

บทที่ 3

ชุดทดลองสัญญาณออสซิลเลชันสำหรับการซิงโครไนซ์

ในบทนี้แสดงการออกแบบสร้างสัญญาณออสซิลเลชันที่สามารถทดลองการซิงโครไนซ์โดยการสร้างแอมพลิจูดที่สามารถปรับค่าได้ระหว่าง Lorenz และ Chen ขึ้นมาด้วยกันจากนั้นทดลองทำการซิงโครไนซ์เข้าด้วยกันเพื่อแสดงประโยชน์ในการสื่อสารแบบเข้ารหัสลับ

3.1 การสร้างเคออสติกแอมพลิจูดแบบที่แสดงพฤติกรรมได้ทั้งรูปแบบ Lorenz และ Chen

จากแอมพลิจูดของ Lorenz เมื่อสังเกตค่า x, y แล้วมีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นในบทวิจัยนี้จึงเสนอรูปแบบแอมพลิจูดใหม่โดยประมาณ $xy \approx |x|$ และตัดเทอม y ออกจากสมการ y' ซึ่งแสดงระบบใหม่ได้

$$x' = -ax + ay \quad (3.1.1)$$

$$y' = rx - kxz \quad (3.1.2)$$

$$z' = -bz + k|x| \quad (3.1.3)$$

โดยค่า k เป็นค่าคงที่เพื่อใช้ scale ขนาดของแอมพลิจูด จากสมการ (16) ระบบมีจุดสมดุลที่ $P^0 = (0,0,0)$, $P^\pm = (\pm \frac{br}{k^2}, \pm \frac{br}{k^2}, \frac{r}{k})$ และค่า Jacobian matrix ของสมการ (3.1) แสดงได้

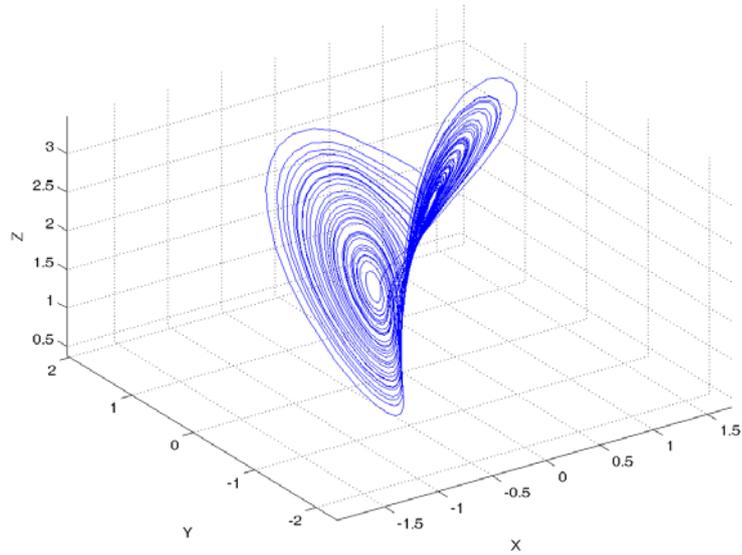
$$J = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ -kz+r & 0 & -kx \\ k \operatorname{sgn}(x) & 0 & -b \end{bmatrix}$$

ซึ่งค่าของสมการคุณลักษณะหาได้จาก $|J - \lambda I|$ มีค่า

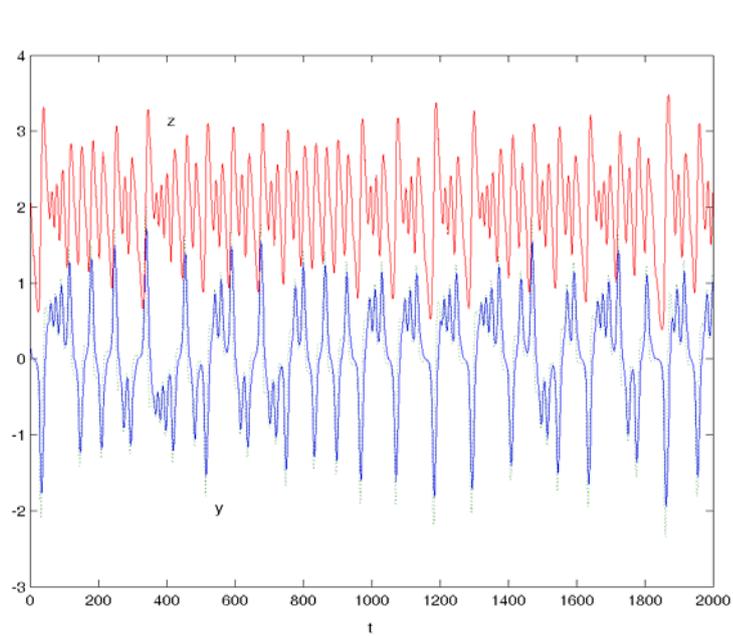
$$\lambda^3 + (a+b)\lambda^2 + (ab - ar + kaz) + k^2 a|x| - k^2 a|x| - arb + kabz \quad (3.2)$$

จากเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz เลือกให้ที่จุดสมดุล P^0 เป็น saddle point index 1 และให้จุดสมดุล P^\pm เป็น spiral index 2 และทำการหาค่า Lyapunov เพื่อให้ $\lambda_1 = +, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -$ แล้ว ที่พารามิเตอร์ $a = 10$, $r = 20$, $b = 3$ และ $k = 10$ ระบบจะแสดงลักษณะแอมพลิจูดเป็น Lorenz และโดยมีค่า Lyapunov ของระบบเท่ากับ $\lambda_1 = 0.704, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -13.7$ และที่พารามิเตอร์ขนาดเดียวกันแต่ปรับค่า $r = 50$

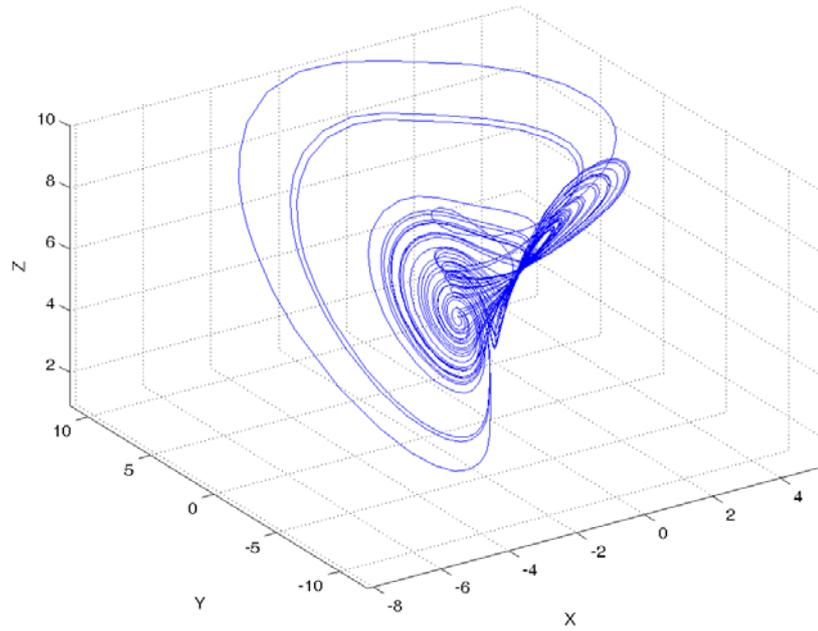
ระบบแสดงลักษณะแอทแทรกเตอร์แบบ Chen โดยมีค่า Lyapunov เท่ากับ $\lambda_1 = 1.84, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = -14.83$



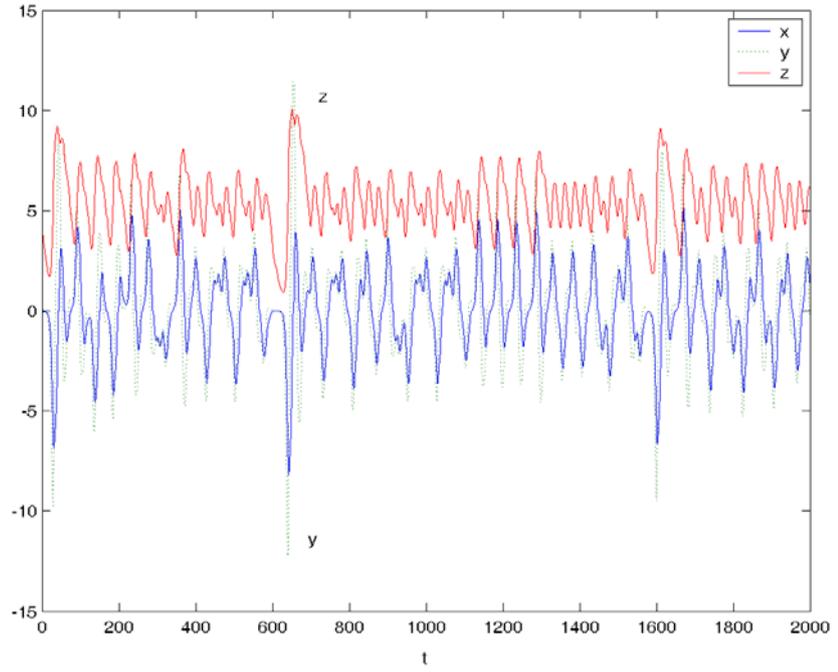
รูปที่ 3.1 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Lorenz



รูปที่ 3.2 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Lorenz ในแกนเวลา



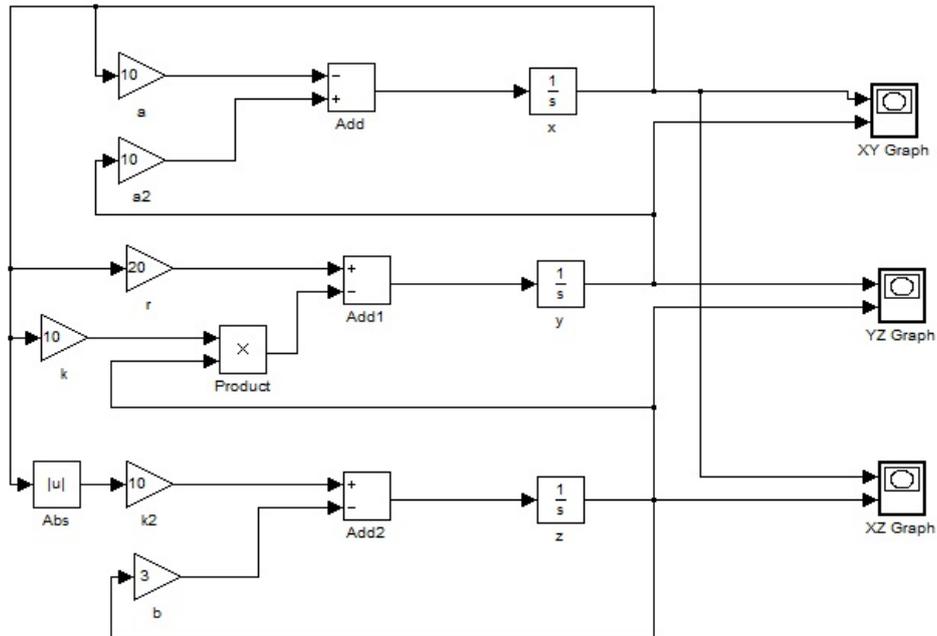
รูปที่ 3.3 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Chen



รูปที่ 3.4 แอทแทรกเตอร์แบบปรับได้โดยปรับเป็น Chen

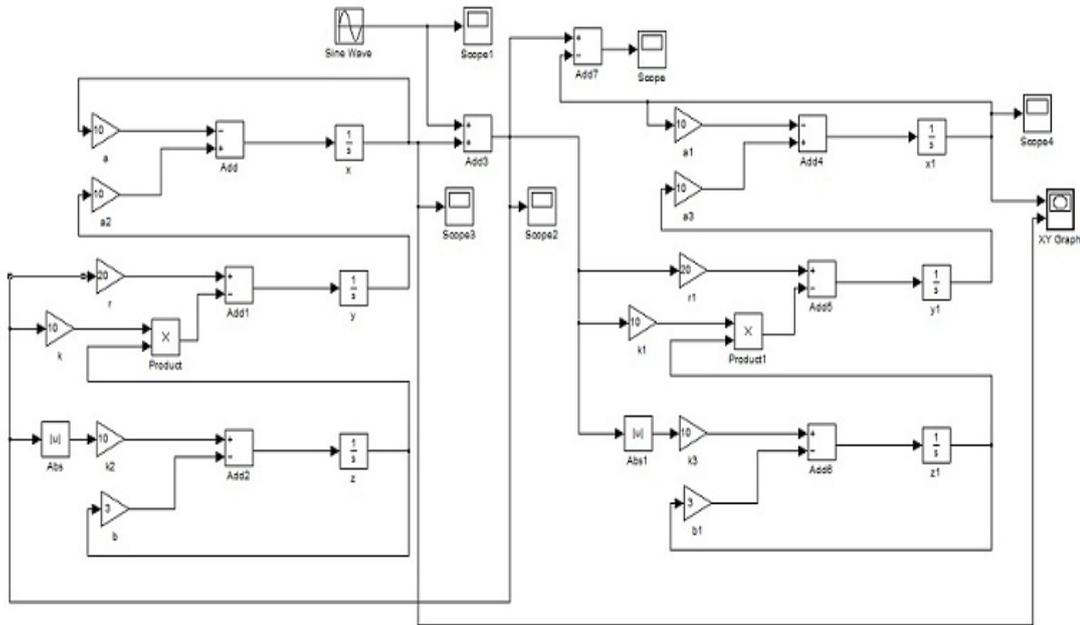
3.2 ขั้นตอนการจำลองพฤติกรรมมอลวนโดยใช้โปรแกรม Matlab

เพื่อการเรียนรู้ใน โมดูลนี้การเริ่มต้นการทดลองกระทำโดยการเริ่มต้นที่การออกแบบจากรูปที่ 3.1 โดยโปรแกรม Simulink แสดงได้ดังรูป

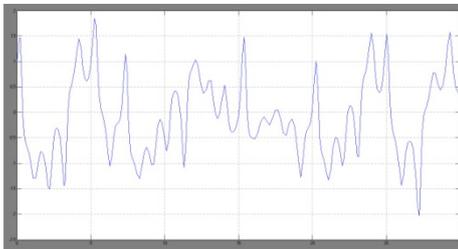


รูปที่ 3.5 แบบจำลองการสร้างสัญญาณเคออสของสมการ 3.1

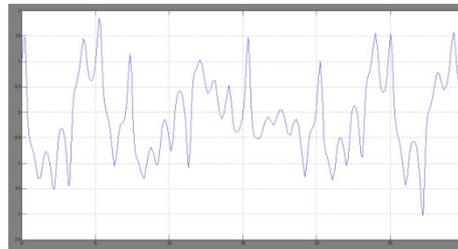
การทดลองเชิงโครโนซ์โดยการจับสัญญาณเข้าที่ x,z



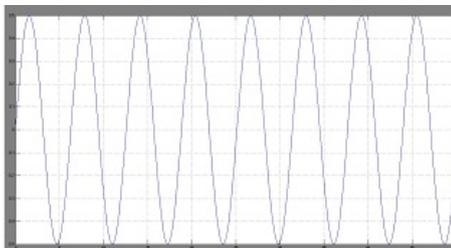
รูปที่ 3.6 แบบจำลองการสร้างวงจรถึงภาคส่งและภาครับ



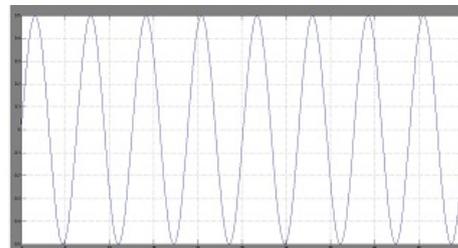
ก



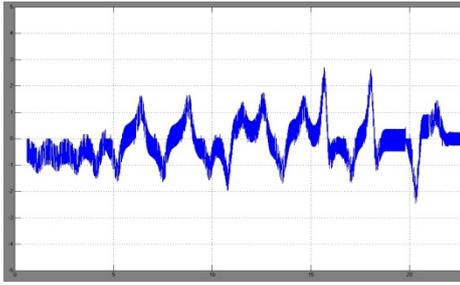
ข



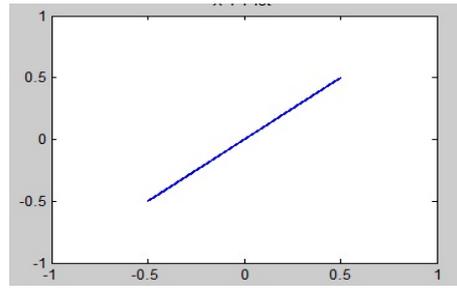
ค



ง



จ



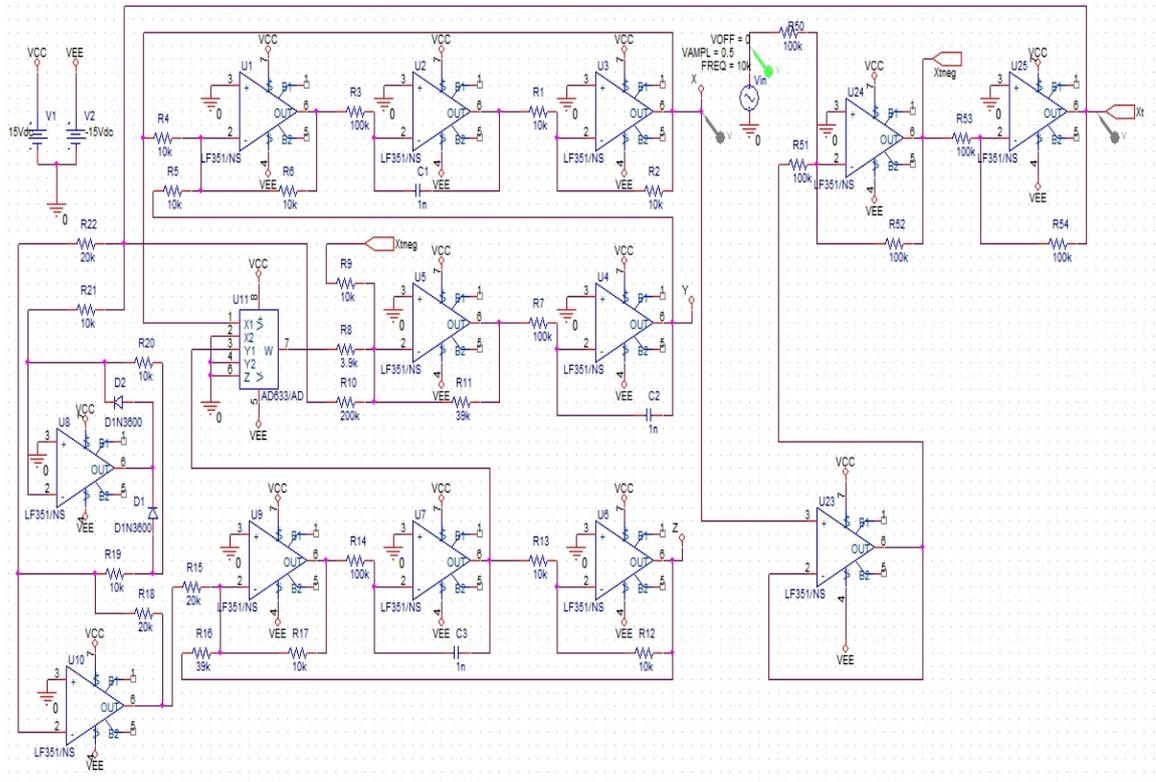
ฉ

รูปที่ 3.7 ผลการจำลอง

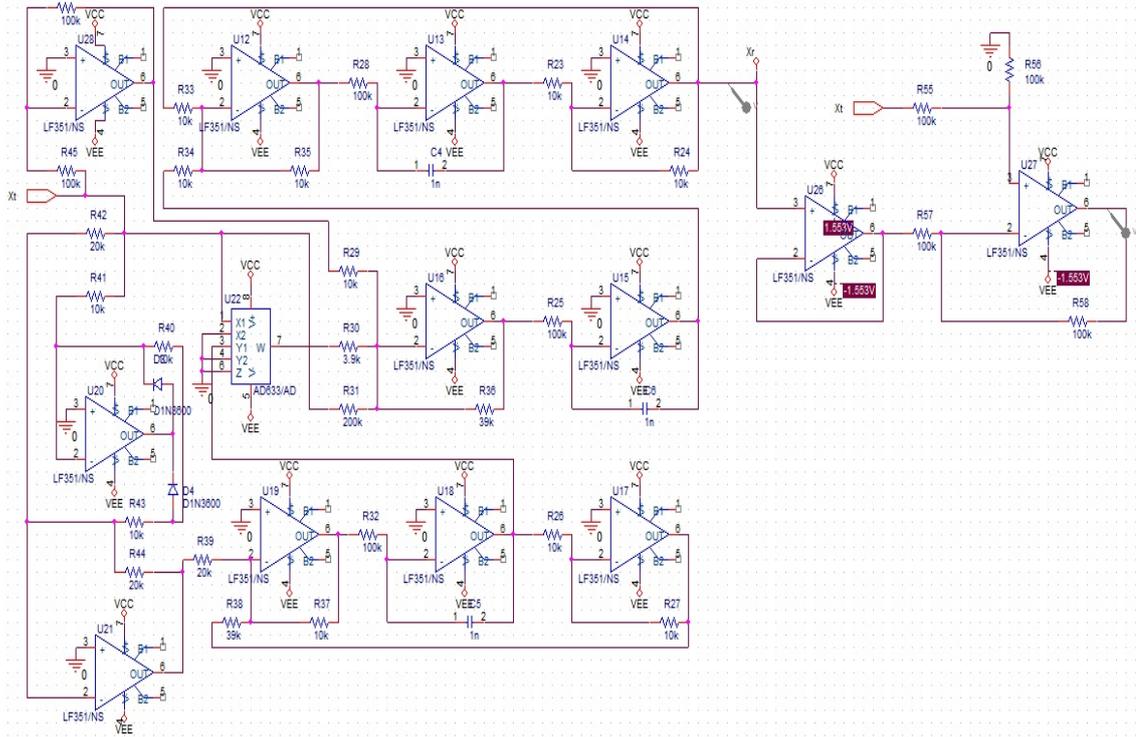
- ก. กราฟที่ได้จากการวัดค่า x ข. กราฟที่ได้จากการวัดค่า x_r ค. กราฟสัญญาณข้อมูลที่รับเข้า $i(t)$ ง. กราฟสัญญาณข้อมูลที่รับเข้า $i_r(t)$ จ. กราฟสัญญาณข้อมูลที่มอดูเลชันกับสัญญาณเคออดิต ฉ. กราฟการซิงโครไนซ์ระหว่างสัญญาณเข้า $i(t)$ กับสัญญาณออก $i_r(t)$

3.3 ขั้นตอนการจำลองพฤติกรรมมอดวนโดยใช้โปรแกรม Pspice

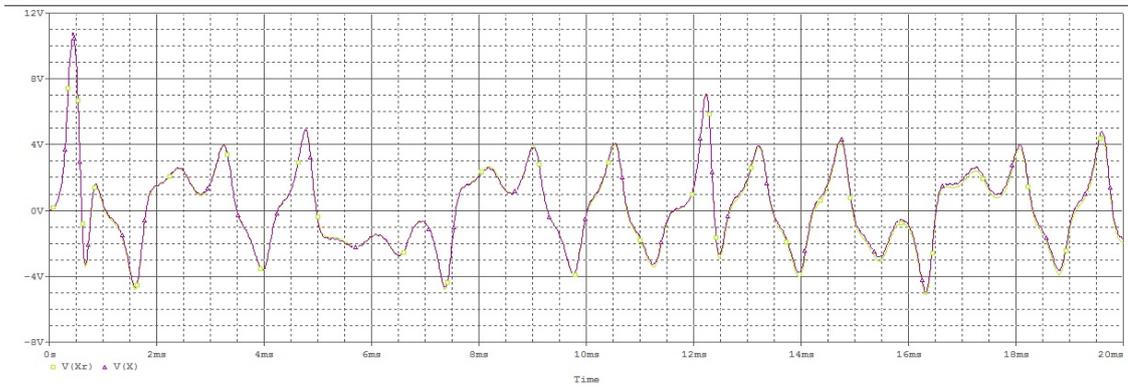
จากรูป 3.6 แสดงการการวางจรได้



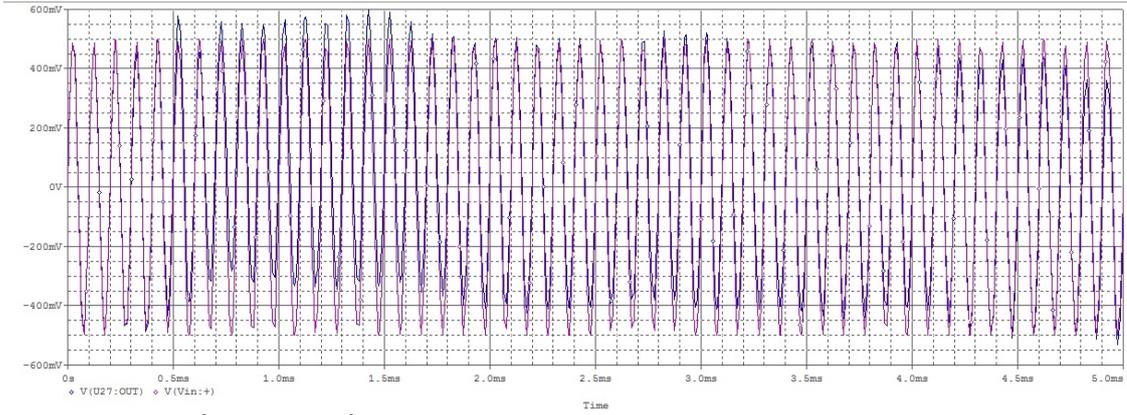
รูปที่ 3.8 การจำลองวงจรภาคส่ง โดยใช้โปรแกรม Pspice



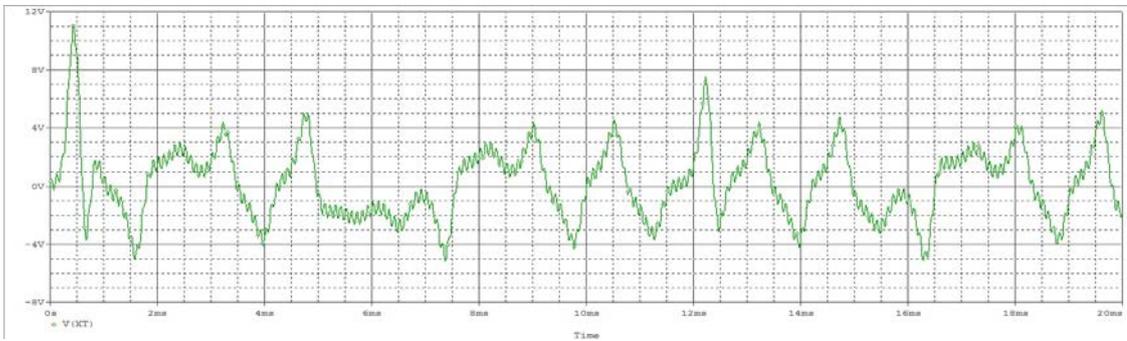
รูปที่ 3.9 การจำลองวงจรภาครับ โดยใช้โปรแกรม Pspice



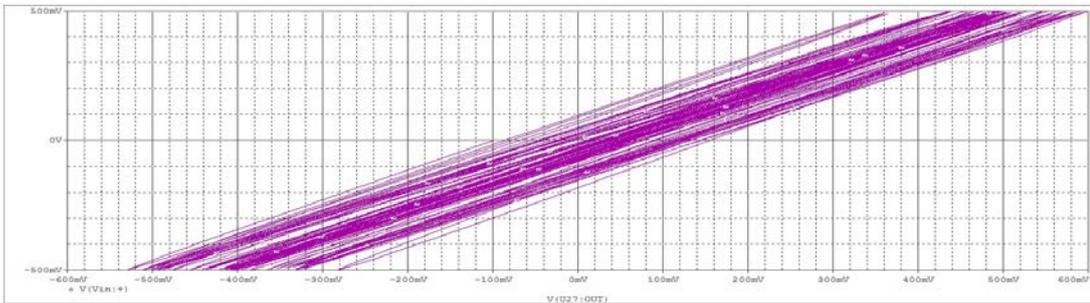
รูปที่ 3.10 กราฟที่ได้จากการวัดค่า x กับ x_2



รูปที่ 3.11 กราฟที่ได้จากการวัดค่า $i(t)$ กับ $i_r(t)$ ขนาดแอมพลิจูด 0.5 V



รูปที่ 3.12 กราฟสัญญาณข้อมูล $i(t)$ ที่มอดูเลชันกับสัญญาณเคออดิค x



รูปที่ 3.13 กราฟการซิงโครไนซ์ระหว่างสัญญาณเข้า $i(t)$ กับสัญญาณออก $i_r(t)$

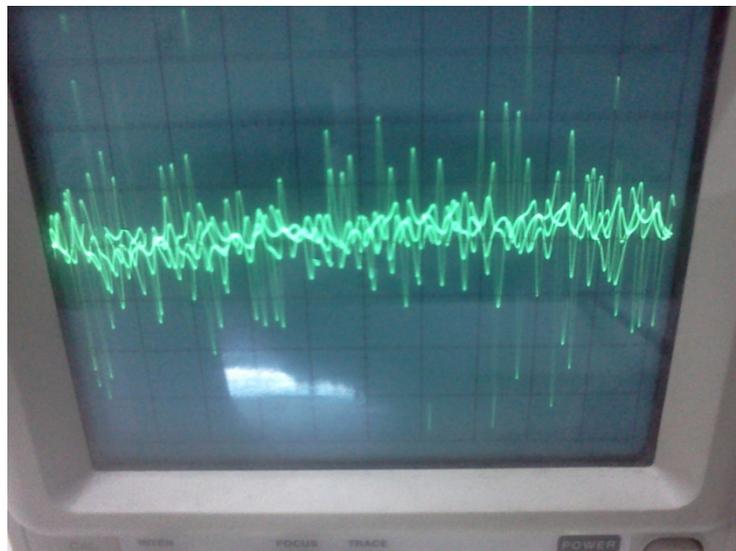
3.4 ผลที่ได้จากการทดลอง

วงจรภาคส่ง

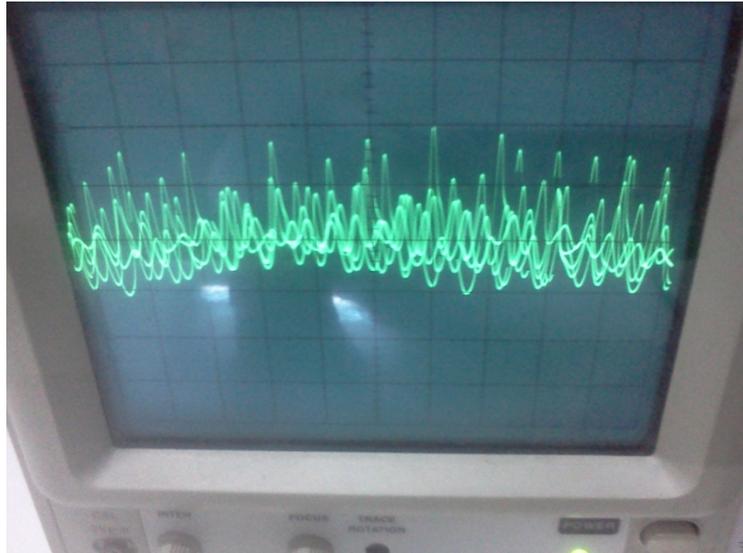
ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่า V-Output จาก OP-AMP ทั้งสเตท x, y, z



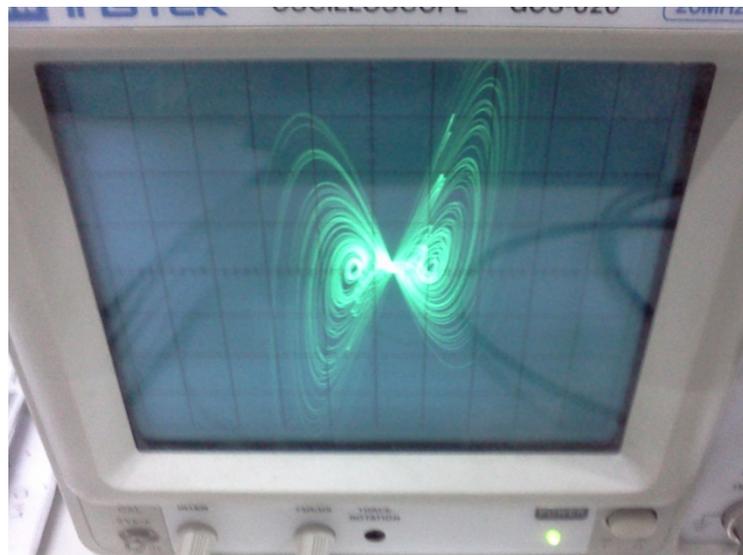
รูปที่ 3.14 กราฟค่า x ที่ได้จากออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.15 กราฟค่า y ที่ได้จากออสซิลโลสโคป



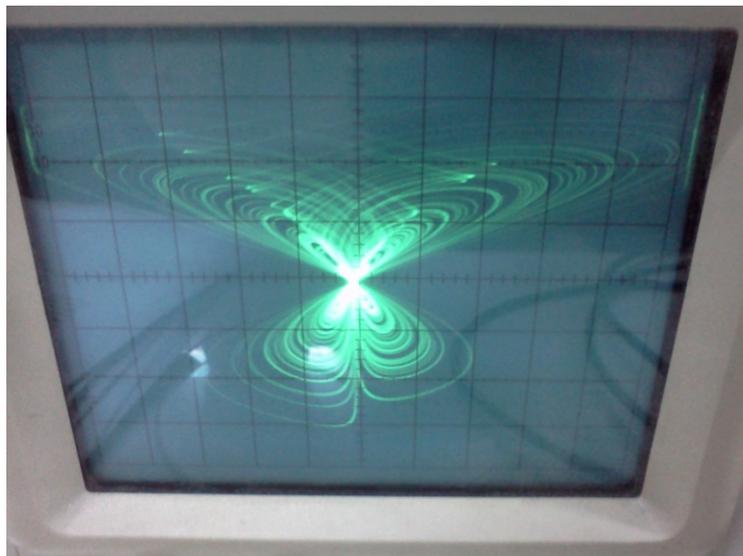
รูปที่ 3.16 กราฟค่า z ที่ได้จากออสซิลโลสโคป



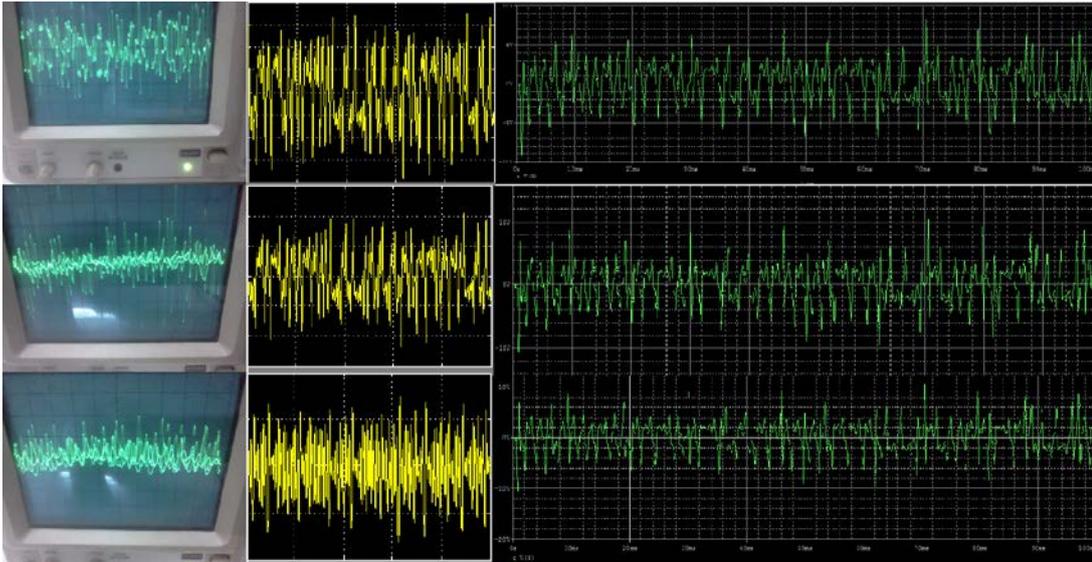
รูปที่ 3.17 กราฟค่า $x-y$ ที่ได้จากออสซิลโลสโคป



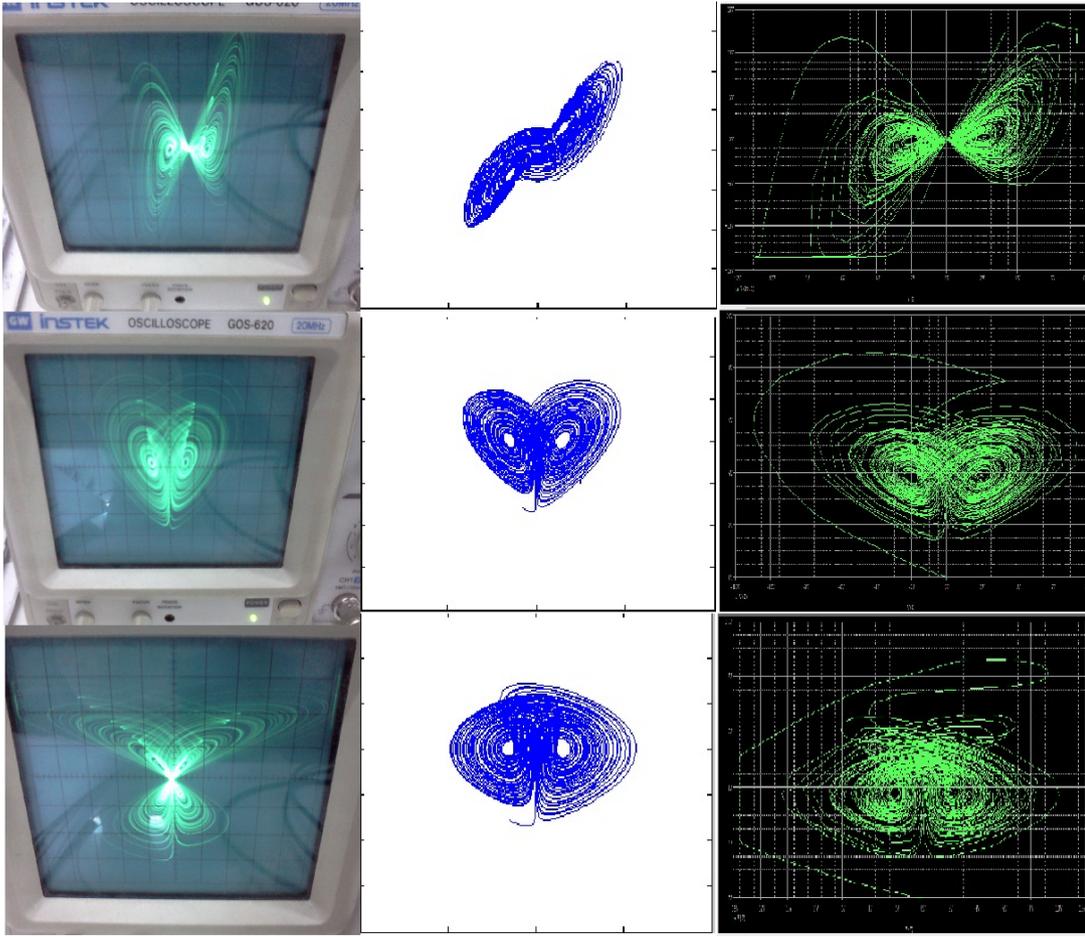
รูปที่ 3.18 กราฟค่า $x-z$ ที่ได้จากออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.19 กราฟค่า $y-z$ ที่ได้จากออสซิลโลสโคป

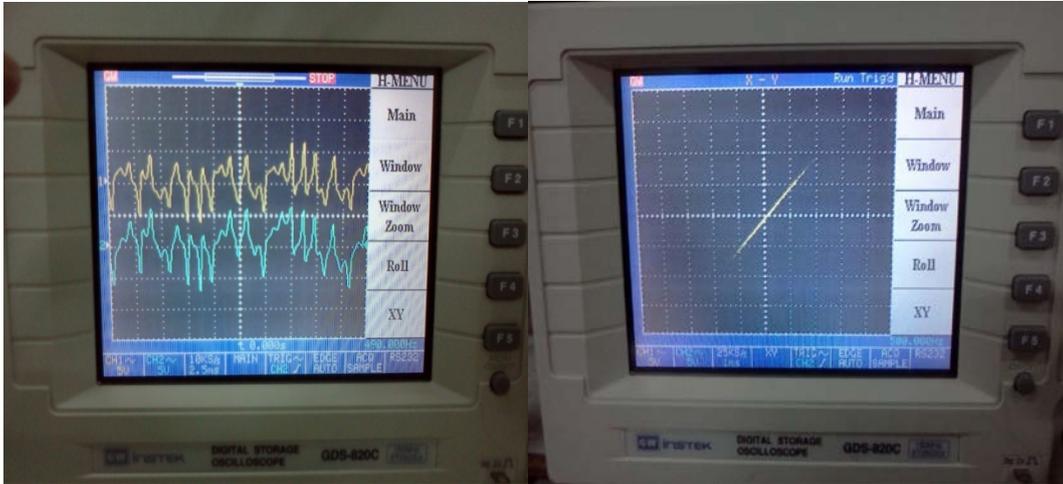


รูปที่ 3.20 แสดงการเปรียบเทียบค่า x , y , z จากผลที่ได้รับกับโปรแกรม MATLAB และ PSPICE

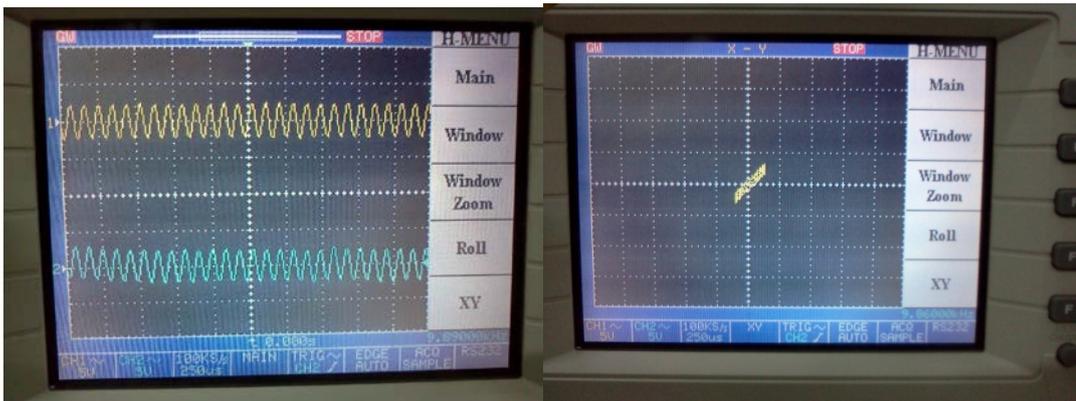


รูปที่ 3.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า x - y , x - z , y - z จากผลที่ได้รับกับโปรแกรม MATLAB และ PSPICE

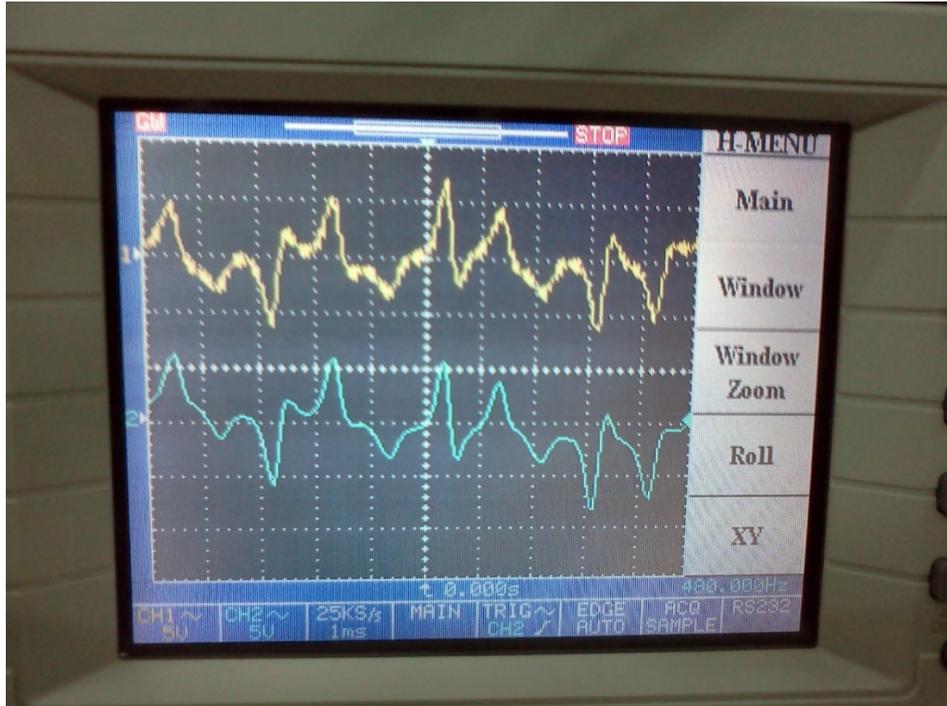
4.2.2 วงจรที่ทำการซิงโครไนซ์แล้ว



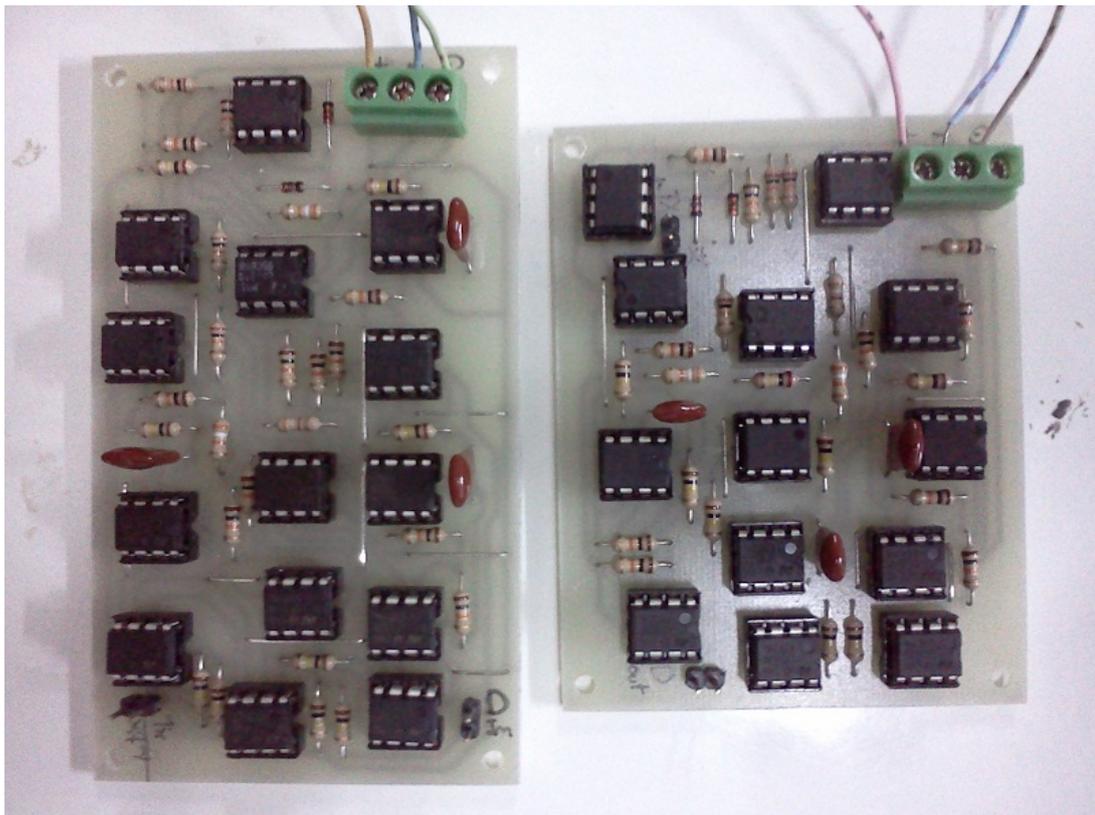
รูปที่ 3.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า x, x_r จากผลการทดลองจริง



รูปที่ 3.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ i, i_r จากผลการทดลองจริง



รูปที่ 3.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $xt+ir$, xt จากผลการทดลองจริง



รูปที่ 3.25 วงจรต้นแบบที่สำเร็จแล้ว