

Unidad 1: Sistemas de control

Sistema de control: Es aquel en el que la salida del sistema se controla para tener un valor específico o cambiarlo, según lo determina la entrada al sistema.

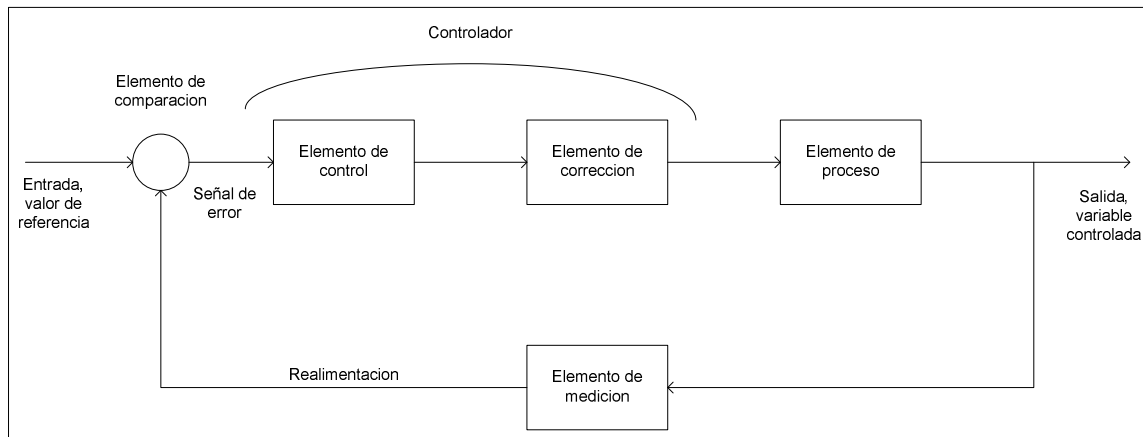
Lazo abierto: La entrada se elige en base en la experiencia que se tiene con dichos sistemas para producir el valor de salida requerido, sin embargo, no se ve modificada por el cambio en las condiciones de operación externas. La principal diferencia es que no existe información que se alimente de regreso (retroalimentación).

Ventajas: Son más sencillos y en consecuencia de bajo costo, y con buena confiabilidad. Sin embargo, con frecuencia son inexactos, si se descomponen se reemplazan fácilmente – No hay pérdida de ganancia.

Lazo cerrado: Es cuando se tiene una señal de retro alimentación hacia la entrada desde la salida, la cual se utiliza para modificar la entrada de modo que la salida se mantenga constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación.

Ventajas: Más exactos para igual los valores reales a los requeridos – Menos sensible a las perturbaciones – Menos sensibles a los cambios en las características de los componentes – La velocidad de respuesta se incrementa y el ancho de banda es mayor, es decir, el intervalo de frecuencias en que los sistemas responderá.

Elementos Básicos



Elemento de comparación: compara el valor de referencia con el valor medido de lo que se obtiene a la salida de error.

Elemento de control: Este elemento decide que acción tomar cuando se recibe una señal de error.

Elemento de corrección: Se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error y con frecuencia se lo denomina actuador.

Elemento de proceso: Es el elemento donde se va a controlar la variable.

Elemento de medición: Produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada y proporciona la señal de retroalimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.

Ejemplo tanque de agua:

- Variable controlada: Nivel del agua en el tanque
- Valor de referencia: Posición inicial en el brazo del flotador
- Elem. De comparación: Brazo del flotador
- Señal de error: Dif. Entre la posición real del brazo y su posición inicial
- Elemento de control: Brazo pivoteado
- Proceso: agua en el tanque
- Dispositivo de medición: El flotador y el brazo que lo sostiene.

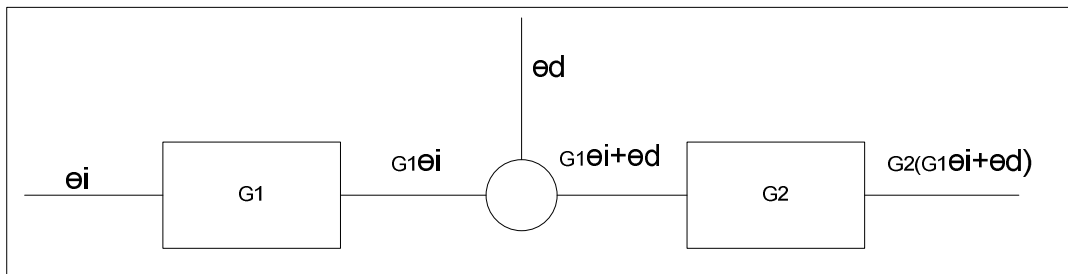
- Realimentación: negativa

Función de transferencia: $\frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{G}{1+GH}$

Error en estado estable:

- **L. abierto:** $E = \theta_i(G_1G_2G_3 - 1)$
- **L. cerrado:** $E = \theta_i\left(\frac{G}{1+GH} - 1\right)$

Perturbación:



Unidad 2: Circuitos eléctricos

RC Hallar la salida V_c en el circuito de utilizando la transformada de Laplace. La entrada es un escalón de tensión V que se aplica en $t=0$.

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{RC}(V - V_c) \rightarrow sF(s) = \frac{1}{RC}\left(\frac{V}{s} - F(s)\right) \rightarrow sF(s) + \frac{F(s)}{RC} = \frac{V}{RC} \cdot \frac{1}{s} \rightarrow F(s) = \frac{V}{RC} \cdot \frac{1}{s(s + \frac{1}{RC})} = V \frac{1/RC}{s(s + \frac{1}{RC})}$$

$$\rightarrow V_c(t) = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

RL: Dado el circuito RL alimentado por una señal escalon. Hallar la corriente en función del tiempo aplicando Laplace.

$$V = iR + L \frac{di}{dt} \rightarrow \frac{V}{s} = I(s)R + LI(s)s + Li(0) \rightarrow \frac{V}{s} = I(s)(R + Ls) \rightarrow I(s) = \frac{V}{s(R + Ls)} = \frac{V}{R} \frac{R/L}{s(\frac{R}{L} + s)}$$

$$\rightarrow i(t) = \frac{V}{R}(1 - e^{-\frac{tR}{L}})$$

RLC: Aplicando la transformada de Laplace Hallar la function transferencia $G(s)$

$$V = RC \frac{dV_c}{dt} + LC \frac{d^2V_c}{dt^2} + V_c \rightarrow V(s) = RCsS(s) + LCs^2S(s) + S(s)$$

$$\rightarrow G(s) = \frac{S(s)}{V(s)} = \frac{1}{LCs^2 + R(s+1)}$$

Unidad 3: Respuesta del sistema

Definiciones: La respuesta de un sistema de control, o de un elemento del sistema, está formada de dos partes: *La respuesta transitoria* es la parte de la respuesta de un sistema que se presenta cuando hay un cambio en la entra y desaparece después de un breve intervalo. *La respuesta en estado estable* es la respuesta que permanece después de que desaparecen todos los transitorios. Durante cierto tiempo no se adiciona peso, y es hasta después de ese tiempo que se agrega el peso. Este tipo de entrada se conoce como entrada escalón. La salida del sisma es un valor que varia con el tiempo.

Un tipo de modelo que con frecuencia se emplea para describir el comportamiento de un sistema de control o un elemento del sistema de control es una ecuación diferencial. Este modelo incluye derivadas con respecto al tiempo y así proporcionar información acerca de cómo varia la respuesta de un sistema con el tiempo. Una derivada dx/dr describe la razón a la cual varia x con respecto al tiempo, la derivada d^2x/dt^2 establece como varia dx/dt con el tiempo.

Ecuación diferencial de 1er orden: $a_1 \frac{d\theta_0}{dt} + a_0 \theta_0 = b_0 \theta_i$

RC: $V = RC \frac{dV_c}{dt} + V_c$

TEMP: $TL = RC \frac{dT}{dt} + TM$

Donde a_1 , a_0 y b_0 son constantes θ_i es la función de entrada θ_0 es la salida. Y el diferencial es la razón e cambio a la cual la salida cambia con el tiempo.

Unidad 4: Transformada de Laplace

Definición: La transformada de Laplace es un método que transforma una ecuación diferencial en una ecuación algebraica mas fácil de resolver.

Reglas:

1. $\frac{d}{dt}f(t)$ se convierte en $sF(s) - f(0)$
2. $\frac{d^2}{dt^2}f(t)$ se convierte en $s^2F(s) - sf(0) - \frac{df(0)}{dt}$
3. $\frac{d^n}{dt^n}f(t)$ se convierte en $s^nF(s) - s^{n-1}f(0) - \dots - \frac{d^{n-1}f(0)}{dt^{n-1}}$

Unidad 5: Modelos de sistemas dinámicos

Función de transferencia $= G(s) = \frac{\theta_0(s)}{\theta_i(s)} = \frac{b_1}{a_2s^2 + a_1s + a_0}$

Ejemplo: $m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F \rightarrow ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) = F(s) \rightarrow G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k}$

Elementos de primer orden:

	Forma de la ecuación	T. L. de la salida	Dom. T con Magnit. A
Rta. Escalón de sist. De 1er orden	$G(s) = \frac{G}{\tau s + 1}$	$G \frac{1/\tau}{s[s + (1/\tau)]}$	$\theta_0 = AG(1 - e^{-t/\tau})$
Rta Rampa de sist. De 1er orden	$G(s) = \frac{G}{\tau s + 1}$	$G \frac{1/\tau}{s^2[s + (1/\tau)]}$	$\theta_0 = AG(t - \tau(1 - e^{-t/\tau}))$
Rta. Impulso de sist. De 1er orden	$G(s) = \frac{G}{\tau s + 1}$	$G \frac{1/\tau}{[s + (1/\tau)]}$	$\theta_0 = AG(1/\tau) e^{-t/\tau}$

Unidad 7: Error en estado estable

Introducción: Cuando a un sistema de control se aplica un comando de entrada se espera que después que se desvanecen todos los efectos transitorios, la salida del sistema asentara al valor del comando. El error entre este valor y el comando de entrada se denomina *error en estado estable*.

Este error es una medida de la exactitud de un sistema de control a seguir mediante una entrada de comando y es el error después que decaen todas las respuestas transitorias a la entrada al sistema. El error en estado estable depende del sistema en cuestión y de la forma que tome la entrada al sistema.

Error en estado estable:

L. abierto: $E(s) = \theta_i(s) - \theta_0(s) \rightarrow E(s) = \theta_i(s)[1 - G(s)]$

L. cerrado retro unitaria: $\frac{\theta_0(s)}{\theta_i(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \rightarrow E(s) = \frac{1}{1 + G(s)} \theta_i(s)$

L. cerrado retro H(s): $G_o(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)[H(s) - 1]}$

Se utiliza el teorema del valor final: $e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$

Tipo de sistema	Escalón 1/s	Rampa 1/s^2	Parábola 1/s^3	1/s^4
0	$\frac{1}{(1 + K_p)}$	∞	∞	∞
1	0	$\frac{1}{K_v}$	∞	∞
2	0	0	$\frac{1}{K_a}$	∞
3	0	0	0	$\frac{1}{K_4}$
4	0	0	0	0

$$k_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_0(s) \quad K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG_0(s) \quad K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G_0(s)$$

$$\frac{K(s^m + a_{m-1}s^{m-1} + a_{m-2}s^{m-2} + \dots + a_1s + a_0)}{s^q(s^n + b_{n-1}s^{n-1} + b_{n-2}s^{n-2} + \dots + b_1s + b_0)}$$

Unidad 8: Polos, ceros y estabilidad

Introducción: Ser estable significa que si al sistema se le aplica una entrada finita, entonces la salida debería ser también finita y de ningún modo infinita. Para sistemas lineales el requerimiento de estabilidad se puede definir en términos de los polos de la función transferencia en lazo cerrado. Los mismos son las raíces del polinomio del denominador de la función de transferencia y los *ceros* las raíces de polinomio del numerador de la función de transferencia.

Estabilidad: También se puede definir como estable si toda entrada acotada (finita), produce una salida acotada. De esta manera para toda entrada escalón aplicada a un sistema la salida debe ser finita. Es estable también un sistema es estable si al estar sujeto a una entrada impulso, tiende a cero, si tiende a un número es crítica y si tiende a infinito es inestable.

Análisis de los polos: (No interesan los ceros!!)

- *Estable:*
 - Todos los polos se encuentran del lado izquierdo o
 - Todos los polos presentan parte real negativa
- *Inestable:*
 - Solo uno está en el lado derecho o
 - Solo uno presenta parte real positiva.
- *Crítico:*
 - uno o más polos en el eje vertical o
 - uno o más polos presentan parte real cero y no hay polos del lado derecho.

Routh – Hurwitz:

- Primera inspección:
 - Todos los coeficientes positivos → puede ser estable
 - Alguno negativo → Inestable
 - Alguno es igual a cero → En el mejor de los casos es Críticamente estable
- Segunda Inspección
 - Primera columna TODOS positivos → Estable
 - Alguno negativo → Inestable.

Método: El arreglo debería contener (n-1) renglones

$$\begin{bmatrix} a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \\ a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ B - \frac{A}{D}E & C - \frac{A}{D}F & - \end{pmatrix}$$

Unidad 9: Controladores

Definición: elemento del sistema en lazo cerrado que tiene como entrada la señal de error y produce una salida que convierte la entrada al elemento correctivo. La relación entre la salida y la entrada al controlador se denomina *ley de control*. Existen tres formas de dicha ley *proporcional*, *integral* y *derivativo*. En algunos sistemas es necesario mejorar el desempeño del controlador lo cual se logra al introducir *compensadores*.

C. Proporcional: Sencillo de aplicar, la salida del controlador es directamente proporcional a la entrada. Es solo un amplificador con ganancia constante. Existe solo bajo cierto rango de errores conocido como *banda proporcional*. **No introduce nuevos polos o polos ni cambia el tipo.**

Deducción: Salida = $K_p e \rightarrow G_c(s) = K_p \rightarrow G_o(s) = K_p G_p(s) \rightarrow G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)}$

C. Integral: La salida del controlador es proporcional a la integral de la señal de error.

Ventaja: Se incrementa el tipo en 1

Desventaja: Se introduce un polo en el origen y ningún cero. Se reduce la estabilidad relativa.

Deducción: Salida = $K_i \int_0^t e \, dt \rightarrow G_c(s) = \frac{\text{salida}(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s} \rightarrow G_o(s) = \left(\frac{K_i}{s}\right) G_p(s)$

C. PI: La reducción en la estabilidad relativa como resultado de usar CI se puede resolver, como una extensión, mediante el CPI.

Ventaja: Se adiciona un cero en $-(1/\tau_i)$ (τ_i = constante de tiempo integral) y un polo en el origen. El factor $1/s$ incrementa el tipo de sistema en 1. Debido a que se incrementa un polo y un cero la diferencia entre el número de polos y el número de ceros se mantiene esto genera que la reducción de estabilidad no sea tanto como el control integral.

Deducción: Salida = $K_p e + K_i \int_0^t e \, dt \rightarrow G_c(s) = \frac{K_p [s + (\frac{K_i}{K_p})]}{s} \rightarrow \frac{K_p}{K_i} = \tau_i \rightarrow G_o(s) = \frac{K_p [s + (\frac{1}{\tau_i})] G_p(s)}{s}$

C. Derivativo: Este modo puede proporcionar una acción correctiva grande antes de que se presente un error grande. Sin embargo si el error es constante no hay acción correctiva. Así el CI es insensible a señales de error constante y en consecuencia solo se usa combinado.

Desventaja: Reduce en 1 al tipo si este es igual o mayor a 1.

Deducción: Salida = $K_d \frac{de}{dt} \rightarrow G_c(s) = K_d s \rightarrow G(s) = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)}$

C. PD: Es cuando el CD son usa con el CP

Ventaja: Se introduce un cero y no habrá cambios en el tipo de sistema y por lo tanto en los e_{ss} .

Deducción: $G_o(s) = (K_p + K_d s) G_p(s) \rightarrow \frac{K_p}{K_d} = \tau_d \rightarrow G_o(s) = K_d \left[\left(\frac{1}{\tau_d}\right) + s \right] G_p(s)$

C. PID: Mejor conocido como controlador de 3 términos.

Ventajas: Incrementa el número de ceros en 2, el número de polos en 1 y el tipo en 1.

Deducción: Salida = $K_p e + K_i \int_0^t e \, dt + K_d \frac{de}{dt} \rightarrow G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \rightarrow G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s\right)$
 $\rightarrow G_o(s) = \frac{K_p (\tau_i s + 1 + \tau_i \tau_d s^2) G_p(s)}{\tau_i s}$

Unidad 13: Control de procesos discretos.

Definición: Un control de procesos discretos involucra distintas operaciones, cada una de las cuales tienen una condición definida para iniciarse. El control es una secuencia de operaciones y puede ser *manejada por eventos* o *manejada por tiempo*.

Procesos discretos: Con el control de PD, las operaciones se realizan en secuencias de acuerdo a un programa establecido. Una sola operación podría ser un proceso de control en lazo cerrado o uno en lazo abierto controlado por tiempo con operaciones en una secuencia determinada por condiciones.

Métodos: Se utilizan para describir procesos secuenciales y son: *Listas de instrucciones – Diagramas de tiempos del proceso – Diagramas de flujo – Diagramas de funciones secuenciales* (se usan bloques unidos con líneas que indican la transición de un paso a otro)

PLC: Controladores lógicos programables es un microprocesador para uso en control general que emplea memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones lógicas, de secuencia, de temporización, de conteo y aritméticas. El PLC se programa de modo que el programa de control puede ingresar mediante un lenguaje sencillo. Posee unidades de entrada y salida a donde se conectan los dispositivos. Cada punto de I/O tiene una dirección única que se puede usar mediante la CPU.

Operaciones: *Compuertas AND y OR – Secuencias múltiples – Entrada de contactos cerrados – Salidas múltiples – Enclavamiento – Relevadores internos – Temporizadores – Contadores – Registros de corrimiento.*

Secuencias múltiples: Se pueden producir si una salida activa una entrada, la cual puede a su vez activar la siguiente salida.

Enclavamiento: Se utiliza cuando es necesario mantener energizada una salida aun cuando la entrada deje de ser presionada (pulsador).

Relevadores internos: Es una entrada que se enclava y puede producir muchas salidas.

Registros de corrimiento: Los relevadores internos almacenan información en bits. El RC es un grupo de RI en los que los bits se pueden recorrer de un relevador a otro.