

PROPUESTA DE TESIS

MAESTRÍA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Título tentativo

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

Asesores: Dr. Andrés Alejandro Valdez Fernández.

Dr. Pánfilo Raymundo Martínez Rodríguez.

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).

Motivación y antecedentes

En años recientes, debido al crecimiento del sector industrial y al avance apresurado en la tecnología, los requerimientos de energía eléctrica se han elevado considerablemente, tanto en cantidad como calidad. Por tal motivo se requieren de mejores dispositivos que puedan procesar la energía eléctrica de forma eficiente. De esta manera, los convertidores multinivel surgen como una solución que propone la electrónica de potencia para el manejo de energía eléctrica de mediana y alta potencia. Los convertidores multinivel se construyen usando arreglos de semiconductores de potencia y elementos pasivos como son inductores y condensadores. Estos últimos haciendo la labor de 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 con base en la combinación de muchos niveles de voltajes menores; es así que se pueden producir voltajes elevados manteniendo sin estrés a los dispositivos semiconductores. El término de “multinivel” se aplica a un inversor de tres niveles o más, y fue introducido inicialmente por Nabae et al. [1] bajo el nombre de convertidor de “neutro enclavado”. Este convertidor consiste en dos capacitores en serie cuya derivación central es usada como neutro. Cada rama del convertidor tiene dos pares de dispositivos semiconductores como interruptores en serie cuyo punto central es conectado al neutro a través de diodos de enclavamiento. La forma de onda del voltaje de salida de un convertidor de tres niveles es una onda cuasi-cuadrada. Conforme se incrementa el número de niveles de tensión en el convertidor, los valores de tensión y potencia se pueden incrementar, a su vez, el contenido armónico de la forma de onda de salida es reducido considerablemente. Sin embargo, es claro que un número alto de niveles aumenta la complejidad del algoritmo de control y sobretodo introduce problemas de desequilibrio de voltajes en los capacitores. En general se pueden identificar tres principales topologías básicas para convertidores multinivel a la fecha:

- Convertidor Multinivel de Diodo de enclavamiento o de neutro enclavado (NPC) [1].
- Convertidor Multinivel de Capacitor de enclavamiento o “flotante” (CCI) [2], [3].
- Convertidor Multinivel de puentes-H en cascada (CHB) [4].

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 resultado satisfactorios [5]. 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 [6], 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 [7] 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 [8].

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), esta topología ha sido propuesta recientemente en [9] y es mostrada en el diagrama a bloques de la Figura 1. Esta configuración consta de una cadena de paneles solares, una etapa de aislamiento de alta frecuencia, un convertidor multinivel conectado a la red eléctrica por medio de un filtro LCL (revisar [9] para mayor detalle). El desarrollo de estas etapas son la propuesta de 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 [10], [11] en varias tesis, su función es generar un voltaje escalonado de siete niveles (revisar [10] para mayor detalle). El convertidor multinivel CHB-7 es conectado a la red eléctrica por medio de un filtro LCL para eliminar la frecuencia de conmutación. Para 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 (revisar [11] para mayor detalle). 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. El diseño y la implementación del convertidor flyback es la 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 cuenta 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.

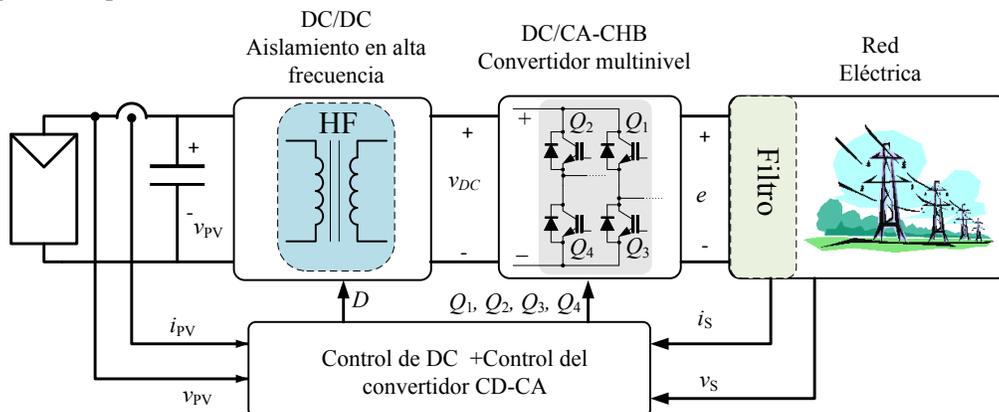


Figura 1. Inversor Fotovoltaico basado en el convertidor CHB-7 y aislamiento de alta frecuencia. Las actividades a desarrollar por el estudiante son las siguientes:

Actividades	Junio 2018	Julio 2018	Agosto 2018	Sep. 2018	Oct. 2018	Nov. 2018	Dic. 2018	Enero 2020	Feb. 2020	Marzo 2020	Abril 2020	Mayo 2020	Junio 2020	Julio 2020	Agosto 2020
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 cerrado y la etapa FDI.															
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															

Materias por Cursar

En el semestre Agosto-Diciembre/2018 se deben cursar 2 de las siguientes 4 materias:

1. Automatización de procesos
2. Detección y estimación.
3. Tópicos selectos en ingeniería electrónica
4. Electrónica de potencia avanzada (Posgrado en Ing. Eléctrica)

Referencias

- [1] A. Nabae, I. Takahashi, and H. Akagi, "A new neutral-point clamped PWM inverter," *IEEE Trans. Ind. Applications*, vol. IA-17, pp. 518-523, Sept./Oct. 1981.
- [2] T. A. Meynard and H. Foch, "Multi-level choppers for high voltage applications", *Eur. Power Electron. Drives J.*, vol. 2, no. 1, p. 41, Mar. 1992.
- [3] C. Hochgraf, R. Lasseter, D. Divan, and T. A. Lipo, "Comparison of multilevel inverters for static var compensation," in *Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting*, Oct. 1994, pp. 921–928.
- [4] P. Hammond, "A new approach to enhance power quality for medium voltage ac drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 202–208, Jan./Feb. 1997.
- [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. Hochgraf, R. Lasseter, D. Divan, and T. A. Lipo, "Comparison of multilevel inverters for static var compensation," pp. 921–928 vol.2, Oct. 1994.
- [7] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.