UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

SISTEMAS DINÁMICOS Y REALIMENTACIÓN

CONTROL DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Mario de Miguel Domínguez
19 de enero de 2024

Índice

Introducción

El presente documento es un recopilatorio de las respuestas a las cuestiones planteadas en todas las secciones del guion de la práctica de control del motor de Sistemas Dinámicos y Realimentación. Todos los datos experimentales y los modelos se han obtenido o probado con el motor 02.

1 Manejo del motor de continua en lazo abierto

El propósito de esta sección consiste en la elaboración de un modelo del motor que permita leer los valores esperados de la posición y velocidad a través de encoders, en función de una tensión fija aplicada.

1.1 Construcción del modelo

1.1.1 Identificación de las partes del motor

A continuación se incluye una imagen en la que se muestran los diferentes componentes del motor con el que se va a trabajar a lo largo de todas las prácticas.

1. Motor EMG30
2. Placa de desarrollo
3. Placa de expansión
4. Fuente de alimentación

1.1.2 Modelo de Simulink para el manejo en lazo abierto

Para este modelo se empleará un bloque que simulará el motor, que recibirá dos entradas: una analógica representando la tensión que recibe el motor, y una digital que controlará el sentido de giro del motor. A su vez, el motor devolverá dos salidas, representativas de los encoders de posición y velocidad, respectivamente.

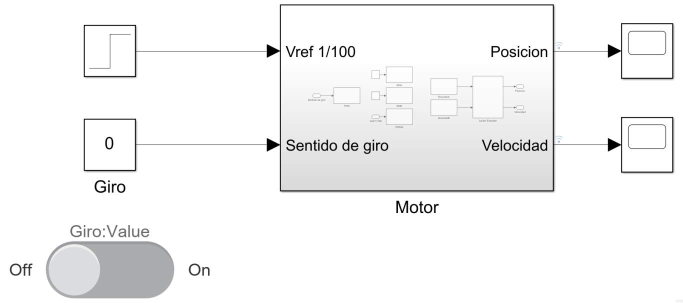

Figura 1: Modelo completo del motor en Simulink

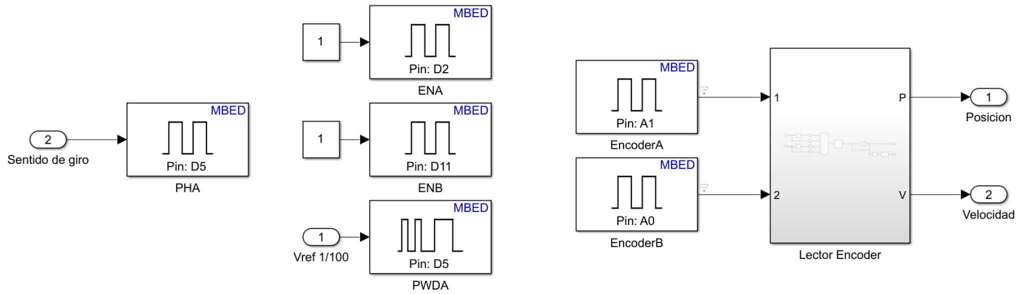

Figura 2: Bloque del motor

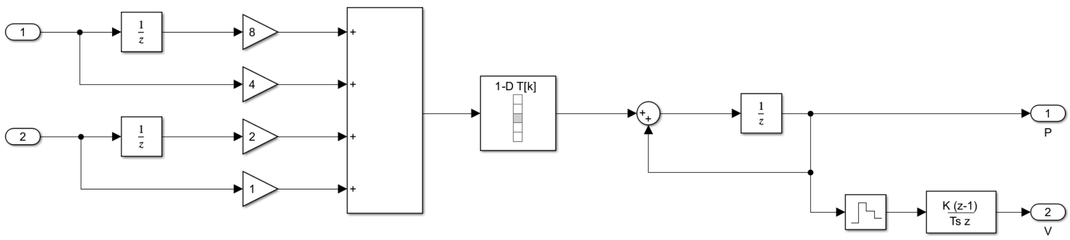

Figura 3: Bloque de lectura de los encoders

1.2 Identificación del motor

1.2.1 Cálculo de la funciones de respuesta

A continuación se calcularán las funciones de respuesta de posición y velocidad del motor a partir del modelo en variables de estado y de la función de transferencia. Para el modelo en variables de estado, se tiene que

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -p \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ k_e \end{bmatrix} V, \tag{1}$$

de donde se deducen las ecuaciones diferenciales

$$\dot{\theta}(t) = \omega(t), \tag{2}$$
$$\dot{\omega}(t) = -p\omega(t) + k_e V. \tag{3}$$

Nótese que hemos definido la tensión de entrada $e(t)$ como una entrada escalón de valor V. Basta con resolver las ecuaciones anteriores imponiendo como condición inicial que $\omega(0) = 0, \theta(0) = 0$ para obtener las expresiones de respuesta:

$$\omega(t) = V\frac{k_e}{p} - \frac{k_e}{p}e^{-pt}, \tag{4}$$
$$\theta(t) = V\frac{k_e}{p^2}e^{-pt} + V\frac{k_e}{p}t - V\frac{k_e}{p^2}. \tag{5}$$

Inmediatamente se comprueba que la expresión 5 es la misma que la ecuación 3.14 del guion. Para calcularlo a partir de la función de transferencia de la posición

$$\theta(s) = \frac{k_e}{s(s+p)}e(s) \tag{6}$$

primero hay que calcular la transformada de Laplace de la entrada $e(t) = V$. Como V es una constante, fácilmente se obtiene $e(s) = \mathcal{L}(V) = \frac{V}{s}$. Una vez aplicada esta transformación, se pueden calcular las funciones de respuesta, resultando

$$\theta(t) = \mathcal{L}^{-1}[\theta(s)] = \frac{Vk_e}{p}t - \frac{Vk_e}{p^2} + \frac{Vk_e}{p^2}e^{-pt}, \tag{7}$$

$$\omega(t) = \dot{\theta}(t) = \frac{Vk_e}{p} - \frac{Vk_e}{p}e^{-pt}, \tag{8}$$

que son expresiones idénticas a las obtenidas a partir del modelo en variables de estado (ecuaciones 5 y 4).

1.2.2 Estimación de los valores de k_e y p del motor

A continuación se va a tratar de obtener los parámetros del motor utilizando el modelo de Simulink de lazo abierto (Ver sección 1.1.2).

1.2.3 Comparación de los datos reales con el modelo de Simulink

Se presenta en la siguiente figura el modelo desarrollado en Simulink, incluyendo los parámetros p y k_e, construido a partir de las ecuaciones 2 y 3.

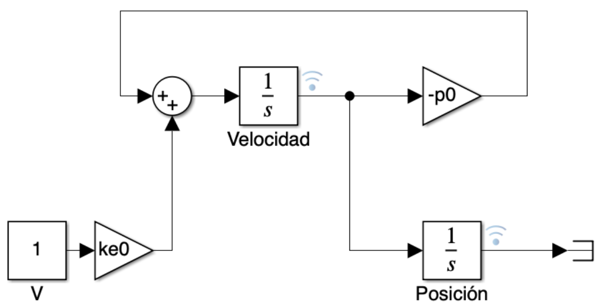

Figura 4: Modelo de Simulink para comprobar los valores obtenidos de k_e y p

Del anterior modelo se observan las señales de salida de los integradores "Velocidad" y "Posición". Seguidamente se grafican estas señales junto a aquellas obtenidas inicialmente del motor para ciertos valores de tensión, por ejemplo 2, 6 y 12 V, a fin de observar discrepancias entre ellas.

Como se puede apreciar, tanto las señales del modelo como las medidas con el motor real coinciden, dando a entender que los parámetros estimados son adecuados para el motor.

2 Control del motor por realimentación de estados estimados

2.1 Modelo completo del motor

En primer lugar, se procede a construir un modelo más completo que el modelo de motor ideal elaborado al final de la sección anterior, que incluya también un modelo para simular los encoders y la alimentación con señales de PWM. Para la lectura de los encoders, se reutilizará el bloque de lectura empleado para el manejo en lazo abierto.

i) Modelo del sistema de alimentación

El sistema de alimentación tratará de simular las señales de PWM (Pulse-Width Modulation) que recibe el motor desde la placa. Entonces, se empieza por construir un bloque que genere una señal con las mismas características.

Anexo I: Código empleado para las prácticas

Cálculo de funciones de transferencia

ecs.m

```
syms ke s p V w(t) theta(t) E(s) thetalap(t)
%Defino las ecuaciones diferenciales para resolver w (velocidad),
%theta (posición) y las resuelvo
%Primero la velocidad
eqvel = diff(w, t) == -p*w + ke * V
wsol = dsolve(eqvel, w(0) == 0)

%Y luego la posición
eqpos = diff(theta, t) == wsol
thetasol = dsolve(eqpos, theta(0) == 0)

%Calculo la transformada de laplace de e(t) = V
E(s) = laplace(V, t, s)
%Calculo la transformada inversa de la función de transferencia Th(s)
Th = ke /(s * (s + p)) * E(s)
thetalap(t) = ilaplace(Th)

wlap = diff(thetalap(t), t)
```