



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุเชียร เกียรติสุนทรหม. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) เล่มที่ 1-2 สำนักพิมพ์ ดวงกมลสมัย จำกัด พ.ศ. 2537

ภาษาอังกฤษ

Coughanowr, D.R. Process analysis and control. Mc.Graw-Hill Inc., 2nd ed., 1991.

Krishnaswamy, P.R. and Rangaiah, G.P. When to use cascade control. **Ind. Eng. Chem. Res.** 29, (1990) : 2163-2166.

Krishnaswamy, P.R. and Rangaiah, G.P. Role of secondary integral action in cascade. **Trans. IChemE.**, 70, (1992) : 149-152

Lee, J. and Sung, S.W. Comparision of two identification methods for PID controller Tuning
AICHE Journal, 39, (April 1993) : 695-697

Luyben, W.L. Process modelling and control for chemical engineering. New York :
Mc. Grawhill International, 1990.

Marlin, T.E. Process control design process and control systems for dynamics performance.

New York : McGraw-Hills Inc., 1995.

Matlab high-performance numeric computation and visualization software, user's guide.

The Math Works Inc., 1993.

Seborg, D.E., Edgar, T.F., and Mellichamp, D.A. Process dynamic and control.

New York : John Wiley & Son ,1989.

Shinskey, F.G. Process control systems, application, design and tuning. New York : McGraw-

Hill, 3rd ed., 1988.

Simulink dynamic system simulation software, user's guide. The Math Works Inc., 1993.

Smith, C.A. and Corripio, A.B. Principles and practice of automatic process control.

New York : John Wiley & Sons, 1985.

Van De Vegte J. Feedback control system. New York : Prentice Hall International, 1994.

Verhaegen, S. When to use cascade control. **In. Tech.**, (1991) : 38-40

Ward, T.J. Cascade and ratio control. AIChEM I Modular Instruction Series, AIChE, A4.4,

1983

ภาคผนวก



ภาคผนวกที่ 1

M-File ที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลกราฟฟิคและการทำงานของโปรแกรม Simulink ที่ใช้

ในการศึกษาวิจัย

```
function [ret,x0,str,ts,xts]=dt_10(t,x,u,flag);
%DT_10 is the M-file description of the SIMULINK system named DT_10.
% The block-diagram can be displayed by typing: DT_10.
%
% SYS=DT_10(T,X,U,FLAG) returns depending on FLAG certain
% system values given time point, T, current state vector, X,
% and input vector, U.
% FLAG is used to indicate the type of output to be returned in SYS.
%
% Setting FLAG=1 causes DT_10 to return state derivatives, FLAG=2
% discrete states, FLAG=3 system outputs and FLAG=4 next sample
% time. For more information and other options see SFUNC.
%
% Calling DT_10 with a FLAG of zero:
% [SIZES]=DT_10([],[],[],0), returns a vector, SIZES, which
% contains the sizes of the state vector and other parameters.
%     SIZES(1) number of states
%     SIZES(2) number of discrete states
%     SIZES(3) number of outputs
%     SIZES(4) number of inputs
%     SIZES(5) number of roots (currently unsupported)
%     SIZES(6) direct feedthrough flag
%     SIZES(7) number of sample times
%
% For the definition of other parameters in SIZES, see SFUNC.
% See also, TRIM, LINMOD, LINSIM, EULER, RK23, RK45, ADAMS, GEAR.

% Note: This M-file is only used for saving graphical information;
% after the model is loaded into memory an internal model
% representation is used.

% the system will take on the name of this mfile:
sys = mfilename;
new_system(sys)
simver(1.3)
if (0 == (nargin + nargout))
    set_param(sys,'Location',[54,44,740,529])
    open_system(sys)
end;
set_param(sys,'BackGround',4)
set_param(sys,'algorithm', 'RK-23')
set_param(sys,'Start time', '0.0')
set_param(sys,'Stop time', '999999')
set_param(sys,'Min step size', '0.0001')
set_param(sys,'Max step size', '10')
set_param(sys,'Relative error','1e-3')
```

```

set_param(sys,'Return vars', '')

add_block('built-in/Transport Delay',[sys, '/', ['DT1', 13, 'Inner']])
set_param([sys, '/', ['DT1', 13, 'Inner']],...
    'Delay Time', '1',...
    'position', [420, 440, 460, 470])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys, '/', ['G1', 13, 'Inner']])
set_param([sys, '/', ['G1', 13, 'Inner']],...
    'Numerator', '1',...
    'Denominator', '[10 1]',...
    'position', [365, 437, 400, 473])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum5'])
set_param([sys, '/', 'Sum5'],...
    'position', [495, 440, 515, 460])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum4'])
set_param([sys, '/', 'Sum4'],...
    'inputs', '+-',...
    'position', [230, 450, 250, 470])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum6'])
set_param([sys, '/', 'Sum6'],...
    'position', [330, 445, 350, 465])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys, '/', ['L1', 13, 'C/C']])
set_param([sys, '/', ['L1', 13, 'C/C']],...
    'Time', '0',...
    'After', '10',...
    'position', [270, 390, 290, 410])

% Subsystem ['PI', 13, 'Inner'].

new_system([sys, '/', ['PI', 13, 'Inner']])
set_param([sys, '/', ['PI', 13, 'Inner']], 'Location', [0, 0, 362, 244])

add_block('built-in/Inport',[sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/In_1']])
set_param([sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/In_1']],...
    'position', [25, 65, 45, 85])

add_block('built-in/Outport',[sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/Out_1']])
set_param([sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/Out_1']],...
    'position', [290, 65, 310, 85])

add_block('built-in/Derivative',[sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/Derivative']])
set_param([sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/Derivative']],...
    'position', [150, 128, 190, 152])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/Integral']])
set_param([sys, '/', ['PI', 13, 'Inner/Integral']],...
    'Numerator', '[1]',...
    'Denominator', '[1 0]',...
    'position', [110, 57, 145, 93])

```

```

add_block('built-in/Gain',[sys,'],['PI',13,'Inner/Proportional'])
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner/Proportional'],...
    'Gain','P',...
    'position',[120,13,140,37])

add_block('built-in/Gain',[sys,'],['PI',13,'Inner/D'])
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner/D'],...
    'Gain','D',...
    'position',[95,129,115,151])

add_block('built-in/Sum',[sys,'],['PI',13,'Inner/Sum'])
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner/Sum'],...
    'inputs','+++',...
    'position',[245,57,265,93])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[145,25;210,25;210,65;240,65])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[150,75;240,75])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[195,140;215,140;215,85;240,85])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[50,75;105,75])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[80,75;80,25;115,25])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[65,75;65,140;90,140])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[270,75;285,75])
add_line([sys,'],['PI',13,'Inner'],[120,140;145,140])
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner'],...
    'Mask Display','PID',...
    'Mask Type','PID Controller',...
    'Mask Dialogue','Enter expressions for proportional, integral, and derivative
    terms.\nP+I/s+Ds|Proportional:|Integral|Derivative:')
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner'],...
    'Mask Translate','P=@1; I=@2; D=@3;')
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner'],...
    'Mask Help','This block implements a PID controller where parameters are
    entered for the Proportional, Integral and Derivative terms. Unmask this block to see how it
    works. The derivative term is implemented using a true derivative block.')
set_param([sys,'],['PI',13,'Inner'],...
    'Mask Entries','8.1469V.3226V0V')

% Finished composite block ['PI',13,'Inner'].

set_param([sys,'],['PI',13,'Inner'],...
    'position',[270,444,310,476])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,'],['DT1',13,'F//B'])
set_param([sys,'],['DT1',13,'F//B'],...
    'Delay Time','1',...
    'position',[340,130,380,160])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,'],['G1',13,'F//B'])
set_param([sys,'],['G1',13,'F//B'],...
    'Numerator','1',...
    'Denominator','[ 10 1]',...
    'position',[280,127,315,163])

add_block('built-in/Sum',[sys,'],['Sum2'])
set_param([sys,'],['Sum2'],...

```

```

        'position',[240,135,260,155])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/,['G2',13,'Outer']])
set_param([sys,/,['G2',13,'Outer']],...
    'Denominator','[10 1]',...
    'position',[535,432,570,468])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,/,['DT2',13,'Outer']])
set_param([sys,/,['DT2',13,'Outer']],...
    'Delay Time','1',...
    'position',[600,435,640,465])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/,['G2',13,'F//B']])
set_param([sys,/,['G2',13,'F//B']],...
    'Denominator','[10 1]',...
    'position',[490,122,525,158])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,/,['DT2',13,'F//B']])
set_param([sys,/,['DT2',13,'F//B']],...
    'Delay Time','1',...
    'position',[550,125,590,155])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/,['L2',13,'Feed Back']])
set_param([sys,/,['L2',13,'Feed Back']],...
    'Time','0',...
    'After','0',...
    'position',[345,50,365,70])

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'Sum3'])
set_param([sys,/, 'Sum3'],...
    'position',[425,130,445,150])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/,['L1',13,'Feed Back']])
set_param([sys,/,['L1',13,'Feed Back']],...
    'Time','0',...
    'After','10',...
    'position',[180,50,200,70])

add_block('built-in/Mux',[sys,/, 'Mux1'])
set_param([sys,/, 'Mux1'],...
    'inputs','2',...
    'position',[355,266,385,299])

add_block('built-in/Product',[sys,/,['Mtp',13,'F//B']])
set_param([sys,/,['Mtp',13,'F//B']],...
    'position',[200,263,230,287])

add_block('built-in/Integrator',[sys,/,['Itg',13,'F//B']])
set_param([sys,/,['Itg',13,'F//B']],...
    'position',[255,265,275,285])

add_block('built-in/Integrator',[sys,/,['Itg',13,'C//C']])
set_param([sys,/,['Itg',13,'C//C']],...
    'position',[250,345,270,365])

```

```

add_block('built-in/Product',[sys,/,['Mtp',13,'C//C]])
set_param([sys,/,['Mtp',13,'C//C']],...
          'position',[195,343,225,367])

add_block('built-in/Abs',[sys,/, 'Abs1'])
set_param([sys,/, 'Abs1'],...
          'position',[115,258,145,282])

add_block('built-in/Abs',[sys,/, 'Abs'])
set_param([sys,/, 'Abs'],...
          'position',[145,373,175,397])

add_block('built-in/Clock',[sys,/, 'Clock'])
set_param([sys,/, 'Clock'],...
          'position',[40,295,60,315])

add_block('built-in/Mux',[sys,/, 'Mux'])
set_param([sys,/, 'Mux'],...
          'inputs', '2',...
          'position',[630,291,660,324])

% Subsystem ['PID',13,'F//B'].

new_system([sys,/,['PID',13,'F//B']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B']], 'Location',[0,0,362,244])

add_block('built-in/Sum',[sys,/,['PID',13,'F//B/Sum']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B/Sum']],...
          'inputs', '+++',...
          'position',[245,57,265,93])

add_block('built-in/Gain',[sys,/,['PID',13,'F//B/D']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B/D']],...
          'Gain', 'D',...
          'position',[95,129,115,151])

add_block('built-in/Gain',[sys,/,['PID',13,'F//B/Proportional']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B/Proportional']],...
          'Gain', 'P',...
          'position',[120,13,140,37])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/,['PID',13,'F//B/Integral']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B/Integral']],...
          'Numerator', '[]',...
          'Denominator', '[1 0]',...
          'position',[110,57,145,93])

add_block('built-in/Derivative',[sys,/,['PID',13,'F//B/Derivative']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B/Derivative']],...
          'position',[150,128,190,152])

add_block('built-in/Outport',[sys,/,['PID',13,'F//B/Out_1']])
set_param([sys,/,['PID',13,'F//B/Out_1']],...
          'position',[290,65,310,85])

```



```

add_block('built-in/Inport',[sys, '/', ['PID', 13, 'F//B/In_1']]
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B/In_1']],...
    'position',[25,65,45,85])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [120,140;145,140])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [270,75;285,75])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [50,75;105,75])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [65,75;65,140;90,140])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [80,75;80,25;115,25])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [195,140;215,140;215,85;240,85])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [150,75;240,75])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']], [145,25;210,25;210,65;240,65])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']],...
    'Mask Display','PID',...
    'Mask Type','PID Controller',...
    'Mask Dialogue','Enter expressions for proportional, integral, and derivative
    terms.\nP+I/s+Ds|Proportional:|Integral|Derivative:')
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']],...
    'Mask Translate','P=@1; I=@2; D=@3;')
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']],...
    'Mask Help','This block implements a PID controller where parameters are
    entered for the Proportional, Integral and Derivative terms. Unmask this block to see how it
    works. The derivative term is implemented using a true derivative block.')
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']],...
    'Mask Entries','4.5V0.194V0V')

% Finished composite block ['PID', 13, 'F//B'].

set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'F//B']],...
    'position',[170,134,210,166])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum'])
set_param([sys, '/', 'Sum'],...
    'inputs','+',...
    'position',[120,140,140,160])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys, '/', ['Set Point', 13, 'Cascade']])
set_param([sys, '/', ['Set Point', 13, 'Cascade']],...
    'After','0',...
    'position',[45,440,65,460])

% Subsystem ['PID', 13, 'Outer'].

new_system([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], 'Location',[0,0,362,244])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Sum']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Sum']],...
    'inputs','+++',...
    'position',[245,57,265,93])

add_block('built-in/Gain',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/D']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/D']],...

```

```

    'Gain','D',...
    'position',[95,129,115,151])

add_block('built-in/Gain',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Proportional']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Proportional']],...
    'Gain','P',...
    'position',[120,13,140,37])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Integral']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Integral']],...
    'Numerator','[I]',...
    'Denominator','[1 0]',...
    'position',[110,57,145,93])

add_block('built-in/Derivative',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Derivative']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Derivative']],...
    'position',[150,128,190,152])

add_block('built-in/Outport',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Out_1']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/Out_1']],...
    'position',[290,65,310,85])

add_block('built-in/Inport',[sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/In_1']])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer/In_1']],...
    'position',[25,65,45,85])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [120,140;145,140])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [270,75;285,75])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [50,75;105,75])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [65,75;65,140;90,140])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [80,75;80,25;115,25])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [195,140;215,140;215,85;240,85])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [150,75;240,75])
add_line([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']], [145,25;210,25;210,65;240,65])
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']],...
    'Mask Display','PID',...
    'Mask Type','PID Controller',...
    'Mask Dialogue','Enter expressions for proportional, integral, and derivative
    terms. \nP+I/s+Ds|Proportional:|Integral|Derivative:')
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']],...
    'Mask Translate','P=@1; I=@2; D=@3;')
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']],...
    'Mask Help','This block implements a PID controller where parameters are
    entered for the Proportional, Integral and Derivative terms. Unmask this block
    to see how it works. The derivative term is implemented using a true derivative
    block.')
set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']],...
    'Mask Entries','3.1V.4667V0V')

% Finished composite block ['PID', 13, 'Outer'],

set_param([sys, '/', ['PID', 13, 'Outer']],...
    'position',[170,439,210,471])

add_block('built-in/Sum',[sys, '/', 'Sum1'])
set_param([sys, '/', 'Sum1'],...
    'inputs','+-',...

```

```

        'position',[120,445,140,465])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/,['Set Point',13,'F//B',13,]])
set_param([sys,/,['Set Point',13,'F//B',13,]],...
    'After','0',...
    'position',[45,135,65,155])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/,['L2',13,'C//C']])
set_param([sys,/,['L2',13,'C//C']],...
    'Time','0',...
    'After','0',...
    'position',[425,375,445,395])

% Subsystem 'ITAE'.

new_system([sys,/, 'ITAE'])
set_param([sys,/, 'ITAE'], 'Location',[0,59,274,252])

add_block('built-in/Inport',[sys,/, 'ITAE/x'])
set_param([sys,/, 'ITAE/x'],...
    'position',[65,55,85,75])

add_block('built-in/S-Function',[sys,/,['ITAE/S-function',13,'M-file which plots',13,'lines',13,]])
set_param([sys,/,['ITAE/S-function',13,'M-file which plots',13,'lines',13,]],...
    'function name','sfunyst',...
    'parameters','ax, color, npts, dt',...
    'position',[130,55,180,75])
add_line([sys,/, 'ITAE'],[90,65;125,65])
set_param([sys,/, 'ITAE'],...
    'Mask Display','plot(0,0,100,100,[83,76,63,52,42,38,28,16,11,84,11,11,11,90,90,11],
[75,58,47,54,72,80,84,74,65,65,65,90,40,40,90,90])',...
    'Mask Type','Storage scope.')
set_param([sys,/, 'ITAE'],...
    'Mask Dialogue','Storage scope using MATLAB graph window.\nEnter plotting
ranges and line type.|Initial Time Range:|Initial y-min:|Initial y-max:|Storage
pts.:|Line type (rgbw-.:xo):')
set_param([sys,/, 'ITAE'],...
    'Mask Translate','npts = @4; color = @5; ax = [0, @1, @2, @3]; dt=-1;')
set_param([sys,/, 'ITAE'],...
    'Mask Help','This block uses a MATLAB figure window to plot the input signal.
The graph limits are automatically scaled to the min and max values of the
signal stored in the scope"s signal buffer. Line type must be in quotes. See the M-file
sfunyst.m.')
set_param([sys,/, 'ITAE'],...
    'Mask Entries','5V-10V5V500V"c-/m-/r-./w:/m*/ro/b+"V')

% Finished composite block 'ITAE'.

set_param([sys,/, 'ITAE'],...
    'position',[420,265,450,305])

% Subsystem 'Response'.

```

```

new_system([sys,'','Response'])
set_param([sys,'','Response'],'Location',[0,59,274,252])

add_block('built-in/S-Function',[sys,'','Response/S-function',13,'M-file which plots',13,'
lines',13,''])
set_param([sys,'','Response/S-function',13,'M-file which plots',13,'lines',13,''],...
          'function name','sfunyst',...
          'parameters','ax, color, npts, dt',...
          'position',[130,55,180,75])

add_block('built-in/Inport',[sys,'','Response/x'])
set_param([sys,'','Response/x'],...
          'position',[65,55,85,75])
add_line([sys,'','Response'],[90,65,125,65])
set_param([sys,'','Response'],...
          'Mask Display','plot(0,0,100,100,[83,76,63,52,42,38,28,16,11,84,11
,11,11,90,90,11],[75,58,47,54,72,80,84,74,65,65,65,90,40,40,90,90]),...
          'Mask Type','Storage scope.')
set_param([sys,'','Response'],...
          'Mask Dialogue','Storage scope using MATLAB graph window.\nEnter plotting
ranges and line type.|Initial Time Range:|Initial y-min:|Initial y-max:|Storage
pts.:|Line type (rgbw-:xo):')
set_param([sys,'','Response'],...
          'Mask Translate','npts = @4; color = @5; ax = [0, @1, @2, @3]; dt=-1;')
set_param([sys,'','Response'],...
          'Mask Help','This block uses a MATLAB figure window to plot the input signal.
The graph limits are automatically scaled to the min and max values of the
signal stored in the scope"s signal buffer. Line type must be in quotes. See the M-file
sfunyst.m.')
set_param([sys,'','Response'],...
          'Mask Entries','5V-10V5V500V"c/m--/r-/w:/m*/ro/b+"V')

% Finished composite block 'Response'

set_param([sys,'','Response'],...
          'position',[690,290,720,330])


% Subsystem 'Graph'

new_system([sys,'','Graph'])
set_param([sys,'','Graph'],'Location',[0,59,274,252])

add_block('built-in/Inport',[sys,'','Graph/x'])
set_param([sys,'','Graph/x'],...
          'position',[65,55,85,75])

add_block('built-in/S-Function',[sys,'','Graph/S-function',13,'M-file which
plots',13,'lines',13,''])
set_param([sys,'','Graph/S-function',13,'M-file which plots',13,'lines',13,''],...
          'function name','sfunyst',...
          'parameters','ax, color,dt',...
          'position',[130,55,180,75])
add_line([sys,'','Graph'],[90,65,125,65])
set_param([sys,'','Graph'],...

```



```
add_line(sys,[465,455;490,455])
add_line(sys,[450,385;465,385;465,445;490,445])
add_line(sys,[465,455;465,525;215,525;225,465])
add_line(sys,[280,275;350,275])
add_line(sys,[595,140;605,140;605,300;625,300])
add_line(sys,[390,285;395,285;395,230;415,230])

drawnow

% Return any arguments.
if (nargin | nargout)
    % Must use feval here to access system in memory
    if (nargin > 3)
        if (flag == 0)
            eval(['ret,x0,str,ts,xts']=sys,'(t,x,u,flag);'])
        else
            eval(['ret =', sys,'(t,x,u,flag);'])
        end
    else
        [ret,x0,str,ts,xts] = feval(sys);
    end
else
    drawnow % Flash up the model and execute load callback
end
```

ภาคผนวกที่ 2

ในภาคผนวกนี้ประกอบด้วยข้อมูลผลการทดลองในรูปของกราฟตั้งแต่รูปที่ 7.2.1 - 7.2.17 และตารางที่ 7.2.1 - 7.2.9 ดังต่อไปนี้

```

'Mask Display','plot(0,0,100,100,[90,10,10,10,90,90,10],[65,65,90,40,40,90,90],
[90,78,69,54,40,31,25,10],[77,60,48,46,56,75,81,84])',...
'Mask Type','Graph scope.')
set_param([sys,'/','Graph'],...
'Mask Dialogue','Graph scope using MATLAB graph window.\nEnter plotting
ranges and line type.[Time range:|y-min:|y-max:|Line type (rgbw-:*). Seperate each plot by
"/":')
set_param([sys,'/','Graph'],...
'Mask Translate','color = @4; ax = [0, @1, @2, @3]; dt = -1;')
set_param([sys,'/','Graph'],...
'Mask Help','This block plots to the MATLAB graph window and can be used as
an improved version of the Scope block. Look at the m-file sfuny.m to see how
it works. This block can take scalar or vector input signal.')
set_param([sys,'/','Graph'],...
'Mask Entries','20V/2000V/2600V"y-/g-/c-/w:/m*/ro/b+"V')

```

```
% Finished composite block 'Graph'.
```

```

set_param([sys,'/','Graph'],...
'position',[420,211,450,249])
add_line(sys,[145,150;165,150])
add_line(sys,[70,145;115,145])
add_line(sys,[145,455;165,455])
add_line(sys,[255,460;265,460])
add_line(sys,[575,450;595,450])
add_line(sys,[530,140;545,140])
add_line(sys,[215,455;225,455])
add_line(sys,[70,450;115,450])
add_line(sys,[665,310;685,310])
add_line(sys,[230,355;245,355])
add_line(sys,[180,385;190,360])
add_line(sys,[145,455;145,430;105,430;105,385;140,385])
add_line(sys,[235,275;250,275])
add_line(sys,[150,270;195,270])
add_line(sys,[65,305;160,305;160,350;190,350])
add_line(sys,[65,305;160,305;160,280;195,280])
add_line(sys,[275,355;305,355;305,290;350,290])
add_line(sys,[390,285;415,285])
add_line(sys,[145,150;145,120;15,120;15,270;110,270])
add_line(sys,[265,145;275,145])
add_line(sys,[215,150;235,150])
add_line(sys,[205,60;225,60;235,140])
add_line(sys,[370,60;390,60;390,135;420,135])
add_line(sys,[450,140;485,140])
add_line(sys,[315,460;325,460])
add_line(sys,[355,455;360,455])
add_line(sys,[520,450;530,450])
add_line(sys,[645,450;655,450;655,405;610,405;610,315;625,315])
add_line(sys,[645,450;655,450;655,540;95,540;95,460;115,460])
add_line(sys,[595,140;605,140;605,205;95,205;95,155;115,155])
add_line(sys,[320,145;335,145])
add_line(sys,[385,145;420,145])
add_line(sys,[295,400;315,400;325,450])
add_line(sys,[405,455;415,455])

```

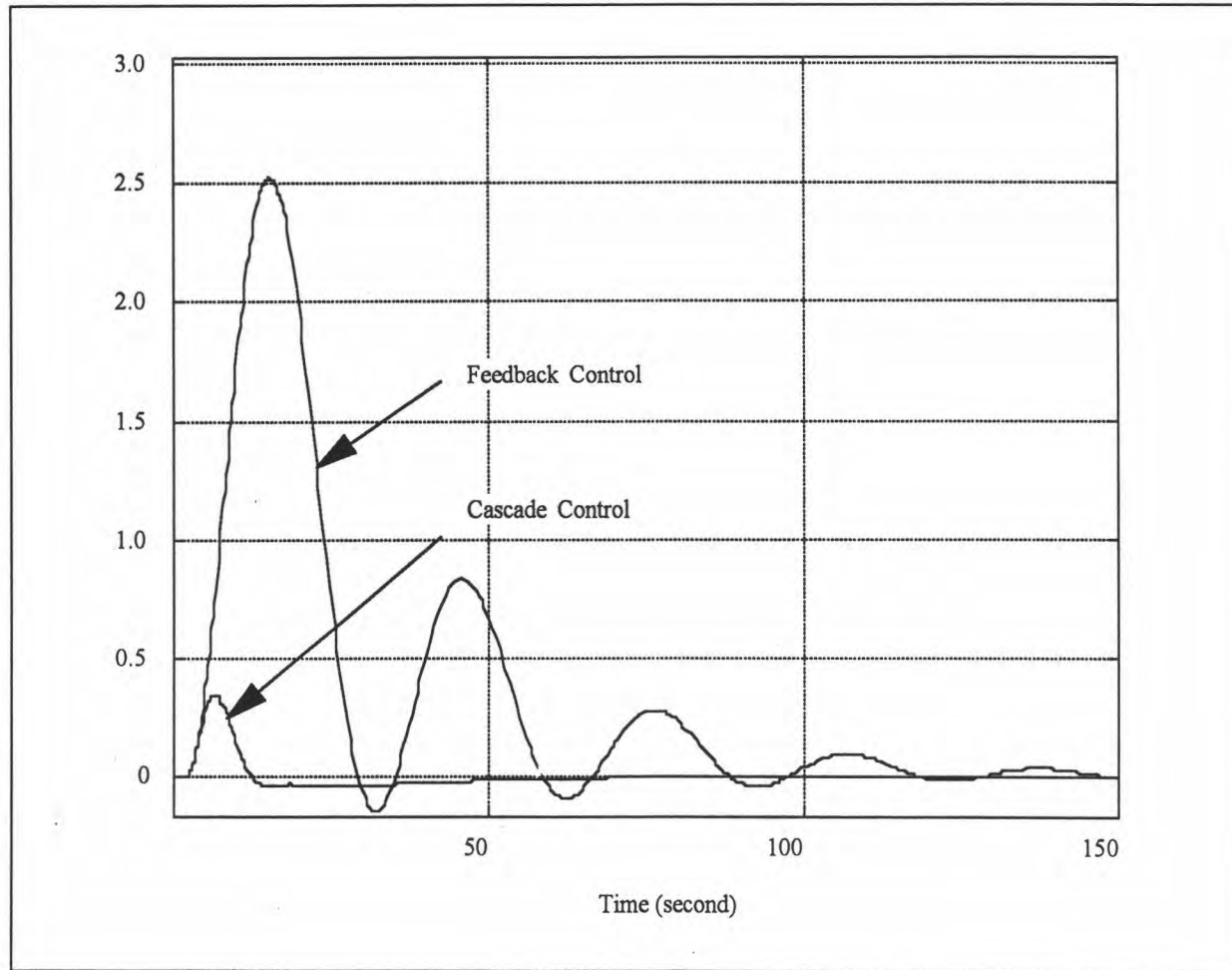
ตารางที่ 7.2.1 เปรียบเทียบวิธีการจูนการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ

จูนตัวควบคุมด้วยวิธีลองถูกลองผิด และ Zigler-Nichols

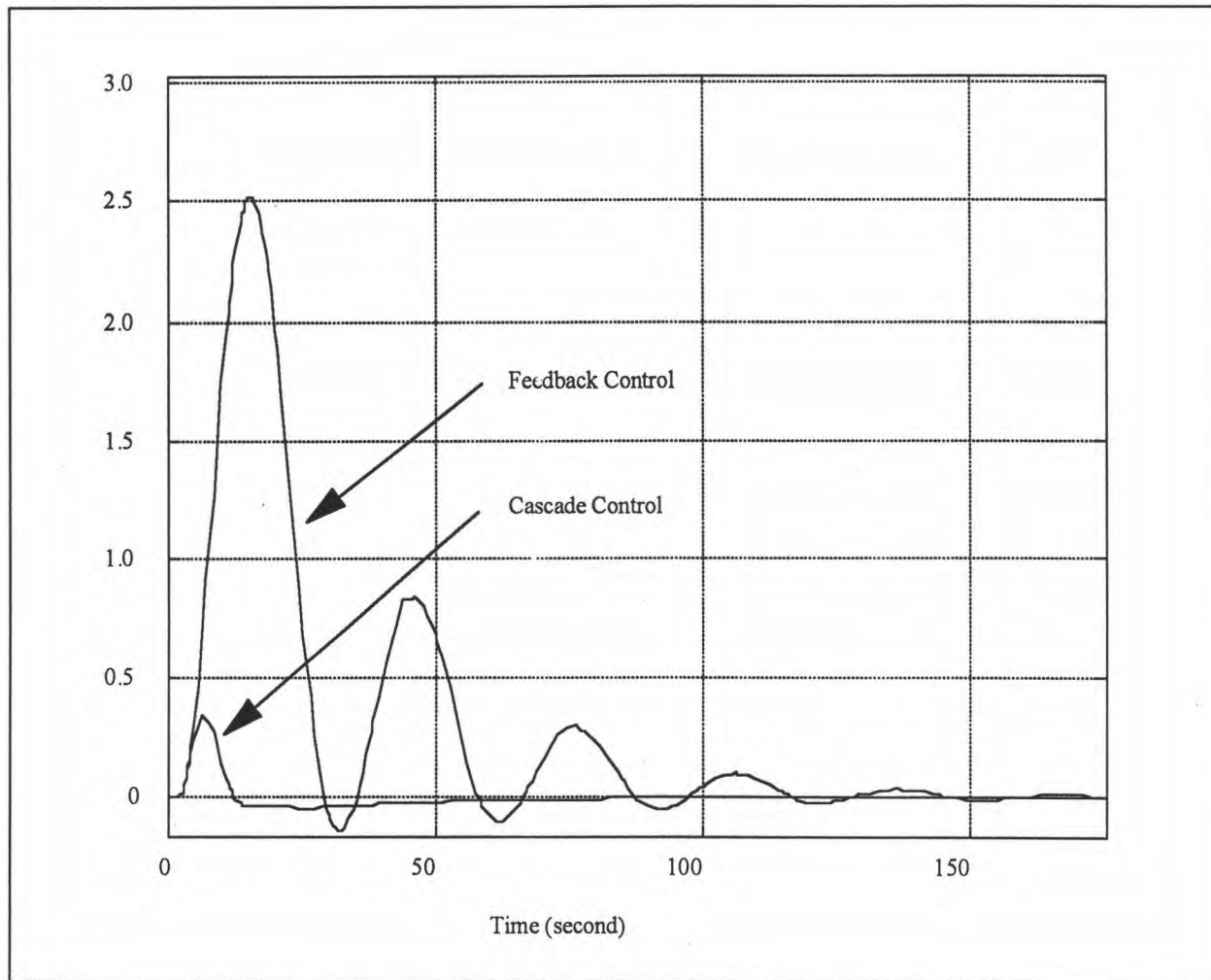
เกิดการเปลี่ยนโพลของลูฟในแบบเสถียร

| ครั้งที่ | ลองถูกลองผิด | | Zigler - Nichols | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|--------------|--------|------------------|---------|--------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|-----|
| | P | I | P | I | D | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | T&E | Z-N | T&E | Z-N |
| 1 | 4.5000 | 5.155 | 4.8294 | 9.862 | 3.5500 | 10 | 1.0 | 10 | 1.0 | 1,680 | 1,800 | 170 | 180 |
| 2 | 3.0000 | 8.547 | 4.8294 | 9.862 | 2.4500 | 10 | 1.0 | 10 | 2.5 | 3,400 | 8,500 | 200 | 220 |
| 3 | 2.0000 | 14.925 | 4.8294 | 9.862 | 1.7000 | 10 | 1.0 | 10 | 5.0 | 7,000 | 10,300 | 250 | 280 |
| 4 | 4.2000 | 4.695 | 5.0400 | 0.1765 | 2.1250 | 5 | 1.0 | 10 | 1.0 | 1,250 | 1,900 | 160 | 180 |
| 5 | 6.6000 | 5.556 | 7.9200 | 0.1250 | 3.0000 | 15 | 1.0 | 10 | 1.0 | 2,320 | 5,600 | 250 | 400 |
| 6 | 3.2500 | 9.091 | 3.9000 | 13.5135 | 3.3750 | 10 | 2.5 | 10 | 1.0 | 3,700 | 8,600 | 250 | 300 |



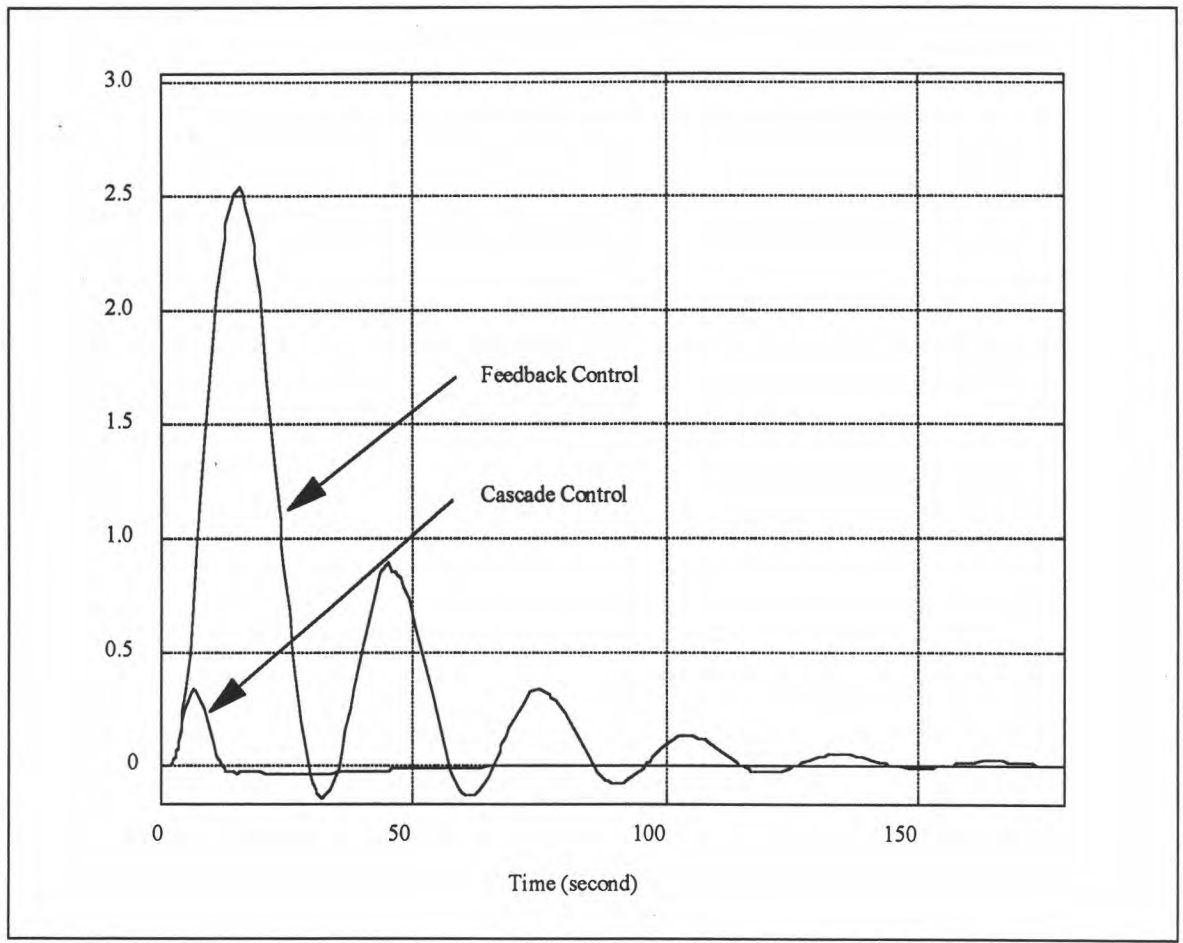
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 1$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 1$

รูปที่ 7.2.1 กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบโดยวิธีไดนามิกเชิงเส้น



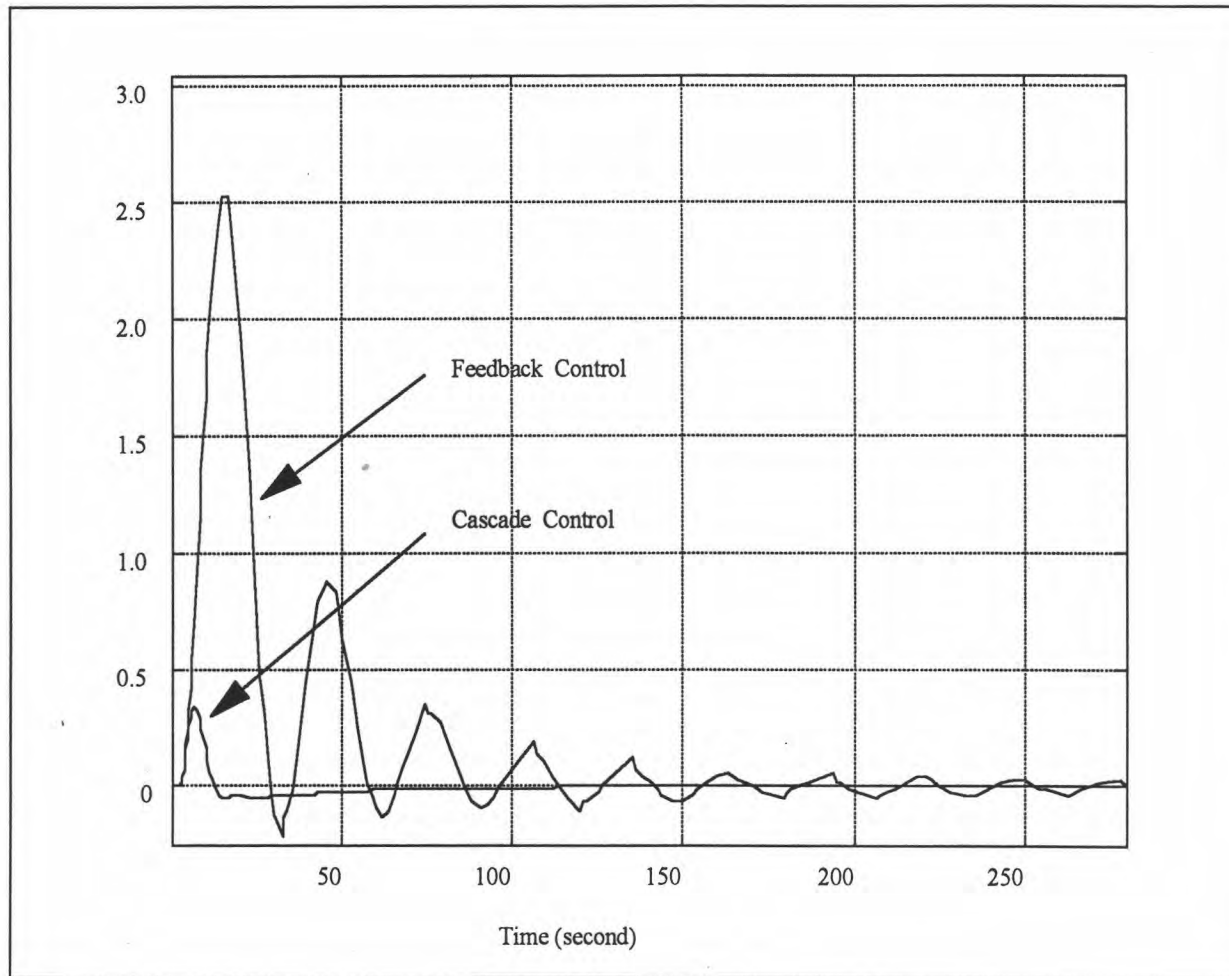
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 1$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 1$

รูปที่ 7.2.2 กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบ โดยวิธีของเกียร์



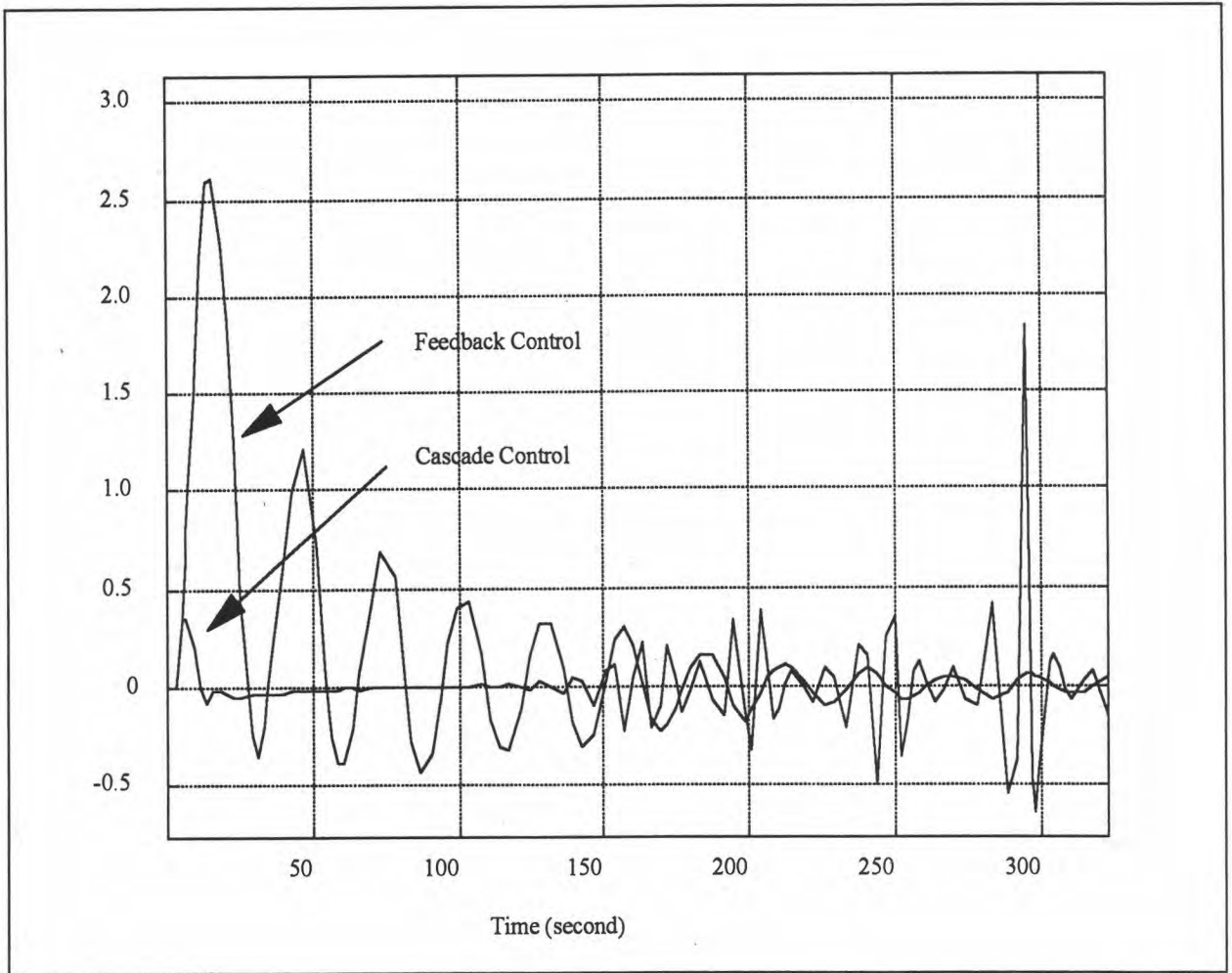
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 1$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 1$

รูปที่ 7.2.3 กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบโดยวิธีทำนายค่าและแก้ค่าของอดัมส์



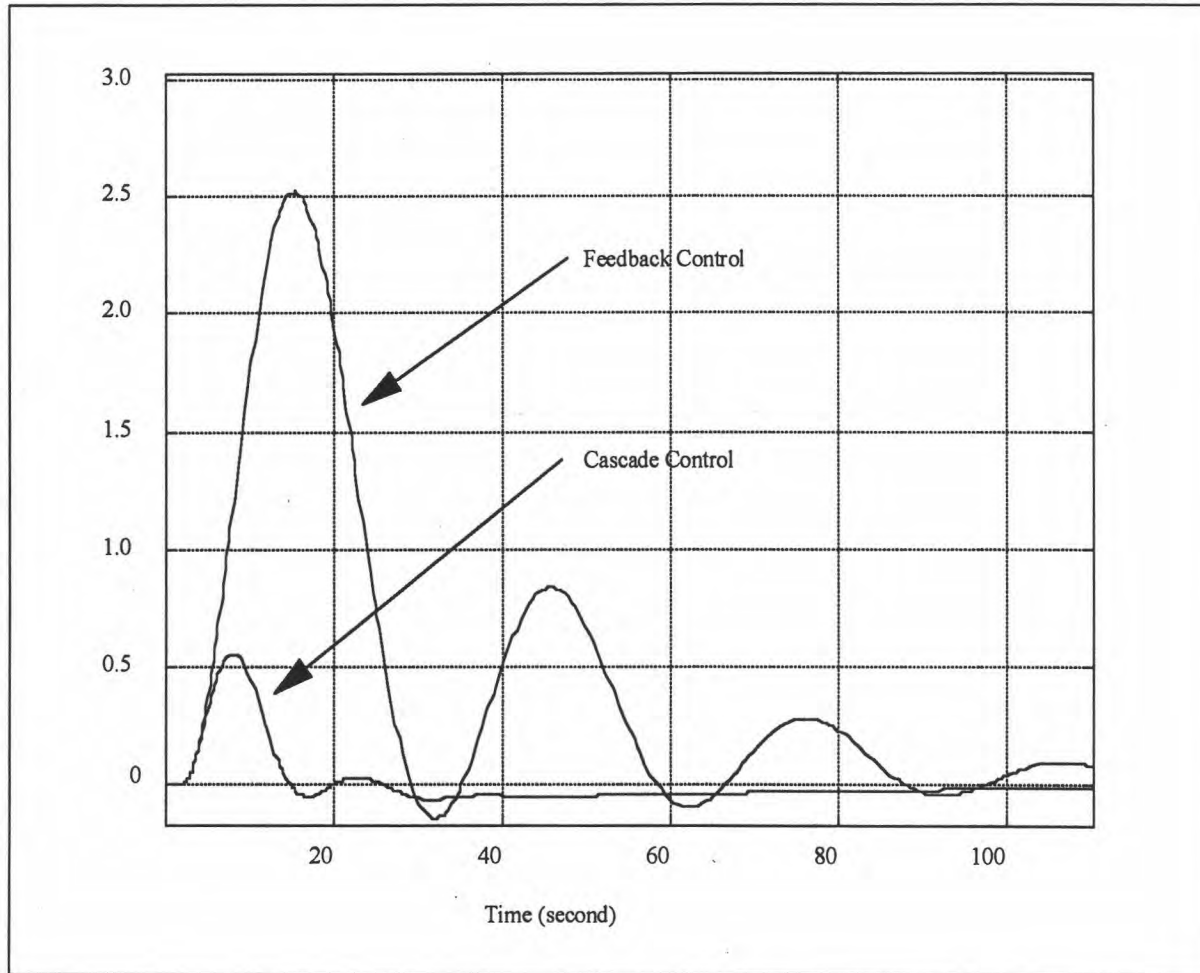
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 1$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 1$

รูปที่ 7.2.4 กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลี่ยนแบบโดยวิธีรีจั้ง-กัตดา อันดับที่ 3



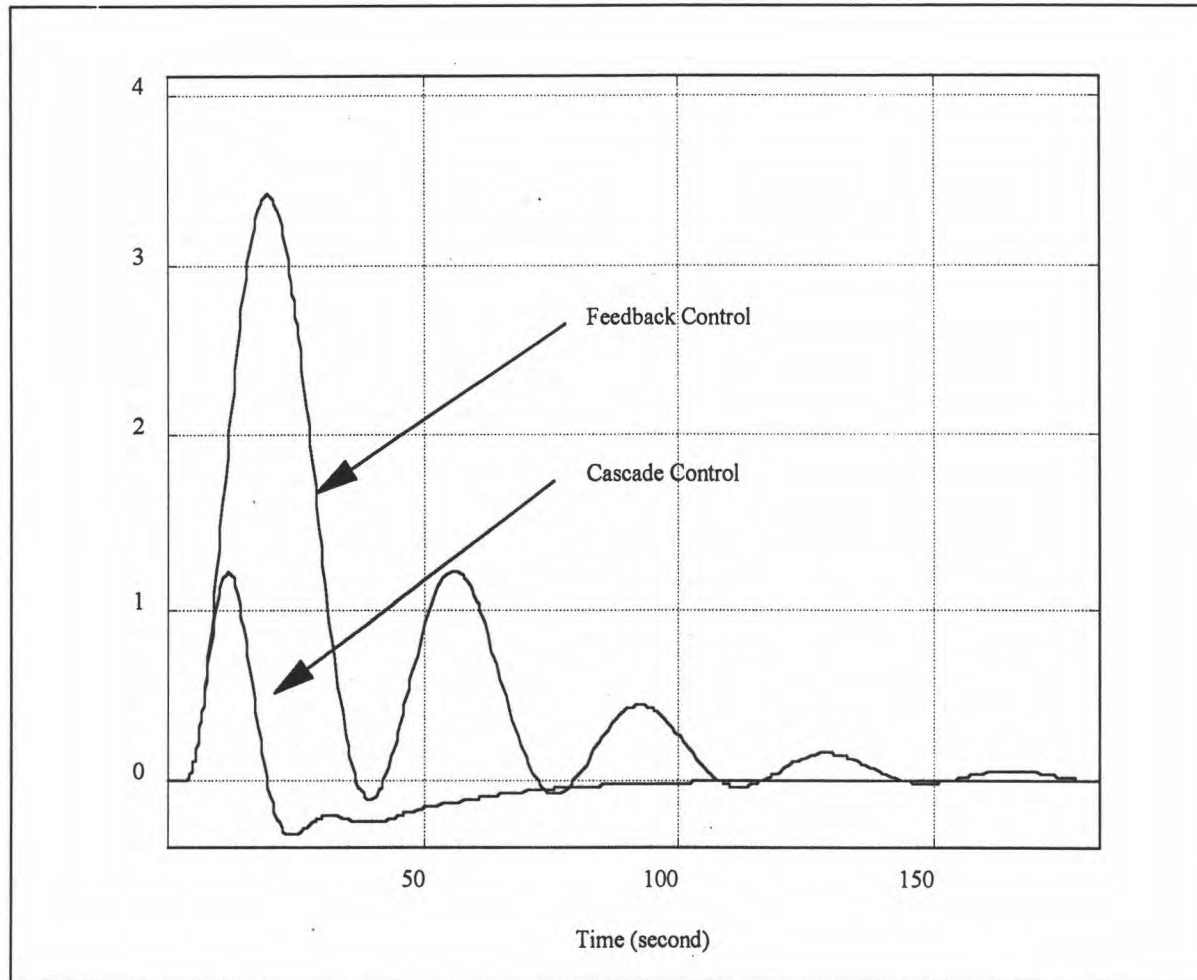
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 1$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 1$

รูปที่ 7.2.5 กราฟเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตจากการทำเลียนแบบโดยวิธีริงจ์-กัตตา-เฟลเบอร์ค อันดับที่ 5



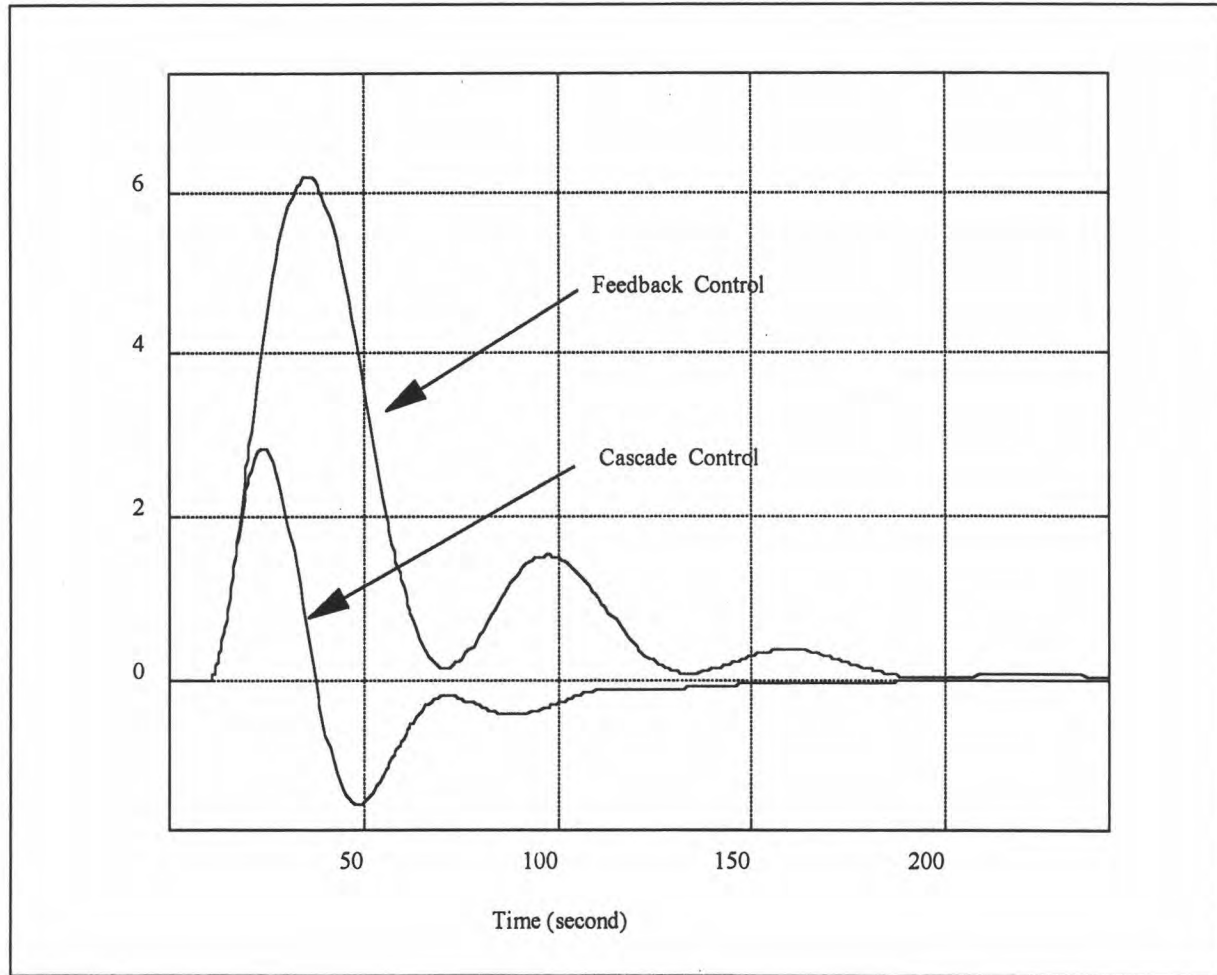
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 1$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 1$

รูปที่ 7.2.6 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ



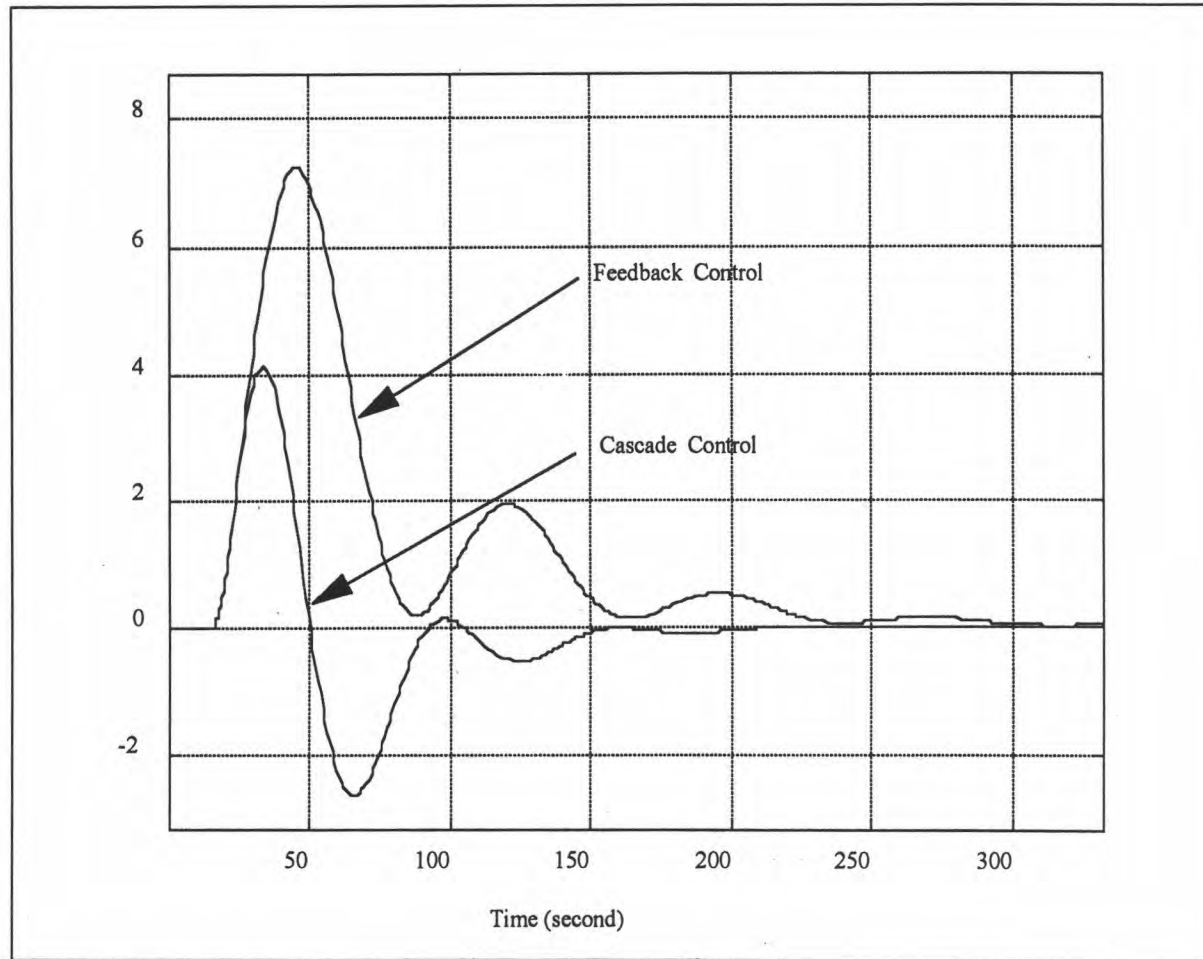
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 2.5$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 2.5$

รูปที่ 7.2.7 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ



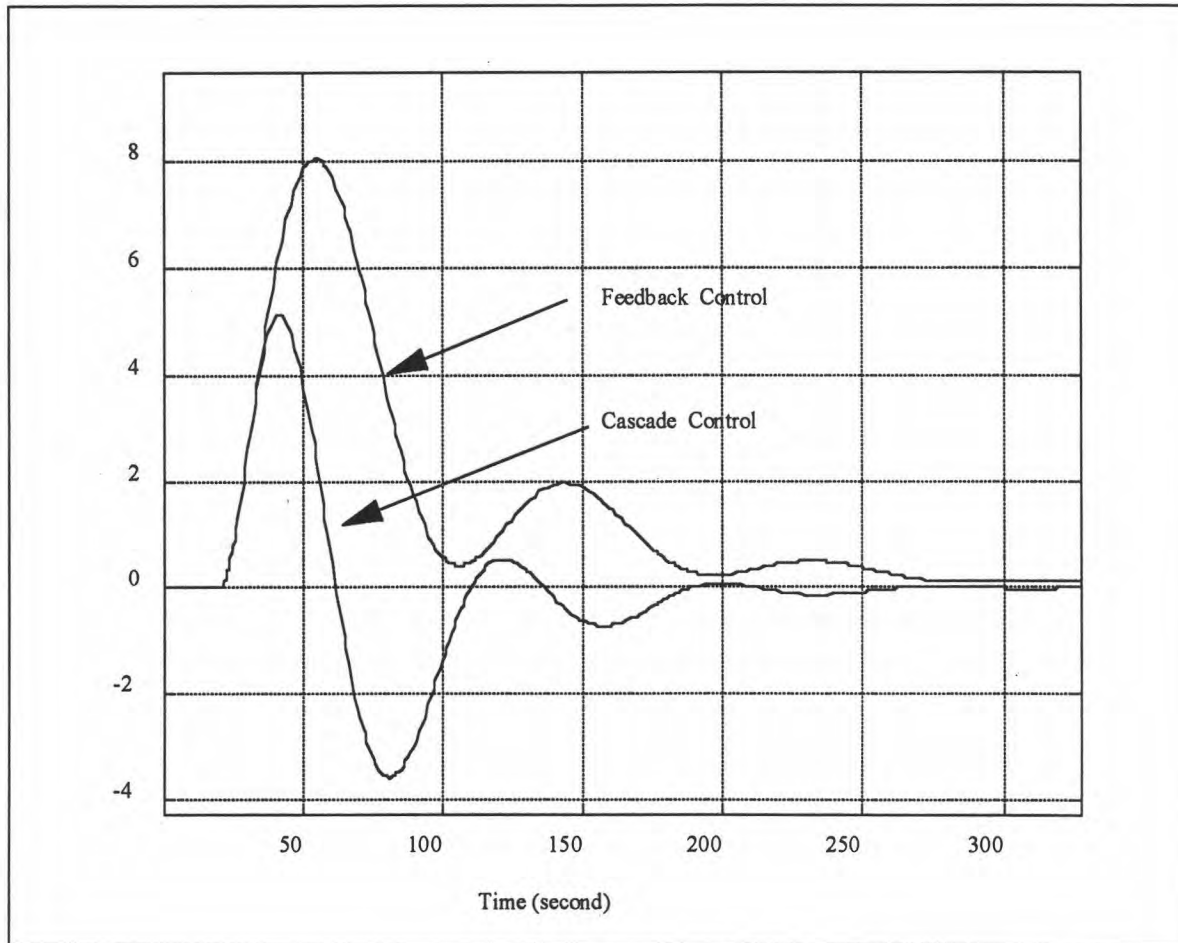
เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 5$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 5$

รูปที่ 7.2.8 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ



เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 7.5$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 7.5$

รูปที่ 7.2.9 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ



เงื่อนไขกระบวนการ
 $\tau_1 = 10, \theta_1 = 10$
 $\tau_2 = 10, \theta_2 = 10$

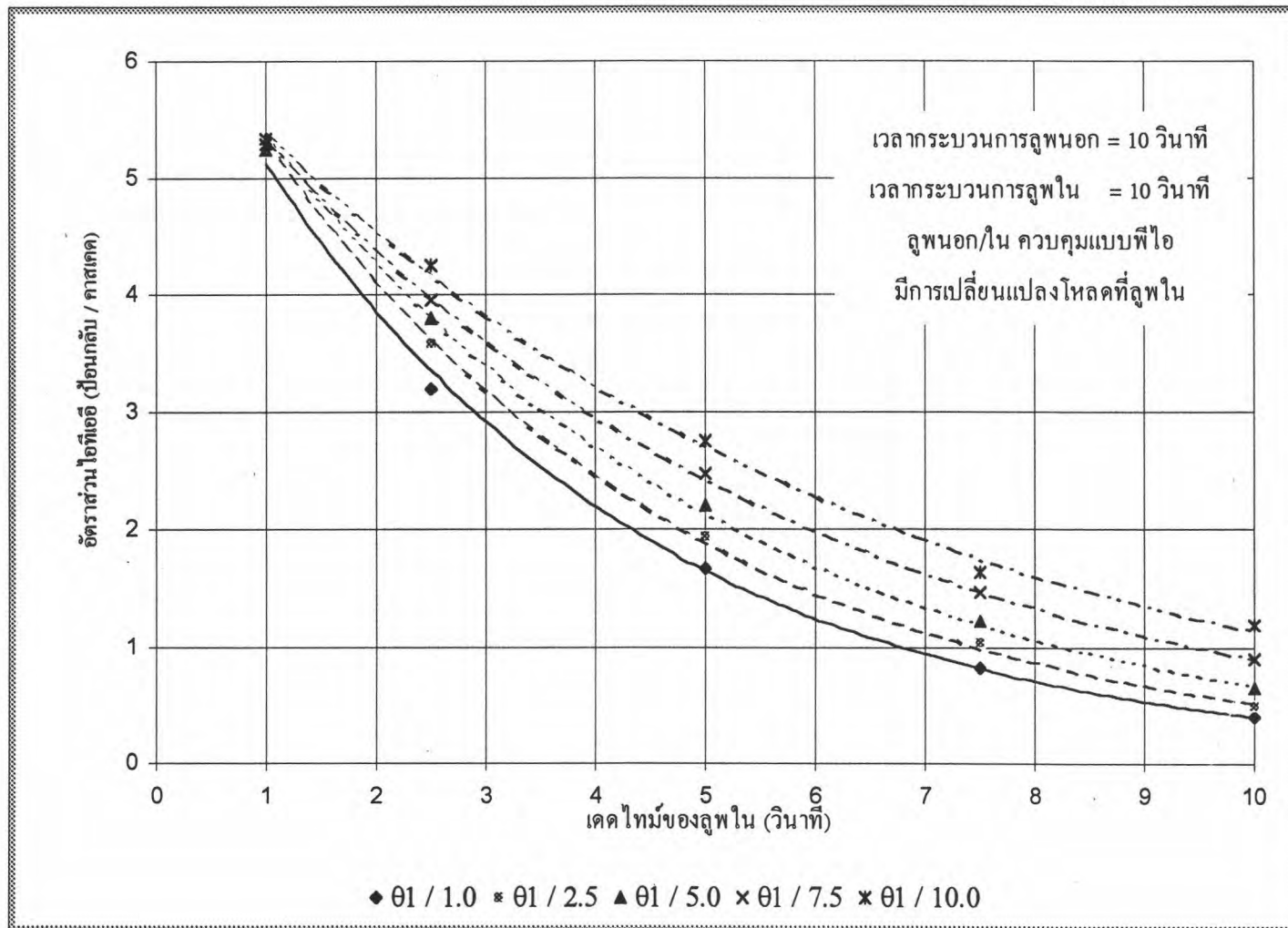
รูปที่ 7.2.10 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับแบบป้อนกลับในเงื่อนไขกระบวนการต่างๆ

ตารางที่ 7.2.2 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ จุดควบคุมคุณภาพในด้วยไอทีเออีกรณีเปลี่ยนเซตพอยท์

ลูพใน / ลูพนอก ควบคุมด้วยพีไอ และมีการเปลี่ยนโพลคของลูพในแบบเสถียร

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูพใน | | GP-ลูพนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูพใน | I-ลูพใน | P-ลูพนอก | I-ลูพนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 4.5000 | 5.155 | 4.8294 | 9.862 | 3.5500 | 2.655 | 10 | 1.0 | 10 | 1.0 | 1,680 | 320 | 170 | 200 |
| 2 | 3.0000 | 8.547 | 4.8294 | 9.862 | 2.4500 | 5.068 | 10 | 1.0 | 10 | 2.5 | 3,400 | 650 | 200 | 220 |
| 3 | 2.0000 | 14.925 | 4.8294 | 9.862 | 1.7000 | 9.524 | 10 | 1.0 | 10 | 5.0 | 7,000 | 1,300 | 250 | 260 |
| 4 | 1.5000 | 21.277 | 4.8294 | 9.862 | 1.3750 | 14.286 | 10 | 1.0 | 10 | 7.5 | 11,100 | 2,100 | 300 | 280 |
| 5 | 1.2000 | 27.027 | 4.8294 | 9.862 | 1.1750 | 19.120 | 10 | 1.0 | 10 | 10.0 | 16,000 | 3,000 | 280 | 310 |
| 6 | 3.2500 | 9.091 | 2.0863 | 10.111 | 2.1300 | 6.817 | 10 | 2.5 | 10 | 1.0 | 3,700 | 1,130 | 250 | 150 |
| 7 | 2.4000 | 13.055 | 2.0863 | 10.111 | 1.7750 | 9.372 | 10 | 2.5 | 10 | 2.5 | 5,900 | 1,650 | 280 | 170 |
| 8 | 1.7000 | 18.762 | 2.0863 | 10.111 | 1.4250 | 14.006 | 10 | 2.5 | 10 | 5.0 | 9,800 | 2,575 | 300 | 180 |
| 9 | 1.3500 | 25.000 | 2.0863 | 10.111 | 1.2250 | 18.762 | 10 | 2.5 | 10 | 7.5 | 14,250 | 3,600 | 280 | 190 |
| 10 | 1.1500 | 32.258 | 2.0863 | 10.111 | 1.1000 | 23.095 | 10 | 2.5 | 10 | 10.0 | 22,300 | 4,700 | 300 | 230 |
| 11 | 2.0000 | 15.798 | 1.1057 | 10.549 | 1.2500 | 1.764 | 10 | 5.0 | 10 | 1.0 | 7,450 | 4,000 | 250 | 180 |
| 12 | 1.6500 | 20.000 | 1.1057 | 10.549 | 1.1200 | 20.704 | 10 | 5.0 | 10 | 2.5 | 10,500 | 4,850 | 260 | 180 |
| 13 | 1.3000 | 26.110 | 1.1057 | 10.549 | 0.9750 | 25.641 | 10 | 5.0 | 10 | 5.0 | 15,800 | 6,300 | 250 | 180 |
| 14 | 1.1400 | 31.646 | 1.1057 | 10.549 | 0.8900 | 30.675 | 10 | 5.0 | 10 | 7.5 | 21,500 | 8,000 | 280 | 240 |
| 15 | 1.0000 | 37.037 | 1.1057 | 10.549 | 0.8250 | 35.714 | 10 | 5.0 | 10 | 10.0 | 27,500 | 9,700 | 300 | 280 |
| 16 | 1.5500 | 22.222 | 0.7627 | 11.038 | 0.7400 | 35.714 | 10 | 7.5 | 10 | 1.0 | 12,400 | 15,000 | 220 | 350 |
| 17 | 1.3700 | 26.110 | 0.7627 | 11.038 | 0.6750 | 37.594 | 10 | 7.5 | 10 | 2.5 | 16,000 | 15,500 | 240 | 380 |
| 18 | 1.1750 | 31.250 | 0.7627 | 11.038 | 0.6250 | 41.667 | 10 | 7.5 | 10 | 5.0 | 21,000 | 17,140 | 270 | 400 |
| 19 | 1.0500 | 38.023 | 0.7627 | 11.038 | 0.6000 | 45.872 | 10 | 7.5 | 10 | 7.5 | 28,000 | 19,050 | 300 | 420 |
| 20 | 0.9650 | 41.667 | 0.7627 | 11.038 | 0.5775 | 50.000 | 10 | 7.5 | 10 | 10.0 | 33,500 | 20,700 | 320 | 420 |
| 21 | 1.2500 | 28.329 | 0.5860 | 11.561 | 0.4300 | 58.140 | 10 | 10.0 | 10 | 1.0 | 18,000 | 45,350 | 320 | 600 |
| 22 | 1.1300 | 32.258 | 0.5860 | 11.561 | 0.4100 | 58.824 | 10 | 10.0 | 10 | 2.5 | 22,000 | 43,900 | 320 | 570 |
| 23 | 1.0550 | 37.453 | 0.5860 | 11.561 | 0.3900 | 59.880 | 10 | 10.0 | 10 | 5.0 | 28,000 | 42,800 | 320 | 550 |
| 24 | 0.9550 | 43.478 | 0.5860 | 11.561 | 0.3820 | 62.112 | 10 | 10.0 | 10 | 7.5 | 36,000 | 40,000 | 340 | 500 |
| 25 | 0.8500 | 50.000 | 0.5860 | 11.561 | 0.3785 | 64.516 | 10 | 10.0 | 10 | 10.0 | 45,500 | 38,300 | 350 | 450 |



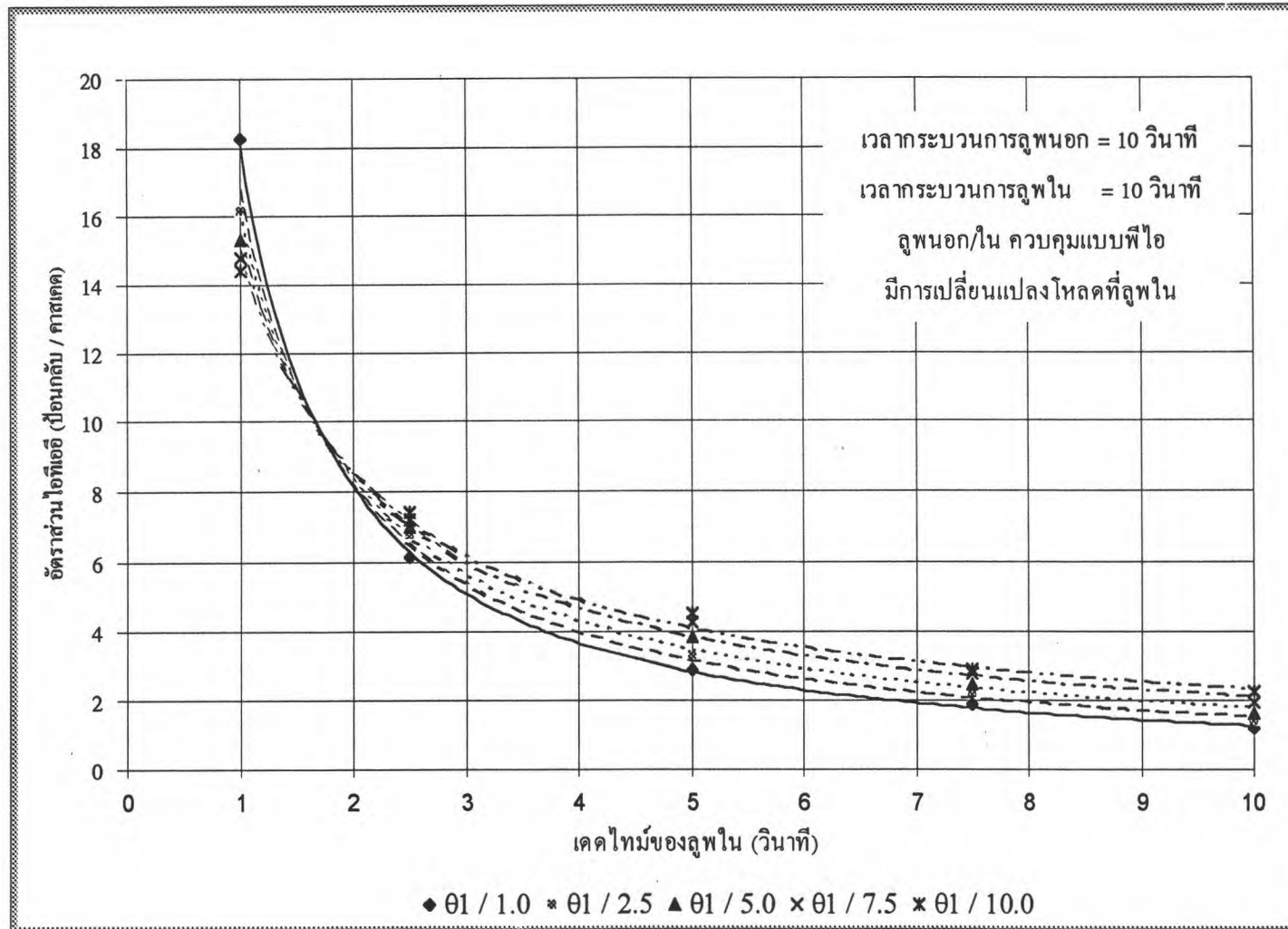
รูปที่ 7.2.11 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อจูนลูปในด้วยไอทีเอชกรณีเกิดการเปลี่ยนเซตพอยท์

ตารางที่ 7.2.3 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ จูนตัวควบคุมลูฟในด้วยไอทีเออีกรณีเปลี่ยนโหลด

ลูฟใน / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ และเกิดการเปลี่ยนโหลดของลูฟในแบบเสถียร

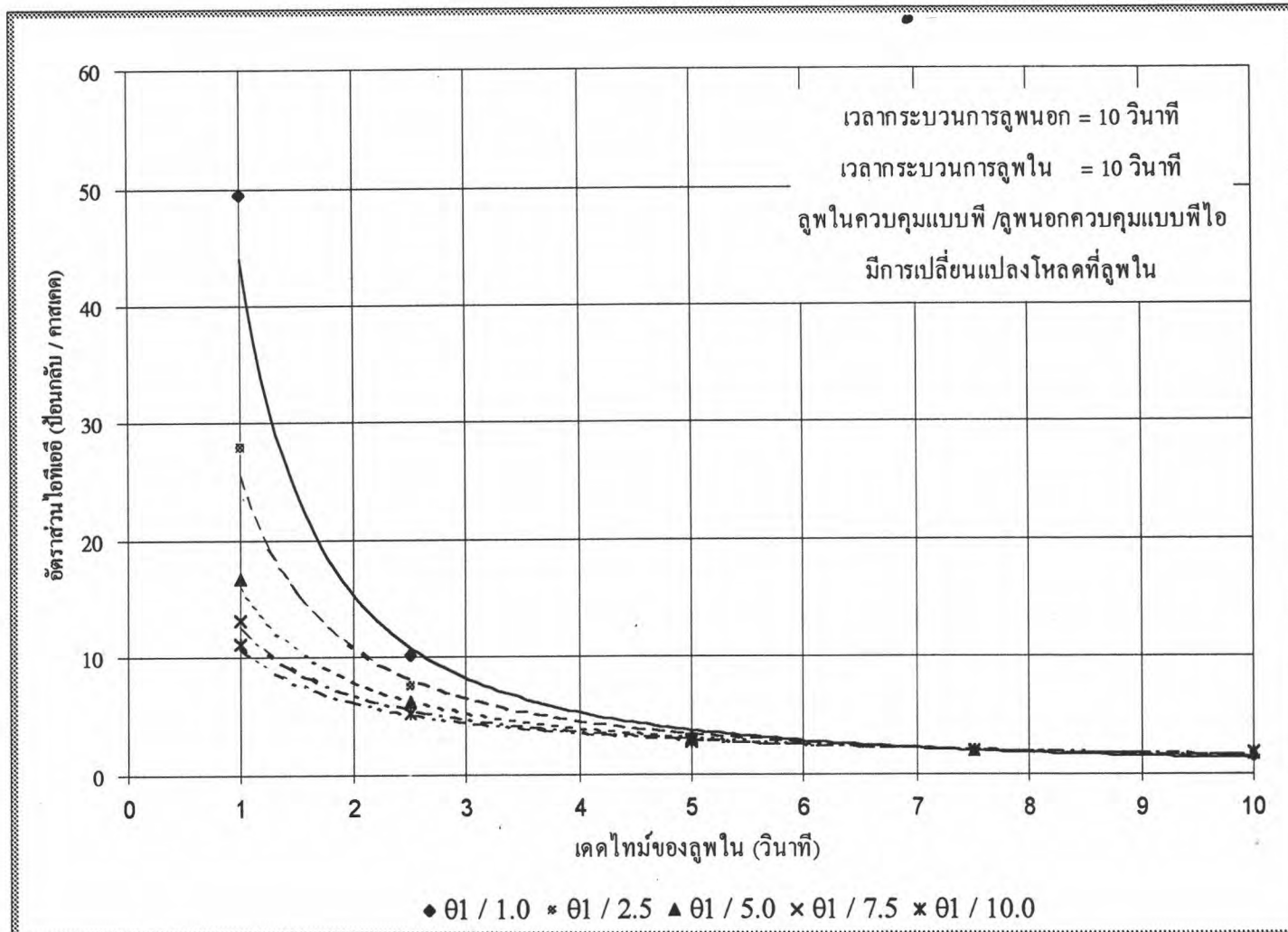
| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | I-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 4.5000 | 5.155 | 8.1469 | 3.0998 | 3.1000 | 2.143 | 10 | 1.0 | 10 | 1.0 | 1,680 | 92 | 170 | 60 |
| 2 | 3.0000 | 8.547 | 8.1469 | 3.0998 | 2.3500 | 4.545 | 10 | 1.0 | 10 | 2.5 | 3,400 | 210 | 200 | 80 |
| 3 | 2.0000 | 14.925 | 8.1469 | 3.0998 | 1.6500 | 9.372 | 10 | 1.0 | 10 | 5.0 | 7,000 | 470 | 250 | 120 |
| 4 | 1.5000 | 21.277 | 8.1469 | 3.0998 | 1.2500 | 14.286 | 10 | 1.0 | 10 | 7.5 | 11,100 | 750 | 300 | 150 |
| 5 | 1.2000 | 27.027 | 8.1469 | 3.0998 | 1.1000 | 19.608 | 10 | 1.0 | 10 | 10.0 | 16,000 | 1,075 | 280 | 210 |
| 6 | 3.2500 | 9.091 | 3.3282 | 5.7803 | 1.6000 | 6.124 | 10 | 2.5 | 10 | 1.0 | 3,700 | 600 | 250 | 110 |
| 7 | 2.4000 | 13.055 | 3.3282 | 5.7803 | 1.4500 | 8.569 | 10 | 2.5 | 10 | 2.5 | 5,900 | 870 | 280 | 130 |
| 8 | 1.7000 | 18.762 | 3.3282 | 5.7803 | 1.2500 | 13.038 | 10 | 2.5 | 10 | 5.0 | 9,800 | 1,400 | 300 | 150 |
| 9 | 1.3500 | 25.000 | 3.3282 | 5.7803 | 1.1100 | 17.668 | 10 | 2.5 | 10 | 7.5 | 14,250 | 1,980 | 280 | 150 |
| 10 | 1.1500 | 32.258 | 3.3282 | 5.7803 | 1.0000 | 23.095 | 10 | 2.5 | 10 | 10.0 | 22,300 | 2,700 | 300 | 200 |
| 11 | 2.0000 | 15.798 | 1.6908 | 9.2593 | 1.0000 | 13.699 | 10 | 5.0 | 10 | 1.0 | 7,450 | 2,600 | 250 | 140 |
| 12 | 1.6500 | 20.000 | 1.6908 | 9.2593 | 0.9500 | 16.667 | 10 | 5.0 | 10 | 2.5 | 10,500 | 3,200 | 260 | 140 |
| 13 | 1.3000 | 26.110 | 1.6908 | 9.2593 | 0.9000 | 21.459 | 10 | 5.0 | 10 | 5.0 | 15,800 | 4,100 | 250 | 170 |
| 14 | 1.1400 | 31.646 | 1.6908 | 9.2593 | 0.8500 | 26.110 | 10 | 5.0 | 10 | 7.5 | 21,500 | 5,050 | 280 | 210 |
| 15 | 1.0000 | 37.037 | 1.6908 | 9.2593 | 0.8000 | 30.030 | 10 | 5.0 | 10 | 10.0 | 27,500 | 6,100 | 300 | 180 |
| 16 | 1.5500 | 22.222 | 1.1378 | 12.1951 | 0.7500 | 24.038 | 10 | 7.5 | 10 | 1.0 | 12,400 | 6,600 | 220 | 200 |
| 17 | 1.3700 | 26.110 | 1.1378 | 12.1951 | 0.7250 | 26.596 | 10 | 7.5 | 10 | 2.5 | 16,000 | 7,200 | 240 | 210 |
| 18 | 1.1750 | 31.250 | 1.1378 | 12.1951 | 0.7000 | 30.675 | 10 | 7.5 | 10 | 5.0 | 21,000 | 8,500 | 270 | 220 |
| 19 | 1.0500 | 38.023 | 1.1378 | 12.1951 | 0.6825 | 34.965 | 10 | 7.5 | 10 | 7.5 | 28,000 | 10,000 | 300 | 240 |
| 20 | 0.9650 | 41.667 | 1.1378 | 12.1951 | 0.6750 | 39.063 | 10 | 7.5 | 10 | 10.0 | 33,500 | 11,600 | 320 | 260 |
| 21 | 1.2500 | 28.329 | 0.8590 | 14.8368 | 0.6200 | 35.714 | 10 | 10.0 | 10 | 1.0 | 18,000 | 14,800 | 320 | 300 |
| 22 | 1.1300 | 32.258 | 0.8590 | 14.8368 | 0.5900 | 37.453 | 10 | 10.0 | 10 | 2.5 | 22,000 | 15,300 | 320 | 300 |
| 23 | 1.0550 | 37.453 | 0.8590 | 14.8368 | 0.5900 | 41.667 | 10 | 10.0 | 10 | 5.0 | 28,000 | 17,200 | 320 | 300 |
| 24 | 0.9550 | 43.478 | 0.8590 | 14.8368 | 0.5800 | 42.918 | 10 | 10.0 | 10 | 7.5 | 36,000 | 18,500 | 340 | 300 |
| 25 | 0.8500 | 50.000 | 0.8590 | 14.8368 | 0.5650 | 50.000 | 10 | 10.0 | 10 | 10.0 | 45,500 | 20,200 | 350 | 320 |



รูปที่ 7.2.12 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อจูนดูพในด้วยไอทีเออีกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลง โหลด

ตารางที่ 7.2.4 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ
 เงื่อนไขกระบวนการ ลูฟในควบคุมด้วยพี / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ
 เกิดการเปลี่ยนโพลของลูฟในแบบเสถียร

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 4.5000 | 5.155 | 5.9557 | 3.5000 | 2.308 | 10 | 1.0 | 10 | 1.0 | 1,680 | 34 | 170 | 40 |
| 2 | 3.0000 | 8.547 | 5.9557 | 2.5000 | 4.545 | 10 | 1.0 | 10 | 2.5 | 3,400 | 122 | 200 | 78 |
| 3 | 2.0000 | 14.925 | 5.9557 | 1.7500 | 8.696 | 10 | 1.0 | 10 | 5.0 | 7,000 | 420 | 250 | 110 |
| 4 | 1.5000 | 21.277 | 5.9557 | 1.4100 | 13.333 | 10 | 1.0 | 10 | 7.5 | 11,100 | 840 | 300 | 140 |
| 5 | 1.2000 | 27.027 | 5.9557 | 1.1900 | 17.699 | 10 | 1.0 | 10 | 10.0 | 16,000 | 1,440 | 280 | 180 |
| 6 | 3.2500 | 9.091 | 2.2038 | 2.4750 | 5.128 | 10 | 2.5 | 10 | 1.0 | 3,700 | 470 | 250 | 90 |
| 7 | 2.4000 | 13.055 | 2.2038 | 2.0750 | 7.143 | 10 | 2.5 | 10 | 2.5 | 5,900 | 820 | 280 | 110 |
| 8 | 1.7000 | 18.762 | 2.2038 | 1.6900 | 10.638 | 10 | 2.5 | 10 | 5.0 | 9,800 | 1,600 | 300 | 145 |
| 9 | 1.3500 | 25.000 | 2.2038 | 1.4500 | 14.286 | 10 | 2.5 | 10 | 7.5 | 14,250 | 2,700 | 280 | 180 |
| 10 | 1.1500 | 32.258 | 2.2038 | 1.3000 | 17.699 | 10 | 2.5 | 10 | 10.0 | 22,300 | 3,850 | 300 | 210 |
| 11 | 2.0000 | 15.798 | 1.0388 | 2.2500 | 7.893 | 10 | 5.0 | 10 | 1.0 | 7,450 | 2,530 | 250 | 170 |
| 12 | 1.6500 | 20.000 | 1.0388 | 2.0250 | 9.524 | 10 | 5.0 | 10 | 2.5 | 10,500 | 3,450 | 260 | 180 |
| 13 | 1.3000 | 26.110 | 1.0388 | 1.7750 | 12.005 | 10 | 5.0 | 10 | 5.0 | 15,800 | 5,200 | 250 | 200 |
| 14 | 1.1400 | 31.646 | 1.0388 | 1.6250 | 14.641 | 10 | 5.0 | 10 | 7.5 | 21,500 | 7,350 | 280 | 250 |
| 15 | 1.0000 | 37.037 | 1.0388 | 1.5000 | 17.094 | 10 | 5.0 | 10 | 10.0 | 27,500 | 9,800 | 300 | 290 |
| 16 | 1.5500 | 22.222 | 0.6691 | 2.3000 | 9.372 | 10 | 7.5 | 10 | 1.0 | 12,400 | 6,250 | 220 | 180 |
| 17 | 1.3700 | 26.110 | 0.6691 | 2.1500 | 10.526 | 10 | 7.5 | 10 | 2.5 | 16,000 | 7,650 | 240 | 200 |
| 18 | 1.1750 | 31.250 | 0.6691 | 1.9750 | 12.500 | 10 | 7.5 | 10 | 5.0 | 21,000 | 10,250 | 270 | 240 |
| 19 | 1.0500 | 38.023 | 0.6691 | 1.8250 | 14.641 | 10 | 7.5 | 10 | 7.5 | 28,000 | 13,900 | 300 | 280 |
| 20 | 0.9650 | 41.667 | 0.6691 | 1.7500 | 16.393 | 10 | 7.5 | 10 | 10.0 | 33,500 | 17,000 | 320 | 320 |
| 21 | 1.2500 | 28.329 | 0.4897 | 2.4500 | 10.000 | 10 | 10.0 | 10 | 1.0 | 18,000 | 11,100 | 320 | 270 |
| 22 | 1.1300 | 32.258 | 0.4897 | 2.3000 | 10.917 | 10 | 10.0 | 10 | 2.5 | 22,000 | 12,800 | 320 | 300 |
| 23 | 1.0550 | 37.453 | 0.4897 | 2.1750 | 12.500 | 10 | 10.0 | 10 | 5.0 | 28,000 | 16,300 | 320 | 320 |
| 24 | 0.9550 | 43.478 | 0.4897 | 2.0500 | 13.966 | 10 | 10.0 | 10 | 7.5 | 36,000 | 20,050 | 340 | 330 |
| 25 | 0.8500 | 50.000 | 0.4897 | 1.9750 | 15.385 | 10 | 10.0 | 10 | 10.0 | 45,500 | 24,000 | 350 | 340 |



รูปที่ 7.2.13 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเตดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อจูนดูพในมีการควบคุมด้วยพี

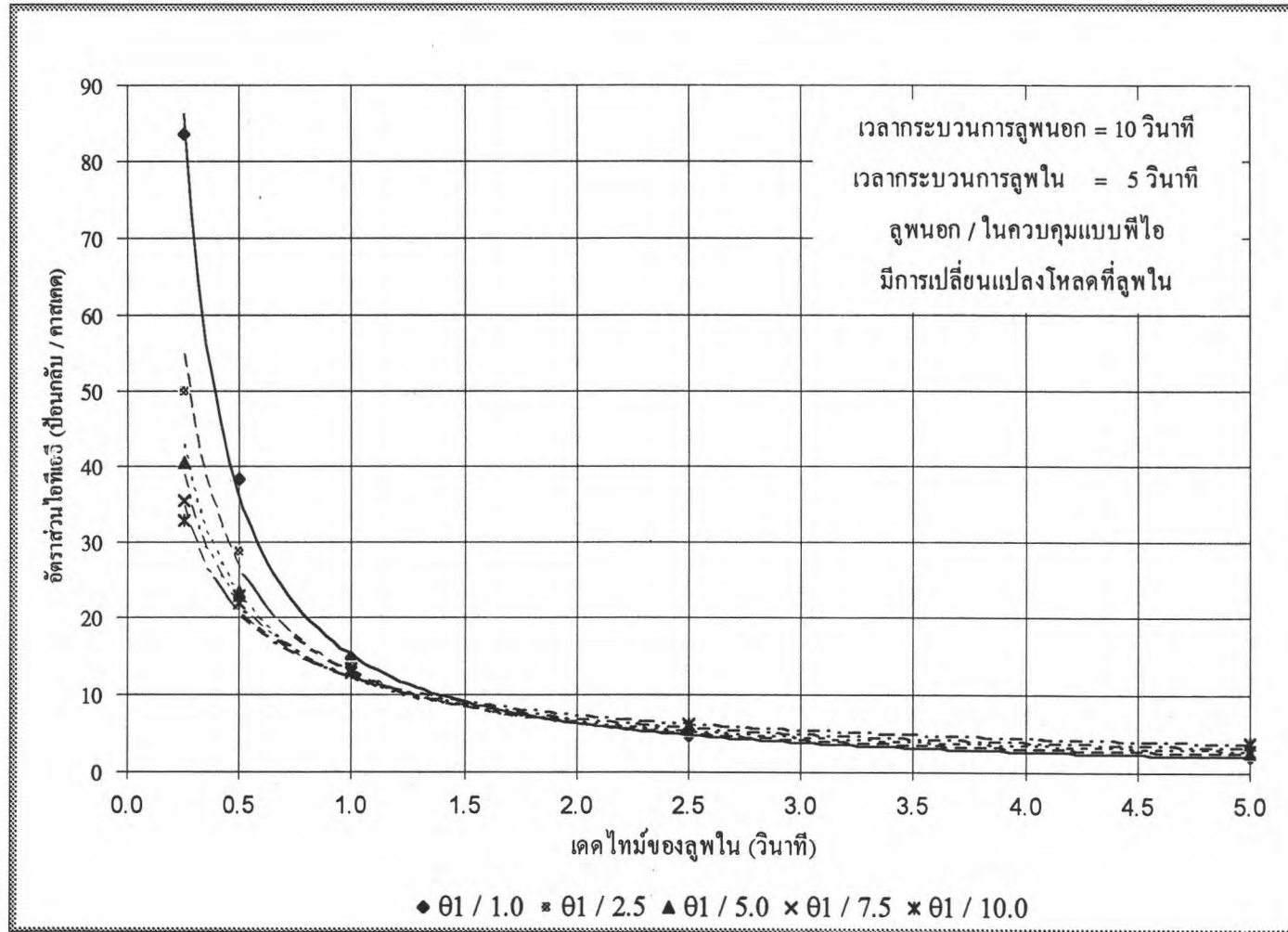
ตารางที่ 7.2.5 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ

จุดควบคุมลูฟในด้วยไอทีเออี กรณีเปลี่ยนโหลด

ลูฟใน / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ และเกิดการเปลี่ยนโหลดของลูฟในแบบเสถียร

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | I-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 6.4000 | 3.333 | 16.0361 | 0.964 | 6.2500 | 0.763 | 5.0 | 0.25 | 10.0 | 1.0 | 820 | 10 | 150 | 80 |
| 2 | 3.1000 | 7.143 | 16.0361 | 0.964 | 3.2000 | 2.803 | 5.0 | 0.25 | 10.0 | 2.5 | 2,050 | 41 | 160 | 90 |
| 3 | 1.8000 | 13.333 | 16.0361 | 0.964 | 1.8750 | 7.321 | 5.0 | 0.25 | 10.0 | 5.0 | 4,950 | 122 | 190 | 120 |
| 4 | 1.3500 | 18.692 | 16.0361 | 0.964 | 1.4000 | 12.500 | 5.0 | 0.25 | 10.0 | 7.5 | 8,000 | 225 | 210 | 150 |
| 5 | 1.1100 | 24.814 | 16.0361 | 0.964 | 1.1500 | 17.857 | 5.0 | 0.25 | 10.0 | 10.0 | 13,000 | 335 | 230 | 170 |
| 6 | 5.4000 | 3.948 | 8.1469 | 1.550 | 4.9000 | 1.141 | 5.0 | 0.5 | 10.0 | 1.0 | 1,000 | 26 | 180 | 80 |
| 7 | 2.9000 | 7.893 | 8.1469 | 1.550 | 2.9500 | 3.244 | 5.0 | 0.5 | 10.0 | 2.5 | 2,400 | 83 | 200 | 100 |
| 8 | 1.7500 | 13.889 | 8.1469 | 1.550 | 1.8250 | 7.893 | 5.0 | 0.5 | 10.0 | 5.0 | 5,250 | 225 | 220 | 115 |
| 9 | 1.3250 | 19.342 | 8.1469 | 1.550 | 1.3800 | 13.038 | 5.0 | 0.5 | 10.0 | 7.5 | 8,700 | 380 | 260 | 180 |
| 10 | 1.1000 | 25.000 | 8.1469 | 1.550 | 1.1600 | 18.416 | 5.0 | 0.5 | 10.0 | 10.0 | 13,000 | 590 | 260 | 200 |
| 11 | 4.2000 | 4.695 | 4.1389 | 2.483 | 3.3000 | 2.000 | 5.0 | 1.0 | 10.0 | 1.0 | 1,250 | 85 | 160 | 60 |
| 12 | 2.5000 | 8.826 | 4.1389 | 2.483 | 2.5000 | 4.286 | 5.0 | 1.0 | 10.0 | 2.5 | 2,600 | 190 | 180 | 74 |
| 13 | 1.6250 | 14.641 | 4.1389 | 2.483 | 1.7500 | 8.569 | 5.0 | 1.0 | 10.0 | 5.0 | 5,600 | 430 | 220 | 90 |
| 14 | 1.2500 | 20.704 | 4.1389 | 2.483 | 1.3500 | 13.643 | 5.0 | 1.0 | 10.0 | 7.5 | 9,700 | 720 | 250 | 110 |
| 15 | 1.0700 | 26.110 | 4.1389 | 2.483 | 1.1500 | 20.000 | 5.0 | 1.0 | 10.0 | 10.0 | 14,000 | 1,080 | 300 | 140 |
| 16 | 2.5250 | 8.826 | 1.6908 | 4.630 | 1.7250 | 5.882 | 5.0 | 2.5 | 10.0 | 1.0 | 2,740 | 580 | 150 | 60 |
| 17 | 1.9000 | 12.500 | 1.6908 | 4.630 | 1.5500 | 8.569 | 5.0 | 2.5 | 10.0 | 2.5 | 4,500 | 850 | 180 | 95 |
| 18 | 1.3750 | 18.762 | 1.6908 | 4.630 | 1.3000 | 13.643 | 5.0 | 2.5 | 10.0 | 5.0 | 8,300 | 1,370 | 200 | 110 |
| 19 | 1.1250 | 25.000 | 1.6908 | 4.630 | 1.1750 | 18.762 | 5.0 | 2.5 | 10.0 | 7.5 | 13,200 | 2,125 | 260 | 135 |
| 20 | 0.9750 | 30.030 | 1.6908 | 4.630 | 1.0250 | 25.000 | 5.0 | 2.5 | 10.0 | 10.0 | 17,800 | 2,900 | 300 | 200 |
| 21 | 1.6000 | 14.859 | 0.8590 | 7.418 | 0.9750 | 15.798 | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 1.0 | 5,700 | 2,800 | 180 | 110 |
| 22 | 1.3750 | 18.519 | 0.8590 | 7.418 | 0.9250 | 18.182 | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 2.5 | 8,000 | 3,400 | 180 | 125 |
| 23 | 1.1250 | 23.981 | 0.8590 | 7.418 | 0.8750 | 23.095 | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 5.0 | 12,000 | 4,600 | 200 | 140 |
| 24 | 0.9750 | 30.030 | 0.8590 | 7.418 | 0.8200 | 28.571 | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 7.5 | 17,300 | 5,800 | 230 | 170 |
| 25 | 0.8800 | 34.483 | 0.8590 | 7.418 | 0.5167 | 34.130 | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 10.0 | 22,300 | 5,900 | 300 | 180 |



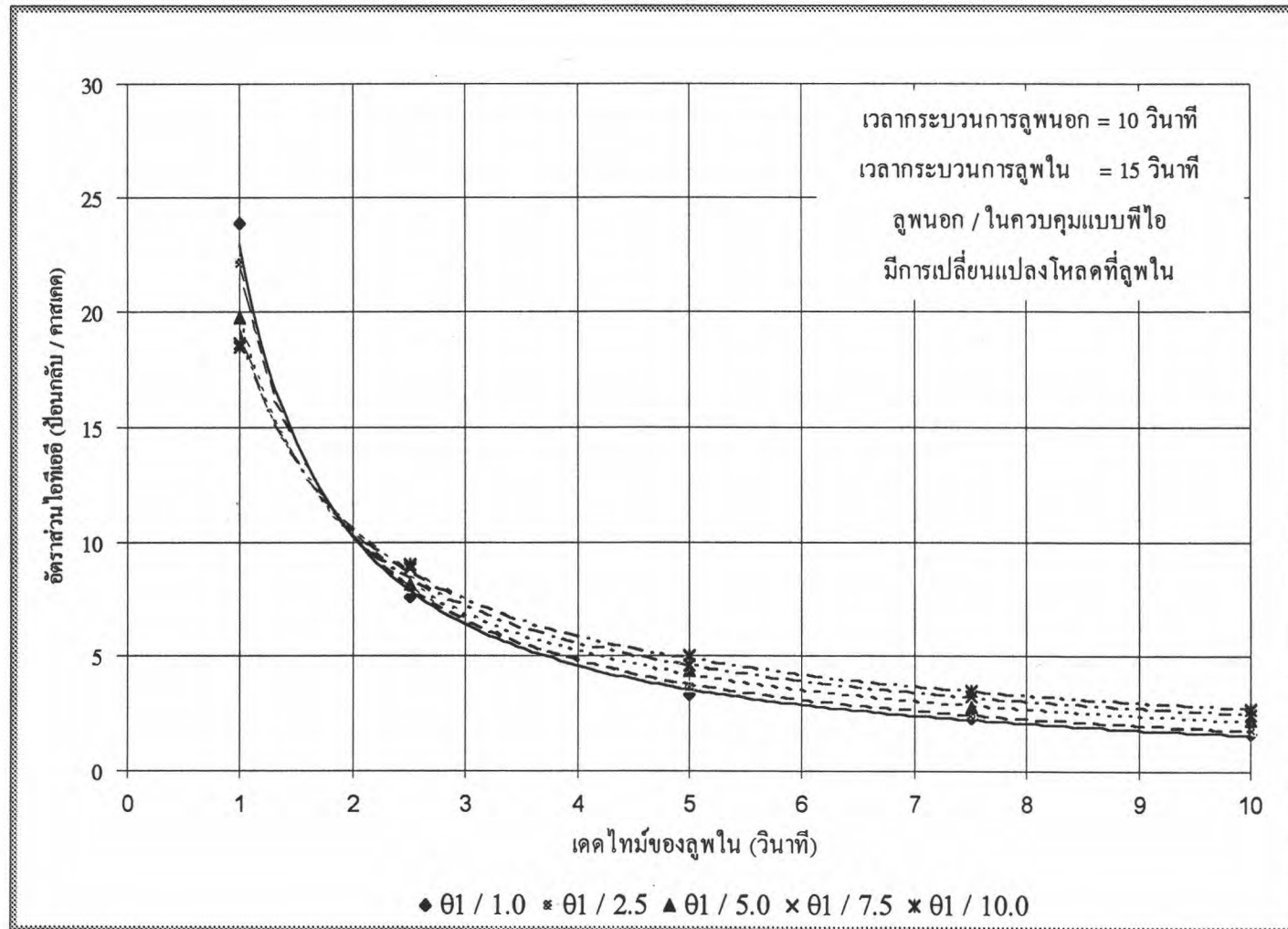
รูปที่ 7.2.14 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อจูนลูฟในลดเวลาของกระบวนการเหลือ 5 วินาที

ตารางที่ 7.2.6 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ จูนตัวควบคุมลูฟในด้วยไอทีเออี กรณีเปลี่ยนโหลด

ลูฟใน / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ และเกิดการเปลี่ยนโหลดของลูฟในแบบเสด็จ

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | I-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 6.6000 | 5.556 | 12.1069 | 3.530 | 3.0500 | 2.206 | 15.0 | 1.00 | 10.0 | 1.0 | 2,320 | 97 | 250 | 200 |
| 2 | 3.0000 | 9.681 | 12.1069 | 3.530 | 2.3000 | 4.525 | 15.0 | 1.00 | 10.0 | 2.5 | 4,650 | 210 | 280 | 250 |
| 3 | 2.4500 | 16.207 | 12.1069 | 3.530 | 1.6000 | 9.149 | 15.0 | 1.00 | 10.0 | 5.0 | 9,000 | 455 | 320 | 250 |
| 4 | 1.8500 | 22.422 | 12.1069 | 3.530 | 1.2700 | 14.286 | 15.0 | 1.00 | 10.0 | 7.5 | 14,200 | 760 | 340 | 280 |
| 5 | 1.5000 | 28.571 | 12.1069 | 3.530 | 1.0900 | 19.608 | 15.0 | 1.00 | 10.0 | 10.0 | 20,000 | 1,080 | 340 | 300 |
| 6 | 3.9500 | 9.681 | 4.9459 | 6.579 | 1.5400 | 6.250 | 15.0 | 2.5 | 10.0 | 1.0 | 4,550 | 600 | 250 | 180 |
| 7 | 2.9000 | 13.643 | 4.9459 | 6.579 | 1.4100 | 8.741 | 15.0 | 2.5 | 10.0 | 2.5 | 7,150 | 890 | 280 | 250 |
| 8 | 2.0200 | 19.724 | 4.9459 | 6.579 | 0.1225 | 13.280 | 15.0 | 2.5 | 10.0 | 5.0 | 11,650 | 1,420 | 340 | 250 |
| 9 | 1.6100 | 26.316 | 4.9459 | 6.579 | 1.0900 | 17.762 | 15.0 | 2.5 | 10.0 | 7.5 | 17,800 | 2,000 | 340 | 250 |
| 10 | 1.3700 | 31.949 | 4.9459 | 6.579 | 0.9800 | 22.573 | 15.0 | 2.5 | 10.0 | 10.0 | 23,800 | 2,620 | 380 | 250 |
| 11 | 2.4400 | 16.234 | 2.5127 | 10.549 | 0.9350 | 14.430 | 15.0 | 5.0 | 10.0 | 1.0 | 9,000 | 2,710 | 300 | 180 |
| 12 | 2.0250 | 19.881 | 2.5127 | 10.549 | 0.9100 | 16.750 | 15.0 | 5.0 | 10.0 | 2.5 | 11,800 | 3,200 | 300 | 180 |
| 13 | 1.6200 | 26.316 | 2.5127 | 10.549 | 0.8700 | 20.833 | 15.0 | 5.0 | 10.0 | 5.0 | 18,000 | 4,140 | 340 | 220 |
| 14 | 1.3700 | 31.949 | 2.5127 | 10.549 | 0.8400 | 25.189 | 15.0 | 5.0 | 10.0 | 7.5 | 23,850 | 5,150 | 380 | 270 |
| 15 | 1.2000 | 37.453 | 2.5127 | 10.549 | 81.0000 | 29.762 | 15.0 | 5.0 | 10.0 | 10.0 | 30,700 | 6,150 | 410 | 270 |
| 16 | 1.8500 | 22.573 | 1.6908 | 13.889 | 0.7400 | 23.256 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 1.0 | 14,500 | 6,350 | 270 | 180 |
| 17 | 1.6250 | 26.110 | 1.6908 | 13.889 | 0.7150 | 25.445 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 2.5 | 17,700 | 7,100 | 320 | 220 |
| 18 | 1.3700 | 31.949 | 1.6908 | 13.889 | 0.7000 | 29.412 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 5.0 | 23,850 | 8,500 | 320 | 270 |
| 19 | 1.2000 | 38.023 | 1.6908 | 13.889 | 0.6900 | 33.113 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 7.5 | 31,700 | 9,680 | 390 | 270 |
| 20 | 1.0800 | 42.918 | 1.6908 | 13.889 | 0.6825 | 37.453 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 10.0 | 38,125 | 11,000 | 400 | 270 |
| 21 | 1.5000 | 28.818 | 1.2765 | 16.892 | 0.6400 | 33.333 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | 1.0 | 20,700 | 12,575 | 350 | 300 |
| 22 | 1.3600 | 31.949 | 1.2765 | 16.892 | 0.6200 | 35.336 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | 2.5 | 23,950 | 13,170 | 380 | 300 |
| 23 | 1.2000 | 38.023 | 1.2765 | 16.892 | 0.6000 | 38.911 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | 5.0 | 31,650 | 14,350 | 400 | 300 |
| 24 | 1.0800 | 43.478 | 1.2765 | 16.892 | 0.5950 | 42.918 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | 7.5 | 39,150 | 16,075 | 400 | 320 |
| 25 | 0.9900 | 49.261 | 1.2765 | 16.892 | 0.5900 | 46.296 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 47,875 | 17,700 | 400 | 320 |



รูปที่ 7.2.15 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อจูนดูพในเพิ่มเวลาของกระบวนการเป็น 15 วินาที

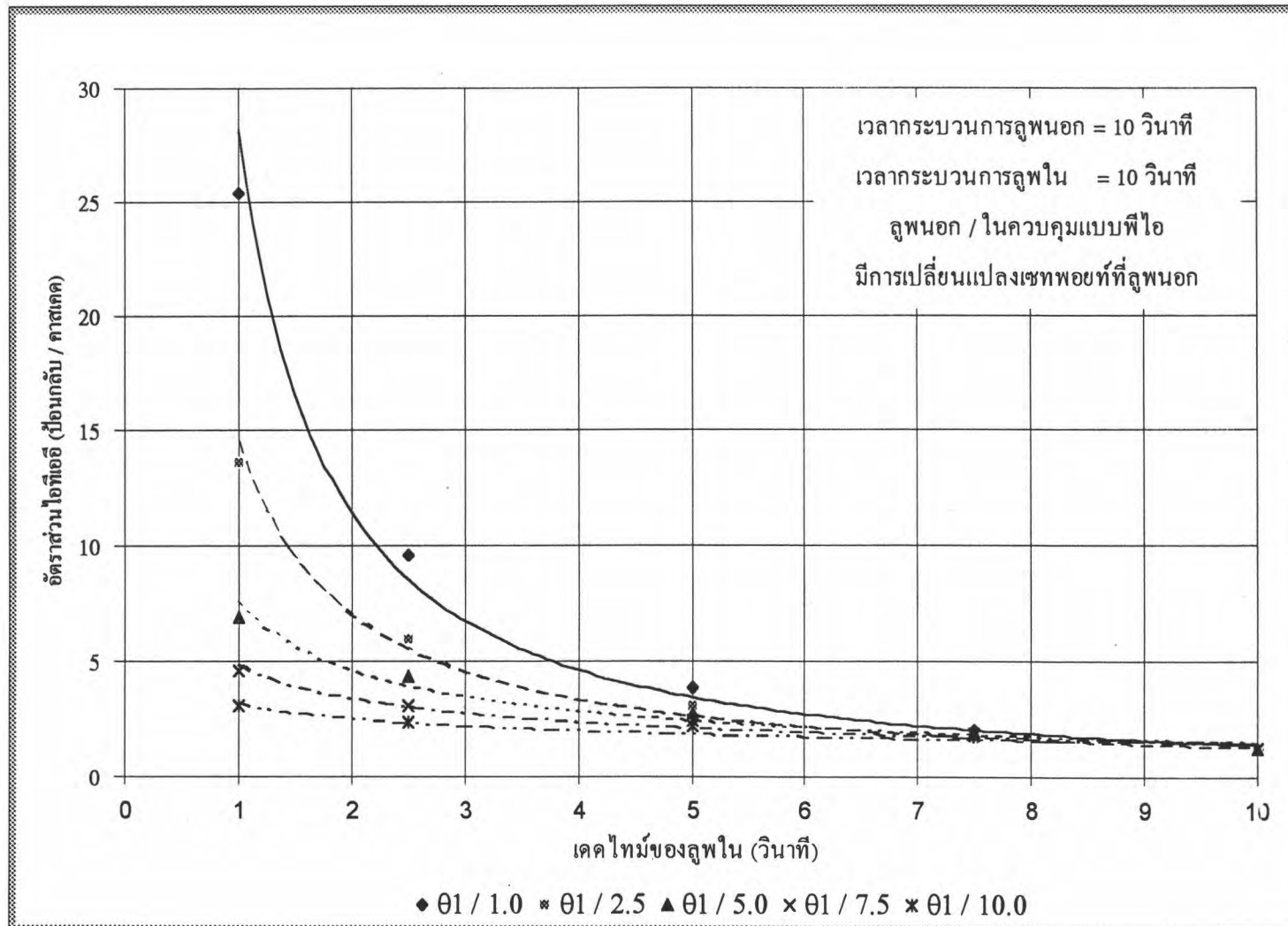
ตารางที่ 7.2.7 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ

จุดควบคุมลูฟในด้วยไอทีเออี กรณีเปลี่ยนโหลด

ลูฟใน / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ เกิดการเปลี่ยนเวทพอยท์ของลูฟนอกแบบเสถียร

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | I-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 4.5000 | 5.155 | 8.1469 | 3.100 | 3.1000 | 2.143 | 10 | 1.0 | 10 | 1.0 | 7,000 | 300 | 200 | 80 |
| 2 | 3.0000 | 8.547 | 8.1469 | 3.100 | 2.3500 | 4.545 | 10 | 1.0 | 10 | 2.5 | 8,200 | 710 | 200 | 80 |
| 3 | 2.0000 | 14.925 | 8.1469 | 3.100 | 1.6500 | 9.372 | 10 | 1.0 | 10 | 5.0 | 10,200 | 1,650 | 220 | 80 |
| 4 | 1.5000 | 21.277 | 8.1469 | 3.100 | 1.2500 | 14.286 | 10 | 1.0 | 10 | 7.5 | 11,500 | 2,750 | 230 | 105 |
| 5 | 1.2000 | 27.027 | 8.1469 | 3.100 | 1.1000 | 19.608 | 10 | 1.0 | 10 | 10.0 | 12,800 | 4,700 | 250 | 110 |
| 6 | 3.2500 | 9.091 | 3.3282 | 5.780 | 1.6000 | 6.124 | 10 | 2.5 | 10 | 1.0 | 9,000 | 820 | 200 | 80 |
| 7 | 2.4000 | 13.055 | 3.3282 | 5.780 | 1.4500 | 8.569 | 10 | 2.5 | 10 | 2.5 | 9,500 | 1,190 | 220 | 80 |
| 8 | 1.7000 | 18.762 | 3.3282 | 5.780 | 1.2500 | 13.038 | 10 | 2.5 | 10 | 5.0 | 11,200 | 2,250 | 250 | 100 |
| 9 | 1.3500 | 25.000 | 3.3282 | 5.780 | 1.1100 | 17.668 | 10 | 2.5 | 10 | 7.5 | 12,800 | 3,800 | 280 | 120 |
| 10 | 1.1500 | 32.258 | 3.3282 | 5.780 | 1.0000 | 23.095 | 10 | 2.5 | 10 | 10.0 | 15,700 | 5,700 | 310 | 150 |
| 11 | 2.0000 | 15.798 | 1.6908 | 9.259 | 1.0000 | 13.699 | 10 | 5.0 | 10 | 1.0 | 10,000 | 2,600 | 250 | 100 |
| 12 | 1.6500 | 20.000 | 1.6908 | 9.259 | 0.9500 | 16.667 | 10 | 5.0 | 10 | 2.5 | 10,100 | 2,950 | 250 | 110 |
| 13 | 1.3000 | 26.110 | 1.6908 | 9.259 | 0.9000 | 21.459 | 10 | 5.0 | 10 | 5.0 | 11,800 | 4,250 | 270 | 115 |
| 14 | 1.1400 | 31.646 | 1.6908 | 9.259 | 0.8500 | 26.110 | 10 | 5.0 | 10 | 7.5 | 14,800 | 6,000 | 300 | 130 |
| 15 | 1.0000 | 37.037 | 1.6908 | 9.259 | 0.8000 | 30.030 | 10 | 5.0 | 10 | 10.0 | 17,500 | 8,000 | 300 | 150 |
| 16 | 1.5500 | 22.222 | 1.1378 | 12.195 | 0.7500 | 24.038 | 10 | 7.5 | 10 | 1.0 | 12,600 | 6,100 | 270 | 170 |
| 17 | 1.3700 | 26.110 | 1.1378 | 12.195 | 0.7250 | 26.596 | 10 | 7.5 | 10 | 2.5 | 13,500 | 7,400 | 270 | 170 |
| 18 | 1.1750 | 31.250 | 1.1378 | 12.195 | 0.7000 | 30.675 | 10 | 7.5 | 10 | 5.0 | 15,800 | 7,900 | 270 | 170 |
| 19 | 1.0500 | 38.023 | 1.1378 | 12.195 | 0.6825 | 34.965 | 10 | 7.5 | 10 | 7.5 | 19,000 | 10,000 | 300 | 170 |
| 20 | 0.9650 | 41.667 | 1.1378 | 12.195 | 0.6750 | 39.063 | 10 | 7.5 | 10 | 10.0 | 22,500 | 12,500 | 300 | 200 |
| 21 | 1.2500 | 28.329 | 0.8590 | 14.837 | 0.6200 | 35.714 | 10 | 10.0 | 10 | 1.0 | 14,800 | 12,000 | 310 | 250 |
| 22 | 1.1300 | 32.258 | 0.8590 | 14.837 | 0.5900 | 37.453 | 10 | 10.0 | 10 | 2.5 | 15,000 | 12,200 | 310 | 250 |
| 23 | 1.0550 | 37.453 | 0.8590 | 14.837 | 0.5900 | 41.667 | 10 | 10.0 | 10 | 5.0 | 19,500 | 15,000 | 310 | 260 |
| 24 | 0.9550 | 43.478 | 0.8590 | 14.837 | 0.5800 | 42.918 | 10 | 10.0 | 10 | 7.5 | 22,500 | 17,500 | 350 | 270 |
| 25 | 0.8500 | 50.000 | 0.8590 | 14.837 | 0.5650 | 50.000 | 10 | 10.0 | 10 | 10.0 | 27,000 | 21,500 | 350 | 300 |



รูปที่ 7.2.16 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเซตพอยท์ที่ลูปนอก

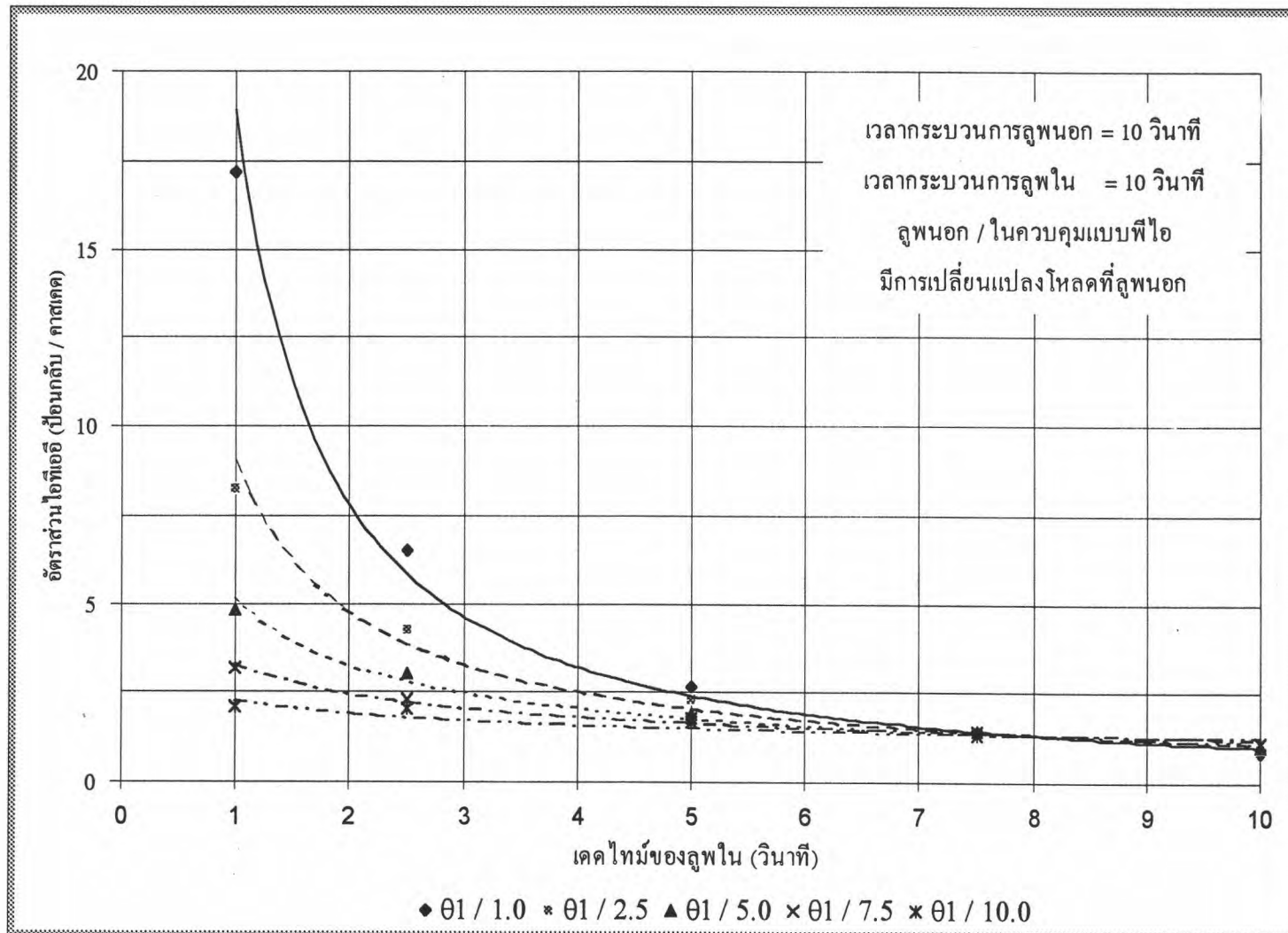
ตารางที่ 7.2.8 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ

จุนตัวควบคุมลูฟในด้วยไอทีเออี กรณีเปลี่ยนโหลด

ลูฟใน / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ และเกิดการเปลี่ยนโหลดของลูฟนอกแบบเสด็จ

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูฟใน | | GP-ลูฟนอก | | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | I-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | τ_2 | θ_2 | τ_1 | θ_1 | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 4.5000 | 5.155 | 8.1469 | 3.100 | 3.1000 | 2.143 | 10 | 1.0 | 10 | 1.0 | 2,750 | 160 | 180 | 30 |
| 2 | 3.0000 | 8.547 | 8.1469 | 3.100 | 2.3500 | 4.545 | 10 | 1.0 | 10 | 2.5 | 4,750 | 600 | 200 | 55 |
| 3 | 2.0000 | 14.925 | 8.1469 | 3.100 | 1.6500 | 9.372 | 10 | 1.0 | 10 | 5.0 | 8,000 | 2,050 | 220 | 80 |
| 4 | 1.5000 | 21.277 | 8.1469 | 3.100 | 1.2500 | 14.286 | 10 | 1.0 | 10 | 7.5 | 11,100 | 4,050 | 240 | 110 |
| 5 | 1.2000 | 27.027 | 8.1469 | 3.100 | 1.1000 | 19.608 | 10 | 1.0 | 10 | 10.0 | 14,800 | 7,100 | 260 | 140 |
| 6 | 3.2500 | 9.091 | 3.3282 | 5.780 | 1.6000 | 6.124 | 10 | 2.5 | 10 | 1.0 | 4,900 | 750 | 200 | 50 |
| 7 | 2.4000 | 13.055 | 3.3282 | 5.780 | 1.4500 | 8.569 | 10 | 2.5 | 10 | 2.5 | 6,700 | 1,400 | 200 | 60 |
| 8 | 1.7000 | 18.762 | 3.3282 | 5.780 | 1.2500 | 13.038 | 10 | 2.5 | 10 | 5.0 | 9,800 | 3,100 | 210 | 80 |
| 9 | 1.3500 | 25.000 | 3.3282 | 5.780 | 1.1100 | 17.668 | 10 | 2.5 | 10 | 7.5 | 13,500 | 5,400 | 250 | 120 |
| 10 | 1.1500 | 32.258 | 3.3282 | 5.780 | 1.0000 | 23.095 | 10 | 2.5 | 10 | 10.0 | 18,500 | 9,000 | 280 | 150 |
| 11 | 2.0000 | 15.798 | 1.6908 | 9.259 | 1.0000 | 13.699 | 10 | 5.0 | 10 | 1.0 | 7,150 | 2,700 | 220 | 110 |
| 12 | 1.6500 | 20.000 | 1.6908 | 9.259 | 0.9500 | 16.667 | 10 | 5.0 | 10 | 2.5 | 9,000 | 3,900 | 250 | 110 |
| 13 | 1.3000 | 26.110 | 1.6908 | 9.259 | 0.9000 | 21.459 | 10 | 5.0 | 10 | 5.0 | 12,600 | 6,600 | 290 | 150 |
| 14 | 1.1400 | 31.646 | 1.6908 | 9.259 | 0.8500 | 26.110 | 10 | 5.0 | 10 | 7.5 | 17,700 | 10,000 | 320 | 160 |
| 15 | 1.0000 | 37.037 | 1.6908 | 9.259 | 0.8000 | 30.030 | 10 | 5.0 | 10 | 10.0 | 22,500 | 13,300 | 340 | 220 |
| 16 | 1.5500 | 22.222 | 1.1378 | 12.195 | 0.7500 | 24.038 | 10 | 7.5 | 10 | 1.0 | 10,300 | 7,100 | 250 | 170 |
| 17 | 1.3700 | 26.110 | 1.1378 | 12.195 | 0.7250 | 26.596 | 10 | 7.5 | 10 | 2.5 | 12,900 | 9,000 | 280 | 200 |
| 18 | 1.1750 | 31.250 | 1.1378 | 12.195 | 0.7000 | 30.675 | 10 | 7.5 | 10 | 5.0 | 17,100 | 12,100 | 320 | 250 |
| 19 | 1.0500 | 38.023 | 1.1378 | 12.195 | 0.6825 | 34.965 | 10 | 7.5 | 10 | 7.5 | 23,750 | 16,250 | 340 | 250 |
| 20 | 0.9650 | 41.667 | 1.1378 | 12.195 | 0.6750 | 39.063 | 10 | 7.5 | 10 | 10.0 | 27,500 | 20,500 | 380 | 260 |
| 21 | 1.2500 | 28.329 | 0.8590 | 14.837 | 0.6200 | 35.714 | 10 | 10.0 | 10 | 1.0 | 13,200 | 15,000 | 280 | 250 |
| 22 | 1.1300 | 32.258 | 0.8590 | 14.837 | 0.5900 | 37.453 | 10 | 10.0 | 10 | 2.5 | 16,000 | 16,500 | 300 | 270 |
| 23 | 1.0550 | 37.453 | 0.8590 | 14.837 | 0.5900 | 41.667 | 10 | 10.0 | 10 | 5.0 | 21,900 | 21,100 | 300 | 300 |
| 24 | 0.9550 | 43.478 | 0.8590 | 14.837 | 0.5800 | 42.918 | 10 | 10.0 | 10 | 7.5 | 28,000 | 25,000 | 310 | 300 |
| 25 | 0.8500 | 50.000 | 0.8590 | 14.837 | 0.5650 | 50.000 | 10 | 10.0 | 10 | 10.0 | 35,500 | 31,300 | 320 | 300 |



รูปที่ 7.2.17 การเปรียบเทียบการควบคุมคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่ลูฟนอก

ตารางที่ 7.2.9 เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับ

เงื่อนไขกระบวนการ

จูนตัวควบคุมลูฟในด้วยไอทีเออีกรณีเปลี่ยนโหลด

ลูฟใน / ลูฟนอก ควบคุมด้วยพีไอ โดยลูฟนอกมีอันดับเป็น 4

เกิดการเปลี่ยนโหลดของลูฟในแบบเสด็จ

| ครั้งที่ | ป้อนกลับ | | คาสเคด | | | | GP-ลูฟใน | GP-ลูฟนอก | ไอทีเออี | | เวลาเข้าสู่ SS | |
|----------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|-------------------|---------------------|----------|--------|----------------|--------|
| | P | I | P-ลูฟใน | I-ลูฟใน | P-ลูฟนอก | I-ลูฟนอก | | | ป้อนกลับ | คาสเคด | ป้อนกลับ | คาสเคด |
| 1 | 1.6500 | 7.3153 | 4.1389 | 1.5499 | 0.8750 | 6.2500 | $\frac{1}{5S+1}$ | $\frac{1}{(S+1)^4}$ | 1,420 | 180 | 100 | 55 |
| 2 | 2.6000 | 5.7703 | 8.1469 | 3.0998 | 0.9000 | 6.2500 | $\frac{1}{10S+1}$ | $\frac{1}{(S+1)^4}$ | 1,200 | 225 | 110 | 90 |
| 3 | 3.5750 | 4.7619 | 12.1069 | 3.5298 | 0.8750 | 6.2500 | $\frac{1}{15S+1}$ | $\frac{1}{(S+1)^4}$ | 1,030 | 260 | 140 | 120 |



ประวัติผู้เขียน

นายวัลลภ แยมเหมือน เกิดเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2501 ที่อำเภอ อินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสมุทรศาสตร์สกายเคมี (Physical and Chemical Oceanography) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2522 เมื่อจบการศึกษาได้ทำงานให้แก่ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จนถึงปี พ.ศ. 2534 จึงได้ลาออก และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในภาคนอกเวลาราชการในปีการศึกษา 2534 ในขณะที่เดียวกันทำงานให้แก่บริษัท น้ำมันกาลเท็กซ์ (ไทย) จำกัดในตำแหน่งผู้ประสานงานด้านสิ่งแวดล้อม สุขอนามัย และความปลอดภัย