

ANÁLISIS DE UN CONVERTIDOR ELECTRÓNICO DE POTENCIA BUCK MEDIANTE MATLAB

Alfredo Roldán Caballero 1
Ramón Silva Ortigoza 1
Salvador Tavera Mosqueda 1
Magdalena Marciano Melchor 1
Rogelio Ernesto García Chávez²
David Quezada Rivero 3

1 CIDETEC Área de Mecatrónica
2 UPIICSA
3 UPIITA Área de Mecatrónica
Instituto Politécnico Nacional

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis matemático de un convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck, en el cual se estudia el comportamiento del voltaje de salida v y la corriente de bobina i . Se observa la relación que existe entre el voltaje y la corriente, lo cual permite visualizar posibles aplicaciones mecatrónicas. Así también, se grafica mediante Matlab las respuestas de v e i de un ejemplo de convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck. Dicha gráfica describe adecuadamente el comportamiento general de los convertidores electrónicos de potencia de CD/CD Buck.

1. Introducción

La energía eléctrica es altamente utilizada en la actualidad, esto debido a que es relativamente fácil de obtener y transmitir a través de líneas de conducción. La energía eléctrica se presenta en distintas formas según la polaridad de conducción, i.e., en corriente directa (CD) o corriente alterna (CA). Para poder realizar una transformación entre estas formas de energía, se utilizan distintos tipos de convertidores [1]. En estos convertidores, se encuentran los convertidores electrónicos de potencia de CD/CD Buck, los cuales son los más utilizados para controlar altos voltaje en corriente eléctrica, en parte por su simplicidad en el modelo, i.e., ser un sistema lineal de segundo orden [2]. En este sentido, aquí se presenta el análisis dinámico del convertidor de CD/CD Buck, mediante el software Matlab, permitiendo al lector la comprensión del sistema para su uso en múltiples aplicaciones mecatrónicas.

2. Descripción y modelo del sistema "Convertidor electrónico de potencia CD/CD Buck"

La respuesta de los sistemas se puede obtener mediante la solución de su modelo matemático, el cual es obtenido mediante ecuaciones diferenciales [4]. Para el caso específico de circuitos eléctricos, las principales leyes que los rigen son las leyes de corriente y voltaje de Kirchhoff y la ley de Ohm. Mediante el uso de dichas leyes, a continuación, se obtendrá el modelo matemático del sistema convertidor electrónico de potencia, no sin antes describir su diagrama eléctrico.

La Fig. 1, muestra el diagrama eléctrico del convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck. El sistema bajo estudio se compone de: la fuente de voltaje de CD e , el transistor Q con entrada de conmutación u , el diodo D , el inductor L y el capacitor C ; la carga es una resistencia R . Note la corriente i a través del inductor L y el voltaje v del capacitor, que serán de gran utilidad para el análisis del sistema.

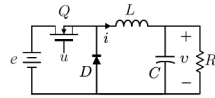


Figura 1. Sistema convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck.

Derivado de que tanto el diodo D como el transistor Q son dispositivos de conmutación, el convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck cambia su funcionamiento dependiendo de cada estado de dichos dispositivos. Considerando tanto diodo D como el transistor Q como dispositivos ideales, se observa que el sistema mostrado en la Fig. 1 puede ser representado por el diagrama de la Fig. 2, donde S es un interruptor que se activa con la señal u.

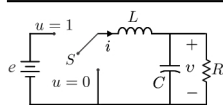


Figura 2. Sistema convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck ideal.

Tomando en cuenta los dos comportamientos de la Fig. 2, se obtienen dos modelos matemáticos, uno para cada caso de u. Cuando u=0, el comportamiento dinámico del convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck se describe mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -v, \\ C \frac{dv}{dt} = i - \frac{v}{R} \end{cases} \quad (1)$$

Mientras que el comportamiento cuando u=1, se describe mediante las siguientes relaciones:

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -v + e, \\ C \frac{dv}{dt} = i - \frac{v}{R} \end{cases} \quad (2)$$

Comparando los modelos (1) y (2) se obtiene un modelo único que expresa ambos comportamientos, mediante un modelo conmutado con entrada u, dado por:

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -v + ue, \\ C \frac{dv}{dt} = i - \frac{v}{R} \end{cases} \quad (3)$$

Bajo cierta frecuencia de conmutación de u, se puede expresar el modelo conmutado (3) en términos de una entrada promedio u_{avr} . Dicho modelo, llamado modelo promedio, se expresa por:

$$\begin{aligned} L \frac{di}{dt} &= -v + u_{av} e, \\ C \frac{dv}{dt} &= i - \frac{v}{R} \end{aligned} \quad (3)$$

3. Análisis del sistema "Convertidor electrónico de potencia CD/CD Buck"

Mediante el modelo (3) es posible obtener la función de transferencia que expresa la relación entre el voltaje v y la entrada promedio u_{av} , dada por:

$$\begin{aligned} L \frac{di}{dt} &= -v + u_{av} e, \\ C \frac{dv}{dt} &= i - \frac{v}{R} \end{aligned} \quad (3)$$

Considerando que los valores de los parámetros son:

$R=8\Omega$, $L=15.91\text{mH}$, $C=50\mu\text{F}$, $e = 12\text{V}$ y la entrada $u_{av}=0.5$, se obtiene la respuesta, utilizando Matlab, mostrada en la Fig. 3.

A partir de (4), mediante el teorema del valor final, el estado estable de v es:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sV(s) = eu. \quad (5)$$

Además, utilizando el teorema del valor inicial, el valor de v cuando $t=0$, esta dado por:

$$\lim_{t \rightarrow 0} v(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sV(s) = 0. \quad (6)$$

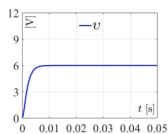


Figura 3. Respuesta del voltaje del sistema convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck ideal.

De lo anterior, observe que el sistema convertidor electrónico de potencia CD/CD Buck presenta un comportamiento de un sistema de segundo orden. Para el caso del convertidor presentado en este trabajo, es un sistema de segundo orden críticamente amortiguado. Además, note en (5) y (6), la salida de voltaje se encuentra en el intervalo $[0,e]$, dependiendo del valor de u_{av} . $u_{av}=0.5$, tal como se muestra en la Fig. 3 con $u_{av}=0.5$, $u_{av}=0.5$.

Para realizar un análisis de la corriente de bobina i , nuevamente a partir de (3), se obtiene la función de transferencia que relaciona la corriente con la entrada promedio, dada por:

$$\frac{I(s)}{U(s)} = \frac{RCes + e}{RLCs^2 + Ls + R} \quad (7)$$

Tomando en cuenta los valores de los parámetros utilizados en el análisis que se realizó para el voltaje v , la respuesta en el tiempo de la corriente i , obtenida mediante Matlab, se muestra en la Fig. 4.

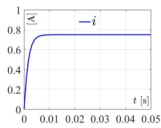


Figura 4. . Respuesta de la corriente del sistema convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck ideal.

El valor en estado estable de la corriente i , obtenido a través de la función de transferencia (6) y el teorema del valor final, es:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} i(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sI(s) = \frac{e}{R} u = v/R. \quad (8)$$

Mientras, la corriente i inicial se obtiene mediante:

$$\lim_{t \rightarrow 0^+} i(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sI(s) = 0. \quad (9)$$

Al igual que el voltaje v , la corriente i presenta el comportamiento de un sistema de segundo orden críticamente amortiguado, además, se observa mediante (8) y (9) que la corriente toma valores en el intervalo $[0, e/R]$, tal como se observa en la Fig. 4 con $u_{av}=0.5$.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó el análisis de un convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck. Dicho análisis se realizó mediante la obtención de la respuesta de dicho sistema ante una entrada constante $u_{av}=0.5$, se observa el comportamiento del voltaje v y la corriente i . El voltaje v es menor que el voltaje de alimentación E , en una relación u_{av} . Para el caso presentado en el presente trabajo, dicha relación es de $u_{av}=0.5$. Así también se realiza el análisis matemático de la respuesta de $v(t)$ cuando $t \rightarrow \infty$, mediante el teorema del valor final, y cuando $t \rightarrow 0$, mediante el teorema del valor inicial. Lo anterior, permite observar que el voltaje v máximo será E y el mínimo será 0 cuando $u_{av} = 1$ y $u_{av} = 0$, respectivamente. Respecto a la corriente i , se observó que depende directamente del voltaje v , mediante la ley de Ohm, i.e., la corriente es dada por $i = \frac{v}{R}$ en estado estacionario. Por lo que se deduce que la corriente será limitada por la resistencia de carga R , mientras que el voltaje v se controlado por el valor de u_{av} . Con el análisis antes descrito, se observa que el convertidor electrónico de potencia de CD/CD Buck es un dispositivo adecuado para el control de sistemas mecatrónicos que se alimentan con corriente directa, como motores, robots móviles, entre otros [3]. En específico en aplicaciones en la que el voltaje necesario es menor que el del voltaje de la fuente.

Referencias

1. M. H. Rashid (**2014**). *Electrónica de potencia circuitos, dispositivos y aplicaciones*, Pearson Education.
2. H. S.-R. a. R. Silva-Ortigoza (**año**). *Control design techniques in power electronics devices*, London: Springer-Verlag
3. K. Ogata, (**1987**). *Dinámica de Sistemas* Naucalpan, MX: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1987.