Sistemas y Señales II
Trabajo Práctico Nro. 1 – Análisis de Sistemas Lineales

Dr. Hernán Haimovich, Dr. Gustavo Migoni, Ing. Mario Bortolotto

1. Sistemas en Tiempo Continuo

La siguiente figura muestra un esquema de un Motor de Corriente Continua (MCC) con flujo de excitación constante.

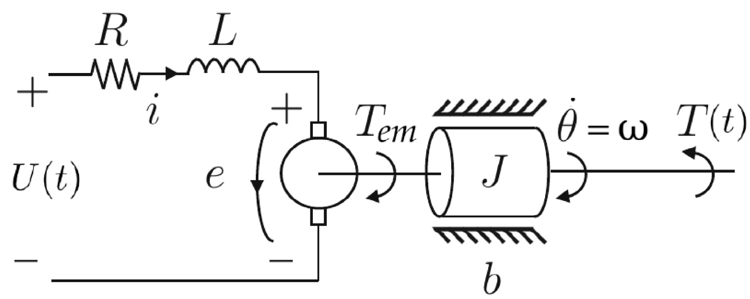

Figura 1: Diagrama esquemático de un MCC con flujo de excitación constante

Para el mismo se cumplen las siguientes ecuaciones de conversión electromagnética-mecánica:

$$e = K\omega$$
$$T_{em} = Ki$$

El siguiente Diagrama de Bloques (DB) representa un modelo dinámico del motor anterior.

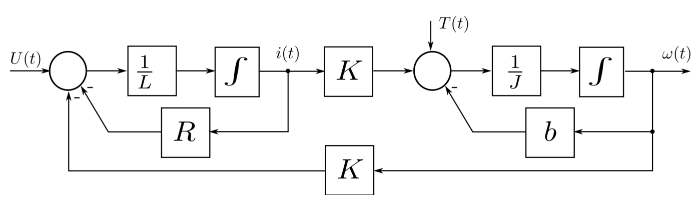

Figura 2: Diagrama de bloques del MCC con flujo de excitación constante

El DB de Figura 2 involucra las siguientes variables:

U:	Tensión de armadura.
i:	Corriente de armadura.
ω:	Velocidad angular del eje.
T:	Torque de carga.

y los siguientes parámetros:

R:	Resistencia de armadura.
L:	Inductancia de armadura.
K:	Constante de conversión electromagnética-mecánica.
J:	Momento de inercia del eje.
b:	Coeficiente de fricción viscosa.

Las variables $U(t)$ y $T(t)$ son entradas del sistema. Siendo la evolución de la velocidad angular $\omega(t)$ de interés para el análisis del movimiento de este MCC, se elige $\omega(t)$ como variable de salida.

Aplicando un escalón de tensión de armadura de $440\,V$ $(U(t) = 440\mu(t))$ estando el motor completamente desenergizado (con condiciones iniciales nulas), y con torque de carga nulo ($T \equiv 0$), se obtiene la evolución de la velocidad angular ω mostrada en la Figura 3.

Trabajo previo: Los puntos 1, 2, 3a, 3b, 7a y 7b del desarrollo indicado abajo deben ser calculados y realizados previamente a la sesión correspondiente del trabajo práctico.

IMPORTANTE: Para evitar problemas de compatibilidad de versiones, grabe los modelos que construya para versión 7.1 de Simulink (Matlab R2008a) o anterior.

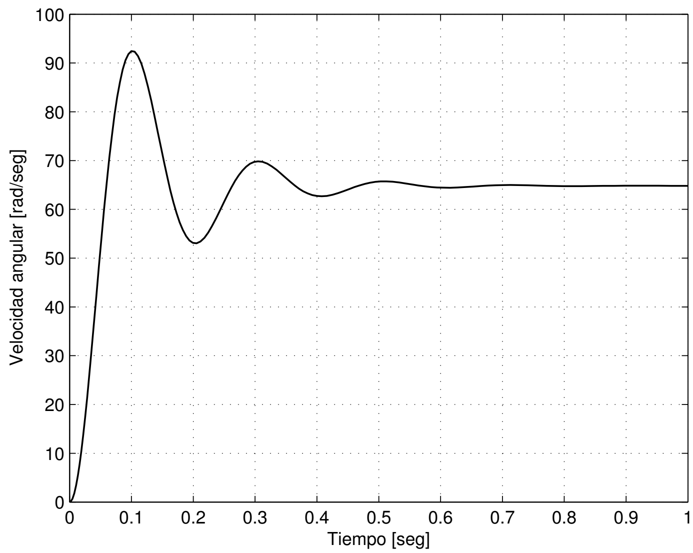

Figura 3: Evolución de la velocidad angular ω del sistema de la Figura 2.

Desarrollo:

1. A partir del DB de la Figura 2 , obtenga las Funciones Transferencias (FTs) que relacionan $U(t)$ con $\omega(t)$ y $T(t)$ con $\omega(t)$ para valores genéricos de los parámetros.

2. Si se sabe que $J = 15\,Kgm^2$ y $b = 1.1\,Nms/rad$, calcule los valores de los parámetros restantes.

3. *a*) Construya el DB de la Figura 2 en Simulink (un ejemplo se muestra en la Figura 4). Coloque en los bloques los nombres de los parámetros y no sus valores.

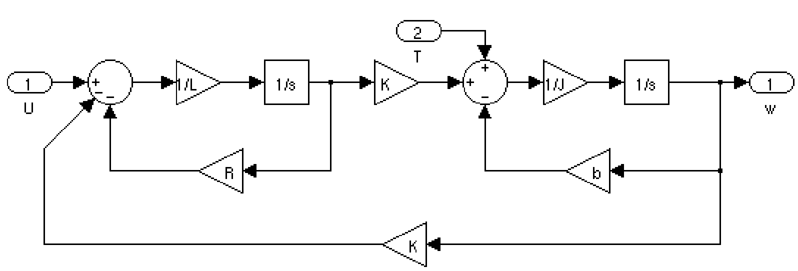

Figura 4: DB en Simulink del sistema de la Figura 2.

   b) Defina los valores de los parámetros en un script.

4. *a*) Obtenga las FTs $U \to \omega$ y $T \to \omega$ con MATLAB.
   b) Simule el MCC para un escalón de $440\,V$ en U.
   c) Compare la evolución de $\omega(t)$ con la gráfica de Figura 3. Verifique que sus cálculos del punto 2 sean correctos.
   d) Grafique $i(t)$ (eje "y") vs. $\omega(t)$ (eje "x").

5. Simule ahora el MCC con la tensión $U = 0$ para un escalón de $1\,Nm$ en $T(t)$. Grafique nuevamente $i(t)$ vs. $\omega(t)$. Compare la forma de la evolución con la obtenida en el punto $4d$).

6. Coloque condiciones iniciales $\omega(0) = 65\,rad/s$ e $i(0) = 10\,A$ y simule ahora con las entradas $U(t)$ y $T(t)$ nulas. Grafique nuevamente $i(t)$ vs. $\omega(t)$ y compare con las gráficas obtenidas en $4d$) y 5. ¿Qué similaridades y diferencias observa y a qué se debe?

7. La Figura 5 muestra al MCC con un controlador Proporcional Integral (PI) cuya FT es:

$$G_c(s) = \frac{5}{16} \cdot \frac{s+16}{s}$$

Este controlador se encarga de variar la entrada $U(t)$ del motor en función del error entre una referencia de velocidad $v(t)$ y la velocidad angular $\omega(t)$ del motor.

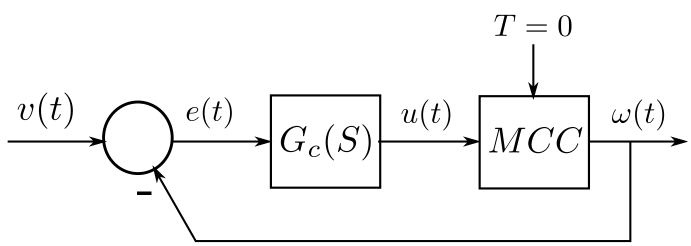

Figura 5: Esquema del motor con un control PI de velocidad.

   a) Construya el DB del MCC con el controlador.
   b) Obtenga la FT $v \to \omega$ y nómbrela $G_{mc}(s)$.
   c) Calcule los polos de la FT $G_{mc}(s)$.
   d) A partir de los cálculos anteriores, ¿puede estimar la forma cualitativa de la evolución de $\omega(t)$ cuando $v(t)$ es un escalón de $60\,rad/s$? Justifique.
   e) Verifique su estimación anterior simulando el DB realizado en Simulink.

Comandos útiles: `tf, step, dcgain, pole, zero, ltiview, linmod`.

Observación: En Simulation → Model Configuration Parameters → Data Import/Export pueden aumentar el *Refine factor* (en 1 por defecto). El mismo permite aumentar el número de puntos interpolados entre los pasos de la simulación de modo de generar una salida más suave sin la necesidad de incrementar la cantidad de pasos.

2. Sistemas en Tiempo Discreto

En muchos casos los sistemas de tiempo continuo, como el MCC anterior, se controlan mediante un sistema digital como ser un sistema electrónico con un microprocesador o una PC. Para conectar un sistema continuo (analógico) con uno discreto (digital) se requiere convertir las señales continuas en discretas y viceversa. Para esto se utilizan las operaciones de *muestreo* y *retención*. El muestreo convierte una señal de tiempo continuo en una de tiempo discreto mediante la obtención de muestras (valores de la señal en instantes específicos). La retención realiza la conversión opuesta generando, de alguna manera determinada, los valores de la señal continua entre las muestras.

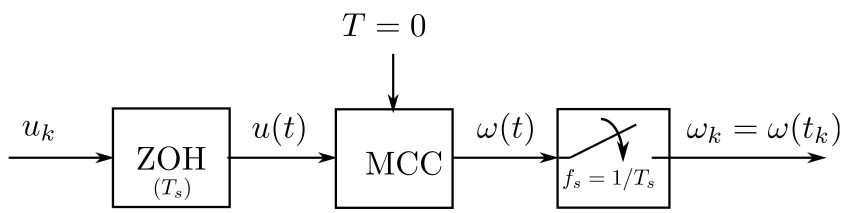

Figura 6: Esquema del motor muestreado.

La Figura 6 muestra el MCC anterior, donde la tensión de armadura aplicada es el resultado de la retención de las muestras U_k y la velocidad angular medida, ω_k, surge del muestreo de $\omega(t)$. El tiempo que transcurre entre muestras consecutivas recibe el nombre de *período de muestreo* y se denota T_s.

Al aplicar un escalón (discreto) de $440\,V$ en U_k , se obtiene la evolución de ω_k que se muestra en la Figura 7, para un período de muestreo $T_s = 0.01\,s$ y con torque de carga nulo.

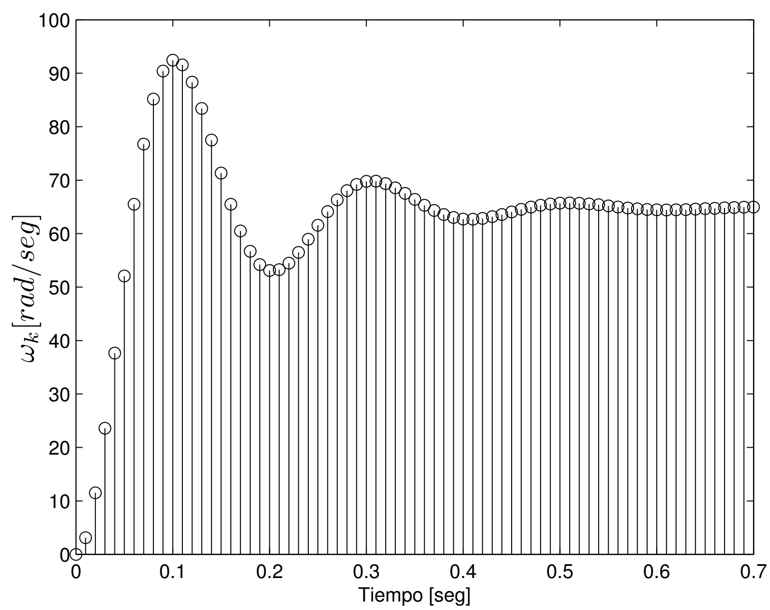

Figura 7: Evolución de ω_k para un período de muestreo $T_s = 0.01\,s$.

Trabajo previo: Los puntos 1 y 3 del desarrollo indicado abajo deben ser calculados y realizados previamente a la sesión de trabajo práctico correspondiente.

1. Identifique la FTD que relaciona la entrada U_k con la salida ω_k. Indique sus polos.

2. A partir de la FTD, obtenga un juego de EED. Calcule los autovalores de la matriz de evolución y compárelos con los polos de la FTD.

3. Construya el modelo del sistema en tiempo discreto en Simulink.

4. Simule el modelo construido para un escalón de U_k de $440\,V$. Compare la evolución de ω_k con la de la Figura 7. Verifique que sus cálculos del punto 1 sean correctos.

Comandos útiles: `tf2ss`,`eig`,`stem`.