สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างสัญญาณชีวภาพโดยใช้ทฤษฎีอลวน

A CONSTRUCTION OF BIO-SIGNAL USING CHAOS THEORY

T117373

ภคินี ศิริธรรมจักร

PAKINEE SIRITHUMMACHAK

ศิริพรรณ กานต์กรกช

SIRIPHAN KARNKORAKOCH

สุชญา เชื้อขำ

SUCHAYA CHUAKHAM

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117373
วัน,เดือน,ปี 1 ส.ค. 2554

.b. 12345167
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CONSTRUCTION OF BIO-SIGNAL USING CHAOS THEORY

PAKINEE SIRITHUMMACHAK

SIRIPHAN KARNKORAKOCH

SUCHAYA CHUAKHAM

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างสัญญาณชีวภาพโดยใช้ทฤษฎีอลวน		
รายชื่อนักศึกษา	นางสาวภคินี	ศิริธรรมจักร	รหัสนักศึกษา 50011149
	นางสาวศิริพรรณ	กานต์กรกช	รหัสนักศึกษา 50011566
	นางสาวสุชญา	เชื้อขำ	รหัสนักศึกษา 50011701
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2553		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.กฤดากร กล่อมการ		

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กฤดา

.....

(ผศ.กฤดากร กล่อมการ)
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างสัญญาณชีวภาพโดยใช้ทฤษฎีอลวน		
รายชื่อนักศึกษา	นางสาวภคินี	ศิริธรรมจักร	รหัสนักศึกษา 50011149
	นางสาวศิริพรรณ	กานต์กรกช	รหัสนักศึกษา 50011566
	นางสาวสุชญา	เชื้อขำ	รหัสนักศึกษา 50011701
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2553		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.กฤดากร กล่อมการ		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณชีวภาพในกลุ่มของคลื่นสมอง โดยใช้ทฤษฎีอลวนของ Sprott ซึ่งทำการปรับค่า IC AD633 เพื่อหาความอลวนอย่างอ่อน (weak chaos) จากนั้นทำการจำลองคลื่นสมอง โดยนำคลื่นอลวนอย่างอ่อนที่ได้มารวมกันและปรับค่าอีกครั้ง โดยใช้ LabVIEW ในการประมวลผลในรูปแบบของ รูป 3 มิติ, โดเมนเวลา, โดเมนความถี่ และ Poincar'e วัดความถี่ที่ได้จากการปรับค่าแล้ว ผ่านเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล ซึ่งจะทำให้ได้ความถี่ในกลุ่มของคลื่นสมองช่วงหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Construction of Bio-signal using Chaos Theory	
Student	Miss. Pakinee Sirithummachak	Student ID. 50011149
	Miss.Siriphan Karnkorakoch	Student ID. 50011566
	Miss.Suchaya Chuakham	Student ID. 50011701
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Information Engineering	
Year	2010	
Thesis Advisor	Assist. Prof. Klidagorn Klomkran	

ABSTRACT

This study of a construction of bio-signal about brain wave using Sprott's chaos theory. This process is variable adjustment by AD633 to find weak chaos signal and then simulate brain wave by summing weak chaos signal and adjust variable again. After that analysis this signal with LabVIEW programming. It show on 3D-graph, time domain, frequency domain and poincar'e map. Next, use digital oscilloscope for measurement frequency. Finally, it can simulate rant of brain wave.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำปรึกษาทางวิชาการ หรือจะเป็นทางด้านอุปกรณ์ในการทำโครงงานเป็นอย่างดี จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤษดากร กล่อมการ ที่สละเวลามาดูแลเอาใจใส่ในการทำปริญญานิพจน์ฉบับนี้มาตลอดระยะเวลา 1 ปีการศึกษา และขอขอบคุณ นายวสิษฐ ศรีขวัญเจริญ ที่คอยให้คำแนะนำ และช่วยสอนการต่อวงจร

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการทำงาน เป็นแรงผลักดันไม่ให้ย่อท้อต่ออุปสรรค์ที่เจอเสมอมา เป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณเพื่อนๆ และผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้โครงงานครั้งนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวภคินี ศิริธรรมจักร

นางสาวศิริพรรณ กานต์กรกช

นางสาวสุชญา เชื้อขำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่1 บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1

1.3. ขอบเขตของโครงงาน.....2

1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.5. อุปกรณ์ที่ต้องใช้.....2

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 ความอลวน (Chaos).....4

2.1.1 ทฤษฎีความอลวน(Chaos Theory).....4

2.1.2 ประวัติและความเป็นมา.....4

2.1.3 ลักษณะระบบที่เป็นแบบอลวน.....5

2.1.4 ประโยชน์ของการศึกษาทฤษฎีอลวน.....6

2.2 สมการ J.C.Sprott (Sprott Equation).....7

2.3 Poincare Conjecture.....7

2.4 Biosignal.....8

2.5 Operation Amplifier.....9

2.5.1. ออปแอมป์เบื้องต้น.....12

2.5.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ.....13

2.5.3 แหล่งจ่ายไฟสำหรับ OP-AMP OP-AMP.....14

2.5.4 การใช้Op-Amp ในวงจรขยายสัญญาณ.....15

2.5.5 Feedback Theory.....17

2.6LabVIEW.....20

2.6.1 Data Acquisition.....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....3
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติกับออปแอมป์ในทางปฏิบัติ.....13
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่ที่วัดจากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล 40
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ที่วัดจากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล.....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานของอุปกรณ์สร้างสัญญาณผ่อนคลาย....2
รูปที่ 1.2 แสดง Chaos secure Communicate....3
รูปที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติ simple connectivity ของทรงกลม....8
รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติ simple connectivity ของโดนัท....8
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นเบต้า....10
รูปที่ 2.4 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นอัลฟ่า....11
รูปที่ 2.5 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นเธต้า....11
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นเดลต้า....12
รูปที่ 2.7 แสดง สัญลักษณ์ของ ออปแอมป์....12
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรเทียบเท่า....12
รูปที่ 2.9 แสดงการต่อไฟเลี้ยงบวกและลบให้แก่ออปแอมป์....13
รูปที่ 2.10 แสดงวงจรเทียบเท่าของแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด....14
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรเทียบเท่าแหล่จ่ายไฟ 2 ชุด....14
รูปที่ 2.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส....15
รูปที่ 2.13 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส....15
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรรวมสัญญาณ....16
รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Integrator....16
รูปที่ 2.16 แสดงวงจร Differentiator....17
รูปที่ 2.17 แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงจรป้อนกลับ....17
รูปที่ 2.18 แสดงรวงจร Noninverting Amplifier แบบ Negative Feedback....18
รูปที่ 2.19 แสดงรวงจร Inverting Amplifier Amplifier แบบ Negative Feedback....19
รูปที่ 2.20 แสดงหน้าจอ Front Panel และชุด Controls....21
รูปที่ 2.21 แสดงหน้าจอ Block Diagram และชุด Functions....22
รูปที่ 2.22 แสดงอุปกรณ์ Data Acquisition รุ่น USB-6009....23
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรของสมการที่ 1 ที่ได้จากโปรแกรม MatLab....24
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 1 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice....25
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรของสมการที่ 2 ที่ได้จากโปรแกรม MatLab....25
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 2 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice....26
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรของสมการที่ 3 ที่ได้จากโปรแกรม MatLab....26
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 3 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 1 โดยเพิ่มไอซี AD633....28
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 3 โดยเพิ่มไอซี AD633....28
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรรวมสัญญาณ (Summing circuit)....29
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง....30
รูปที่ 3.11 แสดง Block Diagram ทั้งหมดของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง....31
รูปที่ 3.12 แสดง Block Diagram ในส่วนของการแสดงกราฟแรงดันเทียบกับเวลา และการกำหนดค่าแรงดันป้อนกลับให้กับวงจร....31
รูปที่ 3.13 แสดง Block Diagram ในส่วนของกราฟแสดงความอลวน....32
รูปที่ 3.14 แสดง Block Diagram ในส่วนของการแสดงกราฟแบบสามมิติ....32
รูปที่ 3.15 แสดง Block Diagram ในส่วนของการหาค่า Fast Fourier Transform (FFT)....33
รูปที่ 3.16 แสดง Block Diagram ในส่วนของ Poincare's map....33
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟแสดงความอลวน....36
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟสามมิติ....37
รูปที่ 4.3 แสดงค่า Frequency spectra (FFT) จากการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V....38
รูปที่ 4.4 แสดงค่า Poincare's map จากการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V....39
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟแสดงความอลวน....42
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟสามมิติ....43
รูปที่ 4.7 แสดงค่า Frequency spectra (FFT) จากการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V....44
รูปที่ 4.8 แสดงค่า Poincare's map จากการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V....45
รูปที่ 4.9 แสดงค่า ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW....46
รูปที่ 5.1 แสดงรูปแบบคลื่นสมองในอุดมคติ....48
รูปที่ ก.1 แสดงวงจรที่ใช้การทดลอง....54
รูปที่ ก.2 วงจรที่ 1....55
รูปที่ ก.3 วงจรที่ 2....56
รูปที่ ก.4 วงจรที่ 3....57
รูปที่ ก.5 วงจรรวม....58
รูปที่ ก.6 แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ NI USB 6009....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าภาวะเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้สังคมมีอัตราการแข่งขันที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้คนส่วนใหญ่เกิดภาวะความเครียด จากสถิติพบว่าพลเมืองประเทศไทยมีภาวะความเครียดสูงเป็นอันดับ 3 ของทวีปเอเชีย[1] และจากความเครียดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสภาพจิตใจ และเกิดผลกระทบต่อร่างกาย ตั้งแต่ปัญหาเล็กๆน้อยๆ เช่น สิวขึ้น นอนไม่หลับ กระเพาะอาหารอักเสบ จนกระทั่งลุกลามไปถึงโรคที่มีความรุนแรงถึงแก่ชีวิต และอาจทำให้เกิดการฆ่าตัวตายได้

ดังนั้นคนเราจึงมีวิธีในการผ่อนคลายความเครียดที่แตกต่างกันไป เช่น การออกไปเดินเล่นนอกบ้าน การออกกำลังกาย ไปดูหนังฟังเพลง ไปนวดสปา ซึ่งวิธีการส่วนใหญ่มักจะเป็นกิจกรรมนอกบ้าน และมีค่าใช้จ่ายที่สูง

จากปัญหาข้างต้นทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างเครื่องมือที่สามารถช่วยผ่อนคลายความเครียด ที่สามารถใช้งานได้ภายในที่พักอาศัยและมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมาก โดยใช้การพัฒนาสัญญาณอลวนให้มีลักษณะใกล้เคียงกับคลื่นไฟฟ้าภายในร่างกายมนุษย์ หรือสัญญาณชีวภาพ (Bio-signal) ซึ่งจากผลการวิจัย[2]พบว่า ในช่วงเวลาปกติคลื่นสมองของคนเรามีความถี่ต่ำว่า 19 รอบต่อวินาที ถ้าหากคลื่นสมองของคนเรามีความถี่ที่สูงเกินกว่า 21 รอบต่อวินาทีมากเป็นเวลานานๆเราจะอยู่ในภาวะที่เรียกว่า โรคเครียดและวิตกกังวล ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถที่จะปรับความถี่ให้อยู่ในระดับที่สมดุลและทำให้เกิดภาวะที่ผ่อนคลาย

โครงงานพิเศษจัดทำขึ้นเพื่อทำการสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณ Bio-Signal โดยใช้ ทฤษฎีความอลวน สร้างคลื่นเสียง เพื่อให้ได้คลื่นเสียงที่มีลักษณะใกล้เคียงกับคลื่นสมองของเราซึ่งจะอยู่ในรูปของความถี่แบบผสมจะมีอยู่ ๔ คลื่นด้วยกัน คือ คลื่นเบต้า (Beta wave) คลื่นอัลฟา (Alpha wave), คลื่นธีต้า (Theta wave), คลื่น เดลต้า (Delta wave)

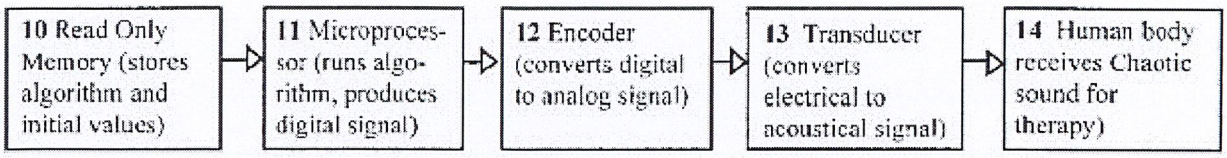
1.2 จุดประสงค์

1. เพื่อสร้างสัญญาณเลียนแบบ สัญญาณ Biosignal โดยใช้ Chaos Theory
2. เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

สามารถสร้างสัญญาณอลวน(Chaos) ขึ้นมาเพื่อเลียนแบบสัญญาณชีวภาพ(Bio-Signal)ได้



รูป 1.1 แสดงการทำงานของอุปกรณ์สร้างสัญญาณผ่อนคลาย[3]

จากรูป 1.1 คือขั้นตอนการแปลงสัญญาณอลวนเป็นสัญญาณชีวภาพในรูปของสัญญาณเสียง เป็นการโชว์บล็อคไดอะแกรมของอุปกรณ์สร้างสัญญาณผ่อนคลายชิ้นนี้ โดยขั้นแรก จะเป็นการอ่านคำสั่งและกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรจากหน่วยความจำ จากนั้นประมวลผลผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ได้เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วจำทำการเข้ารหัสแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นแปลงสัญญาณไฟฟ้า เป็นสัญญาณเสียงและส่งเข้าร่างกาย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบวงจรการสร้างสัญญาณเคออส เลียนแบบสัญญาณชีวภาพ โดยใช้โปรแกรม Matlab และ Pspice
2. สามารถนำเอาความรู้เรื่องนี้ไปประยุกต์ใช้ทางด้านชีวะการแพทย์ต่อไป

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

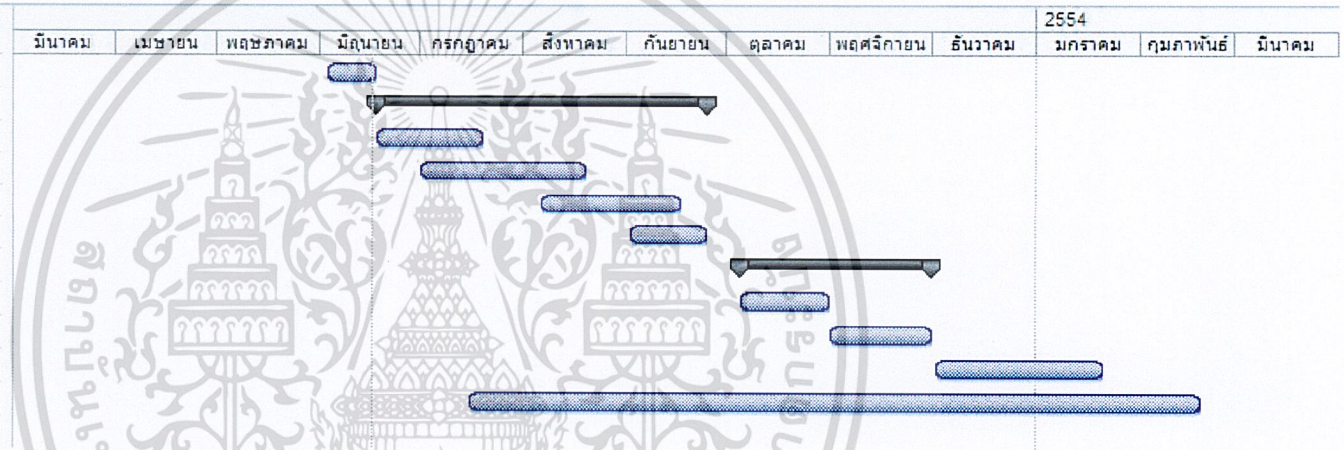
1. ฮาร์ดแวร์
   - เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรม จำนวนหนึ่งเครื่อง
   - ออสซิลโลสโคป
2. ซอฟต์แวร์
   - โปรแกรม Matlab สำหรับแสดงพฤติกรรมของสมการ
   - โปรแกรม Pspice สำหรับออกแบบวงจร และ simulate ดูผลที่ได้
   - โปรแกรม LabView สำหรับเปรียบเทียบผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงตารางขั้นตอนการดำเนินงาน

	Task Name
1	วางแผนและวิเคราะห์โครงงาน
2	วิเคราะห์และออกแบบ
3	ออกแบบวงจร
4	ออกแบบวงจรโดยใช้ MATLAB
5	ออกแบบวงจรโดยใช้ Pspice
6	ออกแบบวงจรโดยใช้ Psoc Designer
7	ดำเนินการ
8	ทดสอบวงจรที่ออกแบบจาก Pspice
9	ทดสอบวงจรที่ออกแบบจาก Psoc Designer
10	ตรวจสอบและแก้ไขวงจร
11	จัดทำเอกสาร



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 ความอลวน (Chaos)

2.1.1 ทฤษฎีความอลวน(Chaos Theory)

ทฤษฎีความอลวน (Chaos theory) [2] เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงลักษณะพฤติกรรมของระบบพลวัต (คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป) โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระบบที่เรียกว่าเคออส จะมีลักษณะที่ปั่นป่วนจนดูคล้ายว่า การเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นแบบสุ่มหรือไร้ระเบียบ (random/stochastic) แต่จริง ๆ แล้ว ระบบเคออสเป็นระบบแบบไม่สุ่ม หรือระบบที่มีระเบียบ (deterministic)

ในทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ คำจำกัดความของระบบเคออส คือ ระบบไม่เชิงเส้น (nonlinear system) ประเภทหนึ่ง ที่มีความไวต่อสภาวะเริ่มต้น กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้าระบบ 2 ระบบนั้นเริ่มต้นจากสภาวะที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือเกือบจะเหมือนกันทุกประการ เมื่อระบบได้มีการเปลี่ยนไปสักระยะหนึ่ง สภาวะของระบบทั้งสองที่เราสังเกตได้เมื่อเวลาผ่านไปจะแตกต่างกันอย่างสังเกตเห็นได้ชัด

ทฤษฎีความอลวน เป็นระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear system) ประเภทหนึ่ง ที่มีความไวต่อสภาวะเริ่มต้น เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบต่าง ๆที่มีความยุ่งเหยิงและขาดระเบียบ เหมือนจะทำนายไม่ได้ แต่จริงๆแล้วสามารถทำนายได้ถ้าหากว่าเรารู้รูปแบบสมการเริ่มต้นของมัน นั้นคือมันมีกฎเกณฑ์ที่สามารถควบคุมได้

2.1.2 ประวัติและความเป็นมา

จุดเริ่มต้นของทฤษฎีความอลวนนี้ สามารถสืบย้อนกลับไปได้ถึงในช่วงปี พ.ศ. 2443 (ค.ศ. 1900) จากการศึกษาปัญหาวงโคจรของวัตถุสามชิ้นในสนามแรงดึงดูดระหว่างกัน ซึ่งมีชื่อเรียกเป็นทางการว่า ปัญหาสามวัตถุ (three-body problem) โดย อองรี ปวงกาเร ซึ่งได้ค้นพบว่า วงโคจรที่ศึกษานั้นอาจจะมีลักษณะที่ไม่ได้เป็นวงรอบ (periodic) คือไม่ได้มีทางวิ่งซ้ำเป็นวงรอบ ยิ่งไปกว่านั้น วงโคจรนั้นก็ไม่ได้ขยายวงออกไปเรื่อย ๆ หรือมีลักษณะที่ลู่เข้าหาจุดใด ๆ ต่อมาได้มีการศึกษาถึงปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นที่เกี่ยวข้อง โดยที่ เบอร์คอฟ (G.D. Birkhoff) นั้นศึกษาปัญหาสามวัตถุ คอลโมโกรอฟศึกษาปัญหาความปั่นป่วน (หรือ เทอร์บิวเลนซ์) และปัญหาเกี่ยวกับดาราศาสตร์. ส่วน คาร์ทไรท์ (M.L. Cartwright) และ ลิตเติลวูด (J.E. Littlewood) นั้นศึกษาปัญหาทางวิศวกรรมการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ. สเมล (Stephen Smale) นั้นอาจเป็นนักคณิตศาสตร์คนแรกที่ทำการศึกษาถึงปัญหาทางด้านพลศาสตร์ของระบบไม่เป็นเชิงเส้น ถึงแม้ว่าความอลวนของเส้นทางโคจรของดาว นั้นยังไม่ได้มีการทำการสังเกตบันทึกแต่อย่างใด แต่ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการสังเกตพบพฤติกรรมความอลวนในความปั่นป่วนของการเคลื่อนที่ของของไหล และ ในการออสซิลเลท แบบไม่เป็นวงรอบของวงจรวิทยุ ซึ่งไม่มีทฤษฎีใดในขณะนั้นสามารถอธิบายพฤติกรรมเหล่านี้ได้

ความตื่นตัวในการพัฒนาทฤษฎีความอลวนนี้ เกิดขึ้นในช่วงกลางของศตวรรษที่ 20 เมื่อเป็นที่ประจักษ์ว่า ทฤษฎีของระบบเชิงเส้นนั้นไม่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมบางอย่าง แม้กระทั่งพฤติกรรมของระบบที่ไม่ซับซ้อนอย่าง แมพลอจิสติก (Logistic map) อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้พัฒนาการของทฤษฎีความอลวนเป็นไปอย่างรวดเร็วก็คือ คอมพิวเตอร์ การคำนวณในทฤษฎีความอลวนนั้น โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่เป็นการคำนวณค่าแบบซ้ำ ๆ จากสูตรคณิตศาตร์ และสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอ็ดเวิร์ด ลอเรนซ์ (Edward Lorenz) เป็นผู้ริเริ่มบุกเบิกทฤษฎีความอลวน เขาได้สังเกตพฤติกรรมความอลวน ในขณะทำการทดลองทางด้านการพยากรณ์อากาศในปี ค.ศ. 1961 ลอเรนซ์ใช้คอมพิวเตอร์ซิมูเลชันแบบจำลองสภาพอากาศ ซึ่งในการคำนวณครั้งถัดมาเขาไม่ต้องการเริ่มซิมูเลชันจากจุดเริ่มต้นใหม่ เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ เขาจึงใช้ข้อมูลในการคำนวณก่อนหน้านี้เพื่อเป็นค่าเริ่มต้น ปรากฏว่าค่าที่คำนวณได้มีความแตกต่างไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง เขาพบว่าสาเหตุเกิดจากการปัดเศษ ของค่าที่พิมพ์ออกมาจากค่าที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่สามารถนำไปสู่ความแตกต่างอย่างมากมาย เรียกว่า ไวต่อสภาวะเริ่มต้น

คำ "**butterfly effect**" ซึ่งเป็นคำที่นิยมใช้เมื่อกล่าวถึงทฤษฎีความอลวน นั้นมีที่มาไม่ชัดเจน เริ่มปรากฏแพร่หลายหลังจากการบรรยายของ ลอเรนซ์ ในปี ค.ศ. 1972 ภายใต้ชื่อหัวข้อ "*Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?*" นอกจากนี้แล้วยังอาจมีส่วนมาจาก รูปแนวโคจรของตัวดึงดูดลอเรนซ์ (ดังรูปด้านขวามือ) ที่มีรูปร่างคล้ายผีเสื้อ ซึ่งเขาได้ตีพิมพ์ในบทความวิชาการก่อนหน้านี้

ส่วนคำ "**chaos**" (เค-ออส) บัญญัติขึ้นโดย นักคณิตศาสตร์ประยุกต์ เจมส์ เอ ยอร์ค (James A. Yorke)

2.1.3 ลักษณะระบบที่เป็นแบบอลวน [3]

ระบบที่เป็นแบบอลวนจะประกอบด้วยคุณลักษณะดังนี้

1. มีคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearity) มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับคุณสมบัติแบบเชิงเส้น โดยฟังก์ชัน f จะมีคุณสมบัติเชิงเส้นก็ต่อเมื่อ $f(\alpha x + \beta y) = \alpha f(x) + \beta f(y)$ เมื่อ α และ β เป็นค่าคงที่ นั้นหมายความว่าระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ผลลัพธ์ของระบบทั้งหมดจะไม่เท่ากับผลรวมของผลลัพธ์ที่เกิดจากระบบย่อยรวมกัน กล่าวคือความอลวนจะไม่เกิดในระบบที่เป็นเชิงเส้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะเกิดความอลวนในทุกระบบ จะมีช่วงพารามิเตอร์ที่จะทำให้ระบบมีพฤติกรรมแบบอลวน และในระบบไม่เป็นเชิงเส้นบางระบบจะเกิดคุณสมบัติอลวนตลอดเวลา

2. ไม่ใช่เกิดแบบสุ่ม (Deterministic not Probabilistic) ในระบบอลวน เหตุการณ์พฤติกรรมทั้งหลายที่เกิดขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์ที่แน่นอน คือ สามารถอธิบายได้โดยสมการคณิตศาสตร์ ดังนั้นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(randomness) เช่น การโยนลูกเต๋าจึงไม่เป็นความอลวน เพื่อป้องกันไม่ให้ความเข้าใจผิดว่าความอลวนคือการสุ่ม จึงมีคนเรียกความอลวนว่า deterministic chaos

3.ไวต่อสภาวะเริ่มต้น (Sensitivity to initial conditions) ในภาวะเริ่มต้นของระบบอลวนที่มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ก่อให้เกิดผลลัพธ์ในภายหลังที่มีความแตกต่างกันมาก ดังคำกล่าวว่าผลกระทบผีเสื้อ (Butterfly effect) สาเหตุที่ระบบอลวนไวต่อสภาวะเริ่มต้น

เนื่องจากในระบบอลวนจะขยายความแตกต่างให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่พบบ่อยจะเป็นการขยายความแตกต่างให้เร็วขึ้นในระดับเลขยกกำลัง (exponential) ของเวลา

4.ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าในระยะยาวได้ (Long-term prediction is impossible) เป็นผลสืบเนื่องจากความไวต่อสภาวะเริ่มต้น ทำให้ในระยะยาวผลการเปลี่ยนแปลงจะไม่สามารถทำนายได้ แต่อย่างไรก็ตามยังเป็นไปได้ในการทำนายผลในระยะสั้น (Short-term prediction)

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่น่าสนใจของความอลวน คือ การแสดงลักษณะคล้ายตัวเอง (Self similarity) หรือเรียกว่า แฟรกตัล (Fractal) โดยลักษณะนี้จะปรากฏเมื่อทำการแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่จากระดับใดก็ตาม มันจะมีลักษณะเดียวกัน แต่คุณสมบัตินี้ไม่ได้เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นต่อการเกิดสภาวะอลวนแต่อย่างใดเพียงแต่มักพบร่วมกันเท่านั้น

2.1.4 ประโยชน์ของการศึกษาทฤษฎีอลวน[4]

สาเหตุที่การศึกษาทฤษฎีอลวนมีความสำคัญเนื่องด้วย ระบบในธรรมชาติโดยมากมีลักษณะอลวน แม้ว่าเรายังไม่มีวิธีการที่แน่นอนในการตัดสินว่า ระบบใดระบบหนึ่งเป็นระบบอลวนหรือไม่ก็ตาม ทั้งนี้ก็เพราะเหตุผลหลายๆประการ

1.ใช้ในการวิเคราะห์ระบบและทำนายอนาคต

ดังที่กล่าวข้างต้นว่า แม้ว่าจะไม่สามารถทำนายอนาคตของระบบอลวนในระยะยาวได้ แต่ยังมีโอกาสทำนายอนาคตของมันในระยะสั้นได้ หากเราสามารถหาโมเดลที่อธิบายพฤติกรรมของระบบนั้น และทราบสภาวะตั้งต้นอย่างแม่นยำพอสมควร ในปัจจุบัน การวิจัยเพื่อทำนายอนุกรมตามลำดับเวลา (time-series data) ด้วยแนวคิดของทฤษฎีความอลวน

2.ใช้ในการสร้างระบบอลวน

สมัยหนึ่งเราเคยเชื่อว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์คือ อุณหภูมิคงที่ อย่างไรก็ตามผลการทดลองบางชิ้นทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบายตัวกว่า คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมาอย่างอลวนรอบจุดๆหนึ่ง แบบที่เรียกกันว่าสั่นแกว่งแบบคาบ แนวคิดนี้ได้นำมาสู่การสร้างเครื่องทำความร้อนของบริษัท Sanyo ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านชิ้นแรกที่ใช้ทฤษฎีอลวน นอกจากนี้บริษัท Matsushita ยังใช้ทฤษฎีอลวนควบคุมหัวฉีดของเครื่องล้างจาน ซึ่งพบว่าสามารถล้างจานได้สะอาด โดยประหยัดน้ำได้มากกว่า เพราะเส้นทางการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่เหมือนไร้ระเบียบ ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ดีกว่าการเคลื่อนที่ตามแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ใช้ในการควบคุมหรือสร้างความเสถียรให้กับระบบ

เนื่องด้วยระบบอลวนนั้นไวต่อสภาวะตั้งต้นมาก การรบกวนเพียงนิดเดียวจึงอาจก่อให้เกิดผลขยายได้มาก ในงานด้านวิศวกรรมควบคุม (Control engineering) การเติมสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อยที่เหมาะสมแก่ระบบอลวน จึงสามารถใช้ควบคุมให้ระบบนั้นอยู่ในสภาวะเสถียรหรือขับเคลื่อนให้ระบบนั้นไปสู่สภาวะที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากการประยุกต์ใช้หลักๆดังกล่าวข้างต้นแล้ว ทฤษฎีความอลวนยังสามารถประยุกต์ใช้ได้อีกในหลายสาขา เช่น ในด้านการสื่อสาร เราสามารถใช้สัญญาณแบบอลวนในการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) เพื่อป้องกันคนแอบดูข้อมูลหรือใช้หลักการของทฤษฎีนี้ช่วยให้การหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) ของฟังก์ชันหนึ่งได้ค่าที่ดีที่สุดที่แท้จริง (global optimum) ได้ง่ายขึ้น เพราะความอลวนสามารถหลบการได้ค่าที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ (local optimum) ได้

2.2 สมการ J.C.Sprott[5]

รูปแบบสมการของ Sprott เป็นสมการที่มีความซับซ้อนไม่มาก อีกทั้งฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้นในสมการบางสมการสามารถสร้างได้โดยใช้วงจรทางไฟฟ้า

จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการสร้างสัญญาณเคออสอย่างง่ายของ Sprott มีหลายรูปแบบ เพื่อแสดงให้เห็นตัวอย่างในการสร้างสัญญาณเคออสจะเลือกสมการที่ใช้ sgn(x) และ H(x) ดังนี้

$$\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \mathrm{sgn}(x)$$

$$\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} + x - \mathrm{sgn}(x)$$

$$\dddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + \mathrm{H}(x)$$

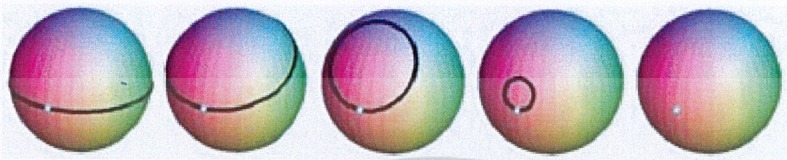
2.3 Poincare Conjecture[6]

Henri Poincare นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสเป็นผู้ตั้งข้อความคาดการณ์นี้ขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1904 ในการทำความเข้าใจ "รูปร่างสามมิติ" โดยรูปร่างพื้นฐานที่สุดในบรรดารูปร่างเหล่านี้ได้แก่ "ทรงกลมสามมิติ" ซึ่งอยู่ในปริภูมิสี่มิติ (four-dimensional space)ทรงกลมสามมิติที่ว่านี้ถูกนิยามให้เป็นเซตของจุดในสี่มิติทั้งหมดที่อยู่ห่างจากจุดคงที่จุดหนึ่งเป็นระยะทางคงที่แบบเดียวกับที่เรานิยามทรงกลมสองมิติ (เช่นผิวส้มหรือผิวโลก) ว่าคือเซตของจุดในสามมิติทั้งหมดที่อยู่ห่างจากจุดคงที่จุดหนึ่ง (จุดศูนย์กลาง) เป็นระยะทางคงที่เนื่องจากเราไม่สามารถมองเห็นภาพของวัตถุในปริภูมิ n มิติใดๆ ได้ Poincare จึงตั้งคำถามว่า จะมีวิธีการใดบ้างที่จะใช้ทดสอบได้ว่าวัตถุชิ้นหนึ่งจะเป็นทรงกลมสามมิติหรือไม่ โดยทำการตรวจวัดหรือการดำเนินการอื่นใดก็ได้กับวัตถุนั้น จุดประสงค์ของการตั้งคำถามนี้ก็เพื่อให้เราสามารถแยกแยะได้ว่าวัตถุใด "เป็น" ทรงกลมสามมิติ ถึงแม้ว่าวัตถุนั้นจะถูกทำให้อยู่ในสภาพที่ "บิดเบี้ยว" ไปจากสภาพเดิมมากก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถพิสูจน์ให้เห็นจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนเมื่อปี 2006 **Grisha Perelmanl** สามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงนี้ได้โดยใช้ข้อพิสูจน์ความจริงที่ Poincare เอง ได้ค้นพบเงื่อนไขทดสอบซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ถูกต้องแล้ว ซึ่งก็คือ simple connectivity

การทดสอบสมบัติ simple connectivity สำหรับทรงกลมสองมิติ (2-spher) จะเห็นว่า loop ที่อยู่บน 2-sphere จะสามารถค่อยๆดึงให้หดลงกลายเป็นจุดๆหนึ่งได้เสมอโดยที่ทรงกลมไม่แยกจากกัน ดังนั้น 2-sphere มีสมบัติ simple connectivity



รูปที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติ simple connectivity ของทรงกลม

แต่สำหรับผิวโดนัท จะเห็นว่ามีบาง loop เช่น loop สีแดงสอง loop ที่ไม่สามารถดึงให้หดลงเป็นจุดจุดหนึ่งได้ ผิวโดนัทจึงไม่มีสมบัติ simple connectivity

รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติ simple connectivity ของโดนัท

2.4 Biosignal[7]

ในร่างกายคนเราจะมีคลื่นไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถบ่งบอกสถานะ การมีชีวิต หรือรูปแบบของสิ่งมีชีวิตว่า สิ่งมีชีวิตนั้นๆมีชีวิตหรือมีลักษณะที่จะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่ หรือเรียกว่า Bio-signal ซึ่งมีอยู่หลายประเภท
ด้วยกัน เช่น คลื่นหัวใจ คลื่นสมอง เป็นต้น

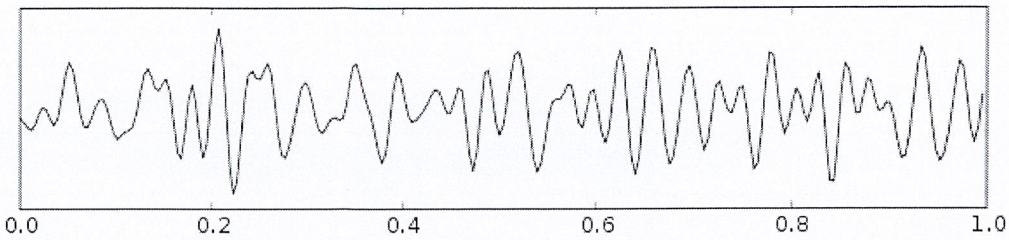
คลื่นสมอง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งได้มาจากการส่ง สัญญาณเคมีทางชีวภาพในร่างกายมนุษย์ การวัดพลังงานไฟฟ้าบริเวณสมองด้วย เครื่องมือ Electroencephalogram (EEG) ทำให้นักวิจัยทาง ประสาทวิทยาและ นักวิทยาศาสตร์ ได้ค้นพบ ความจริงว่า การเลือกตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกมีผล โดยตรง ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะภายใน ที่เป็นคลื่นสมอง เราสามารถอ่านค่าผลของการวัด และแบ่งคลื่นสมองของมนุษย์ตามระดับความสั่นสะเทือน หรือความถี่ ได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. คลื่นเบต้า (Beta brainwave) มีความถี่ประมาณ 14-21 รอบต่อวินาที (Hz) เป็นช่วง คลื่นสมองที่เร็วที่สุด เกิดขึ้นใน ขณะที่สมองอยู่ใน ภาวะของการทำงาน และ ควบคุมจิตใต้สำนึก (Conscious Mind) ในขณะตื่นและรู้ตัว เช่น การนั่ง ยืน เดิน ทำงาน หรือกิจกรรมต่างๆ ในกรณีที่จิตมีความคิดมากมายหลายอย่างจาก ภารกิจประจำวัน วุ่นวายใจ สับสน หรือฟุ้งซ่าน และสั่งการสมองอย่างไม่เป็นระเบียบ ความถี่ของคลื่นช่วงนี้อาจสูงขึ้นได้ถึง 40 Hz โดยเฉพาะคนในที่มีความเครียดมาก อยู่ในภาวะเร่งรีบบีบคั้น ตื่นเต้น ตกใจ อารมณ์ไม่ดี โกรธหรือดีใจมาก ๆ สมองจะมีการทำงานใน ช่วงคลื่นเบต้ามากเกินไป ในขณะที่หากไม่มีคลื่นเบต้าเกิดขึ้นเลย มนุษย์จะไม่สามารถเรียนรู้ หรือทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ ในโลกภายนอก ปรกติสมองคนเรา จะมีเส้นทางอัตโนมัติ ในการรับรู้ความรู้สึก ที่ทำให้สั่งการได้โดยไม่ต้องใช้เวลาใน การใคร่ครวญมากนัก ความเป็นอัตโนมัตินี้ ส่วนใหญ่จะมีประโยชน์อยู่ในระดับหนึ่ง และเป็นเรื่องกลาง ๆ สำหรับชีวิต ช่วยย่นย่อ จดจำ เรื่องราวจำเจ ที่ต้องทำซ้ำ ๆ เป็นประจำให้ดำเนินไปได้ บางส่วนเป็นไป เพื่อประโยชน์ต่อการรอดพ้น จากอันตรายในสถานการณ์คับขัน เช่น การดึงมือออกทันที เมื่อบังเอิญไปสัมผัสของร้อนจัด แต่สิ่งที่น่าสนใจ คือ “อารมณ์ของมนุษย์” ก็มีเส้นทางอัตโนมัติเช่นเดียวกัน แต่คนส่วนใหญ่มักจะไม่ได้ควบคุม และปล่อยให้ความเป็นอัตโนมัตินี้ทำงานมากเกินไป จากความเคยชินในการป้อนข้อมูลซ้ำ ๆ ของเราเอง โดยมากเป็นความอัตโนมัติ ในทางลบที่มีมากเกินไป ทำให้ข้อมูลเหล่านี้ ถูกส่งผ่านเข้าไปสู่การทำงานของ ส่วนรับความรู้สึกในสมอง ที่เรียกว่า **’อะมิกดาลา’ (Amygdala)** ซึ่งเป็น สมองชั้นกลาง ใกล้กับ ก้านสมอง และ มีความสามารถใน การเก็บข้อมูล ด้านอารมณ์จำนวนมาก ๆ ไว้ ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับว่า เราใส่ข้อมูลด้าน ”บวก”หรือ”ลบ” มากน้อยแค่ไหน ก็จะทำให้ สมองจดจำ และ ตอบสนองในทิศทางนั้น หากเราปล่อยให้ความอัตโนมัตินี้ ทำงานตามลำพัง โดยไม่ฝึก กำหนดรู้ ก็จะทำให้เรา ติดกับดักของอารมณ์ ที่ไม่ดี อยู่ตลอดเวลา สมองของเราจะทำงานอยู่แต่ใน เฉพาะช่วงคลื่นเบต้า ซึ่งในโหมดนี้ถือว่า เป็นโหมดปกป้อง มีทั้งเบต้าอ่อน และแก่ แก่หมายถึงความถี่สูง มีผลให้ความคิดถดถอยจากสภาวะปกติ และทำงานอยู่ในฐานความกลัว มีลักษณะต้านทาน ความเปลี่ยนแปลง บางคนจะหยุด และปิดการเรียนรู้ เพราะเกิดความเครียด สภาวะนี้สมองจะหลั่งฮอร์โมนด้านลบ ออกมามากเกินไป นำไปสู่ ปฏิกิริยาเคมีที่ทำร้ายส่วนอื่น ๆ ของร่างกายเป็นลูกโซ่ต่อไปเรื่อยๆ เช่น **อะดรีนาลีน** คอร์ติซอล เป็นต้น

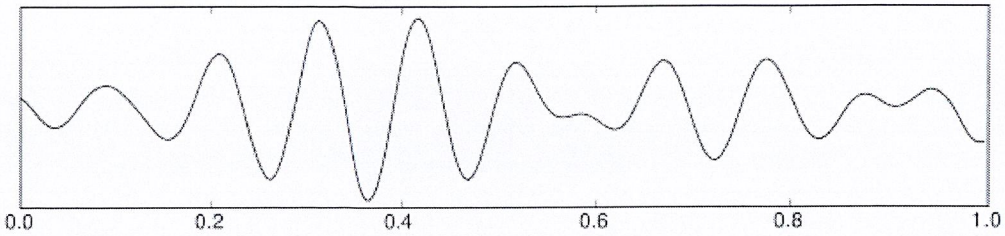
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นเบต้า

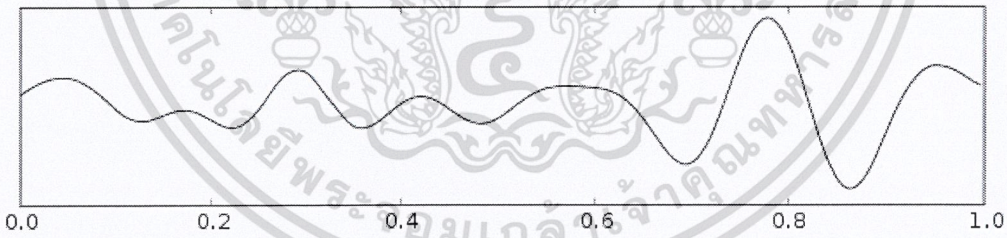
2. คลื่นอัลฟ่า (Alpha brainwave) มีความถี่ประมาณ 7-14 รอบต่อวินาที (Hz) ความถี่ ของคลื่นที่ต่ำลงมานี้ ก็คือ เป็นคลื่นสมองที่ปรากฏบ่อยในเด็กที่มีความสุข และในผู้ใหญ่ที่มีการฝึกฝนตนเองให้สงบนิ่งมากขึ้น อาจหมายถึง สภาวะที่จิตสมดุล อยู่ใน สภาวะสบายๆ มีการช้าลงด้วย การใคร่ครวญ ไม่ด่วนตอบสนองต่อสิ่งเร้าด้วย อารมณ์อันรวดเร็ว เวลาที่ความถี่น้อยลง หมายถึงว่า เราจะคิดช้าลง เป็นจังหวะ เป็นท่วงทำนอง คมชัด ให้เวลาแก่จิตในการไตร่ตรองและมีความคิดเป็นระบบขึ้น สภาวะที่สมองทำงาน อยู่ในคลื่นอัลฟ่ายังพบอยู่ใน หลายๆ รูปแบบ เช่น ขณะที่กล้ามเนื้อ หรือ ร่างกายผ่อนคลาย ช่วงเวลาที่ง่วงนอนก่อนหลับหรือหลับใหม่ๆ เวลาทำอะไรเพลินๆ จนลืมสิ่งรอบๆ ตัว เวลาสบายใจ เวลาอ่านหนังสือ หรือ จดจ่อกับกิจกรรมใด ๆ อย่างต่อเนื่องในระยะเวลาหนึ่ง และการเข้าสมาธิ ในระดับภวังค์ที่ไม่ลึกมาก จากลักษณะดังกล่าว ช่วงคลื่นอัลฟ่า จะเป็นประตูไปสู่ การทำสมาธิในระดับลึก และถือว่า เป็นช่วงที่ดีที่สุดในการป้อนข้อมูล ให้แก่ จิตใต้สำนึก สมองสามารถเปิดรับข้อมูลได้อย่างเต็มที่ และ เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว มีความคิดสร้างสรรค์ เป็นสภาวะที่ จิตมีประสิทธิภาพสูง ในทางการแพทย์ และ จิตศาสตร์ เองก็ถือว่า สภาวะนี้เป็น หัวใจของการสะกดจิต เพื่อการบำบัดโรค โดยหากจะ ตั้ง โปรแกรมจิตใต้สำนึก ก็ควรทำใน ช่วงที่คลื่นสมองเป็นอัลฟ่า ในคนทั่วไปเอง ก็ควรฝึกฝนตนเองให้ สมองทำงานอยู่ใน ช่วงคลื่นอัลฟ่า เป็นประจำเช่นเดียวกัน เพราะจะช่วยสร้าง ความผ่อนคลาย ร่างกายจะไม่ทำงานอยู่บน ฐานแห่งความกลัว หรือ วิตกกังวล แต่จะมองชีวิต อย่างสนุกสนาน มีความรู้สึกอยากเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ หรืออยากสำรวจโลกแบบเด็ก ๆ แต่คนส่วนใหญ่ มักจะขาดการฝึกฝนให้ตนเอง มีคลื่นสมองชนิดนี้ และมักปล่อยให้อารมณ์อัตโนมัติตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว ขาดการคิดใคร่ครวญ ด้วยระยะเวลาอันเหมาะสมก่อน หากเรามีการฝึกฝนจิตให้ตื่นรู้เช่นเดียวกัน กับแนวทางการปฏิบัติธรรม ในพุทธศาสนา คลื่นอัลฟ่านี้จะถูกบ่มเพาะให้เข้มแข็งขึ้น สามารถรื้อโปรแกรมอัตโนมัติเก่า สร้างโปรแกรมอัตโนมัติใหม่ ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงการฟทีได้จากคลื่นอัลฟ่า

3. คลื่นเธต้า (Theta brainwaves) มีคลื่นความถี่ประมาณ 4 - 11 รอบต่อวินาที (Hz) เป็นช่วงคลื่นที่สมองทำงานช้าลงมาก พบเป็นปรกติในช่วงที่คนเราหลับ หรือมีความผ่อนคลายอย่างสูง แต่ใน ภาวะที่ไม่หลับคลื่นชนิดนี้ ก็เกิดขึ้นได้เช่นกัน เช่น ขณะอยู่ในการภาวนาสมาธิที่ลึกในระดับหนึ่ง การเข้าสู่สภาวะนี้จะใกล้เคียงกับ คลื่นสมองในสภาวะอัลฟ่า คือ มีความสุข สบาย ลืมความทุกข์ แต่จะมีความปีติสุขมากกว่า สภาวะนี้มีความเชื่อมโยงกับ การเห็นภาพต่าง ๆ สมองในช่วงคลื่นเธต้า จะเปรียบเสมือน แหล่งเก็บแรงบันดาลใจ ความคิดสร้างสรรค์ที่อยู่ในความจิตใจส่วนลึกของเรา จึงเป็นคลื่นสมองที่สะท้อนการทำงานของจิตใต้สำนึก (Subconscious Mind) อันเป็นการทำงานของเนื้อสมองส่วนใหญ่ของมนุษย์ ระดับพฤติกรรมภายใต้ความถี่ของของคลื่นเธต้า เป็นลักษณะที่บุคคล คิดคำนึงเพื่อแก้ปัญหา พบได้ทั้งลักษณะที่รู้สำนึก และไร้สำนึก ปรากฏออกมาเป็น ความคิดสร้างสรรค์ เกิดความคิดหยั่งเห็น (Insight) มีความสงบทางจิต และมองโลกในแง่ดี เกิดสมาธิแน่วแน่และเกิดปัญญาญาณ มีศักยภาพสำหรับ ความจำระยะยาวและ การระลึกรู้

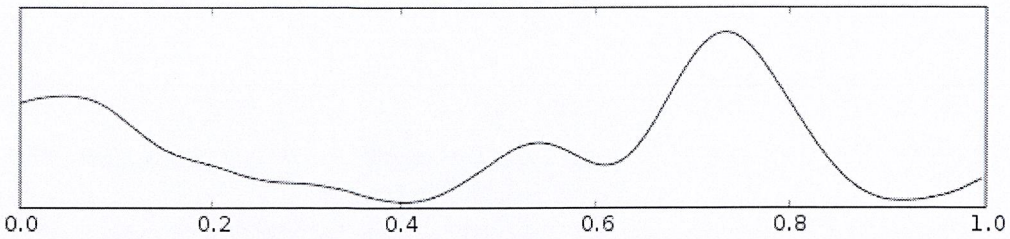


รูปที่ 2.5 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นเธต้า

4. คลื่นเดลต้า (Delta brainwaves) มีความถี่ประมาณ 0 – 4 รอบต่อวินาที(Hz) เป็นคลื่นสมองที่ช้าที่สุด สภาวะนี้จะทำให้ ร่างกายเกิดความผ่อนคลาย ในระดับที่สูงมาก เป็นคลื่นสมองที่ทำงานเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็น จิตไร้สำนึก (Unconscious mind) เช่น ในขณะที่ร่างกายหลับลึกโดยไม่มีการฝัน หรือ เกิดจากการเข้าสมาธิลึกๆ ในระดับฌาน ในช่วงนี้คลื่นสมองแสดงให้เห็นว่า ร่างกายกำลังดื่มด่ำกับ การพักผ่อนลงลึกอย่างเต็มที่ เปรียบได้กับการประจุพลังงานเข้าสู่ร่างกายใหม่ ผู้ที่ผ่านการหลับลึก ในช่วงเวลาที่พอเหมาะพอดี จะรู้สึกได้ถึงความสดชื่นกระปี้กระเปร่ามากเป็นพิเศษ เมื่อเปรียบเทียบกับ ผู้ที่นอนหลับไม่ค่อยสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับผู้ที่ทำสมาธิอยู่ในระดับฌานลึก ๆ เมื่อออกจากสมาธิแล้ว ก็จะยังคงติดรสแห่งปิติสุข ทำให้เกิดความสุขใจ มีใบหน้าผ่องใสเต็มอิ่ม ไปด้วย ความสุขสดชื่นเช่นเดียวกัน

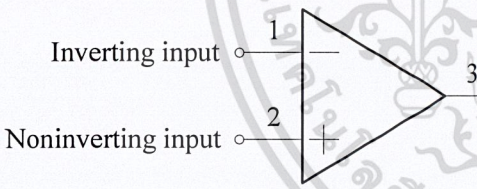


รูปที่ 2.6 แสดงกราฟที่ได้จากคลื่นเดลต้า

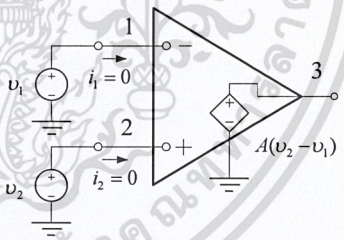
2.5 Operation Amplifier

2.5.1. ออปแอมป์เบื้องต้น[8] [9] [10] [11]

ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (Operational Amplifier) หรือเรียกสั้นๆว่า OP AMP เป็นวงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยายแรงดันสูง ตอบสนองความถี่ได้กว้างตั้งแต่ DC จนถึงความถี่สูงหลายเมกกะเฮริตซ์ และมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวน สัญลักษณ์ของ ออปแอมป์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยแรงดันที่ขา output เทียบกับกราวด์ในวงจรจะขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันที่ขา inverting input และขา noninverting input ซึ่งรูปที่ 2.8 แสดงวงจรเทียบเท่าของ ออปแอมป์



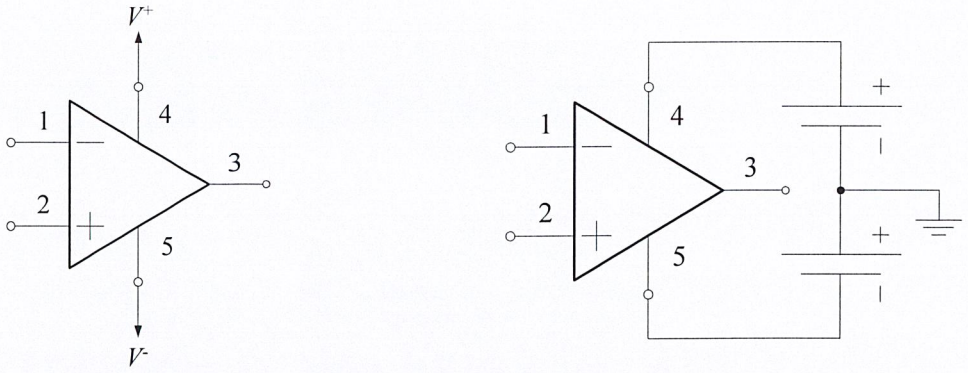
รูปที่ 2.7 แสดง สัญลักษณ์ของ ออปแอมป์



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรเทียบเท่า

เพื่อให้ออปแอมป์ สามารถทำงานกับไฟ DC และ AC ได้จะต้องให้ไฟเลี้ยงบวกและลบดังรูปที่ 2.9 ออปแอมป์ ตัวแรกออกแบบโดยนาย C. A. Lovell ในห้องทดลองของ Bell Lab เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนปืนใหญ่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยที่วงจรภายในสร้างขึ้นจากหลอดสุญญากาศจำนวนมาก ต่อมาในปี ค. ศ. 1948 นาย George Philbrick สามารถออกแบบ ออป-แอมป์ ให้มีขนาดกระทัดรัด ทำให้ ออปแอมป์ ได้รับความนิยมใช้ในงานคำนวณ โดยเป็นส่วนหนึ่งของ Analog Computer เพื่อใช้ในการบวก การลบ การอินทิกรัล และการสเกล ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ Operational amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการต่อไฟเลี้ยงบวกและลบให้แก่ออปแอมป์

ในต้นทศวรรษที่ 1960 ได้มีการใช้ทรานซิสเตอร์แทนหลอดสุญญากาศ ทำให้ขนาดของตัว ออปแอมป์ ลดเหลือเพียงแผ่นวงจรพิมพ์เล็กๆ จึงทำให้มีการใช้งานออปแอมป์แพร่หลายมากขึ้น ไม่ว่าจะในงานปรับแต่งสัญญาณ การใช้งานในเครื่องมือวัดและทดสอบ และระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม

จากความก้าวหน้าในการผลิตวงจรรวม(Integrated Circuit: IC) วงจรทั้งหมดของออป-แอมป์สามารถผลิตรวมไว้บนแผ่นซิลิกอนขนาดจิ๋ว ซึ่งจะถูกบรรจุในตัวถังพลาสติกแบบ DIP 8 ขา ไอซีออปแอมป์ยุคแรกคือ เบอร์ 709 ของบริษัท Fairchild ในปี ค. ศ. 1965 และไอซีออปแอมป์ยุคที่สอง คือ เบอร์ 741 ในปี ค. ศ. 1968 โดยออปแอมป์ 741 ยังคงได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน ราคาของไอซีออปแอมป์นั้นพอๆ กับทรานซิสเตอร์หนึ่งตัว

2.5.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ

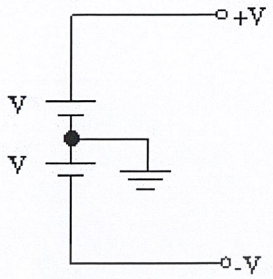
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติกับออปแอมป์ในทางปฏิบัติ

		อุดมคติ	ออปแอมป์ 741
1.อัตราขยายแรงดัน	A_{OL}	∞	200,000 V/V
2.ความต้านทานขาออก	R_o	0	75Ω
3.ความต้านทานขาเข้า	R_i	∞	2 MΩ
4.แบนด์วิธ	BW	∞	1 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

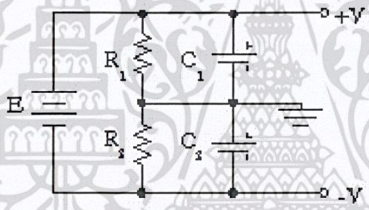
2.5.3 แหล่งจ่ายไฟสำหรับ OP-AMP OP-AMP

ส่วนใหญ่ต้องกรแหล่งจ่ายไฟสองชุด บวกและลบ ชนิดสมมาตร ต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรเทียบเท่าของแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด

อย่างไรก็ตามอาจดัดแปลงแหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ให้เทียบเท่าแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุดได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรเทียบเท่าแหล่จ่ายไฟ 2 ชุด

2.5.4 การใช้ Op-Amp ในวงจรขยายสัญญาณ

1. วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

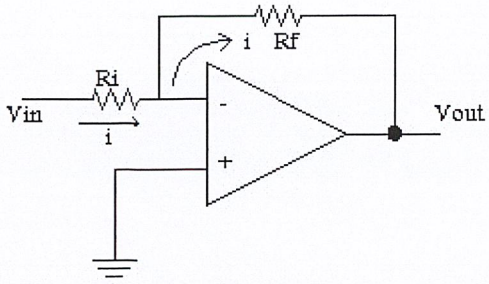
ความต่างศักดิ์ระหว่าง V_{in+} และ $V_{in-} = 0$ ดังนั้นศักย์ดาไฟฟ้าที่ขา $V_{in-} = 0$ กระแสย่าน R_i และ R_f มีค่า i

$$AV = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-iR_f}{-R_i} = \frac{-R_f}{R_i}$$

เพราะฉะนั้น

$$AV = \frac{-R_f}{R_i}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

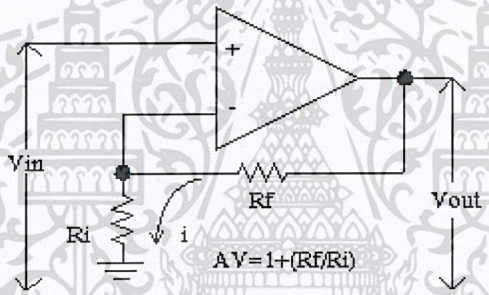


รูปที่ 2.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส [11]

ดังนั้น

$$V_{\text{out}} = -\frac{R_{\text{f}}}{R_{\text{i}}} V_{\text{in}}$$

2. วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส [11]

จากรูป กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_{i} และ R_{f} มีค่า i เท่ากัน ดังนั้น

$$V_{\text{in}} = iR_{\text{i}}$$
$$V_{\text{in}} = i(R_{\text{i}} + R_{\text{f}})$$
$$AV = i(R_{\text{i}} + R_{\text{f}})/iR_{\text{i}}$$
$$AV = (R_{\text{i}} + R_{\text{f}})/R_{\text{i}}$$

หรือ

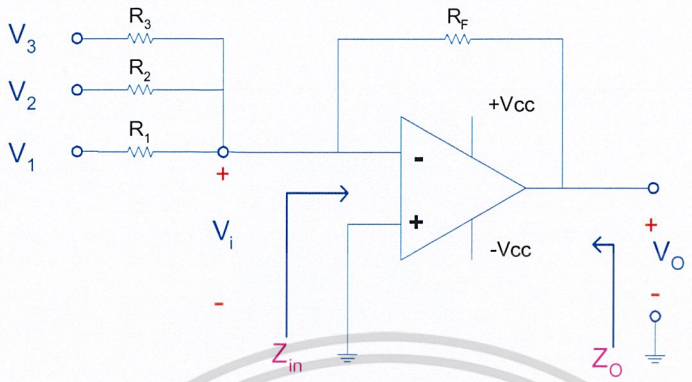
$$AV = 1 + \left(\frac{R_{\text{f}}}{R_{\text{i}}}\right)$$

ดังนั้น

$$V_{\text{out}} = 1 + \left(\frac{R_{\text{f}}}{R_{\text{i}}}\right) V_{\text{in}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 . วงจร Summing Amplifier หรือ วงจรรวมสัญญาณ

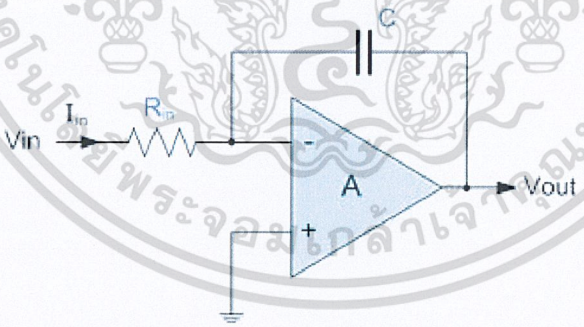


รูปที่ 2.14 แสดงวงจรรวมสัญญาณ

โดยที่

$$V_O = -\left(\frac{RF}{R1}.Vl + \frac{RF}{R2}.V2 + \frac{RF}{R3}.V3 + \ldots\ldots\ldots\right)$$

4. วงจร Integrator



รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Integrator [12]

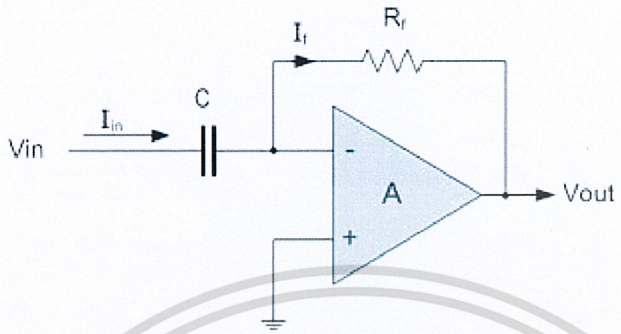
Op-Amp Integrator circuit คือวงจรใช้ ไอ.ซี. ออปแอมป์ สร้างเป็นวงจร Integrator สัญญาณแรงดันอินพุตที่เข้ามา แสดงดังรูปที่ 7-1 โดยมี R_1 เป็น Element Input และมี C เป็น Feed Back Element วงจรจะต่อกลับกันกับวงจร Differentiator สมการของแรงดันขาออกจะเป็นไปตามสมการของการ Integrator สัญญาณแรงดันขาเข้า ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$V_{out} = -\frac{1}{RC}\int V_{in}\,dt$$

5 . วงจร Differentiator



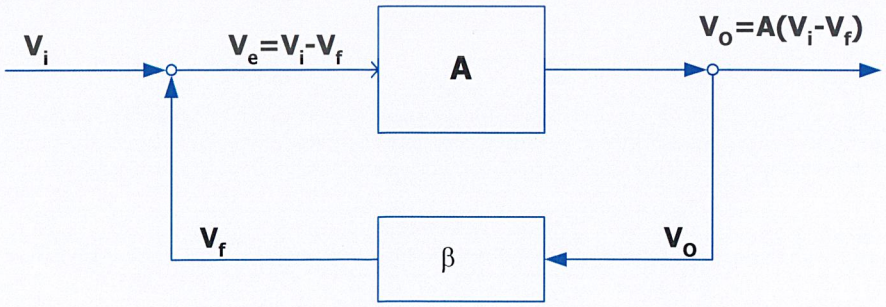
รูปที่ 2.16 แสดงวงจร Differentiator [13]

Differentiator Circuit Op-Amp คือวงจรใช้ ไอ.ซี. ออปแอมป์ สร้างเป็นตัว Differentiator สัญญาณอินพุท แสดงดังรูปที่ 2.16 โดยมี C เป็น Element Input และมี R1 เป็น Feed Back Element มีสามการดังนี้

$$V_{out} = -RC\frac{dV_{in}}{dt}$$

2.5.5 Feedback Theory

เป็นการป้อนกลับของสัญญาณจาก เอาท์พุท กลับมาทางอินพุทอีกครั้ง ซึ่งจะมีสองแบบ คือ ป้อนกลับแบบกลับมาเสริมกับอินพุท(Positive Feedback) หรือ ป้อนกลับแบบกลับมาหักล้างกับอินพุท (Negative Feedback)



รูปที่ 2.17 แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงจรป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117373

โดยที่

$$A = \frac{V_o}{V_e} \quad \text{และ} \quad \beta = \frac{V_f}{V_o}$$

$$V_o = A(V_i - V_f)$$

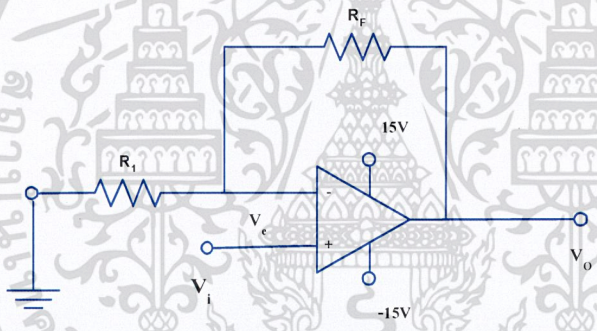
$$V_o = A(V_i - \beta V_o)$$

$$V_o(1 + \beta A) = AV_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A}{1 + \beta A} \text{ หรือ } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1/\beta}{1 + 1/\beta A}$$

1. วงจร Noninverting Amplifier

เป็น Feedback Amp แบบ Negative Feedback



รูปที่ 2.18 แสดงวงจร Noninverting Amplifier แบบ Negative Feedback

โดยที่

$$V_o = A(V_i^+ - V_i^-)$$

$$V_i^- = \frac{R_1}{R_1 + R_F} \cdot V_o$$

V_i^- คือ โวลท์เตทที่ป้อนกลับมาหักล้างกับอินพุท

$$V_i^- = V_F$$

$$\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_F}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1/\beta}{1 + 1/\beta A} = \frac{R_1 + R_F/R_1}{1 + (R_1 + R_F)/AR_1}$$

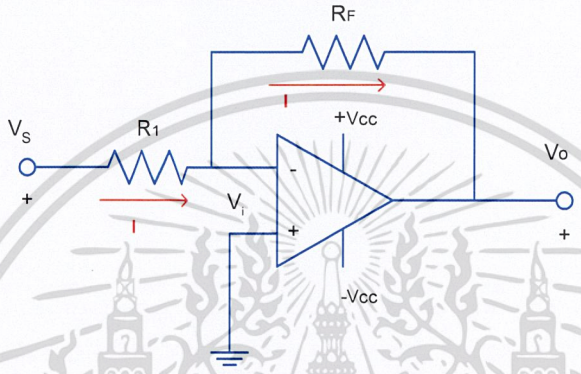
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่า A มีค่าสูงมากสำหรับ OP-Amp

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = \frac{R_1 + R_F}{R_1} = \frac{1}{\beta}$$

2. วงจร Inverting Amplifier

เป็น Feedback Amp แบบ Negative Feedback เหมือนกับวงจร Noniverting Amp



รูปที่ 2.19 แสดงรวงจร Inverting Amplifier Amplifier แบบ Negative Feedback

$$I = \frac{V_S - V_i^-}{R_1} = \frac{V_i^- - V_O}{R_F} \quad \text{.....(1)}$$

แต่

$$V_i^- = -\frac{V_O}{V_A}$$

จากสมการ (1)

$$\frac{V_S}{R_1} + \frac{V_O}{AR_1} = \frac{V_O}{AR_F} - \frac{V_O}{R_F}$$

สามารถดัดแปลงเป็น

$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \frac{-R_F/R_1}{1+(R_1+R_F)/AR_1} \quad \text{.....(2)}$$

เนื่องจากค่า A มีค่าสูงมากสำหรับ OP-Amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \frac{R_F}{R_1}$$

ถ้า

$$\beta = \frac{V_f}{V_O} = \frac{R_1}{R_1 + R_F}$$

จากสมการ (2)

$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \frac{-R_F/R_1}{1+1/\beta A}$$

$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \frac{R_F\,(R_1+R_F)/R_1}{(R_1+R_F)(1+\frac{1}{\beta A})}$$

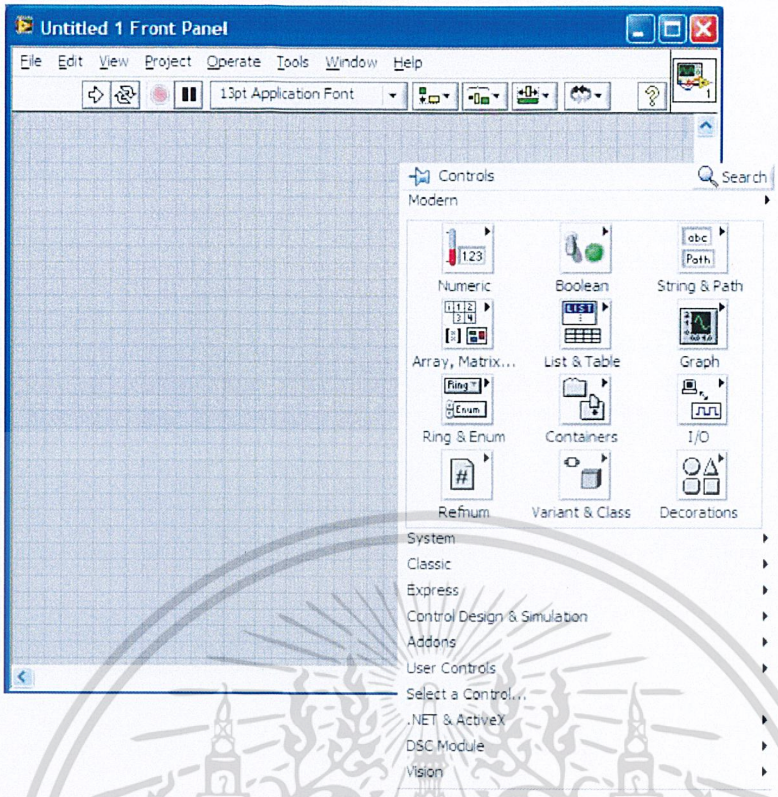
$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = -\frac{R_F}{(R_1+R_F)} \cdot \frac{1/\beta}{1+1/\beta A}$$

2.6 LabVIEW[12]

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นซอฟท์แวร์จากบริษัท National Instruments ที่แรกเริ่มนั้น วางตัวเป็นซอฟท์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองในห้องปฏิบัติการหรือในโรงงานอุตสาหกรรม โดยจุดเด่นของ LabVIEW ก็คือ การเป็นภาษาโปรแกรมมิ่งแบบกราฟฟิก (Graphic programming language) ที่สมบูรณ์แบบ คือ ทุกๆ ฟังก์ชันทดแทนด้วยกราฟฟิกทั้งหมด ไม่เหมือนกับชุดพัฒนาแอพพลิเคชันอื่นๆที่ต้องมีภาษาโปรแกรมมิ่งแบบ text มารองรับ เช่น Visual Studio จะเป็น BASIC, C++ แต่ในปัจจุบันด้วยความสามารถที่มากขึ้น LabVIEW จึงถูกมองว่าไม่ใช่เป็นเพียงแค่ภาษาโปรแกรมมิ่งแบบกราฟฟิกที่โดดเด่นสำหรับเครื่องมือต่างๆ เท่านั้น แต่กลับเป็น Application Tool ที่ช่วยทำให้การพัฒนางานซอฟท์แวร์สำหรับการใช้งานจริงเป็นไปได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

LabVIEW นั้น จะมีหน้าจอที่ทำหน้าที่สื่อสารกับผู้ใช้งาน โดยเฉพาะ หน้าจอนี้เรียกว่า Front panel โดยมีกลุ่มอุปกรณ์ที่เรียกว่า “Control” ให้เลือกใช้มากมาย ซึ่งจะช่วยให้งานออกมาดูเป็นซอฟท์แวร์มาตรฐาน เช่น ปุ่มกดหลากหลายประเภท กราฟและชาร์ต Ring text ที่สำคัญก็คือ การเลือก Control ในหน้าจอ Front panel จะปรากฏบล็อก Function ใน หน้าจอ Block Diagram เพื่อการเขียนโปรแกรมในทันที

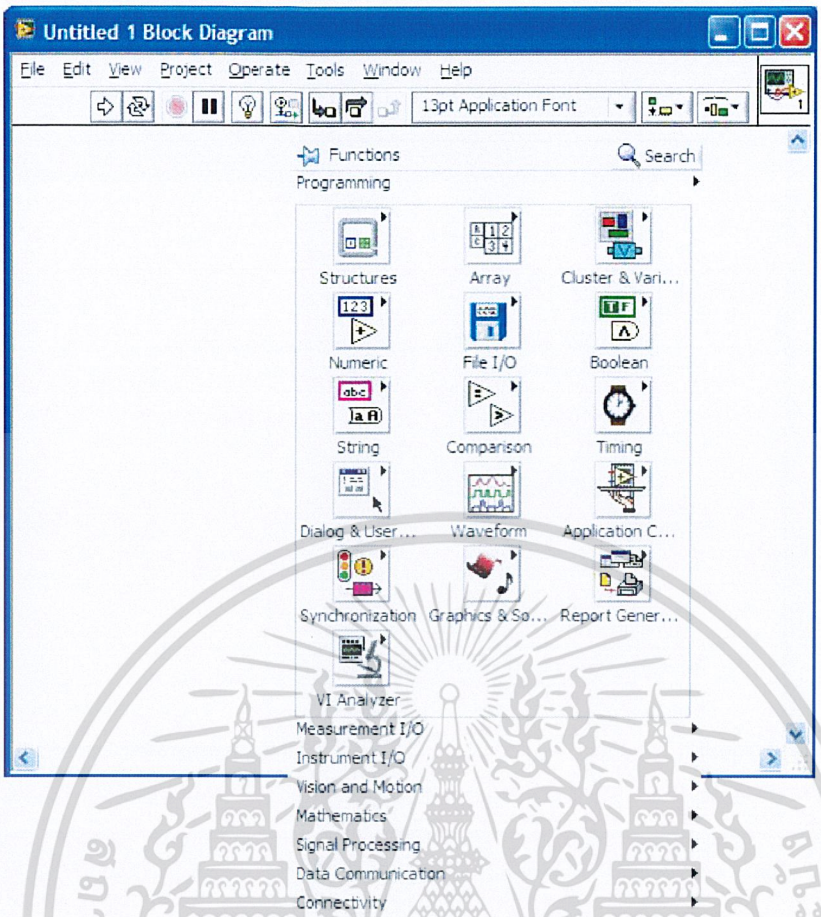
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงหน้าจอ Front Panel และชุด Controls

พื้นที่ส่วนเขียน โปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด ซึ่งหน้าจอนี้จะทำงานร่วมกับหน้าจอ Front panel อยู่ตลอดเวลา การทำงานของโปรแกรมใน LabVIEW นั้นใช้หลักการที่เรียกว่า การไหลของข้อมูลหรือ “Data Flow Programming” ทำให้การดีบักโปรแกรมทำได้ง่ายเพราะแต่ละขั้นตอนการทำงานจะแสดงเป็นเส้นทางเดินของลูกบอลสีแดงวิ่งไปตามเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างบล็อกเพื่อแสดง การไหลของข้อมูลในขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงหน้าจอ Block Diagram และชุด Functions

LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ผู้ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจากการ์ด DAQ

(สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานโดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 Data Acquisition

Data Acquisition หรือเรียกแบบย่อว่า DAQ คือกระบวนการอ่านค่าสัญญาทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ แล้วนำมาเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์

หน้าที่ของอุปกรณ์ DAQ

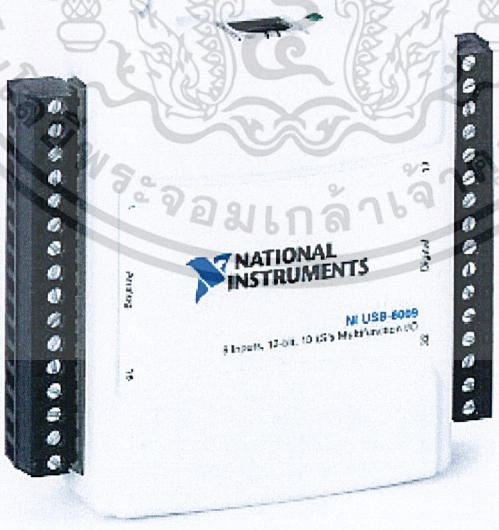
1.Analog Input สำหรับรับสัญญาณอะนาล็อก ซึ่ง DAQ จะรับได้หลายช่องสัญญาณพร้อมกันตั้งแต่ไม่กี่ช่อง จนถึงหลักร้อย ซึ่งใช้ในการวัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ ปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10V จนถึง +10V แต่ก็มีรุ่นพิเศษที่สามารถวัดได้มากกว่านั้น

2.Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอะนาล็อก ทั้งแบบ DC/AC ที่เป็น Waveform

3.Digital I/O ใช้ในการรับหรือสร้างสัญญาณดิจิตอล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกอย่างเช่น สวิตช์ รีเลย์ หรือ LED เป็นต้น

4.Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse

ในโครงงานนี้ได้ใช้อุปกรณ์ DAQ รุ่น USB-6009 ซึ่งเป็น DAQ รุ่นเล็กที่มีฟังก์ชันพื้นฐานทั้งสี่อย่างครบถ้วน โดยมีจำนวนช่อง Analog Input สำหรับวัดแรงดันที่อยู่ในช่วง +/- 10V จำนวน 8 ช่อง ที่ความเร็ว Sampling Rate 48S/s, Analog Output 2 ช่อง, Digital I/O 12 ช่อง และCounter สำหรับการนับ 1 ตัว โดยใช้ไฟเลี้ยงจากสาย USB จึงไม่ต้องต่อสายเพาเวอร์ให้ยุ่งยาก พร้อมช่องต่อสายสัญญาณแบบขันสกรูในตัว



รูปที่ 2.22 แสดงอุปกรณ์ Data Acquisition รุ่น USB-6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณอลวน

วงจรอลวนเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณไม่ซ้ำกันและไม่สามารถคาดเดาได้ แต่จะอยู่ในขอบเขตของสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) จากการศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการสร้างสัญญาณเคออสอย่างง่ายของ Sprott ซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ ดังนี้

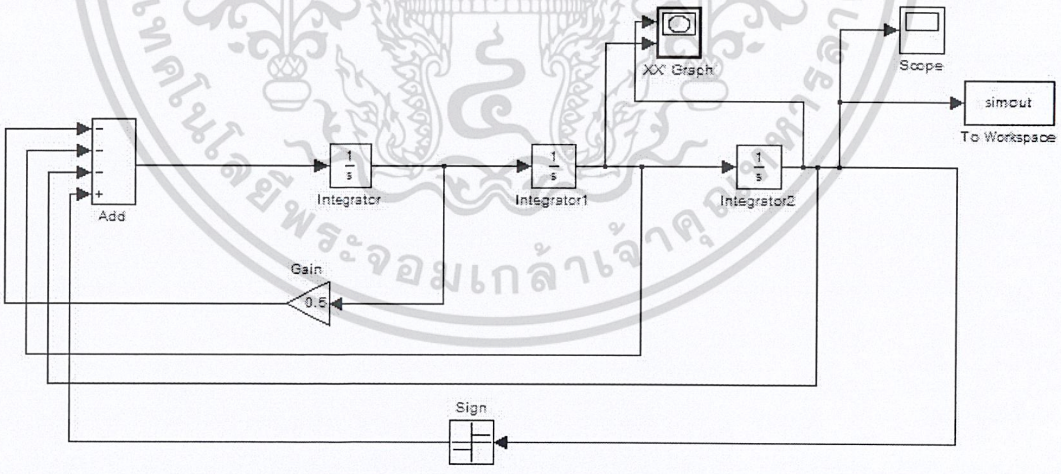
$$\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(x) \quad \text{.....[1]}$$

$$\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} + x - \text{sgn}(x) \quad \text{.....[2]}$$

$$\dddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{H}(x) \quad \text{.....[3]}$$

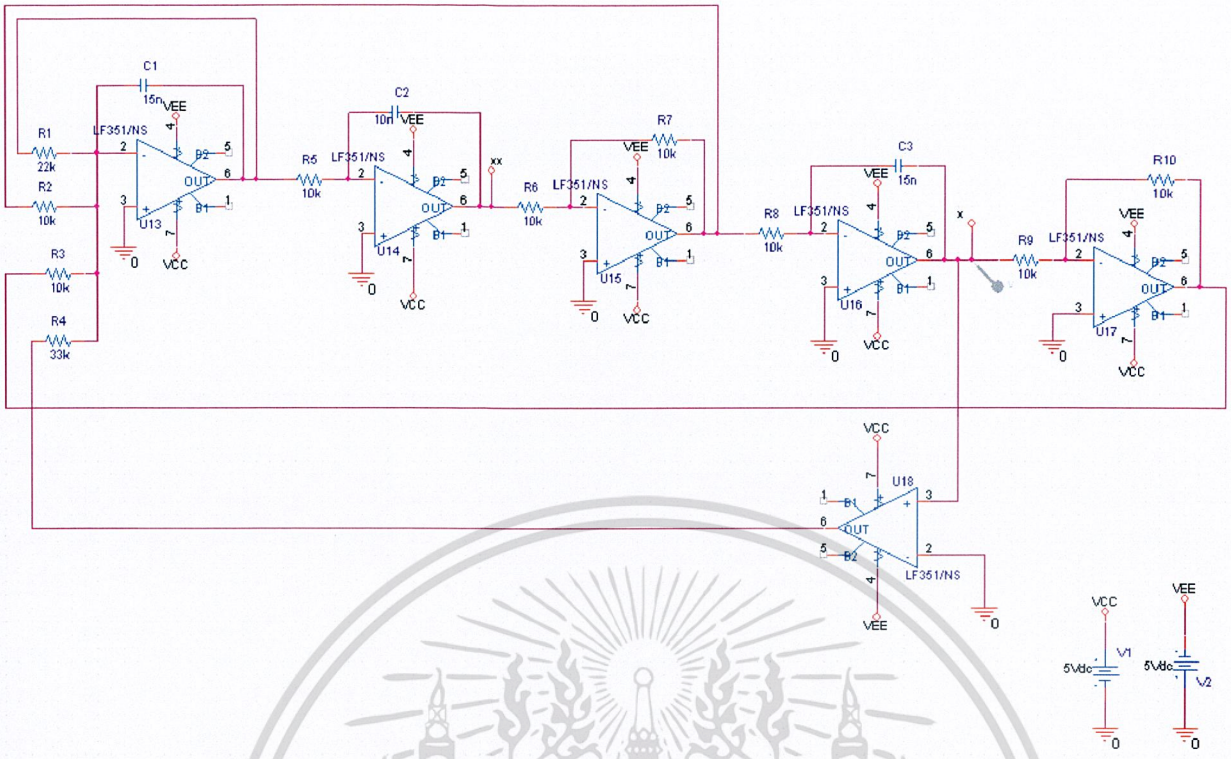
จากสมการทั้งสาม นำมาออกแบบวงจรโดยใช้โปรแกรม MatLab และออกแบบวงจรไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Pspice ซึ่งใช้หลักการของออปแอมป์ในการสร้างวงจรกลับเฟส (Inverting Amplifier) และวงจร Integrator ดังนี้

1. $\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(x)$



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรของสมการที่ 1 ที่ได้จากโปรแกรม MatLab

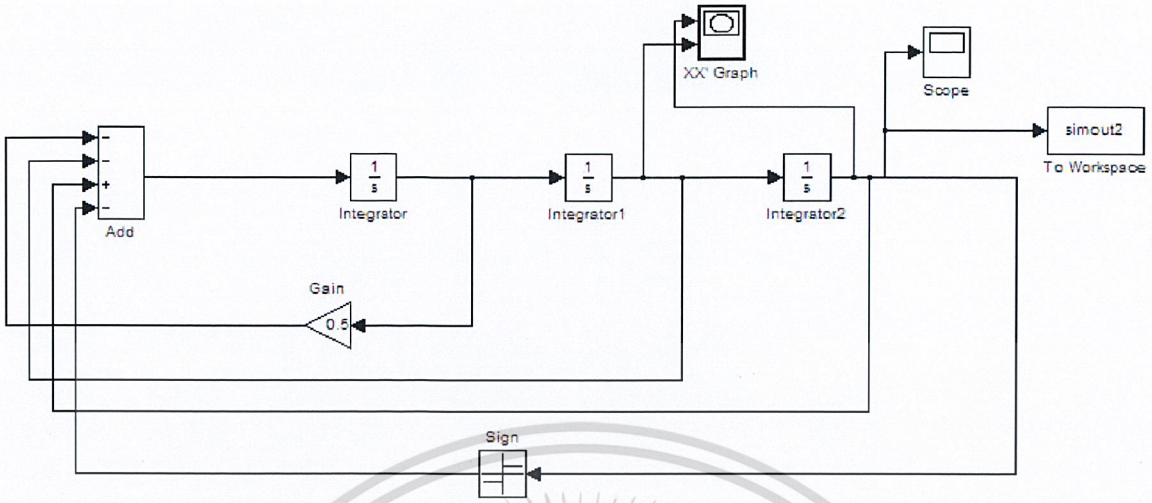
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



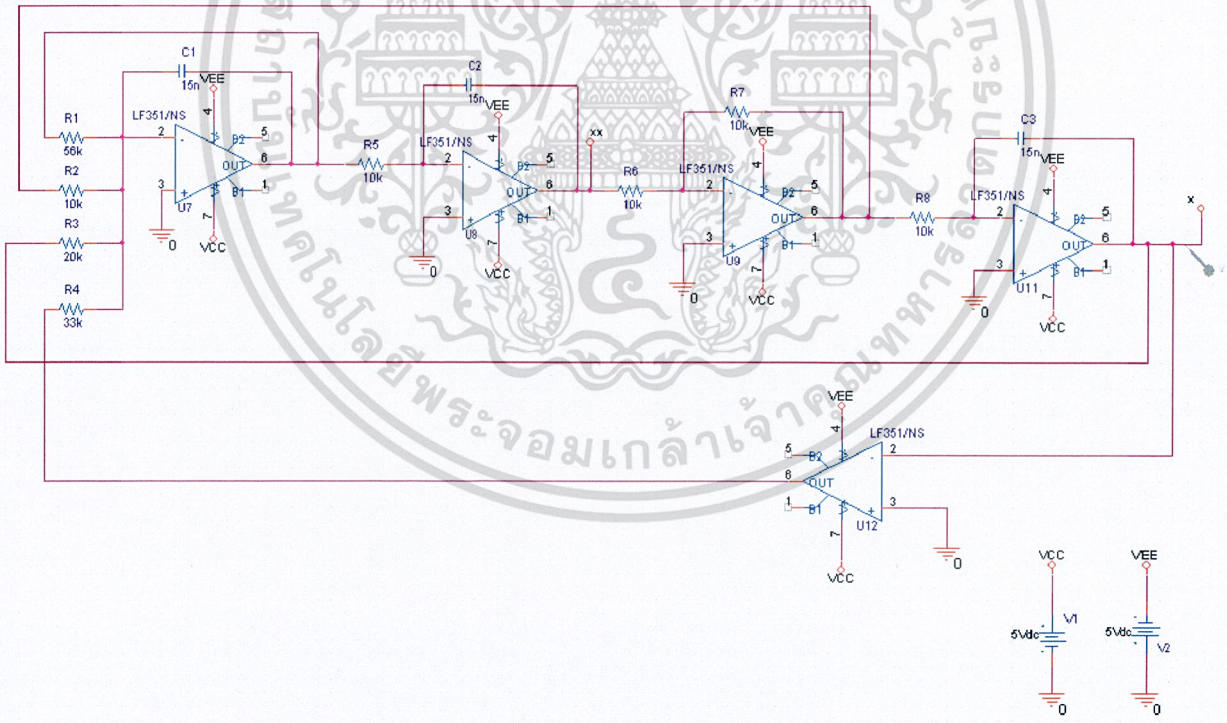
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 1 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. $\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} + x - \text{sgn}(x)$



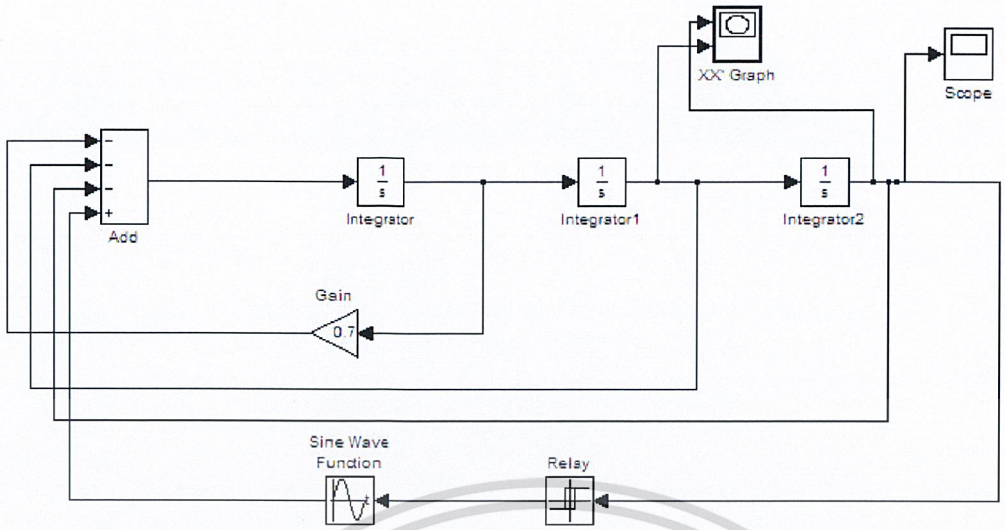
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรของสมการที่ 2 ที่ได้จากโปรแกรม MatLab



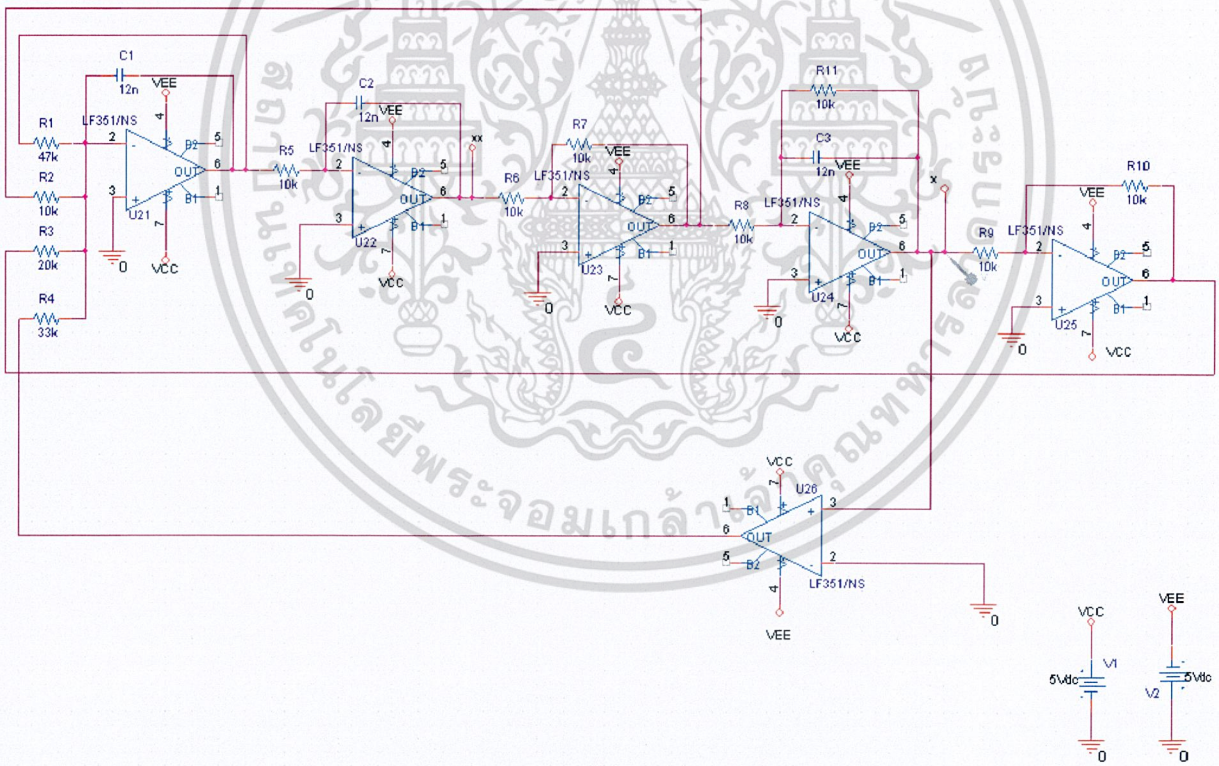
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 2 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

3. $\dddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{H}(x)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรของสมการที่ 3 ที่ได้จากโปรแกรม MatLab



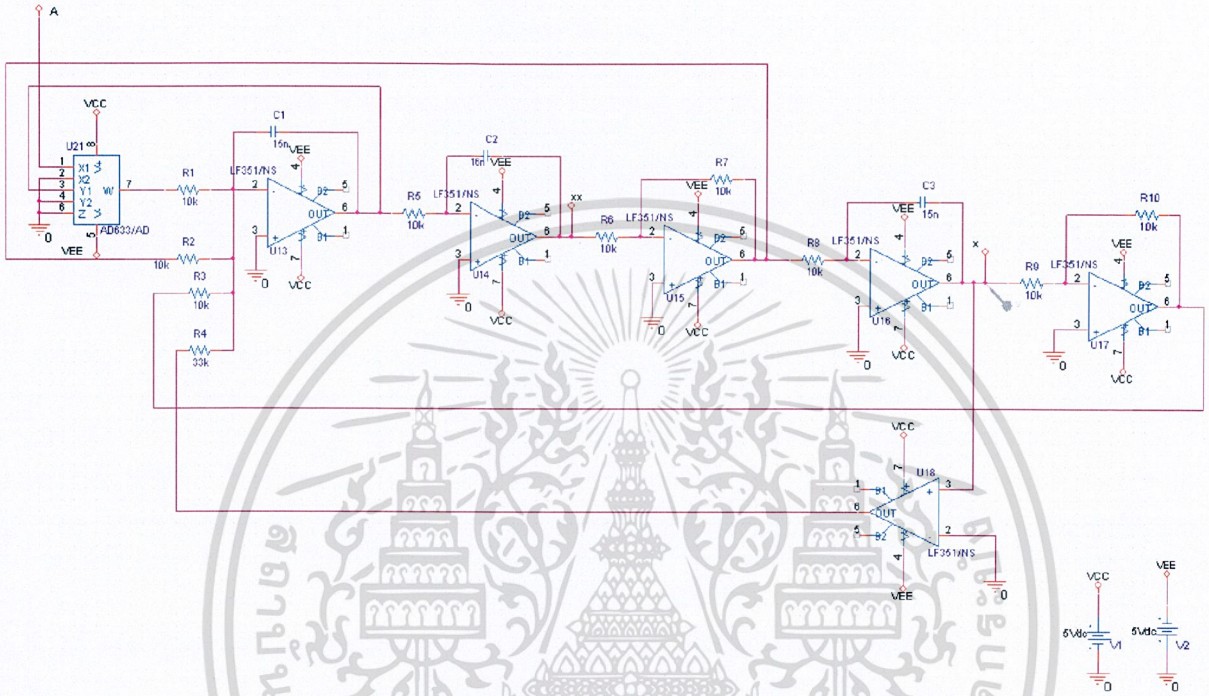
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 3 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการทดลอง

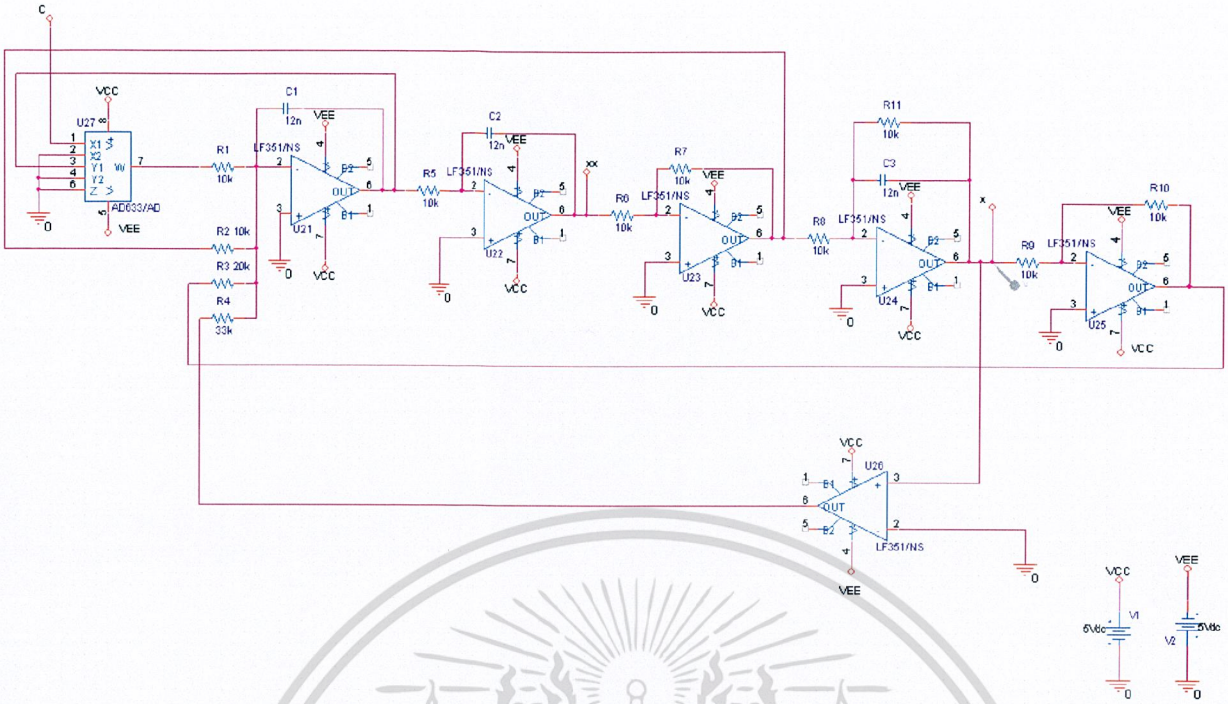
3.2.1 ตอนที่ 1 การหาค่าความเป็นเคออสอย่างอ่อน(Weak Chaos)

ทำการทดลองดัดแปลงวงจรที่ได้จากสมการของ Sprott โดยเพิ่มไอซี AD633 เข้าไปในวงจรที่ได้จากสมการที่ 1 และ 3 เพื่อเป็นการคูณสัญญาณแรงดันเข้าไปในวงจร เพื่อให้ได้คลื่นที่มีความถี่ต่ำแต่ยังคงคุณสมบัติความเป็นเคออสติค (Weak Chaos) อยู่



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 1 โดยเพิ่มไอซี AD633

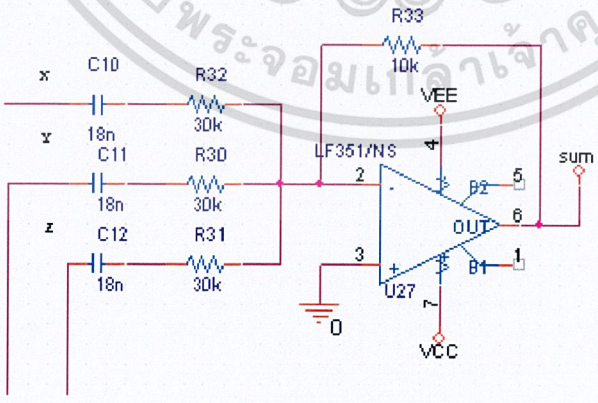
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 3 โดยเพิ่มไอซี AD633

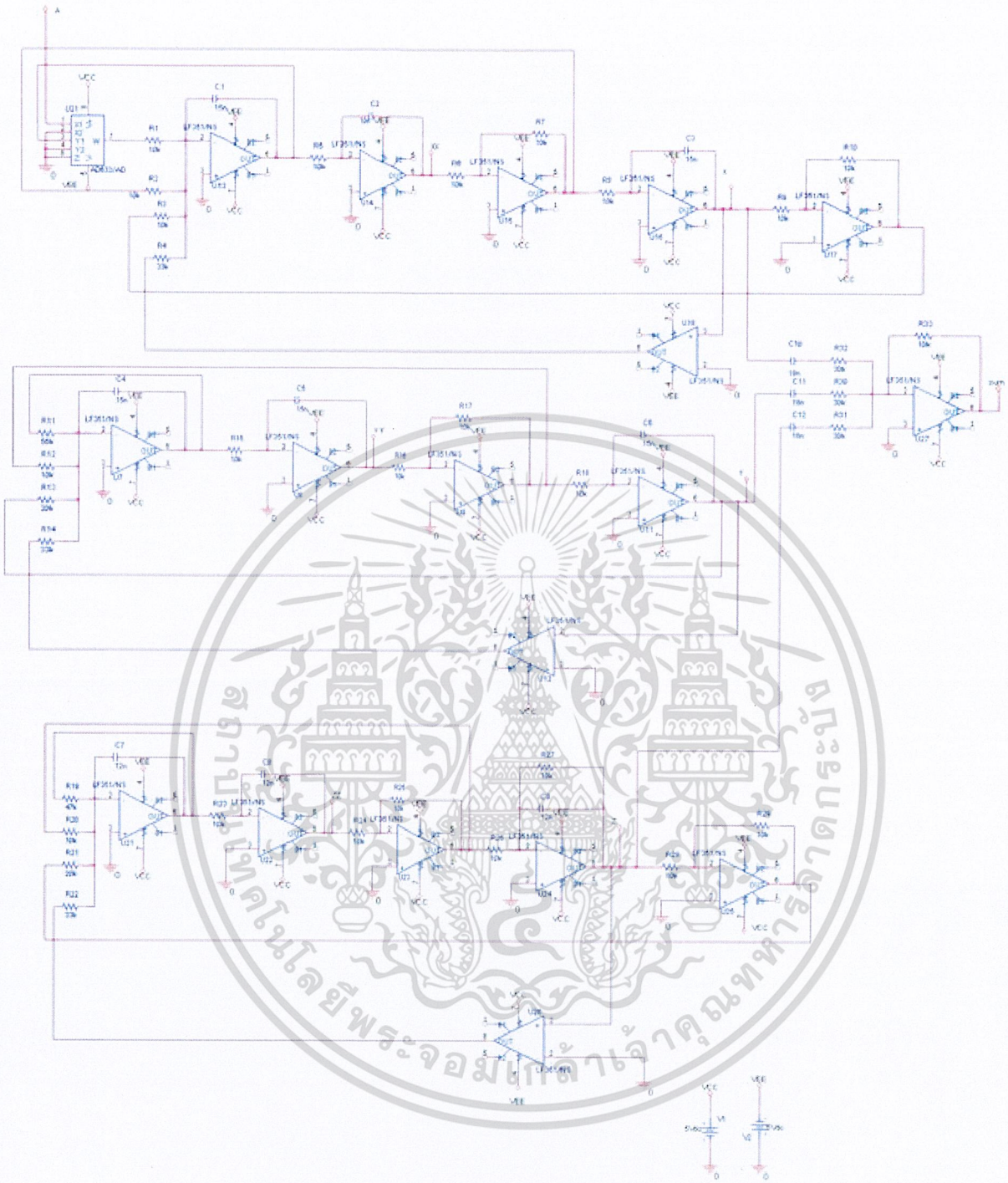
3.2.2 ตอนที่ 2 การสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

เพื่อให้ได้สัญญาณจำลองของคลื่นสมอง จะต้องนำสัญญาณที่ได้จากวงจรเคออสอย่างอ่อน(Weak chaos)ในการทดลองตอนที่ 1 มารวมกัน ผ่านวงจรรวมสัญญาณ (summing circuit) ดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรรวมสัญญาณ (Summing circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

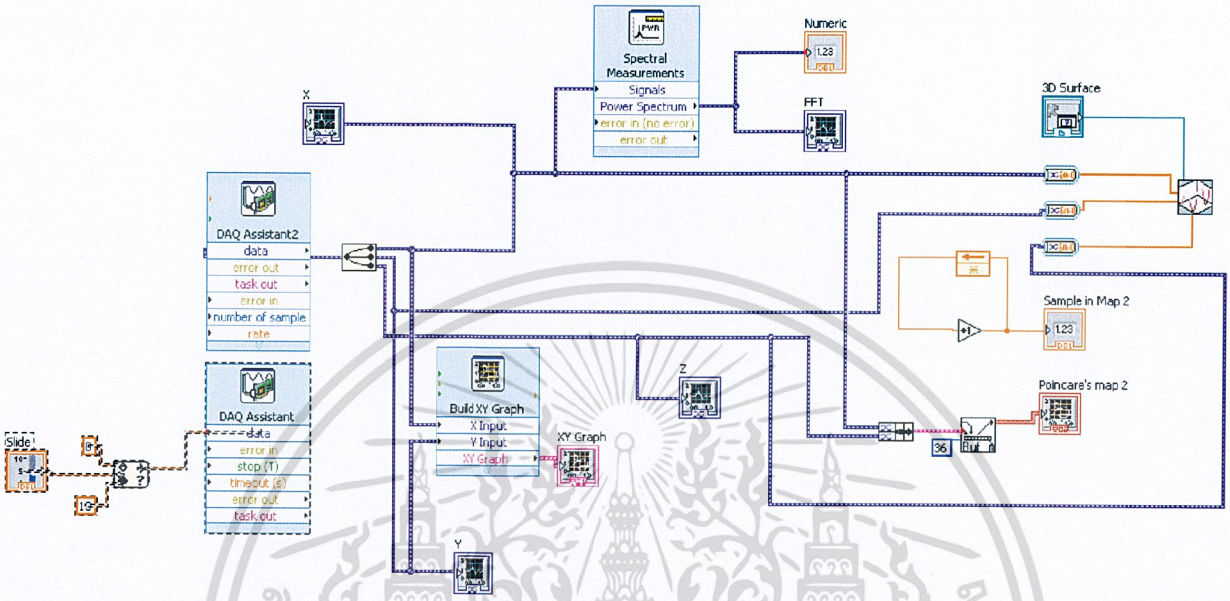


รูปที่ 3.10 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

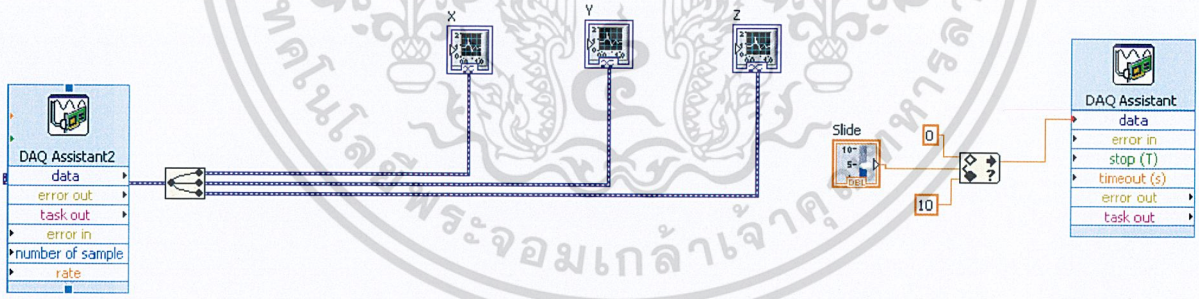
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดลอง

ในการทดลองการสร้างสัญญาณเลียนแบบคลื่นสมอง จะใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง โดยใช้ซอฟแวร์ LabView ในการออกแบบโปรแกรม โดยออกแบบหน้าจอ Block Diagram เพื่อการโปรแกรมควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆดังนี้

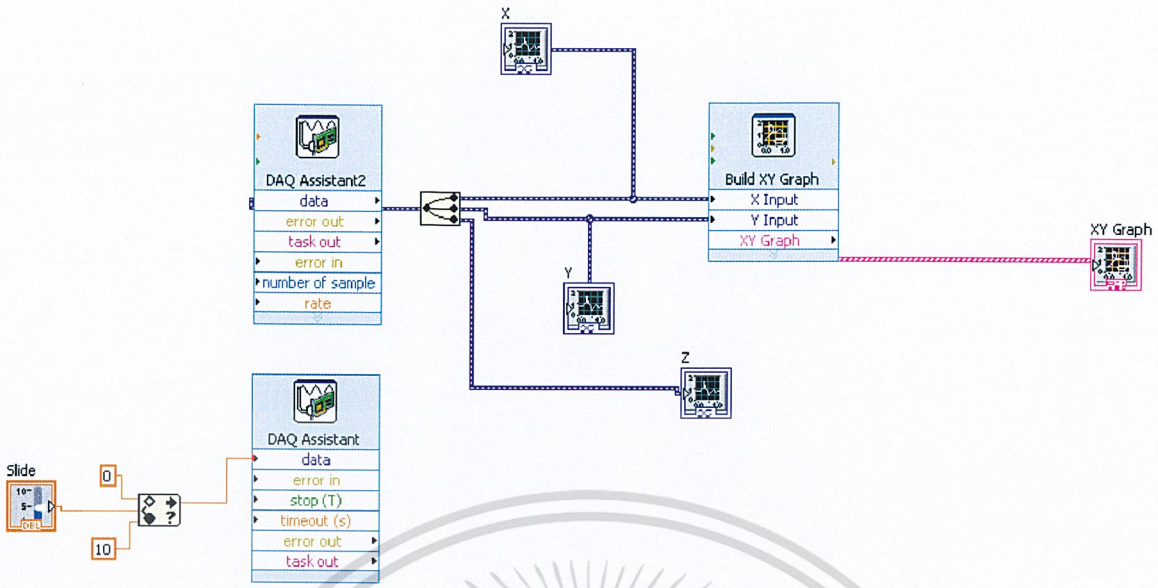


รูปที่ 3.11 แสดง Block Diagram ทั้งหมดของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

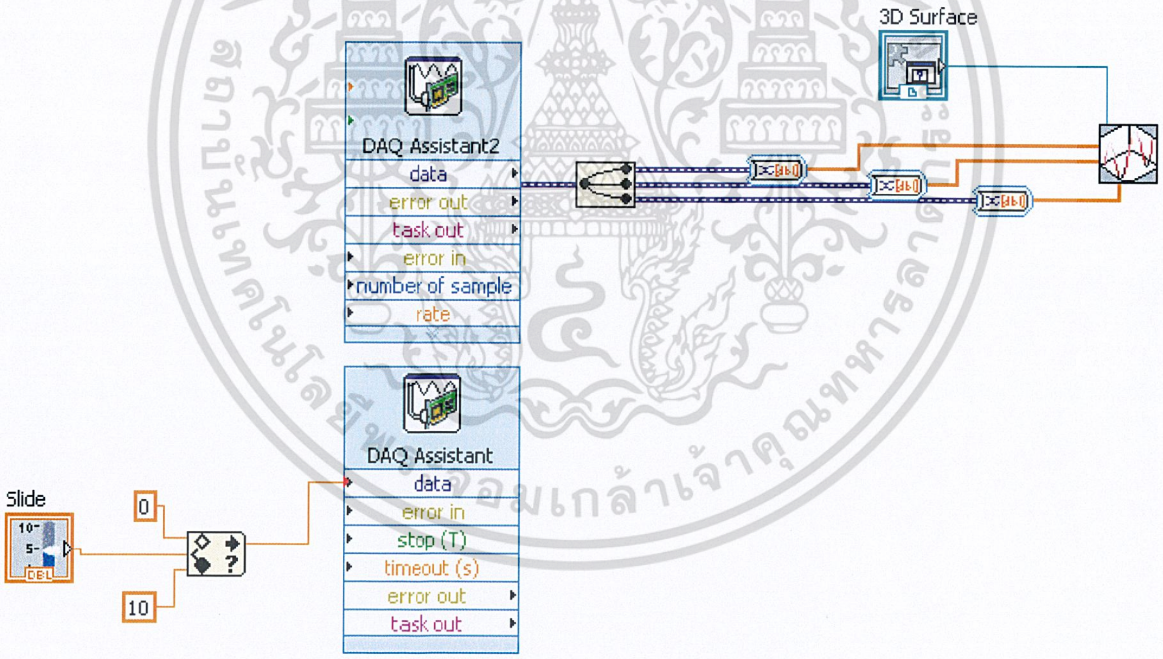


รูปที่ 3.12 แสดง Block Diagram ในส่วนของการแสดงกราฟแรงดันเทียบกับเวลา และการกำหนดค่าแรงดันป้อนกลับให้กับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

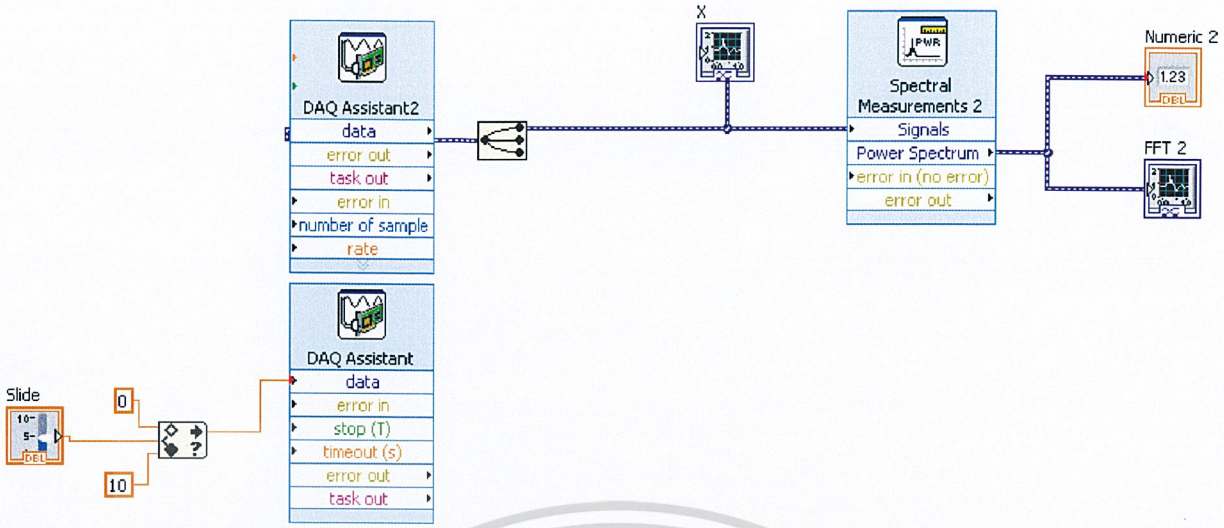


รูปที่ 3. 13 แสดง Block Diagram ในส่วนของกราฟแสดงความอลวล

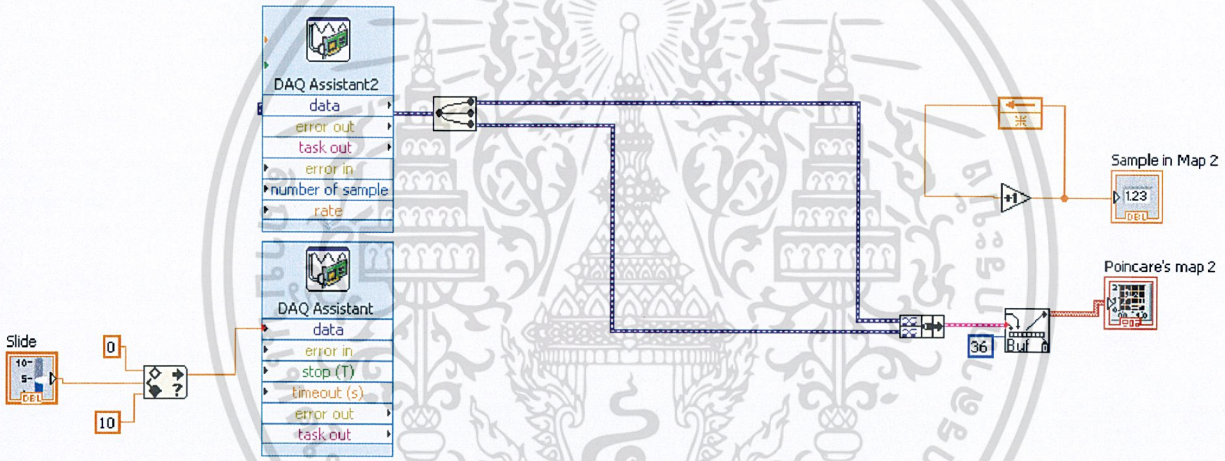


รูปที่ 3. 14 แสดง Block Diagram ในส่วนของการแสดงกราฟแบบสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 15 แสดง Block Diagram ในส่วนของการหาค่า Fast Fourier Transform (FFT)



รูปที่ 3. 16 แสดง Block Diagram ในส่วนของ Poincare's map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 ตอนที่ 1 การหาความเป็นเคออสอย่างอ่อน (Weak Chaos)

1. ต่อวงจรที่ได้จากสมการ 1 ที่ผ่านการเพิ่มไอซี *AD633* ในวงจรแล้วเข้ากับเครื่อง NI USB 6009
2. ปรับค่าพารามิเตอร์ a ผ่านโปรแกรมที่เขียนใน LabView
3. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปของกราฟแรงดันเทียบกับเวลา
4. วัดค่าความถี่ผ่านเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล
5. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของกราฟแสดงความอลวล
6. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของกราฟสามมิติ
7. หาค่า Frequency spectra (FFT) ผ่านโปรแกรมที่เขียนใน LabView
8. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของกราฟแสดงค่า Frequency spectra (FFT)
9. หาค่า Poincare's map ผ่านโปรแกรมที่เขียนใน LabView
10. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของกราฟแสดงค่า Poincare's map
11. ทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองตั้งแต่ข้อ 1 - 10 โดยเปลี่ยนเป็นวงจรที่ได้จากสมการที่ 3 ตามลำดับ

4.1.2 ตอนที่ 2 การสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

1ใ นำวงจรที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 ที่มีความเป็นเคออสอย่างอ่อน(Weak chaos) มารวมกัน ผ่านวงจรรวมสัญญาณ (summing circuit)

2. ปรับค่าพารามิเตอร์ a ผ่านโปรแกรมที่เขียนใน LabView
3. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของกราฟแรงดันเทียบเวลา
4. วัดค่าความถี่ผ่านเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล
5. หาค่า Fast Fourier Transform (FFT) ผ่านโปรแกรมที่เขียนใน LabView
6. บันทึกผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของกราฟแสดงค่า Fast Fourier Transform (FFT)

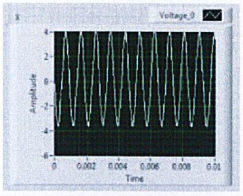
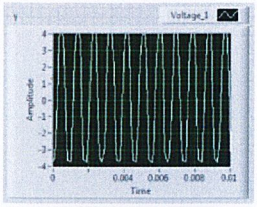
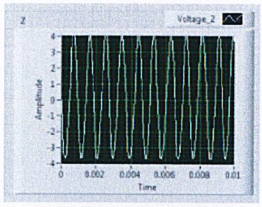
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

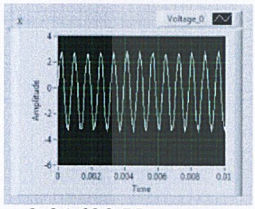
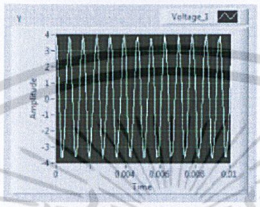
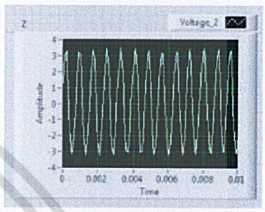
4.2.1 ตอนที่ 1 การหาความเป็นเคออสอย่างอ่อน (Weak Chaos)

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรที่ 1 (จากสมการที่ 1 : $\dddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \mathrm{sgn}(x)$)

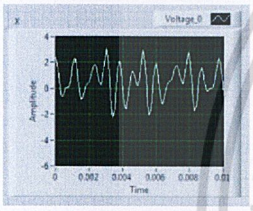
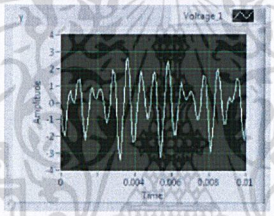
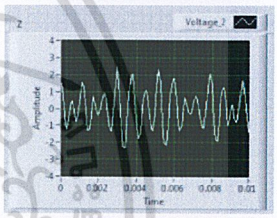
a = 0 V

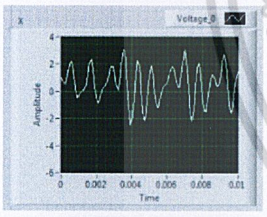
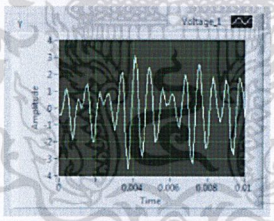
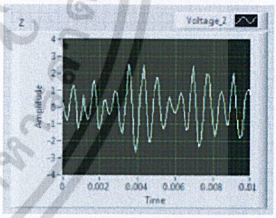
a = 3.26531 V

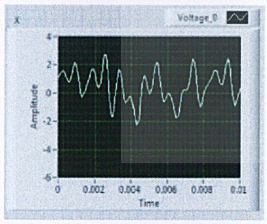
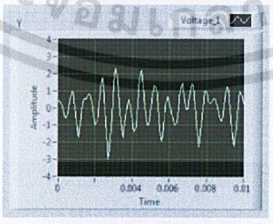
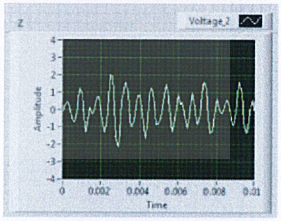
a = 3.31633 V

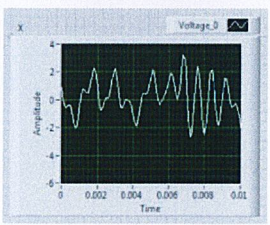
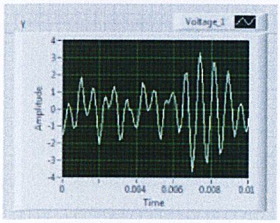
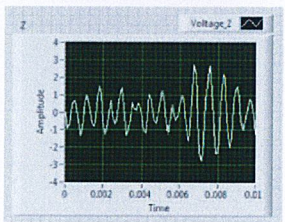
a = 4.13215 V

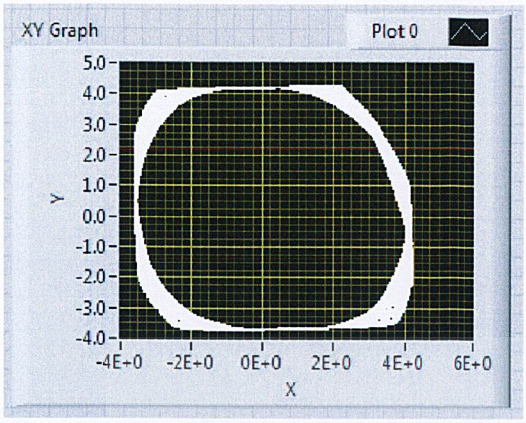
a = 4.59184 V

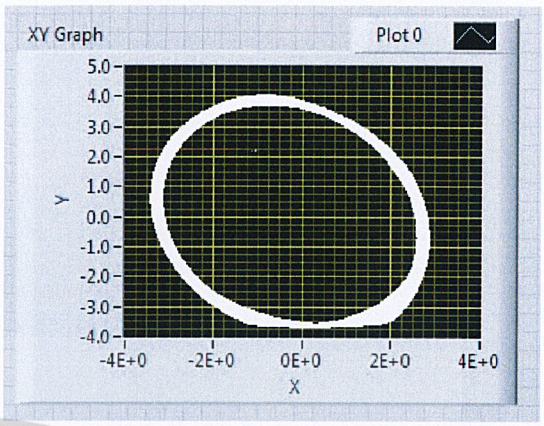
a = 5 V

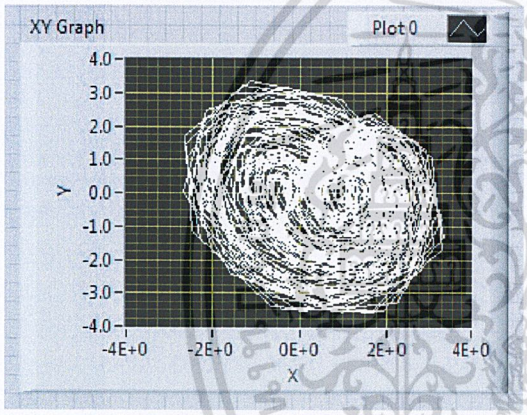
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



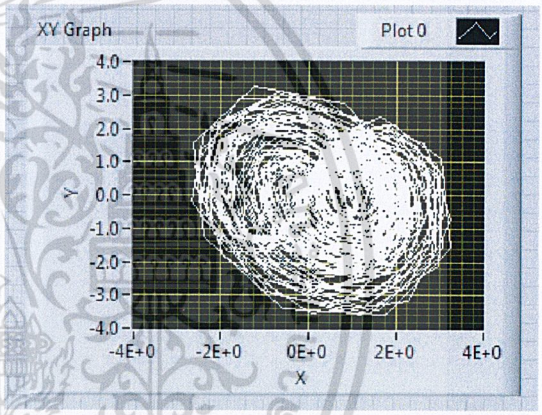
a = 0 V



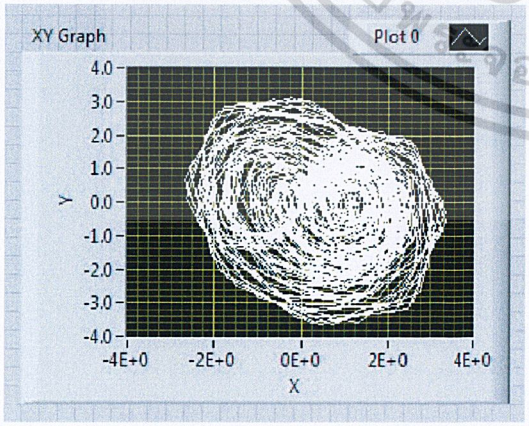
a = 3.26531 V



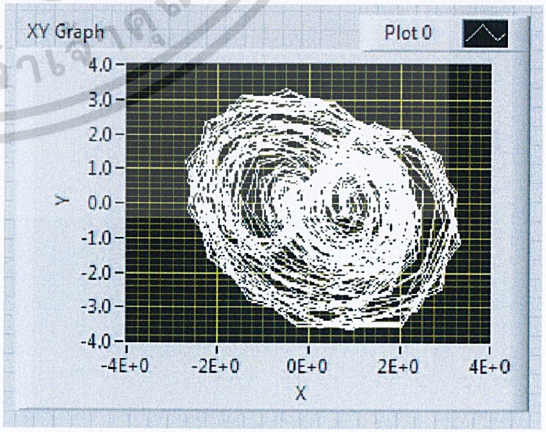
a = 3.31633 V



a = 4.13265V



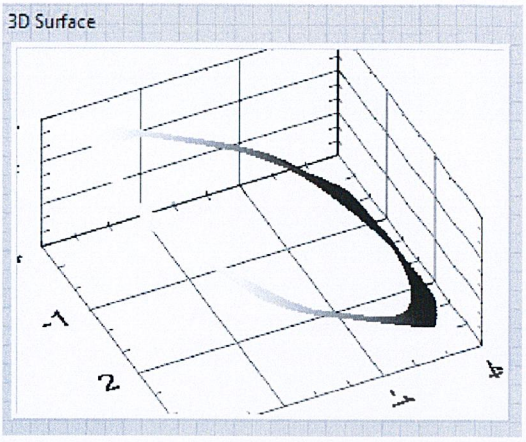
a = 4.59184 V



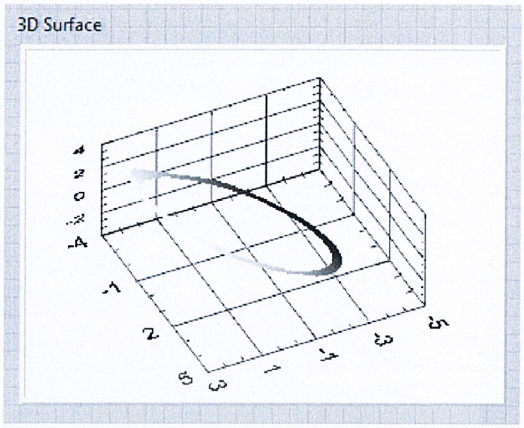
a = 5 V

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟแสดงความอลวล

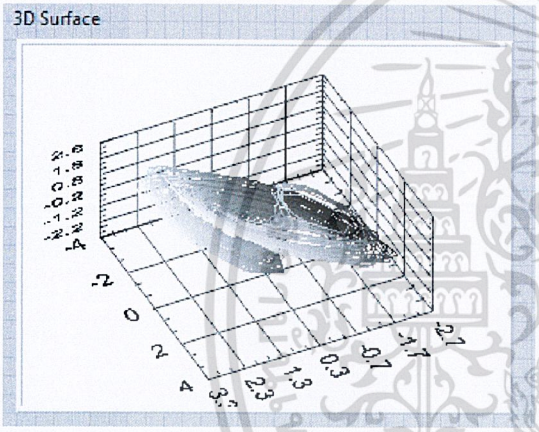
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



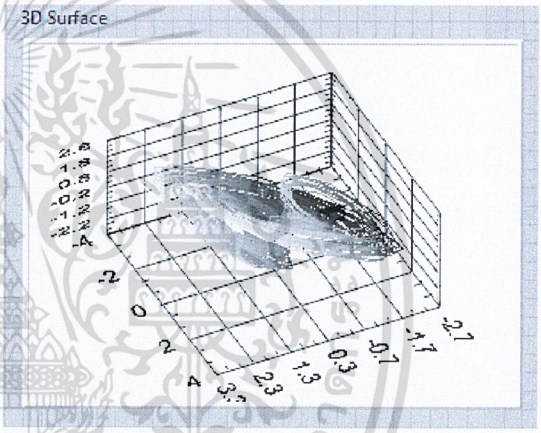
a = 0 V



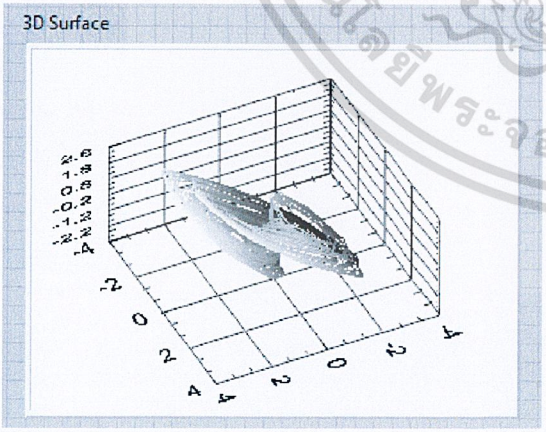
a = 3.26531 V



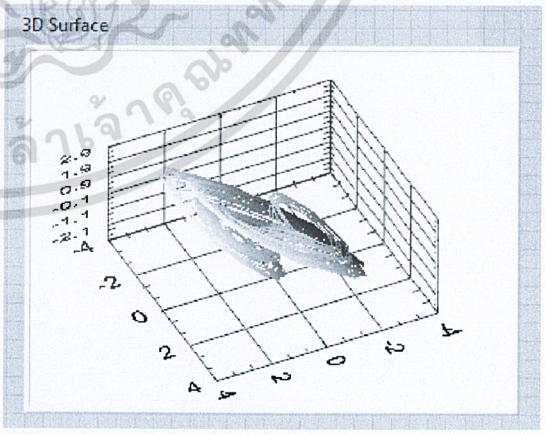
a = 3.31633 V



a = 4.13265V



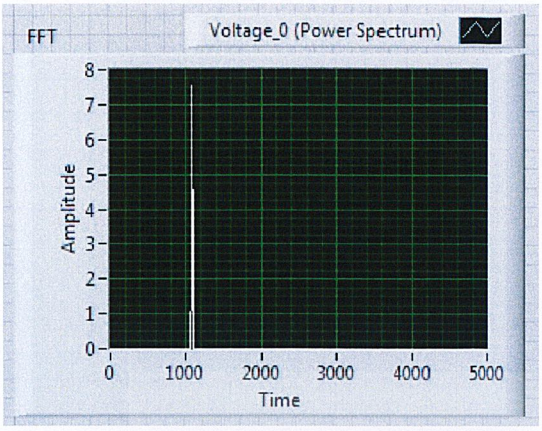
a = 4.59184 V



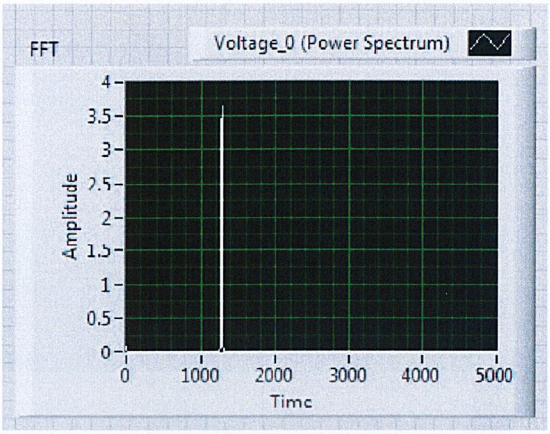
a = 5 V

รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟสามมิติ

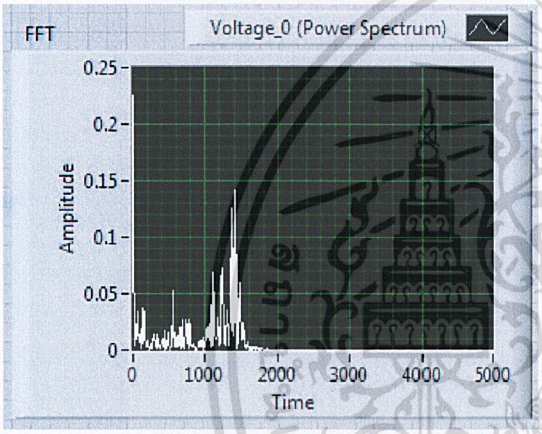
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



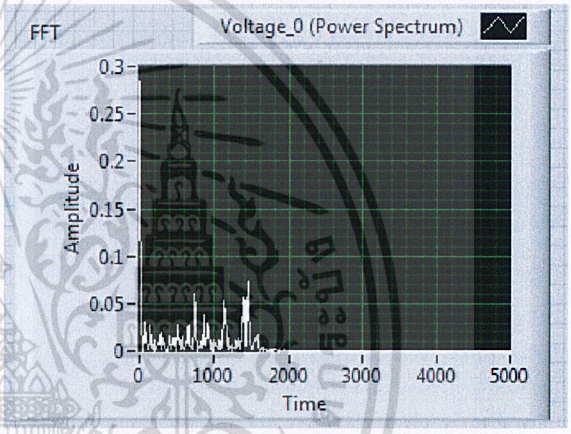
a = 0 V



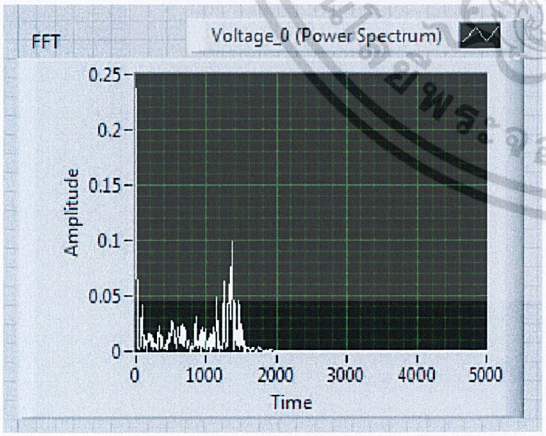
a = 3.26531 V



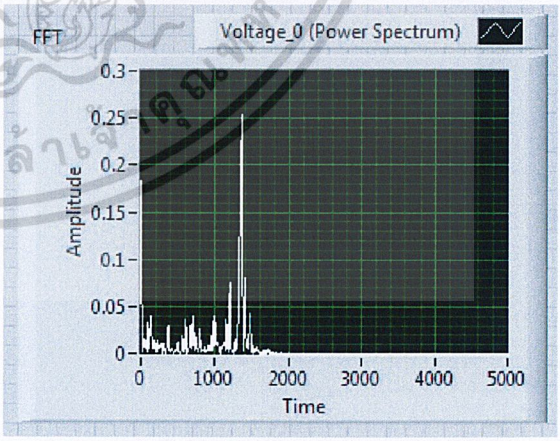
a = 3.31633 V



a = 4.13265V



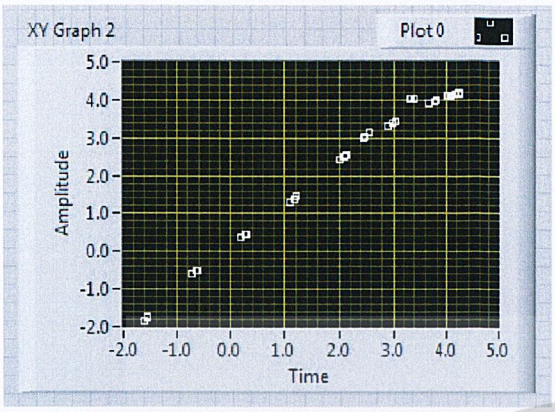
a = 4.59184 V



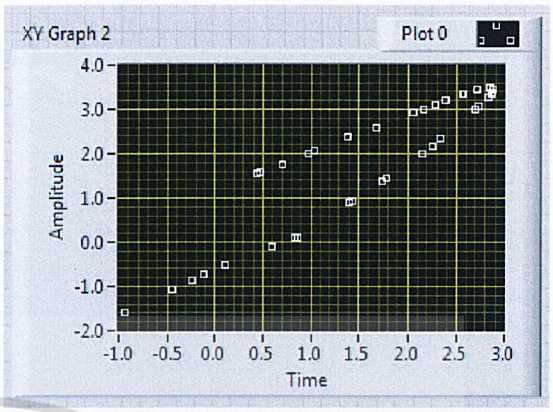
a = 5 V

รูปที่ 4.3 แสดงค่า Frequency spectra (FFT) จากการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V

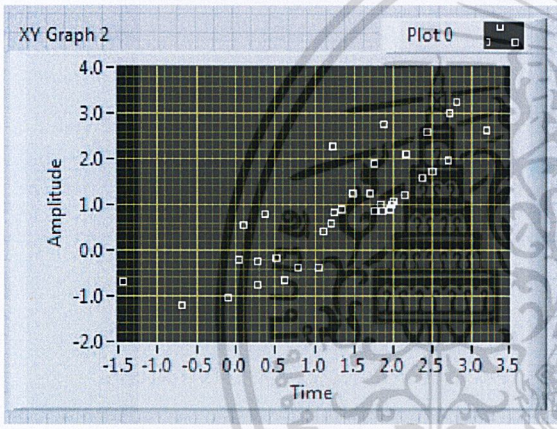
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



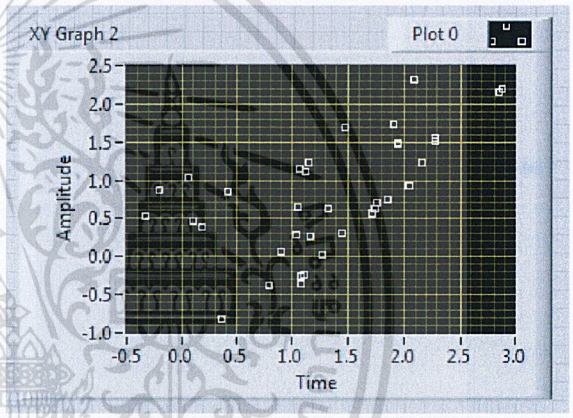
a = 0 V



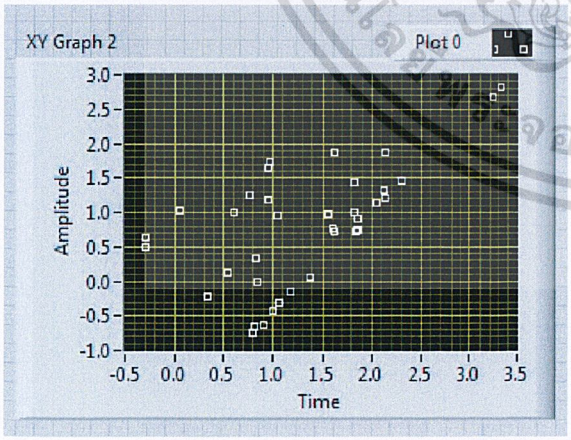
a = 3.26531 V



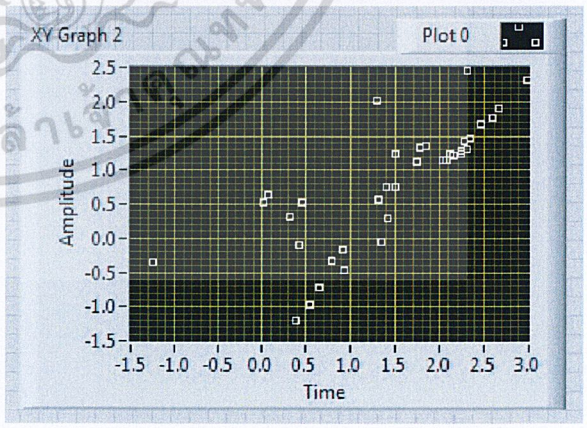
a = 3.31633 V



a = 4.13265V



a = 4.59184 V



a = 5 V

รูปที่ 4.4 แสดงค่า Poincare's map จากการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถี่ที่วัดจากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล

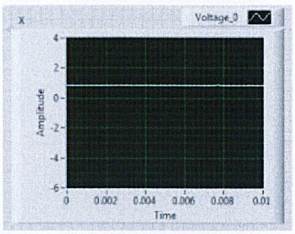
พารามิเตอร์ A (V)	ความถี่ (Hz)
0	1,080
3.26531	1,280
3.31633	960
4.13265	900
4.59184	870
5	840

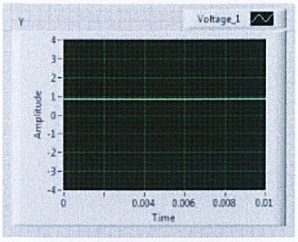
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

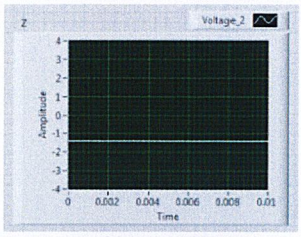
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรที่ 3 (จากสมการที่ 3 : $\dddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + H(x)$)

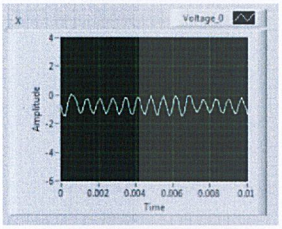
C > 2 V

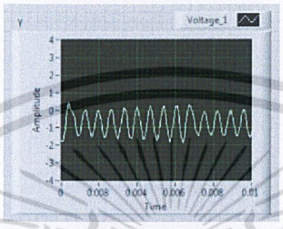


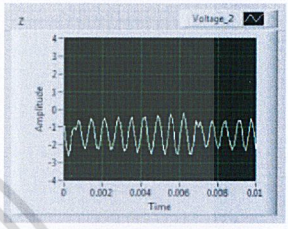




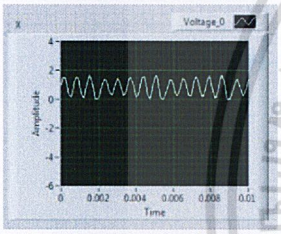
C = 1.68367 V

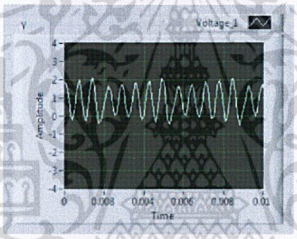


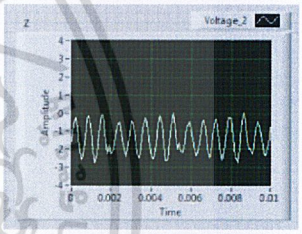




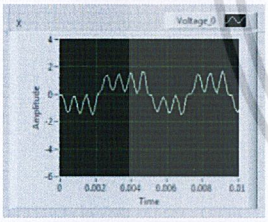
C = 1.53061 V

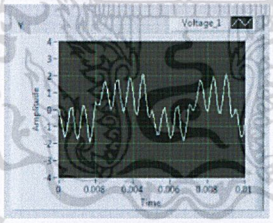


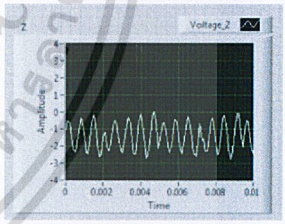




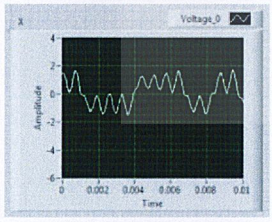
C = 1.37755 V

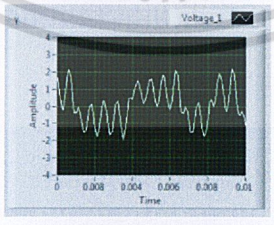


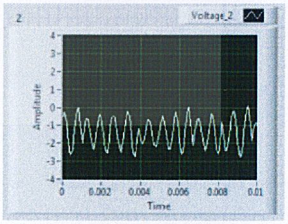




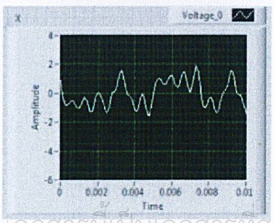
C = 1.12245 V

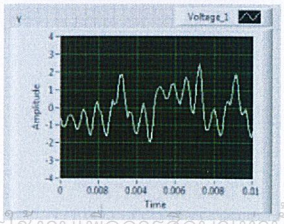


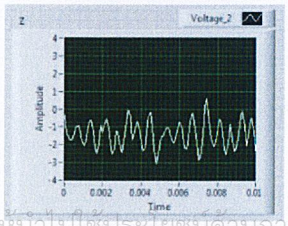




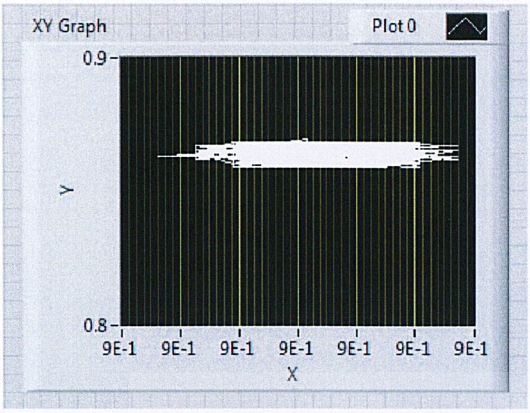
C = 0 V



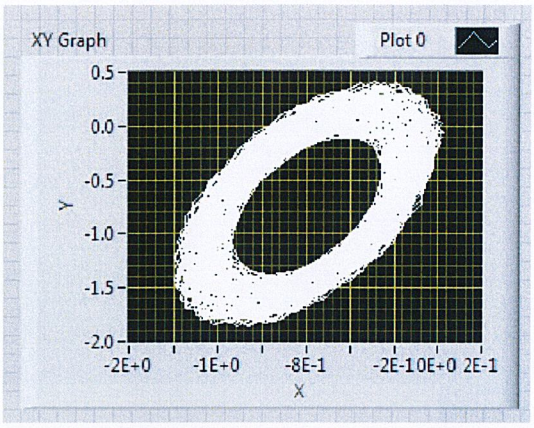




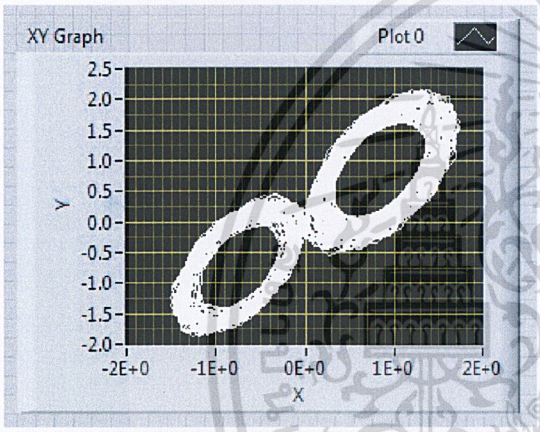
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



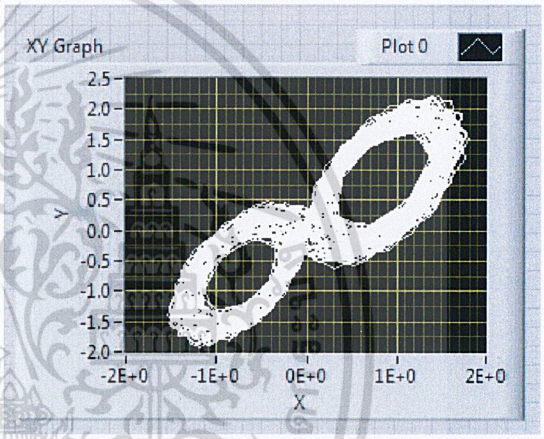
C > 2 V



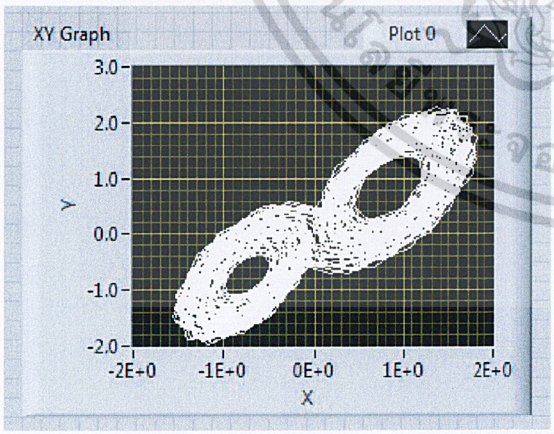
C = 1.68367 V



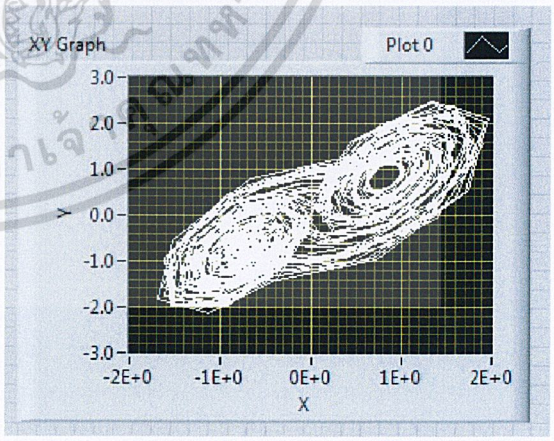
C = 1.53061



C = 1.37755 V



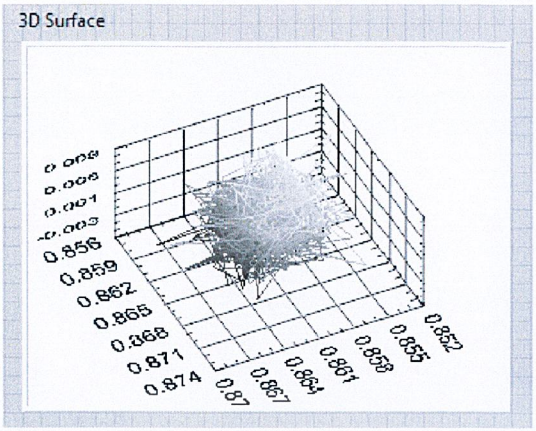
C = 1.12245 V



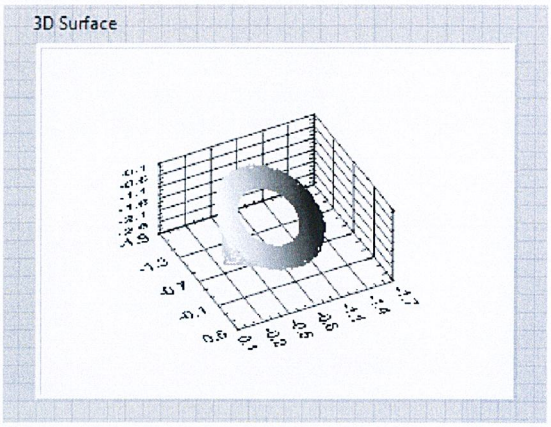
C = 0 V

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟแสดงความอลวล

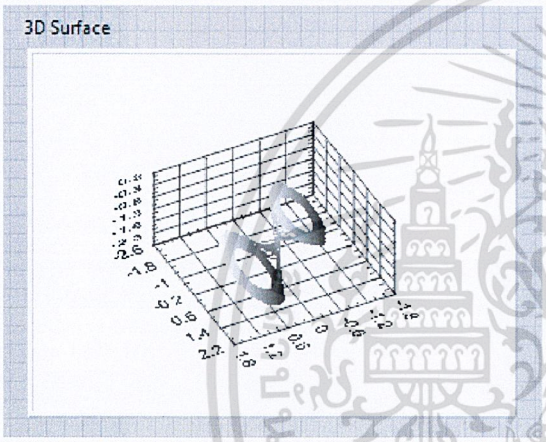
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



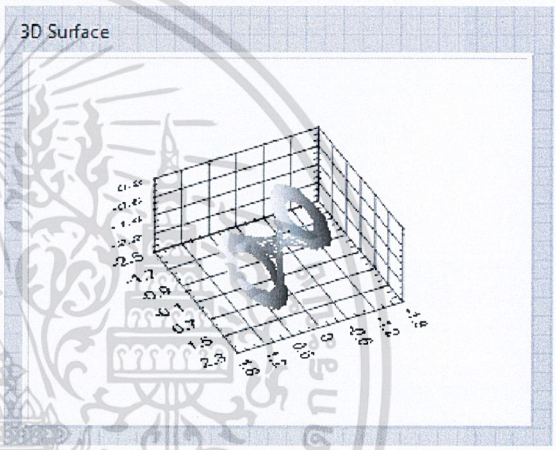
C > 2 V



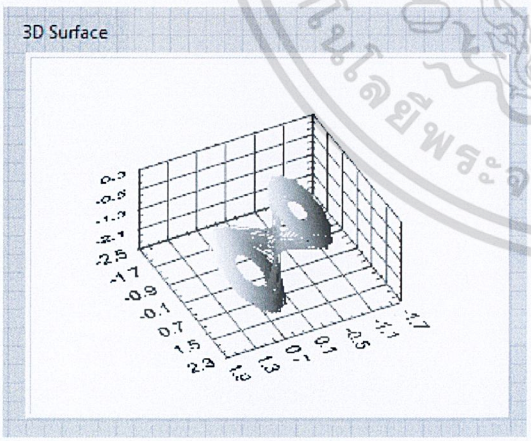
C = 1.68367 V



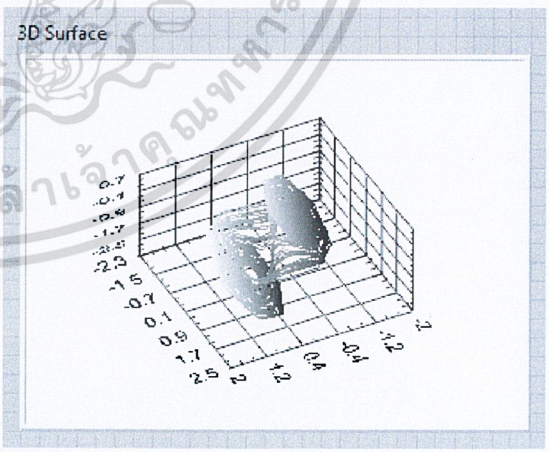
C = 1.53061 V



C = 1.37755 V



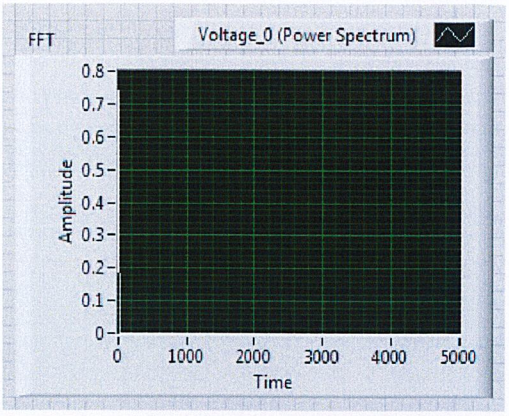
C = 1.12245 V



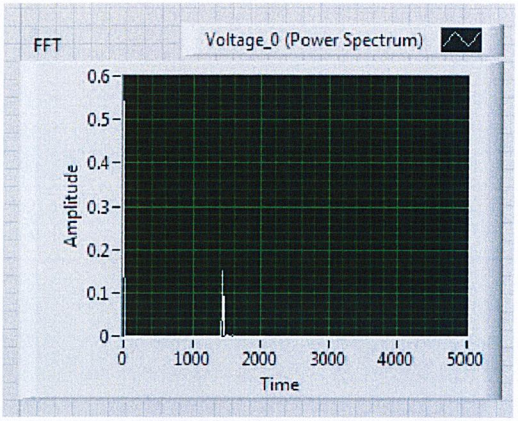
C = 0 V

รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V ในรูปกราฟสามมิติ

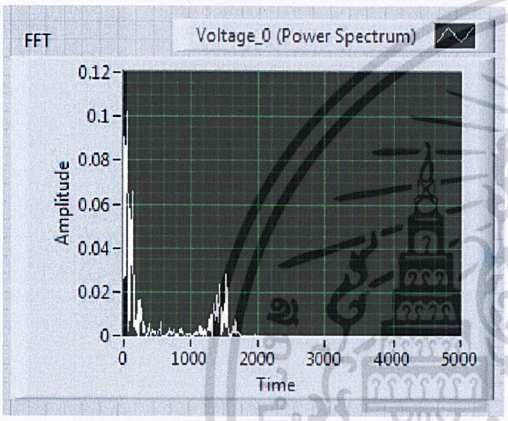
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



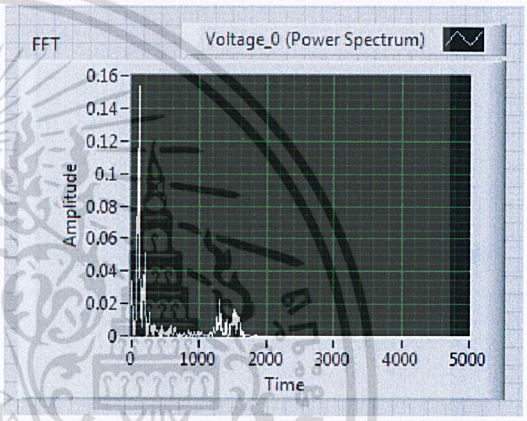
C > 2 V



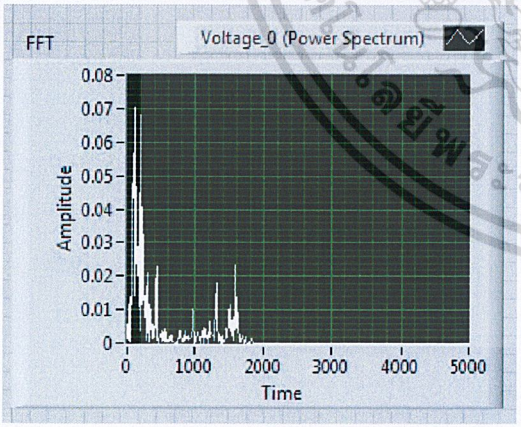
C = 1.68367 V



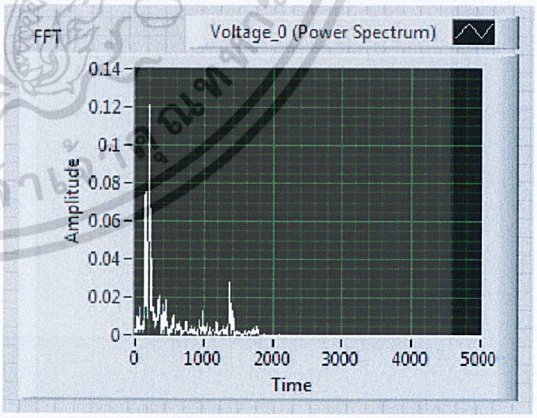
C = 1.53061 V



C = 1.37755 V



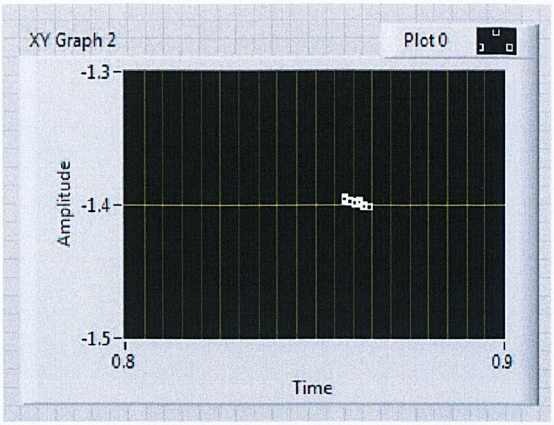
C = 1.12245 V



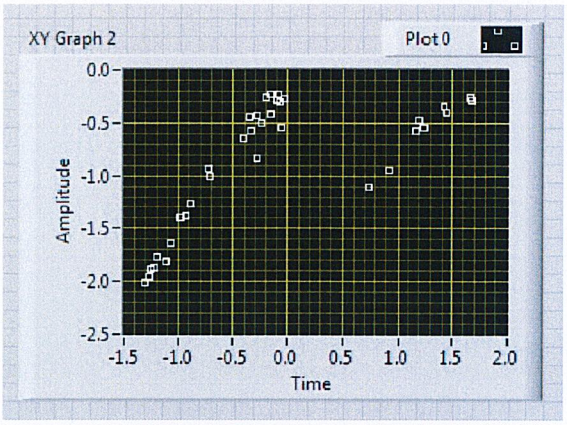
C = 0 V

รูปที่ 4.7 แสดงค่า Frequency spectra (FFT) จากการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V

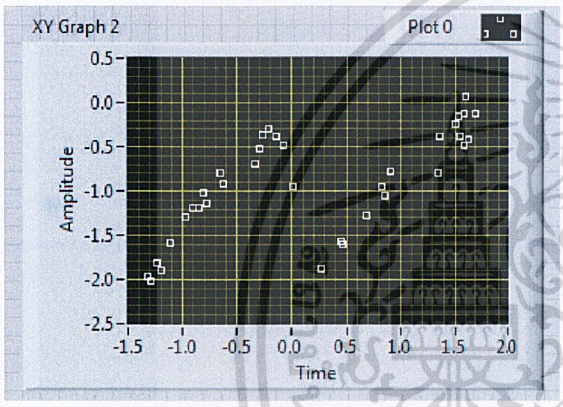
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



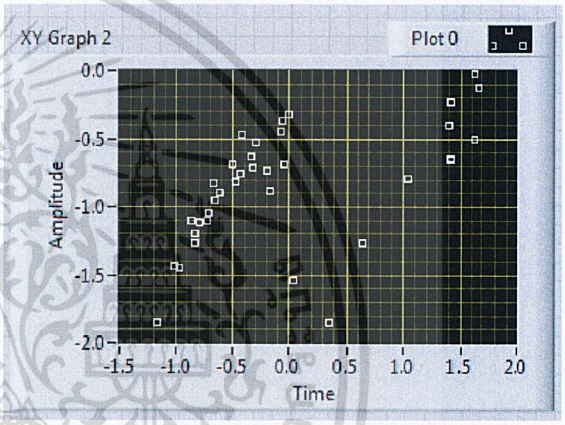
C > 2 V



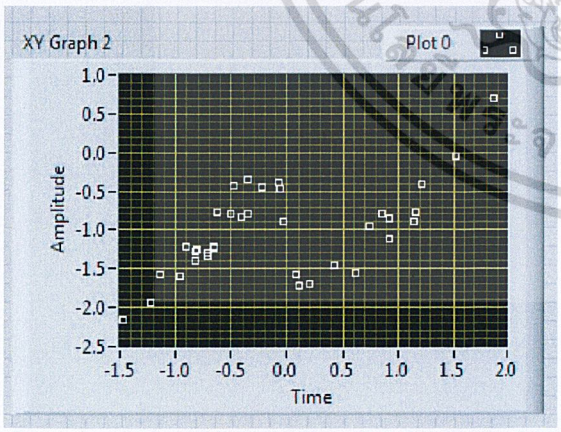
C = 1.68367 V



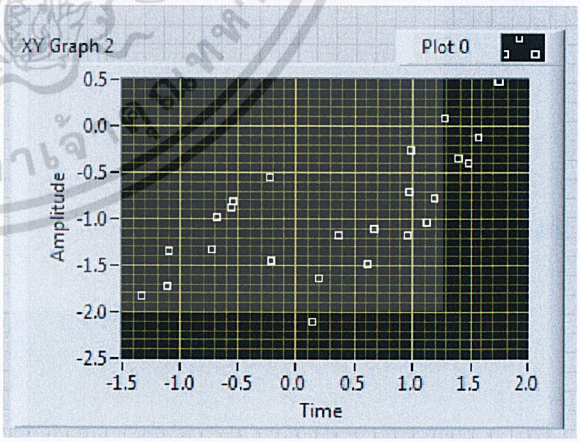
C = 1.53061 V



C = 1.37755 V



C = 1.12245 V



C = 0 V

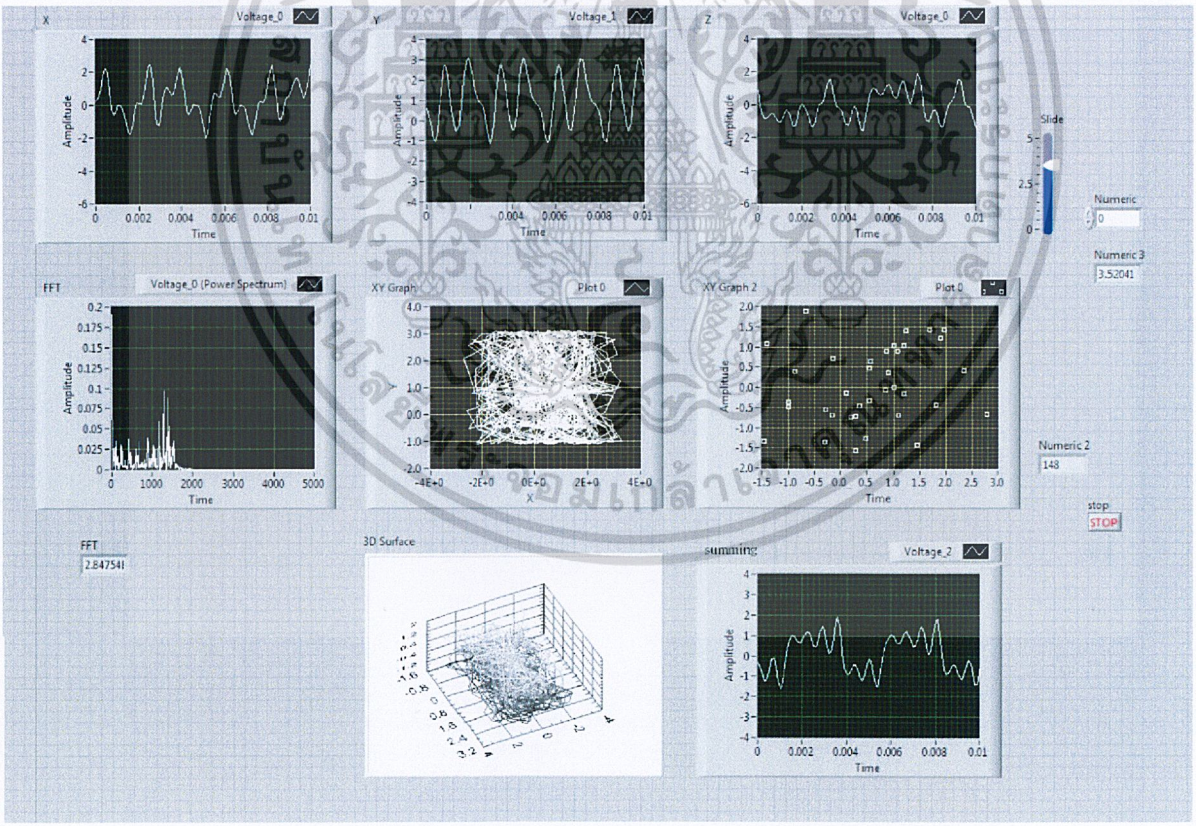
รูปที่ 4.8 แสดงค่า Poincare's map จากการทดลองปรับค่า C ในช่วง 0 – 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ที่วัดจากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิทัล

พารามิเตอร์ C (V)	ความถี่ (Hz)
0	350
1.12245	380 - 500
1.37755	570 - 640
1.53061	760 – 910
1.68367	1,440
2 – 5	< 20

4.2.2 ตอนที่ 2 การสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง



รูปที่ 4.9 แสดงค่า ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง ปัญหา และแนวทางการแก้ปัญหา

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ตอนที่ 1 การหาค่าความเป็นเคออสอย่างอ่อน (Weak Chaos)

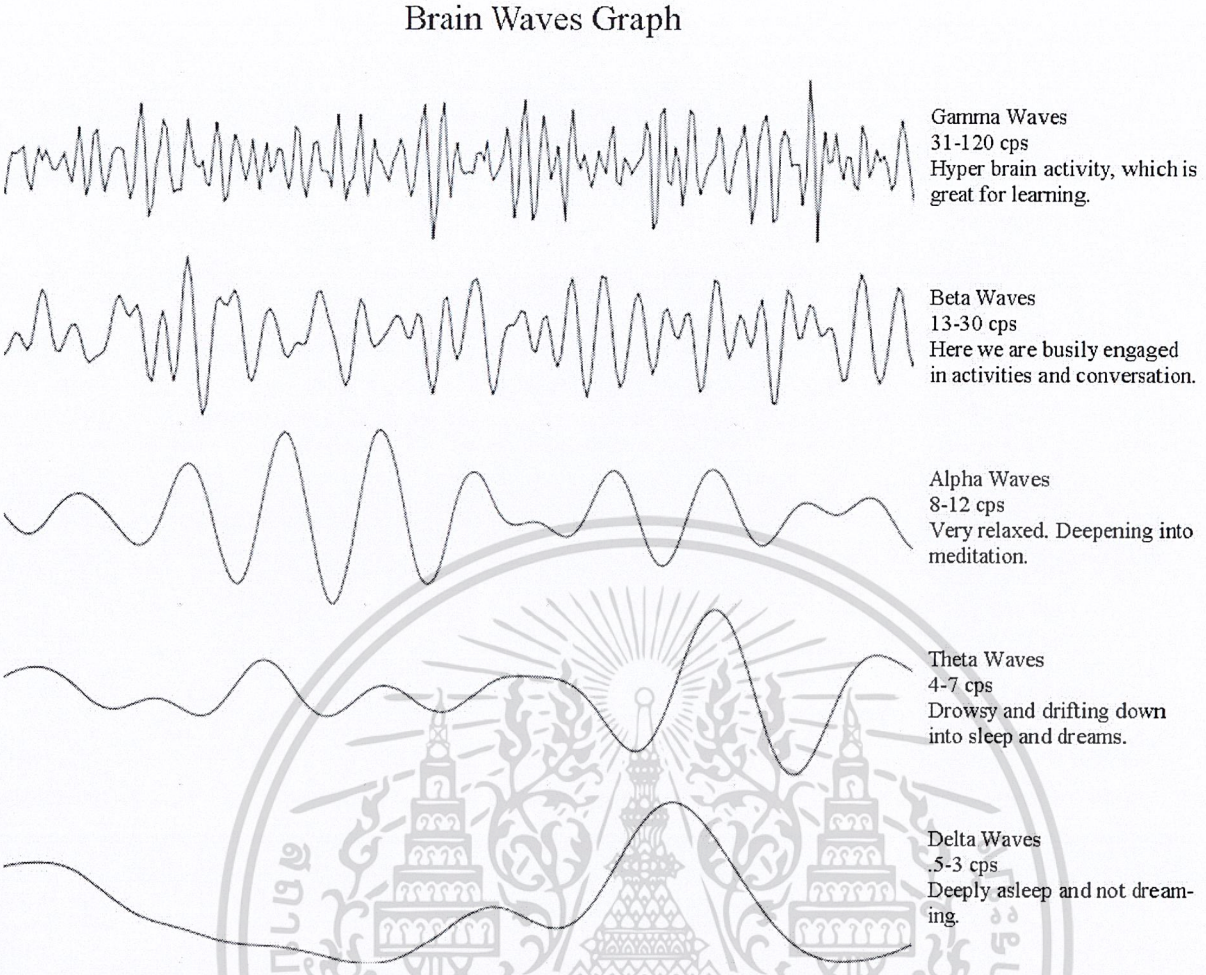
ในการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ A และ C จากวงจรตามสมการที่ 1 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการป้อนค่าสัญญาณแรงดันให้กับวงจรผ่านไอซี AD633 นั้น เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ A ของวงจรที่ 1 ในช่วงตั้งแต่ 0 – 5 V ค่า A = 5 V เป็นค่าที่ทำให้กราฟที่ได้จากการวัดค่าแรงดัน x เทียบกับ $\dot{x}$ (xx ตามรูปวงจร) ได้ผลเป็นรูป ดับเบิ้ลสกอร์ (Double scroll) มีค่า Poincare มากกว่า 3 จุด วัดความถี่จากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิตอลได้ 840 Hz ซึ่งเป็นความถี่ต่ำที่สุดที่ยังคงคุณสมบัติความเป็นเคออสติคอยู่

เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ C ของวงจรที่ 3 ในช่วงตั้งแต่ 0 – 5 V ค่า C = 0 V เป็นค่าที่ทำให้กราฟที่ได้จากการวัดค่าแรงดัน x เทียบกับ $\dot{x}$ (xx ตามรูปวงจร) ได้ผลเป็นรูป ดับเบิ้ลสกอร์ (Double scroll) มีค่า Poincare map มากกว่า 3 จุด วัดความถี่จากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิตอลได้ 350 Hz ซึ่งเป็นความถี่ต่ำที่สุดที่ยังคงคุณสมบัติความเป็นเคออสติคอยู่

5.1.2 ตอนที่ 2 การสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

ในการทดลองการสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมองขึ้นมา โดยการนำสัญญาณเคออสอย่างอ่อนที่ได้จากผลการทดลองในตอนที่ 1 และสัญญาณที่ได้จากสมการที่ 2 ของ J.C. Sprott มารวมกัน โดยปรับค่าสัญญาณที่ได้จากสมการที่ 1 โดยใช้ค่า A = 3.52041 V วัดความถี่จากเครื่องออสซิโลสโคปแบบดิจิตอลได้ 100 Hz ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วงของคลื่นสมองความถี่สูง หรือคลื่นแกรมม่า มีความถี่ระหว่าง 100 Hz ถึง 200 Hz ซึ่งเรียกว่า HyperGamma[13] คลื่นสมองชนิดนี้เกี่ยวข้องกับความสามารถทางด้านภาษาทั้งภาษาพูดและภาษาอ่าน เกี่ยวข้องสมาธิ ความจำ ความสามารถในการมองเห็นความเชื่อมโยงของรูปทรง ความสามารถในการคิด การใช้เหตุผล และความสามารถทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แสดงรูปแบบคลื่นสมองในอุดมคติ[14]

5.2 ปัญหา

5.2.1 ปัญหาที่เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

เนื่องจากคลื่นสมองเป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำมาก การวัดสัญญาณคลื่นสมองจากร่างกายคนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างอันตรายและการหากลุ่มตัวอย่างเพื่อมาทำการทดลองเป็นสิ่งที่ค่อนข้างลำบาก ต้องขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานทางราชการหลายฝ่าย ทำให้ไม่สามารถวัดผลความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้

5.2.2 ปัญหาที่เกี่ยวกับการวงจร

การออกแบบวงจรโดยใช้โปรแกรม Pspice พบว่าเมื่อเกิดความผิดพลาด โปรแกรมไม่สามรถอธิบายได้ชัดเจนว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นที่จุดใด การต่อวงจรบนโฟโต้ ไทป์ บอร์ด (Photo type board) พบว่าแผ่นโฟโต้ ไทป์ บอร์ด เกิดความผิดพลาดซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการผลิตเมื่อทำการต่อวงจึงทำให้มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น อาทิเช่น ไฟเลี้ยงไปไม่ทั่วถึงทั้งบอร์ด และเมื่อต่อวงจรเข้ากับอุปกรณ์ NI USB 6009 พบว่ามีข้อจำกัดในการใช้งาน NI USB 6009 หลายอย่าง หากต่อผิดพลาดสามารถทำให้ไอซีในวงจรเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่รันโปรแกรมอยู่เกิดความเสียหาย และตัวอุปกรณ์ NI USB 6009 อาจได้รับความเสียหายจนถึงขั้นใช้งานไม่ได้อีกต่อไป

5.2.3 ปัญหาที่เกี่ยวกับโปรแกรม

เนื่องจากการใช้ซอฟแวร์ LabView ในการออกแบบโปรแกรมซึ่งเป็นโปรแกรมใหม่ต้องใช้เวลานานในการศึกษาทำความเข้าใจ และในLabviewนั้น มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบอยู่มากมาย ต้องใช้เวลาในการหาอุปกรณ์ที่ต้องการ

5.3 แนวทางการแก้ปัญหา

ปัญหาในส่วนของวงจรและโปรแกรม สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความระมัดระวังในการต่อวงจรและต่ออุปกรณ์มายิ่งขึ้น หากความผิดพลาดนั้นเกิดจากอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานตามปกติสามารถแก้ไข้โดยการเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ตัวใหม่ ในส่วนของโปรแกรมควรเพิ่มทักษะการใช้ซอฟแวร์LabViewให้มากขึ้น

ปัญหาในส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมองสามารถแก้ไข้ได้โดยการใช้คลื่นสมองในอุดมคติที่มีอุปกรณ์จำลองในซอฟแวร์ของLabViewในการวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] http://www.dhammathai.org

[2] http://dou_beta.tripod.com/MD101_05_th.html

[3] http://www.google.com/patents?id=TS0KAAAAEBAJ&printsec=abstract&zoom=4#v=onepage&q&f=false

[4] http://th.wikipedia.org/wiki/ทฤษฎีความอลวน

[5] http://sprott.physics.wisc.edu/sprott.htm

[6] http://www.vcharkarn.com/include/vcafe/showkratoo.php?Pid=58723

[7] http://161.246.22.23/stamp/,DanaInfo=.aifgh1urvznJtqrsO48y+stamp.jsp?tp=&arnumber=4375509

[8] ธีรชาติ อ่วมเปราะ และ สมบูรณ์ มงคลแม้น , การออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณเคออสติก แบบมีความซับซ้อนมากแบบต่างๆ (The design and construction of complex-chaotic oscillator by coupling method) ,ปริญญานิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรมสารสนเทศ)) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.

[9] http://www.novabizz.com/NovaAce/Physical/Brainwave.htm

[10] http://webstaff.kmutt.ac.th/~ekapon.siw/ENE103/Kamon/Electro_Elec_CH6.doc

[11] http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_6.html

[12] กิจไพบูลย์ ชีวพันธุศรี , การออกแบบแอพพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW

[13] http://www.neuroacoustic.com/epsilon.html

[14] http://www.lynayre.com/ThetaHealing%20Training%20%26%20Sessions.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

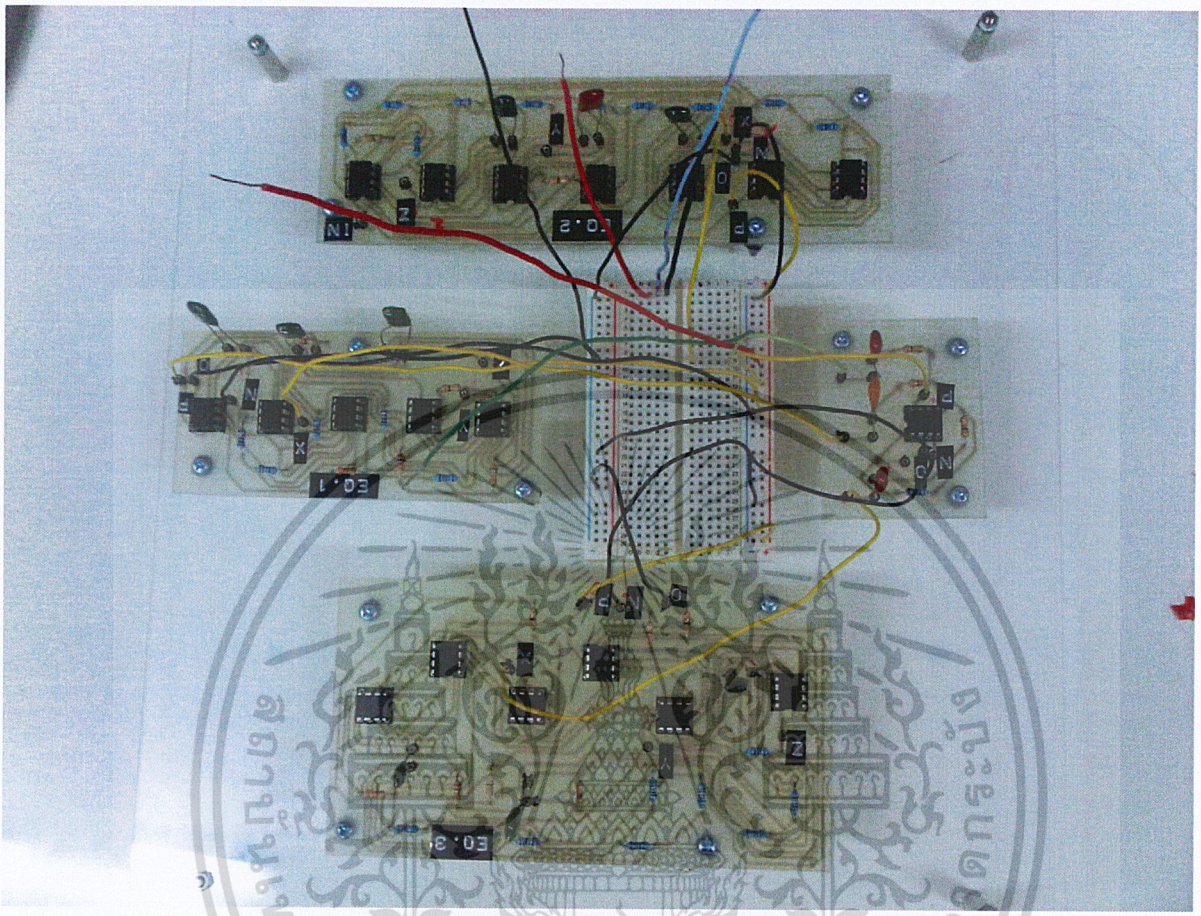
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

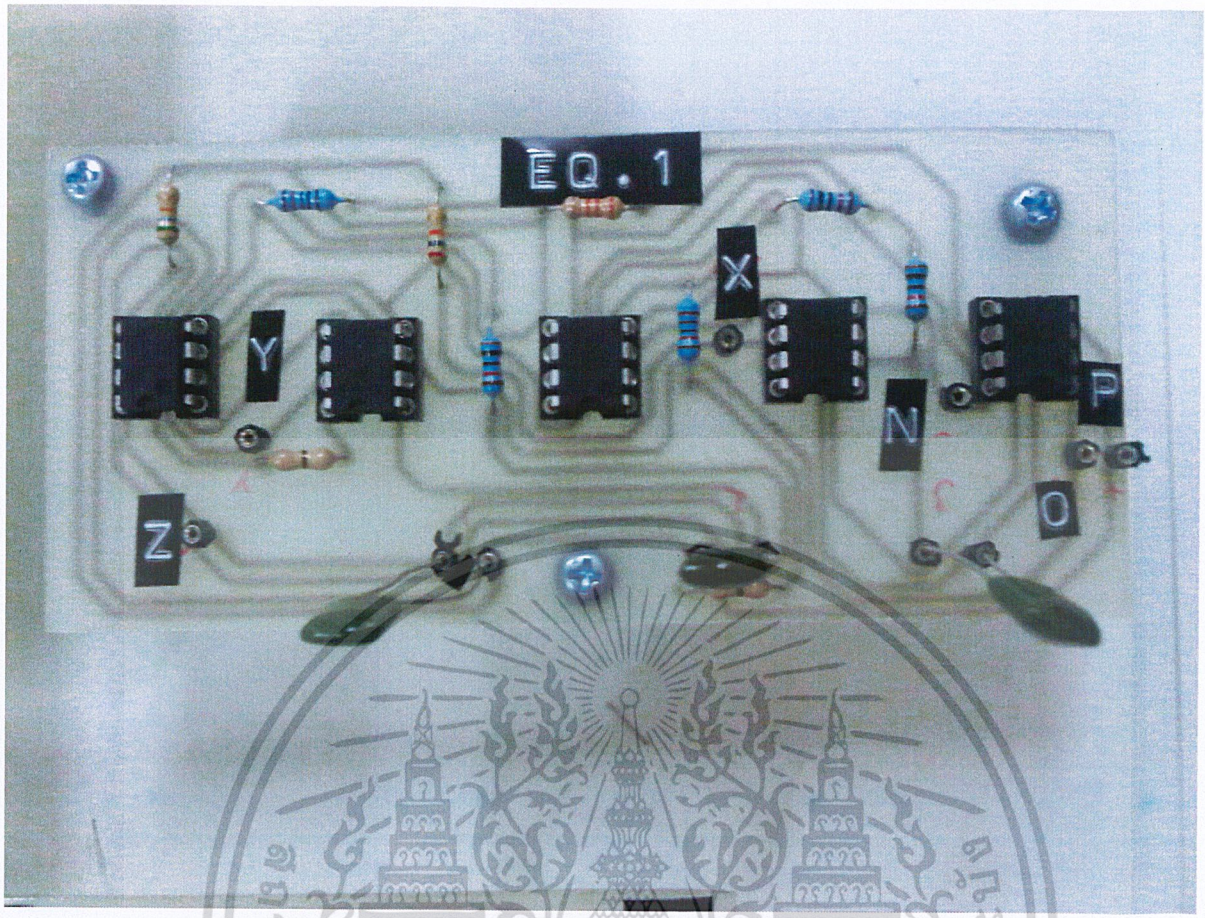
การต่อวงจรเข้ากับอุปกรณ์USB 6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



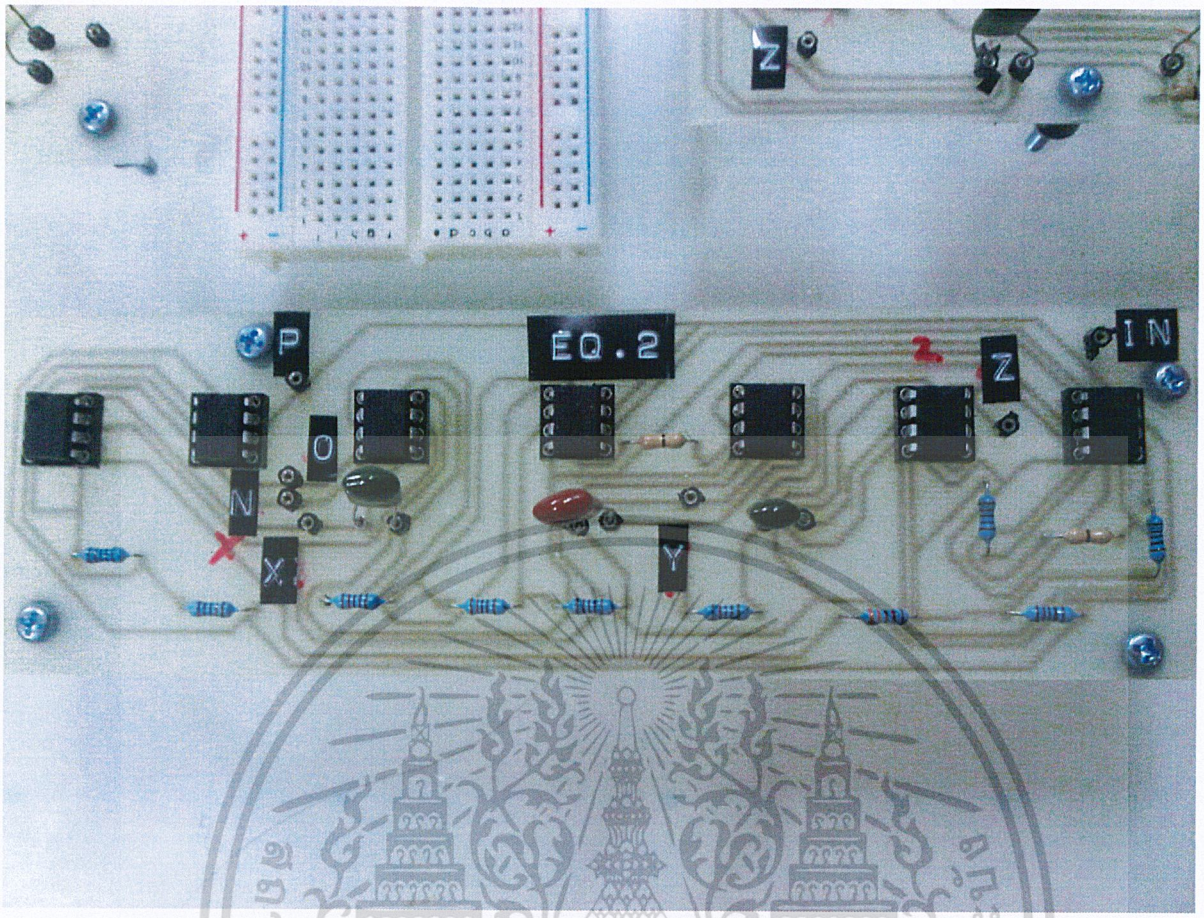
รูปที่ ก.1 แสดงวงจรที่ใช้การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



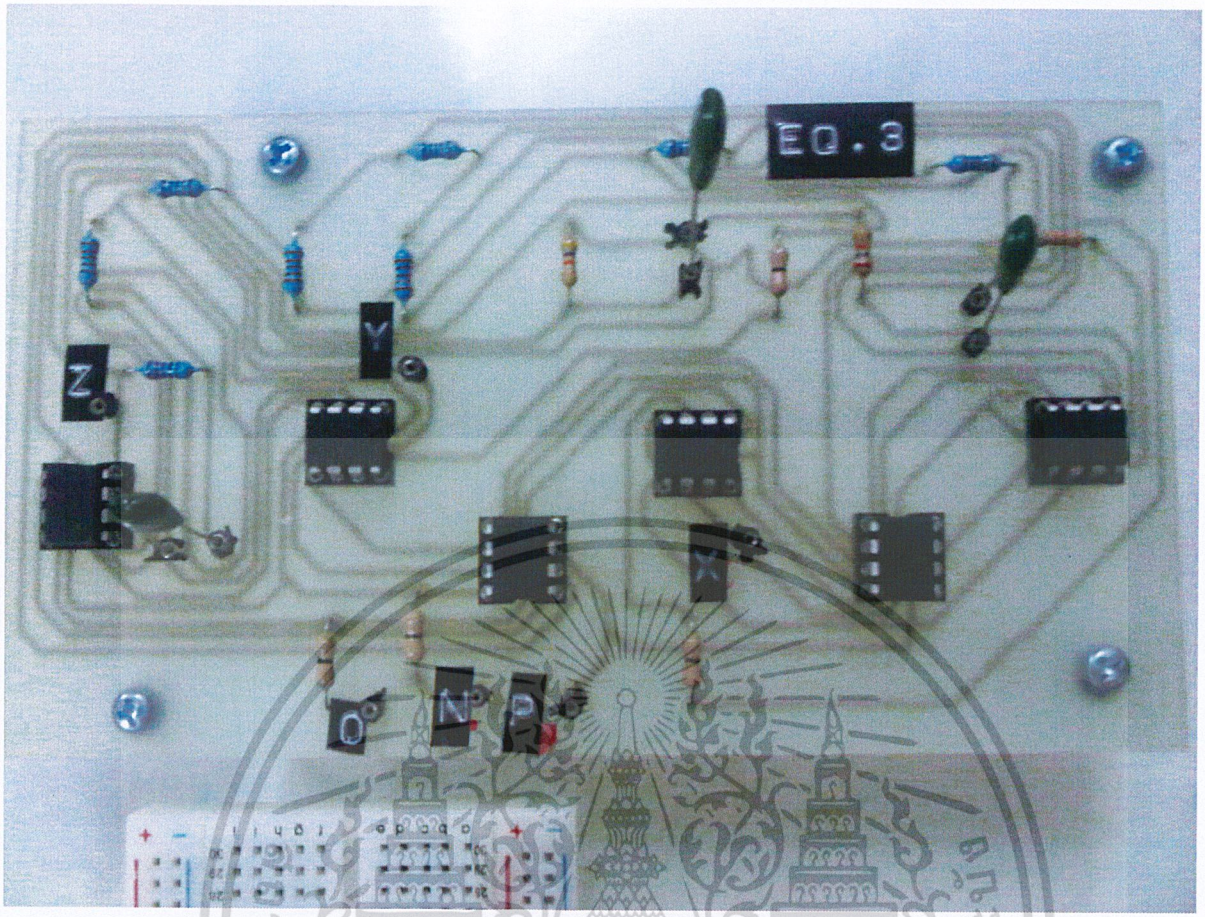
รูปที่ ก.2 วงจรที่ 1 โดยที่กำหนดให้ P คือ ไฟบวก, N คือ ไฟลบ, O คือ สายดิน เอาท์พุทจาก X ไปต่อที่อินพุทวงจรรวม และต่อเข้าที่ NI USB 6009 ที่ขา AI1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



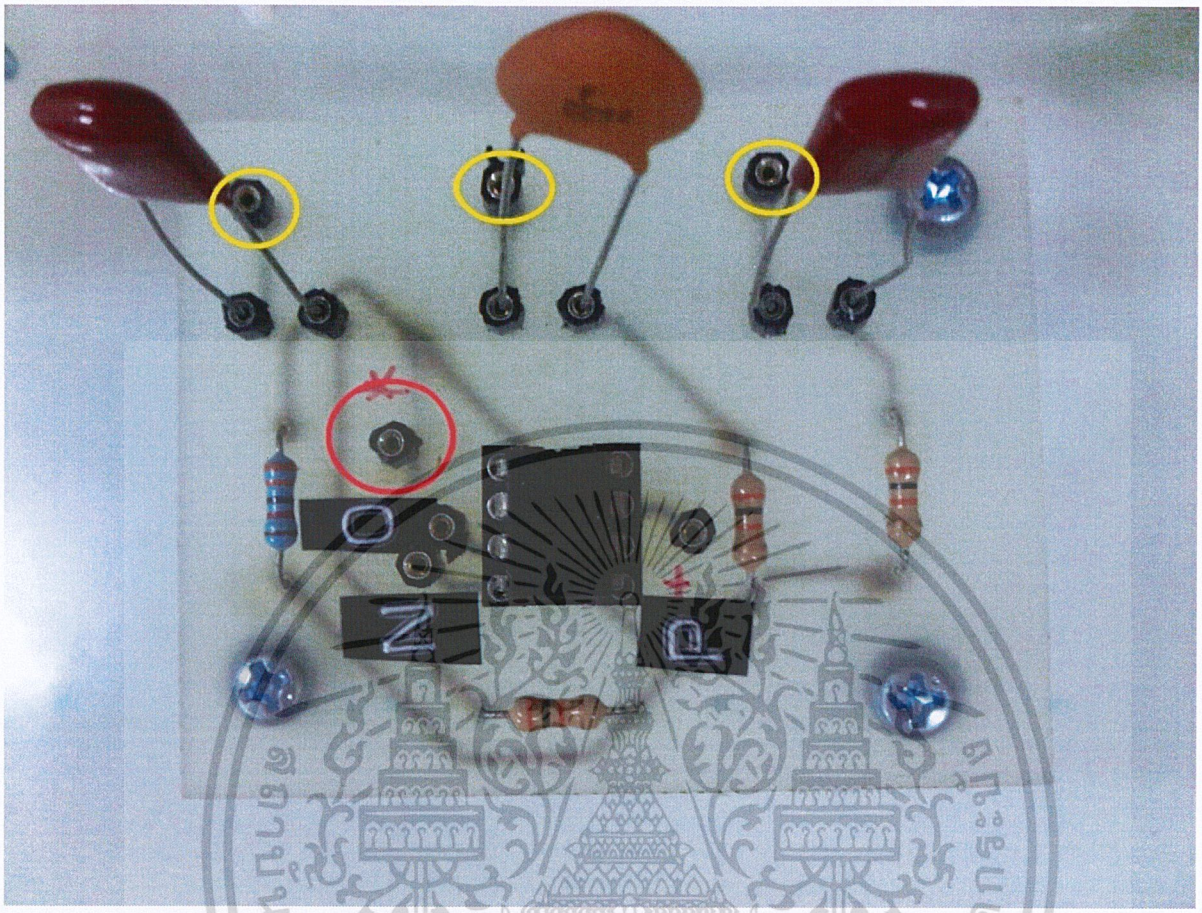
รูปที่ ก.3 วงจรที่ 2 โดยที่กำหนดให้ P คือ ไฟบวก, N คือ ไฟลบ, O คือ สายดิน, X ต่อเข้ากับ NI USB 6009 จากนั้นนำเอาท์พุทจาก NI USB 6009 ต่อเข้าวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



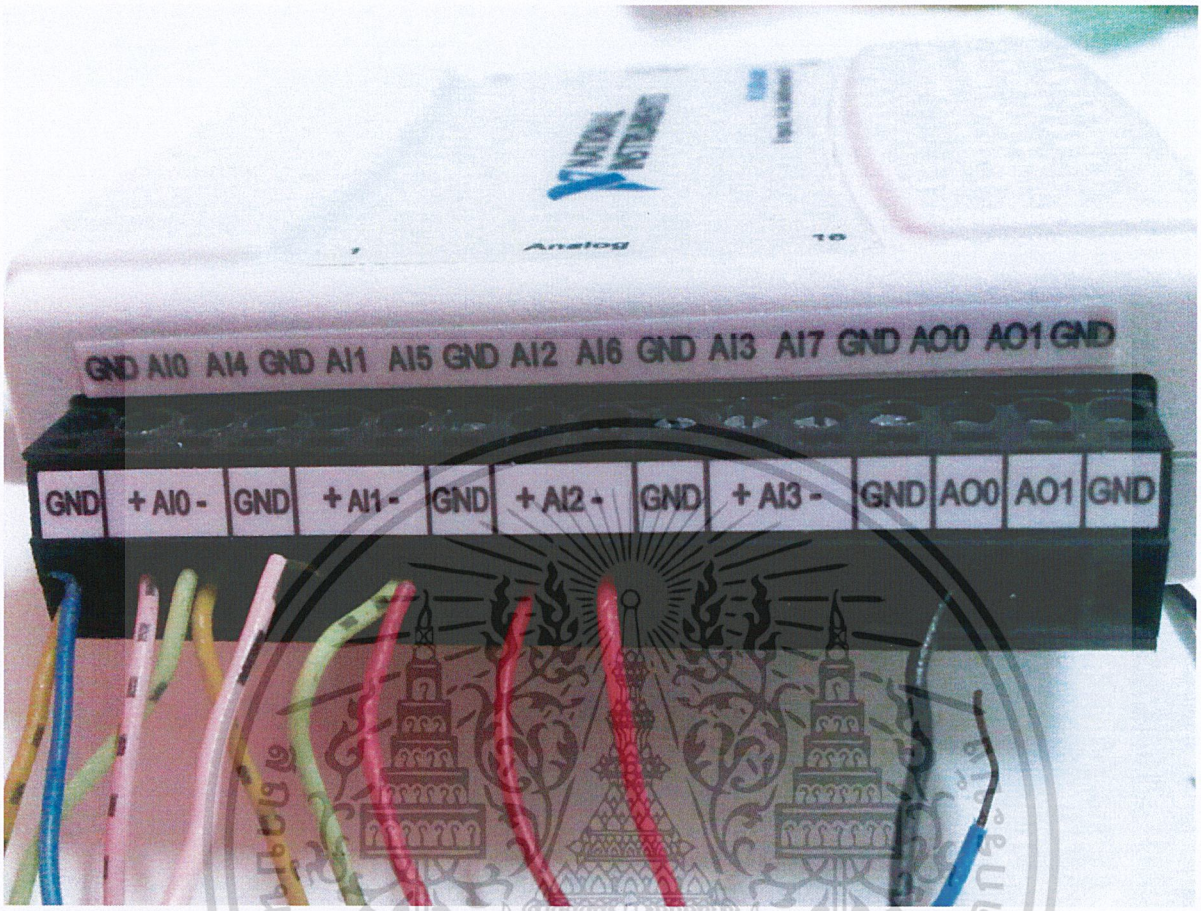
รูปที่ ก.4 วงจรที่ 3 โดยที่กำหนดให้ P คือ ไฟบวก, N คือ ไฟลบ, O คือ สายดิน, เอาท์พุทจาก X ไปต่อที่อินพุทวงจรรวม และต่อเข้าที่ NI USB 6009 ที่ขา AI3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 วงจรรวม โดยที่กำหนดให้ P คือ ไฟบวก, N คือ ไฟลบ, O คือ สายดิน, ส่วนที่วงกลมสีเหลืองคือ อินพุทจากวงจร ที่ 1, 2 และ 3 และส่วนที่วงกลมที่แดงคือ เอาท์พุทที่ต่อเข้า NI USB 6009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ NI USB 6009 โดยที่ AI คือ อินพุท AO คือ เอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low Cost Analog Multiplier

AD633

FEATURES

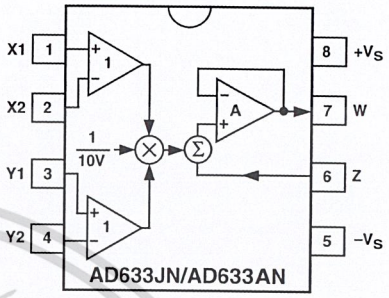
4-Quadrant Multiplication
Low Cost 8-Lead Package
Complete—No External Components Required
Laser-Trimmed Accuracy and Stability
Total Error within 2% of FS
Differential High Impedance X and Y Inputs
High Impedance Unity-Gain Summing Input
Laser-Trimmed 10 V Scaling Reference

APPLICATIONS

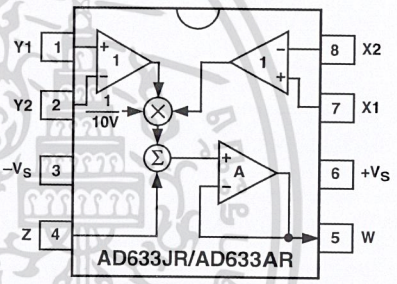
Multiplication, Division, Squaring
Modulation/Demodulation, Phase Detection
Voltage Controlled Amplifiers/Attenuators/Filters

CONNECTION DIAGRAMS

8-Lead Plastic DIP (N) Package



8-Lead Plastic SOIC (RN-8) Package



$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z$$

PRODUCT DESCRIPTION

The AD633 is a functionally complete, four-quadrant, analog multiplier. It includes high impedance, differential X and Y inputs and a high impedance summing input (Z). The low impedance output voltage is a nominal 10 V full scale provided by a buried Zener. The AD633 is the first product to offer these features in modestly priced 8-lead plastic DIP and SOIC packages.

The AD633 is laser calibrated to a guaranteed total accuracy of 2% of full scale. Nonlinearity for the Y input is typically less than 0.1% and noise referred to the output is typically less than 100 μV rms in a 10 Hz to 10 kHz bandwidth. A 1 MHz bandwidth, 20 V/μs slew rate, and the ability to drive capacitive loads make the AD633 useful in a wide variety of applications where simplicity and cost are key concerns.

The AD633's versatility is not compromised by its simplicity. The Z-input provides access to the output buffer amplifier, enabling the user to sum the outputs of two or more multipliers, increase the multiplier gain, convert the output voltage to a current, and configure a variety of applications.

The AD633 is available in an 8-lead plastic DIP package (N) and 8-lead SOIC (R). It is specified to operate over the 0°C to 70°C commercial temperature range (J Grade) or the –40°C to +85°C industrial temperature range (A Grade).

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD633 is a complete four-quadrant multiplier offered in low cost 8-lead plastic packages. The result is a product that is cost effective and easy to apply.
2. No external components or expensive user calibration are required to apply the AD633.
3. Monolithic construction and laser calibration make the device stable and reliable.
4. High (10 MΩ) input resistances make signal source loading negligible.
5. Power supply voltages can range from ±8 V to ±18 V. The internal scaling voltage is generated by a stable Zener diode; multiplier accuracy is essentially supply insensitive.

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700
Fax: 781/326-8703
www.analog.com

© Analog Devices, Inc., 2002

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD633—SPECIFICATIONS (T_A = 25°C, V_S = ±15 V, $R_L \geq 2$ kΩ)

Model		AD633J, AD633A			
TRANSFER FUNCTION		$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10\ V} + Z$			
Parameter	**Conditions**	**Min**	**Typ**	**Max**	**Unit**
MULTIPLIER PERFORMANCE					
Total Error	–10 V ≤ X, Y ≤ +10 V		±1	**±2**	% Full Scale
T_{MIN} to T_{MAX}			±3		% Full Scale
Scale Voltage Error	SF = 10.00 V Nominal		±0.25%		% Full Scale
Supply Rejection	V_S = ±14 V to ±16 V		±0.01		% Full Scale
Nonlinearity, X	X = ±10 V, Y = +10 V		±0.4	**±1**	% Full Scale
Nonlinearity, Y	Y = ±10 V, X = +10 V		±0.1	**±0.4**	% Full Scale
X Feedthrough	Y Nulled, X = ±10 V		±0.3	**±1**	% Full Scale
Y Feedthrough	X Nulled, Y = ±10 V		±0.1	**±0.4**	% Full Scale
Output Offset Voltage			±5	**±50**	mV
DYNAMICS					
Small Signal BW	V_O = 0.1 V rms		1		MHz
Slew Rate	V_O = 20 V p-p		20		V/µs
Settling Time to 1%	Δ V_O = 20 V		2		µs
OUTPUT NOISE					
Spectral Density			0.8		µV/√Hz
Wideband Noise	f = 10 Hz to 5 MHz		1		mV rms
	f = 10 Hz to 10 kHz		90		µV rms
OUTPUT					
Output Voltage Swing		**±11**			V
Short Circuit Current	R_L = 0 Ω		30	**40**	mA
INPUT AMPLIFIERS					
Signal Voltage Range	Differential	**±10**			V
	Common Mode	**±10**			V
Offset Voltage X, Y			±5	**±30**	mV
CMRR X, Y	V_{CM} = ±10 V, f = 50 Hz	**60**	80		dB
Bias Current X, Y, Z			0.8	**2.0**	µA
Differential Resistance			10		MΩ
POWER SUPPLY					
Supply Voltage					
Rated Performance			±15		V
Operating Range		**±8**		**±18**	V
Supply Current	Quiescent		4	**6**	mA

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units.

Specifications subject to change without notice.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS[1]

Supply Voltage ..... ±18 V
Internal Power Dissipation[2] ..... 500 mW
Input Voltages[3] ..... ±18 V
Output Short Circuit Duration ..... Indefinite
Storage Temperature Range ..... –65°C to +150°C
Operating Temperature Range
AD633J ..... 0°C to 70°C
AD633A ..... –40°C to +85°C
Lead Temperature Range (Soldering 60 sec) ..... 300°C
ESD Rating ..... 1000 V

NOTES

[1]Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied.

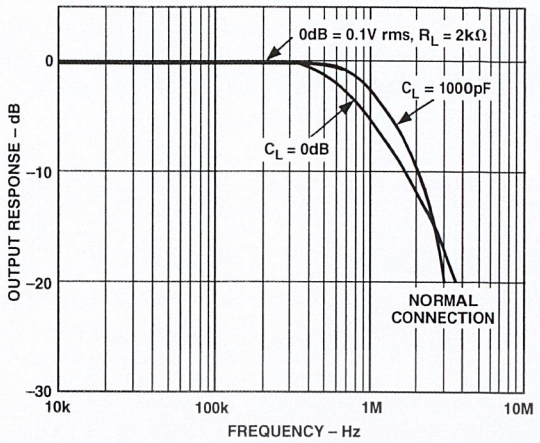
[2]8-Lead Plastic DIP Package: θ_{JA} = 90°C/W; 8-Lead Small Outline Package: θ_{JA} = 155°C/W.

[3]For supply voltages less than ±18 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

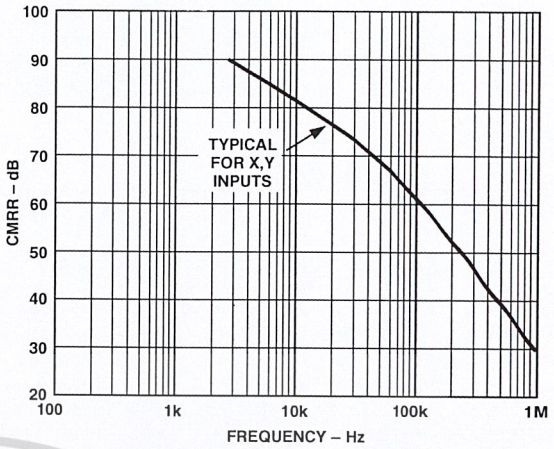
ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option
AD633AN	–40°C to +85°C	Plastic DIP	N-8
AD633AR	–40°C to +85°C	Plastic SOIC	RN-8
AD633AR-REEL	–40°C to +85°C	13" Tape and Reel	RN-8
AD633AR-REEL7	–40°C to +85°C	7" Tape and Reel	RN-8
AD633JN	0°C to 70°C	Plastic DIP	N-8
AD633JR	0°C to 70°C	Plastic SOIC	RN-8
AD633JR-REEL	0°C to 70°C	13" Tape and Reel	RN-8
AD633JR-REEL7	0°C to 70°C	7" Tape and Reel	RN-8

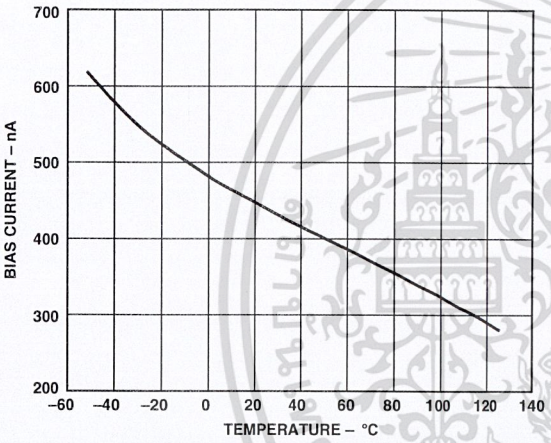
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



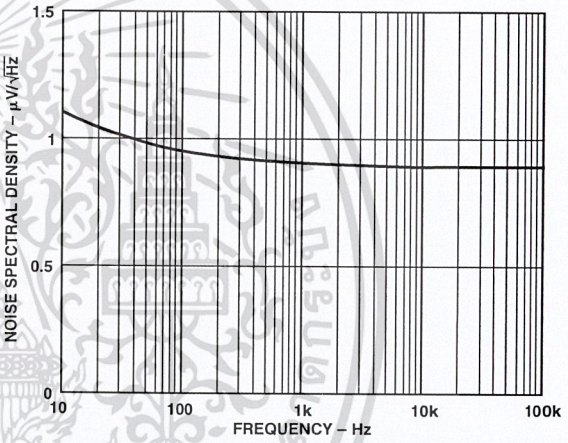
TPC 1. Frequency Response



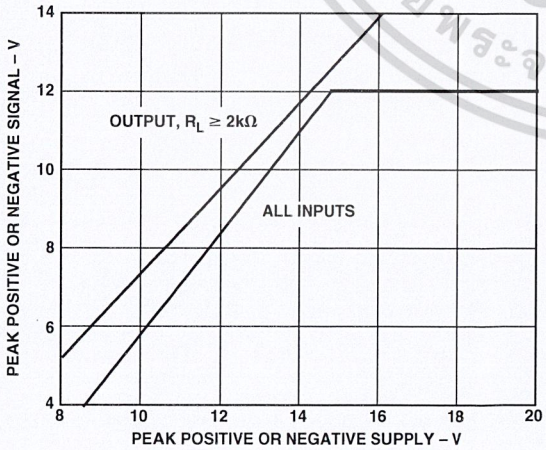
TPC 4. CMRR vs. Frequency



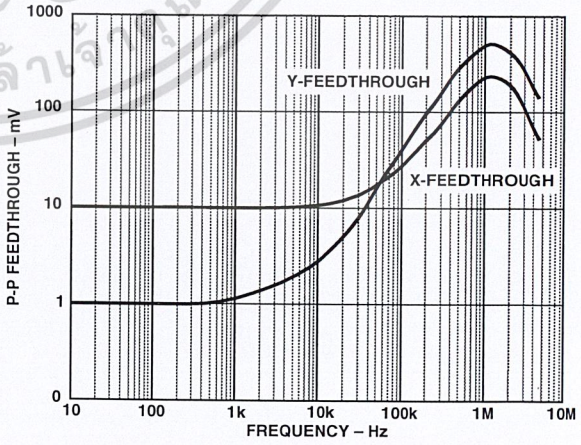
TPC 2. Input Bias Current vs. Temperature (X, Y, or Z Inputs)



TPC 5. Noise Spectral Density vs. Frequency



TPC 3. Input and Output Signal Ranges vs. Supply Voltages



TPC 6. AC Feedthrough vs. Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD633 is a low cost multiplier comprising a translinear core, a buried Zener reference, and a unity gain connected output amplifier with an accessible summing node. Figure 1 shows the functional block diagram. The differential X and Y inputs are converted to differential currents by voltage-to-current converters. The product of these currents is generated by the multiplying core. A buried Zener reference provides an overall scale factor of 10 V. The sum of $(X \times Y)/10 + Z$ is then applied to the output amplifier. The amplifier summing node Z allows the user to add two or more multiplier outputs, convert the output voltage to a current, and configure various analog computational functions.

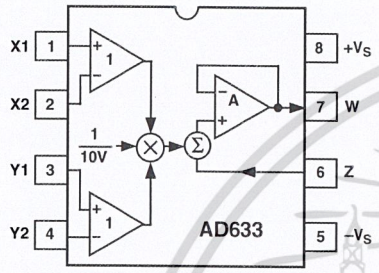


Figure 1. Functional Block Diagram (AD633JN Pinout Shown)

Inspection of the block diagram shows the overall transfer function to be:

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10\ V} + Z \qquad (1)$$

ERROR SOURCES

Multiplier errors consist primarily of input and output offsets, scale factor error, and nonlinearity in the multiplying core. The input and output offsets can be eliminated by using the optional trim of Figure 2. This scheme reduces the net error to scale factor errors (gain error) and an irreducible nonlinearity component in the multiplying core. The X and Y nonlinearities are typically 0.4% and 0.1% of full scale, respectively. Scale factor error is typically 0.25% of full scale. The high impedance Z input should always be referenced to the ground point of the driven system, particularly if this is remote. Likewise, the differential X and Y inputs should be referenced to their respective grounds to realize the full accuracy of the AD633.

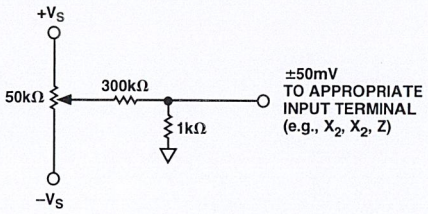


Figure 2. Optional Offset Trim Configuration

APPLICATIONS

The AD633 is well suited for such applications as modulation and demodulation, automatic gain control, power measurement, voltage controlled amplifiers, and frequency doublers. Note that these applications show the pin connections for the AD633JN pinout (8-lead DIP), which differs from the AD633JR pinout (8-lead SOIC).

Multiplier Connections

Figure 3 shows the basic connections for multiplication. The X and Y inputs will normally have their negative nodes grounded, but they are fully differential, and in many applications the grounded inputs may be reversed (to facilitate interfacing with signals of a particular polarity while achieving some desired output polarity) or both may be driven.

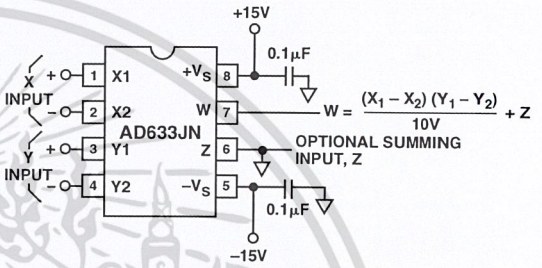


Figure 3. Basic Multiplier Connections

Squaring and Frequency Doubling

As Figure 4 shows, squaring of an input signal, E, is achieved simply by connecting the X and Y inputs in parallel to produce an output of $E^2/10$ V. The input may have either polarity, but the output will be positive. However, the output polarity may be reversed by interchanging the X or Y inputs. The Z input may be used to add a further signal to the output.

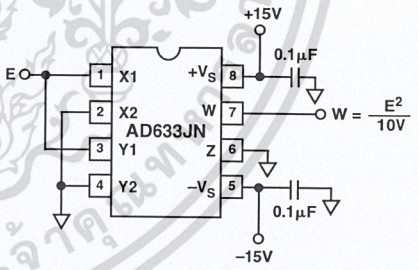


Figure 4. Connections for Squaring

When the input is a sine wave $E \sin \omega t$, this squarer behaves as a frequency doubler, since

$$\frac{(E \sin \omega t)^2}{10\ V} = \frac{E^2}{20\ V}(1 - \cos 2\,\omega t) \qquad (2)$$

Equation 2 shows a dc term at the output that will vary strongly with the amplitude of the input, E. This can be avoided using the connections shown in Figure 5, where an RC network is used to generate two signals whose product has no dc term. It uses the identity:

$$\cos\theta \sin\theta = \frac{1}{2}(\sin 2\theta) \qquad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

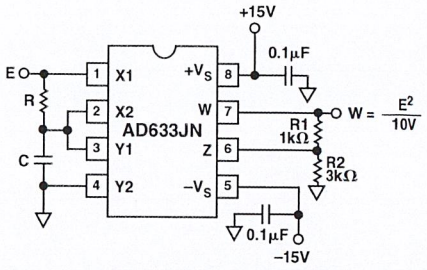


Figure 5. "Bounceless" Frequency Doubler

At $\omega_o = 1/CR$, the X input leads the input signal by 45° (and is attenuated by $\sqrt{2}$), and the Y input lags the X input by 45° (and is also attenuated by $\sqrt{2}$). Since the X and Y inputs are 90° out of phase, the response of the circuit will be (satisfying Equation 3):

$$W = \frac{1}{(10V)}\frac{E}{\sqrt{2}}\left(\sin\omega_o t + 45°\right)\frac{E}{\sqrt{2}}\left(\sin\omega_o t - 45°\right)$$
$$= \frac{E^2}{(40V)}\left(\sin 2\,\omega_o t\right) \qquad (4)$$

which has no dc component. Resistors R1 and R2 are included to restore the output amplitude to 10 V for an input amplitude of 10 V.

The amplitude of the output is only a weak function of frequency: the output amplitude will be 0.5% too low at $\omega = 0.9\ \omega_o$, and $\omega_o = 1.1\ \omega_o$.

Generating Inverse Functions

Inverse functions of multiplication, such as division and square rooting, can be implemented by placing a multiplier in the feedback loop of an op amp. Figure 6 shows how to implement a square rooter with the transfer function

$$W = \sqrt{(10\,E)V} \qquad (5)$$

for the condition E < 0.

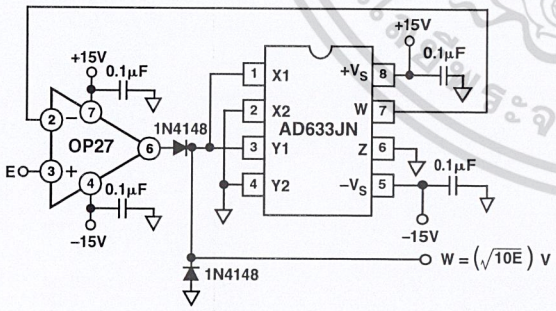


Figure 6. Connections for Square Rooting

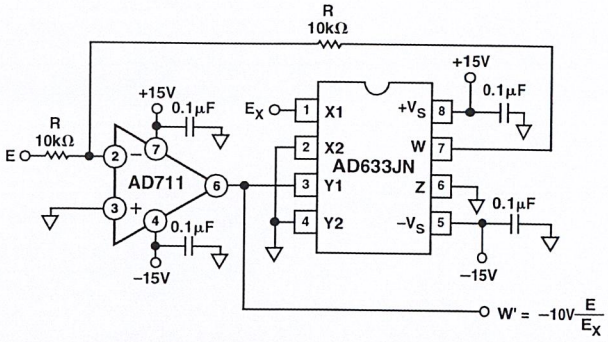


Figure 7. Connections for Division

Likewise, Figure 7 shows how to implement a divider using a multiplier in a feedback loop. The transfer function for the divider is

$$W' = -(10V)\frac{E}{E_X} \qquad (6)$$

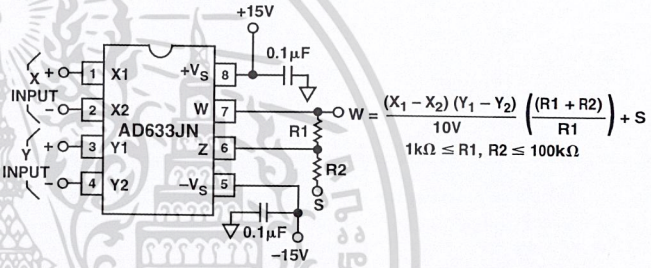


Figure 8. Connections for Variable Scale Factor

Variable Scale Factor

In some instances, it may be desirable to use a scaling voltage other than 10 V. The connections shown in Figure 8 increase the gain of the system by the ratio (R1 + R2)/R1. This ratio is limited to 100 in practical applications. The summing input, S, may be used to add an additional signal to the output or it may be grounded.

Current Output

The AD633's voltage output can be converted to a current output by the addition of a resistor R between the AD633's W and Z pins as shown in Figure 9. This arrangement forms

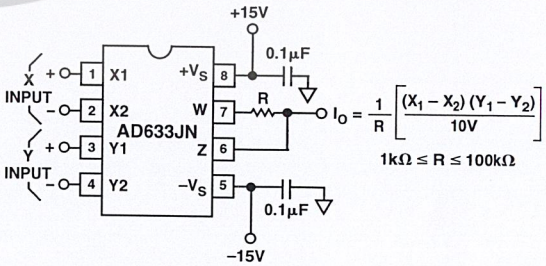


Figure 9. Current Output Connections

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the basis of voltage controlled integrators and oscillators as will be shown later in this Applications section. The transfer function of this circuit has the form

$$I_O = \frac{1}{R}\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} \quad (7)$$

Linear Amplitude Modulator

The AD633 can be used as a linear amplitude modulator with no external components. Figure 10 shows the circuit. The carrier and modulation inputs to the AD633 are multiplied to produce a double-sideband signal. The carrier signal is fed forward to the AD633's Z input where it is summed with the double-sideband signal to produce a double-sideband with carrier output.

Voltage Controlled Low-Pass and High-Pass Filters

Figure 11 shows a single multiplier used to build a voltage controlled low-pass filter. The voltage at output A is a result of filtering, E_S. The break frequency is modulated by E_C, the control input. The break frequency, f_2, equals

$$f_2 = \frac{E_C}{(20V)\pi RC} \quad (8)$$

and the rolloff is 6 dB per octave. This output, which is at a high impedance point, may need to be buffered.

The voltage at output B, the direct output of the AD633, has same response up to frequency f_1, the natural breakpoint of RC filter,

$$f_1 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (9)$$

then levels off to a constant attenuation of $f_1/f_2 = E_C/10$.

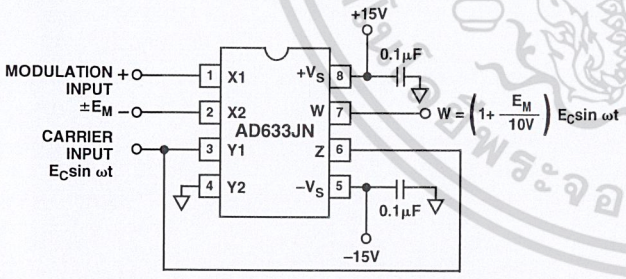


Figure 10. Linear Amplitude Modulator

For example, if R = 8 kΩ and C = 0.002 μF, then output A has a pole at frequencies from 100 Hz to 10 kHz for E_C ranging from 100 mV to 10 V. Output B has an additional zero at 10 kHz (and can be loaded because it is the multiplier's low impedance output). The circuit can be changed to a high-pass filter Z interchanging the resistor and capacitor as shown in Figure 12.

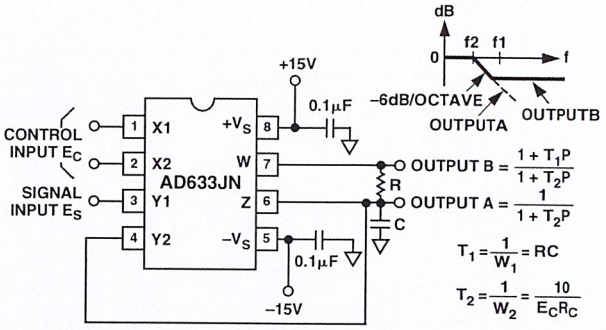


Figure 11. Voltage Controlled Low-Pass Filter

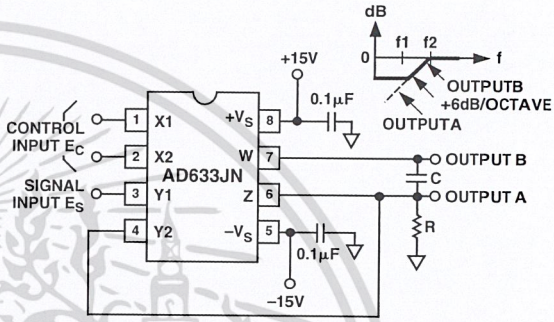


Figure 12. Voltage Controlled High-Pass Filter

Voltage Controlled Quadrature Oscillator

Figure 13 shows two multipliers being used to form integrators with controllable time constants in second order differential equation feedback loop. R2 and R5 provide controlled current output operation. The currents are integrated in capacitors C1 and C2, and the resulting voltages at high impedance are applied to the X inputs of the "next" AD633. The frequency control input, E_C, connected to the Y inputs, varies the integrator gains with a calibration of 100 Hz/V. The accuracy is limited by the Y input offsets. The practical tuning range of this circuit is 100:1. C2 (proportional to C1 and C3), R3, and R4 provide regenerative feedback to start and maintain oscillation. The diode bridge, D1 through D4 (1N914s), and Zener diode D5 provide economical temperature stabilization and amplitude stabilization at ±8.5 V by degenerative damping. The out-put from the second integrator (10 V sin ωt) has the lowest distortion.

AGC AMPLIFIERS

Figure 14 shows an AGC circuit that uses an rms-to-dc converter to measure the amplitude of the output waveform. The AD633 and A1, 1/2 of an AD712 dual op amp, form a voltage controlled amplifier. The rms-to-dc converter, an AD736, measures the rms value of the output signal. Its output drives A2, an integrator/comparator whose output controls the gain of the voltage controlled amplifier. The 1N4148 diode prevents the output of A2 from going negative. R8, a 50 kΩ variable resistor, sets the circuit's output level. Feedback around the loop forces the voltages at the inverting and noninverting inputs of A2 to be equal, thus the AGC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

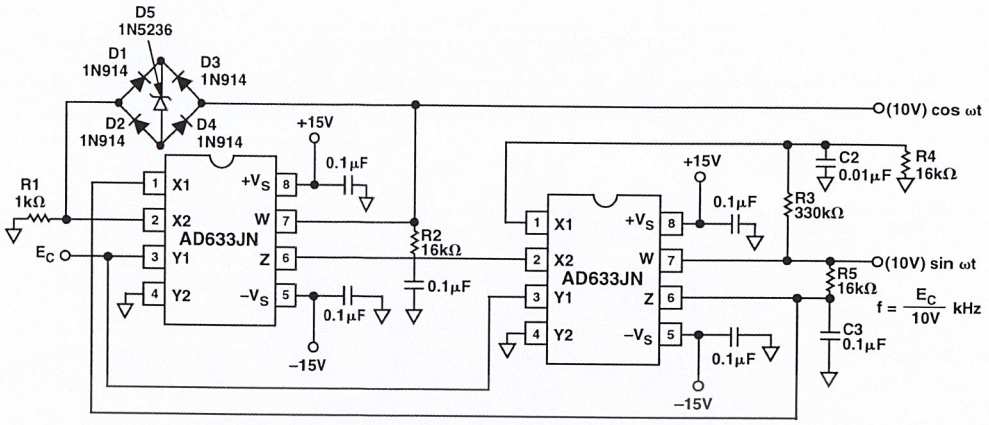


Figure 13. Voltage Controlled Quadrature Oscillator

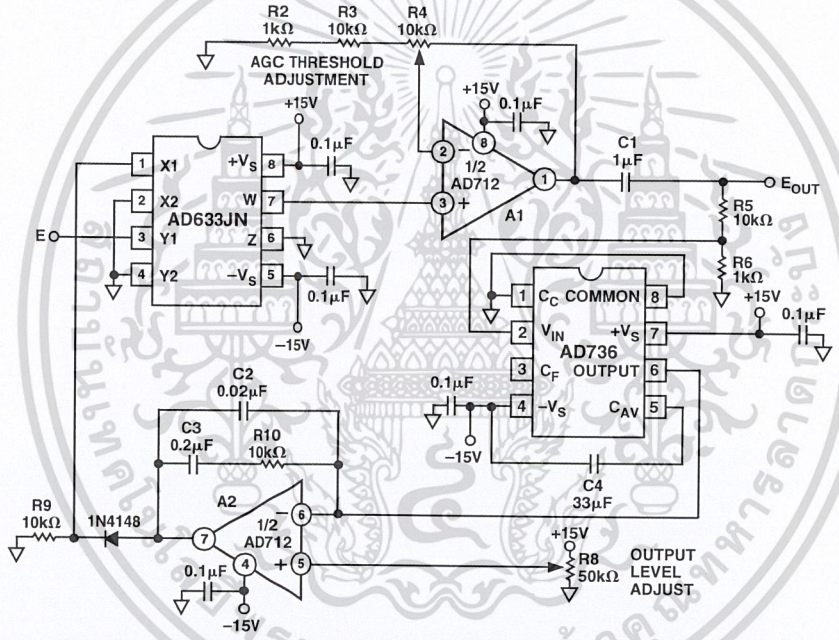


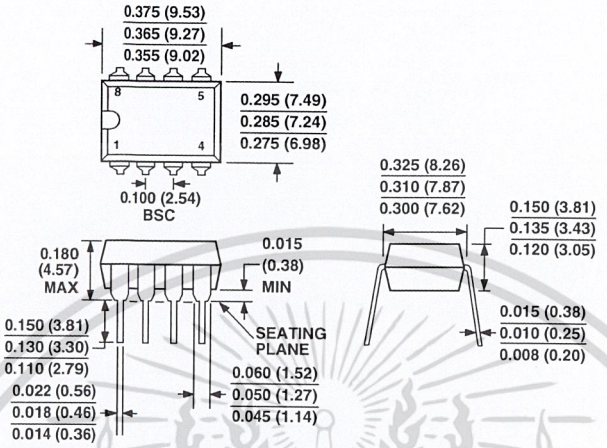
Figure 14. Connections for Use in Automatic Gain Control Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS

8-Lead Plastic Dual-in-Line Package [PDIP]
(N-8)

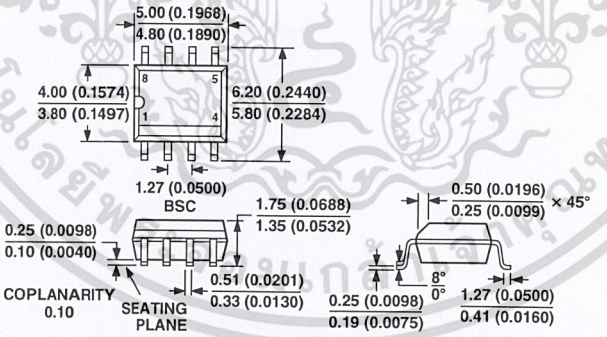
Dimensions shown in inches and (millimeters)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-095AA
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS
(IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF INCH EQUIVALENTS FOR
REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

8-Lead Standard Small Outline Package [SOIC]
Narrow Body
(RN-8)

Dimensions shown in millimeters and (inches)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012AA
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS
(IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR
REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

Revision History

Location	Page
10/02—Data Sheet changed from REV. D to REV. E.	
Edits to title of 8-Lead Plastic SOIC Package (RN-8)	1
Edits to ORDERING GUIDE	2
Change to Figure 13	7
Updated OUTLINE DIMENSIONS	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

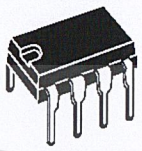
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

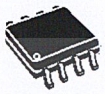
LF151
LF251 - LF351

WIDE BANDWIDTH SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER

- INTERNALLY ADJUSTABLE INPUT OFFSET VOLTAGE
- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J–FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/µs (typ)



N
DIP8
(Plastic Package)



D
SO8
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

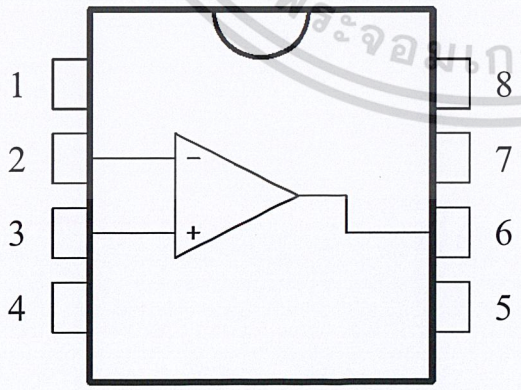
These circuits are high speed J–FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J–FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature	Package	
		N	D
LF351	0°C, +70°C	•	•
LF251	–40°C, +105°C	•	•
LF151	–55°C, +125°C	•	•

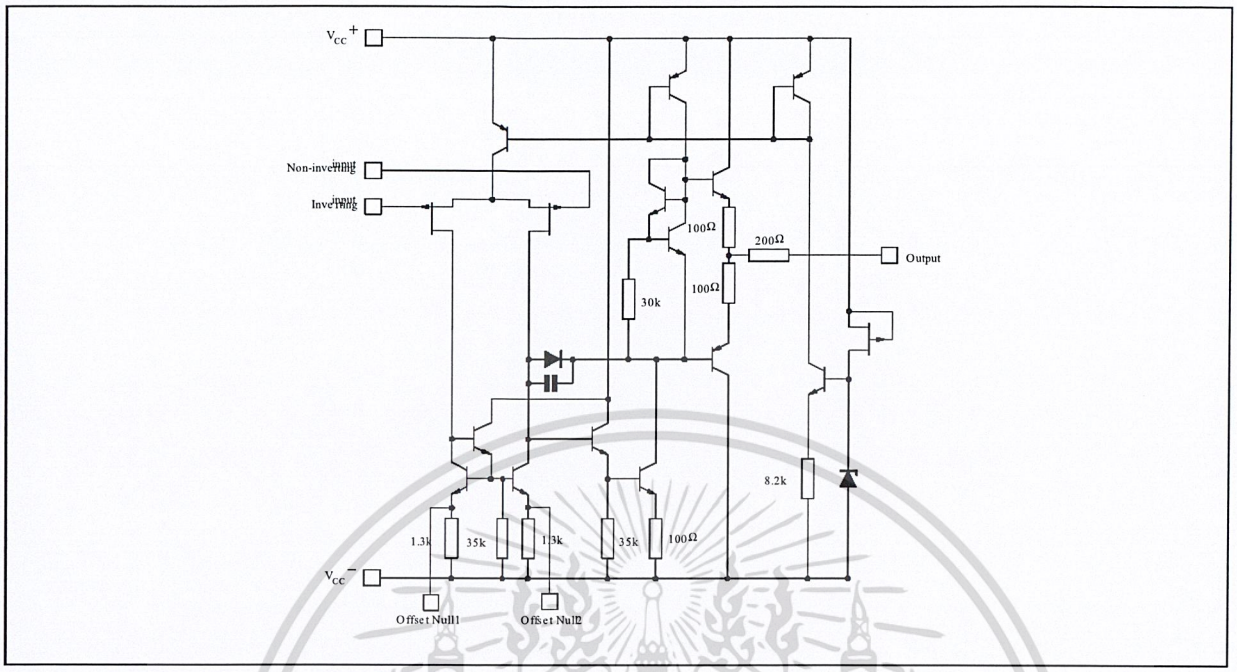
PIN CONNECTIONS (top view)



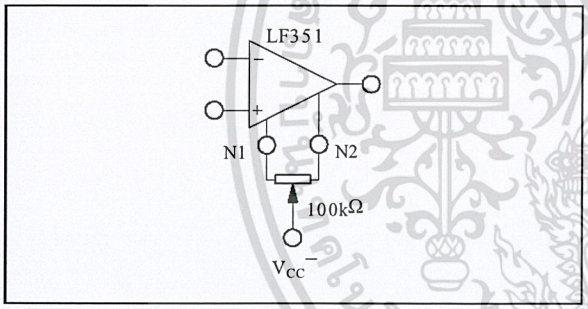
1 - Offset Null 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Offset Null 2
6 - Output
7 - V_{CC}^+
8 - N.C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage - (note 1)		±18	V
V_i	Input Voltage - (note 3)		±15	V
V_{id}	Differential Input Voltage - (note 2)		±30	V
P_{tot}	Power Dissipation		680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)		Infinite	
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	LF351 LF251 LF151	0 to 70 –40 to 105 –55 to 125	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		–65 to 150	°C

Notes :
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^-.
2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and /or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

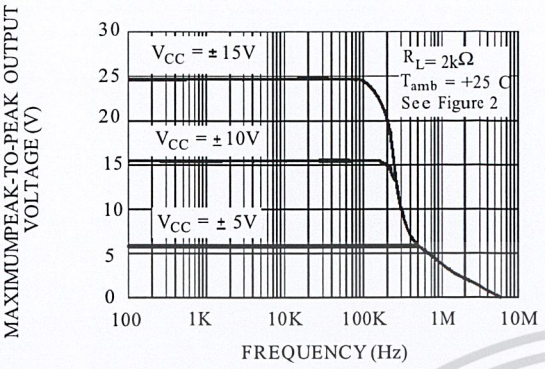
Symbol	Parameter	LF151 - LF251 - LF351			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage (R_S = 10kΩ) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10		µV/°C
I_{io}	Input Offset Current * T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current * T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		20	200 20	pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain (R_L = 2kΩ, V_O = ±10V) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R_S = 10kΩ) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$	80 80	86		dB
I_{CC}	Supply Current (no load) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		1.4	3.4 3.4	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R_S = 10kΩ) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$	70 70	86		dB
Ios	Output Short-circuit Current T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{OPP}$	Output Voltage Swing T_{amb} = 25°C R_L = 2kΩ R_L = 10kΩ $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$ R_L = 2kΩ R_L = 10kΩ	10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate (V_i = 10V, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, unity gain)	12	16		V/µs
t_r	Rise Time (V_i = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, unity gain)		0.1		µs
K_{OV}	Overshoot (V_i = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, unity gain)		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T_{amb} = 25°C, V_{in} = 10mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF)	2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A_V = 20dB, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, V_O = $2V_{PP}$)		0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R_s = 100Ω)		15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
Øm	Phase Margin		45		Degrees

* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

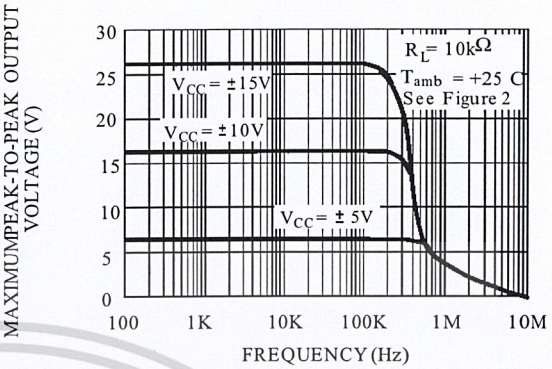
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

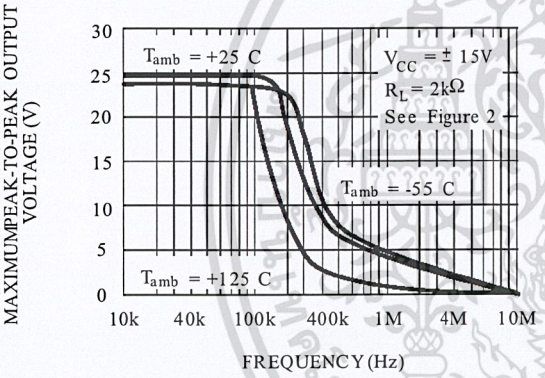
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



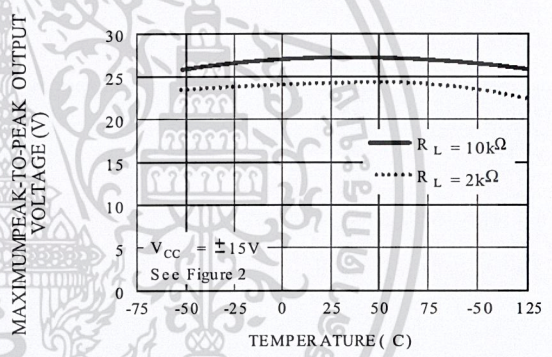
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



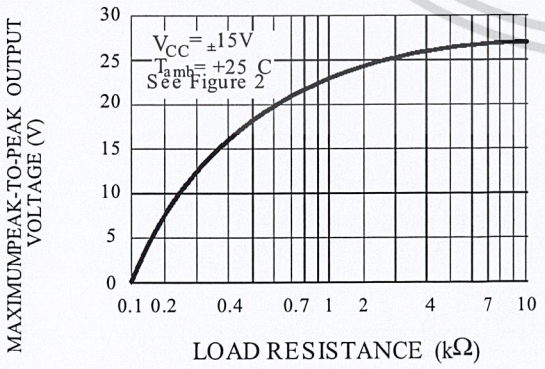
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



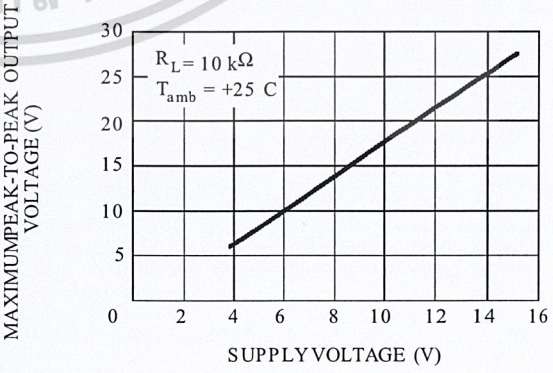
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS LOAD RESISTANCE

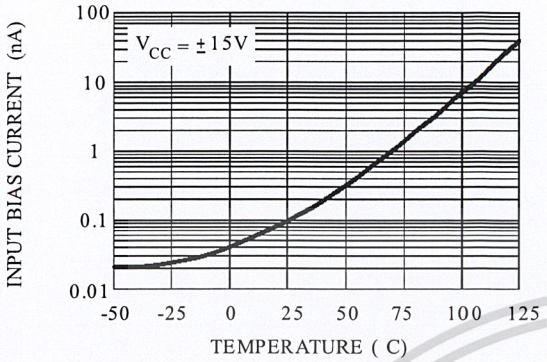


MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS SUPPLY VOLTAGE

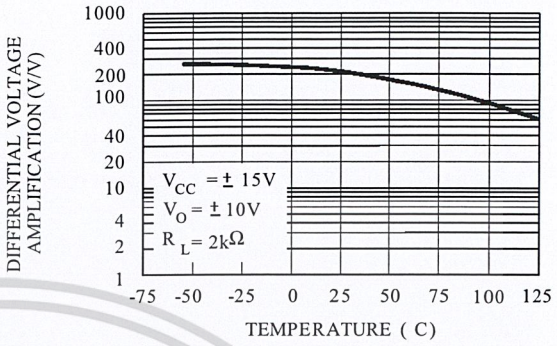


SGS-THOMSON MICROELECTRONICS
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

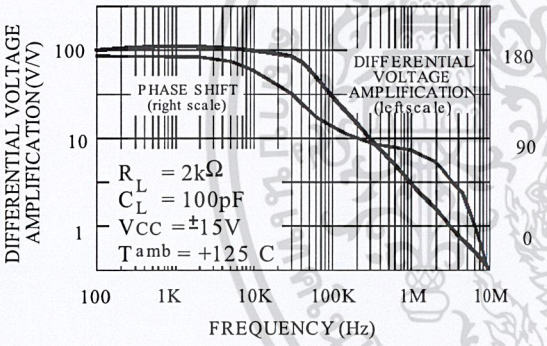
INPUT BIAS CURRENT VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



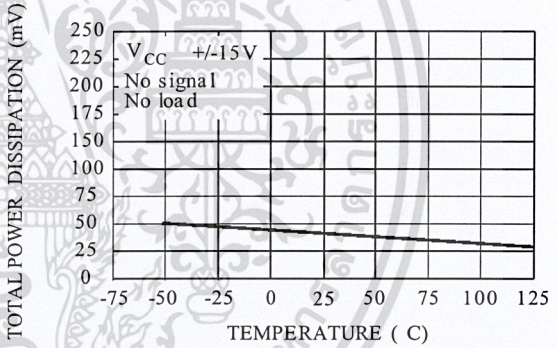
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



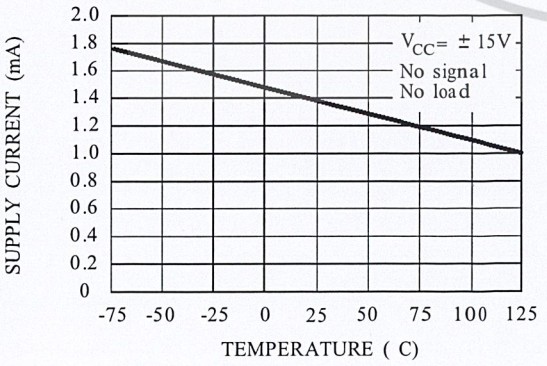
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT VERSUS FREQUENCY



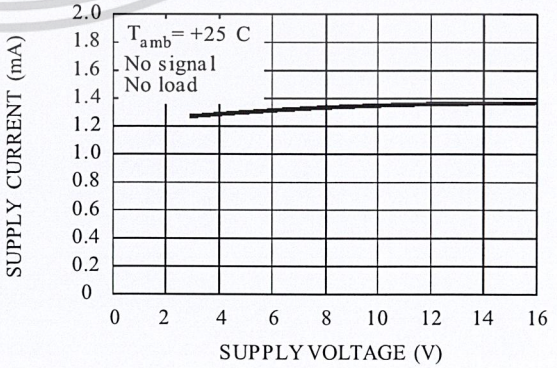
TOTAL POWER DISSIPATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS FREE AIR TEMPERATURE

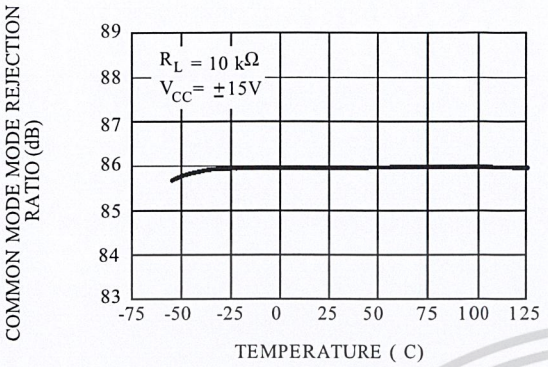


SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS SUPPLY VOLTAGE

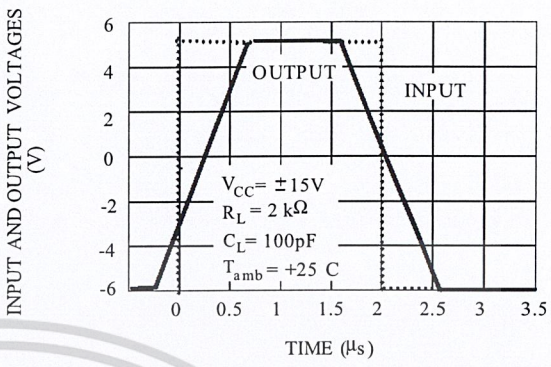


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

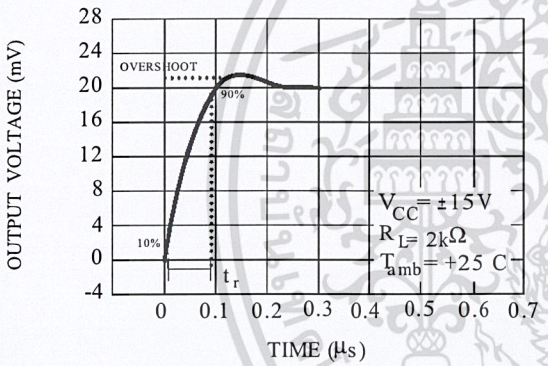
COMMON MODE REJECTION RATIO VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



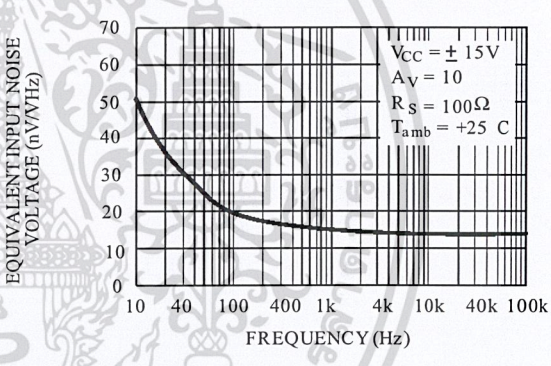
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



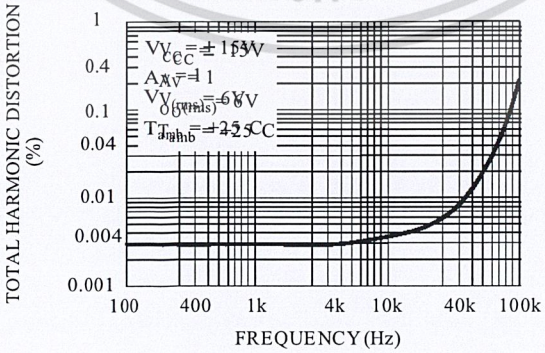
OUTPUT VOLTAGE VERSUS ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS FREQUENCY



SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

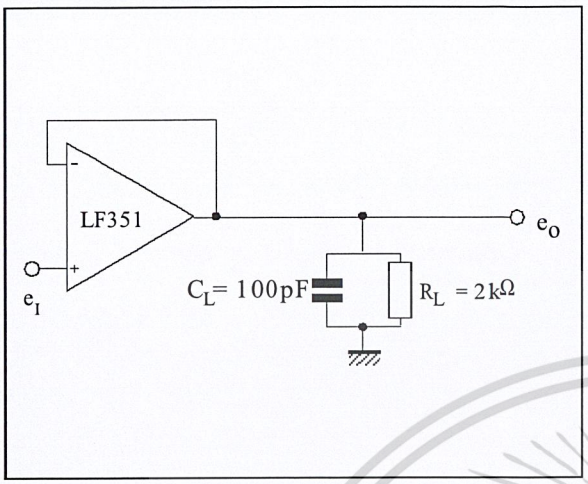
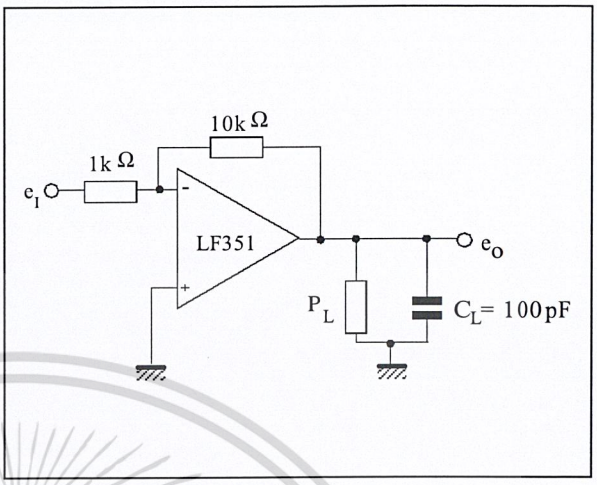
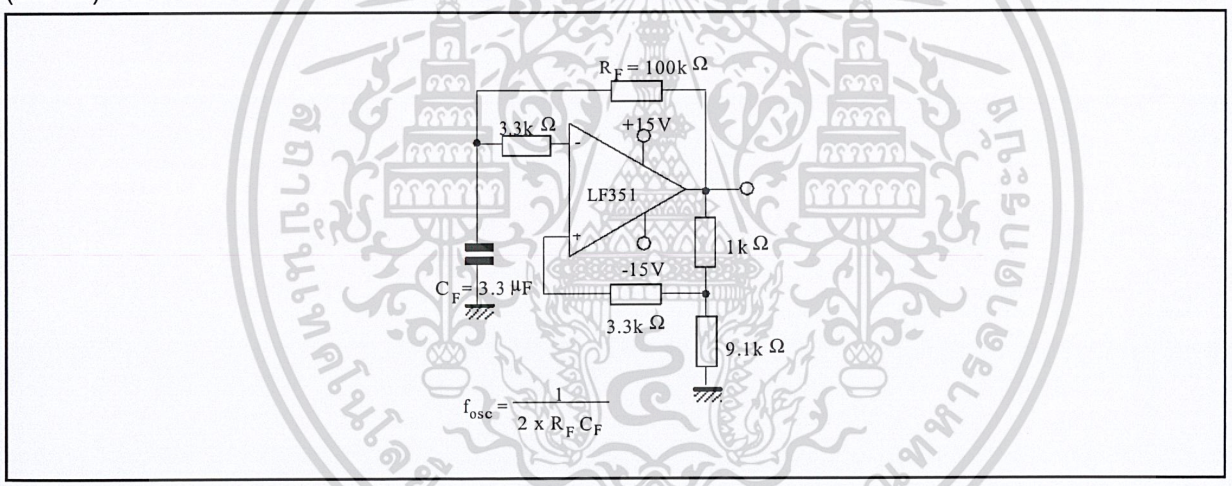


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier

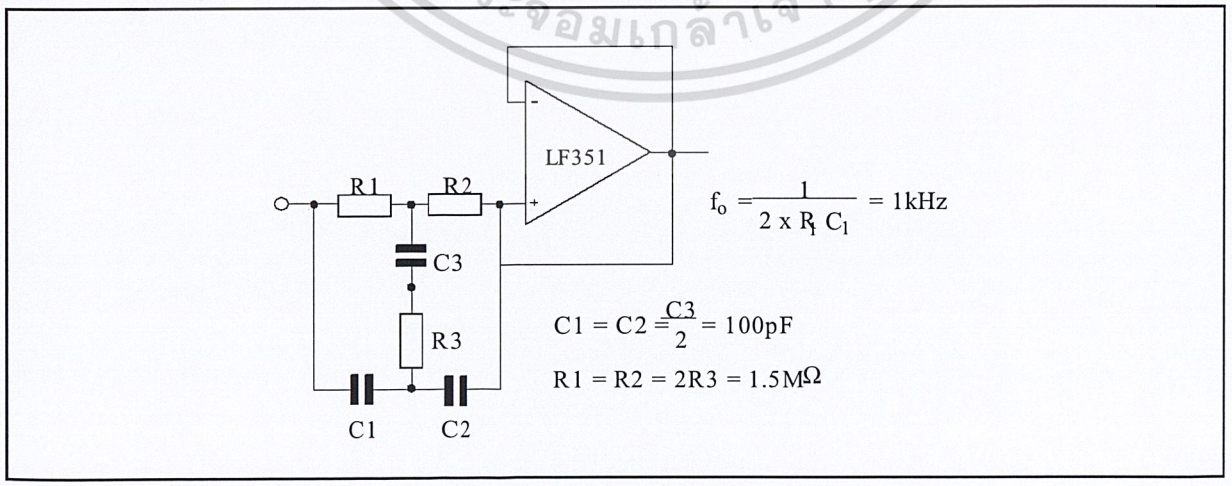


TYPICAL APPLICATION

(0.5Hz) SQUARE WAVE OSCILLATOR



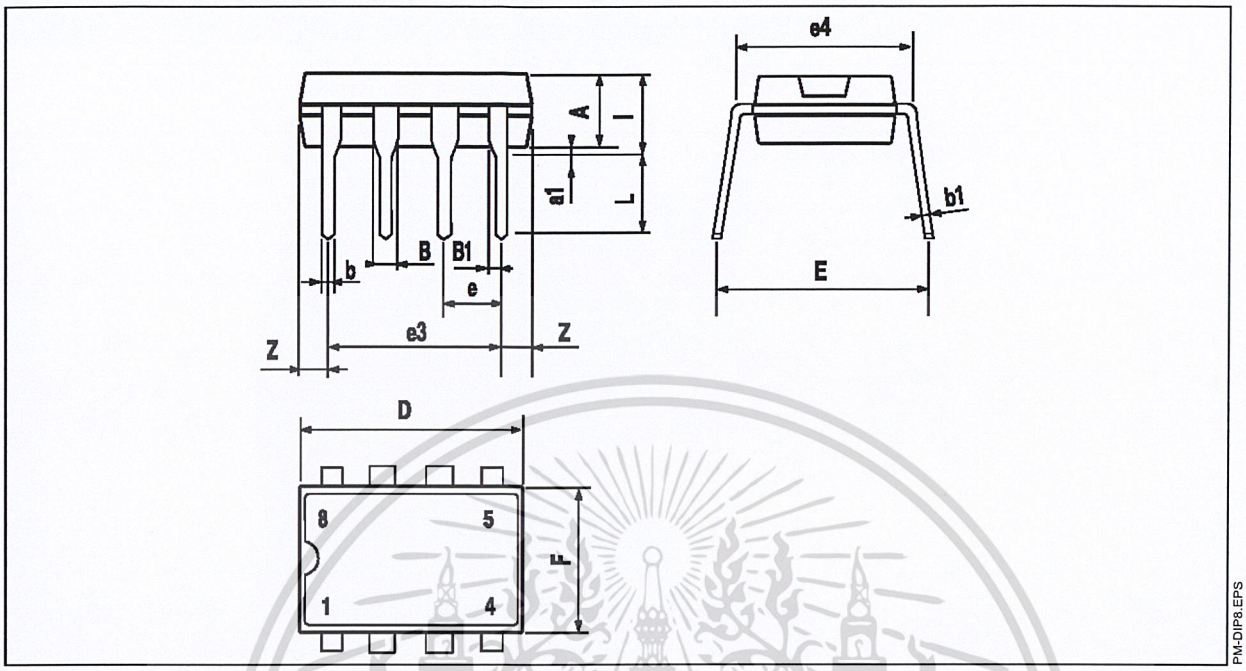
HIGH Q NOTCH FILTER



SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



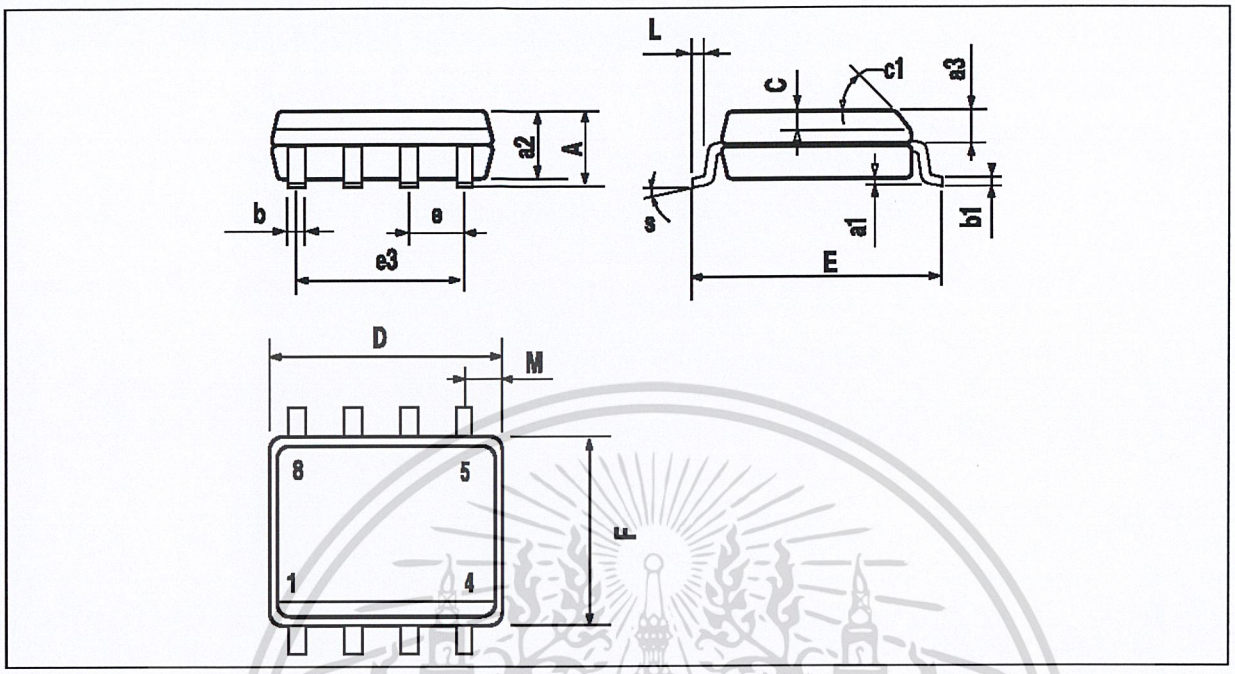
Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

DIP8.TBL

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA

8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



PM-SO8.EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

SO8.TBL

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1997 SGS-THOMSON Microelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ORDER CODE :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

NI USB-6008, NI USB-6009

- 8 analog inputs at 12 or 14 bits, up to 48 kS/s
- 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
- 12 TTL/CMOS digital I/O lines
- 32-bit, 5 MHz counter
- Digital triggering
- Bus-powered
- 1-year warranty

Operating Systems

- Windows Vista (32- and 64-bit)/XP/2000
- Mac OS X[1]
- Linux®[1]
- Windows Mobile[1]
- Windows CE[1]

Recommended Software

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress
- LabWindows™/CVI
- Measurement Studio

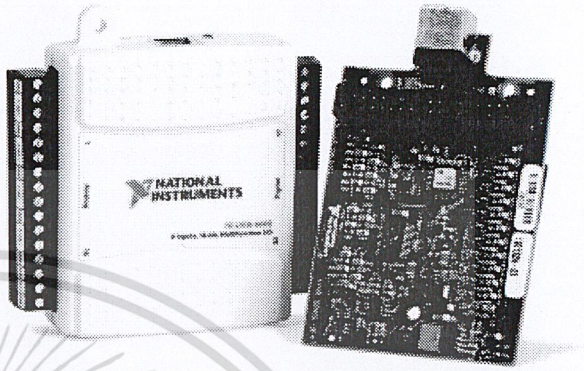
Other Compatible Software

- C#, Visual Basic .NET
- ANSI C/C++

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx driver software
- Measurement & Automation Explorer configuration utility
- LabVIEW SignalExpress LE

[1]You need to download NI-DAQmx Base for these operating systems.



Product	Bus	Analog Inputs[1]	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

[1]SE = single ended, DI = differential [2]Software-timed

Overview and Applications

With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement applications. The NI USB-6008 and USB-6009 are low-cost entry points to NI flagship data acquisition (DAQ) devices. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where low cost, small form factor, and simplicity are essential. Examples include:

- Data logging – quick and easy environmental or voltage data logging
- Academic lab use – student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- OEM applications as I/O for embedded systems

Recommended Software

National Instruments measurement services software, built around NI-DAQmx driver software, includes intuitive application programming interfaces, configuration tools, I/O assistants, and other tools designed to reduce system setup, configuration, and development time. National Instruments recommends using the latest version of NI-DAQmx driver software for application development in NI LabVIEW, LabVIEW SignalExpress, LabWindows/CVI, and Measurement Studio software. To obtain the latest version of NI-DAQmx, visit ni.com/support/daq/versions.

NI measurement services software speeds up your development with features including:

- A guide to create fast and accurate measurements with no programming using the DAQ Assistant.
- Automatic code generation to create your application in LabVIEW.
- LabWindows/CVI; LabVIEW SignalExpress; and C#, Visual Studio .NET, ANSI C/C++, or Visual Basic using Measurement Studio.
- Multithreaded streaming technology for 1,000 times performance improvements.
- Automatic timing, triggering, and synchronization routing to make advanced applications easy.
- More than 3,000 free software downloads available at ni.com/zone to jump-start your project.
- Software configuration of all digital I/O features without hardware switches/jumpers.
- Single programming interface for analog input, analog output, digital I/O, and counters on hundreds of multifunction DAQ hardware devices. M Series devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW, LabWindows/CVI, or Measurement Studio versions 7.x; and LabVIEW SignalExpress 2.x.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NATIONAL INSTRUMENTS™

Every M Series data acquisition device also includes a copy of LabVIEW SignalExpress LE data-logging software, so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. The NI-DAQmx Base driver software is provided for use with Linux, Mac OS X, Windows Mobile, and Windows CE operating systems.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-600x Connectivity Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-600x Prototyping Kit provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

NI USB DAQ for OEMs

Shorten your time to market by integrating world-class National Instruments OEM measurement products into your embedded system design. Board-only versions of NI USB DAQ devices are available for OEM applications, with competitive quantity pricing and available software customization. The NI OEM Elite Program offers free 30-day trial kits for qualified customers. Visit ni.com/oem for more information.

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost, hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit ni.com/oem. Go to the Ordering Information section for part numbers.

Ordering Information

NI USB-6008[1]	779051-01
NI USB-6009[1]	779026-01
NI USB-6008 OEM	193132-02
NI USB-6009 OEM	193132-01
NI USB-6008 Student Kit[1,2]	779320-22
NI USB-6009 Student Kit[1,2]	779321-22
NI USB-600x Connectivity Kit	779371-01
NI USB-600x Prototyping Kit	779511-01

[1] Includes NI-DAQmx software, LabVIEW SignalExpress LE, and a USB cable.

[2] Includes LabVIEW Student Edition.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 813 3693 (U.S. only) or go to **ni.com/usb**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential[1]

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels ..... 8 single-ended/4 differential
Type of ADC ..... Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended ..... ±10 V
Input range, differential ..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage ..... ±10 V
Overvoltage protection ..... ±35 V
FIFO buffer size ..... 512 B
Timing resolution ..... 41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy ..... 100 ppm of actual sample rate
Input impedance ..... 144 kΩ
Trigger source ..... Software or external digital trigger
System noise ..... 5 m V_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load) ..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels 2
Type of DAC ..... Successive approximation
DAC resolution ..... 12 bits
Maximum update rate ..... 150 Hz, software-timed
Output range ..... 0 to +5 V
Output impedance ..... 50 Ω
Output current drive ..... 5 mA
Power-on state ..... 0 V
Slew rate ..... 1 V/µs
Short-circuit current ..... 50 mA

Digital I/O

Number of channels ..... 12 total
8 (P0.<0..7>)
4 (P1.<0..3>)
Direction control ..... Each channel individually programmable as input or output

Output driver type
USB-6008 ..... Open-drain
USB-6009 ..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
Compatibility ..... CMOS, TTL, LVTTL
Internal pull-up resistor ..... 4.7 kΩ to +5 V
Power-on state ..... Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range ..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	–	50	µA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	–	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	–	V

Counter

Number of counters 1
Resolution ..... 32 bits
Counter measurements ..... Edge counting (falling edge)
Pull-up resistor ..... 4.7 kΩ to 5 V
Maximum input frequency ..... 5 MHz
Minimum high pulse width ..... 100 ns
Minimum low pulse width ..... 100 ns
Input high voltage ..... 2.0 V
Input low voltage ..... 0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum) ..... +5 V typical
+4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum) ..... +2.5 V typical
+2.5 V output accuracy ..... 0.25% max
Voltage reference temperature drift ..... 50 ppm/°C max

[1] Input voltages may not exceed the working voltage range.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 µA typical 500 µA maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree	2

Safety and Compliance

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

Note: For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

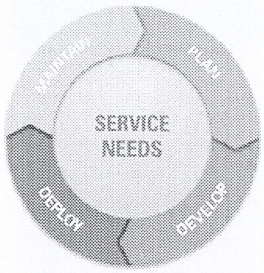
EU Customers: At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.htm.

电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)

中国客户 National Instruments 关于遵守《电子信息产品污染控制管理办法》(中国 RoHS) 的信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.

Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

NATIONAL INSTRUMENTS™
Certified Alliance Partner

OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.

NATIONAL INSTRUMENTS™

ni.com • (800) 813 3693
National Instruments • info@ni.com

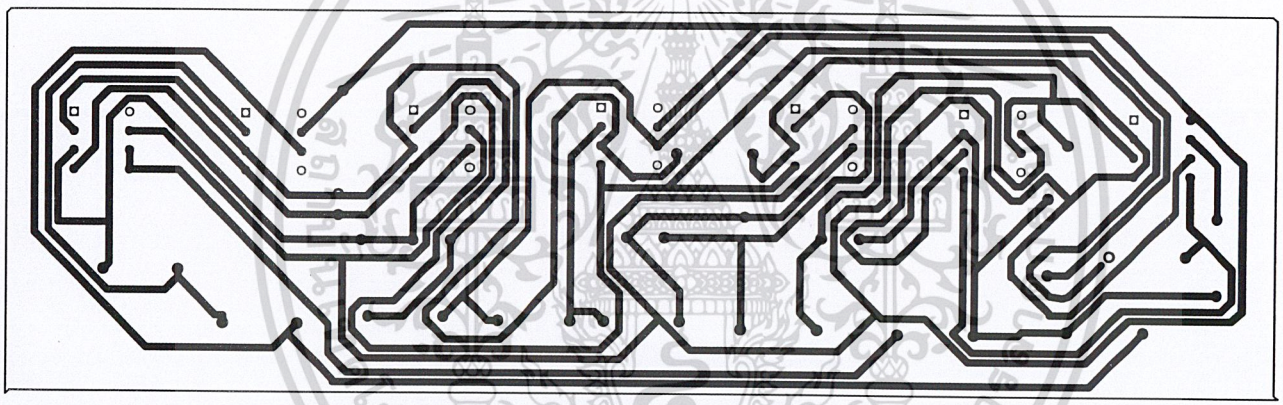
351378C-01 2008-9621-301-101-D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

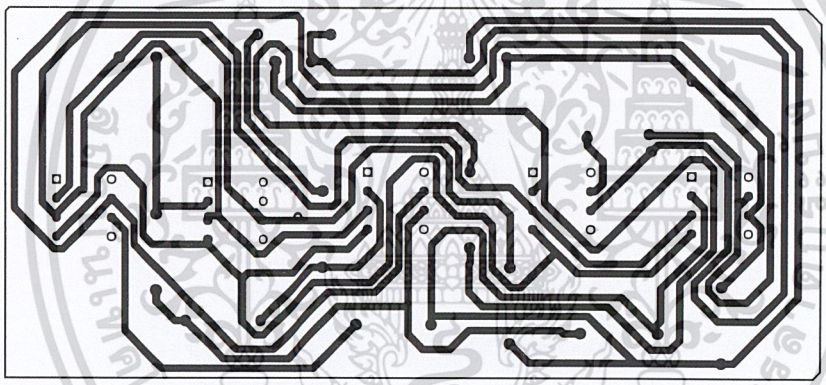
©2008 National Instruments. All rights reserved. CVI, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, SCXI, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Linux® is the registered trademark of Linus Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

ภาคผนวก ค.

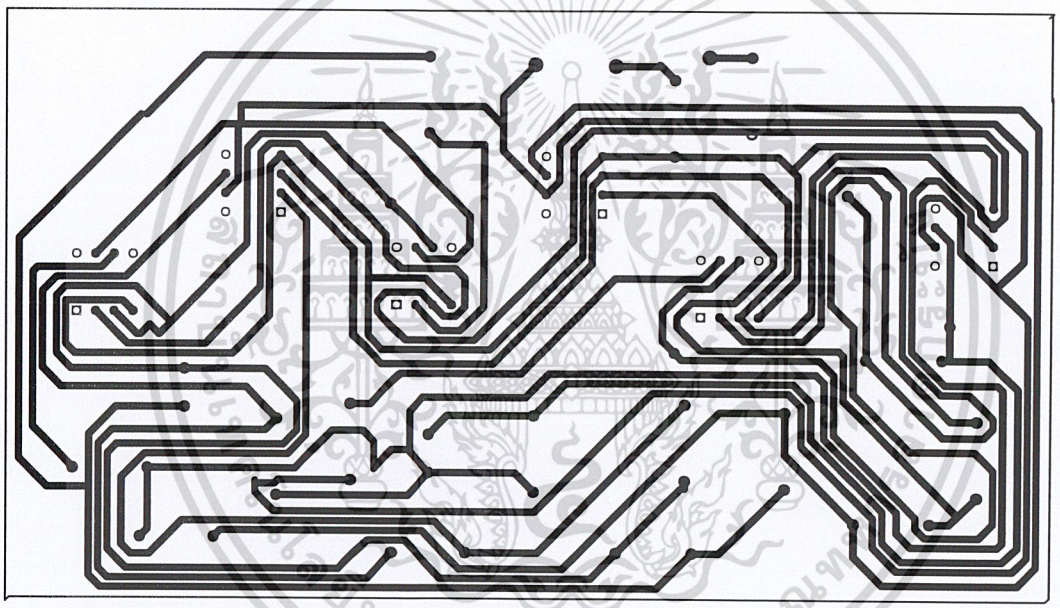
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



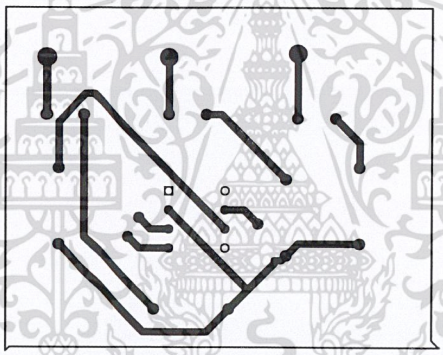
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional