

Capítulo 1

Control de un motor de corriente continua.

1.1. Resumen de la Prácticas

El objetivo de esta primera práctica es el análisis de un motor de corriente continua controlado por inducido. Para ello, se utilizarán los sistemas electrónicos ya conocidos por las prácticas de Análisis Dinámico de Sistemas.

En esta y las siguientes prácticas, se analizarán los problemas relacionados con el tratamiento de las señales provenientes de los sensores, el análisis del comportamiento de los sistemas en cadena abierta, la estrategia apropiada para intentar controlarlos, y la implementación de ese control por medio de reguladores PID. Los objetivos de la práctica son:

- ◆ Analizar la respuesta de sistemas físicos reales.
- ◆ Analizar las necesidades de adaptación de la señal para el control.
- ◆ Analizar los resultados del control, comparando sistemas lineales y no lineales.

1.2. Modelado de un motor de corriente continua

1.2.1. Modelo teórico del motor de corriente continua

El motor es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, empleada en hacer girar el eje. Por tanto un motor tiene dos subsistemas: uno eléctrico, donde la energía eléctrica se transforma en fuerza contraelectromotriz, y otro mecánico, donde el par mecánico se materializa en forma de velocidad de giro del eje.

Las variables que entran en juego en un motor de corriente continua son:

θ ángulo del eje de salida

ω_m velocidad angular del eje del motor

ω_o velocidad angular del eje de salida

R_t Relación de transmisión entre ambos ejes

T_m Par generado por el motor

T_o Par en el eje de salida

J_m Momento de inercia del motor

J_o Momento de inercia de la carga

B Par resistente del motor

Si se empieza a estudiar el sistema desde el final, vemos que el eje del motor se acopla a un eje de salida donde va la carga que el motor debe mover. Ello se hace a través de un acoplamiento reductor. La velocidad de giro del eje al que se acopla la carga, ω_o , así como la potencia mecánica en el mismo se relacionan con la velocidad del eje del motor, y la potencia disponible en el mismo.

La parte mecánica (la reductora) implica una modificación del par y la velocidad en el eje de salida, manteniendo constante la potencia:

$$\omega_m = R_t \omega_o$$

$$T_o = R_t T_m$$

El par motor creado eléctricamente depende directamente de la corriente de estator I_m , que se genera dentro del motor:

$$T_m = K_m I_m$$

Y ese mismo par mueve las inercias J_o y J_m , así como la resistencia B:

$$T_m = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + \frac{J_o d\omega}{dt}$$

Igualando ambas ecuaciones, se obtiene la ecuación mecánica del motor, que expresada a través de la transformada de Laplace resulta:

$$I_m(s) = \omega_o(s) \frac{J_{eq}s + BR_t}{K_m R_t}$$

Donde J_{eq} es la inercia equivalente vista desde la salida del engranaje ($J_{eq} = R_t^2 J_m + J_o$).

Es necesario otro paso, dado que no podemos manejar a nuestro antojo la corriente I_m sino es a través de una tensión de entrada o consigna V_i . Del circuito eléctrico del motor obtenemos:

$$V_i = R_m I_m + L_m \frac{dI_m}{dt} + K_m R_t \omega_o$$

$$V_i(s) - K_m R_t \theta(s) = (R_m + L_m s) I_m(s)$$

Expresando cada una de las ecuaciones por medio de un diagrama de bloques, se obtiene la representación mostrada en la figura 1.1:

El resultado es una función de transferencia de 2º orden para $\frac{\omega}{V_i}(s)$ y de 3º orden para $\frac{\theta}{V_i}(s)$

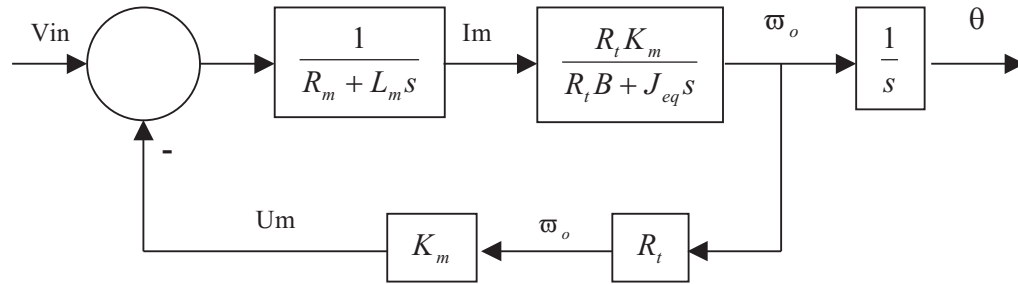


Figura 1.1: Diagrama de bloques de un motor de corriente continua.

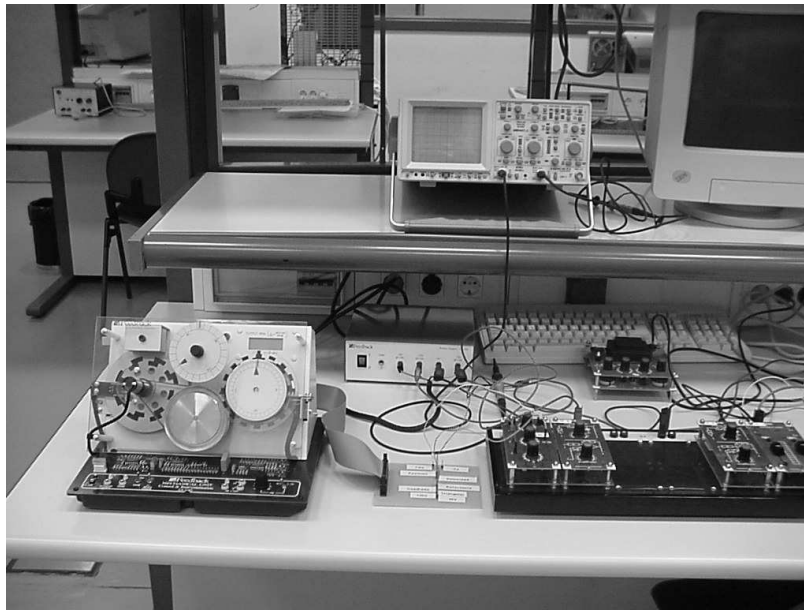


Figura 1.2: Imagen del motor de corriente continua conectado a los módulos electrónicos.

1.2.2. Arranque del motor, y conexión a los módulos de control

El motor está alimentado desde una fuente de tensión de +15V, +5V, 0V, -15V. Dado que las tensiones de alimentación coinciden con las usadas por los módulos electrónicos, se usará esta fuente para alimentar ambos equipos, uniendo para ello los bornes del generador de señales con los correspondiente de la placa de alimentación de los módulos. Es **IMPRES-CINDIBLE extraer primero de los mismos el generador de señales**. Ambos bloques suponen una pérdida de información en las señales de control que actúan sobre el sistema, que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el regulador discreto.

Para la conexión de las señales de control y de los sensores entre los módulos y el motor se dispone de una tarjeta externa desde la que se pueden cablear los contactos hacia los módulos electrónicos.

1.2.3. Identificación del modelo del motor en cadena abierta.

En primer lugar se procederá a la identificación de la función de transferencia del motor en cadena abierta, aplicando para ello una entrada escalón de la frecuencia que se considere apropiada. Se identificarán las funciones correspondientes a la relación $\frac{\omega}{V_i}(s)$ y a $\frac{\theta}{V_i}(s)$.

¿Coincide la función de transferencia identificada con la expresión teórica para el motor DC? Razonar las diferencias.

¿Es posible identificar de forma eficaz los parámetros de la parte eléctrica y de la parte mecánica? Intentar llevar a cabo dicha identificación usando para ello la señal I_m

Las funciones de transferencia dependen de un parámetro B, que representa la resistencia ejercida por la carga. Para aplicar esta carga, se usará el freno electromecánico del motor, y se comprobará el efecto del mismo sobre las funciones de transferencia. ¿Qué parámetros de la función $\frac{\omega}{V_i}(s)$ se ven afectados?

1.3. Ajuste experimental de reguladores PID

1.3.1. Regulación de la velocidad de un motor DC en cadena abierta.

Para analizar las posibilidades del control de un motor DC, se procederá a llevar a cabo en primer lugar un control en cadena abierta del mismo. Para ellos se usará el regulador PID disponible en los módulos electrónicos.

- ¿Que acciones de control pueden ser de utilidad para llevar a cabo el control en cadena abierta?
- Ajustar el sistema de forma que el “error” del sistema sea cero (ganancia igual a 1).
- ¿Se puede mejorar la velocidad de respuesta del sistema?
- ¿Comprobar los efectos de la aplicación del freno magnético sobre la velocidad del motor.
- ¿Se puede cancelar el efecto de este freno?

1.3.2. Regulación de la velocidad de un motor DC en cadena cerrada.

A continuación se procederá a llevar a cabo el control de la velocidad del motor en cadena cerrada. Para eso se empleará de nuevo el regulador PID, incluyendo en este caso la realimentación que se considere necesaria.

- Analizar el comportamiento del motor en cadena cerrada, usando un regulador P de ganancia unidad. ¿Cual es la variación en la función de transferencia?
- ¿Cual es el efecto de añadir un par resistente mediante el freno magnético?
- ¿Se pueden anular estos efectos? En caso afirmativo ajustar los parámetros del regulador PID de forma que se obtenga un comportamiento óptimo.
- ¿Se consigue lograr error 0 al añadir un efecto integral?
 - ¿Para cualquier carga y referencia del motor?
 - ¿Qué ocurre cuando la señal de referencia es muy baja?
 - ¿Qué ocurre cuando la señal de referencia es muy alta y el freno está en posición de máxima actuación?

1.3.3. Regulación de la posición de un motor DC.

Como último punto en la regulación del control de un motor DC, se llevará a cabo un control de la posición del mismo.

- ¿Se consigue error 0 usando un regulador P? ¿Por qué?

- ¿Que ocurre si una vez alcanzada la consigna, se mueve manualmente el eje del motor? ¿Como afecta el valor de K_p a este problema del control?
- Si se controla el motor con un regulador P, ¿debería ser estable para cualquier valor de K_p ? Analizar lo que pasa cuando el valor de K_p es muy alto, y la consigna cambia rápidamente entre los valores máximo y mínimo. Razonar y explicar el fenómeno.
- ¿Cual es el efecto de añadir una componente integral?
- ¿Y el de añadir una acción diferencial?
- Ajustar el regulador PID, para lograr la acción más rápida posible del sistema sin que se vuelva sobreoscilatorio.

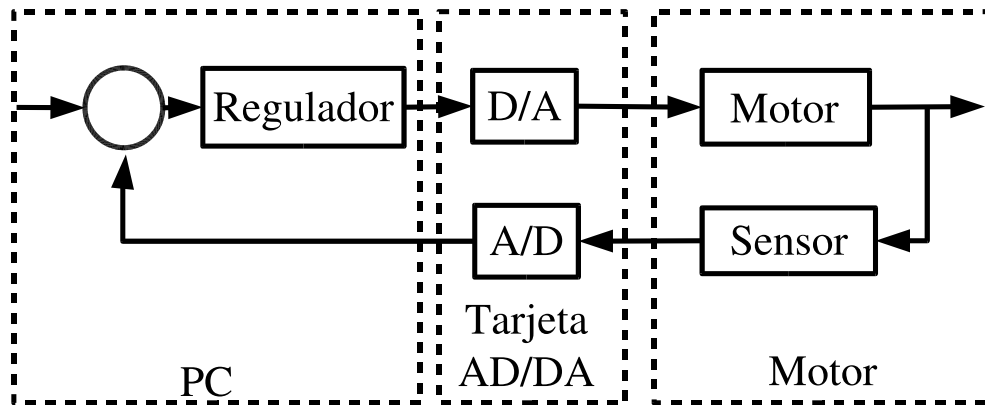


Figura 1.3: Esquema de control mediante el uso de un regulador discreto.

1.4. Control mediante computador

Para llevar a cabo el control del motor desde un computador es necesario modificar el esquema de control de acuerdo con el esquema mostrado en la figura 1.3. En esta figura comprobamos el añadido de dos bloques conversores que conectan las partes discretas del sistema con las continuas.

Muestreo y Aliasing

Ambos bloques suponen una pérdida de información en las señales de control que actúan sobre el sistema, que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el regulador discreto.

El programa `ADDA.exe` nos sirve para comprobar el efecto de esta pérdida de información. Este programa muestrea una señal por la entrada analógica 0 de la tarjeta AD/DA del PC y muestra el resultado de esta medida en la salida analógica 0.

- Seleccionar una frecuencia de muestreo para el programa `ADDA.exe` y comprobar el funcionamiento del mismo cuando se muestrean señales de distintas frecuencias.
- ¿A partir de qué frecuencia se reconstruye mal la señal?
- ¿Cuál es la relación con el periodo de muestreo?
- ¿A partir de qué frecuencia la señal está demasiado distorsionada para ser útil en un sistema de control?

Comprobar con un programa realizado el efecto del muestreo sobre una señal. Comprobación visual de ambas señales. Resaltar que la que se controla es la que se ve.

1.4.1. Cálculo del regulador discreto

En esta parte de la práctica se va a determinar cuales son las ecuaciones discretas que debe cumplir el regulador para controlar la velocidad y posición de un motor.

Para ello se llevaran a cabo los siguientes pasos.

- Determinar experimentalmente las funciones de transferencia continuas del motor $\frac{\omega(s)}{V(s)}$ y $\frac{\theta(s)}{V(s)}$.
- **Calcular** un regulador PID apropiado para cada una de ellas.
- **Seleccionar** el periodo de muestreo que se considere apropiado para discretizar cada uno de los reguladores continuos.
- Determinar la ecuación en diferencias correspondiente a cada regulador Emplear para ello la ecuación de Tustin. $s = \frac{1-z^{-1}}{T_m}$

1.4.2. Implementación de la ecuación en diferencias

Para llevara a cabo el control del sistema mediante estas ecuaciones en diferencias se procederá a realizar un programa en C que las implemente. Dada la extensión del programa, nos limitaremos a realizar la modificación de la función `float Filtra(float ek)` en la que se debe implementar la ecuación en diferencias obtenida. El valor que recibe la función `ek` es el error medido en cada instante por medio de los sensores. El valor devuelto se corresponde con la acción de control que se debe aplicar.

El código base del programa se incluye como un apendice, en el se pueden distinguir tres secciones fundamentales:

1. Configuración de la tarjeta AD/DA.
2. Configuración de la rutina de interrupción.
3. Entorno de usuario para la selección del periodo de muestreo, el arranque/parada del regulador y la visualización de las variables.

1.4.3. Comprobación experimental del funcionamiento del regulador

Una vez desarrollado el programa, comprobar experimentalmente sobre el mismo el efecto de un desajuste en el periodo de muestreo empleado. Verificar la aparición de ciclos límite en el control, y la perdida de la señal de referencia.

Efectos de los parámetros

Implementar una ecuación general que responda al comportamiento de un regulador PID y analizar experimentalmente el efecto de la variación de los parámetros de este regulador.