Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao eman ta zabal zazu Universidad del país vasco Euskal herriko unibertsitatea	**AUTOMÁTICA Y CONTROL** Nombre ____________________ Izena 1ºApellido____________________ 1 Deitura 2º Apellido____________________ 2 Deitura	**Curso: 2015/2016** **18/01/2016** **Tiempo:** 2 h 30 m **Grupo** **Taldea**

EJERCICIO 1 (30 %)

Sea el siguiente sistema realimentado:

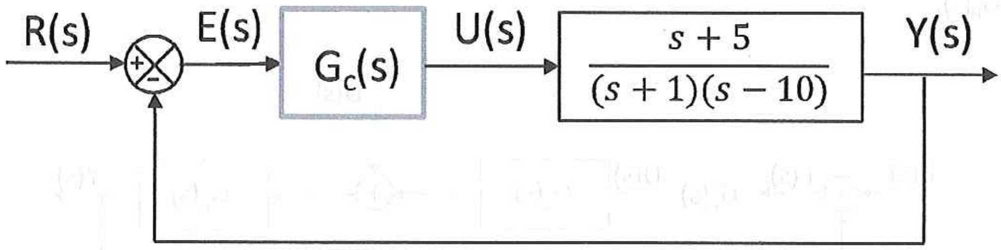


Figura 1.1- Sistema realimentado

1. Dibuje el Lugar de las Raíces del sistema realimentado y justifique el rango de valores de K_c para los que es estable.

2. Diseñe el controlador más simple que asegure un tiempo de establecimiento menor que 1,6 segundos (criterio del 2%) en respuesta a un escalón en la referencia.

3. Se desea, además, que el sobreimpulso máximo no supere el 15%. Compruebe si el controlador diseñado en el apartado anterior cumple esta especificación y en caso negativo, diseñe el controlador más simple que cumpla las dos simultáneamente.

Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa / Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao — eman ta zabal zazu — Universidad del país vasco / Euskal herriko unibertsitatea	**AUTOMÁTICA Y CONTROL**	**Curso: 2015/2016** **18/01/2016**
	Nombre ______ Izena	**Tiempo:** 2 h 30 m
	1ºApellido ______ 1 Deitura	
	2º Apellido ______ 2 Deitura	**Grupo** **Taldea**

EJERCICIO 2 (40 %)

Sea el sistema realimentado de la Figura 2.1, en el que se observa que está compuesto por un controlador de función de transferencia $G_c(s)$, un actuador de función de transferencia $G_a(s)$ y una planta $G_p(s)$,

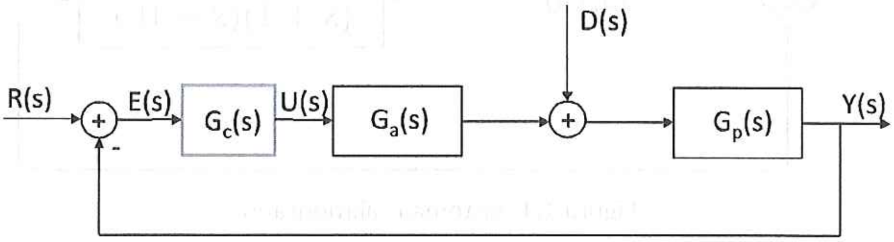


Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema realimentado

La Figura 2.2 representa la respuesta en frecuencia del conjunto controlador-actuador ($G_c(s)G_a(s)$), en forma de diagrama de Bode.

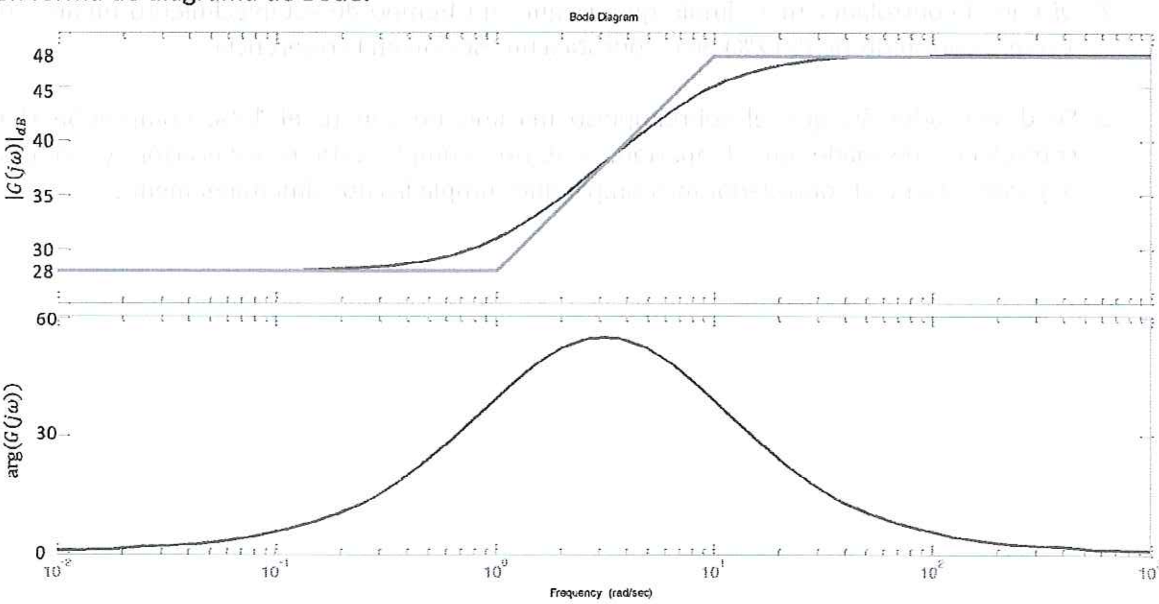


Figura 2.2 Diagrama de Bode del conjunto controlador-actuador

El sistema en bucle cerrado responde como un sistema de segundo orden sin ceros. La Figura 2.3. presenta sobre la misma gráfica: $y_1(t)$, que representa la respuesta del sistema realimentado a escalón unitario en la referencia $r(t)$; $y_2(t)$, que representa la respuesta del sistema a entrada escalón unitario en la referencia y a entrada escalón de amplitud 5 en la perturbación $d(t)$:

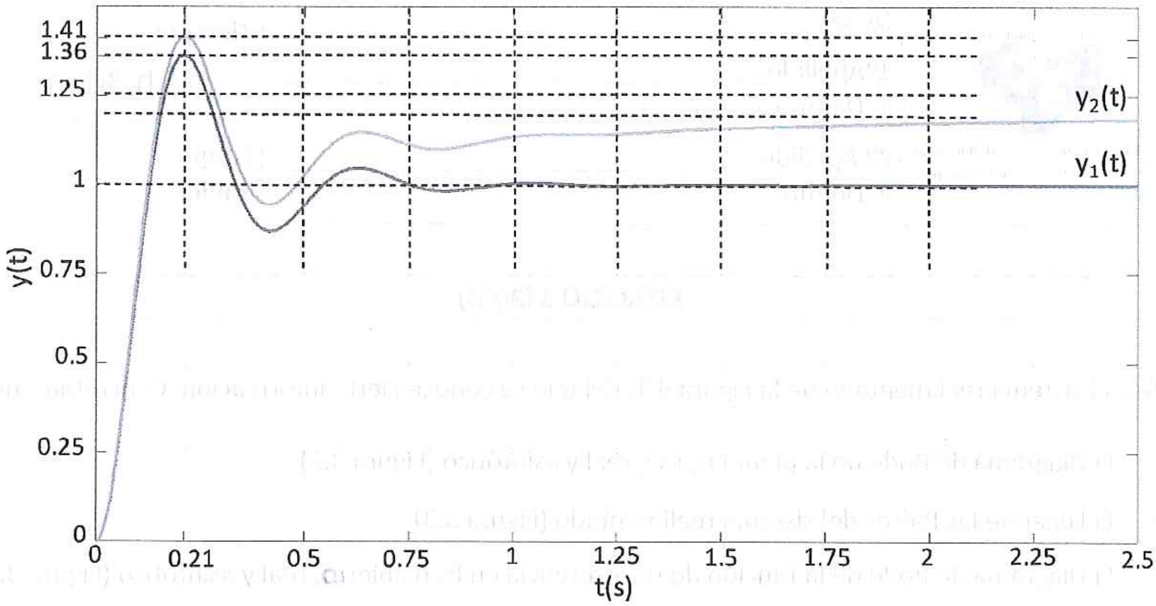


Figura 2.3 Respuesta del sistema realimentado a entrada escalón unitario en $r(t)$ ($y_1(t)$), y escalón unitario en $r(t)$ y escalón de amplitud 5 en $d(t)$ ($y_2(t)$)

Sabiendo que el actuador tiene la forma de un sistema de primer orden con ganancia estática 5, se pide:

1. Justifique el tipo de sistema realimentado sin calcular las Funciones de Transferencia y basándose únicamente en las gráficas.

2. Determine la función de transferencia del controlador, el actuador y la planta. Describa el procedimiento seguido adecuadamente y justifique el tipo de controlador PID usado.

3. Calcule el valor de los coeficientes estáticos de error K_p, K_v y K_a del sistema realimentado.

4. Determine el valor del error en estacionario si $r(t)$ es un escalón de amplitud 10 y $d(t)$ es una perturbación constante de valor -0.1

Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao eman ta zabal zazu Universidad del país vasco Euskal herriko unibertsitatea	**AUTOMÁTICA Y CONTROL** Nombre ____________________ Izena 1ºApellido____________________ 1 Deitura 2º Apellido____________________ 2 Deitura	**Curso: 2015/2016** **18/01/2016** **Tiempo:** 2 h 30 m **Grupo** **Taldea**

EJERCICIO 3 (30 %)

Sea el sistema realimentado de la Figura 3.1, del que se conoce cierta información. Concretamente:

- El Diagrama de Bode de la planta $G_p(s)$, real y asintótico (Figura 3.2).
- El Lugar de las Raíces del sistema realimentado (Figura 3.3).
- El Diagrama de Bode de la función de transferencia en lazo abierto, real y asintótico (Figura 3.4).
- El Diagrama de Bode de la función de transferencia en lazo cerrado, real y asintótico (Figura 3.5).
- Respuesta escalón unitario del sistema en lazo cerrado (Figura 3.6).

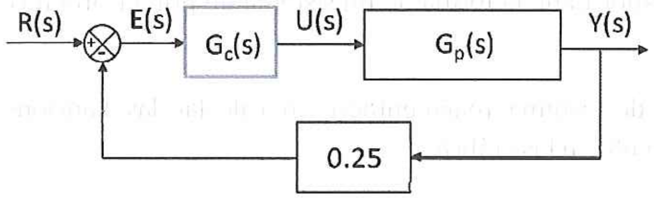


Figura 3.1.- Sistema de control realimentado

Se pide:

1. Identifique, y justifique su obtención, la función de transferencia de la planta $G_p(s)$
2. Identifique, y justifique su obtención, la función de transferencia del controlador $G_c(s)$
3. Analice gráficamente la estabilidad del sistema realimentado en términos de margen de ganancia, MG, y margen de fase, MF. Si el sistema es estable, ¿hasta dónde se podría subir la ganancia antes de que se haga inestable?. Si el sistema es inestable, ¿cómo se podría estabilizar?.

NOTA: Debe razonar adecuadamente la utilización de las gráficas correspondientes para resolver cada apartado.

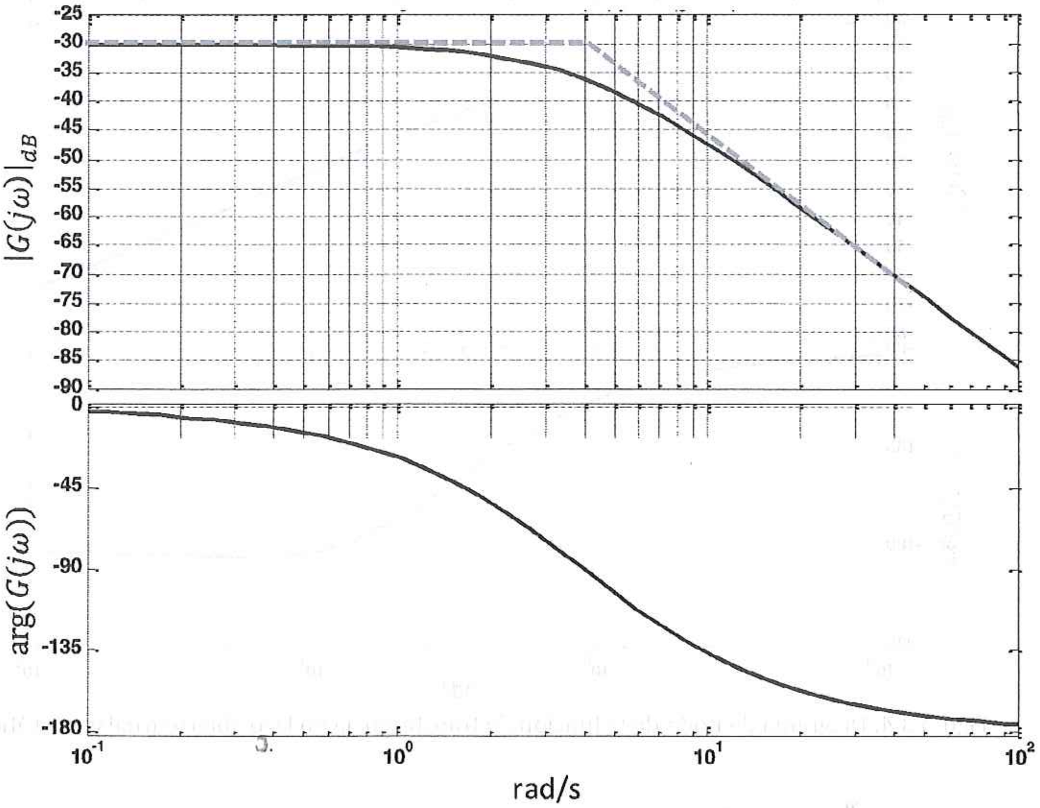


Figura 3.2. Diagrama de Bode de la planta Gp(s) (real y asintótico)

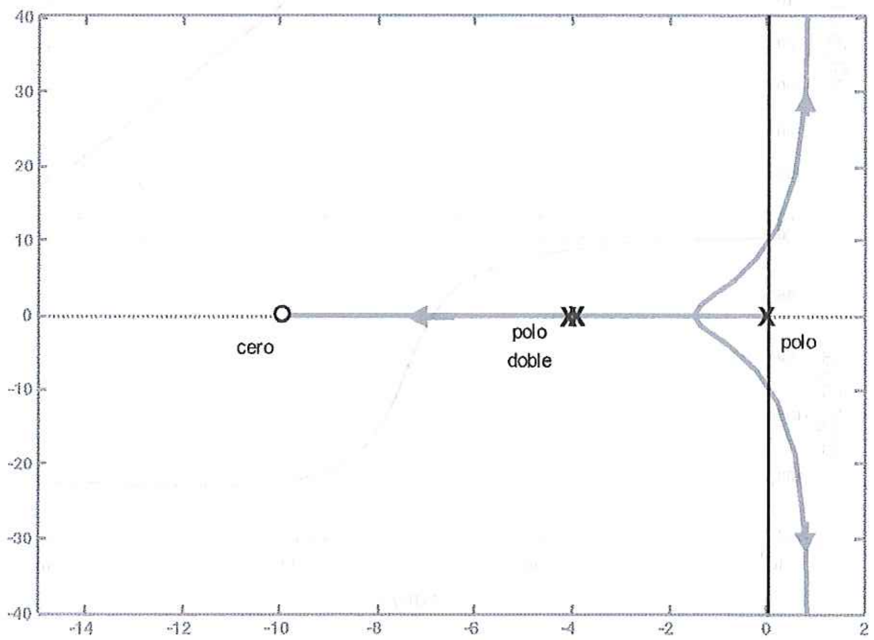


Figura 3.3. Lugar de las Raíces del sistema realimentado

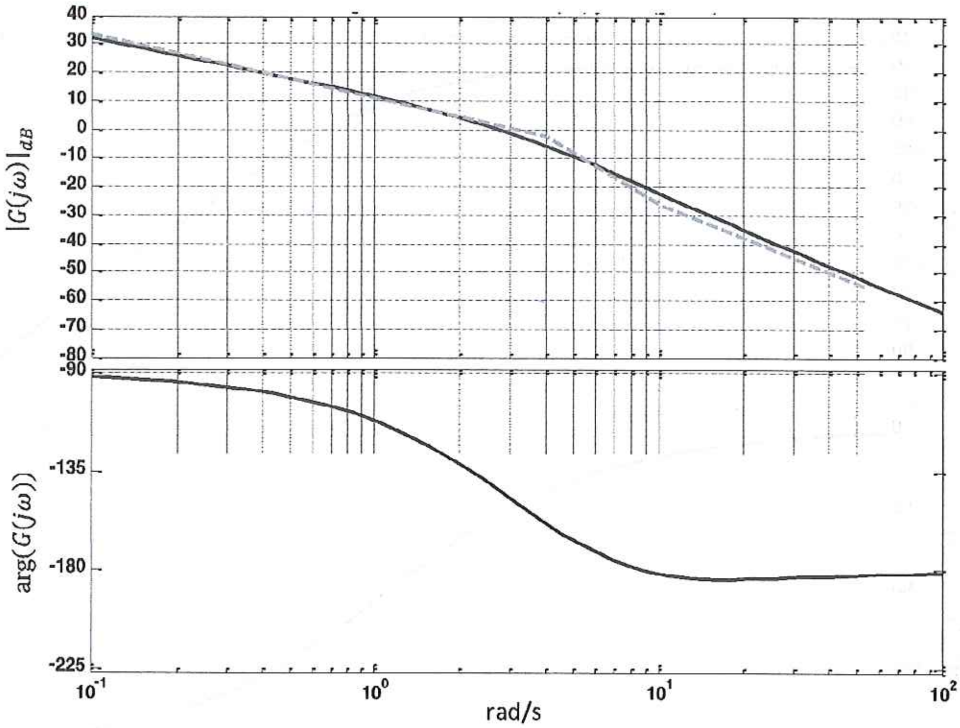


Figura 3.4. Diagrama de Bode de la función de transferencia en lazo abierto (real y asintótico)

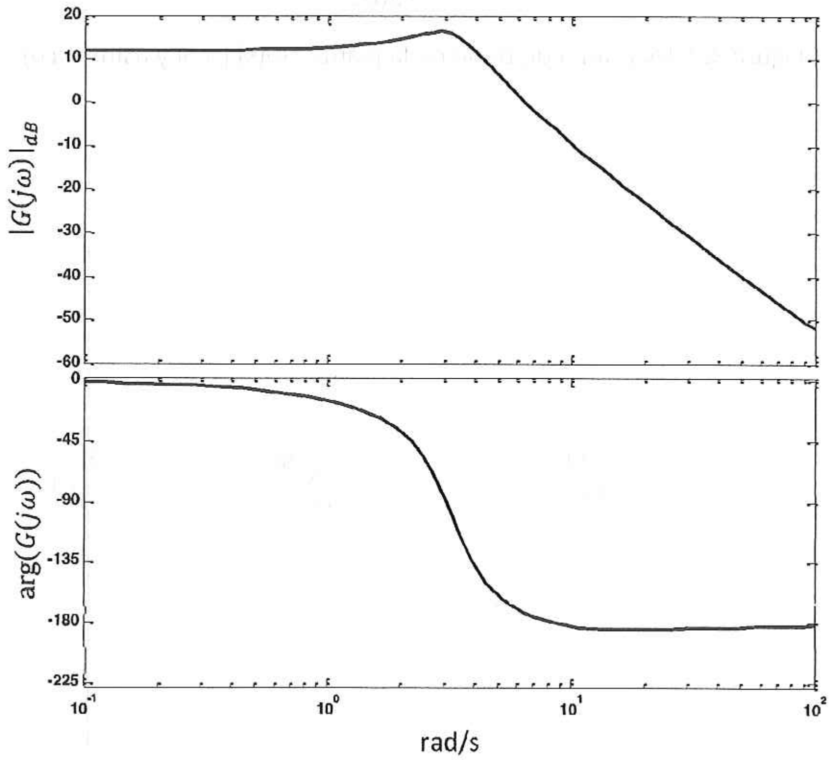


Figura 3.5. Diagrama de Bode de la función de transferencia en lazo cerrado (real y asintótico).

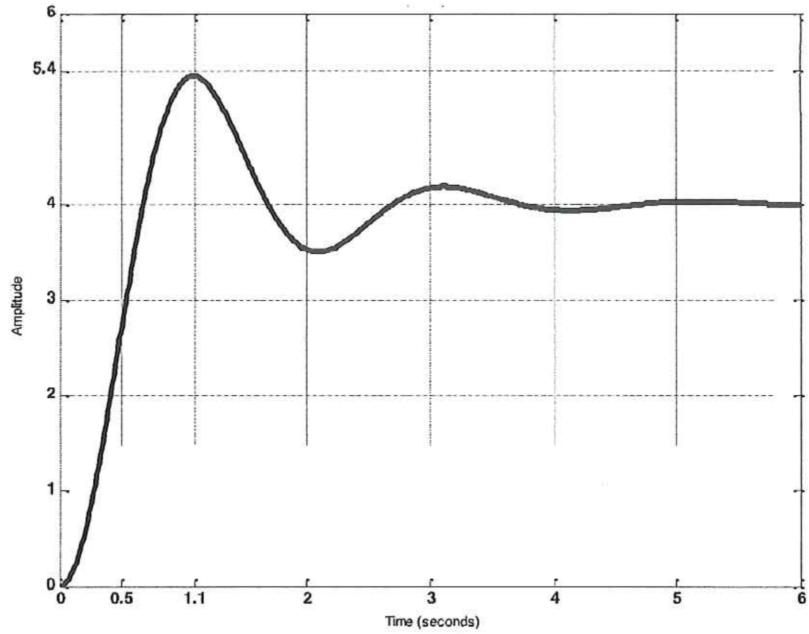


Figura 3.6. Respuesta escalón unitario del sistema en lazo cerrado.

Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa / Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao — eman ta zabal zazu — Universidad del país vasco / Euskal herriko unibertsitatea	**AUTOMÁTICA Y CONTROL**	**Curso: 2014/2015** **17/06/2015**
	Nombre ________ Izena	**Tiempo:** 2 h 30 m
	1ºApellido ________ 1 Deitura	
	2º Apellido ________ 2 Deitura	**Grupo Taldea**

EJERCICIO 1 (40 %)

En la Figura 1.1 se muestra la respuesta en velocidad ω(t) de un motor cuando se aplica una entrada de 1 voltio al bobinado de inducido.

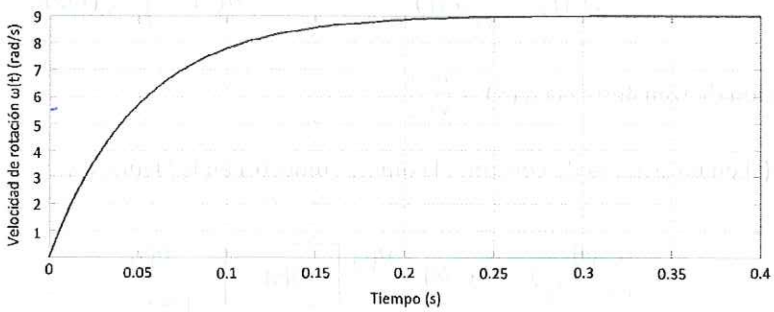


Figura 1.1. Respuesta en velocidad del motor

1. Obtenga la función de transferencia $G_m(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)}$

2. Se introduce el motor en un lazo de realimentación unitario para diseñar un controlador $G_c(s)$ tal como se muestra en la Figura 1.2, con el fin de utilizar el motor en tareas de seguidor de velocidad.

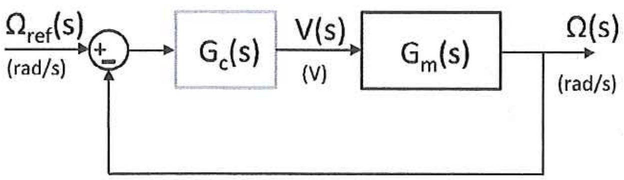


Figura 1.2. Seguidor de velocidad

Diseñe justificadamente un controlador $G_c(s)$ que presente el mismo error en estacionario de la Figura 1.3, y calcule **analíticamente** el tiempo de establecimiento del sistema con el criterio del 2%.

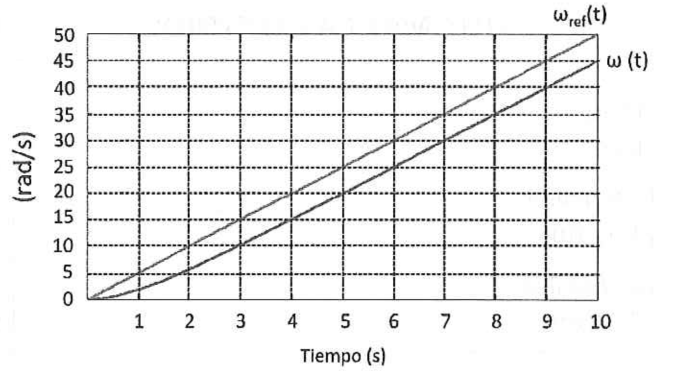


Figura 1.3. Referencia de velocidad $\omega_{ref}(t)$ y respuesta $\omega(t)$

3. El mismo motor se pretende utilizar para configurar un sistema de control de posición, que incluye un engranaje de relación N_1/N_2= 1/10 de forma que:

$$\omega_r(t) = \frac{N_1}{N_2}\omega(t) \qquad\qquad \theta(t) = \int \omega_r(t)dt$$

Obtenga la función de transferencia $G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)}$

4. Se incluye G(s) en un sistema de control tal como se muestra en la Figura 1.4:

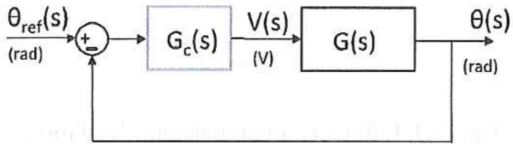


Figura 1.4. Sistema de control de posición

Diseñe justificadamente un controlador $G_c(s)$ capaz de conseguir la respuesta en lazo cerrado mostrada en la figura 1.5, y calcule el error en régimen permanente para una entrada en rampa de pendiente 5.

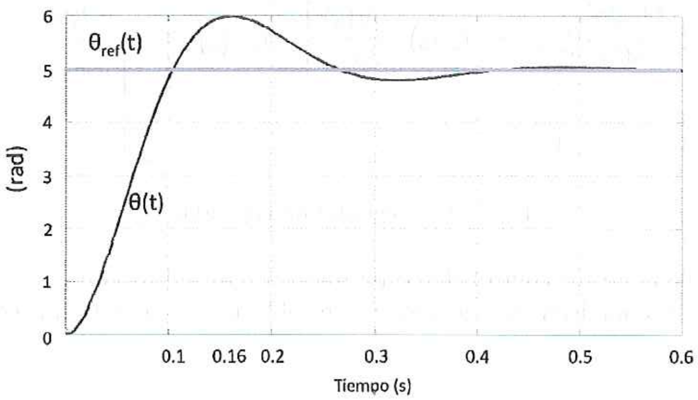


Figura 1.5. Respuesta deseada en lazo cerrado

Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao eman ta zabal zazu Universidad del país vasco Euskal herriko unibertsitatea	**AUTOMÁTICA Y CONTROL** Nombre ____________ Izena 1ºApellido____________ 1 Deitura 2º Apellido____________ 2 Deitura	**Curso: 2014/2015** **17/06/2015** **Tiempo:** 2 h 30 m **Grupo** **Taldea**

EJERCICIO 2 (30 %)

Sea el sistema de control de la figura 2.1, en el que el controlador es de tipo PID, pero no se conoce ni el algoritmo utilizado ni el valor dado a sus parámetros. Se sabe que la ganancia estática de la planta $G_p(s)$ es 0.5 y se dispone de información registrada en algunos experimentos. En la Figura 2.2, se muestra la evolución de las entradas de referencia r(t), y de perturbación d(t), así como la de variable controlada en respuesta a dichas entradas.

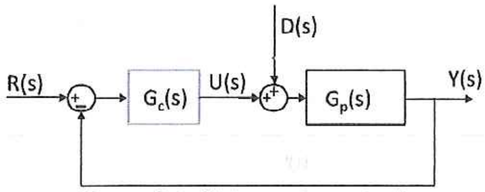


Figura 2.1. Sistema de control

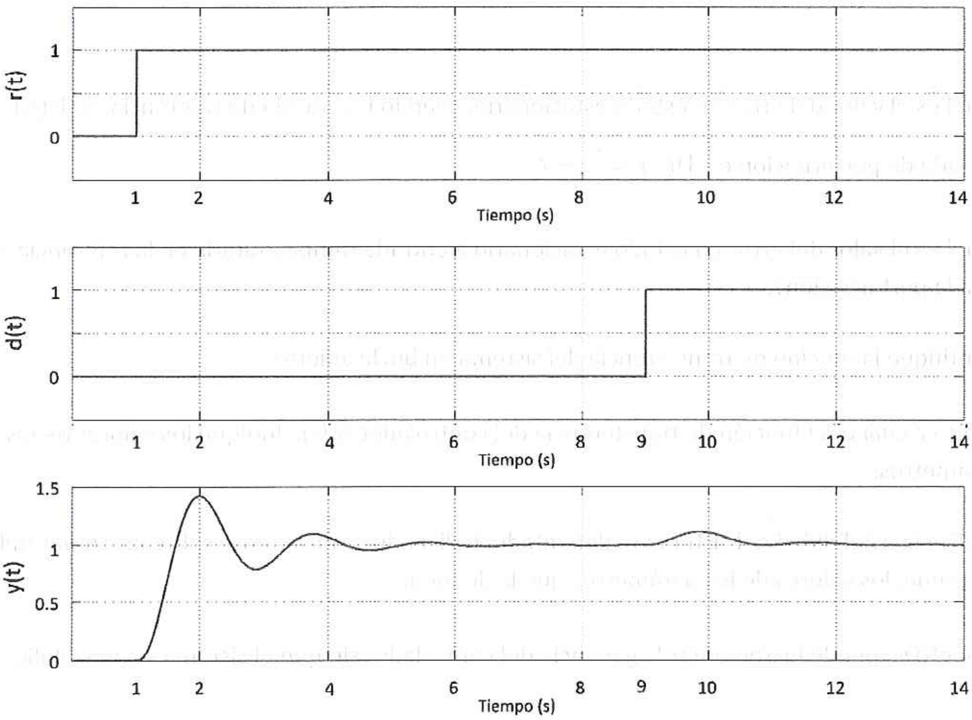


Figura 2.2. Evolución de r(t), d(t) e y(t)

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de Bode del sistema en bucle abierto, incluido el controlador.

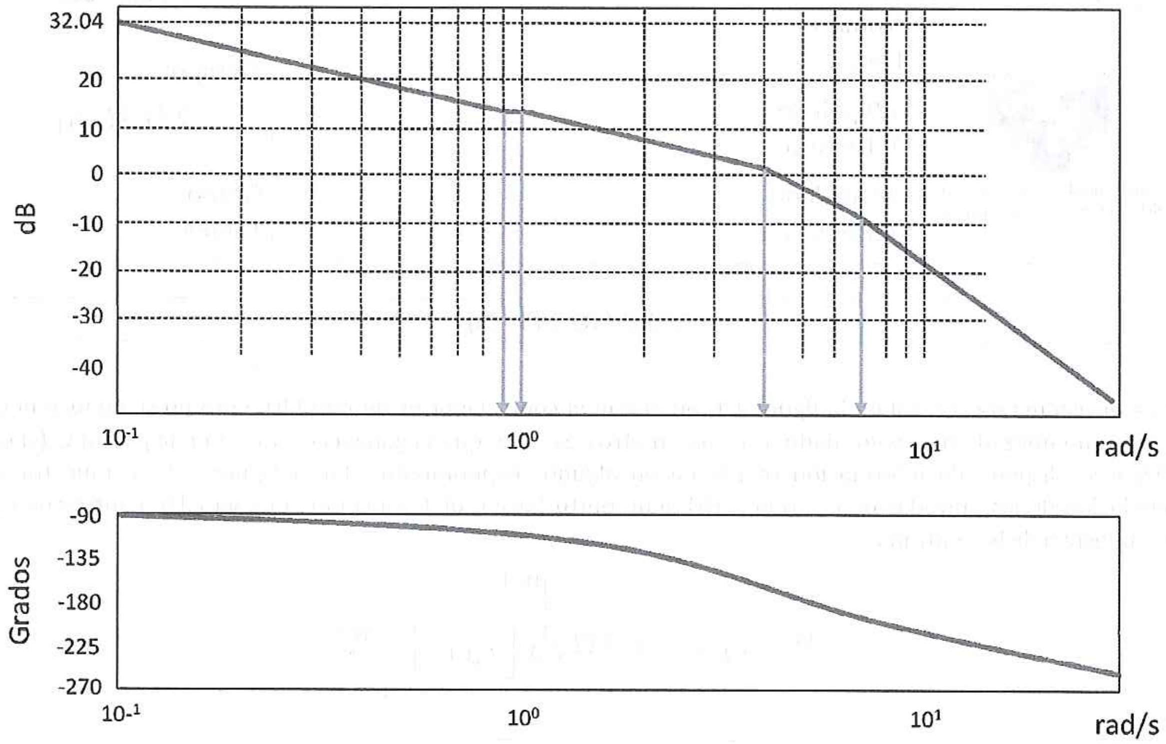


Figura 2.3. Diagrama de Bode en lazo abierto

Se pide:

1. ¿Cuál es el valor del error en estado estacionario, cuando la entrada de referencia es $\mathrm{R}(s) = \frac{1}{s}$ y la entrada de perturbación es $\mathrm{D}(s) = \frac{e^{-9s}}{s}$?.

2. ¿Cuál es el valor del error en estado estacionario a entrada rampa unitaria en la referencia, siendo nula la perturbación?.

3. Identifique la función de transferencia del sistema en bucle abierto.

4. Deduzca cuál es la función de transferencia del controlador $G_c(s)$. Indique los valores de los parámetros.

5. Analice la estabilidad del sistema realimentado, indicando gráficamente sobre las curvas del diagrama, los valores de los parámetros que la definen.

6. ¿Cuánto se puede incrementar la ganancia del controlador sin que el sistema se inestabilice?.

Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao	**AUTOMÁTICA Y CONTROL**	**Curso: 2014/2015** **17/06/2015**
eman ta zabal zazu Universidad del país vasco Euskal herriko unibertsitatea	Nombre ____ Izena 1ºApellido ____ 1 Deitura 2º Apellido ____ 2 Deitura	**Tiempo:** 2 h 30 m **Grupo** **Taldea**

EJERCICIO 3 (30%)

En la figura 3.1 se muestra el sistema de control correspondiente a una planta $G_p(s)$ con ganancia de valor absoluto 1 y en la figura 3.2 se muestra el Lugar de las Raíces del sistema realimentado.

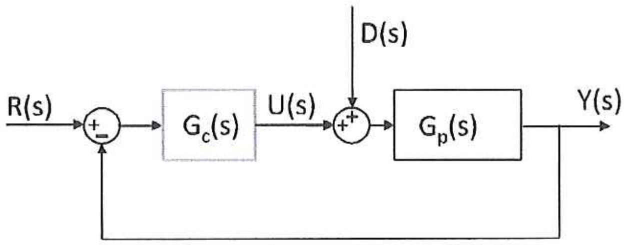


Figura 3.1. Sistema de control

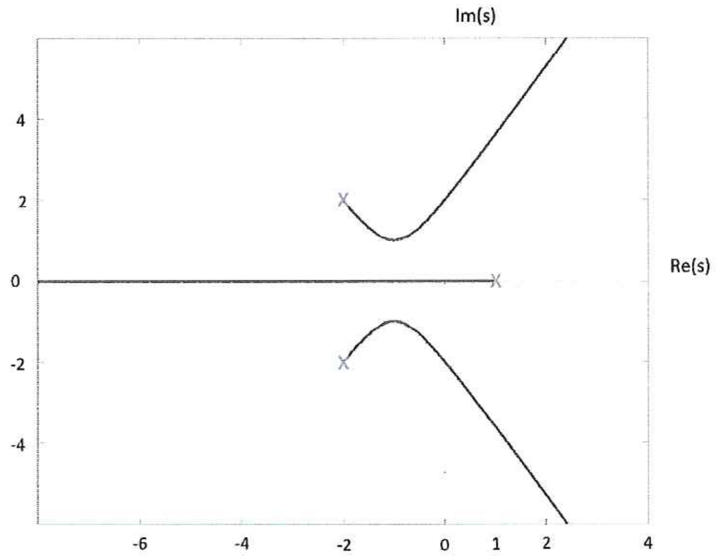


Figura 3.2. Lugar de las raíces

1. Identifique la planta $G_p(s)$.

2. Justifique cuál es el rango de valores de K_c que garantiza la estabilidad del sistema en lazo cerrado.

3. Justifique **dibujando el Lugar de las Raíces** resultante, cual sería el controlador tipo PID más sencillo que aumente el rango de estabilidad.

• Examen 17/06/2015

1

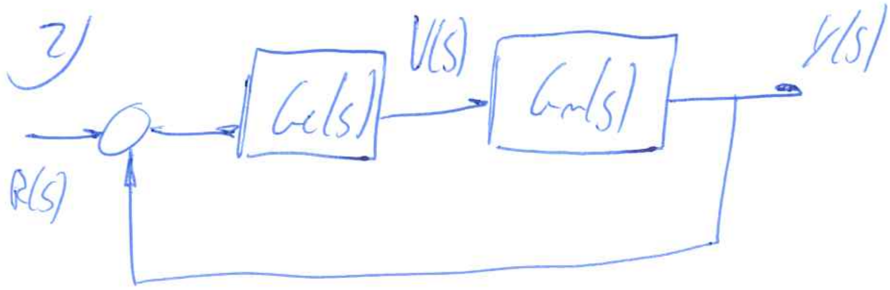
1) $u(t)=y(t) \rightarrow G_m(s)=\frac{k}{\tau s+1}$

$\tau \rightarrow y(0'63k)=5'67 \rightarrow \tau=0'05$

$k=\frac{\Delta y}{\Delta u}=\frac{9}{1}=9$

$\boxed{G_m(s)=\frac{9}{0'05s+1}} = \frac{Y(s)}{V(s)}$

2)



$t_s(2\%)$?

$G_c(s)$?

Gc(s) para que tengamos error a rampa que nos dan.

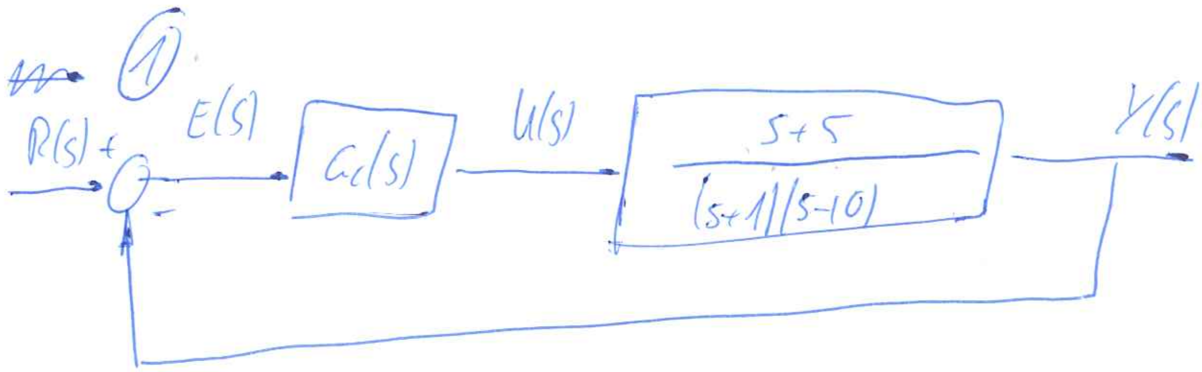
$r(t)=5t \rightarrow e_{ss}=\frac{5}{k_v}=5 \rightarrow \boxed{k_v=1}$

$G_{BA}(s)=G_c(s)\cdot G_m(s)=G_c(s)\cdot\left(\frac{9}{0'05s+1}\right) \rightarrow$

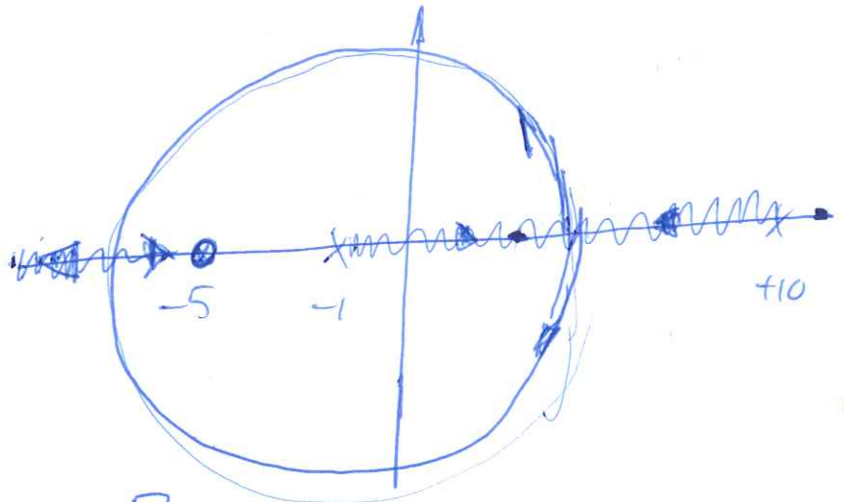
$k_v=\lim_{s\to 0} s\left(G_c(s)\cdot\frac{9}{0'05s+1}\right)=1 \rightarrow$

$G_c(s)=\frac{\cancel{1}\,k}{s}$ $\quad \boxed{G_c(s)=\frac{1}{9s}}=\boxed{\frac{0'111}{s}}$

• Examen 18/01/2016



1) Lugar de las raíces del realimentado y justifique valores de kc para que sea estable.



Calculamos las asíntotas y el centroide

n ceros = 2

n - m = 1 asíntota

$$\sigma = \frac{5-1+10}{1} =$$

$$\theta = \frac{\pi}{1} = \pi$$

Como podemos ver será un sistema inestable hasta que kc aumente lo suficiente como para que los polos complejos conjugados

Usaremos el criterio de Routh-Hurwitz: calculamos la ecuación característica en lazo cerrado

$$EC = 1 + k_c \cdot \frac{(s+5)}{(s+1)(s-10)} = 0 \rightarrow$$

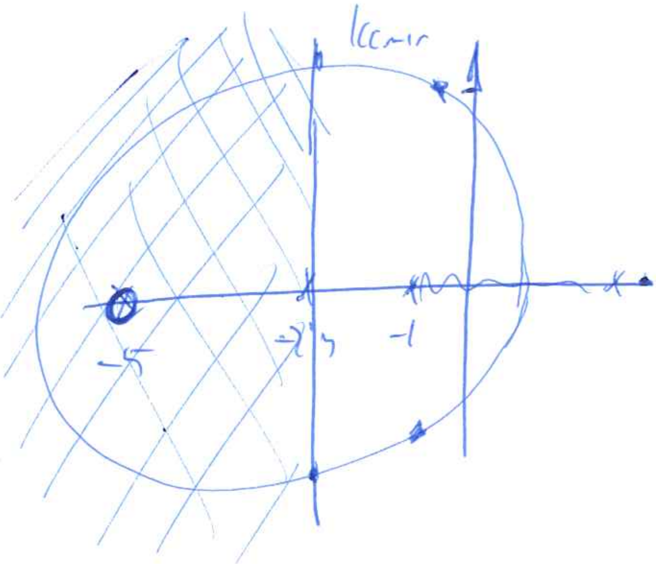
$$\rightarrow (s+1)(s-10) + k_c(s+5) = 0 \rightarrow s^2 - 9s - 10 + sk_c + 5k_c = 0$$

$$\rightarrow s^2 + s(k_c - 9) + (5k_c - 10) = 0$$

Para que estén en el semiplano negativo la parte real de los polos debe ser negativa

$$\frac{-(k_c - 9) \pm \cdots}{2} = 0 \rightarrow -k_c + 9 = 0 \rightarrow \boxed{k_c > 9}$$

2) $t_s(2\%) \leq 2s \rightarrow t_s(2\%) = \frac{4}{\xi \omega_n} = 1'6 \rightarrow \boxed{\xi \omega_n > 2'5}$



Hay que aumentar más el valor de k_c hasta que

$$-k_c + 9 = -2'5 \rightarrow \boxed{k_c = 11'5}$$

3) $M_p \le 15\%$

Comprobar si cumple esta especificación y de no ser así, dibujar el controlador más sencillo posible.

$M_p = 15 = 100\, e^{-\frac{\pi\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}} \rightarrow \boxed{\delta < 0'653}$

Calculamos el δ del apartado anterior

$s^2 + s(k_c - 9) + (5k_c - 10) = 0$ $\qquad w_n = 0'7657(k_c - 9)$

$2\delta w_n = k_c - 9 \rightarrow 2\cdot 0'653\, w_n = k_c - 9 \rightarrow \cancel{k_c = 1'306 w_n + 9}$

$\cancel{w_n^2 = (5k_c - 10)^2 \rightarrow w_n^2 = (5(1'306 w_n + 9) - 10)^2 =}$

$\cancel{\Rightarrow w_n^2 = (6'53 w_n + 35)^2 \rightarrow w_n^2 = 42'64 w_n^2 + 1225 + 457'1 w_n}$

$\cancel{\rightarrow 41'64 w_n^2 + 457'1 w_n + 1225 = w_n^2 + 10'98 w_n + 29'419 = 0}$

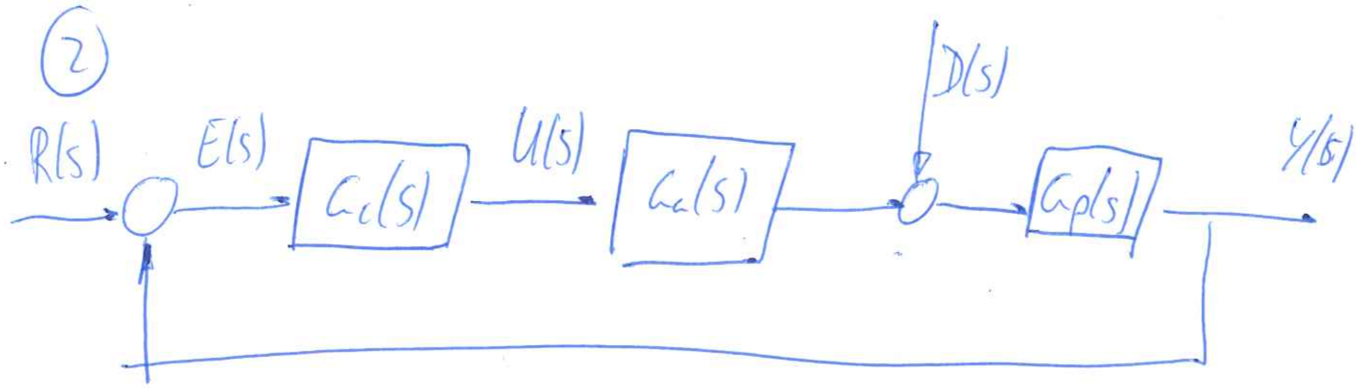
$\cancel{\frac{-10'98 \pm \sqrt{120'56 - 117'676}}{2} = -5'49 \pm 0'85} \quad \cancel{w_1 = -4'}$

$w_n^2 = 0'5863(k_c - 9)^2 = 5k_c - 10 \rightarrow$

$\rightarrow 0'5863 k_c^2 + 47'49 - 18k_c = 5k_c - 10 \rightarrow 0'5863 k_c^2 - 13k_c + 57'49 = 0$

$\rightarrow \frac{13 \pm \sqrt{169 - 134'82}}{1'1726} = \frac{13 \pm 5'84}{1'1726} = \boxed{16'067}$, $\cancel{6'1}$ No tiene sentido ya que es inestable para este valor

(2)



Primero obtenemos la funcion de transferencia $G_c(s)G_a(s)$

• A bajas frecuencias no hay pendiente por lo que no hay polos ni ceros en el origen. Calculamos la ganancia

$28 = 20\log(k) \rightarrow \boxed{k = 25'19}$

~~• A medias frecuencias hay dos polos o ceros, por tanto sabemos~~

• A medias frecuencias hay dos cambios de pendiente por tanto sabemos que hay dos polos o ceros

ω	Pdte aport	Pdte total	Polo/cero
1	+20dB/dec	+20dB/dec	$(s+1)$
10	−20dB/dec	0dB/dec	$\frac{1}{(0'1s+1)}$

Comprobamos con arg $n-m = 0 \cdot (-90) = 0 \rightarrow$ Correcto

⑦ Enero 2016

$$\boxed{G_c(s)\cdot G_a(s) = \frac{25'19(s+1)}{(0'1s+1)}}$$

$$G(s) = \frac{247'47}{s^2+9'73s+247'47} = G_{BC}^{(R)}(s)$$

1) No tiene error a entrada escalon de referencia, por tanto sistema de tipo 1.

2) $G_c(s)$, $G_a(s)$, $G_p(s)$

$$G_{BC}^{R}(s) = \frac{G_c(s)\,G_a(s)\,G_p(s)}{1+G_p(s)\,G_a(s)\,G_c(s)} = \frac{\frac{25'19(s+1)}{(0'1s+1)}\cdot G_p(s)}{1+\frac{25'19(s+1)}{(0'1s+1)}G_p(s)} =$$

$$= \frac{25'19(s+1)\,G_p(s)}{(0'1s+1)+25'19(s+1)\,G_p(s)} = $$

lo igualamos al obtenido por respuesta

$$\frac{247'47}{s^2+9'73s+247'47} = \frac{25'19(s+1)\,G_p(s)}{(0'1s+1)+25'19(s+1)\,G_p(s)} \rightarrow$$

$$\rightarrow G_p(s) = \frac{247'47\left[(0'1s+1)+25'19(s+1)\,G_p(s)\right]}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))} \rightarrow$$

$$\rightarrow G_p(s) = \frac{247'47\cdot(0'1s+1)}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))} + \frac{25'19(s+1)}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))}$$

$$\rightarrow G_p(s)\left[1 - \frac{25'19(s+1)}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))}\right] = \frac{247'47(s0'1+1)}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))}$$

$$\rightarrow G_p(s) = \frac{\dfrac{247'47(0'1s+1)}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))}}{1 - \dfrac{\cancel{25'19(s+1)}}{(s^2+9'73s+247'47)\cancel{(25'19(s+1))}}} =$$

* No se cancela

Corregido

$$G_p(s) = \frac{247'47(0'1s+1)}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1)) - 25'19(s+1)} =$$

$$\boxed{G_p(s) = \frac{247'47(0'1s+1)}{(s^2+9'73s+246'47)(25'19(s+1))}}$$

3) Coeficientes estáticos de error del sistema realimentado

Para esto tenemos que usar la función de transferencia en bucle abierto.

$$G_{BA}(S) = G_c(S) G_a(S) \cdot G_p(S) = \frac{\cancel{25'19(s+1)}}{\cancel{(0'1s+1)}} \cdot \frac{\cancel{247'47(0'1s+1)}\ 247'47}{(s^2+9'73s+246'47)\cancel{(25'19(s+1))}}$$

$$G_{BA}(S) = \frac{247'47}{s^2+9'73s+246'47}$$ → Coeficientes estáticos de error.

$$\boxed{k_p} = \lim_{s\to 0}\left(\frac{247'47}{s^2+9'73s+246'47}\right) = \boxed{1'004} \rightarrow ep = \frac{1}{1+k_p} = \boxed{0'49850}$$

$$\boxed{k_v} = \lim_{s\to 0} s \cdot G(S)H(S) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{247'47}{s^2+9'73s+246'47}\right) = \boxed{0}$$

$\boxed{ev = \infty}$ → Es de tipo 0 y sabemos que $\boxed{k_a = 0}$

$\cancel{\dots(s+1)}$

$$\boxed{G_c(s)\cdot G_a(s) = \frac{25'19(s+1)}{(0'1s+1)}}$$

$y(t) \rightarrow M_p = \frac{1'36-1}{1} = 0'36 = e^{-\frac{\pi\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}} \rightarrow \boxed{\delta = 0'30926}$

$t_p = \frac{\pi}{w_n\sqrt{1-\delta^2}} = 0'21 \rightarrow \boxed{w_n = 15'73}$

$$G(s) = \frac{k w_n^2}{s^2+2\delta w_n s + w_n^2} = \frac{247'47}{s^2+9'73s+247'47} = G_{BC}^{R}(s)$$

1) No tiene error ~~...~~ a entrada escalon en la referencia, por tanto es un sistema de tipo 1

2) A entrada R(s)

$$G_{BC}(s) = \frac{G_c(s)G_a(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_a(s)G_p(s)} \Rightarrow$$

$\cancel{\frac{247'47}{s^2+9'73s}}$

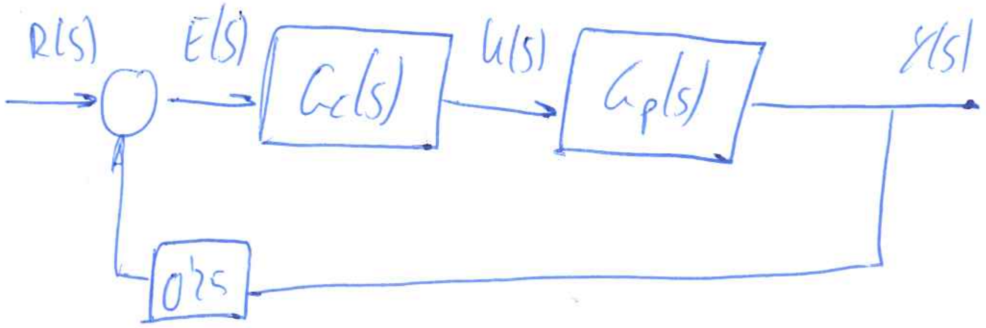
$$\frac{\frac{25'19(s+1)}{0'1s+1}G_p(s)}{1+\frac{25'19(s+1)}{0'1s+1}G_p(s)} = \frac{25'19(s+1)\,G_p(s)}{(0'1s+1)+25'19(s+1)G_p(s)} = \frac{247'47}{s^2+9'73s+247'47}$$

De aqui despejamos $G_p(s)$

$$\rightarrow \cancel{}\, G_p(s) = \frac{247'47\,[(0'1s+1)+25'19(s+1)G_p(s)]}{(s^2+9'73s+247'47)(25'19(s+1))}$$

$\rightarrow G_p(s)$

③



Primero calculamos $G_p(s)$

· A bajas frecuencias no hay pendiente, por tanto... no hay polos ni ceros en el origen. Calculamos la ganancia

$30 = 20\log(K) \rightarrow \boxed{K = 31'627}$

· A medias frecuencias hay un cambio de pendiente por (-) lo que habrá un polo

w	Pdte aport	Pdte total	Polo
4 rad/s	-40 dB/dec	-40 dB/dec	$\frac{1}{(0'25s+1)^2}$

Comprobamos en argumentos que sea correcto.

$w \to \infty \quad n-m = 2\cdot(-90) = -180 \rightarrow$ Correcto

$$\boxed{G_p(s) = \frac{31'627}{(0'25s+1)^2}}$$

Usamos la respuesta escalon unitario del sistema en lazo cerrado, obtenemos la funcion de transferencia en BC, y conocida esta y $G_p(s)$, obtendremos $G_c(s)$

$$\boxed{G_{BC}(s)} = \frac{K w_n^2}{s^2+2\delta w_n s + w_n^2} = \boxed{\frac{12'428}{s^2+2'45s+9'65}}$$

$$M_p = \frac{5'4-4}{4} = 0'26 = e^{-\frac{\pi\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}} \rightarrow \boxed{\delta = 0'394}$$

$$t_p = 1'1 = \frac{\pi}{w_n\sqrt{1-\delta^2}} \rightarrow \boxed{w_n = 3'107}$$

$$\boxed{K} = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \boxed{4}$$

Con esto calculamos $G_c(s)$

$$G_{BC}(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_p(s)\cdot 0'25} = \frac{G_c(s)\cdot\frac{31'627}{(0'25s+1)^2}}{1+G_c(s)\cdot\frac{31'627}{(0'25s+1)^2}\cdot 0'25} =$$

$$G_{BC}(s) = \frac{G_c(s)\cdot 31'627}{(0'25s+1)^2+7'90675G_c(s)} = \frac{12'428}{s^2+2'5s+9'65} \rightarrow$$

$$\rightarrow G_c(s)\cdot 31'627 = \frac{12'48\left[(0'25s+1)^2+7'90675G_c(s)\right]}{s^2+2'5s+9'65}$$

Función de Transferencia en lazo abierto

$G_{BA}(s) = G_c(s) \cdot G_p(s) \cdot 0'25$

· En bajas frecuencias la pendiente es de -20 dB/dec, por lo que sabemos que hay un polo simple en el origen.

Calculamos la ganancia $\rightarrow 11 = 20\log(k) \rightarrow \boxed{k \simeq 3'55}$

· En medias frecuencias hay dos cambios de pendiente, por lo que habrá dos polos/ceros

w	Pdte aport	Pdte tot	Polos/ceros
4 rad/s	-40 dB/dec	-60 dB/dec	$\frac{1}{(0'25s+1)^2}$
10 rad/s	$+20$ dB/dec	-40 dB/dec	$(0'1s+1)$

$$\boxed{G_{BA}(s) = \frac{3'55(0'1s+1)}{(0'25s+1)^2}}$$

$$\frac{3'55(0'1s+1)}{(0'25s+1)^2} = G_c(s) \cdot \frac{7'9067}{(0'25s+1)^2} \rightarrow \boxed{G_c(s) = 0'449(0'1s+1)}$$

Tiene un cero es un PD

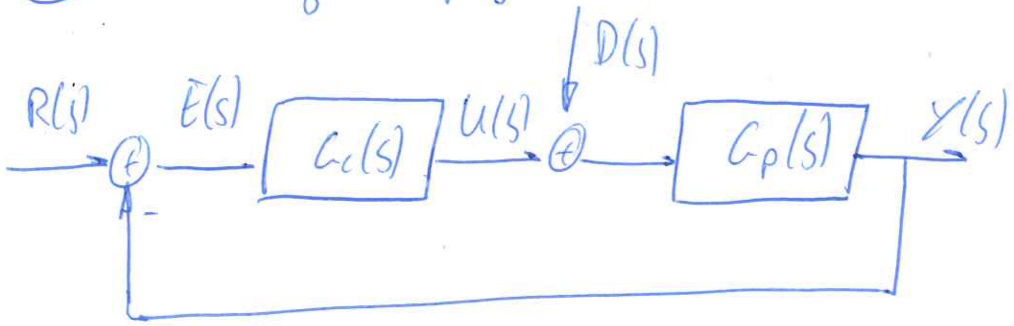
3) El margen de fase y el margen de ganancia se obtienen del diagrama de Bode en bucle abierto

$MG \simeq \infty$ | Ambos son ≥ 0, por tanto son estables
$MF \simeq 180°$ |

Podemos aumentar el valor de k, lo cual desplaza el diagrama de módulos hacia arriba, y en este caso va aumentando el valor de w_g haciendo que el MF se haga 0, momento en el que el sistema se vuelve críticamente estable

En este caso MF nunca llegará a 0, por lo que el límite es la saturación de k

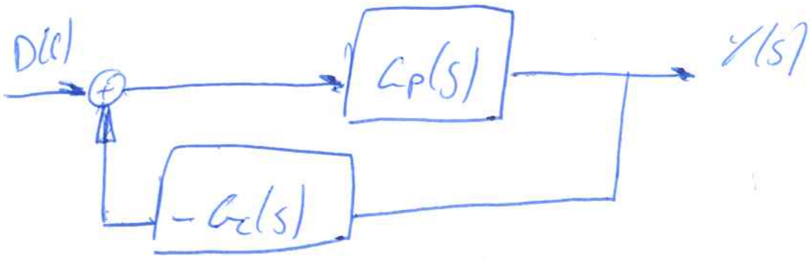
(18) Fichas ejerc pag 8



Calculamos la respuesta ~~[illegible]~~ como suma de la debida a la referencia y como debida a la perturbación.

$\boxed{R(s)} \longrightarrow G_R(s) = \dfrac{G_c(s)\cdot G_p(s)}{1+G_c(s)\cdot G_p(s)\cdot 1}$

$\boxed{D(s)} \longrightarrow$ ~~[illegible]~~



$$G_D(s) = \frac{G_p(s)}{1+G_p(s)\cdot G_c(s)}$$

$$Y(s) = G_R(s)\cdot R(s) + G_D(s)\cdot D(s)$$

Calculamos la función de transferencia de la respuesta sin perturbación

$$M_p = \frac{B}{A} = \frac{0'25}{1} = 0'25 \to 0'25 = e^{-\frac{\pi\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}} \to \boxed{\delta = 0'4037}$$

$$t_p = 3'5 = \frac{\pi}{w_n \cdot \sqrt{1-\delta^2}} \rightarrow \boxed{w_n = 0'98109}$$

$$\boxed{K} = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{1}{1} = \boxed{1} \qquad G_R(s) = \frac{1 \cdot w_n^2}{s^2 + 2\delta w_n s + w_n^2}$$

$$\boxed{G_R(s) = \frac{0'9625}{s^2 + 0'7925 + 0'9625}}$$

→ Funcion de transferenc si no hubiera perturbacion

Calculamos ahora E(s)

$$M_p = \frac{B}{A} = \frac{-0'38-(-0'1)}{-0'1-1} = \frac{-0'28}{-1'1} = 0'2545$$

$$\boxed{E(s) = \frac{K_E \cdot 1'016064}{s^2 + 0'8064s + 1'016064}}$$

$$0'2545 = e^{-\frac{\pi\delta}{\sqrt{1-\delta^2}}} \rightarrow \boxed{\delta = 0'4}$$

$$t_p = 3'4 = \frac{\pi}{w_n\sqrt{1-\delta^2}} \rightarrow \boxed{w_n = 1'008}$$

$K =$

$$E(s) = R(s) - Y(s)\underbrace{H(s)}_{1} = R(s) - [\,G_p(s) \cdot (D(s)) + \underbrace{U(s)}_{E(s) \cdot G_c(s)}\,)] \rightarrow$$

$$\rightarrow E(s) = R(s) - G_p(s) \cdot D(s) - G_p(s) G_c(s) E(s)$$

$$\rightarrow E(s)[1 + G_p(s) G_c(s)] = R(s) - G_p(s) D(s) \rightarrow$$

$$\boxed{E(s) = \frac{1}{1+G_p(s)G_c(s)} R(s) - \frac{G_p(s)}{1+G_p(s)G_c(s)} D(s)}$$

Calculamos la función de transferencia de $U(s)$

$$M_p = \frac{-3'8 - (-1)}{-11 - 10} = \frac{-2'8}{-11} = 0'2545 \rightarrow \boxed{\delta = 0'4}$$

$$t_p = 3'4 = \frac{\pi}{w_n \sqrt{1-\delta^2}} \rightarrow \boxed{w_n = 1'008}$$

$$\boxed{U(s) = \frac{k_u \cdot 1'016064}{s^2 + 0'8064s + 1'016064}}$$

Sabemos además que

$$U(s) = E(s) \cdot G_c(s)$$

$$\rightarrow \boxed{G_c(s) = k_c = 10}$$

Solo nos falta $G_p(s)$. Vamos a la expresión del error.

$$E(s) = \frac{1'016064}{s^2 + 0'8064s + 1'016064} = \frac{1}{1 + 10 \cdot G_p(s)} \cdot \frac{1}{s} - \frac{G_p(s)}{1 + 10G_p(s)} \frac{1}{s}$$

$$\rightarrow \frac{1'016064}{s^2 + 0'8064s + 1'016064} = \frac{1 - G_p(s)}{s(1 + 10G_p(s))} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{1 - \frac{1'016064s}{s^2 + 0'8064s + 1'016064}}{\frac{10 \cdot 1'016064s}{s^2 + 0'8064s + 1'016064}} = G_p(s) \rightarrow$$