Examen de Sistemas Automáticos
Parcial 2

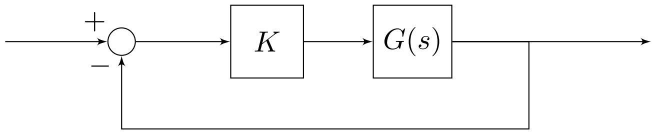
Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Total

Apellidos, Nombre:
Sección:
Fecha: 2 de julio de 2013

- **Atención**: el enunciado consta de tres ejercicios prácticos y un test de respuesta múltiple
- Elija y resuelva **únicamente dos** de los tres ejercicios prácticos, además del test
- **Indique aquí claramente** qué dos ejercicios ha resuelto: ____ y ____
- Utilice únicamente **bolígrafo negro o azul**
- El uso de **Tipp-Ex u otro tipo de bolígrafos** será penalizado
- No se puede desgrapar el examen
- Todas las soluciones deberán escribirse usando únicamente el espacio proporcionado

1. **(3.5 puntos, 35 minutos)**

   Se dispone de un sistema realimentado como el de la siguiente figura:



   Sabiendo que la función de transferencia es $G(s) = \dfrac{(s+300)}{s(s+30)(s+100)}$, se pide:

   a) Suponiendo $K = 1$, dibujar, ayudándose de regla, los diagramas de Bode asíntoticos del sistema en bucle abierto para entradas senoidales de frecuencia comprendida entre 1 rad/s y 10^4 rad/s.

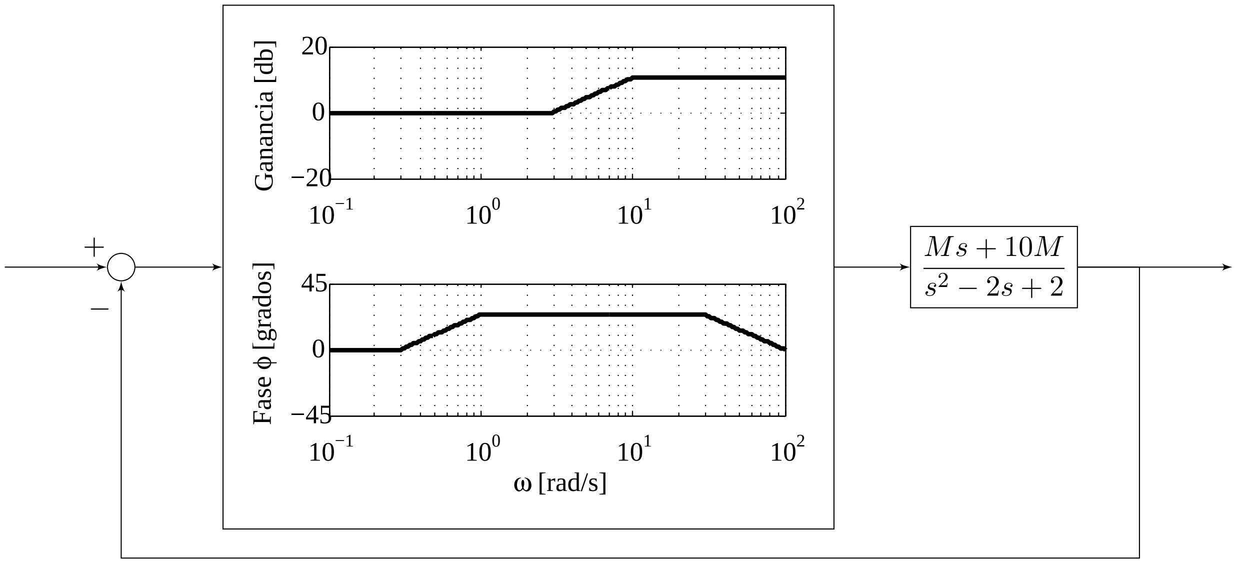
   b) Calcular el valor que debe tener la ganancia del controlador para que el error del sistema realimentado ante una rampa unitaria sea igual a 10^{-4}.

   c) Razonar sobre la respuesta del sistema realimentado ante una entrada de tipo escalón utilizando los diagramas y el valor de la ganancia calculados en los apartados anteriores.

2. **(3.5 puntos, 35 minutos)**

En un proyecto de submarino de la Armada de un país cuyo nombre no viene al caso se han detectado defectos de diseño que obligan a modificaciones de última hora. A usted le corresponde reajustar cierto subsistema cuya arquitectura de control es un bucle de realimentación negativa unitaria.

En la rama directa del bucle de realimentación se encuentra en primer lugar un controlador ya desarrollado por una consultora externa de precios muy asequibles pero que, celosa de su propiedad intelectual, lo instaló como una caja negra que no puede modificarse. Afortunada y empíricamente se ha podido obtener el diagrama de Bode de dicho controlador, como se muestra en el esquema de más abajo. La salida de dicho controlador alimenta a una planta que consta de un único parámetro modificable M.



Su misión es estudiar el comportamiento del sistema en función del parámetro M. Para ello:

a) Identifique la clase de controlador que diseñó la consultora y su función de transferencia.

b) Dibuje el lugar de las raíces detallado del sistema en función de M positivo.

c) Calcule M para la respuesta del sistema sea críticamente amortiguada.

d) Identifique sobre el dibujo el punto s^* del lugar de las raíces que minimiza el tiempo de pico teórico del sistema subamortiguado.

3. **(3.5 puntos, 35 minutos)**

   Mediante análisis frecuencial se ha estimado la función de transferencia de la torreta de un carro de combate, que resulta ser:

$$G(s) = \frac{40}{(s+8)(s+2)}$$

   Tanto la señal de entrada como la de salida (medida por medio de un odómetro) se miden en grados. Se quiere controlar dicha torreta para que sea capaz de apuntar con error nulo a objetivos estáticos y con error máximo de 5 grados a objetivos que se muevan con una velocidad ángular constante de 10 grados$/s$ alrededor de la torreta. Además, se requiere una sobreoscilación máxima del $15\,\%$ y un tiempo de respuesta igual o inferior a $0{,}8$ segundos.

   Diseñe un controlador para el sistema realimentado utilizando el/los compensador/es que considere más adecuado/s, justificando todas las decisiones en los apartados que se incluyen a continuación:

   - Posición del polo objetivo s^* (si procede):
     Justifique (en cualquier caso):

   - Tipo de controlador de transitorio elegido (si procede):
     Justifique (en cualquier caso):

   - Tipo de controlador de permanente elegido (si procede):
     Justifique (en cualquier caso):

   - Cálculos para la obtención de el/los controlador/es:

4. **(3 puntos, +0,2 cada acierto, -0,1 cada error, 20 minutos)** Marque todas las respuestas que considere correctas.

   1. Dado un compensador de tipo red de retardo:

      a) ☐ Su fase siempre es menor que $-180°$
      b) ☐ Podemos posicionar su polo en el origen
      c) ☐ Podría ser útil para corregir el permanente
      d) ☐ Su polo se encuentra a la derecha de su cero

   2. Sea $G(s) = \dfrac{s^2+s+1}{4s^2+2s+1}$. Por tanto:

      a) ☐ El sistema realimentado tendrá respuesta subamortiguada
      b) ☐ El lugar de las raíces no existe
      c) ☐ El sistema realimentado siempre es estable
      d) ☐ Hay dos puntos de ruptura válidos

   3. Sea $G(s) = \dfrac{s+4}{2s^2+2s+1}$. En el sistema realimentado:

      a) ☐ El valor final ante un escalón unitario es 4
      b) ☐ El error ante un escalón unitario es nulo
      c) ☐ El error ante rampa es infinito
      d) ☐ El error ante entrada $2 \cdot u(t)$ es $0{,}4$

   4. Sea $Q(s)$ un sistema realimentado y $G(s)$ uno en bucle abierto, entonces:

      a) ☐ $Q(s)$ tolera mejor las perturbaciones y las variaciones de parámetros
      b) ☐ $Q(s)$ tolera mejor las perturbaciones pero peor las variaciones de parámetros
      c) ☐ A $G(s)$ no le afectan las variaciones de parámetros
      d) ☐ $G(s)$ tolera mejor las perturbaciones pero peor las variaciones de parámetros

   5. Sea un sistema con realimentación negativa unitaria y FdT en la cadena directa igual a $G(s) = K\dfrac{s+5}{s(s+2)}$. Diga cuáles de las siguientes afirmaciones acerca del lugar de las raíces de dicho sistema son ciertas:

      a) ☐ No tiene puntos de ruptura
      b) ☐ Cruza el eje imaginario en dos puntos
      c) ☐ Tiene dos puntos de ruptura
      d) ☐ Tiene una asíntota

   6. Se sabe que la frecuencia crítica de una función de transferencia es igual a 3 rad/s y que ante una entrada escalón la sobreoscilación del sistema realimentado es del 20 %. Si la entrada al sistema es $r(t) = 10\sin(3t+150)$ la salida del sistema en bucle abierto será:

      a) ☐ $y(t) = 10\sin(3t+15)$
      b) ☐ $y(t) = \sin(3t+15)$
      c) ☐ $y(t) = 10\sin(3t+195)$
      d) ☐ $y(t) = \sin(3t+195)$

   7. Sea un sistema de tipo 1 y una entrada de tipo escalón:

      a) ☐ El error en permanente es cero
      b) ☐ El error en permanente depende de K_p
      c) ☐ Se necesita un PI para anular el error
      d) ☐ El error en permanente es infinito

   8. Sea $G(s) = \dfrac{s+1}{s+2}$. Por tanto:

      a) ☐ Su diagrama de ganancia siempre decrece
      b) ☐ Es una red de anticipo
      c) ☐ Es una red de retardo
      d) ☐ Su diagrama de fase siempre decrece

   9. Sea un controlador PID. Entonces:

      a) ☐ Es un *Personal Immediate Disintegrator*
      b) ☐ Con $K_i = 0$ tenemos un PD
      c) ☐ Aumenta el tipo del sistema
      d) ☐ Con $K_d = 0$ tenemos un PD

   10. Sea un diagrama de Bode de una función de transferencia desconocida. El sistema realimentado:

       a) ☐ Es estable si y solo si la fase cruza $-180°$
       b) ☐ Es estable si la fase siempre es mayor que $-180°$
       c) ☐ Es inestable si y solo si la fase cruza $-180°$
       d) ☐ Es estable si y solo si la fase cruza $0°$

Transformada de Laplace

$$\mathcal{L}[t^n] = \frac{n!}{s^{n+1}} \qquad \mathcal{L}[\sin \omega t] = \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \qquad \mathcal{L}[\cos \omega t] = \frac{s}{s^2+\omega^2} \qquad \mathcal{L}[f(t-T)] = e^{-sT}F(s)$$

$$\mathcal{L}[e^{-at}f(t)] = F(s+a) \quad \mathcal{L}\left[\int_{0-}^{t} f(\tau)d\tau\right] = \frac{F(s)}{s} \quad \mathcal{L}\left[\frac{d^n f}{dt^n}\right] = s^n F(s) - \sum_{k=1}^{n} s^{n-k} f^{(k-1)}(0-)$$

Sistemas de 2º orden básico

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad T_p = \frac{\pi}{\omega_d} \qquad S_{\%} = 100 \times e^{-\pi\zeta\omega_n/\omega_d}$$

$$T_{s_{95\,\%}} \approx \frac{3}{\zeta\omega_n} \qquad T_{s_{98\,\%}} \approx \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad \zeta = \frac{-\ln(S_{\%}/100)}{\sqrt{\pi^2+\ln^2(S_{\%}/100)}}$$

Sistemas realimentados

$$e_{\text{escalón}}(\infty) = \frac{1}{1+K_p} \quad e_{\text{rampa}}(\infty) = \frac{1}{K_v} \quad e_{\text{parábola}}(\infty) = \frac{1}{K_a}$$

Lugar de las raíces

$$\sigma_a = \frac{\sum \text{polos} - \sum \text{ceros}}{\#\text{polos} - \#\text{ceros}} \qquad \theta_a = \frac{180(2k+1)}{\#\text{polos} - \#\text{ceros}}$$

$$\angle_{\text{salida/llegada}} = 180 - \sum \angle\text{sing. del mismo tipo} + \sum \angle\text{sing. distinto tipo}$$

Diagramas de Bode

$$M_F = \arctan\left(\frac{2\zeta}{\sqrt{\sqrt{1+4\zeta^4}-2\zeta^2}}\right) \approx 100\zeta \quad \omega_c = \omega_n\sqrt{\sqrt{1+4\zeta^4}-2\zeta^2} \qquad \omega_r = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2}$$

$$M_P = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-2\zeta^2}} \qquad \omega_{\text{BW}} = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2+\sqrt{4\zeta^4-4\zeta^2+2}}$$

$$|G(j\omega_c)| = 1 = 0dB \qquad M_F = 180 + \angle G(j\omega_c) \qquad G_{\text{PID}}(s) = K_p + \tfrac{K_i}{s} + K_d s$$

Tablas de Ziegler-Nichols

Primer método

Tipo	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0{,}9 \cdot T/L$	$L/0{,}3$	0
PID	$1{,}2 \cdot T/L$	$2L$	$0{,}5L$

Segundo método

Tipo	K_p	T_i	T_d
P	$0{,}5K_{cr}$	∞	0
PI	$0{,}45K_{cr}$	$0{,}83T_{cr}$	0
PID	$0{,}6K_{cr}$	$0{,}5T_{cr}$	$0{,}125T_{cr}$