

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

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

### ภาษาอังกฤษ

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

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

Lopez, A., Murrill, P. and Smith, C. Tuning PI and PID digital controller. Instr. and Contr.  
Sys., (February, 1969) : 89-95.

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.

Morari, M. and Zafiriou, E. Robust process control. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall,  
1989

Rivera, D., Skogestad, S. and Morari, M. Internal model control : 4 PID controller design.  
IEC Proc. Des. Devel., 25, 1986, : 252-265.

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-

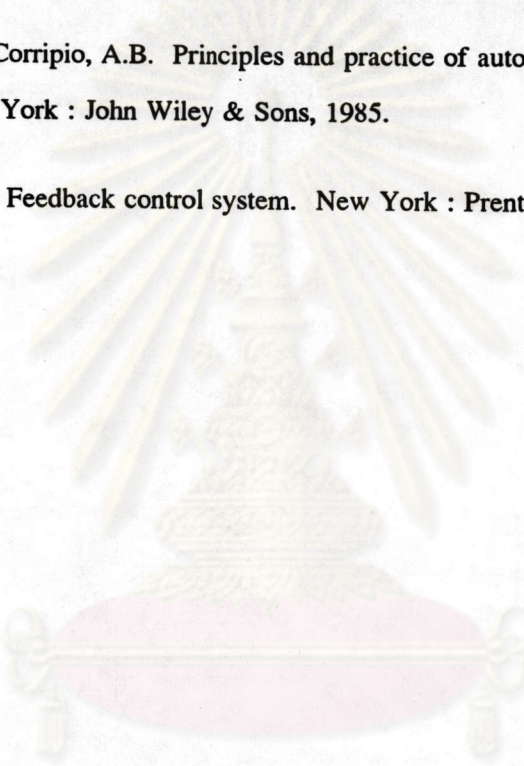
Hill, 3<sup>rd</sup> ed., 1988.

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.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 1.

แสดงโปรแกรม Matlab ที่ใช้ในการแสดงผลและแบบจำลองการทำงานการเลียนแบบ

### M-file ของการควบคุมแบบโอเอ็มซี

```
function [ret,x0,str,ts,xts]=al1(t,x,u,flag);
%AL1 is the M-file description of the SIMULINK system named AL1.
% The block-diagram can be displayed by typing: AL1.
%
% SYS=AL1(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 AL1 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 AL1 with a FLAG of zero:
% [SIZES]=AL1([],[],[],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',[17,121,723,527])
    open_system(sys)
end;
```

```

set_param(sys,'algorithm', 'RK-45')
set_param(sys,'Start time', '0.0')
set_param(sys,'Stop time', '30')
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/Zero-Order Hold',[sys,/, 'ZOH'])
set_param([sys,/, 'ZOH'],...
          'position',[220,94,255,126])

add_block('built-in/Discrete Transfer Fcn',[sys,/, 'PID'])
set_param([sys,/, 'PID'],...
          'Numerator','[1 -0.9048]',...
          'Denominator','[0.0952 0]',...
          'position',[120,89,195,131])

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'Sum'])
set_param([sys,/, 'Sum'],...
          'inputs','+-',...
          'position',[80,100,100,120])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/, 'sp'])
set_param([sys,/, 'sp'],...
          'Time','0',...
          'After','0',...
          'position',[10,95,30,115])

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'S7'])
set_param([sys,/, 'S7'],...
          'inputs','-+',...
          'position',[100,240,120,260])

% 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','100V-2V2V1000V"y-/g--/c-./w:/m*/ro/b+"V')

% Finished composite block 'Response'.

set_param([sys,/, 'Response'],...
           'position',[555,85,585,125])

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'S1'])
set_param([sys,/, 'S1'],...
           'position',[295,95,315,115])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/, 'L1'])
set_param([sys,/, 'L1'],...
           'Time','0',...
           'position',[240,45,260,65])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,/, 'Delay'])
set_param([sys,/, 'Delay'],...
           'Delay Time','15',...
           'position',[405,90,445,120])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/, 'Gp'])
set_param([sys,/, 'Gp'],...
           'Denominator','[10 1]',...
           'position',[340,87,375,123])

```

```

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'S2'])
set_param([sys,/, 'S2'],...
          'inputs','+',...
          'position',[475,150,495,170])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,/, 'Delay1'])
set_param([sys,/, 'Delay1'],...
          'Delay Time','15',...
          'position',[390,150,430,180])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,/, 'Gm'])
set_param([sys,/, 'Gm'],...
          'Denominator','[10 1]',...
          'position',[315,147,350,183])

add_block('built-in/Clock',[sys,/, 'Clock'])
set_param([sys,/, 'Clock'],...
          'position',[125,295,145,315])

add_block('built-in/Abs',[sys,/, 'Abs'])
set_param([sys,/, 'Abs'],...
          'position',[145,238,175,262])

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

new_system([sys,/, ['Inner',13,'Product']])
set_param([sys,/, ['Inner',13,'Product']], 'Location',[33,479,253,634])

add_block('built-in/Product',[sys,/, ['Inner',13,'Product/Product']])
set_param([sys,/, ['Inner',13,'Product/Product']],...
          'position',[65,55,90,75])

add_block('built-in/Sum',[sys,/, ['Inner',13,'Product/Sum']])
set_param([sys,/, ['Inner',13,'Product/Sum']],...
          'inputs','+',...
          'position',[125,55,145,75])

add_block('built-in/Outport',[sys,/, ['Inner',13,'Product/out_1']])
set_param([sys,/, ['Inner',13,'Product/out_1']],...
          'position',[185,55,205,75])

add_block('built-in/Inport',[sys,/, ['Inner',13,'Product/in_2']])
set_param([sys,/, ['Inner',13,'Product/in_2']],...
          'Port','2',...
          'position',[15,90,35,110])

```

```

add_block('built-in/Inport',[sys,',' ,['Inner',13,'Product/in_1']]
set_param([sys,',' ,['Inner',13,'Product/in_1']],...
           'position',[15,25,35,45])
add_line([sys,',' ,['Inner',13,'Product']], [40,100;60,70])
add_line([sys,',' ,['Inner',13,'Product']], [40,35;60,60])
add_line([sys,',' ,['Inner',13,'Product']], [95,65;120,65])
add_line([sys,',' ,['Inner',13,'Product']], [150,65;180,65])
set_param([sys,',' ,['Inner',13,'Product']],...
           'Mask Display','\n',...
           'Mask Type','Dot Product',...
           'Mask Dialogue','Inner (dot) product.\ny=sum(u1.*u2)')
set_param([sys,',' ,['Inner',13,'Product']],...
           'Mask Help','Computes the inner (dot) product of the inputs: sum(u1.*u2). The inputs
are vectors of the same length. Output is a scalar.')

% Finished composite block ['Inner',13,'Product'].
set_param([sys,',' ,['Inner',13,'Product']],...
           'position',[235,254,255,276])

% Subsystem 'Z_itae'.

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

add_block('built-in/S-Function',[sys,',' ,['Z_itae/S-function',13,'M-file which
plots',13,'lines',13,']]
set_param([sys,',' ,['Z_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_block('built-in/Inport',[sys,',' , 'Z_itae/x'])
set_param([sys,',' , 'Z_itae/x'],...
           'position',[65,55,85,75])
add_line([sys,',' , 'Z_itae'], [90,65;125,65])
set_param([sys,',' , 'Z_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,',' , 'Z_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,',' , 'Z_itae'],...

```



```

'Mask Translate','npts = @4; color = @5; ax = [0, @1, @2, @3]; dt=-1;')
set_param([sys, '/', 'Z_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, '/', 'Z_itae'],...
'Mask Entries','100V-2V2V1000V"y-/g--/c-./w:/m*/ro/b+"V')

% Finished composite block 'Z_itae'.

set_param([sys, '/', 'Z_itae'],...
'position',[380,245,410,285])

add_block('built-in/Integrator',[sys, '/', 'Integrator'])
set_param([sys, '/', 'Integrator'],...
'position',[305,255,325,275])
add_line(sys,[35,105;75,105])
add_line(sys,[380,105;400,105])
add_line(sys,[355,165;385,165])
add_line(sys,[435,165;470,165])
add_line(sys,[500,160;515,160;515,210;65,210;75,115])
add_line(sys,[105,110;115,110])
add_line(sys,[35,105;60,105;60,255;95,255])
add_line(sys,[125,250;140,250])
add_line(sys,[200,110;215,110])
add_line(sys,[260,110;290,110])
add_line(sys,[320,105;335,105])
add_line(sys,[265,55;270,55;270,100;290,100])
add_line(sys,[450,105;550,105])
add_line(sys,[450,105;455,105;455,155;470,155])
add_line(sys,[450,105;520,105;520,220;80,220;80,245;95,245])
add_line(sys,[260,110;270,110;270,165;310,165])
add_line(sys,[260,265;300,265])
add_line(sys,[150,305;185,305;185,270;230,270])
add_line(sys,[180,250;200,250;200,260;230,260])
add_line(sys,[330,265;375,265])

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
end
else
    drawnow % Flash up the model and execute load callback
end

```

### M-file ของการควบคุมแบบป้อนกลับที่จูนโดย Z-N

```

function [ret,x0,str,ts,xts]=sp1zn5(t,x,u,flag);
%SP1ZN5 is the M-file description of the SIMULINK system named SP1ZN5.
% The block-diagram can be displayed by typing: SP1ZN5.
%
% SYS=SP1ZN5(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 SP1ZN5 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 SP1ZN5 with a FLAG of zero:
% [SIZES]=SP1ZN5([],[],[],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',[0,38,784,584])
    open_system(sys)
end;
set_param(sys,'algorithm', 'Linear')
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/Sum',[sys, '/', 'Sum1'])
set_param([sys, '/', 'Sum1'],...
    'position',[265,110,285,130])

% Subsystem 'PID'.

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

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

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

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

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

add_block('built-in/Derivative',[sys, '/', 'PID/Derivative'])
set_param([sys, '/', 'PID/Derivative'],...

```

```

        'position',[150,128,190,152])

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

add_block('built-in/Inport',[sys,/, 'PID/In_1'])
set_param([sys,/, 'PID/In_1'],...
    'position',[25,65,45,85])
add_line([sys,/, 'PID'],[120,140;145,140])
add_line([sys,/, 'PID'],[270,75;285,75])
add_line([sys,/, 'PID'],[50,75;105,75])
add_line([sys,/, 'PID'],[65,75;65,140;90,140])
add_line([sys,/, 'PID'],[80,75;80,25;115,25])
add_line([sys,/, 'PID'],[195,140;215,140;215,85;240,85])
add_line([sys,/, 'PID'],[150,75;240,75])
add_line([sys,/, 'PID'],[145,25;210,25;210,65;240,65])
set_param([sys,/, 'PID'],...
    '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'],...
    'Mask Translate','P=@1; I=@2; D=@3;')
set_param([sys,/, 'PID'],...
    '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'],...
    'Mask Entries','1.068V/1/22.5V/5.625V')

% Finished composite block 'PID'.

set_param([sys,/, 'PID'],...
    'position',[185,109,225,141])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,/, 'Set Point'])
set_param([sys,/, 'Set Point'],...
    'Time','0',...
    'position',[70,110,90,130])

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'Sum'])
set_param([sys,/, 'Sum'],...
    'inputs','+-',...
    'position',[135,115,155,135])

```



```

% Subsystem 'Response'.

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

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

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_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-5V5V500V"y-/g--/c-/w:/m*/ro/b+"V')

% Finished composite block 'Response'.

set_param([sys,'/','Response'],...
           'position',[495,100,525,140])

add_block('built-in/Transfer Fcn',[sys,'/','Gp'])
set_param([sys,'/','Gp'],...
           'Denominator','[10 1]',...
           'position',[310,100,365,140])

add_block('built-in/Transport Delay',[sys,'/','Delay'])

```

```

set_param([sys,'/', 'Delay'],...
           'Delay Time','24',...
           'position',[385,105,425,135])

add_block('built-in/Step Fcn',[sys,'/', 'Load'])
set_param([sys,'/', 'Load'],...
           'Time','0',...
           'position',[200,50,220,70])

% Subsystem 'ITAE'.

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

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_block('built-in/Inport',[sys,'/', 'ITAE/x'])
set_param([sys,'/', 'ITAE/x'],...
           'position',[65,55,85,75])
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-5V5V500V"y-/g--/c-./w:/m*/ro/b+"V')

% Finished composite block 'ITAE'.

```

```

set_param([sys,'/','ITAE'],...
           'position',[395,225,425,265])

add_block('built-in/Integrator',[sys,'/','Integrator'])
set_param([sys,'/','Integrator'],...
           'position',[325,235,345,255])

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

new_system([sys,'/',['Inner',13,'Product']])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product']], 'Location',[33,479,253,634])

add_block('built-in/Product',[sys,'/',['Inner',13,'Product/Product']])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product/Product']],...
           'position',[65,55,90,75])

add_block('built-in/Sum',[sys,'/',['Inner',13,'Product/Sum']])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product/Sum']],...
           'inputs','+',...
           'position',[125,55,145,75])

add_block('built-in/Outport',[sys,'/',['Inner',13,'Product/out_1']])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product/out_1']],...
           'position',[185,55,205,75])

add_block('built-in/Inport',[sys,'/',['Inner',13,'Product/in_2']])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product/in_2']],...
           'Port','2',...
           'position',[15,90,35,110])

add_block('built-in/Inport',[sys,'/',['Inner',13,'Product/in_1']])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product/in_1']],...
           'position',[15,25,35,45])
add_line([sys,'/',['Inner',13,'Product']], [40,100;60,70])
add_line([sys,'/',['Inner',13,'Product']], [40,35;60,60])
add_line([sys,'/',['Inner',13,'Product']], [95,65;120,65])
add_line([sys,'/',['Inner',13,'Product']], [150,65;180,65])
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product']],...
           'Mask Display','\n',...
           'Mask Type','Dot Product',...
           'Mask Dialogue','Inner (dot) product.\ny=sum(u1.*u2)')
set_param([sys,'/',['Inner',13,'Product']],...
           'Mask Help','Computes the inner (dot) product of the inputs: sum(u1.*
u2). The inputs are vectors of the same length. Output is a scalar.')

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

```

```

set_param([sys,'/','Inner',13,'Product'],...
          'position',[260,234,280,256])

add_block('built-in/Abs',[sys,'/','Abs'])
set_param([sys,'/','Abs'],...
          'position',[185,228,215,252])

add_block('built-in/Clock',[sys,'/','Clock'])
set_param([sys,'/','Clock'],...
          'position',[105,270,125,290])
add_line(sys,[95,120;130,120])
add_line(sys,[160,125;180,125])
add_line(sys,[370,120;380,120])
add_line(sys,[430,120;490,120])
add_line(sys,[430,120;440,120;440,195;115,195;115,130;130,130])
add_line(sys,[220,240;255,240])
add_line(sys,[285,245;320,245])
add_line(sys,[130,280;220,280;220,250;255,250])
add_line(sys,[160,125;165,125;165,240;180,240])
add_line(sys,[350,245;390,245])
add_line(sys,[225,60;235,60;235,115;260,115])
add_line(sys,[230,125;260,125])
add_line(sys,[290,120;305,120])

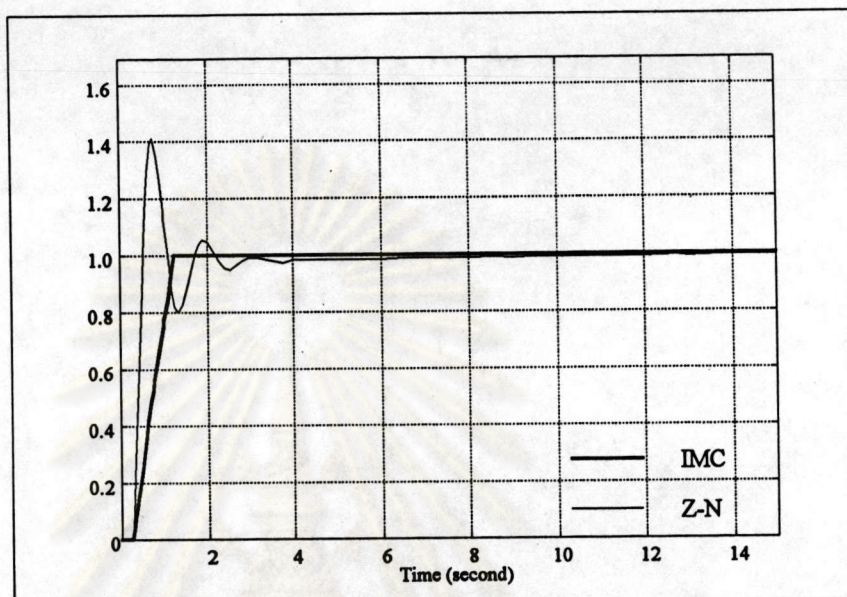
drawnow

% 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

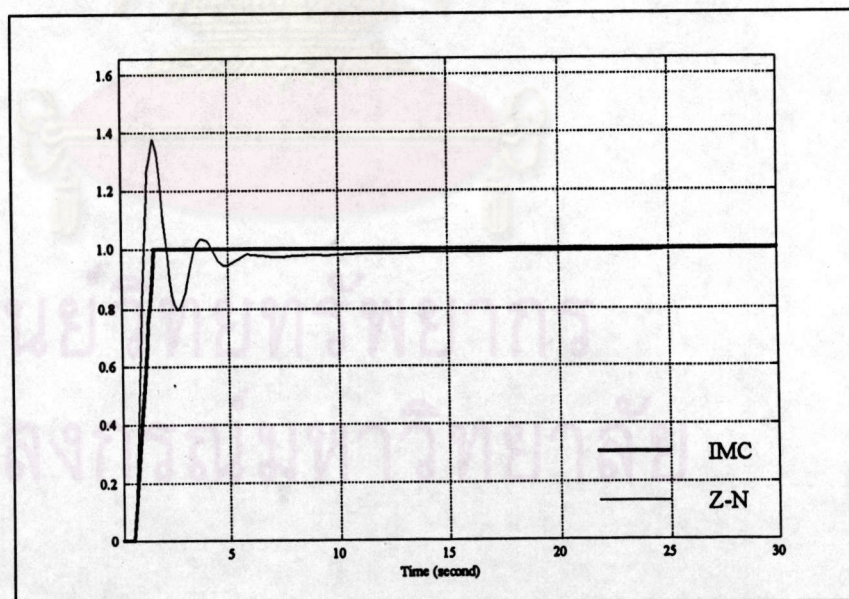
```



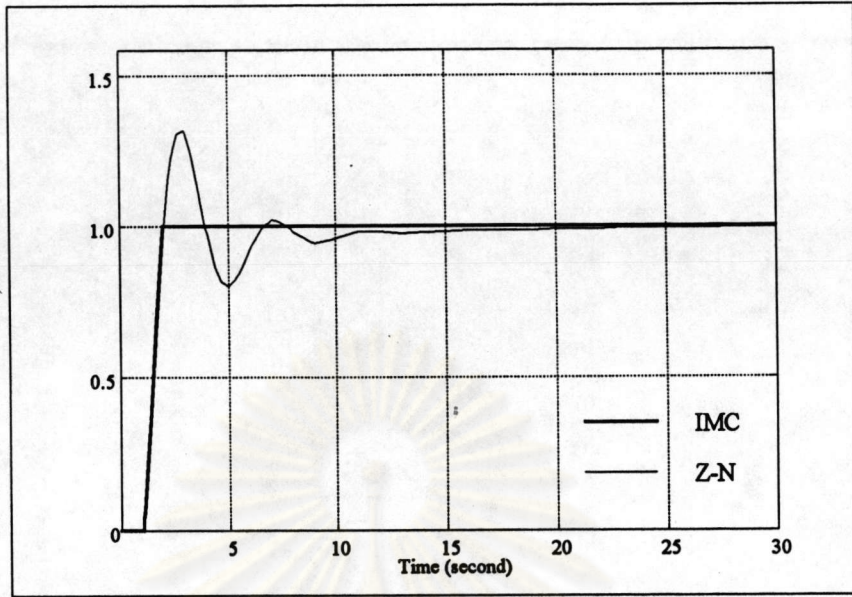
ภาคผนวกที่ 2.



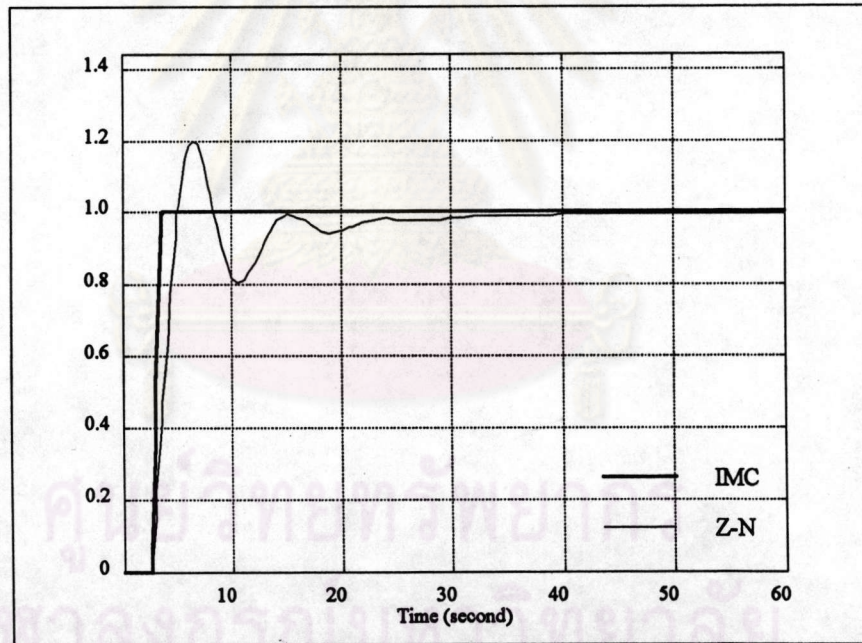
รูปที่ 1 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $\tau=5$  และ  $\theta=0.25$



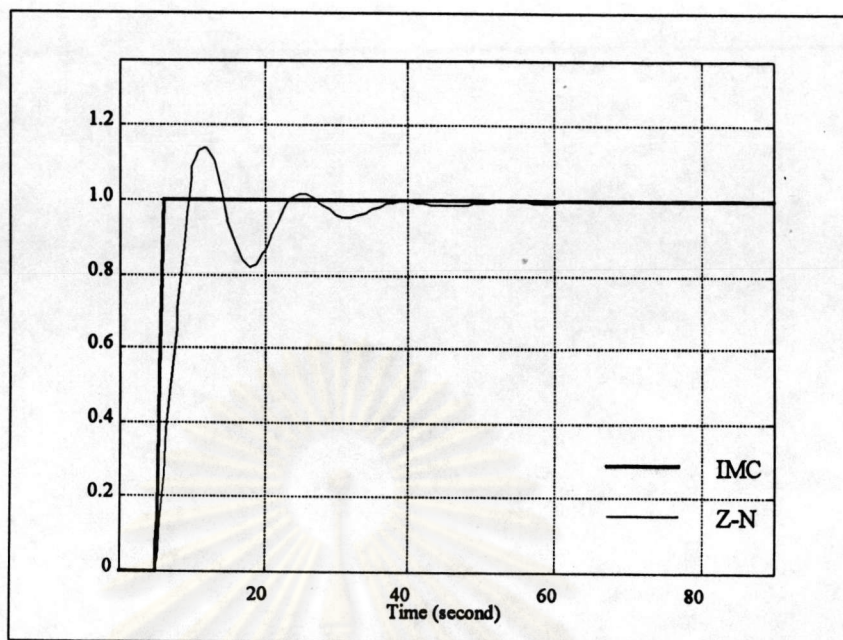
รูปที่ 2 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $\tau=5$  และ  $\theta=0.5$



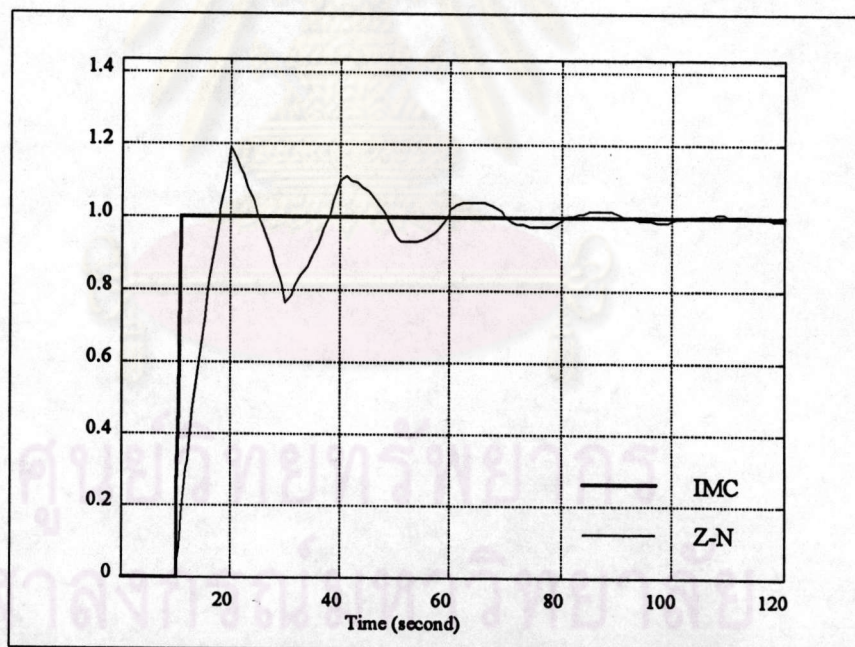
รูปที่ 3 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $T=5$  และ  $\theta=1.0$



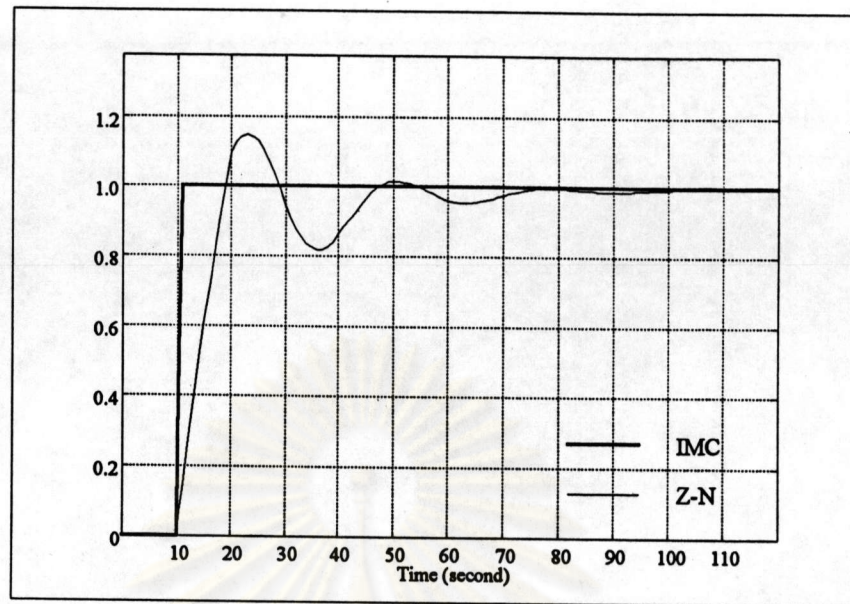
รูปที่ 4 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $T=5$  และ  $\theta=2.5$



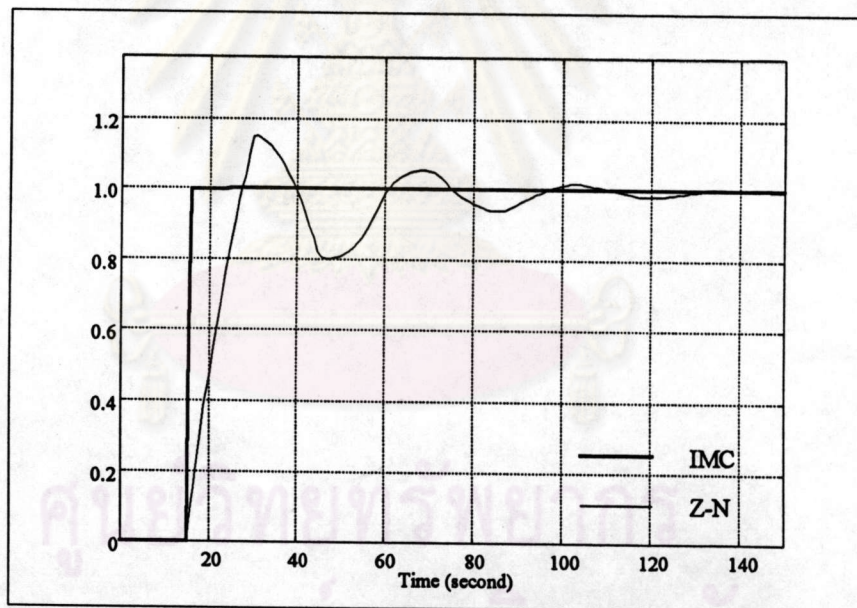
รูปที่ 5 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $\tau=5$  และ  $\theta=5.0$



รูปที่ 6 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $\tau=5$  และ  $\theta=10.0$



รูปที่ 7 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $\tau=10$  และ  $\theta=10.0$



รูปที่ 8 กราฟแสดงการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการเมื่อ  $\tau=10$  และ  $\theta=15.0$

### ภาคผนวกที่ 3

ตารางข้อมูลผลการทำการเลียนแบบการควบคุมจากการศึกษาวิจัยของทุกๆ กรณี

ตารางที่ 1 ผลการควบคุมกระบวนการที่ตัวควบคุมจนโดย Z-N เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead Time	Controller Setting					Set Point Change		Load Change	
		Kcu	Pu	P	I	D	ITAE	SS	ITAE	SS
5.0	0.25	32.50	1.00	19.500	0.500	0.125	0.9	9.6	5.1	63.0
5.0	0.50	16.50	1.90	9.900	0.950	0.238	3.0	16.0	9.9	66.0
5.0	1.00	8.54	3.60	5.124	1.800	0.450	9.3	31.0	19.5	74.0
5.0	2.50	3.82	9.00	2.292	4.500	1.125	30.0	41.0	68.0	90.0
5.0	5.00	2.27	16.00	1.362	8.000	2.000	69.0	66.0	150.0	99.0
5.0	10.00	1.52	28.00	0.912	14.000	3.500	290.0	160.0	418.0	176.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ผลการควบคุมกระบวนการที่ตัวควบคุมจนโดย Z-N เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Controller Setting					Set Point Change		Load Change	
		Kcu	Pu	P	I	D	ITAE	SS	ITAE	SS
10.0	1.0	16.45	3.90	9.870	1.950	0.488	13.5	37.0	42.0	124.0
10.0	2.5	6.95	9.00	4.170	4.500	1.125	47.0	58.0	104.0	170.0
10.0	5.0	3.80	17.00	2.280	8.500	2.125	115.0	112.0	265.0	190.0
10.0	7.5	2.78	24.00	1.668	12.000	3.000	180.0	114.0	420.0	205.0
10.0	10.0	2.28	32.00	1.368	16.000	4.000	275.0	125.0	560.0	208.0
10.0	15.0	1.78	45.00	1.068	22.500	5.625	620.0	180.0	935.0	221.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการควบคุมกระบวนการที่ตัวควบคุมจูนโดย Z-N เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead Time	Controller Setting					Set Point Change		Load Change	
		Kcu	Pu	P	I	D	ITAE	SS	ITAE	SS
15.0	1.0	24.40	4.00	14.640	2.000	0.500	8.5	20.0	59.0	141.0
15.0	2.5	10.12	9.50	6.072	4.750	1.188	74.0	90.0	152.0	150.0
15.0	5.0	5.40	17.50	3.240	8.750	2.188	130.0	70.5	315.0	160.0
15.0	10.0	3.04	32.50	1.824	16.250	4.063	330.0	120.0	735.0	200.0
15.0	15.0	2.27	46.00	1.362	23.000	5.750	590.0	171.0	1315.0	220.0
15.0	20.0	1.90	58.00	1.140	29.000	7.250	1050.0	230.0	1790.0	230.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ผลการควบคุมแบบ ไอเอ็มซี เพื่อหาค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่เหมาะสม เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead Time	Dead time Fraction	Sampling Time					
			$\Delta t = 0.1$	$\Delta t = 0.25$	$\Delta t = 0.5$	$\Delta t = 0.75$	$\Delta t = 1.0$	$\Delta t = 1.5$
5.0	0.25	0.048	0.2	0.1	0.1	0.2	1.0	0.6
5.0	0.5	0.091	0.3	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8
5.0	1.0	0.167	0.7	0.7	0.8	1.0	1.2	1.6
5.0	2.5	0.333	3.9	3.5	3.8	4.2	4.4	5.2
5.0	5.0	0.500	13.0	13.1	13.9	14.4	15.5	16.2
5.0	10.0	0.667	51.0	51.0	51.5	54.0	55.0	58.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5 ผลการควบคุมแบบไอเอ็มซี เพื่อหาค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่เหมาะสม เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead time Fraction	Sampling Time					
			$\Delta t = 0.1$	$\Delta t = 0.25$	$\Delta t = 0.5$	$\Delta t = 0.75$	$\Delta t = 1.0$	$\Delta t = 1.5$
10.0	1.0	0.091	1.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.6
10.0	2.5	0.200	3.9	3.5	3.8	4.2	4.5	5.4
10.0	5.0	0.333	13.6	13.1	13.9	14.5	15.0	16.5
10.0	7.5	0.429	29.0	29.5	30.5	31.5	32.0	34.0
10.0	10.0	0.500	51.0	51.0	52.5	54.5	55.0	58.0
10.0	15.0	0.600	115.0	115.0	117.0	119.0	120.0	134.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ผลการควบคุมแบบไอเอ็มซี เพื่อหาค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่เหมาะสม เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead Time	Dead time Fraction	Sampling Time					
			$\Delta t = 0.1$	$\Delta t = 0.25$	$\Delta t = 0.5$	$\Delta t = 0.75$	$\Delta t = 1.0$	$\Delta t = 1.5$
15.0	1.00	0.063	2.3	1.1	0.9	1.1	1.2	1.7
15.0	2.5	0.143	5.2	3.9	3.9	4.2	4.5	5.5
15.0	5.0	0.250	14.8	13.6	13.8	14.7	15.5	16.5
15.0	10.0	0.400	52.0	52.0	52.0	54.0	56.0	57.0
15.0	15.0	0.500	117.0	115.0	115.0	118.0	120.0	123.0
15.0	20.0	0.571	205.0	205.0	205.0	205.0	210.0	215.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ค่าไอทีเออีจากการควบคุมแบบไอเอ็มซีในการหาค่าตัวแปรการจูน  $\tau_c$  เมื่อ  $\tau = 5$

$\tau=5$	$\tau_c=4.5$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=5.5$	$\tau_c=6.0$	$\tau_c=6.5$	$\tau_c=7.0$		
$\theta=0.25$	27.5	26	23	25.5	27	30		
$\tau=5$	$\tau_c=3.0$	$\tau_c=4.5$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=5.5$	$\tau_c=6.5$	$\tau_c=7.0$	$\tau_c=7.5$	$\tau_c=10.0$
$\theta=0.5$	42	27.5	25	28	25	26.5	28	35.5
$\tau=5$	$\tau_c=3.5$	$\tau_c=4.5$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=5.5$	$\tau_c=6.0$	$\tau_c=7.5$	$\tau_c=10.5$	
$\theta=1$	36	27.5	25	24	26	32	43	
$\tau=5$	$\tau_c=2.5$	$\tau_c=3.5$	$\tau_c=4.0$	$\tau_c=4.5$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=5.5$	$\tau_c=6.0$	$\tau_c=8.0$
$\theta=2.5$	50	37	32	27	27	31	34	50
$\tau=5$	$\tau_c=3.0$	$\tau_c=4.0$	$\tau_c=4.5$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=5.5$	$\tau_c=6.5$	$\tau_c=7.5$	
$\theta=5$	71	44	38	40.5	47	62.5	79	
$\tau=5$	$\tau_c=3.0$	$\tau_c=3.5$	$\tau_c=4.0$	$\tau_c=4.5$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=6.0$		
$\theta=10$	290	225	210	215	220	230		
$\tau=5$	$\tau_c=3.125$	$\tau_c=2.5$	$\tau_c=1.88$	$\tau_c=1.25$				
$\theta=15$	4700	4500	4400	4700				

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ค่าไอทีเออีจากการควบคุมแบบไอเอ็มซีในการหาค่าตัวแปรการจูน  $\tau_c$  เมื่อ  $\tau = 10$

$\tau=10$	$\tau_c=8.0$	$\tau_c=10.5$	$\tau_c=11.0$	$\tau_c=11.5$	$\tau_c=12.0$	$\tau_c=12.5$	$\tau_c=14.0$	$\tau_c=18.5$
$\theta=1$	127	96	93	94	96	98	105	134
$\tau=10$	$\tau_c=10.0$	$\tau_c=10.5$	$\tau_c=11.0$	$\tau_c=11.5$	$\tau_c=18.5$			
$\theta=2.5$	99.5	99	100	112.5	168			
$\tau=10$	$\tau_c=9.0$	$\tau_c=9.5$	$\tau_c=10.0$	$\tau_c=10.5$	$\tau_c=16.0$			
$\theta=5$	111	107	109	116	205			
$\tau=10$	$\tau_c=8.5$	$\tau_c=9.0$	$\tau_c=9.5$	$\tau_c=10.0$	$\tau_c=10.5$	$\tau_c=11.0$		
$\theta=7.5$	122	114	118	129	140	152		
$\tau=10$	$\tau_c=5.0$	$\tau_c=8.5$	$\tau_c=9.0$	$\tau_c=9.5$	$\tau_c=10.0$	$\tau_c=13.5$		
$\theta=10$	390	163	154	155	162	252		
$\tau=10$	$\tau_c=7.0$	$\tau_c=7.5$	$\tau_c=8.0$	$\tau_c=8.5$	$\tau_c=9.0$	$\tau_c=9.5$	$\tau_c=10.0$	
$\theta=15$	480	455	435	425	425	440	475	
$\tau=10$	$\tau_c=10.0$	$\tau_c=9.0$	$\tau_c=8.0$	$\tau_c=7.0$	$\tau_c=6.0$	$\tau_c=5.0$		
$\theta=20$	1480	1080	980	850	840	920		

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ค่าไอทีเออีจากการควบคุมแบบไอเอ็มซีในการหาค่าตัวแปรการจูน  $\tau_c$  เมื่อ  $\tau = 15$

$\tau=15$	$\tau_c=12.0$	$\tau_c=13.0$	$\tau_c=14.0$	$\tau_c=15.0$	$\tau_c=16.5$	$\tau_c=17.0$	$\tau_c=7.5$	$\tau_c=18.0$
$\theta= 1$	280	265	240	225	210	205	210	210
$\tau=15$	$\tau_c=14.0$	$\tau_c=15.0$	$\tau_c=15.5$	$\tau_c=16.0$	$\tau_c=16.5$	$\tau_c=17.0$	$\tau_c=7.5$	$\tau_c=18.5$
$\theta= 2.5$	240	225	220	215	210	220	220	230
$\tau=15$	$\tau_c=14.5$	$\tau_c=15.0$	$\tau_c=15.5$	$\tau_c=16.0$	$\tau_c=16.5$	$\tau_c=7.5$	$\tau_c=18.5$	
$\theta= 5.0$	230	225	225	230	235	250	270	
$\tau=15$	$\tau_c=13.0$	$\tau_c=13.5$	$\tau_c=14.0$	$\tau_c=14.5$	$\tau_c=15.0$	$\tau_c=16.5$		
$\theta= 10$	265	255	245	255	270	315		
$\tau=15$	$\tau_c=12.5$	$\tau_c=13.0$	$\tau_c=13.5$	$\tau_c=14.0$	$\tau_c=14.5$	$\tau_c=16.0$		
$\theta= 15$	375	355	345	345	350	400		
$\tau=15$	$\tau_c=9.5$	$\tau_c=10.5$	$\tau_c=11.5$	$\tau_c=12.0$	$\tau_c=12.5$	$\tau_c=13.0$	$\tau_c=13.5$	$\tau_c=14.0$
$\theta= 20$	900	800	740	715	700	702	710	715
$\tau=15$	$\tau_c=10.5$	$\tau_c=9.75$	$\tau_c=9.0$	$\tau_c=8.25$	$\tau_c=7.5$			
$\theta= 30$	1920	1850	1870	1920	2000			

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 สรุปค่าตัวแปรการจูนที่ให้ค่าไอทีเอชิต่ำสุด เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter	
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta + \tau)$
5.0	0.25	0.048	5.5	1.05
5.0	0.5	0.091	5.5	1.00
5.0	1.0	0.167	5.5	0.92
5.0	2.5	0.333	5.0	0.67
5.0	5.0	0.500	4.5	0.45
5.0	10.0	0.667	4.0	0.27
5.0	15.0	0.750	1.9	0.09

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 11 สรุปค่าตัวแปรการจูนที่ให้ค่าไอทีเออีต่ำสุด เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter		ITAE	IAE
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta + \tau)$		
10.0	1.0	0.091	11.0	1.00	93.00	10.40
10.0	2.5	0.200	10.5	0.84	99.00	11.50
10.0	5.0	0.333	9.5	0.63	107.00	12.50
10.0	7.5	0.429	9.0	0.51	114.00	13.80
10.0	10.0	0.500	9.0	0.45	154.00	16.50
10.0	15.0	0.600	8.5	0.34	425.00	25.50
10.0	20.0	0.667	6.0	0.20	840.00	

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 สรุปค่าตัวแปรการจูนที่ให้ค่าไอทีเอชต่ำสุด เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter	
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta+\tau)$
15.0	1.0	0.063	17.0	1.06
15.0	2.5	0.143	16.5	0.94
15.0	5.0	0.250	15.5	0.78
15.0	10.0	0.400	14.0	0.56
15.0	15.0	0.500	13.5	0.45
15.0	20.0	0.571	12.5	0.36
15.0	30.0	0.667	9.8	0.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 13 ค่าตัวแปรการจูน ( $\tau$ ) ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการมีการผิดพลาดที่  $\tau = +25\%$  ของกระบวนการ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter		ITAE	IAE
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta+\tau)$		
10.0	1.0	0.091	9.0	0.82	94.00	11.00
10.0	2.5	0.200	8.0	0.64	99.00	11.30
10.0	5.0	0.333	7.5	0.50	106.00	12.50
10.0	7.5	0.429	7.0	0.40	119.00	13.20
10.0	10.0	0.500	7.5	0.38	158.00	16.60
10.0	15.0	0.600	6.0	0.24	450.00	26.00
10.0	20.0	0.667	4.5	0.15	613.00	34.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 ค่าตัวแปรการจูน ( $\tau_c$ ) ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการมีการผิดพลาดที่  $\tau = -25\%$  ของกระบวนการ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter		ITAE	IAE
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta+\tau)$		
10.0	1.0	0.091	14.5	1.32	101.00	11.00
10.0	2.5	0.200	13.5	1.08	109.00	11.20
10.0	5.0	0.333	12.5	0.83	110.00	12.50
10.0	7.5	0.429	12.0	0.69	122.00	13.80
10.0	10.0	0.500	12.0	0.60	160.00	16.00
10.0	15.0	0.600	13.5	0.54	430.00	24.00
10.0	20.0	0.667	14.0	0.47	630.00	32.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ค่าตัวแปรการจูน ( $\tau_c$ )ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการมีการผิดพลาดที่  $\theta = +25\%$  ของกระบวนการ  $T = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter		ITAE	IAE
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta + \tau)$		
10.0	1.0	0.091	11.0	1.00	92.00	10.30
10.0	2.5	0.200	10.0	0.80	94.00	11.20
10.0	5.0	0.333	9.0	0.60	97.00	12.30
10.0	7.5	0.429	9.0	0.51	142.00	15.50
10.0	10.0	0.500	8.5	0.43	275.00	23.00
10.0	15.0	0.600	7.5	0.30	390.00	24.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ค่าตัวแปรการจูน ( $\tau_c$ )ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการมีการผิดพลาดที่  $\theta = +25\%$  ของกระบวนการ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	Tuning Parameter		ITAE	IAE
			$\tau_c$	$(\tau_c/\theta+\tau)$		
10.0	1.0	0.091	11.0	1.00	95.00	10.30
10.0	2.5	0.200	10.5	0.84	102.00	11.20
10.0	5.0	0.333	10.0	0.67	116.00	12.40
10.0	7.5	0.429	10.0	0.57	132.00	13.80
10.0	10.0	0.500	9.5	0.48	155.00	13.90
10.0	15.0	0.600	10.5	0.42	215.00	17.50

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 ค่าไอทีเออีจากการควบคุมแบบไอเอ็มซีในการหาค่าตัวแปรการจูน  $\alpha$  เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead time	Dead time Fraction	$\alpha$ 0.0	$\alpha$ 0.1	$\alpha$ 0.2	$\alpha$ 0.3	$\alpha$ 0.4	$\alpha$ 0.5	$\alpha$ 0.6	$\alpha$ 0.7	$\alpha$ 0.8	$\alpha$ 0.9
5.00	0.25	0.048	0.9	0.8	0.6	0.9	1.0	2.1	3.9	8.2	21.5	90.0
5.00	0.5	0.091	0.5	0.9	1.0	1.1	1.7	2.8	4.8	9.2	22.5	93.0
5.00	1.0	0.167	1.2	1.4	1.7	2.2	2.9	4.3	6.3	11.4	25.0	100.0
5.00	2.5	0.333	4.5	4.9	5.4	6.4	7.3	9.0	12.0	18.0	34.0	115.0
5.00	5.0	0.500	15.1	16.0	17.0	17.8	19.0	22.0	27.0	34.0	55.0	150.0
5.00	10.0	0.667	55.0	56.0	57.0	60.0	63.0	67.0	74.0	85.0	115.0	230.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 ค่าไอทีเออีจากการควบคุมแบบไฮเอ็่มซีในการหาค่าตัวแปรการจูน  $\alpha$  เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead time	Dead time Fraction	$\alpha$ 0.0	$\alpha$ 0.1	$\alpha$ 0.2	$\alpha$ 0.3	$\alpha$ 0.4	$\alpha$ 0.5	$\alpha$ 0.6	$\alpha$ 0.7	$\alpha$ 0.8	$\alpha$ 0.9
10.00	1.0	0.091	1.2	1.4	1.7	2.2	2.9	4.2	6.4	11.2	25.0	100.0
10.00	2.5	0.200	4.6	4.9	5.5	6.2	7.3	9.0	12.0	18.0	34.5	115.0
10.00	5.0	0.333	15.5	15.8	16.8	18.0	19.8	22.0	26.5	34.5	55.0	150.0
10.00	7.5	0.429	32.0	33.0	34.0	35.5	38.0	42.0	47.0	57.5	82.0	184.0
10.00	10.0	0.500	56.0	56.0	58.0	60.0	63.5	67.0	74.0	86.0	115.0	230.0
10.00	15.0	0.600	120.0	122.0	133.0	128.0	131.0	138.0	146.0	162.0	200.0	340.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 ค่าไอทีเออีจากการควบคุมแบบไอเอ็มซีในการหาค่าตัวแปรการจูน  $\alpha$  เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead time	Dead time Fraction	$\alpha$ 0.0	$\alpha$ 0.1	$\alpha$ 0.2	$\alpha$ 0.3	$\alpha$ 0.4	$\alpha$ 0.5	$\alpha$ 0.6	$\alpha$ 0.7	$\alpha$ 0.8	$\alpha$ 0.9
15.00	1.0	0.063	1.2	1.4	1.8	2.2	2.9	4.2	6.4	11.4	25.0	100.0
15.00	2.5	0.143	4.5	5.0	5.5	6.2	7.3	9.0	12.0	18.0	34.0	116.0
15.00	5.0	0.250	15.1	16.5	17.0	18.0	19.0	23.0	27.0	34.8	55.0	150.0
15.00	10.0	0.400	55.0	56.0	57.0	60.0	63.0	67.0	74.0	86.0	115.0	230.0
15.00	15.0	0.500	120.0	121.0	124.0	126.0	130.0	136.0	145.0	170.0	200.0	345.0
15.00	20.0	0.571	211.0	215.0	215.0	220.0	222.0	228.0	245.0	270.0	310.0	480.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนเซตพอยท์ เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	IMC		Z-N		Ratio Z-N/IMC
			ITAE	SS	ITAE	SS	
5.0	0.3	0.048	0.9	3.0	0.9	9.6	0.98
5.0	0.5	0.091	0.5	2.5	3.0	16.0	5.56
5.0	1.0	0.167	1.2	2.0	9.3	31.0	8.09
5.0	2.5	0.333	4.5	3.5	30.0	41.0	6.67
5.0	5.0	0.500	15.1	6.0	69.0	66.0	4.57
5.0	10.0	0.667	55.0	11.5	290.0	160.0	5.27

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนโหลด เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	IMC		Z-N		Ratio Z-N/IMC
			ITAE	SS	ITAE	SS	
5.0	0.3	0.048	6.3	35.0	5.1	63.0	0.81
5.0	0.5	0.091	8.0	40.0	9.9	66.0	1.24
5.0	1.0	0.167	14.0	42.0	19.5	74.0	1.39
5.0	2.5	0.333	32.0	45.0	68.0	90.0	2.13
5.0	5.0	0.500	79.0	46.0	150.0	99.0	1.90
5.0	10.0	0.667	225.0	48.0	418.0	176.0	1.86



ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนเซตพอยท์ เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	IMC		Z-N		Ratio Z-N/IMC
			ITAE	SS	ITAE	SS	
10.0	1.0	0.091	1.2	1.0	13.5	37.0	11.25
10.0	2.5	0.200	4.6	5.0	47.0	58.0	10.22
10.0	5.0	0.333	15.5	7.0	115.0	112.0	7.42
10.0	7.5	0.429	32.0	10.0	180.0	114.0	5.63
10.0	10.0	0.500	56.0	12.0	275.0	125.0	4.91
10.0	15.0	0.600	120.0	17.0	620.0	180.0	5.17

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนโหลด เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	IMC		Z-N		Ratio Z-N/IMC
			ITAE	SS	ITAE	SS	
10.0	1.0	0.091	23.0	50.0	42.0	124.0	1.83
10.0	2.5	0.200	50.0	60.0	104.0	170.0	2.08
10.0	5.0	0.333	108.0	70.0	265.0	190.0	2.45
10.0	7.5	0.429	180.0	80.0	420.0	205.0	2.33
10.0	10.0	0.500	290.0	90.0	560.0	208.0	1.93
10.0	15.0	0.600	530.0	100.0	935.0	221.0	1.76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนเซทพอยท์ เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	IMC		Z-N		Ratio Z-N/IMC
			ITAE	SS	ITAE	SS	
15.0	1.0	0.063	1.2	4.0	8.5	20.0	7.14
15.0	2.5	0.143	4.5	6.0	74.0	90.0	16.41
15.0	5.0	0.250	15.2	8.5	130.0	70.5	8.55
15.0	10.0	0.400	55.5	11.0	330.0	120.0	5.95
15.0	15.0	0.500	120.0	15.5	590.0	171.0	4.92
15.0	20.0	0.571	210.5	21.0	1050.0	230.0	4.99

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนโพลค เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	IMC		Z-N		Ratio Z-N/IMC
			ITAE	SS	ITAE	SS	
15.0	1.0	0.063	33.0	82.0	59.0	141.0	1.79
15.0	2.5	0.143	68.0	95.0	152.0	150.0	2.24
15.0	5.0	0.250	138.0	100.0	315.0	160.0	2.28
15.0	10.0	0.400	335.0	110.0	735.0	200.0	2.19
15.0	15.0	0.500	610.0	120.0	1315.0	220.0	2.16
15.0	20.0	0.571	900.0	130.0	1790.0	230.0	1.99

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 แสดงผลการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N เมื่อเวลากระบวนการผิดพลาดไปจากที่จูนไว้ เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออี เมื่อเวลาของกระบวนการเปลี่ยนแปลง									
			-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%
10.0	1.0	0.091		430.0	45.0	33.0	26.0	13.5	18.0	18.0	15.0	13.5
10.0	2.5	0.200		570.0	130.0	80.0	65.0	47.0	48.0		37.0	
10.0	5.0	0.333		800.0	270.0	170.0	138.0	115.0	105.0		81.0	
10.0	7.5	0.429		1370.0	500.0	270.0	220.0	180.0	170.0		130.0	
10.0	10.0	0.500		3700.0	920.0	510.0	340.0	275.0	250.0		190.0	
10.0	15.0	0.600			2500.0	1300.0	850.0	620.0	510.0		400.0	

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออี เมื่อเวลาของกระบวนการเปลี่ยนแปลง								
			50%	60%	70%	80%	90%	100%	150%	200%	300%
10.0	1.0	0.091	11.5	8.5	6.0	4.0	4.0	5.5	18.0	30.0	56.0
10.0	2.5	0.200	27.0		17.0			31.0	65.0	100.0	175.0
10.0	5.0	0.333	63.0			69.0		98.0	170.0	250.0	470.0
10.0	7.5	0.429	102.0			150.0		190.0	320.0	470.0	870.0
10.0	10.0	0.500	160.0			225.0		280.0	460.0	660.0	1250.0
10.0	15.0	0.600	350.0			450.0		550.0	850.0	1200.0	2100.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 แสดงผลการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N เมื่อเดดไทม์ของกระบวนการผิดพลาดไปจากที่จูนไว้ เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออี เมื่อเดดไทม์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลง									
			-100%	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	
10.0	1.0	0.091	22.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
10.0	2.5	0.200	58.0	55.0		50.0		48.0		48.0		
10.0	5.0	0.333	148.0		125.0		110.0		108.0		100.0	
10.0	7.5	0.429	255.0		210.0		190.0		170.0		158.0	
10.0	10.0	0.500	430.0		345.0		315.0		280.0		250.0	
10.0	15.0	0.600			620.0		550.0		480.0		420.0	

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออี เมื่อเดดไทม์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลง							
			-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
10.0	1.0	0.091	21.0	13.5	25.0	28.0	40.0	75.0	170.0	740.0
10.0	2.5	0.200	51.0	47.0		90.0		375.0		1900.0
10.0	5.0	0.333		115.0		220.0		650.0		2700.0
10.0	7.5	0.429		180.0		385.0		1080.0		3500.0
10.0	10.0	0.500		275.0		290.0		420.0		3700.0
10.0	15.0	0.600		620.0		1220.0		2400.0		4700.0

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 แสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อเวลาของแบบจำลองมีความผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อเวลาของแบบจำลองมีความผิดพลาด							
			-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%
10.0	1.0	0.091	19.3	13.7	10.5	6.9	4.0	1.2	3.8	6.6
10.0	2.5	0.200	47.5	32.5	23.5	16.8	10.6	4.6	10.2	16.0
10.0	5.0	0.333	112.0	80.0	57.5	42.0	28.5	15.5	27.5	40.5
10.0	7.5	0.429	192.0	140.0	104.0	76.0	53.0	32.0	52.0	72.5
10.0	10.0	0.500	280.0	220.0	162.0	120.0	72.0	56.0	85.0	114.0
10.0	15.0	0.600	480.0	380.0	295.0	230.0	170.0	120.0	168.0	220.0

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อเวลาของแบบจำลองมีความผิดพลาด						
			30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
10.0	1.0	0.091	9.2	12.4	16.8	23.0	33.5	65.0	169.8
10.0	2.5	0.200	21.5	28.0	36.0	47.5	66.0	106.0	225.0
10.0	5.0	0.333	52.0	71.5	99.0	148.0	255.0	575.0	2150.0
10.0	7.5	0.429	95.0	124.0	172.0	255.0	440.0	890.0	2550.0
10.0	10.0	0.500	152.0	205.0	280.0	430.0	745.0	1600.0	5100.0
10.0	15.0	0.600	285.0	380.0	530.0	800.0	1,350.0	2750.0	8400.0

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 แสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อเวลาของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 5$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออี							
			-80%	-60%	-40%	-20%	0%	20%	40%	80%
5.0	0.25	0.048	17.0			1.8	0.9	4.5	7.5	
5.0	0.50	0.091	20.0		6.0	3.2	0.5	4.1	13.0	
5.0	1.00	0.167	28.0	22.0	9.2	4.7	1.2	4.3	8.0	58.0
5.0	2.50	0.333	55.0	47.0	24.0	12.2	4.5	11.3	18.0	88.0
5.0	5.00	0.500	108.0	102.0	58.0	32.0	15.1	31.0	54.0	430.0
5.0	10.00	0.667	230.0	225.0	146.0	94.0	55.0	91.0	155.0	1000.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 30 แสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อเวลาของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 15$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออี										
			-90%	-80%	-60%	-40%	-20%	-10%	0%	10%	40%	60%	80%
15.0	1.0	0.063	330.0	122.0	35.5	17.8	8.1	4.7	1.19	3.3	11	25	69.0
15.0	2.5	0.143	625.0	280.0	88.0	39.0	21.0	12.4	15.25	10.0	32	56	114.0
15.0	5.0	0.250	1050.0	550.0	205.0	93.0	47.0	31.5	32.00	28.0	86	165	600.0
15.0	10.0	0.400	1710.0	1070.0	480.0	250.5	138.0	59.0	55.50	91.0	240	480	1810.0
15.0	15.0	0.500	2400.0	1520.0	820.0	460.0	260.0	184.0	120.00	180.0	440	925	3400.0
15.0	20.0	0.571	3200.0	2100.0	1140.0	700.0	415.0	310.0	210.50	300.0	700	1480	5100.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แสดงผลการควบคุมแบบ ไอเอ็มซีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 10$

Process	Dead time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเอชทีเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด													
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%			
$\tau=10$	0.091	10.0	7.0	4.8	3.2	2.0	1.2	1.69	2.65	4.65	11.4	36.5			
$\theta=1$															
$\tau=10$	0.200	2300	61.5	30.0	23.0	15.5	8.3	4.6	8.1	25.7	48	690			
$\theta=2.5$															
$\tau=10$	0.333	53	26	19.5	16.7	15.5	16.8	19.4	27.0	58.0					
$\theta=5$															
$\tau=10$	0.429	500	162	145	114.8	47	36	32	36	48	112.2	148	152	430	
$\theta=7.5$															
$\tau=10$	0.500	128	74	63	58	56	59	63	75	135					
$\theta=10$															

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



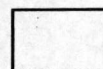
ตารางที่ 32 แสดงผลการควบคุมแบบโอเอ็มซีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 5$

Process	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด										
		-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%
$\tau=5$	0.048	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%
$\theta=0.25$		3.65	3.2	2.85	2.6	2.2						
$\tau=5$	0.091	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%
$\theta=0.5$		43	11.9	5.4	3.4	2.4						
$\tau=5$	0.167	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%
$\theta=1.0$							7					
$\tau=5$	0.333	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%
$\theta=2.5$							30	23	14	8.2		
$\tau=5$	0.500	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-9%	-8%	0	8%
$\theta=5.0$									128	52		56
$\tau=5$	0.667	-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-2%	-1%	0	1%
$\theta=10.0$									62	58		58

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 แสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 5$  (ต่อ)

Process	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด									
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
$\tau=5$	0.048	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
$\theta=0.25$						2.55	3.05	3.65	4.2	5.1	
$\tau=5$	0.091	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$\theta=0.5$						3.8	6.1	10.5	10.8	27.5	73
$\tau=5$	0.167	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$\theta=1.0$					10.4	37	1600				
$\tau=5$	0.333	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$\theta=2.5$				48	690						
$\tau=5$	0.500	8%	9%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$\theta=5.0$			56	145							
$\tau=5$	0.667	1%	2%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$\theta=10.0$			58	64							



ควบคุมได้



ควบคุมไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

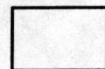
ตารางที่ 33 แสดงผลการควบคุมแบบ ไซเอ็่มซีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 15$

Process	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด											
		-90%	-80%	-70%	-60%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%	
$\tau=15$	0.063												
$\theta=1.0$							6.85						
$\tau=15$	0.143												
$\theta=2.5$					920	62							
$\tau=15$	0.250												
$\theta=5.0$												8%	
$\tau=15$	0.400												
$\theta=15$												2%	
$\tau=15$	0.500												
$\theta=20$										360	225	350	

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 33 แสดงผลการควบคุมแบบ ไซเอมซีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 15$  (ต่อ)

Process	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองผิดพลาด										
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%		
$\tau=15$	0.063					10	37.5					
$\theta=1.0$												
$\tau=15$	0.143	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
$\theta=2.5$					680							
$\tau=15$	0.250	8%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
$\theta=5.0$		120										
$\tau=15$	0.400	2%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
$\theta=15$												
$\tau=15$	0.500	2%	10%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
$\theta=20$		350										



ควบคุมได้



ควบคุมไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 34 แสดงผลการควบคุมแบบโอเอ็มซีเมื่อเวลาของกระบวนการ ( $\tau$ ) ผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดโอทีเอซีเมื่อเวลาของแบบจำลองมีความผิดพลาด								
			-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%
10.0	1.0	0.091	22.5	10.6	6.8	3.9	1.2	3.9	6.7	9.5	12.4
10.0	2.5	0.200	46.0	24.5	16.5	10.4	4.6	10.3	16.0	22.0	27.0
10.0	5.0	0.333	174.0	68.0	42.5	28.0	15.5	27.5	40.0	51.0	62.0
10.0	7.5	0.429	245.0	119.0	77.0	52.0	32.0	52.0	72.0	91.0	115.0
10.0	10.0	0.500	480.0	190.0	120.0	85.0	56.0	85.0	112.0	142.0	177.0

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดโอทีเอซีเมื่อเวลาของแบบจำลองมีความผิดพลาด								
			50%	60%	70%	80%	90%	100%	150%	200%	250%
10.0	1.0	0.091	15.1	18.0	21.5	24.0	27.0	29.5	46.0	76.0	90.0
10.0	2.5	0.200	33.0	38.5	44.5	52.0	58.5	66.0	108.0	162.0	225.0
10.0	5.0	0.333	74.0	89.0	102.0	120.0	138.0	155.0	260.0	390.0	560.0
10.0	7.5	0.429	131.0	158.0	181.0	215.0	235.0	250.0	460.0	650.0	920.0
10.0	10.0	0.500	210.0	240.0	280.0	315.0	360.0	400.0	670.0	1000.0	1,380

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 35 แสดงผลการควบคุมแบบไฮเอ็มนซีเมื่อเดดไทม์ของกระบวนการผลิตเมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	ค่าความผิดพลาดโอทีเออีเมื่อเดดไทม์ของแบบจำลองมีความผิดพลาด										
			-45%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	45%
10.0	1.0	0.091	59.0	12.0	3.2	1.8	1.4	1.2	1.8	2.8	5.2	14.8	43.0
						-15%	-10%	0%	10%	20%			
10.0	2.5	0.200				17.0	7.4	4.6	9.4	240.0			
						-8%	-5%	0%	5%	8%			
10.0	5.0	0.333				60.0	21.0	15.5	24.0	58.0			
				-10%	-8%	-5%	-3%	0%	5%	10%			
10.0	7.5	0.429		140.0	130.0	66.0	26.0	32.0	78.0	192.0			
						-4%	-3%	0%	3%	4%			
10.0	10.0	0.500				143.0	65.0	56.0	70.0	130.0			

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีกับ Z-N เมื่อเวลาของกระบวนการ ( $\tau$ ) ผิดพลาด เมื่อ  $T = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	อัตราส่วนไอทีเออีระหว่าง Z-N / IMC											
			-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	30%	50%	80%	100%	150%	200%
10.0	1.0	0.091	19.1	4.2	4.9	6.7	11.3	4.6	1.6	0.8	0.2	0.2	0.4	0.4
10.0	2.5	0.200	12.4	5.3	4.8	6.3	10.2	4.7	1.7	0.8	0.0	0.5	0.6	0.6
10.0	5.0	0.333	4.6	4.0	4.0	4.9	7.4	3.8	1.6	0.9	0.6	0.6	0.7	0.6
10.0	7.5	0.429	5.6	4.2	3.5	4.2	5.6	3.3	1.4	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7
10.0	10.0	0.500	7.7	4.8	4.3	4.0	4.9	2.9	1.3	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีกับ Z-N เมื่อเวลาของกระบวนการ ( $T$ ) ผิดพลาด เมื่อ  $\tau = 10$

Process Time	Dead Time	Dead Time Fraction	อัตราส่วนไอทีเออี (Z-N /IMC)										
			-45%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	45%
10.0	1.0	0.091	0.3	1.7	6.3	10.9	15.0	11.3	13.9	10.0	7.7	5.1	3.0
10.0	2.5	0.200				-15%	-10%	0%	10%	20%			
10.0	5.0	0.333				2.8	6.9	10.2	5.9	0.4			
10.0	7.5	0.429				-8%	-5%	0%	5%	8%			
10.0	10.0	0.500				1.8	5.3	7.4	4.6	1.9			
			-10%	-10%	-8%	-5%	-3%	0%	5%	10%			
			1.2	1.2	1.3	2.6	6.7	5.6	2.9	1.5			
						-4%	-3%	0%	3%	4%			
						1.9	4.2	4.9	3.9	2.1			

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





## ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุภาพรรณ เขียมแสงามกุล เกิดเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2508 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาคำนวณ-เคมี (Math-Chemical) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2530 เมื่อจบการศึกษาได้ทำงานให้แก่ บริษัท ครีเอชั่นเซนเตอร์ จำกัด จนถึงปี พ.ศ. 2534 จึงได้ลาออก และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในภาคนอกเวลาราชการใน ปีการศึกษา 2534 ในขณะที่เดียวกันทำงานให้แก่บริษัท เออร์วิงคอร์ปอเรชั่น จำกัด ในตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายขาย จนถึงปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย