

6.302 Sistemas de retroalimentación

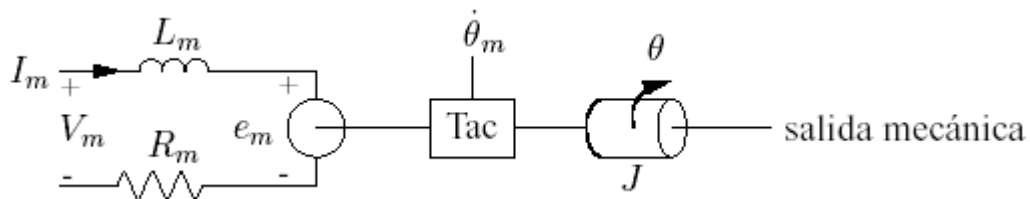
Otoño 2002
Práctica 1A

Fecha de distribución: 9 de septiembre de 2002
Fecha de entrega: jueves, 19 de septiembre de 2002

Los grupos de trabajo de las prácticas no podrán ser de más de dos personas. Los estudiantes deberán presentar informes escritos individuales. En dichos informes, deberán indicar el número de estación de laboratorio y el nombre de su compañero de prácticas. Recuerden que las prácticas no se calificarán si no se ha completado la pre-práctica y que, además, deben entregar el material en la fecha indicada.

Contenido

El objetivo de esta práctica es precisar un modelo matemático para un sistema físico que, en este caso en particular, es un servomecanismo sencillo. El modelo que se desarrolle en esta práctica se utilizará para diseñar diferentes bucles de control de retroalimentación en próximas prácticas (1B, 1C, y 1D). A continuación, se muestra el modelo que se ha empleado para describir el motor:



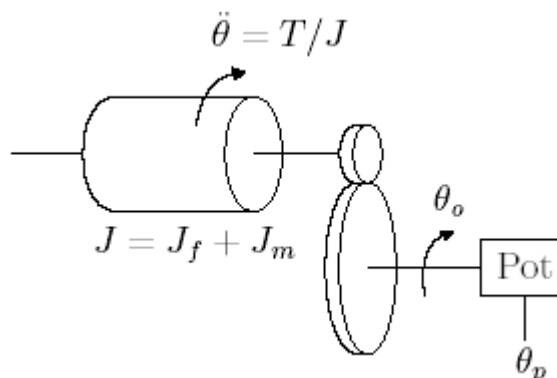
donde la tensión posterior (o fuerza contraelectromotriz) del motor giratorio es:

$$e_m = K_e \dot{\theta}$$

y la tensión de salida del tacómetro es:

$$\dot{\theta}_m = K_{tac} \dot{\theta}$$

La salida mecánica del servomecanismo viene modelada por:



donde el torque de salida del motor es:

$$T = K_t I_m$$

la posición del eje de salida es:

$$\theta_o = \theta/n$$

y la tensión de salida del sensor de posición es:

$$\theta_p = K_p \theta_o$$

Observe que el ángulo del eje de motor es θ y que el ángulo del eje de salida es θ_o . El volante, que tiene una inercia J_f , está montado directamente sobre el eje del motor. El eje de salida está orientado al eje del motor con una relación de transmisión n . El potenciómetro está conectado al eje de salida y la tensión a través del potenciómetro es θ_p .

El objetivo de esta práctica es determinar los valores para los parámetros R_m , L_m , K_e , K_{tac} , J_m , J_f , n , K_t , y K_p del modelo.

Herramientas

Recoja 4 conectores BNC de la mesa. Observe que estos conectores son 1x, a diferencia de las sondas del osciloscopio de 10x. Asegúrese de comprobar el ajuste de entrada del osciloscopio.

Montaje

En la presente práctica nuestro interés principal se centrará en las secciones del **Amplificador de potencia** y el **Monitor** de la caja de control. Cuando llegue al área de laboratorio, compruebe que la caja de control está conectada al suministro eléctrico de ± 15 voltios y que el cable del motor está conectado a la salida de la caja de control. Asegúrese de registrar el número de la estación de motor que está utilizando, ya que será la misma para las cuatro prácticas de servomecanismos.

Conecte una salida del generador de señales a la entrada de la sección del **Amplificador de potencia**. Para las medidas del mando por tensión, ajuste el interruptor de selección de ganancia del **Amplificador de potencia** a “-2 V/V”, de tal forma que sea posible accionar el motor con una potencia. En el caso de las medidas de mando por corriente, asegúrese de cambiar el interruptor a “-0,4 A/V”.

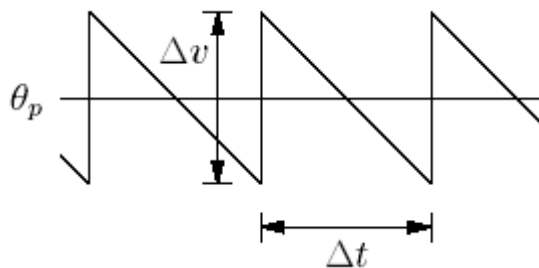
Proceso de activación

En el caso de las formas de onda de entrada de CC (procedentes del generador de señales), debería usted poner en funcionamiento el canal que está registrando. Utilice el modo de activación “auto nivel” para las salidas de CC y el modo de activación “normal” para las salidas de variación de tiempo. Para las entradas de onda cuadrada y onda sinusoidal procedentes del generador de formas de onda, puede resultar útil conectar la señal “TTL OUT” (*lógica transistor-transistor*) de dicho generador al canal 3 ó 4 del osciloscopio y activar ese canal. Una vez más, utilice el modo de activación “normal”. Si su pantalla se muestra en blanco o intermitente, posiblemente necesite ajustar el nivel de activación.

Mediciones: parte I

La primera parte de esta práctica se lleva a cabo en una de las estaciones de laboratorio de motores estándar que tengan un volante de inercia. Estas estaciones serán el tema de las siguientes prácticas. Asegúrese de registrar el número de la estación de motores que está utilizando, ya que será la misma en las cuatro prácticas de servomecanismos.

1. Accione el motor con una tensión (CC) constante y asegúrese de ajustar el interruptor de selección de ganancia del **Amplificador de potencia** a “-2 V/V”. Se puede obtener una tensión CC a partir de la salida del generador de señales asegurándose de que ninguno de los botones de la forma de onda esté pulsado. Si desea modificar la tensión CC, gire ligeramente el mando “DC Offset” (*offset CC*). Asimismo, asegúrese de que el botón de 0 dB está pulsado. El θ_p debería presentar el aspecto siguiente:



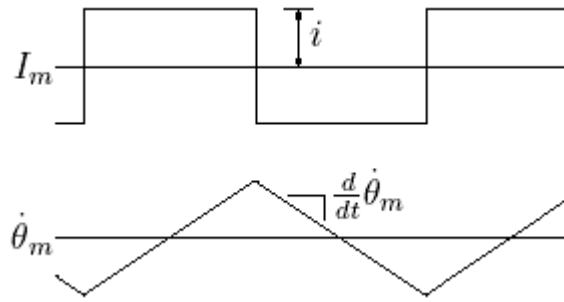
Observe que la forma de onda de θ_p es discontinua; la tensión del monitor “se envuelve alrededor” cuando el eje de salida pasa a través de un ángulo de $\pm\pi$ radianes (la tensión θ_p medida es continua para los ángulos del eje de salida dentro del margen $-\pi < \theta_0 < +\pi$). Mida el tamaño de la discontinuidad.

2. Accione el motor con una tensión (CC) constante y mida y registre los valores V_m , I_m y $\dot{\theta}_m$ del monitor. Además, mida la velocidad del eje de salida registrando Δt , el tiempo entre envolturas, en la forma de onda θ_p . Repita estas mediciones para cinco tensiones diferentes dentro del margen $0 \text{ V} \leq V_m \leq 10 \text{ V}$. ¿A qué corresponde el tiempo entre las envolturas?

Observe que todas las salidas del monitor corresponden a tensiones. Una lectura de 0,5 V en la salida I_m corresponde a una corriente de motor de 0,5 A, ya que el factor de escala para el monitor I_m es 1 V/A.

Recuerde que la tensión del monitor $\dot{\theta}_m$ está relacionada con la velocidad del eje de motor $\dot{\theta}$ por el factor de escala K_{tac} . Como parte de esta práctica, deberá determinar el valor de K_{tac} . Observe que tiene unidades de V-seg/rad.

3. Accione el motor con una onda cuadrada de corriente (sin offset CC). No olvide conectar el ajuste de ganancia del **Amplificador de potencia** a “-0,4 A/V”. La corriente del motor y la velocidad angular deberían ser tal como se muestra en la siguiente ilustración:

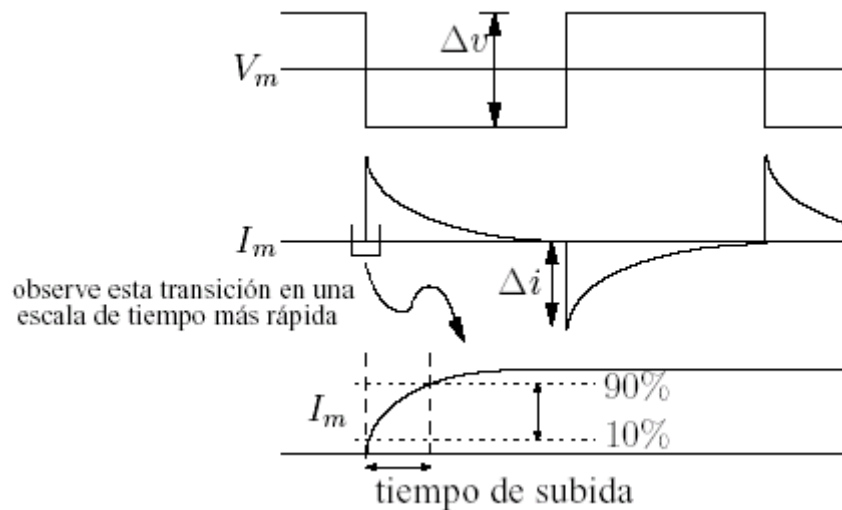


Mida y registre los valores de I_m y $\frac{d}{dt}\dot{\theta}_m$. Tenga cuidado de no saturar el amplificador cuando realice estas mediciones (I_m debería ser una onda cuadrada limpia). Accione el sistema lo suficientemente rápido como para que la forma de onda $\dot{\theta}_m$ esté compuesta de segmentos de líneas rectas. Repita el mismo proceso para cinco valores diferentes dentro del margen $0 \text{ A} \leq i \leq 1,5 \text{ A}$.

Mediciones: parte II

En esta segunda parte tendrá que utilizar un montaje de motor que no incluya el volante de inercia. Diríjase a un montaje que hay en el área del curso 6.302 con la etiqueta “NO FLYWHEEL” (sin volante) y tome las medidas siguientes en la estación.

1. Accione el motor con una onda cuadrada de tensión que sea relativamente lenta (sin offset CC). Asegúrese de que el interruptor de selección de ganancia del **Amplificador de potencia** está ajustado en “-2 V/V”. La tensión del motor y las formas de onda de corriente deberían tener un aspecto similar al siguiente esquema:



Mida y registre los valores de Δi y Δv . Asimismo, mida el 10–90% del tiempo de subida de la forma de onda de la corriente del motor. Observe que resulta más fácil medir este tiempo de subida cambiando a un ajuste base de tiempo mucho más rápido en el osciloscopio. Dado que esta forma de onda es bastante ruidosa, seguramente le interesará seleccionar el modo visualización media pulsando el botón DISPLAY en el osciloscopio. Asegúrese de que está midiendo el tiempo de subida, tal y como se muestra en la figura, y no todo el tiempo.

Repita estas mediciones para cinco valores diferentes de Δv dentro del margen $0 \text{ V} \leq \Delta v \leq 10 \text{ V}$.

2. Accione el motor con una onda cuadrada de tensión y mida el 10%–90% del tiempo de subida del monitor de velocidad del motor, $\dot{\theta}_m$. Repita el mismo proceso para cinco tensiones diferentes.
3. Accione el motor con una onda cuadrada de corriente (sin offset CC). No olvide conectar el ajuste de ganancia del **Amplificador de potencia** a “-0,4 A/V”. Repita las mediciones del apartado 3 de la Parte I.

Reducción de datos

Utilizaremos una técnica de aproximación de error de mínimos cuadrados lineales con el objeto de reducir los datos de las mediciones y obtener los valores modelo deseados del parámetro. En un mundo perfecto (como por ejemplo, en un examen), no sería necesaria esta técnica, ya que una única serie de mediciones en el laboratorio sería suficiente para determinar los valores del parámetro. Sin embargo, los errores de medición y las deficiencias de modelado limitan la precisión de los cálculos del parámetro en el mundo real. Para mejorar nuestra precisión, se calculará la media de varias medidas para obtener los parámetros deseados del modelo.

Cálculo de K_{tac} : lo ideal sería que $\dot{\theta}K_{tac} = \dot{\theta}_m$. Podemos conseguir varias medidas de θ_o a partir del tiempo entre las envolturas que se dan en la forma de onda $\dot{\theta}_p$ (correspondiente a la rotación de un eje de salida θ_o igual a 2π). Asegúrese de convertir $\dot{\theta}_o$ a $\dot{\theta}$ teniendo en cuenta la relación de transmisión. Contamos también con las medidas correspondientes a la tensión del monitor del tacómetro, $\dot{\theta}_m$. Por lo tanto, podemos escribir en forma vectorial que:

$$\begin{pmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \vdots \\ \dot{\theta}_5 \end{pmatrix} K_{tac} = \begin{pmatrix} \dot{\theta}_{m1} \\ \vdots \\ \dot{\theta}_{m5} \end{pmatrix}$$

$$\vec{\dot{\theta}} K_{tac} = \vec{\dot{\theta}}_m$$

Determine el mejor valor de K_{tac} minimizando el error cuadrado, según:

$$K_{tac} = \frac{\vec{\dot{\theta}}^T \vec{\dot{\theta}}_m}{\vec{\dot{\theta}}^T \vec{\dot{\theta}}}$$

Cálculo de R_m : de nuevo, en un mundo ideal, $R_m \Delta i = \Delta v$. Tenemos varias medidas de Δi que obtuvimos en la Parte II-1, junto con los valores correspondientes de Δv . Calcule el mejor valor para R_m utilizando la técnica de estimación de mínimos cuadrados que se empleó para K_{tac} .

Cálculo de L_m : la constante de tiempo de una respuesta exponencial es igual al 10–90% del tiempo de subida dividido por un factor de 2,2. Calcule la media de las cinco medidas del tiempo de subida y divida por 2,2 para obtener la constante de tiempo media, que corresponde a la constante de tiempo $L_m = R_m$ en el modelo de motor. El valor de L_m se calcula multiplicando la constante de tiempo media por el mejor valor de R_m .

Cálculo de K_e : $\dot{\theta}K_e$ debería ser igual que $(V_m - I_m R_m)$. Hemos obtenido varias medidas de $\dot{\theta}$ para el cálculo anterior de K_{tah} . Además, tenemos las medidas correspondientes a V_m e I_m , así como el mejor valor de R_m . De nuevo, utilice la estimación de mínimos cuadrados lineales (LLSE) con el objeto de determinar el mejor valor para K_e .

Cálculo de la relación de transmisión (n): dado que no resulta demasiado interesante o educativo contar el dentado, les proporcionamos dicha información. El engranaje del eje del motor tiene 32 dientes y el del eje de salida 216. Por consiguiente, n tiene un valor de 6,75.

Cálculo de K_p : la discontinuidad en el ángulo de un eje de salida de $\pm\pi$ radianes corresponde a un salto de 2π radianes. Por lo tanto, el valor de K_p es $\Delta_v/2\pi$.

Cálculo de J_f : la inercia J_f del volante se calcula a partir de la física básica (posiblemente tendrá que buscar su cuaderno del curso 8.01). El volante es un cilindro de aluminio con una densidad de $2,7 \text{ g./cm}^3$. El grosor del volante es de $6,35 \text{ mm}$. y tiene un diámetro de $63,5 \text{ mm}$.

Cálculo de K_t y J_m : en primer lugar, tenga en cuenta la serie de datos que se tomaron en la Parte I-3 sin la inercia adicional del volante. Observe que las inercias del armazón del motor, los engranajes, el potenciómetro, etc., se agrupan en una única inercia efectiva que denominamos “inercia de motor”, J_m . Si consideramos una vez más el escenario ideal, $K_t i = J_m \frac{d}{dt} \dot{\theta}$. Tenemos diferentes medidas de $\frac{d}{dt} \dot{\theta}_m$ (que se puede convertir en valores $\frac{d}{dt} \dot{\theta}$ dividiendo por el parámetro K_{tac} del modelo), junto con los valores de i correspondientes. Calcule el mejor valor para el ratio K_t/J_m utilizando la técnica de estimación de mínimos cuadrados lineales (LLSE).

Repita el procedimiento anterior para los datos tomados en la Parte I-3 con la inercia J_f del volante del eje del motor. Observe que ahora está resolviendo para el ratio $K_t/(J_m + J_f)$. Ahora ya tenemos una expresión para K_t/J_m y otra para $K_t/(J_m + J_f)$. Puesto que conocemos el valor de J_f , tenemos dos ecuaciones en dos incógnitas. Resuelva estas ecuaciones para K_t y J_m .

Cálculo de τ_m : calcule la media de las medidas del tiempo de subida para $\dot{\theta}_m$ de la Parte I-2 y divídala por $2,2$ para determinar la constante de tiempo τ_m del motor. Exponga por qué le proporciona este cálculo la constante de tiempo.

Preguntas:

1. En la pre-práctica, encontró una expresión para la constante de tiempo del motor. ¿En qué medida concuerdan el valor medido con el valor calculado basado en los parámetros de su modelo?
(Recuerde que el volante se eliminó de estas mediciones).
2. Dos de los parámetros de su motor deberían ser iguales. ¿Cuáles son estos parámetros y por qué deberían ser iguales? ¿Son realmente iguales?
3. ¿En qué se puede comparar la inercia del volante con la del engranaje grande? ¿Por qué?