

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างสัญญาณเรนดัม โดยใช้สัญญาณรบกวนและสัญญาณเคออส

True Random Generator based on Chaotic and Noise signal



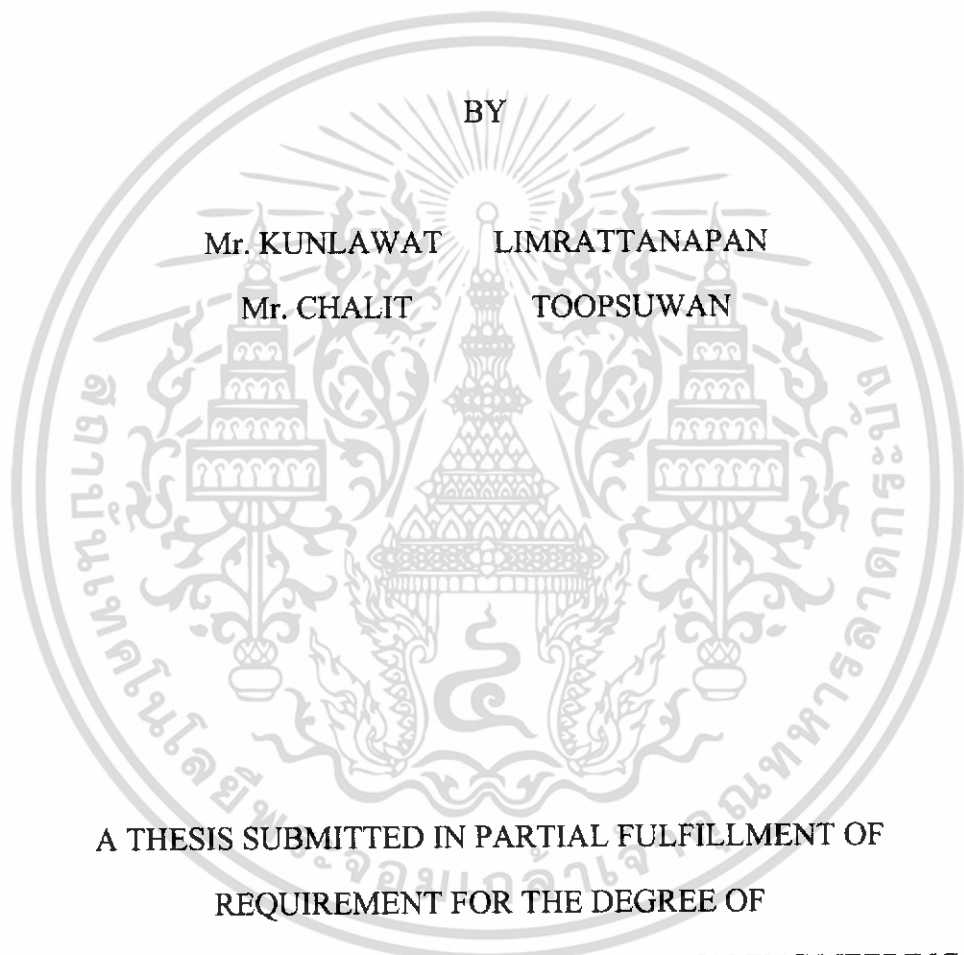
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**62749**.....  
วัน,เดือน,ปี.....**21 ส.ค. 2549**.....

b. **11629605**  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True Random Generator based on Chaotic and Noise signal



BY

Mr. KUNLAWAT LIMRATTANAPAN

Mr. CHALIT TOOPSUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร	การสร้างสัญญาณเรดัม โดยใช้สัญญาณรบกวนและสัญญาณเคออส		
ชื่อนักศึกษา	นายกุลวรรณ	ลิ้มรัตนพันธ์	รหัสนักศึกษา 45010058
	นายชลิต	ชูสุวรรณ	รหัสนักศึกษา 45010164
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ กฤดากร กล่อมการ		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2548		

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กฤดากร

(อาจารย์กฤดากร กล่อมการ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างสัญญาณแรนดัม โดยใช้สัญญาณรบกวนและสัญญาณเคออส
ชื่อนักศึกษา	นายกุลวรรณ ลิ้มรัตนพันธ์ รหัสนักศึกษา 45010058
	นายชลิต รูปสุวรรณ รหัสนักศึกษา 45010164
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ กฤดากร กล่อมการ
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบสุ่มมีใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่คงยังมีข้อบกพร่องบางประการ เช่น สัญญาณที่ได้ยังไม่ใช่สัญญาณแรนดัมที่แท้จริง อีกทั้งยังมีราคาสูง โครงการนี้จึงทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบใหม่ เพื่อให้ได้สัญญาณที่ได้มีค่าแรนดัมสูง โดยอาศัยหลักการของสัญญาณรบกวน (Noise signal) และสัญญาณเคออสติก (Chaotic) ซึ่งจะเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว

Thesis Title True Random Generator based on Chaotic and Noise signal  
Student Mr. KUNLAWAT LIMRATTANAPAN ID. 45010058  
Mr. CHALIT TOOPSUWAN ID. 45010164  
Advisor Asst. Prof. Kiddakorn Klomkan  
Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering  
Department Information Engineering  
Academic Year 2005

## ABSTRACT

The Random Generators have been applied widespread in the modern world. Even so they have some faulty functions. Any output is not the true random signal, is one of the faults as badly as costly processes. All of them led up to this project.

The research project concerns with analysis and design for structure of new generators. High value in random of output signals is purpose of serving the project. Principle of Noise signal and Chaotic supports the new signals.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ กฤดากรกล่อมการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อีกทั้งพี่ดี และพี่เจด ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กฤษวรรณ ลิ้มรัตนพันธ์  
นายชลิต รูปสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวความคิดและที่มา	1
1.2 จุดประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 สถาปัตยกรรมหลักโครงการงาน	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงการงาน	
2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณสุ่ม	5
2.2 ทฤษฎี Chaotic	6
2.3 ทฤษฎี Noise	8
2.4 ทฤษฎีมอดูเลเตอร์กระแสตรง	11
2.5 ทฤษฎี Pulse Width Modulation	12
บทที่ 3 การออกแบบโครงการงาน	
3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณแคออกสติก	14
3.2 วงจร White Noise	15
3.3 วงจร Noise on Chua's	15
3.4 วงจร Pulse Width Modulation	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 สัญญาณ Chua's	18
4.2 สัญญาณ White Noise	22
4.3 สัญญาณ Chua's ร่วมกับ Noise	23
4.4 สัญญาณ Pulse Width Modulation	24
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	31
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงการ	31
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	31
บรรณานุกรม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 2.1 Chua circuit diagram แบบ nonlinear element	7
รูปที่ 2.2 Chua's circuit diagram แบบ linear elements	8
รูปที่ 2.3 Time Domain ของสัญญาณ Noise	10
รูปที่ 2.4 Histogram ของสัญญาณ Noise	11
รูปที่ 2.5 block diagram ของ PWM	13
รูปที่ 2.6 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่	13
รูปที่ 3.1 วงจร Chua's ที่ใช้ในการทดลอง	14
รูปที่ 3.2 วงจร White Noise ที่ใช้ในการทดลอง	15
รูปที่ 3.3 วงจร Chua's รวมกับ Noise	15
รูปที่ 3.4 วงจร PWM ที่ใช้ NE556	16
รูปที่ 3.5 วงจร PWM ที่ใช้ LM324N	17
รูปที่ 4.1 ลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ $R=7 \Omega$	18
รูปที่ 4.2 ลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ $R=7 \Omega$	18
รูปที่ 4.3 ลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ $R=24 \Omega$	19
รูปที่ 4.4 ลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ $R=24 \Omega$	19
รูปที่ 4.5 ลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ $R=35 \Omega$	20
รูปที่ 4.6 ลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ $R=35 \Omega$	20
รูปที่ 4.7 ลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ $R=55 \Omega$	21
รูปที่ 4.8 ลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ $R=55 \Omega$	21
รูปที่ 4.9 สัญญาณ Chua's ที่ $R = 35 \Omega$	22
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของสัญญาณ Noise	22
รูปที่ 4.11 วงจร Chua's รวมกับ Noise ที่ใช้ในการทดลอง	23
รูปที่ 4.12 การรวมกันของสัญญาณ Chua's และ Noise	23
รูปที่ 4.13 วงจร PWM ที่ใช้ LM324N ในการทดลอง	24
รูปที่ 4.14 รูปแบบของพัลส์ที่ไม่คงที่เนื่องจากสัญญาณ Chua's	25
รูปที่ 4.15 รูปแบบของพัลส์ที่ไม่คงที่เนื่องจากสัญญาณ Noise	27
รูปที่ 4.16 รูปแบบของพัลส์ที่ไม่คงที่เนื่องจากสัญญาณ Chua's รวมกับ Noise	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
<b>ตารางที่ 4.1</b> ความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์ที่ควบคุมโดยพัลส์ ที่ได้จากวงจร Chua's	26
<b>ตารางที่ 4.2</b> ความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์ที่ควบคุมโดยพัลส์ ที่ได้จากวงจร Noise	28
<b>ตารางที่ 4.3</b> ความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์ที่ควบคุมโดยพัลส์ ที่ได้จากวงจร Chua's ร่วมกับ Noise	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

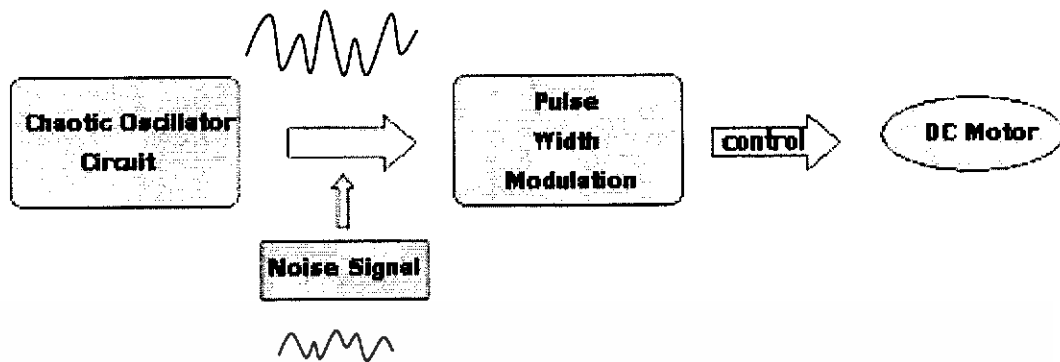
### บทนำ

#### 1.1 แนวความคิดและที่มา

ปัจจุบันเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบสุ่มมีใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่คงยังมีข้อบกพร่องบางประการ เช่น สัญญาณที่ได้ยังไม่ใช่สัญญาณเรณดัมที่แท้จริง อีกทั้งยังมีราคาสูง โครงการนี้จึงทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบใหม่ เพื่อให้ได้สัญญาณที่ได้มีค่าการสุ่มสูง โดยอาศัยหลักการของสัญญาณรบกวน (Noise signal) และสัญญาณเคออสติก (Chaotic) ซึ่งจะเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว

การสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณสุ่มค่า (True Random Generator based) จากหลักการ สัญญาณรบกวน (Noise signal) และสัญญาณเคออสติก (Chaotic signal) เป็นประโยชน์สำหรับการจำลองทางวิทยาศาสตร์ การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การกำหนดรหัสผ่าน (password) และการออกรางวัลต่างๆ ค่าที่ได้จากการสุ่ม ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือหลักการอื่น อาจจะมีค่าที่สามารถเดาค่าที่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากการใช้โปรแกรมจะมีรอบของการสร้างค่า ดังนั้น โครงการนี้ จึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างค่าแบบสุ่ม ที่มีประสิทธิภาพโดยใช้หลักการของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณเคออสติกและสัญญาณรบกวน ซึ่งมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ คือไม่สามารถทำนายค่าล่วงหน้าได้ เพราะ มีความไวต่อสภาวะเริ่มต้นมาก

โครงการนี้เป็นโครงการวิจัยที่มีการนำหลักการ Chaotic และ Noise มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบสุ่ม โดยมีการนำหลักการของ Pulse Width Modulation มาใช้เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และเป็นการนำเสนอการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น



**Block Diagram** แสดงโครงสร้างการทำงานของวงจรที่ใช้ควบคุมมอเตอร์

- Chaotic Oscillator Circuit เป็นเครื่องสร้างสัญญาณเคออสติก เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูง
- Noise Signal เป็นสัญญาณรบกวนที่ใช้ในกระบวนการสร้างวงจรให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
- Pulse Width Modulation เป็นการแปลงสัญญาณเป็นพัลส์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของ DC motor

## 1.2 จุดประสงค์

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีความซับซ้อนสูงโดยใช้หลักการทำงานของสัญญาณเคออสติก (Chaotic signal) และสัญญาณรบกวน (Noise signal)
- 1.2.2 เพื่อนำคุณสมบัติต่างๆของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณเคออสติกมาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้
- 1.2.3 เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเครื่องกำเนิดสัญญาณให้ถูกลงกว่าปัจจุบัน แต่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น
- 1.2.4 เพื่อนำความรู้และหลักการของเครื่องกำเนิดสัญญาณมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆต่อไป

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติก โดยมีการทำงานของสัญญาณรบกวนร่วมด้วย
- 1.3.2 จำลองเครื่องกำเนิดสัญญาณเพื่อให้ได้ผลออกมาตามโครงสร้างที่ออกแบบ
- 1.3.3 หาจุดบกพร่องของเครื่องกำเนิดสัญญาณแล้วนำมาแก้ไข เพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีความซับซ้อนสูงโดยใช้หลักการทำงานของสัญญาณ เคออสติก (Chaotic signal) และสัญญาณรบกวน (Noise signal) ได้
- 1.4.2 สามารถแสดงคุณสมบัติต่างๆของวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติกมาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้
- 1.4.3 สามารถลดต้นทุนในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณให้ถูกลงกว่าในปัจจุบัน
- 1.4.4 มีความรู้ความเข้าใจและสามารถนำหลักการที่ได้รับมาประยุกต์ใช้ในการทำงานได้

## 1.5 สถาปัตยกรรมหลักโครงการ

### 1.5.1 ฮาร์ดแวร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนา โปรแกรมที่มีการเชื่อมต่อกับเน็ตเวิร์ค จำนวน 1 เครื่อง
- ออสซิลอสโคปเพื่อใช้วิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า จำนวน 1 เครื่อง
- ออสซิเลเตอร์ใช้สำหรับกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นซ้ำ จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อกำเนิดสัญญาณเข้าและสัญญาณรบกวน จำนวน 1 เครื่อง
- บอร์ดวัดระดับความเร็ว จำนวน 1 ชุด
- โมเด็มสัญญาณ DC จำนวน 1 ตัว

### 1.5.2 ซอฟต์แวร์

- MATLAB เป็นโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ
- Visual Basic 6.0 เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนา User Interface

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ID	Task Name	2005						2006			
		June	July	August	September	October	November	December	January	February	March
1	Problem Definition	■									
2	Search for data	■	■								
3	Analysis & Design		■	■	■						
4	Hardware Design			■	■	■	■				
5	Software Design			■	■	■	■	■			
6	Implementation					■	■	■	■		
7	Module I					■	■	■	■		
8	Module II						■	■	■	■	
9	Module III							■	■	■	■
10	Test & Debug				■	■	■	■	■	■	
11	Documentation								■	■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณสุ่ม(Random-Number Generators)

การสุ่มสัญญาณในปัจจุบันได้มีบทบาทในหลายๆด้าน เช่น การจำลองสถานการณ์, เกมส์, การเข้ารหัสลับ, สถิติการสุ่มหรือการคำนวณค่าทางสถิติในเชิงฟิสิกส์ ซึ่งเครื่องกำเนิดสัญญาณได้อาศัยหลักการเดียวกัน โดยได้มีการพัฒนาให้มีลักษณะที่หลากหลายออกไป โดยจะคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียของในแต่ละรูปแบบ โดยจะแบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดค่าแบบสุ่มได้ออกเป็น

##### 2.1.1 Pseudo random number generators

Pseudo random number generators เป็นอัลกอริทึมที่สร้างค่าเป็นแบบสุ่ม ขึ้นมาอย่างอัตโนมัติแต่ในที่สุดจะมีรอบการเกิดซ้ำ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจะทำการยกตัวอย่างอัลกอริทึมพื้นฐานของแหล่งกำเนิดแบบนี้ เช่น linear congruence generator แสดงสมการดังนี้

$$X_{n+1} = aX_n + b \pmod{m}$$

โดยค่า  $a$  และ  $b$  จะเป็นค่าคงที่หรืออาจเรียกว่ากุญแจของอัลกอริทึมเพราะถ้าทราบค่าก็จะสามารถสร้างค่าแบบสุ่ม ที่มีลำดับเหมือนกันได้ และเมื่อเราใส่ค่าเริ่มต้น  $X_n$  อัลกอริทึมก็จะทำการสร้างค่าแบบสุ่มมาเป็นจำนวนเท่ากับค่า  $m$  ซึ่งจะวนมาได้ค่า  $X_n$  ค่าเดิม ซึ่งจะเห็นว่าการสร้างค่าสุ่มแบบนี้จะมีการวนซ้ำที่เป็นค่าสุ่มในช่วงหนึ่งเท่านั้นแล้วจะมีการวนมาครบรอบใช้ค่าเริ่มต้นค่าเดิมอีก

##### 2.1.2 True random number generators

True random number generators จะสร้างค่าแบบสุ่มจากปรากฏการณ์ทางกายภาพของอุปกรณ์ทำให้ไม่สามารถทำนายผลได้ของค่าต่อไปได้ ตัวอย่างการเกิดสัญญาณนี้ เช่น ช่วงเวลาในการอ่อนกำลังลงของวัตถุกัมมันตรังสี, สัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อนที่ตัวอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ วงจรกำเนิดสัญญาณ chaotic เป็นต้น จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hardware-based generators เพราะค่าแบบสุ่มเกิดจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ที่สร้างสัญญาณที่ไม่สามารถทำนายได้อย่างต่อเนื่อง ตัวเลขที่สามารถสร้างมา เป็นไปตาม Physical noise

### 2.1.3 Hybrid random number generators

Hybrid random number generators เป็นการนำ random generator แบบ True random มาเป็นค่าเริ่มต้นให้กับอัลกอริทึมของ Pseudo generator เพื่อคุณภาพของเอาต์พุตที่ดีขึ้นเนื่องจากจะไม่เกิดการวนรอบซ้ำ และจะมีการกระจายของข้อมูล ได้ดีอีกด้วย

คุณสมบัติของตัวเลขแบบสุ่ม(Random numbers)

- ค่าที่ได้สามารถระบุตำแหน่งการเกิดได้อย่างเฉพาะเจาะจง
- ค่าที่ได้ต้องกระจายตัวกัน ไม่มีการซ้ำค่าเดิมจนมากเกินไป
- ค่าทุกค่าควรมีความน่าจะเป็นในการเกิดที่ใกล้เคียงกันเมื่อความยาวเป็นอนันต์
- ไม่มีรอบการเกิดซ้ำ
- ค่าที่ได้เป็นอิสระต่อกัน

## 2.2 Chaotic

ในทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ทฤษฎีของ Chaos เป็นการศึกษาถึงพฤติกรรม การเคลื่อนไหวแบบไม่เป็นเชิงเส้น (ภายใต้สภาพที่แน่นอน) คุณลักษณะของมันจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพเริ่มต้น ผลที่ได้จะแสดงออกมาในรูปแบบของการสุ่ม

ทฤษฎีของ Chaos เป็นปรากฏการณ์ที่ดูเหมือนว่าจะเกิดขึ้นอย่างสุ่ม (random) แท้จริงแล้วแฝงไปด้วยความเป็นระเบียบ ตัวอย่างของระบบที่เป็น Chaos เช่น เครื่องสร้างเลขสุ่มเทียม (pseudo-random number) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เลขที่สุ่มมานี้ดูเหมือนว่าเกิดขึ้นมาโดยไม่มีแบบแผน เพราะเลขสุ่มของคอมพิวเตอร์เกิดจากโปรแกรมง่ายๆ แต่การเกิดของเลขสุ่มนี้แฝงไปด้วยความเป็นระเบียบโดยสามารถอธิบายได้ด้วยโปรแกรมนั้นนั่นเอง

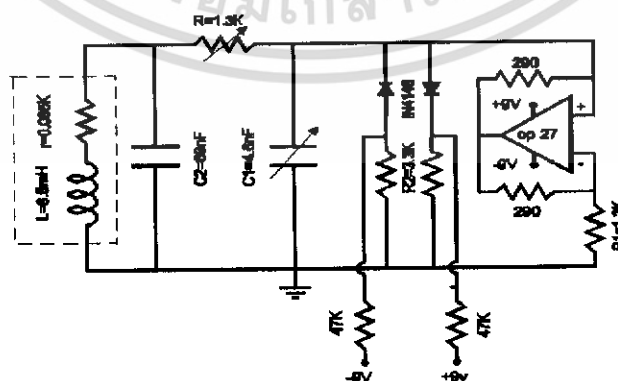
### คุณสมบัติของ Chaotic

- ทฤษฎี chaotic จะเหมาะสมกับการแก้ปัญหาของความซับซ้อนทั้งทางธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น
- ในการสร้างสัญญาณ chaotic จะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและไม่สามารถทำนายได้อย่างต่อเนื่อง
- สัญญาณ chaotic มีคุณสมบัติแบบ Nonlinearity
- สัญญาณ chaotic มีคุณสมบัติแบบ Non-periodicity
- ไวต่อสภาวะเริ่มต้น
- คุณลักษณะของสัญญาณคล้าย noise
- สามารถสร้างโดยใช้โครงสร้าง dynamic อย่างง่าย
- มีความเป็นเสถียรภาพ

### 2.2.1 Chua's

ในการออกแบบวงจรที่มีการนำทฤษฎีของ Chaotic มาใช้นั้น จะมีรูปแบบวิธีการที่นำมาใช้อีกมากมาย แต่ส่วนใหญ่จะเลือกใช้วงจร Chua's ซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานที่เป็นที่นิยมแบบหนึ่งของ Chaotic วงจร Chua's เป็นวงจรที่แสดงผลออกมาในรูปแบบ 3 มิติ ที่สร้างได้ง่าย มีความเสถียร ทนทาน มีความปลอดภัยสูง ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบม้วนที่มีความซับซ้อน วงจร Chua's เราจะสามารถแบ่งไปออกเป็น 2 แบบ

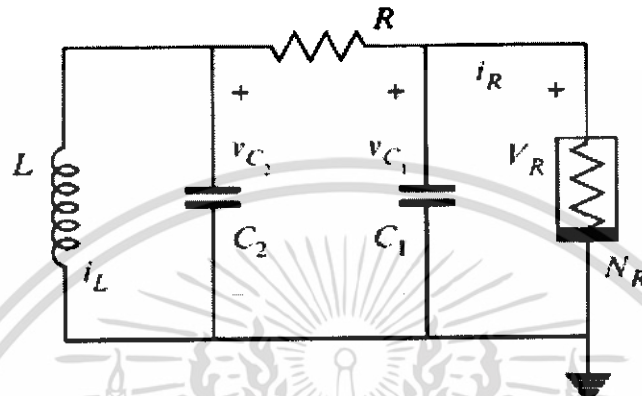
**2.2.1.1 แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear element) หรือเรียกว่า Chua's Diode** ซึ่งวงจรจะมี **Diode** เป็นส่วนประกอบ



**รูปที่ 2.1** Chua circuit diagram แบบ nonlinear element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.1.2 แบบเชิงเส้น (Linear elements)** ซึ่งวงจรจะประกอบไปด้วย resistor, inductor, capacitor ซึ่งเป็นรูปแบบที่เราใช้ในการศึกษา



**รูปที่ 2.2** Chua's circuit diagram แบบ linear elements

สมการแสดงสถานะของวงจร Chua's

$$C_1 \frac{dv_{c_1}}{dt} = G(v_{c_2} - v_{c_1}) - g(v_{c_1})$$

$$C_2 \frac{dv_{c_2}}{dt} = G(v_{c_1} - v_{c_2}) + i_L$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -v_{c_2} - R_L i_L$$

$$g(v_R) = m_0 v_R + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) (|v_R + B_P| - |v_R - B_P|)$$

### 2.3 Noise

ในธรรมชาติจะมีปริมาณทางกายภาพหลายอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยหากฎเกณฑ์ที่แน่นอนไม่ได้ ในเรื่องของสัญญาณไฟฟ้าก็เช่นกัน สัญญาณบางชนิดเกิดเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามธรรมชาติและอาจจะมารบกวนสัญญาณที่เราต้องการให้เกิดความผิดเพี้ยน หรือไม่ชัดเจนไปได้ เราเรียกสัญญาณ เช่นนี้ว่า สัญญาณรบกวน(Noise) ถ้าจะกล่าวโดยทั่วไป สัญญาณรบกวน ก็คือสัญญาณที่เราไม่พึงปรารถนา ไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุที่มีกฎเกณฑ์หรือไร้กฎเกณฑ์ จะเกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรือจะเกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์โดยความจงใจหรือไม่จงใจก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสัญญาณรบกวนนั้น มีคุณสมบัติโดยทั่วไปที่คาดเดาอะไรกับมัน โดยแน่นอนไม่ได้(Random) กล่าวคือ คุณสมบัติของสัญญาณรบกวน โดยทั่วไปทั้งหมดจะเป็นสัญญาณสุ่ม ดังนั้น การที่จะบอกถึงคุณสมบัติอะไรเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนนั้น จึงบอกได้แต่คุณสมบัติที่เป็นค่าเชิงสถิติเท่านั้น เราจึงอาศัยคุณสมบัติเหล่านี้มาเป็นเครื่องเชื่อมโยงเกี่ยวเนื่อง เพื่ออธิบายคุณสมบัติทางกายภาพของสัญญาณรบกวนนั้น

- มีการรบกวนภายในความถี่ที่เราสนใจ หรือเป็นพลังงานรบกวนในระบบสื่อสารที่เกิดจากทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
- สัญญาณสุ่มที่มีคุณสมบัติทางสถิติของแอมป์จูด การแพร่กระจาย และความหนาแน่นของ spectral
- เกิดจากความแปรปรวนของลักษณะบางอย่างเช่น แรงดัน กระแส หรือข้อมูล
- ส่งผลต่อสัญญาณ ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของข้อมูล
- ทำการแทรกแซงการทำงานของอุปกรณ์และระบบ ทำให้เกิดการสูญเสีย

### 2.3.1 White Noise

สัญญาณรบกวนเกิดมาจากสาเหตุต่าง ๆ กัน สัญญาณรบกวนที่เราสนใจในที่นี้ คือ สัญญาณรบกวนที่มีค่า PSD เท่ากันที่ทุกความถี่ ซึ่งมีชื่อว่า สัญญาณรบกวนขาว (white noise) โดยปกติเมื่อเรากล่าวถึงสัญญาณรบกวน ถ้าไม่ได้มีการกล่าวบอกถึงค่าเฉลี่ยของมัน ก็จะหมายถึง สัญญาณรบกวนที่มีค่าเฉลี่ยของมันเป็นศูนย์ เพราะปกติถ้าสัญญาณรบกวนมีค่าเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ เราอาจคิดเทียบได้ว่าสัญญาณรบกวนนั้น คือ สัญญาณรบกวนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ รวมอยู่กับสัญญาณไฟตรงที่มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนนั้นได้

สัญญาณที่มีค่าการแจกแจงของค่ากำลังเท่ากันตลอดทุกความถี่ บนแกนความถี่ข้างเดียวเท่ากับ  $N$  วัตต์ต่อเฮิรตซ์ จะมีค่าฟังก์ชัน PSD (ฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม) ในรูปแบบของสเปกตรัมสองข้าง คือ

เนื่องจากสัญญาณรบกวนจะเป็นอิสระทางสถิติ เพราะฉะนั้นในการสื่อสารเราจะใช้สัญญาณรบกวนสีขาว (White Noise) ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่มีสเปกตรัมของกำลังงานคงที่ ในหน่วย W/Hz กำลังของสัญญาณรบกวนจะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ ของช่องสัญญาณนั้นเท่านั้น

$$S_n(\omega) = \frac{N}{2}, \quad \text{ที่ทุกความถี่}$$

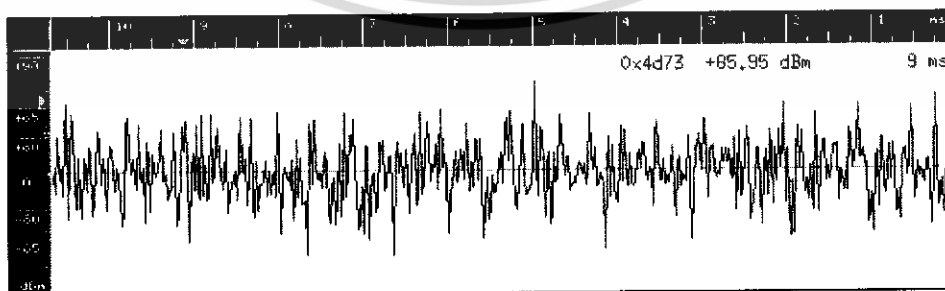
นิยามสัญญาณรบกวนขาว มีว่า คือ สัญญาณรบกวนที่มีค่าPSD คงที่ตลอดทุกความถี่นั้น เป็นการกำหนดโดยความเป็นลักษณะตามอุดมคติ ทั้งนี้เพราะว่าการกำหนดเช่นนี้จะทำให้ ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนชนิดนี้ มีค่ามากอนันต์ กล่าวคือ

$$n^2(t) = \frac{1}{2} \pi \left( \frac{N}{2} \right) d\omega \rightarrow \infty$$

ซึ่งสัญญาณที่มีค่ากำลังเฉลี่ยมากเช่นนี้ ย่อมไม่มีในทางปฏิบัติ แต่นิยามเช่นนี้ นับได้ว่าเป็นรูปแบบที่ดีสำหรับกรณีที่แบนด์วิดท์ของระบบที่กำลังใช้งานนั้นแคบกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนที่มีอยู่มาก ในกรณีเช่นนี้ระบบจะปฏิบัติการอยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ที่จำกัดของสัญญาณรบกวนนั้น ดังนั้นสัญญาณรบกวนขาวที่เราสนใจ จะอยู่ในลักษณะ สัญญาณรบกวนที่มีย่านความถี่จำกัด (Band-limited white noise) เท่านั้น ในทางปฏิบัตินั้น แม้ระบบที่เราใช้จะถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนขาวตามอุดมคติ ส่วนประกอบของสัญญาณรบกวนขาวที่มีความถี่พ้นไกลไปจากแบนด์วิดท์ของระบบนั้นจะไม่มีผลกระทบต่อระบบที่เรากำลังให้ความสนใจอยู่เลย

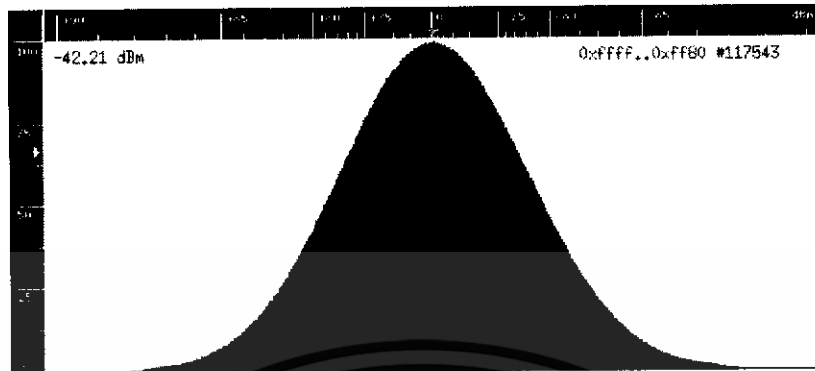
### 2.3.2 White Gaussian Noise

White Gaussian Noise ลักษณะของสัญญาณจะเป็นสัญญาณแบบสุ่มที่ความหนาแน่นของ Spectrum ของพลังงานต่ำ (ความหนาแน่นของกำลังงาน spectral ของสัญญาณจะเท่ากับกำลังงานในทุกๆ ช่วงความถี่ ตรงบริเวณ centre frequency ของ Bandwidth) หรือเป็นรูปแบบสัญญาณเฉลี่ยคงที่ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติจะได้สัญญาณที่มีลักษณะเป็นไปตามคุณสมบัติของ Gaussian จากลักษณะเด่นดังกล่าว เราจึงนำสัญญาณนี้มาใช้ในการออกแบบวงจรร่วมกับ Chua's เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรให้มีความสุ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.3 Time Domain ของสัญญาณ Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดง Histogram ของสัญญาณ Noise

#### 2.4 มอเตอร์กระแสตรง(Direct current motors: DC motors)

โดยทั่วไปมอเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพราะมีความแข็งแรง ราคาถูก และสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย โดยมีหลักการทำงานพื้นฐานคือ มอเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การหมุนของมอเตอร์เกิดจากแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า(Magnetic field) โดยผลลัพธ์ของแรงกระทำคือ แรงบิดของมอเตอร์หรือทอร์ก (torque) ซึ่งจะผลทำให้มอเตอร์หมุน

มอเตอร์กระแสตรงเป็นทรานส์ดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือ แรงบิดของเพลลาของมอเตอร์กระแสตรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดของเพลลาของมอเตอร์กระแสตรงจะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยแรงแม่เหล็ก  $\Phi$  และขดลวดเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุน เท่ากับ  $r$  ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแส เท่ากับ

$$T = K\Phi I$$

เมื่อ

T	คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตัน – เมตร
$\Phi$	คือเส้นแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์
I	คือกระแสเป็นแอมป์
K	คือตัวคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงบิดของเพลาก็เป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเอง แรงดันนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์แลมีการดำเนินการไหลของกระแสความสัมพัทธ์ระหว่างแรงดันกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\phi\omega$$

เมื่อ

E คือโวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็นโวลต์

$\phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์

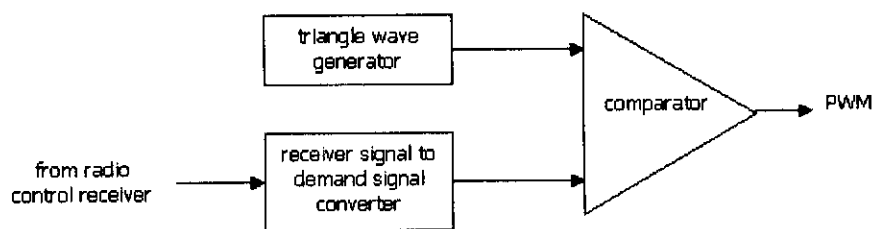
W คือความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

สองสมการนี้เป็นสมการการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรง

ในส่วนของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)

## 2.5 Pulse Width Modulation

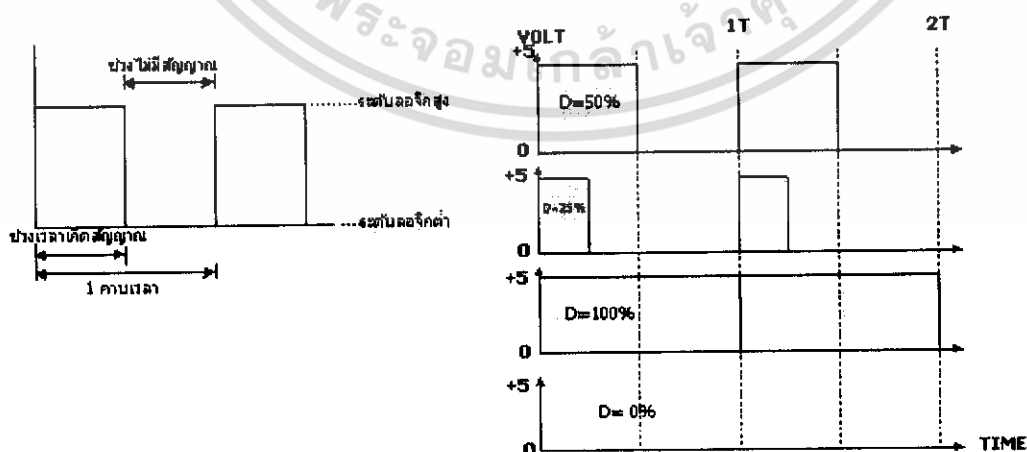
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชัน (Modulation) ทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)



รูปที่ 2.5 block diagram ของ PWM

การมอดูเลชัน (Modulation) ทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูป 2.8 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่า จะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถ จะหาได้จากค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ค่าดิวตี้ไซเคิล} = (\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์} / \text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}) \times 100 \%$$



รูปที่ 2.6 แสดงความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ ของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

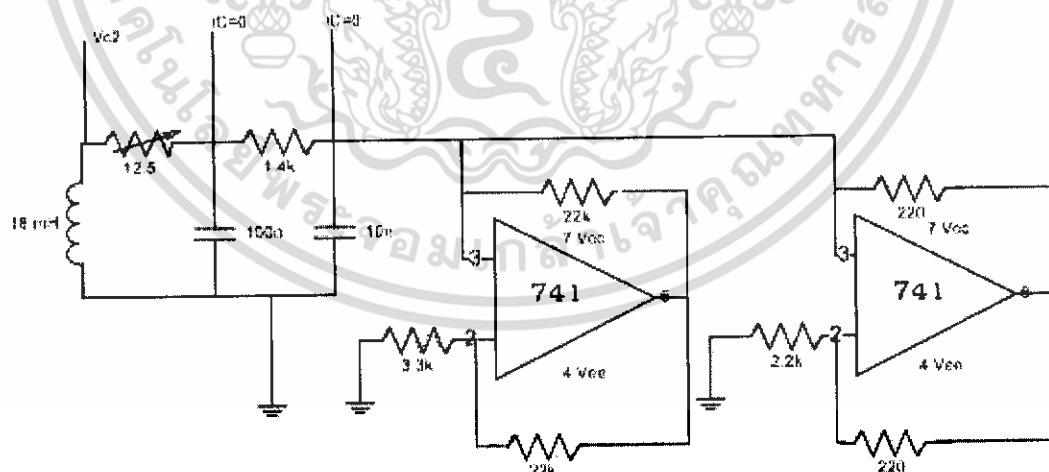
### การออกแบบ

#### 3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณแกออสติก

วงจรแกออสติกเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณไม่ซ้ำกันและไม่สามารถคาดเดาได้แต่จะอยู่ในขอบเขตของสมการในเชิงคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) และวงจรแกออสติกที่ทำในโครงงานนี้จะใช้วงจร Chua's ในการออกแบบ

##### 3.1.1 วงจร Chua's

วงจรกำเนิดสัญญาณ Chua's จะประกอบด้วย LM741 จำนวน 2 ตัว เราจะทำการต่อวงจรแบบเชิงเส้น (Linear elements) ซึ่งเราสามารถควบคุมความถี่ของ Chua's ได้โดยการกำหนดค่าของอุปกรณ์ R,L จากวงจรดังรูป

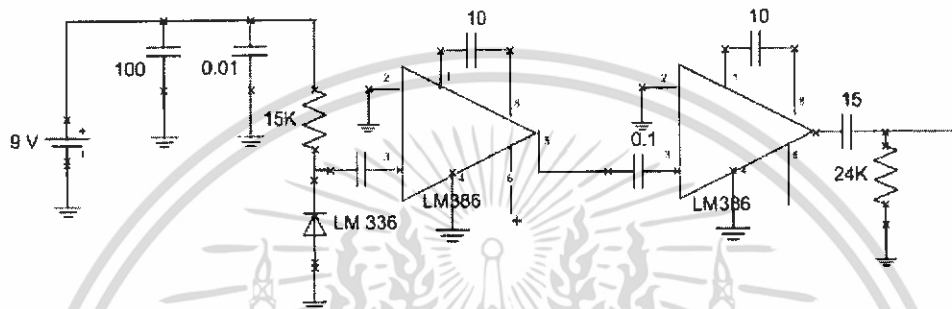


รูปที่ 3.1 แสดงวงจร Chua's ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 White Noise

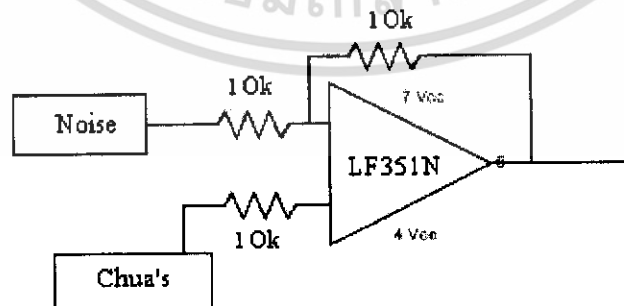
วงจรรูปแบบหนึ่งของ Noise ที่มีค่าเฉลี่ยของสัญญาณแบบสุ่มที่คงที่ โดยจะทำให้ได้รับผลของสัญญาณแบบสุ่มออกมา ซึ่งเราจะนำมาประยุกต์ใช้กับวงจร Chua's



รูปที่ 3.2 แสดงวงจร White Noise ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.3 Noise on Chua's

เราจะนำคุณสมบัติของสัญญาณรบกวนมาใช้ในการออกแบบวงจร Chua's เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการออกแบบเรานำวงจร Chua's มาต่อร่วมกับวงจร noise



รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Chua's รวมกับ Noise

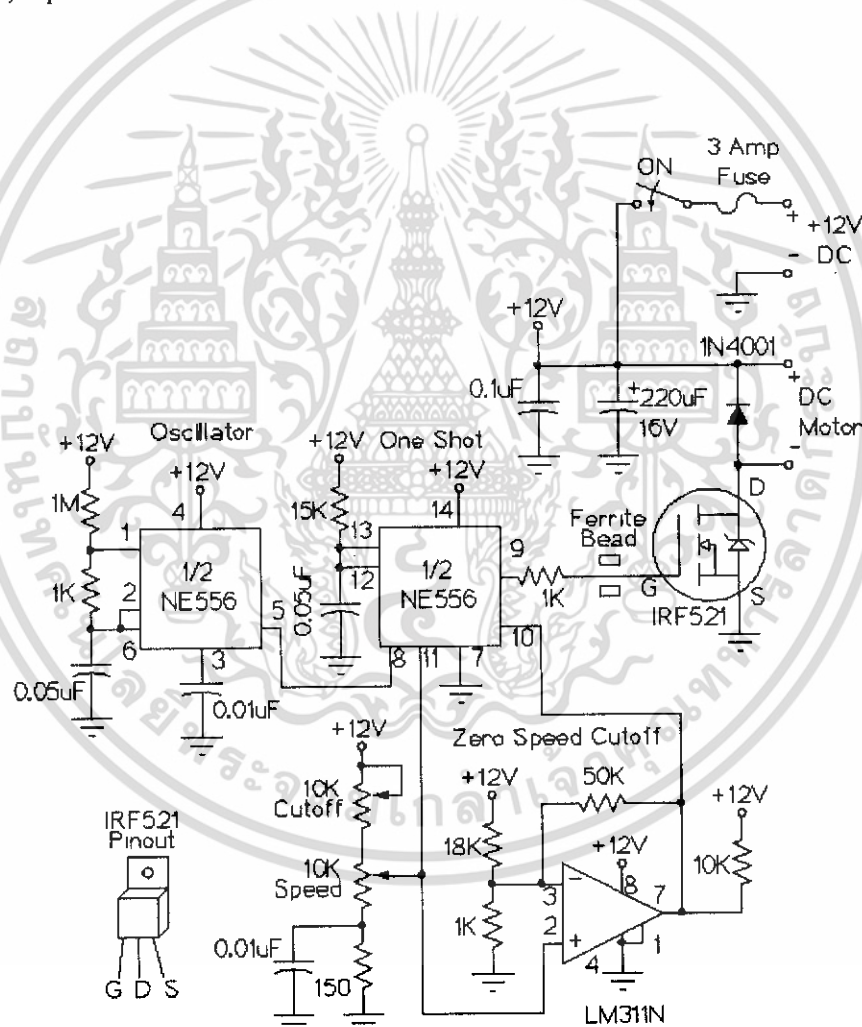
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 PWM (Pulse-Width Modulation)

ในการออกแบบวงจร PWM (Pulse-Width Modulation) สามารถทำการออกแบบได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้ LM324N, NE 556 ประกอบเข้าด้วยกันด้วย resistor, LED, capacitor โดยจะมีการป้อน Input signal และสัญญาณ Triangle เข้าสู่วงจรเพื่อทำการแปลงเป็นพัลส์

#### 3.4.1 วงจร PWM ที่ใช้ NE 556

ในการออกแบบ PWM โดยใช้ NE556 เป็นตัวขับมอเตอร์ โดยจะประกอบเข้าด้วยกันด้วย resistor, LED, capacitor ดังต่อไปนี้



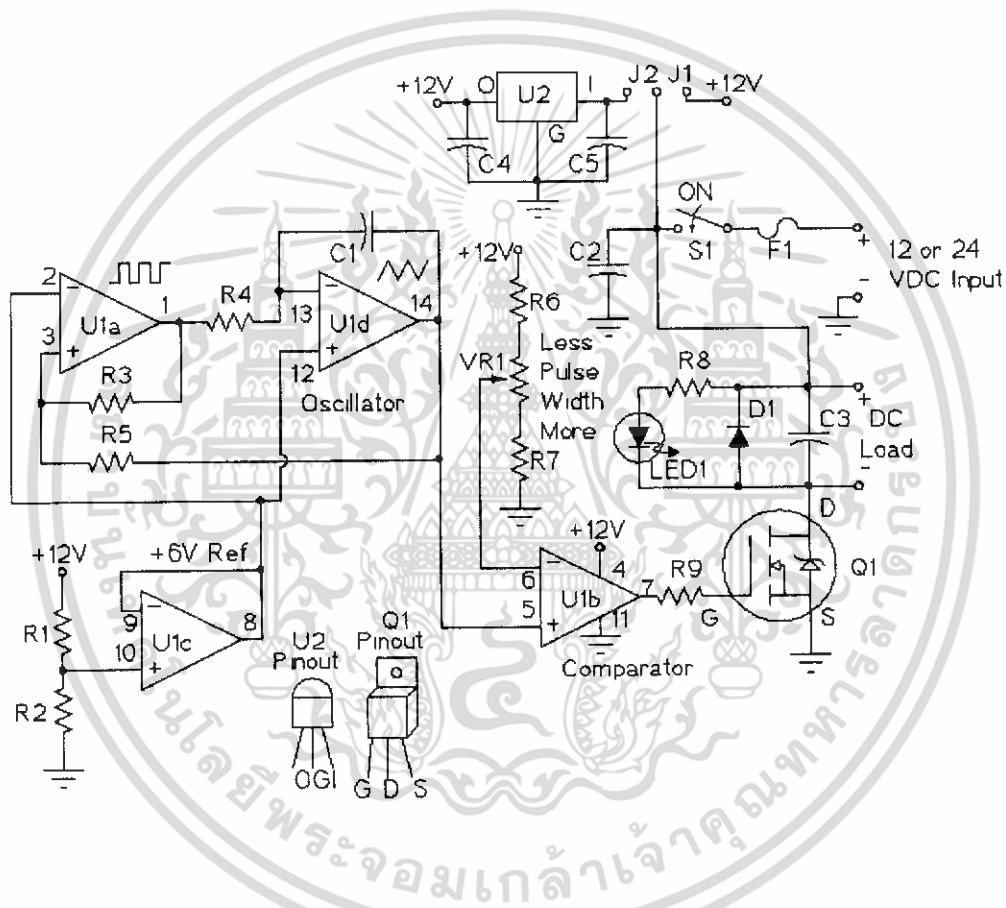
รูปที่ 3.4 แสดงวงจร PWM ที่ใช้ NE556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 3.4.2 วงจร PWM ที่ใช้ LM324N

ในการทำงานของ LM324N ที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์ มีความซับซ้อนน้อยกว่า วงจรรูปแบบอื่นๆ เราจึงเลือกใช้รูปแบบวงจรนี้ในการออกแบบการทำงาน



รูปที่ 3.5 แสดงวงจร PWM ที่ใช้ LM324N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **62749** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

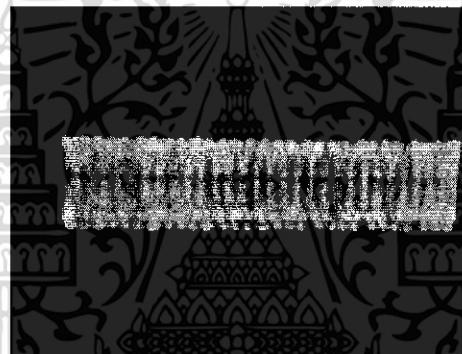
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 Chua's

เมื่อเราทำการป้อนแรงดัน +12 volt เข้าไปในวงจร Chua's ดังรูป แล้วทำการปรับค่าความต้านทาน (R ปรับค่าได้) เราจะสังเกตเห็นลักษณะของสัญญาณของ R ค่าต่างๆ ดังนี้

ค่า  $R = 7 \Omega$



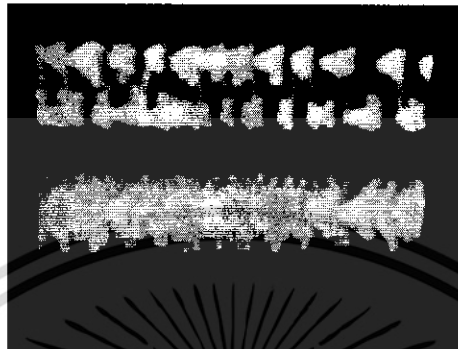
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ  $R=7 \Omega$



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ  $R=7 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $R = 24 \Omega$



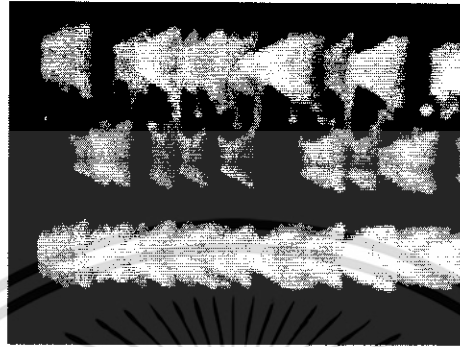
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ  $R=24 \Omega$



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ  $R=24 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $R = 35 \Omega$



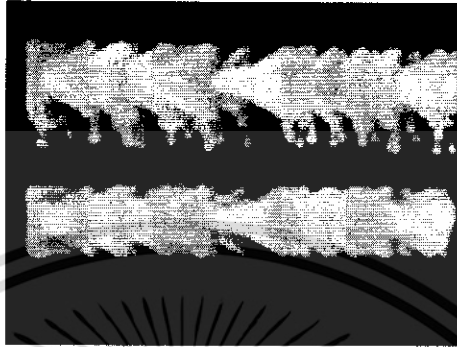
**รูปที่ 4.5** แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ  $R=35 \Omega$



**รูปที่ 4.6** แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ  $R=35 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $R = 55 \Omega$



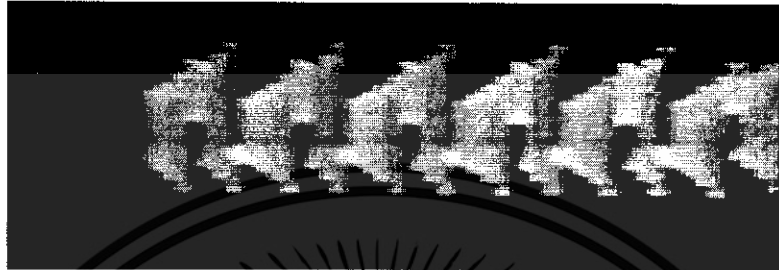
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Time Domain เมื่อ  $R=55 \Omega$



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของสัญญาณ ใน Position X-Y เมื่อ  $R=55 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดสัญญาณ Chua's ได้ชัดเจนที่สุด คือ  $35 \Omega$  ความถี่  $2\text{kHz}$  , แอมป์จูด  $500\text{mV}$  เราจึงเลือกใช้ค่านี้ในการทดลอง เพราะถ้าปรับความต้านทานน้อยหรือมากกว่านี้เพียงเล็กน้อย ก็อาจทำให้สัญญาณ Chua's เกิดไม่ชัดเจน



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณ Chua's ที่  $R = 35 \Omega$

#### 4.2 White Noise

เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปในวงจร White Noise จะได้รูปแบบการกระจายของสัญญาณดังรูป



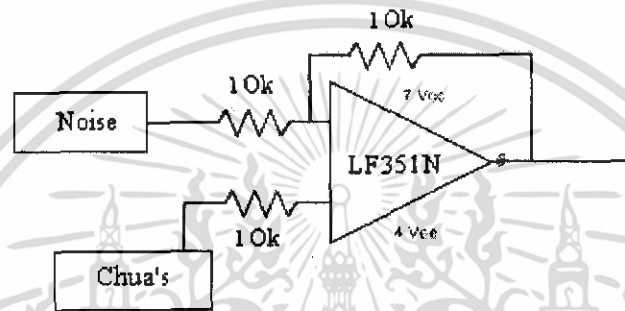
รูปที่ 4.10 แสดงการกระจายตัวของสัญญาณ Noise

สัญญาณ Noise ที่ได้มีลักษณะของการกระจายตัวของสัญญาณไม่คงที่ รูปแบบของสัญญาณเป็นแบบสุ่ม(random) ไม่สามารถคาดเดาค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

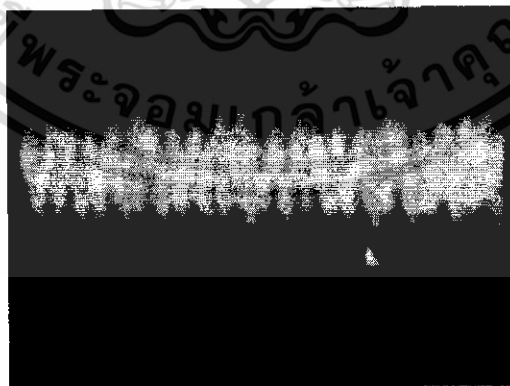
### 4.3 วงจร Chua's รวมกับ Noise

ในการทดลองนี้เราจะเลือกใช้ LF351N เป็นตัวรวมสัญญาณ Chua's 1 ชุด กับ Noise เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสุ่ม(random)



รูปที่ 4.11 แสดงวงจร Chua's รวมกับ Noise ที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อเราทำการป้อนสัญญาณ Chua's และสัญญาณ Noise เข้าสู่ตัววงจร แล้วจะได้สัญญาณ output ดังนี้



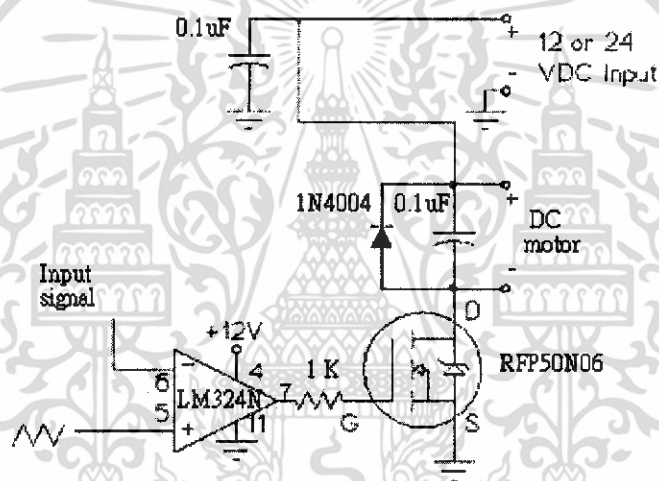
รูปที่ 4.12 แสดงการรวมกันของสัญญาณ Chua's และ Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าสัญญาณ Noise จะเข้าไปรบกวนสัญญาณ Chua's ทำให้สัญญาณที่ได้มีค่าสุ่ม (random) มากยิ่งขึ้น

#### 4.4 วงจร Pulse-Width Modulation

วงจร PWM ที่ใช้ LM324N ในการทดลอง โดยทำการป้อนสัญญาณอินพุตรูปแบบต่างๆเข้าไป พร้อมกับป้อนสัญญาณ Triangle เพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณพัลส์ แล้วทำการแสดงผลโดยใช้ควมคุมความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 4.13 แสดงวงจร PWM ที่ใช้ LM324N ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนแรงดันไฟ 12 v เข้าสู่มอเตอร์

แล้วป้อนสัญญาณอินพุตเป็น Chua's ความถี่ 2 kHz , แอมป์จูด 500 mV

แล้วป้อนสัญญาณ Triangle ความถี่ 4.2 kHz , แอมป์จูด 1.4 V



รูปที่ 4.14 แสดง รูปแบบของพัลส์ที่ไม่คงที่เนื่องจากสัญญาณ Chua's

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการวัดความเร็วเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลาจะได้ดังตาราง

นาที	ความเร็วรอบเฉลี่ย(รอบต่อนาที)
1	213
2	216
3	219
4	219
5	218
6	214
7	218
8	219
9	218
10	216

**ตารางที่ 4.1** แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์ที่ควบคุม โดยพัลส์  
ที่ได้จากวงจร Chua's

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนแรงดันไฟ 12 v เข้าสู่มอเตอร์

แล้วป้อนสัญญาณอินพุตเป็น Noise แอมป์จูด 4.6 V

แล้วป้อนสัญญาณ Triangle ความถี่ 500 kHz, แอมป์จูด 10 V



รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบของพัลส์ที่ไม่คงที่เนื่องจากสัญญาณ Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการวัดความเร็วเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลาจะได้ดังตาราง

นาทื	ความเร็วรอบเฉลี่ย(รอบต่อนาที)
1	230
2	226
3	225
4	226
5	224
6	229
7	226
8	225
9	226
10	227

**ตารางที่ 4.2** แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์ที่ควบคุมโดยพัลส์  
ที่ได้จากวงจร Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนแรงดันไฟ 12 v เข้าสู่มอเตอร์  
แล้วป้อนสัญญาณอินพุตเป็น Chua's รวมกับ Noise  
แล้วป้อนสัญญาณ Triangle ความถี่ 2 MHz



**รูปที่ 4.16** แสดงรูปแบบของพัลส์ที่ไม่คงที่เนื่องจากสัญญาณ Chua's รวมกับ Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการวัดความเร็วเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลาจะได้ดังตาราง

นาที	ความเร็วรอบเฉลี่ย(รอบต่อนาที)
1	226
2	224
3	223
4	226
5	225
6	225
7	223
8	225
9	224
10	226

**ตารางที่ 4.3** แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์ที่ควบคุมโดยพัลส์ที่ได้จากวงจร Chua's รวมกับ Noise

จะพบว่าเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตและสัญญาณ Triangle เข้าไปในวงจร จะพบว่าสัญญาณที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นพัลส์ที่ไม่คงที่ ซึ่งจะเป็นไปตามรูปแบบของสัญญาณอินพุต แล้วเมื่อนำพัลส์ที่ได้ไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์จะส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์มีการหมุนด้วยความเร็วไม่คงที่

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นโครงการวิจัยที่ศึกษาแนวทางการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบสุ่ม จากการศึกษาพบว่า การทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบสุ่มที่มีการนำหลักการทำงานของ สัญญาณเคออสติก (Chaotic signal) และสัญญาณรบกวน (Noise signal) มาใช้ จะเพิ่มประสิทธิภาพ การทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณได้มากขึ้น โดยจะเห็นได้จากค่าการสุ่มที่สูงขึ้น การคาดเดาทำ ได้ยากมากขึ้น อีกทั้งต้นทุนในการผลิตเครื่องกำเนิดสัญญาณมีราคาลดลงกว่าปัจจุบัน และเรา สามารถนำหลักการและความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมหรือแสดงผลของอุปกรณ์ต่างๆ ให้ มีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงการ

ในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณแบบสุ่ม ปัญหาที่พบโดยทั่วไปก็คือ การนำ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี มาทำการปรับแต่งให้กับอุปกรณ์แล้ว สัญญาณที่ได้ จะมีค่าไม่ตรงตามทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากค่าอุปกรณ์ต่างๆ มีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น และสัญญาณสุ่ม เป็นสัญญาณที่มีความละเอียดอ่อนมากในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับวงจร เพราะถ้าทำ การปรับค่าพารามิเตอร์ไปเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้รูปแบบของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป ต้องทำการ ปรับค่าใหม่

#### 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

จากการที่เราได้ทำการนำเอาสัญญาณสุ่มที่มีความซับซ้อนมาควบคุมมอเตอร์ ทำให้เรา สามารถทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วไม่คงที่ ซึ่งในที่นี้เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เข้ากับ ลักษณะการใช้งานในรูปแบบอื่นๆ ได้อีกแล้วแต่ความเหมาะสมของงานได้ เช่น พัดลมแบบ ธรรมชาติ เครื่องผสมน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุปกรณ์หรือตัวผลิตภัณฑ์ที่ ใช้หลักการดังกล่าวเป็นพื้นฐานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] <http://www.solord.com/elect>
- [2] [http://www.nbtc.cornell.edu/mainstreetscience/reu\\_2005/G\\_Gonzalez.ppt](http://www.nbtc.cornell.edu/mainstreetscience/reu_2005/G_Gonzalez.ppt)
- [3] [http://www.cs.tu.ac.th/classes/461/undergradcs471-/public/nirach/tu153/Chapter\\_7.doc](http://www.cs.tu.ac.th/classes/461/undergradcs471-/public/nirach/tu153/Chapter_7.doc)
- [4] <http://www.engineering.ucsb.edu/~microflu/publications/Meinhart-67.pdf>
- [5] W.B.Pennebaker and J.L.Mitchell, "JPEG: Still Image Data Compression Standard", Kluwer Academic Publishers, 1992
- [6] K.Sayood, "Introduction to Data Compression 2<sup>nd</sup> edition", Morgan Kaufmann Publishers, 2000
- [7] กฤดากร กล่อมการ, การสื่อสารข้อมูล, วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้