

6.302 Sistemas de retroalimentación

Otoño 2002
Pre-práctica 2

Fecha de distribución: 4 de noviembre de 2002
Fecha de entrega: miércoles, 13 de noviembre de 2002

Introducción

El objetivo de la práctica es darle una oportunidad para diseñar diversos compensadores en serie para un sistema con dinámicas muy conocidas. En esta pre-práctica se estudia el sistema que va a ser compensado, así como las características de tres redes eléctricas que se utilizarán como compensadores. Además, determinará de forma analítica estrategias adecuadas de compensación y seleccionará valores apropiados de componentes para implementar estos compensadores. En la práctica siguiente, verificará que sus compensadores funcionan como se prevé.

Le rogamos que comience a realizar esta pre-práctica lo antes posible, dada su extensión.

Familiarización y estandarización

El corazón del sistema con dinámicas conocidas será un “pseudo amplificador operacional”, que se representa con el símbolo de la Figura 1.

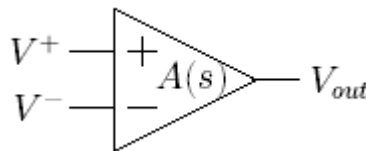


Figura 1. Símbolo de pseudo amplificador operacional.

La función de transferencia del pseudo amplificador operacional es $A(s)$, que quiere decir que $V_{out} = A(s)(V^+ - V^-)$. Al igual que en el caso de un amplificador operacional estándar, se supone que el pseudo amplificador operacional dibuja una corriente insignificante. En la práctica, construirá un circuito que produzca la función de transferencia siguiente:

$$A(s) = \frac{a_0}{(\tau s + 1)(10^{-3}s + 1)(10^{-4}s + 1)}$$

1. Con la ayuda de Matlab, construya los diagramas de magnitud y fase de Bode correspondientes a $A(s)$ para los casos siguientes:
 - (a) $a_0 = 10^5$, $\tau = 1$ seg.
 - (b) $a_0 = 10^5$, $\tau = 0,1$ seg.
 - (c) $a_0 = 10^4$, $\tau = 1$ seg.
 - (d) $a_0 = 10^4$, $\tau = 0,1$ seg.

Observe que la *frecuencia de cruce de fase* ω_ϕ (donde $\angle A(s) = -180^\circ$) es prácticamente independiente de los valores de a_0 y τ . Además, observe que la magnitud de $A(s)$ en $\omega = \omega_\phi$ depende tanto de a_0 como de τ .

2. Considere el circuito de la Figura 2.

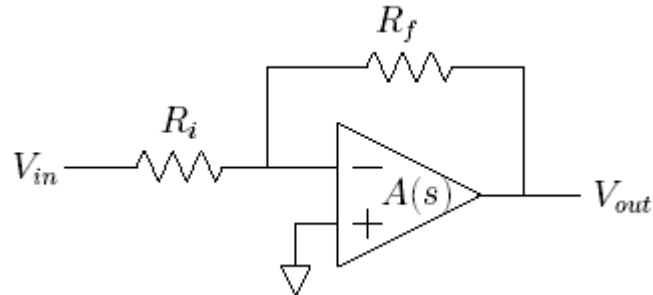


Figura 2. Configuración del amplificador operacional 1.

(a) Demuestre que este circuito se puede representar mediante el diagrama de bloques de la Figura 3.

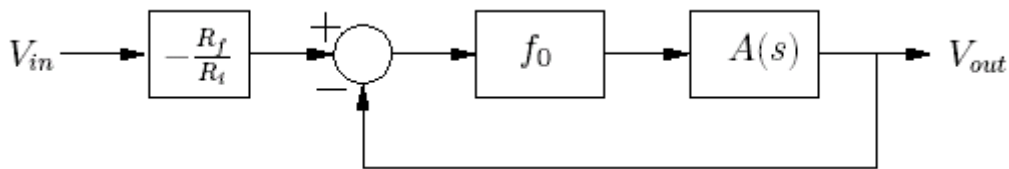


Figura 3. Configuración del diagrama de bloques 1.

donde $f_0 = \frac{R_i}{R_i + R_f}$

- (b) Se le indica que la transmisión de bucle $L(s) = f_0 A(s)$ posee un margen de ganancia de fase de 0° cuando $R_i = 62\text{k}\Omega$ y $R_f = 220\text{k}\Omega$. Halle el valor de τ en $A(s)$, dado $a_0 = 105$. (En la práctica, ajustará τ en este circuito seleccionando un condensador para producir un sistema al borde de la inestabilidad).
- (c) Mediante el valor que ha obtenido de τ , halle el margen de fase cuando $R_i = 22\text{k}\Omega$ y $R_f = 220\text{k}\Omega$. ¿A qué corresponden M_p y ω_n ? (Estos valores de resistencia del circuito anterior conformarán el sistema no compensado del ejercicio real de prácticas).

Diseño de distintos compensadores

3. Dibuje el diagrama de bloques normalizado para los circuitos siguientes, de tal forma que la expresión de bucle cerrado $-\frac{R_f}{R_i}$ aparezca fuera del bucle, como se muestra en la Figura 4.

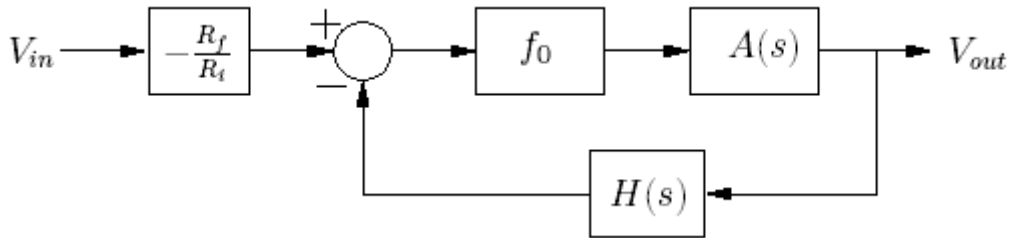


Figura 4. Forma del diagrama de bloques general.

Observe que la transmisión del bucle es $L(s) = G(s)H(s)A(s)$, y que $H(s)$ puede ser una unidad.

Halle expresiones para las constantes adecuadas (f_0 , α , y τ_L) en relación con los valores del componente y escriba las transmisiones de bucle de la forma apropiada para las figuras 5, 7 y 6.

- (a) Ganancia DC reducida:

$$L(s) = A(s)f_0$$

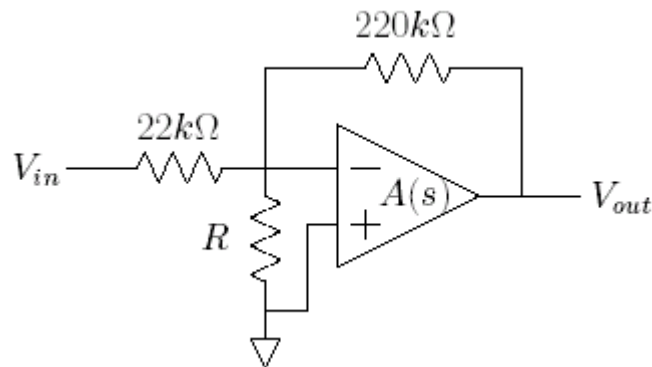


Figura 5. Ganancia DC reducida.

(b) Compensación de retardo:

$$L(s) = A(s) f_0 \frac{\tau_L s + 1}{\alpha \tau_L s + 1}$$

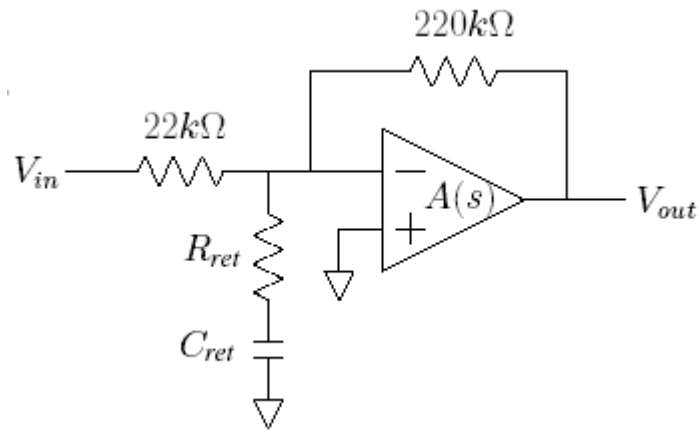


Figura 6. Compensación de retardo.

(c) Compensación de adelanto:

$$L(s) = A(s) f_0 \frac{\alpha \tau_L s + 1}{\tau_L s + 1}$$

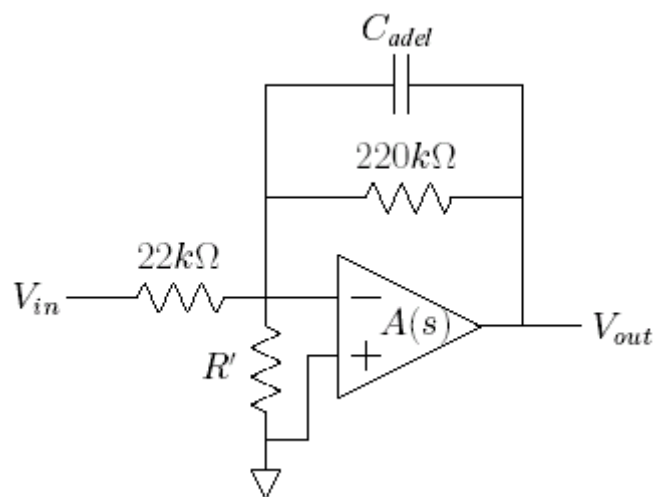


Figura 7. Compensación de adelanto.

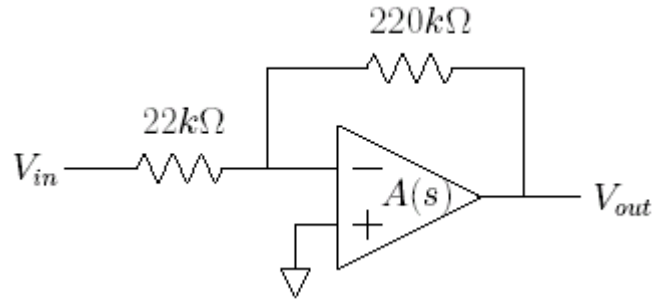


Figura 8. Amplificador operacional sin compensar.

4. En la Figura 8 se muestra el sistema sin compensar.

Observe que la función de ganancia de bucle para el sistema sin compensar es:

$$L(s) = f_0 A(s) = \frac{a_0 f_0}{(\tau s + 1)(10^{-3}s + 1)(10^{-4}s + 1)};$$

$$a_0 = 10^5, f_0 = \frac{1}{11}, \tau \sim 2 \text{ seg} \quad (1)$$

(a) Compense la función de ganancia de bucle para tener un margen de fase $\phi_M = 50^\circ$ reduciendo la ganancia DC de bucle abierto $a_0 f_0$. Halle el valor de f_0 que proporciona el margen de fase deseado. No debe sacrificar innecesariamente la ganancia DC o el ancho de banda.

(b) Utilice un compensador de retardo para obtener un margen de fase $\phi_M = 44^\circ$:

$$L(s) = \frac{a_0 f_0}{(\tau s + 1)(10^{-3}s + 1)(10^{-4}s + 1)} \left(\frac{\tau_L s + 1}{\alpha \tau_L s + 1} \right) \quad (2)$$

Determine los valores adecuados para α y τ_L . Una vez más, le recordamos que no debería reducir el ancho de banda más de lo necesario. Observe que es posible que no pueda cambiar f_0 .

Con la ayuda de Matlab, dibuje diagramas del lugar de las raíces del sistema compensado y del sistema sin compensar y explique el efecto de su compensador de retardo.

(c) Compense el sistema para tener $\phi_M = 50^\circ$ mediante la compensación de adelanto:

$$L(s) = \frac{a_0 f_0}{(\tau s + 1)(10^{-3}s + 1)(10^{-4}s + 1)} \left(\frac{\alpha \tau_L s + 1}{\tau_L s + 1} \right) \quad (3)$$

Es posible que no pueda cumplir las especificaciones del margen de fase utilizando únicamente una compensación de adelanto y que sea necesario que reduzca ligeramente el margen de ganancia DC (mediante la reducción de f_0) para cumplir así el objetivo designado. Observe que α y f_0 no son independientes. No debe reducir la ganancia DC más de lo

necesario. Halle los valores apropiados para f_0 , α y τ_L . Una estrategia podría ser maximizar el margen de fase mediante $\alpha = 11$ y, a continuación, reducir f_0 (aumentar α) hasta que cumpla la especificación correspondiente del margen de fase.

De nuevo, dibuje los diagramas del lugar de las raíces para demostrar el efecto de su compensador de adelanto.

5. Respuestas previstas.

(a) Para el sistema sin compensar y para cada uno de los sistemas compensados, determine:

- i. La frecuencia de cruce (ω_c) y el ancho de banda (ω_b).
- ii. Las ubicaciones dominantes del polo de bucle cerrado (con la ayuda de Matlab).
- iii. La relación de amortiguamiento (ζ), y la frecuencia natural (ω_n) para 5(a)ii.
- iv. Porcentaje de exceso previsto ($P.O.$) y tiempo de pico (t_p).
- v. Magnitud de pico prevista (M_p) y frecuencia (ω_p)

Construya una tabla en la que muestre estos valores para cada sistema y asegúrese de que ocupa la página de portada de esta pre-práctica. De no ser así, se le restarán puntos de su calificación.

(b) En el caso del sistema sin compensar y de los sistemas compensados, utilice Matlab para trazar:

- i. El diagrama de Bode de bucle abierto.
- ii. La respuesta de magnitud de Bode de bucle cerrado.
- iii. La respuesta a escalón unitario de bucle cerrado.

6. Valores de los componentes.

Mediante las funciones de transferencia que halló para cada uno de los circuitos de compensación, determine los valores necesarios para cada componente del circuito con el objeto de implementar con éxito los compensadores que se diseñaron anteriormente:

- (a) R para el compensador de ganancia reducida.
- (b) R_{ret} y C_{ret} para el compensador de retardo.
- (c) R' y $C_{adelanto}$ para el compensador de adelanto.

Asegúrese de introducir también estos valores en la tabla de la página de portada de la pre-práctica.