

MICROINVERSOR CON CAPACIDAD PARA MANEJAR UNA LÁMPARA DE LED's

Jesús Uriel Baltazar Hernández

Tecnológico Nacional de México en Celaya

jessurbalt@gmail.com

Elías José Juan Rodríguez Segura

Tecnológico Nacional de México en Celaya

elias.rodriguez@itcelaya.edu.mx

Resumen

El presente artículo propone una novedosa topología que consiste en la integración de un microinversor con un driver de lámpara LEDs. El convertidor tiene la capacidad de funcionar como microinversor durante el día, inyectando toda la energía proveniente del panel fotovoltaico. Durante la noche el convertidor cambia de modo de operación y actúa como rectificador con alto factor de potencia para alimentar a una lámpara LEDs.

Ambos convertidores (microinversor y Driver) están basados en un convertidor Flyback que operan en modo de conducción discontinua (MCD).

Se muestra un análisis detallado del funcionamiento de la topología, las ecuaciones para el diseño de la misma y finalmente se presentan resultados de simulación.

Palabra(s) Clave: Driver LEDs, Iluminación vial, Inversor Flyback, Microinversor.

Abstract

The present paper proposes a new topology integrating PV panel microinverter system and street lighting driver for a LED luminaire.

The converter has the capacity for working as microinverter during daylight injecting the energy provided of PV panel to the grid. Meanwhile at night the converter changes its operation, then it acts as rectifier with high power factor to

provide energy for the LED luminaire. The topology present two integrated converters. These converters are based in Flyback converter operating in discontinuous-current mode (DCM).

The paper shows a detailed review of the topology function as well the equations used to design the topology and finally it shows the simulations results.

Keywords: *Flyback Inverter, LED Driver, Microinverter, Street lighting.*

1. Introducción

Hoy en día con la alta dependencia de la tecnología, el mejoramiento en el nivel de vida de los países desarrollados y el continuo aumento de la población, la demanda de energía es cada vez mayor, por lo que para satisfacer este requerimiento el consumo de los combustibles fósiles ha ido incrementando provocando el agotamiento del ozono, cambios climáticos, problemas ambientales y daños a la salud [1]. En México en el año 2016 el total de energía producida fue de 79.69% a partir de combustibles fósiles mientras que solo el 20.31% se produjo de energías limpias [2]. Cogeneración eficiente, eólica y fotovoltaica son las energías que mostraron mayor crecimiento en ese mismo año.

Respecto a esta última, la iluminación vial accionada por un panel fotovoltaico es una aplicación típica de la energía solar, donde la lámpara utiliza diodos emisores de luz (LED). Los LEDs, ofrece muchas ventajas como, por ejemplo: bajo consumo de energía, bajo costo, largo tiempo de vida que va desde 80000 a 100000 horas y además de que no contaminan [3].

Un elemento esencial en este tipo de iluminación es la batería, la cual se encarga de almacenar la energía del panel fotovoltaico durante el día mientras que por la noche libera esta energía para alimentar a la lámpara, ejemplos de este tipo de iluminación se muestran en [4,5].

Sin embargo, investigaciones que se han realizado respecto a las baterías indican que estas son sumamente tóxicas tanto para la salud como al medio ambiente. Contienen sustancias altamente peligrosas como, por ejemplo: el mercurio, cadmio, litio y el plomo. Si no se les da un correcto tratamiento una vez que se

deteriores lo más probable es que terminen en la basura convirtiéndose en un residuo altamente tóxico [6,7].

Considerando lo anterior, de los daños que pueden provocar las baterías, una buena opción es utilizar otro medio de almacenamiento, como por ejemplo la red eléctrica. El sistema de iluminación estará funcionando como parte de una red inteligente, de tal manera que, durante el día, el panel fotovoltaico inyectará toda la energía producida a la red eléctrica, mientras que por la noche la lámpara tendrá que ser alimentada de la misma.

Por lo tanto, es necesario utilizar un convertidor que realice dichas funciones. Es decir que tenga la posibilidad de manejar potencia de forma bidireccional.

Los microinversores (también llamados módulos AC), actualmente son ampliamente utilizados para inyectar corriente de un solo módulo fotovoltaico, por lo que el sistema se vuelve más fiable debido a que cada panel fotovoltaico tiene su propio seguimiento de punto de máxima potencia. Este elemento encaja perfectamente en la propuesta, ya que cada luminaria tendrá su propio módulo fotovoltaico.

Es necesario utilizar un Driver para lámpara LEDs que pueda integrarse con el microinversor. En la búsqueda del estado del arte se encontraron muchas de estas topologías. Se eligió aquella que tuviera elementos en común con el microinversor, de tal forma que pudieran ser integradas en un solo módulo.

2. Métodos

Topología propuesta

La topología propuesta se muestra en la figura 1. Está basada en dos convertidores Flyback [8, 9, 10]. El convertidor tiene una fuente de energía renovable e integra una lámpara LED.

Modos de operación

El convertidor tiene dos modos de operación (Microinversor y Driver) los cuales se describen a continuación:

- **Modo Microinversor.** La figura 2 muestra la configuración de la topología funcionando en modo microinversor. El interruptor SSEL se encuentra apagado para evitar que la corriente fluya hacia la lámpara y esta encienda durante el día. El microinversor consta de las siguientes etapas: primeramente, se tiene el condensador C_{in} en el cual tiene la función de mantener el voltaje y la corriente constante. Después se tiene un convertidor Flyback el cual realiza la operación del seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) del módulo fotovoltaico. Posteriormente el puente de despliegue realiza la operación de conmutación de tal manera que coincida con la fase del voltaje de la red. Finalmente, un filtro CL es utilizado en la salida para eliminar las componentes armónicas de la corriente de salida haciendo que esta sea como una forma de onda sinusoidal. Las principales formas de onda del Microinversor Flyback conectado a la red eléctrica se muestran en figura 3.

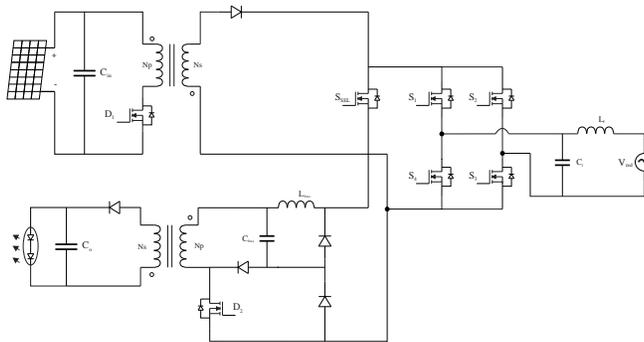


Figura 1 Topología propuesta.

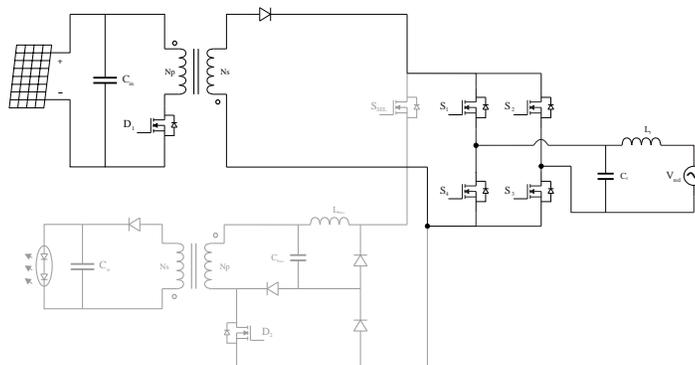


Figura 2 Modo Microinversor.

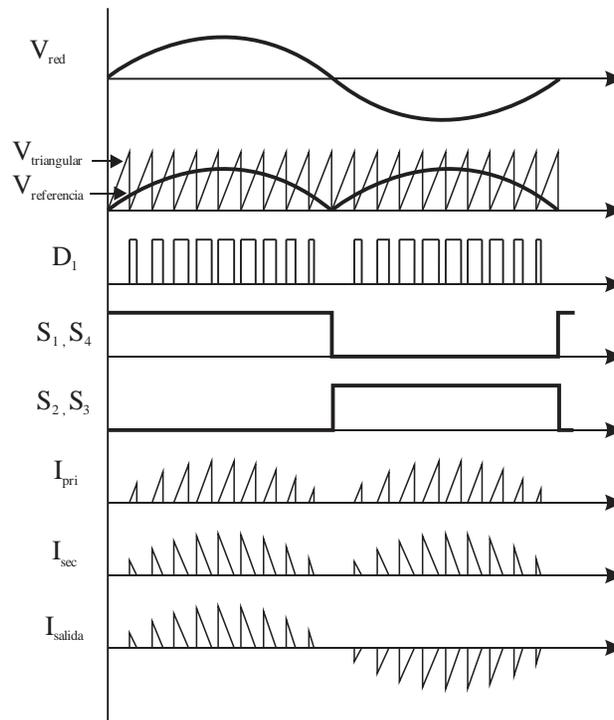


Figura 3 Formas de onda del Microinversor.

Es importante que el microinversor cumpla con la norma CFE-G0100-04 [12]. En esta se dan las especificaciones para interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos. En la tabla 1 se muestran algunas de estas especificaciones.

Tabla 1 Especificaciones para conexión a la red eléctrica.

Rango de frecuencia	59.2 – 60.8Hz
Distorsión Armónica Total	< 8%
Factor de Potencia	> 0.9

- *Modo Driver.* En la figura 4 se muestra la topología propuesta funcionando como driver de una lámpara LEDs. El interruptor S_{SEL} se encuentra encendido de tal manera que toda la corriente fluye desde la red eléctrica hacia la lámpara.

El convertidor consta de las siguientes etapas: primeramente, se tiene un filtro CL en la entrada del voltaje de la red eléctrica. Este voltaje es rectificado por los interruptores S_1 - S_4 , los cuales tienen que estar apagados.

Posteriormente se tiene la integración de un Buck-Flyback. El convertidor Buck es utilizado para obtener un alto factor de potencia, mientras que el Flyback es responsable del control de la etapa de potencia.

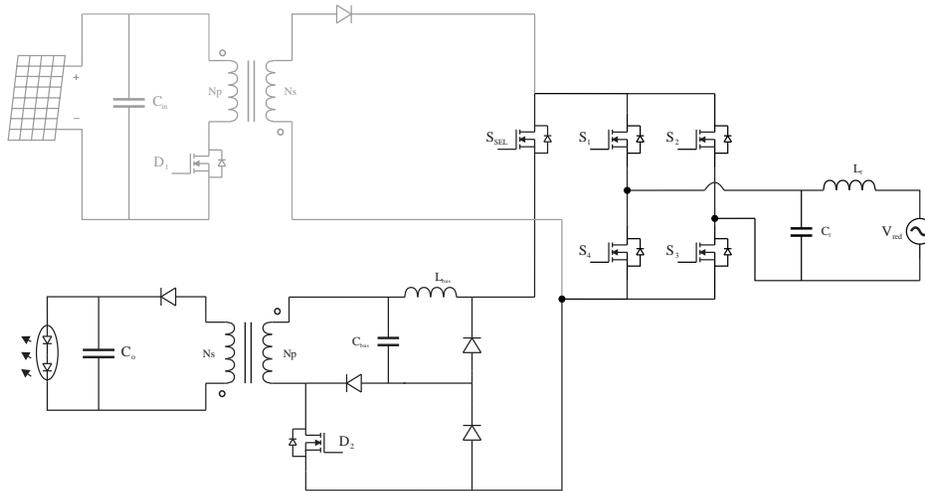


Figura 4 Modo Driver.

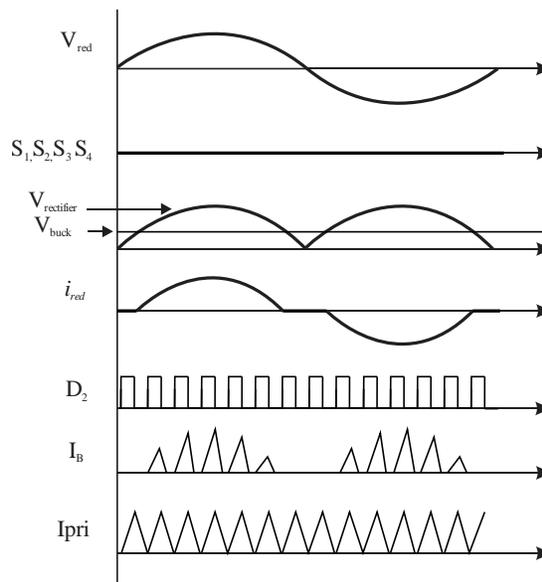


Figura 5 Formas de onda del Driver.

Esta topología del Driver basado en Buck-flyback debe cumplir con la norma oficial mexicana llamada NOM-031-ENER-2012 [11]. En esta se detallan las especificaciones para la instalación de luminarias LEDs

destinadas a vialidades y áreas exteriores públicas. En la tabla 2 se muestran las principales especificaciones.

Tabla 2 Especificaciones para instalación de Luminarias LED en vialidades.

Eficacia lumínica mínima	Pared – 52 lm/W Poste – 70 lm/W
Factor de Potencia mínimo	0.9
Distorsión Armónica Total	<20%

Diseño

Las ecuaciones para el diseño de la topología se muestran en la tabla 3. Los principales parámetros de diseño se muestran en la tabla 4.

Tabla 3 Ecuaciones de diseño.

Microinversor		Driver	
(1)	$D_{CCM} = \frac{ V_{red,pico} }{nV_{PV} + V_{red,pico} }$	(1)	$m = \text{seno}\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) = \frac{V_{bus}}{V_{red}}$
(2)	$i_{o,pico} = \frac{(2)(P_{out})}{V_{red,pico}}$	(2)	$V_{bus} = (m)(V_{red})$
(3)	$t_{off} = \frac{(T_s)(V_{PV})(D_{DCM})(n)}{V_{red,pico}}$	(3)	$L_m = \frac{(V_{bus}^2)(D^2)}{(2)(P_o)(f_s)}$
(4)	$I_{sec,pico} = \frac{(i_{o,pico})(T_s)(2)}{t_{off}}$	(4)	$n = \frac{(V_o)(1-D)}{(D)(m)(V_{red})}$
(5)	$i_{pri,pico} = (n)(i_{sec,pico})$	(5)	$\alpha = \frac{1}{2 \cdot m^2} \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot \text{seno}^{-1}m\right) - \frac{1}{\pi \cdot m} \cdot \sqrt{1-m^2}$
(6)	$L_m = \frac{(V_{PV})(D_{DCM_max})}{(I_{pri})(F_s)}$	(6)	$L_B = \alpha \cdot L_m$

Basado en los valores de la tabla 4 y utilizando las ecuaciones de la tabla 3, es posible calcular el valor de los componentes del microinversor y el Driver. La tabla 5 muestra estos valores de cada circuito.

Tabla 4 Principales parámetros de diseño.

Panel Solar			Lámpara		
	Pmax	150 W		Potencia	55 W
	VOC	22.12 V		Voltaje	100 V
	Vmp	18.45 V		Corriente	0.55 A
	ISC	8.62 A		Resistencia	181.82 Ω
	Imp	8.15 A			

Tabla 5 Valores calculados de parámetros.

Microinversor		Driver	
Potencia	150 W	Potencia	55 W
Frecuencia	30 kHz	Frecuencia	50 kHz
D_{max}	0.7	D	0.27
n	2	n	5.3
L_m	103 μ H	L_m	33.9 μ H
C_f	0.5 μ F	L_B	146 μ H
L_f	1.27 mH	C_B	820 μ F
		C_o	10 μ F
		$R_{lampara}$	181.8 Ω

3. Resultados

Para validar los parámetros de diseño a continuación se muestran una serie de gráficas obtenidas a través del software PSIM. En la figura 6 se muestran las corrientes en lado primario y secundario del Flyback. Así mismo se observan la corriente de salida del puente desdoblador.

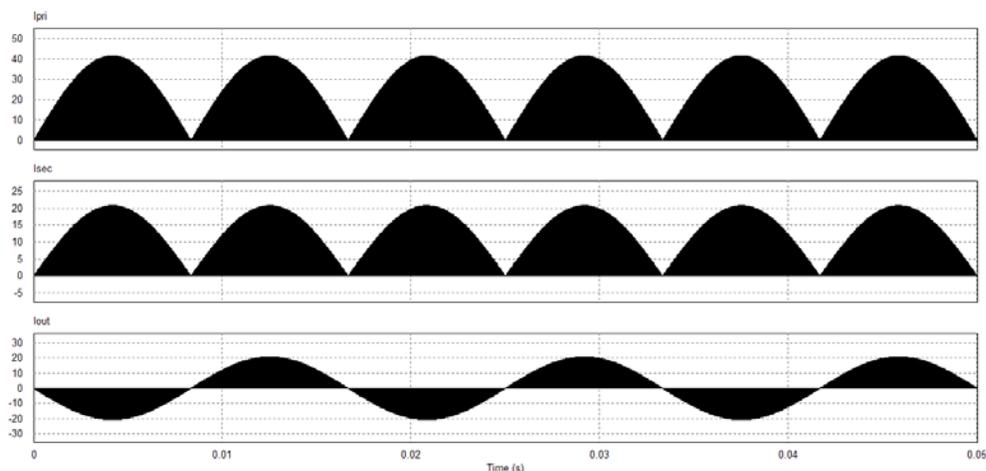


Figura 6 Corriente en el lado primario y secundario del Flyback

En la figura 7, se tiene la corriente inyectada a la red eléctrica una vez que es filtrada, así como el voltaje de la red eléctrica.

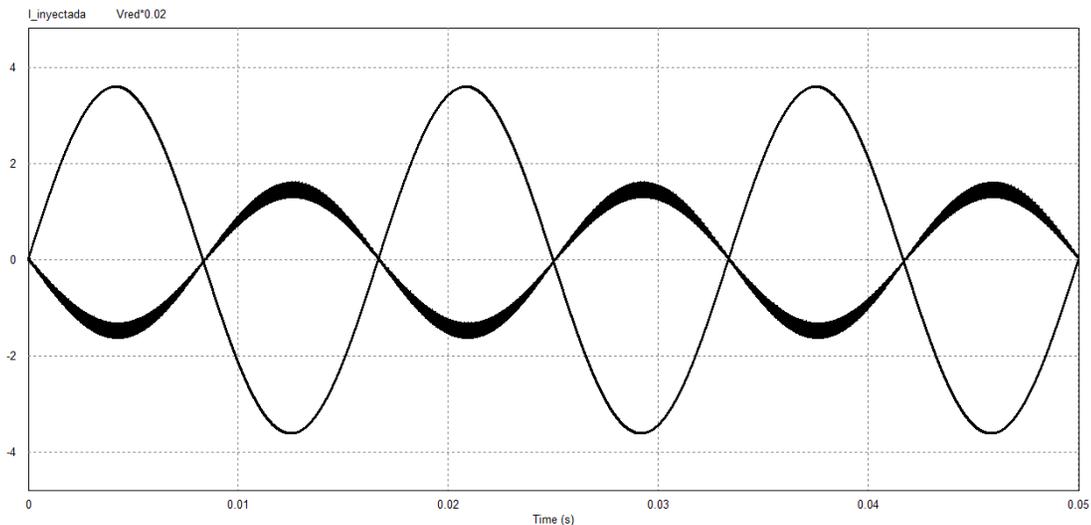


Figura 7 Corriente inyectada y voltaje de la red eléctrica.

En la figura 8 se observa los resultados de simulación del Driver. En el primer grafico se tiene el voltaje de la red eléctrica y la corriente. Estas se encuentran en fase, dando como resultado un factor de potencia de 0.97. El segundo y tercer grafico son la corriente y voltaje de la lámpara LEDs.

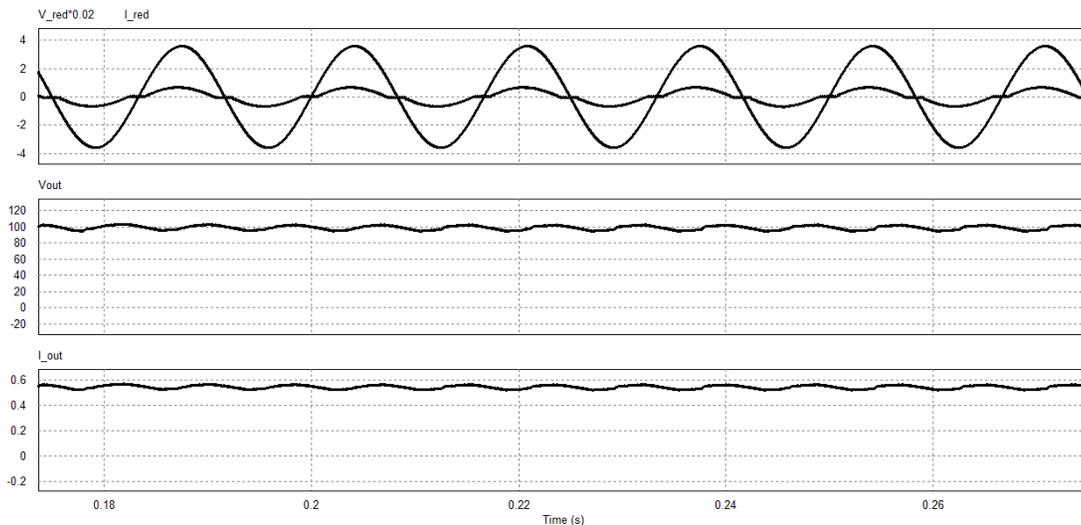


Figura 8 Simulación Driver de lámpara LEDs.

En la figura 9. Se puede observar la señal de conmutación del interruptor principal del driver. También se muestra la señal de la corriente a través de L_B y la corriente del primario del Flyback.

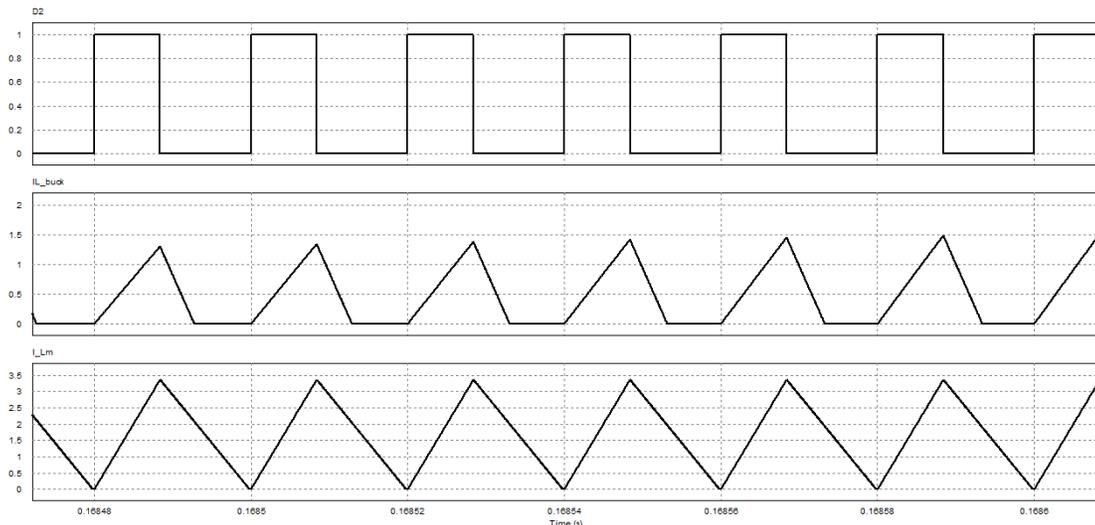


Figura 9 Señal de conmutación, corriente en L_B y en L_m .

Finalmente, en la figura 10, se observa una simulación completa, en donde se puede apreciar el cambio de modo de operación de Microinversor a Driver. En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos de la simulación

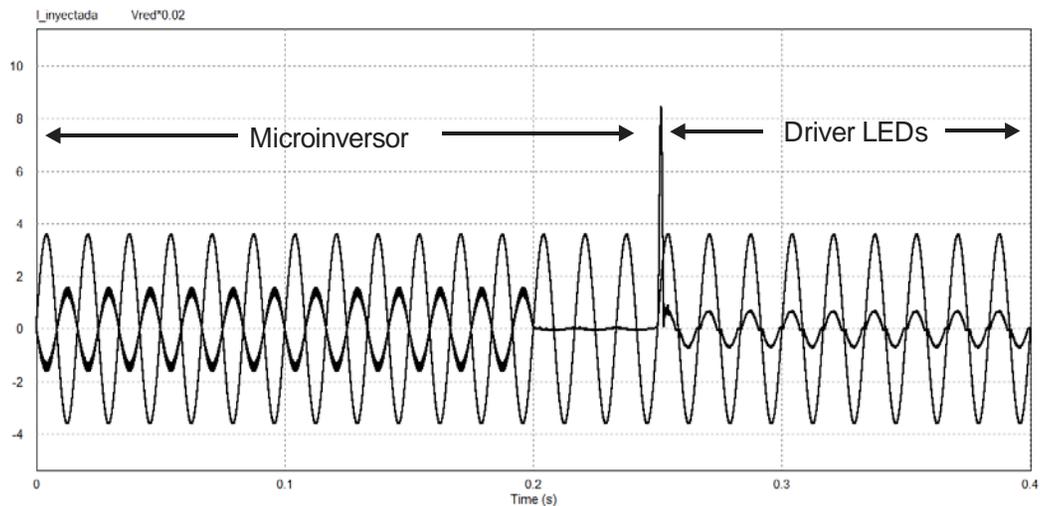


Figura 10 Simulación donde se realiza el cambio de operación de un modo a otro.

Tabla 6 Resultados de simulación.

Parámetro	Microinversor	Driver
Potencia entrada	150 W (Panel)	55 W (Red)
Potencia salida	135 W (Red)	53 W (lámpara)
FP	0.99	0.97
THD	6.6 %	18%

4. Discusión

En este artículo se presentó una propuesta de una topología para ser utilizado en aplicaciones de iluminación vial. El convertidor tiene la capacidad de flujo de potencia bidireccional, es decir, puede inyectar energía a la red eléctrica y alimentar a una lámpara LED. Ambas funciones actúan durante el día y la noche respectivamente.

Una de las ventajas de esta propuesta, es evitar el uso de una batería comúnmente utilizada en sistemas de iluminación vial autónomos. En lugar de gastar en una batería y considerando de los problemas que causa al medio ambiente y a la salud, es una buena opción utilizar la red eléctrica como medio de almacenamiento.

De esta manera, utilizando una lámpara LEDs que consume durante el tiempo de encendido la misma potencia de lo que genera un panel fotovoltaico durante el día, podrá haber un equilibrio entre la energía que se genera y lo que se consume. Los beneficios aumentan aún más, si se considera este convertidor a gran escala. Es decir, pensando utilizarlo en grandes avenidas donde el número de lámparas utilizadas es mayor, obteniendo aún más ahorros de energía, así como económicos y de mantenimiento.

También puede ser utilizado en otras áreas como, por ejemplo: Estacionamientos, parques, y ciertas áreas de iluminación exterior de los llamados edificios verdes.

Las limitantes que se pueden observar de esta propuesta son las siguientes:

- La topología solo puede ser aplicada a lugares donde se tenga acceso a la red eléctrica.
- En caso de presentarse fallas en la red eléctrica, también habrá cortes en el alumbrado.

La topología está basada en la integración de un microinversor y un driver para lámpara LEDs. El Microinversor se eligió debido a que este recoge toda la energía generada de un solo panel fotovoltaico. El driver para lámparas LEDs se seleccionó considerando que tuvieran características en común con el microinversor. Ambos convertidores, funcionan en modo de conducción discontinua y están basados en un convertidor Flyback.

Los resultados de simulación obtenidos de la topología propuesta, demuestran un buen desempeño. Se logró un factor de potencia elevado, es decir, 0.99 para el modo microinversor y 0.96 en modo Driver. También se obtuvo una distorsión armónica que están dentro de los requerimientos establecidos por las normas CFE-G0100-04 y NOM-031-ENER-2012: 6.6% en modo microinversor y 18% en modo driver.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Aktar Hussain, Syed Muhammad Arif & Muhammad Aslam. (2016). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art.
- [2] SENER. (2016). Reporte de avance de energías limpias 2016.
- [3] Chen Wu, & Ron Hui S.Y. (2012). Elimination of an Electrolytic Capacitor in AC/DC Light-Emitting Diode (LED) Driver With High Input Power Factor and Constant Output Current.
- [4] Ali Mokhtar, Orabi Mohamed, Abdelkarim Emad, A. Abu Qahouq Jaber & El Aroundi Abdelali .(2011). Design and Development of Energy-Free Solar Street LED Light System.
- [5] Dalla Costa M.A., Schuch L., Michels L., Rech C., Phiniero J.R. & Costa G.H. (2010). Autonomous Street Lighting System based on Solar Energy and LEDs.
- [6] GREENPACE. (2005). Pilas y baterías tóxicas en casa.
- [7] U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012).
- [8] Bong-Yeon Choi, Jin-Woo Jang, Young-Ho Kim, Young-Hyok Ji, Yong-Chae Jung, Chung-Yuen Won. (2013). Current Sensorless MPPT using Photovoltaic AC Module-Type Flyback Inverter.

- [9] C.V. Luz Paulo, R. Cosetin Marcelo, E. Bolzan Priscila, Maboni thiago, F. Da Silva Marcelo & N. do Prado Ricardo. (2015). An Integrated Insulated Buck-Flyback Converter to Feed LED's Lamps to Street Lighting with Reduced Capacitance.
- [10] Gacio D., Alonso J.M., Calleja A.J. Garcia J. & Rico-Secades M. (2009). A Universal-Input Single Stage High-Power-Factor Power Supply for HB-LEDs Based on Integrated Buck-Flyback Converter.
- [11] Norma Oficial Mexicana NOM-031-ENER-2012. (2012).
- [12] Especificación CFE G0100-04. (2008).