Ingeniería de Control Moderno

Tarea No. 2

Cano García Eduardo

6° 6

1. Un regulador tiene la planta $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{10}{(s+1)(s+2)(s+3)}$. Usando las variables de estado $x_1 = y, x_2 = \dot{x}_1, x_3 = \dot{x}_2$ y la ley de control $u(t) = -\mathbf{Kx}$. Se desea ubicar los polos en lazo cerrado del sistema en: $s = -2 \pm j2\sqrt{3}$, $s = -10$

a) Obtener analíticamente la representación en Espacio de Estados

```
num = 10;
den1 = conv([1 1] , [1 2]);
den2 = conv(den1 , [1 3]);
%tf = tf(num , den2)
[A,B,C,D] = tf2ss(num , den2); % Espacio de Estados
% Create a state-space system object
sys = ss(A, B, C, D);
% Display the state-space matrices
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('A = '), disp(A);
```

```
A =
    -6   -11    -6
     1     0     0
     0     1     0
```

```
disp('B = '), disp(B);
```

```
B =
     1
     0
     0
```

```
disp('C = '), disp(C);
```

```
C =
     0     0    10
```

```
disp('D = '), disp(D);
```

```
D =
     0
```

b) Determinar si el sistema en espacio de estados es completamente controlable para los estados (prueba de controlabilidad) analíticamente y/o con MATLAB.

```
% Aplicar la prueba de controlabilidad
controllabilityMatrix = ctrb(A, B);
disp('Matriz de Controlabilidad: '), disp(controllabilityMatrix);
```

```
Matriz de Controlabilidad:
     1    -6    25
     0     1    -6
     0     0     1
```

```
determMatrixControl = det(controllabilityMatrix)
```

```
determMatrixControl =
1
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad
rankControl = rank(controllabilityMatrix)
```

```
rankControl =
3
```

El orden del sistema es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es 1 lo que significa que el sistema es completamente controlable.

c) Determinar la matriz de ganancias de retroalimentación de los estados **K**, analíticamente y/o con MATLAB.

```
poles =[(-2+2*sqrt(3)*sqrt(-1)) , (-2-2*sqrt(3)*sqrt(-1)) , -10];
% Posicionarlos con la función Arker
kA=acker(A,B,poles)
```

```
kA = 1×3
    8.0000   45.0000  154.0000
```

```
%Vamos a comprobar que de lo mismo usando la función Place
kP=place(A,B,poles)
```

```
kP = 1×3
    8.0000   45.0000  154.0000
```

d) Simular la respuesta del sistema en lazo cerrado. Proponer condiciones iniciales.

```
AA = A-B*kA;
BB = eye(3);
CC = eye(3);
DD = eye(3);
syscl = ss(AA,BB,CC,DD);
% Display the state-space matrices close loop
```

```
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('AA = '), disp(AA);
```

```
AA =
  -14.0000  -56.0000 -160.0000
    1.0000         0         0
         0    1.0000         0
```

```
disp('BB = '), disp(BB);
```

```
BB =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

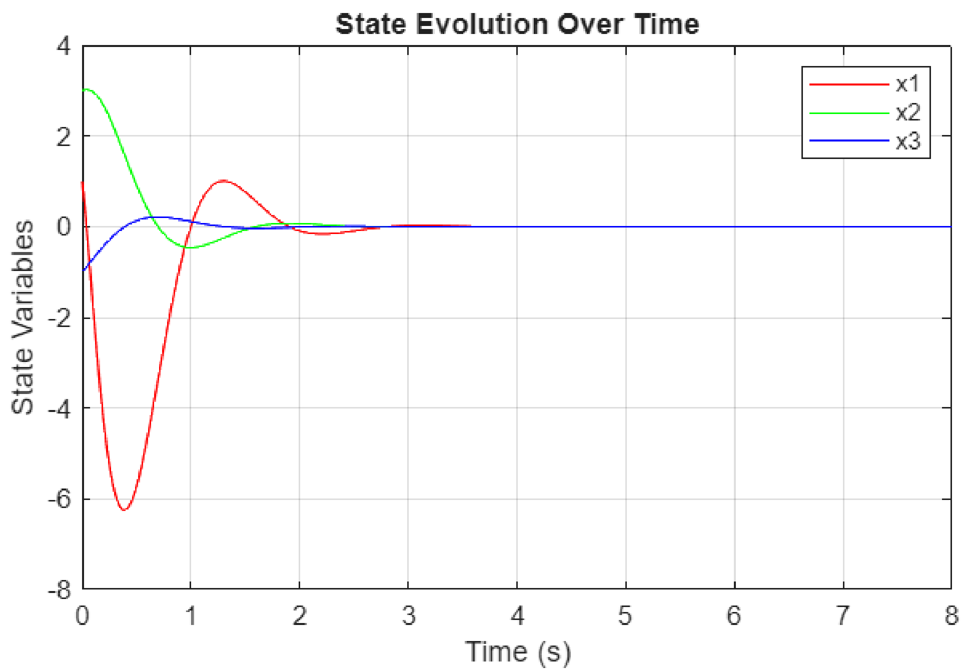
```
disp('CC = '), disp(CC);
```

```
CC =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
disp('DD = '), disp(DD);
```

```
DD =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
% Tiempo de simulación
t = 0:0.01:8;
% Condiciones iniciales
x0 = [1;3;-1];
x = initial(syscl,x0,t);
x1 = [1 0 0 ]*x';
x2 = [0 1 0 ]*x';
x3 = [0 0 1 ]*x';
% Plot the state evolution for each state variable
figure;
plot(t, x1, 'r', t, x2, 'g', t, x3, 'b');
xlabel('Time (s)');
ylabel('State Variables');
title('State Evolution Over Time');
legend('x1', 'x2', 'x3');
grid on;
```



2. Considrando el sistema del problema (1)

a) Obtener la representación en espacio de estado con la función tf2ss de MATLAB

```
num_2 = 10;
den1_2 = conv([1 1] , [1 2]);
den2_2 = conv(den1_2 , [1 3]);
tf2 = tf(num_2 , den2_2);
[A_2 , B_2 , C_2 , D_2] = tf2ss(num_2 , den2_2); % Espacio de Estados
% Create a state-space system object
sys_2 = ss(A_2 , B_2 , C_2 , D_2);
% Display the state-space matrices
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('A = '), disp(A_2);
```

```
A = 
    -6   -11    -6
     1     0     0
     0     1     0
```

```
disp('B = '), disp(B_2);
```

```
B = 
     1
     0
     0
```

```
disp('C = '), disp(C_2);
```

```
C =
     0     0    10
```

```
disp('D = '), disp(D_2);
```

```
D =
     0
```

b) Determinar si el sistema es completamente controlable para los estados, analíticamente y/o con MATLAB.

```
% Aplicar la prueba de controlabilidad
controllabilityMatrix_2 = ctrb(A_2 , B_2);
disp('Matriz de Controlabilidad: '), disp(controllabilityMatrix_2);
```

```
Matriz de Controlabilidad:
     1    -6    25
     0     1    -6
     0     0     1
```

```
determMatrixControl_2 = det(controllabilityMatrix_2)
```

```
determMatrixControl_2 =
1
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad
rankControl_2 = rank(controllabilityMatrix_2)
```

```
rankControl_2 =
3
```

El orden del sistema es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es 1 lo que significa que el sistema es completamente controlable.

c) Determinar la matriz de ganancias de retroalimentación de los estados **K**, analíticamente y/o con MATLAB.

```
poles_2 =[(-2+2*sqrt(3)*sqrt(-1)) , (-2-2*sqrt(3)*sqrt(-1)) , -10];
% Posicionarlos con la función Arker
kA_2 =acker(A,B,poles_2)
```

```
kA_2 = 1×3
    8.0000   45.0000  154.0000
```

```
% Comprobamos usando la función Place
kP_2 = place(A,B,poles_2)
```

```
kP_2 = 1×3
    8.0000   45.0000  154.0000
```

d) Simular la respuesta del sistema en lazo cerrado. Proponer condiciones iniciales.

```
AA_2 = A_2-B_2*kA_2;
BB_2 = eye(3);
CC_2 = eye(3);
```

```
DD_2 = eye(3);
syscl_2 = ss(AA_2,BB_2,CC_2,DD_2);
% Display the state-space matrices close loop
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('AA = '), disp(AA_2);
```

```
AA =
  -14.0000  -56.0000 -160.0000
    1.0000         0         0
         0    1.0000         0
```

```
disp('BB = '), disp(BB_2);
```

```
BB =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

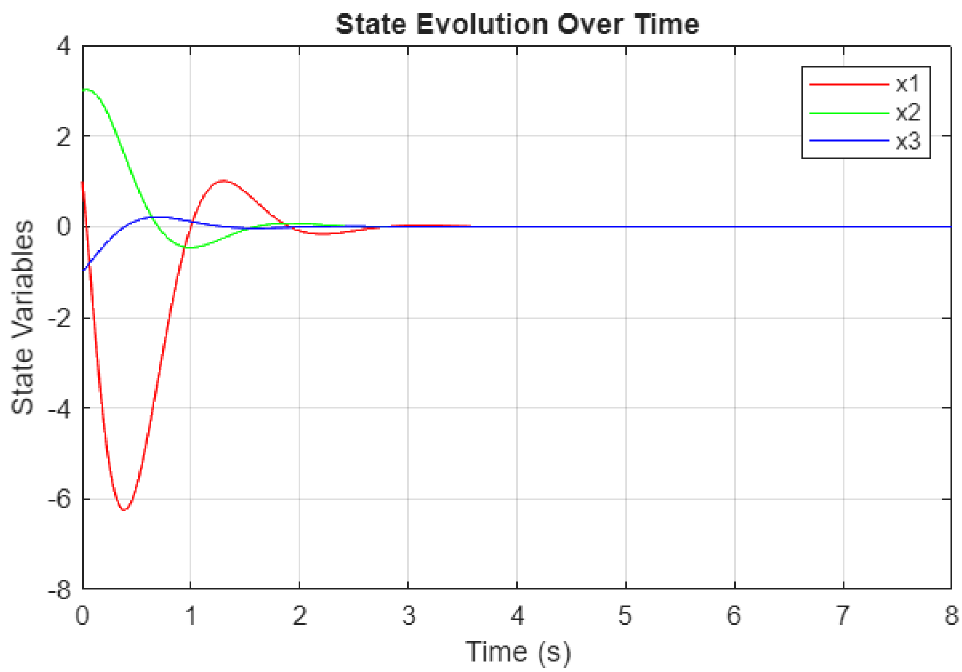
```
disp('CC = '), disp(CC_2);
```

```
CC =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
disp('DD = '), disp(DD_2);
```

```
DD =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
% Tiempo de simulación
t = 0:0.01:8;
% Condiciones iniciales
x0=[1;3;-1];
x = initial(syscl_2,x0,t);
x1 = [1 0 0 ]*x';
x2 = [0 1 0 ]*x';
x3 = [0 0 1 ]*x';
% Plot the state evolution for each state variable
figure;
plot(t, x1, 'r', t, x2, 'g', t, x3, 'b');
xlabel('Time (s)');
ylabel('State Variables');
title('State Evolution Over Time');
legend('x1', 'x2', 'x3');
grid on;
```



3. Mostrar que el sistema siguente

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

No se puede estabilizar por el control $u(t) = -\mathrm{K}s$, sin importar que matriz se elija

```
% Matrices de espacio de Estados
A_3 = [0 , 1 ; 0 , 2];
B_3 = [1 ; 0];
C_3 = eye(2);
D_3 = 0;
sys_3 = ss(A_3 , B_3 , C_3 , D_3);
% Aplicar la prueba de controlabilidad para el sistema 3
controllabilityMatrix_3 = ctrb(A_3, B_3);
disp('Matriz de Controlabilidad para el sistema 3: '),
disp(controllabilityMatrix_3);
```

```
Matriz de Controlabilidad para el sistema 3:
     1     0
     0     0
```

```
determMatrixControl_3 = det(controllabilityMatrix_3)
```

```
determMatrixControl_3 =
0
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad para el sistema 3
rankControl_3 = rank(controllabilityMatrix_3)
```

```
rankControl_3 =
1
```

El orden del sistema no es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es 0 lo que significa que el sistema es no controlable.

4. Para el sistema definido por la ecuación siguente:

$\dot{x} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu}, \; y = \mathrm{Cx}$, donde

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -5 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Usando el control con retroalimentación de los estados $u(t) = -\mathrm{Kx}$, se desea tener los polos en lazo cerrado en $s = -2 \pm \mathrm{j}4, s = -10$

```
A_4 = [0 1 0 ; 0 0 1 ; -1 -5 -6];
B_4 = [0 ; 1 ; 1];
```

a) Verificar si el sistema es completamente controlable para los estados, analíticamente y/o mediante MATLAB.

```
% Aplicar la prueba de controlabilidad para el sistema 3
controllabilityMatrix_4 = ctrb(A_4, B_4);
disp('Matriz de Controlabilidad para el sistema 4: '),
disp(controllabilityMatrix_4);
```

```
Matriz de Controlabilidad para el sistema 4:
     0     1     1
     1     1   -11
     1   -11    60
```

```
determMatrixControl_4 = det(controllabilityMatrix_4)
```

```
determMatrixControl_4 =
-83
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad para el sistema 3
rankControl_4 = rank(controllabilityMatrix_4)
```

```
rankControl_4 =
3
```

El orden del sistema es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es -83 lo que significa que el sistema es controlable.

b) Determinar la matriz de ganancias para los estados (K) analíticamente y/o mediante MATLAB.

```
poles_4 =[(-2+2*j*4) , (-2-2*j*4) , -10];
% Posicionarlos con la función Arker
```

```
kA_4 =acker(A_4,B_4,poles_4)
```

```
kA_4 = 1×3
   97.6024    3.7831    4.2169
```

```
% Comprobamos usando la función Place
kP_4 = place(A_4,B_4,poles_4)
```

```
kP_4 = 1×3
   97.6024    3.7831    4.2169
```

c) Simular la respuesta del sistema en lazo cerrado. Proponer condiciones iniciales

```
AA_4 = A_4-B_4*kA_4;
BB_4 = eye(3);
CC_4 = eye(3);
DD_4 = eye(3);
syscl_4 = ss(AA_4,BB_4,CC_4,DD_4);
% Display the state-space matrices close loop
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('AA = '), disp(AA_4);
```

```
AA =
         0    1.0000         0
  -97.6024   -3.7831   -3.2169
  -98.6024   -8.7831  -10.2169
```

```
disp('BB = '), disp(BB_4);
```

```
BB =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
disp('CC = '), disp(CC_4);
```

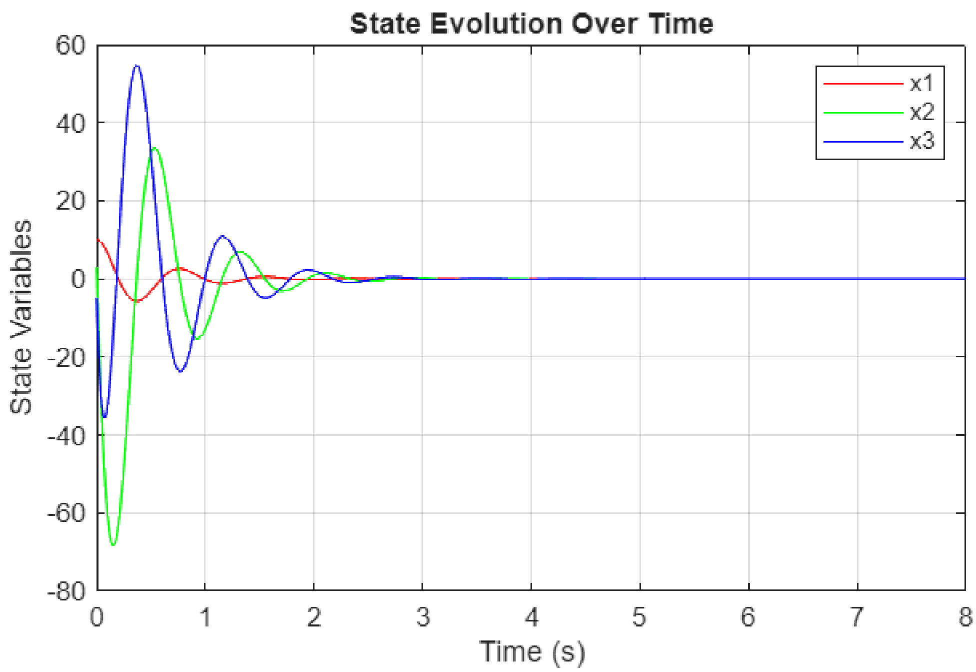
```
CC =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
disp('DD = '), disp(DD_4);
```

```
DD =
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
% Tiempo de simulación
t_4 = 0:0.01:8;
% Condiciones iniciales
x0_4=[10;3;-5];
x = initial(syscl_4,x0_4,t_4);
x1 = [1 0 0 ]*x';
```

```
x2 = [0 1 0 ]*x';
x3 = [0 0 1 ]*x';
% Plot the state evolution for each state variable
figure;
plot(t_4, x1, 'r', t_4, x2, 'g', t_4, x3, 'b');
xlabel('Time (s)');
ylabel('State Variables');
title('State Evolution Over Time');
legend('x1', 'x2', 'x3');
grid on;
```



5. Para el sistema definido por la ecuación siguente:

$\dot{x} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu},\ y = \mathrm{Cx}$, donde

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -5 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0 \quad 0]$$

con la ley de control $u(t) = k_1 r - (k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3)$.

```
A_5 = [0 1 0 ; 0 0 1 ; 0 -5 -6];
B_5 = [0 ; 0 ; 1];
C_5 = [1 0 0];
D_5 = 0;
```

a) Verificar si el sistema es controlable para los estados.

```
% Aplicar la prueba de controlabilidad para el sistema 3
```

```
controllabilityMatrix_5 = ctrb(A_5, B_5);
disp('Matriz de Controlabilidad para el sistema 5: '),
disp(controllabilityMatrix_5);
```

```
Matriz de Controlabilidad para el sistema 5:
     0     0     1
     0     1    -6
     1    -6    31
```

```
determMatrixControl_5 = det(controllabilityMatrix_5)
```

```
determMatrixControl_5 =
-1
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad para el sistema 3
rankControl_5 = rank(controllabilityMatrix_5)
```

```
rankControl_5 =
3
```

El orden del sistema es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es -1 lo que significa que el sistema es controlable.

b) Determinar las constantes ganancias de retroalimentación de los estados k_1 , k_2 , k_3 tal que los polos deseados en lazo cerrado estén localizados en $s_1 = -2 + \mathrm{j}4$, $s_2 = -2 - 4j$, $s = -10$

```
poles_5 =[(-2+j*4) , (-2-j*4) , -10];
% Posicionarlos con la función Arker
kA_5 =acker(A_5,B_5,poles_5)
% Comprobamos usando la función Place
kP_5 = place(A_5,B_5,poles_5)
k1_5 = kA_5(1)
```

```
kA_5 = 1×3
   200    55     8
kP_5 = 1×3
  200.0000   55.0000    8.0000
k1_5 =
200
```

```
k2_5 = kA_5(2)
```

```
k2_5 =
55
```

```
k3_5 = kA_5(3)
```

```
k3_5 =
8
```

c) Obtener la respuesta del sistema a una entrada escalón unitaria.

```
AA_5 = A_5-B_5*kA_5;
BB_5 = B_5*k1_5;
```

```
CC_5 = C_5;
DD_5 = D_5;
syscl_5 = ss(AA_5,BB_5,CC_5,DD_5);
% Display the state-space matrices close loop
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('AA = '), disp(AA_5);
```

```
AA =
     0     1     0
     0     0     1
  -200   -60   -14
```

```
disp('BB = '), disp(BB_5);
```

```
BB =
     0
     0
   200
```

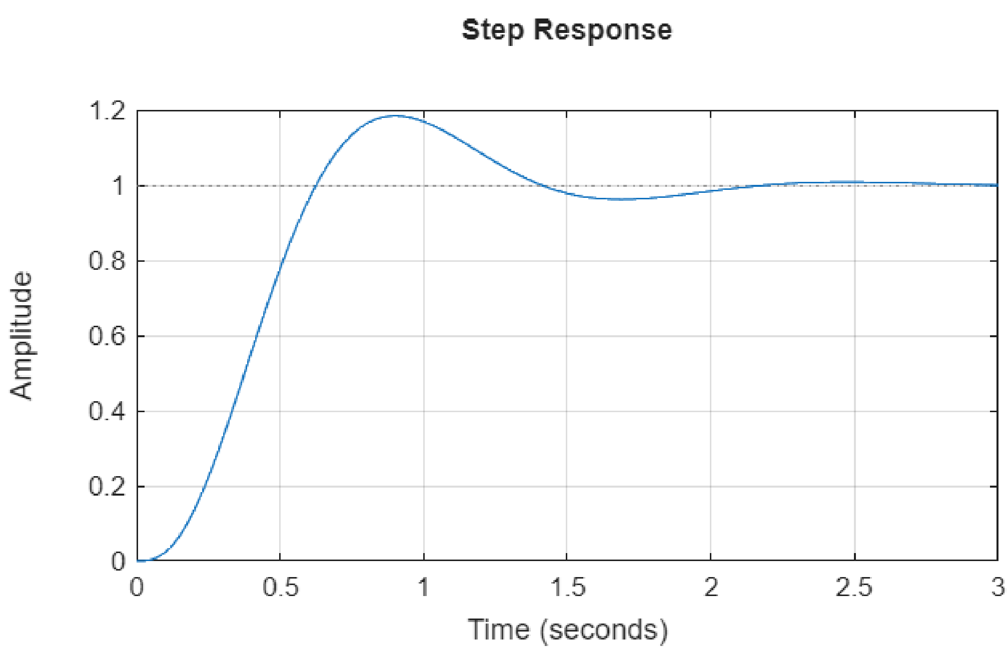
```
disp('CC = '), disp(CC_5);
```

```
CC =
     1     0     0
```

```
disp('DD = '), disp(DD_5);
```

```
DD =
     0
```

```
step(syscl_5)
grid on
```



6. Un péndulo invertido es descrito mediante las ecuaciones diferenciales siguientes:

$\ddot{\theta} = \frac{M+m}{M \cdot l} g\theta - u;\ \ddot{x} = \frac{u}{M} - \frac{\mathrm{mg}}{M}\theta,$ donde θ es la rotación de la barra del péndulo y x es la posición del carro. Si M=2 Kg, m=0.5 kg y l= 1 m. Utilizando las variables de estado $x_1 = \theta, x_2 = \dot{\theta}, x_3 = x, x_4 = \dot{x}$ y las variables de salida $y_1 = \theta = x_1, y_2 = x = x_3$.

Escriba las ecuaciones de estado $\dot{x} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu}; y = \mathrm{Cx}$

```
A_6 = [0 1 0 0 ; 12.26 0 0 0 ; 0 0 0 1 ; -2.45 0 0 0];
B_6 = [0 ; -1 ; 0 ; 0.5];
C_6 = [1 0 0 0 ; 0 0 1 0];
D_6 = 0;
```

b. Verificar si el sistema es completamente controlable para los estados.

```
% Aplicar la prueba de controlabilidad para el sistema 6
controllabilityMatrix_6 = ctrb(A_6, B_6);
disp('Matriz de Controlabilidad para el sistema 6: '),
disp(controllabilityMatrix_6);
```

```
Matriz de Controlabilidad para el sistema 6:
         0   -1.0000         0  -12.2600
   -1.0000         0  -12.2600         0
         0    0.5000         0    2.4500
    0.5000         0    2.4500         0
```

```
determMatrixControl_6 = det(controllabilityMatrix_6)
```

```
determMatrixControl_6 =
13.5424
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad para el sistema 3
rankControl_6 = rank(controllabilityMatrix_6)
```

```
rankControl_6 =
4
```

El orden del sistema es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es 13.5424 lo que significa que el sistema es controlable.

b. Determine la matriz K de retroalimentación para los estados, usando los polos deseados en lazo cerrado $s_1 = -4 + \mathrm{j}4, s_2 = -4 - \mathrm{j}4, s_3 = -20, s_4 = -20$

```
poles_6 =[(-4+j*4) , (-4-j*4) , -20 , -20];
% Posicionarlos con la función Arker
kA_6 =acker(A_6,B_6,poles_6)
```

```
kA_6 = 1×4
```

```
10^3 ×
   -2.5034   -0.6567   -3.4783   -1.2174
```

```
% Comprobamos usando la función Place
%kP_6 = place(A_6,B_6,poles_6)
```

c) Escriba un programa en MATLAB para obtener la respuesta del sistema de control a una condición inicial arbitraria. Utilice como condiciones iniciales $x_1(0) = 0\,, x_2(0) = 0\,, x_3(0) = 0\,, x_4(0) = 1\ \frac{m}{s}$

```
AA_6 = A_6-B_6*kA_6;
BB_6 = eye(4);
CC_6 = eye(4);
DD_6 = eye(4);
syscl_6 = ss(AA_6,BB_6,CC_6,DD_6);
% Display the state-space matrices close loop
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('AA = '), disp(AA_6);
```

```
AA =
   1.0e+03 *

         0    0.0010         0         0
   -2.4911   -0.6567   -3.4783   -1.2174
         0         0         0    0.0010
    1.2492    0.3283    1.7391    0.6087
```

```
disp('BB = '), disp(BB_6);
```

```
BB =
     1     0     0     0
     0     1     0     0
     0     0     1     0
     0     0     0     1
```

```
disp('CC = '), disp(CC_6);
```

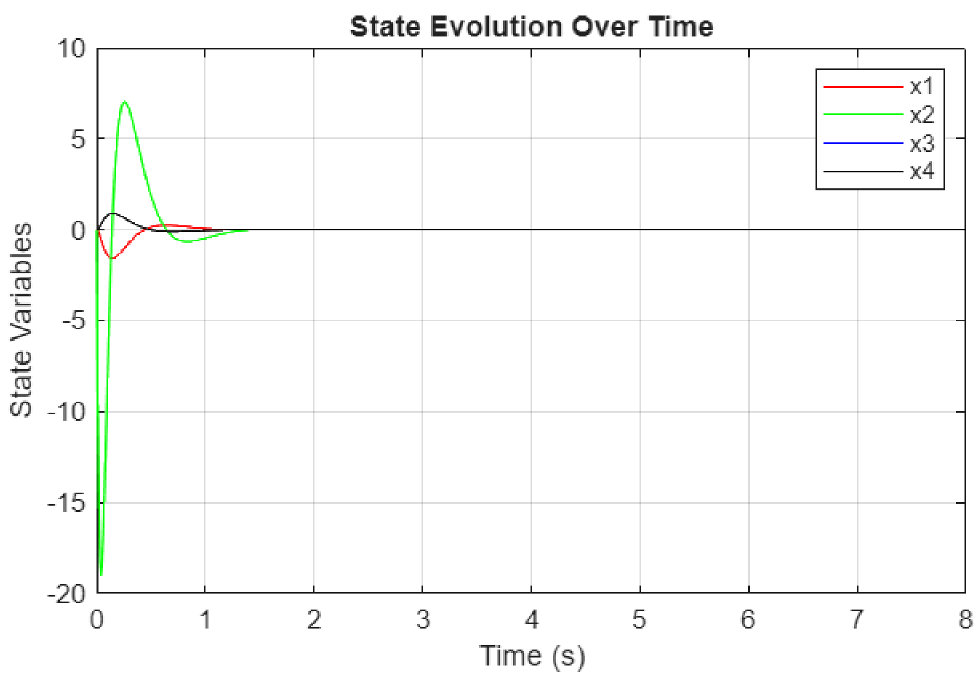
```
CC =
     1     0     0     0
     0     1     0     0
     0     0     1     0
     0     0     0     1
```

```
disp('DD = '), disp(DD_6);
```

```
DD =
     1     0     0     0
     0     1     0     0
     0     0     1     0
     0     0     0     1
```

```
% Tiempo de simulación
t = 0:0.01:8;
% Condiciones iniciales
```

```
x0=[0;0;0;1];
x = initial(syscl_6,x0,t);
x1 = [1 0 0 0]*x';
x2 = [0 1 0 0]*x';
x3 = [0 0 1 0]*x';
x4 = [0 0 1 0]*x';
% Plot the state evolution for each state variable
figure;
plot(t, x1, 'r', t, x2, 'g', t, x3, 'b', t, x4, 'k');
xlabel('Time (s)');
ylabel('State Variables');
title('State Evolution Over Time');
legend('x1', 'x2', 'x3', 'x4');
grid on;
```



d) Escriba un programa en MATLAB para obtener la respuesta del sistema de control a una entrada escalón unitaria.

```
AA_6_2 = A_6-B_6*kA_6;
BB_6_2 = B_6*kA_6(1);
CC_6_2 = C_6;
DD_6_2 = D_6;
syscl_6_2 = ss(AA_6_2,BB_6_2,CC_6_2,DD_6_2);
% Display the state-space matrices close loop
disp('State-space matrices:');
```

```
State-space matrices:
```

```
disp('AA = '), disp(AA_6_2);
```

```
AA =
   1.0e+03 *

         0    0.0010         0         0
   -2.4911   -0.6567   -3.4783   -1.2174
         0         0         0    0.0010
    1.2492    0.3283    1.7391    0.6087
```

```
disp('BB = '), disp(BB_6_2);
```

```
BB =
   1.0e+03 *

         0
    2.5034
         0
   -1.2517
```

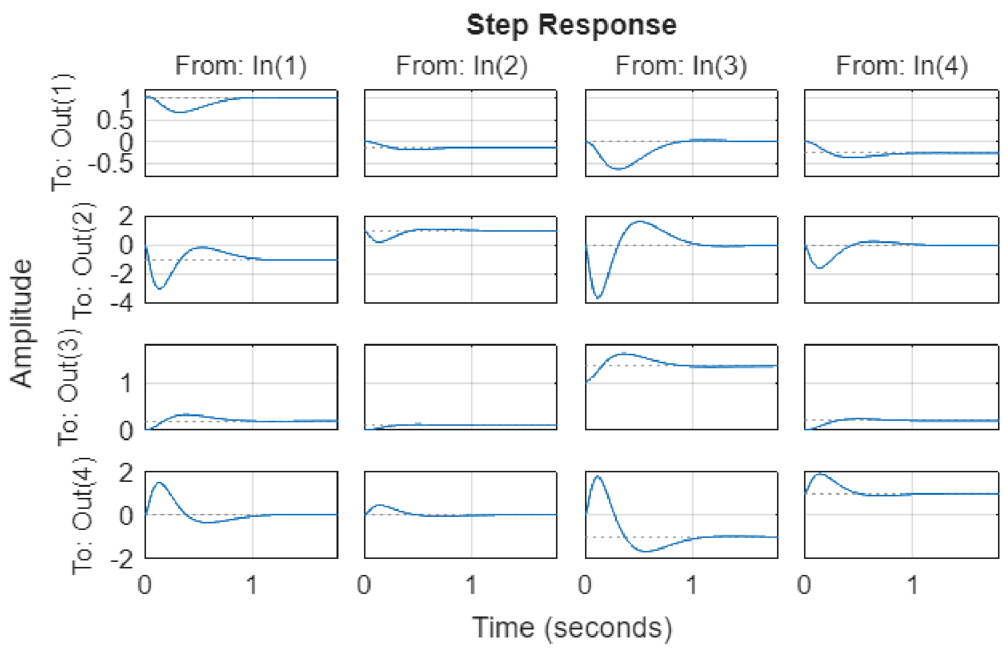
```
disp('CC = '), disp(CC_6_2);
```

```
CC =
     1     0     0     0
     0     0     1     0
```

```
disp('DD = '), disp(DD_6_2);
```

```
DD =
     0
```

```
step(syscl_6)
grid on
```



7. Para el sistema en espacio de estados siguiente:

$\dot{x} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu}, \ y = \mathrm{Cx}$, donde

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -5 & -6 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0 \quad 0]$$

.

```
A_7 = [0 1 0 ; 0 0 1 ; -5 -6 0];
B_7 = [0 ; 0 ; 1];
C_7 = [1 0 0];
D_7 = 0;
```

a) Verificar que el sistema es completamente observable (prueba de observabilidad).

```
% Aplicar la prueba de observavilidad
sys_7 = ss(A_7,B_7,C_7,D_7);
observabilityMatrix_7 = obsv(A_7,C_7);
disp('Matriz de Observabilidad para el sistema 7: '), disp(observabilityMatrix_7);
```

```
Matriz de Observabilidad para el sistema 7:
     1     0     0
     0     1     0
     0     0     1
```

```
rank(observabilityMatrix_7)
```

```
ans =
3
```

```
rank(obsv(sys_7))
```

```
ans =
3
```

```
order(sys_7)
```

```
ans =
3
```

El orden y rango del sistema es el mismo que la matriz de observabilidad lo que significa que el sistema es observable.

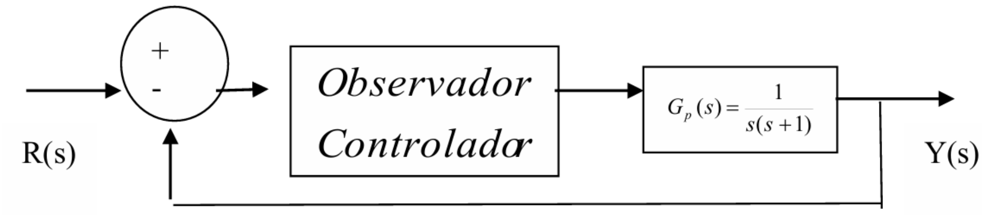
b) Diseñar un observador para los estados de orden completo, suponiendo que los polos deseados son $s_1 = -10$, $s_2 = -10$, $s_3 = -15$

```
% Comprobamos la observabilidad usando la función Place
poles_7 = [-10, -10, -15];
kP_7 = acker(A_7', C_7', poles_7)'
```

```
Warning: Pole locations are more than 10% in error.
kP_7 = 3×1
```

```
    35
   394
  1285
```

8. Para el sistema indicado en el diagrama siguiente



a) Obtener la representación de la planta en espacio de estados

```
num = 1;
den = [1 1 0];
tfsys = tf(num,den)
```

```
tfsys =

     1
  -------
  s^2 + s

Continuous-time transfer function.
Model Properties
```

```
[A_8,B_8,C_8,D_8] = tf2ss(num,den)
```

```
A_8 = 2×2
    -1     0
     1     0
B_8 = 2×1
     1
     0
C_8 = 1×2
     0     1
D_8 =
0
```

b) Verificar que el sistema es controlable.

```
% Aplicar la prueba de controlabilidad para el sistema 8
controllabilityMatrix_8 = ctrb(A_8, B_8);
disp('Matriz de Controlabilidad para el sistema 8: '),
disp(controllabilityMatrix_8);
```

```
Matriz de Controlabilidad para el sistema 8:
     1    -1
     0     1
```

```
determMatrixControl_8 = det(controllabilityMatrix_8)
```

```
determMatrixControl_8 =
1
```

```
% Rango de la matriz de Contrabilidad para el sistema 8
rankControl_8 = rank(controllabilityMatrix_8)
```

```
rankControl_8 =
2
```

El orden del sistema es el mismo que la matriz de controlabilidad y su determinante es 1 lo que significa que el sistema es controlable.

c) Verificar que el sistema es observable.

```
% Aplicar la prueba de observavilidad
sys_8 = ss(A_8,B_8,C_8,D_8);
observabilityMatrix_8 = obsv(A_8,C_8);
disp('Matriz de Observabilidad para el sistema 8: '), disp(observabilityMatrix_8);
```

```
Matriz de Observabilidad para el sistema 8:
     0     1
     1     0
```

```
rank(observabilityMatrix_8)
```

```
ans =
2
```

```
rank(obsv(sys_8))
```

```
ans =
2
```

```
order(sys_8)
```

```
ans =
2
```

El orden y rango del sistema es el mismo que la matriz de observabilidad lo que significa que el sistema es observable.