

- *Se comprobó tanto en la simulación como en la experiencia de Laboratorio que el tiempo requerido para alcanzar la velocidad de régimen no es afectado por la cupla alineal.*
- *Como se puede apreciar en el gráfico de la Fig. 6 la caída de la velocidad en función del tiempo es una recta, efecto debido a la alinealidad de la cupla de rozamiento.*
- *Extrayendo los datos de las mediciones efectuadas en el Laboratorio, se pudo realizar una síntesis matemática, y de ésta manera se encontró la función $B(\omega)$, que modela el fenómeno de rozamiento no lineal.*

Referencias:

1. William S. Levine, "The Control Handbook". CRC – IEEE Press. 2004.
2. Holger Kantz and Thomas Schreiber, "Nonlinear Time Series Analysis". Cambridge 2004.
3. Robert C. Hilborn, "Chaos and Nonlinear Dynamics and Introduction for Scientists and Engineers", Oxford, 2000.
4. Hairer E., Norsett S., Wanner G. Solving of ordinary differential equations. Non-stiff problems. / Trans from engl., - M.:Mir, 1990.
5. Bequette, B. W, "Nonlinear Control of Chemical Processes: A Review", Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 30, No. 7, pp. 1391-1413, 1991.

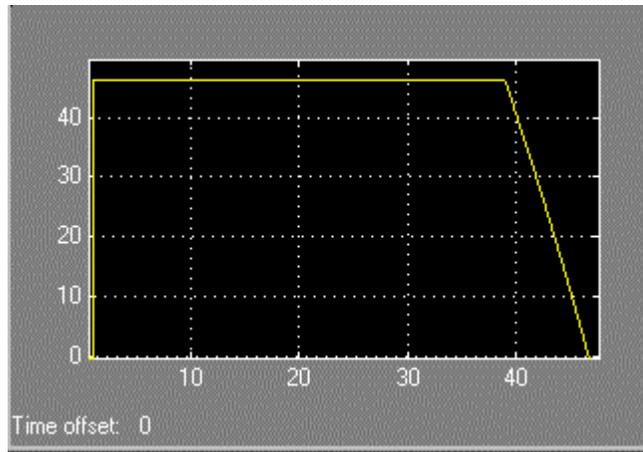


Figura 6. Respuesta temporal para $B(\omega)$ [Rozamiento no lineal].

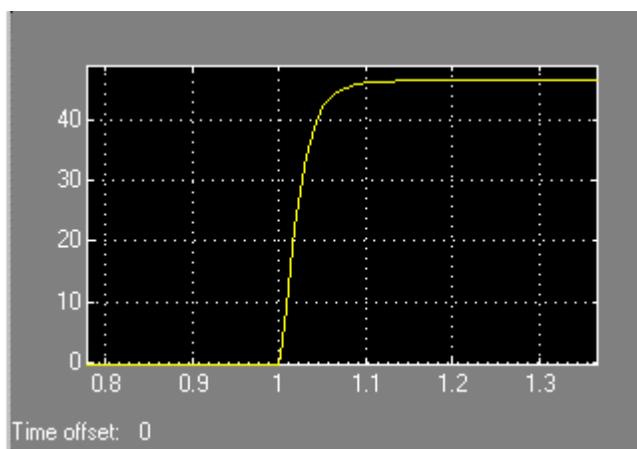


Figura 7. Ampliación del flanco ascendente de la curva de la Fig. 6

Conclusiones:

- *Queda demostrado tanto en la simulación como en la experiencia de laboratorio, que la dinámica de un reductor mecánico integrado a un motor(como el utilizado), imprime una cupla alineal, sobre todo a bajas velocidades, y siendo dicha característica compleja, requerirá conocer acabadamente la física del modelo para su implementación.*

Como se observa en la figura 4, el descenso de la velocidad angular, al quitar la excitación de armadura, es exponencial, lo cual está de acuerdo con el modelo lineal del motor integral, pero que no corresponde con lo observado experimentalmente. Esta observación, es un indicio de que el motor utilizado en el laboratorio tiene un *par de rozamiento que no es lineal*, el cual ocasiona que la velocidad angular disminuya según una recta (de acuerdo a la figura 2).

En la figura 5 se indica el diagrama de simulación, donde se ha incluido la función no lineal $B(\omega)$ tal que multiplicada por la velocidad angular ω , produce una *cupla de rozamiento no lineal* $TB(\omega)$.

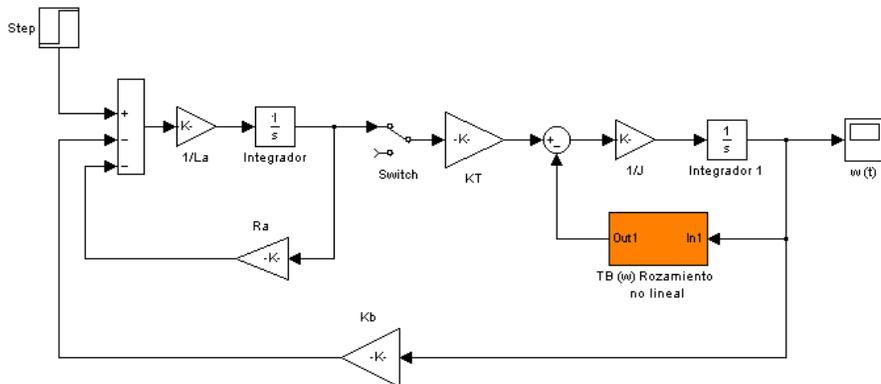


Figura 5. Diagrama de simulación para $B(\omega)$ (Rozamiento no lineal)

Realizando la simulación dinámica del modelo de la figura 5, se obtiene el resultado indicado en la figura 6. Como se observa, la dinámica de la figura 6 coincide con la obtenida experimentalmente en el laboratorio para el motor real (ver Fig. 2). Esto confirma que el motor utilizado en el laboratorio con tren reductor integral incorporado posee un rozamiento “no lineal” que hemos modelado adecuadamente, como se indica en la figura 5 y el resultado en la figura 6.

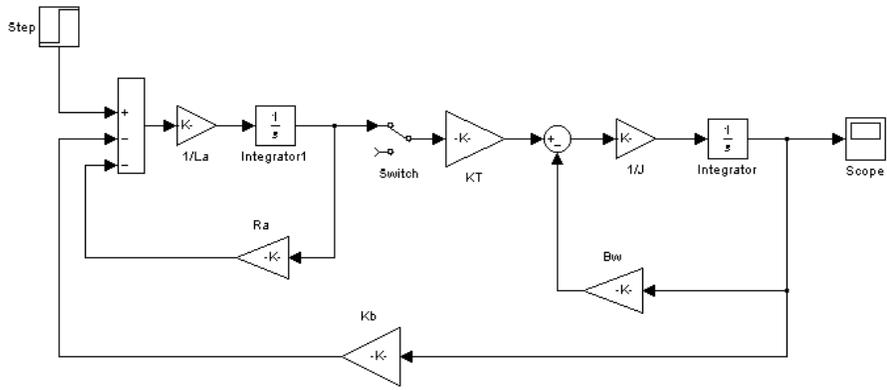


Figura 3. Diagrama de Simulación para $B = \text{Cte.}$ (Rozamiento lineal).

Estando el interruptor cerrado, se aplica un escalón de tensión en la armadura, con lo cual la velocidad angular aumenta hasta llegar a estacionario. Una vez allí se abre el interruptor y, la velocidad angular disminuye hasta detenerse. El comportamiento dinámico de la velocidad se indica en la figura 5. Esto confirma que el modelo dinámico de la Figura 3 no puede explicar el comportamiento del motor real, observado en el laboratorio y ratificada por la curva experimental indicada en la figura 2.

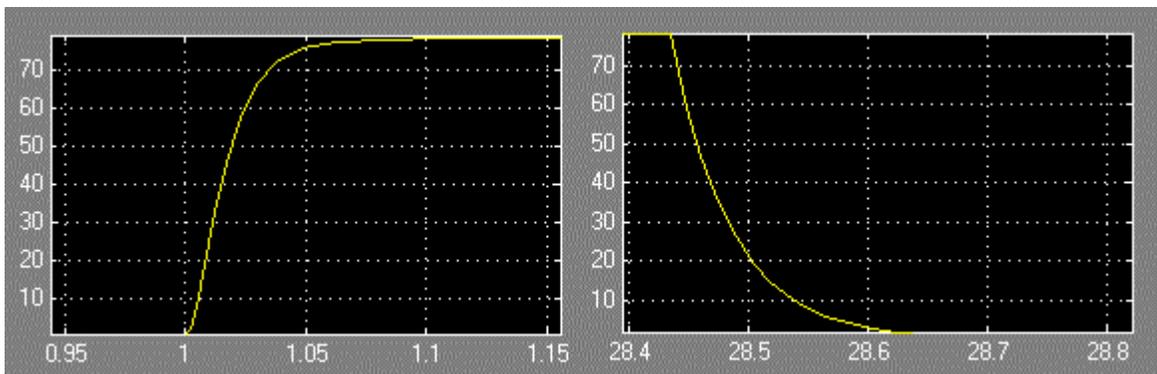


Figura 4. Respuesta temporal para $B = \text{Cte.}$ (Rozamiento lineal)

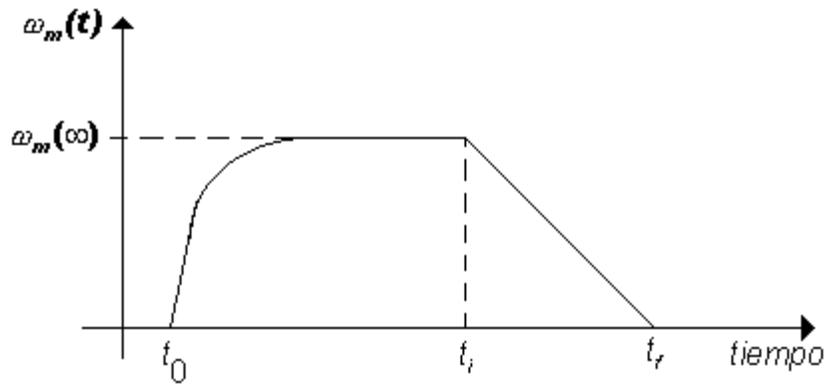


Figura 2. Ascenso y descenso de la velocidad angular del motor ensayado.

Como se observa en la figura 2 el ascenso de la velocidad es exponencial, en cambio el descenso es lineal. Para poder explicar el comportamiento observado se requiere el planteo de un modelo matemático adecuado para el dispositivo “motor”. El modelo es el siguiente:

$$L_a \frac{di_a(t)}{dt} = -R_a i_a(t) - k_b \omega_m(t) + e_a(t) \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega_m(t)}{dt} = -B(\omega_m) \omega_m(t) + k_T i_a(t)$$

Como el motor en consideración, tiene un tren de engranajes reductor integral e incorporado, que no puede desmontarse para realizar el ensayo, consideraremos que dicho tren introduce una cupla de rozamiento que modelaremos de dos maneras:

- Cupla de rozamiento lineal, $B=\text{constante}$.
- Cupla de rozamiento no-lineal, $B=f(\omega_m)$.

El modelo matemático indicado en (1), se simulará utilizando Matlab, a los fines de resolver convenientemente el comportamiento dinámico. El esquema de simulación utilizado, para $B=\text{constante}$, se indica en la Figura 3.

Introducción:

El sistema electromecánico utilizado, consiste en un motor de corriente continua con generatriz taquimétrica incorporada e integrada al mismo y con dos ejes de salida:

- Un eje para acoplamiento de la carga.
- Otro eje, con un tren de engranajes incorporado e integral, para acoplar el sensor potenciométrico de salida.

Un esquema de lo indicado precedentemente se muestra en la Figura 1.

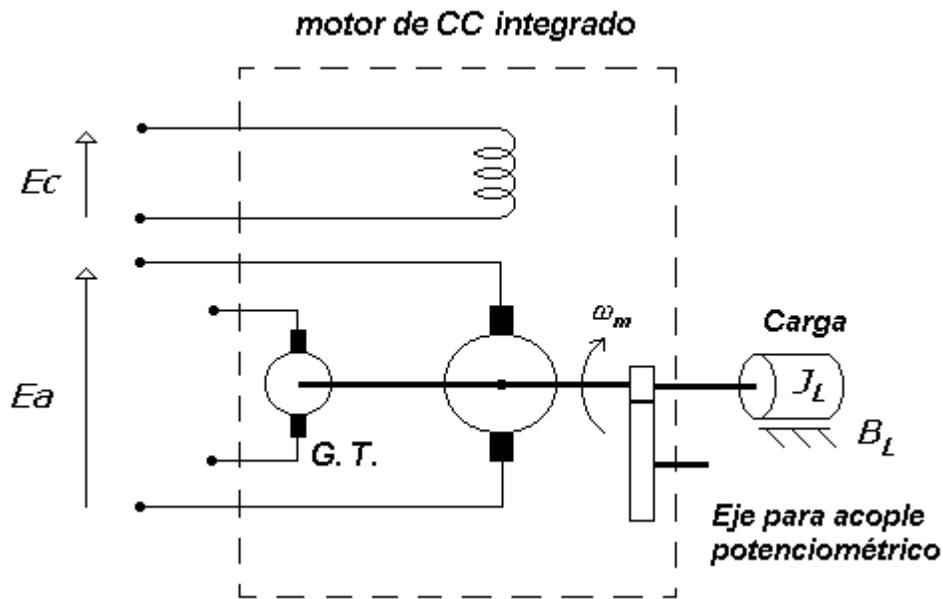


Figura 1. Esquema del motor utilizado en el experimento de Laboratorio

Conectando el campo a una tensión constante y alimentando la armadura con una tensión E_a , en $t=t_0$, se cierra el interruptor de armadura, con lo cual la velocidad ω_m del motor aumenta llegando a un valor constante de “régimen permanente”. Con el motor en este estado, en $t=t_i$, se abre el interruptor de armadura, realizándose un registro de la velocidad angular del eje de salida. El resultado se indica en la gráfica de la Figura 2.

INFLUENCIA DEL ROZAMIENTO NO LINEAL EN EL COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UN SERVOMOTOR

Ing. A. M. Mariani, Lic. E. Ciccolella

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires
Departamento de Electrónica. Grupo de Investigación en Simulación y Control
Av. Medrano 951 C1179AAQ, Buenos Aires, República Argentina
amariani@electron.frba.utn.edu.ar
eciccolella@fra.utn.edu.ar

Resumen:

Durante una experiencia de Laboratorio, cuyo fin era determinar la Función Transferencia de un servomotor de Corriente Continua, para utilizar en un lazo de control de posición y velocidad, se observó que estando el motor en régimen estacionario de velocidad y, quitando la excitación de armadura, la misma disminuía linealmente en función del tiempo (desaceleración constante). Este comportamiento no era compatible con el modelo lineal del sistema, de manera que efectuamos el estudio de la aparente incompatibilidad, proponiendo un modelo adecuado para explicar dicho comportamiento. De ésta manera hemos determinado una cupla de rozamiento función de la velocidad, que introducida en el modelo matemático reproduce en la simulación del mismo, lo observado experimentalmente en el laboratorio.

Abstract:

During a experience of Laboratory, whose aim was to determine the Transfer Function of an actuator (servomotor) of DC, to use in a position and speed control, it was observed that being the motor in stationary state of speed and, removing the armature excitation, the same one it diminished linearly based on the time (constant deceleration). This behavior was not compatible with the linear model of the system, so that we carried out the study of the apparent mutual incompatibility, proposing an suitable model to explain this behavior. Of this one way we have determined one friction moment, function of the speed, that introduced in the mathematical model reproduces in the simulation of the same one, the observed thing experimentally in the laboratory.