



Práctico de Laboratorio N°3: 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.
- * Practicar un método para la identificación de sistemas de bajo orden.
- * 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 las masas y rozamiento del taco-generador como propias) y la función de transferencia del sensor.

La función de transferencia del motor (velocidad/tensión de alimentación) 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 " ω " de rotación del eje; y la señal de salida del sensor es la tensión " V_g " que entrega el generador.

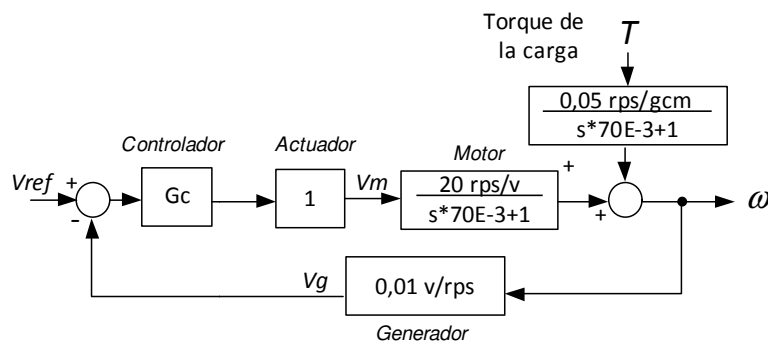


Figura 1: Sistema de control de velocidad

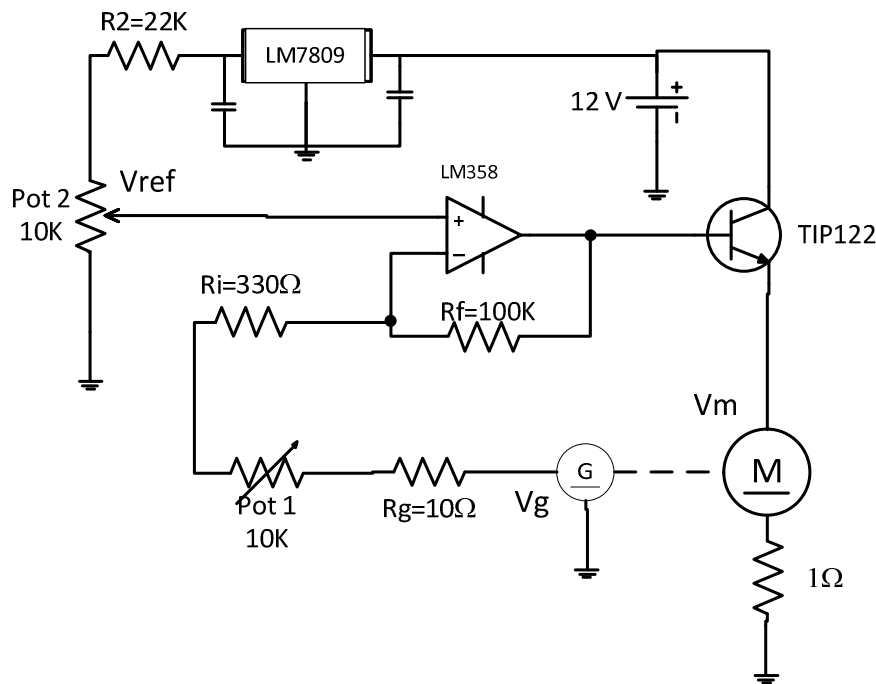


Figura 2: Posible esquema circuital para el sistema de control propuesto.

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 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?

A.3. Simule el comportamiento del sistema, para las ganancias de lazo pequeña, media y alta, esta vez con el mismo controlador del apartado A.1; pero suponiendo que sensor de velocidad utilizado presenta un polo simple, con frecuencia de corte en 100 rads/s. (Alternativamente, puede suponerse que la dinámica del sensor es mucho más rápida que la de la planta-Actuador, pero que su señal de salida se pasa por un filtro pasa-bajos antes de ser realimentada).

¿Cómo cambia la respuesta del sistema 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 a la momento de inercia y rozamiento del rotor y piezas directamente acopladas al mismo. La 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-)

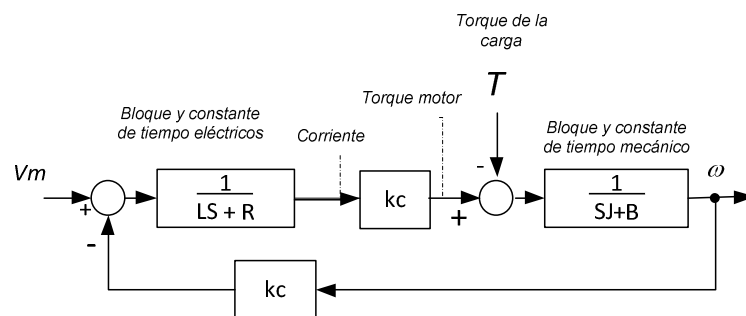


Figura 3: Modelo en bloques para un motor de CC de polos permanentes

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 del orden de la del polo mecánico del motor.

* **Rellene los bloques incompletos.**

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

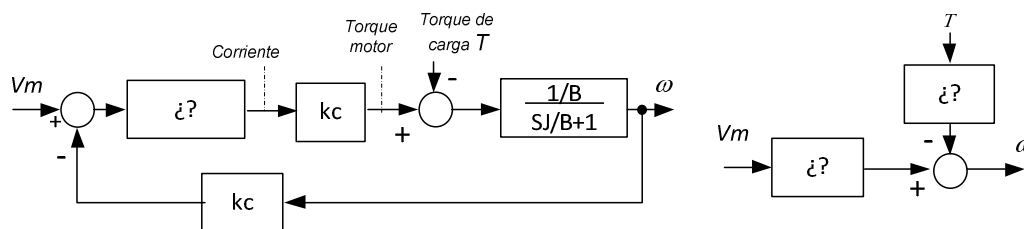


Figura 4: Diagramas de bloques aproximados para el motor

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 extremas. 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 ($C_f \cong 0,5$ 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.

Nota: Como muestra la Figura 5, esto puede emularse a partir del circuito de la Fig. 2, insertando un condensador (C_g) a la salida del taco-generador. La resistencia de salida del taco-generador también influye en la constante de tiempo.

* 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?

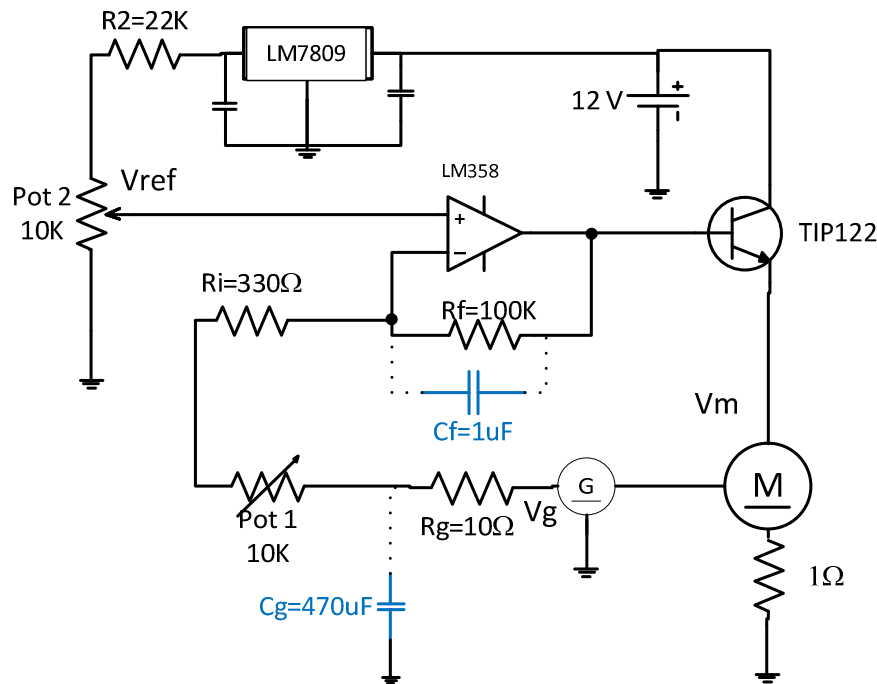


Figura 5: Modificaciones al circuito original, para considerar una función de transferencia de mayor orden.

$C_f=1\mu\text{f}$; para los ejercicios C4, B.3.ii y A.2.
 $C_g=470\mu\text{F}$; para los ejercicios C5, B.3.iii y A.3

C) EXPERIMENTALES (en el Laboratorio)

Cada grupo deberá acudir al laboratorio con el circuito de la Figura 2 armado en proto-board, 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_s/V_m del motor-sensor. Para lograrlo se sugiere que reduzca al mínimo la ganancia de lazo, accione el potenciómetro Pot 1 hasta lograr proveer 6 voltios a V_m . luego, cortocircuite el potenciómetro y libere el cortocircuito para generar un escalón en la señal V_i .

*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_s/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 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?

* Tome nota de la velocidad de giro más pequeña que pueda alcanzar con el dispositivo, al reducir la tensión de referencia.

C.3. A partir de los valores de ω y V_{ref} para ganancias pequeñas y elevadas, calcule el error de estado estacionario y compare con la predicción teórica.

C.4. Incluya el condensador $C_f=1\mu\text{f}$ (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 intensidades de la ganancia de lazo.

C.5. Desconecte C_f y, en cambio, conecte el $C_g=470\mu\text{f}$ (como se muestra en la Fig. 5). Así, la señal original proveniente del taco-generator quedará filtrada por un pasa-bajos antes de ser realimentada. Observe el cambio en las respuestas a un escalón de entrada, y de la perturbación.

Comente cada una de las experiencias (C2 a C5) en función de las actividades "Teóricas" resueltas en el apartado B, y de las actividades de simulación realizadas en el apartado A. Es decir, explique los cambios que observe en las formas de onda (como por ejemplo tiempos característicos, niveles 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.*