

GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS N° 1

Diagramas de bloques de sistemas de control en LC. Modelación de sistemas dinámicos de sistemas LIT. Simulación de Sistemas en LA y LC.

Objetivos:

- Identificar las partes y señales que intervienen en un sistema de control automático.
- Comprender los efectos de la realimentación sobre la respuesta temporal en los sistemas de control.
- Determinar las funciones de transferencia de los sistemas a lazo abierto y lazo cerrado.
- Representar un sistema mediante la función de transferencia.
- Simular sistemas a lazo abierto y a lazo cerrado para obtener las respuestas en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
- Analizar los efectos de las perturbaciones que pueden afectar a los sistemas de control.

Ejercicio N° 1:

Considere el sistema de control de temperatura a lazo cerrado de la Figura 1. En este sistema se pretende controlar la temperatura $y(t)$ dentro de la cámara, la cual es calentada a través de vapor. El flujo del vapor $q(t)$ utilizado en el sistema es proporcional a la apertura $x(t)$ de la válvula, o sea $q(t) = K_q x(t)$. Esta apertura es controlada mediante un solenoide, y la misma es proporcional a la corriente $i(t)$ en su bobina, es decir $x(t) = K_s i(t)$. En el sistema indicado también se considera que la temperatura de la cámara y el flujo de vapor $q(t)$ están relacionados por la ecuación (1)

$$\frac{dy}{dt} = -Cy(t) + K_c q(t) \quad (1)$$

donde C es un coeficiente que depende del aislamiento térmico de las paredes de la cámara y de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la misma. Mientras que K_c vincula la cantidad de vapor con el cambio de temperatura en el recinto. Para simplificar el análisis, se considera que C es una constante positiva. Teniendo en cuenta lo mencionado, se pide:

- En la figura 1 indicar las partes del sistema de control: planta, actuador, controlador y sensor.
- Para cada una de las partes mencionadas, expresar las ecuaciones temporales que intervienen y luego hallar las respectivas funciones de transferencias.

c. A partir de cada una de las funciones de transferencias halladas en el punto anterior, hacer un diagrama en bloques del sistema de control temperatura a lazo cerrado indicando las señales que intervienen y cada una de las funciones mencionadas dentro de los bloques.

d. Teniendo en cuenta el diagrama anterior, hallar la función de transferencia a lazo abierto en el camino directo $G_{LA}(s)$ y función de transferencia a lazo cerrado $G_{LC}(s)$. Siendo

$$G_{LC}(s) = \frac{G_{LA}(s)}{1 + H(s)G_{LA}(s)}, \text{ donde } H(s) \text{ es la función de transferencia del sensor. Indicar la ganancia, los ceros y los polos de las funciones } G_{LA}(s) \text{ y } G_{LC}(s).$$

e. Siendo $K_1 = 100 \text{ V/V}$; $K_2 = 1 \text{ V/}^\circ\text{C}$; $K_q = 1 \text{ (kg/s)/m}$; $K_s = 1 \text{ m/A}$; $K_c = 1 \text{ }^\circ\text{C/(kg/s)}$; $R = 100 \text{ } \Omega$; $L = 0,1\text{mH}$ y $C = 0,25 \text{ 1/m}$, hallar las funciones de transferencia mencionadas en el punto anterior, indicando ganancia, ceros y polos.

f. Graficar la respuesta temporal de la temperatura con el sistema a lazo abierto y a lazo cerrado, considerando un escalón $v_r(t) = 10 \text{ V}$ (graficar en forma superpuesta las dos respuestas mencionadas). Graficar las respuestas de magnitud y fase de lazo abierto y de lazo cerrado. Analizar las respuestas obtenidas y sacar conclusiones acerca de las mismas.

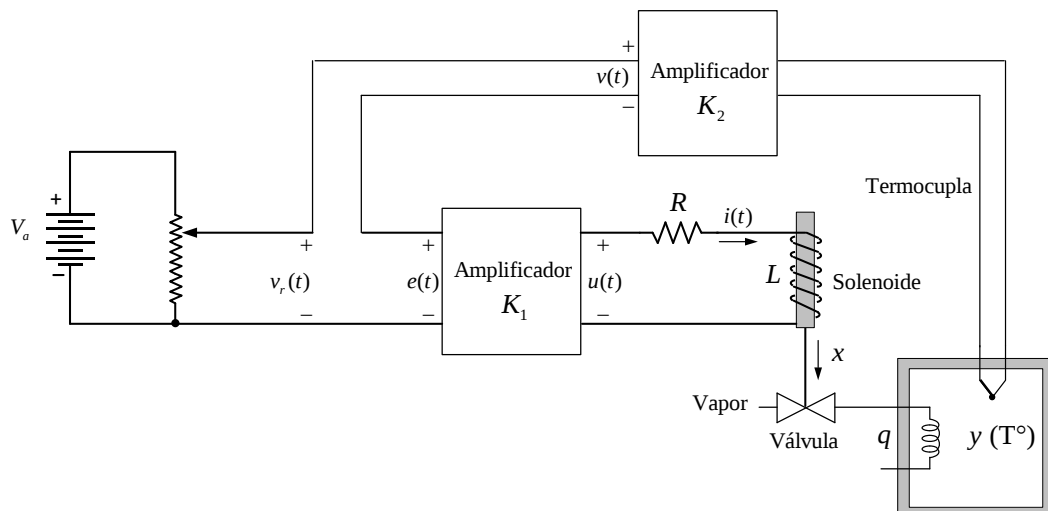


Figura 1.

g. Teniéndose en cuenta que la cámara no es totalmente adiabática y puede alterarse la temperatura interna por pérdida de calor, se tiene en cuenta este efecto en la ecuación (2) con una componente de perturbación $Q_p(t)$, con lo cual dicha ecuación resulta:

$$\frac{dy}{dt} = -Cy(t) + K_c q(t) - K_c Q_p(t) \quad (2)$$

Incorpore en el diagrama de bloques de lazo cerrado esta perturbación; escriba la ecuación de la salida $Y(s)$ incluyendo la misma; analice su efecto en la respuesta de salida ante una aplicación en escalón de $Q_p(t) = 2 \text{ kg}$ con $v_r(t) = 0 \text{ V}$ y finalmente analice el efecto en la respuesta de $y(t)$, combinando ambos efectos con $v_r(t) = 10 \text{ V}$.

Nota: Realizar las simulaciones de este punto con PSIM.

Ejercicio N° 2:

El motor de corriente continua de imanes permanentes de la empresa Maxon denominado DCX 35 L Ø35 mm alimentado por un convertidor PWM reductor de tensión se esquematiza en la Figura 2.

Donde $R_a = 2,16 \Omega$; $L_a = 0,776 \text{ mH}$; $K_t = 74,1 \text{ mN} \times \text{m} / \text{A}$; $K_b = 0,074 \text{ V}/(\text{rad/s})$; $J = 9,52 \mu\text{N} \times \text{m} / (\text{rad/s}^2)$ y $b = 25,4 \mu\text{N} \times \text{m} / (\text{rad/s})$. La velocidad nominal es de 7150 rpm y la tensión nominal de armadura es $V_a = 60 \text{ V}$. La tensión de entrada al convertidor es $V_e = 65 \text{ V}$.

Más datos del motor pueden obtenerse en:

<https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/motor/dcmotor/DCX/DCX35/DCX35L01GBKL604>

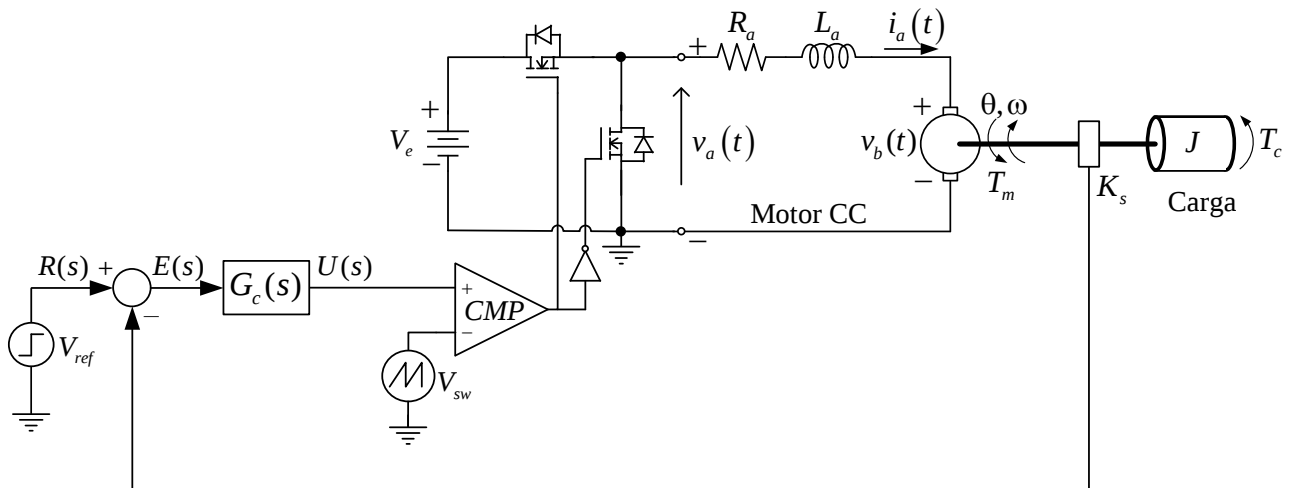


Figura 2.

El actuador posee una ganancia definida por el coeficiente $K_a = V_e/V_{sw}$, siendo V_{sw} la tensión de pico de la señal triangular o diente de sierra, denominada señal portadora. Con esto, la tensión aplicada a la planta está dada por $v_a(t) = K_a u(t)$. Por otro lado, el sensor posee una ganancia K_s , la cual se establece de manera tal que su salida proporcione 4V cuando el motor gira a la velocidad nominal, o sea, $K_s = \frac{4 \text{ V}}{7150 \text{ rpm}}$. En este caso, es importante recordar que la velocidad nominal a utilizar para el

cálculo de K_s , debe estar expresada en rad/s y no en rpm. Finalmente, la tensión de pico de la señal diente de sierra es $V_{sw} = 10 \text{ V}$ y la frecuencia de $v_{sw}(t)$ es de 5 kHz.

Para el sistema indicado se pide:

1 – Indicar y recuadrar en la figura las partes del sistema de control y luego, representarlas en un diagrama de bloques indicando los respectivos nombres como así también las variables a la entrada y a la salida de cada bloque.

2 – Encontrar las ecuaciones que modelan la dinámica del motor el cual incluye la carga de momento de inercia J y el coeficiente de fricción b de todo el conjunto. Obtener la función de transferencia en el dominio de Laplace asociada a estas ecuaciones que surgen de las leyes de Kirchhoff de mallas y nodos para poder obtener así un diagrama de bloques correlativo con dichas funciones de transferencia, separando las plantas eléctrica y mecánica. **NOTA: Obtener las ecuaciones del circuito sin la incidencia del lazo de control, ni del sensor ni del actuador; considerándose únicamente la tensión V_a de entrada.**

3 – A partir del diagrama de bloques de la planta obtenido en el punto anterior, obtener el respectivo diagrama de bloques de LC y las funciones de transferencia de lazo abierto y de lazo cerrado, ahora sí teniéndose en cuenta las ganancias del sensor y del actuador. Tener en cuenta la ganancia del sensor siempre en el lazo de realimentación.

Incorporar en las funciones de transferencia de LA y LC los parámetros del circuito y obtener en Matlab las respectivas funciones de transferencia indicando en cada caso, la ganancia, ceros y polos. Mostrar en un mismo gráfico la respuesta al escalón unitario de cada FT e indicar sus parámetros característicos: tiempos de respuesta; sobrepaso (si hubiere); valores de régimen estacionario. Para la FT de LC tomar $G_c(s) = 1$.

4 – Simular el circuito en PSIM a LA utilizando el diagrama de bloques obtenido en el punto 2, con una tensión de entrada $V_e = 60 \text{ V}$. Utilizar un paso de simulación de $5 \mu\text{s}$ y un tiempo máximo de simulación de 60 ms, aplicando en 30 ms un torque de perturbación de 118 mNm.

A – Graficar la velocidad de salida en RPM junto con el valor de velocidad nominal en RPM; en otro gráfico la corriente de armadura $i_a(t)$ y en un tercero, el torque electromagnético $T_e(t)$. Obtener el valor máximo que alcanza la velocidad antes de la perturbación y el valor final luego de aplicada la misma. Para la corriente y el torque obtener el pico máximo en el arranque y los valores de régimen estacionario, antes y después de aplicada la perturbación y verificar con la hoja de datos si están dentro de los valores nominales.

Realizar un análisis de las variables graficadas del régimen transitorio y estacionario.

5 – Simular el circuito en PSIM a LC utilizando el diagrama de bloques obtenido en el punto 3 que incorpora la ganancia del sensor y del actuador, con una tensión de referencia $V_{ref} = 4\text{ V}$. Utilizar un paso de simulación de $5\text{ }\mu\text{s}$ y un tiempo máximo de simulación de 60 ms , aplicando en 30 ms un torque de perturbación de 118 mNm . Evaluar la operación del motor para 2 valores de $G_c(s)$: 10 y 100.

A – Trazar los mismos gráficos indicados en el punto 4-A para ambos valores de ganancia del controlador. Obtener en cada caso los valores que alcanza la velocidad antes de la perturbación y el valor final luego de aplicada la misma. Para la corriente y el torque obtener en cada caso el pico máximo en el arranque y los valores de régimen estacionario, antes y después de aplicada la perturbación y verificar con la hoja de datos si están dentro de los valores nominales.

Realizar un análisis de las variables graficadas del régimen transitorio y estacionario en cada caso.

Ejercicio N° 3:

En la Figura 3 se muestra un convertidor reductor de tensión (comúnmente denominado convertidor *buck*) sincrónico de potencia de salida $P_o = 120\text{ W}$ cuya tensión en la salida debe ser mantenida constante midiéndose la misma en bornes del capacitor del filtro pasa bajos. La inductancia L del filtro pasa bajos tiene un valor de $120\text{ }\mu\text{H}$; la resistencia equivalente serie r_L es de $0,35\text{ }\Omega$; la capacitancia C del filtro pasa bajos de salida tiene un valor de $40\text{ }\mu\text{F}$ y la carga $R = 1,2\text{ }\Omega$.

La tensión de entrada $V_i = 24\text{ V}$ y la tensión de salida constante deseada es de 12 V . Para acondicionar la tensión regulada de salida al circuito electrónico de control, se utiliza un divisor resistivo y un amplificador operacional en configuración seguidor de tensión, cuya ganancia final es $K_s = 1/2$. El actuador tiene una ganancia $K_a = V_i/V_{sw}$ siendo V_{sw} el valor de pico de la señal portadora diente de sierra o triangular $v_{sw}(t)$ igual a 10 V y $V_{cc} = \pm 15\text{ V}$. La frecuencia de $v_{sw}(t)$ es de 100 kHz . Se pide para esta fuente de alimentación lo siguiente:

1 – Indicar y recuadrar en la figura las partes del sistema de control y luego, representarlas en un diagrama de bloques indicando los respectivos nombres como así también las variables a la entrada y a la salida de cada bloque.

2 – Encontrar las ecuaciones que modelan la dinámica del convertidor, obtener las funciones de transferencias en el dominio de Laplace asociadas a estas ecuaciones que surgen de las leyes de Kirchhoff de mallas y nodos para poder obtener así un diagrama de bloques correlativo con dichas funciones de transferencia. **NOTA:** Obtener las ecuaciones del circuito sin la incidencia del lazo de control, ni del sensor ni del actuador.

3 – A partir del diagrama de bloques de la planta obtenido en el punto anterior, obtener el respectivo diagrama de bloques de LC y las funciones de transferencia de lazo abierto y de lazo cerrado, ahora sí teniendo en cuenta las ganancias del sensor y del actuador. Tener en cuenta la ganancia del sensor siempre en el lazo de realimentación.

Incorporar en las funciones de transferencia de LA y LC los parámetros del circuito y obtener en Matlab las respectivas funciones de transferencia indicando en cada caso, la ganancia, ceros y polos.

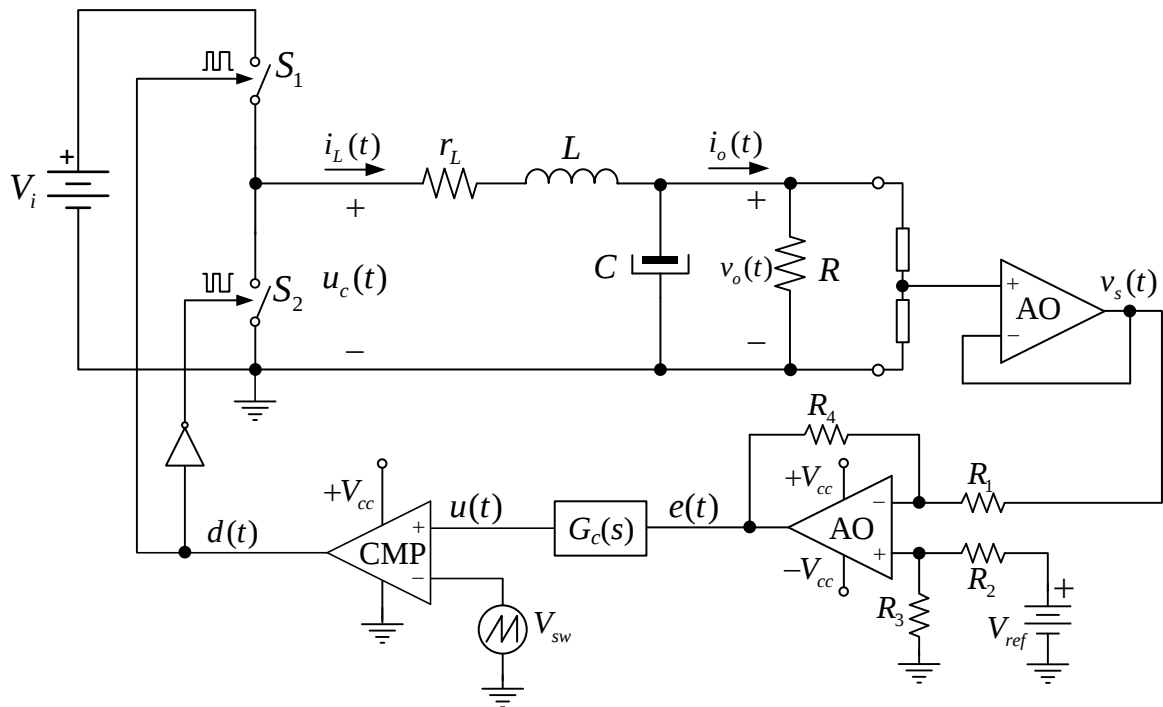


Figura 3.

4 – Simular el circuito en PSIM primero a lazo abierto en base al circuito de la Figura 4, en el cual

$$V_{ref} = \frac{15,5V}{24V} \times V_{sw}, \text{ para que la fuente pueda suministrar la tensión y corriente deseadas a la salida.}$$

Utilizar un paso de simulación de 10 ns y un tiempo máximo de simulación de 2 ms. Para esta configuración:

A – Graficar la tensión de salida y corriente de la carga y obtener los valores de pico máximo y los valores de régimen estacionario, de la tensión de salida y de la corriente de carga.

B – Graficar la tensión PWM $u_c(t)$ aplicada a la planta (filtro LC) y conjuntamente el promedio de esta tensión usando la herramienta de Simview mostrada en la clase, indicando cuál es el valor alcanzado por este promedio y el valor del ciclo útil aplicado en lazo abierto.

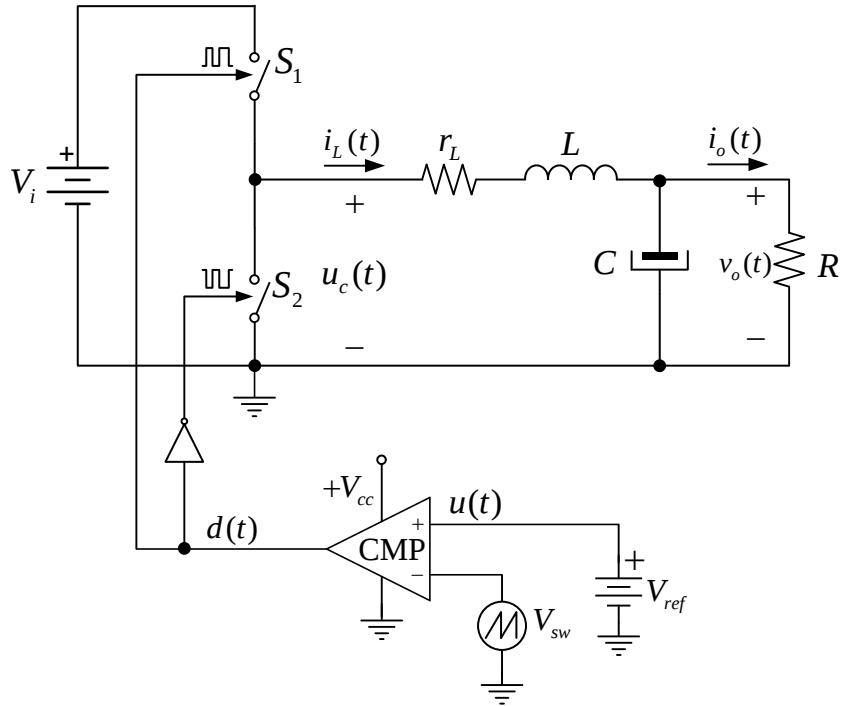


Figura 4.

5 – Con la misma configuración de parámetros de simulación, evaluar a continuación el circuito en LC de la Figura 3 considerando $V_{ref} = 12 \text{ V} \times K_s$ y probar el desempeño de régimen transitorio y estacionario con dos valores de ganancia del controlador $G_c(s)$ de 10 (V/V) y de 100 (V/V). En esta configuración:

A – Graficar por separado las tensiones de salida y las señales de error de tensión para cada valor de ganancia del controlador. Indicar los valores de pico y los de régimen estacionario alcanzados por la tensión de salida.

B – Graficar por separado las tensiones de salida y los valores promedios de las tensiones $u_c(t)$ aplicadas a la planta para cada valor de $G_c(s)$ indicándose cuáles son dichos valores y el respectivo ciclo útil en cada caso.