

SISTEMAS DE CONTROL 1

Ejercicios Propuestos n° 3

(13/09/19)

1. RESPUESTA EN FRECUENCIA A LAZO ABIERTO Y CERRADO, CONSTANTES DE ERROR.

OBJETIVOS: observar cómo influyen las características de la respuesta en frecuencia a lazo abierto sobre los parámetros de desempeño cuando se cierra el lazo de control.

1.a) Para las plantas indicadas...

$$1. G(s) = \frac{2}{s+1,4}$$

$$2. G(s) = \frac{2}{s(s+1,4)}$$

$$3. G(s) = \frac{1}{10} \frac{s+20}{s(s+2)}$$

$$4. G(s) = \frac{7}{(s+5)(s+1,4)}$$

$$5. G(s) = \frac{1000}{s^2+100s+6100}$$

$$6. G(s) = \frac{10}{s(s+7)(s+2)}$$

$$7. G(s) = \frac{4}{s(s+0.2)(s+0.6)}$$

$$8. G(s) = \frac{7}{s^2(s+1,4)}$$

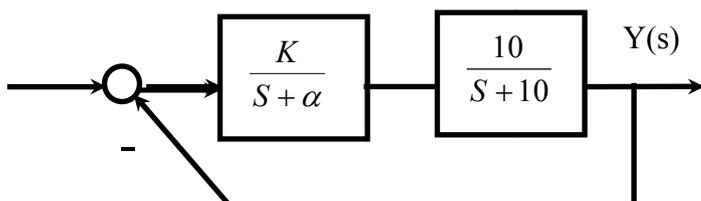
$$9. G(s) = \frac{4(s+14)}{s(s^2+10s+29)}$$

- i. Graficar las correspondientes respuestas en frecuencia en forma polar, y de Bode. Construya "a mano", verifique con Matlab.
- ii. Ídem al apartado 1, para las funciones de transferencia de lazo cerrado, si $G(s)$ es la ganancia de lazo de un sistema con realimentación unitaria. (En el Matlab, puede valerse de la función "feedback")
- iii. Encuentre valores característicos de la respuesta en frecuencia a lazo abierto y cerrado para cada una de las $G(s)$. (ω_C , ω_{AB} ; M_p , ω_p).
- iv. Calcule K_p , K_v , y K_a ; luego, indique sobre las gráficas de Bode correspondientes.
- v. Observe la relación entre ω_C (de lazo abierto) y ω_{AB} (de lazo cerrado). Para visualizar esta relación Ud. puede confeccionar una gráfica con los valores medidos: ω_{AB} vs ω_C .
- vi. Experimentando con la respuesta al escalón a lazo cerrado, observe la relación entre ω_{AB} y la velocidad de dicha respuesta. (Medir el tiempo de crecimiento y graficar en función de ω_{AB}).
- vii. ¿Si se incrementan las ganancias de lazo en un factor igual a 5?... ¿Qué sucede con K_p , K_v , y K_a ?
- viii. Suponiendo una estructura "K,G,H"... Sin saber ningún detalle extra acerca de la planta... ¿Qué ventaja tiene a priori usar un valor elevado para K ? ¿Conoce alguna posible desventaja de un K grande?

1.b) Un sistema realimentado de control realiza tracking (con entrada rampa); con un error de velocidad constante.

- i. ¿Podría indicar cuánto es el error de posición en estado estacionario?
- ii. El incremento de la ganancia (K) en el camino directo... ¿Qué efecto produce sobre el error de tracking ;y en el de estado estacionario (con entrada escalón)?

1.c) Para el sistema de la figura siguiente:



- i. Especifique la ganancia (K) y el valor de α para que la respuesta a una entrada escalón tenga un sobre-pico inferior al 25% y un tiempo de establecimiento al 2% inferior a 0,1seg.
- ii. Determine el valor de régimen estacionario del error entrada-salida para una entrada rampa unitaria, y para una entrada parábola unitaria.

1.d) Un sistema con realimentación unitaria cuya planta se sabe de la forma

$$G(s) = \frac{K(S^2 + 3S + 30)}{S^n(S + 5)}$$

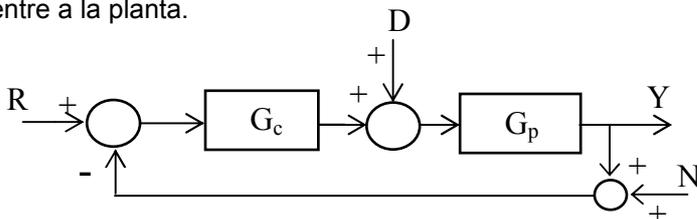
tiene un error entrada-salida de 1/6000 cuando la entrada es una rampa: $x(t)=10.t.u(t)$.

- i. Encuentre K y n para cumplir con la especificación de error.
- ii. Calcule los valores de K_p , K_v y K_a .

2. SENSIBILIDAD

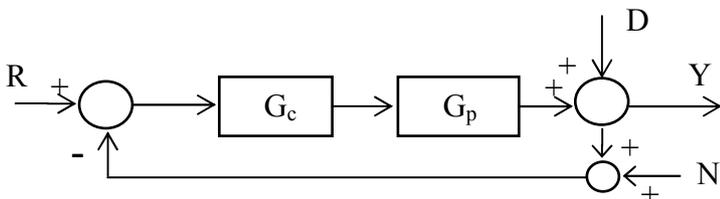
OBJETIVOS: Entender cómo usar el concepto de sensibilidad y sus reglas de cálculo para estimar las desviaciones con respecto al comportamiento nominal y al idealizado de un sistema realimentado.

2.a) Considere un sistema con la configuración mostrada en la figura siguiente, donde G_c es la función de transferencia del controlador y G_p corresponde a la planta. Los valores nominales para las mismas son $G_c=5$ y $G_p=7$. Suponga que una perturbación constante D es adicionada a la señal de control "u" antes de que la señal entre a la planta.



- i. Calcule la función de transferencia desde D a Y en términos de G_c y G_p .
- ii. Suponga que el diseñador sabe que un incremento por un factor de 6 en la ganancia de lazo $G_c G_p$ puede ser tolerado antes de que el sistema salga de especificaciones.
¿Dónde debe colocar la ganancia extra si el objetivo es minimizar el error R-Y debido a la perturbación D? Por ejemplo: cualquiera G_p o G_c puede ser incrementada por un factor de 6, o G_c puede ser doblada y G_p triplicada. ¿Cuál es la mejor opción?

2.b) Responder las siguientes preguntas:



- i. A medida que G_c se hace más grande, ¿El rechazo a la perturbación "D" se vuelve mejor o peor?
- ii. A medida que G_c se hace más grande, ¿La eliminación del ruido en el sensor se vuelve mejor o peor?
- iii. A medida que G_c se hace más grande, ¿La capacidad de $Y(s)$ para seguir $R(s)$ se vuelve mejor o peor?
- iv. ¿A medida que $G_1(s)$ se hace más grande, la sensibilidad de las funciones de transferencia en lazo cerrado para cambios en la planta se vuelve mejor o peor?
- v. Explique brevemente porque la meta de sensibilidad reducida para perturbaciones D a la salida se contrapone con la meta de atenuación del ruido N en el sensor. ¿Cómo se resuelve normalmente el problema?

2.c) Se tiene $G_{(s=0)}=5+1\%/^{\circ}\text{C}$. (Estructura k-G-H, con $k=1$)

Se desea compensar la influencia de la temperatura en la función de transferencia final.

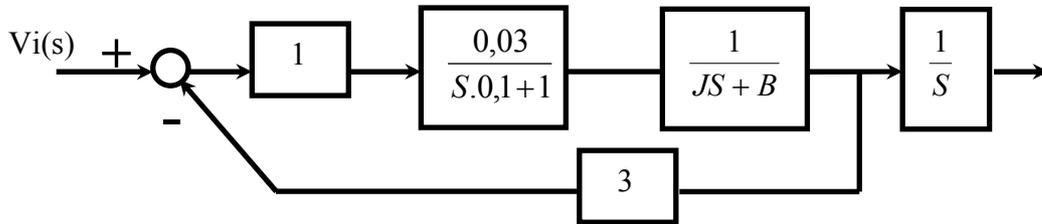
Justifique con cuál H opina que se obtendrá un mejor resultado

- i) $H=3-0.1\%/^{\circ}\text{C}$
- ii) $H=3+0.1\%/^{\circ}\text{C}$
- iii) $H=3-1\%/^{\circ}\text{C}$
- iiii) $H=3+1\%/^{\circ}\text{C}$

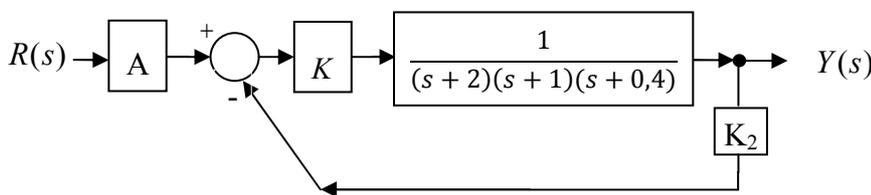
2.d) El esquema en bloques corresponde aproximadamente a un ventilador de techo de 100Watts, girando a 10 Rps. El parámetro $B=0,028$ corresponde principalmente al rozamiento viscoso entre las aspas y el aire. (J es el momento de inercia, $=0,14$). Debido a la acumulación de polvo la masa de las aspas aumenta con el tiempo, lo que provoca un incremento del momento de inercia del 2 por mil a lo largo de un año. Estime el cambio relativo de la aceleración angular máxima en el instante de arranque después de 3 años. Sugerencia: desprecie la dinámica del bloque eléctrico.

Nota 1: tome conciencia de que se solicita encontrar la variación relativa de una función de transferencia, a partir de una variación de la planta.

Nota 2: la idea del ejercicio es mostrar el potencial de la técnica de cálculo, aunque el resultado final pueda parecer poco útil.



2.e) En el esquema siguiente, la planta presenta una variabilidad de $\pm 20\%$ frente a distintos factores.



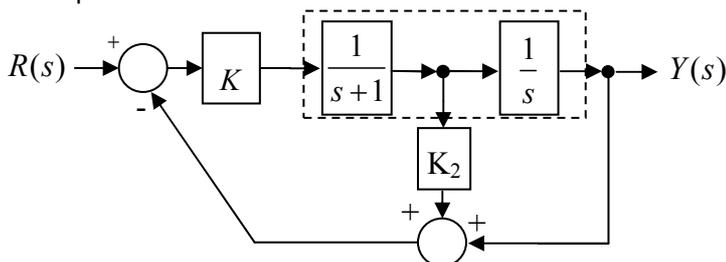
La referencia "R"(que incluye la ganancia "A"), se genera digitalmente en el rango variable $[4;16]$ con una exactitud de aprox. $0,1\%$. El amplificador electrónico "K" puede construirse con una exactitud del 1% . Para usar

como sensor K_2 se dispone de 2 opciones: uno con ganancia $K_{2a}=10\pm 0,2$ y un costo de \$300 y otro con ganancia $K_{2b}=5\pm 0,05$ y un costo de \$900. ($T(s)=Y(s)/R(s)$).

- i. Se requiere una ganancia en bajas frecuencias, $T(0)$, igual a $1\pm 4\%$...¿qué valores de A, K, y K_2 usaría?
- ii. ¿Podría conseguir $T_0=1\pm 2\%$?
- iii. ¿Se podría conseguir $T_0=1\pm 1\%$, comprando un sensor con $K_{2c}=10\pm 0,05$ de \$2500?

Sugerencia importante: asegúrese de que el sistema resulte estable.

2.f) En el siguiente sistema de control de posición, la planta corresponde a un motor de CC controlado por campo.



Para el mismo se optó por emplear un modelo simplificado de segundo orden. Se usa realimentación unitaria de la salida, (que junto con el integrador de la planta provee error nulo al escalón). Para poder modificar otras características de comportamiento se optó por usar también realimentación de velocidad, con amplificación $K_2 \approx 2$.

- i. Si el valor de $K \approx 1$ es sensible a la temperatura de trabajo, cambiando un $0,4\%$ por cada grado centígrado... ¿Qué variación porcentual total esperarías para la ganancia en baja frecuencia (Y/R), si el sistema trabaja en un ambiente con temperaturas entre 2° y 55°C ?
- ii. Si, además de lo dicho en el ítem "a", sucede que K_2 tiene una variación con la temperatura de $0,2\%/^\circ\text{C}$... ¿Cuál será la variación porcentual de $Y/R(s)$ por cada grado centígrado, si la señal R es una senoidal de 1rad/seg ?
- iv. Encuentre el lugar de las raíces para K variable. Si se desea que el sistema de control trabaje con un margen de ganancia de 6dB ... ¿Cuál es el valor aproximado que se debe dar a K?

2.g) Se tiene la siguiente planta, incluida en un sistema de control con realimentación unitaria, desempeñándose de manera satisfactoria en cuanto a estabilidad: $G(s) = \frac{2}{(S+1)(S+3)}$

Sin embargo, se desea mejorar el error de posición, colocando en el camino directo un amplificador de ganancia K. Ocurre que el amplificador del que se dispone presenta un polo en $S = -6$.

- i. ¿Cuántas veces (aprox.) podrá mejorarse el error de posición manteniendo el $\text{Sp}\% < 25\%$?
- ii. ¿Cuál es el error de posición mínimo absoluto que podría alcanzarse con este sistema?

Sugerencias: emplee el lugar de las raíces. (Suponga que la respuesta en el tiempo corresponde al par de polos dominantes).