



Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>



Visión Investigadora

Análisis de un inversor sin transformador en micro redes eléctricas

Analysis of an inverter without transformer in electrical microgrids

Rafael Antonio Peña-Suesca¹, César Leonardo Trujillo-Rodríguez², Johann Alexander Hernández-Mora³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 10/07/2018

Recibido: 25/07/2018

Aceptado: 07/08/2018

Palabras clave:

Inversor sin transformador

Microred

Topología de medio puente



Keywords:

Transformer less inverter

Microgrid

Half Bridge topology

RESUMEN

La eficiencia energética es un factor clave a la hora de trabajar con fuentes no convencionales de energía, es por eso que los sistemas fotovoltaicos interconectados a red utilizan inversores sin transformador con el fin de obtener eficiencias cercanas al 98%. Dicha idea puede ser adaptada a las micro redes eléctricas, con el fin de aumentar la eficiencia de esta. En este artículo se presenta la topología medio puente sin transformador operando en una micro red eléctrica. Se analiza el principio de funcionamiento de la topología y se simula, con el software PSIM, el flujo de potencia bidireccional cuando el sistema se encuentra conectado a red, así como la entrega de energía a una carga en modo isla. Finalmente, se presentan las conclusiones.

ABSTRACT

Energy efficiency is a key factor when working with non-conventional energy sources, for this reason, interconnected grid photovoltaic systems use transformer less inverters to obtain efficiencies close to 98%. This idea can be adapted to microgrids, in order to increase its efficiency. In this paper is presented the transformer less half bridge topology working in an electric microgrid. The operation of the topology and the bidirectional power flow are simulated in the PSIM software with the system connected to the grid. Additionally, the operation of the converter in island mode also is simulated. Finally, the conclusions are presented.

¹ Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. MSc. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Profesor Titular Planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: rpena@udistrital.edu.co

² Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. MSc. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Ph.D. En Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica De Valencia, España. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: ctrujillo@udistrital.edu.co

³ Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. MSc. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Ph.D. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Profesor Asociado Planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: jahernandezm@udistrital.edu.co

Citar este artículo como: R. A. Peña-Suesca, C. L. Trujillo-Rodríguez y J. A. Hernández-Mora, "Análisis de un inversor sin transformador en micro redes eléctricas", *Visión electrónica*, vol. 1, no. 1, Edición especial, enero-junio 2018. DOI revista: <https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>

1. Introducción

En los últimos años, una de las grandes prioridades a escala mundial, es el desarrollo de fuentes alternativas de generación de energía eléctrica, y en especial de fuentes renovables que disminuyan el grado de contaminación ambiental. Si bien los combustibles fósiles continuarán supliendo una fracción apreciable del consumo energético, la oferta energética tenderá a ser más diversificada. Opciones como la energía, eólica, solar, biomasa renovable e hidrógeno juegan un papel importante en el largo plazo y producirán cambios substanciales en el perfil tecnológico ambiental y organizacional del sistema energético global [1].

Es claro que, desde el punto de vista de la ausencia de energía en sitios apartados, así como el hecho de entrar en la dinámica de cogeneración energética empleando energías renovables, es necesario y factible implementar sistemas capaces de conectarse a la red eléctrica con el fin de transferir energía proveniente de las fuentes renovables, así como alimentar cargas en ausencia de esta. A dichos sistemas formados por generadores, cargas y equipos de almacenamiento, capaces de interconectarse a la red con el fin de transferir energía desde los generadores pertenecientes a ésta, así como alimentar cargas locales cuando dicha red no se encuentra presente se les conoce como micro redes [2].

Los convertidores electrónicos de potencia son usados en micro redes para controlar el flujo de potencia de manera bidireccional, así como para convertir la energía proveniente de la fuente y adaptarla a la carga. Diferentes tipos de convertidores son usados con el fin de realizar diferentes tareas en una micro red, por ejemplo, los convertidores DC en las celdas fotovoltaicas [3], las celdas de combustible y los sistemas de almacenamiento [4], o convertidores de frecuencia variable en generadores eólicos [5], entre otros. Sin embargo, son los convertidores DC/AC o inversores los encargados de interconectar la microrred a la red eléctrica.

Por otra parte, los convertidores sin transformador de aislamiento son ampliamente utilizados en diferentes aplicaciones de generación distribuida y/o consumo, tales como sistemas fotovoltaicos de inyección a red, control de carga, entre otros, en aquellos países en donde la normatividad lo permite [6] [7]. La razón fundamental de usar este tipo de inversores se centra en el hecho de disminuir costos y volumen del inversor que se interconecta a la red manteniendo niveles de seguridad equivalentes, como son, la vigilancia del aislamiento a tierra y dispositivos de protección frente a

contactos indirectos [8]. Sin olvidar dicha premisa, es posible extrapolar esta idea al contexto de las micro redes, con el fin de que dichos convertidores sirvan de interfaz entre la generación y la carga (activa o pasiva).

En el presente artículo se describe el análisis de una topología de medio puente operando de manera interconectada y aislada en un ambiente de micro red. Se evalúa, desde el punto de vista de la simulación, el flujo de potencia desde y hacia la red, así como las implicaciones que dicha operación trae consigo. De igual forma, se analiza su operación cuando el equipo trabaja alimentando cargas locales en condición de isla. Finalmente, se analizan los resultados con el fin de valorar el correcto funcionamiento de la topología y se presentan las conclusiones.

2. Estructura de inversores sin transformador

La transformación de la energía eléctrica de origen renovable suele hacerse a través de convertidores electrónicos conmutados, para los cuales la eficiencia y el costo son parámetros esenciales. En el caso particular de inversores para sistemas fotovoltaicos interconectados, la mayoría de las topologías utilizan un transformador, de alta o baja frecuencia, para proveer al convertidor de aislamiento galvánico. Los transformadores de baja frecuencia son pesados, voluminosos, costosos e introducen pérdidas de potencia adicionales. Estos inconvenientes pueden ser parcialmente solventados mediante el uso de una topología con dos etapas, usando un transformador de alta frecuencia [9]. Sin embargo, al utilizar dos etapas en cascada, la eficiencia se ve reducida, así como la confiabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, la investigación en torno a las topologías sin transformador se ha visto favorecida [10], consiguiendo inversores más compactos, baratos y de mayor eficiencia [11].

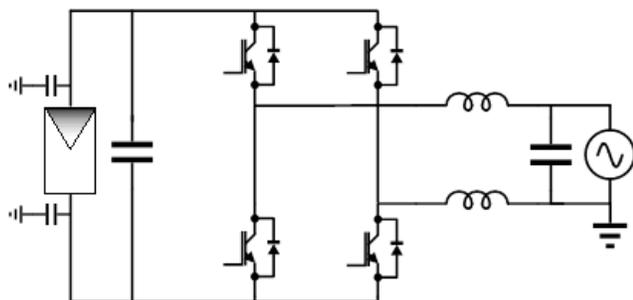
Las topologías sin transformador se caracterizan por dividirse en dos familias [8], las derivadas de la topología puente H y las derivadas de las topologías multinivel, y centran su atención en la reducción del valor de la corriente de derivación capacitiva a tierra al mismo tiempo que mantienen las prestaciones de las topologías de inversores convencionales.

En seguida se exponen las topologías inversoras más relevantes derivadas de la topología puente H, por estar entre las más extendidas en el mercado.

2.1. Topología puente H

La topología puente H o puente completo es la topología más extendida de inversores y fue desarrollada por W. McMurray en 1965 [12]. En la Figura 1 se muestra un inversor fotovoltaico sin transformador en configuración puente H.

Figura 1. Topología puente H.



Fuente: elaboración propia.

Es posible usar dos tipos de modulaciones sobre el puente H, la PWM bipolar y la PWM unipolar. En la mayoría de los inversores con transformador se utiliza la modulación PWM unipolar, ya que presenta una serie de ventajas sobre la modulación bipolar como son, menor rizado de corriente, mayor eficiencia y baja interferencia electromagnética [13].

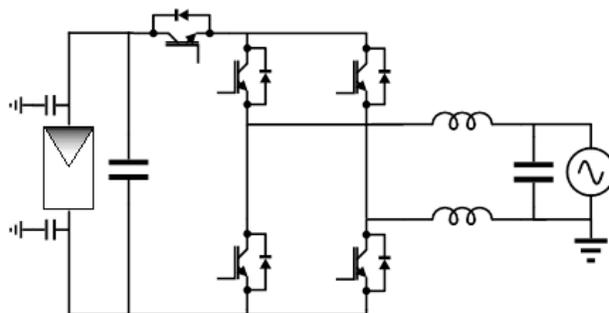
Sin embargo, la modulación unipolar en este tipo de inversores sin transformador hace que la corriente de derivación capacitiva alcance valores demasiado elevados [14]. Utilizando modulación bipolar, la tensión de modo común únicamente contiene una componente de baja frecuencia (frecuencia de red) circulando [15], y en consecuencia se tiene una corriente en derivación capacitiva de valor reducido [16]. En este caso es de suma importancia garantizar que las señales de disparo de los transistores alcancen ambas ramas del puente de manera sincronizada [17], ya que cualquier diferencia entre los tiempos de conmutación de los transistores aumentará la corriente de derivación, lo que hace que sea complejo en la práctica aplicar esta topología a inversores sin transformador [18].

2.2. Topología H5

La topología H5, es una topología patentada por SMA desde 2005 [19]. Se caracteriza por estar formada por un puente H y un interruptor adicional en el bus positivo de la DC link, el cual previene el intercambio reactivo entre el condensador de la DC link y el inductor

del filtro de salida, durante el estado de cero tensión. Por otra parte, aísla el módulo fotovoltaico de la red durante dicho estado, eliminando así el contenido de alta frecuencia de la tensión en modo común [20]. En la Figura 2 se observa la topología H5.

Figura 2. Topología H5.

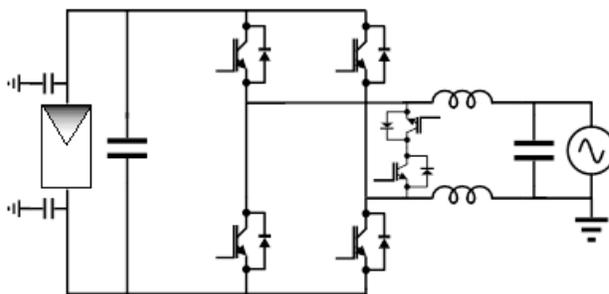


Fuente: elaboración propia.

2.3. Topología HERIC

La topología HERIC (Highly Efficiency and Reliable Inverter Concept), es una topología patentada por Sunways desde 2006 [21]. En la Figura 3 se observa la topología H5. Se caracteriza por estar formada por un puente H al cual se le ha adicionado un bypass (usando dos interruptores back-to-back). El bypass provee exactamente las mismas dos funciones que la topología H5. Las dos topologías se caracterizan porque tienen dos interruptores conmutando en alta frecuencia y uno conmutando a frecuencia de red, sin embargo, H5 tiene tres interruptores conduciendo al mismo tiempo, mientras que la HERIC solo tiene dos [22].

Figura 3. Topología HERIC.



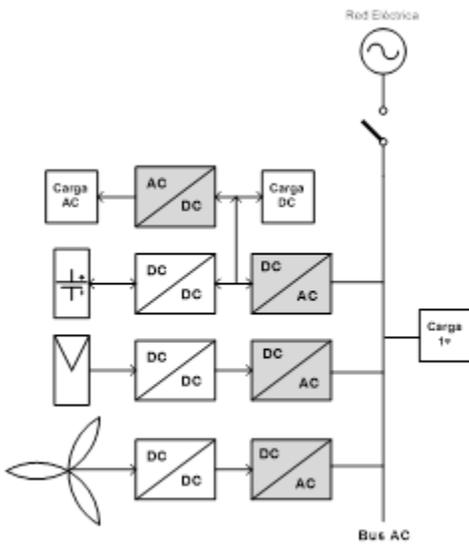
Fuente: elaboración propia.

En la siguiente sección se abordará la topología de medio puente, la cual fue la topología seleccionada para operar en una micro red eléctrica.

3. Topología sin transformador propuesta para la micro red.

Una micro red presenta diferentes configuraciones, desde el punto de vista de cómo se interconectan las fuentes de generación, los sistemas de almacenamiento y las cargas (pasivas o activas), una posible configuración de micro red se presenta en la Figura 4. En dicha figura se tienen múltiples convertidores que se encargan de adaptar la energía según lo requiera el proceso. Uno de dichos convertidores es el que permite la conversión DC/AC que es el objeto del presente artículo.

Figura 4. Microred propuesta.



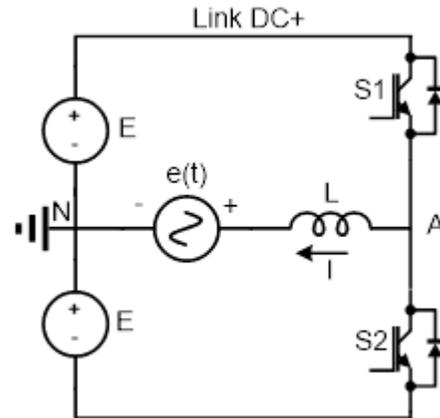
Fuente: elaboración propia.

Generalmente, para la interconexión al bus AC se utiliza un transformador de aislamiento, sin embargo, a continuación, se expone una alternativa usando la topología de medio puente sin transformador con el fin de disminuir costos, brindando los niveles de seguridad requeridos que ofrecen los esquemas con aislamiento.

La topología convencional de medio puente de dos niveles se caracteriza por tener una configuración simple de dos interruptores y un sólo inductor [23]. En la Figura 5 se observa esta topología intercambiando energía entre los links DC+ y DC- con la red $e(t)$.

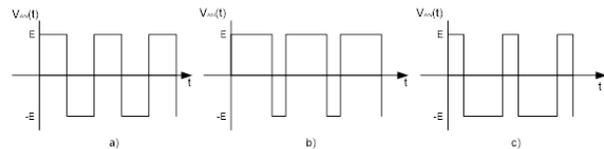
Los interruptores S1, S2 cierran alternadamente conectando el punto A los links DC+ y DC-, produciendo tensiones $V_{AN}(t)$ como las que se muestran en la Figura 6.

Figura 5. Topología medio puente.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Tensiones $V_{AN}(t)$ para diferentes ciclos de trabajo, a) 50%, b) 75%, c) 25%.

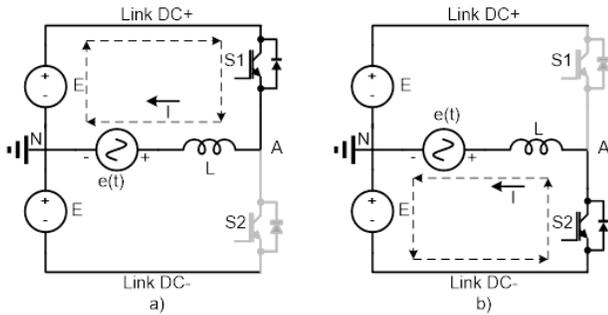


Fuente: elaboración propia.

Se observa que se requiere de al menos dos veces la tensión pico de la red en el DC link, y, por tanto, los semiconductores deben soportar el doble de tensión en comparación con las topologías estudiadas en la sección 2.

Cuando la corriente en la inductancia fluye en el sentido de la flecha con S1 cerrado, la corriente baja por S1 y circula por la malla superior como se muestra en la Figura 7.a. En este tiempo, la fuente de DC+ suministra energía a la inductancia L y a $e(t)$. En el intervalo siguiente cuando abre S1 y cierra S2, la corriente circula por la malla inferior como se observa en la Figura 7.b. En este caso, de la energía almacenada en la inductancia L, se entrega energía a la fuente $e(t)$ y a la fuente DC-. Es decir, mientras en la inductancia se conserve este mismo sentido de corriente, se entrega energía desde el link DC+ a la fuente $e(t)$ y al link DC-.

Figura 7. Funcionamiento topología medio puente a) S1 cerrado, b) S2 cerrado.



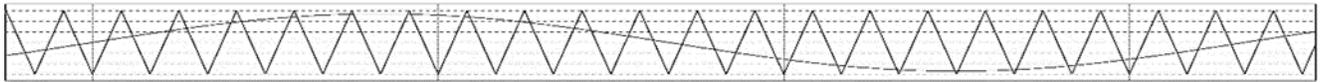
Fuente: elaboración propia.

Se observa también, si se analiza el circuito con corriente en la inductancia en sentido contrario, que la energía se entrega desde la fuente $e(t)$ y el link DC-, al link DC+.

Debido a su operación bipolar y para el caso de salidas sinusoidales con modulación SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation), funciona realizando intercambio reactivo entre el link DC+ y el link DC- a baja frecuencia y pulsante a la frecuencia de conmutación. Lo anterior incrementa el rizado de corriente en los componentes y las pérdidas por conmutación. No obstante, es posible reducir dicho rizado de corriente, empleando filtros de mayor tamaño.

En relación con la modulación SPWM, la cual nace de la comparación entre una señal triangular a la frecuencia de conmutación y una señal sinusoidal a la frecuencia de red (Figura 8), la cual origina la tensión $V_{AN}(t)$ de pulsos con valores que cambian entre DC+ y DC- (Figura 9), se aprecia que se hace evidente el flujo pulsante de energía reactiva entre las fuentes DC, el cual cambia de sentido en cada semiciclo de la señal sinusoidal de baja frecuencia.

Figura 8. Señales de comparación para generación de SPWM.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Salida PWM y componente sinusoidal de baja frecuencia.



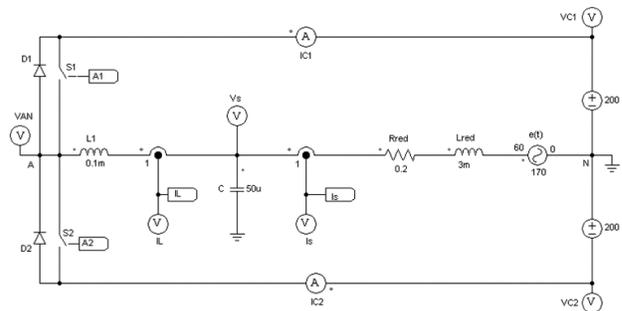
Fuente: elaboración propia.

De forma general se observa que la topología permite entregar energía desde una fuente $e(t)$ a un sistema DC, o desde un sistema DC a una fuente $e(t)$, y/o desde un sistema DC a cargas pasivas con la tensión $V(t)$ que se requiera.

4. Resultados de simulación

El sistema que se simuló corresponde a un inversor con topología de medio puente operando de forma interconectada y aislada. Dicha simulación fue llevada a cabo con el software PSIM. En la figura 10 se muestra el esquemático desarrollado y en la Tabla 1 los valores de los elementos.

Figura 10. Topología medio puente conectada a la red $e(t)$ implementada en PSIM.



Fuente: elaboración propia.

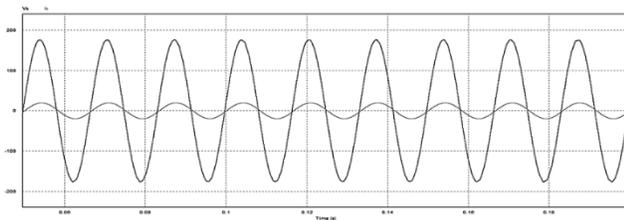
Tabla 1. Parámetros del convertidor medio puente.

Parámetros	Valor
Tensión bus DC+	200V
Tensión bus DC-	-200V
Tensión eficaz red AC ($e(t)$)	120V
Frecuencia (f)	60Hz
Condensador de filtro (C)	50 μ F
Inductancia del filtro (L)	100 μ H
Resistencia de la red (Rred)	0.2 Ω
Inductancia de la red (Lred)	3mH

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 11 se muestra el flujo de potencia desde el link DC a la red $e(t)$, con tensión y corriente en fase, para ver el caso de funcionamiento interconectado, entregando potencia a la red.

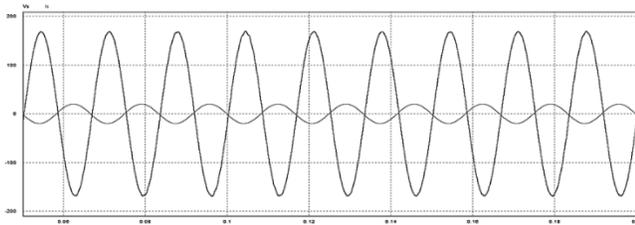
Figura 11. Tensión de red $e(t)$ (Negra) y corriente inyectada a la red (Gris) en fase.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 12 se muestra flujo de potencia desde la red $e(t)$ al link DC, con tensión y corriente en contra fase para ver el caso de funcionamiento interconectado, recibiendo potencia desde la red.

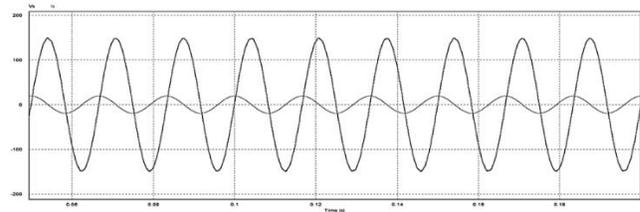
Figura 12. Tensión de red $e(t)$ (Negra) y corriente inyectada a la red (Gris) en contra fase.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 13 se muestra flujo de potencia reactiva entre el link DC y la red $e(t)$, con tensión y corriente desfasados 90 grados, para ver el caso de funcionamiento interconectado, entregando potencia reactiva a la red.

Figura 13. Tensión de red $e(t)$ (Negra) y corriente inyectada a la red (gris) en desfase 90°.

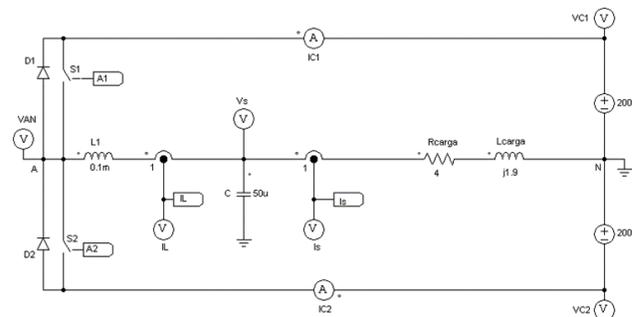


Fuente: elaboración propia.

En las simulaciones anteriores con el sistema interconectado a la red se mostró que esta topología puede inyectar o absorber energía activa y/o reactiva de la red, lo que evidencia la versatilidad de dicho esquema para operar en una micro red interconectada.

La segunda simulación se orienta a mostrar como la topología opera de manera adecuada alimentando cargas pasivas de manera autónoma o en modo isla. La carga pasiva tiene un valor de $4 + j1.9 \Omega$. En la Figura 14 se muestra el esquema implementado en PSIM.

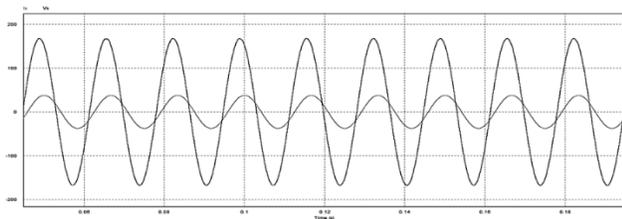
Figura 14. Topología medio puente en modo isla implementada en PSIM.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 15 se muestra la gráfica de tensión y corriente entregadas a la carga en donde se puede observar que el sistema fija la tensión a los mismos valores nominales de la red eléctrica.

Figura 15. Tensión de salida del medio puente (Negra) y corriente en la carga (Gris).



Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

En el artículo se analizó la topología medio puente sin transformador operando como convertidor DC/AC en una micro red. Esta topología presentó la gran ventaja de utilizar un sólo interruptor en el paso de la corriente, lo que la posiciona como una topología sencilla desde el punto de vista de la implementación.

Adicionalmente, permite mantener conectado el neutro de la red al punto medio de la DC link, lo que implica reducción de las corrientes de fuga, en comparación con las otras topologías estudiadas (Puente completo, H5 y HERIC). Esto también permite su ampliación a sistemas trifásicos con neutro.

Por otra parte, se validó a través de simulación que puede manejar flujo de potencia de manera bidireccional y con cualquier factor de potencia. Es, por tanto, adecuada para la configuración de micro redes eléctricas que trabajen interconectadas o de manera aislada.

Desde este punto de vista, se verifica que los sistemas fotovoltaicos interconectados a una microrred eléctrica pueden utilizar inversores sin transformador y se obtiene una eficiencia simulada admisible y que en un trabajo futuro puede verificar el criterio de ser cercana al 98%.

Referencias

- [1] R Burrett, R. Dixon, M. Eckhart, D. Hales y A. Kloke-lesch, “Renewable Energy Policy Network for the 21st Century”, REN21, 2009. [En línea]. Disponible en: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/RE_GSR_2009_Update.pdf
- [2] C. Trujillo, D. Velasco, G. Garcera, E. Figueres y J. Guacaneme. “Reconfigurable Control Scheme for a PV Microinverter Working in Both Grid-Connected and Island Modes”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.60, no.4, 2013, pp.1582-1595. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2177615>
- [3] I. Erlich y A. El-Naggar, “Control approach of three-phase grid connected PV inverters for voltage unbalance mitigation in low-voltage distribution grids”, IET Renewable Power Generation, vol. 10, no. 10, 2016, pp. 1577-1586. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2016.0200>
- [4] C. M. Lai y. J. Lin, “Development of a modular single-stage grid-connected fuel-cell inverter system with power management and remote monitoring interface”, IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 - ECCE Asia), Kaohsiung, 2017, pp. 2094-2099. <https://doi.org/10.1109/IFEEC.2017.7992374>
- [5] M. P. S. Gryning, Q. Wu, M. Blanke, H. H. Niemann y K. P. H. Andersen, “Wind Turbine Inverter Robust Loop-Shaping Control Subject to Grid Interaction Effects”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 7, no. 1, 2016, pp. 41-50. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2015.2472285>
- [6] M. Islam, N. Afrin y S. Mekhilef, “Efficient Single Phase Transformerless Inverter for Grid-Tied PVG System with Reactive Power Control”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 7, no. 3, 2016, pp. 1205-1215. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2016.2537365>
- [7] Y. W. Cho, W. J. Cha, J. M. Kwon y B. H. Kwon, “Improved single-phase transformerless inverter with high power density and high efficiency for grid-connected photovoltaic systems”, IET Renewable Power Generation, vol. 10, no. 2, 2016, pp. 166-174. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0139>
- [8] I. Patrao, E. Figueres, F. González-Espín y G. Garcerá, “Transformerless topologies for grid-connected single-phase photovoltaic inverters”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 7, 2011, pp. 3423-3431. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.034>
- [9] M. D. Manjrekar, R. Kieferndorf y G. Venkataramanan, “Power electronic transformers for utility applications”, Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference, no.

- 4, pp. 2496-2502, 2000. <https://doi.org/10.1109/IAS.2000.883173>
- [10] M. Calais, V. G. Agelidis y M. Meinhardt, "Multilevel converters for single-phase grid connected photovoltaic systems: an overview", *Solar Energy*, vol. 66, no. 5, 1999, pp. 325-335. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(99\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(99)00035-3)
- [11] S. V. Araujo, P. Zacharias y B. Sahan, "Novel grid-connected non-isolated converters for photovoltaic systems with grounded generator", *PESC 2008-IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp. 58-65, 2008. <https://doi.org/10.1109/PESC.2008.4591897>
- [12] W. McMurray, "Inverter Circuits," U.S. Patent 3207974, Septiembre de 1965.
- [13] D. M. Baker, V. G. Agelidis y C. V. Nayer, "A comparison of tri-level and bi-level current controlled grid-connected single-phase full-bridge inverters", *ISIE '97-Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, no. 2, pp. 463-468, 1997. <https://doi.org/10.1109/ISIE.1997.648992>
- [14] S. Araujo, P. Zacharias y R. Mallwitz, "Highly Efficient Single-Phase Transformerless Inverters for Grid-Connected Photovoltaic Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 9, 2000, p. 3118-3128. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2037654>
- [15] B. Burger y D. Kranzer, "Extreme high efficiency PV-power converters", *EPE '09-13th European Conference on Power Electronics and Applications*, pp. 1-13, 2009.
- [16] M. Lin, T. Fen, Z. Fei, J. Xinmin y T. Yibin, "Leakage current analysis of a single-phase transformer-less PV inverter connected to the grid", *ICSET 2008-IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*, pp. 285-289, 2008. <https://doi.org/10.1109/ICSET.2008.4747018>
- [17] Z. Kai, Z. Yunbin, Z. Yonggao y K. Yong, "Reduction of Common Mode EMI in a Full-Bridge Converter through Automatic Tuning of Gating Signals", *IPEMC 2006. CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference*, no. 1, pp. 1-5, 2006. <https://doi.org/10.1109/IPEMC.2006.4778046>
- [18] H. Hinz y P. Mustcher, "Single phase voltage source inverters without transformer in photovoltaic applications", *PEMC '96. International Power Electronics and Motion Control Conference and Exhibition*, no. 3, pp. 161-165, 1996. <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853435>
- [19] M. Victor, et. al, "Method of Converting a Direct Current Voltage from A Source of Direct Current Voltage, More Specifically from A Photovoltaic Couse of Direct Current Voltage, Into an Alternating Current Voltage", U.S. Patent Application 2005/0286281 A1, 29 de Diciembre de 2005.
- [20] X. Guo, "A Novel H5 Current Source Inverter for Single-Phase Transformerless Photovoltaic System Applications", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 64, no. 10, 2017, pp. 1197 - 1201. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2017.2672779>
- [21] H. Schmid, et. al, "DC/AC converter to convert direct electric voltage into alternating voltage or into alternating current", U.S. Patent 7046534, 16 de Mayo de 2006.
- [22] P. S. Gotekar, S. P. Muley, D. P. Kothari y B. S. Umre, "Comparison of full bridge bipolar, H5, H6 and HERIC inverter for single phase photovoltaic systems - a review", *Annual IEEE India Conference (INDICON)*, New Delhi, 2015, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443837>
- [23] W. Li, Y. Gu, H. Luo, W. Cui, X. He, Ch. Xia, "Topology Review and Derivation Methodology of Single-Phase Transformerless Photovoltaic Inverters for Leakage Current Suppression", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 7, 2015, pp. 4537-4551. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2399278>