

MODELADO DE UN CONVERTIDOR *FLYBACK* Y DISEÑO DE SU CONTROLADOR PARA LUMINARIA LED DE INTENSIDAD VARIABLE

Esteban O. Lindstrom (i), Alfredo A. Falcón (i), María B. D'amico (ii)

(i) INTI Centro de Micro y Nanoelectrónica, sede Bahía Blanca

(ii) IIIIE (UNS-CONICET) y DIEC, Universidad Nacional del Sur

estebanl@inti.gob.ar

Introducción

El uso de los diodos emisores de luz (LEDs) como fuentes de iluminación es cada vez más frecuente. Este tipo de iluminación presenta diversas ventajas sobre las lámparas incandescentes y fluorescentes, principalmente mayor eficiencia energética, vida útil y flexibilidad. Los LEDs no pueden ser conectados directamente a la red eléctrica domiciliaria, necesitan un circuito o *driver*. Este *driver* se encarga de transformar la energía alterna en continua, ajustar los niveles de tensión, controlar la intensidad de luz y lograr aislación galvánica para proteger a los usuarios. Usualmente, el *driver* está compuesto de dos etapas, un corrector de factor de potencia (PFC) y un convertidor CC-CC. Este trabajo se centra en el modelado y control de la segunda etapa del *driver*, implementada con un convertidor tipo *flyback* operado en modo de conducción discontinua (MCD) para una luminaria de uso domiciliario, Fig. 1.

Este desarrollo está enmarcado en un proyecto de investigación, FONARSEC TICs "Plataforma de circuitos integrados y encapsulados para iluminación más eficiente". Y la finalidad fue realizar un circuito integrado (CI) que implemente los controladores del convertidor *flyback* y del PFC.

Objetivo

Obtener un modelo del convertidor *flyback* operando en MCD. A partir de este, diseñar un controlador que regule la corriente de salida entre 100mA y 350mA y que pueda ser implementado en un CI.

Descripción

El convertidor *flyback* se muestra en la Fig. 1, donde V_i es la tensión de entrada, la tira de LEDs es modelada por R_o y V_F y el convertidor *flyback* está formado por la llave S , el diodo D , el transformador (representado por la inductancia L_m y un transformador ideal de relación $(n : 1)$) y el capacitor C . Idealmente el controlador mantendrá el valor medio de la corriente de salida $i_o(t)$ en el valor deseado, I_o , calculando el ciclo de trabajo d_1 ($0 < d_1 < 1$) para ser aplicado a la llave en cada periodo fijo, T .

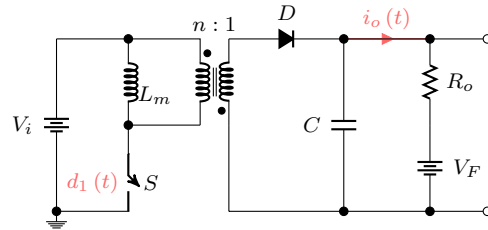


Figura 1: Topología del convertidor *flyback*.

Modelado del convertidor *flyback* en MCD

Cuando las variables no se desplazan significativamente de sus valores medios, los modelos pueden ser obtenidos a partir del promedio de las matrices resultantes de los modos de operación. Para convertidores que operan en MCD, este procedimiento puede inducir grandes errores. Para subsanar este inconveniente, se realiza el promedio sobre las ecuaciones diferenciales de los modos de operación.

El modelo que se obtiene es no lineal y por ende no se pueden aplicar la teorías de control clásico. Por este motivo, se realiza una linealización del mismo y se obtiene un modelo de pequeña señal, del cual puede obtenerse una función transferencia. Para este caso, la función transferencia requerida es la relación entre la corriente de salida \hat{i}_o y el ciclo de trabajo \hat{d}_1 , mostrada a continuación:

$$F(s) = \frac{\hat{i}_o(s)}{\hat{d}_1(s)} = -\frac{nD_1TV_i}{CL_mR_o} \frac{s + z_n/z_d}{s^2 + b_n/ds + c_n/d}$$

donde

$$\begin{aligned} z_n &= -D_1^2TV_i^2 + n(D_1^2TV_i - 2L_mX_1)X_2, \\ z_d &= D_1^3T^2V_i^2, \\ b_n &= D_1L_mTV_i + 2nCL_mR_oX_2, \\ c_n &= 2n^2L_mR_oX_1 + 2nL_mX_2 - n^2D_1^2R_oTV_i, \\ d &= CD_1L_mR_oTV_i, \\ X_1 &= \frac{-nL_m^2V_F + n^2D_1^2L_mR_oTV_i}{2n^2L_m^2R_o} \\ &\quad + \frac{\sqrt{n^2L_m^3(L_mV_F^2 + 2D_1^2R_oTV_i^2)}}{2n^2L_m^2R_o}, \end{aligned}$$

$$X_2 = \frac{2L_m V_F - nD_1^2 R_o T V_i + 2nL_m R_o X_1}{2L_m}$$

Como puede verse, $F(s)$ esta formada por ganancia, un cero y dos polos. Estos parámetros dependen de I_o como se muestra en Fig. 2. Analizando estos resultados se determina que el convertidor *flyback* puede ser modelado por un sistema de primer orden para el peor caso ($I_o = 100$ mA). A partir de este modelo se diseña el controlador.

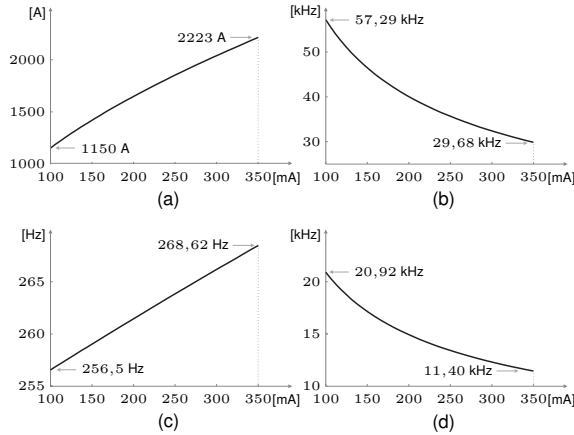


Figura 2: Variación de $F(s)$ en función de I_o . (a) Ganancia; (b) Cero z_1 ; (c) Polo de baja frecuencia p_1 ; (d) Polo de alta frecuencia p_2 .

Diseño del controlador

El requisito más importante del diseño del controlador es obtener un error de estado estacionario menor que el 1% en todo el rango de potencia, para eliminar dispersiones en la intensidad de luz entre dos dispositivos iguales. El tiempo de establecimiento no es crucial, dado que puede estar en el orden de los milisegundos. Sin embargo, se desea una respuesta amortiguada para eliminar daños en dispositivos.

Basado en la respuesta dinámica de la planta, un simple controlador proporcional serviría para cubrir estos requisitos. Pero, debido al acople capacitivo presente internamente en el CI entre el controlador del PFC y del convertidor *flyback*, se introducen ruidos de 50Hz en las referencias afectando el funcionamiento del convertidor *flyback*. Una solución simple y que consume menos área es agregar un polo de baja frecuencia al controlador. De esta forma se reduce el ancho de banda a lazo cerrado, obteniéndose la atenuación deseada a la frecuencia de 50Hz. El diagrama en bloques de la topología implementada se muestra en la Fig. 3, que tiene la siguiente función transferencia,

$$C(s) = \frac{\left(\frac{C_1}{C_1+C_2}s + \frac{G_{m1}}{C_1+C_2}\right)}{\left(s + \frac{G_{m2}}{C_1+C_2}\right)}$$

Nótese, que la implementación agrega un cero en la ley de control además del polo.

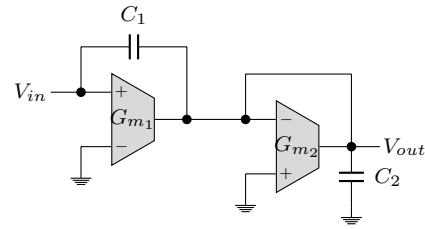


Figura 3: Topología del controlador implementado en el CI.

Resultados

La Fig. 4 muestra la respuesta a lazo cerrado de las simulaciones del convertidor *flyback* implementado en PSIM con el controlador diseñado. Dado que el modelado del convertidor *flyback* se realizó sin pérdidas, se verificó el modelo por simulaciones con y sin pérdidas. Como puede verse, se obtiene error menor al 1% y tiempo de establecimiento menor a 30ms, sin sobrepicos.

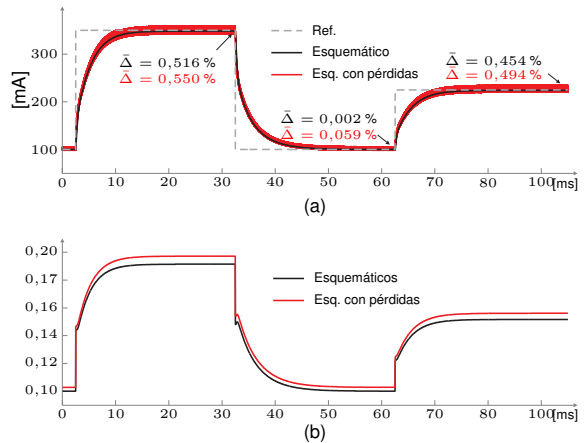


Figura 4: Respuesta a lazo cerrado cuando la intensidad es cambiada de mínimo a máximo y viceversa. (a) Corriente de salida; (b) Ciclo de trabajo.

Conclusiones

Se obtuvo el modelo del convertidor *flyback* operado en MCD que no estaba disponible en la bibliografía, logrando una publicación en un congreso nacional [1]. A partir de este modelo se obtuvo el diseño de un controlador que fue implementado en CI, el cual fue verificado por simulación, mostrando ser robusto. Actualmente, el CI fabricado está en periodo de evaluación. Los autores agradecen a Paola Ceminari por su contribución.

Bibliografía

- [1] A. Falcón, E. O. Lindstrom, and M. B. D'Amico, "Modeling and control of a flyback converter to drive a dimmable LED array," in *2016 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, June 2016, pp. 1–6.