

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Driver de motor de DC

Alumnos:

ELÍAS Tomás R.

Leg 62510

HERNANDO Diego J.

Leg 62509

MALERBA Martín I.

Leg 63495

MIRANDA Joaquín M.

Leg 62513

Docentes:

OROS Ramon Ceferino (Adjunto)

AVRAMOVICH Javier Alejandro (JTP)

6 de febrero de 2017

Índice

1. Introducción teórica	2
1.1. Motores de corriente continua	2
1.1.1. Control por armadura	2
1.1.2. Control por campo	3
2. Simulaciones	3
2.1. Variables del motor y de control	3
2.2. Medición de constantes de tiempo	6
2.2.1. Constante de tiempo eléctrica	6
2.2.2. Constante de tiempo mecánica	7
2.3. Sintonización óptima	9
2.4. Cambio en el límite de corriente	10
3. Conclusiones	11

1. Introducción teórica

1.1. Motores de corriente continua

Las máquinas de corriente continua son bastante usadas en sistemas de control en lazo cerrado, en particular para el control de velocidad y torque. Existen máquinas de diversos tamaños, comenzando a partir de unos cuantos Watts –accionados por amplificadores electrónicos, a varios cientos de kilovatios –accionados por generadores Ward-Leonard. Los servomotores de bajo consumo de potencia se usan a menudo en instrumentación, particularmente en sistemas de control de aviones, donde limitaciones de peso y espacio requieren de motores que provean el máximo de potencia por unidad de volumen. Un cuerpo conductor que transporta corriente, cuando es inmerso en un campo magnético, experimenta una fuerza proporcional a la magnitud del flujo, la corriente, la longitud del conductor y el ángulo entre el conductor y la dirección del flujo. Cuando el conductor se localiza a una distancia fija de un eje, con respecto al cual puede rotar, se genera un torque proporcional al producto de la fuerza y el radio. En un motor, el torque resultante es la suma de torques producidos por conductores individualmente. Para un rotor dado las únicas dos cantidades que se pueden manipular son la corriente de armadura y el flujo. Luego, existen dos modos de operación de un motor DC:

- Modo por armadura controlada.
- Modo por campo controlado.

1.1.1. Control por armadura

En el motor DC de armadura controlada el campo es excitado de forma separada por una corriente constante i_f a partir de una fuente DC fija. El flujo puede ser escrito como $\phi = K_f i_f$, K_f constante. El torque desarrollado por el motor es proporcional al producto de ϕ y la corriente en la armadura y la longitud de los conductores. Dado que el campo es asumido constante, el torque desarrollado por el motor se puede expresar como:

$$\tau_m = K_i * i_a \quad (1)$$

El torque del motor es usado para accionar el sistema que posee una inercia total I_{eq} . Asumiendo el caso ideal donde el torque entregado es igual a la carga (en la práctica no hay 100 % de eficiencia). Entonces:

$$I_{eq} * \ddot{\theta} = K_i * i_a \quad (2)$$

donde θ es la posición angular del eje del motor.

A medida que la armadura rota en un campo, ésta desarrolla un voltaje inducido e_b en dirección opuesta al suministro de armadura. Este voltaje se llama fuerza contra-electromotriz y es proporcional a la velocidad de rotación $\dot{\theta}$ y el flujo creado por el campo. Dado que el campo es constante, la fuerza contra-electromotriz puede ser expresada como:

$$e_b = K_b * \dot{\theta} \quad (3)$$

donde K_b es la constante de voltaje del motor.

El control de la velocidad del motor se obtiene ajustando el voltaje aplicado a la armadura. Su polaridad determina la dirección de rotación del motor. El diagrama esquemático del sistema motor DC de armadura se presenta en la Fig. 1.

En la Fig. 2 se muestra el diagrama en bloques de un motor de corriente continua controlado por armadura.

Como se puede observar en el diagrama para obtener una cierta velocidad angular $\Omega_{M(s)}$ es necesario aplicar una tensión en la armadura. El control consistirá en realimentar el valor de la velocidad angular alcanzada y así modificar el valor de la tensión para corregir dicha velocidad.

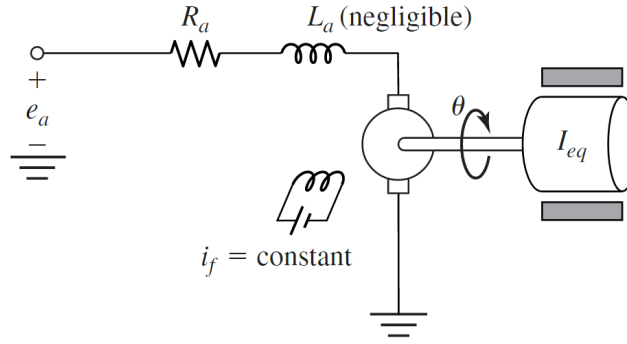


Figura 1: Modelo de un motor DC controlado por armadura

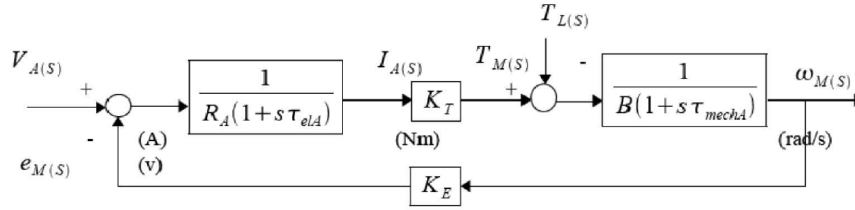


Figura 2: Diagrama en bloques de un motor DC controlado por armadura

1.1.2. Control por campo

La Fig. 3 muestra el diagrama esquemático del motor DC de campo controlado donde la corriente de la armadura es mantenida constante y el campo es suministrado a partir de un voltaje ajustable e_f .

El torque τ desarrollado por el motor es proporcional al flujo creado por la corriente de armadura, la corriente del campo y la longitud de los conductores. Para un motor dado, con corriente de armadura constante, el torque puede ser expresado como:

$$\tau = K_T * i_f \quad (4)$$

donde K_T es la constante de torque. Este torque es usado para mover la carga de inercia total J y para vencer la fricción viscosa. Eso puede ser expresado, despreciando la rigidez torsional del eje, como:

$$\tau = J * \ddot{\theta}_m + B * \dot{\theta}_m \quad (5)$$

Aplicando la ley de voltaje de Kirchhoff en el circuito del campo se obtiene:

$$e_f = R_f * i_f + L_f * \dot{i}_f \quad (6)$$

La representación de espacio de estados se obtiene considerando a la posición angular y su derivada como los primeros estados, $x_1 = \theta_m$, $x_2 = \dot{\theta}_m$, la corriente de campo como el tercer estado, $x_3 = i_f$, y al voltaje del campo como la entrada $u = e_f$ donde la posición angular se considera como la salida $y = \theta_m = x_1$.

2. Simulaciones

2.1. Variables del motor y de control

En la Fig. 4 se muestra el diagrama de control de un motor de corriente continua, correspondiente al archivo de simulación “power.dcdribe” de Matlab.

Comenzamos la simulación a partir de las siguientes condiciones:

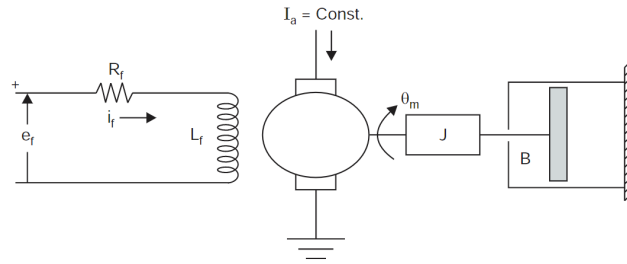


Figura 3: Modelo de un motor DC controlado por campo

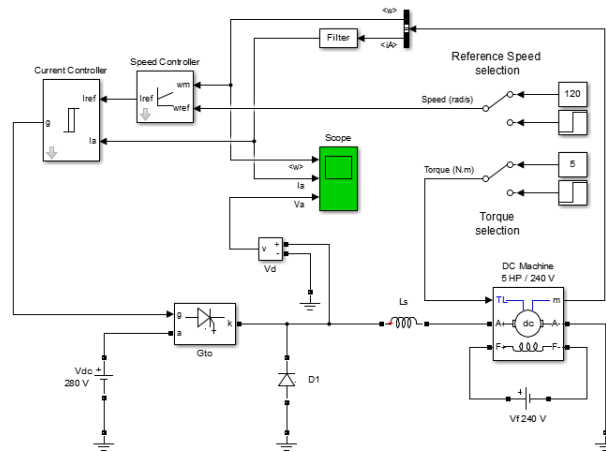


Figura 4: Driver para el control de velocidad de un motor DC

- Velocidad: 120rad/s
- Torque: 5Nm

Las mediciones se observan en la Fig. 5.

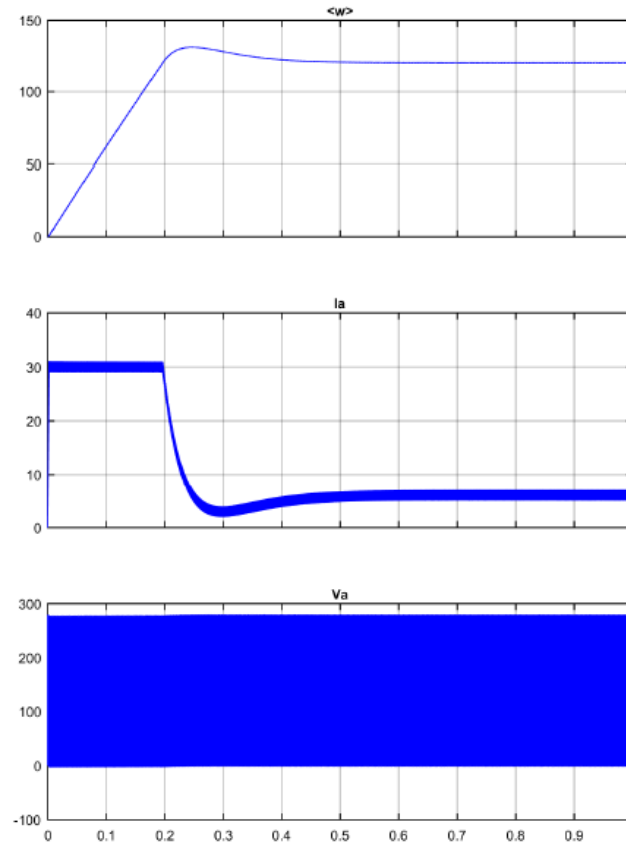


Figura 5: Velocidad angular, corriente y tensión (respectivamente) para torque y velocidad constantes

Cuando el motor desea arrancar es necesario vencer su inercia estática, ya que estaba detenido, para acelerarlo, generando así a una corriente de mayor amplitud debido al transitorio en la velocidad angular del rotor. La corriente máxima es de 30 A, ya que fue limitada por el controlador. Una vez que el rotor alcanza la velocidad de referencia, la corriente disminuye al valor que permite mantener la velocidad.

Ahora cambiamos las condiciones del circuito por las siguientes:

- Velocidad: $120 \text{ rad/s} - 140 \text{ rad/s}$ $t = 1 \text{ s}$
- Torque: $5 \text{ Nm} - 25 \text{ Nm}$ $t = 1,5 \text{ s}$

En la Fig. 6 se observan las nuevas mediciones.

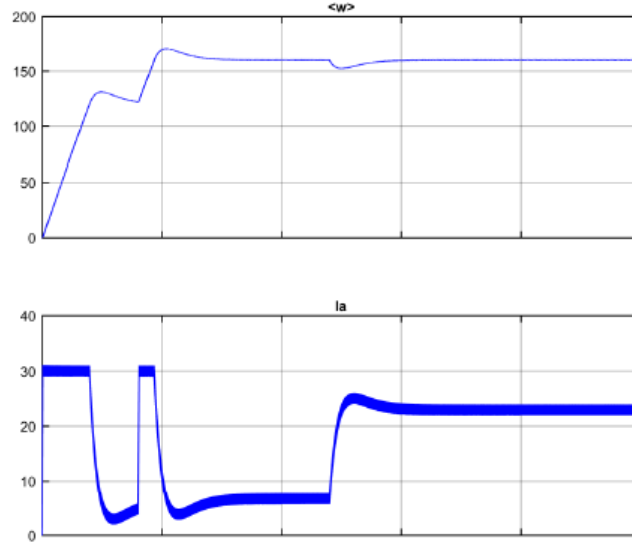


Figura 6: Velocidad angular y corriente (respectivamente) para torque y velocidad variables

Para el instante de inicio, se ve lo mismo que se había observado en el paso anterior.

Cuando se produce el escalon de velocidad de referencia en $t = 1s$ el sistema intenta seguirlo como se puede apreciar en la curva correspondiente. Al haber cambios en ω el par y la corriente de armadura cambian al ritmo de la derivada $\delta\omega M = \delta t$ y ambos tienden a los valores que tenían antes de producirse el escalon.

Finalmente, para un $t = 1,5s$ se produce un cambio en la carga del sistema, el controlador detecta este cambio pues el rotor se frena e intenta corregirlo aumentando la corriente de armadura para que el par generado pueda equilibrar el cambio producido en la carga.

2.2. Medición de constantes de tiempo

2.2.1. Constante de tiempo eléctrica

Aquí lo que hacemos, a partir del diagrama en bloques de la Fig. 2, es hacer $T_L = 0$, con lo cual obtenemos en diagrama de la Fig. 7. Entonces la constante eléctrica se calcula de la

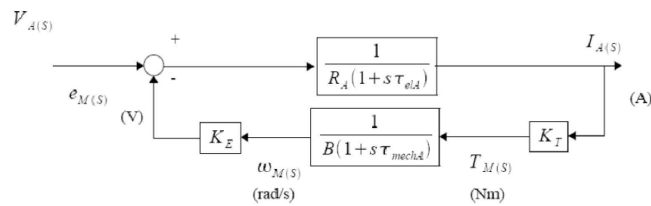


Figura 7: Diagrama para $T_L = 0$

siguiente manera:

$$\tau_e = \frac{R_a}{L_a} = \frac{0,01}{0,5} = 20ms \quad (7)$$

Esto lo podemos comprobar a través de la simulación.

En la Fig. 8 se observa el circuito para la medición de la constante eléctrica. Una de las medidas necesarias para esto es modificar el coeficiente de rozamiento viscoso del motor. Entramos en la configuración del motor y lo aumentamos a $1000Nm.s$. Es importante incrementarlo para que no se produzca una aceleración del rotor cuando se aplica una corriente a la armadura.

Otras de las medidas es no utilizar el controlador PI, alimentando solo con el escalón de tensión de armadura.

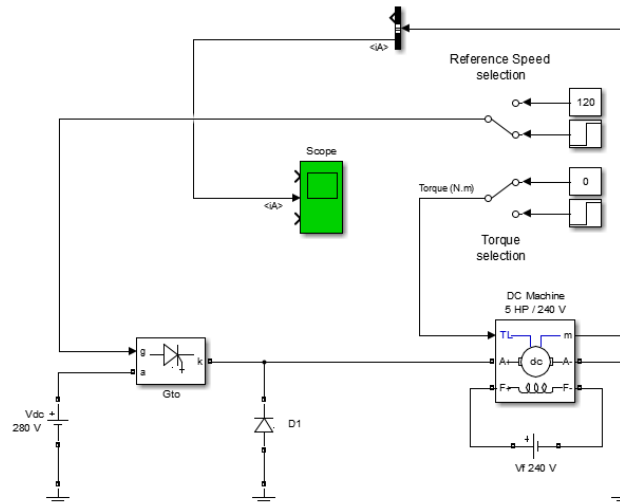


Figura 8: Circuito para la medición de la constante eléctrica

Los resultados se observan en la Fig. 9. Aquí debemos obtener el valor del tiempo para una corriente de armadura de $1 - 1/e$ del valor en régimen del motor. Se ve que la constante da un valor muy cercano a la calculada.

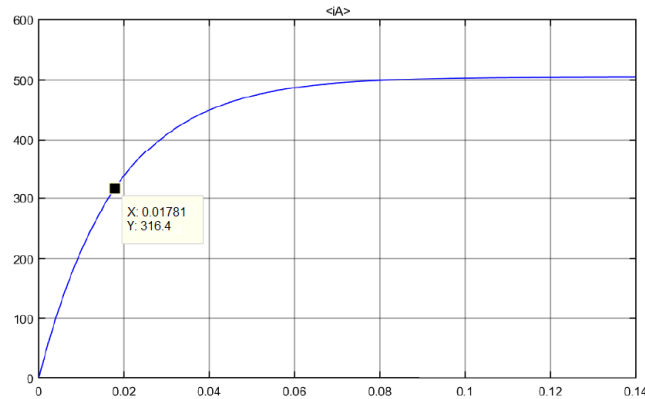


Figura 9: Constante eléctrica del motor DC

2.2.2. Constante de tiempo mecánica

Aquí lo que hacemos, a partir del diagrama en bloques de la Fig. 2, es hacer $V_A = 0$, con lo cual obtenemos en diagrama de la Fig. 10. La constante de tiempo mecánica será:

$$\tau_m = \frac{J}{B} = \frac{0,05}{0,02} = 2,5s \quad (8)$$

En la Fig. 11 se observa el circuito propuesto para la medición de la constante mecánica, donde se debe tener en cuenta una R_a muy grande.

El valor obtenido se grafica en la Fig. 12, donde se procedió de la misma manera que en el punto anterior para el calculo gráfico de la constante mecánica. Se ve que el valor obtenido está muy cerca del calculado.

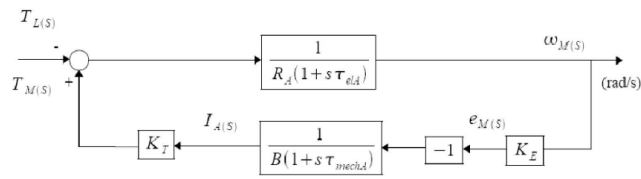
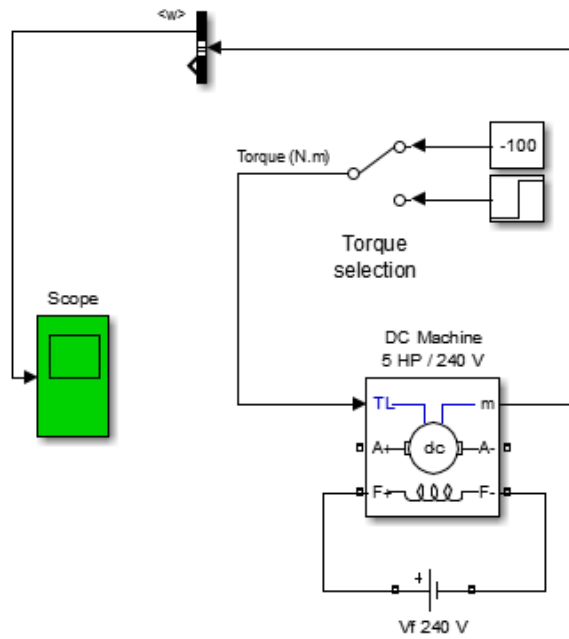
Figura 10: Diagrama para $V_A = 0$ 

Figura 11: Circuito para la medición de la constante mecánica

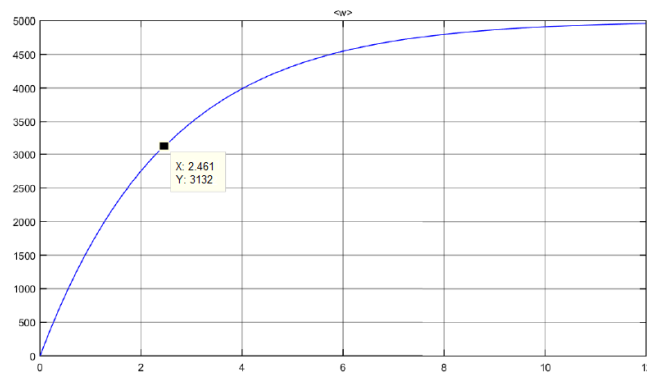


Figura 12: Constante mecánica del motor DC

2.3. Sintonización óptima

Para ésta consigna, lo que hacemos es variar los parámetros de control del PI hasta lograr la mejor sintonía posible. Este proceso es a prueba y error. Los parámetros propuestos son los siguientes:

- $K_p = 20$
- $K_i = 20$

En estas condiciones, se llega a la Fig. 13, la cual representa la mejor sintonía obtenida.

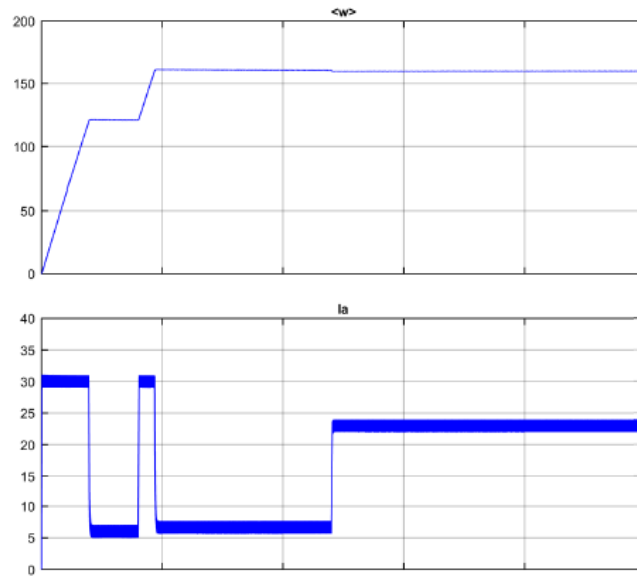


Figura 13: Sintonía óptima

2.4. Cambio en el límite de corriente

En este caso lo que hacemos es cambiar el límite de corriente en el controlador, de su valor original (30A) a un valor de (50A). El efecto obtenido es un aumento en la velocidad de respuesta mecánica del sistema porque al consumir mas corriente, se incrementará el torque y el rotor tendrá mayor velocidad. Al aumentar la velocidad la constante de tiempo mecánica disminuirá mientras que la eléctrica será la misma. Esta variación se puede observar en la Fig. 14 donde la pendiente de la velocidad es más abrupta que para el caso de 30 A máximo.

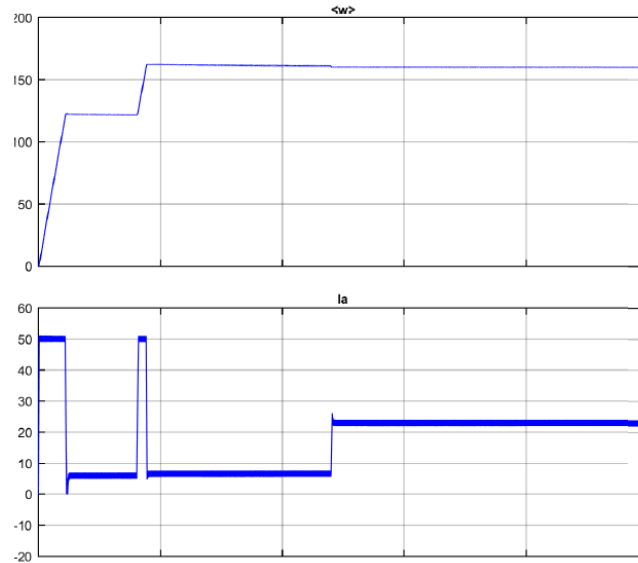


Figura 14: Límite de corriente = 50A

3. Conclusiones

En cuanto a las constantes de tiempo, hay que tener en cuenta la independencia entre sí. Mientras la constante de tiempo eléctrica depende de las características eléctricas propias del motor, la constante de tiempo mecánica se ve influenciada por el momento de inercia y la fricción propia del motor a las cuales se suman las correspondientes cargas asociadas. Estas cargas asociadas producen un par que sumado al interno (o de pérdidas) del motor conforman el par de carga total, el cual esta directamente asociado con la excitación eléctrica (Corriente aplicada). Mediante un control PI se puede mejorar la característica de las constantes.

A través de la ecuación general del par:

$$T_e = T_L + J * d(\omega_m)/dt \quad (9)$$

Observamos que el torque eléctrico desarrollado por el motor es igual al torque que produce la carga en el eje del motor más el momento de inercia por la aceleración angular, es decir que si variamos la velocidad varía el par eléctrico.

En cuanto al controlador PI, la entrada es la diferencia de la velocidad de referencia y la velocidad actual, y entrega en su salida una corriente en concordancia con las diferencias de ambas entradas. Aporta al sistema además otro polo con el cual se mejora el error de estado estacionario en un orden. Es decir, si el error de estado estacionario a una entrada es estable al agregar este controlador el mismo se hace cero. Con la variación de los coeficientes K_p y K_i se consigue un mejor seguimiento a la señal de entrada.

En cuanto al límite de corriente, que el controlador esté limitado por una corriente máxima es necesario, ya que, cuando se producen cambios en la aceleración angular se produce un torque elevado. Para conseguir este torque el motor necesita de un alto consumo de corriente, por lo tanto, genera picos que me pueden deteriorar el sistema. Es una protección, lo cual hace que cuando el motor varíe en un alto valor la aceleración angular, ya sea desde el arranque o un cambio de sentido, va a reaccionar más lento que si la misma no estuviera pero estaremos cuidando el dispositivo.