

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO ELECTRÓNICA

ÁREA: CONTROL

CÁTEDRA: Sistemas de Control (4E2)
para Ingeniería Eléctrica/Electromecánica/Mecánica.

Guía N° 6: COMPENSACIÓN DE SISTEMAS A LAZO CERRADO

- N°1** a) Analice la estabilidad del sistema de la figura 1 a lazo cerrado, mediante los conceptos de margen de ganancia y margen de fase. Datos:

$$G_{p(s)} = \frac{1000}{(s+1)^2}$$

$$H_{(s)} = \frac{1}{10}$$

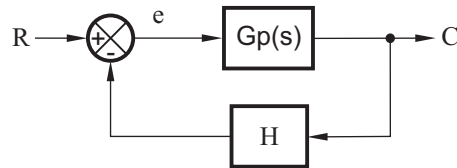


Figura 1: Sistema de control a lazo cerrado.

- b) Compense la planta del inciso a), con un compensador en cascada, $G_{c(s)}$, y un $H_{(s)}$ tal que el sistema, a lazo cerrado, cumpla con los siguientes requerimientos:

- Un margen de fase de 45° .
- Error de estado estacionario nulo a la entrada en escalón, $e_{ss}(t)|_{r=u(t)} = 0$.
- T_{LC} con ganancia en bajas frecuencias, de 40 dB.

- N°2** Compense el siguiente sistema con un compensador en cascada. Con:

$$G_{p(s)} = \frac{1000}{(s+1)^2}$$

$$H_{(s)} = \frac{1}{10}$$

El sistema, a lazo cerrado debe cumplir con un margen de fase de 45° y los siguientes requerimientos de ancho de banda (BW):

- a) $BW = 100 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- b) $BW = 1000 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

N°3 Un sistema de control de velocidad es implementado con una máquina de corriente continua (ver Problema 3, Guía N°3 para su modelado con $K_{cc} = 1$) en donde el eje entre el motor y la carga no es rígido. A esto se lo denomina compliancias¹ en los acoplamientos entre los elementos mecánicos y en este caso el eje se modela como un resorte torsional. Datos:

$T_m(t)$ = par del motor,

$\omega_m(t)$ = velocidad angular del motor,

$\omega_L(t)$ = velocidad angular de la carga,

$\theta_m(t)$ = desplazamiento angular del motor,

$\theta_L(t)$ = desplazamiento angular de la carga,

J_m = Par de inercia del motor referido a su eje = $7,0618 \times 10^{-7} \text{ kg m}$,

J_L = inercia de la carga = $3,5309 \times 10^{-6} \text{ kg m}$,

B_L = coeficiente de fricción viscosa de la carga = $7,0616 \times 10^{-6} \text{ kg m s}$,

B_m = coeficiente de fricción viscosa del motor = $7,0616 \times 10^{-5} \text{ kg m s}$,

K_L = constante del resorte del eje = $0,7062 \text{ kg m / rad}$.

Se requiere diseñar un compensador en cascada para cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) El sistema, a lazo cerrado debe cumplir con un margen de fase de 45° y un ancho de banda de 10000 rad .
- b) El sistema, a lazo cerrado debe cumplir con un margen de fase de 45° , un ancho de banda de 10000 rad y error nulo al escalón.

N°4 Para el sistema presentado en la figura 2:

- a) Encuentre la transferencia V_o/V_R , cuando ambos ruidos son aditivos:
- b) Si las señales V_{n1} y V_{n2} presentan las siguientes características:

$$V_{n1} = 100 \cdot \sin(w_1 t) \big|_{w_1 = 100 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$V_{n2} = 10 \cdot \sin(w_2 t) \big|_{w_2 = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

Encontrar que tensión de salida, V_o , se obtiene debido a V_{n1} y a V_{n2} si la planta y el controlador fuesen los del problema 3.

N°5 El sistema de control de la figura 3 modela un sistema de refrigeración e incluye la carga. Sin embargo, externo al sistema, existe una perturbación p que modela

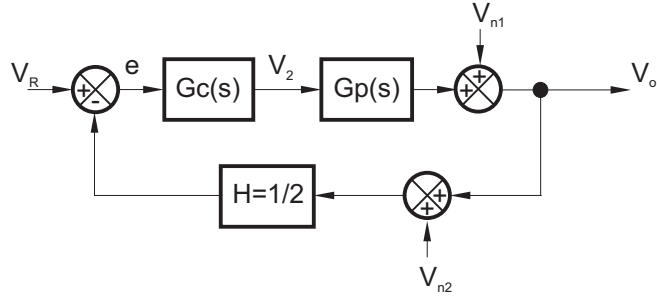


Figura 2: Sistema de control a lazo cerrado.

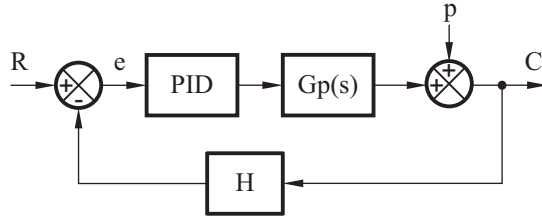


Figura 3: Sistema de control a lazo cerrado.

una perturbación periódica proveniente de un equipo de compresión a tornillo. Compensar mediante un *PID* para obtener las siguientes especificaciones:

$$Gp(s) = \frac{10 \cdot e^{-0,8 \cdot s}}{\left(1 + \frac{s}{0,01}\right)(1 + s)}$$

$$H(s) = 1$$

- respuesta nula al escalón en régimen permanente, $e_{ss}(t) = 0$,
- *BW* lo mayor posible²,
- perturbación $p = A \cos \omega_p t$, a un $\omega_p = 0,01 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, debe ser atenuada 100 veces a la salida,
- margen de fase mayor a 45° ,

Nº6 Determine las constantes T_i , T_d y K_p de un *PID* que compense al sistema,

$$H(s) = 1 \text{ y } Gp = \frac{10}{\left(1 + \frac{s}{100}\right)^2}$$

para lograr:

- Margen de 45° ,

¹La compliancia es la distensibilidad (propiedad que permite el alargamiento o distensión de una estructura) de un material determinada por su cambio de volumen con la presión.

²Cuando nos referimos a que el sistema final a lazo cerrado debe quedar con el mayor ancho de banda posible, queremos significar que el *BW* final debe ser mayor al *BW* de la planta original (*Gp*).

- $BW \equiv 100 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $e_{ss}(t)$ nulo al escalón unitario como entrada,
- Para rechazar ciertas perturbaciones, se requiere una T_{LA} a $\omega = 0,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ de 60 dB.

Nº7 Compense el sistema de la figura 4 con un compensador tipo *PID* en cascada. Con:

$$G_p(s) = \frac{1000}{(s+1)(s+100)}$$

Se pide que el sistema a lazo cerrado tenga una ganancia de 40 dB y un BW de al menos $10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

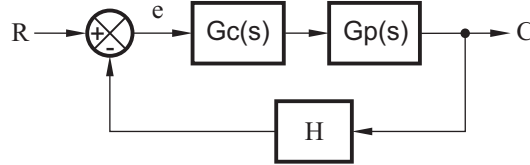


Figura 4: Sistema de control a lazo cerrado.

Nº8 Compense mediante un *PID* el sistema $G_p(s)$, de manera de obtener una ganancia de lazo cerrado en bajas frecuencias igual a 10, un $m_\varphi = 45^\circ$, un ancho de banda ω_c lo mayor posible y un error nulo al escalón en régimen permanente.

$$G_p(s) = \frac{10(s+0,1)}{(1+s^2)(s+10)}$$

Nº9 Compense mediante un *PID* el sistema $G_p(s)$, de manera de obtener una ganancia de lazo cerrado en bajas frecuencias igual 100, un $m_\varphi = 45^\circ$, un ancho de banda ω_c lo mayor posible y un error nulo al escalón en régimen permanente.

$$G_p(s) = \frac{10}{s(s+1)}$$

Nº10 Compense mediante un *PID* el sistema $G_p(s)$, de manera de obtener el máximo ancho de banda, un margen de fase de 45° , una atenuación de 20dB para una perturbación senoidal a la salida cuya $\omega = 0,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ y un error nulo al escalón en régimen permanente. Especifique las constantes del *PID*.

$$G_p(s) = \frac{1}{(s+1)(100s+1)^2}$$

N°11 Compense mediante un *PID* el sistema $G_p(s)$, de manera de obtener un margen de fase aproximadamente igual a 45° , una atenuación de 40 dB para una perturbación senoidal a la salida cuya $\omega = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, y un error nulo al escalón en régimen permanente.

$$G_p(s) = \frac{1}{(s+1)\left(\frac{s}{100} + 1\right)^2}$$

N°12 Sea un sistema de enfriamiento similar al de la Planta Piloto cuya transferencia es:

$$GH = \frac{0,1(s+0,01)}{(s+0,1)(s+0,001)}$$

El sistema presenta, además, un retardo de tiempo provocado por el transporte de agua entre el punto de enfriamiento y el punto donde se ubica el sensor, cuyo valor es $t_d = 2,5\pi$ s.

Determinar un *PID* tal que:

- $BW = 0,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.
- $e_{ss} = 0$
- $m_\varphi = 45^\circ$

N°13 Dado el diagrama en bloques de la figura 5, que representa un sistema de control de hornos para laboratorios, se debe compensar mediante un *PID* para obtener las siguientes especificaciones:

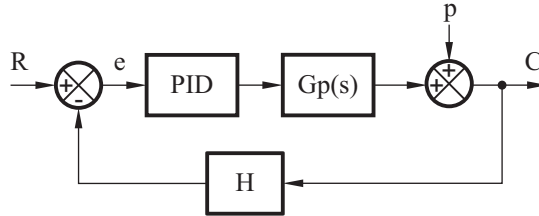


Figura 5: Sistema de control a lazo cerrado.

- Error nulo al escalón en régimen permanente, $e_{ss}(t) = 0$,
- BW lo mayor posible,
- perturbación $p = A \cos \omega_p t$, a un $\omega_p = 0,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, atenuada 1000 veces a la salida,
- margen de fase mayor a 60° ,

$$G_p(s) = G_{\text{Quemador}} \cdot G_{\text{Horno}}$$

$$G_{\text{Quemador}} = e^{-0,08 \cdot s}$$

$$G_{\text{Horno}} = \frac{100}{\left(1 + \frac{s}{0,1}\right) \left(1 + \frac{s}{10}\right)}$$

$$H(s) = 0,1$$

N°14 El compartimiento de carga del sistema de control de posición del transbordador espacial se modela como una masa pura M_0 . El compartimiento está suspendido mediante sostenes magnéticos para que no exista fricción en el control. La altura del compartimiento en la dirección y se controla mediante los actuadores magnéticos localizados en la base. La fuerza total producida por los actuadores magnéticos es $f(t)$. Los controles de otros grados de movimiento son independientes y aquí no se consideran. Debido a que existen experimentos ubicados dentro del compartimiento, se le debe suministrar corriente eléctrica a través de cables. El resorte lineal con la constante de resorte K_s , se utiliza para modelar los cables añadidos. El modelo de sistema dinámico para el control de movimiento en el eje y se muestra en la figura 6. La ecuación de fuerza del movimiento en la dirección y es:

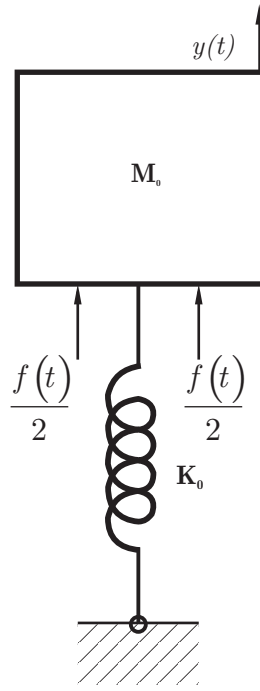


Figura 6: Sistema de amortiguamiento automático de un compartimiento de carga.

$$f(t) = K_s y(t) + M_0 \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

donde $K_s = 0,5 \text{ N} - \text{m} / \text{m}$ y $M_0 = 500 \text{ kg}$. Los actuadores magnéticos se controlan mediante un compensador en cascada

- a) Dibuje un diagrama de bloques funcional para el sistema.
- b) Calcular el compensador para:
 - Error nulo al escalón en régimen permanente, $e_{ss}(t) = 0$,
 - $BW = 0,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$,

- margen de fase mayor a 60° .