**非線性控制**

**Nonlinear Control**

第三章作業

學號 : P46104285

研究生 : 楊亞勳

授課教授 : 楊憲東

Department of Aeronautics and Astronautics

National Cheng Kung University

Tainan, Taiwan, ROC

中華民國 111年 10月15日

目錄

[第一題 1](#_Toc116635590)

[**(a) 1**](#_Toc116635591)

[**(b) 5**](#_Toc116635592)

[**(c) 7**](#_Toc116635593)

[**(d) 12**](#_Toc116635594)

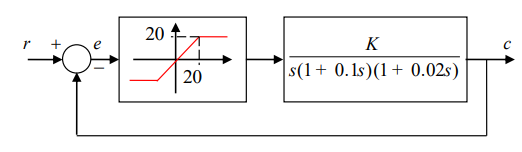
[**(e) 13**](#_Toc116635595)

[MATLAB Code 15](#_Toc116635596)

# **第一題**

Question:

考慮如下列之控制方塊圖，其中包含非線性的飽和元件。



## **(a)**

將非線性飽和元件用其描述函數加以取代，並利用古典控制的 Nyquist 定理決定使得系統為穩定的最大允許值(記作 )。

Answer:

飽和元件之輸入可分為下列三段:

1. 負飽和區 : 當輸入訊號落在範圍內時，輸出訊號恆為 -20。
2. 線性區 : 當輸入訊號落在範圍時，輸出訊號和輸入訊號成正比，且兩者之間的比例為 1 (斜率)。
3. 正飽和區 : 當輸入訊號落在範圍時，輸出訊號恆為 20。

首先，我們可以假設輸入訊號為一個正弦波訊號  輸入此飽和元件，根據上述的輸入輸出關係，其飽和元件之輸出訊號 可以表示成下形式:

 (1)

其中 滿足 ，此表示式可經由移項得到。此時假設系統之輸出可以用傅立葉級數展開

 (2)

假設此系統之線性元件符合低頻濾波器之條件，亦即 。則(2)可以近似為

 (3)

且因此系統之輸出入關亦為對稱形式，則有 ，此時

 (4)

根據課本圖3.2.11，此正弦波訊號輸入飽和非線性元件時之輸出為奇函數，在傅立葉級數中，若函數為奇函數，則只剩下正弦分量，故(4)可再簡化為

 (5)

接下來計算係數，利用輸出對稱之性質，可取第一象限的積分並乘4

 (6)

由上述推導，可以得到飽和元件之描述函數為

 (7)

由上式可觀察到，為之函數，故可改寫成

 (8)

若要套用Nyquist定理，參考課本圖3.3.4之方塊圖，將此飽和元件近似為描述函數後，可列出此包含非線性元件之轉移函數

 (9)

其特徵方程式為

 (10)

先觀察轉移函數

 (11)

再觀察描述函數，可將描述函數之畫法設定為固定，再畫出隨著變化的情形，此時和可以獨立畫出。先用MATLAB繪製出之奈氏圖，如圖1。根據(11)，此系統之不穩定極點(開迴路極點)數量為0，由Nyquist定理可知，若不被之軌跡所包圍，則系統為穩定。

|  |
| --- |
|  |
| 圖1、奈氏圖 |

再討論隨之變化，可以分為四段:

1. 當 時，系統是操作再線性區域，此時非線性飽和限制不起作用，因此不是描述函數的適用範圍。
2. 當 時，
3. 當 時，
4. 當時，

由上述推論可知的曲線在複數平面上，是一條落在負實軸上的射線，當時，起點為-1。為了要尋找最大允許值，我們必須要尋找臨界穩定的發生處，也就是和之交點。因可代表從-1起始之負實軸，故和之交點發生在和實軸交點處，可先將(11)展開

 (12)

並且令虛部為零，也就是

 (13)

得到，將此值代回(12)實部部分後得到

 (14)

由此可知與之交點可以透過調整 值來移動，由Nyquist定理可知，若不被之軌跡所包圍，則系統為穩定。代表之值要在之起點 的右邊，亦即

 (15)

由上述可知，若要系統穩定之最大允許值為60。

以上敘述可由MATLAB模擬繪圖可知，圖2為繪製當時，之奈氏圖和相交之關係。由圖中可知此系統處為臨界穩定的情形。

|  |
| --- |
|  |
| 圖2、當時，系統臨界點軌跡與線性受控體的奈氏曲線關係 |

## **(b)**

接續(a)，隨意取數值，並在上面方塊圖中，令 (例如若 ，可取 )，參考例題 3.3.2 的方法，由描述函數求出極限圓發生時的振幅 ，及頻率 。

透過(a)之分析，我們可以知道系統穩定之最大允許值為60。當小於60時，系統開迴路之奈氏圖不論系統輸入振幅為何，系統一定保持穩定。但當大於60時，則會導致某些數值之輸入系統振幅，會使被包圍，形成不穩定之系統。依據題目之需求，，取 。根據式(16)

 (16)

將代入，得到式(17)。

 (17)

且已知當極限圓發生時，就是臨界穩定的發生處，也就是和之交點處。已知為 起始向左延伸之實數軸，故可知當和相交時，之虛部為零。用此條件可求出極限圓發生時之頻率:

 (18)

但由式(16)觀察可以發現，不論值為多少，其頻率皆為，代表極限圓之頻率不受值影響。接下來求，時之振幅。首先由下列關係

 (19)

求出

 (20)

由此可知

 (21)

利用MATLAB中之fsolve函數，可求解出振幅

 (22)

由此可知，當時，所得到之極限圓頻率為，振幅為40.6627。

若用輸出響應之表示法則為

 (23)

圖3為基於時繪製之線性受控體的奈氏曲線和曲線。由上述計算可以得知，兩曲線之交點處之振幅為40.6627。當振幅大小時，被所包圍，系統處於不穩定的情形，不穩定故振幅遞增，之值會朝兩曲線交點運動。當時，不被所包圍，系統處於穩定情形，穩定故遞減，之值會朝兩曲線交點運動。這代表不論之值大於或小於40.6627，系統之變化趨勢皆會朝著極限圓 (臨界點)運動，代表這點之極限圓為穩定極限圓。

|  |
| --- |
|  |
| 圖3、當時，系統臨界點軌跡與線性受控體的奈氏曲線關係 |

## **(c)**

利用MATLAB 的非線性飽和元件模組，模擬上面方塊圖的時間響應 ，每次模擬使用不同的值，決定使得系統為穩定的最大允許值(記作)。註:這裡的穩定是指在輸入指令的情形下，不管初始誤差 或是，都可以保證。

為了在MATLAB SIMULINK中模擬非線性飽和元件模組，需先將此系統之線性元件轉為狀態空間方程式。此系統之線性元件轉移函數如下:

 (24)

利用MATLAB中之函式 ”tf2ss”將(21)轉為狀態空間方程式

 (25)

其中

 (26)

 (27)

在此例中，輸出之向量為，也就是此系統之輸出響應 。參考圖4之方塊圖關係，可知系統輸入為0，且 ，由此可知此系統之初始值可以設置為 。

|  |
| --- |
|  |
| 圖4、非線性飽和元件模組於MATLAB SIMULINK中之架構圖 |

為了找出此系統之最大允許值(記作)，且依照題目需求，在輸入指令的情形下，不管初始誤差 或是，都可以保證。故以下採用之方法，會先繪製8個值 (1、10、20、30、40、50、60、70)之系統輸出對時間響應圖，且每個值會同時繪製、和(30、10、20)等三種不同輸入振幅之系統輸出對時間響應圖。圖5~12為MATLAB模擬之結果。由圖中觀察，可以發現時，不論輸入之系統初始誤差為何，都會快速的收斂到0。這和(a)小題之討論結果吻合。當時，系統之軌跡永遠不會被之軌跡所包圍，故不論系統初始誤差值為何，最後皆會收斂 ，也就是。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 圖5、系統增益時，不同之系統響應 | 圖6、系統增益時，不同之系統響應 |
|  |  |
| 圖7、系統增益時，不同之系統響應 | 圖8、系統增益時，不同之系統響應 |
|  |  |
| 圖9、系統增益時，不同之系統響應 | 圖10、系統增益時，不同之系統響應 |
|  |  |
| 圖11、系統增益時，不同之系統響應 | 圖12、系統增益時，不同之系統響應 |

由圖11開始，也就是時，系統不再出現收斂的行為。而是依照不同的初始值，做不同振幅之震盪。這和(b)小題之討論相吻合，當時，系統之奈式曲線會和之交點為 ，代表不論系統之初始誤差值為何，在相平面上之結果即是產生極限圓，在時間響應圖中的表現即是既不收斂，也不發散的來回震盪。 而當時，系統也產生了來回震盪的極限圓現象，且振幅較時大，這時可以觀察到一個現象，就是在此系統中，之大小和極限圓振幅呈現正向的關係。

但以上的模擬結果並無法直接驗證此系統之最大允許值為60。只能說明值發生在大於50處。為了對此推論進行驗證，吾人將系統誤差初始值固定為20，並繪製三種值，之系統響應圖。結果如圖12所示，當時，系統響應收斂至0。但當時，系統響應來回震盪，既不發散也不收斂，產生極限圓。由此可推論，在MATLAB SIMULINK中模擬出之最大允許值和先前利用數學方法產生之結果相吻合，皆為60，此即系統之臨界穩定增益。

|  |
| --- |
|  |
| 圖12、固定初始條件下系統在臨界增益附近之系統響應圖 |

系統之時間響應圖除了可以找出臨界穩定增益，也可以找出其他系統特性。例如極限圓之振幅大小和系統初始誤差值無關，而是和系統之增益有關。若以系統之和曲線來推論，當系統初始誤差值大於20時，且系統之增益為60時，不管振幅之值 (只要大於20)為多少，系統一開始皆不會和臨界穩定增益之相交，故系統一開始呈現收斂的現象。然而當系統振幅逐漸收斂至20時，極限圓的現象就會發生，且這個振幅不是由系統之初始誤差值決定，而是由系統之增益決定。

|  |
| --- |
|  |
| 圖13、系統增益值為臨界增益K = 60 時 ，初始條件大於 20 的之系統響應 |

## **(d)**

比較以上二種方法所得到的值，分析二者的差異所代表的意義。

在(a)小題和(c)小題中求得之皆值為60。兩種方法所得到的結果相吻合。 (a)小題中得到值的方法為利用描述函數和線性系統奈氏圖的關係，用數學方法直接計算臨界增益值。非線性系統能夠用線性系統之穩定性判斷方法，是因為我們利用描述函數這個工具，將非線性元件近似為線性系統，產生非線性系統之轉移函數，進而能夠使用Nyquist定理判斷系統之穩定性。但是要能夠產生描述函數，此非線性系統需要滿足一項假設，即是連接非線性元件之線性系統，其頻域響應之低頻大小必須遠大於其高頻大小，也就是類似低通濾波器之行為。數學描述如下

 (28)

由MATLAB指令”margin”可以獲得線性系統之波德圖。圖14中可以看到，此系統之線性元件在頻率為1 時即下降到0，此頻寬非常窄，符合(25)中所述之條件。故此系統之非線性元件可以順利使用描述函數進行分析。而(c)小題之方法則是經過(a)小題之分析後，用MATLAB SIMUKINK非飽和元件模組和不同振幅、系統增益之系統響應結果來驗證(a)小題之分析結果。其結果也和數學分析結果相符合。但若未經過數學分析，直接使用模擬方法來尋找臨界穩定增益值，並無法直接獲得60這個準確的增益值。

|  |
| --- |
|  |
| 圖14、線性系統之波德圖 |

## **(e)**

在問題(c)中，取數值，其中的值取成與(b)題相同，但以 MATLAB 進行模擬(不使用描述函數)，確認方塊圖是否存在極限圓的振盪解。如果存在的話，比較此振幅，及頻率是否與(b)題的答案相同。(注意: 所謂極限圓的振盪解是指不管初始誤差為多少，MATLAB 的響應最後都收斂到相同的弦波函數)

利用MATLAB SIMULINK之模擬，取增益值 ，兒系統初始誤差值則取三個值，為。取這三個的原因是根據(b)之分析，極限圓震盪振幅為，且依照推論此系統之極限圓為穩定極限圓，不論系統初始誤差值(振幅)為何，極限圓振幅皆會收斂至。取三個數值依序代表振幅小於、等於和大於穩定極限圓之振幅。圖15為模擬結果，由圖中觀察可知，模擬結果和解析推論結果幾乎吻合，不管輸入振幅大小為何，系統皆會進入相同振幅之極限圓震盪，我們也可以知道，三個初始之最終振幅無法達到完全相同。但此方塊圖確實存在極限圓之震盪解。

在問題(b)中，吾人取值為100。因，在的軌跡中，一定會包圍部分射線。且在(b)中，經過計算已經得知在時，極限圓發生之頻率為，振幅為，得知其極限圓震盪解為

 (29)

此響應可以直接由MATLAB繪圖。圖15比較了用解析解之系統響應和模擬方塊圖之系統響應。兩者相位差是由於初始值之不同產生，但是頻率和振幅皆幾乎吻合。但和圖15中的結果一樣，所有振幅無法完全準確。這些微小誤差推測來自描述函數在近似的過程中捨棄之精確度。但以結果來看，描述函數已經非常逼近模擬方塊圖的結果，這表示描述函數對於模擬非線性系統依舊是一可用工具。

|  |
| --- |
|  |
| 圖15、當系統增益值時不同系統初始誤差值之系統響應圖 |

|  |
| --- |
|  |
| 圖16、由系統模擬得到的響應以及預測的系統極限圓響應 |

|  |
| --- |
| **MATLAB Code** |
| (a) |
| %% Nolinear Control HW3\_(a)  clc;  clear;  close all;    %%  FS\_ax = 16 ;  LW\_1 = 1.35 ;    %% Open loop nyquist plot  K = 1;  num=[K];  den1=conv([0.1 1],[0.02 1]);  den=conv([1 0],den1);  sys=tf(num,den);  [re,im,we]=nyquist(sys);  for i =1: length(re)  G\_re(i) = re(:,:,i) ;  G\_im(i) = im(:,:,i) ;  end    figure(1)  plot(G\_re,G\_im,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  quiver(G\_re,G\_im,gradient(G\_re),gradient(G\_im),2,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  plot(G\_re,-G\_im,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  quiver(G\_re,-G\_im,-gradient(G\_re),gradient(G\_im),2,'b','LineWidth',LW\_1,'MaxHeadSize',100)  plot([-0.15 0.05],[0 0],'-k')  plot([0 0],[-0.09 0.09],'-k')  axis equal  ax(1) = gca ;  set(ax(1), 'XLim', [-0.15 0.05], 'YLim', [-0.08 0.08],'xtick', [-0.15:0.05:0.05], 'ytick', [-0.1:0.05:0.1])  xlabel('Real')  ylabel('Image')  text(-0.03,0.023,'$\omega = \omega\_0 = 22.3607 $','Interpreter','latex','FontSize',15,'Color','b')  text(-0.02,0.01,'$\downarrow$','Interpreter','latex','FontSize',20,'Color','b')  grid on    %% N(X) and G(jw)  figure (2)  K = 60;  num=[K];  den1=conv([0.1 1],[0.02 1]);  den=conv([1 0],den1);  sys=tf(num,den);  [re,im,we]=nyquist(sys);  for i =1: length(re)  G\_re(i) = re(:,:,i) ;  G\_im(i) = im(:,:,i) ;  end  X = 20 : 0.1 :270;  for i = 1:length(X)  N\_X(i) = 2/pi\*( asin(20/X(i)) + 20/X(i)\*( 1-400/(X(i)^2) )^(1/2));  end  N\_X\_inv = 1./N\_X ;  plot(-N\_X\_inv,zeros(length(N\_X\_inv)),'-r','LineWidth',LW\_1)  hold on  plot(G\_re,G\_im,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  quiver(G\_re,G\_im,gradient(G\_re),gradient(G\_im),2,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  plot(G\_re,-G\_im,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  quiver(G\_re,-G\_im,-gradient(G\_re),gradient(G\_im),2,'b','LineWidth',LW\_1,'MaxHeadSize',100)  hold on  annotation( 'arrow' ,[ 0.248 0.195 ],[0.53 0.53] , 'Color' , 'r' );  plot([-6 3],[0 0],'-k')  plot([0 0],[-4 4],'-k')  axis equal  ax(2) = gca ;  set(ax(2), 'XLim', [-6 3], 'YLim', [-4 4],'xtick', [-6:1:3], 'ytick', [-4:1:4])  xlabel('Real')  ylabel('Image')  text(-3,-2.5,'$KG(j\omega)$','Interpreter','latex','FontSize',15,'Color','b')  text(-6,-1,'$-\frac{1}{N(X)}$','Interpreter','latex','FontSize',18,'Color','r')  grid on    %% title  for i = 1:length(ax)  set(ax(i),'FontSize',FS\_ax,'FontName','Times New Roman')  end |
| (b) |
| %% Nolinear Control HW3\_b  clc;  clear;  close all;    %%  FS\_ax = 16 ;  LW\_1 = 1.35 ;    %%  figure (1)  K = 100;  num=[K];  den1=conv([0.1 1],[0.02 1]);  den=conv([1 0],den1);  sys=tf(num,den);  [re,im,we]=nyquist(sys);  for i =1: length(re)  G\_re(i) = re(:,:,i) ;  G\_im(i) = im(:,:,i) ;  end  X = 20 : 0.1 :270;  for i = 1:length(X)  N\_X(i) = 2/pi\*( asin(20/X(i)) + 20/X(i)\*( 1-400/(X(i)^2) )^(1/2));  end  N\_X\_inv = 1./N\_X ;  plot(-N\_X\_inv,zeros(length(N\_X\_inv)),'-r','LineWidth',LW\_1)  hold on  plot(G\_re,G\_im,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  quiver(G\_re,G\_im,gradient(G\_re),gradient(G\_im),2,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  plot(G\_re,-G\_im,'b','LineWidth',LW\_1)  hold on  quiver(G\_re,-G\_im,-gradient(G\_re),gradient(G\_im),2,'b','LineWidth',LW\_1,'MaxHeadSize',100)  hold on  plot(-N\_X\_inv(1),0,'ro')  annotation( 'arrow' ,[ 0.248 0.195 ],[0.53 0.53] , 'Color' , 'r' );  plot([-6 3],[0 0],'-k')  plot([0 0],[-4 4],'-k')  axis equal  ax(1) = gca ;  set(ax(1), 'XLim', [-6 3], 'YLim', [-4 4],'xtick', [-6:1:3], 'ytick', [-4:1:4])  xlabel('Real')  ylabel('Image')  text(-3,-2.5,'$KG(j\omega)$','Interpreter','latex','FontSize',15,'Color','b')  text(-6,-1,'$-\frac{1}{N(X)}$','Interpreter','latex','FontSize',18,'Color','r')  text(-2.5,1,'-1.6667','FontSize',16,'FontName','Times New Roman')  text(-1.8,0.5,'$\downarrow$','Interpreter','latex','FontSize',20,'Color','K')  title('$K=K\_1=100$', 'interpreter', 'latex')  grid on    %%  for i = 1:length(ax)  set(ax(i),'FontSize',FS\_ax,'FontName','Times New Roman')  end    %% Calculate the X  func\_N\_X\_c = @(Xc) -1.6667\*(2/pi\*( asin(20/Xc) + 20/Xc\*( 1-400/(Xc^2) )^(1/2) ))+1 ;  Xc = fsolve(func\_N\_X\_c,40) |
| (c) |
| %% Nolinear Control HW3\_c  clc;  clear;  close all;    %% System Parameters  dt = 0.0005;  t\_final=100;  t=0:dt:t\_final;  [A,B,C,D]=tf2ss(1,conv([1 0],conv([0.1 1],[0.02 1])));  LW\_1=1.4;  LW\_2=1;  FS\_ax=16;  FS\_leg=17;    %% When K=1  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_1=1;  f(1)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_1 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_1) ],'Interpreter','latex')  hs(1) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(1)=gca;  ax(1).XLim=[0 10];  ax(1).YLim=[-30 8];  grid on    %% K=10  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_2=10;  f(2)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_2 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_2) ],'Interpreter','latex')  hs(2) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(2)=gca;  ax(2).XLim=[0 10];  ax(2).YLim=[-30 8];  grid on    %% K=20  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_3=20;  f(3)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_3 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_3) ],'Interpreter','latex')  hs(3) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(3)=gca;  ax(3).XLim=[0 10];  ax(3).YLim=[-30 30];  grid on    %% K=30  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_4=30;  f(4)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_4 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_4) ],'Interpreter','latex')  hs(4) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(4)=gca;  ax(4).XLim=[0 10];  ax(4).YLim=[-30 30];  grid on    %% K=40  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_5=40;  f(1)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_5 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_5) ],'Interpreter','latex')  hs(5) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(5)=gca;  ax(5).XLim=[0 10];  ax(5).YLim=[-30 30];  grid on    %% K=50  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_6=50;  f(1)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_6 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_6) ],'Interpreter','latex')  hs(6) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(6)=gca;  ax(6).XLim=[0 10];  ax(6).YLim=[-30 30];  grid on    %% K=60  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_7=60;  f(7)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_7 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_7) ],'Interpreter','latex')  hs(7) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(7)=gca;  ax(7).XLim=[0 7];  ax(7).YLim=[-30 30];  grid on    %% K=70  e\_IC\_1=[30;20;10];  K\_8=70;  f(8)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--'] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_8 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_8) ],'Interpreter','latex')  hs(8) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(8)=gca;  ax(8).XLim=[0 7];  ax(8).YLim=[-30 30];  grid on    %%  e\_IC\_1=20;  K\_9=[20;50;60;80];  f(8)=figure() ;  color=['b- ' ;'r-.';'g--';'c- '] ; %'c-'  for i=1:length(K\_9)  e\_IC=e\_IC\_1 ;  K=K\_9(i) ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Initial $e(0)$ = ',num2str(e\_IC\_1) ],'Interpreter','latex')  hs(9) = legend(['$K$ = ', num2str(K\_9(1))],['$K$ = ', num2str(K\_9(2))],['$K$ = ', num2str(K\_9(3))],['$K$ = ', num2str(K\_9(4))],'Interpreter','latex') ;  ax(9)=gca;  ax(9).XLim=[0 15];  ax(9).YLim=[-40 40];  grid on    %%  e\_IC\_1=20;  K\_10=[61;60;59];  f(9)=figure() ;  color = ['r--' ; 'g-.' ; 'b- ' ] ;  for i=1:length(K\_10)  e\_IC=e\_IC\_1 ;  K=K\_10(i) ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Initial $e(0)$ = ',num2str(e\_IC\_1) ],'Interpreter','latex')  hs(10) = legend(['$K$ = ', num2str(K\_10(1))],['$K$ = ', num2str(K\_10(2))],['$K$ = ', num2str(K\_10(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(10)=gca;  ax(10).XLim=[0 60];  ax(10).YLim=[-40 40];  grid on    %%  e\_IC\_1=[30;70;100];  K\_11=60;  f(10)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--'] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_11 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_11) ],'Interpreter','latex')  hs(10) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(10)=gca;  ax(10).XLim=[0 5];  ax(10).YLim=[-110 100];  grid on    %%  for i = 1:length(ax)  set(ax(i),'FontSize',FS\_ax,'FontName','Times New Roman')  end  for i = 1:length(hs)  set(hs(i),'FontSize',FS\_leg,'FontName','Times New Roman')  end |
| (d) |
| %% Nolinear Control HW3\_d  clc;  clear;  close all;    %% System Parameters  K = 1;  num=[K];  den1=conv([0.1 1],[0.02 1]);  den=conv([1 0],den1);  sys=tf(num,den);  margin(sys)  grid on |
| (e) |
| %% Nolinear Control HW3\_e  clc;  clear;  close all;    %% System Parameters  dt = 0.0005;  t\_final=100;  t=0:dt:t\_final;  [A,B,C,D]=tf2ss(1,conv([1 0],conv([0.1 1],[0.02 1])));  LW\_1=1.4;  LW\_2=1;  FS\_ax=16;  FS\_leg=17;    %%  e\_IC\_1=[25;40.6;80];  K\_1=100;  f(1)=figure() ;  color=['b- ' ; 'r-.' ; 'g--' ] ;  for i=1:length(e\_IC\_1)  e\_IC=e\_IC\_1(i) ;  K=K\_1 ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,color(i,:),'LineWidth',LW\_1);  hold on  end  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K\_1) ],'Interpreter','latex')  hs(1) = legend(['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(1))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(2))],['$e(0)$ = ', num2str(e\_IC\_1(3))],'Interpreter','latex') ;  ax(1)=gca;  ax(1).XLim=[0 3];  ax(1).YLim=[-100 100];  grid on    %%  e\_IC = 40.6 ;  K = 100 ;  pre\_Xc = 40.6627\*sin(10\*(5)^(1/2)\*t) ;  f(2) = figure ;  sim('ClosedLoop\_System\_Simulink')  plot(t,c,'b','LineWidth',LW\_1) ;  hold on  plot(t,pre\_Xc,'r--','LineWidth',LW\_1)  xlabel('Time (s)')  ylabel('Output $c(t)$','Interpreter','latex')  title(['Open Loop Linear System Gain K = ',num2str(K) ],'Interpreter','latex')  hs(2) = legend({'Simulation ','Prediction'},'Interpreter','latex') ;  ax(2) = gca ;  ax(2).XLim = [0 3] ;  ax(2).YLim = [-75 75] ;  grid on    %%  for i = 1:length(ax)  set(ax(i),'FontSize',FS\_ax,'FontName','Times New Roman')  end  for i = 1:length(hs)  set(hs(i),'FontSize',FS\_leg,'FontName','Times New Roman')  end |