Ingeniería de Control II

Práctica 2:
Diseño de reguladores por síntesis directa

D. Copaci, C. Monje, M. Malfaz, J. Muñoz,
L. Moreno, S. Garrido

31 de enero de 2025

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid
OpenCourseWare

1. Sistemas de control digital

Los reguladores en un sistema de control pueden ser implementados utilizando varias técnicas y componentes, p.e: sistemas mecánicos, sistemas hidráulicos, circuitos electrónicos analógicos ó digitales, y también mediante microprocesadores. En comparación a los componentes analógicos estos últimos tienen una respuesta relativamente lenta; sin embargo, el continuo desarrollo de microprocesadores más rápidos hace que en la práctica esta limitación desaparezca, otorgándonos una gran versatilidad en el diseño y sintonía de los parámetros del regulador. En general, la topología típica a considerar en el caso de los sistemas de control digital es la que se muestra en la Figura 1.

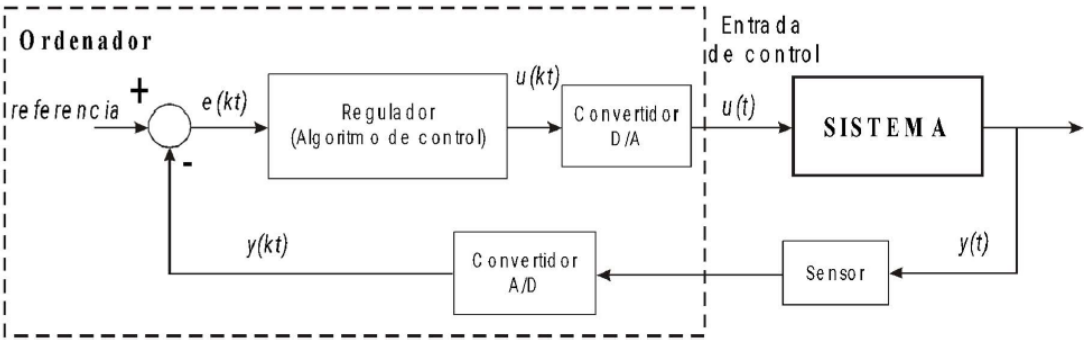

Figura 1: Sistema de control digital con microprocesador

En general, en los sistemas de control digital es necesario el uso de convertidores analógico/digitales (A/D) y digitales/analógicos (D/A), puesto que las señales E/S del ordenador son digitales y la planta o proceso a controlar normalmente utiliza señales analógicas (Figura 1). Ambos convertidores muestran la señal cada Ts segundos, donde Ts es el tiempo de muestreo y es uno de los parámetros más importantes a considerar en el diseño de los sistemas de control digitales.

En el sistema de control digital de la Figura 1, el regulador es un programa de alto o bajo nivel que se ejecuta sobre un procesador dedicado con el mínimo equipamiento hardware necesario para realizar las tareas de control ó como en nuestro caso sobre un ordenador personal.

2. Diseño de algoritmos de control digitales

2.1 Principios de Discretización

2.1.1. Discretización mediante la transformada Z de G(s)

Los efectos del tratamiento discreto de las señales en un sistema de control digital, y por lo tanto de los convertidores A/D y D/A, pueden modelarse mediante un muestreador-retenedor de orden cero, tal y como se observa en la Figura 2.

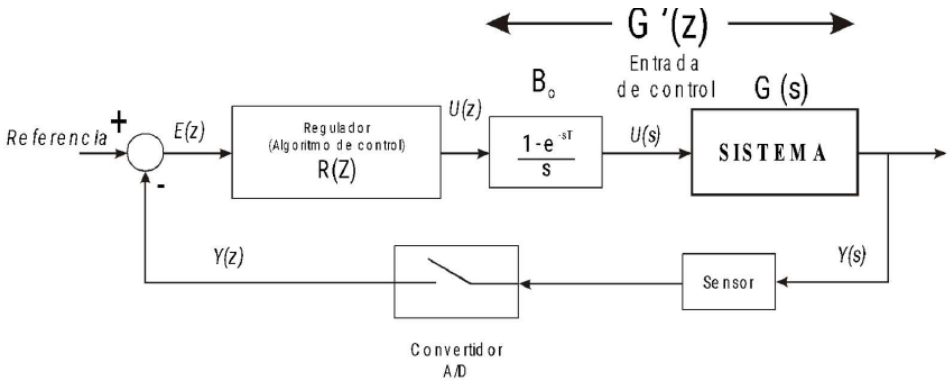

Figura 2: Modelado de un sistema de control digital con un muestreador - retenedor de orden cero

En este caso la función de transferencia en Z del sistema proceso-retenedor viene dada por:

$$G'(z) = Z\left\{\frac{1-e^{-sT_s}}{s}G(s)\right\} = (1-z^{-1})Z\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}. \qquad (1)$$

2.1.2. Tiempo de muestreo

Como se observa en las ecuaciones anteriores en el diseño de reguladores digitales la selección adecuada del valor del período de muestreo T_s es importante y depende del sistema. Un valor de T_s demasiado grande degrada la estabilidad del sistema perdiéndose información sobre las señales si estas cambian rápidamente. Por otro lado, si el valor de T_s es muy pequeño será necesario utilizar convertidores A/D más rápidos y con mayor resolución.
Con el fin de reconstruir adecuadamente la señal muestreada, el teorema de Shannon establece un criterio para la selección de T_s, esto es:

$$\omega_s > 2\omega_b \qquad (2)$$

donde ω_s es la frecuencia de muestreo y ω_b es el ancho de banda de la señal, ambos valores medidos en rad/seg.

También existen reglas prácticas para determinar el tiempo de muestreo. Una muy utilizada por los ingenieros de control es hacer cumplir la siguiente relación:

$$T_s < \frac{T_{dom}}{10} \tag{3}$$

donde T_s es el periodo de muestreo y T_{dom} es la constante de tiempo dominante del sistema. En esta práctica elegimos T_s=T_{dom}/10. Los procesos industriales suelen ser modelados con más o menos precisión como sistemas de primer orden. En estos sistemas la constante de tiempo corresponde al tiempo en el cual la salida alcanza el 0.63 del valor final. En general, los intervalos de muestreo de 1 segundo son adecuados para procesos de flujo, presión, nivel, y temperatura, mientras que los sistemas electromecánicos requieren tiempos de muestreo del orden de los milisegundos.

3. Control de posición de un motor de CC

Cuando se consideran diferentes métodos de actuación y medidas de posición y velocidad, los motores ofrecen ejemplos prácticos de situaciones características de los sistemas de control en tiempo real; además, son relativamente baratos y ofrecen un buen entorno de aprendizaje. Por otro lado, el software desarrollado para el control de motores es aplicable a otros problemas de control haciendo cambios menores en su configuración. En la Figura 3 se muestra un sistema de control simplificado para un motor de corriente continua.

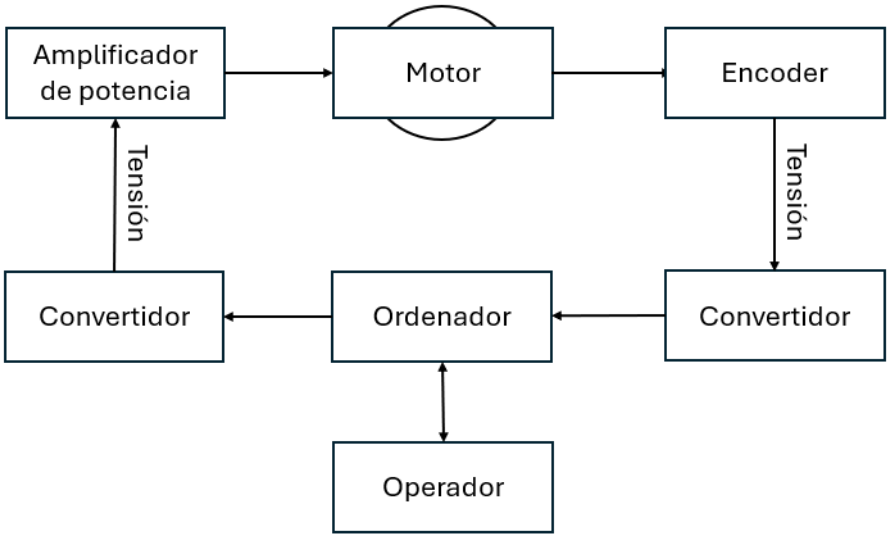

Figura 3: Sistema de control digital de un motor de CC

3.1. El sistema físico

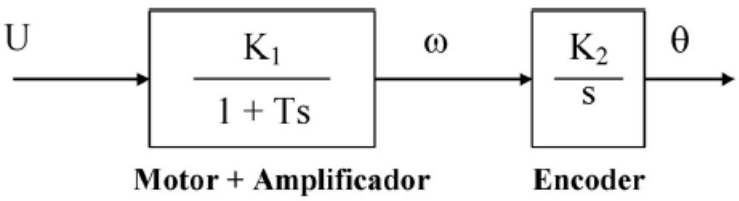

Figura 4: Sistema motor con salida en posición

La función de transferencia en lazo abierto del motor con salida en posición a considerar, según se muestra en la Figura 4, viene dada por:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{K_1}{(1+Ts)}\frac{K_2}{s} \tag{4}$$

, donde K_1,K_2 y T, son las ganancias del motor, el encoder y la constante de tiempo del motor, respectivamente. La identificación de los parámetros del sistema se realiza mediante el análisis de la respuesta temporal del sistema en lazo abierto.

4. Trabajo en simulación

Dado el motor de corriente continua con los siguientes parámetros, según el esquema de la Figura 4: $K_1K_2 = 4{,}20$ y $T = 0{,}12$. Se pide diseñar por síntesis directa el regulador más sencillo que consiga que la función de transferencia en lazo cerrado tenga ganancia unitaria y los polos dominantes del sistema sean los siguientes:

- $p_1 = 0.9$
- $p_2 = 0.8$

Para comprobar los resultados obtenidos en este apartado se puede completar el fichero P2.mlx y ejecutarlo con el botón Run". Para esto, primero posicionar el directorio corriente de Matlab en la carpeta de la práctica (ver Figura 5 y posteriormente abrir desde el directorio corriente el fichero P2.mlx.

P2 - Diseño de reguladores por síntesis directa

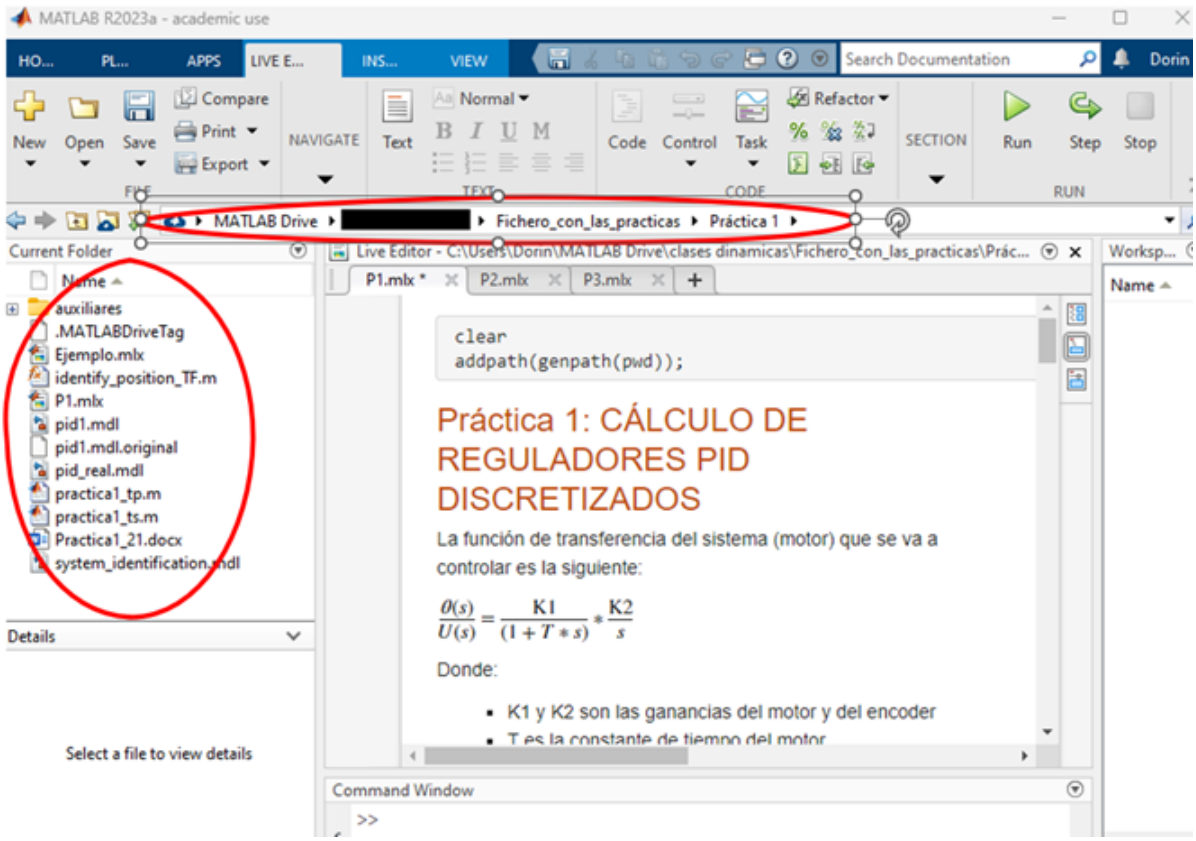

Figura 5: Interfaz Matlab

1. Obtener la expresión del controlador en tiempo discreto, utilizando el método de síntesis directa.

2. Lanzar la herramienta Simulink de Matlab y abrir el fichero "*truxal.mdl*". Una vez hecho esto, familiarizarse con cada uno de los bloques del mismo, identificando la equivalencia entre el sistema de la Figura 4 y su esquema realimentado representado en Simulink.

3. Asignar los valores a cada uno de los bloques según los parámetros dados del motor y los obtenidos para el regulador.

4. Analizar los resultados obtenidos.
   - Representar gráficamente tanto la salida como la acción de control.
   - Medir el tiempo de establecimiento.