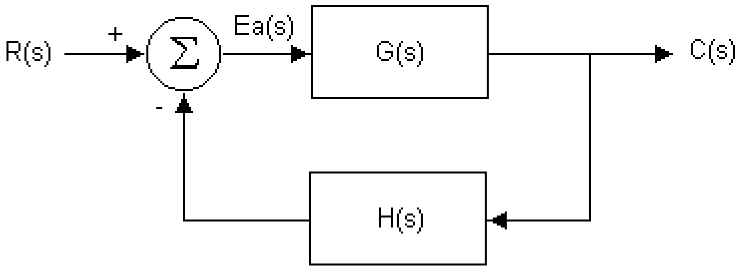
SISTEMAS DE CONTROL

RESPUESTA EN ESTADO ESTABLE

Es la parte de la respuesta total que permanece después de que la respuesta transitoria ha desaparecido. Por lo tanto, está relacionada con la precisión del sistema definida por las constantes de error de posición ***Ep*** (a una entrada escalón) y error de velocidad ***Ev*** (a una entrada rampa).

Características de la respuesta en estado estable

Una característica importante de funcionamiento de los sistemas de control en estado estable, se refiere al error que presentan dichos sistemas en régimen permanente. Este error es una medida de la precisión de un sistema de control.



Para un sistema como el mostrado en la figura, se definen las siguientes señales de error:

$E(s) = R(s) - C(s)$ *señal de error*

$Ea(s) = R(s) - H(s)C(s)$ *señal de error actuante*

La expresión del error actuante ***Ea(s)*** en función de la excitación es:

$$Ea(s) = \frac{1}{1+G(s)H(s)}R(s)$$

El error actuante del sistema en estado estacionario $\boldsymbol{e_{ass}}$ se define como el valor del error actuante $\boldsymbol{e_a(t)}$ cuando la respuesta ha adquirido su valor estacionario, esto es:

$$e_{ass} = \lim_{t\to\infty} e_a(t) = \lim_{s\to 0} s\,E_a(s)$$

$$e_{ass} = \lim_{s\to 0} s\frac{1}{1+G(s)H(s)}R(s)$$

Cuando ***H(s) = 1*** → el error es igual al error actuante.
El error depende tanto de ***G(s)·H(s)*** como de la señal de prueba ***R(s).***

Otra forma de medir el error en estado estacionario para sistemas realimentados es a partir de los coeficientes de error estático que se surgen en base al ***"tipo"*** de sistema el cual se define como el número de factores ***1/S*** de la función transferencia de lazo abierto. Puesto que ***1/s*** equivale a una integración, el ***"tipo"*** estará dado por el número de integradores de dicha función transferencia.

Sea la función de transferencia de lazo abierto:

$$G(s)H(s) = \frac{a_0 + a_1 s + \ldots + a_m s^m}{s^N (b_0 + b_1 s + \ldots + b_r s^r)}$$

Donde el ***"tipo"*** de sistema está dado por el valor de ***N*** para ***N = 0, 1, 2, ...***
El coeficiente estático de error de posición ***Kp*** se determina con una señal de entrada escalón: ***r(t) = P.μ(t)***, y está definido por:

$$Kp = \lim_{s \to 0} G(s)H(s)$$

Luego el error de posición e_p es:

$$e_p = e_{ass} = \frac{P}{1 + Kp}$$

Su expresión en tanto por uno se obtiene directamente cuando ***P=1***, entonces:

$$e_p = \frac{1}{1 + Kp}$$

El coeficiente estático de error de velocidad ***Kv*** se determina con una señal de entrada rampa: ***r(t) = V.t. .μ(t)*** y está definido por:

$$Kv = \lim_{s \to 0} s\,G(s)H(s)$$

Luego el error de velocidad e_v es:

$$e_v = e_{ass} = \frac{V}{Kv}$$

de manera semejante a e_p , y en tanto por uno:

$$e_v = \frac{1}{Kv}$$

De manera similar, el coeficiente estático de error de aceleración ***Ka*** se determina con una señal de entrada parábola ***r(t) =1/2.a.t².μ(t)***, y está definido por:

$$Ka = \lim_{s \to 0} s^2 G(s)H(s)$$

Luego el error de aceleración ***ea*** es:

$$e_a = \frac{a}{Ka}$$

y en tanto por uno:

$$e_a = \frac{1}{Ka}$$

La tabla siguiente, resume los errores estacionarios para sistemas "tipo" 0, 1 y 2 sometidos a entradas escalón, rampa y parábola, en función de los coeficientes estáticos de error:

Tipo de sistema	ERROR		
	POSICION e_P	**VELOCIDAD** e_v	**ACELERACION** e_a
0	$\frac{1}{(1+Kp)}$	∞	∞
1	0	$\frac{1}{Kv}$	∞
2	0	0	$\frac{1}{Ka}$

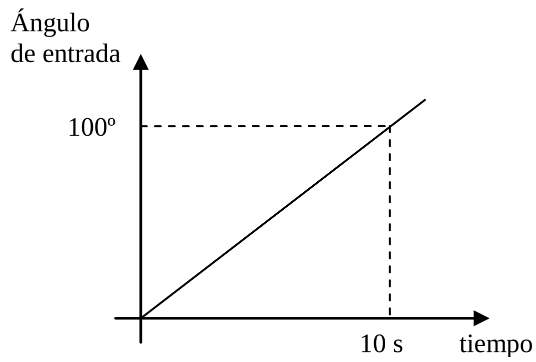
Como puede apreciarse, para mejorar la respuesta del sistema en régimen permanente, se deben poner polos en el origen de la función transferencia de lazo abierto, de modo tal de aumentar el "tipo" del sistema, lo cual se traduce en una disminución del error para un mismo tipo de entrada.

Ejemplo:

El brazo de un robot tiene una función transferencia de lazo abierto para su posición angular de:

$$G(s)H(s) = \frac{100}{s(s+5)(s+2)}$$

¿Cuál será el error en estado estable para la entrada siguiente?



- El sistema es de "tipo" 1
- La entrada es una señal rampa de pendiente ó velocidad de crecimiento $V = \frac{100^{\circ}}{10s} = \frac{10^{\circ}}{s}$
- $Kv = \lim_{s\to 0} s.G(s)H(s) = \frac{100}{5.2} = 10s^{-1}$
- $e_v = \frac{V}{Kv} = \frac{10\,{}^{\circ}\!/\!_s}{10s^{-1}} = 1^{\circ}$