

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

Objetivo

La presente propuesta de tesis tiene como objetivo general el estudio, diseño e implementación de un controlador tolerante a fallas para el convertidor multinivel trifásico con conexión en cascada de puentes H trabajando como filtro activo.

Motivación y antecedentes

En años recientes, con el gran incremento de industrias en los diferentes sectores, 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 muy costosos, si es que existen, y que además 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 más semiconductores de potencia, estos convertidores son más susceptibles de presentar condiciones de falla [1-3,10].

Los convertidores multinivel se construyen usando arreglos de semiconductores de potencia así como 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. La Fig. 1 muestra un diagrama esquemático para una rama de inversores con diferentes números de niveles, en donde la acción de los dispositivos semiconductores es representada por un interruptor ideal con varias posiciones. Un convertidor de dos niveles genera un voltaje de salida de dos valores con respecto a la terminal negativa del capacitor, mientras que uno de tres niveles genera tres valores de voltaje, y así sucesivamente.

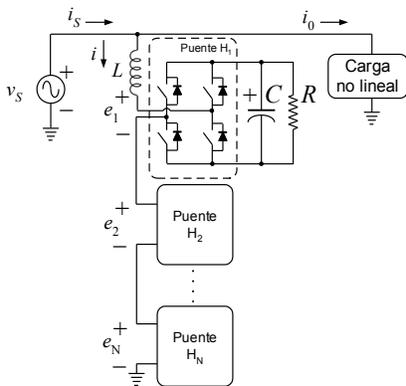


Figura 1. Convertidor multinivel monofásico HB de N niveles.

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”. De manera general, se puede mencionar que conforme se incrementa el número de niveles de tensión en un convertidor multinivel, los valores de tensión y potencia en los dispositivos semiconductores disminuye, o bien la potencia a la que puede trabajar el convertidor incrementa, a su vez, el contenido armónico de la forma de onda de salida se reduce 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 (HB) Multilevel) [1], [7], [8].

La topología de convertidor multinivel en cascada ha cobrado gran interés por su relativo bajo costo y confiabilidad. Esta topología se basa en la conexión en cascada de módulos inversores monofásicos con fuentes de tensión en corriente continua. 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.

Propuesta y actividades

En la presente propuesta de tesis se estudia un filtro activo paralelo basado en un convertidor multinivel trifásico con conexión cascada de cinco niveles (CHB-5), la topología de este convertidor es mostrada en la Figura 2. La idea general consiste en retomar el modelo matemático propuesto en [9], extender el modelo para N niveles, y modificar el controlador propuesto en [9] para que el convertidor trabaje en condiciones de falla. Las condiciones de falla a estudiar son fallas de circuito abierto [10,11]. Posteriormente, se pretende analizar el caso particular en el que un sistema de 7 niveles trabaje en 5 niveles bajo condiciones de falla. Finalmente, se pretenden implementar el convertidor físicamente en lazo cerrado con el controlador propuesto. Para que el estudiante pueda entender el controlador propuesto en [9] de forma rápida, se apoyará al estudiante con los temas relacionados con control, de esta forma se pretende que el estudiante pueda avanzar de manera continua. Por otro lado, basado en las dinámicas del sistema en lazo cerrado con el controlador propuesto es necesario realizar la sintonización de parámetros de acuerdo a los requerimientos de las respuestas en el tiempo. Posteriormente, es necesario obtener resultados experimentales del sistema completo en lazo cerrado. Dentro de las actividades programadas para el estudiante se tiene contemplado una estancia en el Laboratorio de Eléctrica y Electrónica de Potencia (LEEP) del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) en el estado de Guanajuato, la cual será cubierta por un proyecto PROMEP. Cabe mencionar que actualmente se cuenta con un proyecto FAI aprobado para adquirir el total del material requerido, 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.

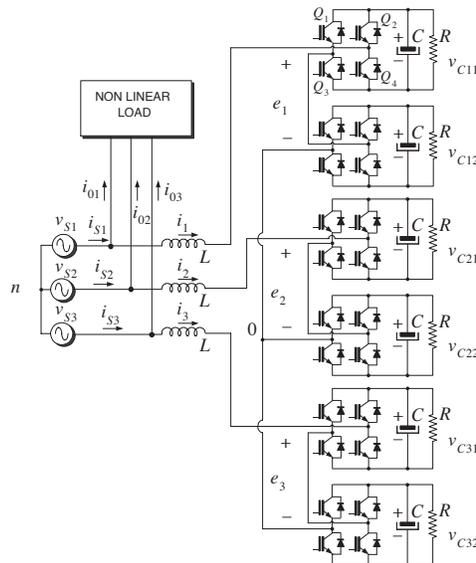


Figura 2. Convertidor multinivel trifásico de cinco niveles en aplicación de filtro activo.

Las actividades a desarrollar por el estudiante son las siguientes:

Actividades	Junio 2014	Julio 2014	Agosto 2014	Sep. 2014	Octubre 2014	Noviembre 2014	Diciembre 2014	Enero 2015	Febrero 2015	Marzo 2015	Abril 2015	Mayo 2015	Junio 2015	Julio 2015	Agosto 2015
Revisión bibliográfica															
Estudio del concepto general de convertidores multinivel y convertidor CHB5															
Estudio de esquemas de modulación para el convertidor CHB5															
Simulaciones en PSCAD del convertidor multinivel CHB5 en lazo abierto															
Estudio del controlador propuesto en [9]															
Proponer un procedimiento de diseño de los parámetros del controlador propuesto															
Diseño del algoritmo de control en condiciones de falla															
Simulaciones en PSCAD del convertidor multinivel HB5 en lazo cerrado y bajo condiciones de falla															
Diseño del esquema del convertidor multinivel HB5 para implementar con la tarjeta dSPACE															
Estancia de investigación LEEP-ITESI															
Implementar el esquema del convertidor multinivel CHB7															
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															

Cursos Propuestos

1. Automatización de Procesos
2. Tópicos Selectos en Ingeniería Electrónica (Control No-lineal)

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] R. H. Baker and L. H. Bannister, "Electric power converter," U.S. Patent 3 867 643, Feb. 1975.
- [9] G. Escobar, A. A. Valdez-Fernández, M. F. Martínez, and Víctor M. Rodríguez-Zermeño, "A model-based controller for the cascade multilevel converter used as a shunt active filter," in *Proc. IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting IAS07*, New Orleans, USA Sept. 22-28, 2007, pp.1837-1843.
- [10] 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.
- [11] 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.