Tipos de reguladores

- Reguladores de parámetros fijos: $R(s)=K\cdot(s+a)/s$
- Reguladores adaptativos: El valor de sus parámetros o su estructura puede variar en el tiempo: $R(s)=K(t)\cdot(s+a(t))/s$
- Reguladores robustos: Tratan de mantener la estabilidad del sistema bajo condiciones cambiantes del comportamiento del mismo o de sus parámetros.
- Reguladores predictivos: Tratan de predecir el comportamiento futuro de las variables para ajustar sus parámetros.
- Reguladores borrosos: La acción de control se basa en las técnicas de lógica difusa (Fuzzy Control).

Métodos de diseño de reguladores discretos

1. Reguladores de estructura fíja: (P, PI, PID)
   a) Discretización de reguladores continuos
   b) Métodos temporales en Z
   c) Métodos frecuenciales en Z
   d) Optimización
2. Reguladores de estructura variable:
   a) Diseño basado en funciones de transferencia
   b) Diseño basado en el modelo de estado

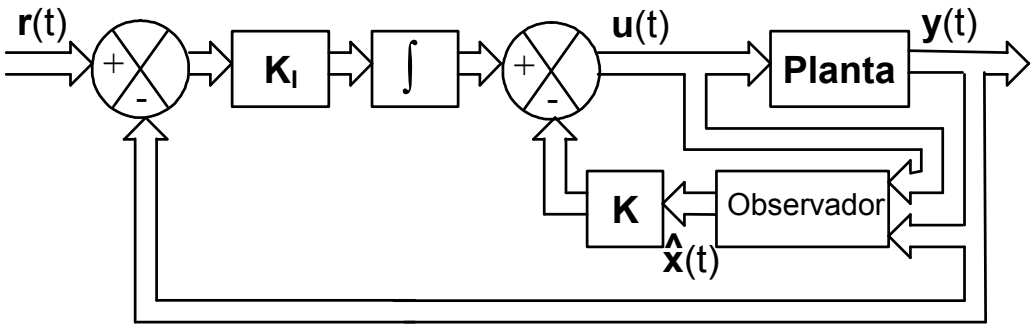
2.a Diseño basado en funciones de transferencia

- Diseño clásico: Síntesis directa
  - Reguladores de cancelación: Truxal
  - Asignación de polos
  - Tiempo finito (Caso particular: tiempo mínimo)

- Diseño moderno: Basados en optimización
  - Mínima varianza (optimización de un paso)
  - GPC: (General predictive control) Control predictivo general
  - MPC: (Model predictive control) Control predictivo del modelo
  - SMC: (Sliding model control) Control de modelo deslizante
    Para control robusto y aplicaciones no lineales.
  - DMC: (Dynamic matrix control) Control de matriz dinámica
    Control multivariable y prototipo del MPC.

2.b Diseño basado en el modelo de estado

El objeto es determinar las matrices de ganancias adecuadas para la realimentación y los observadores del sistema.

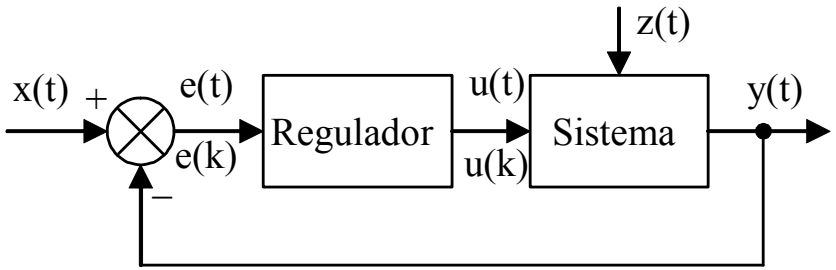


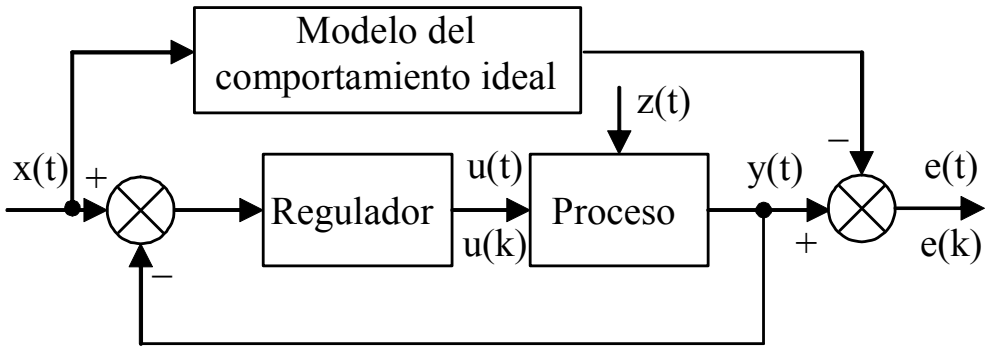
- Diseño clásico: Asignación de polos por síntesis directa

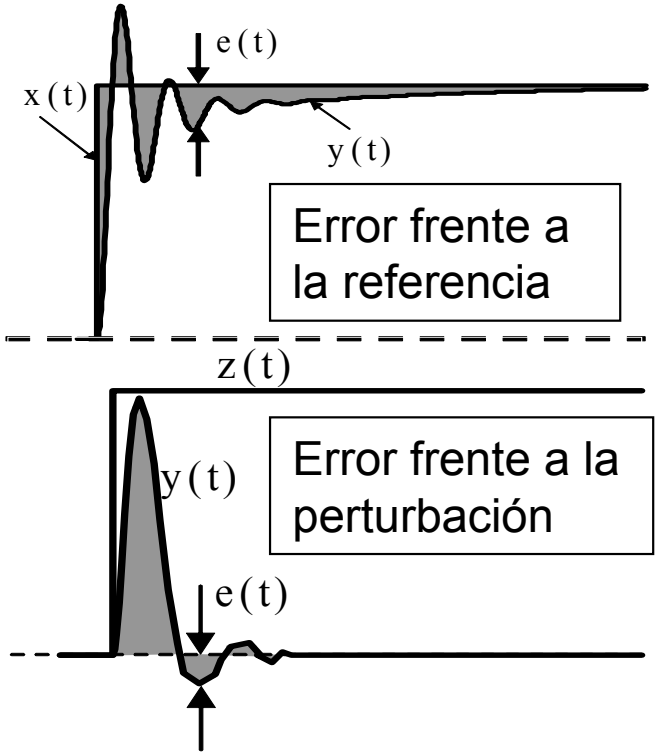
- Diseño moderno: Basados en optimización
  - LQR: (Linear quadratic regulator) Regulador lineal cuadrático
  - LQG: (Linear quadratic gaussian optimal control) Control óptimo gausiano lineal cuadrático. Precisa de un estimador de Kalman.

Introducción a la optimización

Consiste en minimizar el valor de una determinada función, basada generalmente en el error del seguimiento de referencias o el error ante perturbaciones, J=f(e(t)). Este funcional puede incluir también la acción de control o una combinación del error y la acción de control: J=f(u(t)) ó J=f(u(t),e(t)):







Ejemplos

ISE: (Integrated square error) Integral del error cuadrático:

$$J = \int_0^{\infty} e^2(t)\cdot dt \qquad J = \sum_{k=0}^{\infty} e^2(k)$$

Para incluir la acción de control las funciones son del tipo:

$$J = \int_0^{\infty} u^2(t)\cdot dt \qquad J = \int_0^{\infty} u^2(t)\cdot e^2(t)\cdot dt$$

IMSE: (Integrated mean square error) Integral del error cuadrático medio:

$$J = \lim_{t\to\infty} \frac{1}{T}\int_0^{T} e^2(t)\cdot dt \quad \left(\int_0^{\infty} \frac{e^2(t)}{t}\cdot dt\right) \qquad J = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n} e^2(k) \quad \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^2(k)}{k}\right)$$

Ejemplos

IAE: (Integrated absolute error) Integral del valor absoluto del error:

$$J = \int_0^{\infty} |e(t)| \cdot dt \qquad J = \sum_{k=0}^{\infty} |e(k)|$$

ITAE: (Integrated time weighted absolute error) Integral del valor absoluto del error ponderado en el tiempo:

$$J = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| \cdot dt \qquad J = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot |e(k)|$$

Ejemplos

ITSE: (Integrated time weighted square error) Integral del error cuadrático ponderado en el tiempo:

$$J = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) \cdot dt \qquad J = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot e^2(k)$$

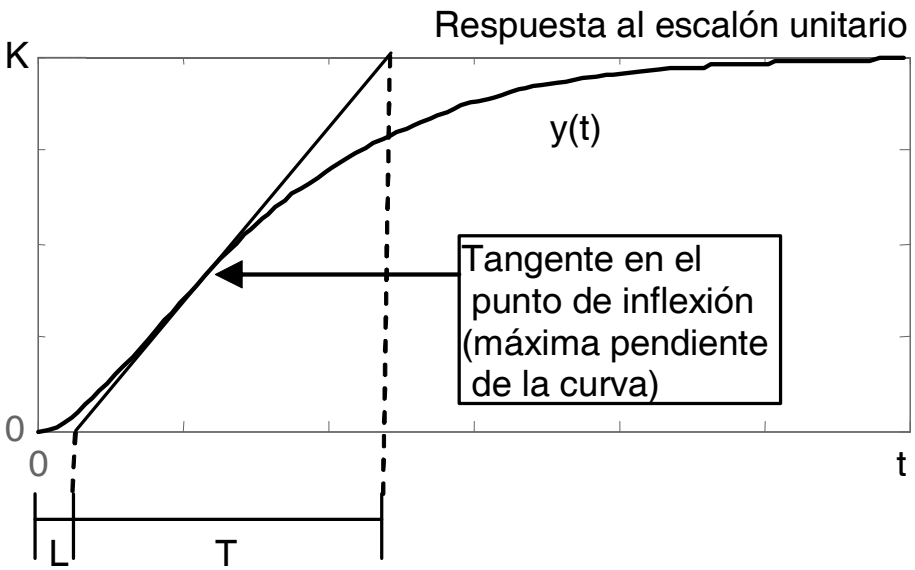
ISTSE: (Integrated square time weighted square error) Integral del error cuadrático ponderado con el tiempo al cuadrado:

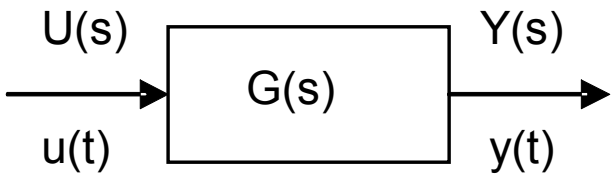
$$J = \int_0^{\infty} t^2 \cdot e^2(t) \cdot dt \qquad J = \sum_{k=0}^{\infty} k^2 \cdot e^2(k)$$

Discretización de un regulador continuo

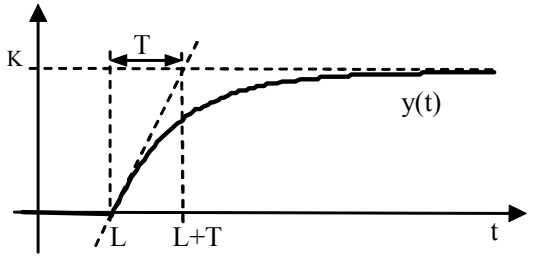
Se puede sintonizar un regulador PID sencillo para sistemas monovariables que presentan una respuesta en forma de "S" ante entradas escalón, sin necesidad de conocer su modelo matemático.

Uno de los métodos es el primero de los propuestos por Ziegler-Nichols cuyo objetivo es obtener una respuesta con una sobreoscilación aproximada del 25%.





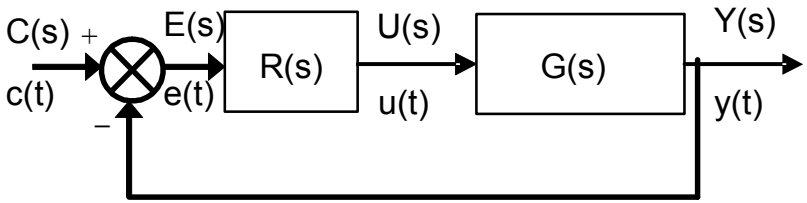
Ziegler-Nichols considera en realidad un sistema de primer orden con constante de tiempo T y retardo puro L:

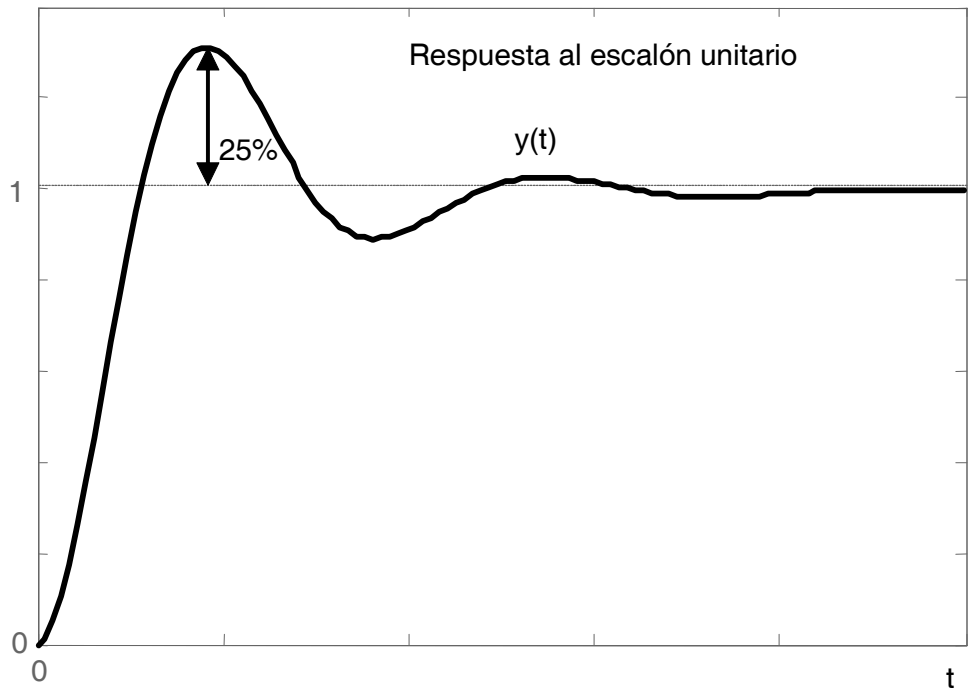


$$G(s) = e^{-L \cdot s} \frac{K}{T \cdot s + 1}$$

Discretización de un regulador continuo

A partir de los valores de "K", "L" y "T" se pueden obtener los parámetros de un regulador P, PI o PID, para que el sistema en bucle cerrado tenga una respuesta con una sobreoscilación aproximada del 25%.





Nota: En el caso de que la realimentación no sea unitaria, H(s)≠1, se debe utilizar la respuesta al escalón unitario de G(s)·H(s) para determinar los valores de "K", "L" y "T".

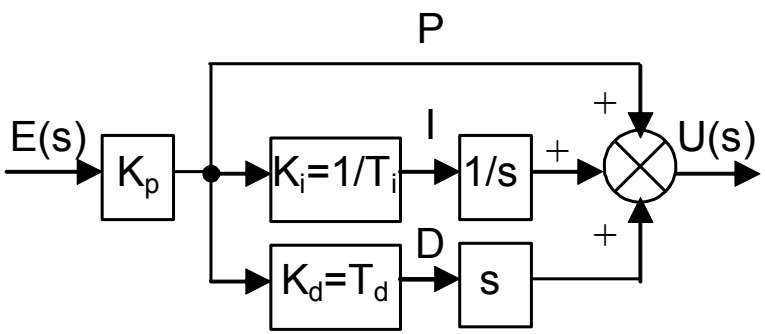
Discretización de un regulador continuo

Los parámetros para los distintos reguladores se obtiene a partir de la siguiente tabla:

$$u(t) = K_p \cdot \left(e(t) + K_i \cdot \int e(t) \cdot dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \cdot \left(1 + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s \right)$$

TIPO	K_p	$K_i=1/T_i$	$K_d=T_d$
P	$T/(K \cdot L)$	0	0
PI	$0.9 \cdot T/(K \cdot L)$	$0.3/L$	0
PID	$1.2 \cdot T/(K \cdot L)$	$0.5/L$	$0.5 \cdot L$



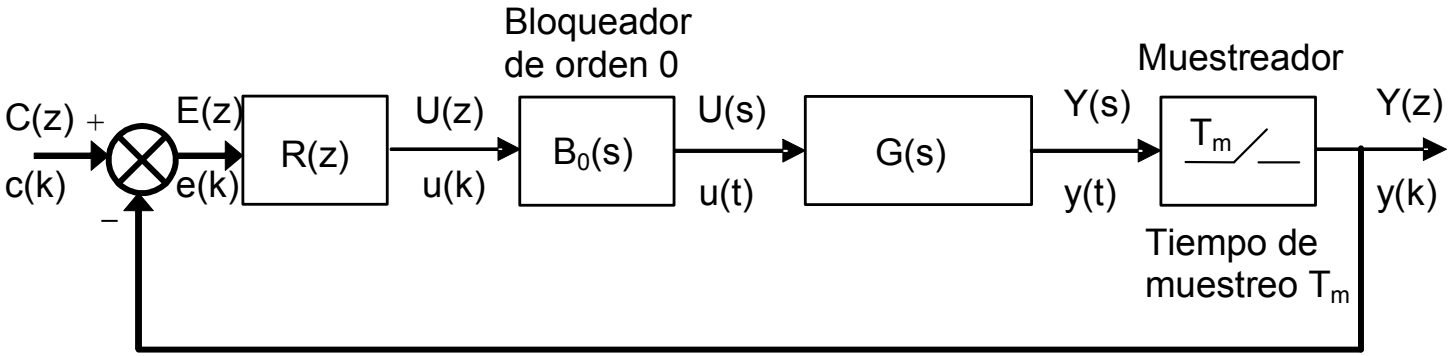
$$P: R(s) = K_p = \frac{T}{K \cdot L}$$

$$PI: R(s) = K_p \cdot \left(\frac{s + K_i}{s} \right) = 0.9 \cdot \frac{T}{K \cdot L} \cdot \left(\frac{s + 0.3/L}{s} \right)$$

$$PID: R(s) = K_p \cdot \left(\frac{K_d \cdot s^2 + s + K_i}{s} \right) = 0.6 \cdot \frac{T}{K} \frac{(s + 1/L)^2}{s}$$

Discretización de un regulador continuo

Para obtener un regulador digital se va a discretizar el regulador PI, obtenido por el método de Ziegler-Nichols, mediante el factor derivada: $s=(1 - z^{-1})/T_m$



$$R(z)=\frac{U(z)}{E(z)}=K_p\cdot\frac{(1-z^{-1})/T_m+K_i}{(1-z^{-1})/T_m}=K_p\cdot\frac{(T_m\cdot K_i+1)-z^{-1}}{1-z^{-1}}=K_p\cdot\frac{(T_m\cdot K_i+1)\cdot z-1}{z-1}=0.9\cdot\frac{T}{K\cdot L}\cdot\frac{(0.3\cdot T_m/L+1)\cdot z-1}{z-1}$$

$$\frac{U(z)}{E(z)}=K_p\cdot\frac{(T_m\cdot K_i+1)-z^{-1}}{1-z^{-1}}\Rightarrow(1-z^{-1})\cdot U(z)=K_p\cdot\left[(T_m\cdot K_i+1)-z^{-1}\right]E(z)$$

Ecuación en diferencias

$$u(k)=u(k-1)+K_p\cdot\left[(T_m\cdot K_i+1)\cdot e(k)-e(k-1)\right]\Rightarrow u(k)=u(k-1)+\left[0.9\cdot\frac{T}{K\cdot L}\cdot\left(T_m\cdot\frac{0.3}{L}+1\right)\right]\cdot e(k)-0.9\cdot\frac{T}{K\cdot L}\cdot e(k-1)$$