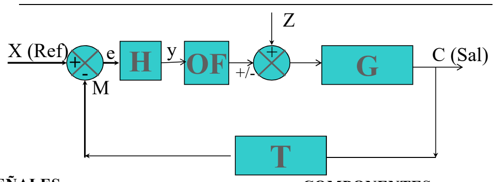
CONTROL BÁSICO

TEMA:
- Diseño de reguladores PID

Facultad de Ingeniería – UNER
Carrera: Bioingeniería

Componentes y señales de un Lazo de Control en bucle cerrado



SEÑALES:

X= Entrada de Referencia o consigna

e= Error

y= Variable Manipulada

C= Salida o Variable Controlada

Z= Pertubación Externa al Sistema, Carga o Ruido

COMPONENTES:

H= Regulador o Controlador

OF= órgano de acción final

G= Planta

T= Sensor y transductor

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:

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

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

Diseño de Reguladores Proporcional – Integral - Derivativo (PID)

- Para la selección de los tres parámetros del controlador PID (*Kp, Ti* y *Td*) puede procederse de formas muy diferentes dependiendo fundamentalmente del proceso a controlar y de la información disponible del mismo a priori. En general los métodos son:

  a. Asignación de polos: 2 metodologías diferentes
  b. Por método frecuencial: 2 metodologías diferentes
  c. Métodos iterativos de ajuste y error
  d. Por optimización

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

- Se utiliza cuando se conoce la dinámica o función de transferencia del sistema a controlar.
- Se establece la ubicación de los polos deseados para cumplir con la respuesta transitoria de bucle cerrado.
- Se dibuja el lugar de raíces de la planta con el polo al origen del controlador y se calcula el aporte ang8)ular que deben realizar los 2 ceros de PID para cumplir con la condición de ángulo de tal forma que el LR pase por lo polos deseados.
- Se ajusta la ganancia Kp del regulador para cumplir con la condición de magnitud del LR en los polos deseados.

Diseño PID: asignación de polos al sistema de bucle cerrado

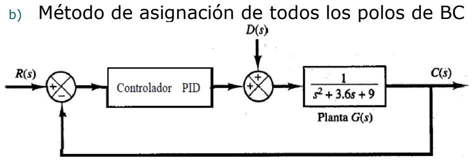
- Se utiliza cuando se conoce la dinámica o función de transferencia del sistema a controlar.
- Se establece la ubicación de TODOS los polos de bucle cerrado. Serán dominantes aquellos que permitan cumplir con la respuesta transitoria.
- Se obtiene el polinomio de bucle cerrado en base a la ubicación 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 (Kr, Ti y Td)

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 estándar o 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 mediante:

a) Método de Lugar de Raíces
b) Método de asignación de todos los polos de BC



Diseño PID: Método de Respuesta en Frecuencia en forma ANALÍTICA

- Si tomamos la forma ideal del PID su función de respuesta en frecuencia será:

$$G_{PID}(jw) = K_p\left[1 + j.(T_d.w - \frac{1}{T_i.w})\right]$$

- Para un MF solicitado y eligiendo la nueva frecuencia de cruce de ganancia del sistema regulado a la frecuencia crítica (w_c) del sistema sin regular G(jw) nos queda:

$$\begin{cases} K_p = \dfrac{\cos MF}{|G(j.w_c)|} \\ K_p.(T_d.w_c - \dfrac{1}{T_i.w_c}) = \dfrac{sen\ MF}{|G(j.w_c)|} \end{cases}$$

Diseño de un regulador PID mediante el Respuesta en Frecuencia

Ejemplo para Resolver :

Se desea controlar utilizando un regulador PID para que el sistema con planta G(s), realimentación unitaria y negativa tenga un error de velocidad menor al 5%, un MF de 60º y un MG de al menos 7-8 [dB]. Diseñe por método frecuencial analítico para MF.

$$G(s)=\frac{20}{s.(0{,}1.s+1)^2.(0{,}05s+1)}$$

Diseño PID: Método de Respuesta en Frecuencia

- Otra forma de diseñar un PID por un método frecuencial es considerar al mismo como un PD en cascada un PI (forma serie o iterativa):

$$G_{PID}(s)=K\,.\left(1+\frac{1}{T_I\,.s}\right).(1+s.T_D)$$

- Primero se ajusta la ganancia K para cumplir con las condiciones de errores estáticos
- Luego de ajusta TD para cumplir con los requisitos de MF
- Finalmente de ajusta Ti para cumplir con TODOS los requisitos de estabilidad relativa (MG y/o MF).

Diseño de un regulador PID mediante el Respuesta en Frecuencia

Ejemplo para Resolver :

Se desea controlar utilizando un regulador PID para que el sistema con planta G(s), realimentación unitaria y negativa tenga un error de velocidad menor al 5%, un MF de 55º y un MG de al menos 7-8 [dB].

$$G(s)=\frac{20}{s.(0{,}1.s+1)^2.(0{,}05s+1)}$$

Diseño de un regulador PID: método iterativo de ajuste y error

- Se utilizan cuando no se conoce la dinámica o función de transferencia del sistema a controlar.
- Es un ajuste iterativo de los parámetros del controlador a partir de la observación de la respuesta temporal del sistema realimentado, y del conocimiento (o experiencia) del operador.
- Si Ti es grande y a su vez mayor a 4.Td se puede ajustar la respuesta transitoria del sistema a lazo cerrado variando sólo Td.
- Se utiliza la ganancia Kp para ajustar principalmente el error estacionario.

Diseño PID: por Optimización

- Métodos de ajuste empírico basados en mediciones realizadas sobre la planta real. Comenzaron a usarse desde 1950.
- En los últimos años los problemas de control óptimo han recibido gran atención debido a la creciente demanda de sistemas de alto grado de desempeño (performance).
- El concepto de optimización de sistemas de control abarca dos etapas, una de selección de índices de performance y otra de diseño en base a la minimización o maximización de dichos índices.
- El sistema que lleva al mínimo (o máximo) el índice de performance elegido es, por definición, óptimo.

Diseño PID: por Optimización

- Los métodos mas utilizados en el ajuste de los parámetros de los reguladores PID por optimización son:
  - El método de oscilación de Ziegler-Nichols
  - El método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols
  - El método de la curva de reacción de Cohen-Coon

Diseño PID: Métodos de Ziegler-Nichols

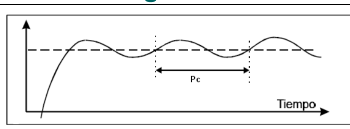
- Originalmente los dos métodos de Ziegler y Nichols se basaron en la minimización del módulo del error (índice de performance) cuando sistemas altamente integradores eran sometidos a perturbaciones.
- Luego se hicieron adaptaciones empíricas y se generalizaron para otros sistemas.
- Fue observado por Ziegler y Nichols que la mayoría de las respuestas óptimas presentaban un modo de oscilación cercano al denominado de respuesta "un cuarto" (quarter decay).
- Este tipo de respuesta, en apariencia muy subamortiguado, fue considerado como un buen compromiso entre velocidad de respuesta y buena estabilidad, para sistemas sometidos a perturbaciones.

Diseño PID: Método de oscilación de Ziegler-Nichols

Este método es válido sólo para plantas estables a lazo abierto. El procedimiento es el siguiente:

1. Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia K_p pequeña (a lazo cerrado).
2. Aumentar el valor de K_p hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador ($u(t)$)
3. Registrar la ganancia crítica $K_p = K_c$ y el período de oscilación P_c de $u(t)$, a la salida del controlador.
4. Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo al Cuadro 1.

Diseño un PID: Método de ciclo límite de Ziegler-Nichols



Modo	K_p	T_i	T_d
P	0,50Kc	-	-
PI	0,45Kc	P_c/1,2	-
PID	0,60Kc	P_c/2	P_c/8

Cuadro 1: Parámetros de controladores PID según el método de oscilación de Ziegler-Nichols

Diseño de un regulador PID mediante el método de ciclo límite de Ziegler-Nichols

Ejemplo para Resolver :

Se desea controlar utilizando un regulador PID, y aplicando el método de ciclo límite Ziegler y Nichols, una planta cuya función de transferencia esta dada por G(s). El sistema trabaja a bucle cerrado con realimentación negativa y unitaria:

$$G(s)=\frac{1}{(s+0{,}5).(s+1).(s+10)}$$

Diseño un PID: Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

Muchas plantas en la práctica pueden describirse satisfactoriamente con un modelo de la forma:

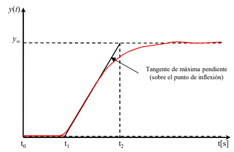
$$G(s)=\frac{K.e^{-\tau_0.s}}{\gamma_0.s+1}$$

Una versión linealizada cuantitativa de este modelo puede obtenerse mediante un experimento a lazo abierto con el siguiente procedimiento:

1. Llevar manualmente la planta a lazo abierto a un punto de operación normal manipulando u(t). Supongamos que la planta se estabiliza en $y(t)=y_0$ para $u(t)=u_0$.
2. En un instante inicial t0 aplicar un cambio escalón en la entrada, de u_0 a u (el salto debe estar entre un 10 a 20% del valor nominal).

Diseño PID: Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

- Registrar la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. La siguiente figura muestra una curva típica.



$$L=t_1-t_0 \qquad T=t_2-t_1 \qquad \mathrm{K}=\frac{y_\infty}{\text{Amplitud entrada escalón}}$$

Diseño PID: Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

- Los parámetros del controlador PID propuestos por Ziegler y Nichols a partir de la curva de reacción se determinan en el siguiente cuadro:

Modo	K_p	T_r	T_d
P	T/L	-	-
PI	0,9.T/(L)	3.L	-
PID	1,2.T/(L)	2.L	0,5.L

Ejemplo para resolver aplicando el Método de la curva de Z-N

Se desea controlar la siguiente planta – G(s)- utilizando un regulador PID para que el sistema en bucle cerrado con realimentación unitaria y negativa tenga un **tiempo de establecimiento (criterio 2%) menor a 5 [seg] y un máximo sobreimpulso (MP) menor al 20%**. Utilizar para el diseño inicial del PID el método de la curva «S» de Z-N y luego ajustar Td hasta obtener la respuesta solicitada.

$$G(s)=\frac{(s+3)}{(s^3+5s^2+9s+5)}$$