3º INGENIERÍA INDUSTRIAL

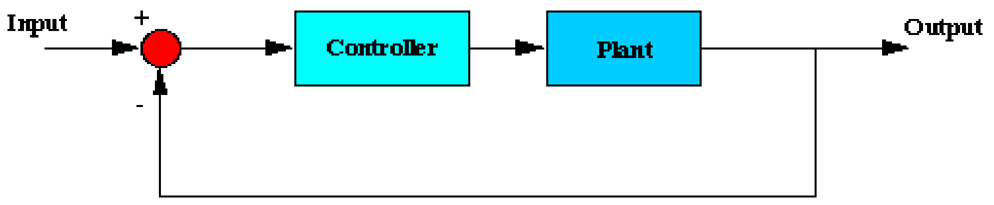
AUTÓMATAS Y SISTEMAS DE CONTROL

PRÁCTICA SISTEMAS DE CONTROL

DISEÑO DE UN CONTROLADOR PID PARA EL SISTEMA BARRA Y BOLA

OBJETIVOS

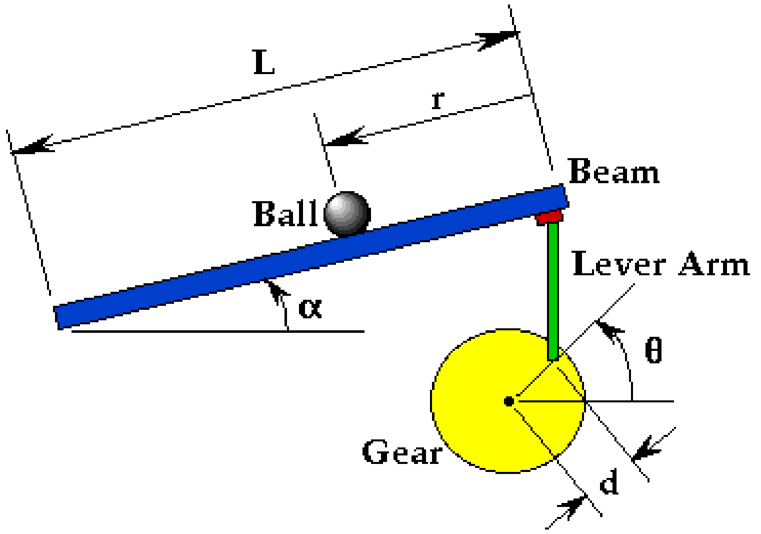
Partiendo del problema planteado en prácticas anteriores donde se identificó la inestabilidad del sistema barra - bola en lazo abierto se procede a diseñar un controlador que respondiendo al esquema mostrado en la figura



consiga que el sistema cumpla unos requerimientos de diseño previamente definidos. Para la resolución del problema se trabajará en entorno Matlab-Simulink.

1. INTRODUCCIÓN Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Recordamos el planteamiento del problema ya estudiado en prácticas previas de la asignatura.



Recordamos la función de transferencia que relaciona la entrada (ángulo theta) con la salida (posición de la bola):

$$\frac{R(s)}{\Theta(s)} = -\frac{mgd}{L\left(\frac{J}{R^2}+m\right)}\frac{1}{s^2}$$

Donde sustituyendo los valores asignados a las distintas variables resulta:

$$\frac{R(s)}{\Theta(s)} = \frac{0.21}{s^2}$$

2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los requerimientos de diseño para el problema son:

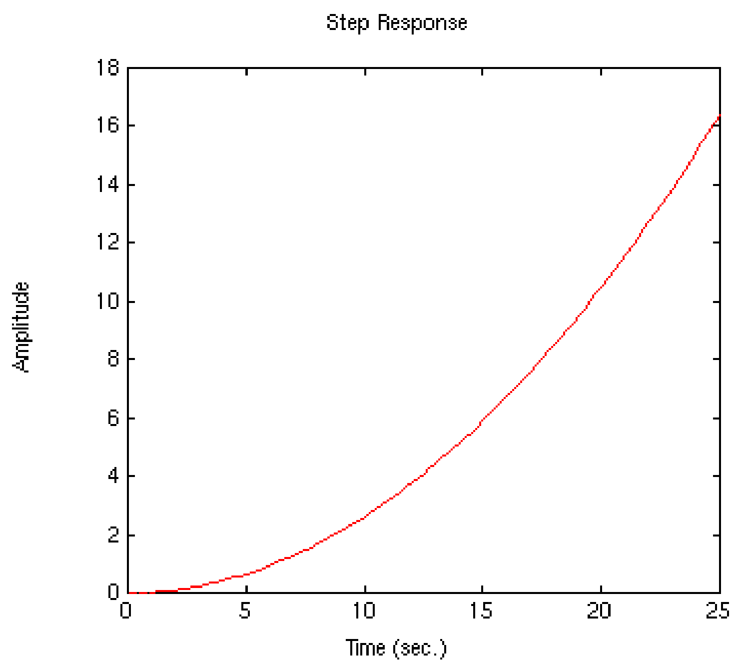
- Tiempo de establecimiento menor que 3 segundos
- Sobreoscilación máxima menor que 5%

3. RESPUESTA DEL SISTEMA EN LAZO ABIERTO

Recordamos la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón de 0.25 rad. Añadimos, para ello, el comando:

```
num=0.21;
den=[1 0 0];
gs=tf(num,den);
step(0.25*gs)
```

y obtenemos la siguiente respuesta como función del tiempo



Respuesta que hace evidente la necesidad de un controlador para cumplir los requerimientos de diseño especificados.

4. DISEÑO DEL CONTROLADOR

Se parte de la hipótesis de la necesidad de un controlador PID para resolver el problema, controlador que responde a la forma:

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

Comenzamos analizando la respuesta del sistema en lazo cerrado a una entrada escalón de 0.25 rad

Se propone el siguiente comando

```
[numc, denc] = cloop(num,den)
```

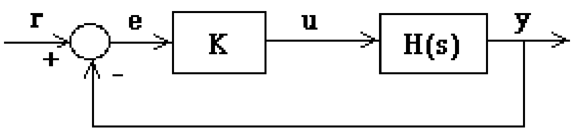
- ¿A qué tipo de controlador equivale cerrar el lazo?
- ¿Qué conclusiones se obtienen de la respuesta a la entrada escalón?
- ¿Se hace el sistema estable? ¿se cumplen los requerimientos de diseño?

Añadir un controlador proporcional con Kp distinto de la unidad y aplicar de nuevo la entrada escalón anterior,

```
numP = Kp*num
[numc,denc] = cloop(numP,den)
```

- ¿Se hace el sistema estable?
- ¿Qué ocurre al variar Kp? ¿se obtienen mejores resultados?
- ¿Pueden cumplirse los requerimientos de diseño con un controlador proporcional exclusivamente?

Recordamos de teoría que el Lugar de las Raíces permite observar la posición de los polos en lazo cerrado al variar la ganancia K

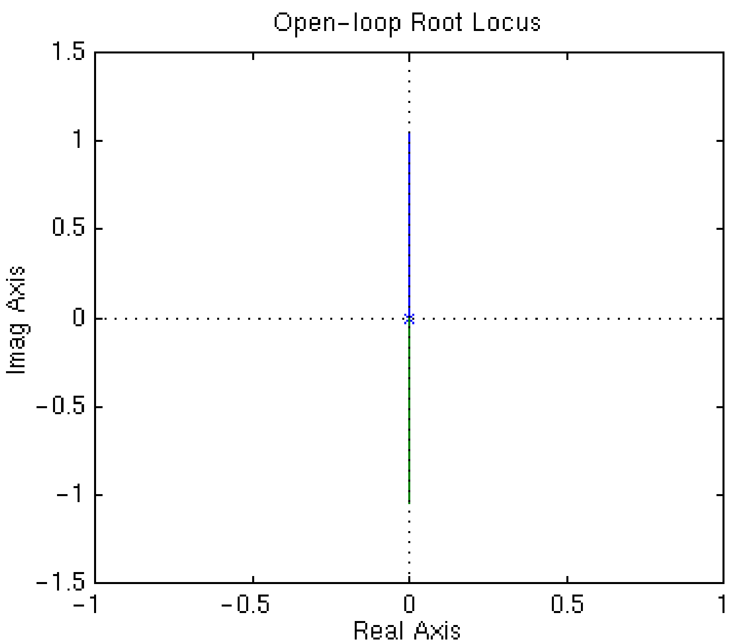


Si variando la ganancia K es posible que el LDR pase por los polos deseados no haría falta ningún otro tipo de regulador, el regulador proporcional es suficiente. Si aun variando la ganancia no se consigue que el LDR pase por dichos polos hay que introducir ceros y polos adicionales, de forma que se modifique el LDR hasta que pase por los polos requeridos.

Recordamos el LDR del problema que nos ocupa, ya obtenido en la práctica 1. Utilizamos el comando

```
rlocus (num,den)
```

y obtenemos el resultado representado en la figura siguiente:



Calculamos ahora la posición de los polos que cumplen los requerimientos de diseño a partir de estos requerimientos, recordamos

- Tiempo de establecimiento menor que 3 segundos
- Sobreoscilación máxima menor que 5%

A la vista de los resultados

- ¿Es posible por tanto únicamente con un controlador proporcional cumplir los requerimientos de diseño?

Pensamos en otro tipo de controlador, por ejemplo un PD de la forma:

$$G(s) = K_C \frac{(s + z_0)}{(s + p_0)}$$

Donde la magnitud de z_0 es menor que la magnitud de p_0. Para el diseño de este regulador es necesario seleccionar la posición tanto del cero como del polo.

Para colocar el cero (z_0) tenemos varios criterios. Elegimos, por ejemplo (no es el único) el criterio de colocar el cero del regulador sobre la vertical de los polos dominantes, es decir, los polos deseados del sistema en bucle cerrado. Para colocar el polo aplicamos el criterio del argumento.

Una vez obtenidos los valores de z_0 y p_0 calculamos el valor de K_C aplicando el criterio del módulo. Seguidamente construimos el lugar de las raíces del sistema con regulador. Se proponen los siguientes comandos

```
numlead = [1 Zo];
denlead = [1 Po];

num1 = conv(num,numlead);
```

```
den1= conv(den,denlead)

rlocus(num1,den1)
```

El LDR nos permite una comprobación de los resultados obtenidos. Añadimos el comando

```
[Kc,poles] = rlocfind (num1,den1)
```

Y nos desplazamos a un punto cercano al polo calculado como punto de funcionamiento.

- ¿Qué resultados se obtienen a partir de la gráfica?
- ¿Concuerdan estos resultados con los obtenidos teóricamente?

5. RESPUESTA EN LAZO CERRADO

Una vez el regulador ha sido calculado obtener la respuesta a una entrada escalón de 0.25 rad en lazo cerrado para el conjunto de controlador diseñado y planta. Obtener la respuesta para los 5 primeros segundos.

- ¿Se cumplen los requerimientos de diseño?
- ¿Se hace necesario implementar algún otro tipo de controlador?
- ¿Es el controlador diseñado la única respuesta posible al problema planteado?
- ¿Qué resultados se obtienen si se utiliza otro criterio para fijar el cero y polo del regulador?

6. MÉTODO ALTERNATIVO DE DISEÑO DEL REGULADOR

Partiendo de la siguiente tabla y utilizando un procedimiento de tanteo obtener un controlador que cumpla los requerimientos especificados.

A la hora de determinar los valores de K_p, K_D y K_i utilizar esta tabla tan solo como referencia. Recordar que el cambio de uno de ellos condiciona el valor de los otros.

Respuesta en lazo cerrado	**Tiempo de levantamiento**	**Sobreoscilación**	**Tiempo de establecimiento**	**Error en régimen permanente**
Kp	Decrece	Aumenta	Pequeño cambio	Decrece
Ki	Decrece	Aumenta	Aumenta	Elimina
Kd	Pequeño cambio	Decrece	Decrece	Pequeño cambio