

Práctico de Laboratorio N° 4: control de velocidad de un motor de CD

Objetivos:

- * Familiarizarse con el modelo de un motor de CD de polos permanentes mediante el armado de un sistema de control de velocidad.
- * Observar el efecto que la adición de un polo simple tiene en el comportamiento de un sistema de control realimentado.

Introducción:

En la Figura 1 se muestra el esquema de un sistema de control de velocidad de un motor de CC de imanes permanentes, empleando como sensor de velocidad otro motor (del mismo tipo) empleado a modo de taco-generador. Se representa la función de transferencia correspondiente al controlador, el modelo simplificado de primer orden del motor de CC (incluyendo la inercia y rozamiento del sensor como propias) y la función de transferencia del sensor.

Nota: La función de transferencia del motor (ω/V_m) es de segundo orden, pero normalmente basta un modelo simplificado de primer orden para describir el comportamiento del aparato.

Las señales de entrada de interés son la tensión de referencia, o set-point, " V_{ref} " y el torque " T " impuesto por la carga (perturbación). La variable de salida controlada es la velocidad de rotación del eje " ω " y la señal de salida del sensor es la tensión " V_g " que entrega el generador.

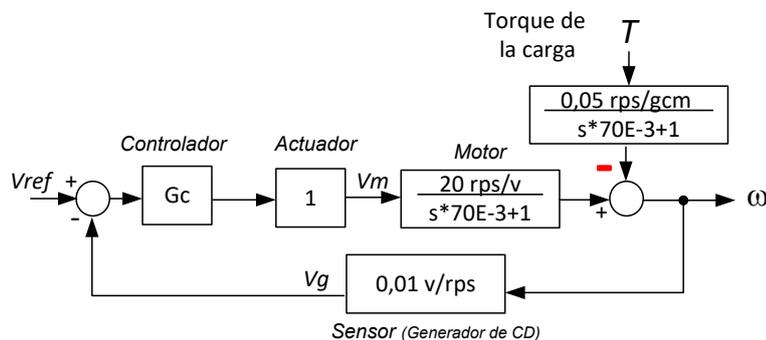


Figura 1: Sistema de control de velocidad

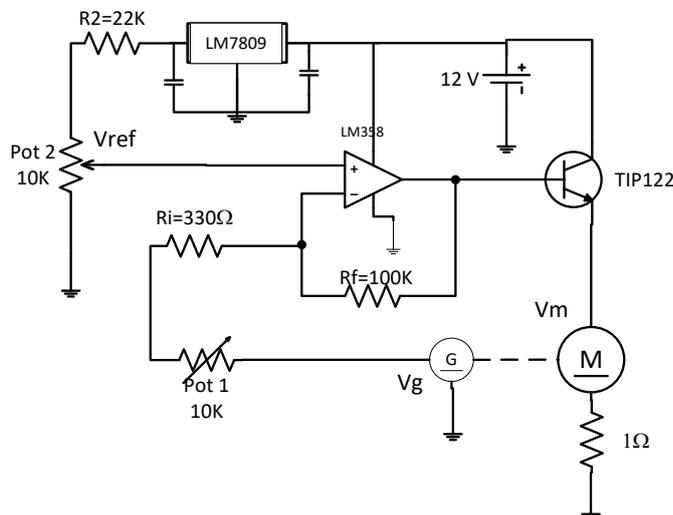


Figura 2: Posible esquema circuital para el sistema de control propuesto.

ELEMENTOS NECESARIOS:

Para llevar a cabo el laboratorio deben traer todo lo referido al circuito propuesto, excepto el par motor generador y el sensor óptico, que serán brindados por el laboratorio de control. Deberán traer:

- 2 POrt 10k
- Resistencias 1Ω, 330Ω, 22kΩ, 100kΩ (otros valores también)
- Transistor TIP122 o equivalente
- Amp. Op LM358 o equivalente
- Regulador de Tensión 7809 o 7808
- Protoboard y cables o alambre para conexiones
- Cap 1μF

ACTIVIDADES

A) SIMULACIONES

A.1. La función de transferencia del controlador es simplemente un amplificador de tensión, con ganancia entre aprox. 10 y 300. Se quiere simular el comportamiento del sistema realimentado para la ganancia de lazo más pequeña, una intermedia y, para la más grande.

En concreto nos interesa observar el cambio que produce la realimentación negativa en la constante de tiempo principal y sobre la **regulación de la velocidad de salida con respecto al torque externo " $\Delta\omega/\Delta T$ "**.

* Mida la constante de tiempo principal del sistema realimentado y compare con la constante de tiempo a lazo abierto. Con los valores obtenidos compruebe que la constante de tiempo prácticamente crece de manera inversa con respecto a la diferencia de retorno.

* A partir del diagrama de bloques indique cuál es el valor de regulación $\Delta\omega/\Delta T$, para el motor (fuera del lazo de control). Mida los valores de regulación $\Delta\omega/\Delta T$ para ganancias de lazo mínima, media y máxima, y compruebe que este parámetro tiene también una relación inversa con respecto a la diferencia de retorno.

* Reflexione, y exprese su opinión: ¿Un valor de regulación alto... se considera deseable, o indeseable?

* Entonces, considera Ud. que: ¿El incremento de la ganancia de lazo, mejora o empeora la regulación de carga?

A.2. En este ítem considere que la función de transferencia del controlador es un amplificador de tensión con ganancia entre 10 y 300, con una constante de tiempo aproximadamente igual a la propia del motor. Modifique la función de transferencia del controlador y simule la respuesta en el tiempo del sistema de control (frente señales escalón en entrada y en la perturbación) para las ganancias de lazo pequeña, media y alta.

¿Cómo cambia la respuesta del sistema (velocidad de rotación, ω) frente a comandos y perturbaciones "escalón" a medida que se incrementa la ganancia del controlador?

B) TEÓRICAS

La Figura 3 muestra el modelo de bloques perteneciente a un motor de CC de imanes permanentes. El mismo da cuenta de la realimentación negativa debida a la fuerza contra-electromotriz que aparece en los devanados del rotor (o armadura). En los bloques se observa un polo simple originado en la resistencia e inductancia del devanado de armadura; y otro polo simple debido al momento de inercia y rozamiento del rotor y piezas directamente acopladas al mismo. Las señales de entrada son la tensión de alimentación " V_m " y el torque impuesto por la carga que el motor debe mover, " T ".

(Referencia Bibliográfica: Cap. 4.6 Sist. Control Automático -B. Kuo-)

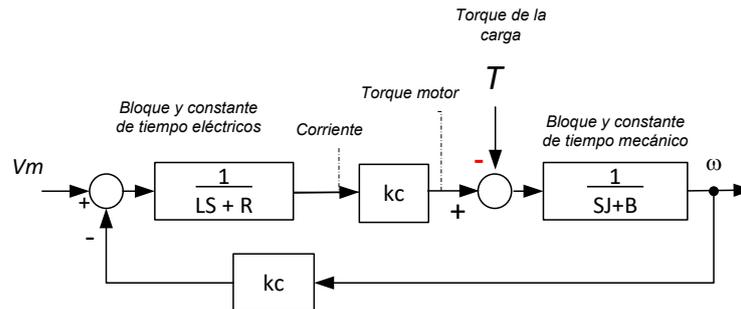


Figura 3: Modelo en bloques para un motor de CC de polos permanentes

B.1. La Figura 4 corresponde al modelo simplificado del mismo motor, teniendo en cuenta que el polo eléctrico suele ser mucho más rápido que el mecánico, y entonces el primero puede considerarse como un bloque constante frente al segundo. La función de transferencia final del motor (simplificada) resulta de primer orden, con una constante de tiempo algo menor que la del polo mecánico del motor.

* **Rellene los bloques incompletos.**

* Constate la concordancia con los bloques contenidos en la Figura. 1.

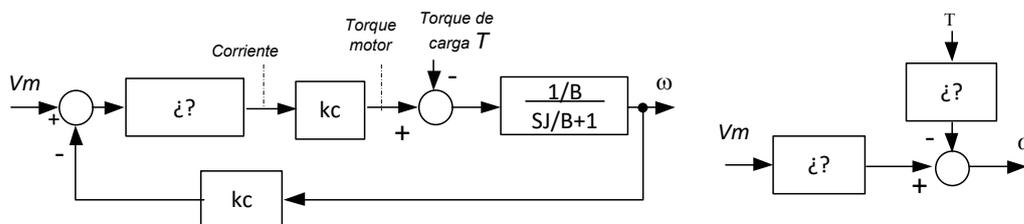


Figura 4: Diagramas de bloques aproximados para el motor

B.2. Suponga que los datos contenidos en la Figura 1, representan con la suficiente fidelidad al sistema que se usará en el laboratorio.

ii. **Calcule la ganancia de lazo** considerando que la función de transferencia del sensor de velocidad viene expresada en voltios/rps. Ídem para cuando viene expresada en mV/(rad/seg).

iii. Tomando en cuenta la sensibilidad del taco-generador: ¿Qué valor asignaría V_{ref} si desease variar la velocidad del motor entre 0 y 2000rpm?

iv. Considerando la sensibilidad del sensor de velocidad y que la ganancia de lazo no puede hacerse infinita: estime el error de estado estacionario a lazo cerrado, para $V_{ref}=3v$, para las ganancias de lazo mínima y máxima. Es decir: con $V_{ref}=3v$ se esperaría tener una velocidad de giro específica para el eje del motor; pero tal velocidad no puede ser alcanzada con error nulo sino con un error finito. (¿Cómo se sabe esto de antemano?)

B.3. i. Calcule la función de transferencia Ω/V_{ref} para la ganancia de lazo máxima.
 ¿Cómo espera que resulte la respuesta al escalón, y cómo diferirá de la respuesta del motor a lazo abierto?

B.3. ii. Incremento del orden del sistema, en el camino directo

Calcule la función de transferencia Ω/V_{ref} para la ganancia de lazo máxima, pero considerando que el actuador presenta una constante de tiempo de aprox. 50-100ms.

Nota: La Figura 5, muestra cómo se podría emular esa situación, agregando en el circuito de la Fig. 2 un condensador ($C_f \approx 0,5$ a $1\mu F$) en el amplificador del controlador.

- * Modifique el diagrama de bloques convenientemente y calcule las funciones de transferencia a lazo cerrado resultantes.
- * ¿Cómo se reubican los polos de lazo cerrado? (Se puede explicar con el LGR)
- * ¿Cómo espera que sea la respuesta al escalón del sistema en este caso, según se cambie la ganancia de lazo?

B.3. iii. Incremento del orden en el camino de realimentación.

Calcule la función de transferencia Ω/V_{ref} , pero considerando que el sensor de velocidad presenta una respuesta de primer orden con una constante de tiempo de aprox. 10ms.

- * Modifique el diagrama de bloques convenientemente y calcule las funciones de transferencia a lazo cerrado resultantes.
- * ¿Cómo se reubican los polos de lazo cerrado? ¿Cómo espera que sea la respuesta al escalón del sistema en este caso?

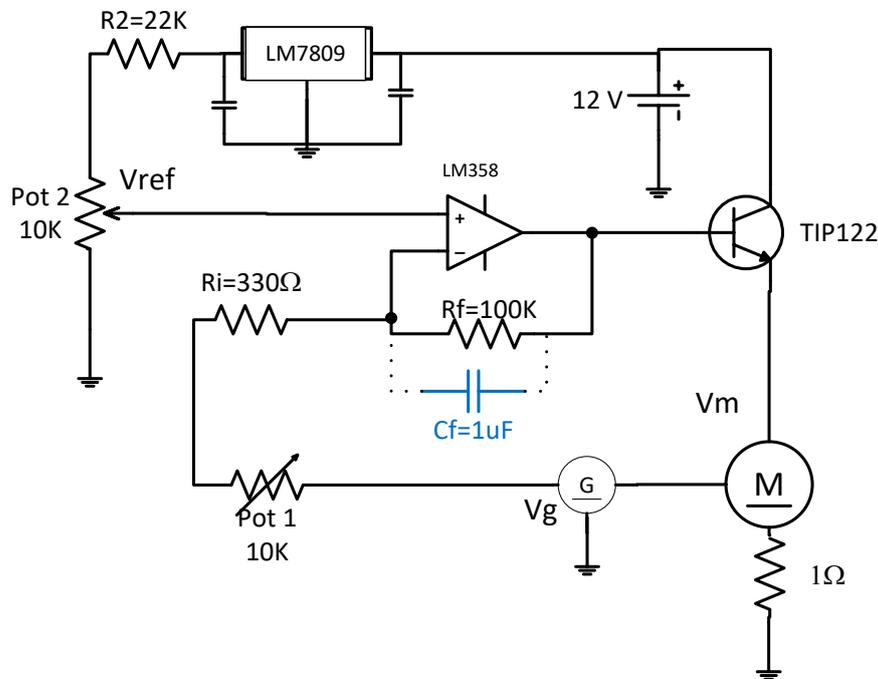


Figura 5: Modificaciones al circuito original, para considerar una función de transferencia de mayor orden.
 $C_f = 1\mu f$; para los ejercicios C4, B.3.ii y A.2.

C) EXPERIMENTALES (en el Laboratorio)

Cada grupo deberá acudir al laboratorio con el circuito de la Figura 2 armado en protoboard, sin incluir el motor ni el generador. Además, un sensor óptico también les será provisto por la cátedra, con el fin de medir la velocidad de giro.

C.1. A lazo abierto: encuentre la función de transferencia V_g/V_m del motor-sensor. Para lograrlo se sugiere que reduzca al mínimo la ganancia del operacional, accionando el potenciómetro Pot 1, desconectándolo del generador y poniendo el terminal correspondiente a masa. Haga $V_m=6V$ mediante el Pot. 2. Luego, cortocircuite V_{ref} a masa, y libere el cortocircuito para generar un escalón en la señal V_{ref} (por consiguiente, también en la V_m).

* Mida valores iniciales y finales de las variables involucradas y la constante de tiempo principal del sistema. Para la medición de la velocidad final de rotación, emplee el sensor óptico.

* A partir del mismo experimento, encuentre la función de transferencia ω/V_m , y V_g/ω del taco-generador.

* Observe que en la señal del V_g parece un rizado, y que el mismo se modifica según se modifique la velocidad ω . ¿A qué se debe dicho rizado? (Tiene que ver con la construcción del motor usado como sensor de velocidad)

C.2. Con V_{ref} entre 3 y 4V: observe las respuestas al escalón para la señal de referencia y para una perturbación en el torque.

* Observe el cambio en la constante de tiempo con respecto a lazo abierto. ¿Se incrementa... o disminuye?

* Observe la forma de la tensión V_m (variable manipulada) y de la corriente circulando por el motor (midiendo sobre la resistencia de 1ohm), con y sin perturbación de torque. ¿Cómo se altera la corriente al aplicarse una carga?

C.3. A partir de los valores de ω y V_{ref} medidos para ganancias pequeñas y elevadas, calcule los errores de estado estacionario; esto es tomando como referencia las ω esperadas para V_{ref} entre 3 y 4V y la función de transferencia del sensor de velocidad (H).

C.4. Incluya el condensador $C_f=1\mu f$ (mostrado en la Fig. 5) y observe el comportamiento de la respuesta a un escalón en la señal de referencia y luego un escalón en la perturbación. Haga eso para al menos 2 valores de la ganancia de lazo.

Comente cada una de las experiencias (C2 a C4) en función de simulación realizadas en el apartado A y de las actividades "Teóricas" resueltas en el apartado B. Es decir, explique los cambios que observe en las formas de onda (como por ejemplo tiempos característicos, niveles iniciales y finales, oscilaciones) basándose en las funciones de transferencia con que se esté operando y la intensidad de la ganancia de lazo empleada.

Nota: Los ítems de los apartados A y B deben estar realizados antes de comenzar los ensayos en laboratorio. El grupo que no tenga sus procedimientos planteados, **NO PODRÁ REALIZAR EL ENSAYO.**

IMPORTANTE: El ensayo COMPLETO debe ser defendido al final del turno de laboratorio.