



Control de Procesos Industriales

Ejercicios de clase

versión 1/06/10

por
Pascual Campoy
Universidad Politécnica Madrid



Control de Procesos Industriales

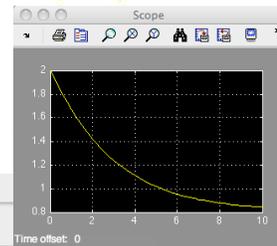
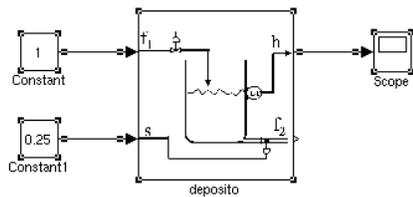
1. Introducción
2. Modelado temporal de sistemas
3. Análisis temporal de sistemas
4. Identificación de sistemas
5. Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
6. Control de grandes tiempos muertos
7. Control avanzado con variables auxiliares
8. Control multivariable (sistemas MIMO)





Ejercicio 0.1

- Abrir un documento nuevo de Simulink
- Obtener la evolución de la altura del depósito cuando la entrada es $F1=1$, $s1=0.25$, $A=1.5$ y $h(0)=2$



Control de Procesos Industriales

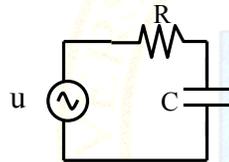
- Introducción
- Modelado temporal de sistemas
- Análisis temporal de sistemas
- Identificación de sistemas
- Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
- Control de grandes tiempos muertos
- Control avanzado con variables auxiliares
- Control multivariable (sistemas MIMO)





Ejercicio 2.1

Dado el sistema:



$$u = Ri + u_c$$

$$C\dot{u}_c = i$$

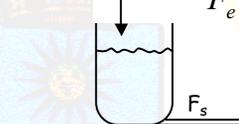
- Obtener las f.d.t. $U_c(s)/U(s)$ e $I(s)/U(s)$ (5 puntos)
- Implementar en Simulink la primera función de transferencia y dibujar la evolución de $u_c(t)$ cuando la $u(t)$ varía bruscamente desde un valor inicial nulo hasta 1. (5 puntos)



Ejercicio 2.2: punto de equilibrio

Dado el siguiente sistema:

$$F_e$$



$$F_e - a\sqrt{2g}\sqrt{H} = A\dot{H}$$

- Calcular el valor en el que se estabiliza la altura H ($\dot{H} = 0$) cuando $F_e=1$ (2 puntos).
- Calcular el valor de F_e cuando la altura H está estabilizada en $H=1$ (2 puntos).
- Comprobar en Simulink que para los valores de F_e y H calculados en los 2 apartados anteriores el sistema se encuentra estabilizado (3 puntos)
- Obtener en un gráfico la evolución de $H(t)$ cuando F_e varía del valor obtenido en a) al nuevo valor obtenido en b) (3 puntos).

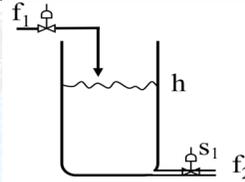




Ejercicio 2.3: linealización

Dado el sistema:

$$f_1 - s_1 \sqrt{2gh} = A\dot{h}$$



- Calcular las f.d.t. $H(s)/F_1(s)$ y $H(s)/S(s)$ y particularizarlas para el punto de equilibrio definido por $F_{10}=1$, $s_{10}=0.3$, $A=1$ (3 puntos)
- Dibujar en Simulink el diagrama de bloques con f.d.t. que permite obtener la evolución de $\Delta H(t)$ en función de los incrementos de F_1 y s_1 . (2 puntos)
- Dibujar la gráfica de $H(t)$ cuando F_1 pasa bruscamente de valer 1 a valer 1,5, manteniéndose s_1 constante en el valor $s_{10}=0.3$ (2 punto)
- Superponer en la gráfica de $H(t)$ del apartado anterior (obtenida con el modelo de f.d.t.) junto con la evolución de $H(t)$ del sistema real. Analizar las diferencias observadas. (3 puntos)



U.P.M.-DISAM

P. Campoy

Control de Procesos Industriales

8

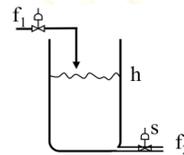


Ejercicio: Sistema multivariable

Dado el sistema del ejemplo anterior:

$$A\dot{h} = f_1 - f_2$$

$$f_2 = s_1 \sqrt{2gh}$$



- Calcular la matriz de f.d.t. de $[h(s) \ f_2(s)]^T$ en función de $[f_1(s) \ s_1(s)]^T$ y particularizarlas para el punto de equilibrio definido por $f_{10}=1$, $s_{10}=0.3$, $A=1$ (3 puntos)
- Dibujar en Simulink el diagrama de bloques con f.d.t. que permite obtener la evolución de $\Delta h(t)$ y de $\Delta f_2(s)$ en función de los incrementos de f_1 y s_1 . (2 puntos)
- Dibujar la gráfica de $h(t)$ cuando f_1 pasa bruscamente de valer 1 a valer 1,5 y s_1 pasa de valer 0.3 a valer 0.2 (2 puntos)
- Superponer en la gráfica de $h(t)$ del apartado anterior (obtenida con el modelo de f.d.t.) junto con la evolución de $h(t)$ del sistema real. Analizar las diferencias observadas. (3 puntos)



U.P.M.-DISAM

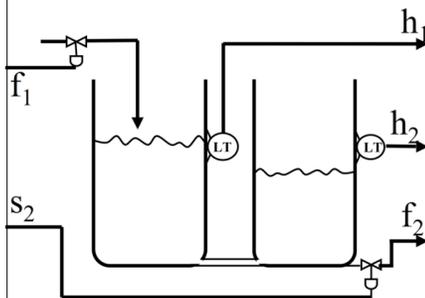
P. Campoy

Control de Procesos Industriales

10



Trabajo: depósitos comunicados



- Calcular las f.d.t. $[H_1(s) \ H_2(s)]$ respecto de $[F_1(s) \ S_2(s)]$
- Calcular la $H_2(s)$ en función de $F_1(s)$ y $S_s(s)$
- Calcular las ganancias estáticas y los tiempos característicos de dichas f.d.t.

$$A_1 \dot{h}_1 = f_1 - s_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

$$A_2 \dot{h}_2 = s_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - s_2 \sqrt{2gh_2}$$



Trabajo: depósitos comunicados

- Usando Simulink dar valores coherentes al sistema de los depósitos para su funcionamiento en un p.e.
 - a) para los dos depósitos con áreas muy distintas y
 - b) muy parecidas
- Obtener las f.d.t. de los sistemas en torno a ese p.e.
 - a) a partir de las ecuaciones
 - b) mediante identificación
- Comparar en Simulink la evolución de las alturas de los tres sistemas siguientes; real, f.d.t. a partir de las ecuaciones y f.d.t. a partir de identificación





Control de Procesos Industriales

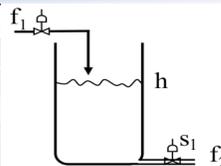
1. Introducción
2. Modelado temporal de sistemas
3. Análisis temporal de sistemas
4. Identificación de sistemas
5. Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
6. Control de grandes tiempos muertos
7. Control avanzado con variables auxiliares
8. Control multivariable (sistemas MIMO)



Ejercicio 3.1: Ganacia y dinámica 1er orden

Dado el siguiente sistema:

$$f_1 - s_1 \sqrt{2gh} = A\dot{h}$$



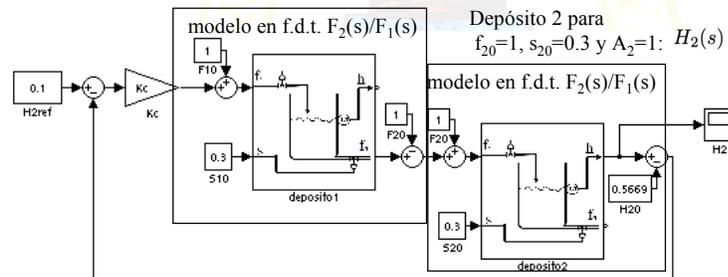
- a) Calcular la ganacia del sistema linealizado sobre el p.e. definido por $F_{10}=1$, $s_{10}=0.3$, $A=1$. (2 puntos)
- b) Comprobar el resultado anterior en Simulink introduciendo varias entradas (2 puntos)
- c) Sobre el sistema real comprobar el valor de $h(\infty)$ para las diversas entradas utilizadas en el apartado anterior. Comparar los resultados de ambos apartados (2 puntos)
- d) Calcular el tiempo característico de este sistema (2 puntos)
- e) Comprobar en Simulink en valor del apartado anterior (2 puntos)





Ejercicio: sistemas 2º orden

Para el sistema de la figura:



Depósito 1 para $f_{10}=1, s_{10}=0.3$ y $A_1=1$: $F_2(s) = \frac{0.882}{s + 0.882} F_1(s)$

Depósito 2 para $f_{20}=1, s_{20}=0.3$ y $A_2=1$: $H_2(s) = \frac{1}{s + 0.882} F_{e2}(s)$

- Obtener la función de transferencia de $H_2(s)/H_{ref}(s)$ (2,5 puntos)
- Calcular la estabilidad y la ganancia en función de K_c (2,5 puntos)
- Estudiar la dinámica en función de K_c (2,5 puntos)
- Comprobar los resultados de los 2 apartados anteriores en Simulink con el sistema real (2,5 puntos)



Control de Procesos Industriales

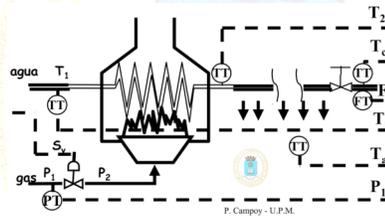
- Introducción
- Modelado temporal de sistemas
- Análisis temporal de sistemas
- Identificación de sistemas
- Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
- Control de grandes tiempos muertos
- Control avanzado con variables auxiliares
- Control multivariable (sistemas MIMO)





Ejercicio 4.1

En el sistema de la figura, para el p.e.: $F=1$; $T_1=25$; $P_1=1$; $T_a=8$ y $S_v=0.5$



Parameters	
<input type="checkbox"/> perturbaciones variables?	
Flujo de entrada?	1
Temperatura de entrada?	25
Presion gas?	1
Temperatura ambiente?	8
Temperatura salida caldera?	
Tc?	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

a) Calcular por identificación: $T_2(s)/S_v(s)$ y $T_c(s)/S_v(s)$



Control de Procesos Industriales

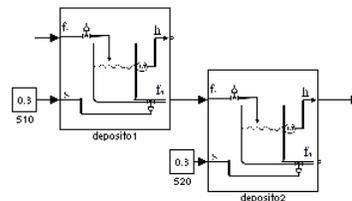
1. Introducción
2. Modelado temporal de sistemas
3. Análisis temporal de sistemas
4. Identificación de sistemas
5. Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
6. Control de grandes tiempos muertos
7. Control avanzado con variables auxiliares
8. Control multivariable (sistemas MIMO)





Ejercicio CRB

En el sistema de la figura se desea controlar ΔH_2 mediante la entrada ΔF_1 :



Parámetros: $A_1=A_2=1$, $s_{10}=s_{20}=0.3$
Punto equilibrio: $f_{10}=f_{20}=f_{30}=1$, $h_{10}=h_{20}=0.5669$

- Diseñar en Simulink una estructura de CRB, usando un PID formado por sus bloques básicos (P, I y D)
- Calcular los valores del PID
- Comprobar la variación de la respuesta ante cambios en los 3 parámetros del PID
- Modificar los parámetros del PID para minimizar la ICE



Control de Procesos Industriales

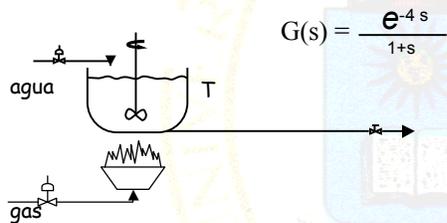
1. Introducción
2. Modelado temporal de sistemas
3. Análisis temporal de sistemas
4. Identificación de sistemas
5. Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
6. Control de grandes tiempos muertos
7. Control avanzado con variables auxiliares
8. Control multivariable (sistemas MIMO)





Ejercicio: Predictor de Smith

- Dado el sistema de la figura:



$$G(s) = \frac{e^{-4s}}{1+s}$$

- 1.- Controlar el sistema usando un predictor de Smith y compararlo con los resultados anteriores



Control de Procesos Industriales

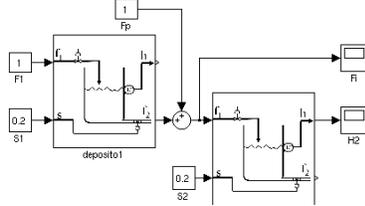
1. Introducción
2. Modelado temporal de sistemas
3. Análisis temporal de sistemas
4. Identificación de sistemas
5. Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
6. Control de grandes tiempos muertos
7. Control avanzado con variables auxiliares
8. Control multivariable (sistemas MIMO)





Ejercicio: control en cascada

En el sistema de la figura, para el punto de equilibrio definido por $A_1=1$, $A_2=7$, $F_{10}=1$, $S_{10}=0.2$, $S_{20}=0.2$, $F_p=1$, $F_i=2$, $H_{10}=1.275$, $H_{20}=5.102$, se obtiene las siguientes f.d.t.:



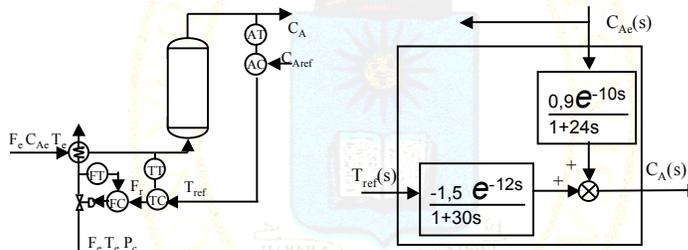
$$\frac{F_2(s)}{F_1(s)} = \frac{1}{3s + 1} \quad \frac{H_2(s)}{F_2(s)} = \frac{1.052}{37s + 1}$$

- Diseñar una estructura de control en cascada de la altura H_2 con el flujo F_1 (2,5 puntos)
- Calcular los controladores de la estructura anterior (2,5 puntos)
- Comparar los resultados de la estructura anterior respecto a un C.R.B. ante un incremento de F_p al doble de su valor en equilibrio (comparar a evolución de H_2 y de F_1) (2,5 puntos)
- Comparar los resultados de la estructura en cascada respecto a un C.R.B. ante un incremento cambio en la referencia de la altura H_{2ref} que pasa a valer 6. (comparar a evolución de H_2 y de F_1) (2,5 puntos)



Ejercicio: control anticipativo

En el esquema de control en cascada de la figura se desea minimizar el efecto de las variaciones en la concentración de entrada C_{Ae}



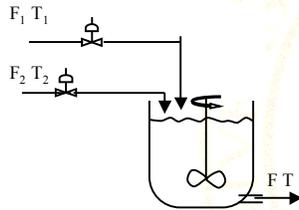
- Diseñar en esquema de control usando la terminología ISA (2 punto)
- Diseñar en Simulink el sistema de control anterior (2 puntos)
- Calcular todos los bloques del anterior sistema de control (2 puntos)
- Calcular el bloque de C.A. proporcional (sin dinámica) (2 puntos)
- Comparar en un gráfico la evolución de CA sin usar el C.A. usando un C.A. con dinámica y usando un C.A. proporcional (2 puntos)

41



Ejercicio control proporción

Para el mezclador de temperaturas de la figura, se tiene:



ecuaciones estáticas: punto de equilibrio:

$$\left. \begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ TF &= T_1 F_1 + T_2 F_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T_{10} &= 20; F_{10} = 10; T_{20} = 80; F_{20} = 2 \\ &\Rightarrow F_0 = 12; T_0 = 30 \end{aligned}$$

ecuaciones estáticas linealizadas:

$$\left. \begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ T &= \frac{T_{10} - T_0}{F_0} F_1 + \frac{T_{20} - T_0}{F_0} F_2 + \frac{F_{10}}{F_0} T_1 + \frac{F_{20}}{F_0} T_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ T &= -0.833 F_1 + 4.16 F_2 + 0.833 T_1 + 1.66 T_2 \end{aligned} \right\}$$

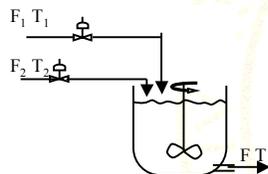
identificando se obtienen las ecuaciones dinámicas:

$$\begin{bmatrix} F(s) \\ T(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3s+1} & \frac{1}{3s+1} \\ -0.8333 e^{-3s} & 4.166 e^{-3s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(s) \\ F_2(s) \end{bmatrix}$$



Ejercicio control proporción

En el sistema de la figura F_1 es una variable de perturbación, siendo F_2 la única variable manipulada:



$$\begin{bmatrix} F(s) \\ T(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3s+1} & \frac{1}{3s+1} \\ -0.8333 e^{-3s} & 4.166 e^{-3s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(s) \\ F_2(s) \end{bmatrix}$$

- Diseñar y calcular una estructura de control de T que incluya un control de proporción (5 puntos)
- Comparar la estructura anterior con un CRB cuando F_1 pasa a valer 11. Igualmente si además T_1 disminuye a 8° (5 puntos)





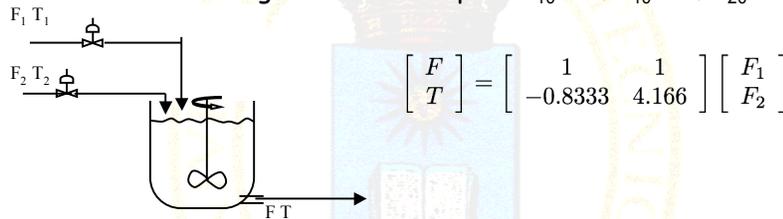
Control de Procesos Industriales

1. Introducción
2. Modelado temporal de sistemas
3. Análisis temporal de sistemas
4. Identificación de sistemas
5. Control Regulatorio Básico (sistemas SISO)
6. Control de grandes tiempos muertos
7. Control avanzado con variables auxiliares
8. Control multivariable (sistemas MIMO)



Ejercicio evaluación interacciones

Dado el sistema de la figura linealizado para $T_{10}=20$, $F_{10}=10$, $T_{20}=80$, $F_{20}=2$



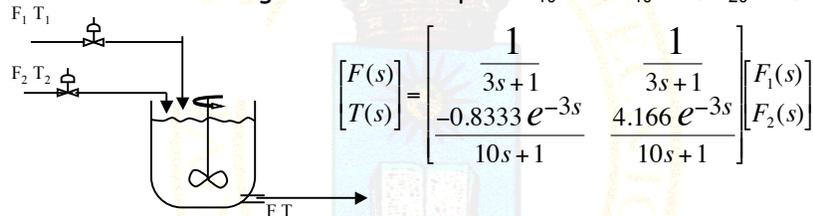
- a) Calcular λ_{TF1} y λ_{TF2} (5 puntos)
- b) Indicar cuál de los dos posibles bucles de control de T queda menos alterado cuando se abre/cierra el otro bucle de control de la F (5 puntos)





Ejercicio control multivariable

Dado el sistema de la figura linealizado para $T_{10}=20$, $F_{10}=10$, $T_{20}=80$, $F_{20}=2$

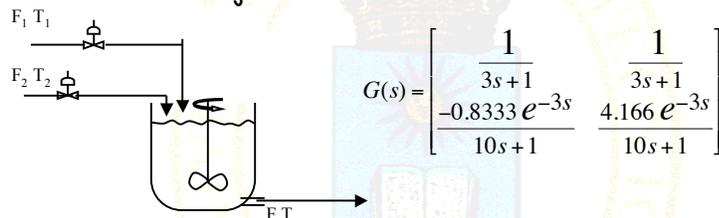


- Diseñar y calcular un control multivariable de T y F (4 puntos)
- Dibujar la evolución de las salidas ante un cambio de referencia de F y también ante un cambio de referencia de T (3 puntos)
- Analizar la repercusión de la apertura de cada uno de los bucles de control sobre el otro bucle (3 puntos)



Ejercicio emparejamiento incorrecto

Dado el sistema del ejercicio anterior



- Diseñar y calcular un control multivariable, de manera que el control de T se efectúe con F_1 y el de F con F_2 (5 puntos)
- Analizar la repercusión de la apertura de cada uno de los bucles de control sobre el otro bucle (5 puntos)

