



Title: Control de un convertidor CD-CD push-pull

Author: Joel Josué, ONTIVEROS-MIRELES, José Adolfo, ARROYO-GARCÍA, David Enrique, CASTRO-PALAZUELOS, Guillermo Javier, RUBIO-ASTORGA

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 24
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

Contenido

- I. Introducción.
- II. Modelado convertidor elevador cd-cd push-pull:
 - a) Circuito básico y consideraciones iniciales.
 - b) Modelo matemático del convertidor elevador cd-cd push-pull.
 - c) Promediado de espacios de estados del modelo del convertidor elevador cd-cd push-pull.
- III. Control:
 - a) PID.
 - b) Modos deslizantes.
- IV. Resultados.
- V. Conclusiones.

I. Introducción



Figura 1. Esquema sistema fotovoltaico aislado.

El convertidor elevador cd-cd *push-pull*, tiene las siguientes ventajas:

- Capacidad para manejar potencias elevadas.
- Sencillez en su estructura y manejo de elementos eléctricos.
- Alta eficiencia en la conversión de la energía.
- Cuenta con un transformador, el cual aísla la carga de la fuente y altos voltajes.

II. Modelado del convertidor elevador *cd-cd push-pull*

a) Circuito básico y consideraciones iniciales.

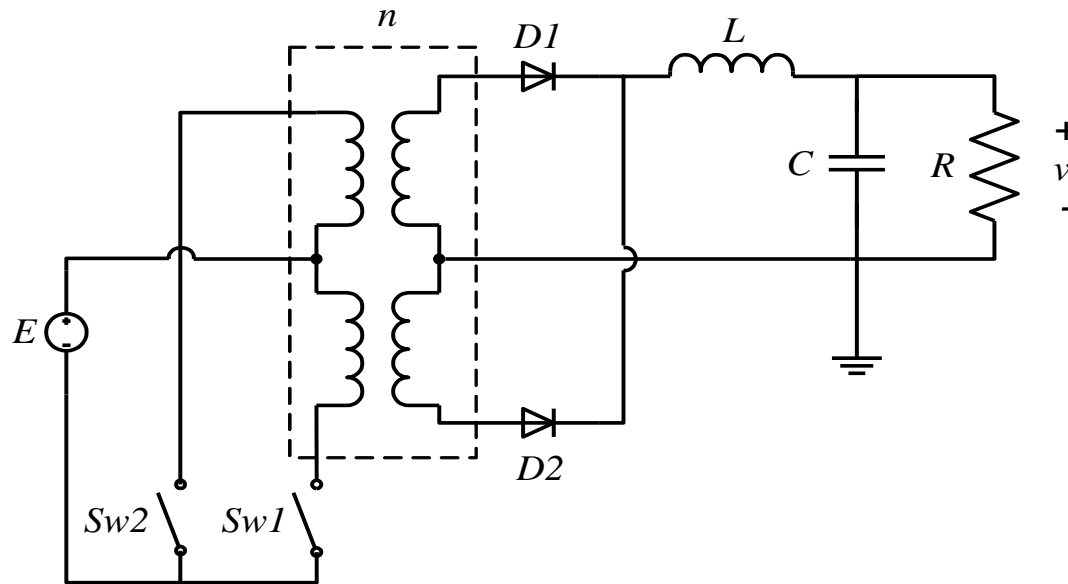


Figura 2. Topología *push-pull*. Fuente: (Hart D. W., 2001).

- *El valor de v , que es el voltaje de salida, se determina con la ecuación (1).*
- Para el cálculo de la inductancia mínima que debe ser el doble de la media, se determina al estimar la corriente con la ecuación (2).
- La ecuación (3) permite obtener el valor del inductor.
- La ecuación (4) permite obtener el valor del capacitor en función del rizo de voltaje.

$$v = 2EnD$$

$$I = \frac{v}{R}$$

$$L = \left[En^{-1} - v \right] \frac{D}{f 2I}$$

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{1 - 2D}{32LC f^2}$$

b) Modelo matemático del convertidor elevador cd-cd *push-pull*

Consideraciones para el modelado matemático:

- .-Los convertidores trabajan en modo continuo.
- .-La inductancia magnetizante del transformador no representa ningún parámetro de diseño.
- .-Los interruptores son ideales.
- .-Componentes pasivos son ideales.
- .-Para el modelo se utiliza la siguiente denominación: E : Voltaje de entrada, u : ciclo de trabajo (D), C : capacitor, L : inductancia, R : resistencia, F : frecuencia, n =relación de transformación.

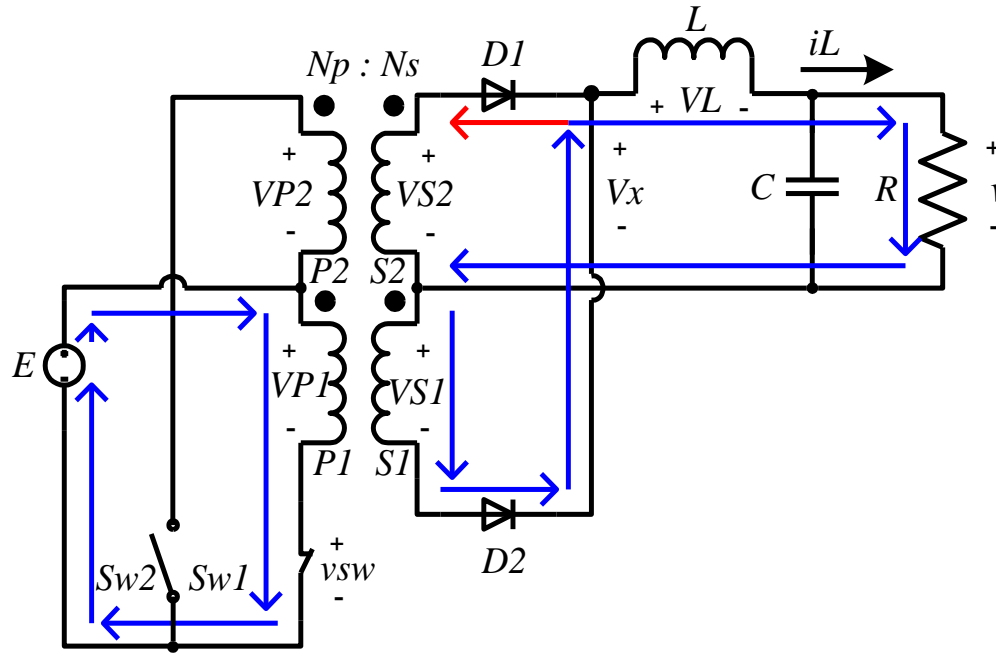


Figura 3. Interruptor Sw1 cerrado. Fuente: Elaboración propia.

$$v_{p1} = E$$

$$v_{p2} = E$$

$$V_L = v_x - v = E \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - v \quad (\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \left(\frac{E \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - v}{L} \right) DT$$

Del circuito de la figura 3 se obtienen las ecuaciones para voltaje y corriente:

$$\frac{di_L}{dt} = \dot{i}_L \quad \frac{dv_C}{dt} = \dot{v}_C \quad \dot{i}_L = \frac{v_g}{2nL} - \frac{v_C}{L} \quad \dot{v}_C = \frac{i_L}{C} - \frac{v_C}{RC}$$

Matriz de espacios de estados:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{nL} \\ 0 \end{bmatrix} v_g,$$

Donde:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}; B_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{nL} \\ 0 \end{bmatrix}$$

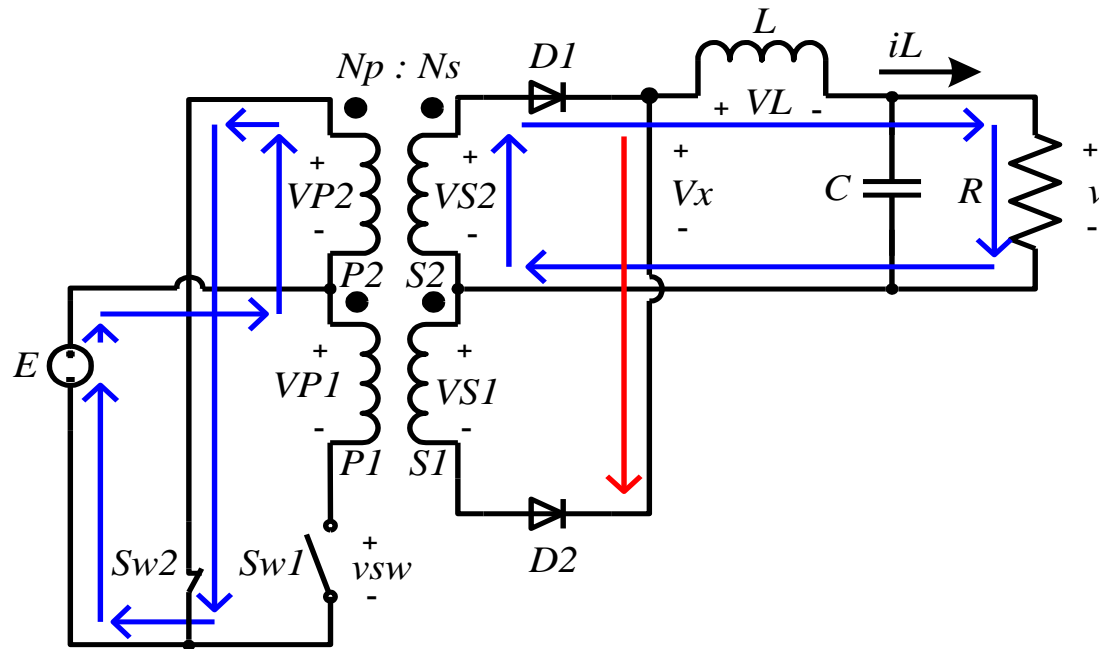


Figura 4. Interruptor Sw2 cerrado. Fuente: Elaboración propia.

$$v_{p2} = -E \quad V_{s2} = -E \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \quad v_{s1} = 2E \quad V_L = V_x - v = E \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - v$$

Del circuito de la figura 4 se obtienen las ecuaciones para voltaje y corriente:

$$\dot{i}_L = \frac{v_g}{2nL} - \frac{v_C}{L} \qquad \dot{v}_C = \frac{i_L}{C} - \frac{v_C}{RC}$$

Matriz de espacios de estados:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{nL} \\ 0 \end{bmatrix} v_g,$$

Donde:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}; B_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{nL} \\ 0 \end{bmatrix}$$

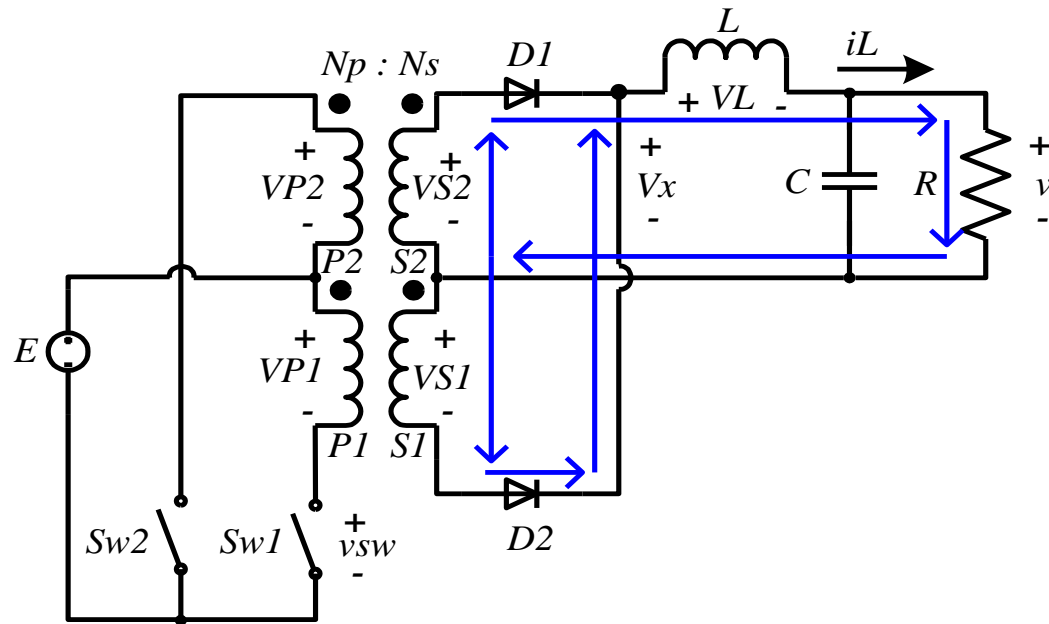


Figura 5. Interruptor Sw1 y Sw2 abiertos. Fuente: Elaboración propia.

$$V_L = V_X - v = -v$$

$$(\Delta i_L)_{abierto} = -\left(\frac{v}{L}\right)\left(\frac{1}{2} - D\right)T \quad (\Delta i_L)_{cerrado} + (\Delta i_L)_{abierto} = 0$$

Del circuito de la figura 5 se obtienen las ecuaciones para voltaje y corriente:

$$\dot{i}_L = -\frac{v_C}{L} \qquad \dot{v}_C = \frac{i_L}{C} - \frac{v_C}{RC}$$

Matriz de espacios de estados:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{v}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} v_g,$$

Donde:

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}; B_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

c) Promediado de espacios de estados del modelo del convertidor elevador cd-cd *push-pull*

$$\square x = A_1 x + B_1 v_g \text{ para } t \in (0, DT_s]$$

$$\square x = A_2 x + B_2 v_g \text{ para } t \in \left(DT_s, \frac{T_s}{2} \right]$$

$$\square x = A_3 x + B_3 v_g \text{ para } t \in \left(\frac{T_s}{2}, \frac{T_s}{2} + DT_s \right]$$

$$\square x = A_4 x + B_4 v_g \text{ para } t \in \left(\frac{T_s}{2} + DT_s, T_s \right]$$

Al aplicar el método del promediado de estado a la ecuación propuesto en (Middlebrook & Cuk, 1976)

Matriz de espacios de estados:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{2u}{nL} \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$C = [0 \quad 1]; D = [0].$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{v}{L} + \frac{2Eu}{nL},$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{i}{C} - \frac{v}{RC}$$

Ecuaciones dinámicas

$$\frac{v}{E} = \frac{2uR}{nLCRS^2 + nLS + nR}$$

Función de transferencia

II. Control

a) PID.

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$e = y_{sp} - y$$

De las técnicas que existen para obtener los valores de los parámetros de control (K , T_i , T_d) se usa el segundo método de sintonización propuesto por Ziegler-Nichols (Ogata K. , 2010), a partir del cual se obtiene como resultado una aproximación a los valores de las constantes PID.

Tabla 1. Valores de la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_{cr} según el segundo método de Ziegler-Nichols. Fuente: (Ogata K. , 2010).

Parámetro	Valor
K_{cr}	$77.179e^{-3}$
P_{cr}	$70.56e^{-6}$

Tabla 2. Valores de los parámetros de control con el segundo método de sintonización. Fuente: (Ogata K. , 2010).

Parámetro	Valor
K	$77.17e^{-3}$
T_i	$35.28e^{-6}$
T_d	$8.82e^{-6}$

d) Modos deslizantes.

Por a la naturaleza del convertidor, el control aparece en la corriente. El diseño del control parte de las ecuaciones dinámicas. El error está representado por $e=x_1-x_1^*$.

$$\frac{di}{dt} = -\frac{v}{L} + \frac{2Eu}{nL},$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{i}{C} - \frac{v}{RC},$$

La superficie de deslizamiento S se representa por la ecuación y representa el error.

$$S = x_1 - x_1^*$$

El control que se plantea utilizar es el control directo que se representa en la ecuación , donde la variable U representa el ciclo de trabajo.

$$U = \frac{1}{2} (c - \text{sign}(s))$$

Para determinar la condición en la que se lleva acabo el modos deslizantes se utiliza la función de Lyapunov:

$$V = \frac{1}{2} S^2, \quad x_2 > E$$
$$\dot{V} = S \dot{S},$$

Al aplicar la función se obtiene la condición define el dominio de atracción del control modos deslizantes, es esencial que esta condición se cumpla (Utkin, Jürgen, & Jingxin, 2009)

IV. Resultados

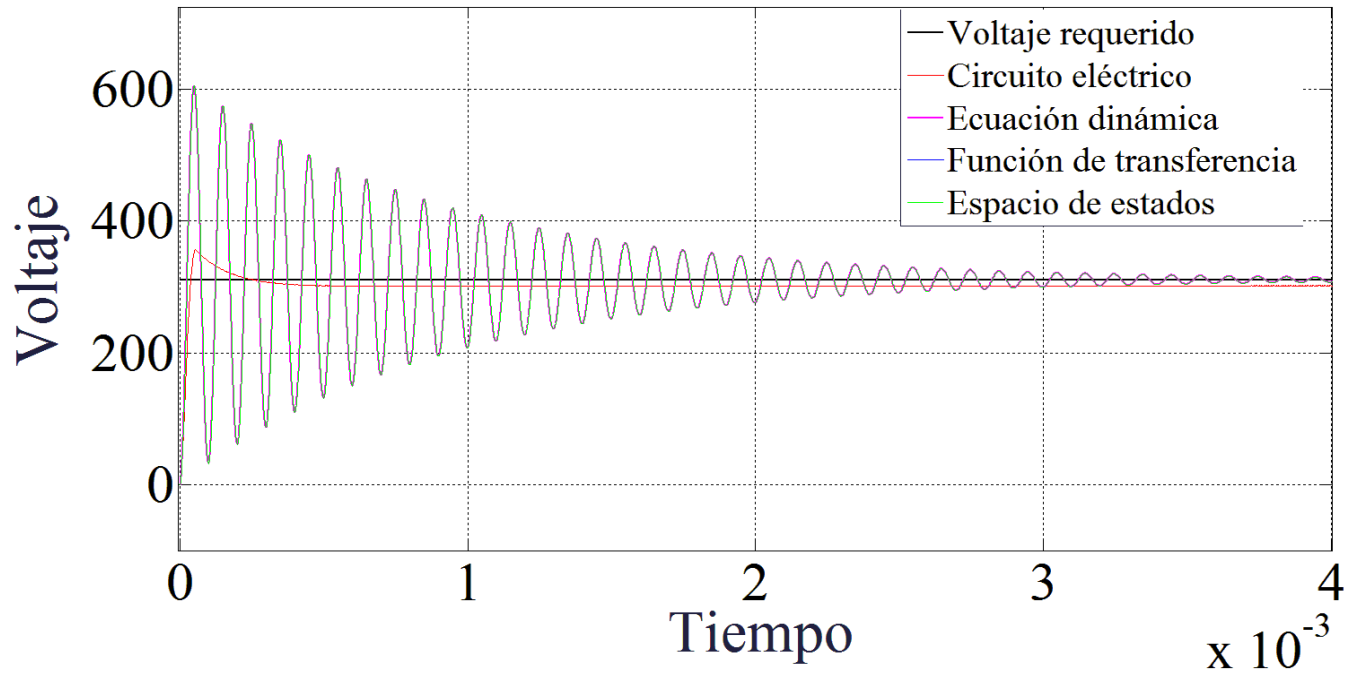
Tabla 3. Datos iniciales para el cálculo de los componentes del convertidor push-pull. Fuente: Elaboración propia.

Datos iniciales	
$P (W) =$	1000
$E (v) =$	24
$v (v) =$	311
$f (Hz) =$	30000
$\% \text{ rizo} =$	1
$R =$	96.721

Tabla 4. Resultados de los parámetros que se calcularon para el convertidor push-pull. Fuente: Elaboración propia.

Convertidor <u>push-pull</u>	
Parámetro	Valor
Corriente media (I)	3.22
Corriente en el inductor ($\Delta I_L = 2I_L$)	6.43
Inductancia mínima (L)	2.41803E-04
Capacitancia (C)	4.30792E-05
Propuesta de $N1$	7
Entonces $N2$	129.6
Periodo (D)	< 50%
$D (\%)$	35

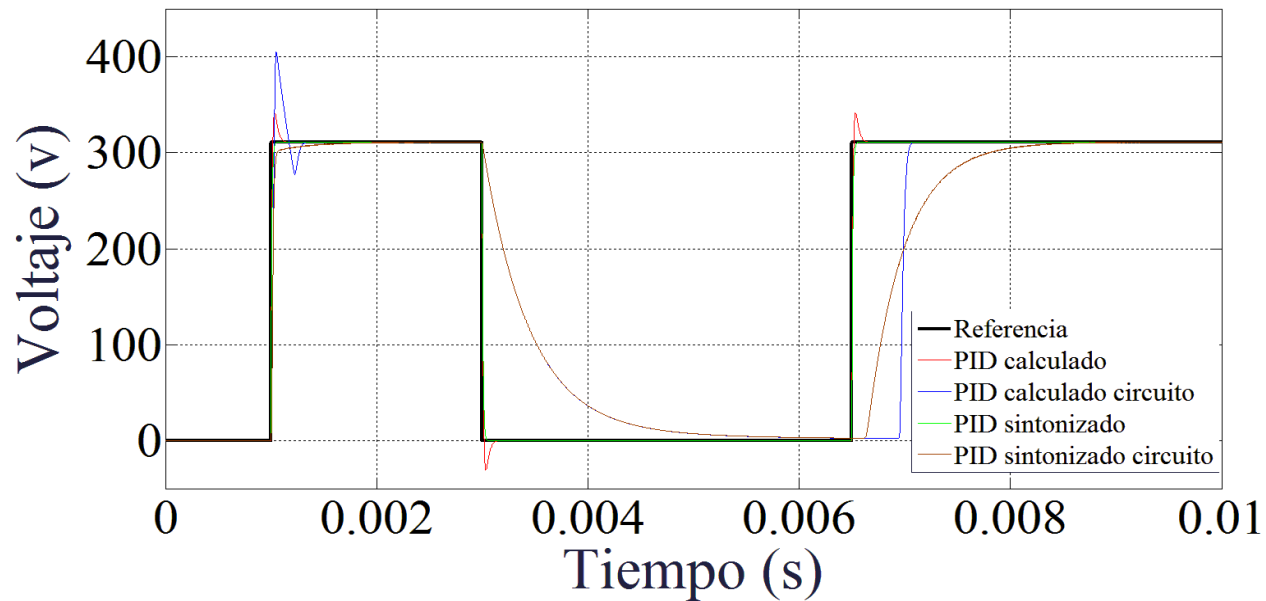
Convertidor push-pull



Gráfica1. Respuesta en lazo abierto para un convertidor push-pull.

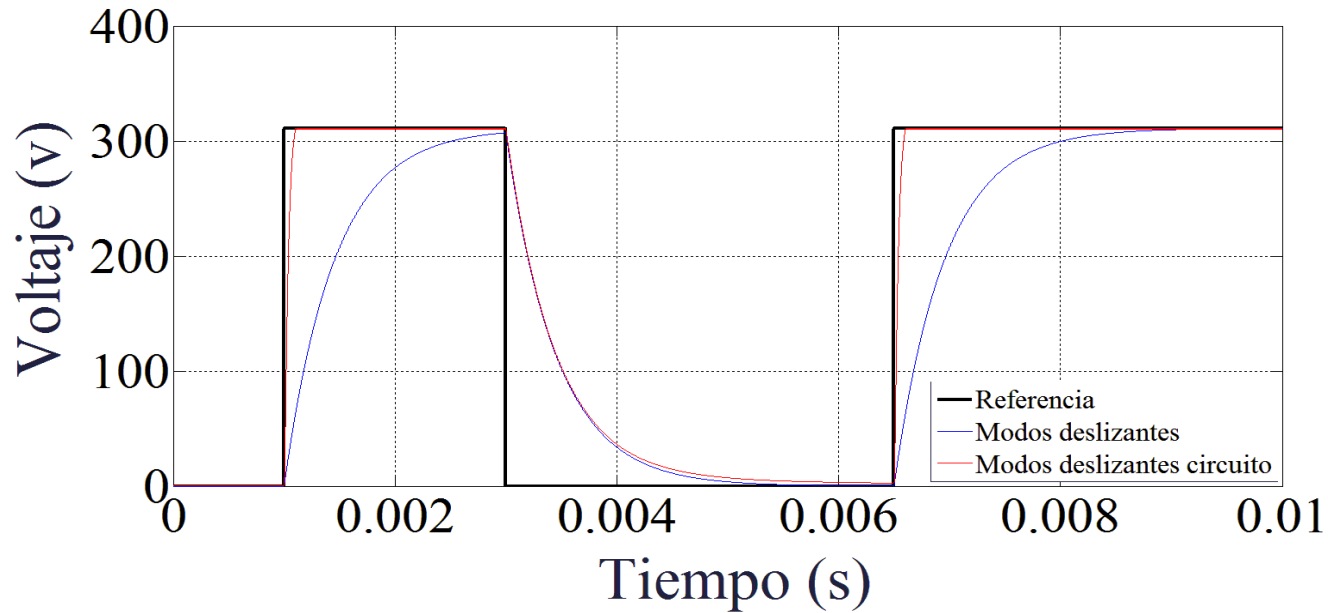
Fuente: Elaboración propia.

Control PID



Gráfica 2. Simulación del control PID. Fuente: Elaboración propia.

Control Modos Deslizantes



Gráfica 3 Control modos deslizantes. Fuente: Elaboración propia.

VIII. Conclusiones

Se diseñaron dos algoritmos de control: PID y modos deslizantes, con los que se logra mejorar el comportamiento en la salida de voltaje y además que se reduce el error en estado estable.

El control por modos deslizantes funciona mejor, porque alcanza la referencia en menor tiempo y no genera sobreimpulso. Además de que una vez que alcanza la referencia se mantiene.

El cálculo de los componentes que integran el convertidor elevador *push-pull*, se realiza al considerar los requerimientos de funcionamiento como son: frecuencia de conmutación, potencia máxima en la salida, voltaje de salida, voltaje de entrada y corrientes.

Referencias

- Hart, D. W. (2001). *Electrónica de potencia*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Middlebrook, R. D., & Cuk, S. (1976). A general unified approach to modeling switching-converter power stages. *Power Electronics Specialists Conference, 1976 IEEE* , 18-34.
- Ogata, K. (2010). *Ingengería de control moderna* (Tercera edición ed.). Madrid: PEARSON EDUCACION, S.A.,.
- Utkin, V. I., Jürgen, G., & Jingxin, S. (2009). *Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems* (Segunda ed.). Boca Raton: Taylor & Francis Group.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)