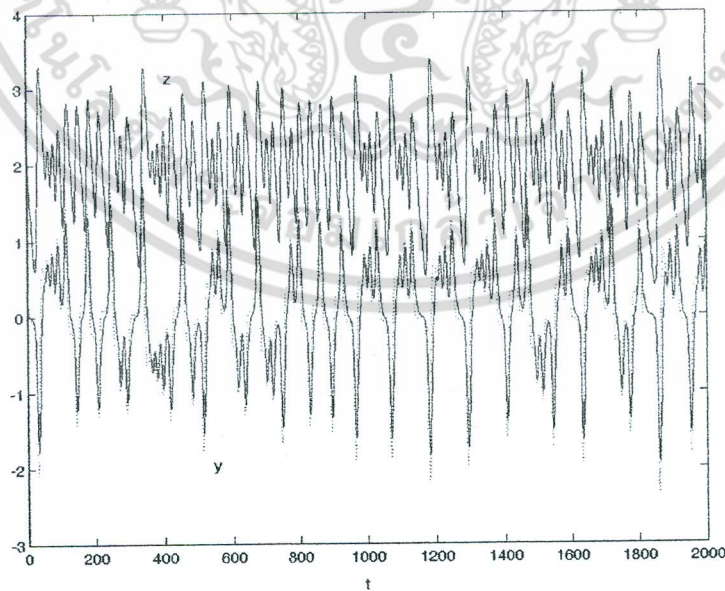
$$\lambda^3 + (a+b)\lambda^2 + (ab - ar + kaz) + k^2 a|x| - k^2 a|x| - arb + kabz \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz เลือกให้ที่จุดสมดุล P^0 เป็น saddle point index 1 และให้จุดสมดุล P^\pm เป็น spiral index 2 และทำการหาค่า Lyapunov เพื่อให้ $\lambda_1 = +, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -$ แล้ว ที่พารามิเตอร์ $a = 10, r = 20, b = 3$ และ $k = 10$ ระบบจะแสดงลักษณะแอทแทรกเตอร์เป็น Lorenz และโดยมีค่า Lyapunov ของระบบเท่ากับ $\lambda_1 = 0.704, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -13.7$ และที่พารามิเตอร์ขนาดเดียวกันแต่ปรับค่า $r = 50$ ระบบแสดงลักษณะแอทแทรกเตอร์แบบ Chen โดยมีค่า Lyapunov เท่ากับ $\lambda_1 = 1.84, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -14.83$

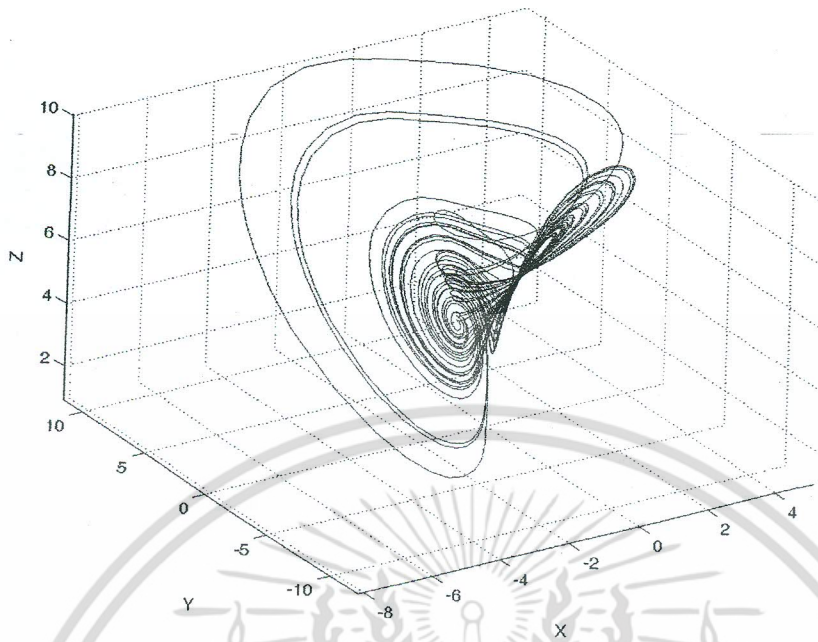


รูปที่ 2.1 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Lorenz

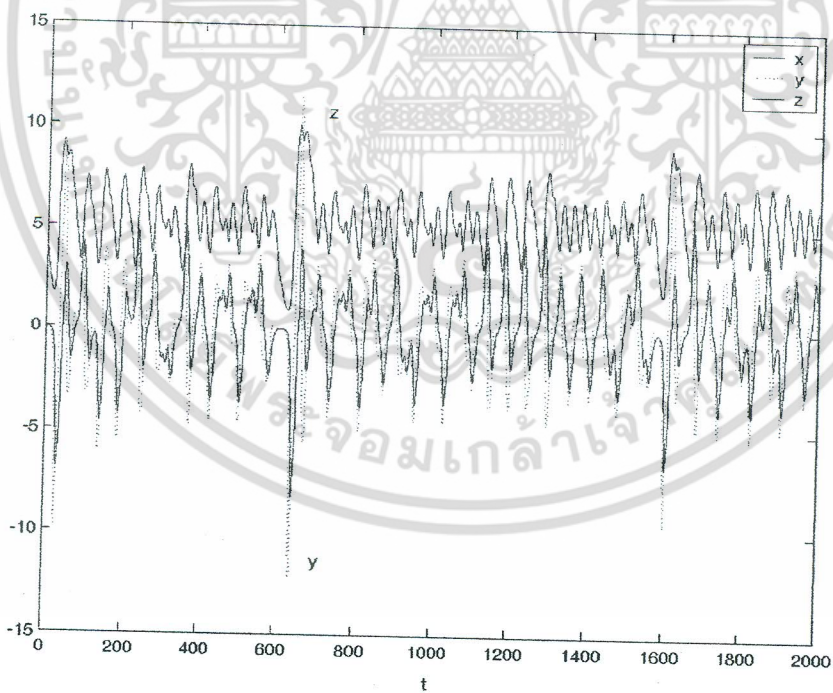


รูปที่ 2.2 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Lorenz ในแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Chen



รูปที่ 2.4 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Chen ในแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การสร้างแอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย

จากสมการของ Lorenz ถ้าเราลดรูปตัวแปรเชิงเส้นให้เหลือน้อยที่สุดหรือแสดงได้

$$x' = -x + y \quad (2.14.1)$$

$$y' = -xz \quad (2.14.2)$$

$$z' = xy - 1 \quad (2.14.3)$$

โดยค่าคงที่ ที่เพิ่มให้สมการ 6 ทำให้ระบบมีจุดสมดุล 2 จุด ที่ $P^\pm = (\pm 1, \pm 1, 0)$ โดยระบบมีค่า Jacobian matrix คือ

$$J = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -z & 0 & -x \\ y & x & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

โดยค่า eigen ที่จุดสมดุลหาได้จาก $|J - \lambda I|$ มีค่าเท่ากับ $\lambda^3 + \lambda^2 + \lambda + 2$ ดังนั้นที่จุดสมดุล P^\pm ระบบจะมีรากเป็น spiral saddle index 2 และจากสมการ (6) เป็นระบบ dissipative เมื่อทำการหาค่า Lyapunov ของระบบแล้วจะได้ $\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -1.2$ ดังนั้นระบบจึงแสดงลักษณะเคออสติกแอทแทรกเตอร์ โดยมีเส้นทางโคจรสมมาตรกันบนแกน z เราสามารถหาคู่สมการที่ (6) ได้คือ

$$x' = -x - y \quad (2.16.1)$$

$$y' = -xz \quad (2.16.2)$$

$$z' = xy + 1 \quad (2.16.3)$$

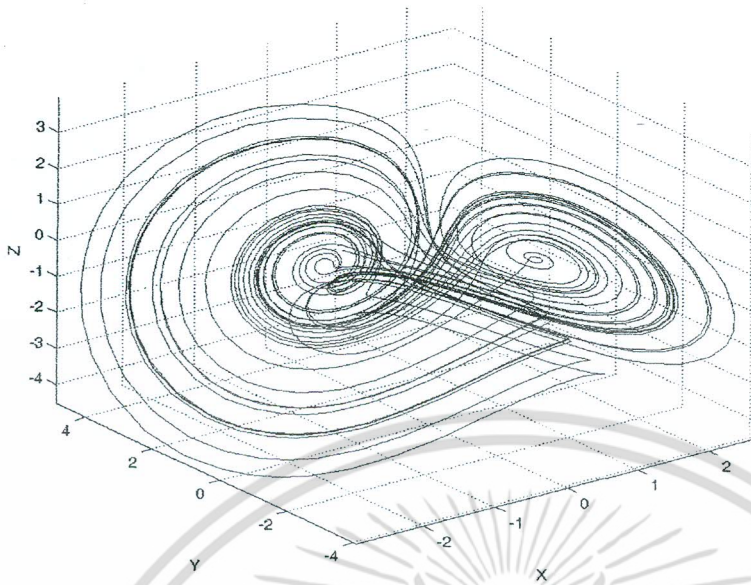
โดยระบบของสมการที่ (14) จะมีจุดสมดุลอยู่ที่ $(\pm 1, \mp 1, 0)$ และมีค่า eigen และ Lyapunov เช่นเดียวกันกับระบบของสมการที่ (16) ดังนั้นจากสมการที่ (14) และ (16) เราสามารถสร้างเคออสติกแอทแทรกเตอร์ขนาด 4 ปีกได้โดยใช้สวิทช์ควบคุมขั้วของตัวแปร y และค่าคงที่ได้ โดยแสดงดังสมการ

$$x' \pm = -x \pm y \quad (2.17.1)$$

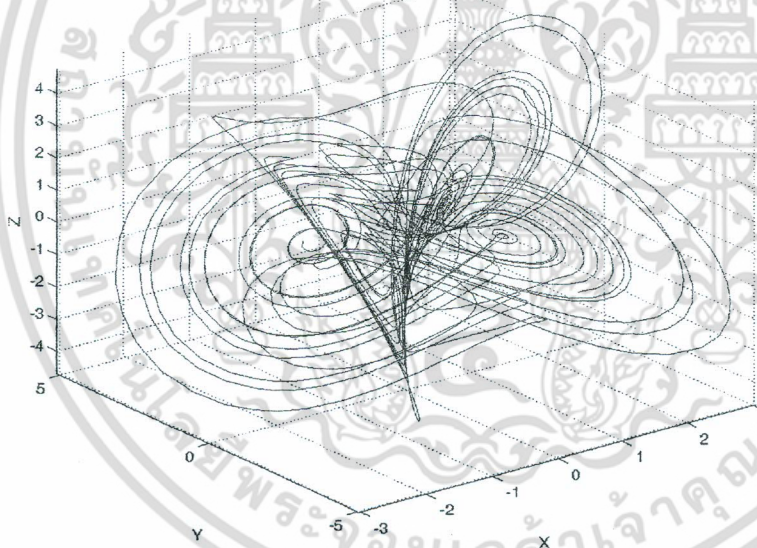
$$y' = -xz \quad (2.17.2)$$

$$z' \pm = xy \mp 1 \quad (2.17.3)$$

โดย $x \pm, z \pm$ แสดงถึงการระบบสามารถเลือกได้ 2 ระบบด้วยการใช้อิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ จากระบบเราสามารถสร้างแอทแทรกเตอร์ 4 ปีกแบบสมมาตรโดยการเลือกใช้ความถี่ในการสวิทช์มีค่าเท่ากับ $1/10$ เท่าของค่าคงที่ทางเวลาของการอินทิเกรตในระบบ

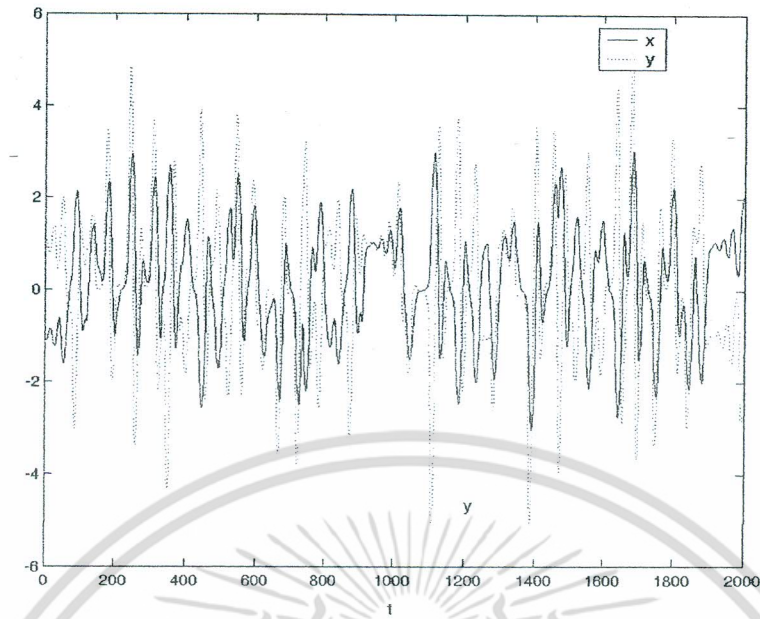


รูปที่ 2.5 แอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 2 ปีกของสมการที่ (2.17)

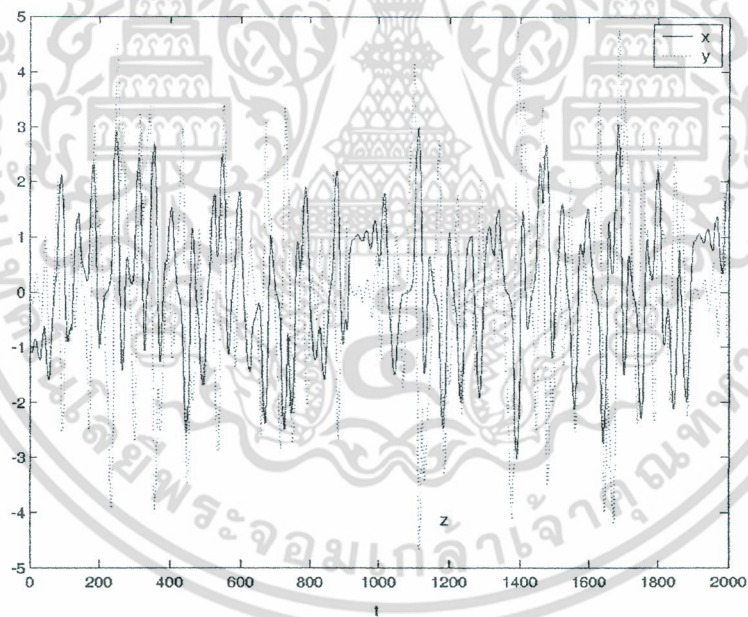


รูปที่ 2.6 แอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 4 ปีกในแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ค่า x, y ของแอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 4 ปีในแกนเวลา



รูปที่ 2.8 ค่า x, z ของแอทแทรกเตอร์ปีกผีเสื้อแบบง่าย 4 ปีในแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ระบบที่ออกแบบ

จากสมมุติฐานของงานวิจัยที่เริ่มต้นทำการหารูปแบบสมการอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนแบบสองปีกเช่นสมการของ Lorenz หรือ Chen หรือแบบต่างๆที่มีผู้ค้นพบหลังปี ค.ศ. 2000 แล้วการแปลงวงจรมอดแบบเชิงเส้นที่ใช้ในสมการให้เป็นวงจรมอดแบบสวิตช์โดยใช้เทคนิคการคำนวณเชิงเลขเพื่อหาพารามิเตอร์ โดยการใช้วงจรมอดแบบสวิตช์หรือวงจรมixer นี้สามารถสร้างได้ที่มีความถี่สูง

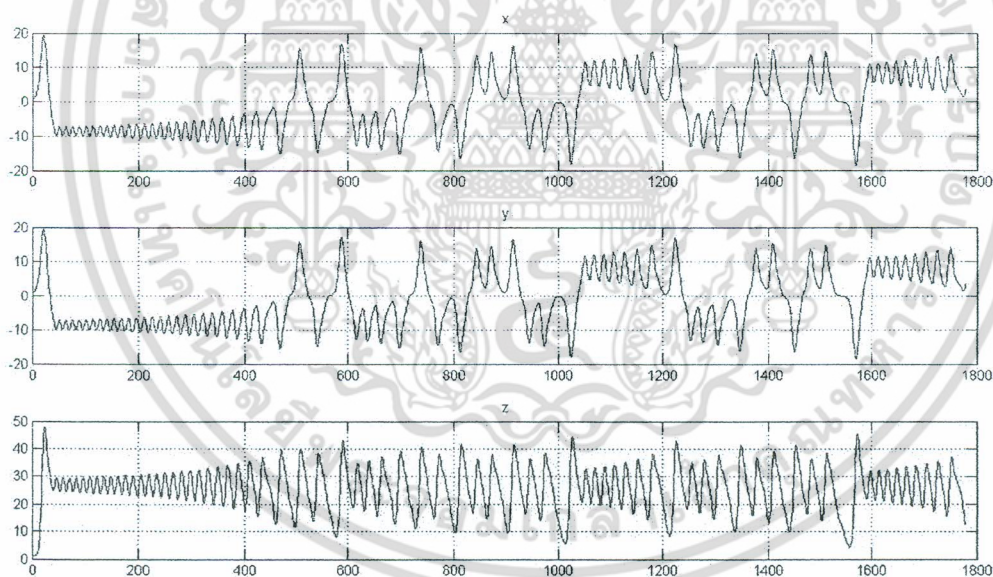
ดังนั้นในบทนี้จะแสดงถึงการออกแบบวงจรมอดการสร้างวงจรมอดความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อโดยเริ่มต้นจากการสังเกตพฤติกรรมของ Lorenz โดยแบบจำลองแสดงได้ โดยสมการอนุพันธ์ลำดับ 3 คือ

$$x' = -ax + ay \quad (3.1.1)$$

$$y' = (b-z)x - y \quad (3.1.2)$$

$$z' = -cz + xy \quad (3.1.3)$$

จากสมการถ้า $a = 10, b = 28, c = 8/3$ แสดงสัญญาณทั้งแกน x, y, z ในโดเมนของเวลาได้



รูปที่ 3.1 สัญญาณในแกน x, y, z ของ Lorenz attractor

จากสัญญาณรูปสัญญาณ x คล้ายกับสัญญาณ y โดยมีความสมมาตรในแกน z โดย z มีค่าเป็นบวกเสมอข้อสังเกตถ้าหากสัญญาณแกน z มีขนาดเกินค่า b แล้วสัญญาณ x และสัญญาณ y จะเปลี่ยนจากแรงดันบวกไปลบหรือลบไปบวกหรือค่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนของการเปลี่ยน $\pm \leftrightarrow \mp$ มีขนาด $b = 28$ ดังนั้นเทอม $(b-z)x$ แปลงได้เป็น $k(b-z)$ โดย b เป็นฟังก์ชันสวิตช์หรือตัวคูณแบบสวิตช์ รูปสัญญาณ x คล้ายกับสัญญาณ y หรือ $x \approx y$ ดังนั้นผลคูณ xy ใน $z' = -cz + xy$ สามารถประมาณได้เป็น $|x|$ ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนเทอม xz เป็นฟังก์ชันสวิชต์และ xy เป็นเทอม $|x|$ ที่สามารถใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทำให้ หลีกเลี่ยงการใช้วงจรคูณที่สร้างได้ยากที่ความถี่สูง

3.1 แอทแทรกเตอร์ที่ปรับปรุงใหม่

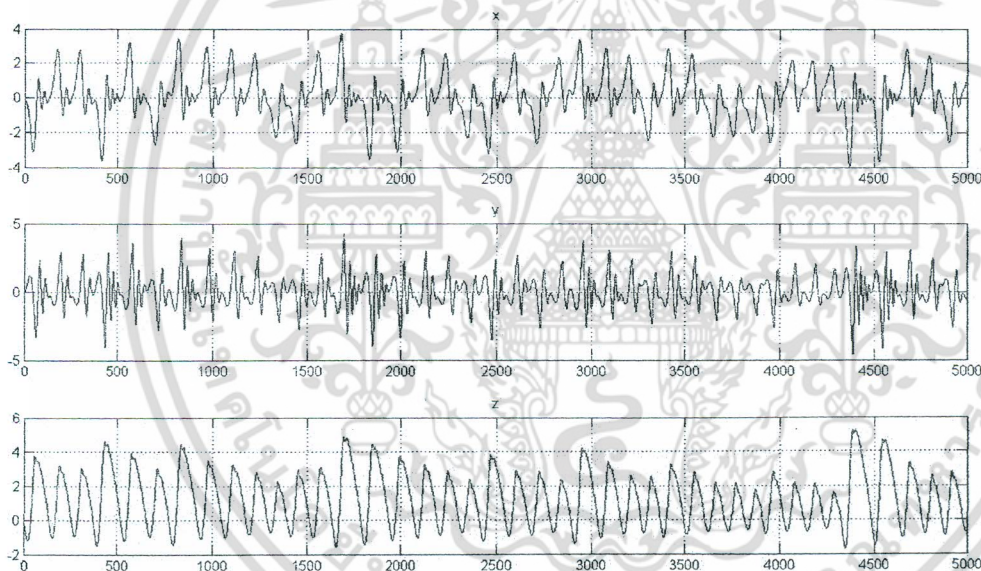
สมการอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีพฤติกรรมเป็นออสซิลเลชันแบบปิกมีเสถียรที่สามารถออกแบบวงจรให้ทำงานที่ ความถี่สูงโดยใช้ตัวคูณแบบสวิชต์แสดงสมการได้คือ

$$x' = y \quad (3.2.1)$$

$$y' = kz - ay \quad (3.2.2)$$

$$z' = \text{abs}(x) - b \quad (3.2.3)$$

ค่า $a = 0.7$ $b = 1$ โดย k เป็นตัวคูณแบบสวิชต์ $k = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$ แสดงรูปแบบสัญญาณที่แกน x, y, z ได้



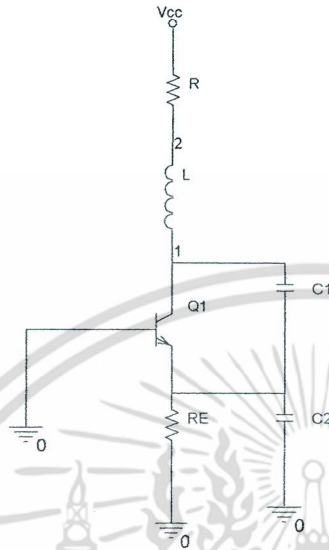
รูปที่ 3.2 สัญญาณในแกน x, y, z ของแอทแทรกเตอร์ที่ปรับปรุงขึ้น

จากรูปแสดงสัญญาณที่ลักษณะมีความสมมาตรในแกน z และสังเกตว่าสัญญาณ x, y มีลักษณะคล้ายกัน เช่นเดียวกับระบบ Lorenz แต่สัญญาณ x, y ไม่ได้แสดงการเพิ่มขนาดแบบ e^{at} เช่นเดียวกับระบบ Lorenz แต่มีลักษณะที่คล้ายกับสัญญาณออสซิลเลชันจาก วงจร Colpitt ที่สามารถสร้างที่ความถี่สูงได้ง่าย โดยการสร้างเป็น สองปีกกระทำได้โดยใช้สัญญาณกึ่งสุ่มทำการสวิชต์ให้เป็นสองระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt

วงจรงกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt เป็นวงจรงกำเนิดสัญญาณความถี่สูงที่สามารถให้รูปแบบสัญญาณออสซิลเลชันขนาด 1 สกอร์ได้โดยขึ้นอยู่กับค่าการไบอัสของกระแส โดยแสดงวงจรงได้ดังรูป



รูปที่ 3.3 วงจรงกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt

จากวงจรงมีเงื่อนไขดังนี้

1. กระแสไบอัสที่อิมิตเตอร์เท่ากับ I_0

2. ที่ขาอิมิตเตอร์และขาเบสทรานซิสเตอร์ถูกโมเดลเป็นความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น R_{BE} ควบคุมด้วยกระแสโดยแสดงความสัมพันธ์ลักษณะ $V-I$ ของ R_{BE} ได้คือ

$$I_E = I_S \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

โดย I_S กระแสอิ่มตัวย้อนกลับและถ้าหาก $V_T = 26\text{mV}$ และ $V_{BE} > V_T$ แล้วประมาณ (3.3) ได้คือได้คือ

$$I_E \approx I_S \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \right] \quad (3.4)$$

เขียนสมการสเตตได้ดังนี้

$$\frac{C_1 dv_{C1}}{dt} = -f(v_{C2}) + I_L \quad (3.5.1)$$

$$\frac{C_1 dv_{C2}}{dt} = I_L + I_0 \quad (3.5.2)$$

$$\frac{L di_L}{dt} = -V_{C1} - V_{C2} - RI_L + V_{CC} \quad (3.5.3)$$

โดย $f(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันขับของความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นที่สามารถเขียนได้ในเทอมของ $I_E = f(v_{C2}) = f(V_{BE})$ จากสมการ (3.4) แสดงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(v_{C2}) = I_S \left[\exp \left(-\frac{v_{C2}}{V_T} \right) \right] \quad (3.6)$$

ในกรณีเป็นสมการแบบไม่มีขนาดของกระแสหรือแรงดันแรงสแตตด้วย x_1, x_2, x_3 ความถี่ของวงจรมีขนาด

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)}} \quad (3.7)$$

เขียนสมการสแตตได้

$$\frac{dx_1}{dt} = -a \exp(-x_2) + ax_3 + a \quad (3.8.1)$$

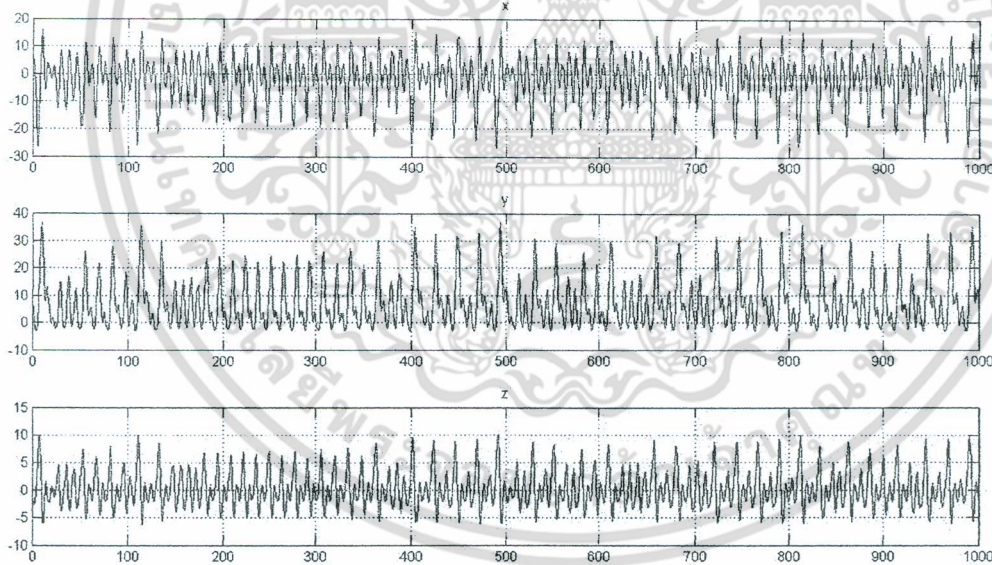
$$\frac{dx_2}{dt} = bx_3 \quad (3.8.2)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = -cx_1 - cx_2 - dx_3 \quad (3.8.3)$$

โดย $a = \frac{g}{Q(1-k)}$, $b = \frac{g}{Qk}$, $c = \frac{Q(1-k)}{g}$, $d = \frac{1}{Q}$, $k = \frac{C_2}{C_1 + C_2}$, $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$

ค่า $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$ เป็นค่า quality factor ของวงจร

ค่า g เป็นค่า open loop gain ของวงจร

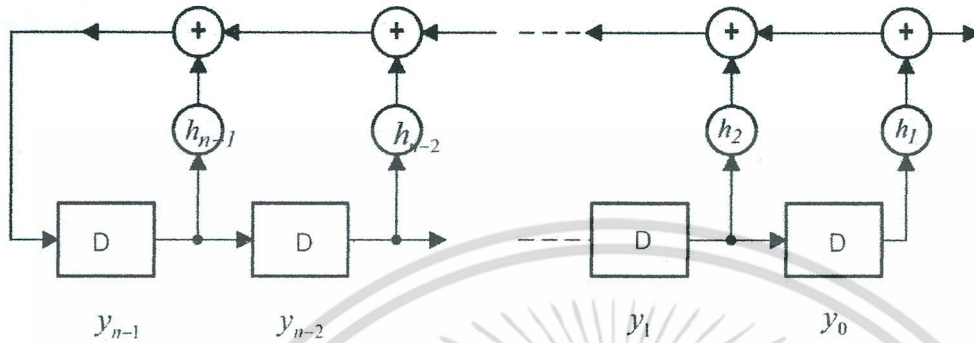


รูปที่ 3.4 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt โดยสมการ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างซีควีนกึ่งสุ่ม

สัญญาณซีควีนกึ่งสุ่มสามารถสร้างได้จากวงจรที่ประกอบด้วยชิฟท์รีจิสเตอร์และเอ็กคูลูซีฟอเกตหรือเรียกว่าวงจรชิฟท์รีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้น (Linear Feedback Shift Register) โดยโครงสร้างวงจรแสดงได้ดังรูป ซึ่งวงจรแบบนี้เป็นการป้อนกลับจากภายนอกหรือแบบวงจรแบบ Fibonacci-LFSR



รูปที่ 3.5 วงจรชิฟท์รีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้น

จากรูปถ้าให้ค่าให้แต่ละรีจิสเตอร์บรรจุค่าไบนารี y จากวงจรเป็นการป้อนกลับจาก y_0 ไป y_{n-1} โดยผ่านค่าสัมประสิทธิ์ h ถ้าหากมีค่าเท่ากับ 0 แล้วส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเอาต์พุตของชิฟท์รีจิสเตอร์แต่ละตัวกับเอ็กคูลูซีฟอเกตจะเปิดออก แต่ถ้าหาก h มีค่าเท่ากับ 1 แล้วจะเป็นการต่อวงจรเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกเข้ามาในระบบแล้วสแตตของค่ารีจิสเตอร์ในเวลาต่อไปเขียนได้

$$\begin{aligned}
 y_0(t+1) &= y_1(t) \\
 y_1(t+1) &= y_2(t) \\
 &\dots \\
 y_{n-2}(t+1) &= y_{n-1}(t) \\
 y_{n-1}(t+1) &= 1 + h_1 y_1(t) + h_2 y_2(t) \dots + h_{n-1} y_{n-1}(t)
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

โดยการทำงานทั้งหมดภายใต้โหมดูลสอง สามารถเขียนสมการในรูปของเมตริกซ์คือ $Y_{t+1} = T Y_t$ โดย T เป็นเมตริกซ์เปลี่ยนสถานะ(transition matrix)

$$\begin{bmatrix} y_0(t+1) \\ y_1(t+1) \\ \dots \\ y_{n-2}(t+1) \\ y_{n-1}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & h_1 & h_2 & \dots & h_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \dots \\ y_{n-2}(t+1) \\ y_{n-1}(t+1) \end{bmatrix}
 \tag{3.10}$$

จากสมการสามารถหาค่าสมการคุณลักษณะ $f(x) = \det(T - Ix)$ ภายใต้โหมดูล 2 ได้คือ

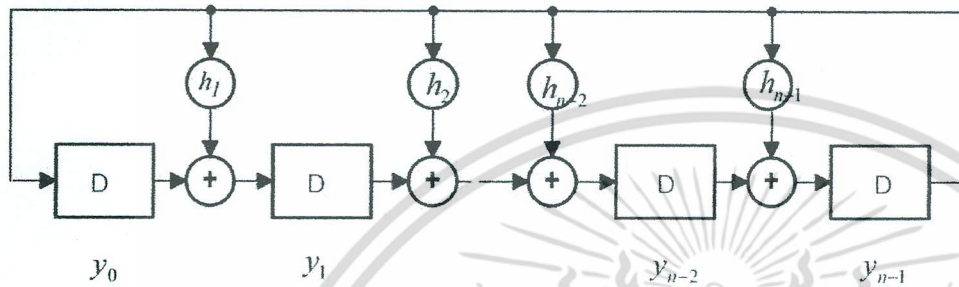
$$f(x) = \begin{vmatrix} x & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & x & \dots & 1 \\ 1 & h_1 & h_2 & \dots & h_{n-1} + x \end{vmatrix}
 \tag{3.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = 1 + h_1x + h_2x^2 + \dots + h_{n-1}x^{n-1} + x^n \quad (3.12)$$

โดย n เป็นขนาดลำดับของพหุนามมีขนาดเท่ากับจำนวนของรีจิสเตอร์จากสมการที่ (3.12) เราเรียกพหุนามลำดับ n นี้ว่าพหุนามคุณสมบัติ (characteristic polynomial) โดยวงจรจะให้กำเนิดสัญญาณซีเควริงแรมดัมที่ให้ขนาดของซีเควริงสูงสุดเมื่อเป็นพหุนามปฐมฐาน

สำหรับซีพรีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้นแบบป้อนกลับแบบภายในหรือแบบ Golois-LFSR แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.6 ซีพรีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้นแบบป้อนกลับแบบภายใน

จากรูปเมื่อรีจิสเตอร์บรรจุค่าไบนารี y เมื่อมีสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกเข้ามาในระบบแล้วสามารถเขียนสมการในรูปเมตริกซ์เปลี่ยนสถานะ (transition matrix)

$$\begin{bmatrix} y_0(t+1) \\ y_1(t+1) \\ y_2(t+1) \\ \vdots \\ y_{n-2}(t+1) \\ y_{n-1}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & h_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & h_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_{n-2} \\ 0 & h_1 & h_2 & \dots & h_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ \vdots \\ y_{n-2}(t) \\ y_{n-1}(t) \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

โดยสมการ (3.13) มีค่าสมการคุณลักษณะและสมการพหุนามเช่นเดียวกับ (3.11) แสดงการสร้างวงจรซีพรีจิสเตอร์ป้อนกลับแบบเชิงเส้นแบบ Golois ขนาดลำดับ 4 จาก (3.11) ขนาดจำนวนฟลิปฟล็อปที่ใช้มีจำนวน 4 ตัวแสดงสมการสเตตของวงจรได้

$$\begin{aligned} y_0(t+1) &= y_1(t) \\ y_1(t+1) &= y_2(t) \\ y_2(t+1) &= y_3(t) \\ y_3(t+1) &= 1 + h_1y_1(t) + h_2y_2(t) + h_3y_3(t) \end{aligned}$$

เมื่อ $h = \{0,1\}$ จาก (3.11) ค่าสมการคุณลักษณะภายในมอดูโล 2 คือ

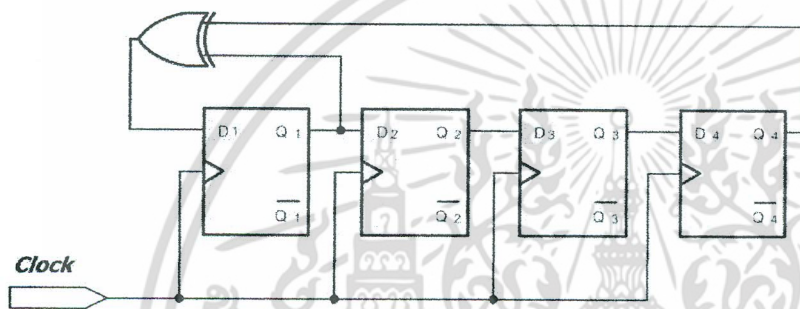
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\det(T - Ix) = \begin{vmatrix} x & 1 & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 1 \\ 1 & h_1 & h_2 & h_3 + x \end{vmatrix}$$

$$= x \begin{vmatrix} x & 1 & 0 \\ 0 & x & 1 \\ h_1 & h_2 & h_3 + x \end{vmatrix} + 1 \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1 \\ 1 & h_2 & h_3 + x \end{vmatrix}$$

$$= 1 + h_1x + h_2x^2 + h_2x^3 + x^4$$

จากผลเฉลยของสมการคุณลักษณะซึ่งแสดงเป็นสมการพหุนามอันดับ 4 นั้นค่าพหุนามที่สามารถกำเนิดค่าซีควนสูงสุดต้องเป็นพหุนามแบบปฏุมภูมิในซึ่งในที่นี้คือ $1 + x + x^4$ และ $1 + x^3 + x^4$



รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณกึ่งสุ่มที่สร้างจากพหุนาม $1 + x + x^4$

การกำเนิดสัญญาณกึ่งสุ่มจากพหุนาม $1 + x + x^4$ โดยแสดงวงจรได้ดังรูปที่ 3.7 จากวงจรซีฟิรียิสเตอร์ใช้ D ฟลิปฟลอปมีจำนวนเท่ากับลำดับของพหุนามคือ 4 ตัว อินพุตของวงจรได้จากการป้อนกลับของการ เอ็กคูลซีฟอกันระหว่าง Q_1 และ Q_4 ถ้าให้ค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ทุกตัวเท่ากับ 1 แล้วแสดงค่าเอาต์พุตของ ฟลิปฟลอปแต่ละตัวต่อเวลาต่าง ๆ ได้ในตาราง

เวลา	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
t_0	1	1	1	1
t_1	0	1	1	1
t_2	1	0	1	1
t_3	0	1	0	1
t_4	1	0	1	0
t_5	1	1	0	1
t_6	0	1	1	0
t_7	0	0	1	1
t_8	1	0	0	1
t_9	0	1	0	0
t_{10}	0	0	1	0
t_{11}	0	0	0	1
t_{12}	1	0	0	0
t_{13}	1	1	0	0
t_{14}	1	1	1	0

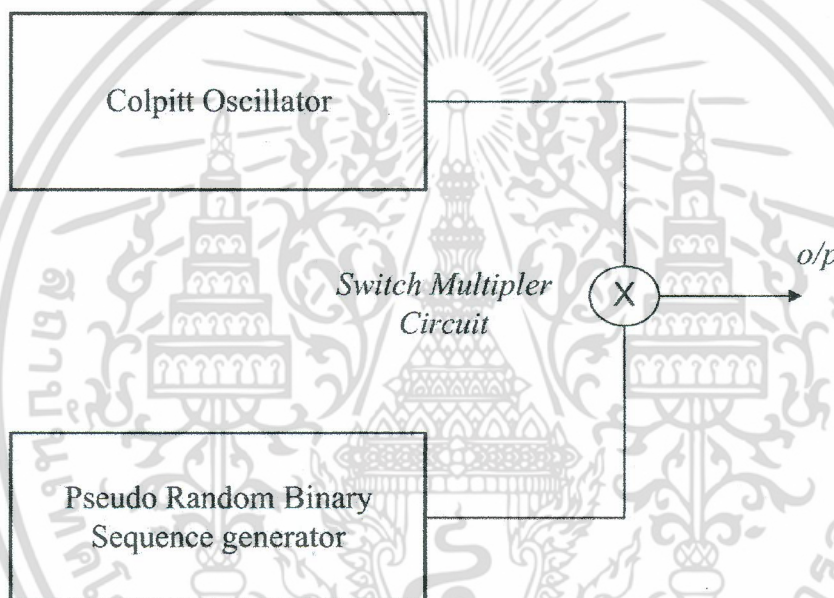
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t_{15}	1	1	1	1
t_{16}	0	1	1	1

ถ้าหากนำเอาต์พุต Q_4 ไปใช้งานค่าซีคอนเอาต์พุตที่เวลา t_0-t_{14} คือ 1111 0101 1001 000 และเมื่อเวลา $t_{15}-t_{31}$ ซีคอนจะมีรูปแบบเช่นเดียวกับเวลา t_0-t_{14} หรือมีการซ้ำรูปแบบทุก ๆ 15 บิต สำหรับขนาด ซีคอนสูงสุดของวงจรถ่ายสัญญาณกึ่งแรนดัมที่ออกแบบจากพหุนามปฐมฐานลำดับ n จะมีขนาด 2^{n-1} โดย จำนวนบิต '1' ในซีคอนเท่ากับ $2^{n-1}/2$ และจำนวนบิต '0' เท่ากับ $2^{n-1}-1/2$ หรือถ้าหาก n มีลำดับสูง ๆ แล้วจะถือได้ว่าการเกิดของบิต '0' จะเท่ากับการเกิดบิต '1' หรือมีคุณสมบัติสมมาตร

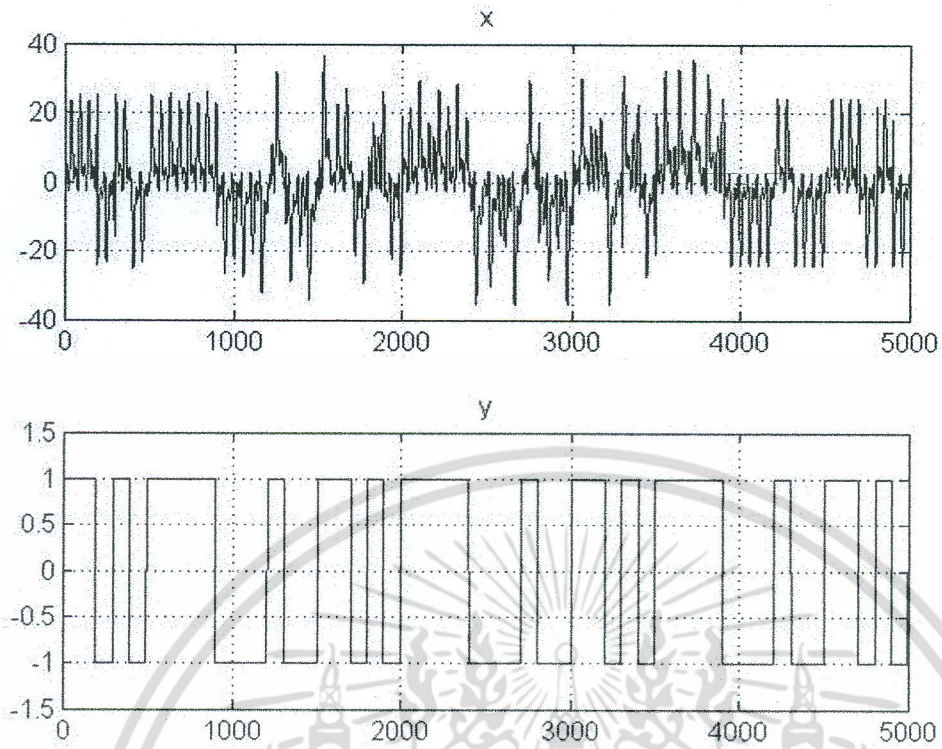
3.4 การสร้างสัญญาณอลวนแบบปิกพีลื้อที่ความถี่สูง

การสร้างสัญญาณอลวนจาก วงจร Colpitt ให้เป็นสองปีกกระทำได้ โดยการใช้สัญญาณกึ่งสุ่มทำการสวิทช์ให้เป็นสองระดับแสดงได้โดยบล็อกไดอะแกรมโดยการคูณเป็นการคูณแบบสวิทช์



รูปที่ 3.8 การสร้างสัญญาณอลวนแบบปิกพีลื้อที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองการสร้างสัญญาณอลวนแบบปีกผีเสื้อที่มีความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงการวางจรรยาบรรณสัญญาณอลวนที่ความถี่สูงแบบสองปีกเพื่อจัดสิทธิบัตรสำหรับใช้เป็นวงจรรวมสัญญาณหรือวงจรรสร้างค่าสุ่ม การทำงานออกแบบเป็นแบบ autonomous อันดับ 3 autonomous อันดับ 2 วงจรสามารถกำเนิดสัญญาณโดยขึ้นอยู่กับขนาดของขอบจำกัดของอุปกรณ์ที่ซึ่งโครงสร้างทำงานได้ในระดับความถี่ GHz

5.2 ข้อเสนอแนะ

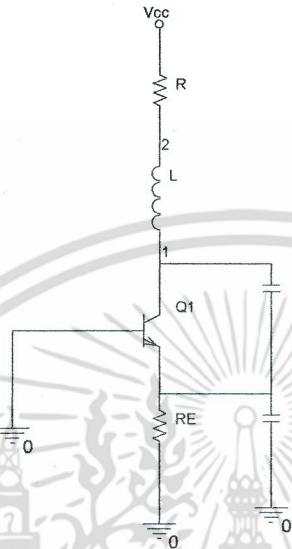
สำหรับการสร้างในโอกาสต่อไปอาจจะพัฒนาในวงจรรทำงานที่ความถี่สูงที่มีแบบหลายปีกเพื่อความซับซ้อนของสเปคตัม หรือออกแบบอยู่ในรูปแบบเชิงวงจรรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

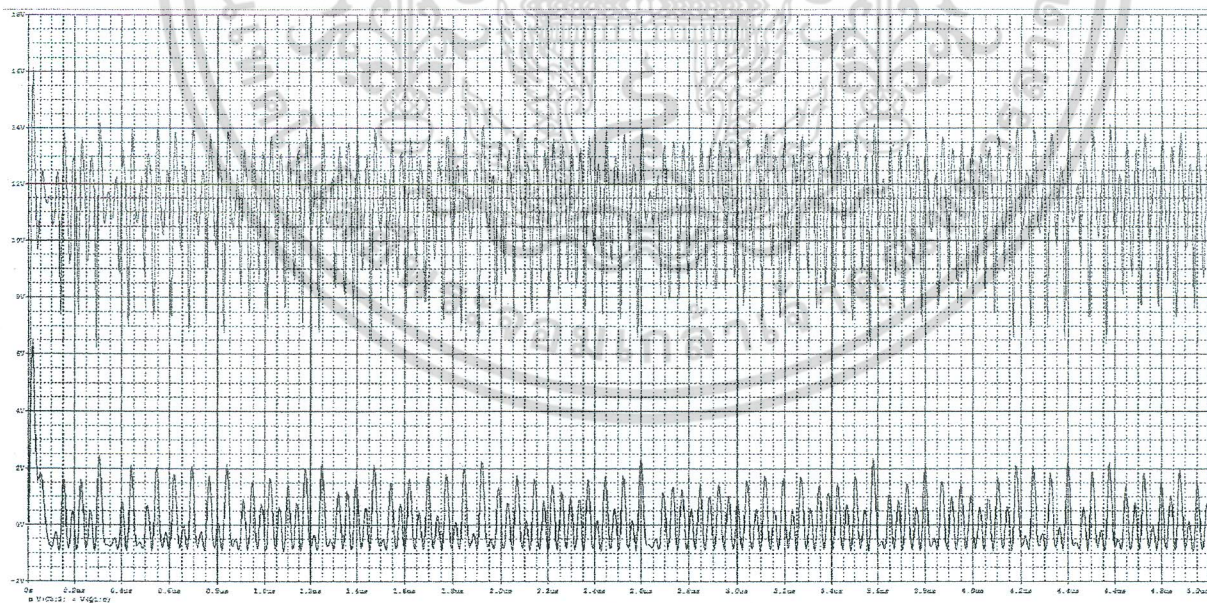
บทที่ 4 ผลการจำลองวงจร

วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt ในทางปฏิบัติทดลองสำหรับกำเนิดความถี่ย่าน HF โดยใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3866



รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt ในทางปฏิบัติ

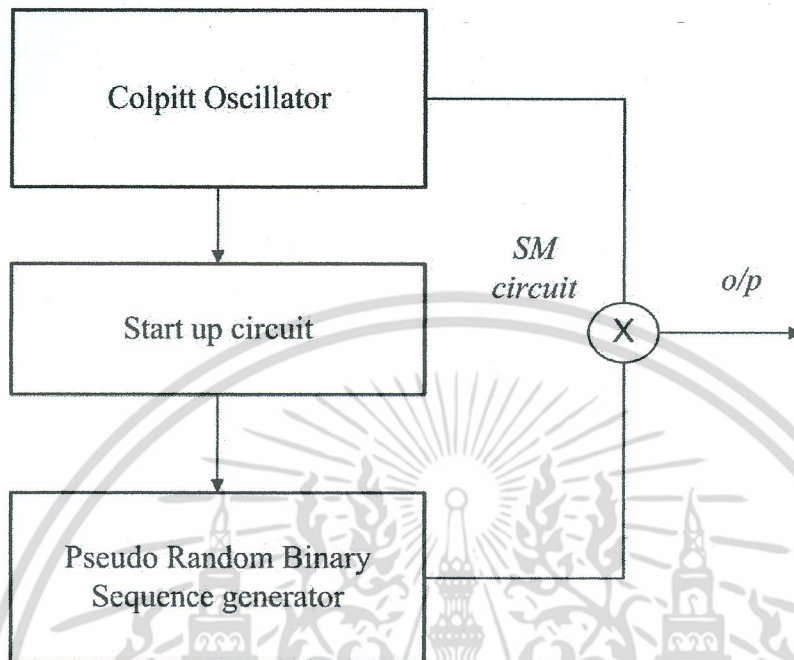
โดยมีแรงดัน $V_{cc} = 24V$, $C_1 = C_2 = 120PF$, $L = 0.5uH$, $R = 50\Omega$, $RE = 820\Omega$
แสดงผลการจำลองสัญญาณที่ V_{c1} , V_{c2} ได้



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองวงจรกำเนิดสัญญาณแบบ Colpitt ในทางปฏิบัติ

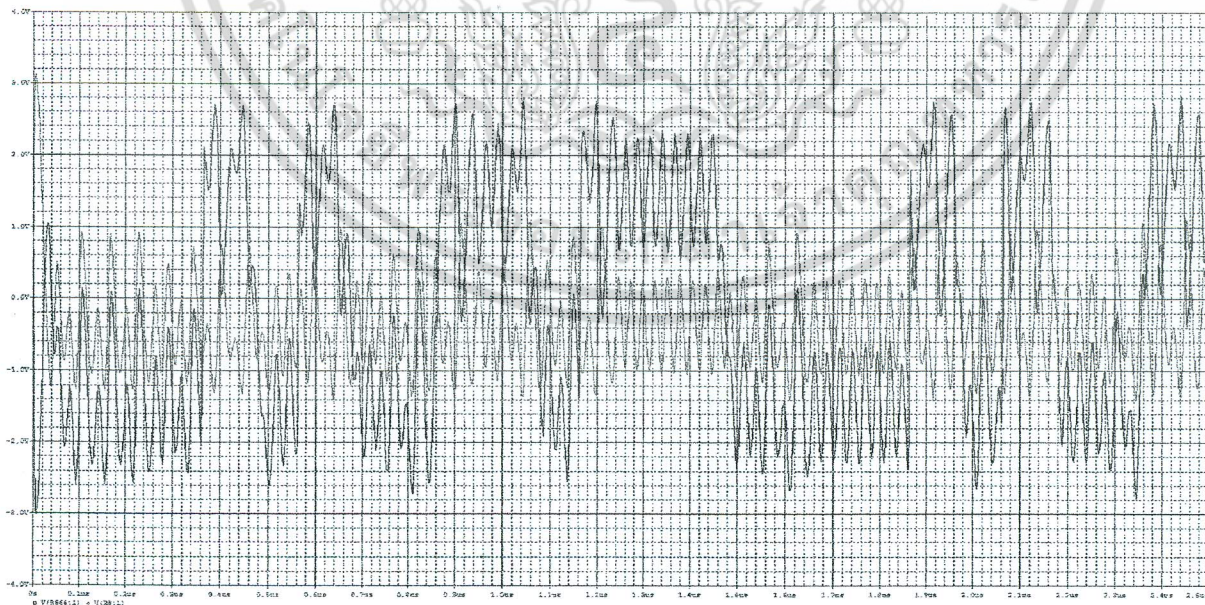
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการจัดสิทธิบัตรชื่อ “วงจรรอสวนความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อ” แสดงส่วนที่เปิดสำหรับรายงานโดยโครงสร้างพอสังเขปได้ดังนี้



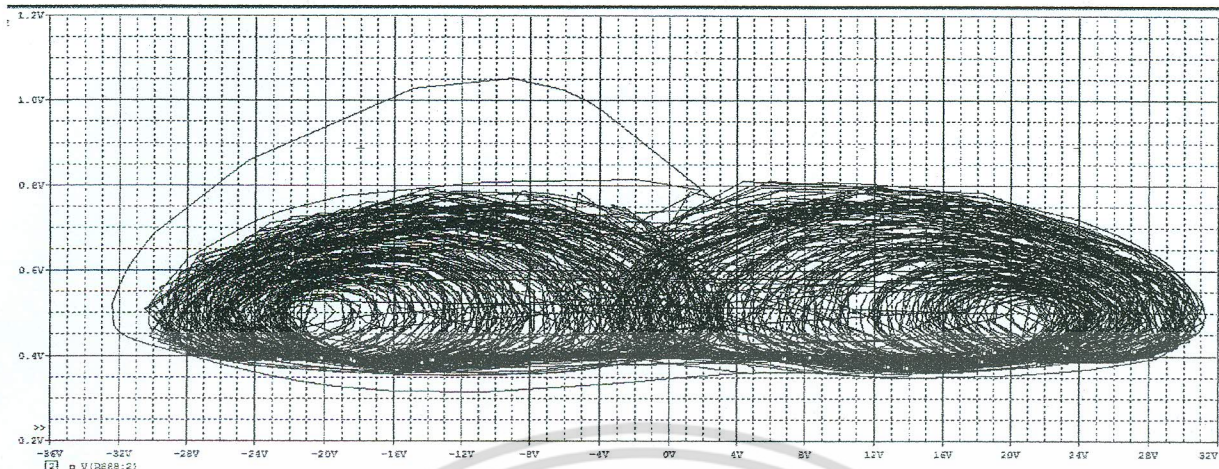
รูปที่ 4.3 โครงสร้างวงจรรอสวนความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อ

โดยในสิทธิบัตรจะใช้เทคนิคการคูณแบบสวิชท์เพื่อสร้างสัญญาณให้เป็นสองปีหรือมากกว่าแล้วยังใช้วงจรถูกกำหนดค่าเริ่มต้นที่ทำให้วงจรถูกสร้างสัญญาณถึงสุ่มทำการผลิตสัญญาณให้มีเงื่อนไขเริ่มต้นที่ขึ้นอยู่กับวงกำเนิดสัญญาณ Copitt ด้วย



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองสัญญาณจาก โครงสร้างวงจรรอสวนความถี่สูงแบบปีกผีเสื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองสัญญาณแบบปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] J. Kawata , Y. Nishio and A. Ushida "Analysis of Chua's circuit with transmission line", *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl.*, vol. 44, no. 6, pp. 556 -558, 1997.
- [20] I. Abdomerovic, A.G. Lozowski, and P.B. Aronhime, "High-frequency Chua's circuit," *Proc. of the 43rd IEEE Midwest*, pp. 1026-1028, 2000.
- [21] J.N. Blakely, M.B. Eskridge and N. J. Corron, "A simple Lorenz circuit and its radio frequency implementation," *Chaos* 17, no.2, 023112, 2007.
- [22] EP 0556819 B1, Apparatus and method for generating chaotic signals, 17 Jan. 2001.
- [23] EP 1304824 B1, Method for transmitting data by means of chaotic signals, 26 July 2007.
- [24] US 6127899 A, High frequency anharmonic oscillator for the generation of broadband deterministic noise, 3 Oct. 2000.
- [25] US 7215772 B2, Method and apparatus for remote digital key generation, 8 May 2007.
- [26] US 7245723 B2, Chaotic communication system and method using modulation of nonreactive circuit elements, 17 July 2007.
- [27] US 7463103 B2, Chaotic signal generator for ultra wide band communication system, 9 July 2008.
- [28] US 7642870 B2, Device and method for generating an adjustable chaotic signal, 5 Jan. 2010.
- [29] US 7786815 B2, Apparatus and method for generation of noise signal, 31 Aug. 2010.
- [30] US 7795983 B1, Chaotic signal enabled low probability intercept communication, 14 Sep. 2010.
- [31] US 7830213 B2, Signal generator, signal generation method, and RF communication system using the same, 9 Nov. 2010.
- [32] US 7830214 B2, Adjustable chaotic signal generator using pulse modulation for ultra wideband (UWB) communications and chaotic signal generating method thereof, 9 Nov. 2010.
- [33] US 7945045 B2, Device and method for generating chaotic signal, 17 May 2011.
- [34] US 8005220 B2, RF communication system having a chaotic signal generator and method for generating chaotic signal, 23 Aug. 2011.
- [35] กฤตการ กล่อมการ, วงจรสร้างสัญญาณอววนแบบหลากหลายรูปแบบ, ร่างจดสิทธิบัตรไทย 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Stavroulakis, *Chaos Applications in Telecommunications*. CRC Press, 2006.
- [2] W. Perruquetti and J. P. Barbot *Chaos in Automatic Control*, CRC Press, 2005.
- [3] G. Chen and T. Ueta, *Chaos in Circuits and Systems*, World Scientific, Singapore, 2002.
- [4] P. Sooraska and K. Klomkarn, "No-CPU Chaotic Robots: From Classroom to Commerce," *IEEE Circuits and Systems Mag*, vol.10, pp. 46 – 53, First Quarter 2010.
- [5] M.E. Yalcin, "True Random Bit Generation from a Double-Scroll Attractor," *IEEE Trans. on Circuit and Systems*, vol. 51, no. 7, pp. 1395-1404, 2004.
- [6] Z. Zhang and G. Chen, "Chaotic liquid shaker: design, implement and application," *Int. J Bifurcat. Chaos*, vol. 17, pp. 4443–4451, 2007.
- [7] A. Abel and W. Schwarz, "Chaos communications-principles, schemes, and system analysis," *Proc. of the IEEE*, vol.90, no.5, pp. 691-710, 2002.
- [8] G.M Maggio, N. Rulkov and L. Reggiani, "Pseudo-chaotic time hopping for UWB impulse radio," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl.*, vol.48, no.12, pp.1424-1435, 2001.
- [9] Z. Liu, X. ZHU, W. Hu and F. Jiang, "Principles of chaotic signal radars," *Int. J of Bifurcat. Chaos*, vol. 17, no.5, pp. 1735-1739, 2007.
- [10] S. Christopher and P Young, "Implementing RF broadband chaotic oscillators: design issues and results," *Proc. of the 1998 IEEE Int. Symp. on Circuit and system*, vol.4, pp.489-493, 1998.
- [11] J. Guckenheimer and P. Holmes, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*, Springer-Verlag, 1983.
- [12] A. S. Elwakil and M. P. Kennedy, "High frequency wien-type chaotic oscillator," *Electron. Lett.*, vol. 34, pp.1161-1162, 1998.
- [13] G. Mykolaitis, A. Tamasevicius and S. Bumeliene, "Experimental demonstration of chaos from Colpitts oscillator in V", l. 40, no. 4, pp. 91-92, 2004.
- [14] A. Tamasevicius, S. Bur ultrahigh frequencies," *Elec*
- [15] A. Čenys, A.Tamaševiči coupled Colpitts oscillator:
- [16] G. Anagnostopoulos, N oscillators with delay line,"
- [17] L. Illing and D. J. Gauth with band-limited feedback
- [18] J.N. Blakely, J.D. Holde microstrip oscillator," *Phys. Lett. A* 346(1-3), pp. 111-114, 2005.



หนังสือเป็นสมบัติของท่าน

โปรดช่วยกันรักษา

www.lib.kmitl.ac.th

สำนักหอสมุดกลาง โทร. 02-329-8544-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008781