

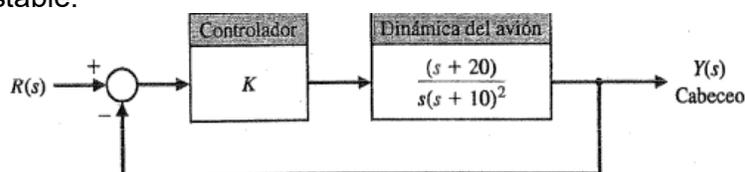
SISTEMAS DE CONTROL 1

Ejercicios Propuestos N° 4

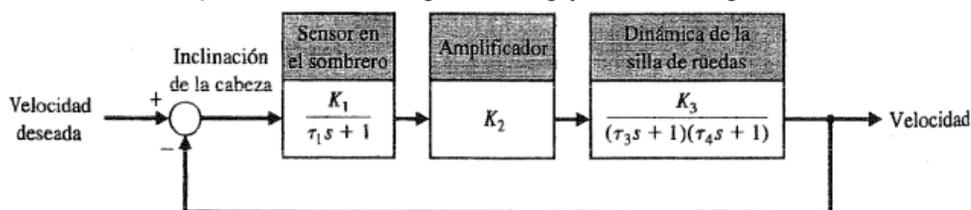
(25-11-2022)

1. MÉTODOS PARA ESTUDIAR LA ESTABILIDAD

1.a) Los ingenieros de diseño trabajan en el desarrollo de aviones de combate pequeños, rápidos y de despegue vertical, que sean invisibles a los radares (aviones clandestinos). En la figura se muestra el concepto de avión que emplea toberas de chorro de giro rápido para la dirección de la nave. El diagrama de bloques que representa el sistema de control de la dirección se muestra a continuación. Utilizando el criterio de Routh-Hurwitz determine la ganancia máxima del sistema para una operación estable.

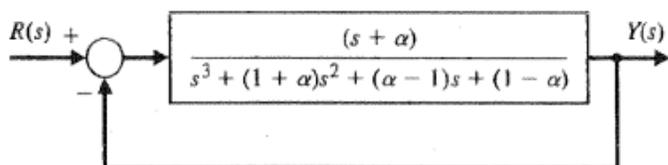


1.b) Se diseña un sistema de control de velocidad para una silla de ruedas. Se desea que una persona cuadripléjica, cuyo único movimiento posible es el de la cabeza, pueda conducir una silla de ruedas motorizada. En la figura se muestra el sistema propuesto que utiliza sensores de velocidad montados en engranajes de cabecera. Los sensores proporcionan una salida proporcional a la magnitud del movimiento de la cabeza. Hay un sensor montado a intervalos de 90°, de forma que puede dirigirse hacia adelante, hacia la izquierda, hacia la derecha o hacia atrás. Los valores típicos para las constantes de tiempo son: $\tau_1=0.5\text{seg}$, $\tau_3=1\text{seg}$ y $\tau_4=0.25\text{seg}$



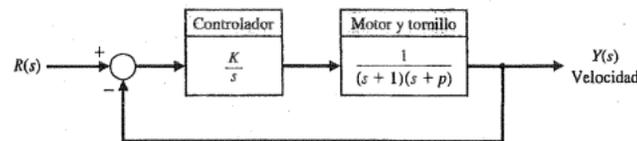
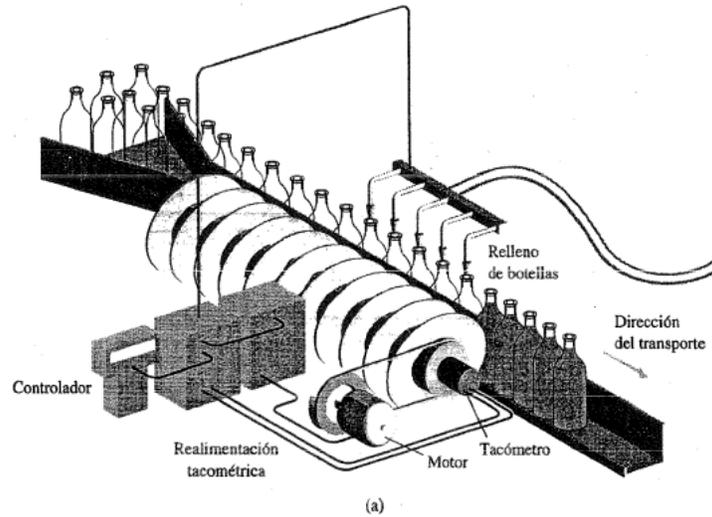
- Determine la ganancia límite $K=K_1K_2K_3$ para tener un sistema estable.
- Utilizando una ganancia K igual a un tercio del valor límite, determine si el tiempo de asentamiento (dentro del 2% del valor final del sistema) es menor a 4seg.

1.c) El diagrama de bloques muestra un sistema de control. Se requiere el sistema sea estable y que el error en estado estacionario para una entrada escalón unitario sea menor o igual que el 5%.



- Determine el valor de α que satisfaga el error solicitado.
- Determine el valor de α que satisfaga el requisito de estabilidad.
- Seleccione un α que reúna ambos requisitos.

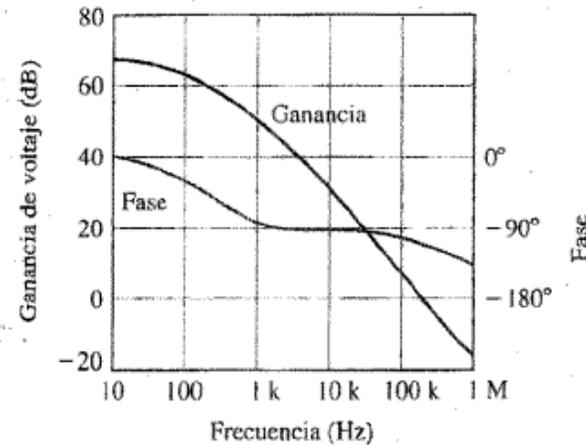
1.d) Una línea de llenado de botellas utiliza un mecanismo de tornillo de alimentación, tal como se muestra en la figura. La realimentación tacométrica se utiliza para mantener un control de velocidad preciso. Determine y dibuje el intervalo de K y p que permite un funcionamiento estable.



1.e) Para cada caso del punto 2.a de los “Ejercicios Propuestos N°3”:

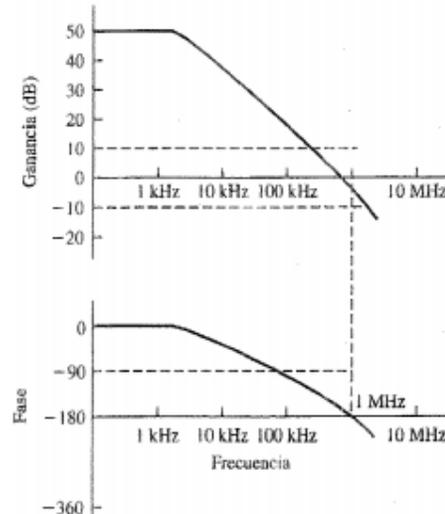
- Aplice el criterio de Nyquist para determinar la estabilidad del sistema a lazo cerrado.
- Para el diagrama D: indique cómo calcular el margen de ganancia según sea que el punto $(-1,0)$ se encuentre en las posiciones a, c ó e.

1.f) Para regular el voltaje de salida de un suministro de energía, se dispone de un lazo integrado para utilizar como sistema de realimentación. En la figura se muestra el diagrama de Bode de la función de transferencia requerida de lazo, $GH(j\omega)$. Estimar los márgenes de ganancia y de fase del regulador.



1.g) Un lazo digital integrado CMOS se puede representar por medio del diagrama de Bode que se muestra en la figura.

- i. Determinar los márgenes de ganancia y fase del circuito.
- ii. Calcular cuanto sería necesario disminuir la ganancia del sistema (dB) para obtener un margen de fase de 60°



1.h) Un sistema tiene una función de transferencia en lazo abierto $G(s) = \frac{K(s+100)}{s(s+10)(s+40)}$. Cuando $K=500$, el sistema es inestable. Si la ganancia se reduce a 50, demostrar que el pico de resonancia es de 3.5dB y hallar el MF del sistema.

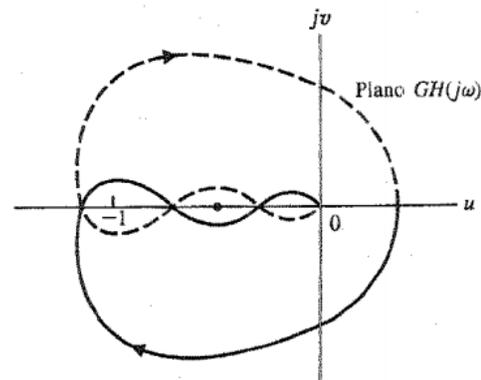
1.i) Dibujar los diagramas polares de las siguientes funciones de transferencia de lazo $GH(s)$ y, utilizando el criterio de Nyquist, determinar si el sistema es estable.

i. $GH(s) = \frac{K}{s(s^2+s+6)}$
 iii. $GH(s) = \frac{K(S^2+2S+5)}{S^3+S^2}$

ii. $GH(s) = \frac{K(s+1)}{s^2(s+6)}$
 iv. $GH(s) = \frac{K(S+3)}{S^2-3S}$

1.j) En la figura se muestra el diagrama polar de un sistema condicionalmente estable para una ganancia específica K .

- i. Determinar si el sistema es estable y calcular el número de raíces (si existen) en la parte derecha del plano s . El sistema no tiene polos de $GH(s)$ en la parte derecha del plano s .
- ii. Determinar si el sistema es estable si el punto -1 yace sobre el eje en la parte donde se encuentra el punto resaltado.



1.k) Con la ganancia K determinada en el problema 1.d) de “Ejercicios Propuestos N°3”:

- i. Investigue la estabilidad utilizando el criterio de Nyquist.
- ii. Determinar el margen de fase y el de ganancia del sistema.

1.l) Suponiendo un sistema de control con la estructura $K-G-1...$

i. Construya la respuesta en frecuencia logarítmica para: $G(s) = \frac{32}{S(S+2)^2}$

- ii. Para sistemas de bajo orden suele ocurrir que el margen de fase (MF) resulta aproximadamente relacionado con el factor de amortiguamiento a lazo cerrado por la expresión: $MF = 100 \cdot \xi$. Esto es bajo la suposición de que a lazo cerrado aparecerá como dominante un par de polos complejos conjugados. SP% del 15%. Para la $G(s)$ indicada, estime cuándo debe valer K para obtener a lazo cerrado un SP% del 15%.
- iii. Sobre una gráfica del lugar de las raíces muestre la situación de los polos de lazo cerrado correspondientes.
- iv. Verifique mediante la respuesta al escalón de lazo cerrado, la estimación hecha para el factor de amortiguamiento. (Comparar el ξ de diseño vs. el ξ asociado al sobrepico de la respuesta en el tiempo).

3. COMPENSADORES

- 3.a)** i. Indique cómo están distribuidos los polos y ceros de un compensador de ATRASO con respecto a los de la planta que se debe controlar.
 ii. Ídem para el compensador de ADELANTO.

- 3.b)** Teniendo cuenta la disposición de polos y ceros de un controlador PI...
 i. Deduzca si el mismo tendrá un comportamiento similar a un compensador de atraso, o más similar a uno de adelanto.
 ii. Indique cuál será el efecto a lazo cerrado del controlador, sobre velocidad, exactitud y estabilidad.
 iii. Ídem al anterior, estudiando un compensador PD.
 iv. Considerando todo lo anterior... ¿Qué puede decir para un controlador PID?

- 3.c)** Un sistema de control con realimentación negativa tiene una función de transferencia $G(s) = \frac{K}{s+2}$
 Se selecciona un compensador $G_C(s) = \frac{s+a}{s}$ a fin de lograr un error cero en estado estacionario para una entrada escalón. Seleccionar a y K de manera que el sobrepico para un escalón sea aproximadamente del 5% y el tiempo de asentamiento (con el criterio del 2%) de aproximadamente 1 segundo.

- 3.d)** Un sistema de control con realimentación unitaria negativa tiene un proceso $G(s) = \frac{400}{s(s+40)}$ y se desea utilizar un compensador Proporcional Integral, donde $G_C(s) = Kp + \frac{Ki}{s}$.
 Obsérvese que el error de estado estacionario de este sistema para una entrada de rampa es cero.
 i. Hacer $Ki=1$ y calcular un valor adecuado de Kp para que la respuesta al escalón tenga un sobrepico de aproximadamente 20%.
 ii. ¿Cuál es el tiempo de estabilización esperado del sistema compensado?

- 3.e)** Un sistema de control con realimentación unitaria para un submarino robot tiene una planta con una función de transferencia de tercer orden: $G(s) = \frac{K}{s(s+10)(s+50)}$
 Se desea que el sobrepico sea aproximadamente del 7.5% para una entrada escalón y que el tiempo de asentamiento (con el criterio del 2%) del sistema sea de 400ms.

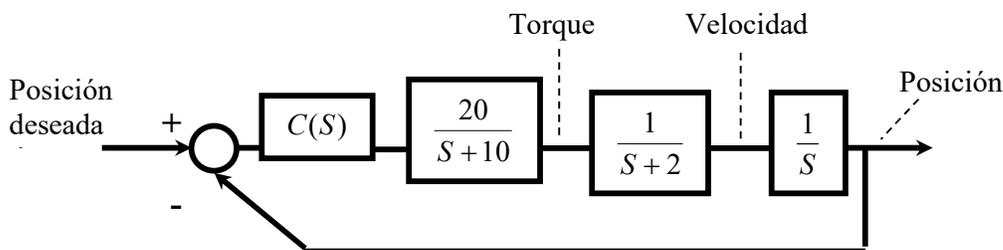
Encontrar un compensador adecuado de adelanto de fase usando el método del Lugar de las Raíces. Suponiendo que el cero del compensador se ubica en $s=-15$, determinar el polo del compensador. Determinar K_v resultante para el sistema.

3.f) La planta de un sistema de control tiene la función de transferencia: $G = \frac{1}{(S+1)(S+2)}$

Se desea lograr a lazo cerrado: $S_p\%$ de aprox. 5%; tiempo de establecimiento al 5%, igual a 1 segundo y; error al escalón menor al 25%.

- i.. Encuentre una FT modelo que cumpla con las especificaciones.
- ii.. Encuentre un controlador PD ideal apropiado para cumplir con las especificaciones indicadas.
(Indique la posición del cero y la ganancia necesaria)
- iii.. Escriba la FT resultante y, explique cómo resulta alterada la respuesta en el tiempo, debido a la inclusión del cero perteneciente al controlador PD.

3.g) Un sistema de control de posición emplea un motor eléctrico, que junto con la carga y la realimentación muestra una estructura como la siguiente.



Se quiere que la respuesta al escalón muestre un sobre-pico de entre 5 y 10%, con tiempo de establecimiento al 2% menor que 2 segundos y, error de posición menor al 1%.

- i.. Se pretende decidir si usar como controlador "C(S)":
 - 1) un amplificador relativamente rápido, $C(S)=K$.
 - 2) un compensador por atraso, ó
 - 3) un compensador por adelanto.

Usando el lugar de las raíces justifique cuáles de los 3 compensadores mencionados se podría usar (o cuáles no) para cumplir con las especificaciones deseadas.

- ii. Encuentre una solución cualitativa al problema, basándose en la modificación de la respuesta en frecuencia de $GH(j\omega)$. Haga una primera estimación de los parámetros del controlador a utilizar.

Nota 1: Recuerde que con un par complejo dominante, resulta estimativamente $M_f \cong 100*\xi$, $t_r = (\pi - \phi)/\omega_d$; $t_s \approx 2,2/\omega_{ab}$; $\omega_{ab} \approx 1,5\omega_c$

- iii.. Volviendo a la estructura de control del problema anterior, un supuesto "Experto" propuso emplear como compensador, $C(s)$, alguna de las siguientes funciones de transferencia:

$$C1(s) = k \frac{s+3}{s-3}$$

$$C2(s) = k \frac{s+0,2}{s-0,1} \text{ (con } k>0\text{)}$$

1. Usando el método de Nyquist, indique si es posible o no el empleo de esta función $C(s)$ para solucionar el problema. En caso negativo, indique qué especificaciones se podrían cumplir y cuáles no.

2. Mediante el lugar de las raíces contraste el resultado del apartado i.3