

# Ingeniería de Control II

## Práctica 3:

Control de posición de un motor de CC mediante  
realimentación del estado

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

31 de enero de 2025



## 1. Sistemas de control digital

Un motor de CC puede modelarse de manera aproximada como un sistema de segundo orden, descrito por la siguiente función de transferencia:

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

, 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.

Si se analizan las respuestas temporales de velocidad y posición del sistema en cadena abierta es posible identificar los parámetros de la función de transferencia anterior.

A partir de ecuación (1) se obtienen las ecuaciones en variable de estado del motor:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + Bu \quad (2)$$

$$y = C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde:  $x_1 = \theta$ ;  $\dot{x}_2 = \theta$ ;  $u = E_a$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & K_2 \\ 0 & \frac{-1}{T} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_1}{T} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Y para la salida tenemos:

$$y = [1 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

## 1.1 El tiempo de muestreo

Para realizar el control digital del motor es necesario obtener las ecuaciones de estado discretas del sistema, para lo cual debe escogerse un tiempo de muestreo adecuado que depende del sistema a controlar. Este valor se puede escoger aplicando criterios teóricos como el teorema de Shannon ó como en este caso el criterio práctico que establece que el tiempo de muestreo debe ser por lo menos 10 veces menor que la constante de tiempo del sistema.

## 2. Trabajo en simulación

### 2.1. Objetivos de la práctica

Diseñar el sistema de control posición de un motor mediante:

- Realimentación del estado.
- Realimentación del estado ajustando la ganancia estática.

### 2.2. Paso a ecuaciones discretas.

Calcular las matrices de estado discretas G y H del sistema:

El código LaTeX para la ecuación en la imagen sería el siguiente:

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{bmatrix} u(k) \quad (6)$$

Para ello utilizar el comando de Matlab `c2d` con un tiempo de muestreo ( $T_s$ ) igual  $T_s = T_{dom}/10$ . Ejemplo:

- `>> SYS = SS(A, B, C, D)`
- `>> SYSD = c2d(SYS, Ts)`
- `>> [G, H, C, D] = ssdata(SYSD)`

## 4. Trabajo en simulación

Dado el motor de corriente continua con los siguientes parámetros:  $K_1 = 4, K_2 = 1$  y  $T = 0,2$ . Se pide obtener la matriz de realimentación de estado  $K$  necesaria para que el sistema en lazo cerrado cumpla con las siguientes especificaciones:

- $M_p = 15\%$
- $n_s = 12$  muestras

Para poder resolver el ejercicio hay que discretizar previamente el sistema siguiendo los pasos explicados en el apartado 2.2.

*Nota: Es posible utilizar los comandos de Matlab "place" o "acker" para calcular el valor de los elementos de la matriz de realimentación. Ejemplo:*

- `>> p = [p1 p2]`
- `>> k = place(G, H, p)`

Es posible ajustar el error en régimen permanente del sistema mediante una ganancia  $k_0$ . Se pide calcular la ganancia necesaria para que la salida del sistema se estabilice en torno a la señal de referencia. Introducir en el informe final el cálculo completo de esta ganancia. Una vez calculada, modificar en el sistema la ganancia  $k_0$  y comprobar que el error se ha ajustado.

*Para comprobar los resultados obtenidos en este apartado se puede completar el fichero P3.mlx y ejecutarlo con el botón Run". Para esto, primero posicionar el directorio corriente de Matlab en la carpeta de la práctica (ver Figura 1 y posteriormente abrir desde el directorio corriente el fichero P3.mlx.*

# P3-Control por realimentación del estado

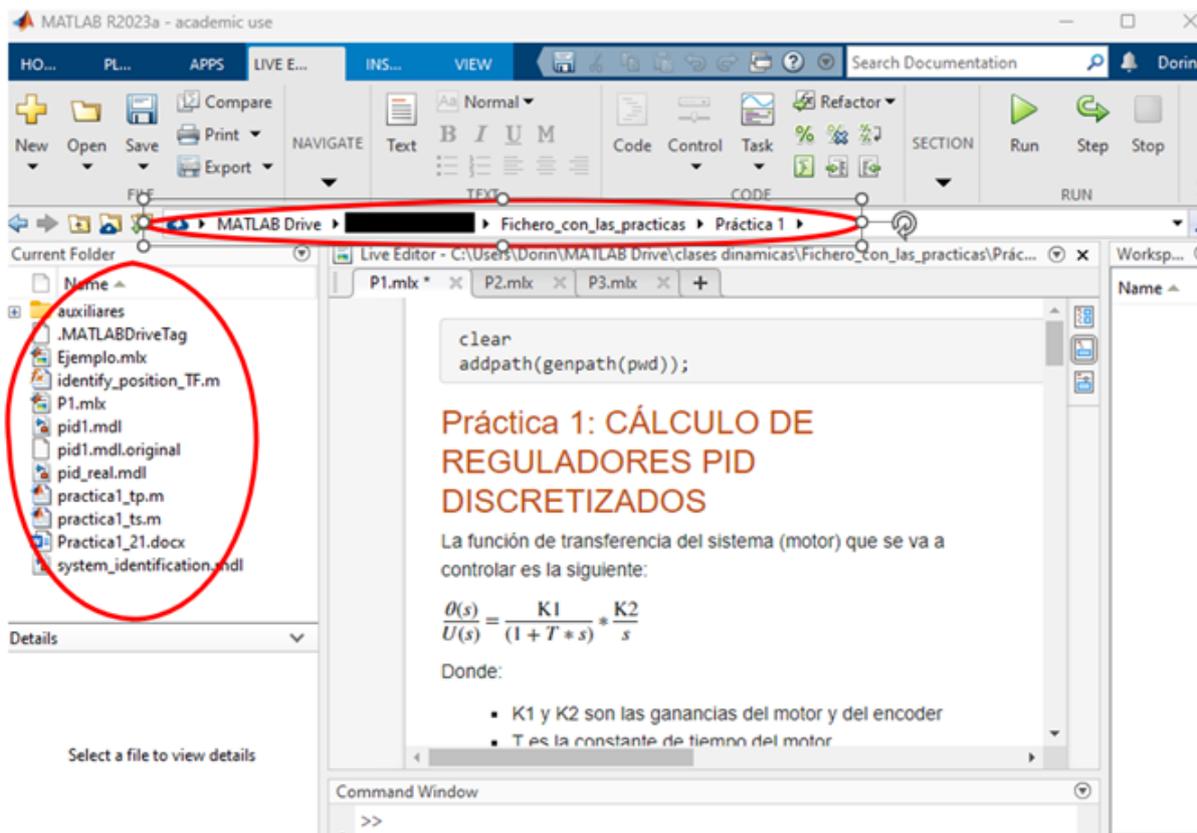


Figura 1: Interfaz Matlab

- 1 Ejecutar la herramienta Simulink, y abrir el fichero "*realiment\_estado.mdl*". Este archivo simula el esquema del motor teniendo en cuenta las variables de estado elegidas tal y como puede verse en la siguiente figura.

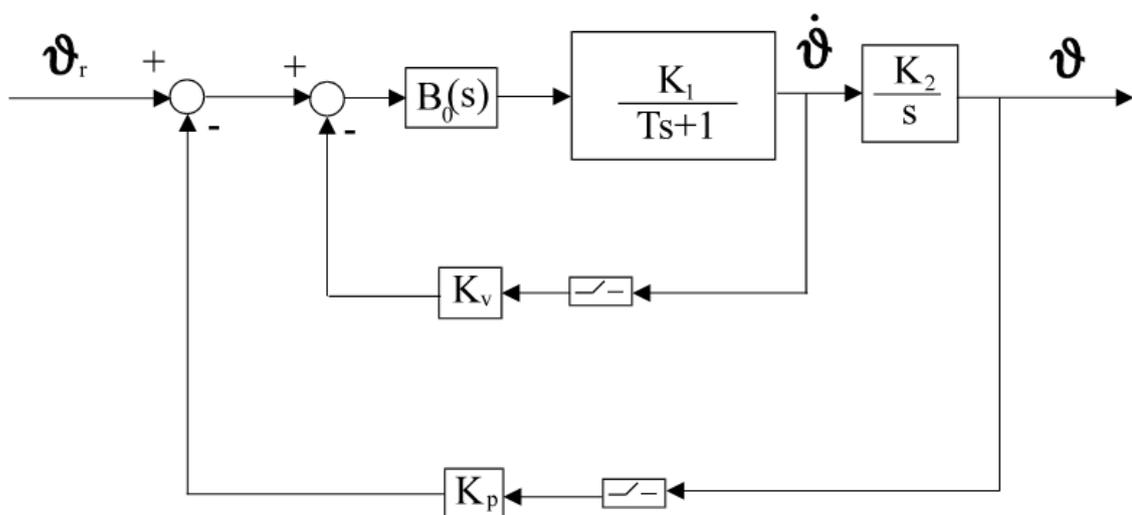


Figura 2: Esquema de realimentación del motor

- 2 Colocar las ganancias calculadas en los bloques correspondientes y simular.

- 3 Analizar los resultados obtenidos.
  - Medir el tiempo de pico y la sobreoscilación de la salida del sistema, así como el número de muestras hasta el establecimiento.
  - ¿Cuál es el valor de la salida una vez estabilizada? ¿Cuánto vale el error en régimen permanente?