สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากรูปแบบ

Universal mode chaos generator

กฤดากร กล่อมการ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

R&H
ก 1730
2556

สพหม่..... 137832
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี 16 ส.ค. 2559

.b..... 12700769
.i.....

ข้อความในเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) **วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากรูปแบบ**
แหล่งเงิน เงินรายได้
ประจำปี งบประมาณ 2556 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 80,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี **ตั้งแต่** 1 ตุลาคม 2555 - 30 กันยายน 2556
หัวหน้าโครงการ นาย กฤดากร กล่อมการ **ตำแหน่ง** ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้แบบการสร้าง วงจรอลวนที่ให้สัญญาณแบบต่อเนื่อง (continuous signal) วงจรสามารถทำงานได้หลายโหมดและกำเนิดสัญญาณได้หลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการกำเนิดเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวน การสร้างสัญญาณสำหรับขับมอเตอร์ในการปั่นผสมและสำหรับการสร้างบิตสุ่มจริง โดยเรียกวงจรสร้างสัญญาณอลวนที่ประดิษฐ์ขึ้นว่าวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด (Universal mode chaos generator) โดยวงจรสามารถทำงานในย่านความถี่ 10Hz-1MHz สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนในแบบอสิระ (autonomous) และใช้สัญญาณขับ (non-autonomous) โดยสามารถการปรับพฤติกรรมของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นให้มีลักษณะต่างๆเพื่อให้แสดงสัญญาณได้หลายรูป

คำสำคัญ :วงจรอลวน, อิเลคทรอนิคส์ไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title Universal mode chaos generator
Researcher Mr. Kitdakorn Klomkarn
Faculty Engineering, Department Computer Engineering

ABSTRACT

In this research project, a universal mode chaos generator is presented. The continuous chaotic signal which obtained from generator can be applied for guide dance signal for mobile robot, driving signal for motor control, entropy source for random generator. An autonomous chaotic generator mode and a non-automous generator mode can be assigned in this circuit, a nonlinear function in the circuit also adjust for obtain various chaotic signal.

Keyword chaotic circuit, nonlinear electronics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วย เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556

กฤดากร กล่อมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.2 ทฤษฎีอลวน 5
2.3 แอทเทรกเตอร์แบบ Lorenz 6

บทที่ 3ระบบที่ออกแบบ 9
3.1 ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับสอง 9
3.2 ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 10
3.3 ระบบอลวนแบบ nonautonomous อันดับสอง 2 12
3.4 การออกแบบวงจรในงานวิจัย 13

บทที่ 4 ผลการทดลอง 21
4.1 แสดงผลการจำลองโดยโปรแกรม Pspice 18
4.2 แสดงผลการทดลองโดยการวัดที่สเตต x,y 20

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย 21
5.2 ข้อเสนอแนะ 21
เอกสารอ้างอิง 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แอทแทรกเตอร์แบบ Lorenz ในแกนเวลา 6

3.1 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,y โดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.1) 9

3.2 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,$\bar{y}$,z โดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.2) โดยค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมาย 11

3.3 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,yโดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.5) โดยค่า f(x) เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณไซน์ 12

3.4 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,y โดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.5) โดยค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณพัลส์ 13

3.5 วงจรปริพันธ์สองชั้น (double loop integrators) 14

3.6 วงจรอลวนแบบหลากโหมด 15

รูป 4.1 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบ nonautonomous อันดับสองค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณพัลส์ 18

4.2 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ 18

4.3 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันอิ่มตัว 19

4.4 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเครื่องหมาย 19

4.5 โดยจากบนซ้ายถึงล่างขวาสุดแสดง

1.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเฮฟวีไซด์

2.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเครื่องหมาย

3.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันฮิสเตอร์รีซีส

4.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 2 ใช้ฟังก์ชันฮิสเตอร์รีซีส

5.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเครื่องหมายมีการขับด้วยด้วยสัญญาณพัลส์ที่สเตต x

6.ระบบอลวนแบบ nonautonomous อันดับ 2 ค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณพัลส์ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สัญญาณอลวนเกิดจากระบบพลวัตที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีลักษณะที่คล้ายสัญญาณเชิงสุ่มโดยสเปคตรัมกำลังมีลักษณะย่านกว้างและสัญญาณมีคุณสมบัติในการซิงโครไนซ์ การประยุกต์ของสัญญาณอลวนนอกจากใช้สำหรับการสื่อสารแบบปลอดภัยหรือการเข้ารหัสแล้ว จากที่มีคุณลักษณะในโดเมนทางเวลาที่มีรูปแบบหลากหลายและสัญญาณที่ซับซ้อน จึงสามารถนำมาใช้กับการประยุกต์สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้มีความเร็วไม่คงที่รอบสำหรับในทางอุตสาหกรรมปั่นผสม(Industrial mixing) หรือเป็นสัญญาณอ้างอิงสำหรับระบบคอนเวอร์เตอร์ในวงจรอิเลคทรอนิคส์กำลังเพื่อลดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และเนื่องจากสัญญาณอลวนมีลักษณะคล้ายการเกิดแบบเชิงสุ่มจึงสามารถนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดสัญญาณเพื่อสร้างบิตสุ่มจริง (True Random) สำหรับงานทางคอมพิวเตอร์ได้ และด้วยรูปแบบที่ไม่เป็นรายคาบของสัญญาณอลวนจึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวกำเนิดเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวนหรือหุ่นยนต์ทำความสะอาด ได้ด้วยเช่นกัน

ด้วยการที่สัญญาณอลวนมีประโยชน์ดังกล่าวจึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบอลวนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะนักวิจัยที่สนใจทางวิทยาศาสตร์ที่สนใจพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Science) โดยหัวใจของการประยุกต์ดังกล่าวคือวงจรกำเนิดสัญญาณอลวน ถึงแม้จะมีรายงานวิจัยที่ได้นำเสนอการสร้างวงจรไว้มากเช่นการสร้างวงจรแบบอลวนแบบให้สัญญาณแบบต่อเนื่อง(continuous signal)ที่สามารถสร้างโดยวงจรอนาลอก ซึ่งมีทั้งระบบอลวนแบบ autonomous ซึ่งประกอบด้วยวงจรเชิงเส้นลำดับ 3 และอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น 1 ตัวและแบบ non-autonomous ที่ประกอบด้วยวงจรเชิงเส้นลำดับ 2 และอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น 1 ตัวและแหล่งกำเนิดสัญญาณขับ 1 ชุดและสำหรับวงจรแบบอลวนแบบให้สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง(discrete signal) ซึ่งสามารถสร้างโดยการประมวลสัญญาณดิจิตอล หรือวงจรสุ่มคงค่า ร่วมด้วยอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น

แต่วงจรอลวนที่ให้สัญญาณแบบต่อเนื่อง ที่สามารถทำงานได้หลายโหมดและกำเนิดสัญญาณได้หลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการกำเนิดเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวน การสร้างสัญญาณสำหรับขับมอเตอร์ในการปั่นผสมและใช้สร้างบิตสุ่มจริงโดยพร้อมกันยังไม่ปรากฏ โดยในงานวิจัยนี้เสนอการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณที่มีคุณสมบัติการทำงานและการประยุกต์ดังกล่าวโดยเรียกว่า วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด (Universal mode chaos generator)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สร้างต้นแบบวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด

1.2.2 สร้างองค์ความรู้เรื่องการสร้างตัวกำเนิดสัญญาณอลวนแบบเน้นการประยุกต์ใช้งาน

1.2.3 สร้างสิทธิบัตรวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมดที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สร้างวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบสัญญาณแบบต่อเนื่อง (continuous signal) แบบหลากโหมดที่สามารถทำงานในย่านความถี่ 0-1MHz โดยตัววงจรสามารถเป็นต้นแบบแบบที่ผลิตสู่อุตสาหกรรมได้จริง โดยวงจรสามารถทำงานได้ในแบบautonomous และ non-autonomous โดยสามารถการปรับพฤติกรรมของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นให้มีลักษณะต่างๆเพื่อให้แสดงสัญญาณได้หลายรูป โดยวงจรสามารถกำเนิดค่าสุ่มกำเนิดรูปแบบเส้นทางขับเคลื่อนหุ่นและกำเนิดสัญญาณของการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์สำหรับการปั่นผสม

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ตรวจสอบสิทธิบัตรโดยละเอียดฐานข้อมูลของประเทศหลักๆ เช่น สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และเกาหลี

1.4.2 ทำการหารูปแบบวงจรที่เหมาะสมเพื่อการอ้างสิทธิ

1.4.3 สร้างวงจรที่ได้จาก 1.4.2

1.4.4 ทดสอบวงจรกับการประยุกต์แบบต่างๆที่กำหนดไว้

1.4.5 ยืนจดสิทธิบัตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้สิทธิบัตรระดับชาติในเรื่อง"วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากรูปแบบ"

15.2 ได้องค์ความรู้เรื่องการสร้างตัวกำเนิดสัญญาณอลวนสำหรับการเรียนการสอน

1.5.3 ได้ต้นแบบวงจรเพื่อสร้างในเชิงพาณิชย์และเป็นแนวทางที่สามารถไปสร้างวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบอลวนค้นพบโดย Edward N. Lorenz [1] อุตุนิยมวิทยาแห่งสถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมซซาชูเซท ในปี พ.ศ. 2506 จากการสร้างแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาด้วยสมการอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นขนาดลำดับ 3 โดยระบบอลวนเป็นแบบ autonomous และสำหรับระบบอลวนแบบ non-autonomous นั้นถูกพบขึ้นในทางวิศวกรรมไฟฟ้าโดยการทดลอง [2] จากป้อนสัญญาณคลื่นไซน์เข้าไปในระบบ Van der Pol-Duffing แต่การสร้างสำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบง่ายๆที่เป็นแบบ autonomous chaotic circuits ค้นพบโดย Chua [3] โดยวงจรที่ Chua สร้างขึ้นประกอบด้วย ความต้านทาน 1 ตัว ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ความเหนี่ยวนำ 1 ตัวและอุปกรณ์สร้างความต้านทานลบไม่เป็นเชิงเส้น 1 ชุด โดยวงจรของ Chua นี้ สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนได้ทั้งแบบ 1 สกอร์ และ 2 สกอร์ โดยปรับที่ตัวต้านทาน พร้อมขณะเดียวกัน Matsumoto[4] ผู้ที่ทำการร่วมวิจัยกับ Chua ได้พบวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ 4 มิติ หรือ ไฮเปอร์เคออส (hyperchaos) ขึ้นจริงโดยสร้างจากวงจรที่มีลักษณะคล้ายวงจรของ Chua ด้วยเพิ่มลำดับของสมการอนุพันธ์ โดยการเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำ สำหรับการสร้างสัญญาณอลวนแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete chaotic signal) ที่สร้างจากสมการ logistic map มีผู้วิจัยได้แสดงใน[5] โดยใช้เทคนิคการสร้างวงจรแบบ switched capacitor circuits แต่รูปแบบของสัญญาณที่ได้ไม่ซับซ้อนเท่ากับแบบวงจร Chua

ในการประยุกต์ใช้งานของสัญญาณอลวน นั้น หลังจาก Pecora [6] ได้แสดงให้เห็นว่า ระบบอลวนของ Lorenz สามารถซิงโครไนซ์ (Synchronization) เข้าด้วยกัน โดยมีภาคส่งเรียกว่า ตัวขับ (drive) และภาครับเรียกว่าตัวตอบสนอง (Response) แล้วได้มีนักวิจัยได้พัฒนาการสร้างวงจรอลวนมากขึ้นโดย [7] แสดงการสร้างวงจรรวมของวงจร Chua และในงานวิจัย [8]ได้แสดงการใช้หลักการซิงโครไนซ์เพื่อทำการเข้ารหัสลับโดยใช้วงจร Chua ซึ่งพบว่าวิธีที่ทำให้ระบบเข้ารหัสลับมีความแข็งแกร่งนั้น ต้องใช้สัญญาณอลวนที่มีความซับซ้อนสูง ดังนั้นในงานวิจัย [9] จึงเสนอการสร้างสัญญาณอลวนแบบไฮเปอร์ และในงานวิจัย [10]นำเสนอการวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลายสกอร์จากวงจรของ Chua ด้วยการเพิ่มท่อนของความต้านทานลบ เพื่อเพิ่มจุดสมดุลในระบบและ จากวงจรอลวนแบบไฮเปอร์ในงานวิจัย [9] มีผู้นำไปใช้กับระบบเข้ารหัสลับใน[11]

สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ non-autonomous นั้นหลังจากงานวิจัย [2] ได้มีผู้เสนอการสร้างวงจรอลวนแบบ non-autonomous แบบง่ายใน [12] โดยวงจรประกอบด้วยวงจรเชิงเส้นอันดับสองและวงจรเปรียบเทียบพร้อมกับแหล่งกำเนิดคลื่นไซน์สำหรับขับระบบ และวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบ autonomous แบบง่ายได้มีผู้เสนอด้วยเช่นกัน [13] โดยเป็นการสร้างวงจรอลวนจากวงจรกำเนิดความถี่ไซน์โดยเพิ่มอันดับของวงจรให้เป็นอันดับ 3 โดยใช้อุปกรณ์แบบ passive และต่อร่วมไดโอดอีกหนึ่งตัว สำหรับการเสนอการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนทั้งแบบ discrete chaotic signal และ continuous chaotic signal ในรูปแบบวงจรรวมได้มีการเสนอในงานวิจัย [14] โดยแสดงการสร้างโดยเทคนิคแบบ analog mixed signal

จากการที่สัญญาณอลวนมีคุณสมบัติซิงโครไนซ์ได้ ทำให้นอกจากประยุกต์สัญญาณอลวนสำหรับการสื่อสารแบบลับแล้วยังมีประยุกต์สัญญาณอลวนสำหรับการสื่อสารแบบกระจายสเปคตรัม[15] อีกด้วย และจากคุณสมบัติที่สัญญาณมีลักษณะเชิงสุ่ม (random liked) ในงานวิจัย [16] ได้แสดงการสร้างการกำเนิดบิตสุ่มจริงจากสัญญาณอลวนโดยการนำการเคลื่อนที่ของวงโคจรของสัญญาณผ่านจุดสมดุลมากำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตสุ่ม และในระบบอิเลคทรอนิคส์กำลังยังสามารถนำเอาสัญญาณอลวน [17] มาแทนสัญญาณรบกวนเพื่อลดขนาดของการรบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic interference) ในอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ และสามารถเป็นสัญญาณอ้างอิงของการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์เพื่อใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ ดีซี ให้มีการหมุนไม่คงคงที่สำหรับการปั่นผสม [18] และด้วยคุณสมบัติที่มีแถบความถี่กว้างจึงสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณทดสอบวงจรอิเลคทรอนิคส์ทั้งแบบอนาลอก [19] และแบบวงจรผสมได้ [20] และจากการที่วงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอนาลอกสามารถปรับให้กำเนิดสัญญาณได้หลากหลายรูปแบบจึงสามารถใช้เป็นตัวกำเนิดเส้นทางเพื่อเคลื่อนที่แบบสุ่มสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวน[21]และช่วยควบคุมการเคลื่อนที่บนพื้นไม่เรียบของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก [22] ร่วมถึงใช้เป็นรูปแบบสัญญาณสำหรับกำหนดพฤติกรรมของวงจรรวมแบบ Reconfigurable [23] อีกด้วย

งานวิจัยที่แสดงการใช้ประโยชน์จากสัญญาณอลวนข้างตน งานหลายชิ้นได้มีการจดสิทธิบัตรไว้ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใน [24] เป็นจดสิทธิบัตรการสร้างวงจรกำเนิดบิตสุ่มจากวงจร Chua และใน [25] เป็นจดสิทธิบัตรการสร้างวงจรอลวนในโหมดกระแสสำหรับการสร้างการกำเนิดบิตสุ่มจริงโดยเฉพาะ และในสิทธิบัตร [26] เป็นการขอยื่นสิทธิบัตรในการใช้วงจรอลวนแบบ non-autonomous เพื่อเป็นเหล่งกำเนิดของวงจรสร้างค่าสุ่มจริง และการลดขนาดของการรบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณอลวนนั้นได้มีการจดสิทธิบัตรใน [27] และในสิทธิบัตร [28] เป็นการแสดงการใช้สัญญาณอลวนแบบ discrete กำหนดรูปแบบของสัญญาณของการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์ให้มีลักษณะเชิงสุ่มเพื่อลดขนาดของการรบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน และสิทธิบัตรของงานวิจัยของวงจรรวมแบบ Reconfigurable ที่แสดงในงานวิจัย [23] นักวิจัยได้จดสิทธิบัตร [29]ไว้เช่นกัน สำหรับการใช้สัญญาณอลวนสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นมีการจดสิทธิบัตรแสดงได้ใน [30] โดยเป็นการใช้สัญญาณอลวนสำหรับการกระจายคลื่นไมโครเวฟในเตาอบ และในสิทธิบัตร [31] แสดงการใช้คลื่นไฟฟ้าความถี่ต่ำที่มีความเป็นค่าอลวนแบบอ่อนๆสำหรับทำกายภาพบำบัด และสำหรับการใช้สัญญาณอลวนเป็นคลื่นพาห์นั้นในสิทธิบัตร[32] แสดงการใช้สัญญาณอลวนสำหรับการวัดระยะทางและใน [33] แสดงการใช้สัญญาณอลวนสำหรับระบบการวัดในระบบ locked in amplifier โดยในสิทธิบัตร[34] เป็นการใช้ สัญญาณอลวนเพื่อเป็นคีย์สตีมสำหรับการส่งข้อมูลลับ

สำหรับสิทธิบัตรที่มุ่งเน้นเฉพาะการสร้างสัญญาณอลวนนั้น ได้มีการจดสิทธิบัตรวิธีการสร้างวงจร Chua แบบใช้รูปแบบวงจร cellular neural networks ใน[35] โดยผู้ประดิษฐ์ได้ปรับปรุงให้วงจรมีคุณสมบัติส่งข้อมูลได้ในสิทธิบัตร[36] และมีการจดสิทธิบัตรของ การสร้างวงจร Chua แบบไฮเปอร์โดยใช้วงจรแบบโหมดกระแสใน [37] เช่นเดียวกัน สำหรับการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบหลายสกอร์มีการยืนขอสิทธิบัตรโดยเทคนิควงจรแบบ Operational transconductance amplifier ใน[38] และการจดสิทธิบัตรของการสร้างวงจรอลวนที่ความถี่สูงสำหรับการสื่อสารนั้น ในสิทธิบัตร [39] เป็นการแสดงการสร้างสัญญาณอลวนแบบ non-autonomous และใน [40-41] เป็นการสร้างสัญญาณอลวนสำหรับการสื่อสารแบบความถี่ย่านกว้าง (ultra-wideband) โดย [40] เป็นการสร้างสัญญาณอลวนจากการนำสัญญาณสามเหลี่ยมย่อยๆมามอดูเลตกับวงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดันแบบความถี่สูง และใน [41] เป็นการสร้างสัญญาณอลวนโดยใช้วงจรกำเนิดความถี่สูงต่อร่วมกับวงจรกำเนิดสัญญาณสุ่มเทียม และใน [42] เป็นการขอสิทธิบัตรของการสร้างอลวน ที่ความถี่สูงโดยใช้การเทคนิคสัญญาณอลวนที่ความถี่ต่ำรบกวนลูปของวงจร Phase-locked loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสิทธิบัตรเกี่ยวกับสัญญาณอลวนที่กล่าวมาส่วนใหญ่เป็นการอ้างสิทธิจากการใช้คุณสมบัติของสัญญาณอลวน และการจดสิทธิบัตรของวงจรการสร้างสัญญาณนั้นเป็นการพัฒนาของการต่อยอดจากวงจร Chua และอีกส่วนหนึ่งเป็นเทคนิคการสร้างวงจรที่ความถี่สูง โดยวงจรอลวนที่สามารถทำงานได้ทั้งโหมด autonomous และ non-autonomous และกำเนิดรูปแบบได้หลากหลายโดยมีคุณสมบัติในการประยุกต์ได้หลายรูปแบบยังไม่มีผู้ยื่นขอสิทธิบัตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างวงจรอลวนที่มีคุณสมบัติดังกล่าว โดยวงจรสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณสุ่มจริง กำเนิดรูปแบบเส้นทางขับเคลื่อนหุ่นยนต์และทำหน้าที่เป็นวงจรผลิตสัญญาณการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ ดีซี

2.2 ทฤษฎีอลวน

นิยาม

เคออสแอทแทรกเตอร์ (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 $A \subset R^n$ และ U เป็นค่าใกล้เคียง นอกบริเวณ A แล้ว x จะเป็นเส้นทางโคจรของแอทแทรกเตอร์

$$\begin{aligned} &\forall x \in U : \varphi(x,t) \in U \qquad for \quad t \geq 0 \\ &\lim_{t \to 0} \ \varphi(x,t) = A \end{aligned} \tag{1}$$

2. เคออสติกแอทแทรกเตอร์ มีความไวขึ้นอยู่กับสภาวะเริ่มต้น (Sensitive dependence on the initial conditions) ถ้าให้ x เป็นเส้นทางโคจรของแอทแทรกเตอร์และ s เป็นเซ็ทที่แสดงว่าไวต่อค่าเริ่มต้นแล้ว

$$\begin{aligned} &\exists \delta > 0 \ \ \forall x(0) \Leftarrow s, \ \ \varepsilon > 0, \ \ \exists y \in s : \\ &|x(0) - y(0)| < \varepsilon, \ \ |x(t) - y(t)| > \delta \end{aligned} \tag{2}$$

3. เคออสติกแอทแทรกเตอร์ไม่สามารถแยกเป็นเซ็ทย่อยได้ (Indecomposebility) แม้แต่ให้ attractor ห่างกันเล็กน้อยดังนั้น attractor มีรายคาบยาวมากๆ

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

$$|x(t)| = |x(0)|e^{\lambda} \tag{3}$$

โดย λ เป็นค่า Lyapunov เนื่องจากเคออสติกแอทแทรกเตอร์เกิดขึ้นในมิติขนาด 3 มิติดังนั้นเงื่อนไขที่แสดงความไวต่อค่าเริ่มต้น ของสมการที่ (2) ค่า Lyapunov ของทิศทางของการเคลื่อนที่ใน 3 มิติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(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. แอทเทรกเตอร์แบบ Lorenz

เป็นเคออสแอทแทรกเตอร์แรกที่รู้จักกันที่ค้นพบโดย E.N Lorenz [1] จากการสร้างแบบจำลองพยากรณ์อุตุนิยมวิทยาของการแปรผันของสภาวะอากาศ โดยแบบจำลองแสดงได้โดยสมการอนุพันธ์ลำดับ 3 คือ

$$x' = -ax + ay \qquad (4.1)$$

$$y' = rx - y - xz \qquad (4.2)$$

$$z' = -bz + xy \qquad (4.3)$$

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

จากสมการ (4) หาจุดสมดุลของระบบโดย $x' = y' = z' = 0$ จะได้ $y = x, z = r - 1$ และ $x^2 = y^2 = b(r-1)$ ดังนั้นระบบจะมีจุดสมดุลอยู่ 3 จุดคือที่ $P^{\circ} = (0,0,0)$ 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

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial fx}{\partial x} & \frac{\partial fx}{\partial y} & \frac{\partial fx}{\partial z} \\ \frac{\partial fy}{\partial x} & \frac{\partial fy}{\partial y} & \frac{\partial fy}{\partial z} \\ \frac{\partial fz}{\partial x} & \frac{\partial fz}{\partial y} & \frac{\partial fz}{\partial z} \end{bmatrix} \qquad (5)$$

โดยค่า Jacobian matrix ของสมการที่ (4) มีค่า

$$J = \begin{bmatrix} -\partial & \partial & 0 \\ r-z & -1 & -x \\ y & x & -b \end{bmatrix}. \qquad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคุณสมบัติของระบบหาได้จาก $|J-\lambda I|$ โดยที่จุดสมดุล P° มีสมการคุณสมบัติคือ

$$\lambda^3+(a+b+1)\lambda^2+(a-ar+ab+b)\lambda+ab(1-r) \qquad (7)$$

และที่จุดสมดุล $P^{\pm}$ มีสมการคุณสมบัติคือ

$$\lambda^3+(a+b+1)\lambda^2+b(a+r)\lambda+2ab(r-1) \qquad (8)$$

ค่า eigen ซึ่งเป็นค่าแสดงพฤติกรรมของระบบหาได้จากให้ $|J-\lambda I|=0$ ดังนั้นที่จุดสมดุล P° 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-Hurwizt ระบบจะมีเสถียรภาพภายใต้เงื่อนไขเมื่อ $a_1>0$, $a_2>0$, $a_3>0$ หรือ $a_1a_2-a_3>0$ ซึ่งเขียนได้

$$(a+b+1)(a+r)b-2ab(r-1)>0 \qquad (9)$$

ดังนั้นที่จุดสมดุล $P^{\pm}$ ระบบจะมีเสถียรภาพถ้า

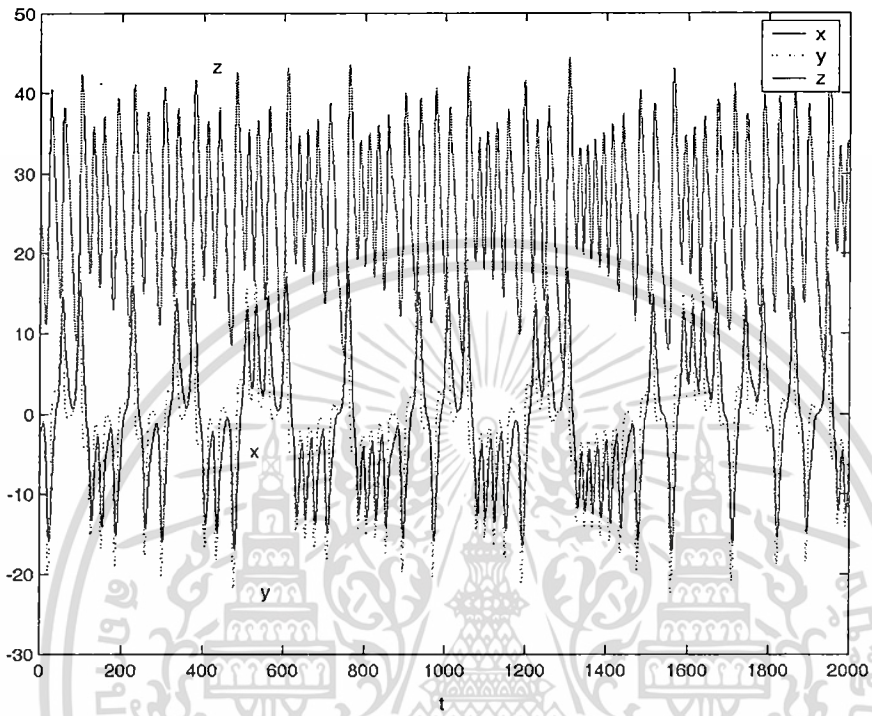
$$r<\frac{a(a+b+3)}{a-b-1} \qquad (10)$$

และในทางตรงกันข้ามถ้าให้ $a=10$, $b=8/3$ และถ้าให้ $r>\frac{470}{19}$ ซึ่งทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพที่จุดสมดุล $P^{\pm}$ จะมีค่ารากเป็นบวก 1 ค่าอยู่ทางด้านซ้ายของระนาบ S และมีรากเป็น $\sigma \pm jw$ 1 คู่อยู่ด้านขวามือของระนาบ S ซึ่งที่จุดสมดุล $P^{\pm}$ นี้ เส้นโคจรจะแสดงการไหลเข้าและหมุนออกหรือเรียกว่า eigen มีลักษณะเป็น Spiral saddle index 2 ดังนั้นจากจุดสมดุลถ้าที่ P° แทนการไหลเข้าและไหลออกและที่จุด $P^{\pm}$ แทนการไหลเข้าและหมุนออกแล้ว หลังจากค่าเริ่มต้นเส้นทางโคจรไม่สามารถออกจากแอทแทรกเตอร์ได้ ดังนั้นเมื่อแอทแทรกเตอร์ไหลออกจากจุดสมดุล P° แล้วจะไหลเข้าสู่สมดุล P^{+} หรือ P^{-} และที่สองจุดนี้จะแทนจุดหมุนออกซึ่งอาจจะหมุนรอบจุดสมดุลนี้หรือไหลกลับเข้าสู่จุดสมดุล P° ซึ่งพฤติกรรมนี้จะเกิดการไหลวนในลักษณะหลากหลายหรือแสดงสภาวะเคออส (Chaotic attractor) และเพื่อแสดงว่าระบบ Lorenz เป็นระบบที่มีขอบเขตค่า divergence ของการไหลของแอทแทรกเตอร์ต้องอยู่ในเงื่อนไข

$$\nabla F=\frac{\partial Fx}{\partial x}+\frac{\partial Fy}{\partial y}+\frac{\partial Fz}{\partial z}<0 \qquad (11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.1 แอทแทรกเตอร์แบบ Lorenz ในแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบที่ออกแบบ

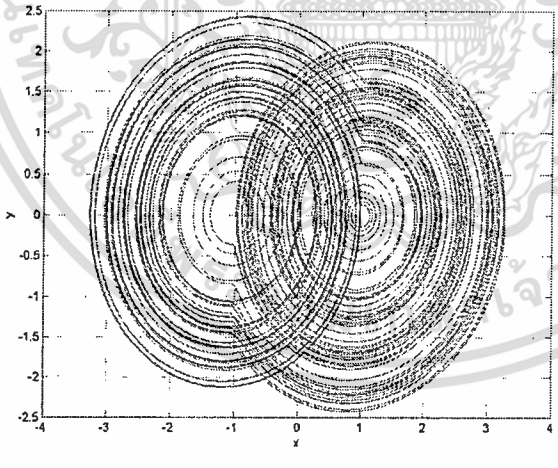
ในบทนี้จะแสดงถึงการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณแบบหลากโหมด โดยจะกล่าวถึงระบบที่มีอยู่แล้วทั้งระบบอลวนแบบ autonomous และ nonautonomous ลำดับสองและ autonomous ลำดับสามเพื่อจะนำมาสร้างเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด

3.1 ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับสอง (Second-order autonomous chaotic system)

เสนอโดย P.A. Cook [43] โดยระบบเสนอได้สมการอนุพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นอันดับสองมีอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น(nonlinear function)คือ Hysteresis: *hys(x)*

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ hys(x) \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

จากระบบของ P.A.Cook เสนอเป็นระบบประกอบด้วยระบบเชิงเส้นอันดับ 2 ที่ไม่มีเสถียรภาพโดยมีอุปกรณ์ Hysteresis เป็นตัวป้อนกลับจากและระบบมี complex conjugate eigenvalues บน right haft plane (RHP):



รูป. 3.1 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,y โดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.1):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น

	ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น	นิยาม
1	Heaviside	$H(x)=\begin{cases}1 & x\geq 0\\ 0 & x<0\end{cases}$
2	Signum	$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}1 & x\geq 0\\ -1 & x<0\end{cases}$
3	Hysteresis	$hys(x)=\begin{cases}+1, & -1<x<\infty\\ -1, & -\infty<x<1\end{cases}$
4	Saturation	$sat(x)=\begin{cases}1 & x>L\\ kx & \lvert x\rvert<L\\ -1 & x<-L\end{cases}$ where $L=\lvert\frac{x}{k}\rvert$, k is an amplifier gain.

3.2 ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 (Third-order autonomous chaotic system) เป็นระบบที่เสนอโดย J.C Sprott [44] ผลของวงจรจะได้แอทแทคเตอร์สองสกอร์เช่นเดียวกับระบบ (3.1) โดยระบบอันดับ 3 แสดงได้

$$\begin{bmatrix}x'\\ y'\\ z'\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ -1 & -1 & -\alpha\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\\ z\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ f(x)\end{bmatrix}. \qquad (3.2)$$

โดย $f(x)=\operatorname{sgn}(x)$ เป็นฟังก์ชันเครื่องหมาย และ ค่า α เป็นค่าพารามิเตอร์ bifurcation [0.5,0.9].อยู่ระหว่างโดยระบบนี้มีแกนของ quadrature oscillator อยู่ที่ระนาบ *y-z*
จากระบบ (3.2) สามารถดัดแปลงได้คือ

$$\begin{bmatrix}x'\\ y'\\ z'\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ -1 & -1 & -\alpha\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\\ z\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ f(x)\end{bmatrix}. \qquad (3.3)$$

โดย α เป็นค่าพารามิเตอร์ bifurcation มีค่าระหว่าง [0.1,0.3].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในรูปแบบเดี่ยวกันสามารถดัดปลงให้ quadrature oscillator อยู่ที่ระนาบ *x-y* โดยระบบสามารถสามารถให้รูปแบบแอทแทคเตอร์ได้ตั้งแต่ 1 สกอร์หรือ 2 สกอร์โดยค่า $f(x)$ เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นตามตารางที่ 1

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & \alpha & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f(x) \end{bmatrix}. \qquad (3.4)$$

รูป. 3.2 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,y,z โดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.2) โดยค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมาย

จากระบบ(3.4) ประกอบด้วยด้วยระบบเชิงเส้นอันดับ 3 โดย quadrature oscillator อยู่ที่ระนาบ *x-y* เป็นระบบย่อยที่ไม่มีเสถียรภาพ โดยการเพิ่มสเตต state z สำหรับเป็นระนาบไฮเปอร์ถ้า α ที่เป็นค่าพารามิเตอร์ bifurcation มีค่า >1 ระบบแสดงเป็นระบบสูญเสียที่รับประกันว่าการเกิดสภาพอลวนจะมีเสถียรภาพในระดับภาพรวม(Global) ระบบมีราก eigenvalue เป็นค่าจริงลบและคู่ที่อยู่บน complex conjugate poles ทางด้านขวา จุดสมดุลย์ระบบอยู่ที่ (0,0,0) เป็น index-2 spiral-saddle point และเนื่องจากระบบแสดงความไม่มีเสถียรภาพที่ระนาบ $x-y$ ดังนั้นวงโคจรของแอทแทคเตอร์จึงเลื่อนออกจากจุดสมดุล การให้ระบบมีเสถียรภาพในภาพรวมใช้ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นตามตารางที่ 3.1 เป็นตัวพับวงโคจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

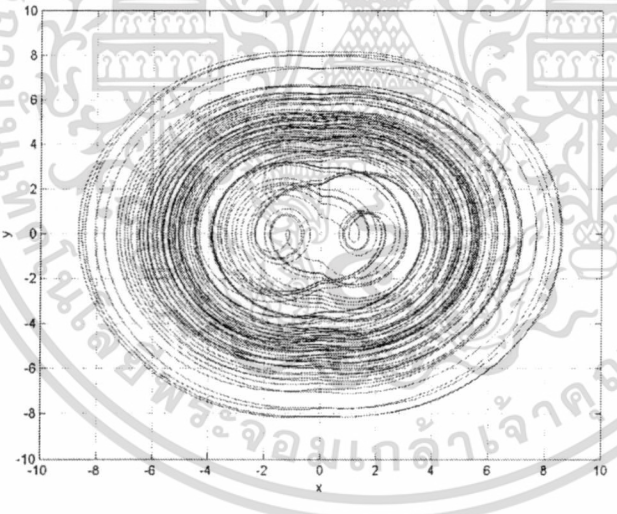
3.3 ระบบอลวนแบบ nonautonomous อันดับสอง 2 (Second-order nonautonomous chaotic system)

เพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนจากระบบ nonautonomous อันดับสอง ระบบอลวนแบบนี้ประกอบด้วยระบบเชิงเส้นอันดับสองและอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นแบบเครื่องหมายเป็นตัวป้อนกลับ พร้อมด้วยสัญญาณขับที่เป็นคลื่นไซน์แสดงได้ในงานวิจัย [45]. และในระบบแบบเดียวกันแต่ใช้ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นป้อนกลับแบบอิ่มตัว(saturate) แสดงได้ในงานวิจัย[46]

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ f(x) + f_s(\omega t) \end{bmatrix}. \qquad (3.5)$$

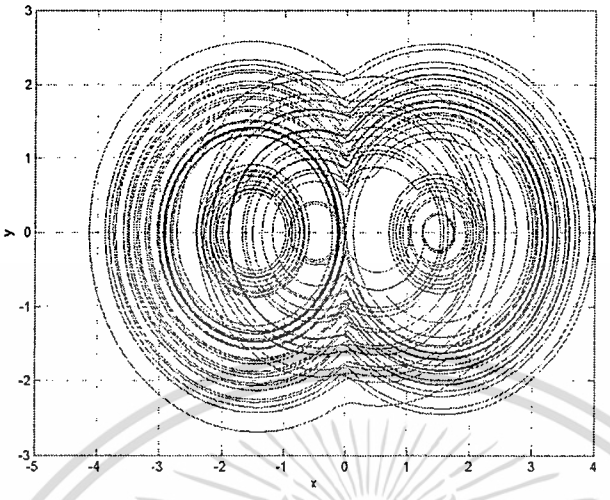
โดย α เป็นค่าสัมประสิทธิ damping ระบบใน (3.5) นี้ให้แอทแทคเตอร์แบบ 2 สกอร์

และในงานวิจัย [47] ใช้สัญญาณขับที่เป็นสัญญาณพัลส์ แทนสัญญาณไซน์โดยฟังก์ไม่เป็นเชิงเส้นในที่นี้ใช้ฟังก์ชันผลการจำลองระบบ (3.5) โดย$f(x)$ เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและใช้สัญญาณไซน์เป็นตัวขับแสดงได้ในรูป 3.3 และผลการจำลองระบบ (3.5) โดย $f(x)$ เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและใช้สัญญาณพัลส์-ขนาด_+0.5, 0.2 rad/s เป็นตัวขับแสดงได้ในรูป 3.4



รูป. 3.3 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,yโดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.5) โดยค่า f(x) เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. 3.4 ผลการจำลองของแอทแทคเตอร์ที่สเตต x,y โดยใช้โปรแกรม Matlab ของระบบ (3.5) โดยค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณพัลส์

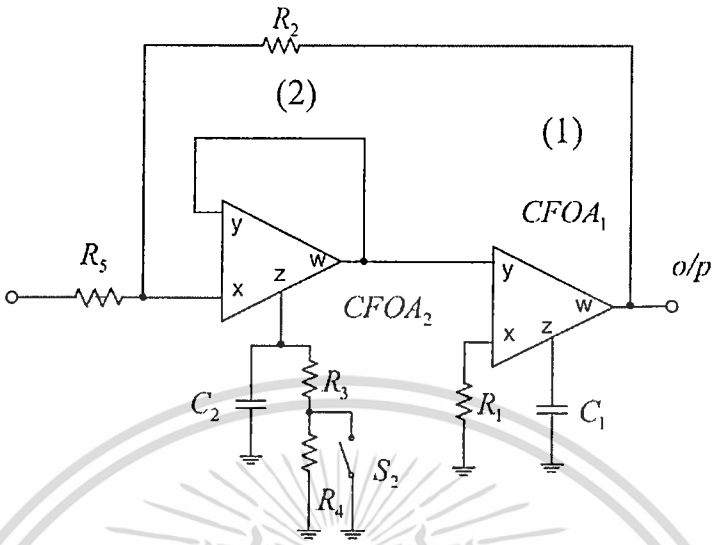
3.4 การออกแบบวงจรในงานวิจัย

จากระบบอลวนที่(3.1) (3.4) และ(3.5) จะมีจุดรวมกันคือ quadrature core อยู่ในระนาบ x,y โดยระบบ (3.1) (3.5) เป็นระบบที่มีเสถียรภาพและระบบ(3.4) เป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ และเพื่อให้ตอบสนองได้ความถี่สูงในงานวิจัยเลือกใช้วงจรรวมแบบโหมดกระแสที่มี(Current Feedback Operational Amplifier:*CFOA*) $CFOA$ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาท์พุตได้คือ

$$V_x = V_y, I_z = I_x, V_w = V_z \qquad (3.6)$$

การออกแบบวงจร quadrature core สำหรับ เระบบอลวนที่(3.1) (3.4) และ(3.5) เพื่อตอบสนอง สามารถกระทำได้โดยสร้างวงจรปริพันธ์สองชั้น (double loop integrators) โดยการใช้วงจรรวม $CFOA_1$ ร่วมกับตัวต้านทาน R_1 และตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรปริพันธ์ (integrator) โดยวงจรรวม $CFOA_2$ ร่วมกับตัวต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรปริพันธ์แบบลบ โดย $R_2 = R_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป. 3.5 วงจรปริพันธ์สองชั้น (double loop integrators)

การต่อวงจรปริพันธ์บวกลบร่วมกัน โดยใช้การป้อนกลับวงจรปริพันธ์บวก เป็นอินพุตของวงจรปริพันธ์ลบ ทำให้เกิดวงจรปริพันธ์สองชั้น (double loop integrators) โดยตัวต้านทาน $R_3 = 0.95R_1$ และตัวต้านทาน $R_4 = 0.15R_1$ ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_2 มีสวิตช์ S_2 ต่อคล่อมอยู่ การเปลี่ยนแปลงระบบระหว่างมีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพ ทำการปิดสวิตช์ S_2 หรือทำให้ค่าตัวต้านทาน R_4 มีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อเปิดสวิตช์ S_2 หรือทำให้ R_4 มีค่าตามปกติ สามารถแสดงได้โดยสมการของสถานะได้ เมื่อปิดสวิตช์ S_2 คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} - \frac{1}{R_3C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \qquad (3.7)$$

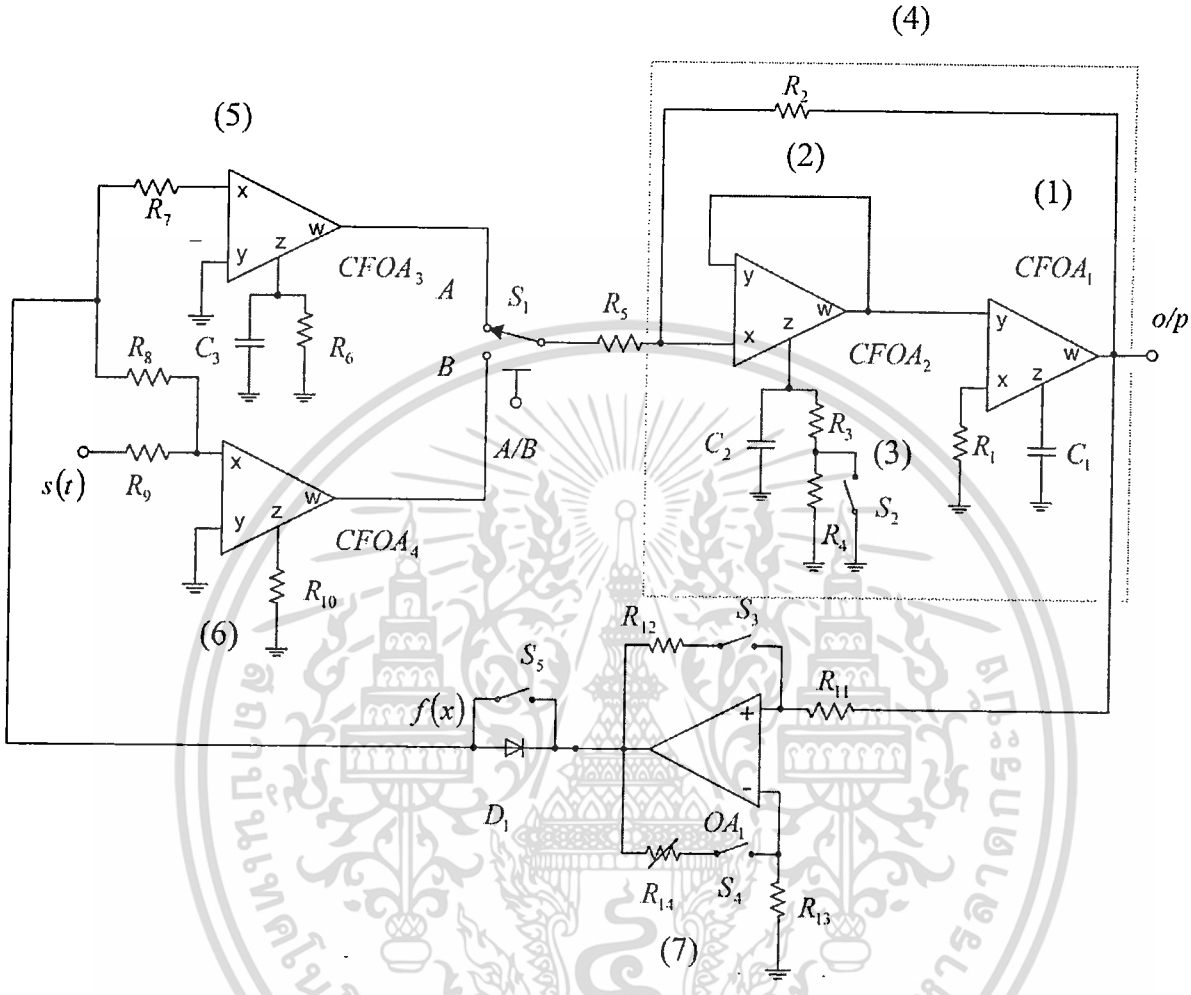
วงจรปริพันธ์สองชั้นจะแสดงพฤติกรรมแบบมีเสถียรภาพ
เมื่อเปิดสวิตช์ S_2 พฤติกรรมของวงจรปริพันธ์สองชั้นแสดงโดยสมการของสถานะได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} - \left(\frac{1}{R_3C_2} + \frac{1}{R_4C_2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} \qquad (3.8)$$

วงจรปริพันธ์สองชั้นจะแสดงพฤติกรรมแบบไม่มีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับออกแบบวงจรสร้างสัญญาณอลวนหลากโหมดแสดงได้ดังรูป 3.6



รูป. 3.6 วงจรอลวนแบบหลากโหมด

โดย วงจรรวม $CFOA_3$ ต่อร่วมกับตัวต้านทาน R_6, R_7 และตัวเก็บประจุ C_3 โดย $R_6, = R_7 = R_1$ เป็นวงจรปริพันธ์แบบสูญเสีย 5 (lossy integrator) และวงจรรวม $CFOA_3$ ต่อร่วมกับตัวต้านทาน $R_9 = R_{10}$ โดย $R_9 = R_{10} = R_1$ เป็นวงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง สำหรับวงจรรวม OA_1 เป็นวงจรรวมโหมดแรงดันต่อร่วมกับ $R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ พร้อมด้วยสวิตช์ S_3, S_4, S_5 และไดโอด D_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ โดย $R_{11} = R_1$, $R_{12} = 30R_1$, $R_{13} = 0.1R_1$, $R_{14} = 50R_1$ วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด สามารถสร้างสัญญาณอลวนแบบอิสระ (autonomous) และแบบใช้สัญญาณขับ (nonautonomous) โดยการต่อวงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระ กระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น เข้ากับวงจรปริพันธ์แบบสูญเสีย และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ โดยผ่านสวิตช์ S_1 ซึ่งเป็นอิเลคทรอนิคส์สวิตช์ควบคุมโดยอินพุท A/B ให้ทำงานในตำแหน่ง A โดยกำหนดให้วงจรปริพันธ์สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น ทำงานแบบไม่มีเสถียรภาพโดยการเปิดสวิตช์ S_2 แสดงสมการของสถานะของวงจรในโหมดนี้โดยใช้วงจรปริพันธ์สามตัวได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \\ \frac{dv_{C3}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} & 0 \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2}+\frac{1}{R_5C_2}-\left(\frac{1}{R_3C_2}+\frac{1}{R_4C_2}\right) & \frac{1}{R_5C_2} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{R_6C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \\ v_{c3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f(t) \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

โดยฟังก์ชัน $f(t)$ เกิดจากวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ โดยสามารถกำหนดให้เป็นฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ (*Heaviside*) หรือฟังก์ชันเครื่องหมาย (Signum) หรือฟังก์ชันอิ่มตัว(Saturation) หรือฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส (*Hysteresis*) การต่อวงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระ โดยใช้วงจรปริพันธ์สองตัวหรือเรียกว่าลำดับ 2 กระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น เข้ากับวงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ โดยผ่านสวิตช์ S_1 ในตำแหน่ง B โดยกำหนดให้วงจรปริพันธ์สองชั้น ทำงานแบบไม่เสถียรโดยการเปิดสวิตช์ S_2 แสดงสมการของสถานะของวงจรได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2}-\frac{1}{R_4C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ f(t) \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

โดย $f(t)$ เกิดจากวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ ปรับเป็นฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส การต่อวงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับ (nonautonomous) กระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น เข้ากับวงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ โดยผ่านสวิตช์ S_1 ในตำแหน่ง B โดยกำหนดให้วงจรปริพันธ์สองชั้น ทำงานแบบมีเสถียรภาพโดยการปิดสวิตช์ S_2 แสดงสมการของสถานะของวงจรได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2}-\left(\frac{1}{R_3C_2}+\frac{1}{R_4C_2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ f(t)+s(t) \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

ฟังก์ชัน $f(t)$ เกิดจากวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ เป็นฟังก์ชันเฮฟวีไซด์หรือฟังก์ชันเครื่องหมาย $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์หรือพัลส์ที่ใช้ขับวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนจากภายนอก
สำหรับฟังก์ชัน $f(t)$ เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ โดยการควบคุมสวิตช์ S_3, S_4, S_5 เพื่อให้วงจรทำงานเป็นวงจรฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ ฟังก์ชันเครื่องหมาย ฟังก์ชันอิ่มตัว ฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส แสดงได้ดังตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2

ฟังก์ชัน $f(t)$	S_3	S_4	S_5
เฮฟวีไซด์	เปิด	เปิด	เปิด
เครื่องหมาย	เปิด	เปิด	ปิด
อิ่มตัว	ปิด	เปิด	ปิด
ฮีสเตอร์รีซีส	เปิด	ปิด	ปิด

การนำสัญญาณอลวนไปใช้กระทำได้ที่จุดเอาท์พุต (o/p) สำหรับโหมดของวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนทั้งหมด แสดงได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ประเภทสัญญาณ	โหมดจากฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น
สัญญาณอลวนแบบอสิระโดยใช้วงจรปริพันธ์ 3 ตัว	1. เฮฟวีไซด์ 2. เครื่องหมาย 3. อิ่มตัว 4. ฮีสเตอร์รีซีส
สัญญาณอลวนแบบอิสระโดยใช้วงจรปริพันธ์ 2 ตัว	1. ฮีสเตอร์รีซีส
สัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับ	1. เฮฟวีไซด์ $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์ขับ 2. เครื่องหมาย $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์ขับ 3.อิ่มตัว $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์ขับ 4. เครื่องหมาย $s(t)$ เป็นสัญญาณพัลส์ขับ

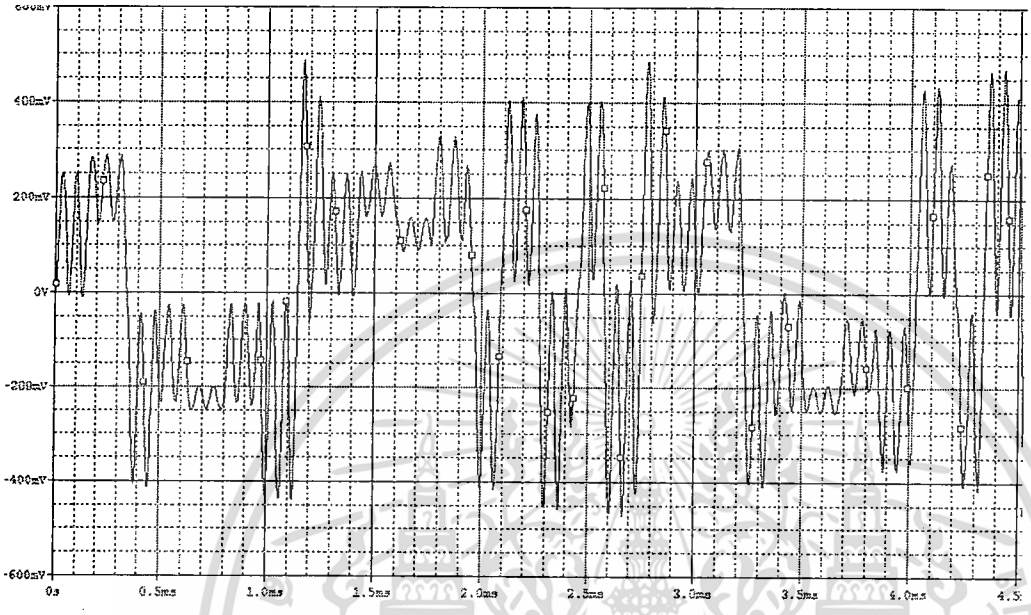
การสร้างสัญญาณผสม(mix-mode) แบบต่างๆสามารถกระทำได้ให้ S_2, S_3, S_4, S_5 เป็นอิเลคทรอนิคส์สวิตช์ทั้งหมด โหมดของการสร้างสัญญาณผสมระหว่างแบบอิสระและแบบใช้สัญญาณขับสามารถกระทำได้โดยใช้การควบคุมสวิตช์ S_1 ในตำแหน่ง A และ B ร่วมกับการปิดเปิดสวิตช์ S_2 ทำให้เกิดสัญญาณแบบผสมจำนวน 3 รูปแบบ และเมื่อเลือกทำงานในโหมดการสัญญาณอลวนแบบอสิระโดยใช้วงจรปริพันธ์ 3 ตัว สามารถสร้างสัญญาณผสมโดยการควบคุมที่สวิตช์ S_3, S_4, S_5 จะได้สัญญาณผสมอีก 3 รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

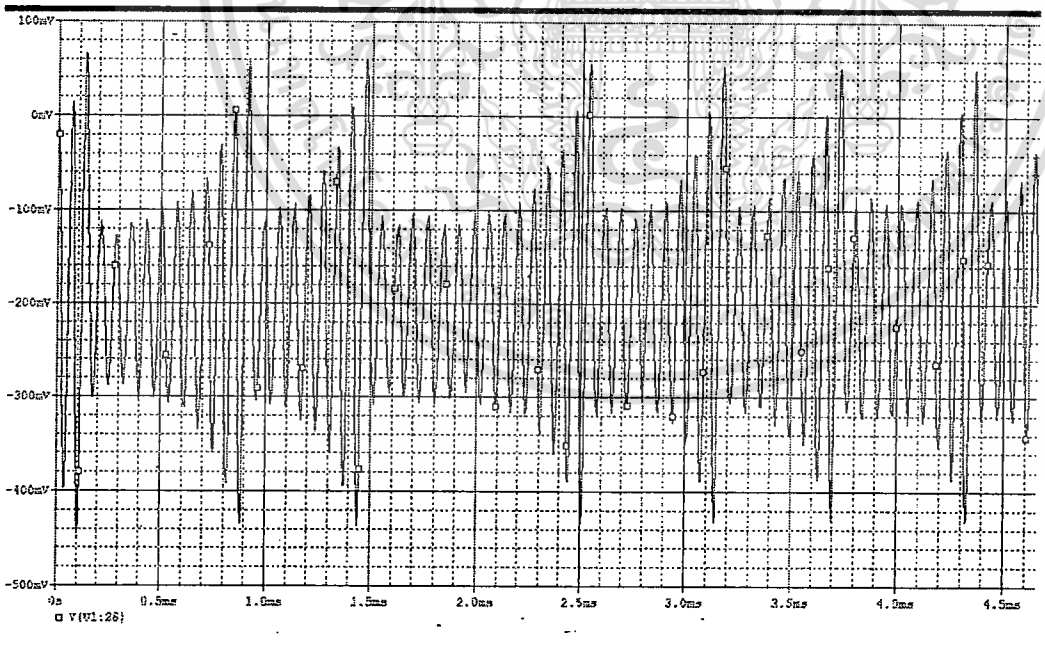
137832

บทที่ 4
ผลการทดลองวงจรหลากโหมด

4.1 แสดงผลการจำลองโดยโปรแกรม Pspice

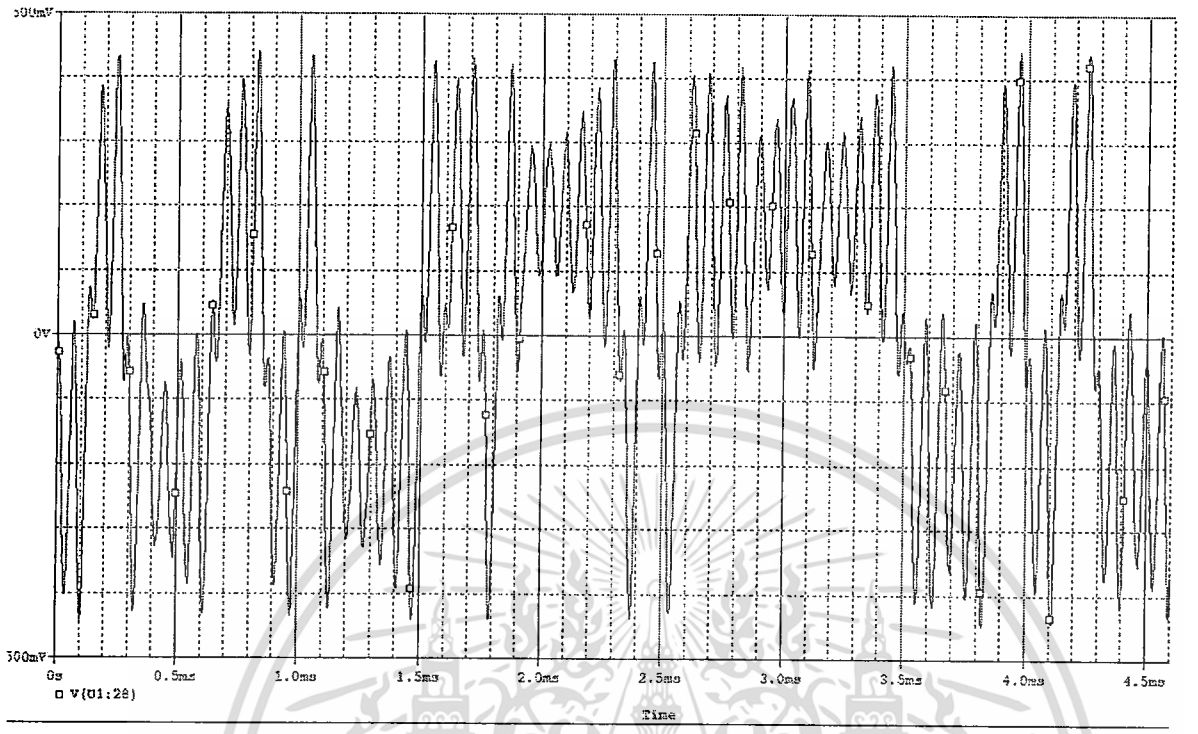


รูป 4.1 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบ nonautonomous อันดับสองค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมาย และระบบขับด้วยสัญญาณพัลส์

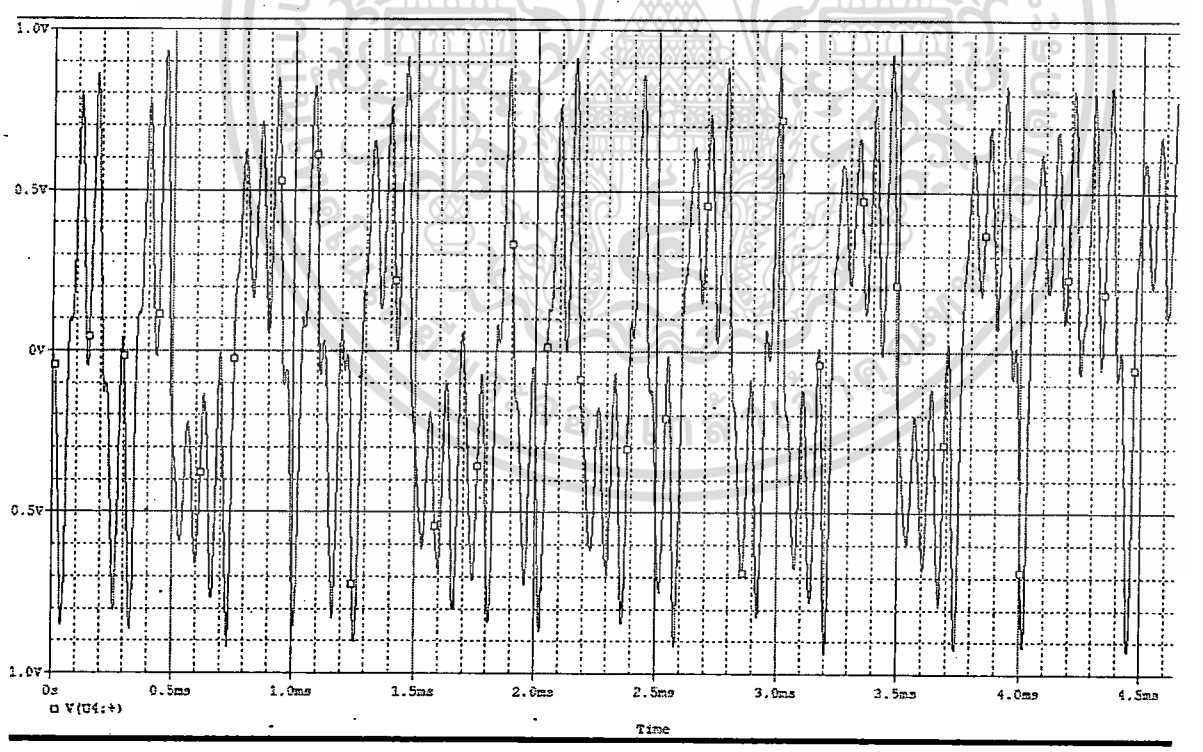


รูป 4.2 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเฮฟวีไซด์(*Heaviside*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



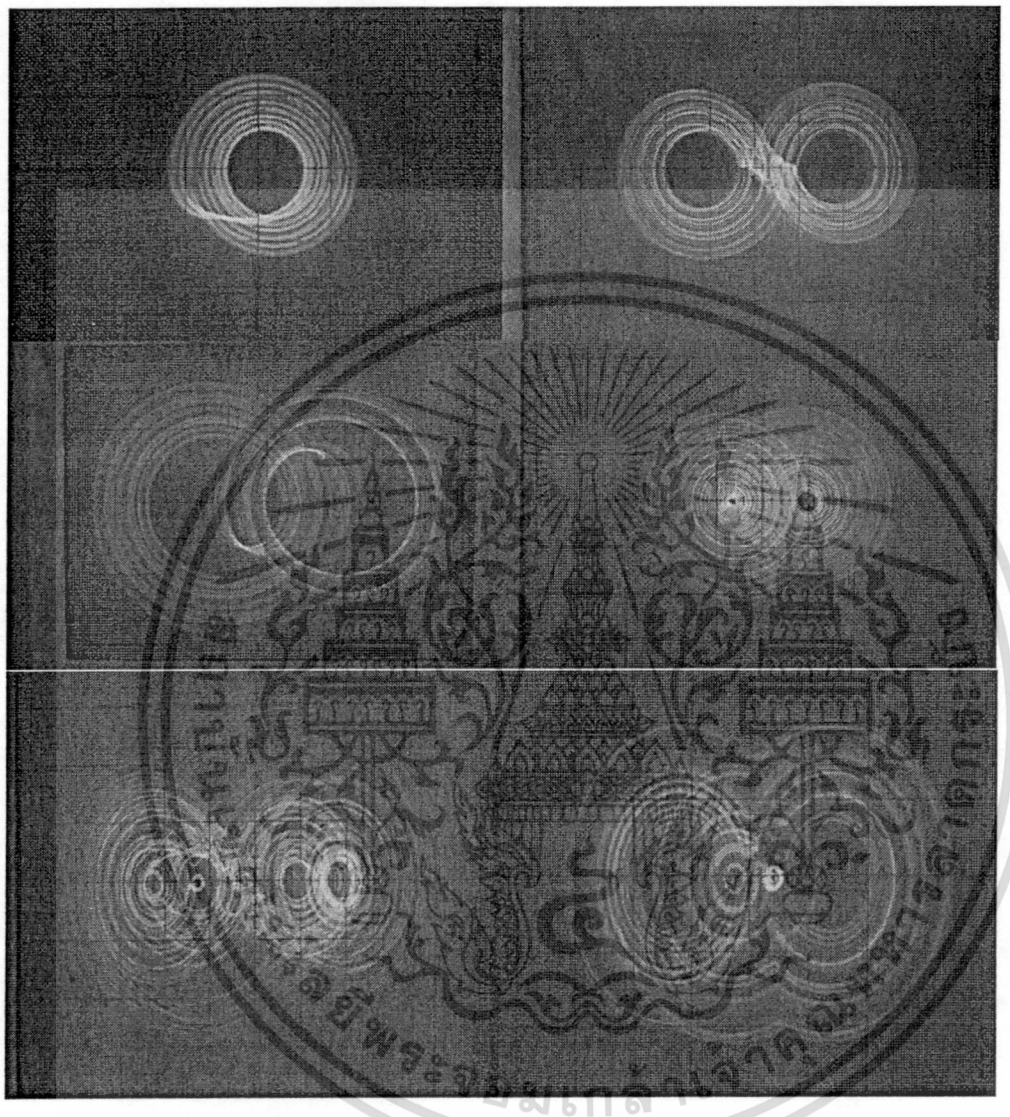
รูป 4.3 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันอิ่มตัว (Saturation)



รูป 4.4 ผลการจำลองสัญญาณอลวนของระบบแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเครื่องหมาย (Signum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แสดงผลการทดลองโดยการวัดที่สเตต x,y



รูป 4.5 โดยจากบนซ้ายถึงล่างขวาสุดแสดง

1.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเฮฟวีไซด์

2.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเครื่องหมาย

3.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันฮิสเตอร์รีซีส

4.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 2 ใช้ฟังก์ชันฮิสเตอร์รีซีส

5.ระบบอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 ใช้ฟังก์ชันเครื่องหมายมีการขับด้วยด้วยสัญญาณพัลส์ที่สเตต x

6.ระบบอลวนแบบ nonautonomous อันดับ 2 ค่า f(x)เป็นฟังก์ชันเครื่องหมายและระบบขับด้วยสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงการวงจรผลิตสัญญาณอลวนที่ทำงานได้ทั้งโหมดอลวนแบบ autonomous อันดับ 3 autonomous อันดับ 2 และ nonautonomous อันดับ 2 โดย
วงจรสามารถกำเนิดสัญญาณได้ 9 รูปแบบ โดยวงจรประกอบด้วยวงจรปริพันธ์สอง และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ที่สามารถทำงานเป็นวงจรฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ (Heaviside function) ฟังก์ชันเครื่องหมาย(Signum function) ฟังก์ชันอิ่มตัว (Saturation function) ฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส (Hysteresis function)

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการสร้างในโอกาสต่อไปอาจจะพัฒนาในวงจรทำงานที่ความถี่สูง หรือออกแบบอยู่ในรูปแบบชิงวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ โทร ๓๔๕๑, ๓๘๔๕
ที่ ศธ.๐๕๒๔.๐๒.๔/ ๒๙๙ วันที่ ๖ สิงหาคม ๒๕๕๖
เรื่อง ขอแสดงความจำนงการขอรับสิทธิบัตร

เรียน ผู้อำนวยการสำนักงานส่งเสริมและบริการวิชาการ ผ่านคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สิ่งที่แนบมาด้วย ๑. แบบฟอร์มของแสดงความจำนงการขอรับสิทธิบัตร
๒. รายละเอียดการประดิษฐ์

ด้วยข้าพเจ้า ผศ.ดร.กฤดากร กล่อมการ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์มี ผลการประดิษฐ์เรื่อง "วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด (Universal mode chaos generator)" ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์จากการรับทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ประจำปี ๒๕๕๖ คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยข้าพเจ้าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย ต้องการแสดงความจำนงเพื่อขอรับสิทธิบัตรผลงานดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(ลงชื่อ) กฤดา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤดากร กล่อมการ)

เรียนผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมและบริการวิชาการ
เพื่อโปรดพิจารณา

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 6 ส.ค. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟอร์มแสดงความจำนงการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
งานทรัพย์สินทางปัญญา สำนักส่งเสริมและบริการวิชาการพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์....วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด
2. ชื่อผู้ประดิษฐ์

2.1 ชื่อ.....นาย กฤดากร กล่อมการ..... นามสกุล.....กล่อมการ..... สังกัด...คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ..สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์หลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล..

โทรศัพท์(สายใน).....5131.....โทรศัพท์(สายนอก)....0814061251..... โทรสาร.....

อีเมล์ .....kkkitdak@kmitl.ac.th..... ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ ..100%...

3. แหล่งเงินทุน

☒ ได้รับเงินทุน

☒ แหล่งทุนภายใน (โปรดระบุ) .....โครงการวิจัยเงินรายได้ประจำปีคณะวิศวกรรมศาสตร์

☐ แหล่งทุนภายนอก (โปรดระบุ) .....

☐ ไม่ได้รับเงินทุน

4. ความร่วมมือในงานวิจัย

☐ ภายในสถาบันฯ

☐ หน่วยงานภายนอก (โปรดระบุ) .....

5. การสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

5.1 คำสำคัญที่ท่านสืบค้น

(1) .....chaotic oscillator..... (2) .....chaotic..circuit.....

(3) .....chaos application... (4) .....chaos generator.....

5.2 ผลการสืบค้น ☐ เหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว ☒ไม่เหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว

5.3 แหล่งที่ใช้ในการสืบค้น ☐ ไทย (www.ipthailand.org) ☒สหรัฐอเมริกา (www.uspto.gov)

☐ ญี่ปุ่น (www.jpo.go.jp) ☒ ยุโรป (http://ep.espacenet.com)

☐ อื่นๆ ระบุ.....

(ในกรณีที่พบว่าเหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว กรุณาแนบเอกสารที่สืบค้นมาพร้อมด้วย)

6. การตีพิมพ์/การเผยแพร่ผลงาน

☒ ยังไม่ได้มีการตีพิมพ์/เผยแพร่ผลงาน

☐ ได้มีการตีพิมพ์/เผยแพร่ผลงาน (ระบุวันที่..... เดือน..... พ.ศ. ..... สถานที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ผลงานนวัตกรรมที่ประดิษฐ์ซึ่งประสงค์จะขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

แสดงจุดหมายและรายละเอียดได้ตามนี้

7.1 ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์ *(วัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์)*

.....การประดิษฐ์แสดงถึงวงจรสัญลวนที่ให้สัญญาณแบบต่อเนื่อง (continuous signal) วงจรสามารถทำงานได้หลายโหมดและกำเนิดสัญญาณได้หลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการกำเนิดเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวน การสร้างสัญญาณสำหรับขับมอเตอร์ในการปั่นผสมและสำหรับการสร้างบิตสุ่มจริง โดยเรียกวงจรสร้างสัญญาณอลวนที่ประดิษฐ์ขึ้นว่าวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด (Universal mode chaos generator) โดยวงจรสามารถทำงานในย่านความถี่ 10Hz-1MHz สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนในแบบอสิระ (autonomous) และใช้สัญญาณขับ (non-autonomous) โดยสามารถการปรับพฤติกรรมของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นให้มีลักษณะต่างๆเพื่อให้แสดงสัญญาณได้หลายรูป โดยสัญญาณที่กำเนิดขึ้นสามารถกำเนิดค่าสุ่ม กำเนิดรูปแบบเส้นทางขับเคลื่อนหุ่นและกำเนิดสัญญาณให้กับการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์สำหรับการปั่นผสม

7.2 สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์ *(การประดิษฐ์อยู่ในสาขาหรือเทคโนโลยีด้านใด)*

เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเลคทรอนิคส์

7.3 ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง *(ระบุข้อบกพร่องของการประดิษฐ์ที่มีอยู่ก่อน พร้อมทั้งการแก้ไขปัญหาทางเทคนิคที่ท่านขอรับสิทธิบัตรนั้นมีความแตกต่างหรือมีขั้นการประดิษฐ์ที่สูงขึ้นจากเดิมอย่างไร)*

สัญญาณอลวนเกิดจากระบบพลวัตที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีลักษณะที่คล้ายสัญญาณเชิงสุ่มโดยสเปคตรัมกำลังมีลักษณะย่านกว้างและสัญญาณมีคุณสมบัติในการซิงโครไนซ์ การประยุกต์ของสัญญาณอลวนนอกจากใช้สำหรับการสื่อสารแบบปลอดภัยหรือการเข้ารหัสแล้ว จากที่สัญญาณลักษณะในโดเมนทางเวลาที่มีรูปแบบหลากหลายและซับซ้อน จึงสามารถนำสัญญาณ มาใช้กับการประยุกต์สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้มีความเร็วไม่คงที่รอบสำหรับอุตสาหกรรมปั่นผสม(Industrial mixing) หรือเป็นสัญญาณอ้างอิงสำของระบบคอนเวอร์เตอร์ ในวงจรอิเลคทรอนิคส์กำลังเพื่อลดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interference) และเนื่องจากสัญญาณมีลักษณะคล้ายการเกิดแบบสุ่มจึงสามารถนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดสัญญาณเพื่อสร้างบิตสุ่มจริง (True Random) ในงานวิศวกรรมได้คอมพิวเตอร์ได้ และสมบัติหนึ่งของสัญญาณคือมีลักษณะที่ไม่เป็นรายคาบ ดังนั้นจึงสามารถนำสัญญาณมาใช้เป็นตัวกำเนิดเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวนหรือหุ่นยนต์ทำความสะอาด ได้ด้วยเช่นกัน

สำหรับสิทธิบัตรที่มุ่งเน้นการสร้างสัญญาณอลวนนั้นแสดงได้ตัวอย่างเช่น สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 6,842,745 “Programmable chaos generator and process for use thereof” แสดงวิธีการสร้างสัญญาณอลวนแบบอิสระ (autonomous) ของวงจร Chua ซึ่งลักษณะวงจรประกอบด้วยการต่อรวมระหว่างตัวเหนี่ยวนำ 1 ตัว ตัวเก็บประจุ 2 ตัวและตัวต้านทาน 1 ตัวต่อร่วมกับวงจรความต้านทานลบแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นวงจรแอคทีฟ (active)โดยวงจรสามารถกำเนิดสัญญาณอลวนได้โดยไม่ใช้สัญญาณขับจากภายนอก สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 6,842,745ใช้รูปแบบวงจรที่เรียกว่า cellular neural networks เพื่อสร้างให้ง่ายเมื่อสร้างเป็นวงจรร่วมขนาดใหญ่ ในสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 7,119,640 “Chua's circuit and it's use in a hyperchaotic circuit” แสดงการสร้างวงจรของ Chua ที่สามารถกำเนิดสัญญาณแบบไฮเปอร์โดยใช้วงจรแบบโหมดกระแส ในสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่คำขอ US20120019330 “Multi-screw chaotic oscillator circuit” เป็นการแสดงการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระหลายสกอร์ โดยเทคนิควงจรแบบ Operational transconductance amplifier สิทธิบัตร

สหรัฐอเมริกาเลขที่ 6,127,899 “High frequency anharmonic oscillator for the generation of broadband deterministic noise” แสดงการสร้างวงจรอลวนที่ความถี่สูงสำหรับการสื่อสารโดยสร้างสัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับ (non-autonomous)

จากสิทธิบัตรที่กล่าวมาทั้งหมดมุ่งสร้างสัญญาณอลวนแบบใดแบบหนึ่งโดยใช้เทคนิคทางวงจร การสร้างวงจรที่สามารถปรับโหมดได้ระหว่างการกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระและกำเนิดสัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับนั้นยังไม่มีปรากฏ

7.4 สาระสำคัญของการประดิษฐ์ *(ระบุรายละเอียดการประดิษฐ์โดยเฉพาะส่วนที่เป็นสาระสำคัญทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธี ตลอดจนผลการทดลอง การทดสอบ ในชั้นของการวิจัยและพัฒนา หากมีรูปเขียนหรือรายงานผลการทดลอง/ทดสอบ ให้แนบมาเพื่อประกอบการพิจารณาด้วย)*

แสดงมาตามเอกสารที่แนบ ร่างสิทธิบัตร

7.5 ข้อถือสิทธิ *(ระบุขอบเขตที่ต้องการได้รับความคุ้มครอง และต้องสอดคล้องกับรายละเอียดการประดิษฐ์)*

☒ผลิตภัณฑ์ ที่มีลักษณะพิเศษทางเทคนิค คือ

เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณอลวนได้หลายรูปแบบโดยใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์น้อยชิ้นซึ่งมีประโยชน์สำหรับการใช้เป็นตัวกำเนิดรูปแบบการเดินของหุ่นยนต์ การใช้เป็นสัญญาณสุ่มหรือ การใช้เป็นสัญญาณขับความเร็วมอเตอร์เพื่อให้มีความเร็วรอบไม่คงที่สำหรับการปั่นผสม

8. จุดเด่นของผลิตภัณฑ์และการนำประโยชน์จากผลิตภัณฑ์สู่เชิงพาณิชย์ .....

.....วงจรเป็นหัวใจหลักของการสร้างผลิตภัณฑ์เช่น เครื่องปั่นขนาดเล็ก(Homogenizer) ตัวกำเนิดสัญญาณสุ่มจริง(True Random generator) รวมถึงตัวหุ่นยนต์ลาดตระเวนสำหรับทำความสะอาด(cleaning robot) ราคาถูกหรือหุ่นยนต์ลาดตระเวนรักษาความปลอดภัย(security patrol robot)

ลงชื่อ .....ผู้ขอรับบริการ

(ผศ.ดร.กฤดากร กล่อมการ)

....6...../..สค...../.....2556.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องการประดิษฐ์

เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเลคทรอนิคส์

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

สัญญาณอลวนเกิดจากระบบพลวัตที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีลักษณะที่คล้ายสัญญาณเชิงสุ่มโดยสเปคตรัมกำลังมีลักษณะย่านกว้างและสัญญาณมีคุณสมบัติในการซิงโครไนซ์ การประยุกต์ของสัญญาณอลวนนอกจากใช้สำหรับการสื่อสารแบบปลอดภัยหรือการเข้ารหัสแล้ว จากที่สัญญาณลักษณะในโดเมนทางเวลาที่มีรูปแบบหลากหลายและซับซ้อน จึงสามารถนำสัญญาณ มาใช้กับการประยุกต์สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้มีความเร็วไม่คงที่รอบสำหรับอุตสาหกรรมปั่นผสม (Industrial mixing) หรือเป็นสัญญาณอ้างอิงสำของระบบคอนเวอร์เตอร์ ในวงจรอิเลคทรอนิคส์กำลังเพื่อลดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic interference) และเนื่องจากสัญญาณมีลักษณะคล้ายการเกิดแบบสุ่มจึงสามารถนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดสัญญาณเพื่อสร้างบิตสุ่มจริง (True Random) ในงานวิศวกรรมได้คอมพิวเตอร์ได้ และสมบัติหนึ่งของสัญญาณคือมีลักษณะที่ไม่เป็นรายคาบ ดังนั้นจึงสามารถนำสัญญาณมาใช้เป็นตัวกำเนิดเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวนหรือหุ่นยนต์ทำความสะอาด ได้ด้วยเช่นกัน

สำหรับสิทธิบัตรที่มุ่งเน้นการสร้างสัญญาณอลวนนั้นแสดงได้ตัวอย่างเช่น สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 6,842,745 “Programmable chaos generator and process for use thereof” แสดงวิธีการสร้างสัญญาณอลวนแบบอิสระ (autonomous) ของวงจร Chua ซึ่งลักษณะวงจรประกอบด้วยการต่อรวมระหว่างตัวเหนี่ยวนำ 1 ตัว ตัวเก็บประจุ 2 ตัวและตัวต้านทาน 1 ตัวต่อร่วมกับวงจรความต้านทานลบแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นวงจรแอคทีฟ (active)โดยวงจรสามารถกำเนิดสัญญาณอลวนได้โดยไม่ใช้สัญญาณขับจากภายนอก สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 6,842,745ใช้รูปแบบวงจรที่เรียกว่า cellular neural networks เพื่อสร้างให้ง่ายเมื่อสร้างเป็นวงจรร่วมขนาดใหญ่ ในสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 7,119,640 “Chua's circuit and it's use in a hyperchaotic circuit” แสดงการสร้างวงจรของ Chua ที่สามารถกำเนิดสัญญาณแบบไฮเปอร์โดยใช้วงจรแบบโหมดกระแส ในสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่คำขอ US20120019330 “Multi-screw chaotic oscillator circuit” เป็นการแสดงการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระหลายสกอร์ โดยเทคนิควงจรแบบ Operational transconductance amplifier สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ 6,127,899 “High frequency anharmonic oscillator for the generation of broadband deterministic noise” แสดงการสร้างวงจรอลวนที่ความถี่สูงสำหรับการสื่อสารโดยสร้างสัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับ (non-autonomous)

จากสิทธิบัตรที่กล่าวมาทั้งหมดมุ่งสร้างสัญญาณอลวนแบบใดแบบหนึ่งโดยใช้เทคนิคทางวงจร การสร้างวงจรที่สามารถปรับโหมดได้ระหว่างการกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระและกำเนิดสัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับนั้นยังไม่มีปรากฏ

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

การประดิษฐ์แสดงถึงวงจรอลวนที่ให้สัญญาณแบบต่อเนื่อง (continuous signal) วงจรสามารถทำงานได้หลายโหมดและกำเนิดสัญญาณได้หลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการกำเนิดเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหุ่นยนต์ลาดตระเวน การสร้างสัญญาณสำหรับขับมอเตอร์ในการปั่นผสมและสำหรับการสร้างบิตสุ่มจริง โดยเรียกวงจรสร้างสัญญาณอลวนที่ประดิษฐ์ขึ้นว่าวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด (Universal mode chaos generator) โดยวงจรสามารถทำงานในย่านความถี่ 10Hz-1MHz สามารถกำเนิดสัญญาณอลวนในแบบอสิระ (autonomous) และใช้สัญญาณขับ (non-autonomous) โดยสามารถการปรับพฤติกรรมของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นให้มีลักษณะต่างๆเพื่อให้แสดงสัญญาณได้หลายรูป โดยสัญญาณที่กำเนิดขึ้นสามารถกำเนิดค่าสุ่ม กำเนิดรูปแบบเส้นทางขับเคลื่อนหุ่นและกำเนิดสัญญาณให้กับการมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์สำหรับการปั่นผสม

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่ 1 แผนภาพวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด

รูปที่ 2 สัญญาณอลวนแบบอสิระที่ได้จากวงจรที่ประดิษฐ์ขึ้น

รูปที่ 3 สัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับที่ได้จากวงจรที่ประดิษฐ์ขึ้น

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

การอธิบายถึงการประดิษฐ์นี้จะทำโดยยกตัวอย่างการประดิษฐ์ และอ้างอิงโดยใช้รูปเขียนเพื่อเป็นตัวอย่างตามรูปที่ 1 แสดงวงจรประกอบด้วยวงจรรวมทั้งหมด 5 ตัวคือวงจรรวม $CFOA_1, CFOA_2, CFOA_3, CFOA_4$ เป็นวงจรรวมแบบโหมดกระแส (Current Feedback Operational Amplifier) และ OA_1 เป็นวงจรรวมโหมดแรงดัน โดย $CFOA$ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาท์พุตได้คือ $V_x = V_y, I_z = I_x, V_w = V_z$ วงจรรวม $CFOA_1$ ร่วมกับตัวต้านทาน R_1 และตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรปริพันธ์ (integrator) 1 โดยวงจรรวม $CFOA_2$ ร่วมกับตัวต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรปริพันธ์แบบลบ 2 โดย $R_2 = R_1$ การต่อวงจรปริพันธ์ 1 และ 2 ร่วมกัน โดยใช้การป้อนกลับวงจรปริพันธ์ 1 เป็นอินพุตของวงจรปริพันธ์ 2 ทำให้เกิดวงจรปริพันธ์สองชั้น (double loop integrators) 4 สำหรับตัวต้านทาน $R_3 = 0.95R_1$ และตัวต้านทาน $R_4 = 0.15R_1$ ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_2 มีสวิตช์ S_2 ต่อคล่อมอยู่ 3 เมื่อทำการปิดสวิตช์ S_2 หรือทำให้ค่าตัวต้านทาน R_4 มีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อเปิดสวิตช์ S_2 หรือทำให้ R_4 มีค่าตามปกติ ทำให้พฤติกรรมของวงจรปริพันธ์สองชั้น ที่สามารถแสดงได้โดยสมการของสถานะได้ เมื่อปิดสวิตช์ S_2 คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} - \frac{1}{R_3C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad \text{สมการที่ 1}$$

วงจรปริพันธ์สองชั้นจะแสดงพฤติกรรมแบบมีเสถียรภาพ

เมื่อเปิดสวิตช์ S_2 พฤติกรรมของวงจรปริพันธ์สองชั้นแสดงโดยสมการของสถานะได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} - \left(\frac{1}{R_3C_2} + \frac{1}{R_4C_2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปริพันธ์สองชั้นจะแสดงพฤติกรรมแบบไม่มีเสถียรภาพ

สำหรับวงจรรวม $CFOA_3$ ต่อร่วมกับตัวต้านทาน R_6, R_7 และตัวเก็บประจุ C_3 โดย $R_6, = R_7 = R_1$ เป็นวงจรปริพันธ์แบบสูญเสีย 5 (lossy integrator) และวงจรรวม $CFOA_3$ ต่อร่วมกับตัวต้านทาน $R_9 = R_{10}$ โดย $R_9 = R_{10} = R_1$ เป็นวงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง 6 สำหรับวงจรรวม OA_1 เป็นวงจรรวมโหมดแรงดันต่อร่วมกับ $R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ พร้อมด้วยสวิตช์ S_3, S_4, S_5 และไดโอด D_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 โดย $R_{11} = R_1$, $R_{12} = 30R_1$, $R_{13} = 0.1R_1$, $R_{14} = 50R_1$

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมด สามารถสร้างสัญญาณอลวนแบบอิสระ (autonomous) และแบบใช้สัญญาณขับ (nonautonomous) โดยการต่อวงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระกระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น 4 เข้ากับวงจรปริพันธ์แบบสูญเสีย 5 และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 โดยผ่านสวิตช์ S_1 ซึ่งเป็นอิเลคทรอนิคส์สวิตช์ควบคุมโดยอินพุท A/B ให้ทำงานในตำแหน่ง A โดยกำหนดให้วงจรปริพันธ์สองชั้น 4 ทำงานแบบไม่มีเสถียรภาพโดยการเปิดสวิตช์ S_2 แสดงสมการของสถานะของวงจรในโหมดนี้โดยใช้วงจรปริพันธ์สามตัวได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \\ \frac{dv_{C3}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} & 0 \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} + \frac{1}{R_5C_2} - \left(\frac{1}{R_3C_2} + \frac{1}{R_4C_2}\right) & \frac{1}{R_5C_2} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{R_6C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \\ v_{c3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f(t) \end{bmatrix} \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยฟังก์ชัน $f(t)$ เกิดจากวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 โดยสามารถกำหนดให้เป็นฟังก์ชันเฮฟวีไซด์(Heaviside) หรือฟังก์ชันเครื่องหมาย (Signum) หรือฟังก์ชันอิ่มตัว(Saturation) หรือฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส(Hysteresis)

การต่อวงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระ โดยใช้วงจรปริพันธ์สองตัวหรือเรียกว่าลำดับ 2 กระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น 4 เข้ากับวงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง 6 และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 โดยผ่านสวิตช์ S_1 ในตำแหน่ง B โดยกำหนดให้วงจรปริพันธ์สองชั้น 4 ทำงานแบบไม่เสถียรโดยการเปิดสวิตช์ S_2 แสดงสมการของสถานะของวงจรได้คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} - \frac{1}{R_4C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ f(t) \end{bmatrix} \quad \text{สมการที่ 4}$$

โดย $f(t)$ เกิดจากวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 ปรับเป็นฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส

การต่อวงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับ (nonautonomous) กระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น 4 เข้ากับวงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง 6 และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 โดยผ่านสวิตช์ S_1 ในตำแหน่ง B โดยกำหนดให้วงจรปริพันธ์สองชั้น 4 ทำงานแบบมีเสถียรภาพโดยการปิดสวิตช์ S_2 แสดงสมการของสถานะของวงจรได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \frac{dv_{C1}}{dt} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_1C_1} \\ \frac{-1}{R_2C_2} & \frac{1}{R_2C_2} - \left(\frac{1}{R_3C_2} + \frac{1}{R_4C_2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{c1} \\ v_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ f(t) + s(t) \end{bmatrix} \quad \text{สมการที่ 5}$$

ฟังก์ชัน $f(t)$ เกิดจากวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 เป็นฟังก์ชันเฮฟวีไซด์หรือฟังก์ชันเครื่องหมาย $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์หรือพัลส์ที่ใช้ขับวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนจากภายนอก สำหรับฟังก์ชัน $f(t)$ เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 โดยการควบคุมสวิตช์ S_3, S_4, S_5 เพื่อให้วงจรทำงานเป็นวงจรฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ ฟังก์ชันเครื่องหมาย ฟังก์ชันอิ่มตัว ฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2

ฟังก์ชัน $f(t)$	S_3	S_4	S_5
เฮฟวีไซด์	เปิด	เปิด	เปิด
เครื่องหมาย	เปิด	เปิด	ปิด
อิ่มตัว	ปิด	เปิด	ปิด
ฮีสเตอร์รีซีส	เปิด	ปิด	ปิด

การนำสัญญาณอลวนไปใช้กระทำได้ที่จุดเอาท์พุต (o/p) สำหรับโหมดของวงจรกำเนิดสัญญาณอลวนทั้งหมดแสดงได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ประเภทสัญญาณ	โหมดจากฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น
สัญญาณอลวนแบบอสิระโดยใช้วงจรปริพันธ์ 3 ตัว	1. เฮฟวีไซด์ 2. เครื่องหมาย 3. อิ่มตัว 4. ฮีสเตอร์รีซีส
สัญญาณอลวนแบบอิสระโดยใช้วงจรปริพันธ์ 2 ตัว	1. ฮีสเตอร์รีซีส
สัญญาณอลวนแบบใช้สัญญาณขับ	1. เฮฟวีไซด์ $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์ขับ 2. เครื่องหมาย $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์ขับ 3.อิ่มตัว $s(t)$ เป็นสัญญาณไซน์ขับ 4. เครื่องหมาย $s(t)$ เป็นสัญญาณพัลส์ขับ

การสร้างสัญญาณผสม(mix-mode) แบบต่างๆสามารถกระทำได้ให้ S_2, S_3, S_4, S_5 เป็นอิเลคทรอนิคส์สวิตช์ทั้งหมด โหมดของการสร้างสัญญาณผสมระหว่างแบบอิสระและแบบใช้สัญญาณขับสามารถกระทำได้โดยใช้การควบคุมสวิตช์ S_1 ในตำแหน่ง A และ B ร่วมกับการปิดเปิด

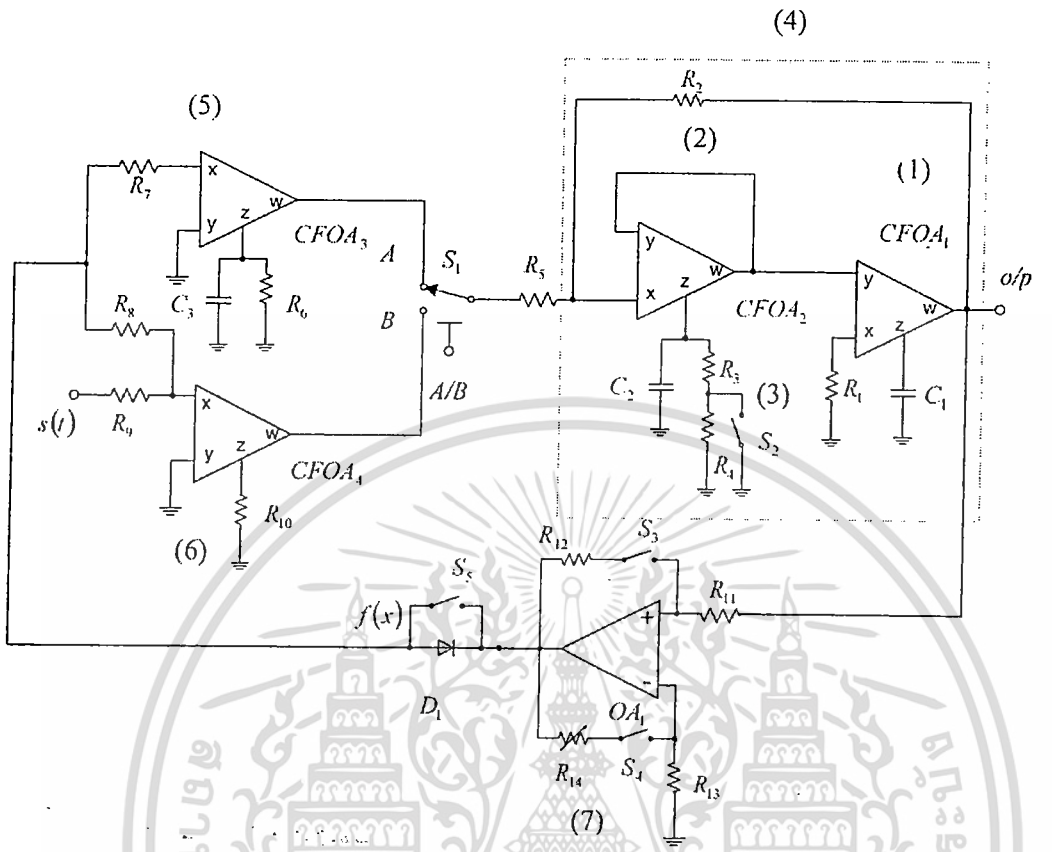
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลวนแบบอสิระโดยใช้วงจรปริพันธ์ 3 ตัว สามารถสร้างสัญญาณผสมโดยการควบคุมที่สวิตช์ S_3, S_4, S_5 จะได้สัญญาณผสมอีก 3 รูป

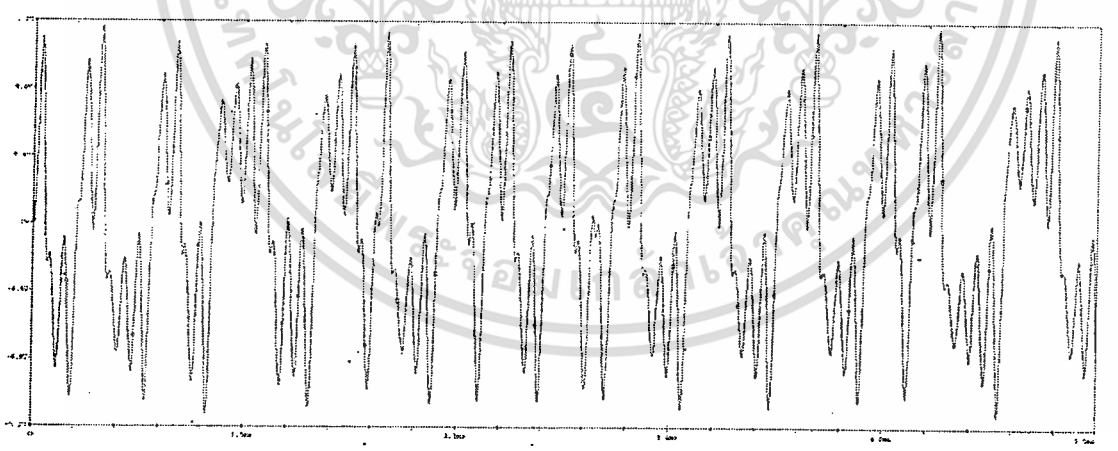
130 **วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด**

ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อเปิดเผยการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

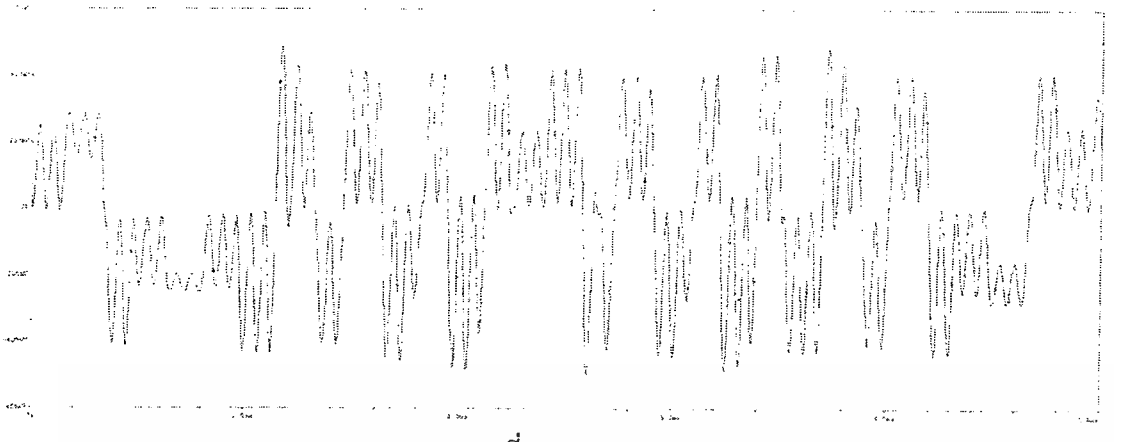


รูปที่ 1



รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อถือสิทธิ

1.วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบหลากโหมดที่ประกอบด้วย วงจรเพื่อกำเนิดสัญญาณอลวนแบบอิสระและแบบใช้สัญญาณขับ ที่สามารถกำเนิดสัญญาณได้ 9 รูปแบบตามตารางที่ 2 ที่กระทำได้โดยต่อวงจรปริพันธ์สองชั้น 4 เข้ากับวงจรปริพันธ์แบบสูญเสีย 5 หรือ วงจรอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง 6 และวงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 เข้าด้วยกัน

2. สร้างสัญญาณผสมแบบต่างๆโดยการควบคุมด้วยอิเลคทรอนิคส์สวิตช์ S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 ทุกรูปแบบ

3. วงจรสร้างสัญญาณอลวนที่สามารถปรับจากการสร้างสัญญาณแบบอิสระให้เป็นแบบใช้สัญญาณขับมีลักษณะเฉพาะคือการปรับวงจรปริพันธ์สองชั้น 4 ให้แสดงพฤติกรรมแบบมีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพโดยใช้สวิตช์เป็นตัวปรับ

4.วงจรไม่เป็นเชิงเส้นแบบปรับได้ 7 ที่สามารถทำงานเป็นวงจรฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ (Heaviside function) ฟังก์ชันเครื่องหมาย(Signum function) ฟังก์ชันอิ่มตัว (Saturation function) ฟังก์ชันฮีสเตอร์รีซีส (Hysteresis function) ได้ดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้