

6.302 Sistemas de retroalimentación

Otoño 2002
Boletín de problemas 6

Fecha de distribución: 21 de octubre de 2002
Fecha de entrega: lunes, 28 de octubre de 2002

Problema: curso de obstáculos de Bode.

Se le proporcionan las siguientes especificaciones de funcionamiento para un sistema de retroalimentación de unidad-ganancia:

- Frecuencia de cruce de $\omega_c = 100$ rps con un osciloscopio de valor -1 en el cruce.
- Error de régimen permanente cero para una entrada rampa.
- $\left| \frac{E(j\omega)}{R(j\omega)} \right| < 0,005$ para entradas sinusoidales por encima del rango $0 < \omega < 1$ rps.
- Para las variaciones de ruido del sensor en el margen de frecuencia $\omega > 1000$ rps,
 $\left| \frac{C(j\omega)}{N(j\omega)} \right| < 0,02$.
- Para obtener un margen de estabilidad adecuado, el margen de frecuencia de la pendiente de valor -1 alrededor del cruce debería ser de al menos dos décadas.
- El margen de fase debería ser de al menos 60° .

1. Dibuje el curso de obstáculos de Bode para estas especificaciones.
2. Construya una curva de magnitud de Bode asintótica que cumpla estas especificaciones con la menor cantidad adicional de magnitud posible. En cada una de las esquinas del diagrama que ha realizado, etiquete las frecuencias de esquina y los valores de las magnitudes de $L(j\omega)$. Proporcione una expresión para una función racional $L(s)$ que presente la misma curva asintótica que acaba de construir.
3. Basándose en la curva de magnitud asintótica del apartado 2, dibuje la curva de magnitud de Bode asintótica aproximada de la respuesta de bucle cerrado $\left| \frac{E(j\omega)}{R(j\omega)} \right|$.

Proyecto 6 de computadora: Nichols, márgenes de estabilidad y curso de obstáculos de Bode.

Sería conveniente que utilizase Octave, MATLAB o un software similar para completar este proyecto de computadora, que posiblemente le será útil a la hora de guardar su trabajo como referencia para futuros proyectos. Le rogamos entregue las copias impresas claramente etiquetadas. El objetivo de este proyecto es investigar la utilidad de la gráfica de Nichols, los márgenes de estabilidad y el curso de obstáculos de Bode.

1. Nichols.

Con la ayuda del software, realice diagramas de Nichols de las funciones de transferencia siguientes, suponiendo que se de una retroalimentación unitaria.

(a)

$$L_1(s) = \frac{1}{s + 1}$$

(b)

$$L_2(s) = \frac{1}{(s + 1)^2}$$

(c)

$$L_3(s) = \frac{K}{(s + 1)^3}$$

- i. ¿Cuál es el margen de ganancia del sistema ($K = 1$)?
- ii. ¿Cuál es el margen de fase para $K = 4$?
- iii. ¿Son éstos los mismos valores que los obtenidos mediante el diagrama de Nyquist en el proyecto anterior?
- iv. Sobre le mismo eje, cree diagramas etiquetados para $K = 1, 2, 4, 8$ y 10 .

(d) Trace la gráfica de Nichols para $K = 1$ y 10 en el caso de,

$$L_4(s) = \frac{25K}{s^2 + 2s + 25}.$$

(e) A medida que comience a diseñar compensadores, se dará cuenta que utiliza en mayor medida las consideraciones de margen de fase que el margen de ganancia. Con el objeto de demostrar la importancia del margen de ganancia, considere un sistema canónico de segundo orden con $\omega_n = 1000$ rps y $\zeta = 0,1$ en serie con un integrador, en una configuración de retroalimentación unitaria.

$$L_5(s) = \frac{K\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}$$

- i. Sobre los mismos ejes, trace la respuesta a escalón para el sistema de bucle cerrado con $K = 10, 100$ y 200 .
- ii. Sobre los mismos ejes, trace las gráficas de Nichols para los mismos valores de K . Construya la tabla con la ganancia y los márgenes de fase para cada valor de K .

(f)

$$L_6(s) = \frac{1}{s^2 + 1}$$

¿Es el diagrama que ha obtenido el que esperaba? De no ser así, entregue un dibujo a mano de la gráfica correcta de Nichols.

2. Compensación

Habiendo observado tanto el método del lugar de las raíces como el de Nyquist para analizar el problema de compensación del integrador triple, ahora utiliza la gráfica de Nichols, ya que el problema es del tipo ganancia-montaje.

$$L(s) = \frac{K(s + 2)^2}{s^3(s + 100)^2}$$

- Trace el diagrama de Nichols del sistema, con $K = 1$.
- Halle el rango de K para el que el sistema de bucle cerrado es estable.
- Seleccione el valor de K adecuado y maximice el margen de fase.
 - Trace el nuevo diagrama de Nichols sobre los mismos ejes.
 - Marque el margen de fase y de ganancia en la gráfica.
- Trace la respuesta a escalón del sistema de bucle cerrado con el valor de K que ha obtenido. ¿Cuál es la sobrecarga de pico?
- Cree el diagrama de Bode del sistema con el valor de K que obtuvo y marque los márgenes de fase y de ganancia en el diagrama.

3. curso de obstáculos de Bode.

En este problema, diseñará un compensador de serie para el motor DC. Le recordamos que los parámetros del motor son: $J = 3 \times 10^{-5}$ kg-m², $R_m = 8\Omega$, $L_m = 5$ mH, $K_t = 0,025$ N-m/A y $K_e = 0,025$ V-s/rad.

Usted está diseñando un servomecanismo de posición para el motor. La percepción de la posición se hace a través de un potenciómetro para el que $K_{pot} = 1$. Las especificaciones que usted debe satisfacer son las siguientes:

- Error cero para una entrada escalón unitario.
 - Error no superior a 0,01V para una entrada rampa unitaria.
 - Porcentaje de sobrecarga no superior al 20%.
 - Frecuencia de cruce de 10 rps.
 - Rechazo de ruido superior por encima de 1000rps $\leq 10^{-7}$
- Trace el diagrama de Bode del sistema sin compensar.
 - Dibuje el curso de obstáculos de Bode en el diagrama en la computadora o a mano en una hoja de papel.
 - Diseñe un compensador de serie G_c para cumplir las especificaciones.

- (d) Para comprobar que ha cumplido las especificaciones necesarias, trace lo siguiente:
- i. La respuesta a escalón y el error para el escalón sobre los mismos ejes.
 - ii. La respuesta en rampa y el error para una rampa sobre los mismos ejes.
 - iii. El diagrama de Bode.