

OBSERVADOR EXTENDIDO PARA UN CONVERTIDOR DE CD/CD BOOST

Alfredo Roldán Caballero,

José Fermi Guerrero Castellanos

Instituto Politécnico Nacional

UPIIT

aroldanc@ipn.mx

Referencia de este artículo [\[1\]](#)

RESUMEN

En el presente artículo se muestra el diseño y simulación de un observador extendido para aproximar el modelo de un convertidor de CD/CD Boost alimentado por energía renovable, específicamente por medio de un panel fotovoltaico. Para el diseño del observador, únicamente se requiere la medición del voltaje de salida, ya que la medición de la corriente incrementa los costos de implementación. El observador extendido permite aproximar el modelo no lineal del convertidor de CD/CD Boost, así como dinámica no modelada y/o perturbaciones, mediante un modelo lineal con integradores. La validación del rendimiento del observador extendido se realiza mediante simulaciones numéricas a través de Matlab-Simulink y el Toolbox de SimScape. Los resultados de simulación muestran como el comportamiento dinámico del observador tiende al comportamiento del convertidor de CD/CD Boost, en un tiempo finito.

Introducción

Los convertidores electrónicos de potencia de CD/CD son altamente utilizados en aplicaciones que requieren modificar el nivel de voltaje de entrada. Específicamente, cuando se requiere elevar el voltaje de la fuente de alimentación, como es el caso de fuentes de energía renovable, el convertidor electrónico de potencia más adecuado es el convertidor de CD/CD Boost. Lo anterior, derivado a que el voltaje de las fuentes de energía renovable no suele tener el nivel adecuado para ser utilizado directamente. Además, el voltaje de los paneles fotovoltaicos depende directamente del nivel de radiación del sol. Del mismo modo, el consumo de la carga provoca variaciones en el voltaje de los paneles fotovoltaicos, de acuerdo con su curva característica de I-V. En este sentido, para utilizar fuentes de energía renovable, se requiere diseñar una estrategia de control para el convertidor de CD/CD Boost. El diseño del control requiere el sensado de las variables de estado, que para el convertidor de CD/CD Boost son la corriente y el voltaje [1]. Sin embargo, el sensado de corriente suele ser complejo y costoso. Por lo tanto, resulta adecuado el utilizar un observador de estados que estime el comportamiento dinámico del convertidor de CD/CD Boost a través del sensado del voltaje. Además de la aproximación de la dinámica del sistema, el observador extendido permite contemplar dinámica no modelada y/o perturbaciones. También, mediante el diseño del observador de estados, se propondrá aproximar el sistema a un modelo lineal, lo que facilita significativamente el diseño del controlador.

El análisis de rendimiento de la respuesta del observador extendido comparado con el comportamiento dinámico del convertidor de CD/CD Boost se realiza a través de simulaciones numéricas en Matlab-Simulink. Para las simulaciones se utiliza el Toolbox de SimScape que contiene bloques para dispositivos de electrónica de potencia, así como fuentes de energía renovables mediante paneles fotovoltaicos.

2. Diseño del observador

El diagrama eléctrico del convertidor de CD/CD Boost se muestra en la **Figura 1**, donde E es la fuente de alimentación a través de un panel solar, L la inductancia, i la corriente de bobina, Q el transistor Mosfet, C la capacitancia, R la resistencia y v el voltaje de salida.

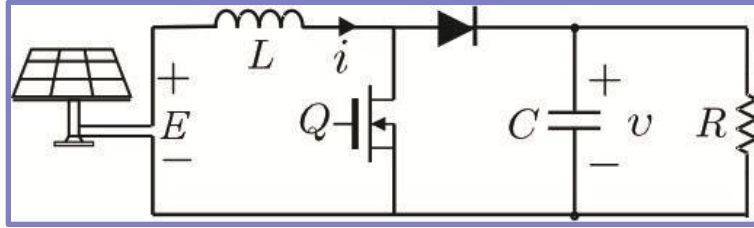


Figura 1 Circuito del convertidor de CD/CD Boost.

Para el diseño del observador es necesario conocer el modelo del convertidor de CD/CD. La dinámica del convertidor de CD/CD Boost está dada por [1]:

$$\begin{aligned} L(di/dt) &= E - vu, \\ C(dv/dt) &= iu - (1/R)v, \end{aligned} \quad (1)$$

Dónde $u = 1 - D$, siendo D el ciclo de trabajo del transistor Q . El modelo (1), se puede reescribir de la forma

$$\ddot{v} = (E/(CL))u - (1/(CR))\dot{v} - (1/(CL))vu^2 + (1/C)i\dot{u}. \quad (2)$$

Definiendo

$$\begin{aligned} b &= (E/(CL)), \\ \xi &= -(1/(CR))\dot{v} - (1/(CL))vu^2 + (1/C)i\dot{u}, \end{aligned} \quad (3)$$

el modelo (2) resulta:

$$\ddot{v} = bu + \xi, \quad (4)$$

reescribiendo (4) en variables de estado se tiene:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \ddot{v} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{v} \\ \xi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b \\ 0 \end{bmatrix} u, \\ y &= [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} v \\ \dot{v} \\ \xi \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (5)$$

Por lo tanto, se puede proponer un observador-predicor de la forma:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\hat{v}} \\ \ddot{\hat{v}} \\ \dot{\hat{\xi}} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{v} \\ \dot{\hat{v}} \\ \hat{\xi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} [y - \hat{y}], \\ \hat{y} &= [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} \hat{v} \\ \dot{\hat{v}} \\ \hat{\xi} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (6)$$

Si se discretiza el observador-predicor con tiempo de muestreo τ , mediante discretización exacta [2], se obtiene:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+1} &= A \hat{x}_k + Bu_k + K[y_k - \hat{y}_k], \\ \hat{y}_k &= C \hat{x}_k, \end{aligned} \quad (7)$$

donde:

$$x_k = \begin{bmatrix} \hat{v}_k \\ \hat{v}_k \\ \hat{\xi}_k \end{bmatrix}, A = \exp \begin{bmatrix} 0 & \tau & 0 \\ 0 & 0 & \tau \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \int_0^\tau \exp \begin{bmatrix} 0 & \zeta & 0 \\ 0 & 0 & \zeta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} d\zeta, K = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T. \quad (8)$$

Sin embargo, el observador-predictor (5) no calcula las observaciones a partir de la última observación [3]. Por lo tanto, se propone el siguiente observador extendido [4]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= (A - LCA) \hat{x}_{k-1} + (B - LCB)u_{k-1} + Ly_k, \\ \hat{y} &= C \hat{x}_k, \end{aligned} \quad (9)$$

donde

$$A^{-1}K = L. \quad (10)$$

Para sintonizar la matriz L , se ubican dentro del círculo unitario los polos del siguiente polinomio característico [5]:

$$P(z) = |zI - (A - LCA)|, \quad (11)$$

igualando con el polinomio deseado:

$$P_d(z) = z^3 - 1.5z^2 + 0.75z - 0.125, \quad (12)$$

con polos en:

$$z_{1,2,3} = 0.5, \quad (13)$$

obteniendo:

$$L = \begin{bmatrix} 0.875 \\ \frac{1}{\tau}(0.5625) \\ \frac{1}{\tau^2}(0.125) \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Por lo tanto, mediante la selección de la matriz L (14), se asegura que el error de observación tienda a cero; es decir $(\hat{v}_k, \hat{v}_k, \hat{\xi}_k) \rightarrow (v_k, v_k, \xi_k)$. De este modo, es posible estimar el comportamiento de la función ξ , definida en (3) la cual, además, podría incluir dinámica no modelada.

3. Implementación del observador extendido

Para verificar el rendimiento del observador extendido (9), se realiza una simulación numérica a través de Matlab-Simulink utilizando el método de solución ode1 (Euler) con tiempo de muestreo $\tau = 1/45 \times 10^4$.

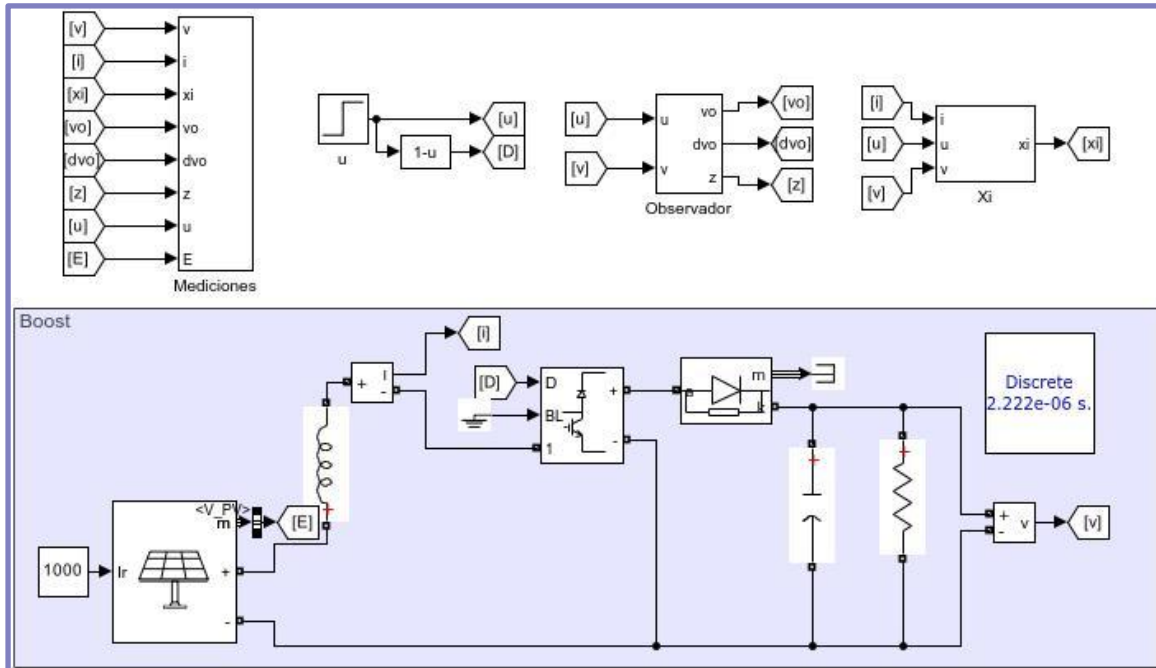


Figura 2. Diagrama de bloques de Simulink para la implementación del Observador extendido

El diagrama para la simulación es el mostrado en la Figura 2, donde cada bloque es como sigue:

- **Boost.** En este bloque se utiliza el toolbox Simscape, en cual incluye un convertidor electrónico de potencia de CD/CD Boost, en su modelo ideal. Así también, para la alimentación del convertidor se utiliza el bloque de panel solar simulando el panel solar Inventec Energy IECS-6P69-200. Mientras, los parámetros del convertidor son:

$$L = 4.97\text{mH}, C = 114.7\mu\text{F}, R = 48\Omega. \quad (14)$$
- **Observador.** Se implementa la función del observador extendido, descrita en (8), (9) y (10), así como la ganancia (13). Es importante mencionar que, para la implementación del observador se consideró el voltaje de alimentación constante, con $E = 32\text{ V}$, ya que el panel solar tiene un voltaje en circuito abierto de $V_{oc} = 32.89\text{ V}$.
- **Xi.** Bloque en el cual se obtiene la función ξ , definida en (3), para verificar la predicción de la dinámica por medio del observador.
- **u.** Función escalón, con amplitud 0.5, como entrada del convertidor electrónico de potencia de CD/CD Boost.
- **Mediciones.** Se encarga de obtener los datos tanto del observador extendido como del convertidor electrónico de potencia de CD/CD Boost, para su comparación.

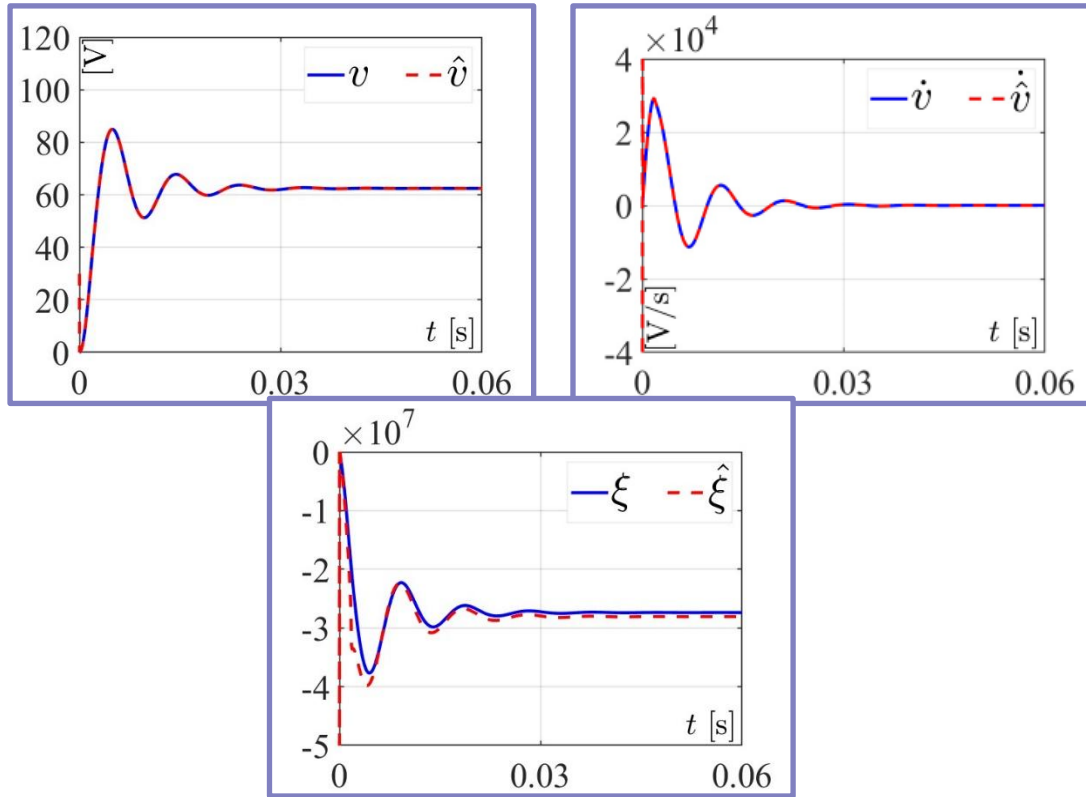


Figura 3. Variables de estado del sistema, representadas en (5), comparadas con variables de estado del observador extendido, definido en (9).

En la Figura 3 se observa que el observador extendido cumple que $(\hat{v}_k, \hat{v}_k, \hat{\xi}_k) \rightarrow (v_k, \dot{v}_k, \xi_k)$. Por lo tanto, a partir de la lectura de la entrada y del voltaje v en el convertidor electrónico de CD/CD Boost, se pueden estimar la dinámica completa del sistema. La estimación del comportamiento del convertidor electrónico de potencia de CD/CD Boost se logra a pesar de que se consideró en el diseño del observador la fuente de alimentación como $E = 32$ V. Mientras, el comportamiento del panel solar no es constante, como se muestra en la Figura 4.

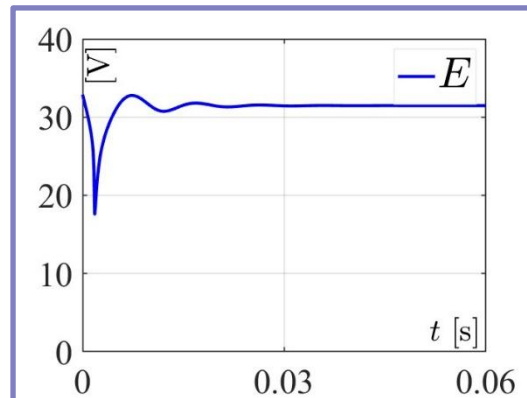


Figura 4. Comportamiento en el tiempo del voltaje entregado por el panel solar Inventec Energy IECS-6P69-200.

Es importante mencionar que, a pesar de que la dinámica del convertidor electrónico de CD/CD Boost, descrita en (1), es una dinámica no lineal, con la representación (5) y el observador extendido (9), es posible expresar el comportamiento del sistema de forma lineal, incluyendo las no linealidades en el estado ξ .

4. Conclusiones

El observador extendido propuesto en este trabajo permite estimar la dinámica completa del

convertidor CD/CD Boost utilizando únicamente la medición del voltaje de salida. Esta característica lo convierte en una alternativa viable para aplicaciones donde el uso de sensores de corriente representa una limitación económica o técnica. Además, su capacidad para capturar dinámicas no modeladas y compensar perturbaciones externas refuerza su uso en el diseño de sistemas de control. Los resultados de simulación en Matlab-Simulink demuestran un buen desempeño en la estimación de variables del sistema. Como trabajo futuro, se contempla la validación experimental e integración con estrategias de control.

6. Referencias bibliográficas

- H. Sira-Ramírez and R. Silva-Ortigoza, Control Design Techniques in Power Electronics Devices.
- K. J. Astrom and B. Wittenmark, Computer-Controlled Systems Theory and Design, Mainland China: Prentice Hall, 1997.
- R. R. A. a. G. Z. Miklosovic, "Discrete implementation and generalization of the extended state observer," in *American Control Conference IEEE*, 2006 .
- G. P. J. a. M. Franklin, Digital Control of Dynamic Systems, Ellis-Kagle Press, 2022.
- J. F. G.-C. a. E. C.-V. R. I. Vázquez-Cruz, "Discrete implementation of an extended state observer for a Laser Beam System (LBS): simulations and experimental results," in *Congreso Nacional de Control Automático*, Ciudad de México, 2024.

Referencia del artículo

Roldán, A. & Guerrero, J. **(2025, mayo - junio)**. *Observador extendido para un convertidor de CD/CD Boost*. Boletín UPIITA, Boletín UPIITA. (julio-agosto, 2025). Año 20, no. 109. ISSN 2007-6150.

20 (109).

<https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/1095-cyt-numero-109/2422-observador-extendido-para-un-convertidor-de-cd-cd-boost>