

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กุญแจอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้สัญญาณเคออสติก
ELECTRONICS KEY BY USING CHAOTIC SIGNAL



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61860
วัน,เดือน,ปี..... 24 ม.ค. 2549



ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRONICS KEY BY USING CHAOTIC SIGNAL



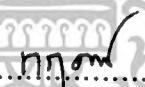
**A THEESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร กุญแจอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนักศึกษา นาย ไพโรจน์ จันทร์วงษ์ รหัสประจำตัว 45015858
นาย สุรเชษฐ์ เวทยาวงศ์ รหัสประจำตัว 45015875
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ กฤดากร กล่อมการ
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2547

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง


.....
(อาจารย์กฤดากร กล่อมการ)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ กุญแจอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนักศึกษา นาย ไพโรจน์ จันทร์วงษ์ รหัสประจำตัว 45015858
 นาย สุรเชษฐ์ เวทยาวงศ์ รหัสประจำตัว 45015875
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ กฤดากร กล่อมการ
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับ Electronics Key เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ โดยได้นำหลักการของสัญญาณเคออสติกซึ่งมีความซับซ้อนของสัญญาณสูงยากแก่การเรียนรู้แบบมาช่วยในการทำงาน แล้วทำการติดต่อกับ Sound Card โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจาก Visual Basic ซึ่งรับสัญญาณ Chaos จาก Electronics Key ดันแบบ ผ่านทางช่องรับสัญญาณ Microphone และสร้าง Application ดันแบบที่สามารถทำงานได้จริงเมื่อมีการใช้งานร่วมกับ Electronics Key ก่อนที่จะนำไปพัฒนาสู่อุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Electronics key
Student Mr. Pairote Chanwongse ID. 45015858
Mr. Surachet Wettayawong ID. 45015875
Advisor Mr. Kitdakorn Klomkarn
Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering
Department Information Engineering
Academic Year 2004

Abstract

This project is research about of electronics key for user authentication and software protection by using chaotic signal. Because of the complicate chaotic signal, hence it hard to reconstruction by pirate. For the implementation, we construction a hardware of electronics key which is interface via a computer soundcard, a program is on the computer, use to verify a chaotic signal. Before apply for software industry.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะสำเร็จลุล่วงลงไปมิได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ทางด้านต่างๆ ทั้งคำปรึกษาทางด้านวิชาการ และคำแนะนำในการปฏิบัติงานรวมถึงการช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ จาก ท่านอาจารย์ กฤดากร กล่อมการ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์มา ณ ที่นี้ด้วย

อีกทั้งขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและความรักความห่วงใยมาโดยตลอด รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำทางวิชาการ ตลอดจนให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการปฏิบัติงานจนได้ผลงานที่สมบูรณ์

คุณประโยชน์ต่างๆ ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
1. บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความหมายของ Chaos	3
2.2 ระบบที่เป็น Chaos	3
2.3 Chua's Circuit	5
2.4 หลักการทำงานของวงจร	11
3. การออกแบบและโครงสร้าง	13
3.1 ภาพโดยรวมของระบบ	13
3.2 การออกแบบและการสร้าง	15
3.2.1. โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (Hard ware)	15
3.2.1.1 ส่วนของวงจรสร้างสัญญาณเคออสติก	16
3.2.1.2 ส่วนของวงจรสร้างรหัส (Code)	16
3.2.1.3 ส่วนของวงจร Modulate สัญญาณ	17
3.2.2 การตีเทคสัญญาณ	19
3.2.3 ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

4. ผลการทดลอง	26
4.1 ผลของสัญญาณที่ได้จากการวัดและค่า Lyapunov exponent	26
4.1.1 แบบก่อนเกิดสัญญาณ	26
4.1.2 แบบ Shell 5v	27
4.1.3 แบบสัญญาณคิตคับ 5V	28
4.1.4 แบบสัญญาณสมบรูณ์แบบ 5V	29
4.1.5 แบบสัญญาณทึบ	30
4.2 ผลของสัญญาณที่ได้จากการ Modulation	32
4.2.1 สัญญาณเคออสติกที่ได้จากวงจร Chua	32
4.2.2 สัญญาณ Pulse จาก MCS 51 และผลจากการ Modulation	32
4.3 ผลที่ได้จาก โปรแกรม Record สัญญาณ	33
4.3.1 สัญญาณ Chaotic	33
4.3.2 สัญญาณที่ทำการ Modulation	33
4.4 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent	34
4.4.1 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Chaotic	34
4.4.2 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Sine Wave	34
4.4.2 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Noise	35
4.5 ผลที่ได้จากการ ถอดรหัส สัญญาณ	35
4.6 ผลของการจำลองการใช้งานจริงกับระบบฐานข้อมูล	36
4.6.1 หน้าจอหลัก คลิกปุ่ม OK เพื่อเข้าไปใช้งานฐานข้อมูล	36
4.6.2 ยังใช้งานฐานข้อมูลไม่ได้เพราะยังไม่มีกร Login เข้าสู่ระบบ	36
4.6.3 ทำการหาค่า Lyapunov exponent	37
4.6.4 ทำการ ถอดรหัส สัญญาณ	37
4.6.5 นำค่าที่ ถอดรหัส มากรอกเพื่อ Login เข้าสู่ระบบ	38
4.6.6 สามารถใช้งานระบบได้	38
4.7 ผลที่ได้จากการสร้าง Hardware	39
4.7.1 ต้นแบบของกุญแจ Electronic Keys ที่ทดลองต่ออยู่บนบอร์ด	39
4.7.2 เมื่อนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงบนแผ่น PCB ที่ได้ออกแบบไว้	39
4.7.3 เครื่องต้นแบบเมื่อนำมาประกอบลงกล่อง	40

สารบัญ(ต่อ)

5. สรุปผลการทดลอง	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น	41
5.2.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับซอฟต์แวร์ (Soft ware)	41
5.2.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดแวร์ (Hard ware)	42
5.3 แนวทางในการพัฒนา	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	45

MC1496 Balanced Modulator & Demodulator



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงวงจร Chua's circuit และค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของ N_r	5
รูปที่ 2.2 รูปแบบของ Wave form กรณีที่ให้ค่าของ $R = 1.77 k\Omega$	8
รูปที่ 2.3 แสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ โดยมีพิกัดเป็น (v_1, v_2, iL)	8
รูปที่ 2.4 รูปแบบของ Wave form กรณีที่ให้ค่าความต้านทาน $R = 1.3 k\Omega$	9
รูปที่ 2.5 แสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ เมื่อค่าของความต้านทาน $R = 1.3 k\Omega$	9
รูปที่ 2.6 รูปคลื่นที่ขดเป็นวงกลม (Spiral attractor) ที่ค่าความต้านทาน $R = 1.85 k\Omega$	10
รูปที่ 2.7 แสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ ที่ค่าความต้านทาน $R = 1.85 k\Omega$	10
รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของวงจร Chua	11
รูปที่ 2.9 วงจรโดยสมมูลของ Chua's circuit	12
รูปที่ 3.1 कै้าโครงภาพโดยรวมของระบบ	13
รูปที่ 3.2 ภาพหลักการทำงาน โดยรวมของระบบ	15
รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณ Chaotic	16
รูปที่ 3.4 วงจรสร้าง Code โดย AT80C2051	16
รูปที่ 3.5 วงจรมอดูเลตแบบ Amplitude Modulation (AM)	17
รูปที่ 3.6 วงจรโดยสมมูลของ Electronic Key	18
รูปที่ 3.7 Flowchart โครงสร้างทางซอฟต์แวร์ (Soft ware)	19
รูปที่ 3.8 โปรแกรมอัดเสียงในส่วนของการรับสัญญาณ	20
รูปที่ 3.9 Flowchart การหาค่า Lyapunov exponent	21
รูปที่ 3.10 Sequence Diagram การมอดูเลตและการคิมมอดูเลต	21
รูปที่ 3.11 Flowchart การ ถอดรหัสสัญญาณ	22
รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างหน้าจอการเข้าสู่ระบบ	23
รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างหน้าจอการหาค่า Lyapunov exponent และการ ถอดรหัส	23
รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างหน้าจอ Login	24
รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างหน้าจอ Database	25
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณและค่า Lyapunov แบบก่อนเกิดสัญญาณของวงจรของ Chua	26
รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณแบบก่อนเกิดสัญญาณของวงจรของ Chua	26
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณและค่า Lyapunov แบบสัญญาณ Shell5v ของวงจรของ Chua	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.5	แสดงสัญญาณและค่า Lyapunov แบบสัญญาณติดคัม5vของวงจรของ Chua	28
รูปที่ 4.6	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณแบบสัญญาณติดคัม5v ของวงจรของ Chua	28
รูปที่ 4.7	แสดงสัญญาณและค่า Lyapunov แบบสัญญาณสมบูรณ์แบบ5vของวงจรของ Chua	29
รูปที่ 4.8	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณแบบสัญญาณสมบูรณ์แบบ 5vของวงจรของ Chua	29
รูปที่ 4.9	แสดงสัญญาณและค่า Lyapunov แบบสัญญาณที่บแบบ5vของวงจรของ Chua	30
รูปที่ 4.10	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณแบบสัญญาณที่บของวงจรของ Chua	31
รูปที่ 4.11	แสดงสัญญาณเคออสติกที่ได้จากวงจร Chua	32
รูปที่ 4.12	แสดงสัญญาณ Pulse จาก MCS 51 และผลจากการ Modulation	32
รูปที่ 4.13	แสดงรูปสัญญาณ Chaotic	33
รูปที่ 4.14	แสดงสัญญาณที่ทำการ Modulation	33
รูปที่ 4.15	แสดงผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponentจากสัญญาณ Chaotic	34
รูปที่ 4.16	แสดงผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponentจากสัญญาณ Sine Wave	34
รูปที่ 4.17	แสดงผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponentจากสัญญาณ Noise	35
รูปที่ 4.18	แสดงผลที่ได้จากการ ถอดรหัส	35
รูปที่ 4.19	แสดงหน้าจอหลัก	36
รูปที่ 4.20	แสดงหน้าจอของฐานข้อมูลที่ใช้งานไม่ได้	36
รูปที่ 4.21	แสดงหน้าจอการหาค่า Lyapunov exponent	37
รูปที่ 4.22	แสดงหน้าจอการ ถอดรหัส สัญญาณ	37
รูปที่ 4.23	แสดงหน้าจอการ Login	38
รูปที่ 4.24	แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่ระบบได้	38
รูปที่ 4.25	แสดงต้นแบบของกุญแจ Electronic Keys	39
รูปที่ 4.26	แสดงอุปกรณ์ที่นำมาลงบนแผ่น PCB	39
รูปที่ 4.27	แสดงรูปที่นำมาประกอบลงกล่อง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ยังคงเป็นเรื่องที่ผู้ประกอบการทั้งหลายต่างให้ความสำคัญและพยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าวอยู่เรื่อยมา รวมทั้งความร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชนในการรณรงค์และต่อต้านในทุกรูปแบบ แต่ก็มีได้ทำให้ปัญหาดังกล่าวลดลงแต่อย่างใด

ดังนั้นจึงได้เกิดการพัฒนาโครงการ กฎญแจอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โครงการนี้จัดเป็นแนวความคิดใหม่ในการสร้างอุปกรณ์สำหรับป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ โดยการนำสัญญาณออสติก ที่มีลักษณะความซับซ้อนของสัญญาณสูงมาใช้งาน

โดยผู้ที่ทำการลอกเลียนอุปกรณ์ดังกล่าว ยากที่จะคาดเดาโครงสร้างและการทำงานของวงจรได้ ซึ่งโครงการนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากแก่ผู้ประกอบการทางด้านธุรกิจซอฟต์แวร์

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 สร้างกฎญแจอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้สำหรับแสดงตนหรือใช้สำหรับแสดงสิทธิ์ โดยใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) เพื่อพิสูจน์ตัวตนของบุคคลที่มีสิทธิ์ในการใช้โปรแกรม โดยการทำงานหลัก คือ สัญญาณเคออสติกที่สร้างขึ้น จะมีลักษณะความซับซ้อนของสัญญาณสูง ผู้ที่จะทำการลอกเลียนอุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถคาดเดาโครงสร้างของวงจรได้

1.2.2 เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ เพราะขบวนการแสดงตนเป็นวิธีการพิสูจน์ตัวบุคคลผู้แสดงตนต้องมีกฎญแจอิเล็กทรอนิกส์ ที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยที่กฎญแจแต่ละอันจะมีค่าเฉพาะกฎญแจ (Unique) ซึ่งจะไม่สามารถใช้แทนกันได้ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเป็นส่วนของฮาร์ดแวร์เสียบเข้าไปในส่วนอินพุทของการ์ดเสียง (Sound card) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ตามปกติ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์

1.3.2 ออกแบบและเขียน โปรแกรมเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ในการแสดงตน

1.4.2 สามารถนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ ในการมีสิทธิ์ใช้โปรแกรม

1.4.3 ช่วยลดปัญหาการละเมิดสิทธิ์ในการใช้โปรแกรม

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ID	Task Name	2004						2005				
		Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	
1	Problem Definition & Get Requirement	■										
2	Analysis & Design		■	■	■							
3	Software Design		■	■	■							
4	Hardware Design			■	■							
5	Implementation					■	■	■	■			
6	Software					■	■					
7	Hardware							■	■	■		
8	Test & Debug							■	■	■	■	
9	Documentation		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของ Chaos

Chaos ตามพจนานุกรมหมายถึงความสับสนวุ่นวาย ไร้ระเบียบแต่ Chaos ที่เรากำลังศึกษาหมายถึง Deterministic Chaos (เราจะใช้คำว่า Chaos เฉยๆ) ซึ่งก็ยังคงเค้าของความหมายเดิม ซึ่งคล้ายๆในพจนานุกรมอยู่ พฤติกรรมแบบ Chaos เป็นพฤติกรรมที่ดูไร้ระเบียบ ดูเหมือน Random แต่ Chaos สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

ระบบที่ประพฤติตัวแบบ Chaos จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถทำนายได้ในระยะยาว โดยความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยจากการวัดเงื่อนไขเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นแบบ Exponential เมื่อเวลาผ่านไป

2.2 ระบบที่เป็น Chaos

ใครจะรู้อีกว่าตัวเราเองก็เป็น Chaos มีใครสามารถทำนายความคิดและพฤติกรรมของตัวเองได้บ้าง ถึงแม้ว่าจะรู้ว่ากลไกของร่างกายทำงานอย่างไร แต่สิ่งที่ยังคงลึกลับซับซ้อนอยู่ก็คือกลไกภายในสมองได้มีการพิสูจน์กันว่าคลื่นสมองและคลื่นหัวใจของมนุษย์ก็เป็น Chaos นอกจากนี้สภาพอากาศก็เป็น Chaos เพราะสภาพอากาศไม่สามารถทำนายในระยะยาวได้

สำหรับระบบที่เป็น Linear ความคลาดเคลื่อนเมื่อเวลาผ่านไปจะเป็นสัดส่วนกับความคลาดเคลื่อนเริ่มแรกเนื่องจากความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น Chaos จึงไม่มีในระบบที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเกิดขึ้นได้เฉพาะกับระบบที่เป็น non-linear แต่ใช้ว่าระบบที่เป็น non-linear จะเกิด Chaos เสมอไป จะมีช่วง parameter ที่ทำให้ระบบประพฤติตัวแบบ Chaos (chaotic behavior) แต่ non-linear system บางระบบก็เป็น Chaos ตลอดเวลา

เรื่องที่เกี่ยวข้องกับ Chaos theory กำลังเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจาก Chaos มีความเกี่ยวข้องกับศาสตร์ความรู้ต่าง ๆ แทบจะทุกแขนงเมื่อมาลองพิจารณาดูปรากฏการณ์ หลายอย่างในธรรมชาติ เช่น สภาพอากาศ พายุฝนฟ้าคะนอง สายลม กระแสน้ำ จะมีลักษณะเป็นแบบไร้ระเบียบ (Chaos) หรือ แม้แต่ สภาพเศรษฐกิจและสังคม ทั่วโลกต่าง ๆ ภายในร่างกายมนุษย์ เช่นคลื่นสมอง คลื่นหัวใจ ระบบประสาท เป็นต้น มีลักษณะที่เราไม่สามารถทำนายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติบางอย่างที่จะใช้ทดสอบว่าพฤติกรรมใดเป็นเคออสติกและสามารถบอกได้ว่าสัญญาณที่เป็นเคออสติกนั้นมีความแตกต่างจากสัญญาณที่เป็น noise หรือสัญญาณที่เกิดจากการ random อย่างไร คุณสมบัติที่ว่านั้นก็คือ Lyapunov exponent

Lyapunov exponent เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความเสถียรของเส้นตรงที่โค้งเข้าหากันโดยที่จะให้ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆคงที่แล้วลองสังเกตดูว่าเมื่อเวลาผ่านไปสถานะของระบบจะเปลี่ยนไปอย่างไร

โดยคิดจากอัตราเฉลี่ยของการถูเข้าและถูออกของเส้นตรง ซึ่งเป็นการพิจารณาเส้นทางการโคจร (Trajectory) ที่ใกล้เคียงกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือ จำนวนของตัวแปรที่น้อยที่สุดที่ใช้ในสมการแสดงสถานะ

เมื่อเส้นทางการโคจรของระบบที่มีเงื่อนไขเริ่มต้นด้วย x_0 นิยามไว้ว่า $\{x(t) | x(0) = x_0\}$ โดยพิจารณาเงื่อนไขเริ่มต้น 2 ค่าซึ่งใกล้เคียงกันคือ $x(0)$ และ $x(0) + d_0$ ซึ่งเมื่อค่าที่เริ่มต้นจะมีค่าที่น้อยมากๆ แต่เมื่อเวลาผ่านไป t จะทำให้ที่ $x(0)$ เปลี่ยนค่าไปเป็น $x(t)$ และในทำนองเดียวกันที่ $x(0) + d_0$ ก็จะเปลี่ยนค่าไปเป็น $x(t) + d(t)$ สมมติว่าเมื่อเวลา $t(d(t))$ เขียนได้นี้

$$d(t) = d_0 e^{\lambda t} \quad (2.1)$$

เมื่อ $\lambda < 0$ จะได้ว่า $d(t)$ เข้าใกล้ศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไป นั่นคือ สอง Trajectories จะ ถูเข้าหากันเสมอ (Converge)

เมื่อ $\lambda > 0$ จะได้ว่า $d(t)$ เพิ่มค่าแบบ Exponential เมื่อ t เพิ่มขึ้น นั่นคือ ยิ่งเวลาผ่านไป สอง Trajectories ที่มีจุดเริ่มต้นใกล้เคียงกัน จะต่างกันอย่างสิ้นเชิง จนไม่ Correlate เลย เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มันไวต่อเงื่อนไขเริ่มต้น (Sensitively Dependent on Initial Conditions) หรือ Chaos

เมื่อ $\lambda = 0$ จะได้ว่า 2 Trajectories จะขนานกันไปตลอด (ระยะห่าง $d(t)$ คงที่)

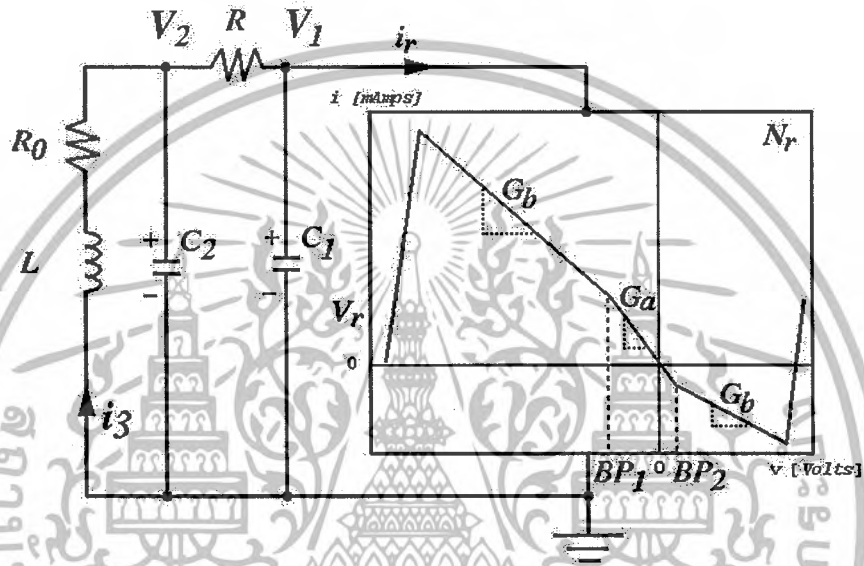
โดยการแก้สมการเพื่อหา Lyapunov exponent นั้น สามารถหาได้โดยสมการของ Lyapunov Exponent: λ แสดงได้ดังนี้

$$\lambda = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \ln \left| \frac{f(x_i) - f(x_{i-1})}{dt} \right| \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Chua's Circuit

Chua's Circuit เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับสร้างสัญญาณเคออสติกที่ง่ายที่สุด โดยวงจรประกอบด้วย ความต้านทาน R_1 ขดลวด L ตัวเก็บประจุ C_1, C_2 และ วงจรสร้างค่าความต้านทานลบ N_r



รูปที่ 2.1 แสดงวงจร Chua's circuit และค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของ N_r

วงจรสร้างค่าความต้านทานลบ N_r สามารถสร้างขึ้นโดย Operational amplifier โดยมีค่าความชันของสัญญาณ (Slope) อยู่ 2 ค่า สำหรับสมการอธิบายลักษณะของวงจรสามารถเขียนสมการของสถานะ (State Equation) ได้ดังนี้

$$C_1 \frac{dV_1}{dt} = R^{-1}(V_2 - V_1) - f(V_1) \quad (2.3)$$

$$C_2 \frac{dV_2}{dt} = -R^{-1}(V_2 - V_1) + I \quad (2.4)$$

$$L \frac{dI}{dt} = -rI - V_2 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

V_1 คือ แรงดันที่ตกคร่อม C_1

V_2 คือ แรงดันที่ตกคร่อม C_2 และเป็นแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดความ

เหนี่ยวนำด้วย

I คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวดความเหนี่ยวนำ

และ $f(V_1)$ คือ ลักษณะของแรงดันที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่เกิดจากความต้านทาน N_r (ซึ่งจะมีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวงจร) ถ้าเราให้ R_1 กำหนดคุณสมบัติในด้านของความต้านทานและให้ C_1, R_1 กำหนดคุณสมบัติในด้านของเวลา แล้วกำหนดค่าแรงดันและกระแสใน $f(V_1)$ เป็น V_c และ V_c/R_1 เราจะได้สมการดังนี้

$$\frac{dX}{dt} = a(Y - X) - \bar{f}(X) \quad (2.6)$$

$$\frac{dY}{dt} = \sigma[-a(Y - X) + Z] \quad (2.7)$$

$$\frac{dZ}{dt} = -c(Y + \gamma Z) \quad (2.8)$$

โดยให้ $X = \frac{V_1}{V_c}$, $Y = \frac{V_2}{V_c}$, $Z = R_1 \frac{I}{V_c}$ และพารามิเตอร์ต่างๆเป็นดังตารางที่ 2.1

a	R_1/R	0.923
b	$1 - R_1/R_2$	0.636
c	$C_1 R_1^2 / L$	0.779
σ	C_1 / C_2	0.066
\bar{f}	r / R_1	0.071

ตารางที่ 2.1 ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะนำค่าที่ได้จากตารางมาใช้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น โดยที่

$$\bar{f}(X) = \begin{cases} -X & |X| < 1 \\ [-1 + b(|X| - 1)] \operatorname{sgn}(X) & 1 < |X| < 10 \\ [10(|X| - 10) + (9b - 1)] \operatorname{sgn}(X) & |X| > 10 \end{cases}$$

ค่า Slope ที่ได้จะมีค่าเป็น -1 เมื่อ $|X| < 1$
 $-b$ เมื่อ $1 < |X| < 10$
 10 เมื่อ $|X| > 10$

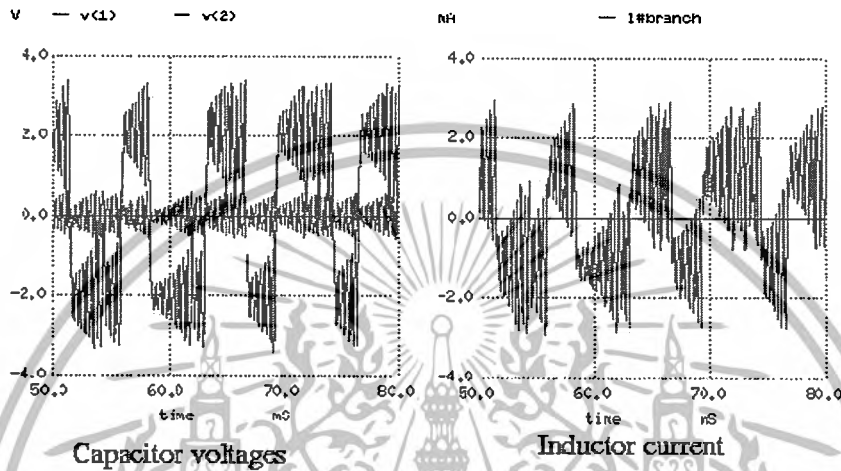
รูปแบบของสมการเมื่อผลเฉลยไม่ขึ้นกับเวลา

$$X = \pm \frac{1-b}{\frac{a}{1+\gamma a} - b} \cong \pm \frac{1-b}{a-b}, \quad Y = \frac{a\bar{\gamma}}{1+\bar{\gamma}a} X \cong 0, \quad Z = -\frac{a}{1+\bar{\gamma}a} X \cong -aX \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

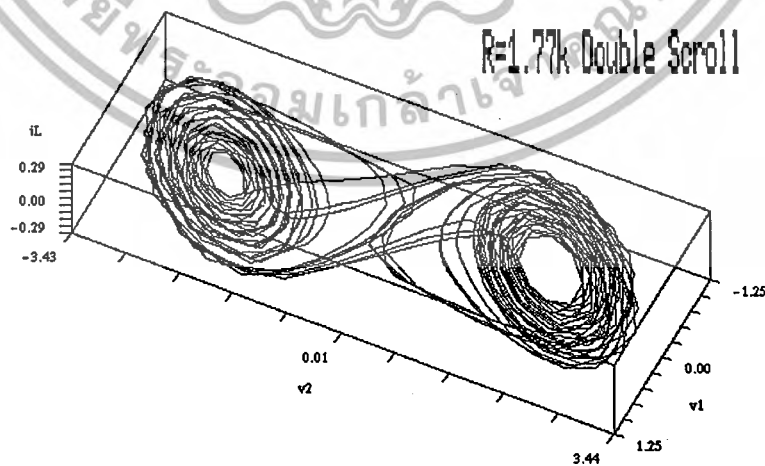
รูปแบบของ Wave form ที่ได้จากวงจร Chua ซึ่งเป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (Capacitor) และ กระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductor) กรณีที่ให้ค่าของ $R = 1.77 k\Omega$

Double Scroll $R=1.77k$



รูปที่ 2.2 รูปแบบของ Wave form กรณีที่ให้ค่าของ $R = 1.77 k\Omega$

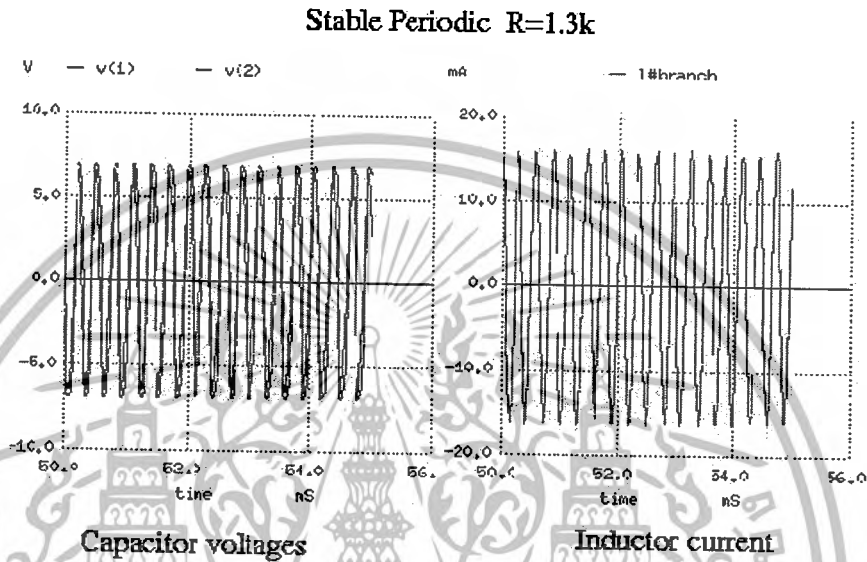
เราจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของรูปคลื่น ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะแสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ โดยมีพิกัดเป็น (v_1, v_2, iL) แต่ละจุดที่อยู่บนเส้นโค้ง จะตรงกันกับค่าของกระแสและแรงดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา ดังนั้นเส้นโค้งที่เกิดขึ้นก็คือค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลานั่นเอง



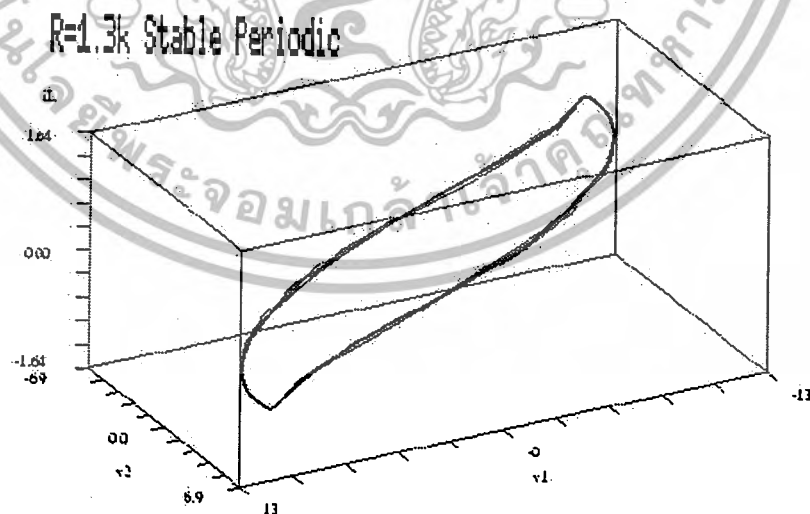
รูปที่ 2.3 แสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ โดยมีพิกัดเป็น (v_1, v_2, iL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนค่าของความต้านทาน $R=1.3k\Omega$ รูปของสัญญาณจะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังรูปที่ 2.4 เพราะสัญญาณที่ได้จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและเป็นช่วงๆ สามารถที่จะทำนายได้ว่าช่วงเวลาถัดไป รูปของสัญญาณจะเป็นอย่างไร



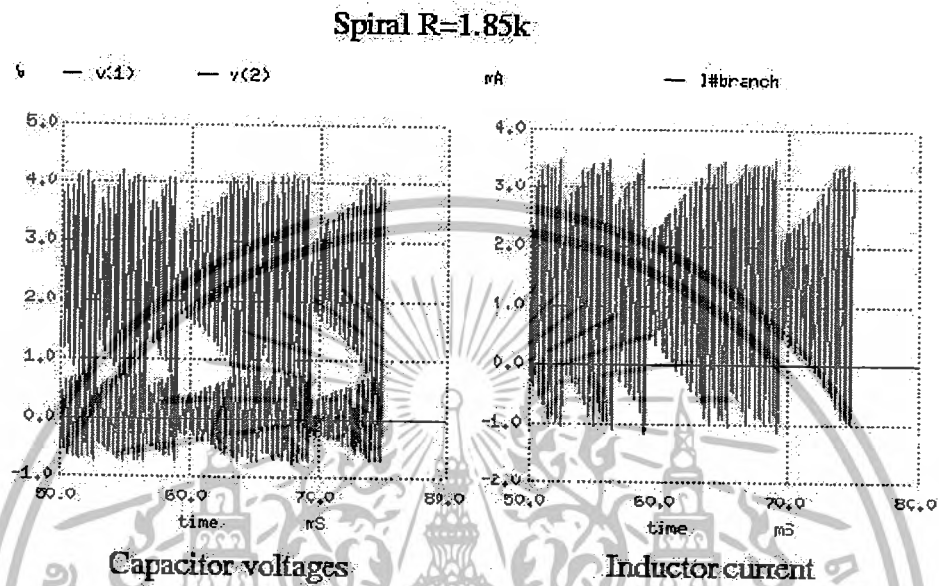
รูปที่ 2.4 รูปแบบของ Wave form กรณีที่ให้ค่าความต้านทาน $R=1.3k\Omega$



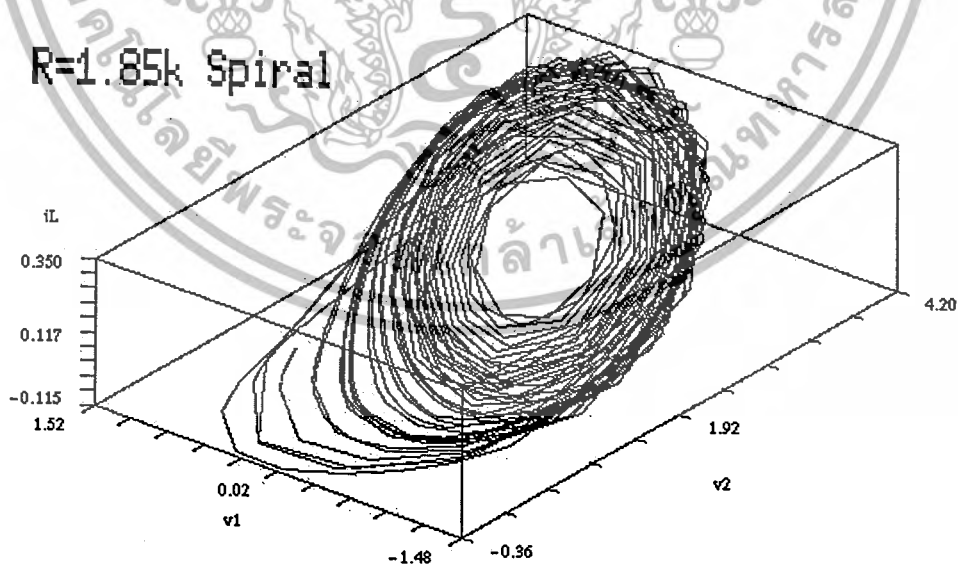
รูปที่ 2.5 แสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ เมื่อค่าของความต้านทาน $R=1.3k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีต่อไปนี้น่าสนใจ ซึ่งจะทำให้เกิดรูปคลื่นที่ขดเป็นวงกลม (Spiral attractor)
 ดังรูปที่ 2.6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความต้านทาน $R = 1.85 k\Omega$



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นที่ขดเป็นวงกลม (Spiral attractor) ที่ค่าความต้านทาน $R = 1.85 k\Omega$



รูปที่ 2.7 แสดงการพล็อตรูปคลื่นในแบบ 3 มิติ ที่ค่าความต้านทาน $R = 1.85 k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

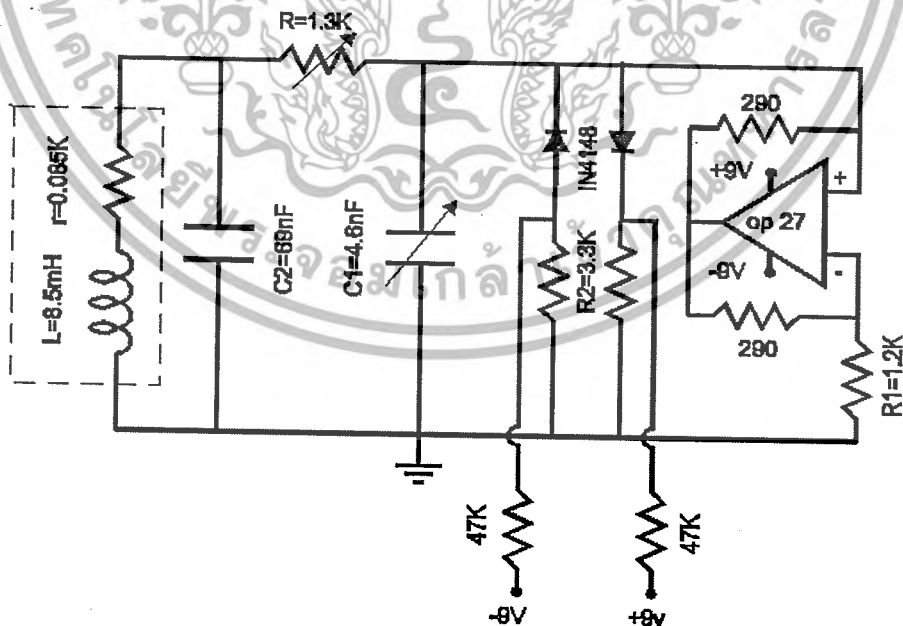
2.4 หลักการทำงานของวงจร

ลักษณะการทำงานของวงจรจะแยกการทำงานออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 วงจรสร้างสัญญาณออสซิลเลเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจะประกอบด้วย ขดลวดเหนี่ยวนำ L (ที่มีค่าของความต้านทาน r ค้อย) ตัวต้านทาน R ตัวเก็บประจุ $C1$, $C2$ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวงจร Oscillations พื้นฐาน

ส่วนที่ 2 วงจรสร้างความต้านทานลบ ประกอบด้วยออปแอมป์และองค์ประกอบของค่าความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับออปแอมป์ ซึ่งส่งผลให้ค่าความต้านทานมีค่าเป็นลบ (Negative Resistance) และค่าที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับค่าของ $R1$ ซึ่งค่าของ $R1$ ส่งผลโดยตรงต่อสัญญาณที่ได้ให้เป็นเชิงเส้น (*Linear*) ซึ่งสัญญาณที่เป็น *Chaotic* ไม่ได้เกิดขึ้นที่ส่วนนี้ แต่เป็นเพียงส่วนที่ใช้กำหนดการเคลื่อนที่ของแรงดัน

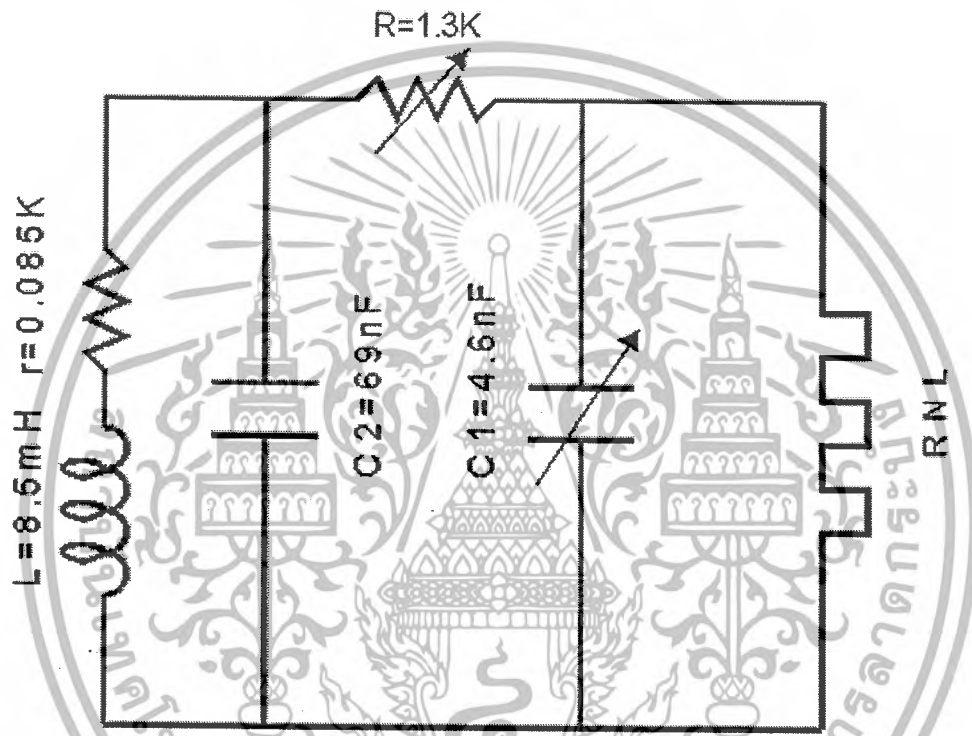
ส่วนที่ 3 ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้สร้างสัญญาณที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยคู่ของ Diode จะทำการสวิตช์เลือกความต้านทาน R_2 ที่ต่อขนานอยู่กับความต้านทาน $-R_1$ เมื่อแรงดันไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันเกินค่าแรงดันพังทลาย (Breakdown voltage)



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของวงจร Chua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำคุณสมบัติของส่วนที่ 2 และ ส่วนที่ 3 มารวมเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดคุณสมบัติเฉพาะของวงจร Chua ที่เรียกว่า (Nonlinear negative resistance) จากค่าของ R_1 เมื่อ $V < V_c$ และ $-R_1 R_2 / (R_1 - R_2)$ เมื่อ $V > V_c$ ซึ่งลักษณะของวงจรที่ได้ เป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจร โดยสมมูลของ Chua's circuit

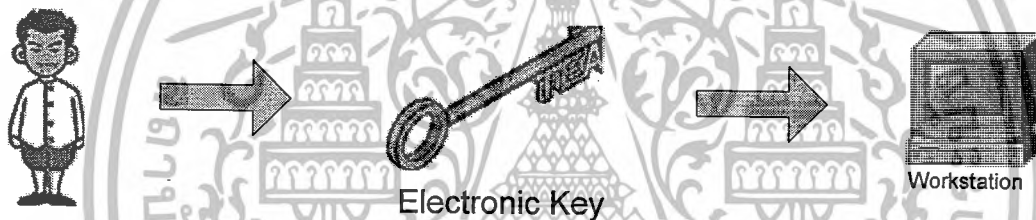
สัญญาณ *Chaotic* ที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากค่าของแรงดันที่ตกคร่อม C_1 และ C_2 การเปลี่ยนค่าความต้านทานของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (ที่มีรอบของการเปลี่ยนค่าที่ละเอียดมาก) จะทำให้สัญญาณ *Chaotic* ที่ได้เหมือนกับสัญญาณรบกวน

บทที่ 3

การออกแบบและโครงสร้าง

3.1 ภาพโดยรวมของระบบ

กุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Key) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับแสดงตน (Identification) ของบุคคลหรือสำหรับแสดงสิทธิ์ (Authentication) เพื่อใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) ของการมีสิทธิใช้โปรแกรมโดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะเป็นส่วนฮาร์ดแวร์ เสียบเข้าไปในส่วนอินพุทของการ์ดเสียง (Sound Card) ของเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 ภาพโดยรวมของระบบ

อย่างไรก็ตาม ไม่ได้หมายความว่า การป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ โดยการป้องกันที่ตัวซอฟต์แวร์โดยตรงจะไม่มี ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ได้มีการนำวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์มาใช้งานบ้างเหมือนกันตัวอย่างเช่น

การป้องกันวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้งานคือ การใช้ License Key หรือ License Diskette ซึ่งเป็นแผ่นที่บรรจุสิทธิการใช้งาน เวลาติดตั้งซอฟต์แวร์จากแผ่นซีดีรอม ต้องใส่แผ่นดิสก์เก็ตควบคู่ด้วย จึงจะติดตั้งได้อย่างไรก็ตาม มีซอฟต์แวร์ไม่กี่ตัวที่ใช้เทคนิคนี้ในการป้องกันสิทธิการใช้งานแบบนี้ เพราะความไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากเมื่อไรก็ตามที่ผู้ใช้งานที่มีลิขสิทธิ์ถูกต้องทำแผ่นดิสก์เก็ต License หาย ถึงแม้จะซื้อซอฟต์แวร์มาอย่างถูกต้องก็ไม่สามารถติดตั้งซอฟต์แวร์เพื่อใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการป้องกันอีกวิธีหนึ่งคือ ใช้ Serial No. ซึ่งหมายถึงหมายเลขสำหรับใส่ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่าเป็น Serial No. ซึ่งวิธีการกำหนด Serial No. นั้นขึ้นอยู่กับผู้พัฒนาซอฟต์แวร์จะกำหนด โดยส่วนใหญ่การติดตั้งจะต้องใส่หมายเลข Serial No. ให้ถูกต้อง ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถติดตั้งได้

อีกวิธีการหนึ่งคือ เมื่อติดตั้งซอฟต์แวร์ หรือเมื่อซอฟต์แวร์หมดอายุการใช้งานและผู้ใช้ต้องการใช้งานต่อ จะต้องติดต่อซื้อไลเซนส์ (License) ซึ่งผู้ขายจะให้คีย์ที่เรียกว่า Activate Key คือ Key ที่ใส่ลงไปแล้ว ทำให้ซอฟต์แวร์สามารถทำงานต่อไปได้ หรือสามารถติดตั้งลงในฮาร์ดดิสก์ได้

วิธีการป้องกันที่ได้รับความนิยม และได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพอีกตัวคือ การใช้ฮาร์ดล็อก (Hard Lock) ซึ่งเป็นการล็อกผ่านพอร์ตขนาน (Parallel Port) หรือพอร์ท USB ซึ่งมีอุปกรณ์ที่เรียกว่าฮาร์ดล็อกมาติดตั้งไว้ โดยที่เมื่อไรก็ตามที่มีการติดตั้ง หรือรัน โปรแกรมที่ต้องการฮาร์ดล็อก ผู้ใช้งานจะต้องเสียบฮาร์ดล็อกไว้ ไม่เช่นนั้น จะติดตั้งซอฟต์แวร์ไม่ได้ หรือจะใช้งานซอฟต์แวร์ไม่ได้ การใช้ ฮาร์ดล็อก ที่พัฒนาดีๆ นั้นจะทำให้มั่นใจว่า ซอฟต์แวร์ที่ขายไปนั้นถูกนำไปใช้งานเพียงเฉพาะชุดที่ขายเท่านั้น เพราะฮาร์ดล็อก นั้นเป็นการใส่รหัสและพัฒนาโดยผู้ผลิตซอฟต์แวร์ (หรืออาจจะไปว่าจ้างผู้ผลิตรายอื่นที่มีความชำนาญเฉพาะให้ผลิตให้) ดังนั้นฮาร์ดล็อกจะช่วยป้องกันไม่ให้มีการละเมิดลิขสิทธิ์

เทคโนโลยีการปกป้องลิขสิทธิ์ยังเปลี่ยนแปลงไป เมื่ออินเทอร์เน็ตเข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะอินเทอร์เน็ตทำให้ช่องทางการจำหน่ายซอฟต์แวร์กว้างขึ้น ทำให้ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สามารถนำซอฟต์แวร์ที่ตัวเองพัฒนามาขายผ่านเว็บไซต์ได้ ดังนั้นการควบคุมเรื่องลิขสิทธิ์ก็ต้องเปลี่ยนแปลงไป โดยคำนึงถึงความสะดวกของผู้ใช้ซอฟต์แวร์ถูกลิขสิทธิ์ ความง่ายในการซื้อลิขสิทธิ์ และประสิทธิภาพของการปกป้องซอฟต์แวร์

ดังนั้นจึงได้เกิดการพัฒนาโครงการ กุญแจอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น ซึ่งโครงการนี้จัดเป็นแนวความคิดใหม่ในการสร้างอุปกรณ์สำหรับป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์โดยการนำสัญญาณออสติก ที่มีลักษณะความซับซ้อนของสัญญาณสูงมาใช้งาน

ทุกครั้งที่มีการติดตั้ง หรือรัน โปรแกรมที่ต้องการกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ใช้งานจะต้องเสียบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ไว้ที่ช่อง MIC ของการ์ดเสียง ไม่เช่นนั้น จะติดตั้งซอฟต์แวร์ไม่ได้ หรือจะใช้งานซอฟต์แวร์ไม่ได้ ซึ่งการทำงานโดยรวมของระบบจะเป็นดังรูปที่ 3.2

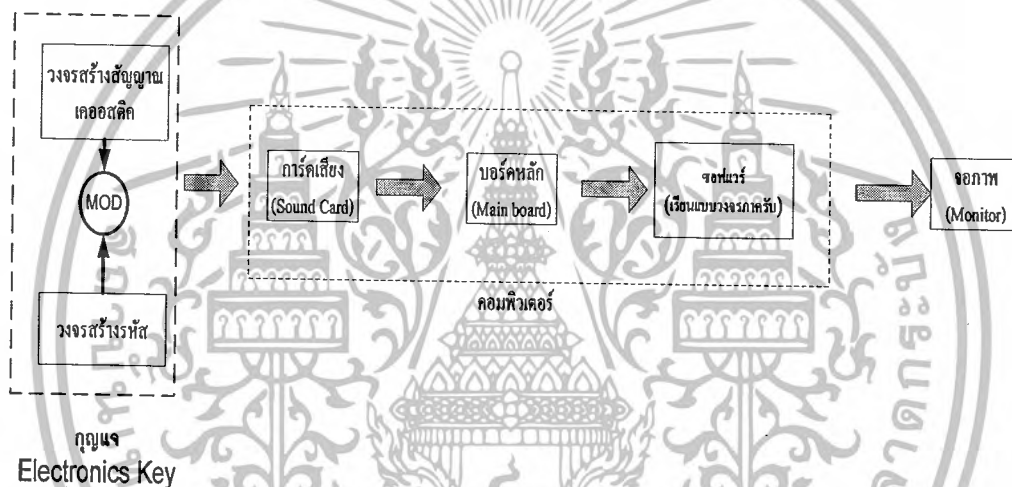
3.2 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบโครงงานอุปกรณ์กุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Key) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

3.2.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (Hardware)

3.2.2 การตีเทคสัญญาณ

3.2.3 ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)



รูปที่ 3.2 ภาพหลักการการทำงานโดยรวมของระบบ

3.2.1. โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ในส่วนของโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในโครงงานอุปกรณ์กุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Key) จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

3.2.1.1 ส่วนของวงจรมอดูเลตสัญญาณเคออสติก (Chaotic oscillator)

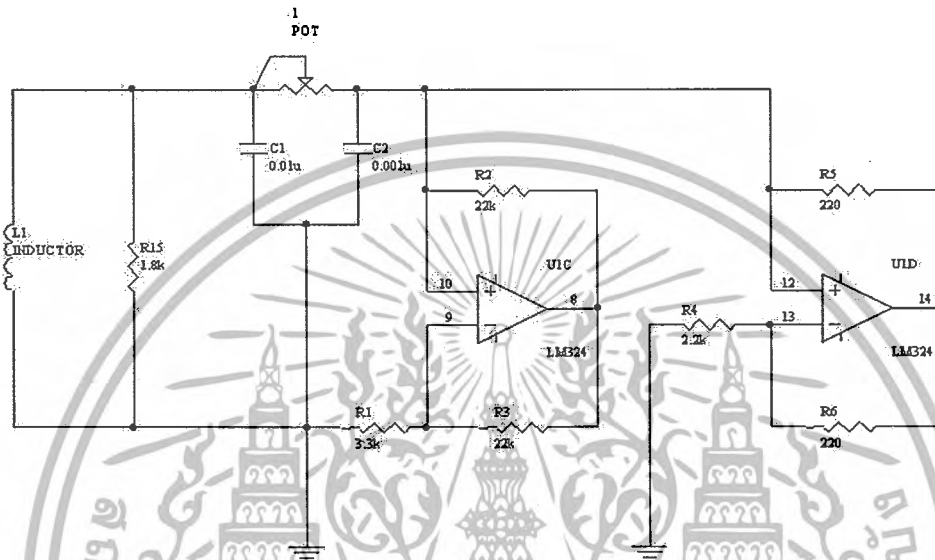
3.2.1.2 ส่วนของวงจรถ่ายรหัส (Code Generator)

3.2.1.3 ส่วนของวงจร มอดูเลต สัญญาณ (modulator: MOD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ส่วนของวงจรสร้างสัญญาณเคออสติก (Chaotic oscillator)

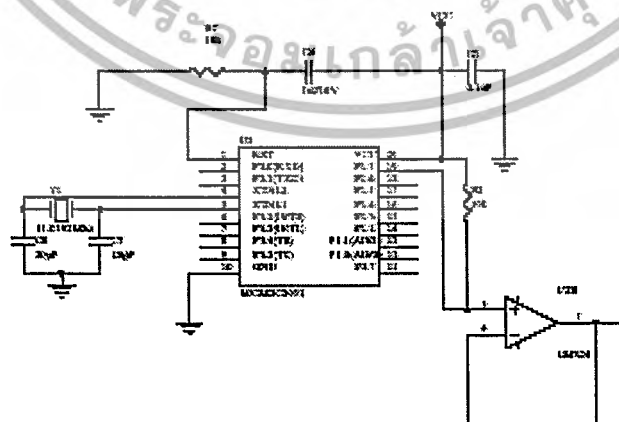
สัญญาณที่ได้จากวงจรจะนำไป มอดูเลท กับ รหัส (Code) ด้วยวิธีการ มอดูเลท แบบ AM ซึ่งวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณเคออสติก (Chaotic oscillator) จะเป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณ เคออสติก

3.2.1.2 ส่วนของวงจรสร้างรหัส (Code Generator)

ในส่วนของรหัส จะสร้างขึ้น โดยใช้ MCS 51 เบอร์ AT 89C2051 ซึ่งเป็น IC ขนาด 8 bit มี 20 ขา โดยรหัสที่ใช้จะมีขนาดของข้อมูล 8 บิต ซึ่งโครงสร้างของวงจรเป็นดังรูปที่ 3.4



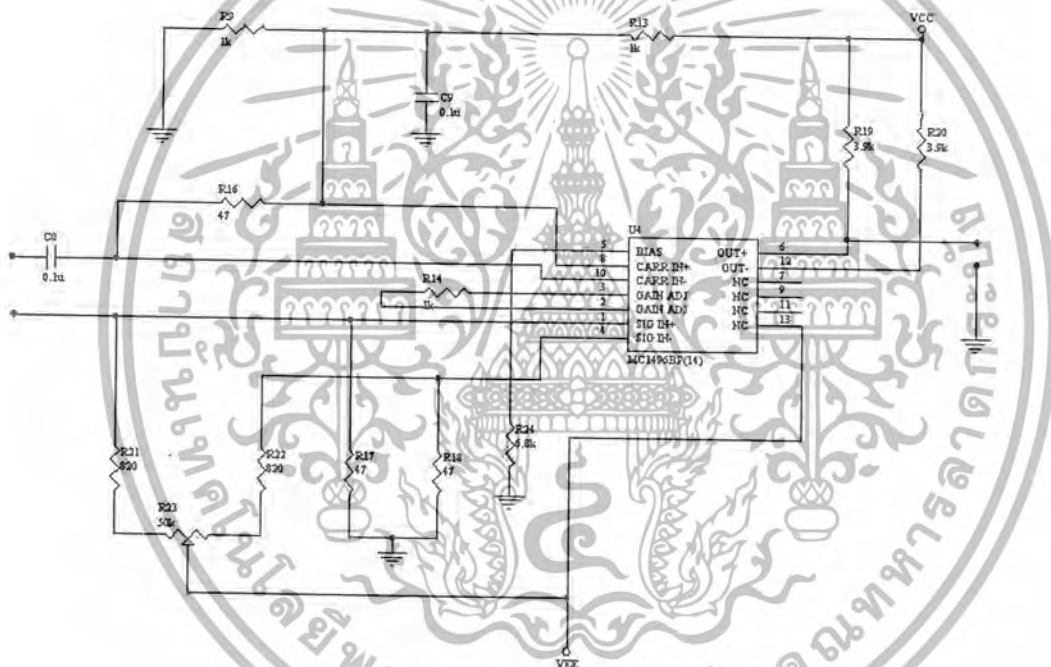
รูปที่ 3.4 วงจรสร้างรหัส โดย AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำโพงหอดมูกกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2.1.3 ส่วนของวงจร มอดูเลตสัญญาณ (modulator: MOD)

จะใช้การมอดูเลตแบบแอมพลิจูด (Amplitude Modulation หรือ AM) วิธีนี้แอมพลิจูดของคลื่นพาห์ (สัญญาณเคออสติก) จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณของข้อมูลที่เข้ามา การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการมอดูเลต แต่คุณภาพของสัญญาณไม่ดี มีความต้านทานสัญญาณรบกวนต่ำ เหมาะกับข้อมูลที่ไม่ต้องการคุณภาพมากนัก เช่น สัญญาณเสียง เป็นต้น แต่มีข้อดีที่โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการผลิตวงจร AM ออกมาในรูปแบบของ IC สำหรับในโครงการนี้จะใช้เบอร์ MC 1496 ของบริษัท Motorola โดยนำมาต่อร่วมกับวงจรภายนอกอีกเล็กน้อย ซึ่งโครงสร้างของวงจรเป็นดังรูปที่ 3.5

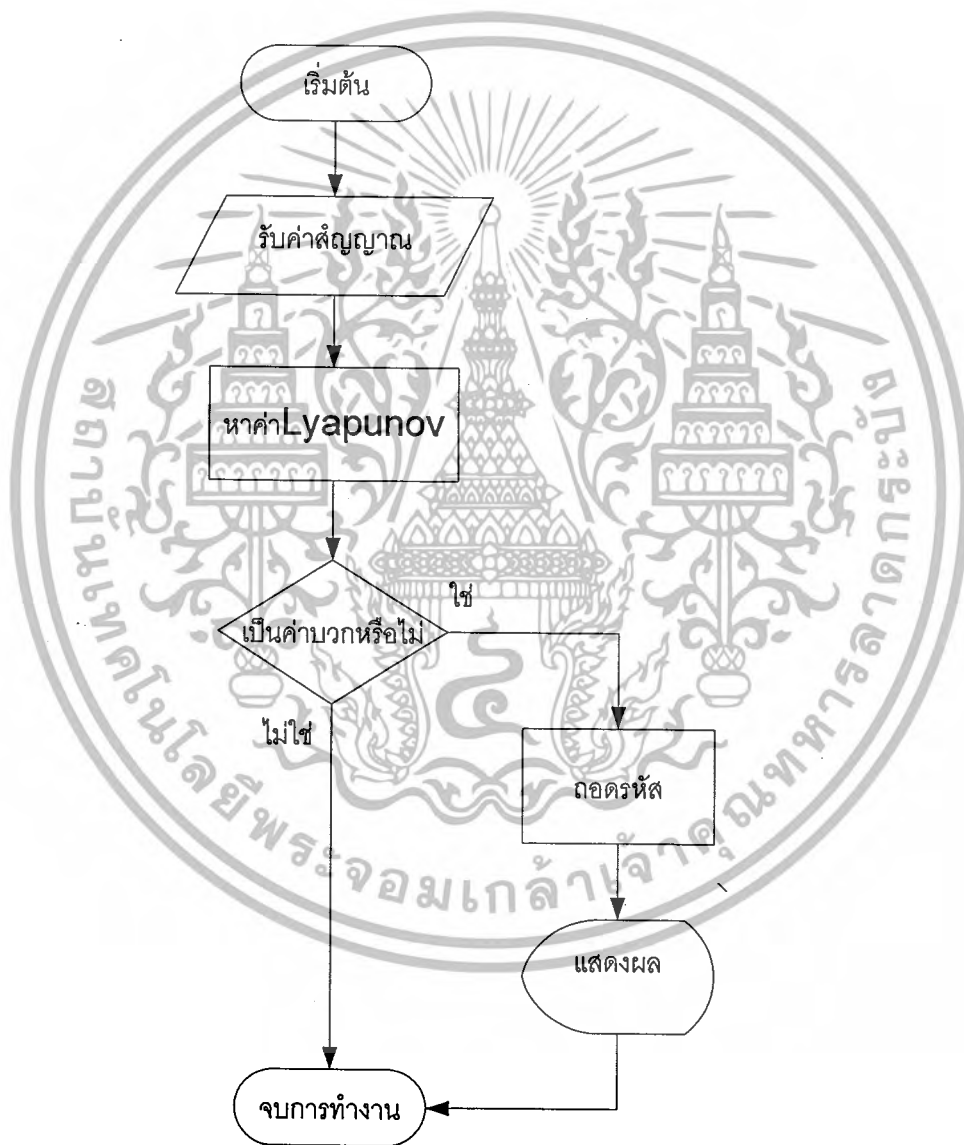


รูปที่ 3.5 วงจรมอดูเลตแบบ Amplitude Modulation (AM)

จากวงจรจะเห็นว่าขาอินพุตอยู่ 2 ขา คือ Carrier Input และ Modulating Signal Input ซึ่งก็คือส่วนที่ใช้ป้อนสัญญาณเคออสติก และ สัญญาณที่เป็นรหัส ตามลำดับ

3.2.2 การดีเทคสัญญาณ

ในส่วนของการสร้างทางซอฟต์แวร์ ที่ใช้ในโครงการอุปกรณ์กุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Key) จะทำการสร้าง ซอฟต์แวร์เรียนแบบวงจรภาครับ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการติดต่อกับ ฮาร์ดแวร์ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนๆดังนี้



รูปที่ 3.7 Flowchart โครงสร้างทางซอฟต์แวร์ (Software)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

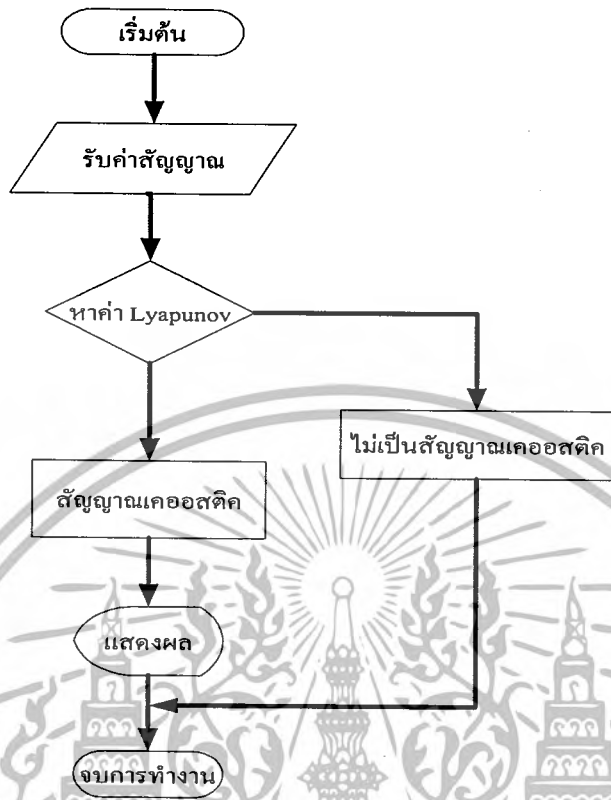
- การวิเคราะห์สัญญาณ

ในส่วนการรับสัญญาณจะทำการออกแบบโปรแกรมเพื่อติดต่อกับ Sound Card โดยจะทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการอัดเสียง แล้วนำเสียงที่อัดมาทำการ Save เป็น File นามสกุล Wave (*.Wave) โดยโปรแกรมที่ใช้จะใช้โปรแกรม Visual Basic ที่มี API (Application Programming Interface) ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานต่างๆของ Windows ที่ Application ต่างๆที่ทำงานอยู่บน Windows สามารถเรียกไปใช้งาน เพื่อทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งได้ และ สำหรับ File ที่ Save ไว้นั้นก็จะนำมาทำการหาค่าในส่วนอื่นๆ ต่อไป



รูปที่ 3.8 โปรแกรมอัดเสียงในส่วนของการรับสัญญาณ

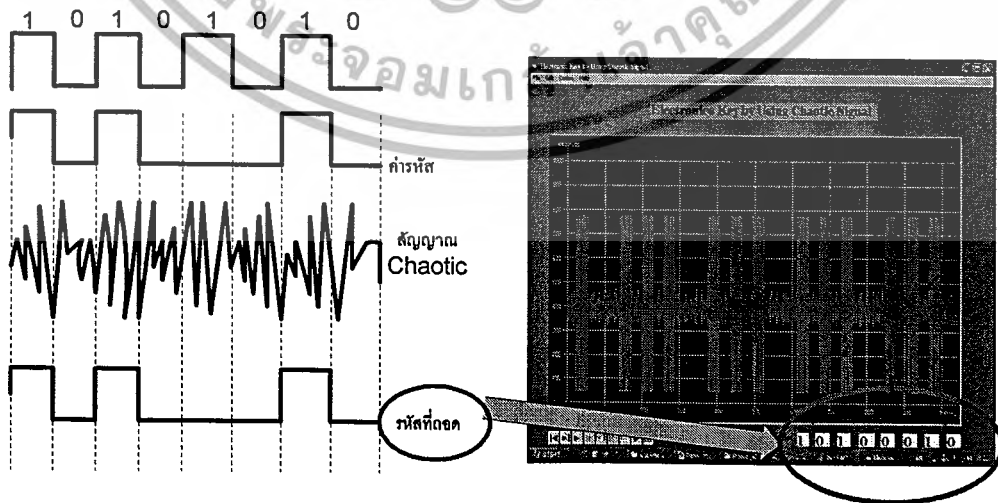
การหาค่า Lyapunov exponent ในส่วนของโปรแกรมการหาค่า Lyapunov exponent มีวิธีการดังนี้คือ ตรวจสอบสัญญาณเพื่อหาค่า Lyapunov exponent ของสัญญาณที่เข้ามาว่ามีค่า λ เป็นบวกหรือไม่ ถ้าได้ค่า Lyapunov exponent ที่เป็นบวกแสดงว่าสัญญาณนั้นเป็นสัญญาณเคออสติก ถ้าไม่เป็นบวก (เป็นลบ หรือ 0) แสดงว่าสัญญาณนั้นไม่เป็นสัญญาณเคออสติก



รูปที่ 3.9 Flowchart การหาค่า Lyapunov exponent

- การถอดรหัสสัญญาณ

ในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณนั้นจะทำการเขียน โปรแกรมเพื่อทำการถอดรหัสสัญญาณที่มีการมอดูเลท กันระหว่าง สัญญาณเคออสติก กับค่านับ



รูปที่ 3.10 Sequence Diagram การมอดูเลทและการคิมมอดูเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการถอดรหัสสัญญาณนั้นจะใช้หลักการคล้ายๆกับหลักการคิมอดูเลขที่ทุกๆไปที่จะเช็คสัญญาณพัลส์ในช่วงบวกเป็น 1 ส่วนสัญญาณพัลส์ในช่วงลบเป็น 0 ซึ่งจะได้ค่ารหัสมาทั้งหมด 8 ค่า ซึ่งถ้าต้องการเพิ่มรหัสให้มากกว่าเดิมนั้นจะทำได้โดยการเปลี่ยน โปรแกรมที่ใช้เบิร์นให้มีจำนวนรอบเพิ่มขึ้นซึ่งรอบที่เพิ่มนี้ก็เปรียบเหมือนกับ $N*8$ นั้นเอง



รูปที่ 3.11 Flowchart การถอดรหัสสัญญาณ

ค่าของรหัสที่ได้นั้นจะต้องได้ค่าที่ตรงกับค่ารหัสที่กำหนดไว้ และถ้าหากต้องการเปลี่ยนค่ารหัสก็จะต้องทำการเปลี่ยนแปลง โปรแกรมในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณใหม่ด้วยเช่นกัน

3.3.3 ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้จะทำการออกแบบโดยใช้ในส่วนของโปรแกรม Visual Basic ออกแบบ โดยจะออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างสะดวกที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

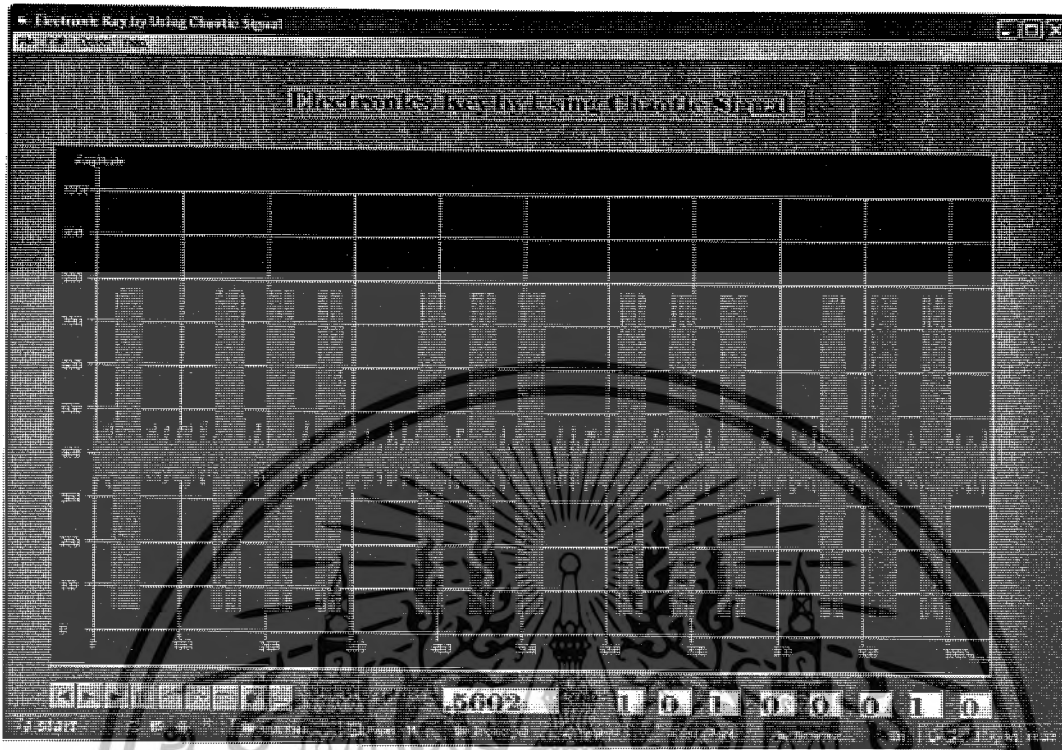
ขั้นตอนในการใช้งานโปรแกรม

- เมื่อผู้ใช้ทำการเสียบตัว Electronic key เข้ากับ Sound Card แล้ว จากนั้นผู้ใช้ก็มาทำการ run โปรแกรม
- โปรแกรมจะแสดงหน้าแรกก่อนเข้าไปใช้ระบบ จากนั้นผู้ใช้ก็ click ปุ่ม OK เพื่อเข้าไปใช้งานระบบ
- เมื่อผู้ใช้เข้ามายังระบบจะยังใช้งานระบบไม่ได้ จะต้องทำการอัดสัญญาณ แล้วนำมาหาค่า Lyapunov exponent เพื่อพิสูจน์ ว่าเป็นสัญญาณเคออสติก จริง และทำการถอดรหัสค่า เพื่อจะนำค่าที่ถอดรหัสนั้น มาทำการกรอกในช่องรหัสผ่าน เพื่อ Login เข้าสู่ระบบ
- จากนั้นผู้ใช้ก็สามารถใช้งานระบบได้อย่างปกติ



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างหน้าจอการเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างหน้าจอการหาค่า Lyapunov exponent และการถอดรหัสสัญญาณ

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างหน้าจอ Login

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The screenshot shows a window titled "Database" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains a form with the following fields and controls:

- รหัสพนักงาน:** 45015875
- ชื่อ:** นาย สุงเพชร
- นามสกุล:** เวทบางค์
- เงินเดือน:** 30000
- Buttons:** Add, Update, Delete, End (stacked vertically on the right side).
- Search:** A search bar with a "Search" button to its right.
- Navigation:** A set of navigation buttons at the bottom left, including "Add", "Update", "Delete", and "End" with directional arrows.

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างหน้าจอ Database

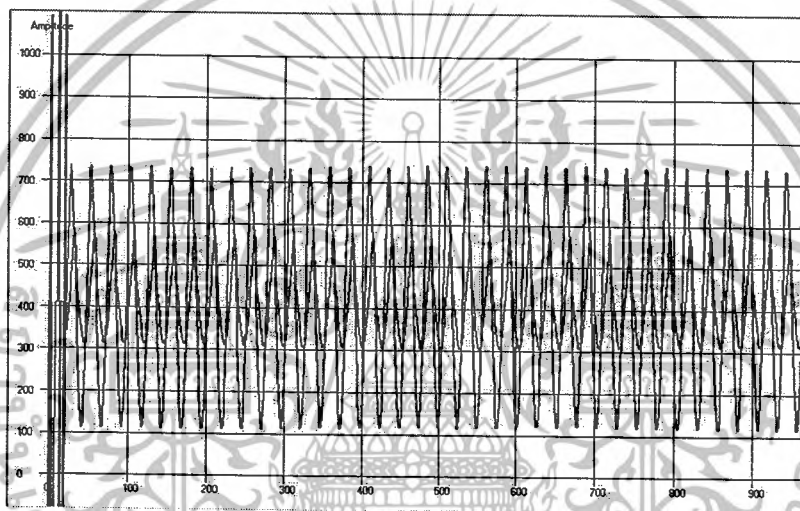
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของสัญญาณที่ได้จากการวัดและค่า Lyapunov exponent จากวงจรของ Chua (Chua's circuit) แบบต่างๆ

4.1.1 แบบก่อนเกิดสัญญาณ ค่า Lyapunov exponent = - 0.2232 เมื่อ $n = 1000$



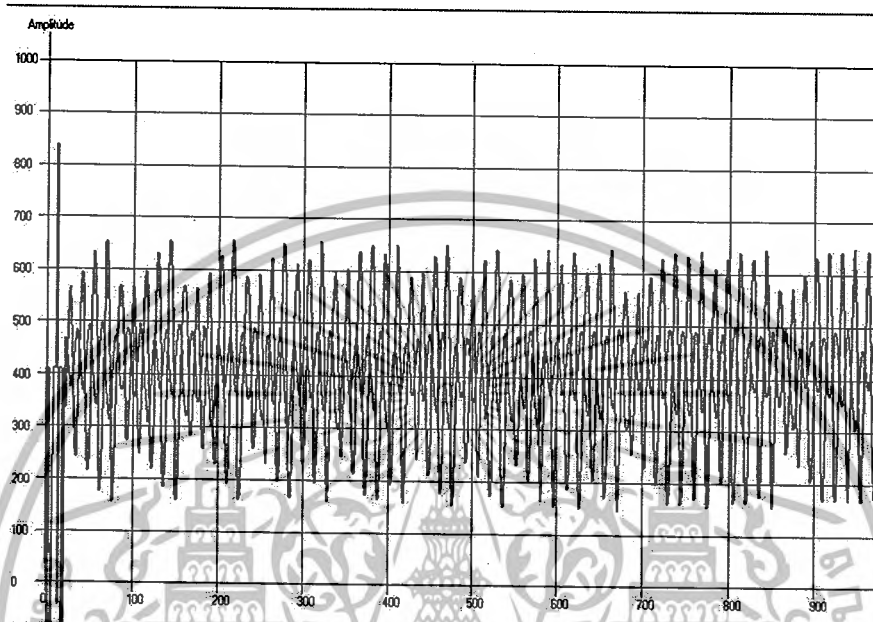
รูปที่ 4.1 สัญญาณและค่า Lyapunov exponent แบบก่อนเกิดสัญญาณของวงจรของ Chua



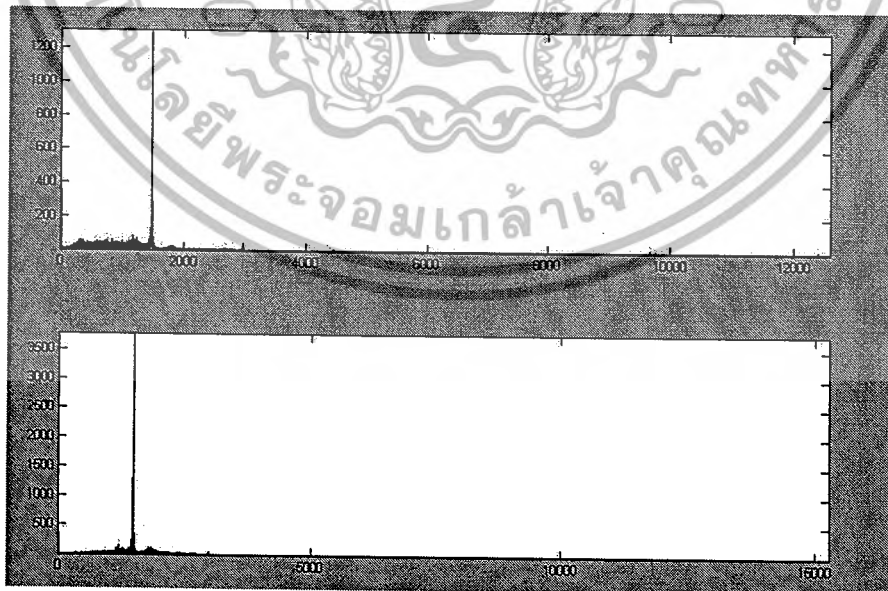
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของสัญญาณแบบก่อนเกิดสัญญาณของวงจรของ Chua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 แบบ Shell 5V ค่า Lyapunov exponent = 0.3056 เมื่อ $n = 1000$



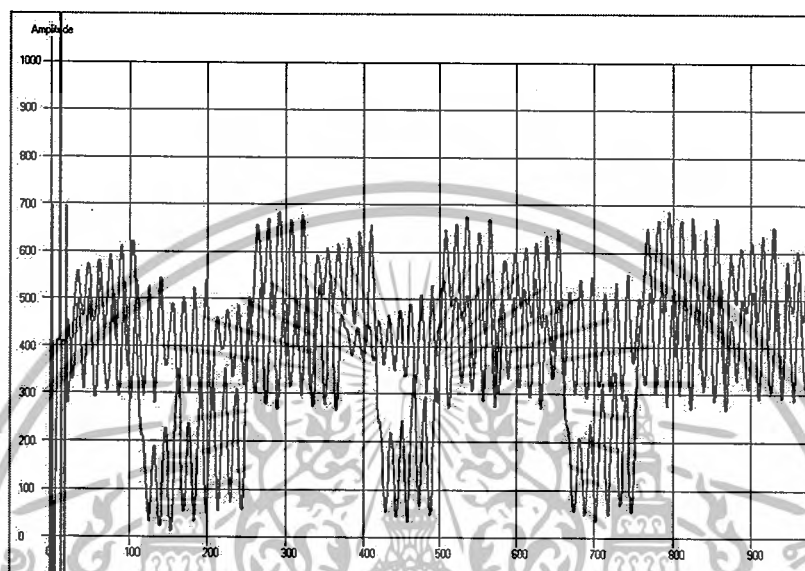
รูปที่ 4.3 สัญญาณและค่า Lyapunov exponent แบบสัญญาณ Shell5V ของวงจรของ Chua



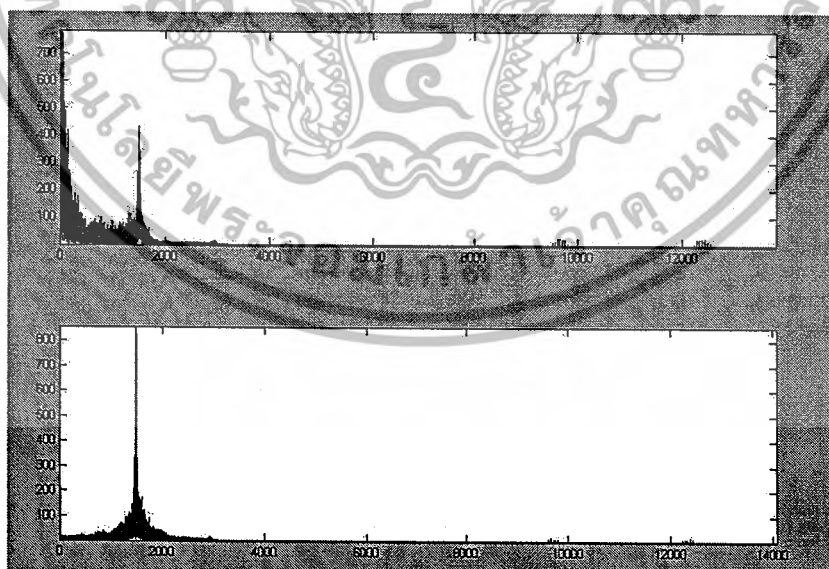
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของสัญญาณแบบแบบShell 5V ของวงจรของ Chua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 แบบสัญญาณติดค้ำ 5V ค่า Lyapunov exponent = - 0.2718 เมื่อ $n = 1000$



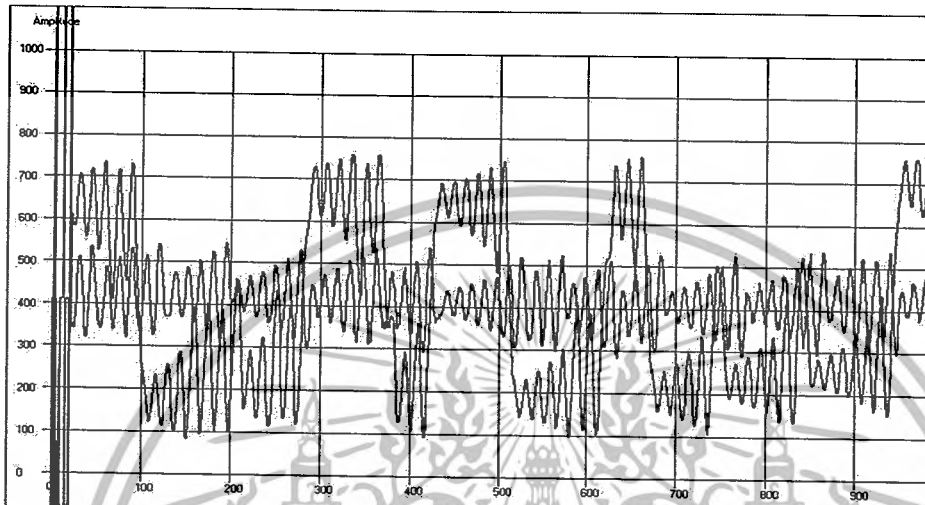
รูปที่ 4.5 สัญญาณและค่า Lyapunov exponent แบบสัญญาณติดค้ำ 5V ของวงจรของ Chua



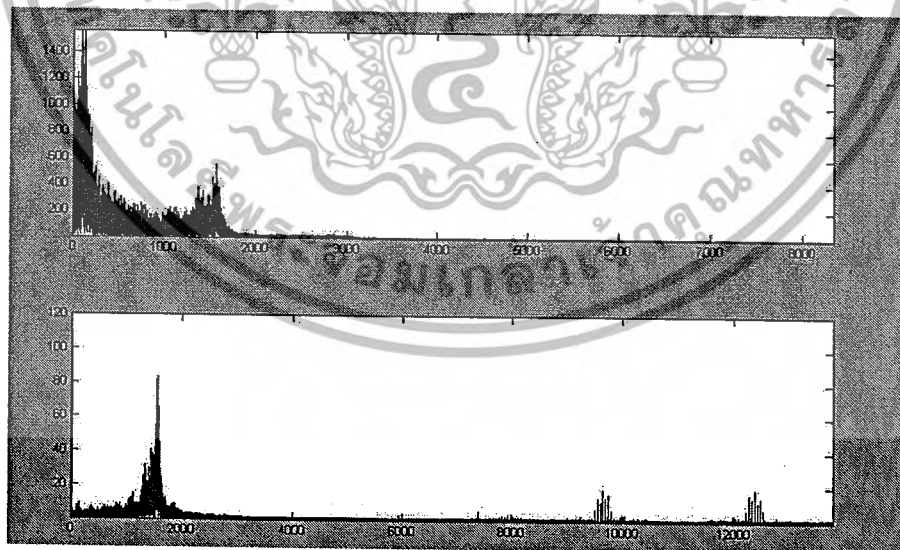
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของสัญญาณแบบสัญญาณติดค้ำ 5V ของวงจรของ Chua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 แบบสัญญาณสมบูรณแบบ 5V ค่า Lyapunov exponent = 0.4575 เมื่อ $n = 1000$



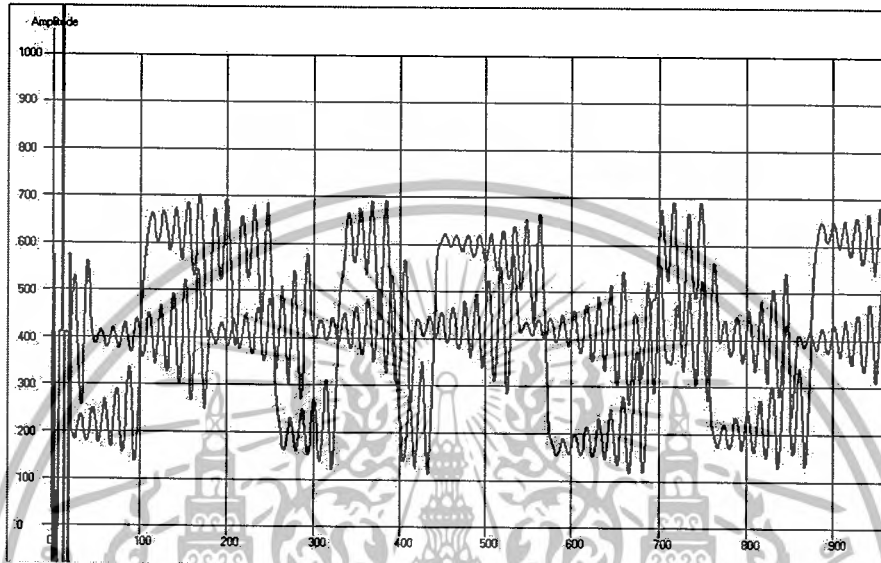
รูปที่ 4.7 สัญญาณและค่า Lyapunov exponent แบบสัญญาณสมบูรณแบบ 5V ของ วงจรของ Chua



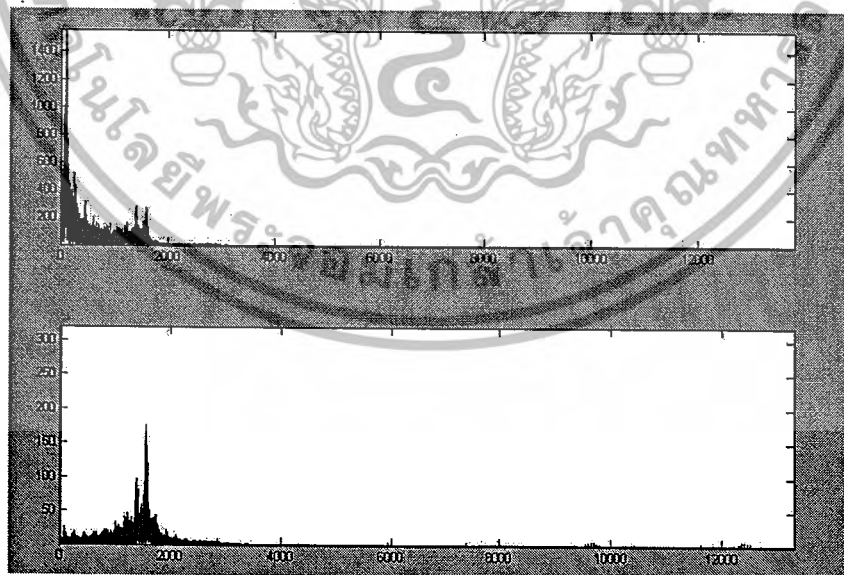
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของสัญญาณแบบสัญญาณสมบูรณแบบ 5V ของวงจรของ Chua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 แบบสัญญาณทึบ ค่า Lyapunov exponent = 0.4975 เมื่อ $n = 1000$



รูปที่ 4.9 สัญญาณและค่า Lyapunov exponent แบบสัญญาณทึบแบบ 5V



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของสัญญาณแบบสัญญาณทึบของวงจรของ Chua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองวัดค่าและหาค่า Lyapunov exponent ของสัญญาณ จากวงจรของ Chua (Chua's circuit) แบบต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- แบบก่อนเกิดสัญญาณ

จากการวัดสัญญาณแล้วมาหาค่า Lyapunov exponent ปรากฏว่าสัญญาณดังกล่าวมีค่า Lyapunov exponent เป็นลบ แสดงว่าสัญญาณนั้นไม่เป็นเคออสติก

- แบบShell 5V

จากการวัดสัญญาณแล้วมาหาค่า Lyapunov exponent ปรากฏว่าสัญญาณดังกล่าวมีค่า Lyapunov exponent เป็นบวกแสดงว่าสัญญาณนั้นเป็นเคออสติก

- แบบสัญญาณติดดับ 5V

จากการวัดสัญญาณแล้วมาหาค่า Lyapunov exponent ปรากฏว่าสัญญาณดังกล่าวมีค่า Lyapunov exponent เป็นลบแสดงว่าสัญญาณนั้นไม่เป็นเคออสติก

- แบบสัญญาณสมบูรณ์แบบ 5V

จากการวัดสัญญาณแล้วมาหาค่า Lyapunov exponent ปรากฏว่าสัญญาณดังกล่าวมีค่า Lyapunov exponent เป็นบวกแสดงว่าสัญญาณนั้นเป็นเคออสติก

- แบบสัญญาณที่บ

จากการวัดสัญญาณแล้วมาหาค่า Lyapunov exponent ปรากฏว่าสัญญาณดังกล่าวมีค่า Lyapunov exponent เป็นบวกแสดงว่าสัญญาณนั้นเป็นเคออสติก

4.2 ผลของสัญญาณที่ได้จากการ Modulation กันระหว่างสัญญาณเคออสติกกับรหัส

4.2.1 สัญญาณเคออสติกที่ได้จากวงจร Chua ซึ่งทำการวัดสัญญาณจาก Oscilloscope



รูปที่ 4.11 สัญญาณเคออสติกที่ได้จากวงจร Chua

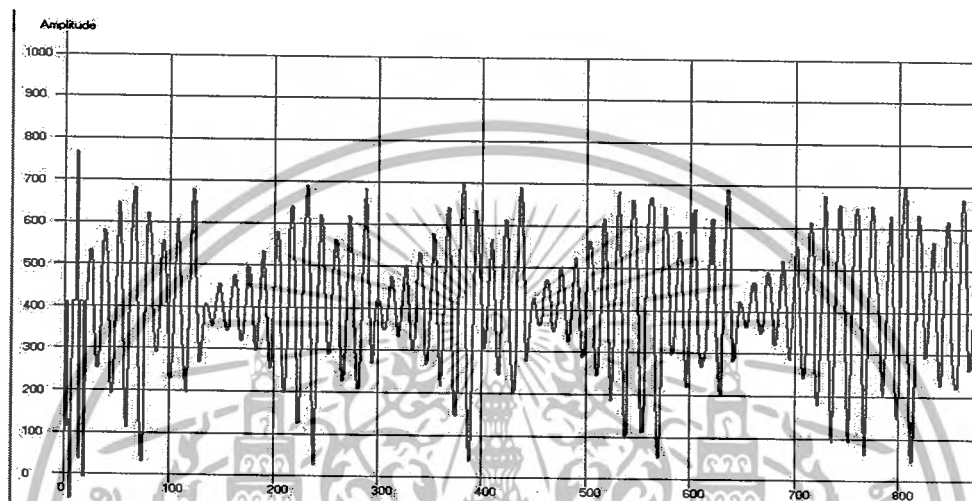
4.2.2 สัญญาณ Pulse จาก MCS 51 และผลจากการ Modulation ซึ่งทำการวัดสัญญาณจาก Oscilloscope



รูปที่ 4.12 สัญญาณ Pulse จาก MCS 51 และผลจากการ Modulate ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

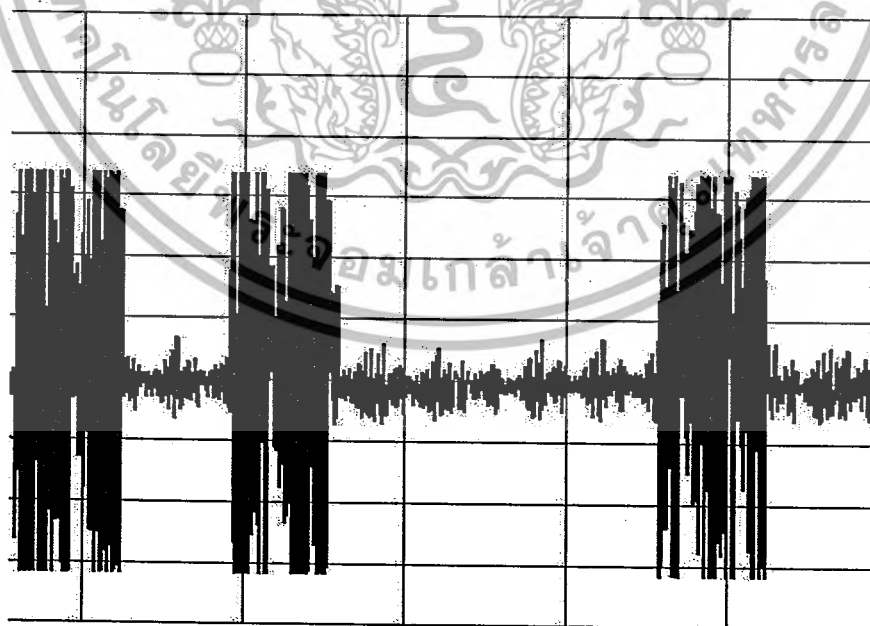
4.3 ผลที่ได้จากโปรแกรม Record สัญญาณ

4.3.1 สัญญาณเคออสติก



รูปที่ 4.13 รูปสัญญาณเคออสติก

4.3.2 สัญญาณที่ทำการ Modulate กันระหว่างสัญญาณเคออสติกกับรหัส

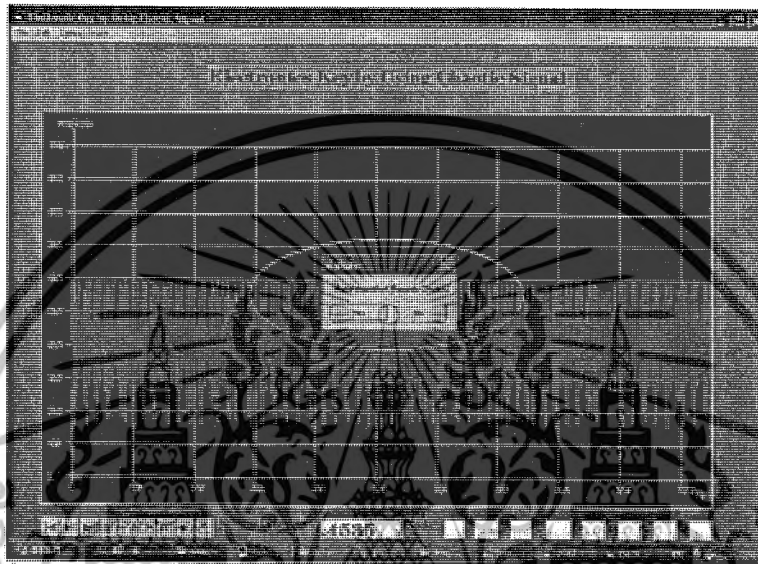


รูปที่ 4.14 สัญญาณที่ทำการ Modulate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent

4.4.1 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณเคออสติกที่ใช้โปรแกรม Record



รูปที่ 4.15 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณเคออสติก

4.4.2 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Sine Wave ที่ใช้โปรแกรม Record



รูปที่ 4.16 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Sine Wave

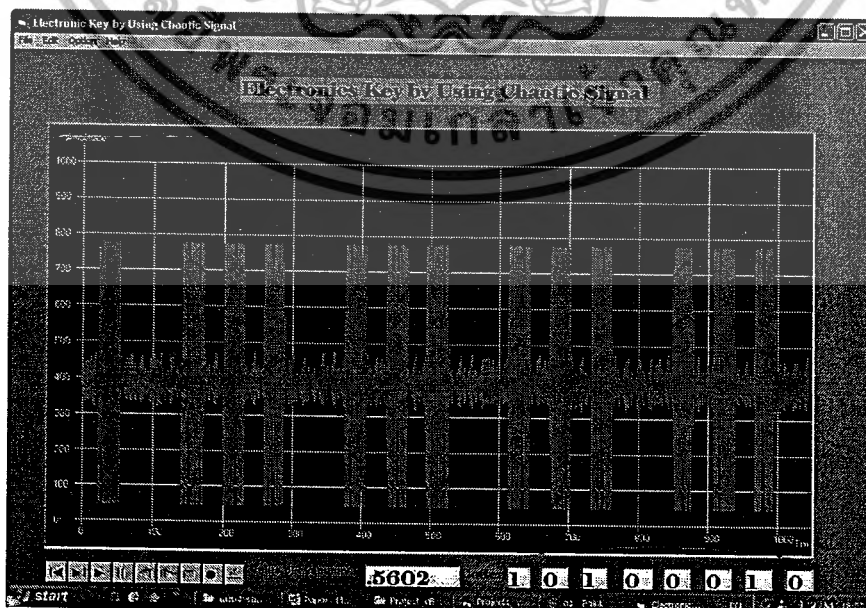
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Noise ที่ใช้โปรแกรม Record



รูปที่ 4.17 ผลที่ได้จากการหาค่า Lyapunov exponent จากสัญญาณ Noise

4.5 ผลที่ได้จากการถอดรหัสสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.18 ผลที่ได้จากการถอดรหัสสัญญาณที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

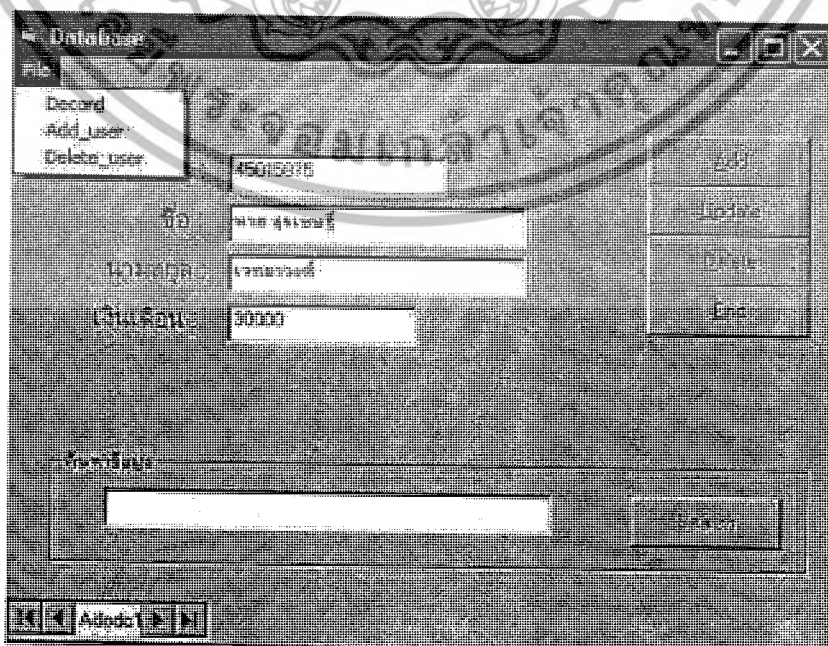
4.6 ผลของการจำลองการใช้งานจริงกับระบบฐานข้อมูล

4.6.1 หน้าจอหลัก คลิกปุ่ม OK เพื่อเข้าไปใช้งานฐานข้อมูล



รูปที่ 4.19 หน้าจอหลัก

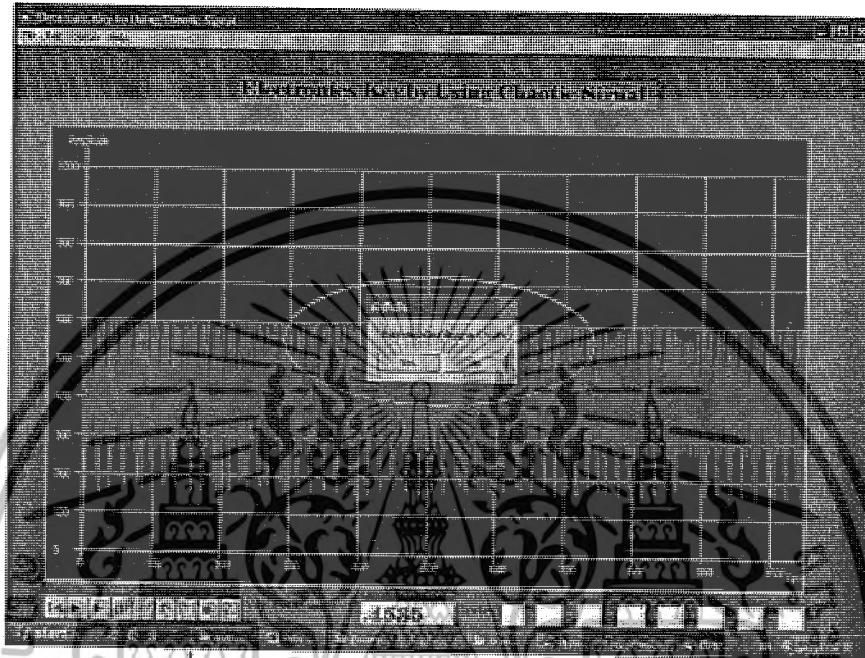
4.6.2 ยังใช้งานฐานข้อมูลไม่ได้เพราะยังไม่มีกร Login เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.20 หน้าจอของฐานข้อมูลที่ใช้งานไม่ได้

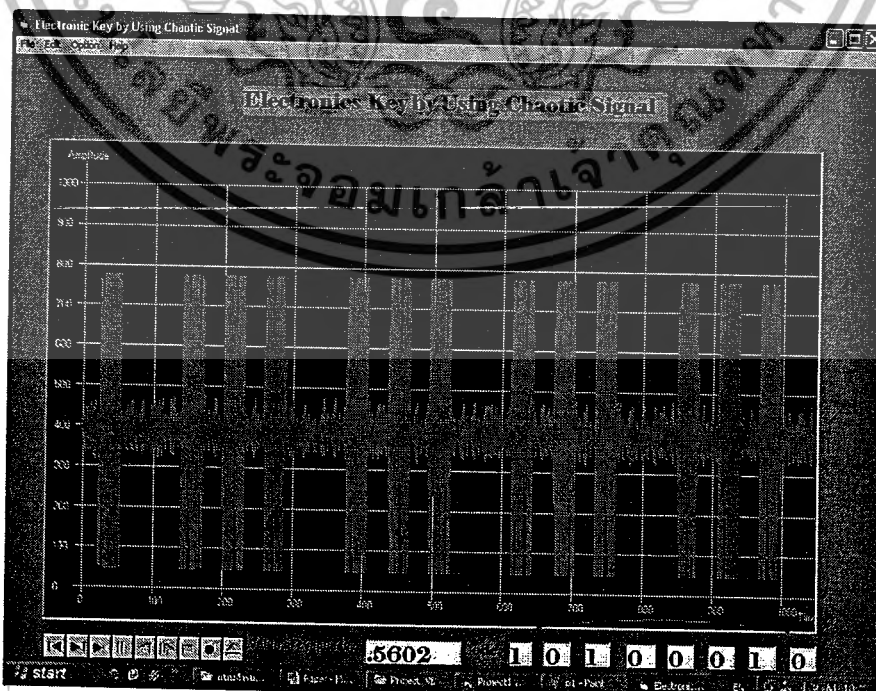
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 ทำการหาค่า Lyapunov exponent



รูปที่ 4.21 หน้าจอการหาค่า Lyapunov exponent

4.6.4 ทำการถอดรหัสสัญญาณ



รูปที่ 4.22 หน้าจอการถอดรหัสสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่อนุญาตเท่านั้นภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดการใช้งาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 นำค่าที่ถอดรหัสมากรอกเพื่อ Login เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.23 หน้าจอการ Login

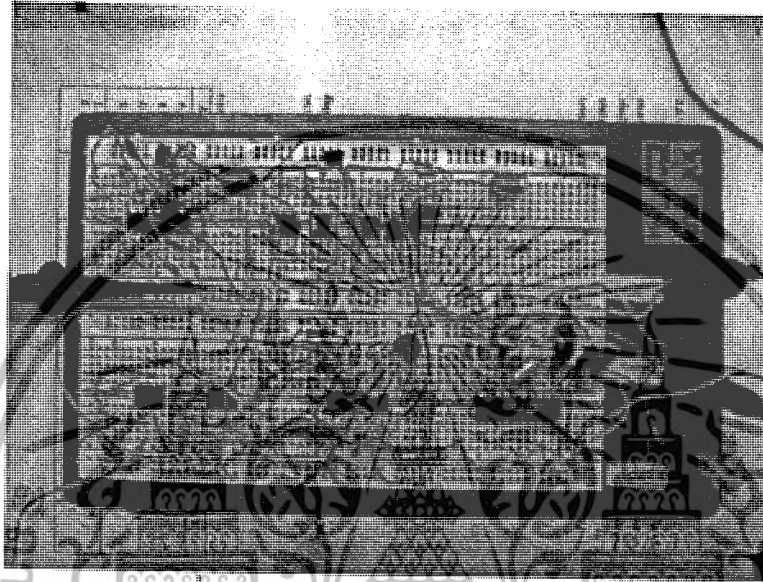
4.6.6 สามารถใช้งานระบบได้

รูปที่ 4.24 หน้าจอเมื่อเข้าสู่ระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

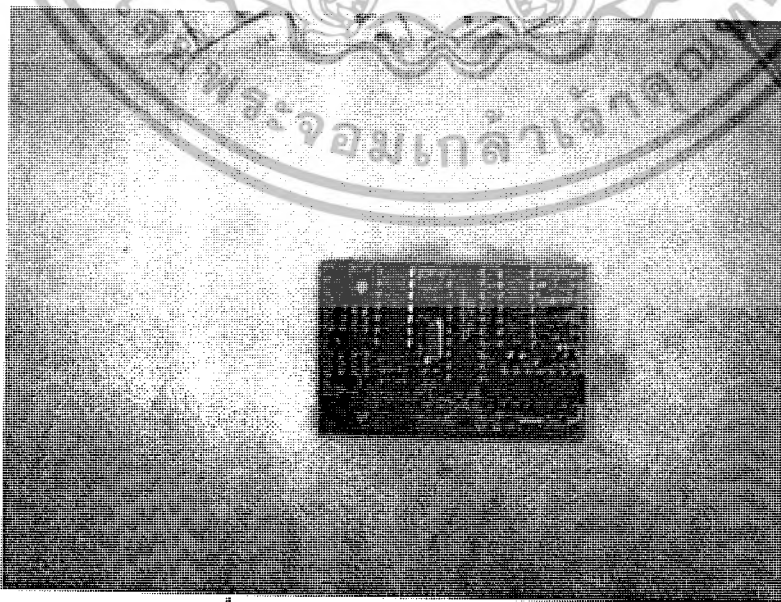
4.7 ผลที่ได้จากการสร้าง Hardware

4.7.1 ต้นแบบของกุญแจ Electronic Keys ที่ทดลองต่ออยู่บนบอร์ด



รูปที่ 4.25 ต้นแบบของกุญแจ Electronic Keys

4.7.2 เมื่อนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงบนแผ่น PCB ที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 4.26 อุปกรณ์ที่นำมาลงบนแผ่น PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 เครื่องต้นแบบเมื่อนำมาประกอบลงกล่อง



รูปที่ 4.27 รูปที่นำมาประกอบลงกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของสัญญาณเคออสติก ที่มีความซับซ้อนของสัญญาณสูงยากแก่การลอกเลียนแบบ แต่ก็ยังสามารถพิสูจน์ได้โดยใช้คุณสมบัติ Lyapunov exponent ที่สามารถบ่งบอกได้ว่าสัญญาณข้างเป็นสัญญาณเคออสติก จากคุณสมบัติที่กล่าวมานั้นได้นำมาประยุกต์ใช้กับ โครงการนี้ ซึ่งเป็นผลดีในการป้องกันการละเมิดสิทธิในการใช้งาน โปรแกรม

โครงการนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่จะนำมาใช้ในการแสดงตนเพื่อป้องกันการละเมิดสิทธิในการใช้งาน โปรแกรมต่าง ๆ ต่อไป

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.2.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับซอฟต์แวร์ (Software)

- ปัญหาในการเขียน โปรแกรมเพื่อที่จะทำการติดต่อกับ Sound Card เพื่อที่จะให้สัญญาณที่เสียบเข้ามานั้น run เป็นแบบ real time ซึ่งถ้าให้ run เป็นแบบ real time จะไม่สามารถหาค่า Lyapunov exponent ได้ เพราะว่าสัญญาณที่ได้นั้นไม่คงที่ จึงส่งผลให้ได้ค่า Lyapunov exponent ที่ผิดพลาดออกมา

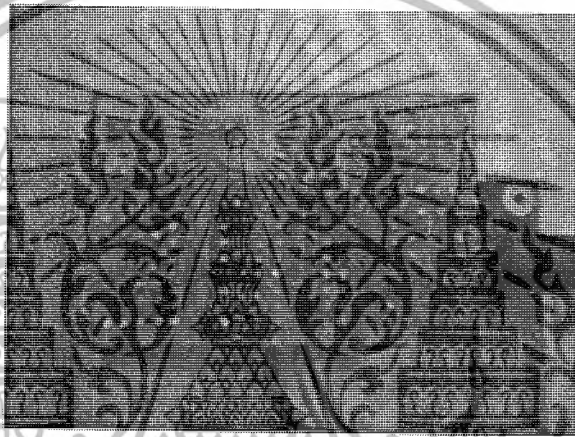
- ถ้าสัญญาณที่อัดมามี Noise โดยอาจจะเกิดจากอุปกรณ์บางอย่างเช่น Soundcard, Jack หรืออุปกรณ์ตัวอื่นๆ ก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการหาค่า Lyapunov exponent และการถอดรหัสสัญญาณได้

- ในการอัดสัญญาณแต่ละครั้งจะต้องให้สัญญาณมี Amplitude ที่คงที่ หรือถ้าไม่คงที่ก็ไม่ควรให้มากเกินไป เพราะอาจจะส่งผลให้เกิดการผิดพลาดในการถอดรหัสสัญญาณได้ (ซึ่งสาเหตุที่ Amplitude ไม่คงที่นั้นอาจจะเป็นเพราะถ่านที่ใช้ใกล้จะหมด)

5.2.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดแวร์ (Hard ware)

1.1 การออกแบบ PCB เกิดการผิดพลาด

- เนื่องจากการออกแบบวงจรในส่วนของ Schematic ได้กำหนดไฟเลี้ยง IC เบอร์ LM 324 สลับกัน
- ทำให้ในส่วนของแผ่นวงจรที่ได้ผิดไปด้วย ซึ่งในส่วนนี้ได้ทำการแก้ไขโดยการตัดลายวงจรออกบางส่วนแล้วทำการเดินสายไฟแทนดังแสดงในรูปที่ 5.1



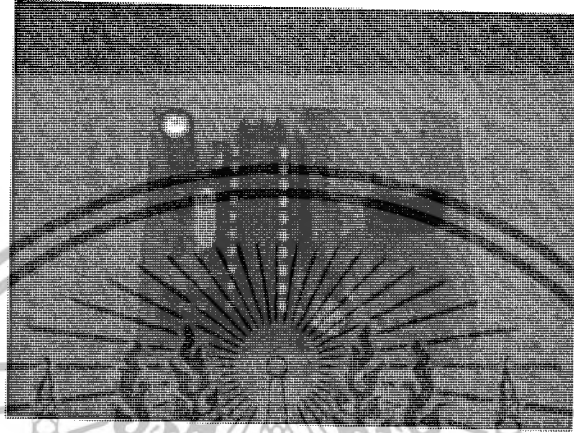
รูปที่ 5.1 การเดินสายแทนลายวงจรที่ผิดพลาด

1.2 เกี่ยวกับ Power Supply

- จากการทดลองในส่วนของวงจรต้นแบบได้ใช้แหล่งจ่ายไฟ บวก ลบ 5 V
- แต่ในการนำไปใช้งานจริงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็น Battery แต่แรงดันของ Battery ที่มีขายตามท้องตลาดส่วนมากจะเป็น 1.5 V ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้งาน
- Battery บางชนิดที่ใช้กับกล่องถ่ายรูปที่มีแรงดัน 12 V ซึ่งเพียงพอในการนำมาเลี้ยงวงจร แต่ใช้ว่าจะสามารถนำมาใช้ได้ทันที เพราะมี IC ที่ต้องการไฟเลี้ยงเพียง 5V มากกว่านี้ไม่ได้
- เนื่องจากแผ่น PCB ที่ออกแบบไว้ไม่ได้รองรับในส่วนนี้ ทำให้ต้องมีการดัดแปลงวงจรพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยการนำ IC 7805 มาทำการลดแรงดันไฟให้เหลือ 5 V เพื่อที่จะนำไปเลี้ยงวงจรในส่วนที่ต้องการแรงดันไฟดังกล่าวดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การนำ IC 7805 มาทำการลดแรงดันไฟให้เหลือ 5 V

5.3 แนวทางในการพัฒนา

โครงการนี้จะ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการแสดงตน ก่อนที่จะเข้าไปใช้งานโปรแกรมหรือระบบฐานข้อมูลต่างๆ ซึ่งโครงการนี้สามารถนำไปพัฒนาได้ดังนี้

- ในส่วนที่เป็น โปรแกรมนั้นตอนนี้ อาจจะมี ความยุ่งยากในการใช้งาน ซึ่งสามารถที่จะพัฒนาให้โปรแกรมนี้มีความรวดเร็วและสะดวกในการใช้งานมากขึ้นกว่านี้
- ในส่วนของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตอนนี้ใช้วงจร Chua ซึ่งอาจจะพัฒนาเปลี่ยนไปเป็นวงจรอื่นๆ เช่น M_Chen , Lorenz
- ทำการสร้างวงจรสร้างสัญญาณเคออสติก (Chaotic oscillator) ให้เป็นความลับเพื่อยากที่คนจะทำการลอกเลียนแบบ เป็นการเพิ่มความปลอดภัยมากขึ้น
- เพิ่มรหัสที่มอดูเลทให้มีมากขึ้นเพื่อให้คนที่ต้องการชมไม่สามารถที่จะชมได้ง่ายๆ เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับโครงการนี้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

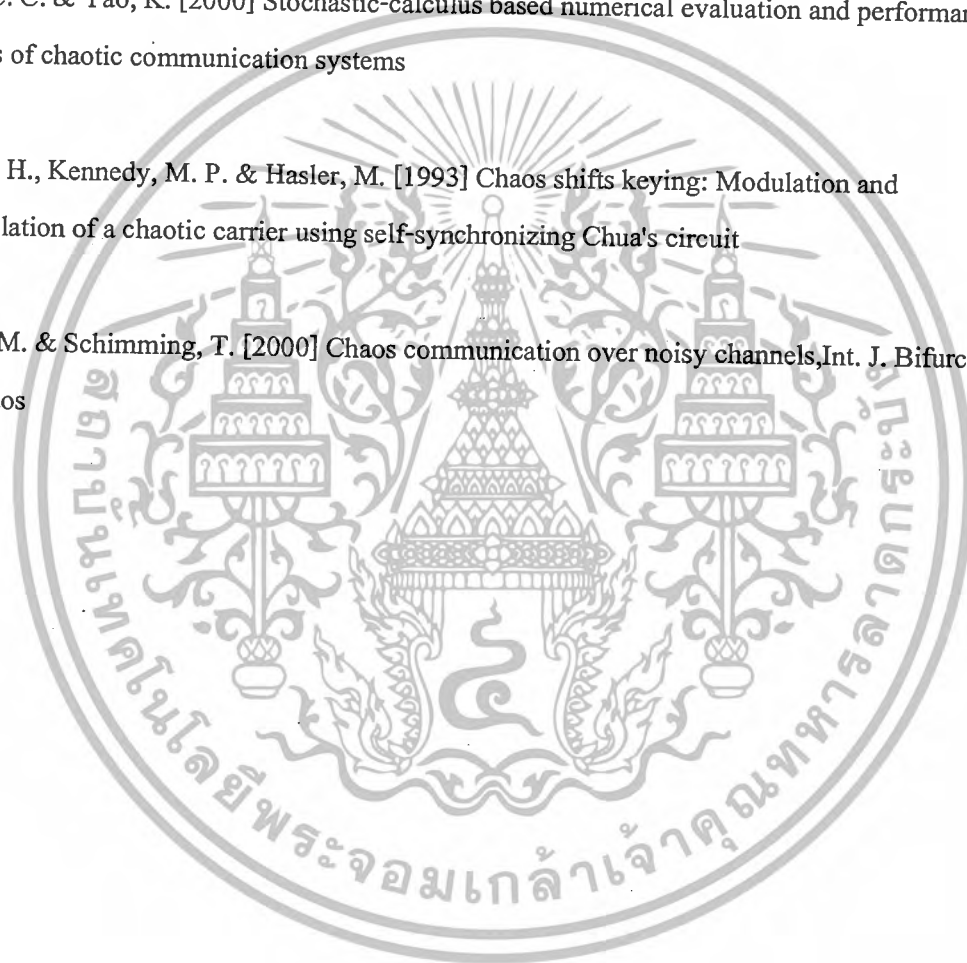
บรรณานุกรม

Abel, A Gotz, M. & Schwarz, W. [1998] Statistical analysis of chaotic communication schemes, Proc.IEEE Int. Symp. Circuit System, Monterey

Chen, C. C. & Yao, K. [2000] Stochastic-calculus based numerical evaluation and performance analysis of chaotic communication systems

Dedieu, H., Kennedy, M. P. & Hasler, M. [1993] Chaos shifts keying: Modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuit

Hasler, M. & Schimming, T. [2000] Chaos communication over noisy channels, Int. J. Bifurcation and Chaos





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

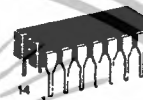
MC1496
MC1596

BALANCED
MODULATOR/DEMULATOR

BALANCED MODULATOR/ DEMULATOR

These devices were designed for use where the output voltage is a product of an input voltage (signal) and a switching function (carrier). Typical applications include suppressed carrier and amplitude modulation, synchronous detection, FM detection, phase detection, and chopper applications. See Motorola Application Note AN531 for additional design information.

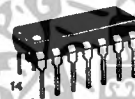
- Excellent Carrier Suppression — 65 dB typ @ 0.5 MHz
— 50 dB typ @ 10 MHz
- Adjustable Gain and Signal Handling
- Balanced Inputs and Outputs
- High Common Mode Rejection — 85 dB typ



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632

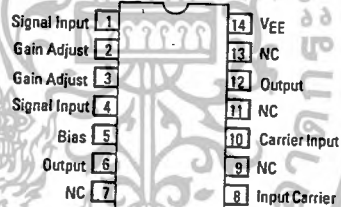


D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)



P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

PIN ASSIGNMENTS



ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC1496D		SO-14
MC1496L	0°C to +70°C	Ceramic DIP
MC1496P		Plastic DIP
MC1596L	-55°C to +125°C	Ceramic DIP

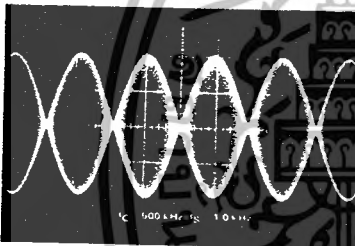


FIGURE 1 -
SUPPRESSED CARRIER
OUTPUT WAVEFORM

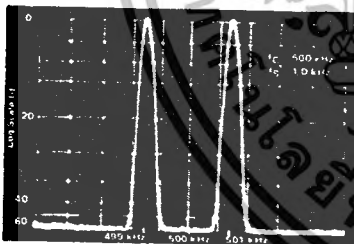


FIGURE 2 -
SUPPRESSED CARRIER
SPECTRUM

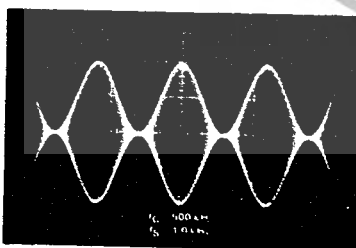
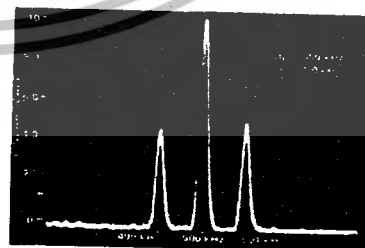


FIGURE 3 -
AMPLITUDE MODULATION
OUTPUT WAVEFORM

FIGURE 4 - AMPLITUDE-MODULATION SPECTRUM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, MC1596

MAXIMUM RATINGS* (TA = +25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Applied Voltage (V ₆ -V ₈ , V ₁₀ -V ₁ , V ₁₂ -V ₈ , V ₁₂ -V ₁₀ , V ₈ -V ₄ , V ₈ -V ₁ , V ₁₀ -V ₄ , V ₆ -V ₁₀ , V ₂ -V ₅ , V ₃ -V ₅)	ΔV	30	Vdc
Differential Input Signal	V ₈ -V ₁₀ V ₄ -V ₁	+5.0 ±(5+I _g R ₀)	Vdc
Maximum Bias Current	I _g	10	mA
Thermal Resistance, Junction to Air Ceramic Dual In-Line Package Plastic Dual In-Line Package Metal Package	R _{θJA}	100 100 160	°C/W
Operating Temperature Range	MC1496 MC1596 TA	0 to +70 -55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +12 Vdc, V_{EE} = -8.0 Vdc, I_g = 1.0 mA, R_L = 3.9 kΩ, R₀ = 1.0 kΩ, TA = +25°C, all input and output characteristics are single-ended, unless otherwise noted.)

Characteristic	Fig.	Note	Symbol	MC1596			MC1496			Unit
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Carrier Feedthrough V _C = 60 mV(rms) sine wave and offset adjusted to zero V _C = 300 mV-p square wave: offset adjusted to zero offset not adjusted	5	1	V _{CFT}	—	40 140	—	—	40 140	—	μV(rms) mV(rms)
Carrier Suppression f _S = 10 kHz, 300 mV(rms) f _C = 500 kHz, 60 mV(rms) sine wave f _C = 10 MHz, 60 mV(rms) sine wave	5	2	V _{CS}	60	65 50	—	40	65 50	—	dB
Transmittance Bandwidth (Magnitude) (R _L = 50 ohms) Carrier Input Port, V _C = 60 mV(rms) sine wave f _S = 1.0 kHz, 300 mV(rms) sine wave Signal Input Port, V _S = 300 mV(rms) sine wave V _C = 0.5 Vdc	8	8	BW _{3dB}	—	300 80	—	—	300 80	—	kHz
Signal Gain V _S = 100 mV(rms), f = 1.0 kHz; V _C = 0.5 Vdc	10	3	A _{VS}	2.5	3.5	—	2.5	3.5	—	V/V
Single-Ended Input Impedance, Signal Port, f = 5.0 MHz Parallel Input Resistance Parallel Input Capacitance	6	—	r _{ip} c _{ip}	—	200 2.0	—	—	200 2.0	—	kΩ pF
Single-Ended Output Impedance, f = 10 MHz Parallel Output Resistance Parallel Output Capacitance	6	—	r _{op} c _{oo}	—	40 5.0	—	—	40 5.0	—	kΩ pF
Input Bias Current I _{bS} = $\frac{I_1 + I_4}{2}$; I _{bC} = $\frac{I_2 + I_10}{2}$	7	—	I _{bS} I _{bC}	—	12 12	25 25	—	12 12	30 30	μA
Input Offset Current I _{ioS} = I ₁ -I ₄ ; I _{ioC} = I ₂ -I ₁₀	7	—	I _{ioS} I _{ioC}	—	0.7 0.7	5.0 5.0	—	0.7 0.7	7.0 7.0	μA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current (TA = -55°C to +125°C)	7	—	TC _{io}	—	2.0	—	—	2.0	—	nA/°C
Output Offset Current (I _g -I _g)	7	—	I _{oo}	—	14	50	—	14	80	μA
Average Temperature Coefficient of Output Offset Current (TA = -55°C to +125°C)	7	—	TC _{oo}	—	90	—	—	90	—	nA/°C
Common-Mode Input Swing, Signal Port, f _S = 1.0 kHz	9	4	CMV	—	5.0	—	—	5.0	—	Vp-p
Common-Mode Gain, Signal Port, f _S = 1.0 kHz, V _C = 0.5 Vdc	9	—	ACM	—	-85	—	—	-85	—	dB
Common-Mode Quiescent Output Voltage (Pin 6 or Pin 8)	10	—	V _{out}	—	8.0	—	—	8.0	—	Vp-p
Differential Output Voltage Swing Capability	10	—	V _{out}	—	8.0	—	—	8.0	—	Vp-p
Power Supply Current I _g + I ₁₂ I ₁₄	7	6	I _{CC} I _{EE}	—	2.0 3.0	3.0 4.0	—	2.0 3.0	4.0 5.0	mA _{dc}
DC Power Dissipation	7	5	P _D	—	33	—	—	33	—	mW

8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, MC1596

GENERAL OPERATING INFORMATION

Carrier Feedthrough

Carrier feedthrough is defined as the output voltage at carrier frequency with only the carrier applied (signal voltage = 0).

Carrier null is achieved by balancing the currents in the differential amplifier by means of a bias trim potentiometer (R₁ of Figure 5).

Carrier Suppression

Carrier suppression is defined as the ratio of each sideband output to carrier output for the carrier and signal voltage levels specified.

Carrier suppression is very dependent on carrier input level, as shown in Figure 22. A low value of the carrier does not fully switch the upper switching devices, and results in lower signal gain, hence lower carrier suppression. A higher than optimum carrier level results in unnecessary device and circuit carrier feedthrough, which again degenerates the suppression figure. The MC1596 has been characterized with a 60 mV(rms) sinewave carrier input signal. This level provides optimum carrier suppression at carrier frequencies in the vicinity of 500 kHz, and is generally recommended for balanced modulator applications.

Carrier feedthrough is independent of signal level, V_S. Thus carrier suppression can be maximized by operating with large signal levels. However, a linear operating mode must be maintained in the signal-input transistor pair — or harmonics of the modulating signal will be generated and appear in the device output as spurious sidebands of the suppressed carrier. This requirement places an upper limit on input-signal amplitude (see Figure 20). Note also that an optimum carrier level is recommended in Figure 22 for good carrier suppression and minimum spurious sideband generation.

At higher frequencies circuit layout is very important in order to minimize carrier feedthrough. Shielding may be necessary in order to prevent capacitive coupling between the carrier input leads and the output leads.

Signal Gain and Maximum Input Level

Signal gain (single-ended) at low frequencies is defined as the voltage gain,

$$A_{VS} = \frac{V_O}{V_S} = \frac{R_L}{R_E + 2r_e} \quad \text{where } r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_5 \text{ (mA)}}$$

A constant dc potential is applied to the carrier input terminals to fully switch two of the upper transistors "on" and two transistors "off" (V_C = 0.5 Vdc). This in effect forms a cascode differential amplifier.

Linear operation requires that the signal input be below a critical value determined by R_E and the bias current I₅.

$$V_S \leq I_5 R_E \text{ (Volts peak)}$$

Note that in the test circuit of Figure 10, V_S corresponds to a maximum value of 1 volt peak.

Common Mode Swing

The common-mode swing is the voltage which may be applied to both bases of the signal differential amplifier, without saturating the current sources or without saturating the differential amplifier itself by swinging it into the upper switching devices. This swing is variable depending on the particular circuit and biasing conditions chosen.

Power Dissipation

Power dissipation, P_D, within the integrated circuit package should be calculated as the summation of the voltage-current products at each port, i.e. assuming V₁₂ = V₆, I₅ = I₆ = I₁₂ and ignoring base current, P_D = 2 I₅ (V₆ - V₁₄) + I₅ V₅ - V₁₄ where subscripts refer to pin numbers.

Design Equations

The following is a partial list of design equations needed to operate the circuit with other supply voltages and input conditions.

A. Operating Current

The internal bias currents are set by the conditions at pin 5. Assume:

$$I_5 = I_6 = I_{12}$$

$$I_B \ll I_C \text{ for all transistors}$$

then:

$$R_5 = \frac{V - \phi}{I_5} - 500 \Omega \quad \text{where: } R_5 \text{ is the resistor between pin 5 and ground}$$

$$\phi = 0.75 \text{ V at } T_A = +25^\circ\text{C}$$

The MC1596 has been characterized for the condition I₅ = 1.0 mA and is the generally recommended value.

B. Common-Mode Quiescent Output Voltage

$$V_6 = V_{12} = V^+ - I_5 R_L$$

Biasing

The MC1596 requires three dc bias voltage levels which must be set externally. Guidelines for setting up these three levels include maintaining at least 2 volts collector-base bias on all transistors while not exceeding the voltages given in the absolute maximum rating table:

$$30 \text{ Vdc} \geq [(V_6, V_{12}) - (V_8, V_{10})] \geq 2 \text{ Vdc}$$

$$30 \text{ Vdc} \geq [(V_8, V_{10}) - (V_1, V_4)] \geq 2.7 \text{ Vdc}$$

$$30 \text{ Vdc} \geq [(V_1, V_4) - (V_5)] \geq 2.7 \text{ Vdc}$$

The foregoing conditions are based on the following approximations:

$$V_6 = V_{12}, V_8 = V_{10}, V_1 = V_4$$

Bias currents flowing into pins 1, 4, 8, and 10 are transistor base currents and can normally be neglected if external bias dividers are designed to carry 1.0 mA or more.

Transmittance Bandwidth

Carrier transmittance bandwidth is the 3 dB bandwidth of the device forward transmittance as defined by:

$$\gamma_{21C} = \frac{i_o \text{ (each sideband)}}{v_s \text{ (signal)}} \Big|_{V_O = 0}$$

Signal transmittance bandwidth is the 3 dB bandwidth of the device forward transmittance as defined by:

$$\gamma_{21S} = \frac{i_o \text{ (signal)}}{v_s \text{ (signal)}} \Big|_{V_C = 0.5 \text{ Vdc}, V_O = 0}$$

MC1496, MC1596

Coupling and Bypass Capacitors

Capacitors C_1 and C_2 (Figure 5) should be selected for a reactance of less than 5.0Ω at the carrier frequency.

Output Signal

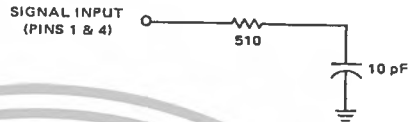
The output signal is taken from Pins 6 and 12 either balanced or single-ended. Figure 11 shows the output levels of each of the two output sidebands resulting from variations in both the carrier and modulating signal inputs with a single-ended output connection.

Negative Supply

V_{EE} should be dc only. The insertion of an RF choke in series with V_{EE} can enhance the stability of the internal current sources.

Signal Port Stability

Under certain values of driving source impedance, oscillation may occur. In this event, an RC suppression network should be connected directly to each input using short leads. This will reduce the Q of the source-tuned circuits that cause the oscillation.



An alternate method for low-frequency applications is to insert a $1.0 \text{ k}\Omega$ resistor in series with the input (Pins 1, 4). In this case input current drift may cause serious degradation of carrier suppression.

TEST CIRCUITS

FIGURE 5 - CARRIER REJECTION AND SUPPRESSION

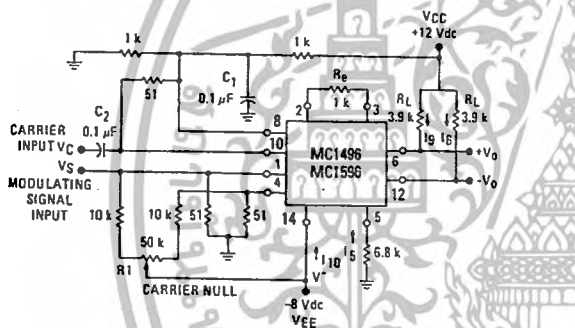
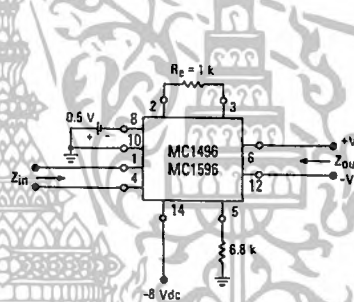


FIGURE 6 - INPUT-OUTPUT IMPEDANCE



NOTE: Shielding of input and output leads may be needed to properly perform these tests.

FIGURE 7 - BIAS AND OFFSET CURRENTS

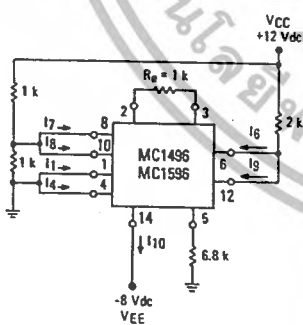
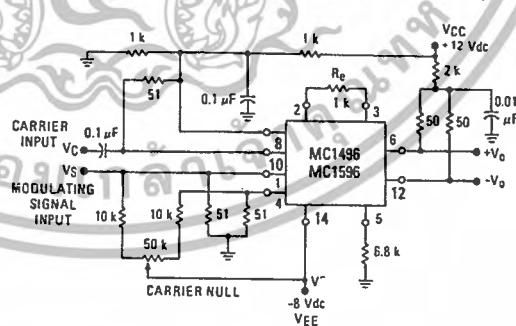


FIGURE 8 - TRANSCONDUCTANCE BANDWIDTH



MC1496, MC1596

FIGURE 9 - COMMON MODE GAIN

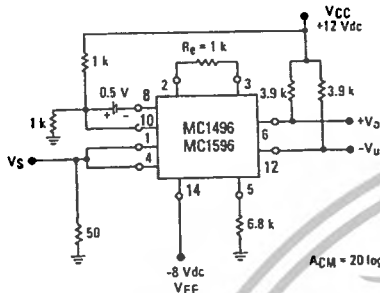
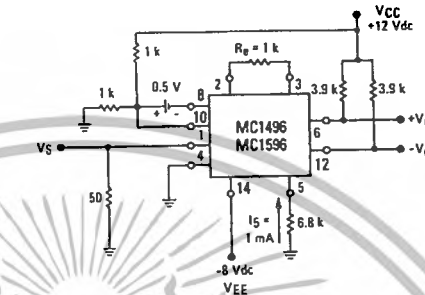


FIGURE 10 - SIGNAL GAIN AND OUTPUT SWING



TYPICAL CHARACTERISTICS

Typical characteristics were obtained with circuit shown in Figure 9, $f_C = 500$ kHz (sine wave), $V_C = 60$ mV(rms), $f_S = 1$ kHz, $V_S = 300$ mV(rms), $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

FIGURE 11 - SIDEBAND OUTPUT versus CARRIER LEVELS

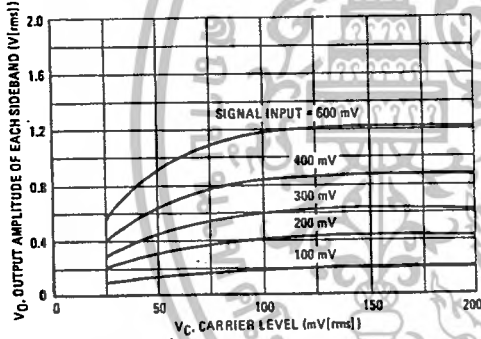


FIGURE 12 - SIGNAL-PORT PARALLEL-EQUIVALENT INPUT RESISTANCE versus FREQUENCY

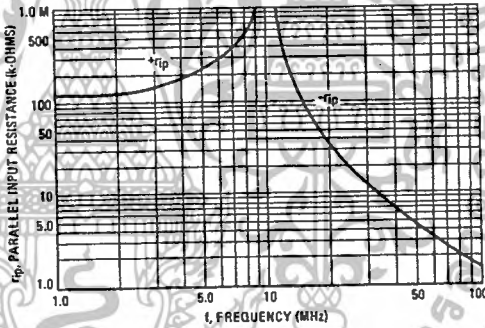


FIGURE 13 - SIGNAL-PORT PARALLEL-EQUIVALENT INPUT CAPACITANCE versus FREQUENCY

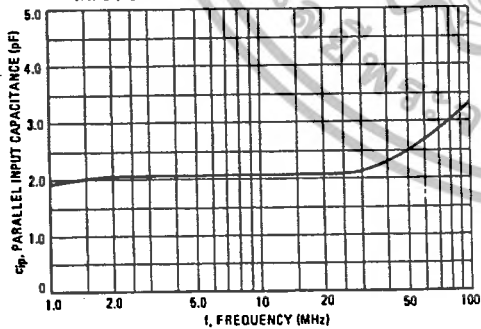
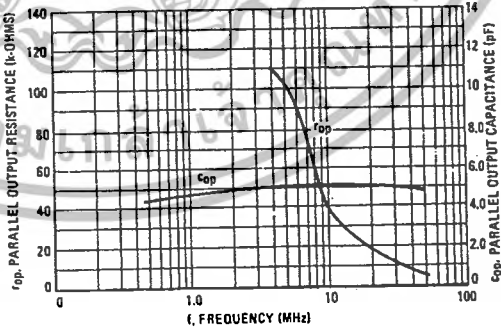


FIGURE 14 - SINGLE-ENDED OUTPUT IMPEDANCE versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, MC1596

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

Typical characteristics were obtained with circuit shown in Figure 5. $f_c = 500$ kHz (sine wave), $V_C = 60$ mV(rms), $f_S = 1$ kHz, $V_S = 300$ mV(rms), $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

FIGURE 15 – SIDEBAND AND SIGNAL PORT TRANSMITTANCES versus FREQUENCY

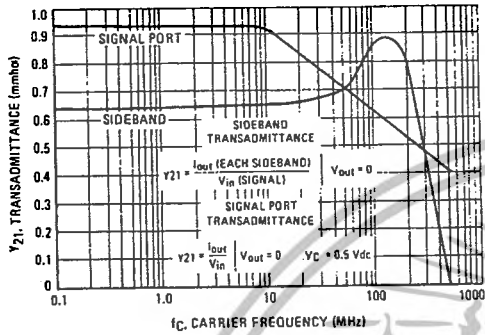


FIGURE 16 – CARRIER SUPPRESSION versus TEMPERATURE

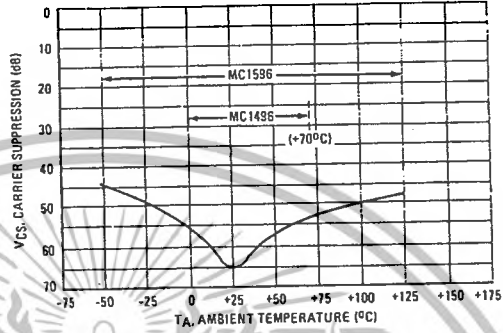


FIGURE 17 – SIGNAL PORT FREQUENCY RESPONSE

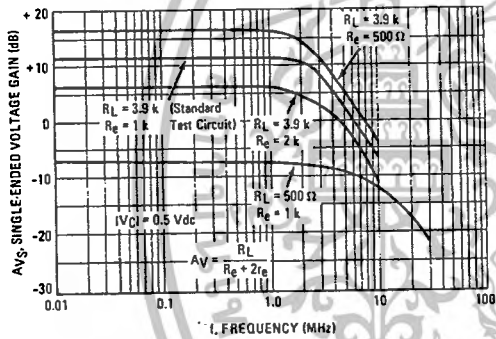


FIGURE 18 – CARRIER SUPPRESSION versus FREQUENCY

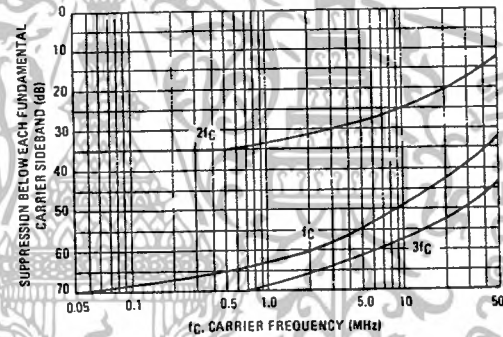


FIGURE 19 – CARRIER FEEDTHROUGH versus FREQUENCY

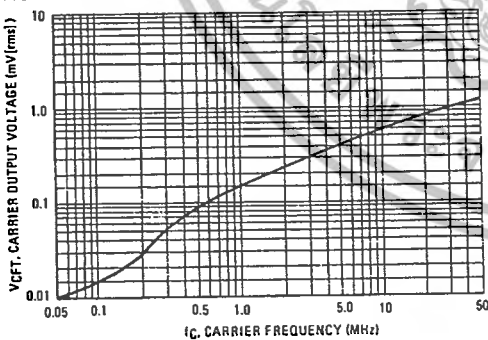
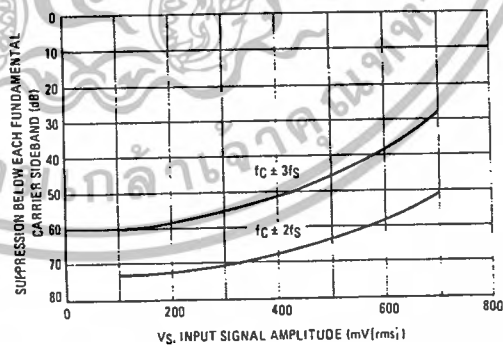


FIGURE 20 – SIDEBAND HARMONIC SUPPRESSION versus INPUT SIGNAL LEVEL



8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, MC1596

FIGURE 21 – SUPPRESSION OF CARRIER HARMONIC SIDEBANDS versus CARRIER FREQUENCY

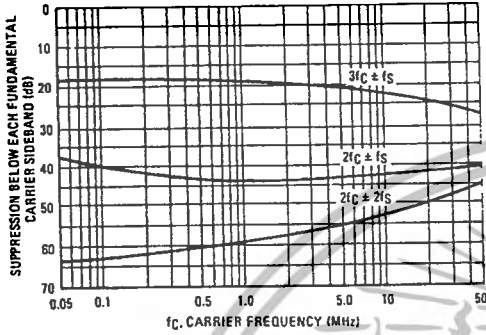
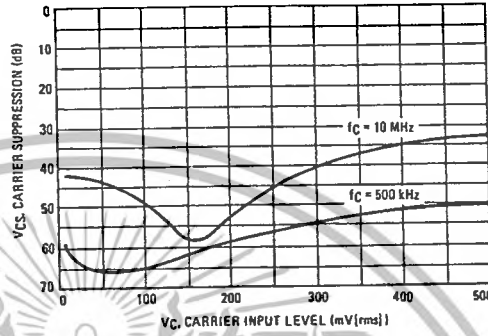


FIGURE 22 – CARRIER SUPPRESSION versus CARRIER INPUT LEVEL



OPERATIONS INFORMATION

The MC1596/MC1496, a monolithic balanced modulator circuit, is shown in Figure 23.

This circuit consists of an upper quad differential amplifier driven by a standard differential amplifier with dual current sources. The output collectors are cross-coupled so that full-wave balanced multiplication of the two input voltages occurs. That is, the output signal is a constant times the product of the two input signals.

Mathematical analysis of linear ac signal multiplication indicates that the output spectrum will consist of only the sum and difference of the two input frequencies. Thus, the device may be used as a balanced modulator, doubly balanced mixer, product detector, frequency doubler, and other applications requiring these particular output signal characteristics.

The lower differential amplifier has its emitters connected to the package pins so that an external emitter resistance may be used. Also, external load resistors are employed at the device output.

Signal Levels

The upper quad differential amplifier may be operated either in a linear or a saturated mode. The lower differential amplifier is operated in a linear mode for most applications.

For low-level operation at both input ports, the output signal will contain sum and difference frequency components and have an amplitude which is a function of the product of the input signal amplitudes.

For high-level operation at the carrier input port and linear operation at the modulating signal port, the output signal will contain sum and difference frequency components of the modulating signal frequency and the fundamental and odd harmonics of the carrier frequency. The output amplitude will be a constant times the modulating signal amplitude. Any amplitude variations in the carrier signal will not appear in the output.

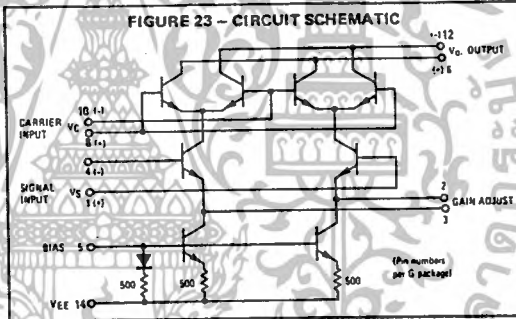
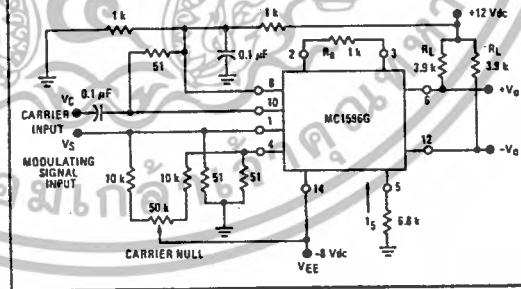


FIGURE 24 – TYPICAL MODULATOR CIRCUIT



MC1496, MC1596

The linear signal handling capabilities of a differential amplifier are well defined. With no emitter degeneration, the maximum input voltage for linear operation is approximately 25 mV peak. Since the upper differential amplifier has its emitters internally connected, this voltage applies to the carrier input port for all conditions.

Since the lower differential amplifier has provisions for an external emitter resistance, its linear signal handling range may be adjusted by the user. The maximum input voltage for linear operation may be approximated from the following expression:

$$V = (I_5) (R_E) \text{ volts peak.}$$

This expression may be used to compute the minimum value of R_E for a given input voltage amplitude.

The gain from the modulating signal input port to the output is the MC1596/MC1496 gain parameter which is most often of interest to the designer. This gain has significance only when the lower differential amplifier is operated in a linear mode, but this includes most applications of the device.

As previously mentioned, the upper quad differential amplifier may be operated either in a linear or a saturated mode. Approximate gain expressions have been developed for the MC1596/MC1496 for a low-level modulating signal input and the following carrier input conditions:

- 1) Low-level dc
- 2) High-level dc
- 3) Low-level ac
- 4) High-level ac

These gains are summarized in Table 1, along with the frequency components contained in the output signal.

FIGURE 25 - TABLE 1
VOLTAGE GAIN AND OUTPUT FREQUENCIES

Carrier Input Signal (V_C)	Approximate Voltage Gain	Output Signal Frequency(s)
Low-level dc	$\frac{R_L V_C}{2(R_E + 2r_e) \left(\frac{KT}{q}\right)}$	f_M
High-level dc	$\frac{R_L}{R_E + 2r_e}$	f_M
Low-level ac	$\frac{R_L V_C(\text{rms})}{2\sqrt{2} \left(\frac{KT}{q}\right) (R_E + 2r_e)}$	$f_C \pm f_M$
High-level ac	$\frac{0.637 R_L}{R_E + 2r_e}$	$f_C \pm f_M, 3f_C \pm f_M, 5f_C \pm f_M, \dots$

NOTES:

1. Low-level Modulating Signal, V_M , assumed in all cases. V_C is Carrier Input Voltage.
2. When the output signal contains multiple frequencies, the gain expression given is for the output amplitude of each of the two desired outputs, $f_C + f_M$ and $f_C - f_M$.
3. All gain expressions are for a single-ended output. For a differential output connection, multiply each expression by two.
4. R_L = Load resistance.
5. R_E = Emitter resistance between pins 2 and 3.
6. r_e = Transistor dynamic emitter resistance, at +25°C:

$$r_e \approx \frac{26 \text{ mV}}{I_5 \text{ (mA)}}$$

7. K = Boltzmann's Constant, T = temperature in degrees Kelvin, q = the charge on an electron.

$$\frac{KT}{q} \approx 26 \text{ mV at room temperature}$$

APPLICATIONS INFORMATION

Double sideband suppressed carrier modulation is the basic application of the MC1596/MC1496. The suggested circuit for this application is shown on the front page of this data sheet.

In some applications, it may be necessary to operate the MC1596/MC1496 with a single dc supply voltage instead of dual supplies. Figure 26 shows a balanced modulator designed for operation with a single +12 Vdc supply. Performance of this circuit is similar to that of the dual supply modulator.

AM Modulator

The circuit shown in Figure 27 may be used as an amplitude modulator with a minor modification.

All that is required to shift from suppressed carrier to AM operation is to adjust the carrier null potentiometer for the proper amount of carrier insertion in the output signal.

However, the suppressed carrier null circuitry as shown in Figure 27 does not have sufficient adjustment range. Therefore, the modulator may be modified for AM operation by changing two resistor values in the null circuit as shown in Figure 28.

Product Detector

The MC1596/MC1496 makes an excellent SSB product detector (see Figure 29).

This product detector has a sensitivity of 3.0 microvolts and a dynamic range of 90 dB when operating at an intermediate frequency of 9 MHz.

The detector is broadband for the entire high frequency range. For operation at very low intermediate frequencies down to 50 kHz the 0.1 μF capacitors on pins 8 and 10 should be increased to 1.0 μF . Also, the output filter at pin 12 can be tailored to a specific intermediate frequency and audio amplifier input impedance.

As in all applications of the MC1596/MC1496, the emitter resistance between pins 2 and 3 may be increased or decreased to adjust circuit gain, sensitivity, and dynamic range.

This circuit may also be used as an AM detector by introducing carrier signal at the carrier input and an AM signal at the SSB input.

The carrier signal may be derived from the intermediate frequency signal or generated locally. The carrier signal may be introduced with or without modulation, provided its level is sufficiently high to saturate the upper quad differential amplifier. If the carrier signal is modulated, a 300 mV(rms) input level is recommended.

MC1496, MC1596

Doubly Balanced Mixer

The MC1596/MC1496 may be used as a doubly balanced mixer with either broadband or tuned narrow band input and output networks.

The local oscillator signal is introduced at the carrier input port with a recommended amplitude of 100 mV(rms).

Figure 30 shows a mixer with a broadband input and a tuned output.

Frequency Doubler

The MC1596/MC1496 will operate as a frequency doubler by introducing the same frequency at both input ports.

Figures 31 and 32 show a broadband frequency doubler and a tuned output very high frequency (VHF) doubler, respectively.

Phase Detection and FM Detection

The MC1596/MC1496 will function as a phase detector. High-level input signals are introduced at both inputs. When both inputs are at the same frequency the MC1596/MC1496 will deliver an output which is a function of the phase difference between the two input signals.

An FM detector may be constructed by using the phase detector principle. A tuned circuit is added at one of the inputs to cause the two input signals to vary in phase as a function of frequency. The MC1596/MC1496 will then provide an output which is a function of the input signal frequency.

TYPICAL APPLICATIONS

FIGURE 26 - BALANCED MODULATOR (+12 Vdc SINGLE SUPPLY)

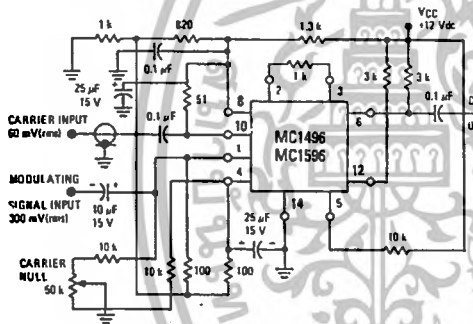


FIGURE 27 - BALANCED MODULATOR-DEMODULATOR

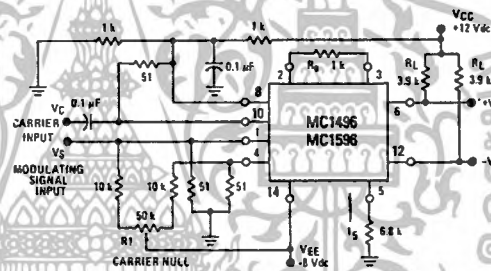


FIGURE 28 - AM MODULATOR CIRCUIT

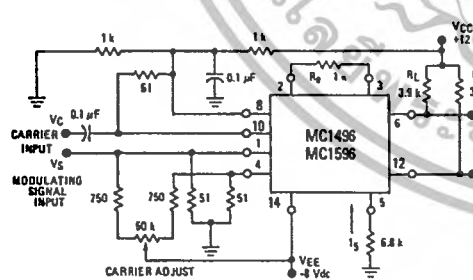
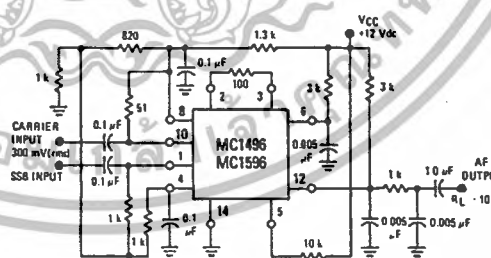


FIGURE 29 - PRODUCT DETECTOR (+12 Vdc SINGLE SUPPLY)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1496, MC1596

FIGURE 30 - DOUBLY BALANCED MIXER
(BROADBAND INPUTS, 9.0 MHz TUNED OUTPUT)

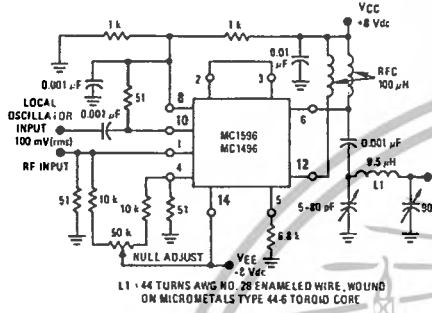


FIGURE 31 - LOW-FREQUENCY DOUBLER

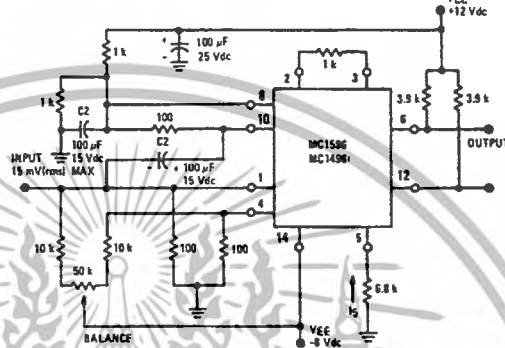
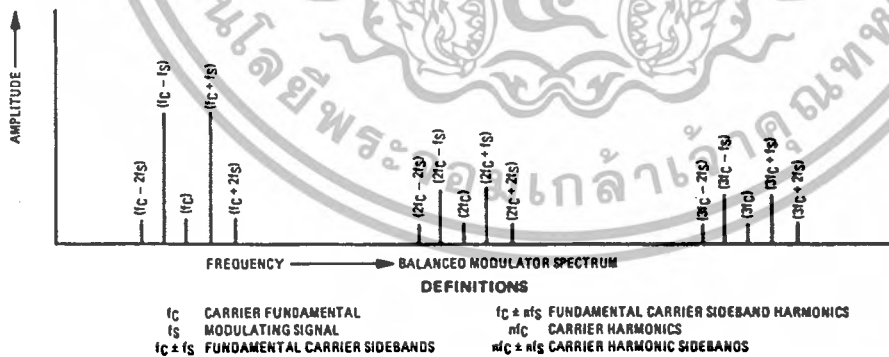
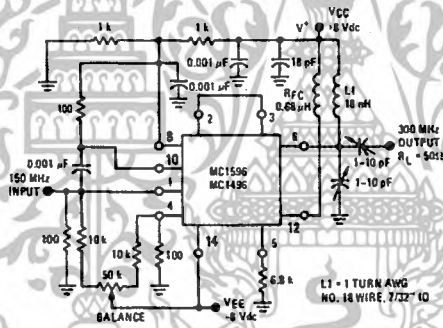


FIGURE 32 - 150 to 300 MHz DOUBLER



8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้