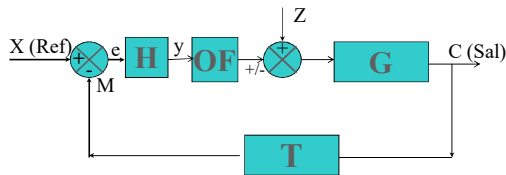


CONTROL BÁSICO

- Tipos de Reguladores
- Diseño de Reguladores mediante LR

Facultad de Ingeniería – UNER
Carrera: Bioingeniería

Componentes y señales de un Lazo de Control en bucle cerrado



- | | |
|---|----------------------------|
| SEÑALES: | COMPONENTES: |
| X= Entrada de Referencia o consigna | H= Regulador o Controlador |
| e= Error | OF= órgano de acción final |
| y= Variable Manipulada | G= Planta |
| C= Salida o Variable Controlada | T= Sensor y transductor |
| Z= Perturbación Externa al Sistema, Carga o Ruido | |

Reguladores o Controladores

- Los Controladores/Reguladores más utilizados pueden ser:
- Todo o nada (o por sus nombre en inglés On/Off)
 - Proporcional (P)
 - Proporcional e Integral (PI)
 - Proporcional y Derivativo (PD)
 - Proporcional, Integral y Derivativo (PID)

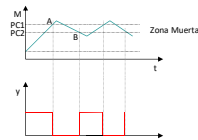
● Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, los controladores PID y PI son los más utilizado en la industria moderna y equipos biomédicos, controlando más del 95% de los procesos industriales en lazo cerrado.

Regulador Todo o Nada

Este tipo de controlador es aplicable en procesos con un gran efecto acumulativo, como son los de temperatura, presión de un tanque y nivel de un depósito.

Una variante del controlador todo/nada es utilizarlo con zona muerta. De esta forma evitamos una frecuencia elevada de apertura y cierre de la válvula o puesta en marcha de motores en el caso de electrobombas, compresores, etc., que podrían dañarse.

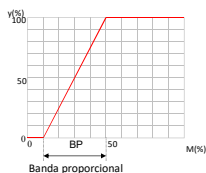
$$y(t) = \begin{cases} y_{\max} & \text{si } M < Pc2 \\ y_{\min} & \text{si } M > Pc1 \end{cases}$$



Regulador Proporcional

- El Regulador/controlador proporcional siempre deja un error de posición en estado Estacionario (offset).
- Para conseguir que el error sea muy pequeño deberíamos ajustar la ganancia del controlador a un valor muy elevado o banda proporcional (BP) muy chica. El inconveniente de tomar esta medida es que el sistema controlado se puede hacer inestable y entrar en oscilación.

$$K_p = \frac{100}{BP}$$



Regulador Proporcional – Derivativo (PD)

$$y = K_p \left(e + T_D \cdot \frac{de}{dt} \right) \quad \longrightarrow \quad G_{PD}(s) = K_p (1 + T_D s)$$

- Regulador PD: aporta un cero en $1/T_D$
- La acción derivativa tiene efecto «anticipativo», es decir tiende a corregir el error en el momento en que se detecta que éste tiende a cambiar.
- El propósito de la acción derivativa es mejorar la estabilidad de lazo cerrado.
- Si se prevé que la señal proveniente del regulador va tener ruido no es aconsejable usar la acción derivativa.

Regulador Proporcional – Integral (PI)

$$y = K_p \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e \, dt \right) \longrightarrow G_{PI}(s) = \left(K_p + \frac{K_p}{T_i s} \right) = K_p \left(\frac{T_i s + 1}{T_i s} \right)$$

- Regulador PI: aporta un polo al origen y un cero en $1/T_i$
- La función principal de la acción integral es asegurar que la salida del proceso concuerde con la referencia en estado estacionario (error nulo).

Regulador Proporcional Integral y Derivativo (PID)

Existen diferentes formas de representación de los Reguladores PID:

La forma estándar o no interactiva: $G_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$

La forma serie o interactiva: $G_{PID_1}(s) = K^* \left(1 + \frac{1}{T_i^* s} \right) (1 + s T_D^*)$

La forma paralela: $G_{PID_2}(s) = \left(K + \frac{K_I}{s} + K_D s \right)$

- Todas las formas de los Reguladores PID aportan un polo al origen y dos ceros

Diseño de Reguladores Proporcional – Integral - Derivativo (PID)

- Los ceros del regulador PID estándar estarán ubicados en:

$$z_{1,2} = -\frac{1}{2T_D} \pm \frac{\sqrt{T_i^2 - 4T_i T_D}}{2T_i T_D} = -\frac{1}{2T_D} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{T_D}{T_i}}$$

- Si $T_i > 4T_D$ los ceros serán reales distintos y a parte real negativa
- Si T_i es muy grande (y mayor a $4T_D$) un cero tiene al origen y el otro a $-1/T_D$

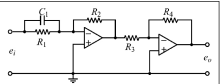
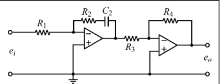
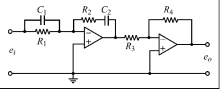
Regulador Proporcional Integral y Derivativo (PID)

- La forma estándar algunas veces es llamada "algoritmo ideal". Las acciones proporcional, integral y derivativa no son interactivas en el dominio del tiempo. Este algoritmo admite ceros complejos, lo que es útil cuando se controla sistemas con polos oscilatorios.
- La forma serie es también llamada forma clásica. Esta forma tiene una buena interpretación en el dominio de la frecuencia, ya que los ceros corresponden a los valores inversos de los tiempos derivativo e integral. Todos los ceros del controlador son reales. La mayoría de los controladores usan esta forma.
- La forma paralela es la más general. El controlador puede tener ceros complejos. En esta forma los parámetros tienen poca interpretación física.

Acciones de control que producen los reguladores

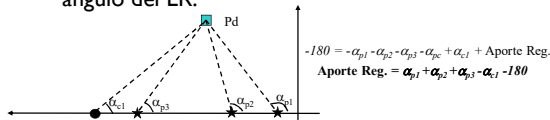
- El término integral (del PI ó PID) en general es utilizado si se quiere lograr que el error estacionario sea nulo.
- La respuesta más rápida se consigue con el controlador PD (sin término integral), después con el PID, después con el P, y la más lenta con el controlador PI.
- El término derivativo requiere que la señal del sensor no sea demasiado ruidosa. Si la señal del sensor es muy ruidosa el término derivativo puede dar problemas, por lo que puede ser conveniente un controlador P ó PI.
- Lo habitual es elegir el controlador PID completo, pues suele ser un buen compromiso entre rapidez de respuesta y error.

Algunos Circuitos electrónicos para Diseñar un Controlador...

PD	$\frac{R_1 R_2}{R_3 R_1} (R_1 C_1 s + 1)$	
PI	$\frac{R_1 R_2 R_3 C_2 s + 1}{R_3 R_1 R_2 C_2 s}$	
PID	$\frac{R_1 R_2 (R_1 C_1 s + 1)(R_3 C_2 s + 1)}{R_3 R_1 R_2 C_2 s}$	

Pasos generales para el diseño de Reguladores mediante LR:

1. De las especificaciones de funcionamiento se determinan la ubicación deseada de los polos dominantes de lazo cerrado.
2. Verificar si con el ajuste de la ganancia se logra tener los polos en lazo cerrado deseados. Caso contrario calcular el aporte angular que deberá agregar el regulador para cumplir la condición de ángulo del LR.



Pasos generales para el diseño de Reguladores mediante LR:

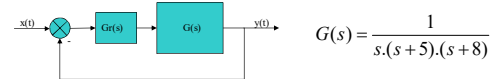
3. Si el aporte a realizar es negativo puede utilizar un PI o un PID y si es positivo puede utilizar un PD o un PID.
4. Si utiliza un PI (se agrega un polo al origen al sistema) volver a calcular el aporte angular de todo el sistema más el polo al origen al polo deseado.
5. Determinar por trigonometría la ubicación del o los ceros para cubrir el aporte angular positivo que permita cumplir con la condición de ángulo del LR.

Pasos generales para el diseño de Reguladores mediante LR:

6. Calcular la ganancia del regulador a partir de la condición de módulo del LR.
7. Verificar las condiciones de diseño mediante la respuesta temporal en bucle cerrado

Ejemplo 1:

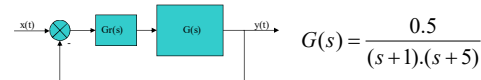
Considérese el siguiente sistema:



Diseñar un regulador que proporcione una respuesta en bucle cerrado ante un entrada escalón que tenga un máximo sobreimpulso (Mp) del 10% y tiempo de establecimiento (criterio del 2%) de 1 [seg].

Ejemplo 2:

Considérese el siguiente sistema:

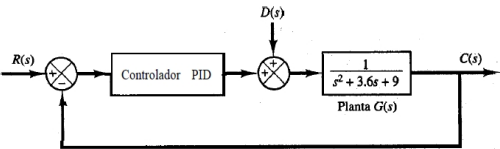


- a) Diseñar un regulador que proporcione una respuesta en bucle cerrado ante un entrada escalón que tenga un máximo sobreimpulso (Mp) del 4% y tiempo de establecimiento (criterio del 2%) menor a 2 [seg].
- b) Una vez diseñado verificar que se cumplen las condiciones de diseño.

Diseño de un regulador PID: asignación de polos y ceros mediante el Lugar de Raíces

Ejemplo para Resolver con Matlab:

Dado el sistema de control de la figura diseñar un PID del tipo ideal para que la perturbación de tipo escalón se amortigüe con rapidez (entre 2 y 3 segundos) e impacte con un zita de 0,5:



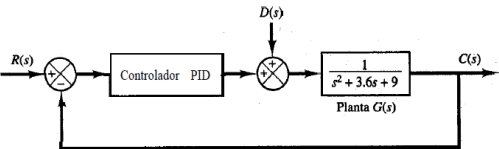
Diseño PID: asignación de polos al sistema de bucle cerrado

- Se utiliza cuando se conoce la dinámica o función de transferencia del sistema a controlar.
- Se establece la ubicación de TODOS los polos de bucle cerrado. Serán dominantes aquellos que permitan cumplir con la respuesta transitoria.
- Se obtiene el polinomio de bucle cerrado en base a la ubicación de los polos y se lo iguala al polinomio de bucle cerrado de sistema mas regulador PID.
- Del sistema de ecuaciones resultante se obtienen los parámetros del regulador (K_r , T_i y T_d)

Diseño de un regulador PID: asignación de polos al sistema de bucle cerrado

Ejemplo para Resolver :

Dado el sistema de control de la figura diseñar un PID del tipo ideal, mediante la última técnica vista, para que la perturbación de tipo escalón se amortigüe con rapidez (entre 2 y 3 segundos) e impacte con un zita de 0,5:



FIN !!!!

**Dudas
Preguntas ????**