

Título tentativo: Control Tolerante a Fallas de un Convertidor Multinivel en Cascada con filtro LCL  
Asesores: Dr. Andrés Alejandro Valdez Fernández.  
Dr. Daniel Ulises Campos Delgado.

## **Objetivo**

La presente propuesta de tesis tiene como objetivo general el estudiar, diseñar e implementar un controlador tolerante a fallas para el Convertidor Multinivel monofásico con conexión en Cascada de Puentes-H y filtro LCL trabajando como filtro activo de potencia.

## **Motivación y antecedentes**

En años recientes, debido al incremento del sector industrial y al avance apresurado en la tecnología, se han elevado considerablemente los requerimientos de energía eléctrica tanto en cantidad como en calidad. Por ejemplo, controladores de Corriente Alterna (CA) en el rango de megavatios son usualmente conectados a la red de medio a alto voltaje (KV). Las esperanzas de realizar cualquier intento de compensación ante estas cargas se ven desvanecidas al saber que los dispositivos semiconductores que manejan esos rangos resultan costosos, si es que existen. Aunado a esto, los sistemas electrónicos de potencia de estas capacidades requieren de protecciones elaboradas, una mayor disipación de calor y las velocidades a la que pueden conmutar disminuyen conforme aumenta su capacidad en potencia. Los convertidores multinivel se presentan como una alternativa muy importante en el procesamiento de energía eléctrica de mediana y alta potencia, ya que permiten trabajar con altos voltajes, pero usando dispositivos semiconductores de menor capacidad; sin embargo, debido a que estos dispositivos trabajan con un número mayor de semiconductores de potencia, estos convertidores resultan más complicados de controlar y son más susceptibles de presentar condiciones de falla [1]-[3],[11]-[12].

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. [4] 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:

- (a) Diodo de enclavamiento o de neutro enclavado (NPC) [4].
- (b) Capacitor de enclavamiento o “flotante” (CCI) [1], [5], [6].
- (c) Multiceldas en cascada (Cascaded H-bridge (CHB) Multilevel) [1], [7].

Debido al bajo costo y confiabilidad, la topología de convertidor CHB ha cobrado gran interés en aplicaciones recientes como inversores fotovoltaicos [8] o filtros activos [9]. 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. Además, este tipo de topología es tolerante a fallas, ya que el convertidor puede continuar funcionando, aunque con un menor nivel de tensión, al cortocircuitar una de sus etapas.

En este sentido, existen pocos trabajos en la literatura que realicen diagnóstico de fallas en los actuadores de potencia operando el sistema en lazo cerrado, en especial si se utiliza un filtro inductor-capacitor-inductor (LCL) para atenuar la frecuencia asociada a la conmutación a la salida del convertidor multinivel [10]. Siguiendo este contexto, se distinguen dos tipos de fallas en los interruptores de potencia: fallas de cortocircuito y fallas de circuito abierto (FCA). En el caso de una falla de cortocircuito, la unión de las terminales positiva y negativa del bus de CD dispararían instantáneamente las protecciones del sistema, por lo que la planta detendría su operación, y en el peor de los casos, quedaría inservible. Por otra parte, al ocurrir una FCA, el inversor ya no será capaz de entregar los voltajes y corrientes esperados; no obstante, aunque el desempeño y eficiencia pueden ser ligeramente deteriorados, es posible que el sistema siga operando a través de una estrategia de control tolerante a fallas [11].

### Propuesta y actividades

En la presente propuesta de tesis se estudia un filtro activo paralelo basado en un convertidor multinivel monofásico con conexión cascada de puentes-H con filtro de conmutación LCL, la topología de este convertidor es mostrada en la Figura 1. Las condiciones de falla a estudiar son FCA [12]-[13], analizando el caso particular en el que un sistema de 7 niveles trabaje en 5 niveles bajo condiciones de falla. En este sentido, las FCA conducen a un deterioro en la eficiencia y desempeño del sistema, por lo que este tipo de fallas en el actuador de potencia suelen ser representadas como una reducción en la ganancia del inversor. En consecuencia, se sugiere modelar este tipo de fallas usando una estructura aditiva [12] tomando como base el modelo matemático sin falla. Esto es, se empleará un enfoque basado en modelos para la detección y aislamiento de las fallas (FDI) en los interruptores de potencia del convertidor multinivel CHB. Con este propósito, se propone emplear un banco de observadores PI para la estimación de los estados y perfiles de falla del sistema, lo que permitirá construir posteriormente un generador de residuos para el diagnóstico de las FCA en el convertidor. Para este caso en específico, se considera que la componente en CD del perfil de falla proveerá de la información necesaria para llevar a cabo las tareas de detección y aislamiento en el proceso de diagnóstico, por lo que los observadores propuestos serán los encargados de estimar la componente en CD de los perfiles. Finalmente, se pretenden implementar el convertidor físicamente en lazo cerrado con el controlador propuesto y la etapa FDI propuesta. Posteriormente, es necesario obtener resultados experimentales del sistema completo 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.

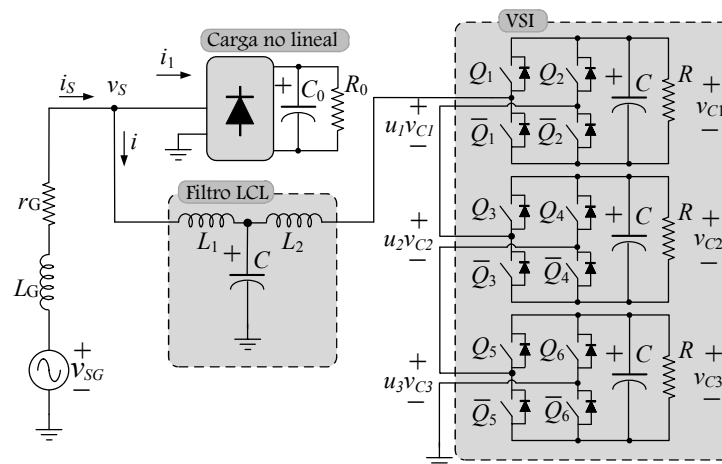


Figura 1. Convertidor multinivel CHB-7 con filtro LCL.

Las actividades a desarrollar por el estudiante son las siguientes:

Actividades	Junio 2016	Julio 2016	Agosto 2016	Sep. 2016	Octubre 2016	Noviembre 2016	Diciembre 2016	Enero 2017	Febrero 2017	Marzo 2017	Abril 2017	Mayo 2017	Junio 2017	Julio 2017	Agosto 2017	
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.																
Diseño del controlador para el CHB con filtro LCL de 5 y 7 niveles.																
Diseño de la epapa FDI																
Simulaciones en PSCAD del convertidor multinivel CHB5 y CHB7 y filtro LCL en lazo cerrado y la etapa FDI.																
Diseño del esquema del convertidor multinivel CHB para implementar con la tarjeta dSPACE																
Implementar el esquema de control del convertidor multinivel CHB																
Pruebas experimentales preliminares del sistema en lazo cerrado en bajo voltaje																
Pruebas experimentales del sistema en lazo cerrado en medio voltaje (125V)																
Escritura de documento de tesis																
Presentación de examen previo y final de grado																

### Materias por Cursar

En el semestre Agosto-Diciembre/2016 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] J.S. Lai and F. Z. Peng, "Multilevel converters-A new breed of power converters," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 32, pp. 509-517, May/June 1996.
- [2] L. Tolbert, F. Z. Peng and T. Habetler, "Multilevel converters for large electric drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 35, pp. 36-44, Jan./Feb. 1999.
- [3] R. Teodorescu et al., "Multilevel converters-A survey", in *Proc. European Power Electronics Conf. (EPE '99)*, Lausanne, Switzerland, 1999.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Andrés A. Valdez-Fernández, Pánfilo Martínez-Rodríguez, G. Escobar, C.A. Limones-Pozos and J.M. Sosa, "A model-based controller for the cascade H-bridge multilevel converter used as a shunt active filter," *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, Vol. 60, No. 11, nov 2013, pp. 5019-5028.
- [10] 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. PP, No. 99, 2016, pp. XXXX-YYYY.
- [11] P. Lezana, J. Pou, T. A. Meynard, J. Rodriguez, S. Ceballos and F. Richardeau (2010). Survey on Fault Operation on Multilevel Inverters.
- [12] D.U. Campos-Delgado, D.R. Espinoza-Trejo, and E. Palacios, "Fault Tolerant Control in Variable Speed Drives: A Survey", *IET Electric Power Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 121-134, March 2008.
- [13] Angel Pecina-Sanchez, Daniel U. Campos-Delgado, Edgar R. Arce-Santana, and Diego Rivelino Espinoza Trejo, "Fault Diagnosis in Variable Speed Drives by Pattern Recognition and Probabilistic Measures", 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes (SafeProcess 2012), México, D.F., August 29-31, 2012.