

บทที่ 4

ชุดทดลองสัญญาณออสซิลโลสโคปเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์

ในบทนี้เป็นการออกแบบสร้างสัญญาณออสซิลโลสโคปหรือเคออสติกแอทแทรกเตอร์ที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์การผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โมดูลของ Labview การแสดงผลการทดลองของสัญญาณในโดเมนของเวลาและ โดเมนของความถี่ Frequency spectra (FFT) และค่า Poincare's map ที่แสดงความ เป็นเคออส โดยในการสร้างเราเลือกเคออสติกแอทแทรกเตอร์ของ Sprott ที่ง่ายต่อการสร้างและสะดวกต่อ การอธิบายในห้องปฏิบัติการ

4.1 เคออสติกแอทแทรกเตอร์ของ Sprott (Sprott's attractor)

หลังจากที่ Lorenz และ Rossler ได้ค้นพบสมการเกี่ยวกับการสร้างตัวดึงดูดสัญญาณเคออส ต่อมา มี ผู้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างสัญญาณเคออสแบบใหม่ คือ J.C. Sprott ซึ่งได้ใช้คอมพิวเตอร์หาสมการเคออส ทั้งหมดที่เป็นไปได้โดยอยู่ในรูป Jerk function ($\ddot{x} = J(\dot{x}, x)$) พร้อมด้วยฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น แบบง่าย ๆ 1 ตัว โดยสมการที่ Sprott ค้นพบมีดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการสร้างสัญญาณเคออส third-order ODE systems และ Lyapunov exponents

System	Initial conditions (x, \dot{x}, \ddot{x})	Lyapunov exponents (base e)
$\ddot{x} = -2.017 \dot{x} \pm x^2 - x$	(0, 0, ± 1)	0.055, 0, -2.072
$\ddot{x} = -2.8 \dot{x} \pm x + x^2$	($\mp 0.5, -1, 1$)	0.002, 0, -0.002
$\ddot{x} = -0.44 \dot{x} - 2\dot{x} \pm (x^2 - 1)$	(0, 0, 0)	0.105, 0, -0.545
$\ddot{x} = -0.5 \dot{x} - \dot{x} \pm x \pm x^2$	(0, $\pm 1, 0$)	0.094, 0, -0.594
$\ddot{x} = -2 \dot{x} \pm (x - 1)$	$\pm(-1, -1, 1)$	0.003, 0, -0.003
$\ddot{x} = -0.6 \dot{x} - \dot{x} \pm (x - 1)$	(0, 0, 0)	0.036, 0, -0.636
$\ddot{x} = -0.3 \dot{x} - 0.3 \dot{x} - D(x) + 1$	(0, 0, 0)	0.042, 0, -0.342
$\ddot{x} = -0.3 \dot{x} - 0.3 \dot{x} - R(x) - 1$	(0, 0, 0)	0.042, 0, -0.342
$\ddot{x} = -2.9 \dot{x} \pm (0.7 x - D(x) + 1)$	$\pm(0, -0.5, 0.5)$	0.003, 0, -0.003
$\ddot{x} = -2.9 \dot{x} \pm (0.7 x - R(x) - 1)$	$\pm(0, 0.5, -0.5)$	0.003, 0, -0.003
$\ddot{x} = -0.5 \dot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(x)$	(0, 1, 0)	0.152, 0, -0.652
$\ddot{x} = -0.5 \dot{x} - \dot{x} + x - \text{sgn}(x)$	(0, 1, 0)	0.601, 0, -1.101
$\ddot{x} = -0.7 \dot{x} - \dot{x} - x + H(x)$	(0, 1, 0)	0.085, 0, -0.785
$\ddot{x} = -0.4 \dot{x} - \dot{x} - x + 2S(x)$	(0, 1, 0)	0.072, 0, -0.472
$\ddot{x} = -0.4 \dot{x} - \dot{x} + x - 2S(x)$	(0, 1, 0)	0.091, 0, -0.491
$\ddot{x} = -0.19 \dot{x} - \dot{x} - x + 2 \tanh(x)$	(0, 1, 0)	0.128, 0, -0.318
$\ddot{x} = -0.19 \dot{x} - \dot{x} + x - 2 \tanh(x)$	(0, 1, 0)	0.067, 0, -0.257
$\ddot{x} = -3.7 \dot{x} \pm (x - x^3)$	(0, $\pm 0.5, 1$)	0.002, 0, -0.002
$\ddot{x} = -0.6 \dot{x} + 2.8 \dot{x} - \dot{x}^3 - x$	(0, 1, 0)	0.034, 0, -0.634
$\ddot{x} = -0.7 \dot{x} - \dot{x} + x - x^3$	(0, 1, 0)	0.138, 0, -0.838
$\ddot{x} = -0.35 \dot{x} - \dot{x} - x + x^3$	(0, 1, 0)	0.082, 0, -0.432
$\ddot{x} = -0.2 \dot{x} - \dot{x} \pm \sin(x)$	(0, 1, 0)	0.123, 0, -0.323

จากตารางที่ 4.1 แสดงสมการเคออสที่อยู่ในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ พร้อมกับค่าเริ่มต้น และค่า Lyapunov exponents ที่ J.C. Sprott ค้นพบ

3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดเคออสติกแอทแทรกเตอร์

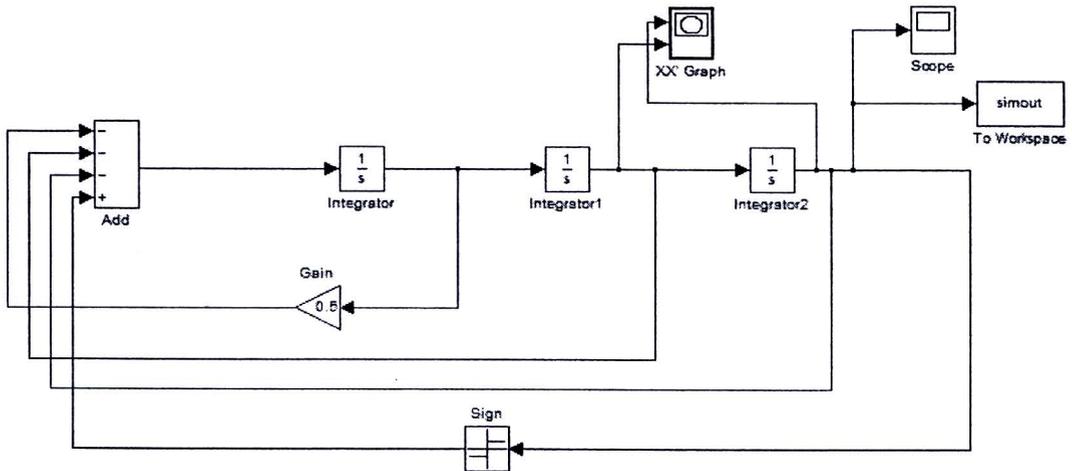
สัญญาณเคออสติกแอทแทรกเตอร์ที่มีรูปแบบไม่ซ้ำกันและไม่สามารถคาดเดาได้ แต่จะอยู่ในขอบเขตของสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) จากการศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการสร้างสัญญาณเคออสอย่างง่ายของ Sprott ซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ ดังนี้

$$\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(x) \quad (4.1)$$

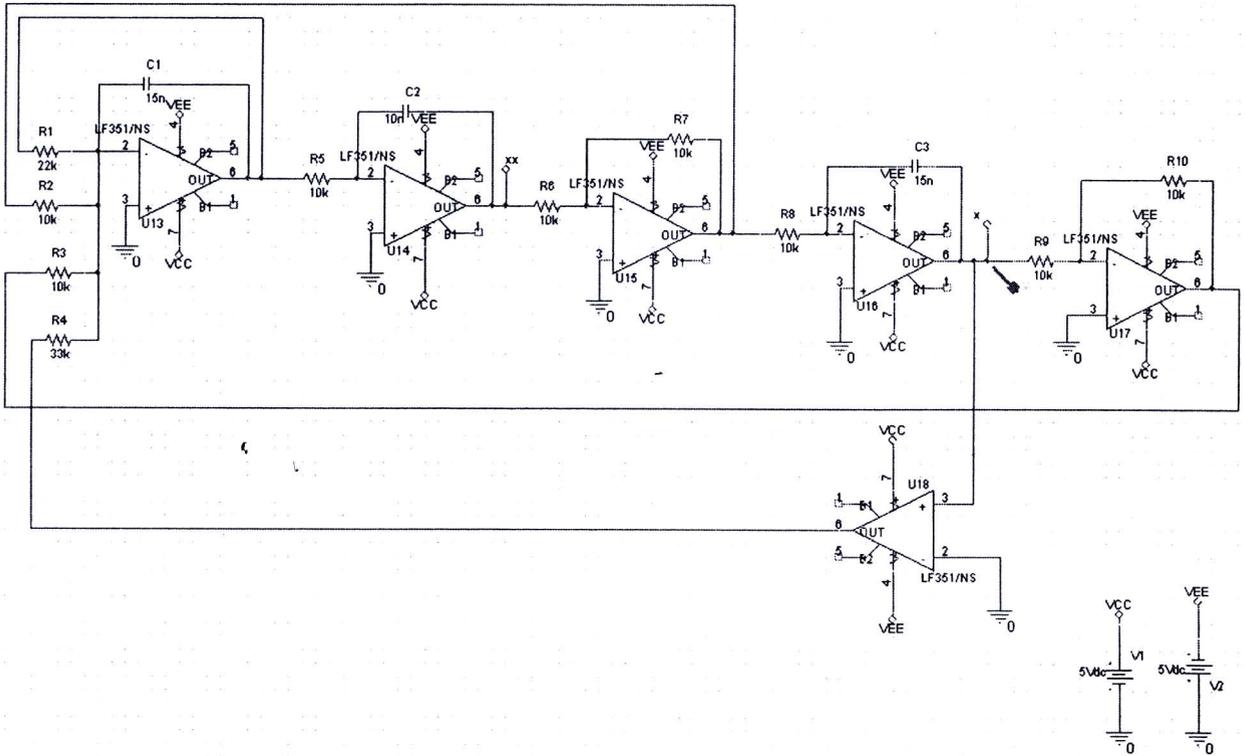
$$\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} + x - \text{sgn}(x) \quad (4.2)$$

$$\ddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + H(x) \quad (4.3)$$

จากสมการทั้งสาม นำมาออกแบบวงจรโดยใช้โปรแกรม Simulink ใน MatLab และออกแบบวงจรไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Pspice ซึ่งใช้หลักการของออปแอมป์ในการสร้างวงจรกลับเฟส (Inverting Amplifier) และวงจร Integrator ดังนี้ $\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(x)$

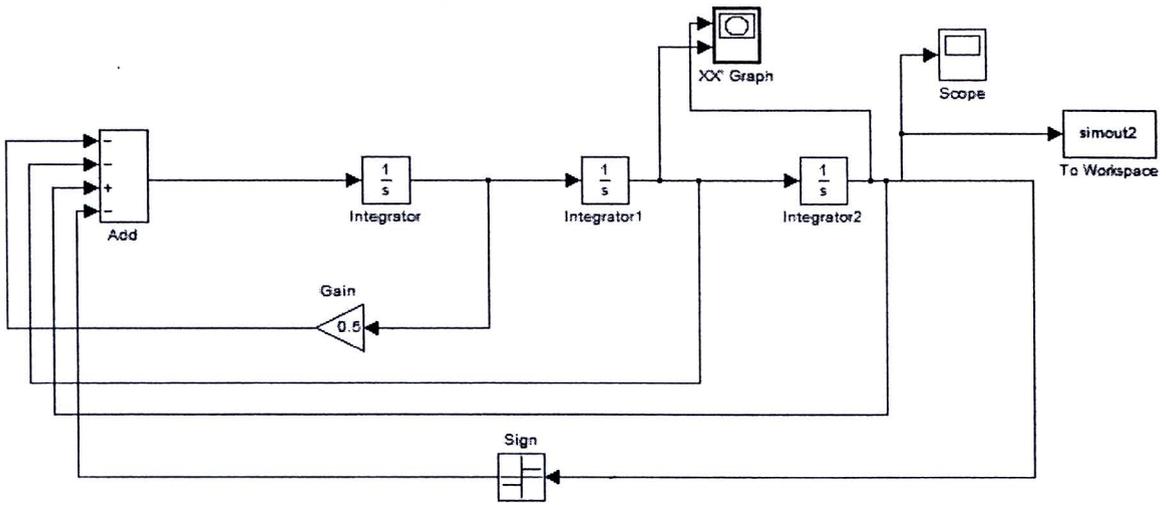


รูปที่ 4.1 แสดงวงจรของสมการ 4.1 ที่ได้จากโปรแกรม Simulink

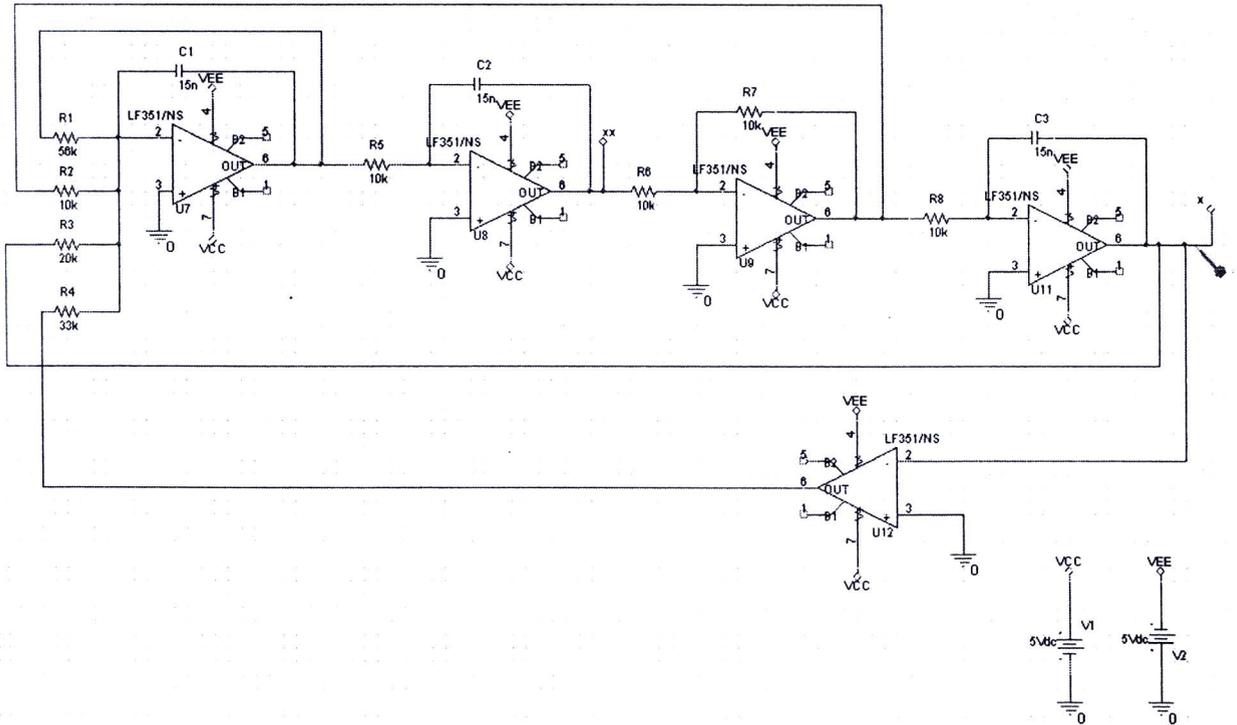


รูปที่ 4.2 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 4.1 ที่ได้จาก โปรแกรม Pspice

การสร้างสมการ (4.2) $\ddot{x} = -0.5\dot{x} - \dot{x} + x - \text{sgn}(x)$

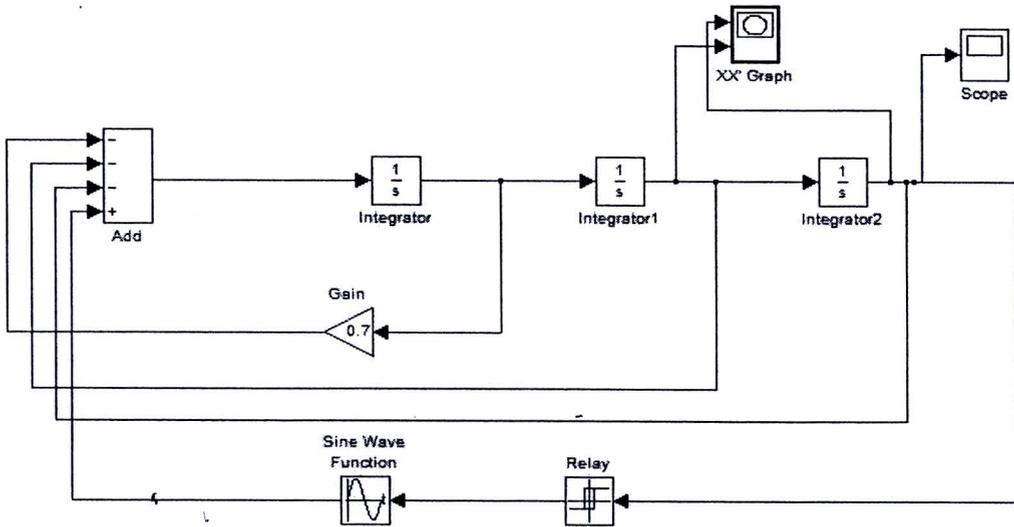


รูปที่ 4.3 แสดงวงจรของสมการที่ 2 ที่ได้จากโปรแกรม Simulink

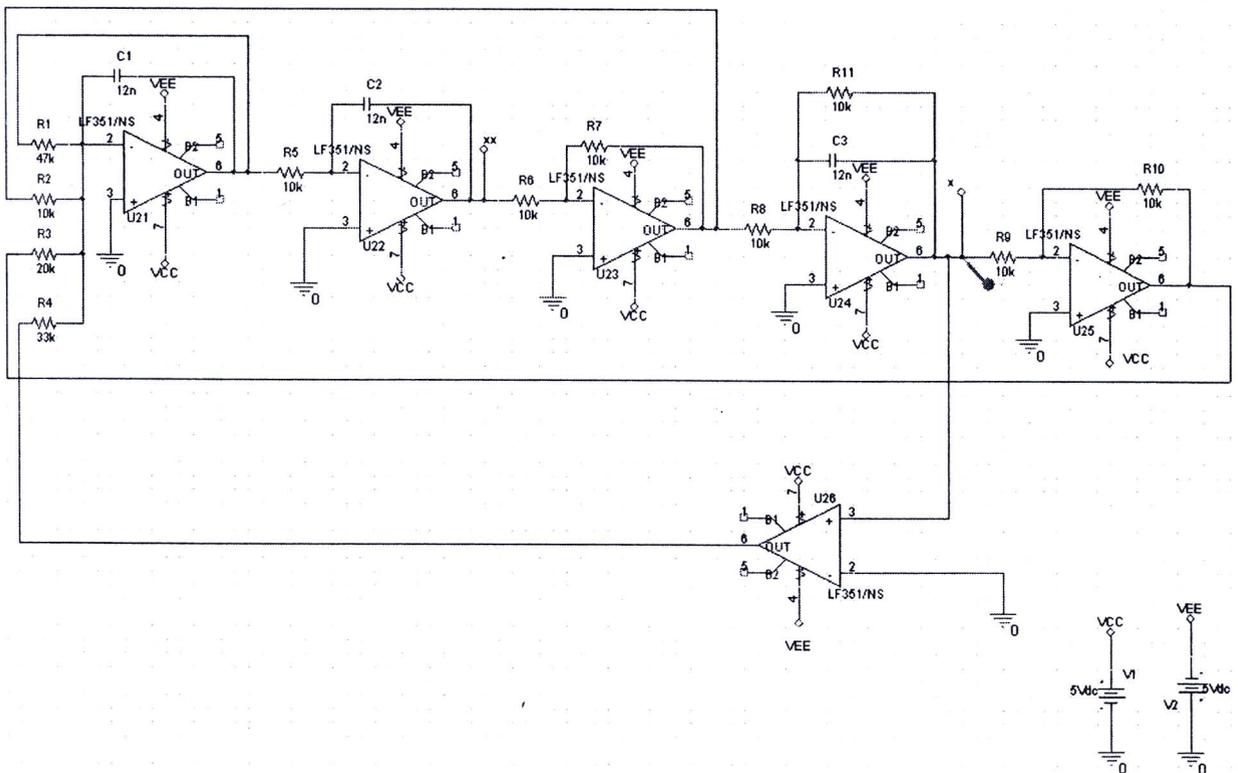


รูปที่ 4.4 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 4.2 ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

การสร้างสมการ (4.3) $\ddot{x} = -0.7\dot{x} - x + H(x)$



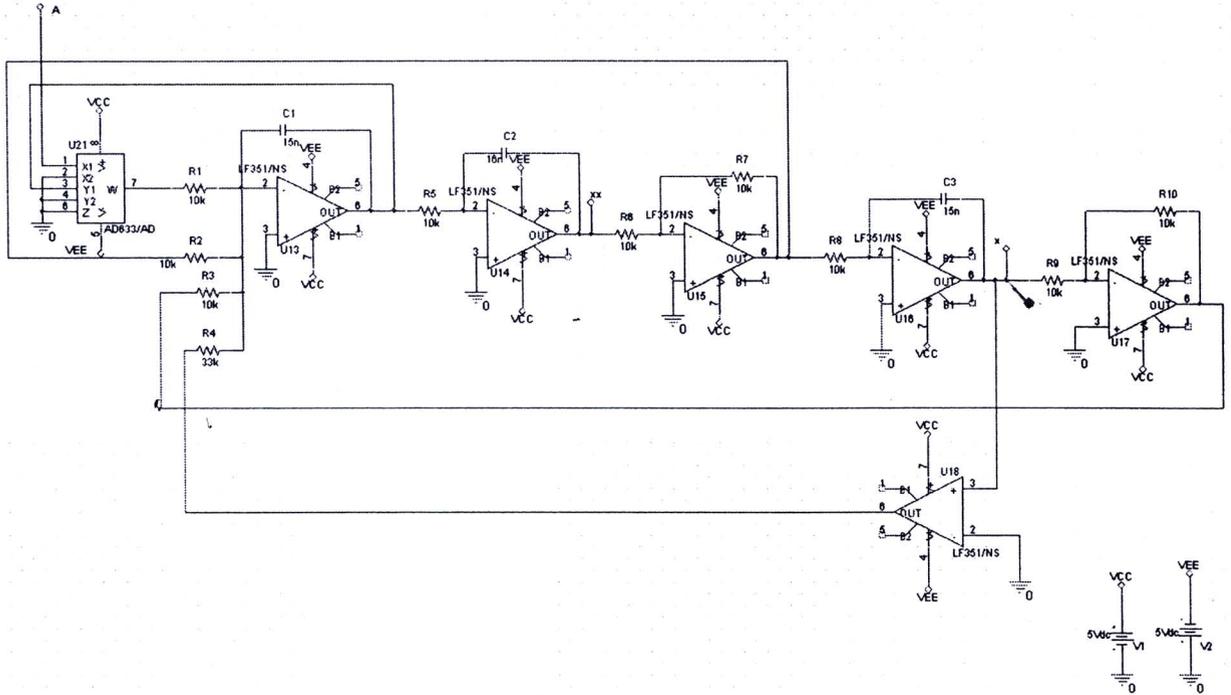
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรของสมการที่ (4.3) ที่ได้จากโปรแกรม MatLab



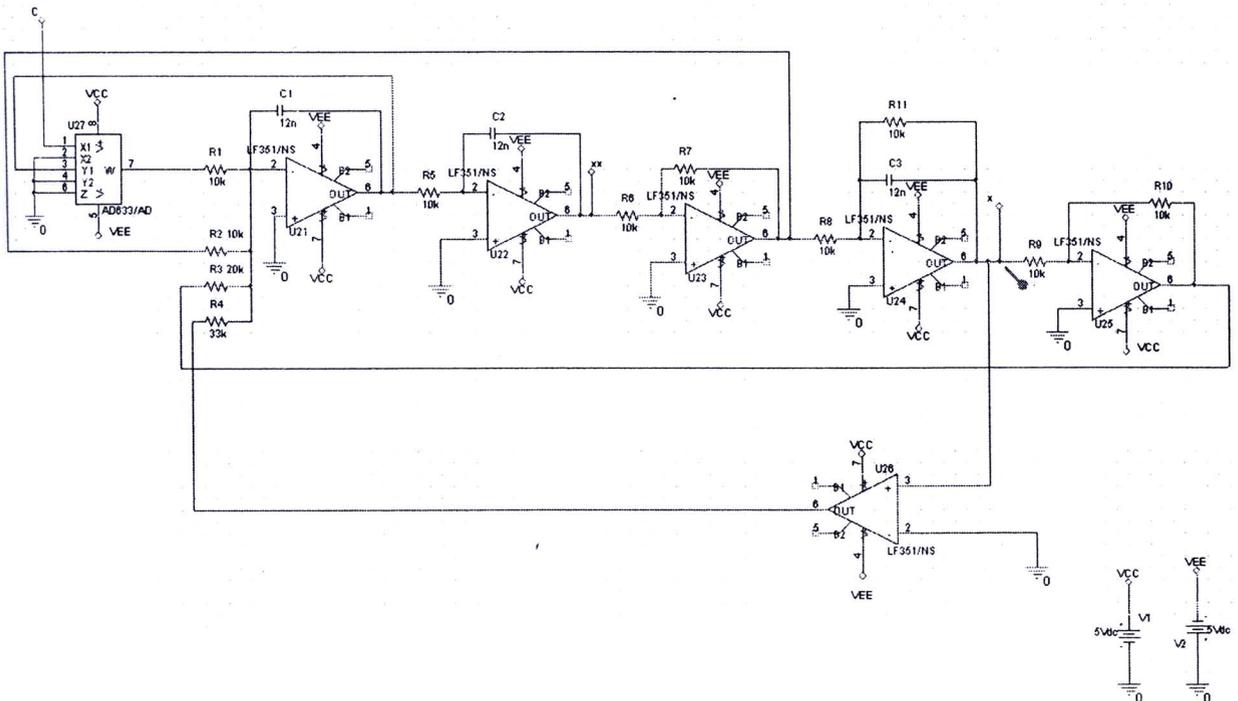
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ (4.3) ที่ได้จากโปรแกรม Pspice

5.2.1 การออกแบบวงจรสัญญาณอลวนแบบที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้

จากวงจรสมการของ Sprot โดยเพิ่มไอซี AD633 เข้าไปในวงจรที่ได้จากสมการที่ 4.1 และ 4.3 เพื่อเป็นการคูณสัญญาณแรงดัน AD633 เข้าไปในวงจร



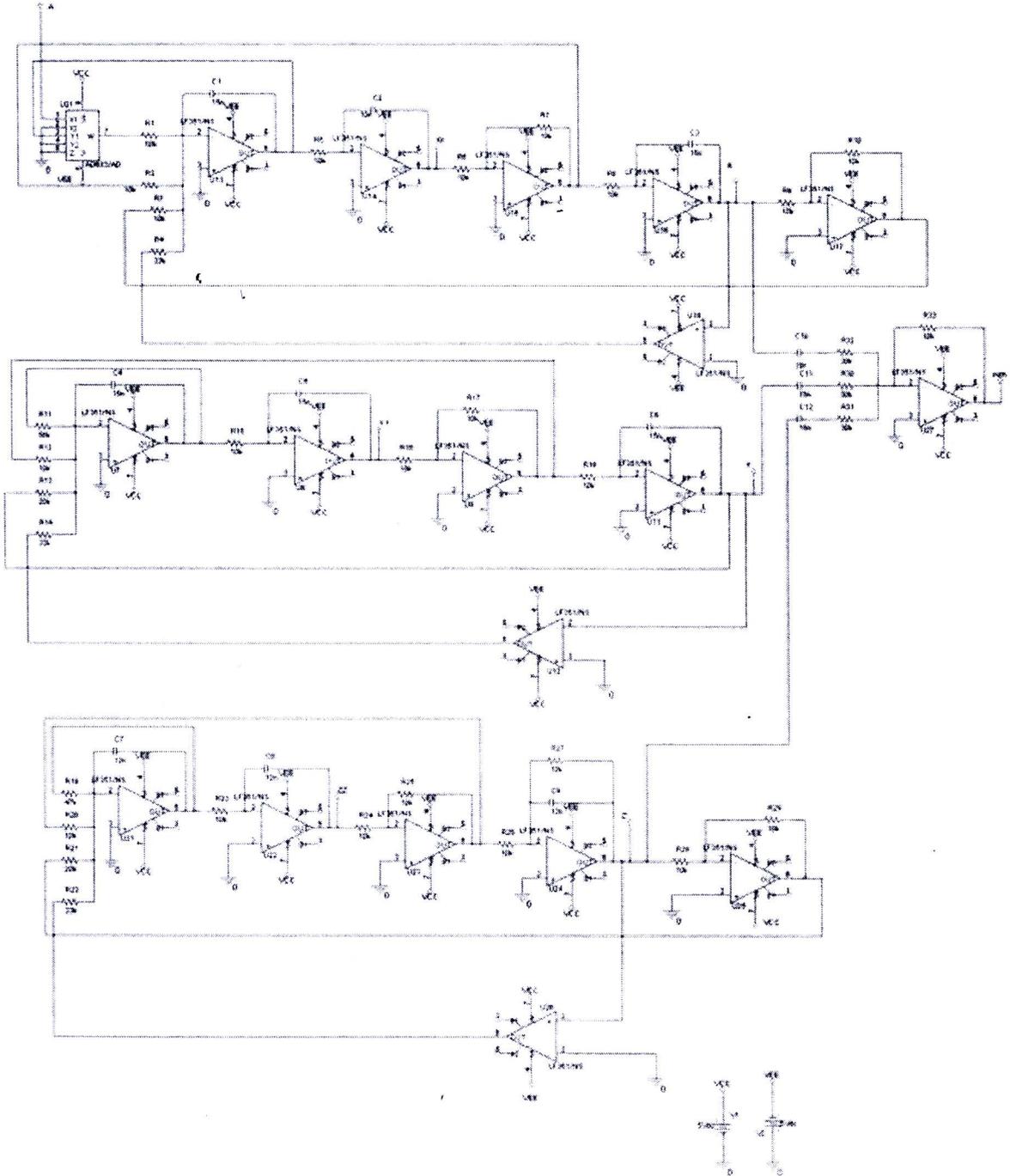
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ 1 โดยเพิ่มไอซี AD633



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรไฟฟ้าของสมการที่ (4.3) โดยเพิ่มไอซี AD633

5.2.2 การสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

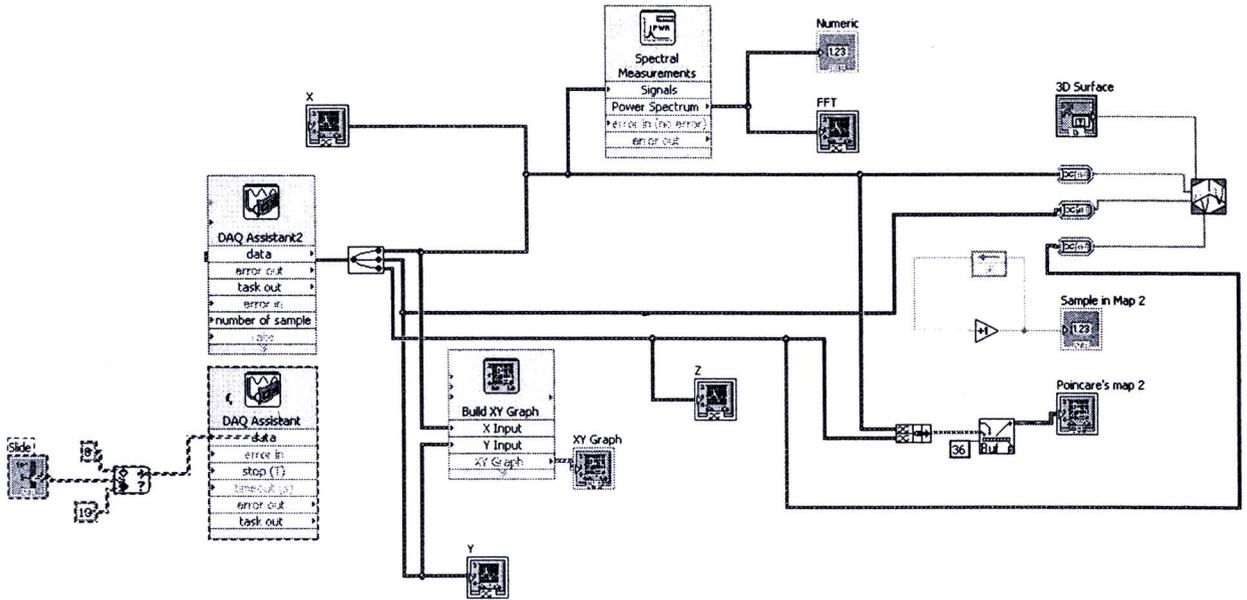
เพื่อให้ นักศึกษา หรือ ผู้ทดลอง ได้เห็น ประโยชน์ ของ การ นำเอา สัญญาณ ไป ใช้ งาน เรา สามารถ นำ โมดูล ของ สมการ 4.1 สมการ 4.3 มา ต่อ ร่วม กัน ได้ สัญญาณ จำลอง ของ คลื่น สมอง จะ ต้อง นำ สัญญาณ ที่ ได้ จาก มารวม กัน ผ่าน วงจร รวม สัญญาณ (summing circuit)



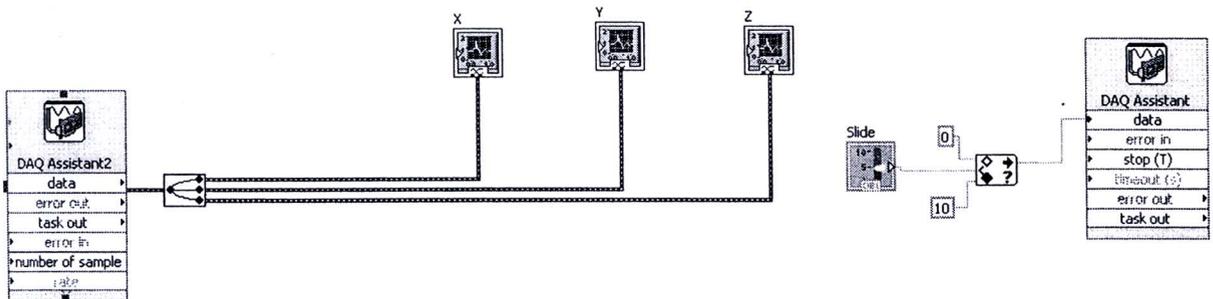
รูปที่ 4.10 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง

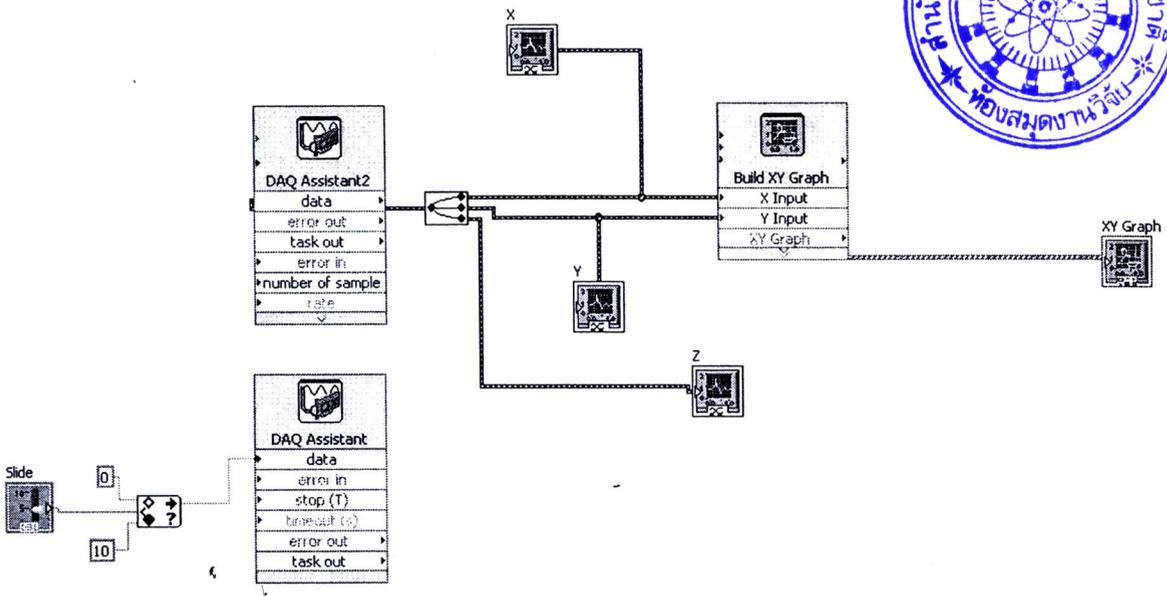
4.3 การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดลอง

ในการทดลองการสร้างสัญญาณเลียนแบบคลื่นสมอง จะใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabView ในการออกแบบโปรแกรม โดยออกแบบหน้าจอ Block Diagram เพื่อการโปรแกรมควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆดังนี้

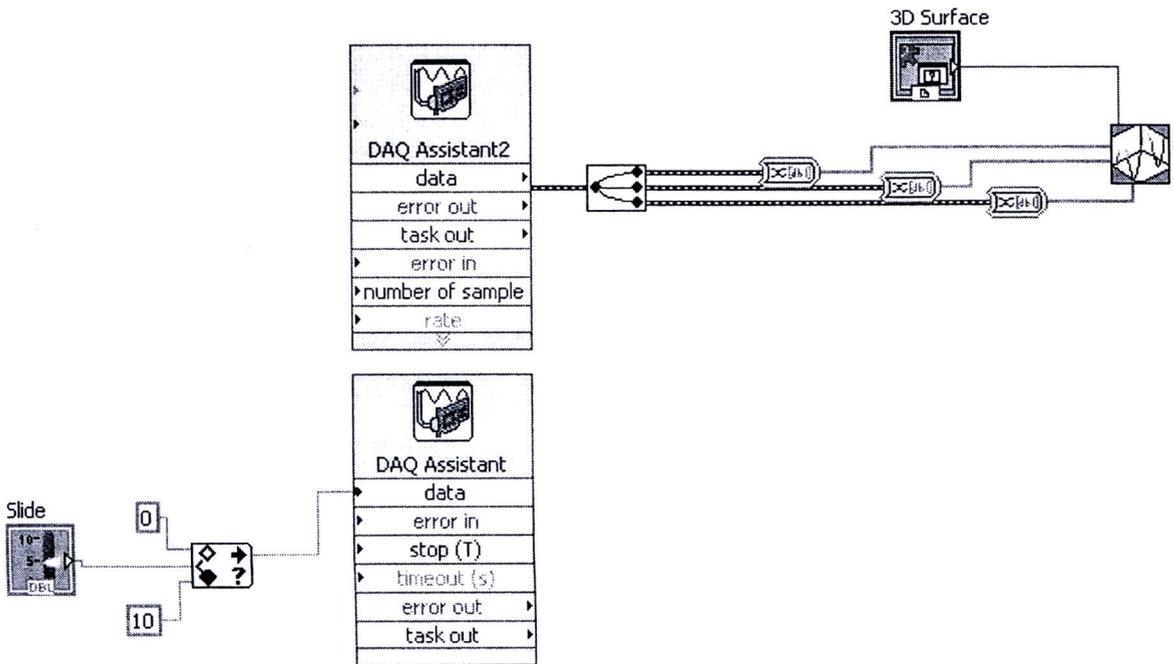


รูปที่ 4.11 แสดง Block Diagram ทั้งหมดของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

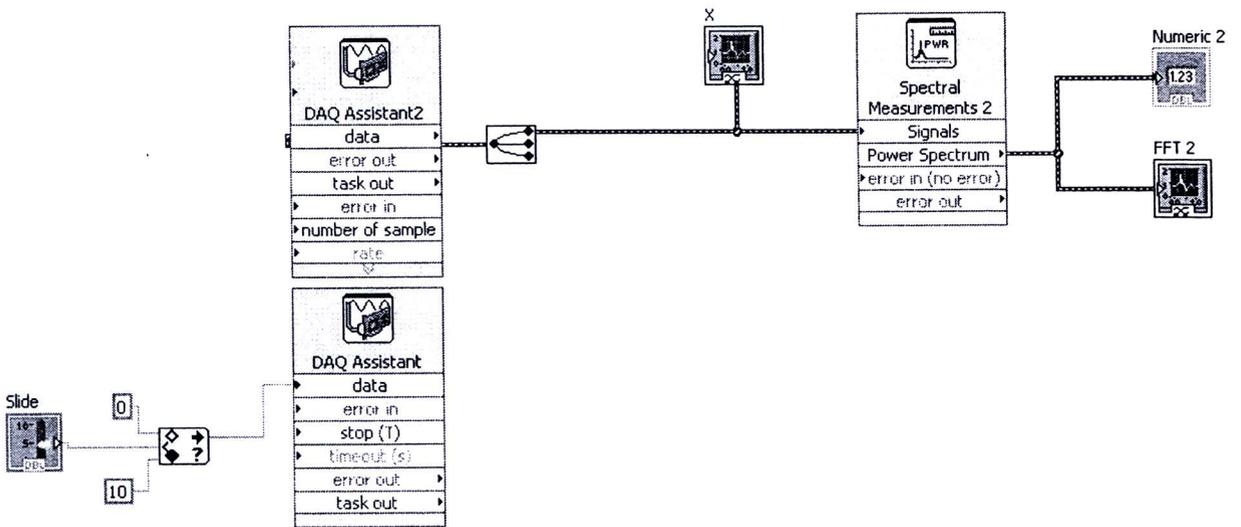




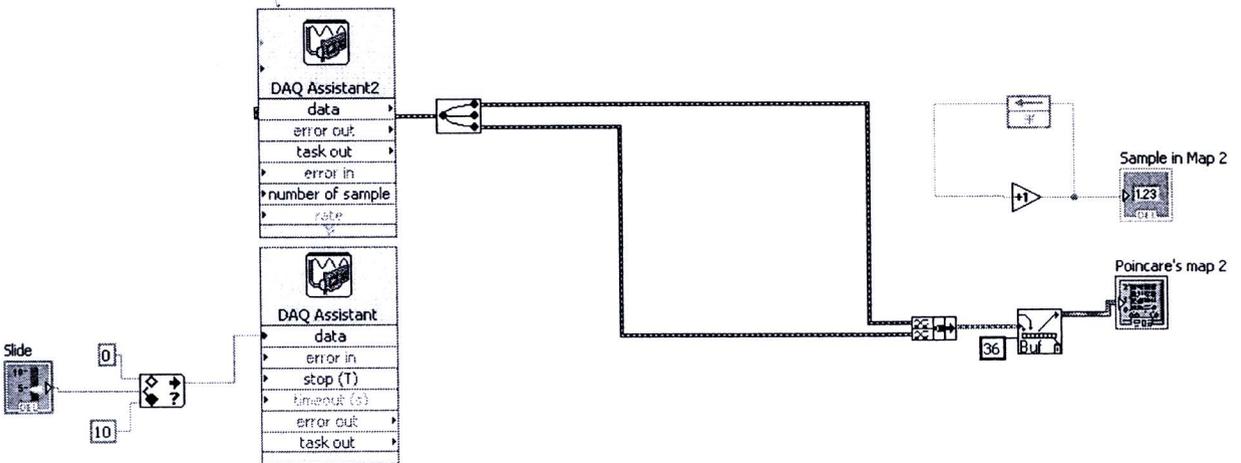
รูปที่ 4. 13 แสดง Block Diagram ในส่วนของกราฟแสดงความอลวล



รูปที่ 4. 14 แสดง Block Diagram ในส่วนของการแสดงกราฟแบบสามมิติ



รูปที่ 4. 15 แสดง Block Diagram ในส่วนของการหาค่า Fast Fourier Transform (FFT)



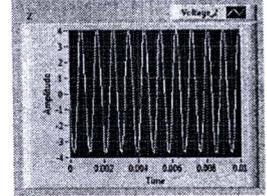
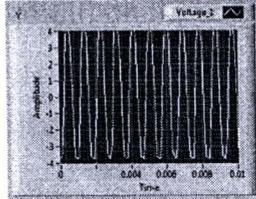
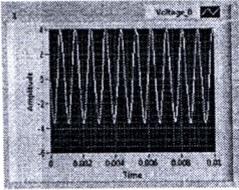
รูปที่ 4. 16 แสดง Block Diagram ในส่วนของ Poincaré's map

4.4 ผลการทดลอง

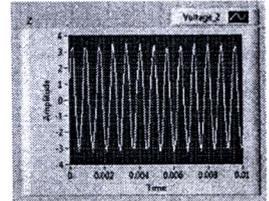
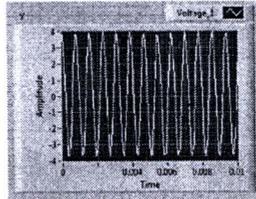
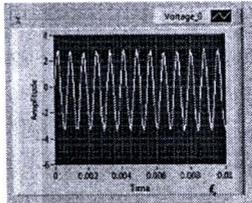
4.4.1 ตอนที่ 1 การหาความเป็นเคออส

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรมการที่ 4.1 ($\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(\dot{x})$)

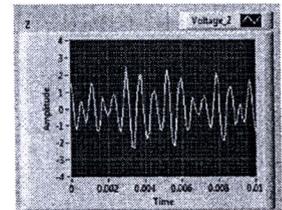
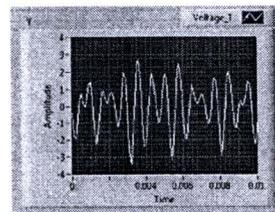
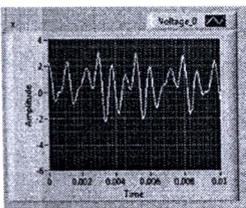
$a = 0$ V



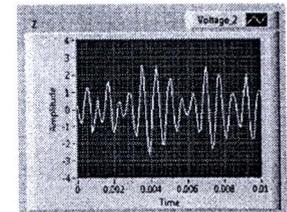
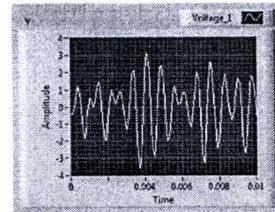
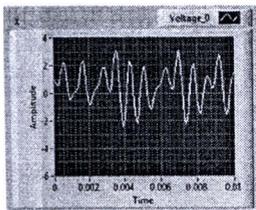
$a = 3.26531$ V



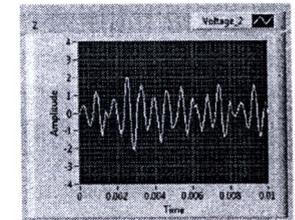
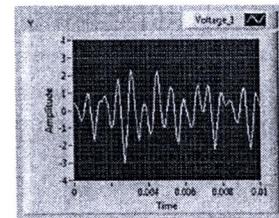
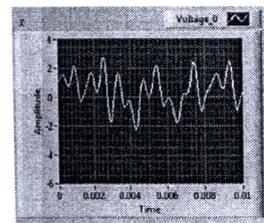
$a = 3.31633$ V



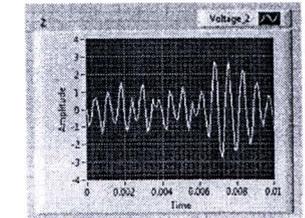
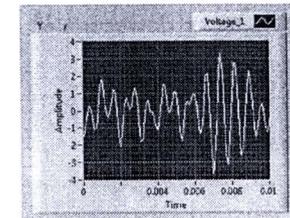
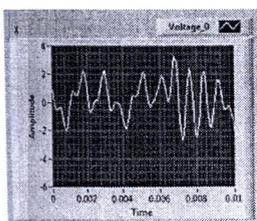
$a = 4.13215$ V

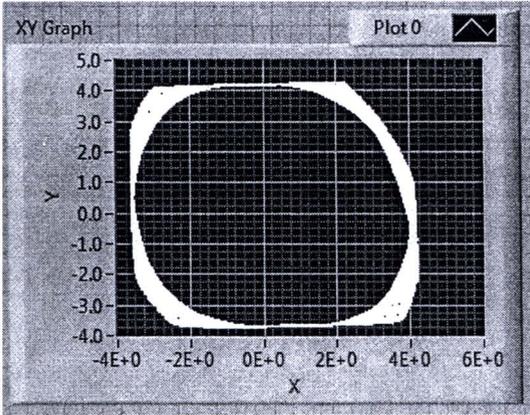


$a = 4.59184$ V

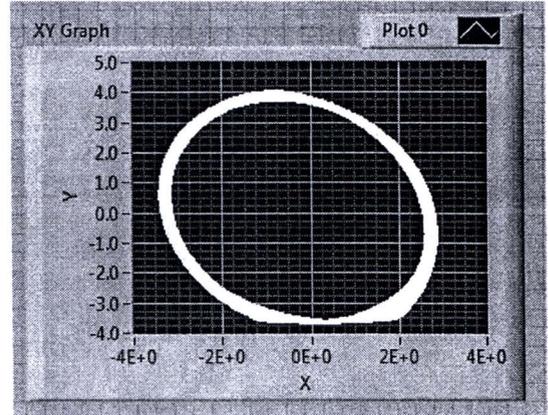


$a = 5$ V

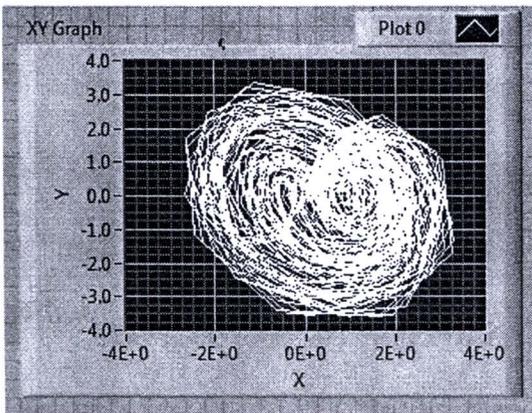




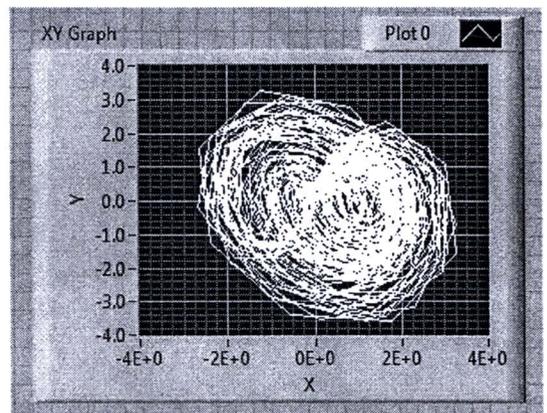
$a = 0 \text{ V}$



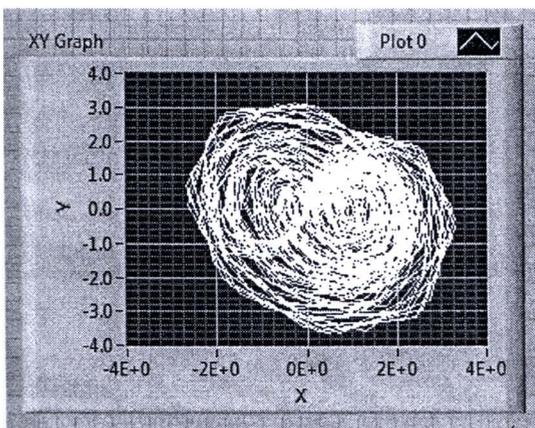
$a = 3.26531 \text{ V}$



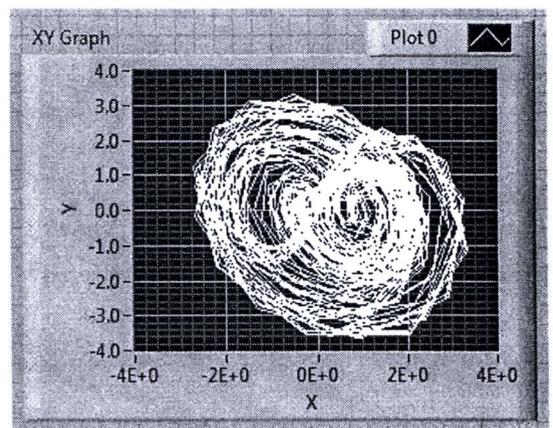
$a = 3.31633 \text{ V}$



$a = 4.13265 \text{ V}$

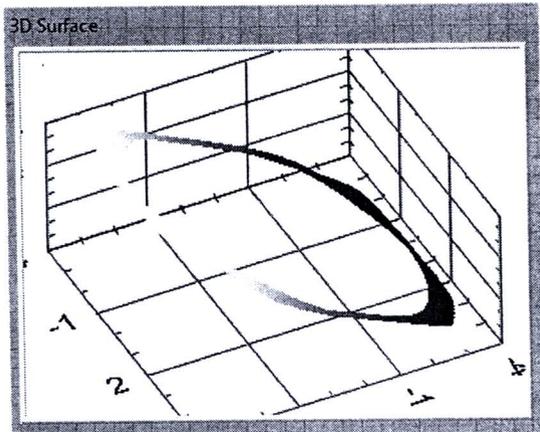


$a = 4.59184 \text{ V}$

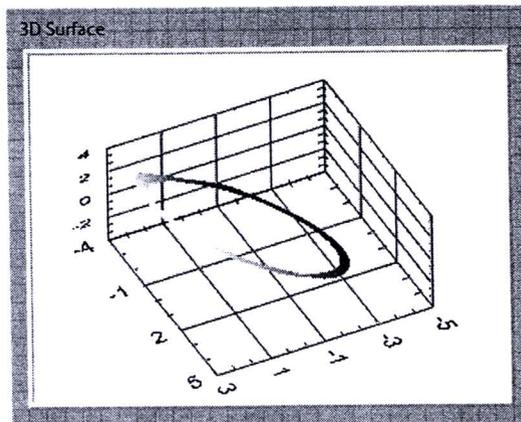


$a = 5 \text{ V}$

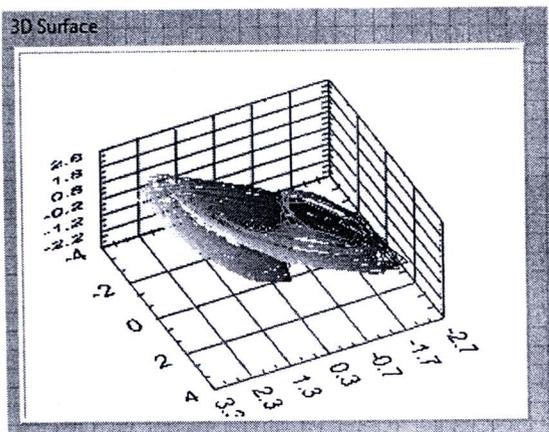
รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดลองปรับค่า A ในช่วง $0-5 \text{ V}$ ในรูปกราฟแสดงความอลวน



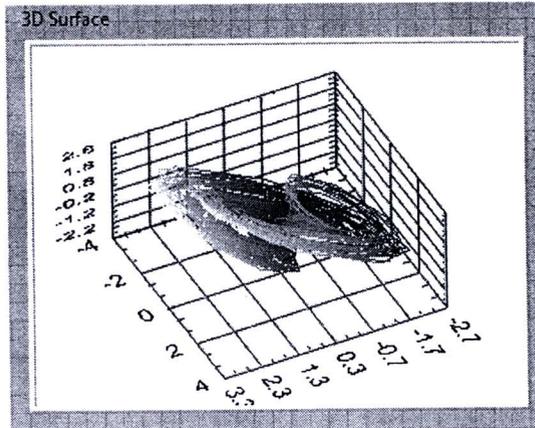
$a = 0 \text{ V}$



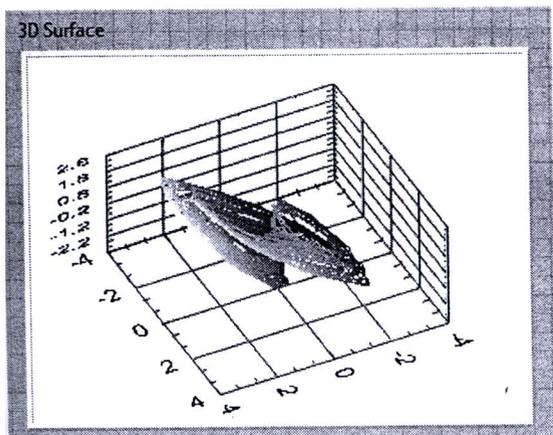
$a = 3.26531 \text{ V}$



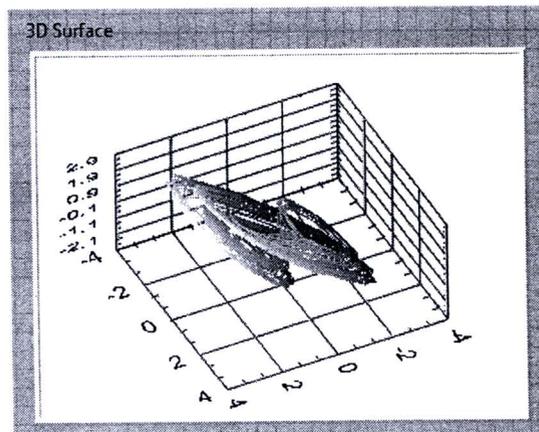
$a = 3.31633 \text{ V}$



$a = 4.13265 \text{ V}$

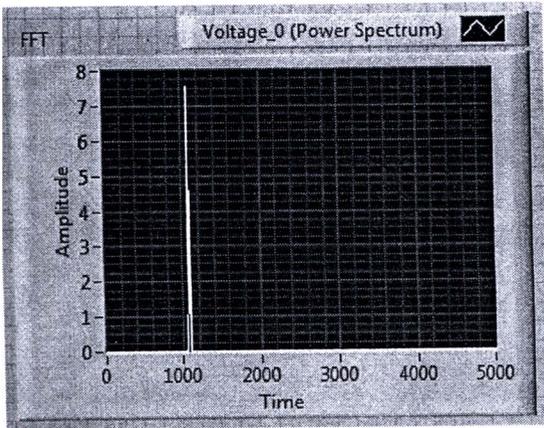


$a = 4.59184 \text{ V}$

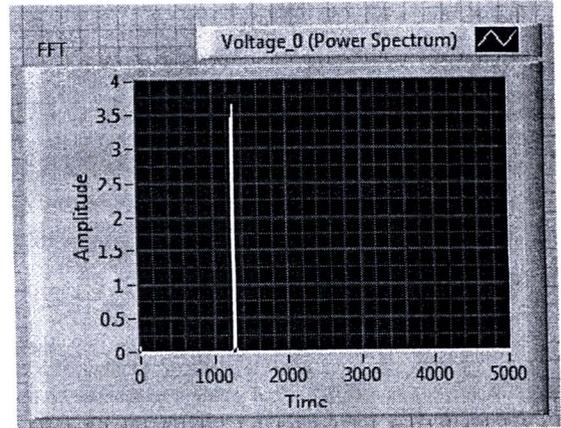


$a = 5 \text{ V}$

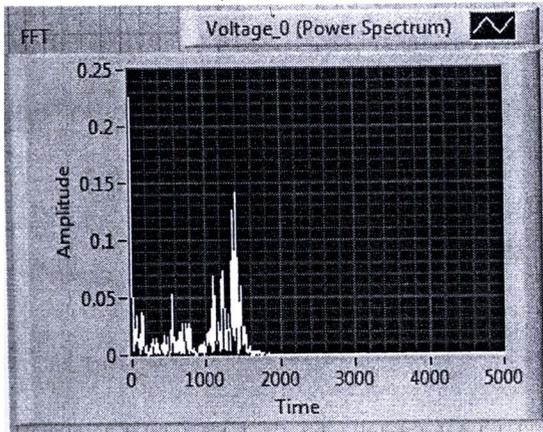
รูปที่ 4.18 แสดงผลการทดลองปรับค่า a ในช่วง $0 - 5 \text{ V}$ ในรูปกราฟสามมิติ



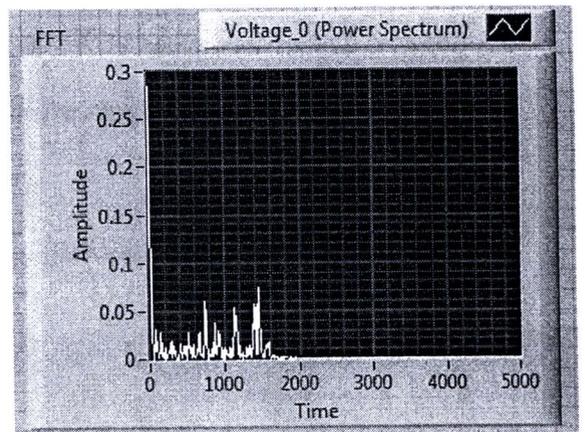
a = 0 V



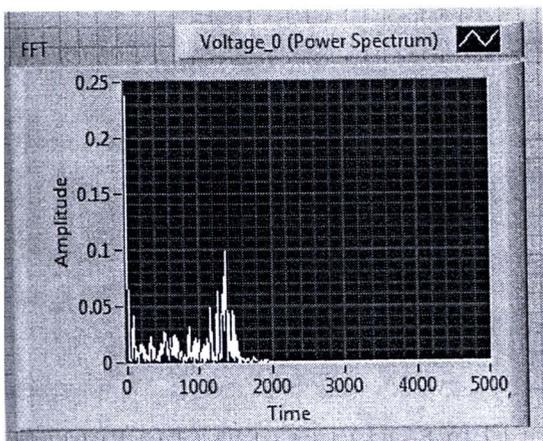
a = 3.26531 V



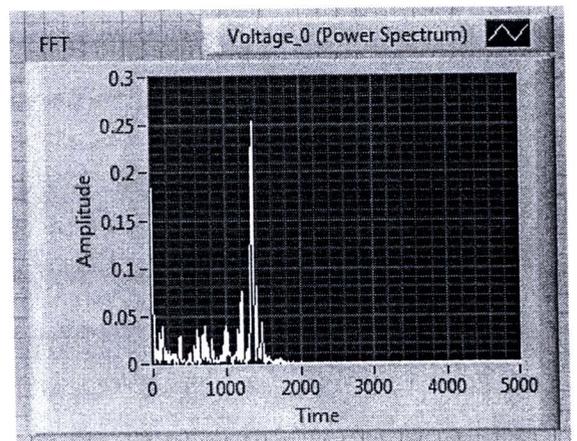
a = 3.31633 V



a = 4.13265 V

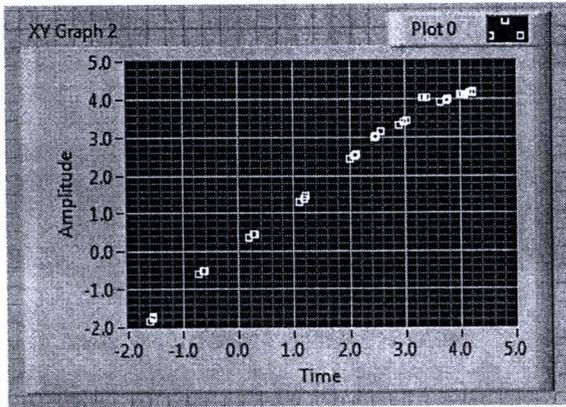


a = 4.59184 V

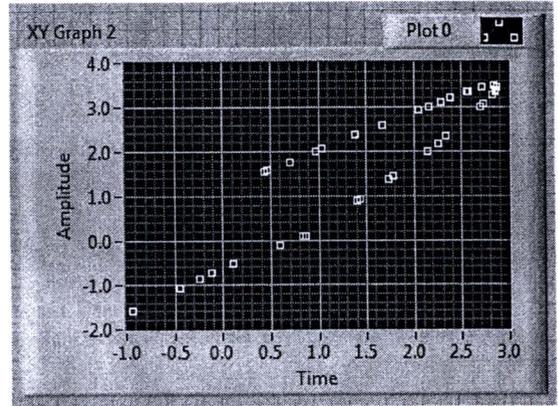


a = 5 V

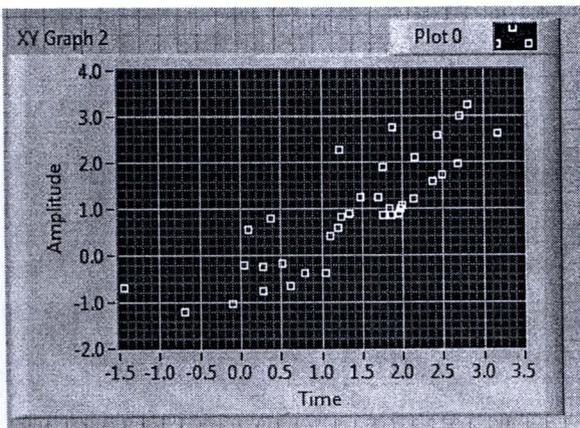
รูปที่ 4.19 แสดงค่า Frequency spectra (FFT) จากการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0 – 5 V



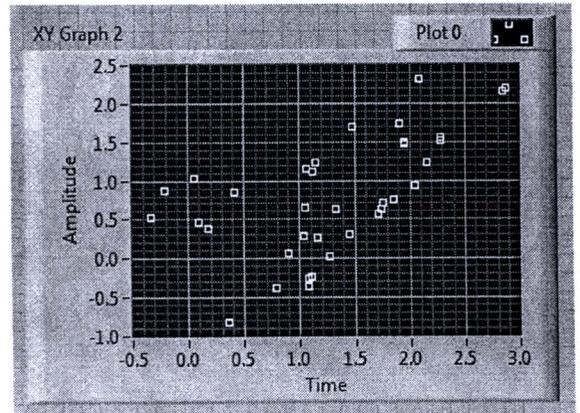
$$a = 0 \text{ V}$$



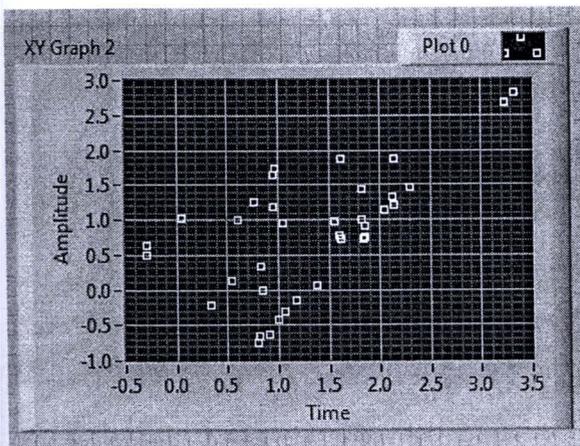
$$a = 3.26531 \text{ V}$$



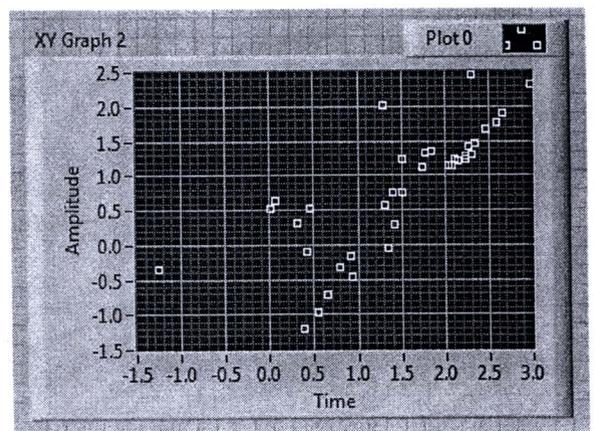
$$a = 3.31633 \text{ V}$$



$$a = 4.13265 \text{ V}$$



$$a = 4.59184 \text{ V}$$



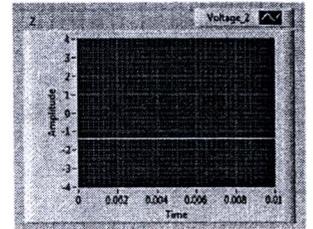
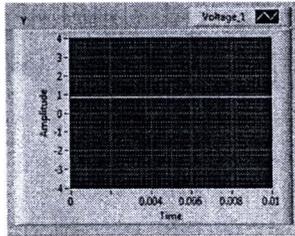
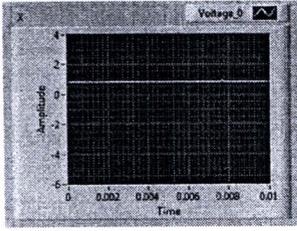
$$a = 5 \text{ V}$$

รูปที่ 4.20 แสดงค่า Poincaré's map จากการทดลองปรับค่า A ในช่วง 0–5 V

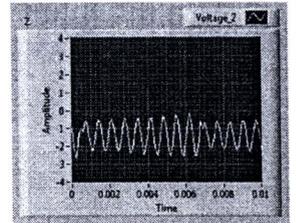
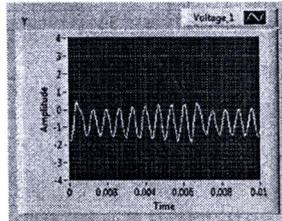
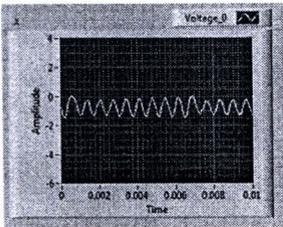


ผลการทดลองที่ได้จากวงจรที่ 3 (จากสมการที่ 3 : $\ddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + H(x)$)

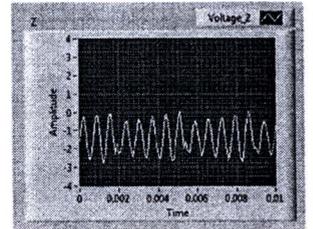
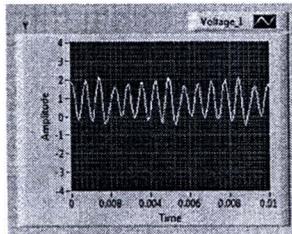
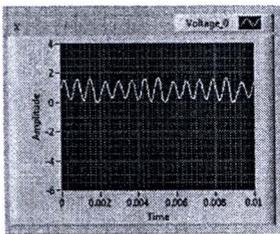
$C > 2$ V



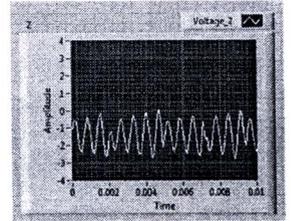
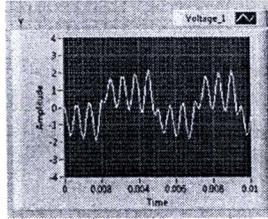
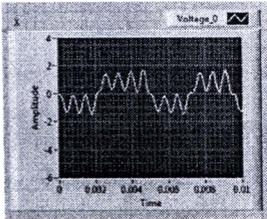
$C = 1.68367$ V



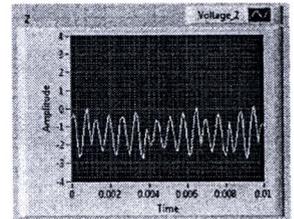
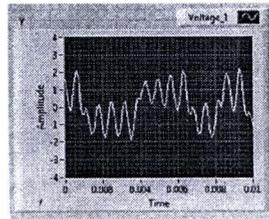
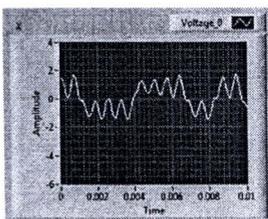
$C = 1.53061$ V



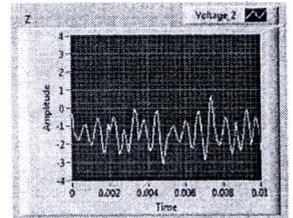
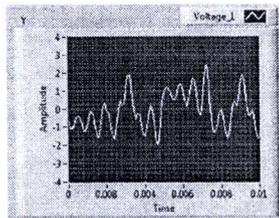
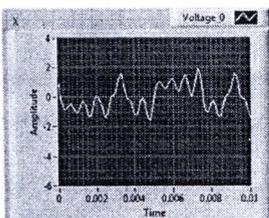
$C = 1.37755$ V

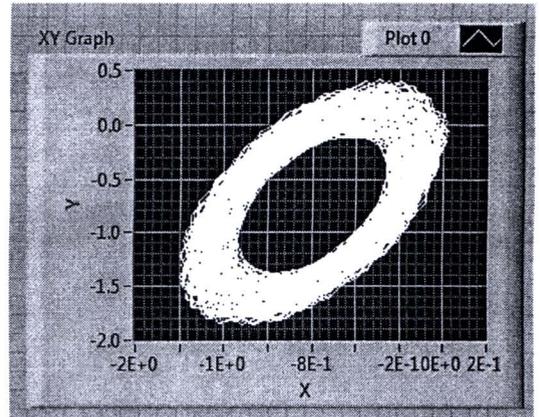
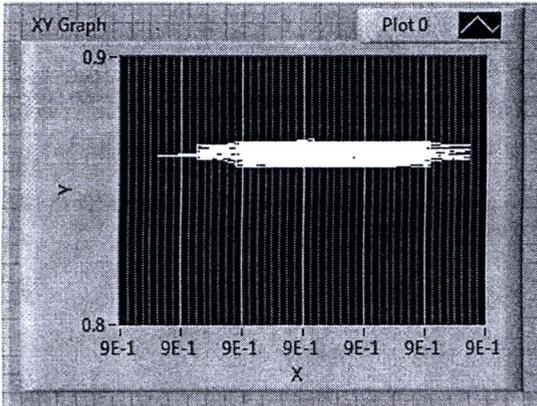


$C = 1.12245$ V

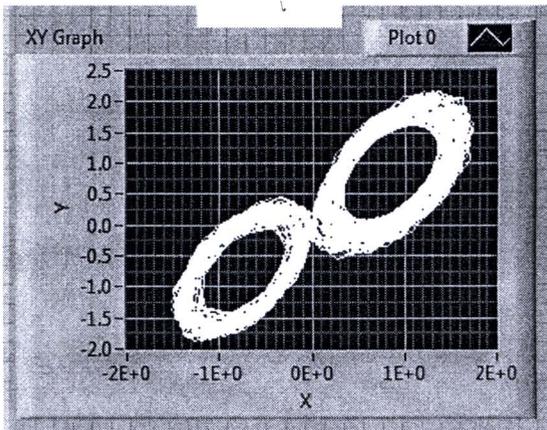


$C = 0$ V

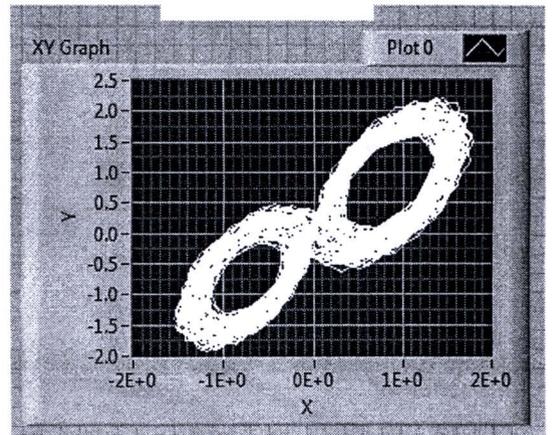




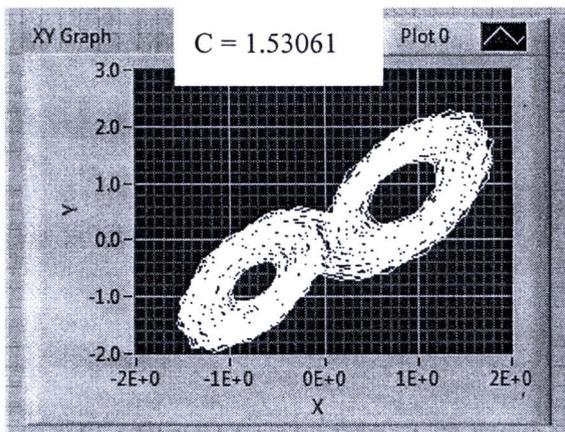
$Q > 2 \text{ V}$



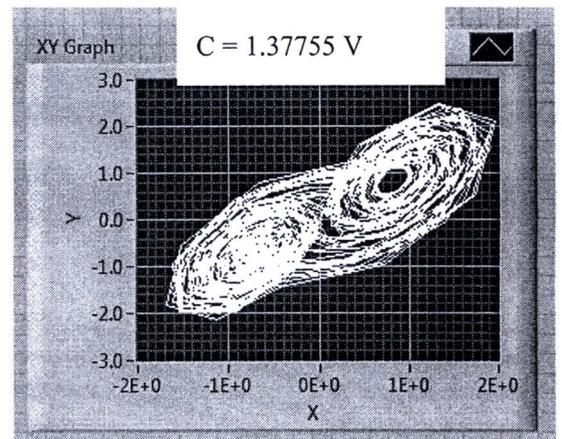
$C = 1.68367 \text{ V}$



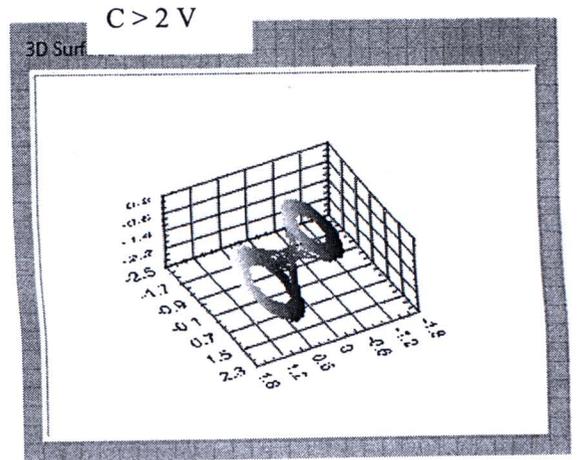
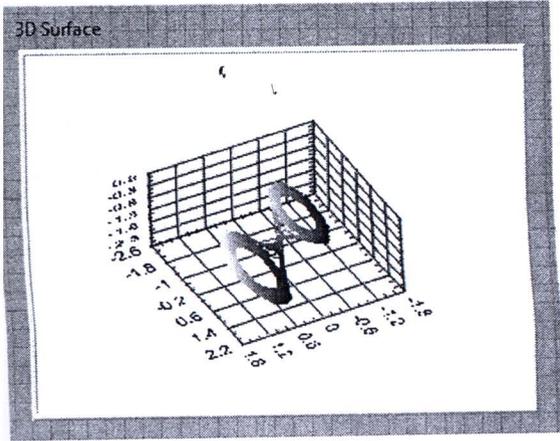
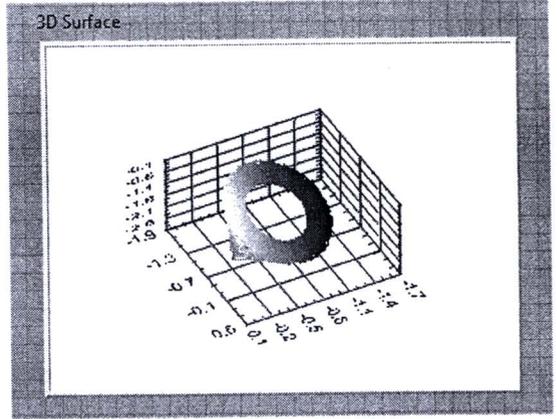
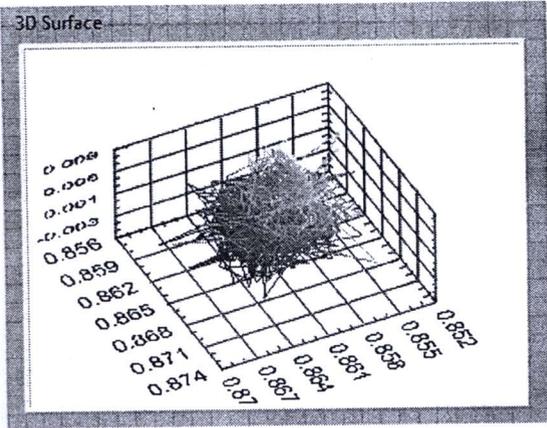
$C = 1.53061$



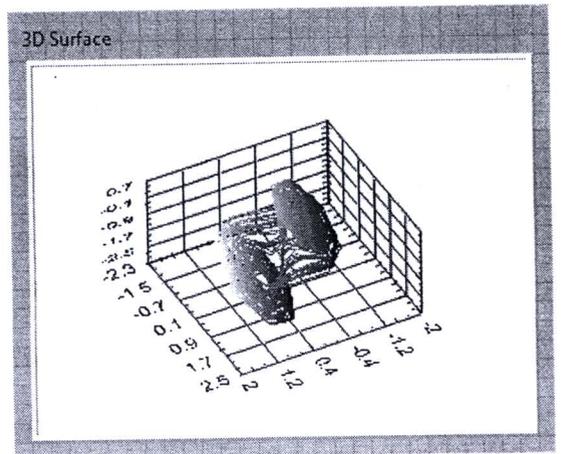
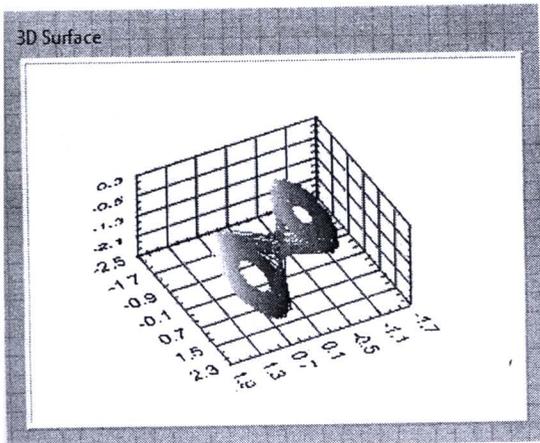
$C = 1.37755 \text{ V}$



รูปที่ 4.21 แสดงผลการทดลองปรับค่า C ในช่วง $0 - 5 \text{ V}$ ในรูปกราฟแสดงความอลวน

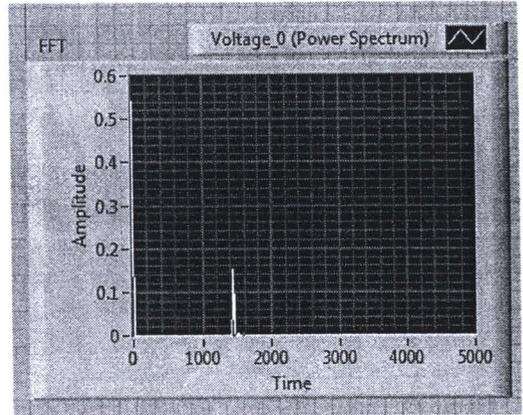
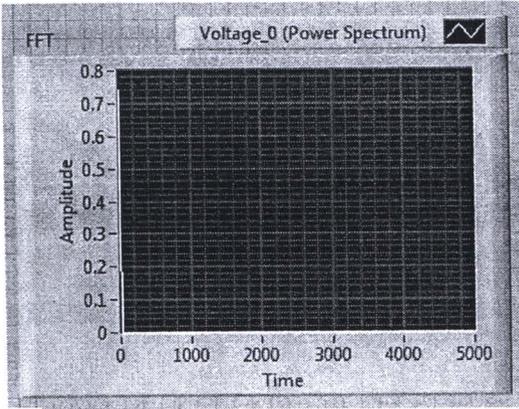


$C = 1.37755 V$

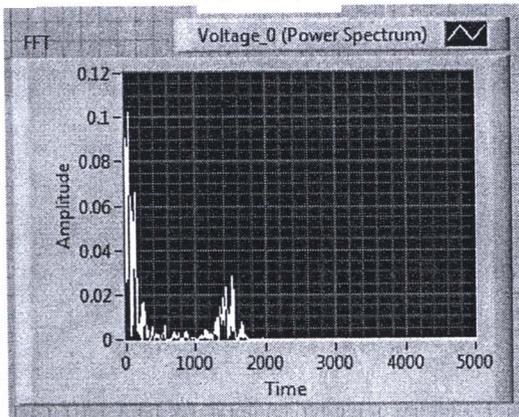


$C = 0 V$

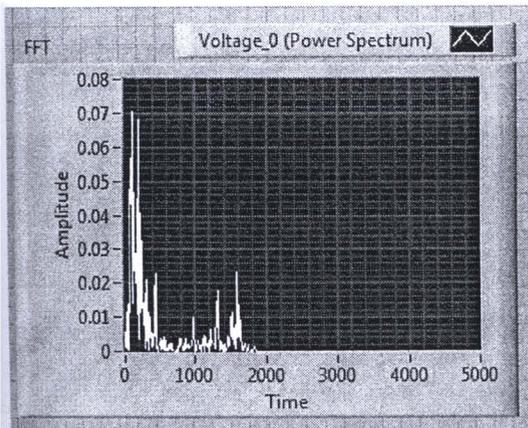
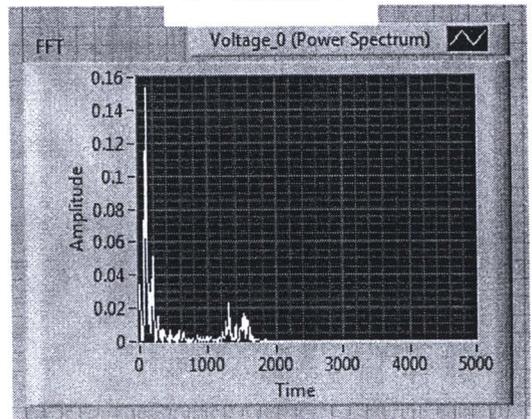
รูปที่ 4.22 แสดงผลการทดลองปรับค่า C ในช่วง $0 - 5 V$ ในรูปกราฟสามมิติ



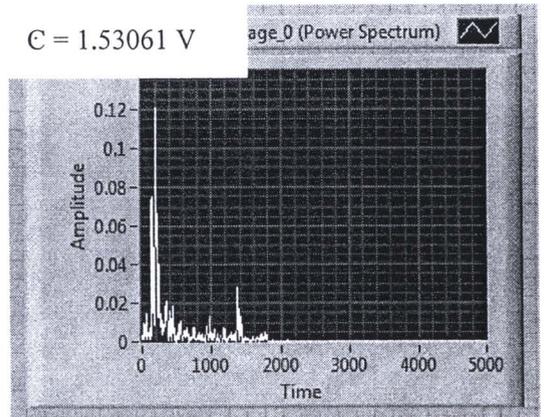
$C > 2 \text{ V}$



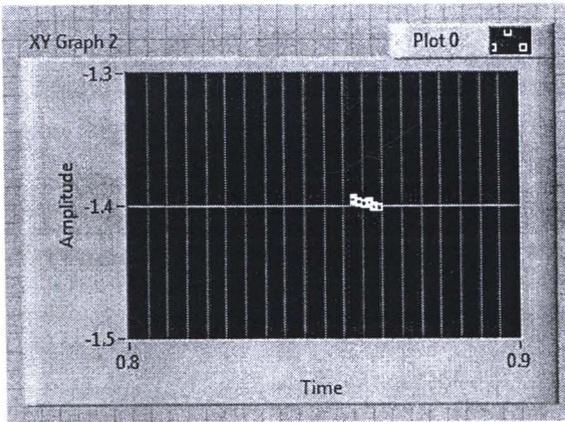
$C = 1.68367 \text{ V}$



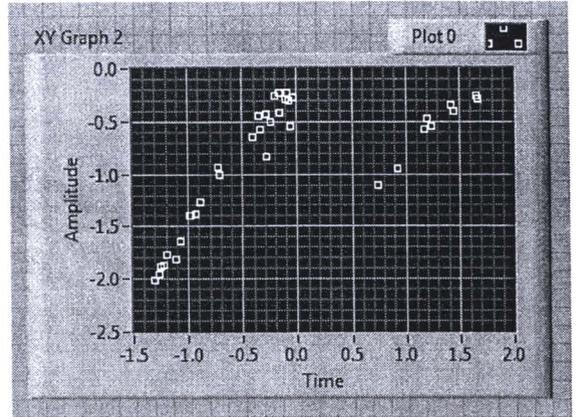
$C = 1.53061 \text{ V}$



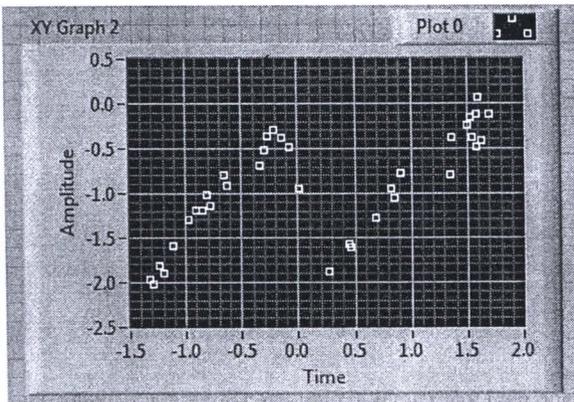
รูปที่ 4.23 แสดงค่า Frequency spectra (FFT) จากการทดลองปรับค่า C ในช่วง $0 - 5 \text{ V}$



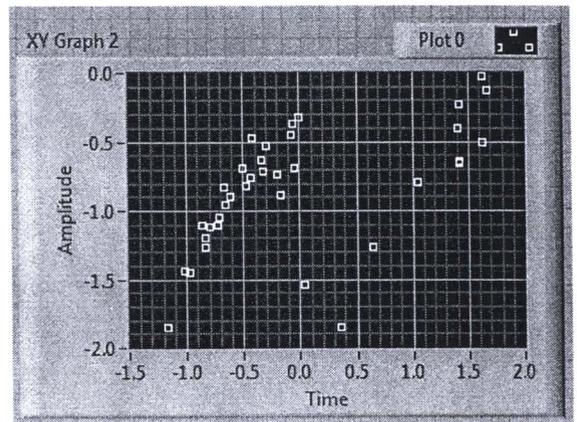
$C > 2 \text{ V}$



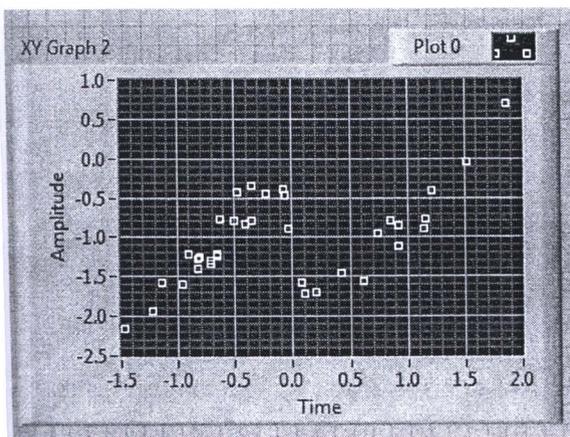
$C = 1.68367 \text{ V}$



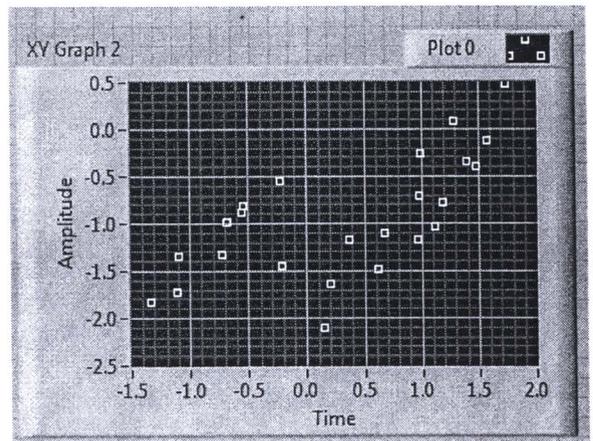
$C = 1.53061 \text{ V}$



$C = 1.37755 \text{ V}$



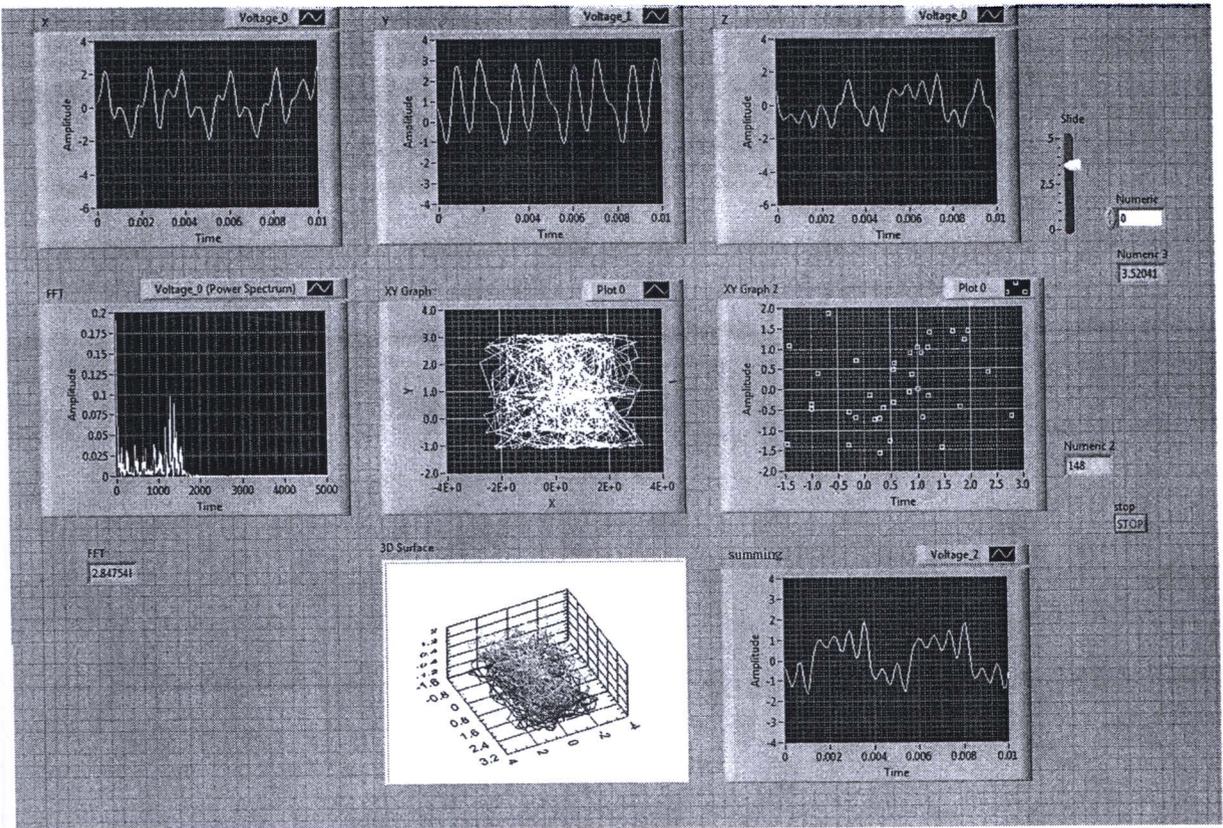
$C = 1.12245 \text{ V}$



$C = 0 \text{ V}$

รูปที่ 4.24 แสดงค่า Poincaré's map จากการทดลองปรับค่า C ในช่วง $0 - 5 \text{ V}$

4.2.2 ตอนที่ 2 การสร้างสัญญาณจำลองคลื่นสมอง



รูปที่ 4.23 แสดงค่า ผลการทดลองที่ได้จาก โปรแกรม LabVIEW