

# **Inversor para Sistema Fotovoltaico basado en la topología CHB con bus de CD aislado**

Proyecto de Tesis de Maestría

Posgrado en Ingeniería Electrónica

Asesores: Dr. Andrés A. Valdez Fernández / Dr. Pánfilo R. Martínez Rodríguez

## **Motivación y antecedentes**

Actualmente los convertidores multinivel son considerados como una opción eficiente y económicamente viable en aplicaciones para fuentes renovables de energía. Características tales como su desempeño, salida en tensión cuasi sinusoidal y alta eficiencia los hacen ideales en este tipo de aplicaciones. Los convertidores multinivel se construyen usando arreglos de semiconductores de potencia y elementos pasivos como son inductores y condensadores. Estos últimos permiten almacenar la energía para después cederla a la salida del convertidor actuando como fuentes de voltaje. Lo anterior permite sintetizar voltajes sinusoidales a través de varios niveles de escalones de voltaje, esto es, ofrecen la característica de sintetizar un voltaje a la salida cuasi sinusoidal utilizando la combinación de n-niveles de voltajes menores; es así que se pueden producir voltajes elevados sin forzar los dispositivos semiconductores.

Los convertidores multinivel en configuraciones en cascada o en paralelo han tomado alta relevancia en aplicaciones industriales para la generación de energía eléctrica utilizando fuentes renovables de energía [5]-[7]. Además de ser ampliamente utilizadas en aplicaciones de filtrado activo. En particular el convertidor de puentes H en cascada se ha convertido en una opción eficiente para diversas aplicaciones. Esta topología se basa en la conexión en cascada de Puentes-H monofásicos. Dado que estos módulos se pueden fabricar con las mismas especificaciones, es posible abaratar los costos de producción. En caso de falla en algún módulo, éste es simplemente sustituido por uno nuevo, facilitando así su mantenimiento. Algunas aplicaciones de este convertidor es como filtro activo para compensación de potencia reactiva con resultados satisfactorios [8]. Sus principales ventajas son el incremento de la frecuencia real de conmutación a la salida del convertidor y que tiene una estructura modular con fuentes de bajo voltaje aisladas [9], a diferencia de otros convertidores donde se requiere mayor voltaje de DC para producir la misma señal de corriente alterna (CA) y la frecuencia a la salida del convertidor es la frecuencia de conmutación de los dispositivos semiconductores. Además, debido al bajo costo y confiabilidad, la topología de convertidor CHB ha cobrado gran interés en aplicaciones recientes como inversores fotovoltaicos [10] o bien en cargas críticas en donde ser diagnóstico de fallas en los actuadores de potencia operando el sistema en lazo cerrado, en especial si se utiliza un filtro LCL para atenuar la frecuencia asociada a la conmutación a la salida del convertidor multinivel [11].

## **Objetivo**

La presente propuesta de tesis tiene como objetivo general estudiar, diseñar e implementar un controlador para un Inversor Fotovoltaico Monofásico basado en una Topología Multinivel de Puentes-H en Cascada (CHB) con bus de corriente directa (CD) aislado y filtro inductor-capacitor-inductor (LCL).

## **Propuesta y actividades**

En la presente propuesta de tesis se estudia un Inversor Fotovoltaico Monofásico basado en una Topología Multinivel de Puentes-H en Cascada (CHB) con bus de corriente directa (CD) aislado y filtro inductor-capacitor-inductor (LCL), Recientemente en [12] se ha aplicado con éxito la topología CHB para la inyección de potencia a la red eléctrica utilizando paneles FV, el diagrama a bloques de dicha aplicación se muestra en la Figura 1. Esta configuración consta de una cadena de paneles solares, una etapa de elevación del voltaje a través de un convertidor CD-CD con aislamiento de alta frecuencia, un convertidor CHB conectado a la red eléctrica por medio de un filtro LCL [12]. El desarrollo de estas etapas es la propuesta de la presente tesis y son descritas en detalle a continuación. Primero, el convertidor multinivel está basado en una topología CHB de siete niveles (CHB-7), esta topología es construida por tres puentes-H en cascada y ya

ha sido estudiada en el grupo de trabajo [13], [14] a través del desarrollo de algunas tesis, su función es generar un voltaje escalonado de siete niveles. El convertidor multinivel CHB-7 es conectado a la red eléctrica por medio de un filtro LCL para eliminar la frecuencia de conmutación. En este trabajo de tesis, el convertidor CHB-7 es controlado por una estructura proporcional-resonante (PR) y el objetivo es inyectar una corriente en fase con el voltaje de línea [14]. El convertidor CHB-7 tiene la característica que el voltaje de entrada de cada puente-H debe ser alimentado por una fuente de voltaje aislada, para cumplir este objetivo se sugiere que la etapa de aislamiento de alta frecuencia de la Fig. 1 incluya un convertidor DC-DC flyback para cada puente-H controlado por una estructura proporcional-integrador (PI) sobre el error de voltaje de salida, parte medular del presente trabajo de tesis. Finalmente la etapa de aislamiento de alta frecuencia debe incluir además un convertidor DC-DC para hacer seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), el cual no es necesario para el presente trabajo de tesis ya que en el laboratorio se cuenta con un emulador de paneles solares y se puede generar un voltaje de DC fijo a la entrada de los convertidores flyback. Para este trabajo de tesis se pretende implementar el convertidor físicamente tal que se cuente con resultados experimentales del sistema completo trabajando en lazo cerrado. Cabe mencionar que actualmente se cuenta con el material necesario para la implementación del sistema, además, en el Laboratorio de Instrumentación y Control de la Facultad de Ciencias se cuenta con el equipo suficiente para diseñar e implementar el esquema completo. Cabe mencionar además que el presente trabajo de tesis está basado en al menos tres tesis de maestría asesoradas por nosotros y ya se cuenta con prototipos previos implementados, por lo que no se parte de cero en el estudio de esta tesis.

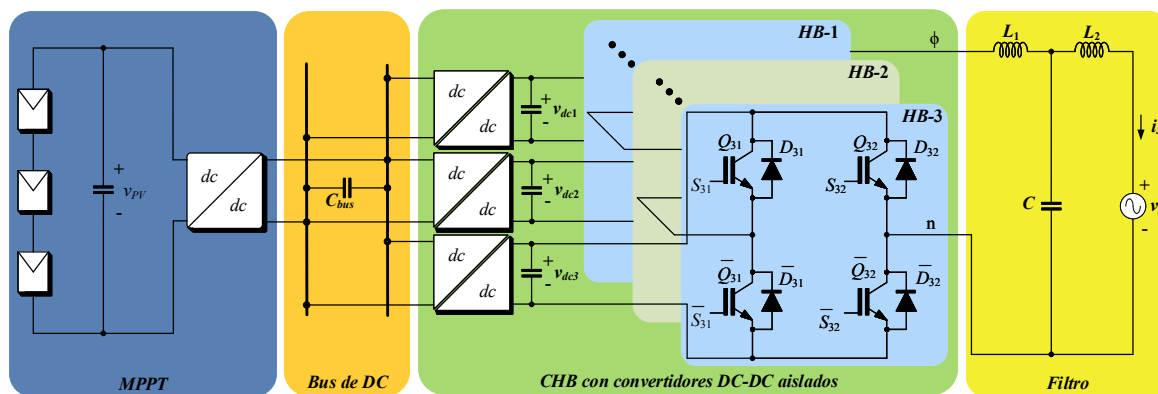


Figura 1. Inversor Fotovoltaico basado en el convertidor CHB-7 y aislamiento de alta frecuencia.

## Materias por cursar

En el semestre Agosto-Diciembre/2022 se deben cursar 2 de las siguientes 3 materias:

1. Detección y estimación.
2. Sistemas Electrónicos Embebidos
3. Automatización de procesos

Las actividades a desarrollar por el estudiante son las siguientes:

Actividades \ Periodo	Junio 2022	Julio 2022	Agosto 2022	Sep. 2022	Oct. 2022	Nov. 2022	Dic. 2022	Enero 2023	Feb. 2023	Marzo 2023	Abril 2023	Mayo 2023	Junio 2023	Julio 2023	Agosto 2023
Revisión bibliográfica															
Estudio del concepto general de convertidores multinivel y convertidor CHB con filtro L y LCL															
Estudio de esquemas de modulación para el convertidor CHB															
Simulaciones en PSCAD del convertidor multinivel CHB con filtro LCL en lazo abierto															
Estudio del control del convertidor CHB con filtro L de 5, 7 y n niveles.															
Simulaciones en PSCAD del convertidor multinivel CHB5 y CHB7 y filtro LCL en lazo.															
Diseño, estudio y simulación del convertidor DC-DC flyback.															
Implementación del convertidor DC-DC flyback.															
Pruebas experimentales preliminares del sistema en lazo cerrado incluyendo convertidores CHB-7 y convertidor DC-DC.															
Pruebas experimentales del sistema en lazo cerrado inyectando a la red eléctrica.															
Escritura de documento de tesis															
Presentación del examen previo, correcciones al documento de tesis y examen de grado															

## Bibliografía

[1] P.R. Martinez-Rodriguez, G. Escobar-Valderrama, J.M. Sosa-Zuniga, G. Vazquez-Guzman and J.D. Mendoza-Mendoza, "Analysis and experimental validation of a controller for a single-phase active power filter based on a 3L-NPC topology," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27, no 11, e2385, 2017.

[2] N. Vazquez, H. Barajas, C. Hernandez, H. Lopez and E. Vazquez, "A Modulation Technique for Single-Phase Asymmetric Flying-Capacitor DC/AC Converter," *2012 VI Andean Region International Conference*, Cuenca, 2012, pp. 17-20.

- [3] Kassim O. Mtepele, Daniel U. Campos-Delgado, Andrés A. Valdez-Fernandez, José Angel Pecina Sánchez, "Model-based strategy for open-circuit faults diagnosis in  $n$ -Level CHB multilevel converters," *IET Power Electronics*, vol. 12, issue 4, pp. 648-655, Feb. 2019.
- [4] G. Catzin-Contreras, A.A. Valdez-Fernandez, G. Escobar, M. J. Lopez-Sanchez and, "A model-based controller for a single-phase grid-tied modular multilevel inverter with regulation and balance of energy," *Wiley Int. Trans. on Eletrc. Energy Systems*, Vol., Issue, 11, 2019.
- [5] A.A. Valdez-Fernández, P. Martínez-Rodríguez, G. Escobar, C. Limones-Pozos, and J. Sosa, "A model-based controller for the cascade h-bridge multilevel converter used as a shunt active filter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, pp. 5019–5028, Nov. 2013.
- [6] C. Verdugo, S. Kouro, C.A. Rojas, M.A.Perez, T. Meynard and M. Malinowski, "Five-Level T-type Cascade Converter for Rooftop Grid-Connected Photovoltaic Systems," *Energies*, vol. 12, no.9, e1743, 2019.
- [7] J.F. Martinez-Garcia, P.R. Martinez-Rodriguez, G. Escobar, G. Vazquez-Guzman, J.M Sosa-Zuñiga and A.A. Valdez-Fernandez, "Effects of modulation techniques on leakage ground currents in a grid-tied transformerless HB-NPC inverter," *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, no. 8, pp. 1250-1260, 2019
- [8] C.A. Limones-Pozos, P.R. Martínez-Rodríguez, J.M. Sosa, G. Vázquez and A. Izaguirre-Vera, "Design and analysis of a single-phase transformerless multilevel 7L-TT-HB cascade inverter for renewable energy applications," in *Proc. International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, Ixtapa, Mexico, 2018, pp. 1-6.
- [9] C.D. Townsend, Y. Yu, G. Konstantinou and V.G. Agelidis, "Cascaded H-Bridge Multilevel PV Topology for Alleviation of Per-Phase Power Imbalances and Reduction of Second Harmonic Voltage Ripple," *IEEE Trans. Power Elec.*, vol. 31, no. 8, 5574-5586, Aug. 2016.
- [8] W. Yao, Y. Yang, X. Zhang, F. Blaabjerg and P.C. Loh, "Design and Analysis of Robust Active Damping for LCL Filters using Digital Notch Filters," *IEEE Trans. on Power. Elec.*, Vol. 32, No. 3, 2017, pp. 2360-2375.
- [10] C.D. Fuentes, C. A. Rojas, H. Renaudineau, S. Kouro, M. A. Perez, and T. Meynard, "Experimental Validation of a Single DC Bus Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter for Multistring Photovoltaic Systems," *IEEE Trans. Ind. Elec.*, Vol. 64, No. 2, feb. 2017, pp. 930-934.
- [11] Kassim Omari Mtepele, "A Fault Tolerant Controller for a Cascade Multilevel Converter," Maestría en Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias, UASLP, 19 de octubre de 2015.
- [12] Juan Antonio Rodríguez González, "Control de un Convertidor Multinivel CHB-5 con Filtro LCL," Maestría en Ingeniería electrónica, Facultad de Ciencia, UASLP, 28 de febrero de 2018.
- [13] Andres A. Valdez-Fernandez, Gerardo Escobar, Daniel U. Campos-Delgado, Kassim O. Mtepele and Panfilo R. Martinez-Rodriguez, "A model-based controller for a single-phase  $n$ -level CHB multilevel converter," *Elsevier International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 125, 106454, feb. 2021, pp. 1-9.
- [14] K.O. Mtepele, D.U. Campos-Delgado, A.A. Valdez-Fernandez, "Diagnosis Strategy for a Faulty Leg in the H-Bridge of CHB-nL Converters," in *Proc. Congreso Nacional de Control Automático, AMCA 2018*, Monterrey, San Luis Potosí, SLP, Mexico, 10-12 de oct. 2018, pp. 471-476.