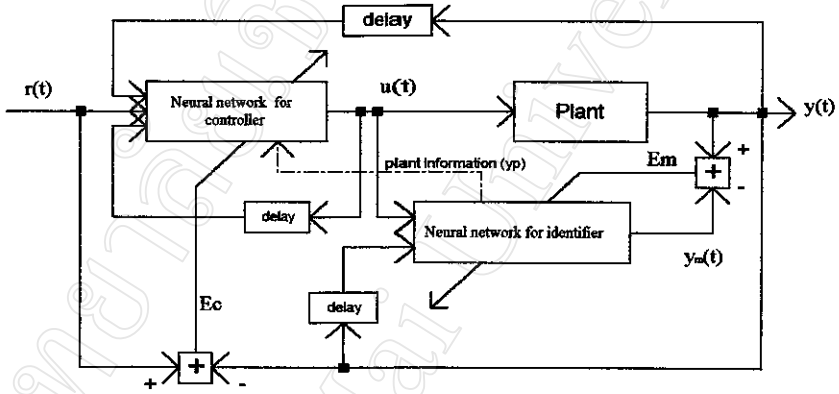
บทที่ 3
ระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการประยุกต์ใช้

ระบบควบคุมที่ออกแบบเพื่อใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และ ส่วนดำเนินการ โดยมีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อควบคุมและระบุส่วนดำเนินการ โดยมีโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดทำหน้าที่ดังนี้

ก. โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุม (Neural Network for Controller) หรือ NNC ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุม $u(t)$ ให้กับระบบ โดยมีสัญญาณขาเข้าเป็น สัญญาณอ้างอิง $r(t)$ สัญญาณควบคุมที่ถูกหน่วงเวลาแล้ว $u(t-1)$ และสัญญาณขาออกที่ได้จากส่วนดำเนินการที่ถูกหน่วงเวลาแล้ว $y(t-1)$ ซึ่งสามารถสรุปออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

$$u(t) = f_{nnc}\left(u(t-1), y(t-1), r(t)\right) \qquad (1)$$

โดยที่ f_{nnc} เป็นสมการที่แทนการทำงานของ NNC

ข. โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ (Neural Network for Identifier) หรือ NNI ทำหน้าที่ระบุส่วนดำเนินการ (Plant Identification) เพื่อให้รู้ข้อมูลของส่วนดำเนินการ

ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมาก NNI ทำหน้าที่แทนสมการการถ่ายโอนของส่วนดำเนินการ สัญญาณที่ได้ออกมา $y_m(t)$ เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสัญญาณขาออกของส่วนดำเนินการมากที่สุด ดังนี้

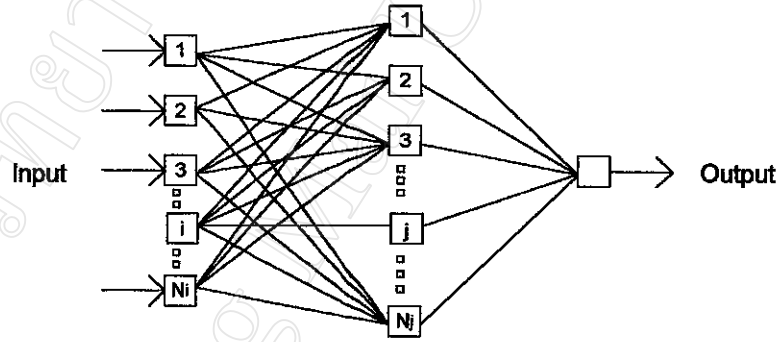
$$y_m(t) \approx y(t) \tag{2}$$

สัญญาณขาเข้าของ NNI ประกอบด้วย สัญญาณที่ได้จากระบบที่ถูกหน่วงเวลาแล้ว $y(t-1)$ และสัญญาณควบคุม $u(t)$ โดยสามารถสรุปออกมาเป็นสมการดังต่อไปนี้

$$y_m(t) = f_{nni}(u(t), y(t-1)) \tag{3}$$

โดยที่ f_{nni} เป็นสมการที่แทนการทำงานของ NNI

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแบบ perceptron ที่มีชั้นซ่อน (hidden layer) จำนวน 1 ชั้น มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

จากรูปที่ 3.2 จำนวนเซลล์ประสาทเทียมด้านสัญญาณขาเข้ามีทั้งหมด Ni เซลล์ จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนมีทั้งหมด Nj เซลล์ และจำนวนเซลล์ประสาทเทียมด้านสัญญาณขาออกมี 1 เซลล์ และจุดที่มีเซลล์อยู่เรียกว่าโหนด โดยกำหนดให้

$I \in R^{Ni\times 1}$ เป็นสัญญาณขาเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม ในกรณีนี้ขอแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ด้วย I_i (โดย $i = 1,2,3,...,Ni$)

$W^I \in R^{Nj\times Ni}$ เป็นค่าน้ำหนักที่ต่อทางด้านสัญญาณขาเข้ากับชั้นซ่อน สมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์แทนด้วย W^I_{ji} (โดย $i = 1,2,3,...,Ni$ และ $j = 1,2,3,...,Nj$) ซึ่งเชื่อมโหนดที่ i ของ input layer กับ โหนดที่ j ของชั้นซ่อน

$W^O \in R^{1\times Nj}$ เป็นค่าน้ำหนักที่ต่อทางด้านสัญญาณขาออกกับชั้นซ่อน สมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์แทนด้วย W^O_j (โดย $j = 1,2,3,...,Nj$) ซึ่งเชื่อมมาจากโหนดที่ j ของชั้นซ่อน

สำหรับสมการที่ใช้แสดงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นดังนี้

$$S_j = \sum_{i=1}^{Ni} W_{ji}^{I} I_i \tag{4}$$

โดยที่ S_j เป็นผลรวมของสัญญาณขาเข้าคูณกับค่าน้ำหนักของโหนดที่ชั้นซ่อนที่ j เมื่อนำ S_j เข้าสมการตัดสินใจจะได้สัญญาณขาออกของโหนดที่ j (X_j) ของชั้นซ่อนดังสมการ

$$X_j = f_h(S_j) \tag{5}$$

เมื่อ f_h เป็นสมการตัดสินใจที่ใช้ในแต่ละเซลล์ประสาทที่ชั้นซ่อน

สำหรับโหนดที่ชั้นสัญญาณขาออกซึ่งมีสมการตัดสินใจ f_o เป็น

$$f_o(x) = x \tag{6}$$

ให้ O เป็นสัญญาณขาออกที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่โหนดขาออก ดังนั้น

$$O = \sum_{j=1}^{Nj} W_j^{O} X_j \tag{7}$$

3.1.1 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่ประยุกต์ใช้

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอนี้ เป็นการนำเอาอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (backpropagation) มาใช้ประยุกต์

จากรูปที่ 3.1 สามารถสร้างสมการข้อผิดพลาดออกมาดังนี้

สำหรับ NNC จะได้

$$E_c = \frac{1}{2}(r - y)^2 \tag{8}$$

และ สำหรับ NNI จะได้

$$E_m = \frac{1}{2}(y - y_m)^2 \tag{9}$$

จากนั้นสามารถหาความชัน (gradient) ของสมการข้อผิดพลาด เทียบกับค่าน้ำหนัก ($\frac{\partial E}{\partial W}$) โดยที่ W เป็นค่าน้ำหนัก และ E แทนสมการข้อผิดพลาดของโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อได้ความชันของสมการข้อผิดพลาดแล้ว ก็สามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมได้ตามสมการ

$$W^{(n+1)} = W^{(n)} - \gamma\left(\frac{\partial E}{\partial W}\right)^{(n)} \tag{10}$$

เมื่อ n เป็นดัชนีที่ใช้บอกถึงรอบของการเปลี่ยนค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม
และ γ เป็นอัตราการเรียนรู้ (learning rate) ของโครงข่ายประสาทเทียม

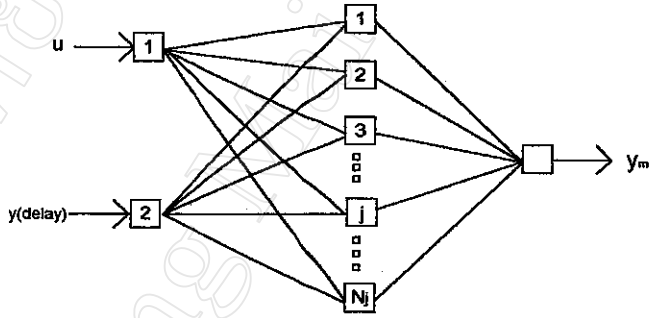
โดยสมการที่ (8) และ (9) มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากสัญญาณที่ได้จากส่วนดำเนินการจริง (y) โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ (y_m) และสัญญาณอ้างอิง (r)

3.1.2 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ (NNI)

จากสมการข้อผิดพลาด (9) สามารถหาความชันของสมการข้อผิดพลาดโดยอาศัยกฎลูกโซ่ (chain rule) ได้ดังนี้

$$\frac{\partial E_m}{\partial W_m} = \frac{\partial E_m}{\partial y_m}\frac{\partial y_m}{\partial W_m} \tag{11}$$

โดย W_m ในกรณีนี้เป็นค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ



รูปที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ

ดังนั้น

$$\frac{\partial E_m}{\partial W_m} = -e_m \frac{\partial y_m}{\partial W_m} \tag{12}$$

$$e_m = y - y_m \tag{13}$$

จาก (11) และ (12) สังเกตได้ว่ามีการหาอนุพันธ์ของสัญญาณขาออกของโครงข่ายประสาทเทียม y_m กับค่าน้ำหนัก W_m ในกรณีนี้สามารถแสดงการหาความสัมพันธ์เป็นลำดับดังนี้

พิจารณาค่าน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อน กับ ชั้นสัญญาณขาออก

$$O_m = y_m \tag{14}$$

$$\frac{\partial O_m}{\partial W_{mj}} = X_{mj} \tag{15}$$

แทน (15) ใน (12) จะได้

$$\frac{\partial E_m}{\partial W_{mj}} = -e_m X_{mj} \tag{16}$$

พิจารณาค่าน้ำหนักระหว่างชั้นสัญญาณขาเข้ากับ ชั้นเข้าซ่อน

จาก (5) และ (7) จะได้ว่า

$$\frac{\partial f_h(S_{mj})}{\partial W^{I}_{mji}} = f_h'(S_{mj}) \frac{\partial S_{mj}}{\partial W^{I}_{mji}} \tag{17}$$

เมื่อ f_h เป็นสมการตัดสินใจของโหนดที่ชั้นซ่อน และ f_h' เป็นอนุพันธ์ของ f_h

จาก (4) จะได้ว่า

$$\frac{\partial S_{mj}}{\partial W^{I}_{mji}} = I_{mi} \tag{18}$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial O_m}{\partial W^{I}_{mji}} = W_{mj} \circ \left[f_h'(S_{mj}) I_{mi} \right] \tag{19}$$

และ

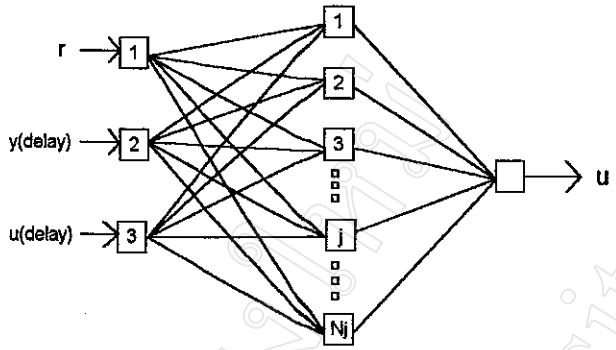
$$\frac{\partial E_m}{\partial W^{I}_{mji}} = -e_m W_{mj} \circ \left[f_h'(S_{mj}) I_{mi} \right] \tag{20}$$

3.1.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมส่วนดำเนินการ (NNC)

จากสมการข้อผิดพลาด (8) สามารถหาความชันของสมการข้อผิดพลาดโดยอาศัยกฎลูกโซ่ได้ดังนี้

$$\frac{\partial E_c}{\partial W_c} = \frac{\partial E_c}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial W_c} \tag{21}$$

โดยที่ W_c ในกรณีนี้เป็นเมตริกซ์ค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมทั้งหมด



รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมส่วนดำเนินการ

จาก (8) จะได้ว่า

$$\frac{\partial E_c}{\partial W_c} = -e_c \frac{\partial y}{\partial W_c} \tag{22}$$

เมื่อ

$$e_c = r - y \tag{23}$$

แต่เนื่องจาก y ไม่เป็นฟังก์ชันโดยตรงกับ W_c ดังนั้น

$$\frac{\partial E_c}{\partial W_c} = -e_c \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial W_c} \tag{24}$$

พิจารณา $\frac{\partial y}{\partial u}$ พบว่าเป็นความสัมพันธ์ของส่วนดำเนินการที่เราไม่ทราบ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ต้องหาวิธีการประมาณค่า$\frac{\partial y}{\partial u}$ ให้ได้ ในที่นี้อัลกอริทึมที่ประยุกต์มาใช้จะเป็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จาก NNI มาประมาณค่า$\frac{\partial y}{\partial u}$

กำหนดให้ $y_p = \frac{\partial y}{\partial u}$ เป็นข้อมูลของส่วนดำเนินการที่ไม่ทราบค่าตัวแปร จะได้

$$\frac{\partial E_c}{\partial W_c} = -e_c y_p \frac{\partial u}{\partial W_c} \tag{25}$$

หาค่าตัวแปรของส่วนดำเนินการ (plant information หรือ y_p)

จาก (25) มีความจำเป็นที่ต้องหา y_p เมื่อ $y_p = \frac{\partial y}{\partial u}$ ถ้าให้ $y_m \cong y$ จะได้ว่า

$$y_p = \frac{\partial y_m}{\partial u} = \frac{\partial O_m}{\partial u} \tag{26}$$

ในกรณีนี้ต้องทำความเข้าใจว่ากำลังพิจารณาความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ (NNI) จะได้

$$\frac{\partial O_m}{\partial u} = \sum_{j=1}^{Nj} W_{mj}^{o} \frac{\partial X_{mj}}{\partial u} \tag{27}$$

จากความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการจะได้

$$\frac{\partial X_{mj}}{\partial u} = f_h'(S_{mj}) \frac{\partial S_{mj}}{\partial u} \tag{28}$$

พิจารณา โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการในรูปที่ 3.3 และ (3) พบว่า

$$S_{mj} = W_{mj1}^{I} u + W_{mj2}^{I} y(\text{delay}) \tag{29}$$

โดยที่

$$S_m = W_m^{I} I_m \tag{30}$$

และ

$$I_m = \begin{bmatrix} u \\ y(\text{delay}) \end{bmatrix} \tag{31}$$

จะได้

$$\frac{\partial X_{mj}}{\partial u} = f_h'(S_{mj}) W_{mj1}^{I} \tag{32}$$

จาก (26) เมื่อแทน (32) ใน (27) ได้

$$y_p = \sum_{j=1}^{Nj} W_{mj}^{o} f_h'(S_{mj}) W_{mj1}^{I} \tag{33}$$

ในสมการ (33) นี้ขอให้ทำความเข้าใจว่าตัวแปรต่างๆรวมทั้งสมการการตัดสินใจต้องมาจากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ

จาก y_p ที่ได้ในสมการ (33) เมื่อนำไปแทนในสมการ(25) จะสามารถหาความชันของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุม (NNC) ได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาค่าน้ำหนักของชั้นสัญญาณขาออก กับชั้นซ่อน จะได้

จาก (25) และ

$$\frac{\partial u}{\partial W_{cj}^{o}} = \frac{\partial O_c}{\partial W_{cj}^{o}} = X_{cj} \tag{34}$$

ได้ว่า

$$\frac{\partial E_c}{\partial W_c} = -e_c y_p X_{cj} \tag{35}$$

พิจารณาค่าน้ำหนักของชั้นสัญญาณขาเข้า กับชั้นซ่อน จะได้

$$\frac{\partial O_c}{\partial W_{cji}^{I}} = f_h'(S_{cj}) W_{cj}^{o} I_{ci} \tag{36}$$

ได้ว่า

$$\frac{\partial E_c}{\partial W_{cji}^{I}} = -e_c y_p f_h'(S_{cj}) W_{cj}^{o} I_{ci} \tag{37}$$

จากความชันของสมการข้อผิดพลาดในโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมส่วนดำเนินการตามที่ได้แสดงที่มา พบว่ามีความแตกต่างจากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการตรงที่มี y_p เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่ง y_p นี้สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ ดังที่ได้แสดงใน (33) นั้นเอง

3.2 การจำลองระบบควบคุมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์(MATLAB)

ระบบที่ใช้สำหรับทดลอง และทดสอบโครงสร้างของระบบควบคุมตามที่ได้เสนอไปนั้น ได้จำลองขึ้นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB ซึ่งสามารถแยกตามหน้าที่ต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 โปรแกรมที่ใช้จำลองผลการตอบสนองของส่วนดำเนินการ

โปรแกรมในส่วนนี้ทำหน้าที่คำนวณหาผลการตอบสนองของส่วนดำเนินการ โดยสามารถกำหนดค่าความถี่ของการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ได้ ตัวโปรแกรมและการทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายได้ดังนี้

```
%              Plant modeling
001    num=[4.3];
002    den=[1 7.13 6.33];
003    [a,b,c,d]=tf2ss(num,den);
004    [aa,bb]=c2d(a,b,Ts); % Sampling time=Ts sec.
...
007    x=(aa*xd(t))+(bb*u(t));
008    y(t)=(c*x)+d;
```

รูปที่ 3. 5 โปรแกรมส่วนที่ใช้จำลองระบบสำหรับส่วนดำเนินการ

จากรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมที่ใช้จำลองระบบในส่วนที่ 1 ได้ดังนี้

บรรทัดที่ 001 และ 002 ใช้กำหนดสมการการถ่ายโอนของระบบ

บรรทัดที่ 003 เป็นการเปลี่ยนสมการการถ่ายโอนของส่วนดำเนินการเป็นการวิเคราะห์ใน state space

บรรทัดที่ 004 เปลี่ยนตัวแปรที่ได้จากสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาเป็นสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลา โดยให้คาบการสุ่มเป็น Ts

จากนั้นสามารถคำนวณหาผลการตอบสนองได้จากบรรทัดที่ 007 และ 008 เมื่อ u(t) เป็นสัญญาณขาเข้า (สัญญาณควบคุม) และ y(t) เป็นผลการตอบสนองของส่วนดำเนินการ ณ เวลา t ที่เวลาเริ่มต้น กำหนดให้ xd(0)=0 จากนั้นให้ xd(t)=x(t-1)

3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม

ตามโครงสร้างของระบบควบคุมข้างต้นนั้นประกอบไปด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 2 โครงข่าย ซึ่งแยกเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้บ่งชี้ส่วนดำเนินการ และโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุม โดยการปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 โครงข่าย สามารถอธิบายได้ดังนี้

```
100   % [backpropagation phase plus plant information]
101   Sjc=(wc1*Inc)+bc1;
102   x=Sjc;
104   SSjc=tansig(Sjc);
105   dSjc=eval(dfi);
106  %  ****Output to Hidden layer****
107   deltaWoc=lrc*Yp*ecp*(SSjc');
109   %  ****Hidden to Input layer****
110   deltaWic=lrc*Yp*ecp*(wc2'.*dSjc)*Inc';
...
112   %  ****Up date****
113   wc2=wc2+deltaWoc;
114   wc1=wc1+deltaWic;
```

รูปที่ 3.6 โปรแกรมส่วนที่ใช้จำลองระบบสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 3.6 บรรทัดที่ 100 ถึง 105 เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย สัญญาณขาเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม (Inc) สัญญาณที่ได้ ณ ชั้นซ่อนก่อนที่จะเข้าสมการตัดสินใจ (Sjc) ค่าสัญญาณขาออกที่โหนดของชั้นซ่อนหลังผ่านสมการตัดสินใจแล้ว (SSjc) ค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่อยู่ระหว่างชั้นรับ

สัญญาณขาเข้ากับชั้นซ่อน (wc1) ค่าน้ำหนักที่อยู่ระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นสัญญาณขาออก (wc2) ค่าชดเชยที่ต่อกับชั้นซ่อน (bc1) และค่าชดเชยที่ต่อกับชั้นสัญญาณขาออก (bc2)

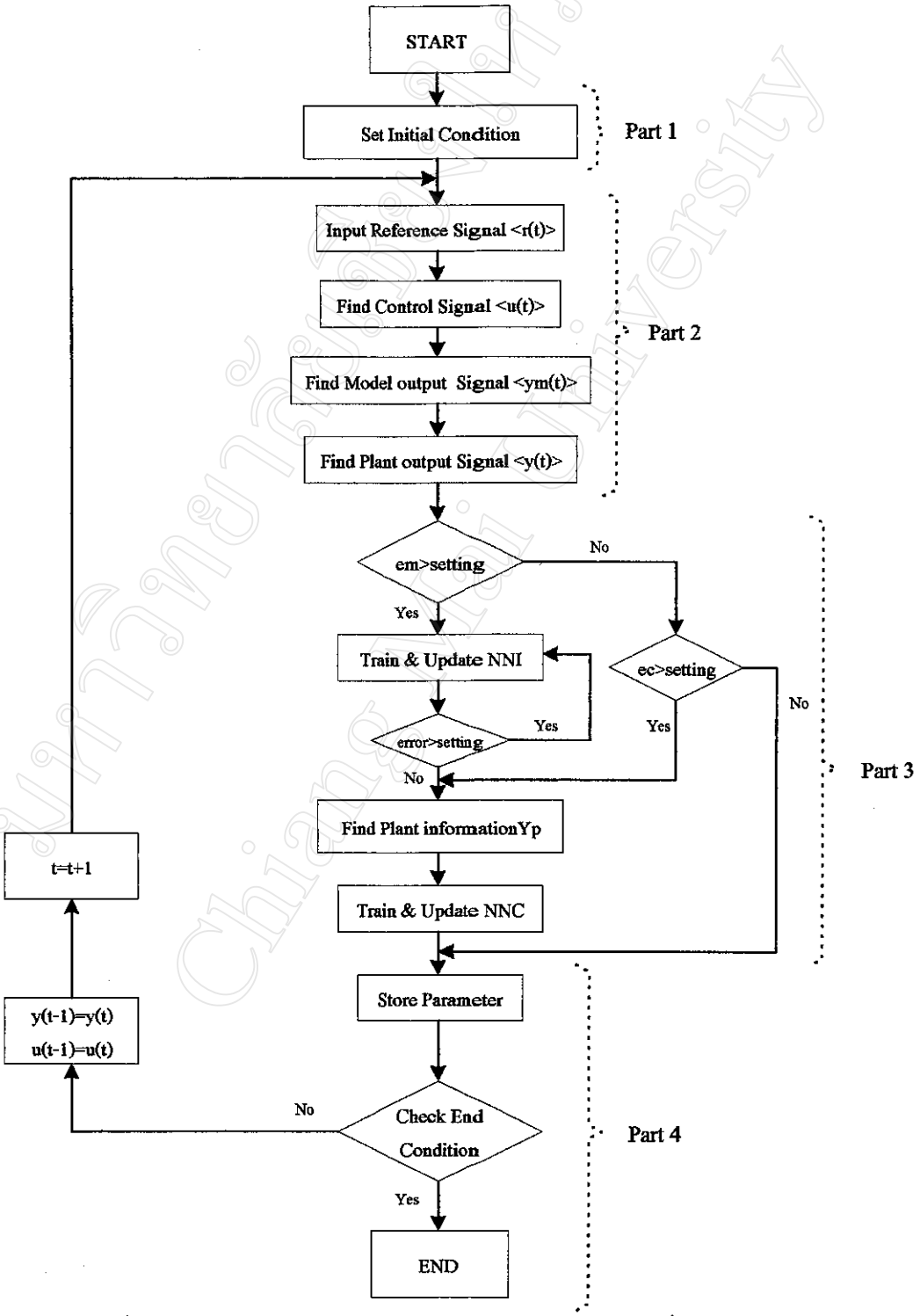
บรรทัดที่ 106 ถึง 110 เป็นการหาค่าสำหรับปรับค่านำหนักตามทฤษฎีที่ประยุกต์ใช้ ในกรณีของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมจะมี plant information (Yp) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ส่วนในโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้บ่งชี้ส่วนดำเนินการจะไม่มี

บรรทัดที่ 112 ถึง 114 ใช้ปรับค่านำหนักโดยอาศัยค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นของโปรแกรม (โปรแกรมที่เขียนใช้งานจริงไม่ได้มีเลขบรรทัด ในกรณีได้เพิ่มเข้าไปเพื่อให้สะดวกในการอ้างถึง)

คำสั่งในโปรแกรมที่ได้กล่าวข้างต้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบที่เขียนโดย *.M ไฟล์ใน MATLAB

3.2.3 โปรแกรมจำลองระบบควบคุม และบ่งชี้ส่วนดำเนินการ

ระบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้สร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB โดยมี flow chart เป็นดังนี้



รูปที่ 3.7 Program Flow chart ของระบบควบคุมและบ่งชี้ส่วนดำเนินการ

จาก Program Flow chart ในรูปที่ 3.7 ได้แบ่งโปรแกรมออกเป็นส่วนย่อย ๆ อยู่ด้วยกัน 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1. ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ของระบบ เช่น ค่าน้ำหนักเริ่มต้นของโครงข่ายประสาทเทียม ค่าเริ่มต้นของส่วนดำเนินที่ต้องคิดในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จำนวนเวลาหรือรอบของการจำลอง ความถี่ของการสุ่มสัญญาณ เลือกสัญญาณอ้างอิง เป็นต้น

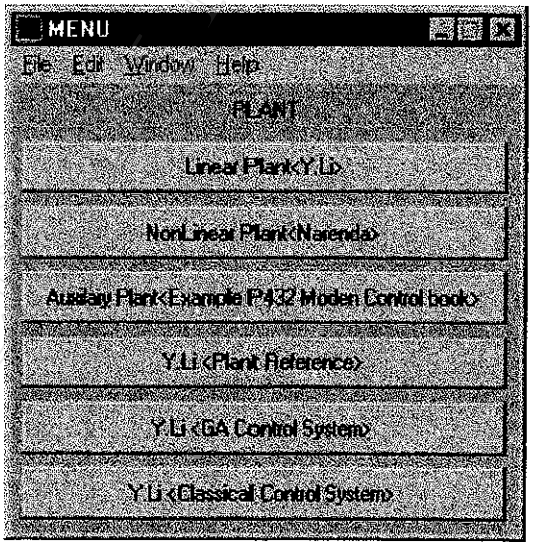
ส่วนที่ 2. ใช้สร้างสัญญาณต่าง ๆ ของระบบ เช่น สัญญาณอ้างอิง สัญญาณความคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุม สัญญาณที่จำลองมาจากส่วนดำเนินการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้บ่งชี้ส่วนดำเนินการ และสัญญาณขาออกที่ได้จากส่วนดำเนินการ

ส่วนที่ 3. ทำหน้าที่ปรับปรุงค่านำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 โครงข่าย รวมทั้งหาค่า plant information (yp) อีกด้วย

ส่วนที่ 4. เก็บค่าที่ได้จากวงรอบการคำนวณของโปรแกรมเพื่อแสดงผล และตรวจสอบเงื่อนไขว่าต้องทำการคำนวณวงรอบต่อไปอีกหรือไม่

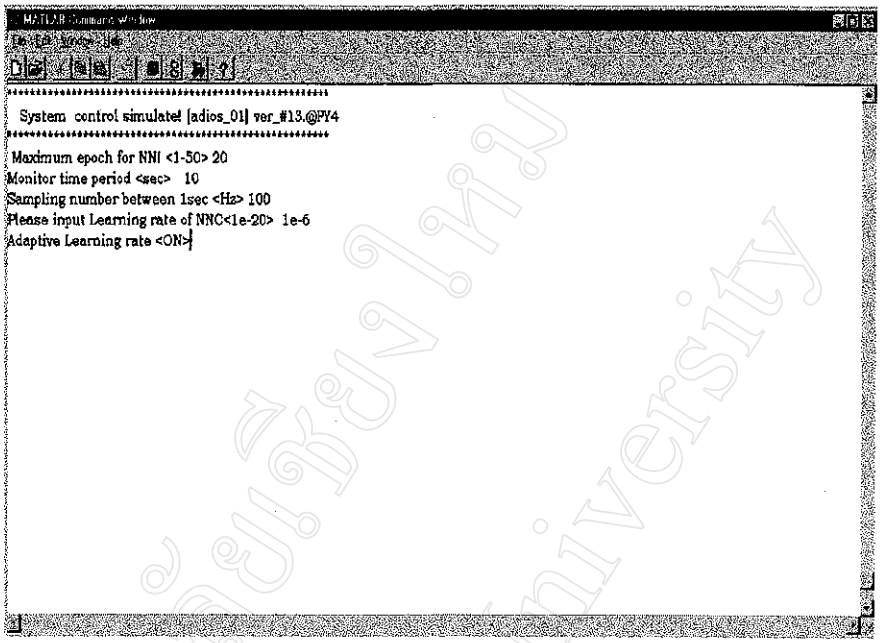
3.2.4 การใช้งานโปรแกรม

เมื่อเริ่มเข้าสู่ command window ของ MATLAB ให้พิมพ์ "adios1" ซึ่งเป็น M-file ที่รวมเอาระบบจำลองต่าง ๆ ไว้ด้วยกัน จะมีเมนูปรากฏขึ้นตามรูปที่ 3.8



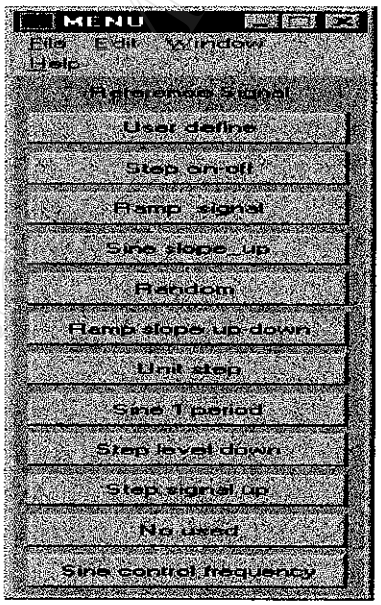
รูปที่ 3.8 เมนูหลักที่ใช้เลือกส่วนดำเนินการแบบต่าง ๆ

เมื่อเลือกส่วนดำเนินการได้จากเมนูที่แสดงในรูปที่ 3.8 แล้ว ที่หน้าต่างคำสั่งจะให้ใส่ค่าต่าง ๆ ที่เราต้องการกำหนด เช่น จำนวนเวลาที่เราต้องจำลอง ความถี่ของการสุ่มสัญญาณ ค่าอัตราการเรียนรู้ตั้งต้น เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9



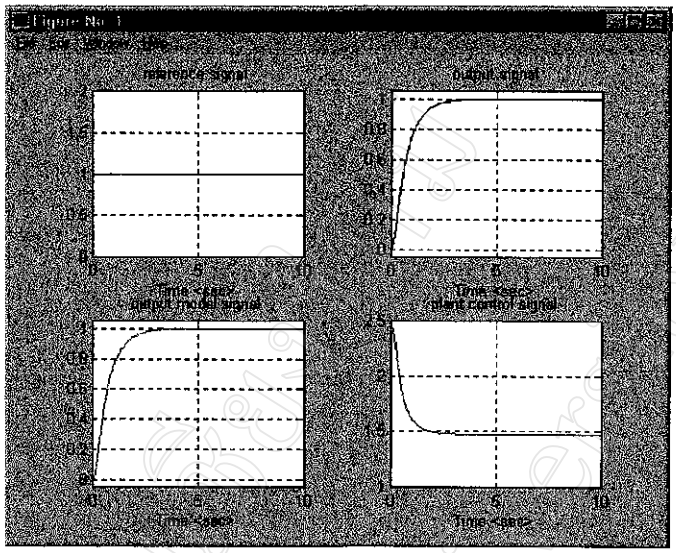
รูปที่ 3.9 หน้าต่างคำสั่งที่ใส่ค่าตัวแปรแล้ว

หลังจากนั้นจะมีเมนูดังรูปที่ 3.10 ขึ้นมาอีกเพื่อให้เลือกสัญญาณอ้างอิง



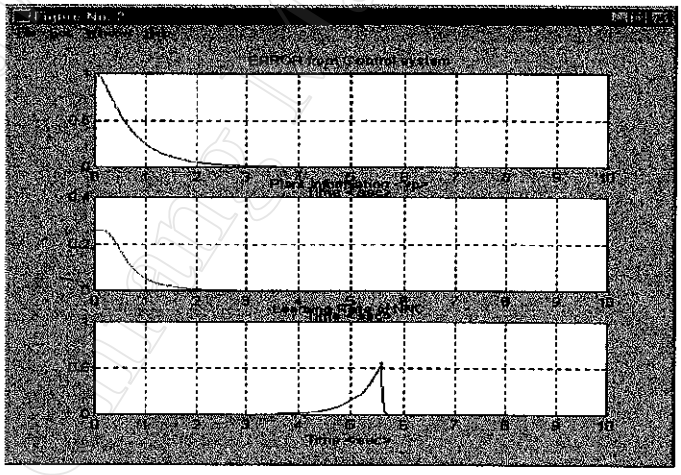
รูปที่ 3.10 เมนูที่ใช้เลือกสัญญาณอ้างอิง

เมื่อเลือกสัญญาณอ้างอิงจากเมนูแล้ว โปรแกรมจะทำงานและแสดงผลออกมาในทุกรอบของคาบสัญญาณการสุ่ม เมื่อโปรแกรมทำงานจนครบรอบ โปรแกรมจะแสดงค่าสัญญาณต่าง ๆ ของระบบ ดังนี้



รูปที่ 3.11 ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองระบบควบคุม(กราฟที่ 1.)

ผลการทำงานของโปรแกรมที่แสดงใน กราฟที่ 1 นี้ ประกอบด้วย สัญญาณอ้างอิง สัญญาณควบคุม สัญญาณขาออกที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จำลองส่วนดำเนินการ และสัญญาณขาออกที่ได้จากส่วนดำเนินการจริง



รูปที่ 3.12 ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองระบบควบคุม(กราฟที่ 2.)

ผลการทำงานของโปรแกรมที่แสดงใน กราฟที่ 2 นี้ ประกอบด้วย สัญญาณข้อผิดผลาดระหว่างสัญญาณขาออกจากส่วนดำเนินการกับสัญญาณอ้างอิง ค่า plant information ที่เวลาต่างๆ ตลอดการทำงานของโปรแกรม และค่าอัตราการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมระบบ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีที่เลือกใช้ระบบการปรับอัตราการเรียนรู้ในช่วงแรกของโปรแกรม