

## MICRO-INVERSORES: PRINCIPALES TOPOLOGÍAS

Cossoli, Pedro - pcossoli@ger-unne.com.ar

Firman, Andrés - afirman@ger-unne.com.ar

Cáceres, Manuel - mcaceres@ger-unne.com.ar

Busso, Arturo - ajbusso@ger-unne.com.ar

Grupo en Energías Renovables - Universidad Nacional del Nordeste

**Resumen.** Este trabajo presenta una revisión bibliográfica de las diversas topologías utilizadas en Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red. Haciendo foco en el diseño de micro-inversores, en primer lugar se propone una clasificación de los mismo en tres grupos: micro-inversor con vínculo de corriente continua, micro-inversor con pseudo vínculo de corriente continua y micro-inversor sin vínculo de corriente continua. Como parte del reporte, se expondrán las configuraciones circuitales que adoptan las etapas de potencia de las diferentes topologías así como también sus principales características.

**Palabras clave:** Sistemas fotovoltaicos conectado a red, Micro-inversores, Acoplamiento arquitectónico.

### 1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables, como la energía solar, se presenta como una alternativa conveniente frente a la utilización de recursos fósiles en sistemas convencionales de generación. En la actualidad, la tecnología para aprovechar la energía solar por medio de conversión fotovoltaica presenta un grado de desarrollo elevado, lo cual ha permitido que en muchos países sus costos sean comparables con los de las tecnologías convencionales. (Sher y Addoweesh, 2012).

La utilización de módulos fotovoltaicos (FV) para conversión de energía solar en energía eléctrica se encuentra muy difundida a nivel mundial y es objeto de estudio desde hace décadas. Un módulo FV genera energía en corriente continua (c.c) la cual puede utilizarse directamente por cargas en c.c o puede ser transformada para alimentar cargas en corriente alterna (c.a). Un conjunto de módulos FV eléctricamente interconectados (generador FV) junto con los equipos adicionales de conversión e interconexión constituyen un sistema FV, los cuales se dividen en dos topologías principales: Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA) y Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red eléctrica (SFCR). Los SFA precisan de un medio de almacenamiento de energía, como bancos de baterías, para su posterior utilización. Por otro lado, los SFCR precinden de tales sistemas de almacenamiento dado que toda la energía que generan los módulos FV es inyectada a la red eléctrica a la cual se conectan. Así, en los SFCR el costo tanto de mantenimiento como de equipos adicionales es menor, elevando la confiabilidad del sistema (Ikkurti y Saha, 2015).

La capacidad de los SFCR de inyectar energía en cualquier punto de la red los constituye como sistemas de generación distribuida (GD). Se observan dos escenarios de GD, por un lado en plantas de generación FV, con grandes áreas cubiertas de módulos, y por otro lado, sistemas de generación de pequeñas potencias, los cuales pueden estar instalados en entornos urbanos, e incluso, acoplados arquitectónicamente a estructuras o edificios ya existentes (Cossoli et al., 2014).

Independientemente de la potencia del SFCR todos poseen un componente en común: un convertidor c.c-c.a o también denominado inversor, el cual se encarga de la transferencia de energía entre el generador y la red eléctrica. En el mercado actual existen diversidad de inversores, de diferentes potencias y topologías, pero todos ellos cumplen dos funciones principales. En primer lugar deben convertir la tensión c.c. generada por los módulos en c.a. compatible con la red eléctrica para ser inyectada. En segundo lugar, debido a que la potencia entregada por el generador FV depende de factores como temperatura de célula FV y radiación solar, dichos inversores deben ser capaces de polarizar los generadores en su punto de máxima potencia. Para ello, implementan algoritmos de seguimiento de punto de máxima potencia (*Maximum Power Point Tracking, MPPT*) (Ikkurti y Saha, 2015).

El objetivo principal de este trabajo es introducir al estudio de inversores a modo de revisión de la bibliografía existente, en particular de micro-inversores para conexión a red. Para lo cual, en primer lugar se presentará una clasificación general de los SFCR, con sus diferentes topologías, beneficios y puntos en contra. Seguidamente, se presentará una revisión de las principales topologías reportadas para la etapa de potencia de los micro-inversores en particular, presentando sus principales características.

Se concluye el trabajo resumiendo las topologías presentadas y realizando una comparación entre ellas, de manera que el diseñador tenga un punto de partida a la hora de seleccionar la topología más adecuada.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LOS SFCR

La interconexión de módulos FV, ya sea en serie o paralelo o combinación de ambos, permite obtener SFCR de la potencia deseada. Debido a esto podemos realizar una clasificación de los mismos basándonos en la disposición del generador y el o los inversores presentes.

### *Inversor centralizado (Centralized Inverters)*

Esta configuración se muestra en la Fig. 1a. La misma presenta un único inversor que realiza la interfase entre los módulos FV y la red eléctrica. Este generador FV se configura convenientemente para obtener niveles de tensión y potencia adecuados para la entrada del inversor. En esta configuración se presentan algunos inconvenientes; por un lado, transportar grandes corrientes en c.c. implica que, para disminuir las pérdidas, se debe aumentar la sección de los cables lo que produce un aumento de costo y complica la instalación. Luego, debido a las características eléctricas disímiles de los módulos FV interconectados, pueden presentarse efectos de pérdidas por desadaptación eléctrica (*mismatch losses*). Esto provoca una disminución en la potencia de entrada al inversor y dificulta el seguimiento del punto de máxima potencia, por lo cual la eficiencia del sistema se ve afectada.

### *Inversor de cadena (String Inverters)*

La interconexión de módulos FV en serie se denomina Cadena FV o *String* (del término en inglés). Un generador FV puede estar compuesto por varias cadenas. Cuando cada una de las cadenas es conectada a la red mediante un inversor individual, se está en presencia de una configuración de tipo “inversor de cadena” o “*String Inverters*”. Esta configuración se muestra en la Fig. 1b. Como se puede apreciar, esta configuración resulta ser una versión reducida de la configuración anterior. El uso de varios inversores en lugar de uno solo permite mejorar la eficiencia del sistema, ya que se cuenta con un sistema de MPPT para cada cadena, haciendo posible polarizar cada una de ellas en su punto óptimo, reduciendo las pérdidas por desadaptación eléctrica. Aún con esta mejora es posible que el espacio requerido para el equipamiento adicional y su cableado en c.c. conduzcan a un incremento en el costo del sistema.

### *Configuración de cadenas múltiples (Multi-String Inverters)*

En la Fig. 1c se muestra una versión desglosada de la configuración de un inversor de cadena. En este caso se utiliza, un convertidor c.c.-c.c para cada cadena, esto presenta la ventaja de reducir los niveles de tensión requeridos en bornes del arreglo FV (menor riesgo eléctrico) y conducir hacia el inversor de conexión a red tensiones mayores, por ende corrientes menores, disminuyendo la sección de conductor necesaria. Finalmente, cada convertidor se conecta a la red mediante un único inversor. Nuevamente, se obtiene una mayor eficiencia como en el caso de inversor de cadena, debido a que cada convertidor c.c.-c.c implementa su propio MPPT.

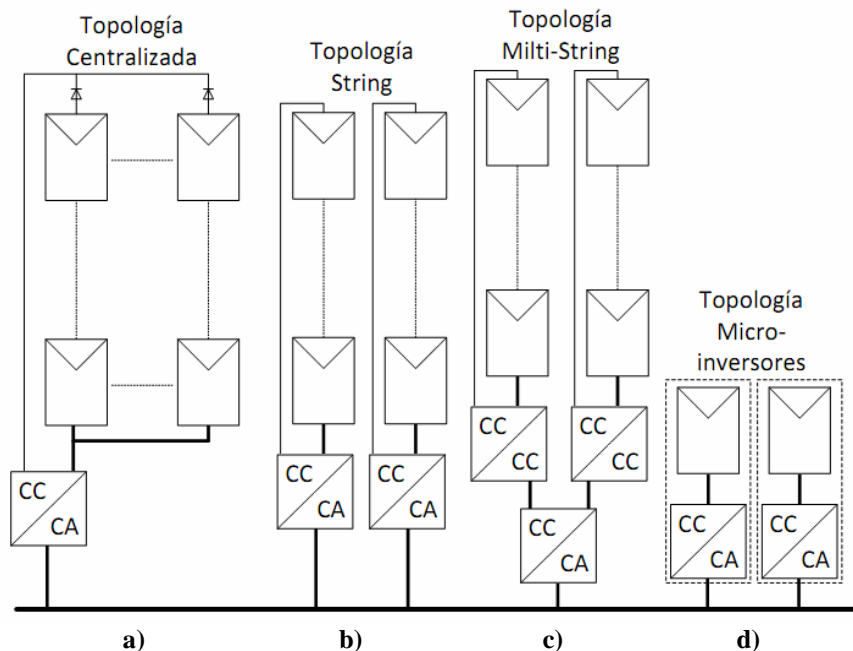


Figura 1 - a) Configuración con inversor centralizado. b) Configuración con inversor de cadena. c) Configuración con inversor por cada cadena. d) Configuración con micro-inversor

### *Micro-inversores*

En la Fig. 1d se muestra la configuración que adoptan los micro-inversores (MI). En este caso cada módulo FV cuenta con su propio inversor para conexión a red (instalado dentro de la caja de conexiones). Esto da como resultado que en la literatura se refieran a esta configuración como “módulos-CA”. En la actualidad dicha configuración tiene

gran aplicación en casos donde es necesario implementar SFRCR en entornos urbanos, aprovechando estructuras o edificios existentes. En cuanto a la potencia, los MI trabajan en un rango que va desde los 100 W a 500 W, debido principalmente a la potencia máxima de los módulos comerciales (Sunmodule, 2015).

Entre las ventajas se destaca principalmente su fácil interconexión. Debido a que cada inversor implementa su propio MPPT, la eficiencia del sistema mejora y se evitan las pérdidas debido la desadaptación eléctrica. Por otro lado, favorece el acoplamiento arquitectónico y facilita la ampliación del sistema de ser necesario. Como desventaja se puede mencionar que los MI resultan en sistemas más costosos que en las configuraciones anteriores, pero, el costo de instalación es menor, ya que no se requiere sistemas de protección de c.c. de potencias elevadas (como en los otros casos) ni personal especializado para su instalación (Ikkurti y Saha, 2015; Kjaer et al., 2005).

### 3. ETAPAS DE CONVERSIÓN DE POTENCIA PARA MICRO-INVERSORES

Uno de los principales desafíos en el diseño de MI es lograr la tensión de red a la salida (220 VCA para países como Argentina) a partir de la tensión de entrada del módulo FV, la cual se encuentra alrededor de los 21 a 36 VCC para módulos FV comerciales.

Fang et al. (2012) y Petreuş et al. (2013) reportan un MI de una única etapa de potencia (*single-stage*), en la cual se realizan todas las tareas: elevación de tensión, MPPT, ondulación y control de corriente inyectada, como se muestra en la Fig. 2a.

Otra opción resulta de generar c.a. de baja tensión y elevarla mediante el uso de un transformador convencional de baja frecuencia. Esta solución no es la más recomendada, debido principalmente al volumen de los transformadores y a sus pérdidas en las inductancias de dispersión (Ikkurti y Saha, 2015). Por otro lado, es posible utilizar un convertidor elevador tipo “*Boost*” para obtener la tensión necesaria, esta opción se indica en la Fig. 2b y es común referirse a ella como configuración de múltiples etapas (*multi-stage*). (Liu et al., 2008).

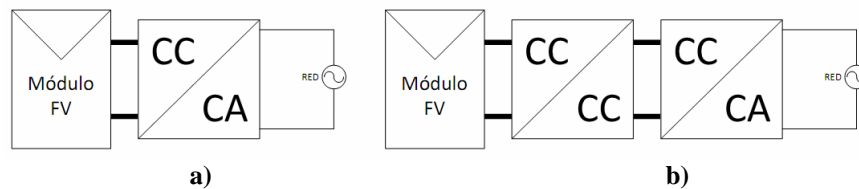


Figura 2 - a) MI de etapa única (*single-stage*). b) MI de etapas múltiples (*multi-stage*)

### 4. TOPOLOGÍAS PARA MICRO-INVERSORES

A continuación se realiza una revisión de las principales topologías reportadas para las etapas de potencia de los MI, repasando sus principales características. Estas topologías estarán agrupadas en tres categorías: MI con vínculo de corriente continua (*DC-link*), MI con pseudo vínculo de corriente continua (*pseudo DC-link*) y MI sin vínculo de corriente continua (*DC-link less*).

#### *Micro-inversor con vínculo de c.c. (DC-link)*

De manera general en un MI con vínculo de c.c., la potencia instantánea en c.a. inyectada por el inversor hacia la red es igual a la potencia media en c.c. proporcionada por el módulo FV. Esto hace necesario algún dispositivo de almacenamiento de energía, que permita un desacople de potencia entre el módulo y la red y que la libere cuando sea requerida. Como se muestra en la Fig. 3, un capacitor lleva a cabo dicha tarea. La principal desventaja de este tipo de desacople es su poca durabilidad y las alteraciones que se producen en su valor nominal como consecuencia de la temperatura de trabajo. Por otro lado, poseen un gran volumen debido a la elevada tensión a la cual se encuentra sometido el capacitor de desacople (Ikkurti y Saha, 2015; Choi y Lai, 2010).

El resto de las etapas de la Fig. 3, indican una etapa c.c.-c.c. en la que se implementa el MPPT y que eleva la tensión del módulo FV a un nivel cercano al valor pico de la tensión de red. Luego, la última etapa convierte dicha tensión de c.c. en c.a. a la frecuencia de red. Esto se realiza mediante algún tipo de modulación, como por ejemplo: modulación senoidal por ancho de pulso (*Sinusoidal Pulse Width Modulation, SPWM*). La topología de cada una de las etapas varía dependiendo de las características que se desean obtener, como ser simplicidad en el control de corriente, contenido armónico de las señales generadas, entre otras.

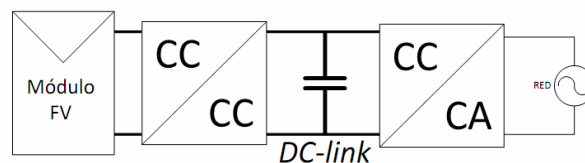


Figura 3 - Topología para un MI con vínculo de c.c.

En la Fig. 4 se muestra un MI reportado por Andersen y Alvsten (1995). Si bien no indica la implementación de la etapa c.c-c.c, la mejora se encuentra en la etapa inversora. La misma implementa una técnica de conmutación denominada “transición resonante en cero de tensión” o “*zero-voltage resonant transition*” (ZVRT) del inglés. La misma permite reducir el contenido armónico de la tensión de salida y las dimensiones del filtro de salida. La principal característica de esta técnica de conmutación es que descarga las capacidades internas de los transistores en el momento más adecuado (cero de tensión), de manera de reducir las pérdidas por conmutación. Con esta topología y técnica de conmutación se reportó una eficiencia del orden del 96%.

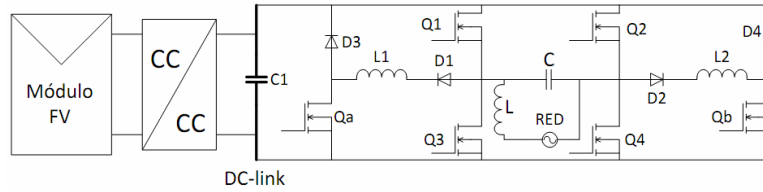


Figura 4 - MI reportado por Andersen y Alvsten (1995)

Otra topología de MI con vínculo de c.c, se muestra en la Fig. 5, en ésta el convertidor c.c-c.c. esta basado en un elevador de tensión tipo *boost* denominado “ZETA”. El punto clave aquí es que, dada la secuencia de conmutación del convertidor, la energía almacenada en las inductancias de dispersión de N1 y N2 es aprovechada, mejorando así la eficiencia. Esta topología fue descrita por Chen et al., (2013). Para un MI de alrededor de 200 W conmutando a frecuencias del orden de 50 kHz se reportó una eficiencia cercanas al 95%.

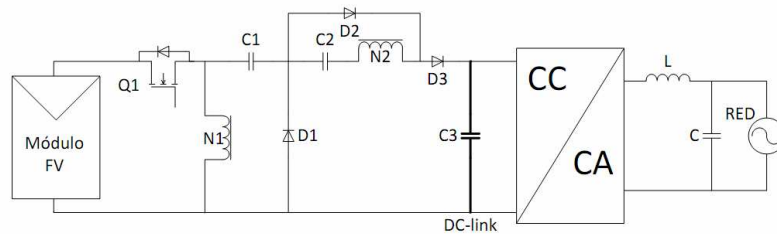


Figura. 5 - MI reportado por Chen et al., (2013)

También se encuentran configuraciones con vínculo de c.c. con transformador de alta mayores frecuencias como se muestra en la Fig. 6. Esta topología es reportada por Mekhilef et al., (2000) y consiste en un convertidor tipo *flyback* en modo de conducción continua con transformador elevador de tensión. Luego, una etapa inversora en puente completo (*Full-bridge*) con una modulación tipo SPWM. Una de las desventajas de esta topología es que emplea una técnica de conmutación denominada “dura”, a diferencia de los casos anteriores, su implementación es más simple, pero las pérdidas por conmutación en los dispositivos semiconductores son mayores.

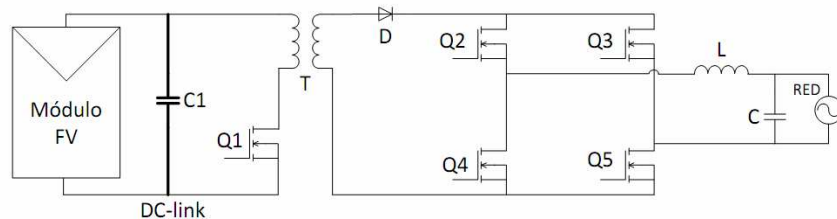


Figura 6 - Topología reportada por Mekhilef et al., (2000)

En resumen, los MI con vínculo de c.c. poseen por lo general dos etapas. La etapa c.c-c.c. se encarga de amplificar la tensión y polarizar al módulo FV en su punto de máxima potencia. Mientras que la etapa c.c-c.a produce la corriente senoidal a la frecuencia de red con una fase adecuada para obtener un factor de potencia unitario. Sin embargo, este tipo de técnica presenta dos inconvenientes principales:

- 1- El convertidor c.c-c.a requiere un control particular para satisfacer los requerimientos de contenido armónico en la corriente inyectada.
- 2- Por otro lado, si solo se utiliza una conmutación PWM simple (conmutación dura), las pérdidas en los semiconductores tienden a aumentar a medida que aumenta la frecuencia.

Para solucionar estos inconvenientes pueden utilizarse técnicas de conmutación especiales, aunque no siempre son simples de implementar y pueden conducir a un aumento en la cantidad de componentes necesarios, tamaño y costo. Por otro lado, debido a la alta tensión que el capacitor de desacople debe soportar, su volumen es mayor, lo cual dificulta lograr altas densidades de potencia.

*MI con pseudo vínculo de corriente continua (Pseudo DC-link)*

Los MI que emplean topología con pseudo vínculo de corriente continua tienen al menos dos etapas de potencia, la primera produce una señal senoidal rectificada de alta frecuencia, cuya envolvente es del doble de la frecuencia de red. En la segunda etapa se produce un desdoblamiento de la señal y se genera una señal de corriente senoidal, que luego es inyectada a la red (Li y Wolfs, 2006). En la Fig. 7 se presenta esquemáticamente esta topología. Li y Wolfs (2008) presentan varios diseños circuitales con esta topología, donde la mayoría de ellos utilizan transformador con lo cual ofrecen también aislamiento galvánico.

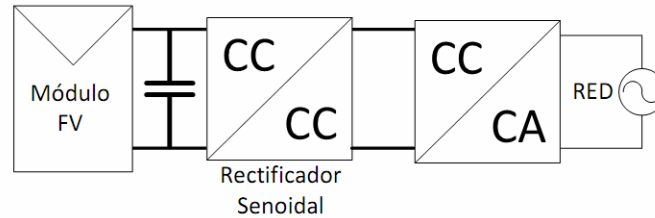


Figura 7 - Topología para un MI con pseudo vínculo de corriente continua.

La topología mostrada en la Fig. 8 consiste en un convertidor tipo *flyback* que eleva la tensión del módulo FV mediante un transformador de alta frecuencia. Una modulación PWM es utilizada para producir una señal senoidal rectificada. Luego, la siguiente etapa desdobra la corriente y se obtiene una corriente senoidal a la frecuencia de red. Como ventaja podemos mencionar una baja cantidad de componentes comparado con otras topologías, simplicidad en el circuito e incorporando aislamiento galvánico. Por otro lado, la falta de conmutación suave aumenta las pérdidas durante la conmutación y reduce la eficiencia del sistema. Kasa et al., (2005) ha reportado que la presencia del segundo armónico en la corriente de entrada del inversor dificulta la implementación del MPPT. Con topologías de este tipo se pueden alcanzar eficiencias del 96% para valores de potencia en el rango de los 200 W.

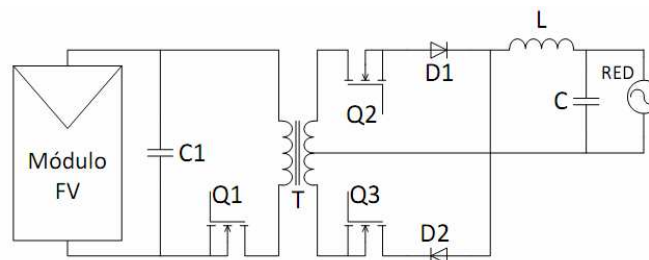


Figura 8 - Topología reportada por Kasa et al., (2005)

Por último, en la Fig. 9 se presenta una configuración que reduce la ondulación en la corriente de entrada. Esto se logra mediante dos convertidores tipo *flyback* en paralelo, técnica conocida como “*interleaving*”. Empleando esta técnica es posible reducir el valor de las inductancias necesarias, dado que la frecuencia efectiva de conmutación resulta ser del doble de la frecuencia de accionamiento de cada llave. Con esta configuración se reportó una eficiencia del orden del 94% (Mohammad, 2011).

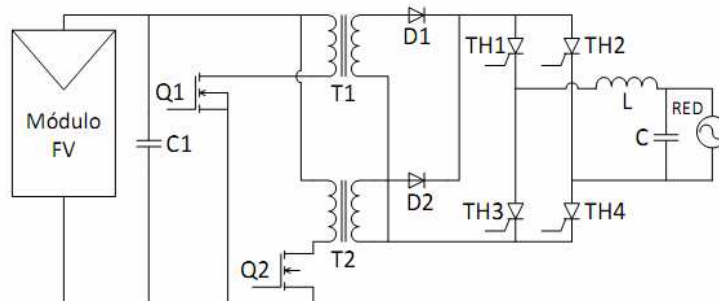


Figura 9 - Topología reportada por Mohammad (2011)

A primera vista, las topologías con pseudo vínculo de corriente continua evitan el problema de utilizar capacitores electrolíticos de gran tamaño. Sin embargo, presentan problemas en cuanto al contenido armónico de las señales que producen. Aunque esto puede mejorarse con técnicas especiales de conmutación de los semiconductores, lo que eleva la complejidad del diseño y la implementación.

*MI sin vínculo de corriente continua (DC-link less)*

En esta topología también se tienen al menos dos etapas de conversión de potencia. En la primera de ellas la tensión c.c. de entrada es transformada a una tensión senoidal de alta frecuencia y elevada mediante un transformador también de alta frecuencia. Luego, la segunda etapa consiste en un cicloconvertidor que genera la tensión alterna a la frecuencia de red a partir de tensión de entrada (Edwin et al., 2012). En la Fig. 10 se muestra un esquema general de esta topología. De esta manera se consigue disminuir el peso y el volumen debido a las frecuencias mayores de trabajo.

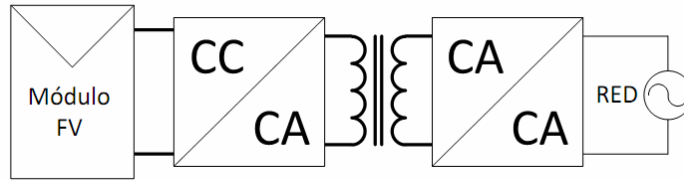


Figura 10 - Topología para un MI sin vínculo de corriente continua

En la Fig. 11, se presenta otro tipo de MI sin vínculo de corriente continua, la primera etapa es un inversor de tensión que produce la tensión de c.a. de alta frecuencia. La segunda etapa es un arreglo LC que convierte la fuente de tensión en una fuente de corriente (Circuito de immitancia). Y la tercera etapa es el cicloconvertidor que produce la corriente senoidal a la frecuencia de red (Li y Wolfs, 2006)

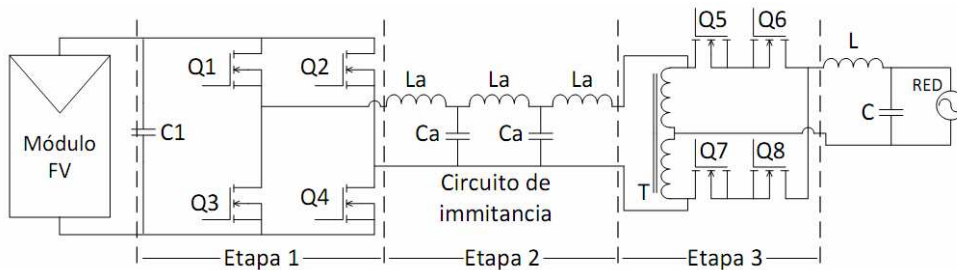


Figura 11 - Topología reportada por Li y Wolfs, 2006

Otra topología propuesta se muestra en la Fig. 12, donde la primera etapa es un convertidor tipo *push-pull* conmutando a 40 kHz y mediante un transformador adecuado se eleva la tensión al nivel deseado. La etapa de salida está implementada mediante un cicloconvertidor de conmutación forzada (Edwin et al., 2012)

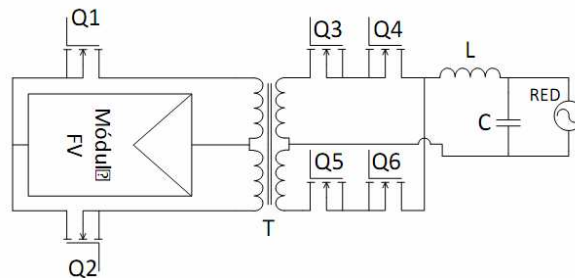


Figura 12: Topología reportada por Edwin et al., 2012

En resumen, las topologías sin vínculo de corriente continua, pueden prescindir de capacitores voluminosos, pero precisan de técnicas de control más sofisticadas dadas las formas de onda de las señales en cada etapa. También, debido a eso, ya no es posible conseguir etapas totalmente independientes, lo cual complica nuevamente el diseño del MI.

Tabla 1 – Comparación de MI con diferentes topologías: DC-link, pseudo DC-link y DC-link less

Topología	DC-link			Pseudo DC-link		DC-link less	
	Fig. 4	Fig. 5	Fig. 6	Fig. 8	Fig. 9	Fig. 11	Fig. 12
Potencia máxima recomendada	200 W	250 W	≈75 W	200 W	195 W	30 W	300 W
Número de llaves activas	>6	5	5	3	6	8	6
Número de diodos	>4	3	1	2	2	0	0
Número de arrollamientos de cobre	>3	3	3	3	5	7	5
Número de núcleos magnéticos	>1	1	1	1	2	1	1
¿Conmutación suave?	Si	No	No	No	No	No	No
Frecuencia de conmutación	25 kHz	50 kHz	25 kHz	32 kHz	173 kHz	20 kHz	40 kHz

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una revisión bibliográfica sobre la clasificación de SFCR en base a la disposición de los módulos FV y sus inversores.

Por otro lado, también se introdujo al estudio de las diferentes topologías existentes para la implementación de MI. En la Tab. 1 se presenta de forma sintetizada las principales características de las topologías descritas en este trabajo. Donde, la primer comparación que se puede realizar es teniendo en cuenta el número total de semiconductores requeridos en cada topología y las eficiencias obtenidas. En primer lugar podemos observar que, a pesar de la topología, el número de llaves activas utilizadas varía significativamente de una topología a otra, al igual que la cantidad de diodos empleados. Por otro lado, vemos que las topologías de tipo *DC-Link less* emplean mayor cantidad de arrollamientos de cobre, es decir inductores o transformadores, lo cual implica una mayor complejidad en el diseño. En cuanto a la frecuencia de conmutación la mayoría trabaja en el rango de 20-50 kHz. Por último, de todas las topologías descritas solo la primera (Fig. 4) emplea conmutación suave y es una de las que reporta mayor eficiencia. Cabe señalar entonces que el uso de técnicas especiales de conmutación ayuda a disminuir las pérdidas y obtener eficiencias mayores.

Por último, este trabajo sirve como referencia para ayudar al diseñador a rever y a optar por la topología que más se adecue, como paso previo para el desarrollo de un MI.

## REFERENCIAS

- Andersen, M., & Alvsten, B. (1995, November). 200 W low cost module integrated utility interface for modular photovoltaic energy systems. In *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1995., Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on* (Vol. 1, pp. 572-577). IEEE.
- Chen, S. M., Liang, T. J., Yang, L. S., & Chen, J. F. (2013). A boost converter with capacitor multiplier and coupled inductor for AC module applications. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 60(4), 1503-1511.
- Chiu, H. J., Lo, Y. K., Chuang, C. C., Yang, C. Y., Cheng, S. J., (2014). A module - integrated isolated solar micro - inverter without electrolytic capacitors. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 42(6), 572-583.
- Choi, W. Y., & Lai, J. S. J. (2010). High-efficiency grid-connected photovoltaic module integrated converter system with high-speed communication interfaces for small-scale distribution power generation. *Solar energy*, 84(4), 636-649.
- Cossoli, P., Ibarra, A., Poletto, G., Blanco, M., Cáceres, M. (2014). Primeros resultados de operación de una pérgola solar fotovoltaica instalada en el acceso al edificio del Departamento de Ingeniería de la Facena-UNNE. *Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías y Medio Ambiente. Vol 2*, pp 04.111-04.118, 2014. ISBN 978-987-29873-0-5
- Edwin, F., Xiao, W., & Khadkikar, V. (2012, October). Topology review of single phase grid-connected module integrated converters for PV applications. In *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 821-827). IEEE.
- Esrar, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion EC*, 22(2), 439.
- Fang, Y., Ma, X., & Xing, Y. (2012, July). Study on PV micro-inverter with coupled inductors and double boost topology. In *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2012 7th IEEE Conference on* (pp. 2054-2058). IEEE.
- Ikkurti, H. P., & Saha, S. (2015). A comprehensive techno-economic review of microinverters for Building Integrated Photovoltaics (BIPV). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 997-1006.
- Kasa, N., Iida, T., & Chen, L. (2005). Flyback inverter controlled by sensorless current MPPT for photovoltaic power system. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 52(4), 1145-1152.
- Kjaer, S. B., Pedersen, J. K., & Blaabjerg, F. (2005). A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 41(5), 1292-1306.
- Koizumi, H., & Kurokawa, K. (2005, November). A novel maximum power point tracking method for PV module integrated converter using square root functions. In *Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE* (pp. 6-pp). IEEE.
- Li, Q., & Wolfs, P. (2008). A review of the single phase photovoltaic module integrated converter topologies with three different DC link configurations. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 23(3), 1320-1333.
- Li, Q., & Wolfs, P. (2006, June). Recent development in the topologies for photovoltaic module integrated converters. In *Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC'06. 37th IEEE* (pp. 1-8). IEEE.
- Liu, B., Liang, C., & Duan, S. (2008, June). Design considerations and topology selection for dc-module-based building integrated photovoltaic system. In *Industrial Electronics and Applications, 2008. ICIEA 2008. 3rd IEEE Conference on* (pp. 1066-1070). IEEE.
- Mahmoud, A. M. A., Mashaly, H. M., Kandil, S. A., El Khashab, H., & Nashed, M. N. F. (2000). Fuzzy logic implementation for photovoltaic maximum power tracking. In *Industrial Electronics Society, 2000. IECON 2000. 26th Annual Conference of the IEEE* (Vol. 1, pp. 735-740). IEEE.



- Mekhilef, S., Rahim, N. A., & Omar, A. M. (2000). A new solar energy conversion scheme implemented using grid-tied single phase inverter. In TENCON 2000. Proceedings (Vol. 3, pp. 524-527). IEEE.
- Mohammad Kamil - Microchip, AN1338, Grid-Connected Solar Microinverter Reference Design, 2011.
- Petreuş, D., Daraban, S., Ciocan, I., Patarau, T., Morel, C., & Machmoum, M. (2013). Low cost single stage micro-inverter with MPPT for grid connected applications. *Solar Energy*, 92, 241-255.
- Sher, H. A., & Addoweesh, K. E. (2012). Micro-inverters—Promising solutions in solar photovoltaics. *Energy for Sustainable Development*, 16(4), 389-400.
- Sunmodule (2015). Ficha técnica: Sunmodule Pro-Series 250W poly. Disponible en: [http://www.solarworld-usa.com/products-and-services/sunmodule-solar-panels#Sunmodule\\_Poly\\_&\\_Off-grid](http://www.solarworld-usa.com/products-and-services/sunmodule-solar-panels#Sunmodule_Poly_&_Off-grid)

## MICRO-INVERTERS: MAIN TOPOLOGIES

**Abstract.** *This paper presents a literature review of the different topologies used in grid-tie photovoltaic systems. Focusing on the design of micro-inverters, the first proposed classification divided the same in three groups: micro-inverter with DC link, micro-inverter with pseudo DC link and micro-inverter without DC link. As part of the report, the circuit configurations of the power stage of different topologies is presented. Additionally, its main features is also presented.*

**Key words:** *Grid-tie photovoltaic systems, micro-inverters, architectural coupling.*