LABORATORIO de INGENIERÍA de CONTROL-2

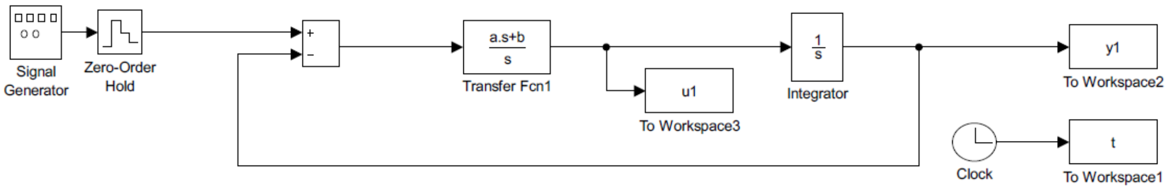
Práctica 2 Simulación de sistemas muestreados

El objetivo de esta práctica es aprender a utilizar Simulink para modelar sistemas de control digital, y comprender el efecto de la discretización del regulador y la validez de la representación en tiempo discreto, con la planta muestreada. Los conceptos se explican a través de un problema/ejemplo resuelto.

-1- Sistema de control en tiempo continuo:

-1a- Construir en Simulink un sistema de control con planta $P(s)=1/s$, y controlador de tipo PI dado por $K(s)=a+b/s= (a\,s+b)/s$:

La solución es (fichero 'P2model.mdl'):



Las señales de salida y de control (y_1, u_1) se vuelcan en bloques 'To workspace' con formato vector (Save format: Array). También se vuelca el tiempo 't' generado por el bloque 'Clock'.

En el menú 'Simulation…Model Configuration Parameters' declaramos:

Stop time: Tfin Max step size: dtmax

Como referencia usamos un 'Signal generator' en modo 'Square' (onda cuadrada, escalones)

Amplitude: A0 Frequency: f0 Units: Hertz

Para sincronizar, la onda cuadrada se sigue de un Sample&Hold ('Zero Order Hold') con

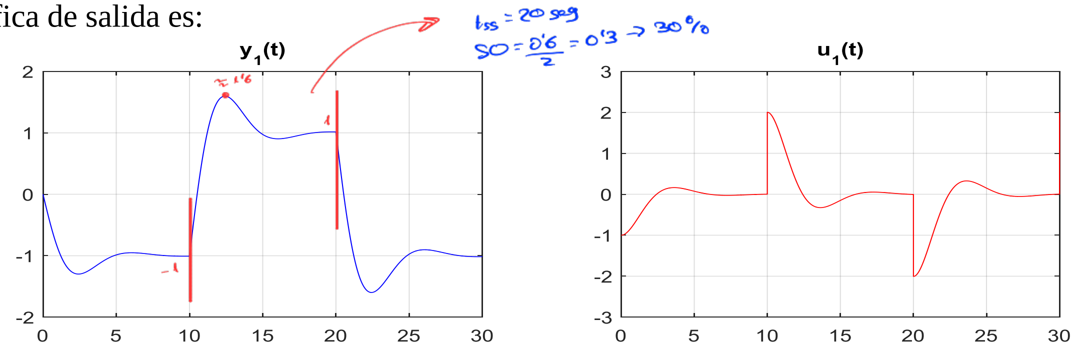
Sample Time: T

-1b- Simular el sistema con a=1, b=1, para una referencia onda cuadrada de amplitud 1 y de periodo 20s, con T pequeño T=0,01. Graficar (y_1, u_1). ¿Cuál es la sobreoscilación?

La solución se consigue ejecutando:

```
Tfin=30;  dtmax=0.001;
A0=1;  f0=1/20; T= 0.01;
a=1; b=1;
sim('P2model');
figure(1); subplot(121);
plot(t,y1,'blue-'); grid
subplot(122)
plot(t,u1,'red-'); grid
```

La gráfica de salida es:



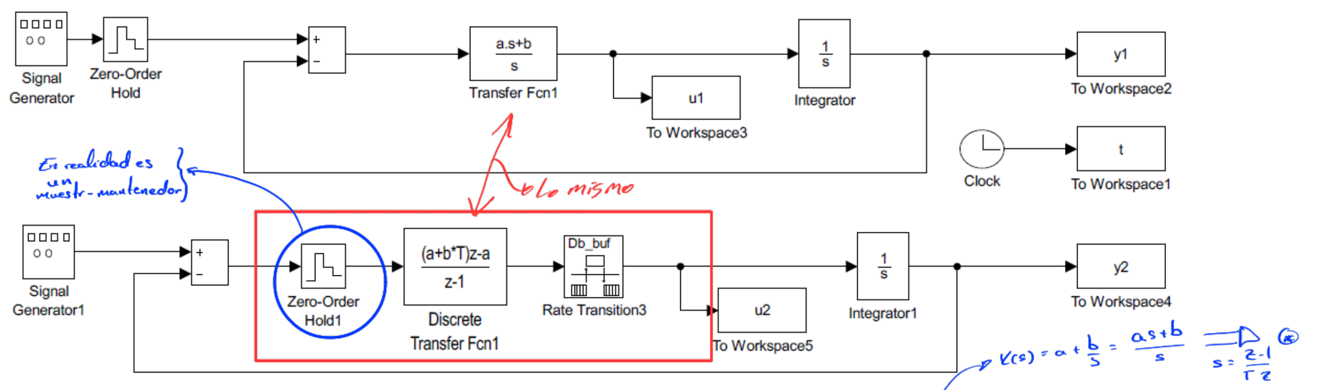
La respuesta se establece en unos 5seg., con una sobreoscilación (hacer zoom):

SO = 0.6/2 = 0.3 = 30 % (aprox.)

-2- Sistema de control digital (híbrido continuo/discreto):

-2a- Construir en Simulink el sistema de control digital obtenido del anterior discretizando el regulador con el método de derivada hacia atrás, y un periodo T=0.6s. Dibujar comparativamente las respuestas continuas y digitales.

Solución:



El controlador discretizado sale D(z)=[(a+bT)z–a]/(z–1) (**<u>verificarlo</u>**). La realización en Simulink del muestreador A/D y del mantenedor D/A es distinta a la planteada en clase de teoría, debido a que en Simulink no se manejan secuencias {e(k)}, Simulink usa un entorno más complejo. Una opción es la que indica la figura:

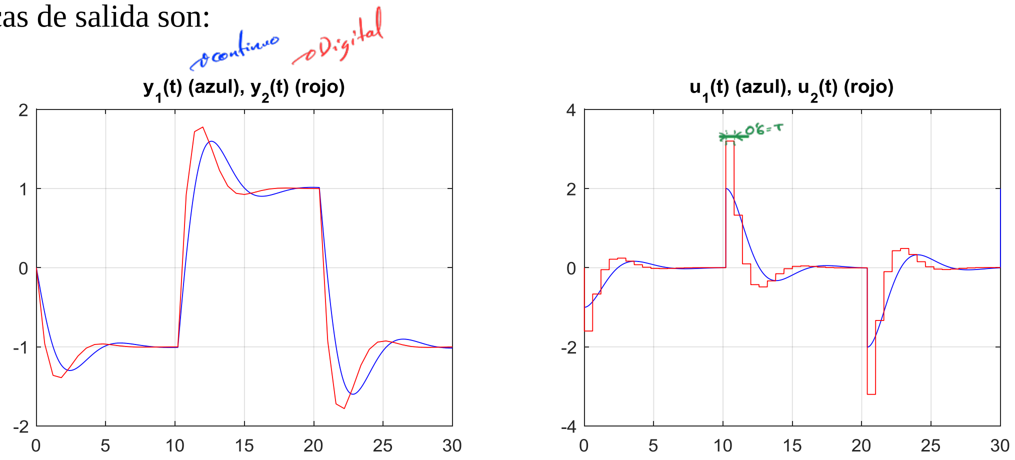
$D(z) = \frac{(a+bT)-a}{z-1}$

- El muestreador se realiza con 'Zero-Order Hold' con 'Sample time': 'T'
- El mantenedor con 'RateTransition' desmarcando 'Ensure deterministic data transfer'

Ejecutando el código:

```
Tfin=30;  dtmax=0.001;
A0=1;  f0=1/20;  a=1;  b=1;  T= 0.6;
sim('P2model');
figure(1); subplot(121);
plot(t,y1,'b',t,y2,'r'); grid
subplot(122)
plot(t,u1,'b',t,u2,'r'); grid
```

Las gráficas de salida son:



Como se ve, la señal de control u(t) digital es de tipo 'mantenida' y la señal de salida y(t) digital se deteriora con respecto a la continua (mayor sobreoscilación, SO=0.78/2=38%).

-2b- Efecto del periodo de muestreo T. Simular el sistema con mayores y menores periodos de muestreo T. Comprobar que cuando bajamos mucho T recuperamos la respuesta continua y cuando subimos T demasiado, la respuesta se deteriora.

Una medida del error por digitalización sería el error Max_Err = max(abs($y_1 - y_2$)). Un criterio para elegir el periodo adecuado sería, por ejemplo: Obtener el periodo Tc más grande (menor frecuencia 1/Tc) que consigue acotar el error, por ejemplo: Max_Err < 0.16

Solución: La primera parte se hace cambiando manualmente el periodo T y viendo las respuestas (hacerlo). La segunda parte se puede hacer manualmente o programando un bucle de cálculo. El resultado crítico Tc que garantiza el error (max(abs(y1−y2))< **0.16**) es

→ periodo mas largo compatible con $e(t) = |y_1(t) - y_2(t)|$

Tc = **0.15** (6,6 Hz),

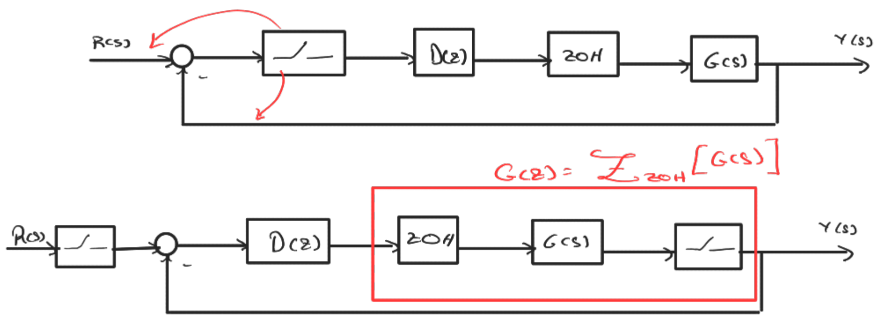
que produce una sobreoscilación: SOc = 31 % (aprox.)

-3- Sistema de control en tiempo discreto:

-3a- ¿Es posible representar el sistema digital/híbrido por un sistema puramente discreto? ¿Cuál sería la planta digitalizada G(z)?

Solución: Sí, es posible una representación discreta exacta (ver apuntes de teoría). El modelo discreto es un lazo típico con controlador D(z) y planta G(z). El controlador D(z) es igual al obtenido antes.

La planta discreta es G(z)=Z[P(s) ZOH] = T/(z−1) (**demostrarlo**).



Ej 1 → sistema continuo

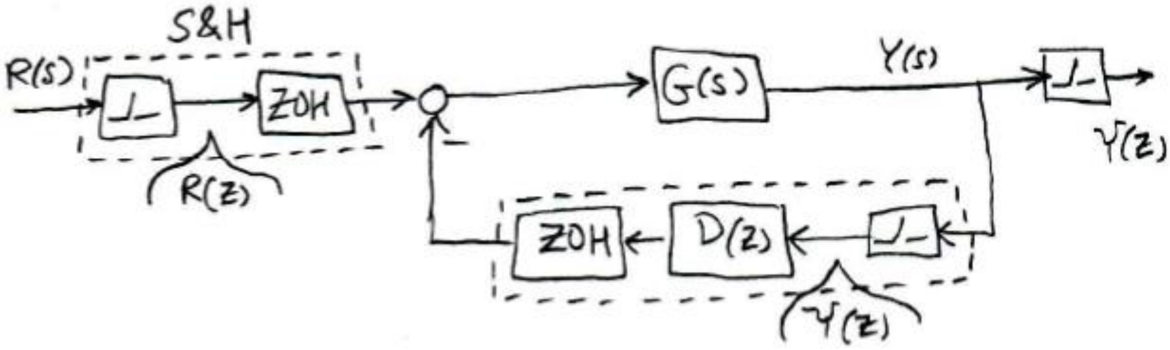
$G(s) = 1/s$
$K(s) = \frac{bs+1}{as+1}$
a, b : r_1

Ej 2 → Digital híbrido
(El del problema 1) { T=0'25; discretización s=f(z) : r_2 }
⊕ Máxima T que garantiza max |y1 - y2| < ... r_3

Ej 3 → Deducción del sistema discreto equivalente
$Y(z) = \mathcal{Z}[Y(s)] = \dots$ ← Ejercicio a mano

Trabajo de Laboratorio

Se considera el sistema de control híbrido planteado en el Problema 1 del Tema 2a:



Se mantienen los parámetros de simulación y de la referencia cuadrada:

```
Tfin=30;    dtmax=0.001;   A0=1;     f0=1/20;
```

La referencia se deja que pase a través de un Sample & Hold para sincronizar los saltos de escalón, con un periodo muy pequeño.

La planta será G(s) = 1/s

Datos particulares

Se indicará un procedimiento para generar tres enteros aleatorios r1,r2,r3 entre 1 y 4.

Apartado 1. Sistema continuo.

Considerar el sistema continuo obtenido del anterior sustituyendo los tres bloques digitales (muestreador, D(z), ZOH) por un solo regulador continuo K(s).

El regulador K(s) vendrá dado por K(s)= (b s + 1)/(a s + 1), donde

Si r1=1: a=1, b=1/2 .	Si r1=2: a=1, b=2/3
Si r1=3: a=2, b=1/2,	Si r1=4: a=2, b=2/3

1. Obtener con Simulink la respuestas frente onda cuadrada (escalones), es decir obtener y dibujar la salida (continua) de la planta G(s), volcada sobre y1(t), y la salida (continua) del regulador K(s), volcada sobre u1(t)   ¿Cuál es la sobreoscilación SO1?

Apartado 2. Sistema digital.

Considerar el sistema digital tal y como se dibuja en la página anterior. Los muestreadores se realizan con 'Zero-Order Hold' y los mantenedores con 'Rate Transition'. Poner un periodo

```
T=0.25;
```

2a: A partir del regulador analógico K(s) obtener el digital D(z) mediante la regla:

Si r2=1: Derivada hacia atrás
Si r2=2: Derivada hacia adelante
Si r2=3: Trapezoidal (Tustin)
Si r2=4: Numerador (b s+1) por derivada hacia atrás y Denominador (a s+1) hacia adelante

Con el regulador anterior, obtener la salida continua y2(t) de la planta continua y la salida mantenida u2(t) del regulador digital.

Dibujarlos comparativamente: y1 frente y2, u1 frente u2

Subir y bajar T para ver el efecto

2b: Encontrar el máximo T=Tc (menor frecuencia fc=1/Tc) que garantiza un error por digitalización Err_Max = max(abs(y1–y2)) acotado por

Si r3=1: Err_Max < 0.1	Si r3=2: Err_Max < 0.2
Si r3=3: Err_Max < 0.3	Si r3=4: Err_Max < 0.4

Apartado 3. Sistema en tiempo discreto.

¿Existe un tercer sistema en tiempo discreto que reproduce exactamente el sistema del apartado 2 en los instantes de muestreo? Decir en la hoja de resultados cómo sería el sistema.