

COMPARACIÓN ZIEGLER-NICHOLS VS PID TUNER: CONTROL DE VELOCIDAD EN UN MOTOR DE CD

Alfredo Roldán Caballero¹
Eduardo Hernández Márquez²
Cristofer Mateo Rodríguez López¹

Ramón Silva Ortigoza¹
Salvador Tavera Mosqueda¹
José Rafael García Sánchez³

¹Instituto Politécnico Nacional
CIDETEC
Área de Mecatrónica

²Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica
Departamento de Mecatrónica

³Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Lerma
Departamento de Procesos Productivos

Resumen

En el área de control automático, el control Proporcional Integral Derivativo (PID), es utilizado comúnmente, por una parte, por su robustez ante perturbaciones y por otra porque no se requiere del conocimiento de los parámetros del sistema. Este control hace uso de tres ganancias; ganancia Proporcional (K_p), ganancia Integral (K_i), ganancia Derivativa (K_d), una selección adecuada de estas ganancias, por medio de una sintonización, logrará un funcionamiento óptimo del control PID sobre sistema. La obtención de K_p , K_i y K_d , se puede realizar mediante el criterio de Ziegler-Nichols, este es un método heurístico utilizado para la sintonización del control PID. También, es posible obtener las ganancias de manera automática, mediante el uso de PID Tuner, herramienta del software Matlab. Por lo anterior en este trabajo se presenta una comparativa de las ganancias obtenidas mediante el criterio de Ziegler-Nichols y PID Tuner para un motor de CD de imán permanente.

1. Introducción

En muchas ocasiones no se conoce el modelo matemático del sistema o es tan complejo que no es fácil obtener. En estos casos no es posible aplicar una ley de control de manera analítica. Sin embargo, se pueden aplicar métodos de sintonización como el de Ziegler-Nichols, que son eficientes cuando se desconoce el modelo del sistema y se quiere aplicar un control PID, en este trabajo, se retoma el primer método de sintonización. Por otra parte, existe software como Matlab que cuenta con herramientas como PID Tuner, siendo posible llevar a cabo una sintonización de manera automática. Con PID Tuner se pueden obtener las ganancias cuando se cuenta con el modelo matemático o cuando se tiene el sistema físico. En muchas aplicaciones industriales es común que no se cuente con el modelo matemático. El control PID es el más utilizado en diferentes sistemas; controles de temperatura, servo válvulas, servomotores, entre otros, por lo anterior es eficiente aplicar los métodos de sintonización antes mencionados. En este trabajo, se lleva a cabo la comparativa de la eficiencia de las ganancias K_p , K_i y K_d , para control PID aplicado a un motor de CD de imanes permanentes cuando se utiliza, i) el método de Ziegler-Nichols y ii) utilizando PID Tuner. El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se lleva a cabo una descripción del motor de CD bajo estudio. En la sección 3 se presentan las generalidades del control PID, mientras que en la sección 4 se aplica el primer método de sintonización Ziegler-Nichols y en la sección 5 se obtienen las ganancias con PID Tuner. Finalmente se presentan las conclusiones de la comparación de ambos métodos.

2. Descripción del motor

La comparación que se presenta, referente a la sintonización de un control PID utilizando el primer método de Ziegler-Nichols y PID-Tuner es para un motor de CD. Por una parte, es un elemento común en los sistemas mecatrónicos. Por otra, sensor la velocidad angular de la flecha del motor o salida ω , se realiza fácilmente utilizando un encoder. El motor bajo estudio es de la marca ENGEL modelo GNM5440E-G3.1, cuyo diagrama esquemático se muestra en la Figura 1.

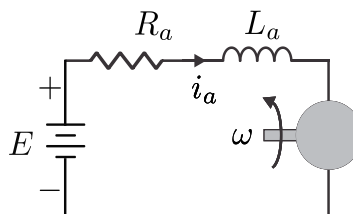


Figura 1. Diagrama del motor de CD.

Con $E = 24 \text{ V}$ y los parámetros del motor siguientes:

$$\begin{aligned} L_a &= 2.22 \text{ mH}, & k_m &= 120.1 \times 10^{-3} \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{A}}, \\ R_a &= 0.965 \Omega, & k_e &= 120.1 \times 10^{-3} \frac{\text{V}\cdot\text{s}}{\text{rad}}, \\ J &= 118.2 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 & b &= 129.6 \times 10^{-3} \frac{\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}}{\text{rad}}, \end{aligned}$$

donde k_m y k_e son las constantes del motor y contra electromotriz respectivamente, mientras J es la inercia y b es la constante de fricción. El modelo matemático del motor se expresa mediante las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$L_a \frac{di_a}{dt} = E - R_a i_a - k_e \omega, \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m i_a - b \omega. \quad (2)$$

En este trabajo se ha simulado el comportamiento del motor mediante su modelo matemático (1), (2), la Figura 2 muestra la simulación en Matlab para obtener los datos de la velocidad angular ω , así como la función escalón utilizada para ambas sintonizaciones.

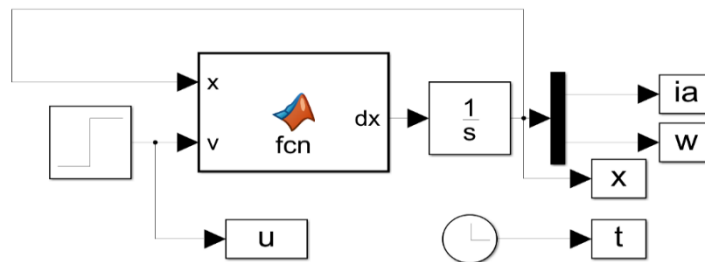


Figura 2. Diagrama de bloques del modelo del motor.

3. Control PID

El control PID es uno de los controles más utilizados en la industria, debido a su robustez, confiabilidad, facilidad de comprensión y de sintonización [1]. Este control cuenta con tres términos, los cuales le dan el nombre al control, el término proporcional K_p , el integral K_i y el derivativo K_d . Matemáticamente el control PID se expresa:

$$u = K_p e(t) + K_i \int_{t_0}^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}, \quad (3)$$

donde u es la entrada del sistema, para el motor $E = u$, mientras que $e(t)$ es el error de regulación, el cual se define como $e(t) = y - r$, siendo y la salida del sistema; para el motor $y = \omega$, mientras r es la referencia a la cual se quiere llevar la salida. Otra forma de expresar el control PID es:

$$u = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e(t) dt + T_d \frac{de}{dt} \right), \quad (4)$$

de las ecuaciones (3) y (4), se observa:

$$K_I = \frac{K_p}{T_i}, \quad (5)$$

$$K_D = K_p T_d. \quad (6)$$

El controlador PID agrega un polo y un cero a la planta en lazo abierto, por lo que una adecuada selección de las ganancias K_p , K_i y K_d determinan una buena respuesta en lazo cerrado del sistema.

4. Primer método de Ziegler-Nichols

El primer método de Ziegler-Nichols se realiza mediante la medición de la salida de la planta [2]; en este caso la planta es el motor de CD con salida ω , como respuesta a un escalón unitario como entrada. Se espera que la respuesta de la planta muestre una forma de "S" para que se pueda utilizar este método. El motor cuenta con este tipo de respuesta ante una entrada escalón, como se muestra en la Figura 3.

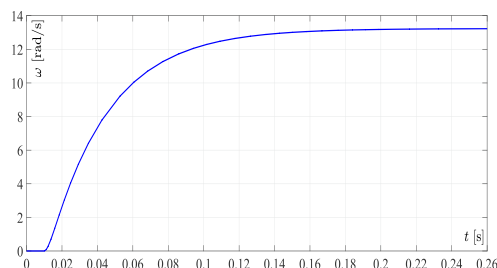


Figura 3. Respuesta ω del motor ante una.

Una vez que se grafica ω , se realizan los siguientes pasos:

1. Identificar el valor de la velocidad en estado estacionario ω_s (Ver Figura 4) y trazar una recta con este valor.
2. Trazar una línea tangente al punto de inflexión de la gráfica de la respuesta.
3. Identificar el tiempo de retraso t_d , es el tiempo entre el inicio del escalón, en este caso $t = 0.1$ s, y la intersección de la línea tangente y el eje del tiempo.
4. Identificar la constante de tiempo τ , es el tiempo que existen entre la intersección de la línea tangente con el eje del tiempo y la intersección con la recta de estado estacionario.

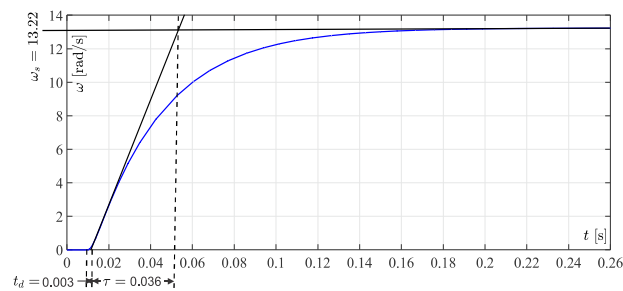


Figura 4. Respuesta ω del motor ante una entrada escalón.

5. Una vez que se han identificado los parámetros de Ziegler-Nichols, se procede a evaluarlos de acuerdo con la Tabla I.

Tabla I. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols.

Tipo de control	K_p	T_i	T_d
P	τ/t_d	∞	0
PI	$0.9 \tau/t_d$	$t_d/0.3$	0
PID	$1.2 \tau/t_d$	$2t_d$	$0.5t_d$

Los parámetros obtenidos son:

$$\begin{aligned} K_p &= 14.4, \\ T_i &= 0.06, \quad K_i = 240, \\ T_d &= 0.0015, \quad K_d = 0.0216. \end{aligned} \quad (7)$$

En la Figura 5, se muestran los resultados de simulación utilizando las ganancias (7) para una velocidad angular de $10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

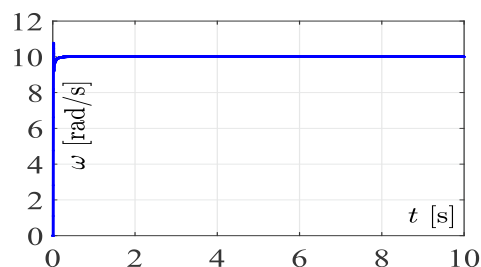


Figura 5. Respuesta ω con control PID con las ganancias (7).

5. Herramienta PID-Tuner de Matlab.

Con PID-Tuner, es posible obtener los parámetros del control PID a partir del conocimiento de la salida del sistema [3]. En este trabajo se realiza la sintonización del PID mediante la obtención de los datos de salida ω . Para obtener las ganancias primero se debe de identificar la planta mediante los siguientes pasos:

1. Escriba en la ventana de comandos de Matlab “pidTuner”.
2. Dentro de la aplicación (Ver Figura 6. a)) seleccione “Plant” de la pestaña de herramientas PID Tuner y después “Identify New Plant”.
3. En la pestaña “Plant Identification” (Ver Figura 6. b)), la cual se selecciona, dar clic en “Get I/O Data” y seleccione “Step Response”.
4. En la ventana “Import Step Response” seleccione los parámetros de la entrada escalón, así como señal de la salida del sistema, ver Figura 6. c), después seleccione “Import”.
5. Se mostrará los datos de la planta y la planta identificada. Ajuste la gráfica de modo que la planta identificada y la planta real sean la misma, ver figura 7 d).

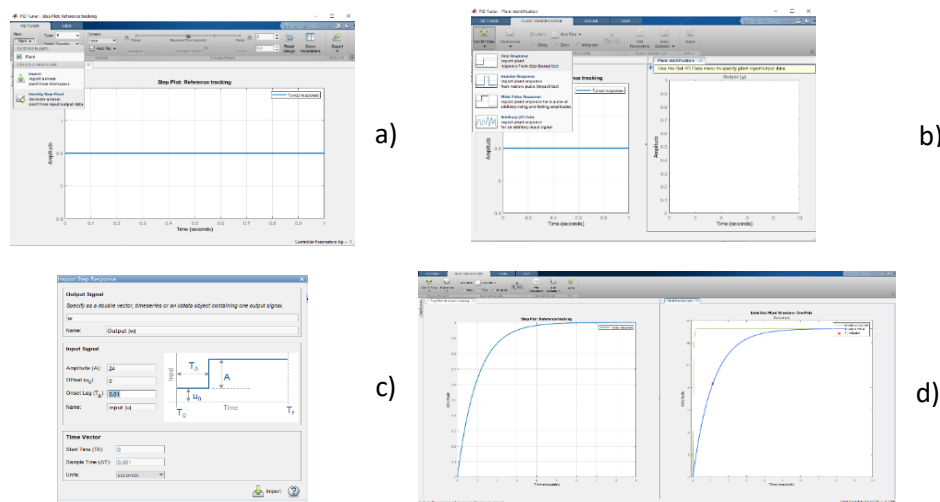


Figura 6. Identificación de la planta con PID Tuner.

Tras identificar la planta, se calculan los valores PID, de la siguiente forma:

1. En la pestaña “PID Tuner” seleccione “PID” en el cuadro de dialogo “Type”, mientras que en el cuadro de dialogo “Form” se elige “Parallel” como se muestra en la Figura 7. a).
2. Por último, nuevamente en la pestaña “Plant Identification” se selecciona “Apply” y los valores PID se mostrarán en la parte inferior derecha de la aplicación, como se ilustra en la Figura 7. b).

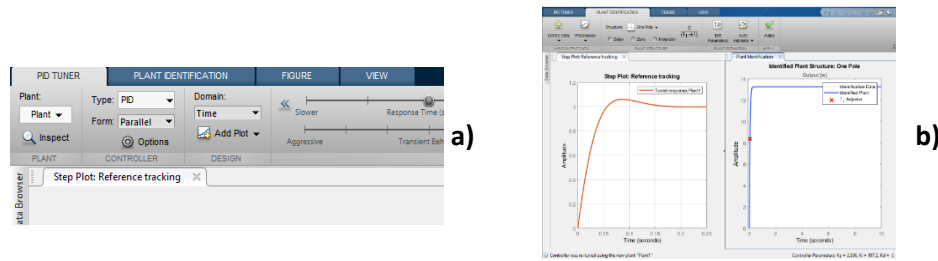


Figura 7. Sintonización del control con PID Tuner.

Los valores obtenidos por medio PID Tuner son: $K_p = 2.596$, $K_i = 107.2$, $K_d = 0$. Los resultados de simulación del sistema con un control PID para la velocidad angular ω utilizando la sintonización mediante PID-Tuner se muestra en la Figura 8.

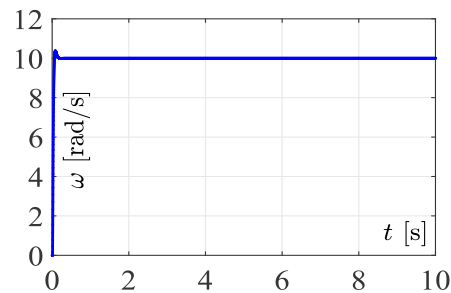


Figura 8. Respuesta ω con control PID con las ganancias (8).

6. Conclusiones

En este trabajo se presentó la comparación del desempeño en lazo cerrado de un control PID cuando las ganancias K_p , K_i , K_d , son obtenidas mediante Ziegler-Nichols o cuando se obtienen mediante PID-Tuner. En los resultados se puede observar que la respuesta fue mejor con PID-Tuner. Es importante mencionar que con el método Ziegler-Nichols es un método heurístico y existe un amplio rango de error al seleccionar los valores de las variables.

6. Referencia

- [1] N. S. Nise, Control systems engineering. Wiley, NJ, USA, 2010
- [2] K. Ogata, Modern control engineering. Prentice Hall, NJ, USA: PEARSON Press, 2009.
- [3] <https://la.mathworks.com/help/control/ref/pidtuner-app.html>.