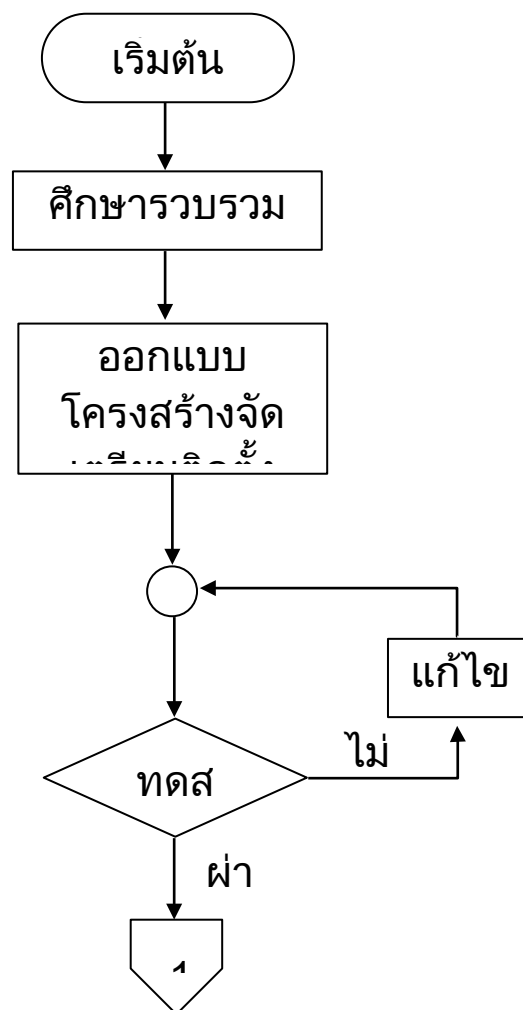


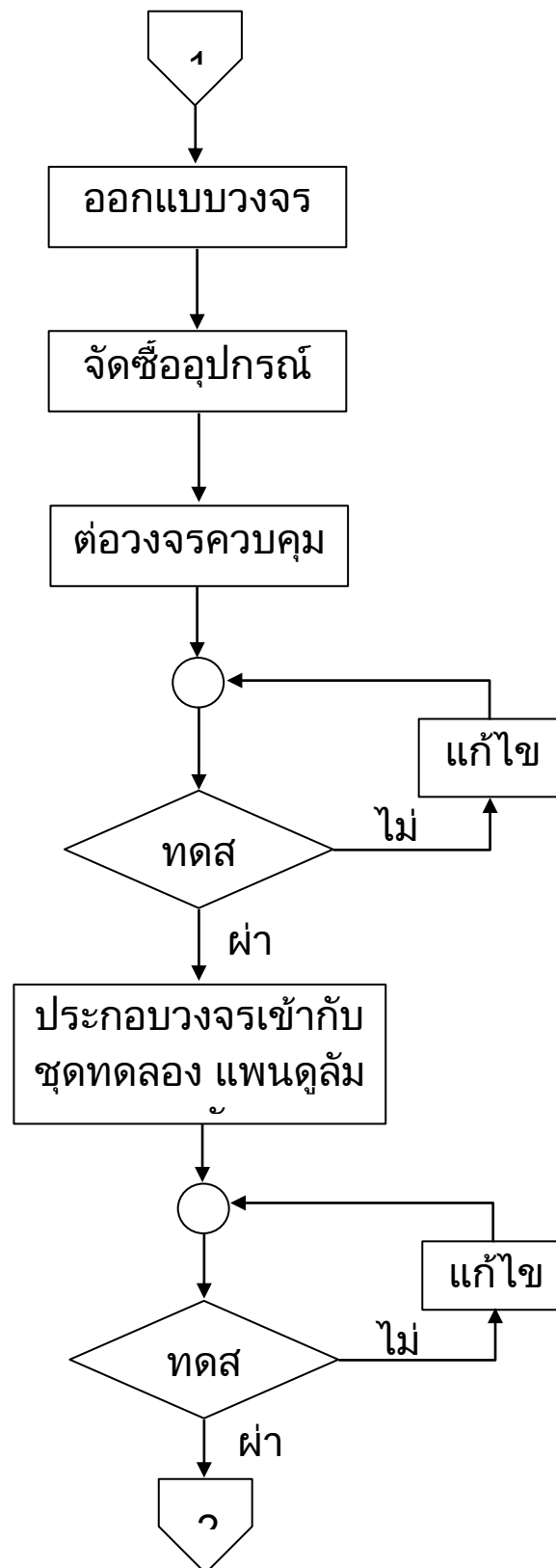
บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

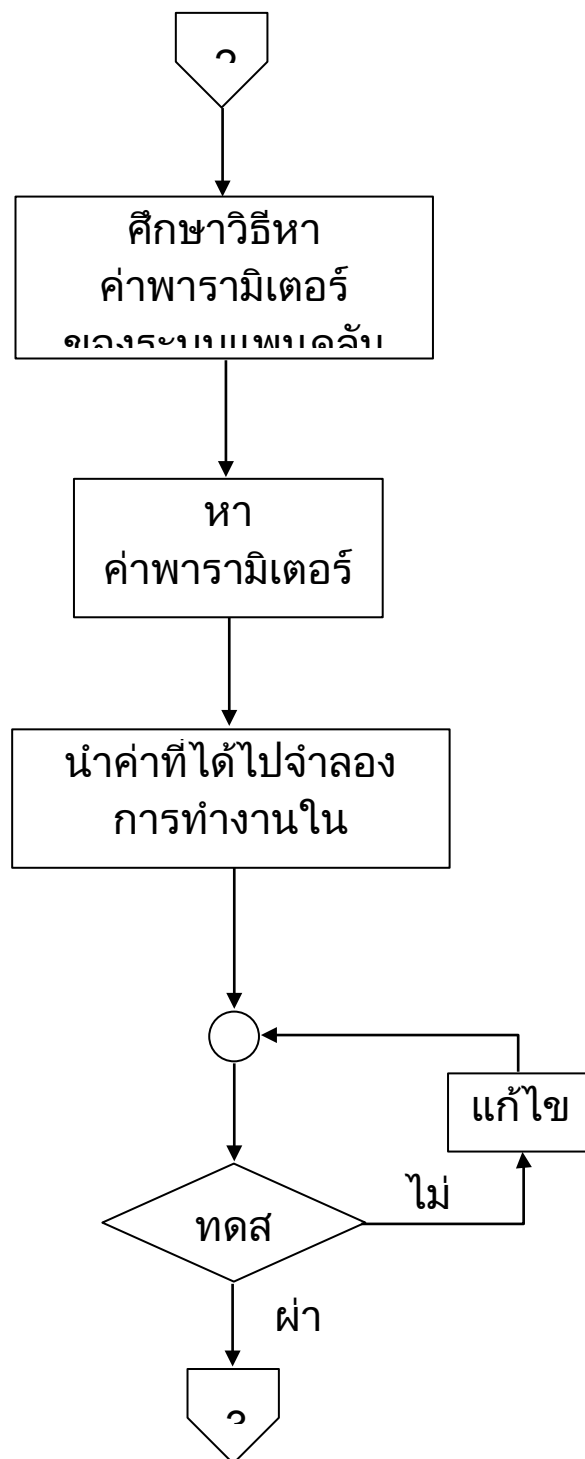
ในการดำเนินการนั้นจำเป็นที่จะต้องวางแผนการดำเนินการ เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการทำงาน และยังเป็นการตรวจสอบว่าทำงานช้าหรือเร็วเกินไป เพื่อที่จะจัดการกับเวลาให้ลงตัวเหมาะสมกับการดำเนินการ ทำให้งานที่ออกมานั้นสมบูรณ์ที่สุด ในการดำเนินการของโครงการนี้มีแผนภูมิภาพดังต่อไปนี้



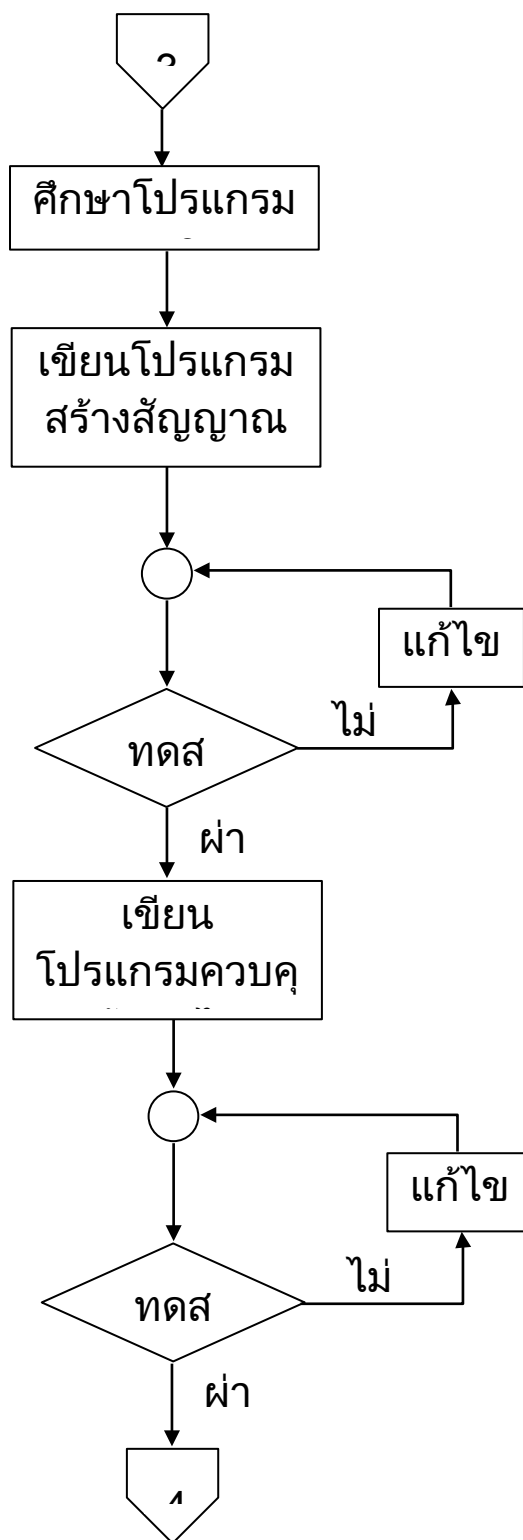
ภาพที่ 3-1 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน



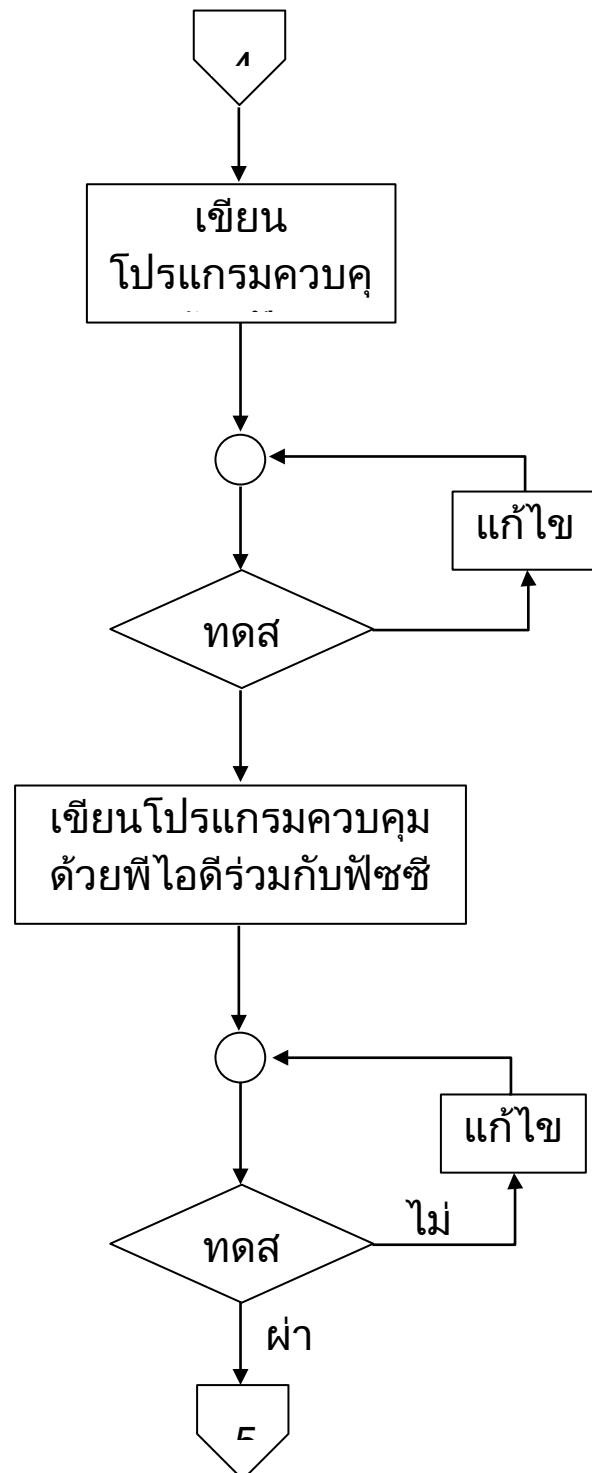
ภาพที่ 3-2 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)



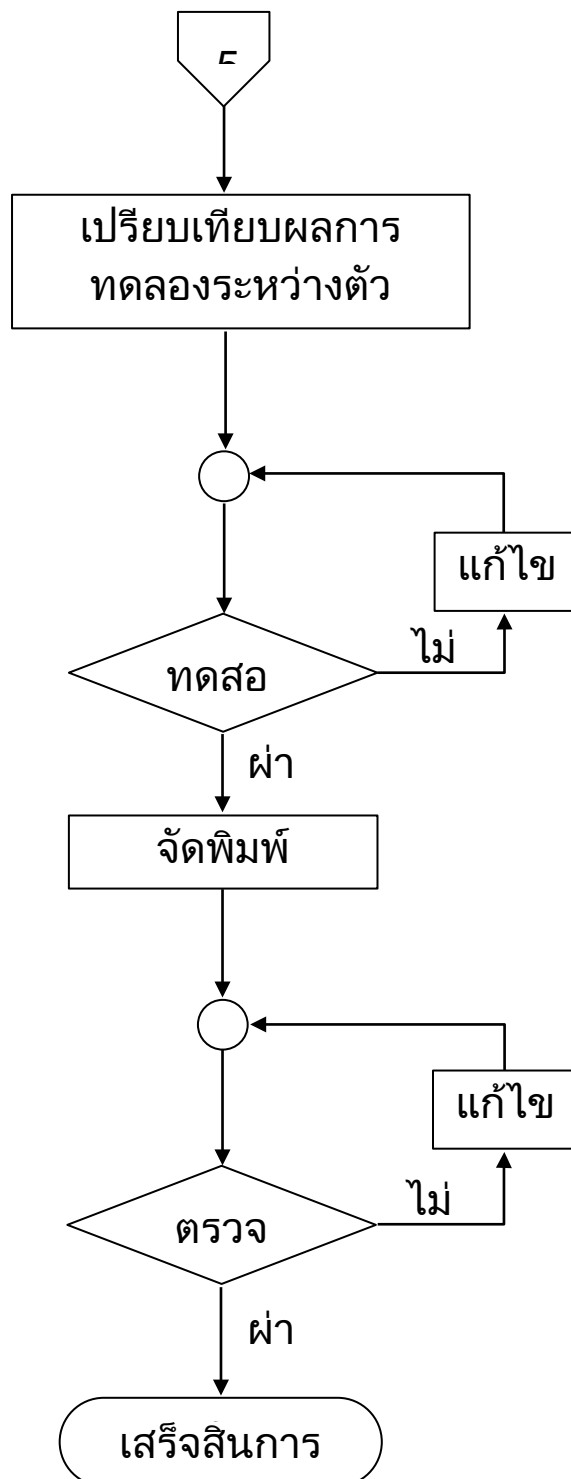
ภาพที่ 3-3 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)



ภาพที่ 3-4 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)



ภาพที่ 3-5 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)



ภาพที่ 3-6 แผนภูมิภาพแสดงการทำงาน(ต่อ)

ขั้นตอนการ ดำเนินการ	พ.ศ. 2555	พ.ศ. 2556
-------------------------	-----------	-----------

ตารางที่ 3-1 ระยะเวลาในการดำเนินการ

[illegible]

และแก้ไข																				
จัดทำปฏิญานิพนธ์ และแก้ไข																				
จัดพิมพ์ปฏิญานิพนธ์																				

ขั้นตอนในการดำเนินการ สามารถแบ่งขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูล

3.2 การออกแบบจัดเตรียมติดตั้งโครงสร้าง

3.3 การออกแบบวงจรควบคุม

3.4 หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบและ Simulation ในโปรแกรม Simulink MATLAB

3.5 การเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ PWM(Pulse Width Modulation : PWM)

3.6 การเขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยโปรแกรมแลบวิว (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench : LabVIEW)

3.6.1 การควบคุมด้วยพีไอดี(Proportional Integral Differential : PID)

3.6.2 การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก(Fuzzy Logic)

3.6.3 การควบคุมด้วยพีไอดีร่วมกับฟัซซีลอจิก

3.7 ประกอบทุกส่วนเข้าด้วยกันและทดลอง

3.8 จัดพิมพ์ปฏิญานิพนธ์

3.1 การศึกษาข้อมูล

ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เรียงตามลำดับดังนี้

3.1.1 ทฤษฎีการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผัน(Invert Pendulum)

3.1.2 ทฤษฎีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเพนดูลัม
ผกผัน

3.1.3 ทฤษฎีการป้อนกลับด้วยเอ็นโค้ดเดอร์(Encoder)

3.1.4 การใช้งานโปรแกรมแลบวิว

3.1.5 การเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าพัลส์ด้วยการ์ด
DAQ(Data Acquisition : DAQ)

3.1.6 ทฤษฎีการควบคุมด้วยพีไอดี

3.1.7 ทฤษฎีการควบคุมด้วยฟuzzyลอจิก

3.1.8 การเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยพีไอดีในแลบวิว

3.1.9 การเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟuzzyลอจิกในแลบวิว

3.2 การออกแบบโครงสร้าง

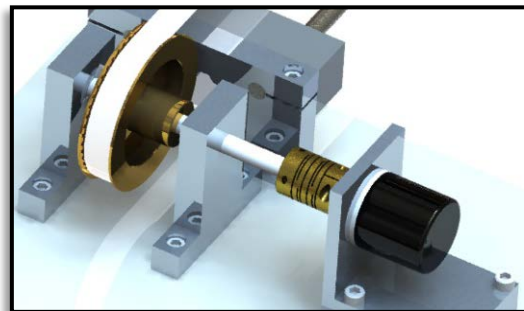
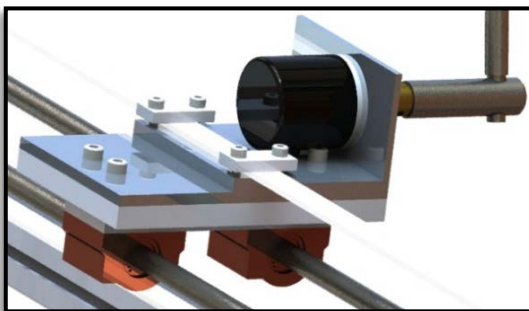


ภาพที่ 3-7 โครงสร้างของโต๊ะที่ทำการออกแบบ



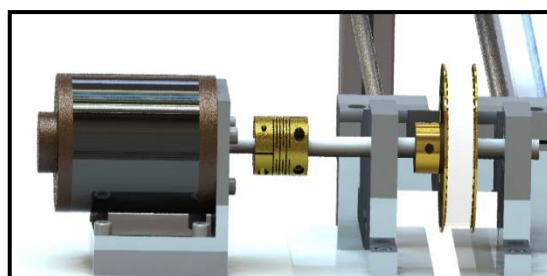
ภาพที่ 3-8 ติดตั้งLinear Guideเข้ากับโต๊ะ

จากภาพที่ 3-8 เป็นการติดตั้งตัวLinear Guideเข้ากับโต๊ะ จะต้องยึดให้แน่นให้แข็งแรงเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยเจาะรู ขั้วน็อตติดกับฐานด้านล่างเพื่อให้เกิดความแข็งแรง



ภาพที่ 3-9 ติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์และสายพาน

จากภาพที่ 3-9 เป็นการติดตั้งสายพานเข้ากับมู่เล่ และติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์สองตัวโดยเจาะรูยึดกับฉากอลูมิเนียมให้แน่นไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยเอ็นโค้ดเดอร์ ตัวที่อยู่บนตัวรถ(Cart)จะทำหน้าที่ในการวัดมุมของแท่งแพนดูลัม และเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่สองทำหน้าที่ในการวัดตำแหน่งหรือระยะทางในการเคลื่อนที่ของตัวรถ



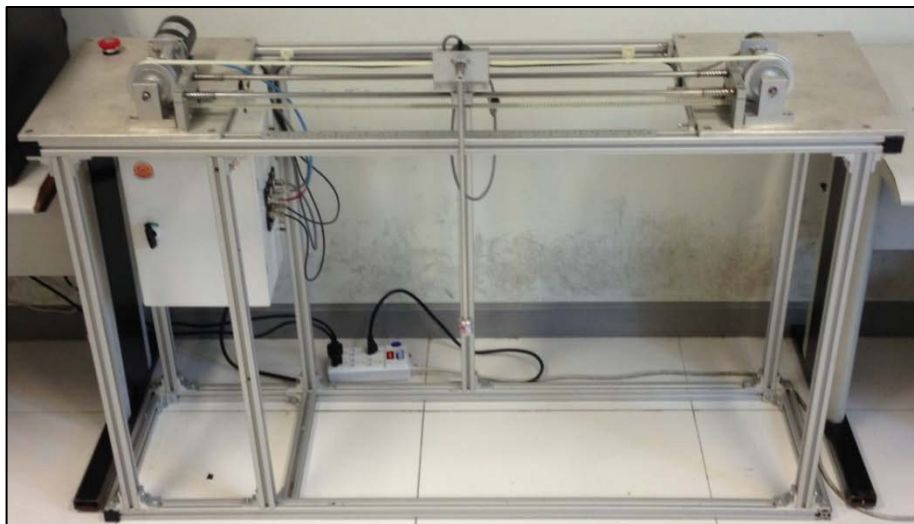
ภาพที่ 3-10 ติดตั้งมอเตอร์และแท่งแพนดูลัม

จากภาพที่ 3-10 เป็นการติดตั้งมอเตอร์เข้ากับมู่เล่และทำการติดตั้งแท่งแพนดูลัม(Pendulum Rod) โดยมอเตอร์จะทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนตัวรถ โดยส่งกำลังผ่านสายพานที่ติดอยู่กับตัวรถ ที่ตัวรถจะมีแท่งแพนดูลัม ติดตั้งอยู่ด้านบนของตัวรถ เมื่อแท่งแพนดูลัมเปลี่ยนตำแหน่งมอเตอร์ก็จะหมุน เพื่อรักษาสมดุลของแท่งแพนดูลัม



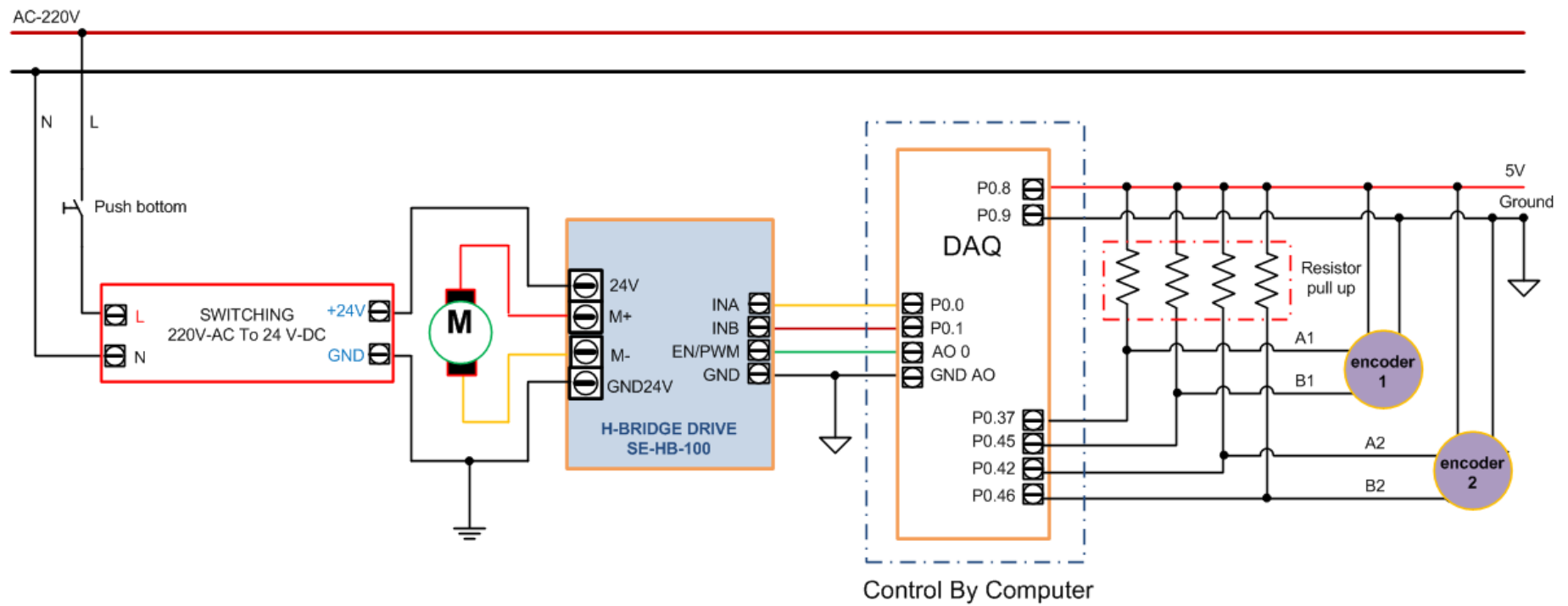
ภาพที่ 3-11 ติดตั้งตู้คอนโทรลและปั๊มฉุกเฉิน

เมื่อทำการออกแบบเสร็จแล้ว ก็ทำการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ และติดตั้งโครงสร้างต่างๆตามทีออกแบบไว้ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆตามที่ได้ออกแบบไว้

3.3 การออกแบบวงจรควบคุม



ภาพที่ 3-13 วงจรควบคุมของระบบแพนดูลัมผกผัน

3.4 หาค่าพารามิเตอร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน

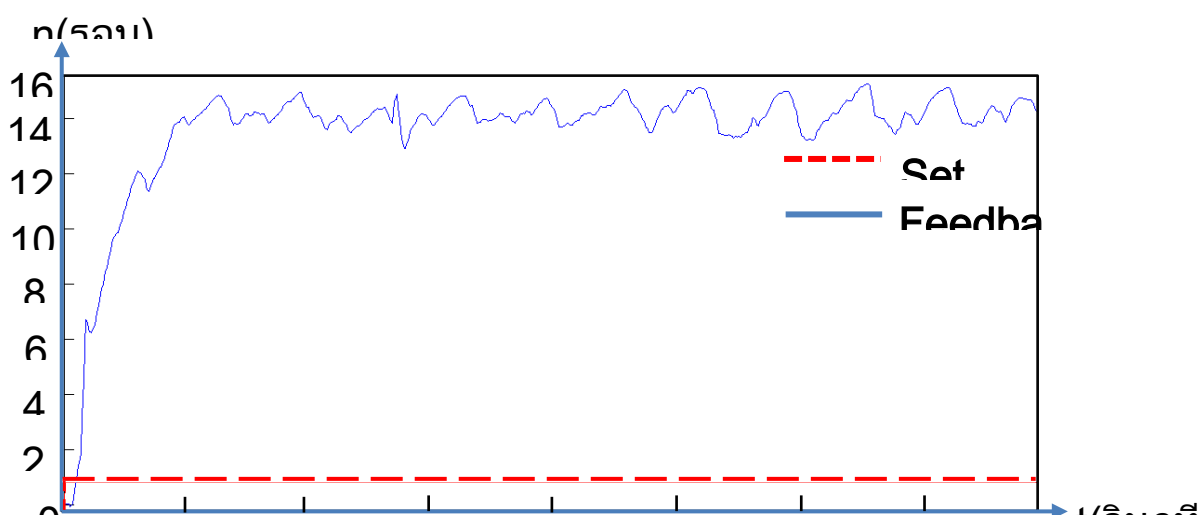
3.4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์



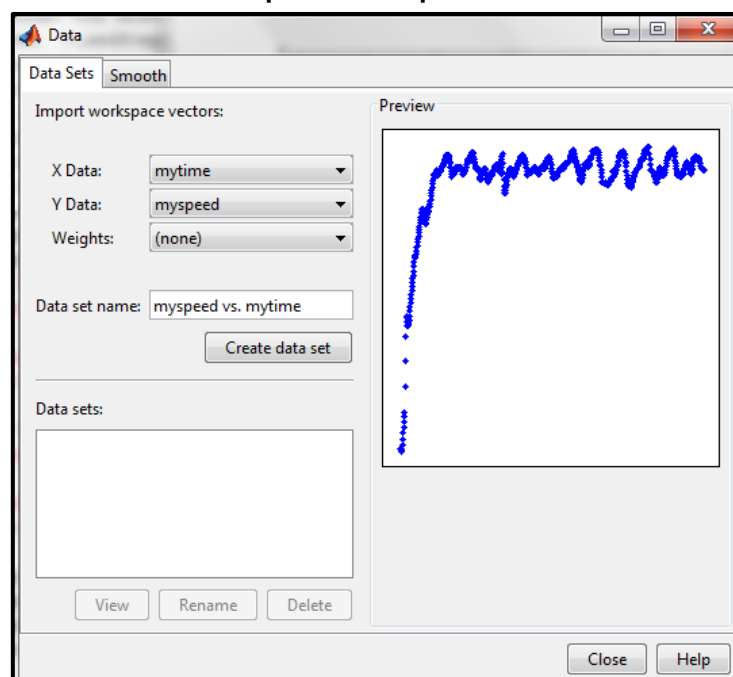
ภาพที่ 3-14 ทดลองควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบ Open Loop

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์ แต่ละค่านั้นหาได้ยากถ้าหากไม่มีมาให้ในคู่มือการใช้งาน ในโครงการนี้จึงใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์โดยวิธี Curve Fitting Tool ในโปรแกรม MATLAB

3.4.1.1 ทำการทดลองควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบลูปเปิด(Open Loop) แล้วเก็บค่า จุดอ้างอิง(Set Point) และค่าสัญญาณป้อนกลับ(Feedback) ที่ได้จากระบบ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณในโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 3-15 ค่า Set Point และค่าFeedback ที่ได้จากการ
ทดลองควบคุมความเร็วรอบ
ของมอเตอร์ Open Loop



ภาพที่ 3-16 ค่าสัญญาณป้อนกลับที่ได้เป็นความเร็วพล็อตเทียบกับเวลาในโปรแกรม MATLAB

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขอมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทำการป้อนอินพุตเข้าไป เป็น Unit Step ให้มีค่า Amplitude เท่ากับตัวแปร k_2

$$H(s) = \frac{k_m}{t_m s + 1}$$

(3-1)

จากสมการที่ 3-1 จัดรูปสมการใหม่ โดยใช้ t_m หารทั้งสมการจะได้เป็นสมการที่ 3-2

$$H(s) = \frac{\frac{k_m}{t_m}}{s + \frac{1}{t_m}}$$

(3-2)

กำหนดให้ $\frac{1}{t_m} = t$ จะได้เป็นสมการที่ 3-3

$$H(s) = \frac{k_1}{s + t}$$

(3-3)

เมื่อทำการป้อนอินพุตเป็น Unit Step เข้าไปก็จะได้ตั้งสมการที่ 3-4

$$C_1(s) = H(s) \cdot U(s) = \frac{k_1}{s + t} \cdot \frac{k_2}{s}$$

(3-4)

โดยกำหนดให้ $k_1 \times k_2 = k$ จะได้เป็นสมการที่ 3-5

$$C_1(s) = \frac{k}{(s + t)s}$$

(3-5)

สมการที่ 3-5 อยู่ในรูป S domain ทำการแปลงเพื่อให้อยู่ในรูป Time Domain ทำการแยก

เศษส่วนย่อย สมการที่ 3-5 ก็จะได้ดังสมการที่ 3-6

$$C_1(s) = \frac{A}{(s+t)} + \frac{B}{s}$$

(3-6)

หาค่าของ A และ B

$$B = \frac{k}{t}$$

$$A = -\frac{k}{t}$$

แทนค่าของ A และ B ลงไปในสมการที่ 3-6 จะได้เป็นสมการที่ 3-7

$$C_1(s) = \frac{\frac{k}{t}}{s} - \frac{\frac{k}{t}}{s+t}$$

(3-7)

ทำการ Take Invert Laplace สมการที่ 3-7 จะได้เป็นสมการที่ 3-8

$$C_1(s) = \frac{k}{t} - \frac{k}{t} e^{-t}$$

(3-8)

จัดรูปแบบสมการที่ 3-8 ใหม่โดยกำหนดให้ $\frac{k}{t} = a$ และ $b = t$ แล้ว

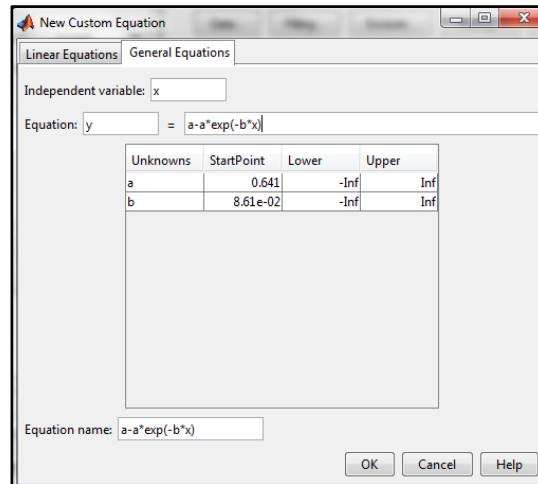
แทนลงในสมการที่ 3-8 ก็จะได้เป็นสมการที่ 3-9

$$C_1(t) = a - ae^{-bt}$$

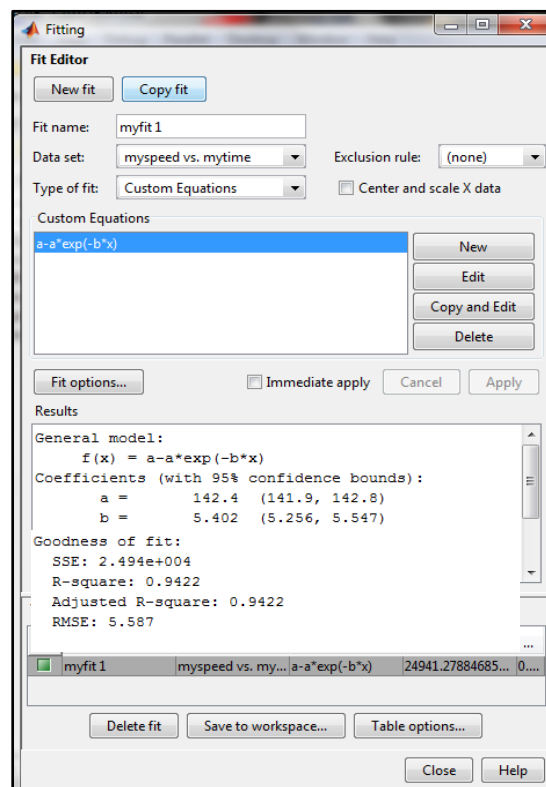
(3-9)

นำสมการที่ 3-9 ที่หามาได้พิมพ์เข้าไปในเครื่องมือของโปรแกรม

MATLAB : Curve Fitting Tool ในช่อง Equation

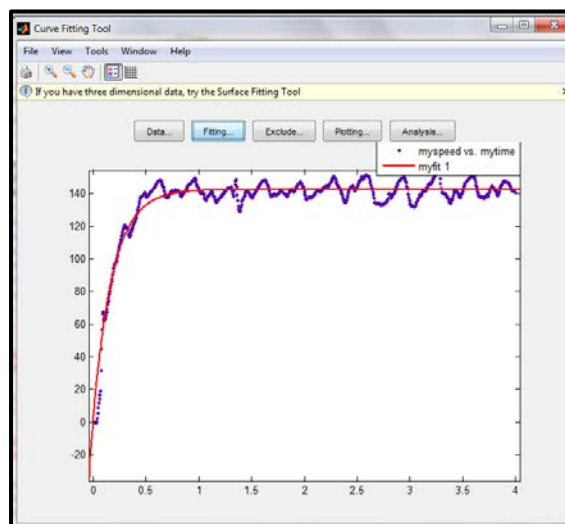


ภาพที่ 3-17 ป้อนรูปแบบสมการที่จะทำการ Fit Curve



ภาพที่ 3-18 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี Curve Fitting

จากภาพที่ 3-18 เป็นค่าพารามิเตอร์ของตัวแปร
 a มีค่าเท่ากับ 142.4 ค่าของพารามิเตอร์ตัวแปร b มีค่าเท่ากับ
 5.402 นำค่าของ a และ b ไปคำนวณหาค่า K



ภาพที่ 3-19 กราฟที่ได้จากวิธี Curve Fitting Tool

จากภาพที่ 3-18 ค่าของ $b=5.402$ โดยที่ $t = b = 5.402$ จากสมการ

$$a = \frac{k}{t} \text{ ค่าของ } k \text{ จะเท่ากับ}$$

$$k = t \cdot a = 142.4 \cdot 5.402 = 769.2448$$

จาก $k = k_1 \cdot k_2$ โดยค่าของ $k_2 = 8$ เป็นค่าที่ป้อนเข้าไปตอนทดลอง

ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบ Open Loop จะได้เป็น

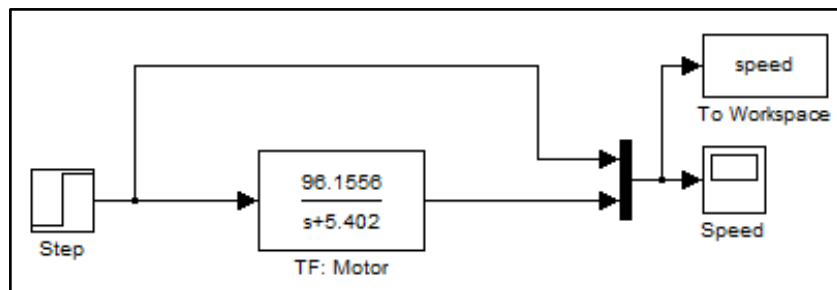
$$k_1 = \frac{k}{k_2} = \frac{769.2448}{8} = 96.1556$$

ก็จะได้ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์โดยรวมของระบบที่เราต้องการควบคุมดังสมการที่ 3-10

$$H(s) = \frac{k_1}{s + t} = \frac{96.1556}{s + 5.402}$$

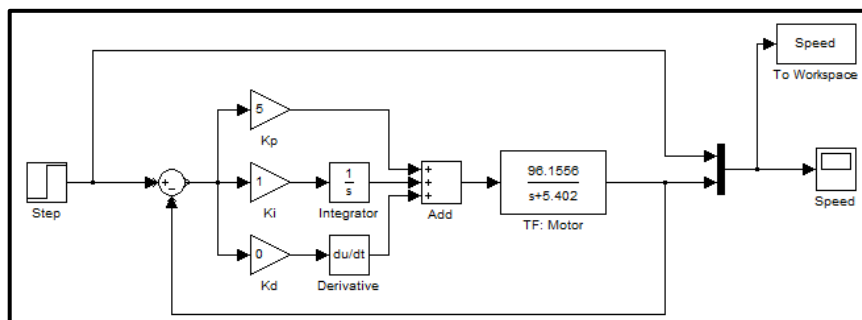
(3-10)

นำค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปทดลอง Simulation ในโปรแกรม Simulink MATLAB ดังภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-20 Simulation ในโปรแกรม Simulink MATLAB

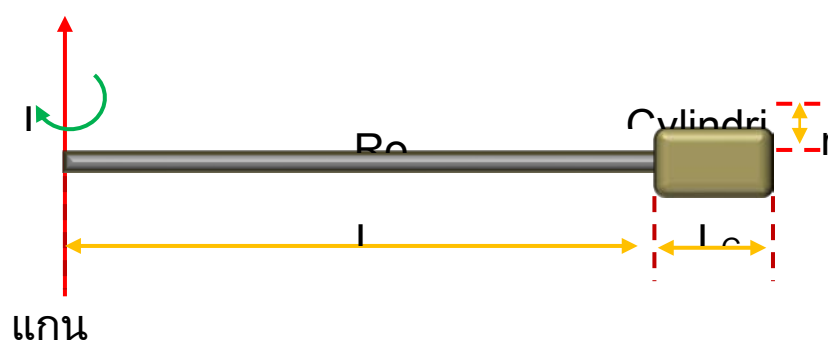
จากภาพที่ 3-20 เป็นการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ จากวิธี Curve Fitting มา Simulation ในโปรแกรม Simulink ใน MATLAB แบบ Open Loop และภาพที่ 3-21 เป็นการ Simulation แบบลูปปิด(Close Loop) โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี



ภาพที่ 3-21 Simulation แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ
มอเตอร์แบบ Close Loop

3.4.2 หาค่าโมเมนต์อินเนียเซีย(Moment Inertia)

3.4.2.1 โมเมนต์อินเนียเซียของแท่งแพนดูลัม



ภาพที่ 3-22 แท่งแพนดูลัม

จากสมการ

$$I_R = \frac{1}{3} M_R L_R^2$$

(3-11)

ตารางที่ 3-2 ค่าพารามิเตอร์ของแท่งแพนดูลัม

พารามิเตอร์	คำบรรยาย	ค่าพารามิเตอร์
I_R	โมเมนต์อินเนียเซียของแท่ง แพนดูลัม	กิโลกรัมเมตร กำลังสอง
M_R	มวลของแท่งแพนดูลัม	0.0917 กิโลกรัม

L_R	ความยาวของแท่งแพนดูลัม	0.454 เมตร
-------	------------------------	------------

จากสมการ 3-11 คำนวณหาค่า อินินิเชียของแท่งแพนดูลัม

$$I_R = \frac{1}{3} \cdot 0.0917 \cdot (0.454)^2 = 6.30027 \cdot 10^{-3} \text{ กิโลกรัมเมตร}$$

กำลังสอง

3.4.2.2 โมเมนต์อินินิเชียของลูกตุ้ม

จากสมการ

$$I_C = \frac{1}{4} M_C r_C^2 + \frac{1}{12} M_C r_C^2$$

(3-12)

ตารางที่ 3-3 ค่าพารามิเตอร์ของลูกตุ้มทรงกระบอก

พารามิเตอร์	คำบรรยาย	ค่าพารามิเตอร์
I_C	โมเมนต์อินินิเชียของลูกตุ้ม ทรงกระบอก	กิโลกรัมเมตร กำลังสอง
M_C	มวลของลูกตุ้มทรงกระบอก	0.038 กิโลกรัม
r_C	รัศมีของลูกตุ้มทรงกระบอก	0.0122 เมตร

จากสมการ 3-12 คำนวณหาค่า อินินิเชียของลูกตุ้มทรงกระบอก

$$I_C = \frac{1}{4} \cdot (0.038) \cdot (0.0122)^2 + \frac{1}{12} \cdot (0.038) \cdot (0.0122)^2$$

$$I_C = 1.8853 \cdot 10^{-6} \text{ กิโลกรัมเมตรกำลังสอง}$$

โมเมนต์อินนิเชียรวมของแท่งแพนดูลัม รวมกับโมเมนต์อินนิเชียของลูกตุ้ม

$$I = I_R + I_c \quad (3-$$

13)

$$I = (6.30027 \cdot 10^{-3}) + (1.8853 \cdot 10^{-6}) = 6.30224 \cdot 10^{-3} \text{ กิโลกรัมเมตรกำลังสอง}$$

ตารางที่ 3-4 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน

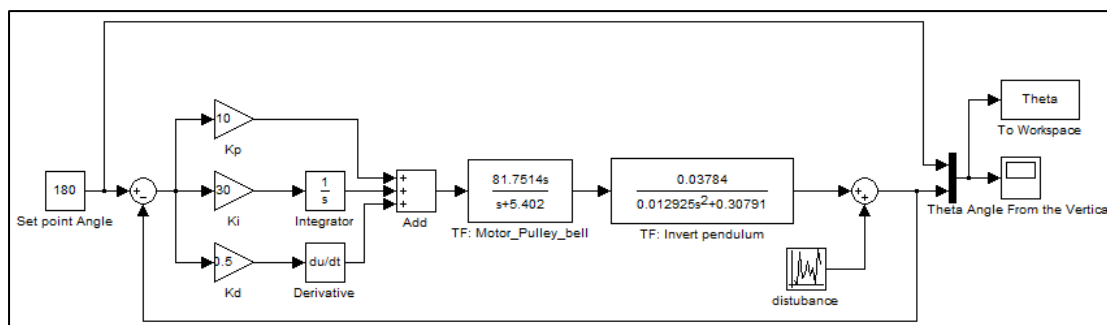
ค่าพารามิเตอร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน	
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
M	0.7 กิโลกรัม
m	0.1297 กิโลกรัม
L	0.2918 เมตร
r	0.037 เมตร
I	6.30224×10^{-3} กิโลกรัม เมตรกำลังสอง
g	9.81 เมตรต่อวินาที กำลังสอง
b	0

จากสมการที่ 2-32 สมการของมุมเล็กกับแรง $\frac{U(s)}{W(s)} = M_t rs$

นำสมการ 2-32 คุณเข้าไปกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ดีซีมอเตอร์ที่หาค่าพารามิเตอร์มาได้จากสมการที่ 3-10

M_t คือ มวลของตัวรถรวมกับมวลของลูกตุ้ม

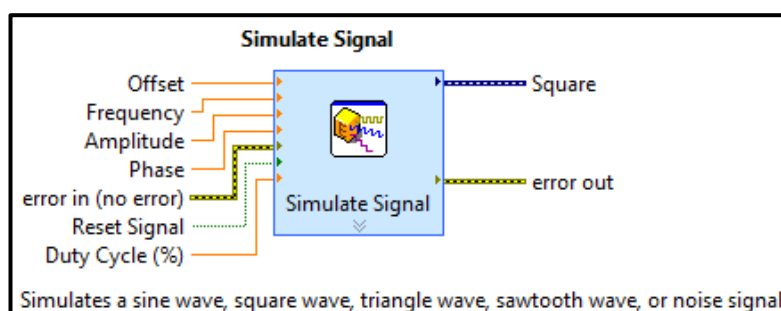
r คือ รัศมีของมู่เล่ แต่ ค่า r ได้คิดรวมเข้าไปกับการ
 ทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของ
 มอเตอร์ไปแล้วจึงไม่ต้องคูณค่า r เข้าไปอีก นำค่าพารามิเตอร์ของ
 ระบบเพนดูลัมผกผันที่หามาได้ไปแทนค่าในสมการ 2-67 เพื่อ
 นำไป Simulation การทำงานของระบบ ดังภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 Simulation แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ
 เพนดูลัมผกผันแบบ Close Loop

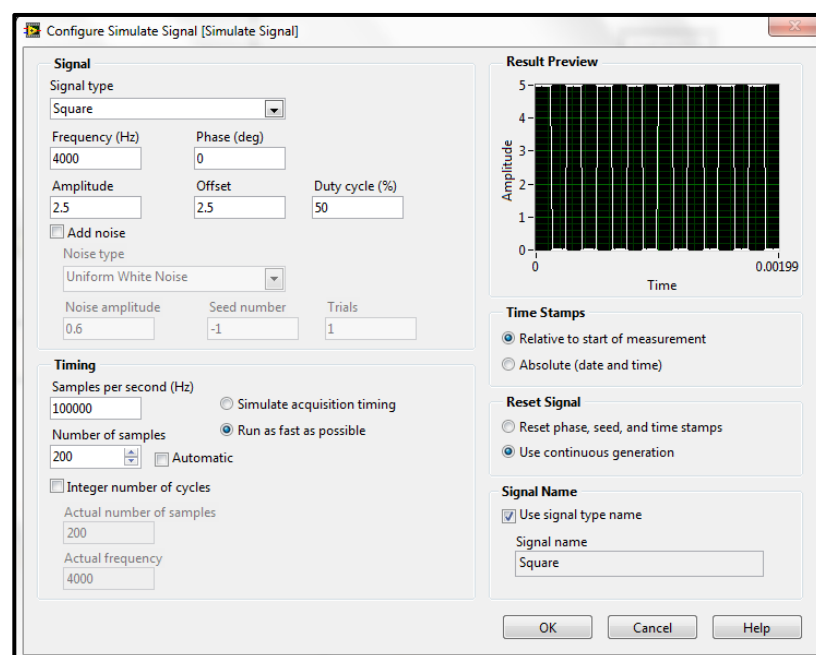
3.5 การเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ PWM (Pulse width modulation : PWM)

3.5.1 ใช้โปรแกรมแลบวิวในการสร้างสัญญาณ PWM ที่
 ความถี่ 4 กิโลเฮิร์ตซ์



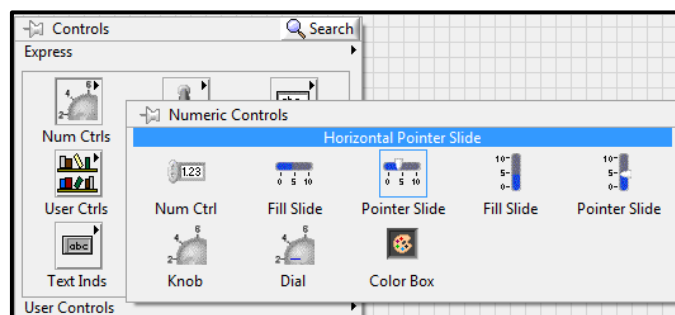
ภาพที่ 3-24 บล็อก Simulate Signal ในโปรแกรมแลบวิว

จากภาพที่ 3-24 เป็นบล็อก Simulate Signal ที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณ Sine Wave Triangle Wave Saw Toot Wave หรือ Noise Signal ที่ใช้ในการ Simulation

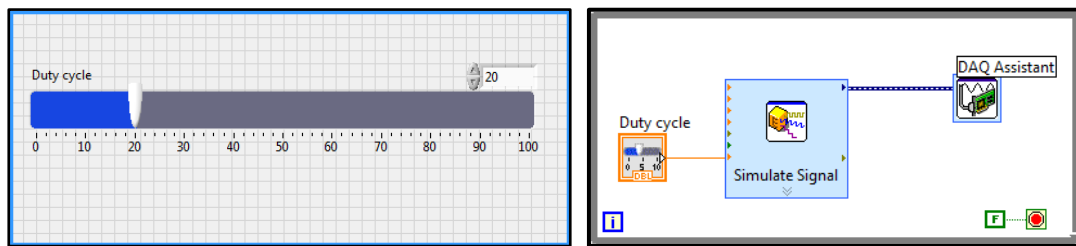


ภาพที่ 3-25 กำหนดค่าในบล็อก Simulate Signal

จากภาพที่ 3-25 เป็นการกำหนดค่ากำเนิดสัญญาณ PWM โดยเลือกชนิดของสัญญาณเป็นแบบ Square Wave ตั้งความถี่ที่ 4 กิโลเฮิร์ตซ์ Amplitude เท่ากับ 2.5 โวลต์ Offset ที่ 2.5 โวลต์ ทำการเลือกตัว Numeric Controls โดยคลิกขวาที่หน้า Front Panel แล้วเข้าไปที่ Express >> Numeric Controls >> Pointer Slide ดังภาพที่ 3-26 แล้วนำมาต่อเข้ากับ Block Simulate Signal ดังภาพที่ 3-27

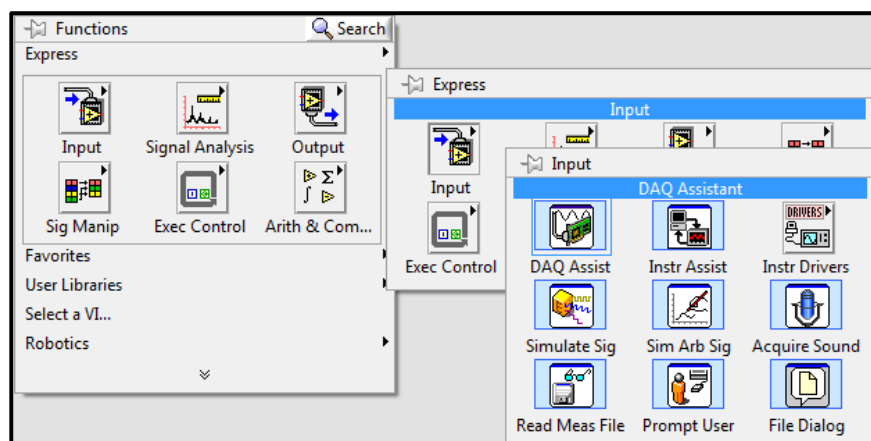


ภาพที่ 3-26 ตัว Numeric Controls ในโปรแกรมแลบวิว

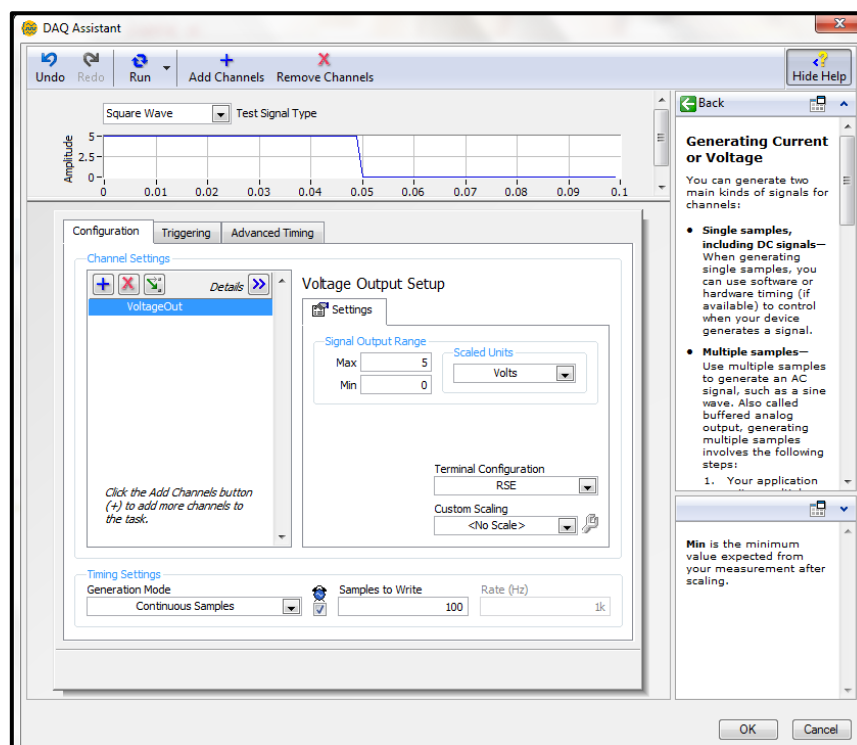


ภาพที่ 3-27 ต่อตัว Numeric Controls เข้ากับ บล็อก Simulate Signal

จากภาพที่ 3-27 เป็นการนำตัว Numeric Controls มาต่อเข้ากับ บล็อก Simulate Signal ที่ได้กำหนดค่าต่างๆ เอาไว้ Out Put ที่ออกจากตัว บล็อก Simulate Signal ก็นำไปต่อเข้ากับ บล็อก DAQ Assistant โดยคลิกขวาที่หน้า Block Diagram ของโปรแกรมแลบวิว แล้วเข้าไปที่ Express >> Input >> DAQ Assistant ดังภาพที่ 3-28 แล้วเข้าไปกำหนดค่าในตัว DAQ Assistant ดังภาพที่ 3-29



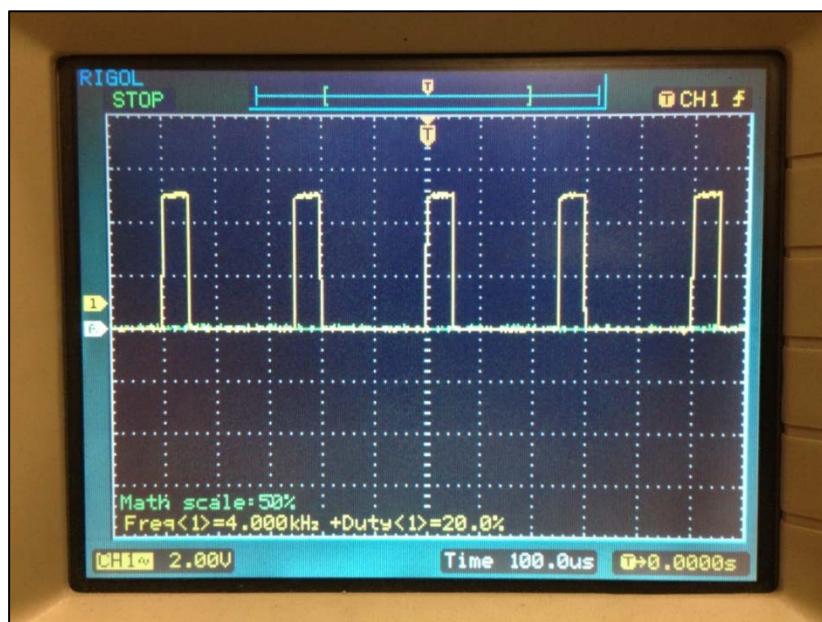
ภาพที่ 3-28 เลือกตัว DAQ Assistant ใน
โปรแกรมแลบVIEW



ภาพที่ 3-29 กำหนดค่า Out Put ในตัว DAQ Assistant

โดยเข้าไปกำหนดค่าต่างๆดังนี้ Generate Signals>>Analog Output>>Voltage กำหนดค่า Voltage Output Max เท่ากับ 5 Voltage และ Voltage Output Min เท่ากับ 0 Voltage

นำบล็อกที่ต่อเสร็จไปทดลองส่งค่า Duty Cycle ออกทางการ์ดDAQ แล้วนำ Oscilloscope มาวัดค่าสัญญาณ PWM ที่ส่งออกมาดังภาพที่ 3-30



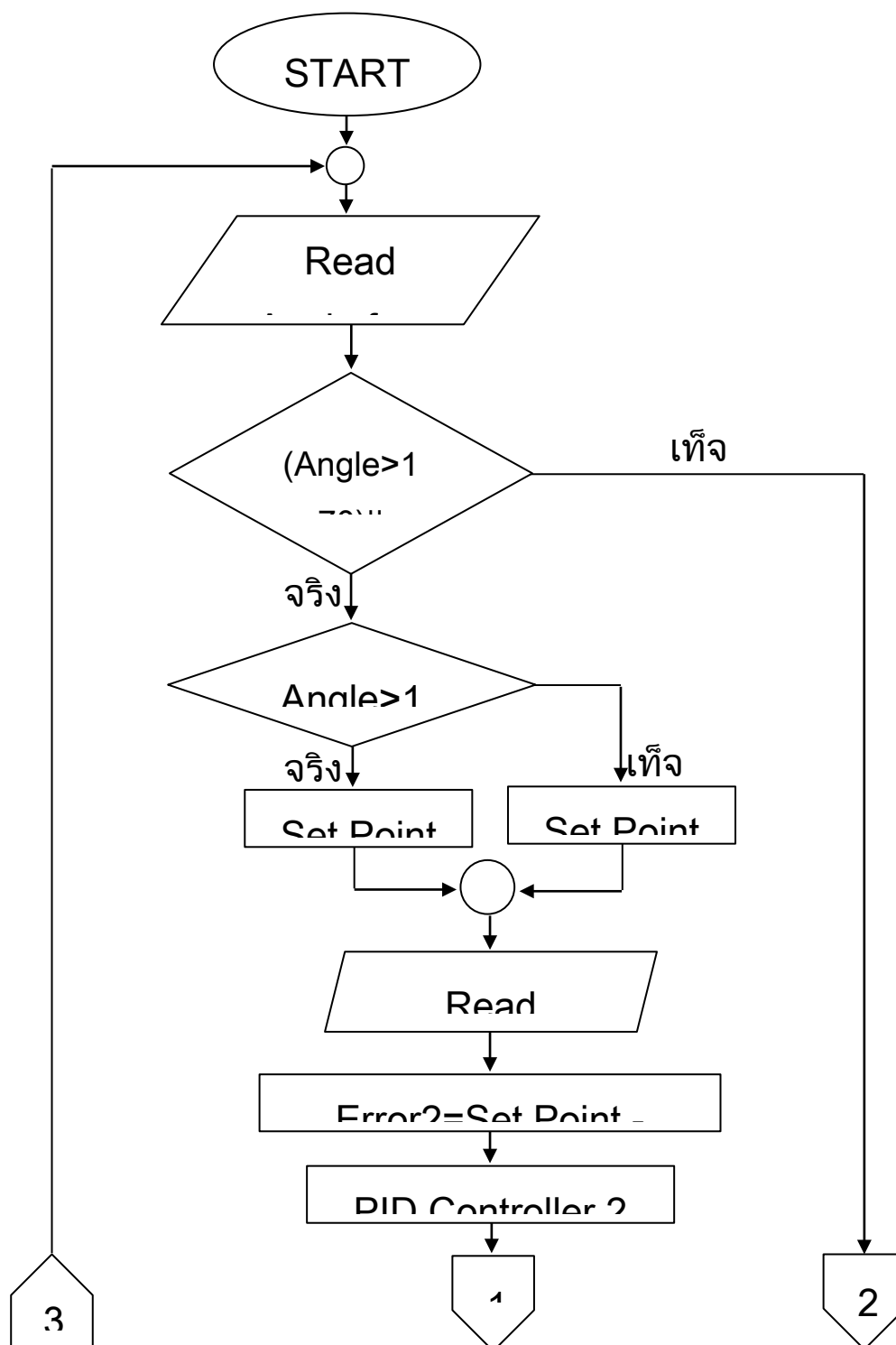
ภาพที่ 3-30 ภาพสัญญาณ PWM จากโปรแกรมแลบVIEW

จากภาพที่ 3-30 ใช้ฮาร์ดแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ผลิตสัญญาณ PWM ที่ส่งออกมาจากโปรแกรมแลบVIEW ทางการ์ดDAQ ที่ Duty Cycle 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 4 กิโลเฮิร์ตซ์

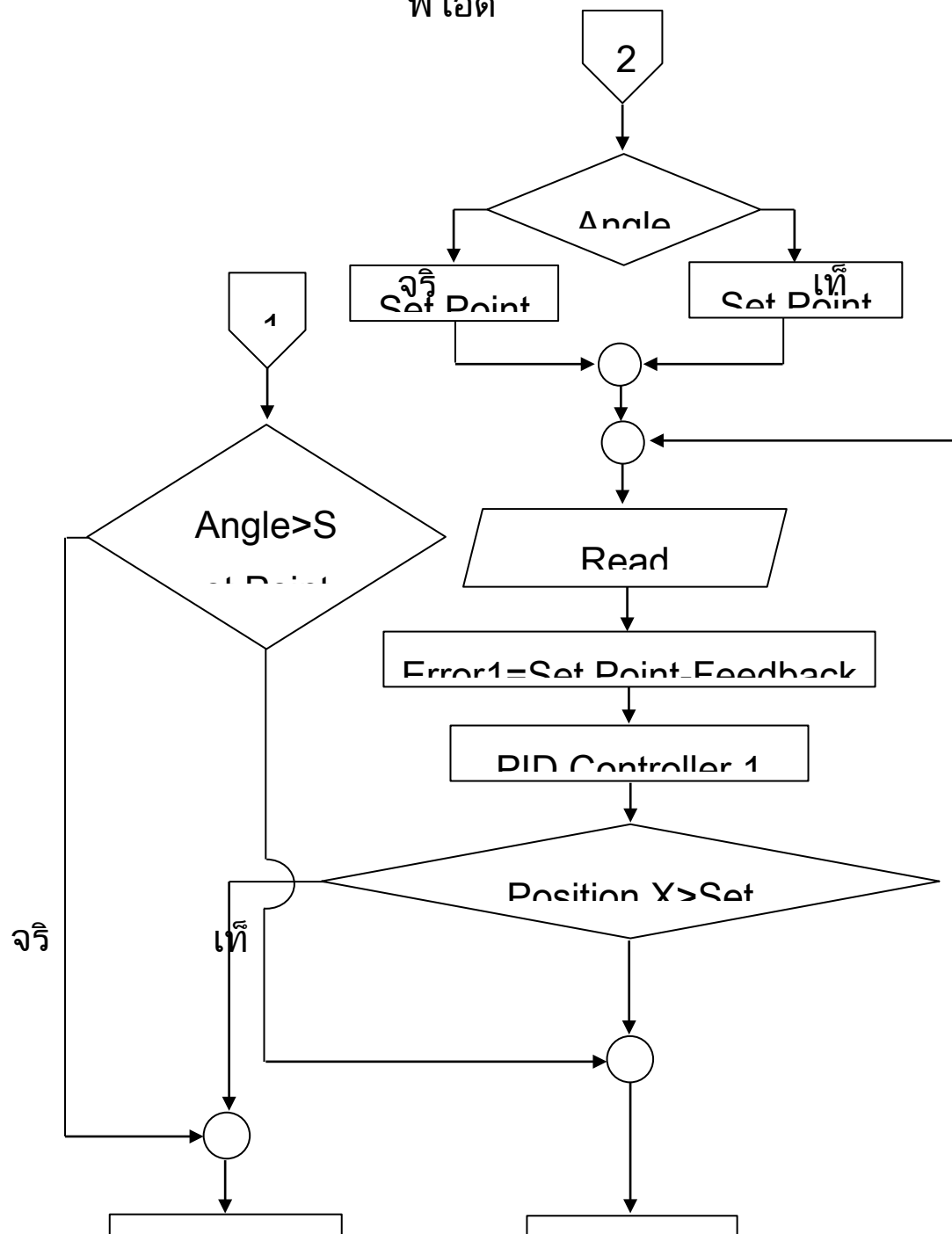
3.6 การเขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยโปรแกรมแลบVIEW

3.6.1 เขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

3.6.1.1 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมด้วยพีไอดี



ภาพที่ 3-31 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ
พีไอดี

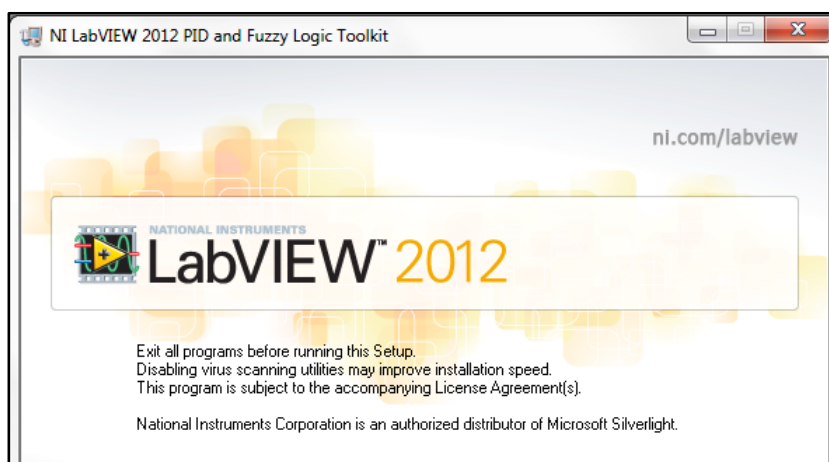


จรี

เที

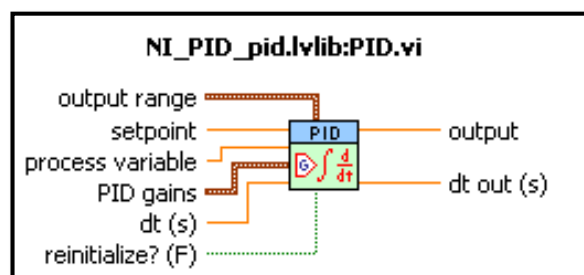
ภาพที่ 3-32 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ พีไอดี (ต่อ)

การควบคุมด้วยพีไอดีในแลบวิว จะมีฟังก์ชันใน
การเขียน คือ PID.VI โดยต้องลงเครื่องมือเสริมของแลบวิว คือ
PID and Fuzzy Logic Toolkit



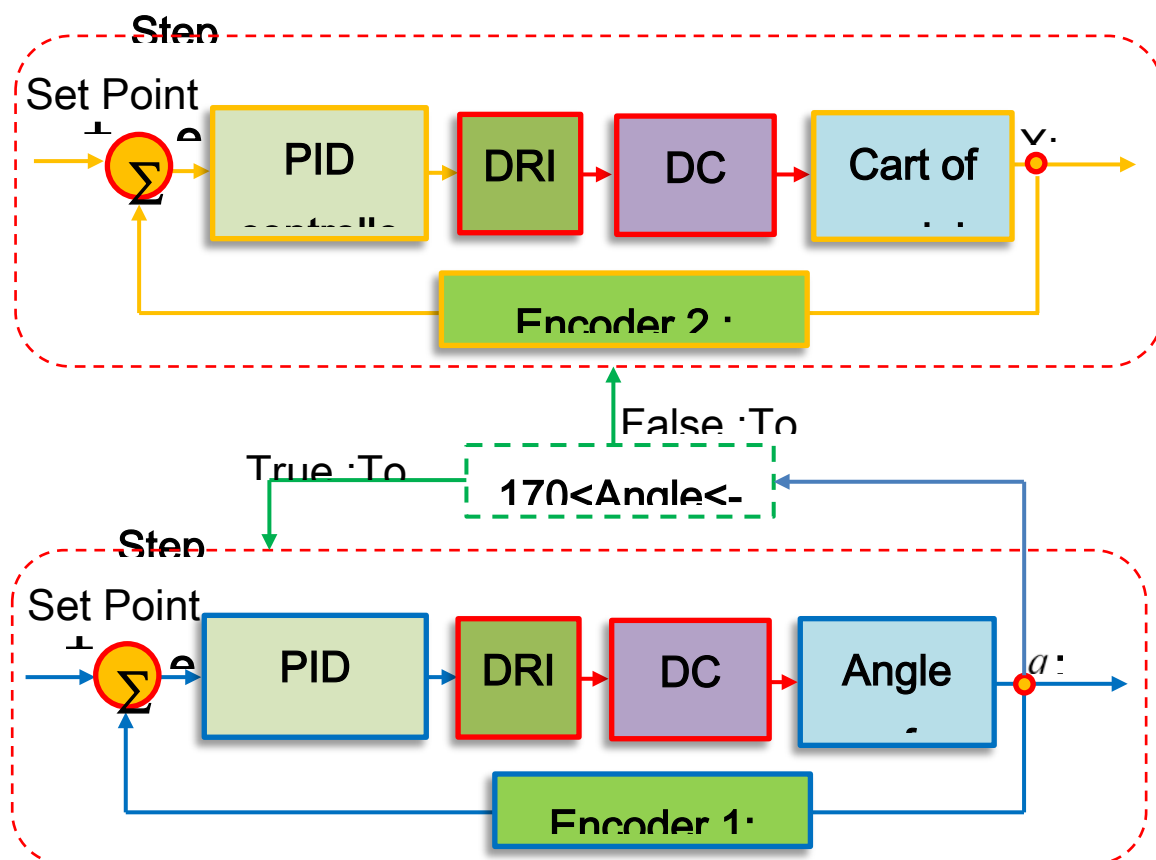
ภาพที่ 3-33 Install PID and Fuzzy Logic Toolkit

หลังจากลงโปรแกรมเสร็จแล้ว วิธีการนำฟังก์ชันของ PID.VI มาใช้ในโปรแกรม โดยคลิกขวาที่ Block Diagram >> Control Design & Simulation>>PID>>PID.VI วางที่ Block Diagram เท่านั้นก็ได้ฟังก์ชันของพีไอดี จากนั้นก็ได้กำหนดค่าและส่วนเสริมต่าง ๆ ของโปรแกรม สำหรับโปรแกรมควบคุมด้วยพีไอดี มีส่วนต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 3-34



ภาพที่ 3-34 ฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในโปรแกรม
แลบVIEW

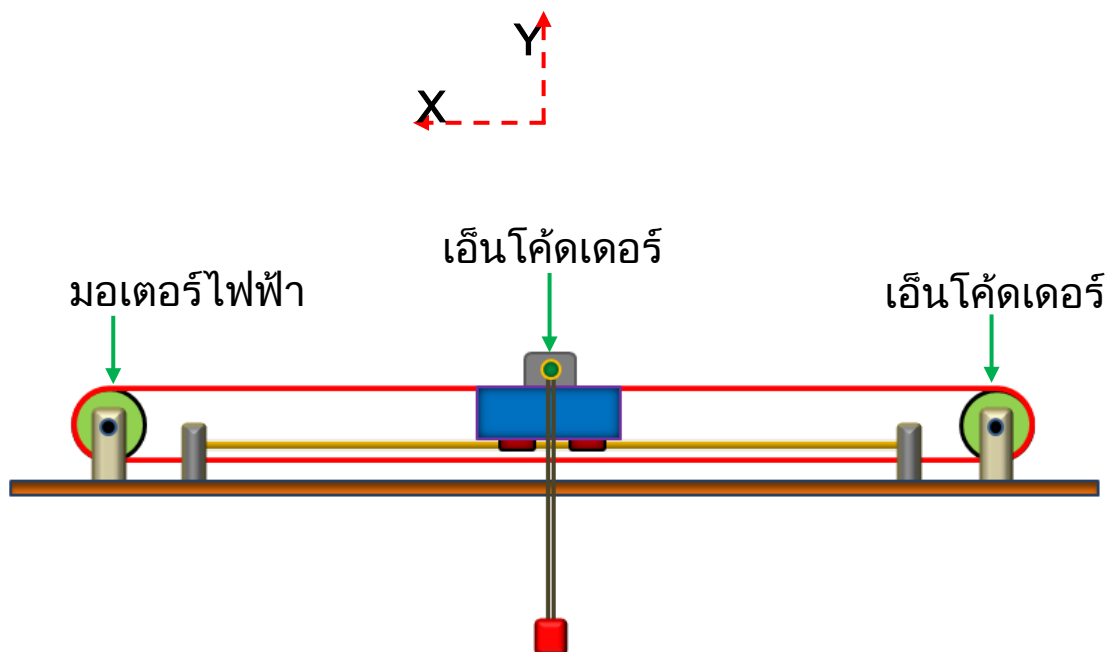
3.6.1.2 บล็อกไดอะแกรมควบคุมระบบเพนดูลัมผกผัน ด้วยพีไอดี



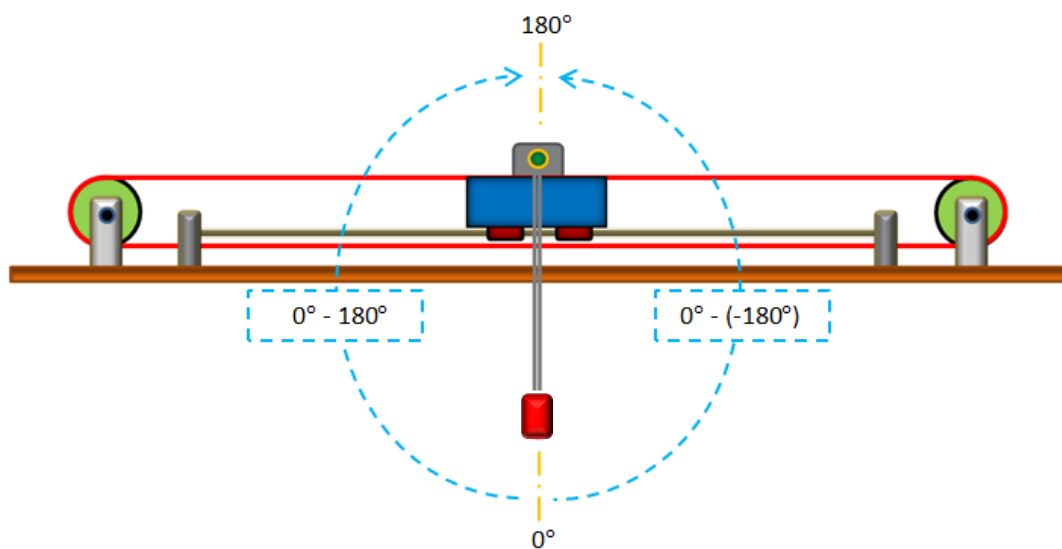
ภาพที่ 3-35 บล็อกไดอะแกรมควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดี

จากภาพที่ 3-35 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดี เริ่มการทำงานใน Step ที่ 1 เป็นการแกว่งแท่งแพนดูลัม จากจุดสมดุลล่างที่มุม 0 องศา โดยมีเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 เป็นตัววัดมุมของแท่งแพนดูลัม โดยจะเป็นตัวกำหนด Set Point Position Cart ในแนวแกน X คือการเคลื่อนที่ของตัวรถในจังหวะการแกว่งแท่งแพนดูลัม ถ้าแท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกา มุมของแท่งแพนดูลัม เป็นบวก ก็จะกำหนดให้ Set Point Position Cart ในแนวแกน X อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ -5 เซนติเมตร และถ้าแท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกา มุมของแท่งแพนดูลัม ก็จะเป็นลบ ก็จะกำหนดให้ Set Point Position Cart ในแนวแกน X อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 5 เซนติเมตร สลับกันทำงานอย่างนี้ไปจนค่ามุมของแท่งแพนดูลัม มีมุมอยู่ที่ตำแหน่งมากกว่า 170 องศา หรือ น้อยกว่า (-170 องศา) ก็จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็น Step ที่ 2 เป็นการรักษาสมุมของแท่งแพนดูลัม โดย Set Point Angle จะอยู่ที่ตำแหน่ง จุดสมดุลบนที่มุม 180 องศา หรือ (-180 องศา) จะขึ้นอยู่กับทิศทางการแกว่งขึ้นของแท่งแพนดูลัม เมื่อแท่งแพนดูลัม แกว่งขึ้นในทิศทางตามเข็มนาฬิกา Set Point Angle จะถูกกำหนดให้เป็น 180 องศา เพราะ ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่ใช้วัดมุมของแท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกาจะมีค่าเป็นบวก และเมื่อแท่งแพนดูลัม แกว่งขึ้นในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา Set Point Angle ก็จะถูก

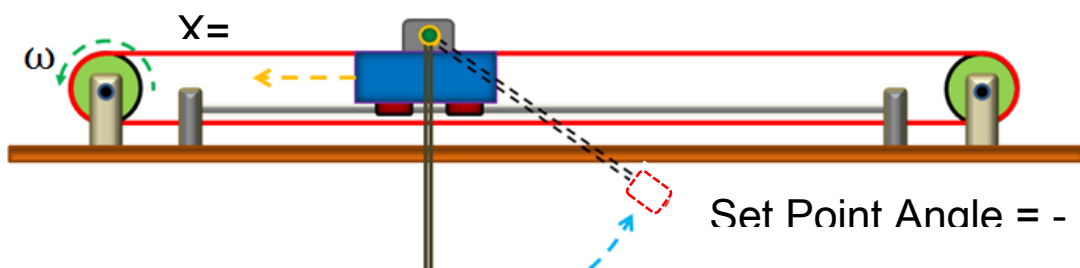
กำหนดให้เป็น(-180 องศา)เพราะตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่ใช้วัดมุมของ
 แท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีค่าเป็นลบจากนั้นก็ไปเข้า
 ตัวควบคุมพีไอดีส่งค่าที่ประมวลผลได้ไปควบคุมทิศทางการหมุน
 ของมอเตอร์ ไปเข้าวงจรขับ(Drive Circuit) ไปขับมอเตอร์
 มอเตอร์ก็ไปขับสายพานที่ติดกับตัวรถที่มีแท่งแพนดูลัม ติดตั้งอยู่
 ด้านบนของตัวรถ โดยจะมี เอ็นโค้ดเดอร์ เป็นตัว Feedback
 ค่ามุมของแท่งแพนดูลัม กลับมาเข้าตัวควบคุมแบบพีไอดีแล้วทำ
 การประมวลผลแล้วส่งค่าออกไปควบคุมระบบต่อไป



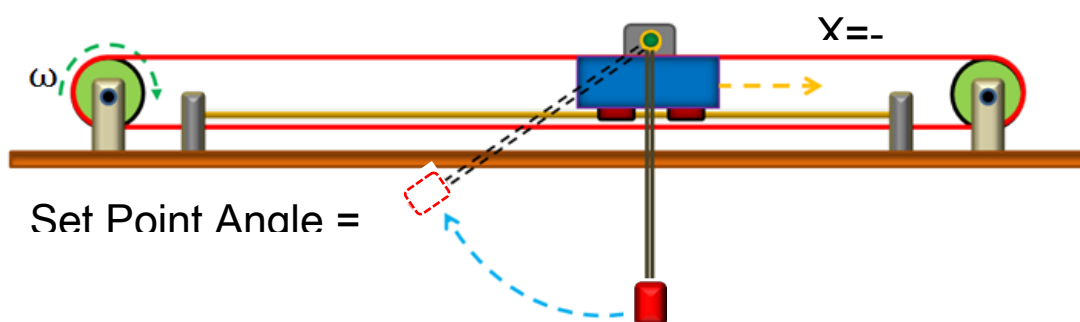
ภาพที่ 3-36 ตำแหน่งเริ่มต้นของแท่งแพนดูลัมจุดสมดุลล่างที่มุม
 0 องศา



ภาพที่ 3-37 ทิศทางการแกว่งแท่งเพนดูลัมจากจุดสมดุลล่างที่มุม 0 องศา ไปยังจุดสมดุลบนที่มุม 180 องศา หรือ (-180 องศา)



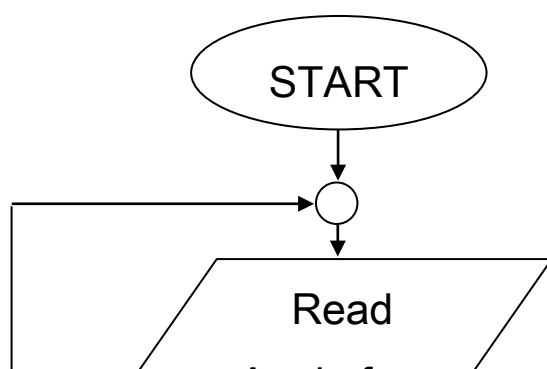
ภาพที่ 3-38 ตำแหน่ง Set Point Cart ในแกน X เท่ากับ 5
เซนติเมตร เมื่อแต่งเพนดูลัม
หมุนทวนเข็มนาฬิกา



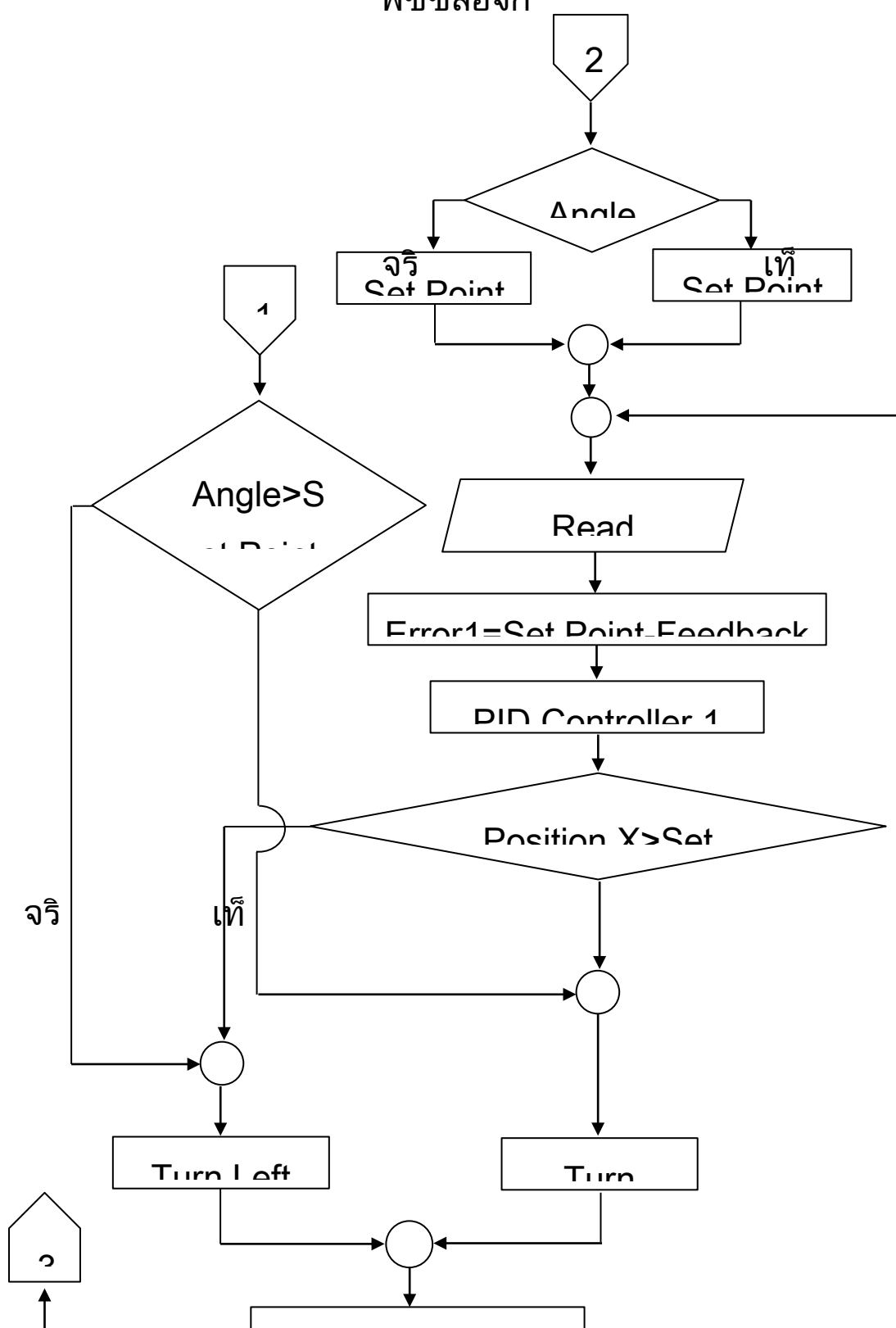
ภาพที่ 3-39 ตำแหน่ง Set Point Cart ในแกน X เท่ากับ -5
เซนติเมตร เมื่อแต่งเพนดูลัม
หมุนตามเข็มนาฬิกา

3.6.2 เขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

3.6.2.1 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการควบคุมระบบเพนดูลัม
ผกผันด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก



ภาพที่ 3-40 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ
พีชชีลอจิก

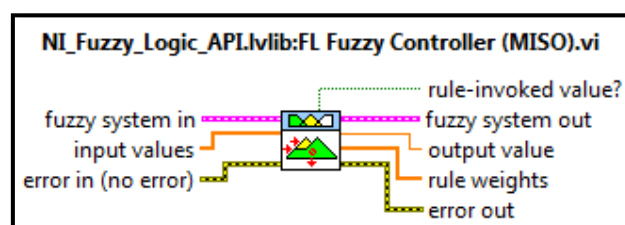


จรี

เที

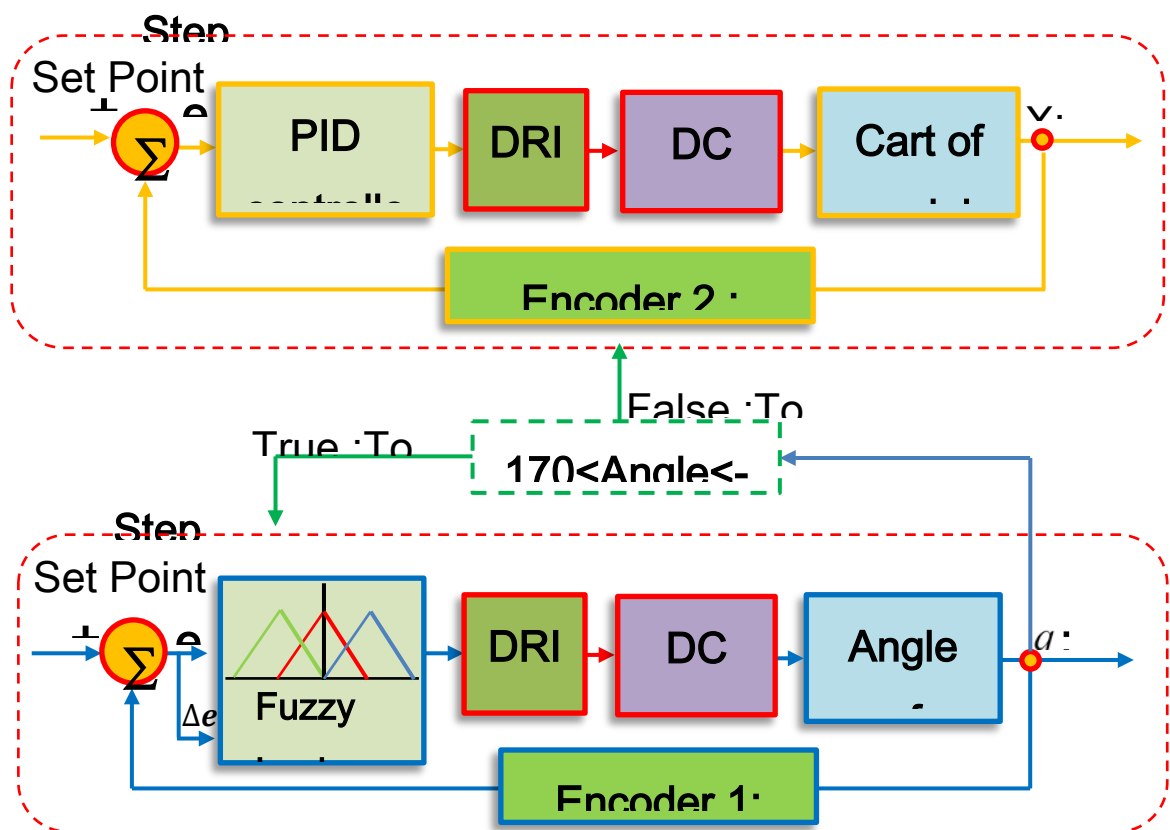
ภาพที่ 3-41 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมแบบ ฟัซซี่ลอจิก(ต่อ)

การควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิกในแลบVIEWจะมีฟังก์ชันในการเขียน คือ FL Fuzzy Controller.VI โดยต้องลงเครื่องมือเสริมของแลบVIEW โดยตัวลงเครื่องมือรวมอยู่ในตัวเดียวกับ PID Toolkit วิธีการนำฟังก์ชันของ FL Fuzzy Controller.VI มาใช้ในโปรแกรม โดยคลิกขวาที่ Block Diagram >> Control Design & Simulation>>Fuzzy logic>> FL Fuzzy Controller.VI วางที่ Block Diagram ก็ได้ฟังก์ชันของฟัซซี่ลอจิก จากนั้นก็ได้กำหนดค่าและส่วนเสริมต่าง ๆ ของโปรแกรม สำหรับโปรแกรมควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก มีส่วนต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 3-42



ภาพที่ 3-42 ฟังก์ชันฟัซซีลอจิกและการต่อใช้งานในโปรแกรมแลบVIEW

3.6.2.2 บล็อกไดอะแกรมควบคุมระบบเพนดูลัมผกผันด้วยฟัซซีลอจิก



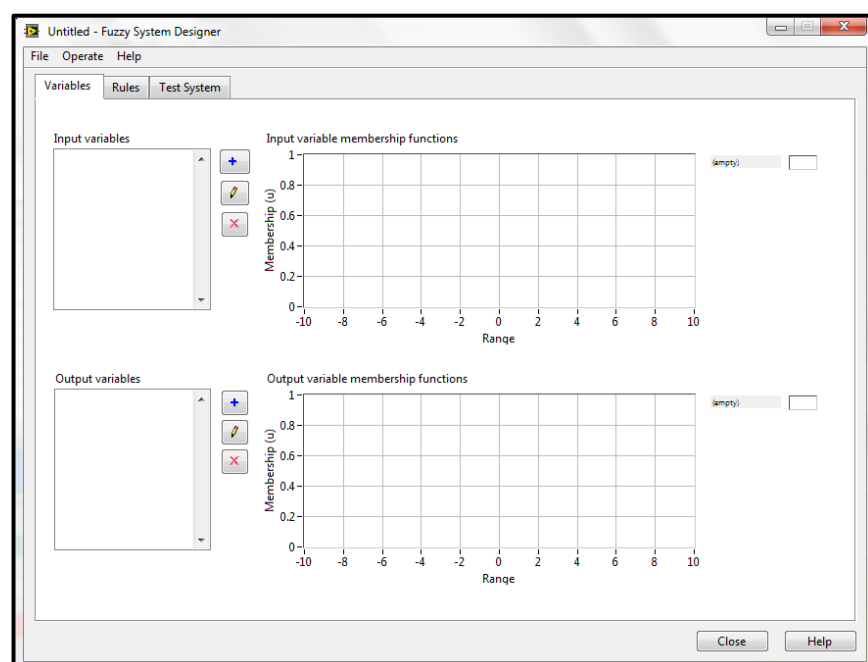
ภาพที่ 3-43 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัม ผกผันด้วยฟuzzyลอจิก

จากภาพที่ 3-43 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงาน ควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยฟuzzyลอจิก เริ่มการทำงานใน Step ที่ 1 เป็นการแกว่งแท่งแพนดูลัม จากจุดสมดุลล่าง ที่มุม 0 องศา โดยมีเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 เป็นตัววัดมุมของแท่งแพนดูลัม โดยจะเป็นตัวกำหนด Set Point Position Cart ในแนวแกน X คือการเคลื่อนที่ของตัวรถในจังหวะการแกว่งแท่งแพนดูลัม ถ้าแท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกา มุมของแท่งแพนดูลัม เป็นบวก ก็จะกำหนดให้ Set Point Position Cart ในแนวแกน X อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ -5 เซนติเมตร และถ้าแท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกา มุมของแท่งแพนดูลัม ก็จะเป็นลบ ก็จะกำหนดให้ Set Point Position Cart ในแนวแกน X อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 5 เซนติเมตร สลับกันทำงานอย่างนี้ไปจนค่ามุมของแท่งแพนดูลัม มีมุมอยู่ที่ตำแหน่งมากกว่า 170 องศา หรือ น้อยกว่า (-170 องศา) ก็จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็น Step ที่ 2 เป็นการรักษาสมดุลของ แท่งแพนดูลัม โดย Set Point Angle จะอยู่ที่ตำแหน่ง จุดสมดุลบนที่มุม 180 องศา หรือ (-180 องศา) จะขึ้นอยู่กับทิศทางการแกว่งขึ้นของแท่งแพนดูลัม เมื่อแท่งแพนดูลัม แกว่งขึ้นในทิศทางตามเข็มนาฬิกา Set Point Angle จะถูกกำหนดให้เป็น 180 องศา เพราะ ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่ใช้วัดมุมของแท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกาจะมีค่าเป็นบวก และเมื่อแท่งแพนดูลัม แกว่งขึ้นในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา Set Point Angle ก็จะถูก

กำหนดให้เป็น(-180 องศา)เพราะตัวเซ็นโค้ดเดอร์ ที่ใช้วัดมุมของ
 แท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีค่าเป็นลบ จากนั้นก็ไปเข้า
 ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก แล้วส่งค่าที่ประมวลผลได้ไปควบคุมทิศ
 ทางการหมุนของมอเตอร์ ไปเข้าวงจรขับ ไปขับมอเตอร์ มอเตอร์
 ก็ไปขับสายพานที่ติดกับตัวรถที่มีแท่งแพนดูลัม ติดตั้งอยู่ด้านบน
 ของตัวรถ โดยจะมี เซ็นโค้ดเดอร์ เป็นตัว Feed back ค่ามุม
 ของแท่งแพนดูลัม กลับมาเข้าตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกแล้วทำ
 การประมวลผลแล้วส่งค่าออกไปควบคุมระบบต่อไป

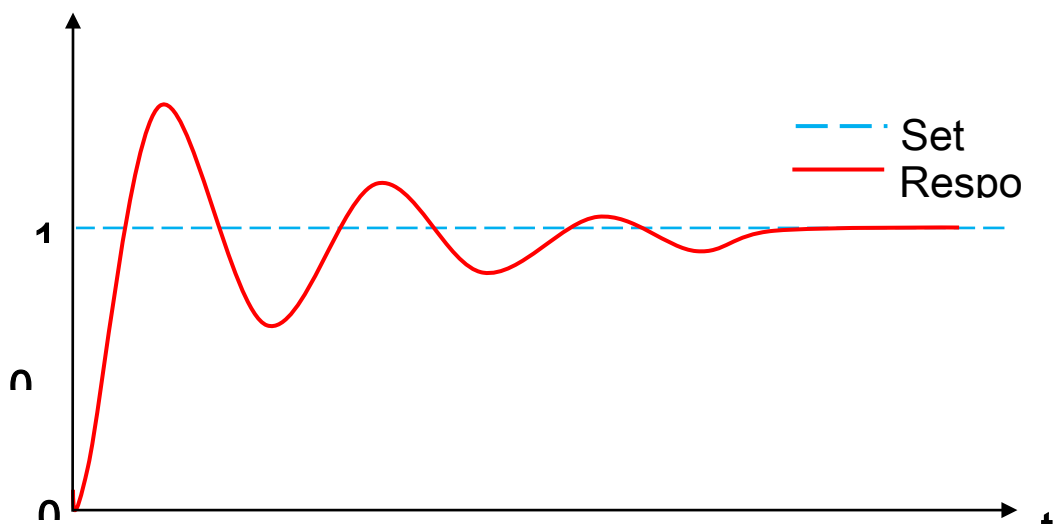
3.6.2.3 การออกแบบกฎฟัซซี่ลอจิก

การออกแบบฟัซซี่ลอจิกต้องใช้โปรแกรม Fuzzy
 Logic Controller Design... ในการออกแบบและกำหนดค่าฟัซซี่
 Fuzzy Logic Controller Design... เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม
 แลบVIEW โดยเปิดโปรแกรมแลบVIEW เข้าไปที่ Tools เลือก Fuzzy
 Logic Controller Design... เพื่อเปิดโปรแกรมFuzzy Logic
 Controller Design... สำหรับการออกแบบ สมาชิก การเซตค่า
 และการออกแบบกฎของฟัซซี่ลอจิก



ภาพที่ 3-44 Fuzzy Logic Controller Design...

สำหรับแนวทางการออกแบบสร้างกฎของฟัซซี่
ลอจิก ใช้เงื่อนไขตามแนวคิดของการตอบสนองของสมการกำลัง
สอง จะสังเกตว่ามีช่วงกราฟในระยะเวลาที่แตกต่างกันไป



ภาพที่ 3-45 กราฟการตอบสนองของระบบสมการกำลังสอง

จากรูปในรูปที่ 3-45 นำมาวิเคราะห์หากฎที่ต้องใช้ในการปรับรูปแบบของการให้เข้าสู่ Steady-State เร็วขึ้นและลดค่าพุ่งเกิน (Over Shoot) จากการวิเคราะห์ ในการทดลองในโครงการนี้ได้ใช้ฟัซซีลอจิกแบบ 5 สมาชิก (5 Membership) ได้กฎดังตารางที่ 3-3

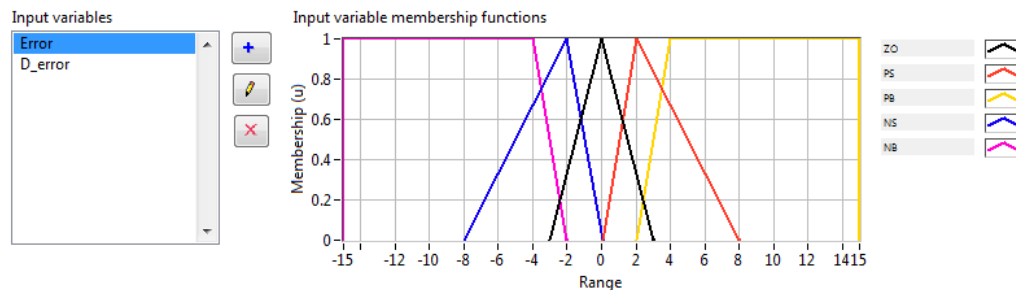
ตารางที่ 3-5 ตารางกฎของฟัซซีลอจิกแบบ 5 สมาชิก

de e	NB	N	Z	P	PB
NB	NB	NB	N	N	Z
N	NB	NB	N	Z	P
Z	N	N	Z	P	P
P	N	Z	P	P	PB
PB	Z	P	P	PB	PB

จากตารางที่ 3-3 ตารางกฎของฟัซซีลอจิกแบบ 5 สมาชิก จะสังเกตได้ว่ามีทั้งหมด 25 กฎ ซึ่งการเรียกใช้กฎต่าง ๆ นั้นก็ขึ้นอยู่กับ ค่าผิดพลาด (e) และค่าอัตราการผิดพลาด (De) ในฟังก์ชันฟัซซีลอจิกในโปรแกรมแลบวิวจะต้องเรียกใช้เมื่อถึง

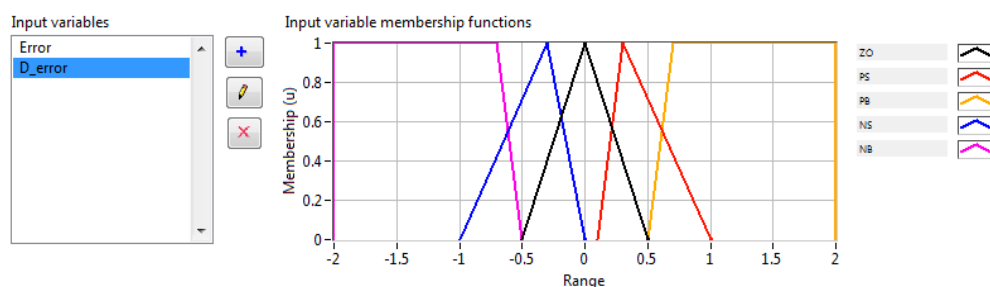
เวลาตามกฎที่ตั้งไว้ ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งไม่จำเป็นต้องใช้ทุกกฎ เพราะขึ้นอยู่กับระบบหาคะบบมีการตอบสนองที่ดีและเข้าสู่ Steady-State เร็วและไม่มีค่าฟุ้งเกิน กฎที่ใช้ก็น้อย แต่หากมีค่า ฟุ้ง เกิน มาก ก็ ใช้ ได้ ตาม กฎ ที่ ตั้ง ไว้

การกำหนดค่าความผิดพลาด ใน Fuzzy-Set-Editor ในโปรแกรมแลบวิว ดังภาพที่ 3-46



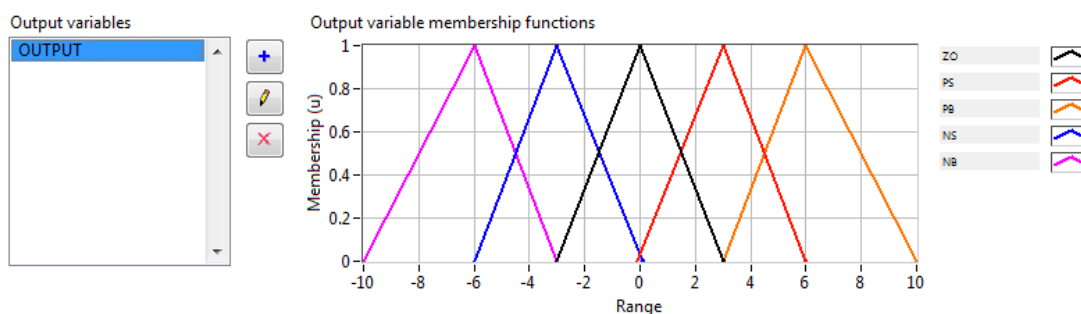
ภาพที่ 3-46 การกำหนดค่าผิดพลาด ใน Fuzzy-Set-Editor แบบ 5 สมาชิก

การกำหนดค่าอัตราความผิดพลาด ใน Fuzzy-Set-Editor ในโปรแกรมแลบวิว ดังภาพที่ 3-47



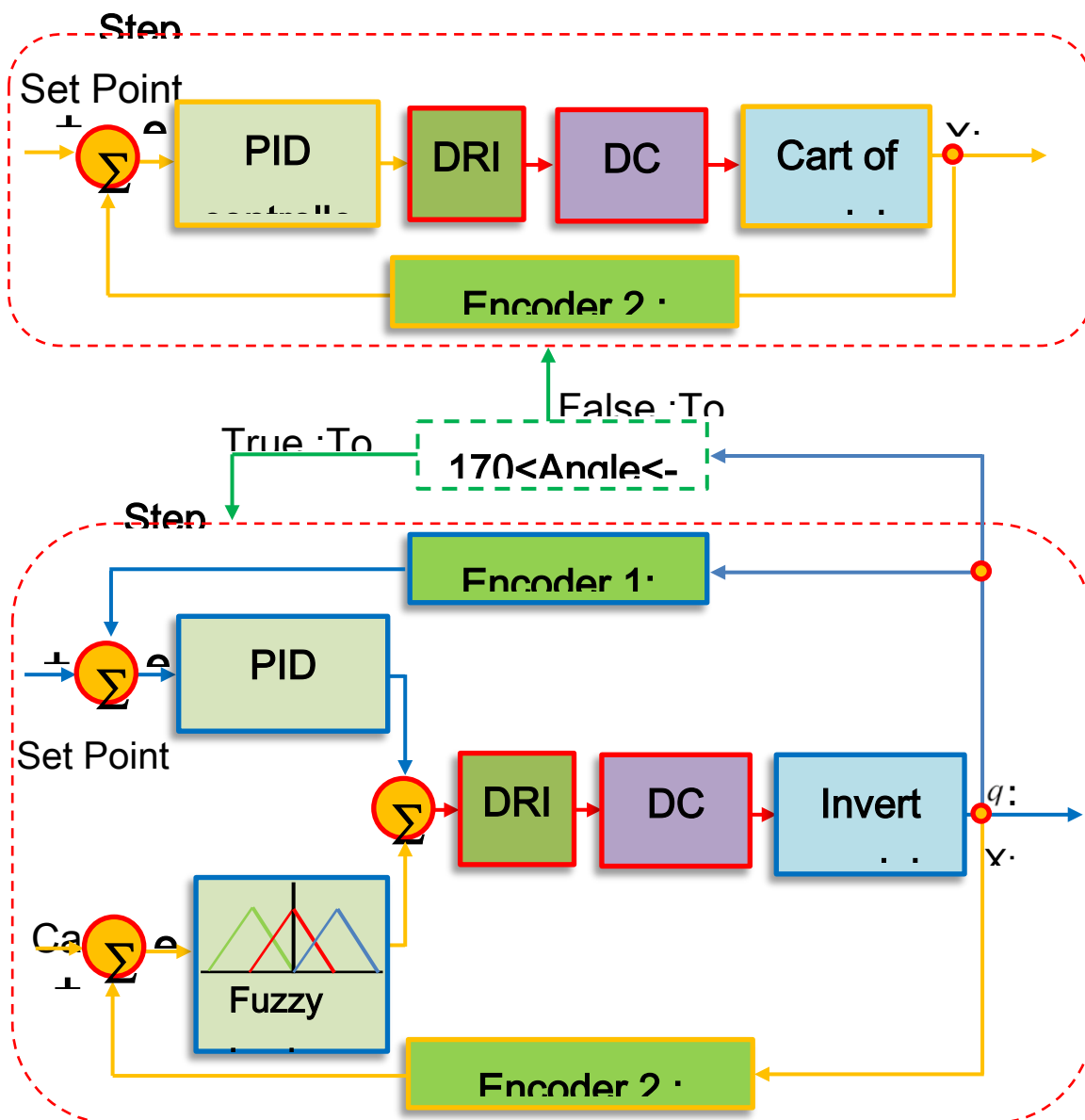
ภาพที่ 3-47 การกำหนดค่าอัตราความผิดพลาด ใน Fuzzy-Set-Editor

การกำหนดค่าเอาต์พุตใน Fuzzy-Set-Editor ของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมให้มีค่าอยู่ระหว่างค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดที่ต้องการนำไปควบคุมระบบ ในโครงงานนี้ใช้ $\text{Output}_{\max} = 10$ และ $\text{Output}_{\min} = -10$ เป็นแบบสมมาตร



ภาพที่ 3-48 การกำหนดค่าเอาต์พุตใน Fuzzy-Set-Editor

3.6.3 เขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี ร่วมกับฟัซซีลอจิก

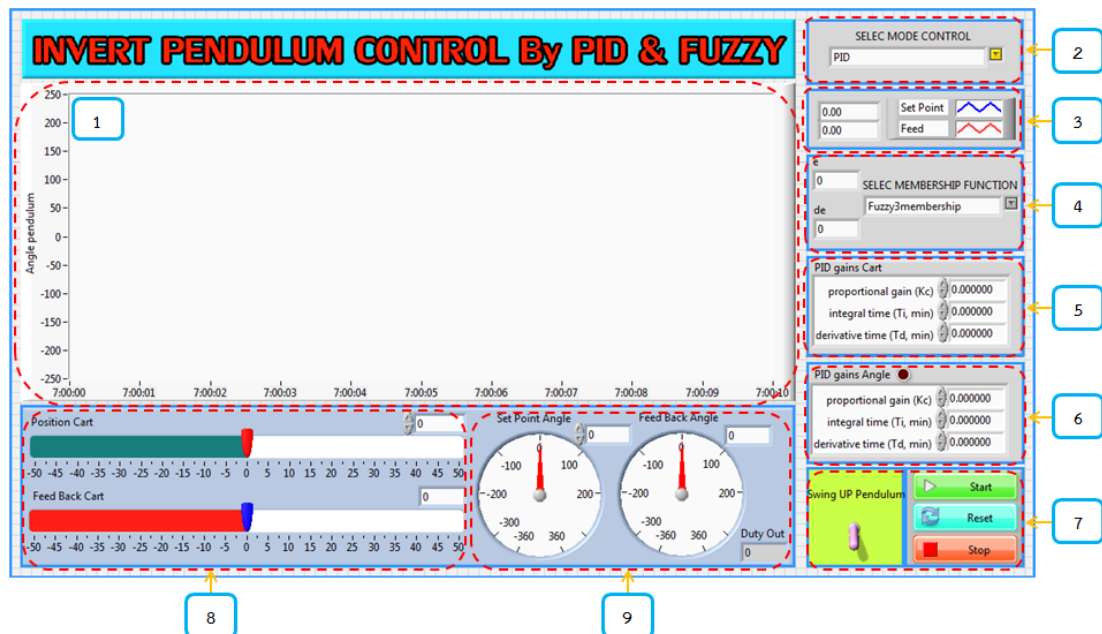


ภาพที่ 3-49 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดีร่วมกับฟีดแบ็คลอจิก

จากภาพที่ 3-49 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานควบคุมระบบแพนดูลัมผกผันด้วยพีไอดีร่วมกับฟีดแบ็คลอจิก เริ่มการทำงานใน Step ที่ 1 เป็นการแกว่งแท่งแพนดูลัม จากจุดสมดุลล่างที่มุม 0 องศา โดยมีเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 เป็นตัววัดมุมของแท่งแพนดูลัม โดยจะเป็นตัวกำหนด Set Point Position Cart ในแนวแกน X คือการเคลื่อนที่ของตัวรถในจังหวะการแกว่งแท่งแพนดูลัม ถ้า แท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกา มุมของแท่งแพนดูลัม เป็นบวก ก็จะกำหนดให้ Set Point Position Cart ในแนวแกน X อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ -5 เซนติเมตร และถ้าแท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกา มุมของแท่งแพนดูลัม ก็จะเป็นลบ ก็จะกำหนดให้ Set Point Position Cart ในแนวแกน X อยู่ที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 5 เซนติเมตร สลับกันทำงานอย่างนี้ไปจนค่ามุมของแท่งแพนดูลัม มีมุมอยู่ที่ตำแหน่งมากกว่า 170 องศา หรือน้อยกว่า (-170 องศา) ก็จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็น Step ที่ 2 เป็นการรักษาสถิตของ แท่งแพนดูลัม โดย Set Point Angle จะอยู่ที่ตำแหน่ง จุดสมดุลบนที่มุม 180 องศา หรือ (-180 องศา) จะ

ขึ้นอยู่กับทิศทางการแกว่งขึ้นของแท่งแพนดูลัม เมื่อแท่งแพนดูลัมแกว่งขึ้นในทิศทางตามเข็มนาฬิกา Set Point Angle จะถูกกำหนดให้เป็น 180 องศา เพราะ ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่ใช้วัดมุมของแท่งแพนดูลัม หมุนตามเข็มนาฬิกาจะมีค่าเป็นบวก และเมื่อแท่งแพนดูลัม แกว่งขึ้นในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา Set Point Angle ก็จะถูกกำหนดให้เป็น(-180 องศา)เพราะตัวเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้วัดมุมของแท่งแพนดูลัม หมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีค่าเป็นลบ จากนั้นก็ไปเข้าตัวตัวควบคุมพีไอดีคอนโทรล แล้วส่งค่าที่ประมวลผลได้ไปควบคุมทิศทาง การหมุนของมอเตอร์ ไปเข้าวงจรขับ ไปขับมอเตอร์ มอเตอร์ก็ไปขับสายพานที่ติดกับตัวรถที่มีแท่งแพนดูลัม ติดตั้งอยู่ด้านบนของตัวรถ โดยจะมีเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 เป็นตัว Feedback ค่ามุมของแท่งแพนดูลัม กลับมาเข้าตัวควบคุมพีไอดีแล้วทำการประมวลผลแล้วส่งค่าออกไปควบคุมระบบ โดยมีฟีดแบ็ค เป็นตัวควบคุมตัวรถเวลารักษาสมดุลแท่งแพนดูลัม ไม่ให้ตัวรถวิ่งไปชนของราง เมื่อตัวรถเลี้ยว แท่งแพนดูลัม ไปทางด้านซ้ายหรือขวาของราง ตัวควบคุมฟีดแบ็ค ก็จะควบคุมให้ตัวรถเลี้ยวแท่งแพนดูลัม กลับมาอยู่ตำแหน่งตรงกลางของราง

3.6.4 หน้า Front Panel ของโปรแกรมแลบVIEWควบคุมระบบเพนดูลัมผกผัน



ภาพที่ 3-50 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมระบบเพนดูลัมผกผัน

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของหน้าต่างโปรแกรมควบคุมแบบพีไอดีและฟัซซี่ลอจิก ประกอบไปด้วย

หมายเลข 1 คือ กราฟแสดงผล Feedback Angle ของแท่งเพนดูลัม ที่เปลี่ยนไปกับตำแหน่งมุม Set Point Angle ของแท่งเพนดูลัม

หมายเลข 2 คือ ปุ่มเลือกโหมดการทำงานแบบพีไอดีหรือพีชชีลลจิก

หมายเลข 3 คือ ช่องแสดงค่า Feedback และ Set Point เป็นค่าตัวเลขจากกราฟ

หมายเลข 4 คือ ปุ่มเลือกพีชชีลลจิกขนาด 3 สมาชิก หรือ 5 สมาชิก

หมายเลข 5 คือ ตัวปรับอัตราการขยายควบคุมแบบอัตราส่วน ของการเคลื่อนที่ของตัวรถ (Proportional Gain : K_p) เวลาคงที่ของการปริพันธ์ (Integral Time : T_i) เวลาคงที่ของการอนุพันธ์ (Derivative Time : T_d) เพื่อให้ระบบมีความเสถียรกับระบบที่ต้องการควบคุม

หมายเลข 6 คือ ตัวปรับอัตราการขยายควบคุมแบบอัตราส่วน ของการเคลื่อนที่ของ แท่งแพนดูลัม (Proportional Gain : K_p) เวลาคงที่ของการปริพันธ์ (Integral Time : T_i) เวลาคงที่ของการอนุพันธ์ (Derivative Time : T_d) เพื่อให้ระบบมีความเสถียรกับระบบที่ต้องการควบคุม

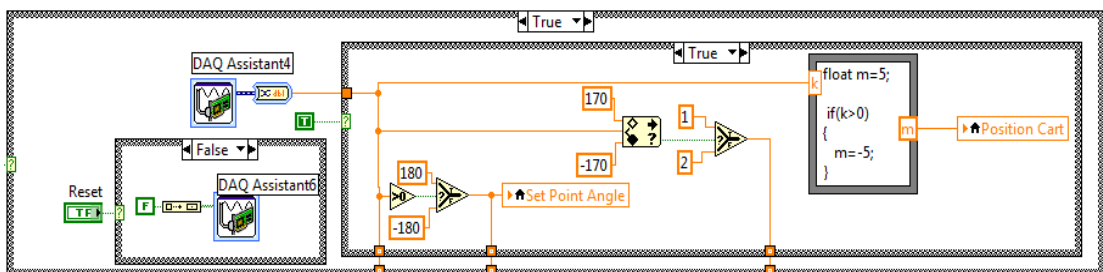
หมายเลข 7 คือ ปุ่มเริ่มการทำงาน (Start) เริ่มการทำงานใหม่ (Reset) ของโปรแกรม หยุดการทำงาน (Stop) ปุ่มSwing up เริ่มการแกว่งแท่งแพนดูลัม

หมายเลข 8 คือ ช่องแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตัวรถ ขณะเริ่มแกว่งแท่งแพนดูลัม

หมายเลข 9 คือ ช่องแสดงตำแหน่งมุมของแท่งแพนดูลัม ระหว่างมุม Set Point Angle กับ Feedback Angle

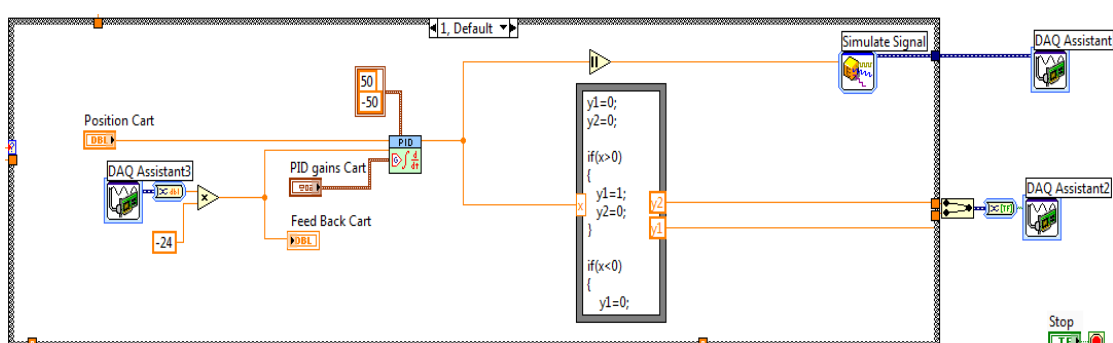
การเขียนโปรแกรมควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือการรับค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่1ใช้รับค่าเป็น Feedback ของแท่งแพนดูลัม และเป็นตัวกำหนดค่า Set Point ในการรักษาสมดุลของแท่งแพนดูลัม ที่ตำแหน่งมุม 180 องศาหรือ (-180 องศา) ดังภาพที่ 3-51



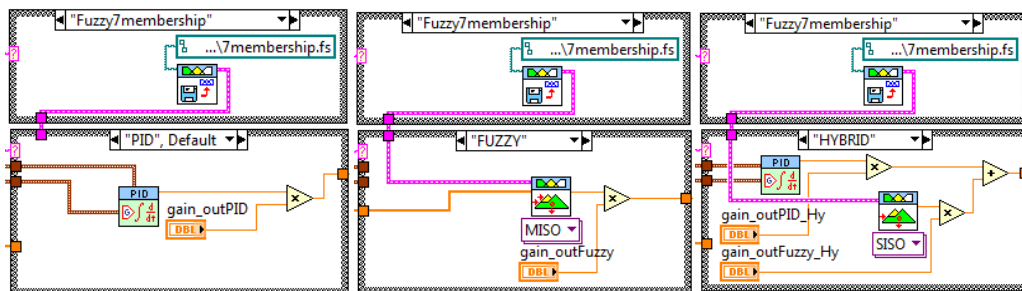
ภาพที่ 3-51 แสดงการควบคุมและการรับค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์

ส่วนที่ 2 คือการรับค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่2 ใช้รับค่าเป็น Feedback ของตำแหน่งตัวรถ ในการแกว่งแท่งแพนดูลัม โดยกำหนดเป็น Set Point ในการแกว่งแท่งแพนดูลัม ที่ตำแหน่ง 5 เซนติเมตรและ (-5 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 3-52



ภาพที่ 3-52 การควบคุมตำแหน่งในการแกว่งแท่งแพนดูลัม

ส่วนที่ 3 จะเป็นการประมวลผลโดยจะรับค่า Set Point และ Feedback และสามารถเลือกระบบการควบคุมแสดงดังภาพที่ 3-53

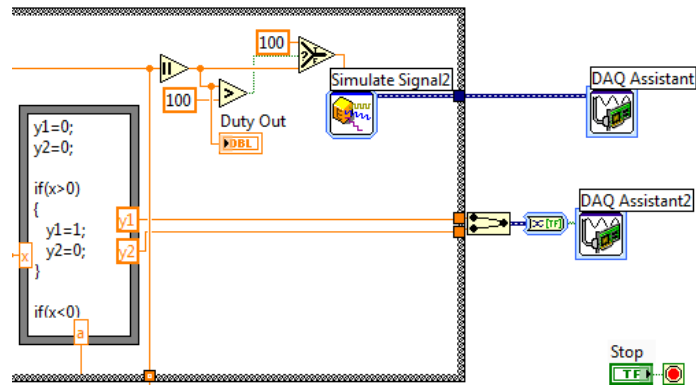


ภาพที่ 3-53 แสดงการประมวลผลของระบบควบคุม

จากภาพที่ 3-53 เป็นส่วนของการประมวลผลสามารถเลือกชนิดของการประมวลผลได้ที่หน้า Front Panel โดยมีตัวประมวลผลประกอบไปด้วย พีไอดีคอนโทรล และฟัซซีลอจิกคอนโทรล

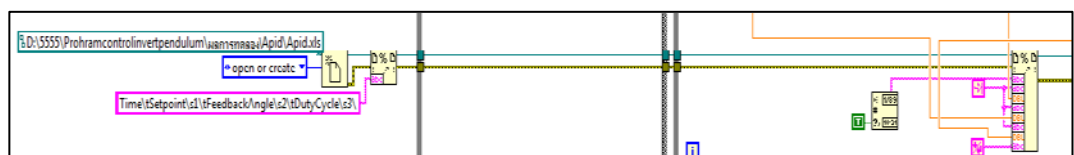
ส่วนที่ 4 คือตัวแสดงผลและการส่งสัญญาณออกไปควบคุม โดยจะรับค่าจากส่วนที่สาม คือส่วนของการประมวลผล โดยจะทำ

การส่งค่าทิศทางการหมุนของมอเตอร์และสัญญาณ PWM ไป
ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ แสดงดังภาพที่ 3-54



ภาพที่ 3-54 ตัวแสดงผลและการส่งสัญญาณออกไปควบคุมระบบ

ส่วนสุดท้ายคือส่วนที่ใช้บันทึกเก็บค่า Set Point และ Feed back ของระบบโดยทำการเก็บค่าไว้ในโปรแกรม Microsoft Excel



ภาพที่ 3-55 ส่วนของการบันทึกผลเก็บไว้ในไฟล์ Microsoft Excel