



Facultad de Ingeniería y Ciencias

Departamento de Ingeniería Electrónica y Ciencias de la Computación

Práctica 1 de Laboratorio

Control de posición de un servomotor DC

Restrepo, Juan José

Salas, Miguel

Silva, Alejandro

Vargas, Juan David

Abril 5, 2022

I. Resumen

En este laboratorio se implementará un control para un servomotor y se analizarán los efectos de las acciones de control relativas a la posición y velocidad angular. Se identifican parámetros del modelo de la planta, se analizarán las condiciones del sistema a controlar, con el fin de, a partir de estos, seleccionar el controlador a implementar y posteriormente definir los criterios de diseño de este.

II. Objetivos

- Determinar la estabilidad de la planta en su representación velocidad-voltaje y posición-voltaje.
- Determinar experimentalmente la ganancia de estado estacionario(K) y la constante de tiempo(tau).
- Determinar cómo afecta la ganancia Kp y Kd al control de posición del servomotor.
- Diseñar un filtro pasa-bajo.
- Verificar el efecto del filtro en la respuesta del sistema.
- Diseñar un controlador PID,PI,PD o PV que cumpla los requerimientos de diseño establecidos.
- Realizar las simulaciones, análisis de perturbaciones y demás procesos requeridos para la validación de los criterios de diseño.

III. Marco Teórico

En esta práctica se desea controlar un motor DC sin escobillas conectado a un amplificador PWM cuya posición angular es medida mediante un encoder incremental óptico, que cuenta con una resolución de 2048 pulsos por revolución.

A continuación se muestra la función de transferencia que relaciona la posición angular del motor $\Theta_m(s)$ con el voltaje de entrada $V_m(s)$ que alimenta al motor:

$$\frac{\Theta_m(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{s(\tau s + 1)}$$

Ecuación 1: F.T relación $\Theta_m(s)/V_m(s)$

Así mismo, se cuenta con la función de transferencia que muestra la relación entre el voltaje de entrada al motor $V_m(s)$ y la velocidad angular $\Omega_m(s)$:

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{(\tau s + 1)}$$

Ecuación 2: F.T relación $\Omega_m(s)/V_m(s)$

Con esto en mente, ambas funciones de transferencia se podrían considerar como el proceso que se desea controlar; así, si se desea controlar la posición angular, se

consideraría el proceso con base a la **ecuación 1** y por otro lado, si se desea controlar la velocidad angular del motor, se consideraría el proceso con base a la **ecuación 2**.

En otro orden de ideas, durante un proceso de diseño de un control de un proceso, es importante analizar qué tipo de controlador es el más adecuado dependiendo unos requerimientos funcionales del sistema. Por ello, es importante conocer y analizar los distintos controladores que existen, para luego ver cuál de ellos se acopla mejor al sistema.

Primeramente, se cuenta con el **Control PID**, el cual es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado dados 3 parámetros: el proporcional, el integral y/o el derivativo. Debido a que existen 3 parámetros que pueden regir a este controlador, se pueden describir varias variantes del mismo:

Control P

Caracterizado porque la salida del controlador es proporcional al error acumulado.

$$C(s) = kp$$

Ecuación 3: F.T controlador P

Control PI

Caracterizado por tener un error en régimen permanente de cero y por ser adecuado cuando la dinámica de un proceso es esencialmente de 1° orden

$$C(s) = ki/s$$

Ecuación 4: F.T controlador PI

Control PD

Caracterizado por tener una acción de control más rápida y con mayor precisión en estado estable. Además, es un controlador de alta sensibilidad, ya que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva más grande.

No obstante, cuenta con una desventaja, la cual está relacionada con la amplificación de señales de ruido y posibilidad de saturación en el actuador.

$$C(s) = kp + kds$$

Ecuación 5: F.T controlador PD

Control PID

Caracterizado por contar con las ventajas que proporcionan los 3 componentes.

$$C(s) = kp + ki/s + kds$$

Ecuación 6: F.T controlador PID

Es importante mencionar que al aplicar el efecto derivativo, tanto en el PD como para el PID, se busca tener un efecto de “adelantamiento” para ver el comportamiento futuro que se va tener y que el controlador realice cambios pertinentes según dicha información. Sin embargo, con esto se genera una respuesta no causal, la cual no puede ser implementada físicamente por ningún controlador.

Por ello, se suele acompañar la acción derivativa con un filtro pasa-bajos; esto, equivale a agregar un polo alejado en la función de transferencia correspondiente. De igual modo, esto permite eliminar las señales de ruido de alta frecuencia que pudieran estar presentes en la señal medida y en su derivada.

En otro orden de ideas, existe otro tipo de controlador denominado **Control PV**, el cual es similar al control PD y es más utilizado en aplicaciones prácticas en la industria debido a lo volátil de derivar el error como se hace en el PD. A continuación, se muestra la función de transferencia que caracteriza a un controlador PV:

$$C(s) = \frac{Kkp}{\tau s^2 + (1 + Kkd)s + Kkp}$$

Ecuación 7: F.T controlador PV

IV. Procedimiento

El primer paso es encontrar la estabilidad del sistema en su representación velocidad voltaje y posición voltaje. Para esto, se tiene que encontrar la ubicación de los polos para determinar estabilidad o inestabilidad.

Para determinar la estabilidad se usan ambas funciones de transferencia de velocidad y posición angular respectivamente, simulando su comportamiento en Simulink. A continuación se pueden ver sus diagramas de bloques en Simulink, así como como su respuesta en el tiempo:

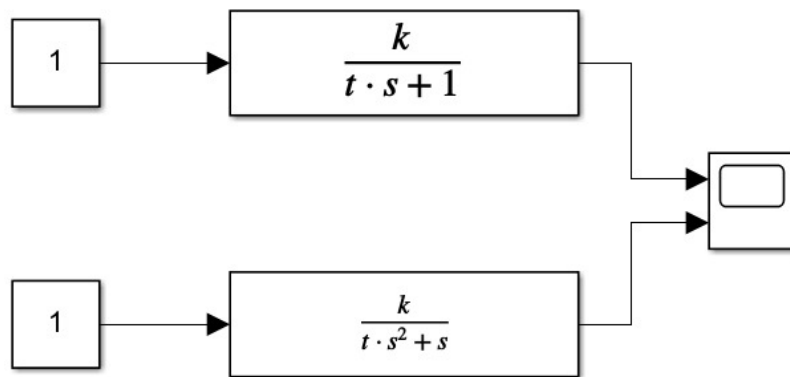


Figura 1: Diagramas de bloques de la respuesta en configuración velocidad-voltaje(abajo) y posición-voltaje (arriba)

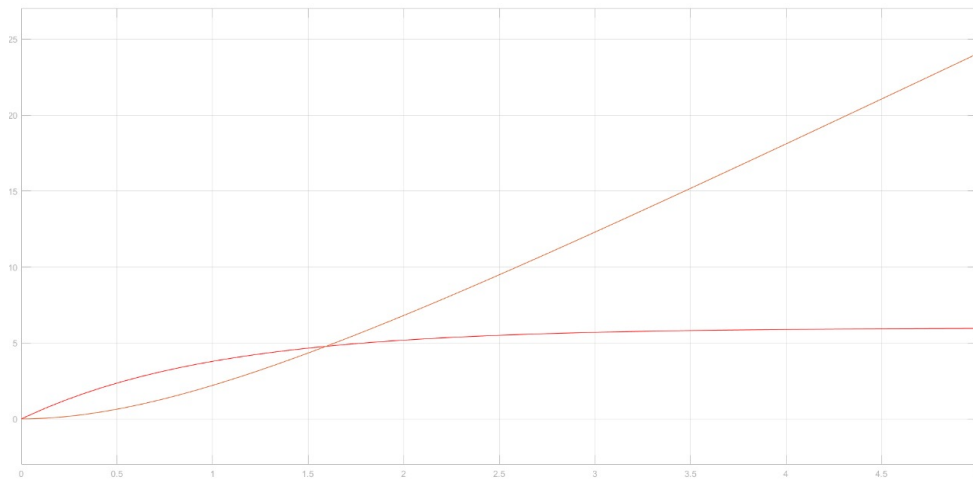


Figura 2: Respuesta en el tiempo en configuración velocidad-voltaje(rojo) y posición-voltaje (naranja)

Después de esto, se necesita encontrar la ganancia de estado estacionario así como la constante de tiempo τ . Para ello, se establece una serie de pasos a continuación:

1. Conectar el servomotor para leer una lista de datos de tiempo, posición y velocidad.
2. Tratar los datos encontrados para hallar el tiempo de estabilización.
3. Teniendo en cuenta el valor de velocidad y posición, después del tiempo de estabilización y comparándolo con el valor de voltaje de entrada, se puede hallar la ganancia de estado estable en cada caso.
4. Usando un margen de error sobre el tiempo de estabilización de 2%, se iguala este tiempo a 4τ para después despejar y encontrar la constante de tiempo τ .

Esto se llevó a cabo en el laboratorio tomando mediciones del comportamiento del servomotor respecto a la velocidad y posición angular. De esta manera, se logra

exportar esta información a excel para usar la herramienta para determinar K y tau. A continuación se muestra la tabla de datos resultantes:

Tiempo	Velocidad
0	0
36	17
102	27
169	32
236	35
302	38
369	40
436	42
504	43
572	43
639	44
707	44
774	45
842	45
910	45
978	45
1047	45
1115	45
1184	46
1253	45
1321	45
1390	45
1459	46
1527	46
1596	46
1665	45

Figura 3: Tabla de velocidad angular vs tiempo

Posterior a esto, se usó excel para graficar el comportamiento del servo velocidad vs tiempo. Y se usó una ecuación polinómica de orden 4 para aproximar su comportamiento tal cómo se puede ver a continuación:

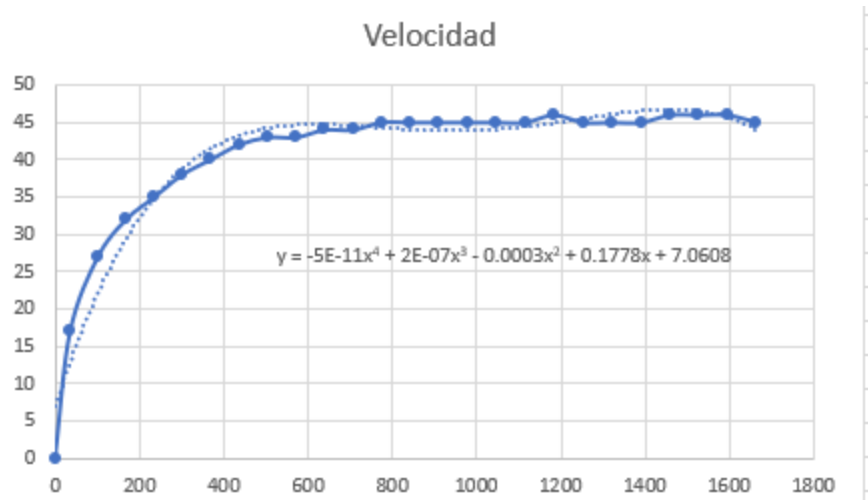


Figura 4: Tabla de velocidad angular vs tiempo

Después, se estableció el punto de estabilización en 45 radianes/segundo. Tomando un margen de error para el tiempo de estabilización del 2% para hallar el valor de 4 tau, se igual la función a al 98% de 45 rad/segundos (44.1 rad/seg). Este valor se introdujo en WolframAlpha y se encuentra la solución para el sistema:

$$x = 507.384 - 131.694 i$$

Posteriormente, se halla la magnitud la cuál es:

$$524.196$$

Este valor será igual a 4 tau, por lo que se encontró que 4 tau es igual a 131,049 ms o 0,131 s. Además, se calcula K, el cuál es igual a 45 rad/seg / 2 v. Siendo la ganancia en estado estacionario igual a 22,5 rad/seg por voltio.

Finalmente, gracias a todos estos cálculos, se llegó a la siguiente función de transferencia:

$$Sm(s) = \frac{22.5}{0.131s+1}$$

Ecuación 8: F.T del servomotor

Teniendo esto claro, se pasó a implementar una implementación en Simulink que permitiera ver el comportamiento del sistema a medida que se varían los parámetros del controlador PID que se implementa.

Inicialmente, se considera un $kd = 0$ y se varía kp entre 1 y 4 en pasos de 0.5. A continuación se muestra el montaje y los resultados obtenidos

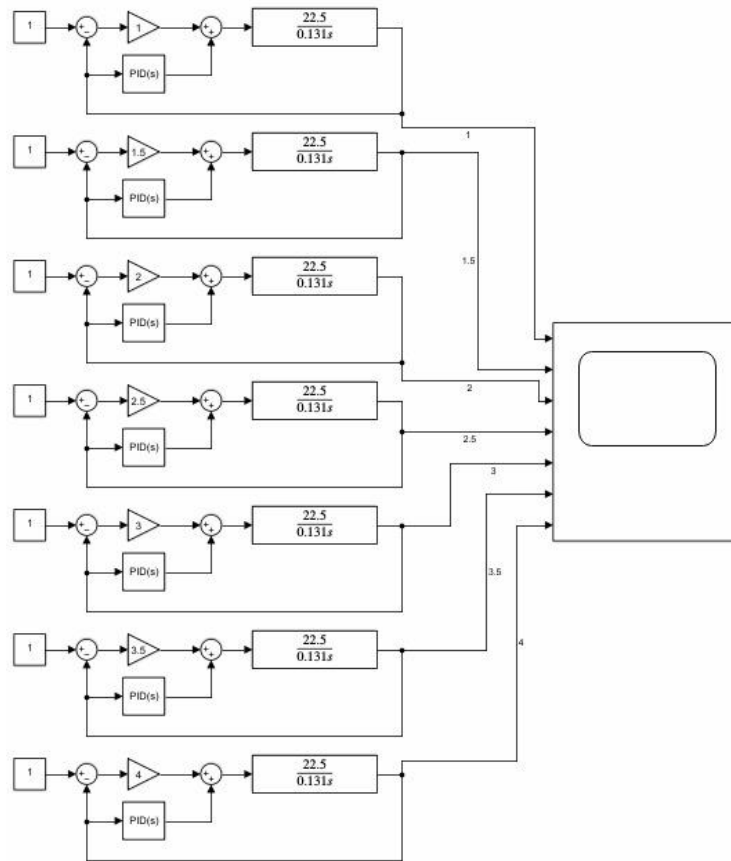


Figura 5: Montaje realizado en Simulink con variación de k_p

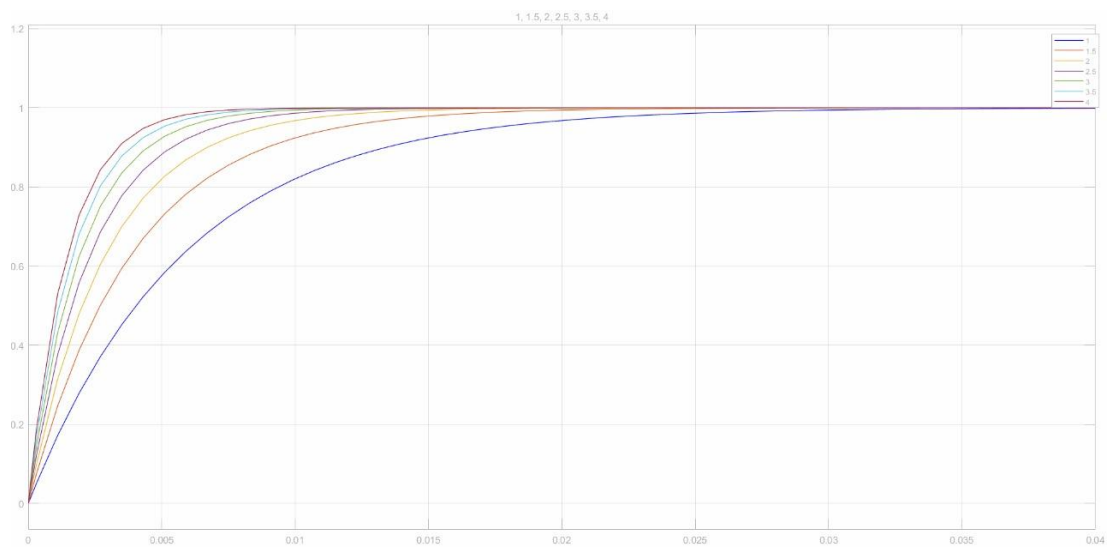


Figura 6: Respuestas obtenidas con variación de k_p

Luego, se toma un $k_p = 2.5$ y se varía k_d entre 0 y 0.15 en pasos de 0.03. A continuación se muestra el montaje y los resultados obtenidos

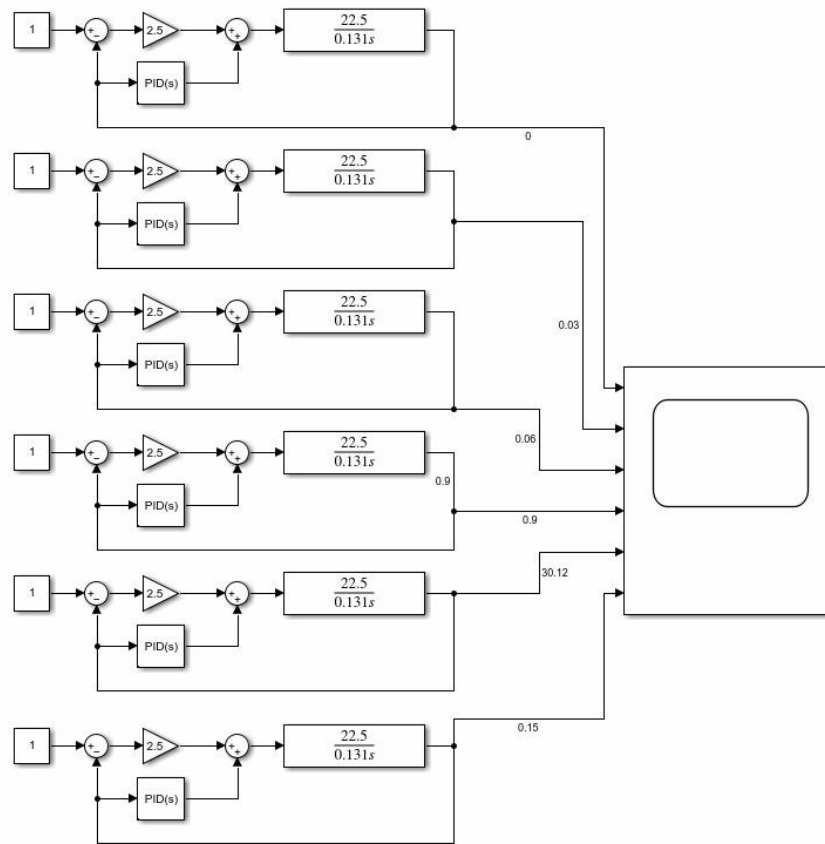


Figura 7: Montaje realizado en Simulink con variación de k_d

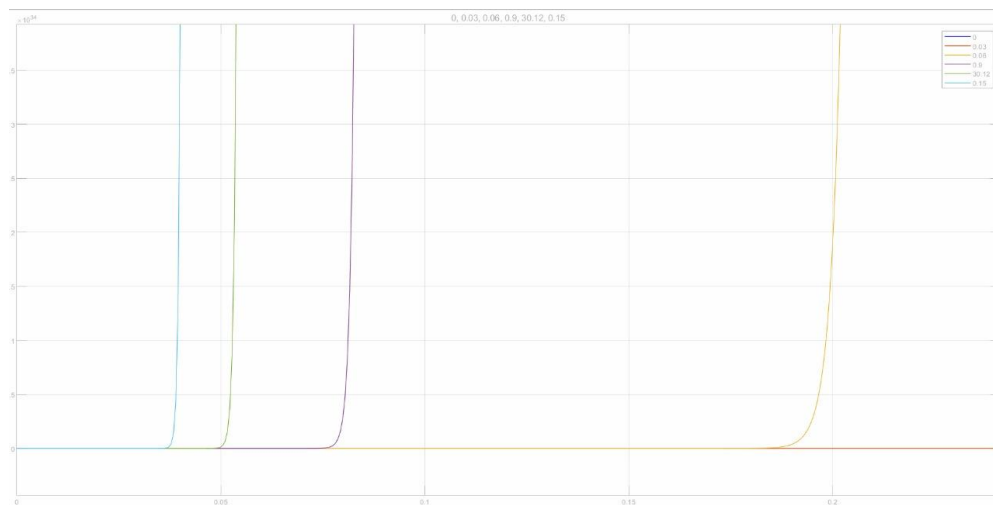


Figura 8: Respuestas obtenidas con variación de k_d

Pasos para el diseño de un controlador

1. Análisis del sistema a controlar
 - a. Buscar las necesidades principales
 - b. Analizar el tipo de lazo que resolvería el problema
2. Selección del controlador adecuado.
3. Cálculos matemáticos para la obtención de valores de control.
4. Simulación del sistema en entorno ideal con los valores obtenidos.
5. Análisis de respuesta y, en caso de no llegar a resultados adecuados, volver al punto 1.
6. Implementación del controlador en entorno real.
7. Análisis de respuesta real y, en caso de no llegar a resultados adecuados, volver al punto 3.

V. Resultados

Se logra analizar el comportamiento teórico del sistema bajo las diferentes condiciones establecidas. Se encontró un problema en el cuarto punto de la guía, por lo que se dificulta proceder a los siguientes puntos para la ejecución del tema de control específicamente.

VI. Conclusiones

Por las carencias encontradas en la ejecución de la actividad, se decide reintentar los procesos de manera posterior a la resolución de ciertas dudas encontradas en el proceso, con ello, se complementará la actual entrega para contar con la preparación adecuada para la actividad completa del laboratorio.