

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

- 1) Diseñar mediante Matlab una red de adelanto de forma que el sistema compensado verifique unas especificaciones dadas para el error estacionario y el margen de fase. La función de transferencia de la planta depende del valor elegido para las resistencias R_{1_1} , R_{2_1} , R_{1_2} y R_{2_2} y los condensadores C_1 y C_2 . Al inicio de cada sesión de prácticas se indicará a los alumnos tanto las especificaciones para el error estacionario y el margen de fase como los valores de las resistencias elegidas para la planta.

$$G_P(s) = \frac{R_{2_1}R_{2_2}}{R_{1_1}R_{1_2}} * \frac{1}{(R_{2_1}C_1s + 1)(R_{2_2}C_2s + 1)}$$

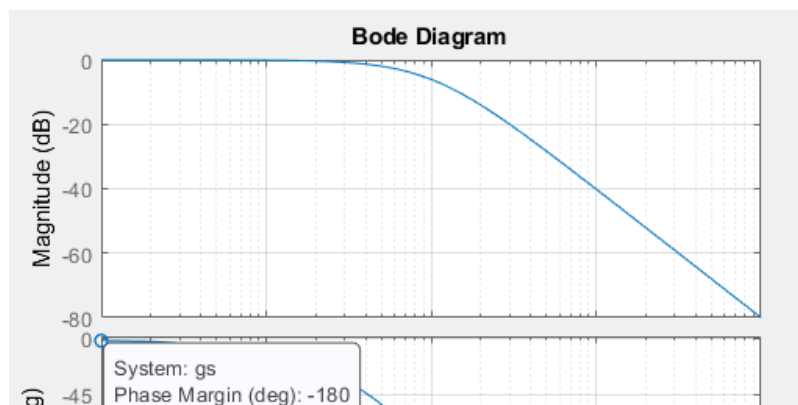
$$\begin{cases} R_{1_1} = R_{1_2} = R_{2_1} = R_{2_2} = 1M\Omega \\ C_1 = C_2 = 1\mu F \end{cases}$$

$$\text{Especificaciones proporcionadas} \begin{cases} ess = 10\% \\ MF = 60^\circ \\ T_s = 0.01 s \end{cases}$$

Empezamos obteniendo la función de transferencia de la planta sustituyendo los valores de las resistencias y de los condensadores:

$$\begin{aligned} G_P(s) &= \frac{1M\Omega * 1M\Omega}{1M\Omega * 1M\Omega} * \frac{1}{(1M\Omega * 1\mu F * s + 1)(1M\Omega * 1\mu F * s + 1)} = \\ &= 1 * \frac{1}{(s + 1)(s + 1)} = \frac{1}{s^2 + 2s + 1} \end{aligned}$$

Una vez obtenida la función de transferencia de la planta, procedemos a observar el diagrama de Bode y la respuesta a la entrada escalón para comprobar el error en el estacionario (ess) y el valor de MF.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

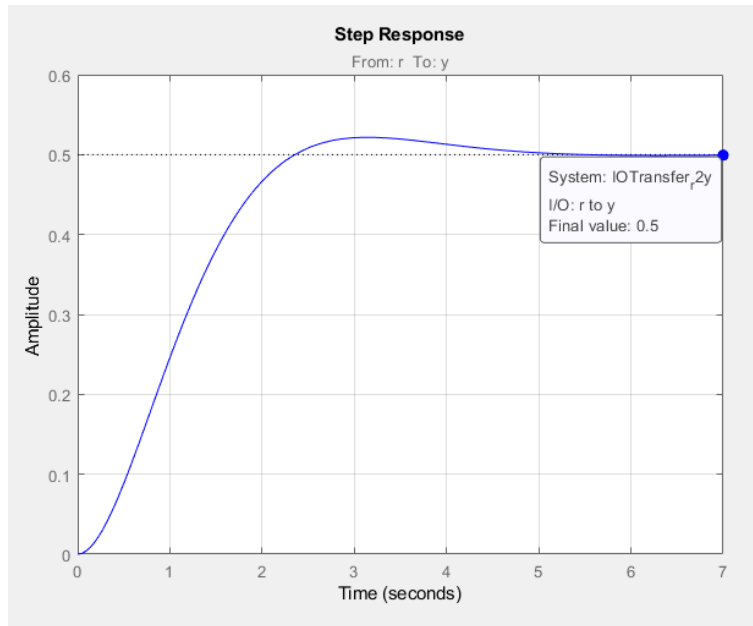


Figura 2: Respuesta a la entrada escalón de $G_p(s)$. $ess = 0.5$

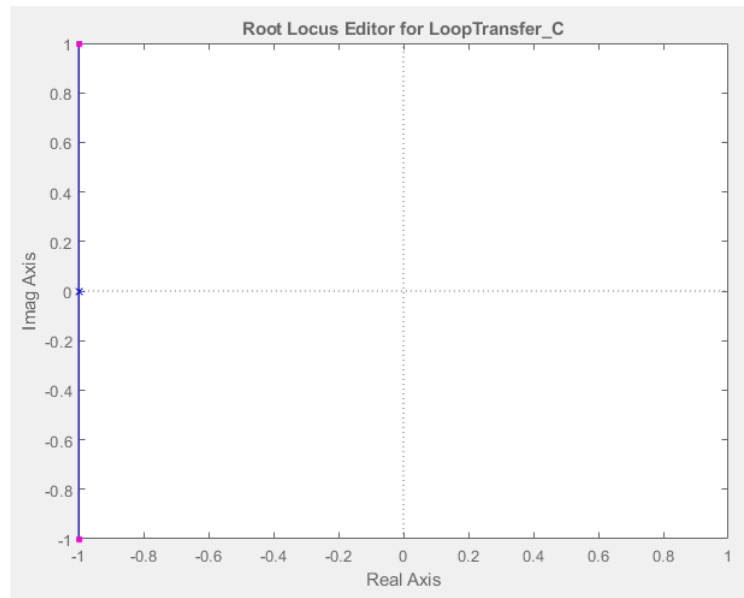


Figura 3: Posición de los ceros y polos ante la entrada escalón de $G_p(s)$.

Observamos que el error en el estacionario (ess) es igual a 0.5 y $MF = -180$.

Para obtener las especificaciones proporcionadas, primero comenzamos obteniendo el valor de error en el estacionario igual al 10%.

Para obtener el error pedido, debemos aplicar una ganancia a la planta de tal modo que $ess = 0.1$, y realizaremos los siguientes cálculos:

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

Hemos obtenido una ganancia igual a 9, y procedemos a observar si cumple el error en el estacionario y que ha ocurrido con MF aplicando dicha ganancia.

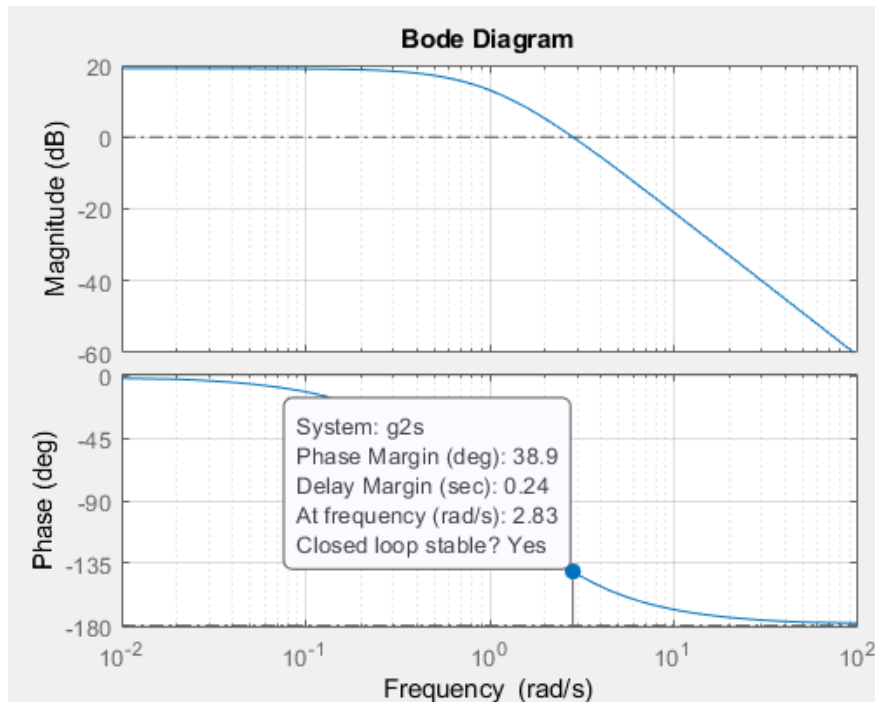
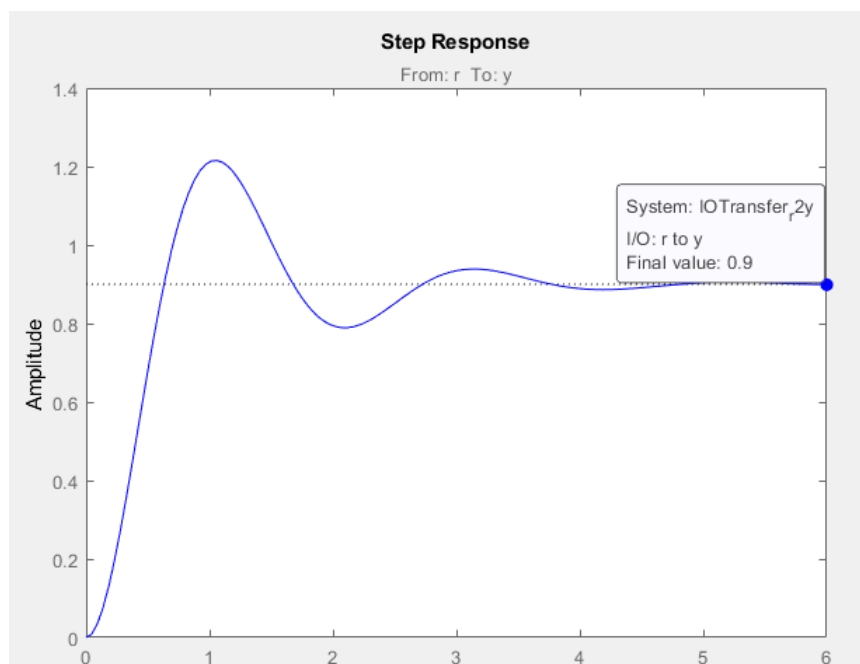


Figura 4: Diagrama de Bode de $G_p(s)$ con $K = 9$. MF = 38.9°



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

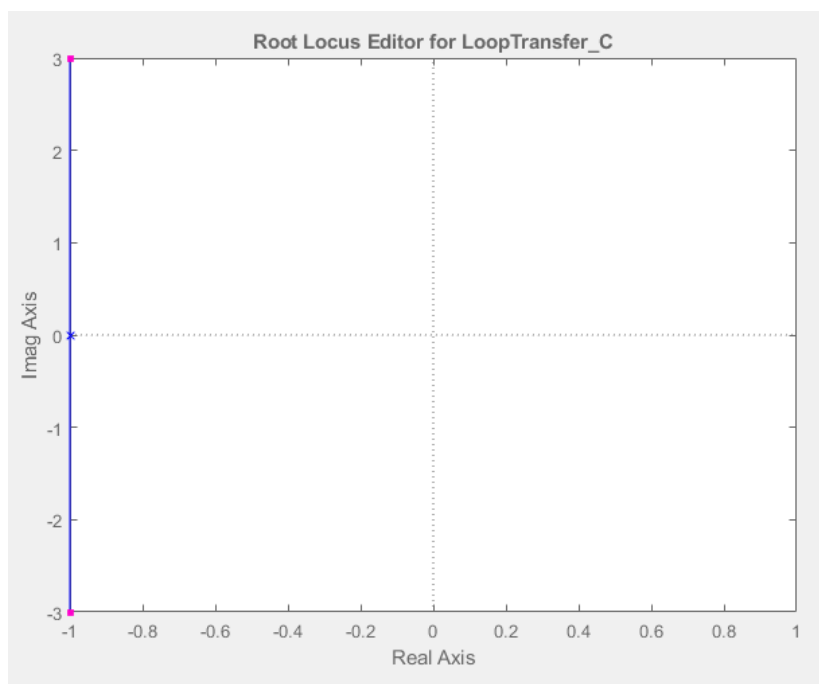


Figura 6: Posición de los ceros y polos ante la entrada escalón de $G_p(s)$ con $K = 9$.

Se comprueba que el error en el estacionario es igual a 10% cumpliendo el requisito proporcionado en el enunciado.

Por otro lado, se puede observar que también se ha modificado el valor MF pasando de valer -180° a 38.9° . El siguiente paso es realizar los cálculos para obtener el valor de $MF = 60^\circ$.

Empezamos calculando cuanto hay que aumentar MF. En principio hay que aumentarla aproximadamente 21° ($60^\circ - 38.9^\circ$), pero hay que tener en cuenta que al añadir un compensador de adelanto, también se modifica la curva de las magnitudes desplazándose a la derecha, y para compensar dicho desplazamiento, simplemente aumentamos la diferencia calculada.

Decidí aumentar unos 10° de mas, realizando los cálculos con 31° en vez de 21° ($60^\circ - 38.9^\circ$).

$$DMF = \frac{31\pi}{180}$$

$$a = \frac{1 + \sin(DMF)}{1 - \sin(DMF)} = \text{Calculado con Matlab} = 3.124$$

El siguiente paso es observar en la Figura 4, el valor de la frecuencia para la cual la ganancia es el valor calculado a continuación:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

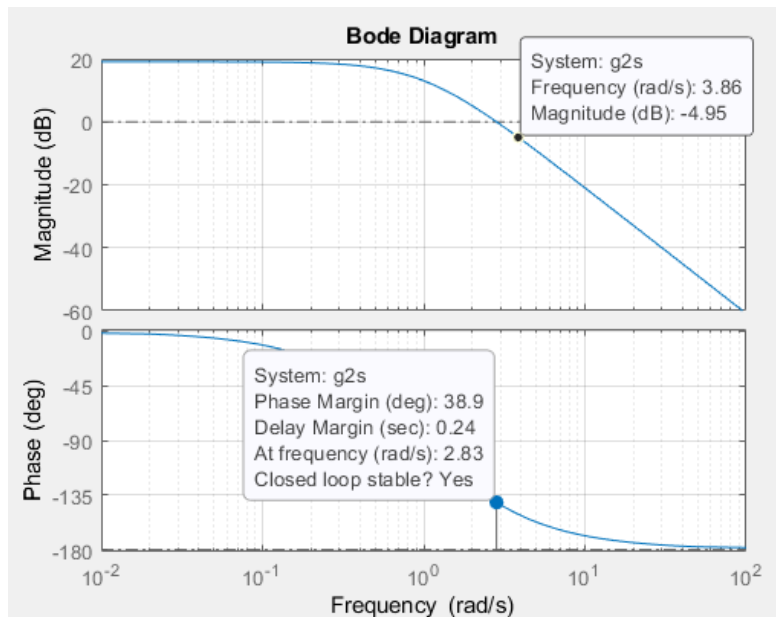


Figura 7: Figura 4 observando la frecuencia en $|G_{2p}(s)|$

Obtenemos una frecuencia igual a 3.86 rad/s para el valor de magnitud igual a -4.95 dB. Con dicha frecuencia, calculamos T:

$$T = \frac{1}{W_C \sqrt{a}} = \frac{1}{3.86 \sqrt{3.124}} = 0.1466$$

Ya tenemos todos los valores necesarios para obtener la función de transferencia de la red de adelanto:

$$G_C(s) = \frac{1}{a} * \frac{1 + aTs}{1 + Ts} = \frac{1}{3.124} * \frac{1 + 0.4579s}{1 + 0.1466s} = \frac{0.4579s + 1}{0.4579s + 3.124}$$

Para obtener la función de transferencia del sistema, debemos tener en cuenta que la red de adelanto proporciona una atenuación de "1/a", y hay que aplicar una ganancia "a" para compensar dicha atenuación.

$$sys = a * G_C(s) * G_P(s) = \frac{12.87s + 28.12}{0.4579s^3 + 4.04s^2 + 6.706s + 3.124}$$

Procedemos a observar el diagrama de Bode y la respuesta a la entrada escalón para comprobar si cumple los valores del error en el estacionario y MF.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

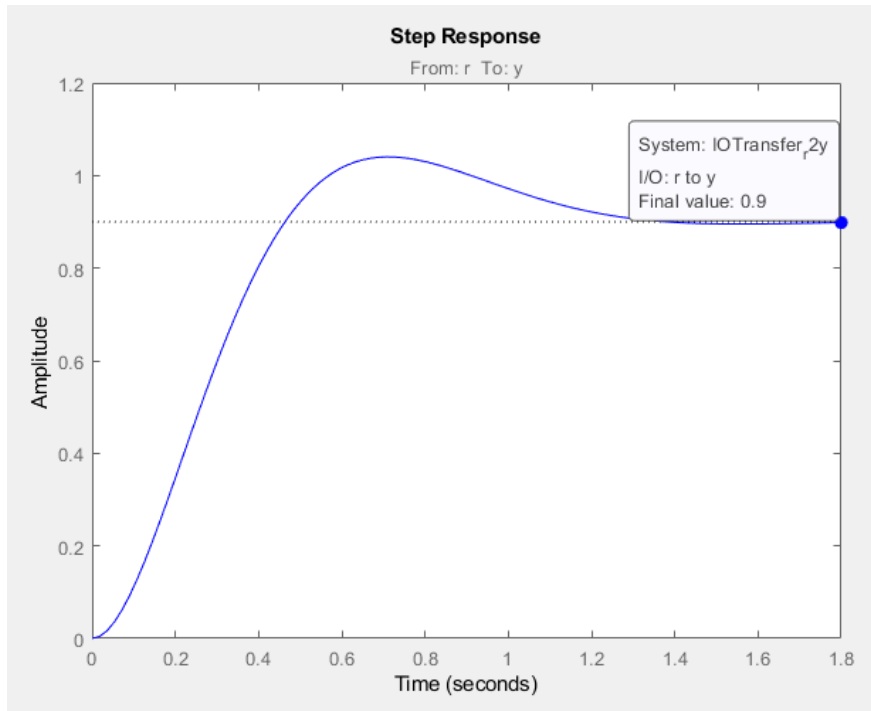


Figura 8: Respuesta a la entrada escalón del sistema (sys).

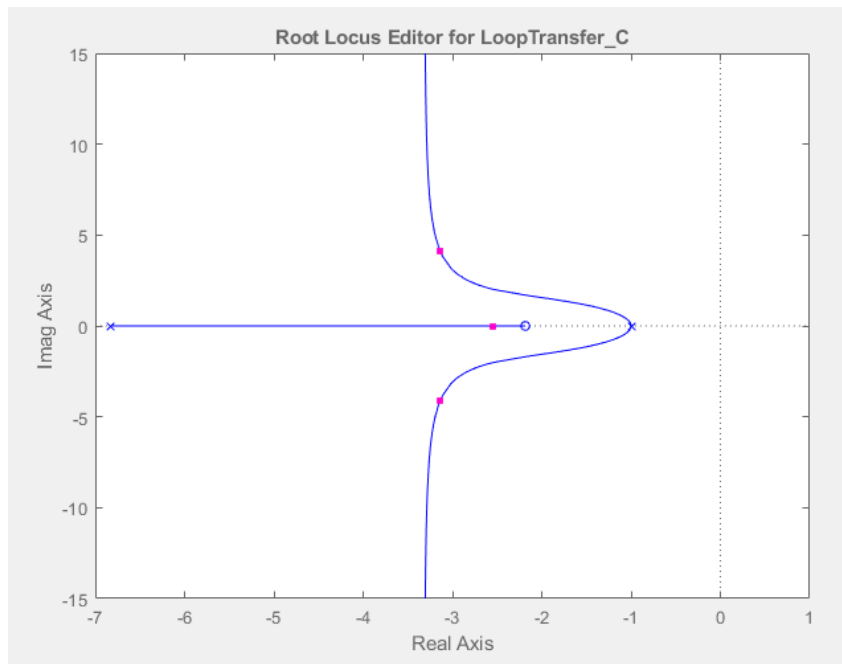


Figura 9: Posición ceros y polos del sistema (sys).

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

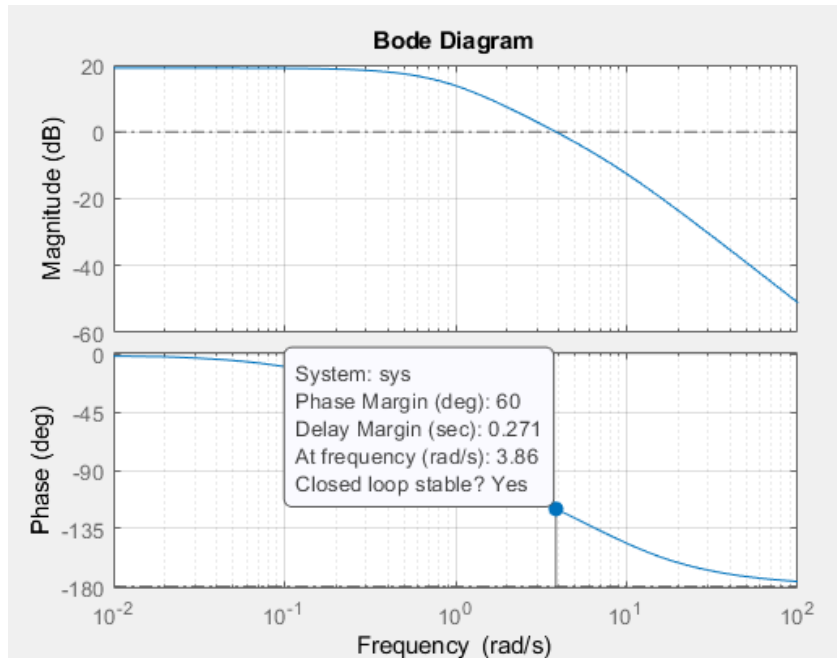


Figura 10: Diagrama de Bode del sistema (sys).

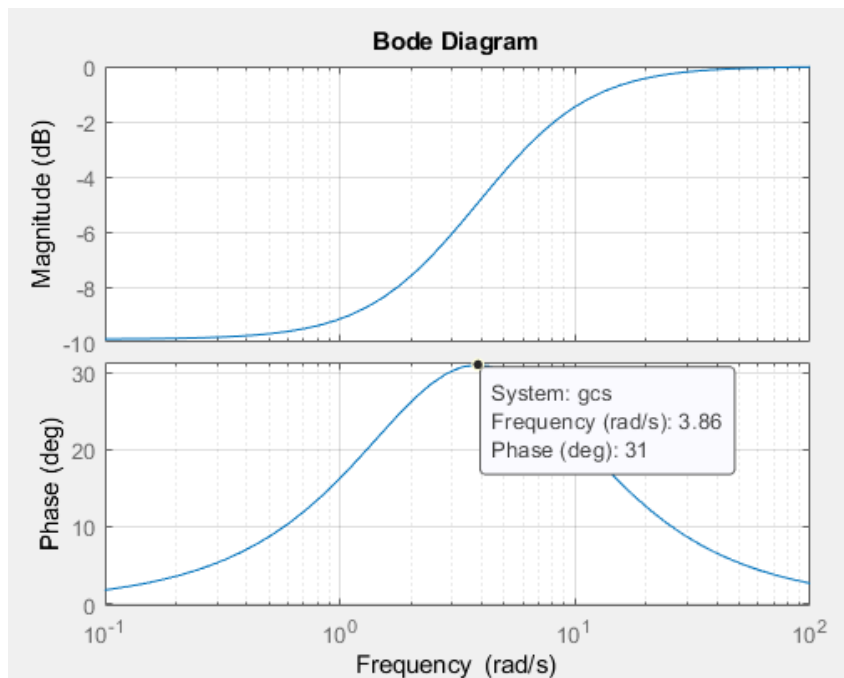


Figura 11: Diagrama de Bode de la red de adelanto $G_c(s)$.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

- 2) Comprobar el funcionamiento de la red con Simulink sobre la función de transferencia de la planta y ver si se verifican las especificaciones dadas para la respuesta del sistema ante una entrada escalón. Observar las características de la respuesta del sistema realimentado (t_s , M_p , e_{ss} , t_r) a una entrada escalón.

Realizamos la comprobación con Simulink realizando 2 circuitos, es decir, un circuito posee todos los bloques (Ganancia, $G_p(s)$, $G_c(s)$ y ganancia compensación atenuación de $G_c(s)$), y otro circuito usando un solo bloque con la función de transferencia del sistema (sys).

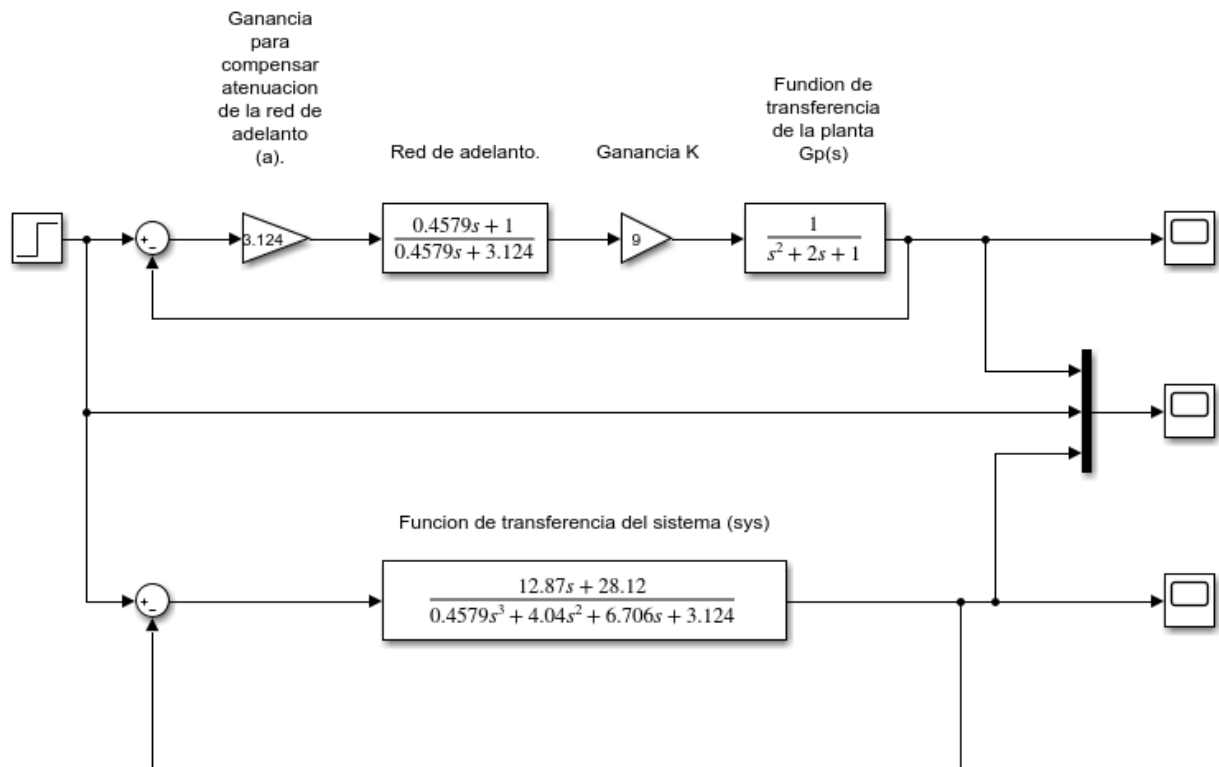


Figura 12: Apartado2Practica5A.slx

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

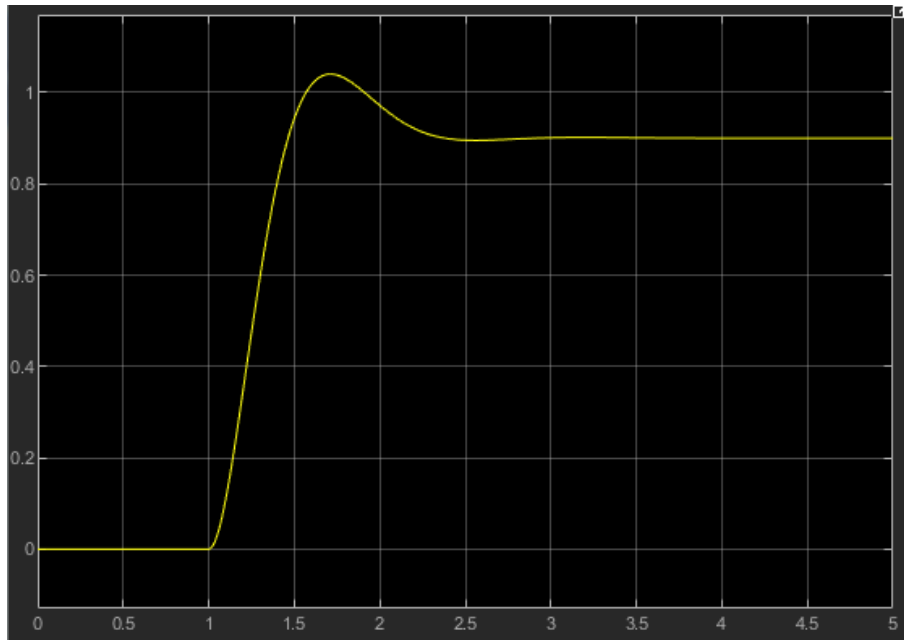


Figura 13: Scope del circuito con todos los bloques (*Apartado2Practica5A.slx*).

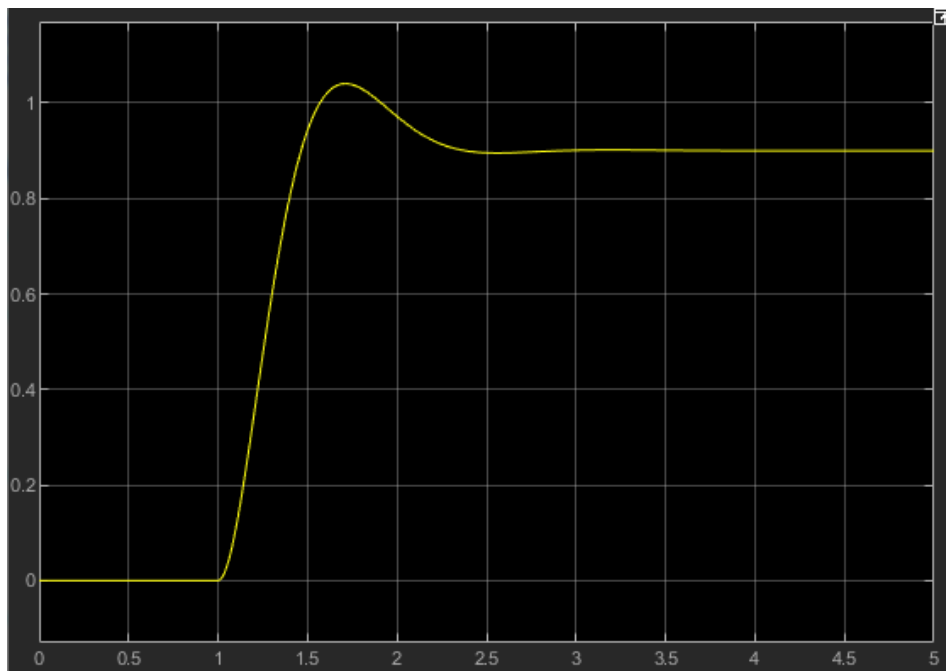


Figura 14: Scope del circuito con un solo bloque (*Apartado2Practica5A.slx*)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

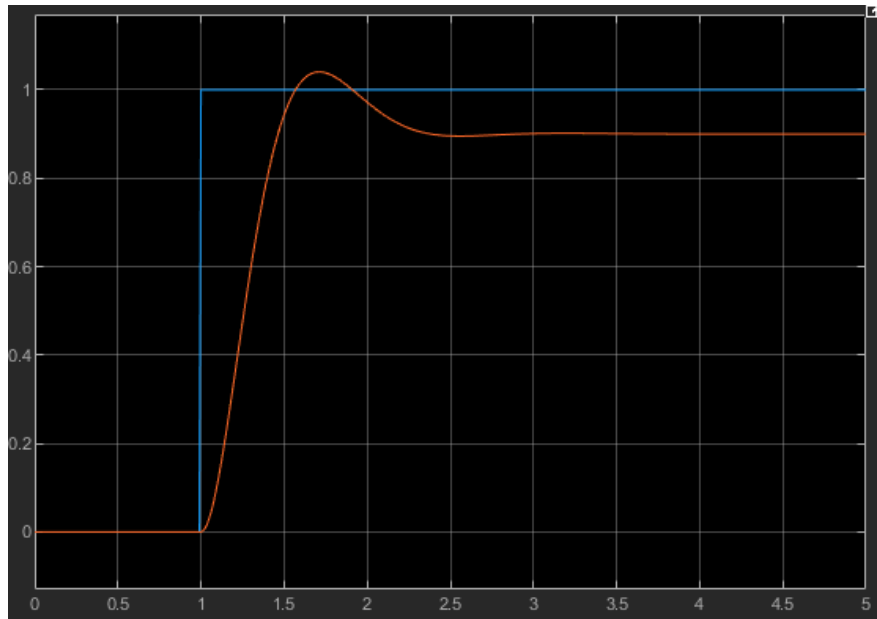
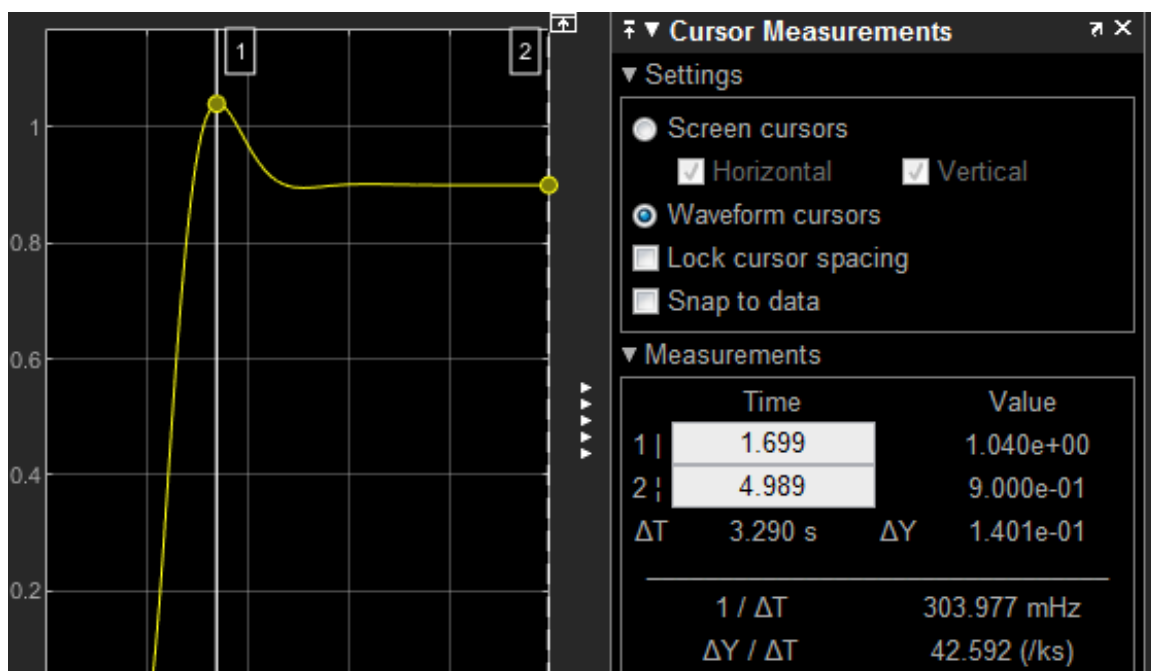


Figura 15: Scope de la superposición de la Figura 13, la Figura 14 y señal escalón (Apartado2Practica5A.slx)

Para empezar, cabe destacar que ambas señales son idénticas como cabía esperar y procedemos a analizar las características de la señal de la Figura 13 o la Figura 14 (al ser la misma grafica).



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

$$e_{ss} = 1 - \text{ValorEstacionario} = 1 - 0.9 = 0.1 = \mathbf{10\%}$$

$$M_P = \frac{\text{ValorPico} - \text{ValorEstacionario}}{\text{ValorEstacionario}} = \frac{1.04 - 0.9}{0.9} = 0.156 = \mathbf{15.6\%}$$

Para obtener el tiempo de asentamiento y el tiempo de subirá, necesito saber el 2% del estacionario, y el 10% y 90% del estacionario, respectivamente.

Para obtener el tiempo de asentamiento, hay que obtener el tiempo para el cual la señal permanece dentro del rango del 2% del valor en el estacionario.

$$2\% \text{ del valor en el estacionario} \rightarrow 0.9 * 2\% = 0.018$$

$$\text{Señal dentro del rango} \begin{cases} \text{ValorEstacionario} + 2\% = 0.9 + 0.018 = 0.918 \\ \text{ValorEstacionario} - 2\% = 0.9 - 0.018 = 0.882 \end{cases}$$

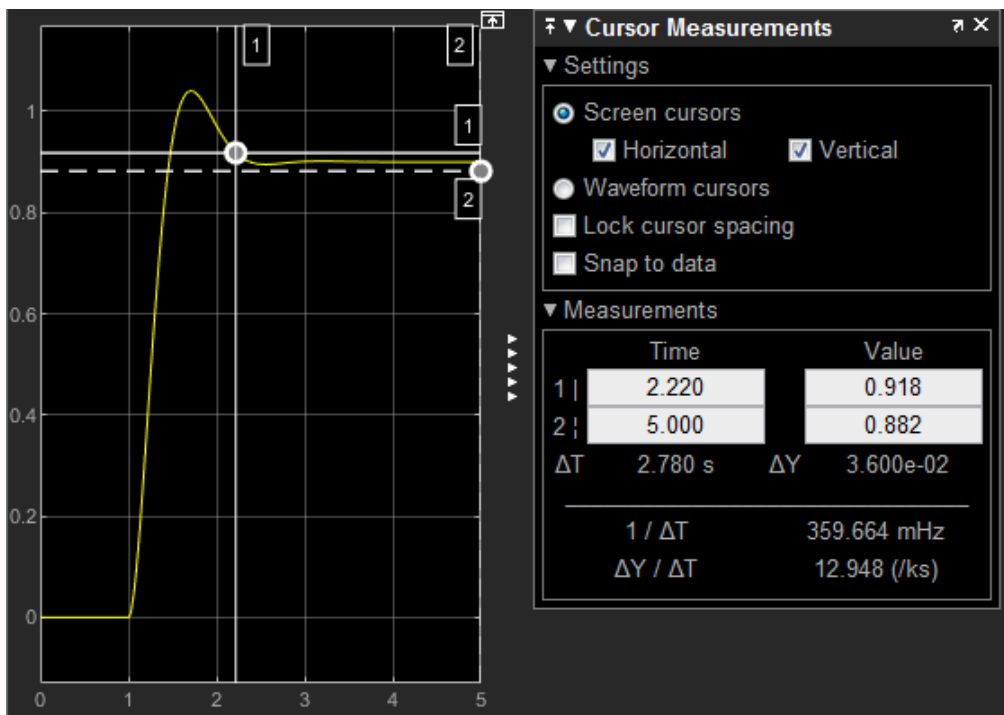


Figura 17: Características (tiempo y amplitud) con la amplitud al 2% del valor del estacionario.

En la Figura 17 se puede observar que a partir del cruce de las líneas 1 vertical y 1 horizontal, la señal no vuelve a salir del rango, e implica que el tiempo en dicho punto de cruce es el tiempo de asentamiento.

No hay que olvidar restar 1 segundo debido a que la señal mostrada posee el primer segundo nulo de la señal de entrada escalon.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

$$\begin{cases} 10\% \text{ del ValorEstacionario} = 0.9 * 0.1 = 0.09 \\ 90\% \text{ del ValorEstacionario} = 0.9 * 0.9 = 0.91 \end{cases}$$

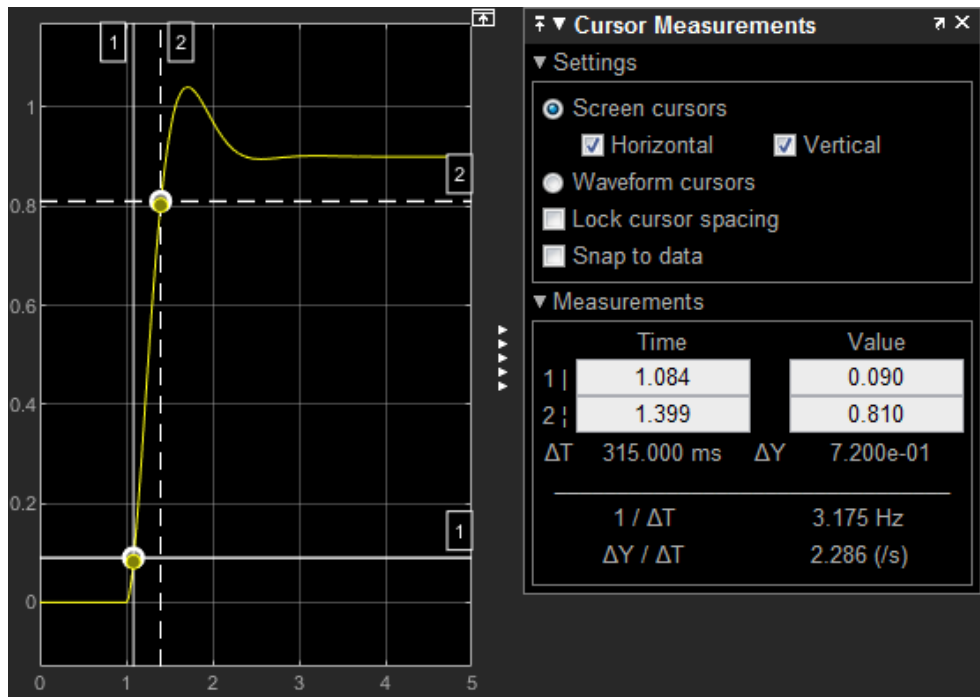
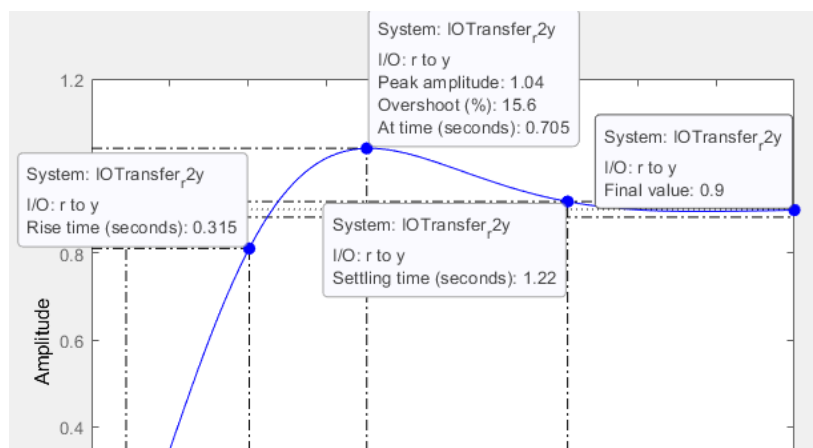


Figura 18: Características (tiempo y amplitud) con la amplitud al 10% y 90% del valor del estacionario.

$$\begin{cases} 10\% \text{ del ValorEstacionario} \rightarrow t = 1.084 \\ 90\% \text{ del ValorEstacionario} \rightarrow t = 1.399 \end{cases} \} t_r = 1.399 - 1.084 = \mathbf{0.315 \text{ s}}$$

Obtenidos todos los valores, procedo a compararlos con los valores proporcionados por *rltools* automáticamente.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

	Tiempo asentamiento (ts)	Tiempo subida (tr)	Sobreelongación (Mp)	Error en el estacionario (ess)
Simulink	1.22 s	0.315 s	15.6 %	10 %
rltools	1.22 s	0.315 s	15.6 %	10 %

Tabla 1: Comparación de las características obtenidas en *rltool* y en *Simulink*

- 3) Comprobar el funcionamiento del lazo cerrado simulado cuando se añade las saturaciones propias del circuito y se discretiza el controlador con un periodo de muestreo que se indique al inicio de la sesión de prácticas.

Procedemos a discretizar la función de transferencia del sistema (sys) y observamos su respuesta ante la entrada escalón analizando sus características.

La discretización se realiza a través de Matlab con la instrucción "c2d" indicando la función sys y el periodo de muestreo igual a 0.01 indicado al inicio de la sesión.

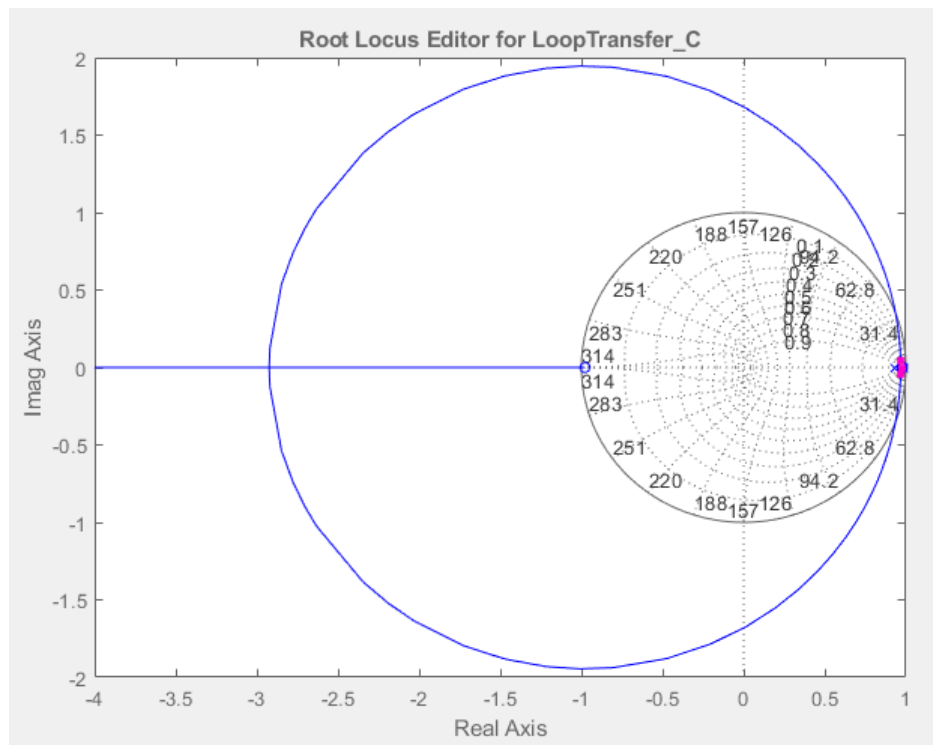


Figura 20: Posición de los ceros y polos de la función de transferencia "sys" discretizada.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

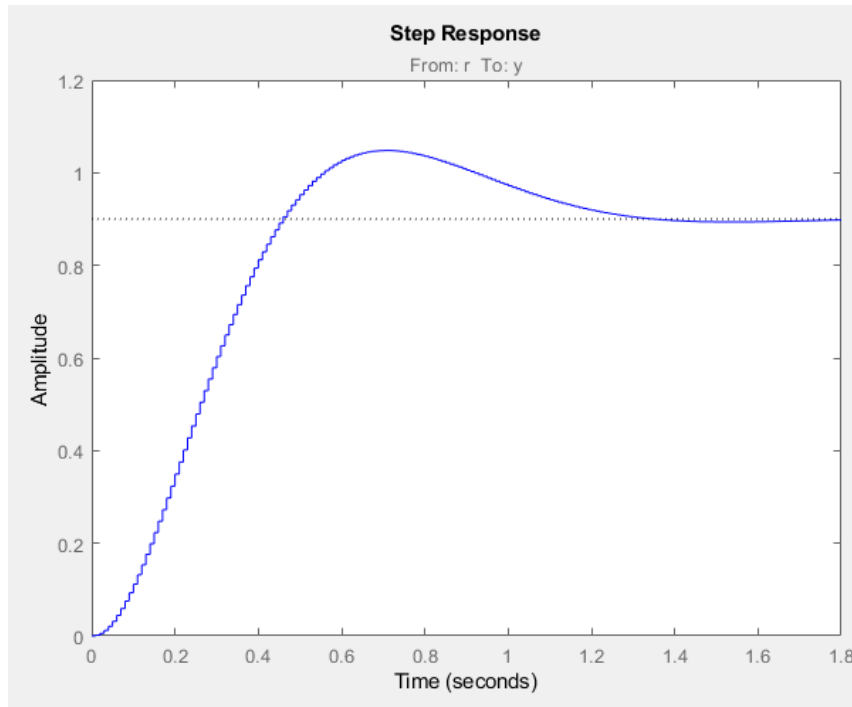


Figura 21: Respuesta a la entrada escalón de la función de transferencia "sys" discretizada.

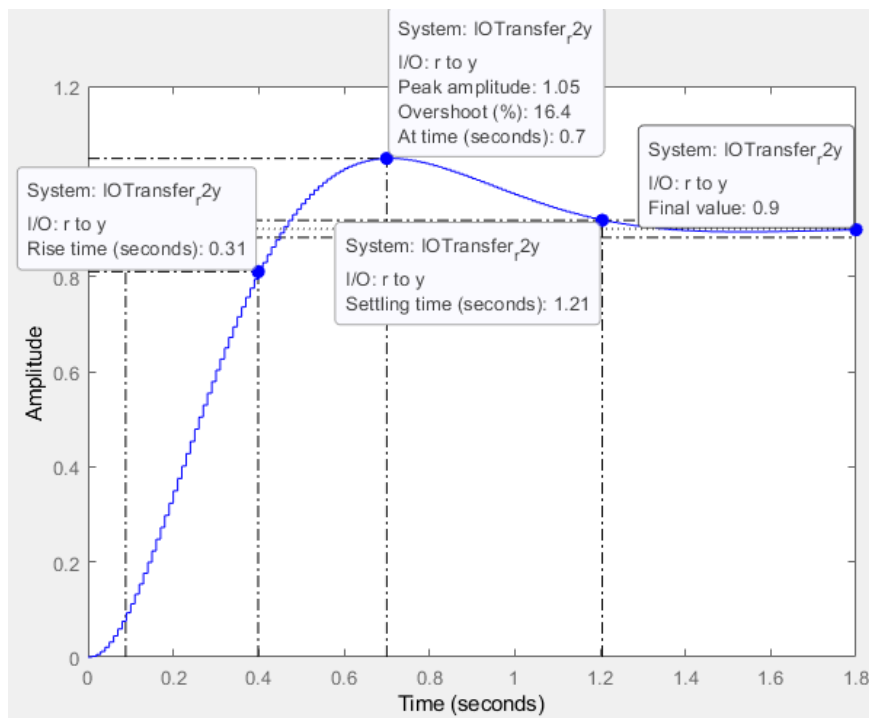


Figura 22: Características de la Figura 21.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Práctica 5A: Control de una planta real usando una red de adelanto

- 5) Calcular el valor de las resistencias para que el circuito analógico (ver sección 2.2) se comporte como la red de adelanto activa diseñada en el primer apartado. Sintonizar los potenciómetros variables del controlador del laboratorio con los valores de las resistencias calculadas, e introducir los elementos relacionados con el controlador en el circuito (teniendo en cuenta las indicaciones de la sección 2.2). Observar la respuesta del sistema siguiendo el procedimiento que se indique en la segunda parte de la práctica.

Para obtener el valor de las resistencias de la red de adelanto continua, empezamos comparando la formula teórica con la función de transferencia obtenida anteriormente.

No hay que olvidar que sabemos previamente el valor de los dos condensadores de la red de adelanto:

$$C_{1,4} = C_{2,4} = 100nF$$

$$G_C(s) = K \frac{aTs + 1}{Ts + 1} = \frac{R_{2,3}R_{4,4}}{R_{1,3}R_{3,4}} * \frac{(R_{3,4}C_{1,4}s + 1)}{(R_{4,4}C_{2,4}s + 1)} = \frac{0.4579s + 1}{0.4579s + 3.124}$$

Simplificamos $G_C(s)$ hasta obtener las 3 opciones de manera $K*(xs+1)/(ys+1)$:

$$G_C(s) = \frac{0.4579s + 1}{0.4579s + 3.124} = \frac{0.4579s + 1}{3.124 * (0.1466s + 1)} = 0.32 * \frac{0.4579s + 1}{0.1466s + 1}$$

Teniendo todas las opciones de la misma manera, procedo a obtener ecuaciones para resolver los valores de las resistencias.

$$\left\{ \begin{array}{l} aT = R_{3,4}C_{1,4} = 0.4579 \\ T = R_{4,4}C_{2,4} = 0.1466 \\ K = 0.32 = \frac{R_{2,3}R_{4,4}}{R_{1,3}R_{3,4}} \\ C_{1,4} = C_{2,4} = 100nF = 10^{-7}F \end{array} \right.$$

$$R_{4,4}C_{2,4} = 0.1466 \rightarrow R_{4,4} = \frac{0.1466}{10^{-7}} = 1.466 * 10^6 \Omega = 1.466 M\Omega$$

$$R_{3,4}C_{1,4} = 0.4579 \rightarrow R_{3,4} = \frac{0.4579}{10^{-7}} = 4.579 * 10^6 \Omega = 4.579 M\Omega$$

$$R_{1,3} = 9.3 * 10^5 \Omega = 0.93 M\Omega$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70