

CONTROL ROBUSTO PARA EL SISTEMA CONVERTIDOR DE CD/CD BUCK-MOTOR DE CD ALIMENTADO POR UN PANEL SOLAR

Eduardo Hernández Márquez¹

Ramón Silva Ortigoza¹

José Rafael García Sánchez¹

Víctor Hugo García Rodríguez¹

Carlos Alejandro Avila Rea¹

César Noé Pérez Catalán¹

¹ Instituto Politécnico Nacional

CIDETEC Área de Mecatrónica

Unidad Profesional Adolfo López Mateos

C.P. 07700, Ciudad de México, México

Resumen

Este trabajo presenta un control robusto para el seguimiento de velocidad angular del sistema convertidor de CD/CD Buck-motor de CD, alimentado por un panel solar. El desempeño del control es verificado a través de simulaciones en lazo cerrado utilizando el Toolbox de SimPowerSystem de Matlab-Simulink, para diferentes niveles de irradiación solar.

1. Introducción

La dependencia de combustibles fósiles y el daño que estos provocan al entorno, motivan que las fuentes de energía renovables empiecen a ser implementadas directamente en aplicaciones mecánicas. Sin embargo, como se sabe, la irradiación solar no permanece constante a lo largo de un periodo de tiempo, provocando que el voltaje generado por un panel solar tampoco sea constante. Es por ello que, motivado por los controles robustos para sistemas convertidor de CD/CD-motor de CD [1]–[3], aquí se propone un control robusto para el sistema convertidor de CD/CD Buck-motor de CD alimentado por un panel solar. Logrando un suministro adecuado

de voltaje en el motor y así resolviendo satisfactoriamente el seguimiento de trayectoria de velocidad angular, aún en presencia de variaciones en la irradiación solar.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera. Las generalidades del sistema “panel solar–convertidor de CD/CD Buck–motor de CD” son dadas en la Sección 2. Mientras que en la Sección 3 y 4 se presentan, respectivamente, la implementación del control robusto y su desempeño en lazo cerrado vía simulaciones circuitales. Finalmente, las conclusiones son dadas en la Sección 5.

2. Sistema convertidor de CD/CD Buck–motor de CD

Aquí se describen las partes que componen al sistema panel solar–convertidor de CD/CD Buck–motor de CD. El diagrama electrónico del sistema bajo estudio se muestra en la Fig. 1, el cual está compuesto de las siguientes partes:

- **Panel solar.** Esta parte del sistema corresponde a la fuente de alimentación, la cual suministra un voltaje variante en el tiempo v_{in} en las terminales del capacitor C_{in} .
- **Convertidor de CD/CD Buck.** El convertidor es el encargado de regular el voltaje v , a través de la señal de entrada u . Se compone de un transistor Q y un diodo D que regulan el voltaje en las terminales del capacitor C y la carga R , además de una inductancia L sobre la cual circula la corriente i .
- **Motor de CD.** Los parámetros R_a y L_a representan la resistencia e inductancia de armadura del motor, respectivamente. Mientras que i_a y ω corresponden a la corriente de armadura y velocidad angular. Implícitamente, en el motor se consideran los parámetros J , b , k_e y k_m , los cuales representan el momento de inercia del rotor y la carga, el coeficiente de fricción viscosa, las constantes de fuerza contra electromotriz y de par.

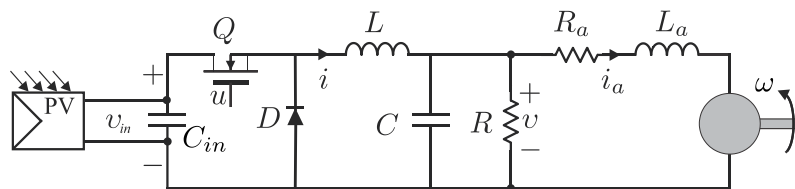


Figura 1. Sistema panel solar–convertidor de potencia CD/CD Buck–motor de CD.

3. Implementación del control robusto

El control robusto encargado de resolver el seguimiento de trayectoria de velocidad angular en la flecha del motor, es un PID dado por

$$u = k_p e + k_i \int_0^t e d\tau + k_d \dot{e}, R_a \quad (1)$$

donde $e = \omega - \omega^*$. La implementación en lazo cerrado de tal control se realizó utilizando el toolbox de SimPowerSystem de Matlab-Simulink (ver Fig. 2). Los dispositivos electrónicos se consideraron ideales y la conmutación del transistor se eligió a 10 kHz. El panel solar que suministra el voltaje y la potencia necesarios para manejar el motor GNM5440-G3.1 (esto es, 24 V y 95 W) corresponde al modelo Sun Earth Solar Power TDB125x125-36-P 80W (con cuatro celdas en paralelo y un módulo por celda). La variación de irradiación solar y temperatura son gobernadas por las siguientes ecuaciones:

$$I_r = \begin{cases} 1000 \text{ W/m}^2 & \text{para } t \leq 2 \text{ s,} \\ -800t + 2600 \text{ W/m}^2 & \text{para } t \in (2, 3] \text{ s,} \\ 200 \text{ W/m}^2 & \text{para } t \in (3, 5] \text{ s,} \\ 300t - 1300 \text{ W/m}^2 & \text{para } t \in (5, 7] \text{ s,} \\ 800 \text{ W/m}^2 & \text{para } t > 7 \text{ s.} \end{cases}$$

$$T = \begin{cases} 40 \text{ }^\circ\text{C} & \text{para } t \leq 2 \text{ s,} \\ -20t + 80 \text{ }^\circ\text{C} & \text{para } t \in (2, 3] \text{ s,} \\ 20 \text{ }^\circ\text{C} & \text{para } t \in (3, 5] \text{ s,} \\ 7.5t - 17.5 \text{ }^\circ\text{C} & \text{para } t \in (5, 7] \text{ s,} \\ 35 \text{ }^\circ\text{C} & \text{para } t > 7 \text{ s.} \end{cases}$$

Los valores de los componentes que conforman al convertidor Buck y el capacitor C_{in} , fueron seleccionados como:

$$R = 64 \text{ } \Omega, \quad C = 114.4 \text{ } \mu\text{F}, \quad L = 4.94 \text{ mH}, \quad C_{in} = 2 \text{ } \mu\text{F}.$$

Por otro lado, el motor de CD utilizado corresponde al modelo GNM5440E-G3.1

cuyos valores, asociados a sus parámetros, son:

$$R_a = 0.965 \, \Omega, \quad k_m = 120.1 \times 10^{-3} \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{A}},$$

$$L_a = 2.22 \, \text{mH}, \quad k_e = 120.1 \times 10^{-3} \frac{\text{V}\cdot\text{s}}{\text{rad}},$$

$$J = 118.2 \times 10^{-3} \, \text{kg}\cdot\text{m}^2, \quad b = 129.6 \times 10^{-3} \frac{\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}}{\text{rad}}.$$

Finalmente, las ganancias asociadas al control PID son las siguientes:

$$k_p = 10, \quad k_i = 2.5, \quad k_d = 0.1.$$

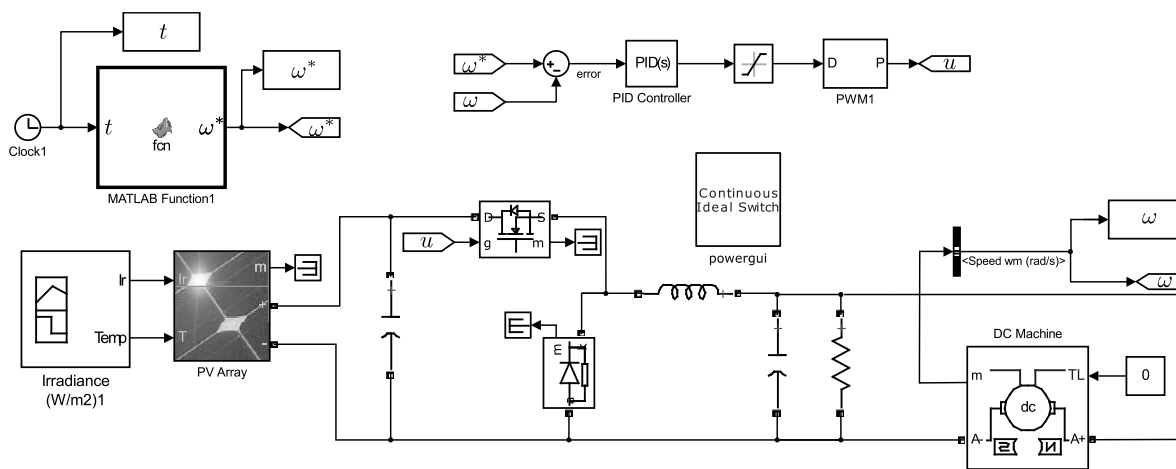


Figura 2. Circuito del panel solar-conversor de potencia CD/CD Buck-motor de CD en lazo cerrado.

4. Resultados de simulación

Para mostrar el desempeño en lazo cerrado del control robusto, en esta sección se presentan resultados de simulación circuital efectuados con Matlab-Simulink.

Simulación 1: La primera trayectoria deseada de velocidad angular es un tipo Bézier:

$$\omega^*(t) = \bar{\omega}_i(t_i) + [\bar{\omega}_f(t_f) - \bar{\omega}_i(t_i)]\varphi(t, t_i, t_f), \quad (2)$$

donde $\varphi(t, t_i, t_f)$ es definido como,

$$\varphi(t, t_i, t_f) = \begin{cases} 0 & \text{para } t \leq t_i, \\ \left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i} \right)^3 \left[r_1 - r_2 \left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i} \right) + r_3 \left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i} \right)^2 - r_4 \left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i} \right)^3 \right] & \text{para } t \in (t_i, t_f), \\ 1 & \text{para } t \geq t_f, \end{cases}$$

siendo,

$$r_1 = 20, \quad r_2 = 45, \quad r_3 = 36, \quad r_4 = 10.$$

Con esta propuesta se logra interpolar suavemente entre las velocidades angulares $\bar{\omega}_i(t_i) = 5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ y $\bar{\omega}_f(t_f) = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ en el intervalo de tiempo $[t_i, t_f] = [4 \text{ s}, 6 \text{ s}]$. Los resultados de simulación correspondientes se presentan en la Fig. 3, donde se observa que el control robusto logra un seguimiento de trayectoria satisfactorio.

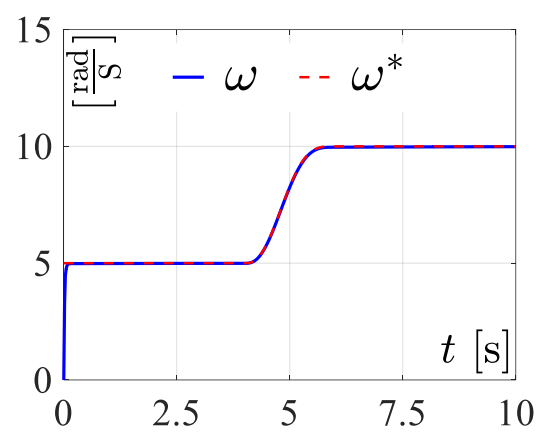


Figura 3. Resultados de simulación para una trayectoria tipo Bézier.

Simulación 2: La Fig. 4 muestra los resultados para el seguimiento de trayectoria de la onda sinusoidal definida en (3), donde se observa que $\omega \rightarrow \omega^*$,

$$\omega^*(t) = 7.5 + 2.5 \text{sen}(0.8\pi t). \tag{3}$$

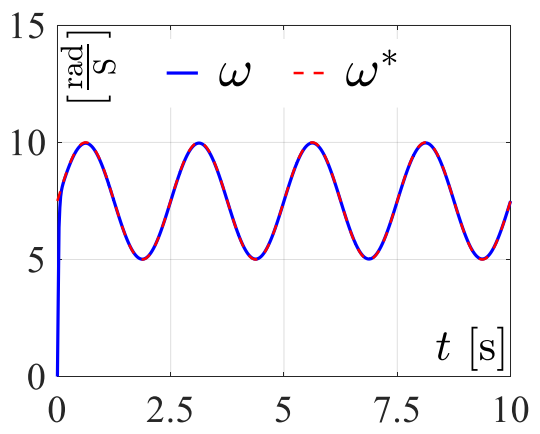


Figura 4. Resultados de simulación para una trayectoria sinusoidal.

Simulación 3: Para esta simulación, ω^* es definida por,

$$\omega^*(t) = 7.5 + 2.5(1 - e^{-t/2})\text{sen}(0.8\pi t). \quad (4)$$

Los resultados correspondientes se muestran en la Fig. 5, donde nuevamente se logra $\omega \rightarrow \omega^*$.

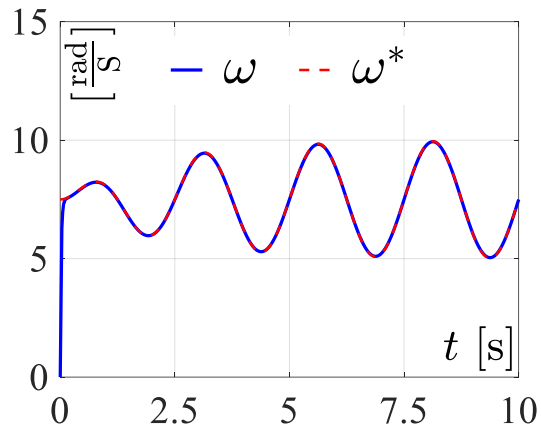


Figura 5. Resultados de simulación para una trayectoria sinusoidal con amplitud exponencial.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un control robusto que resuelve la tarea de seguimiento de trayectoria de velocidad angular en el sistema "panel solar-convertidor de potencia Buck-motor de CD". Los resultados de simulación, en lazo cerrado, muestran el buen desempeño del control aún en presencia de variaciones de voltaje originadas por cambios en la irradiación solar.

6. Referencias

- [1] R. Silva-Ortigoza, J. R. García-Sánchez, J. M. Alba-Martínez, V. M. Hernández-Guzmán, M. Marcelino-Aranda, H. Taud, and R. Bautista-Quintero, "Two-stage control design of a Buck converter/DC motor system without velocity measurements via a Σ - Δ -modulator," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, pp. 1-11, 2013.
- [2] R. Silva-Ortigoza, C. Márquez-Sánchez, F. Carrizosa-Corral, M. Antonio-Cruz, J. M. Alba-Martínez, and G. Saldaña-González, "Hierarchical velocity control based on differential flatness for a DC/DC Buck converter-DC motor system," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014, pp. 1-12, 2014.
- [3] R. Silva-Ortigoza, V. M. Hernández-Guzmán, M. Antonio-Cruz y D. Muñoz-Carrillo, "DC/DC Buck power converter as a smooth starter for a DC motor based on a hierarchical control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 2, pp. 1076-1084, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2014.2311821>