

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 estudiar, diseñar e implementar 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 productivos, 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 niveles de voltaje altos, 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],[9]-[12].

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. 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 (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. 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. Siguiendo este contexto, se distinguen

dos tipos de fallas en los interruptores de potencia: fallas de cortocircuito y fallas de circuito abierto (FCA) [10]-[12]. 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 del sistema se verán seriamente deteriorados, es posible que el sistema siga operando a través de una estrategia de control tolerante a fallas [9].

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 puentes-H de N niveles (HB-N, donde N es un número impar), la topología de este convertidor es mostrada en la Figura 1 (solo para una fase por cuestiones de espacio). Las condiciones de falla a estudiar son FCA [10]-[12], 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 esta condición usando una estructura aditiva [10] tomando como base el modelo matemático propuesto en [13]. 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 HB. Con este propósito, se propone emplear un banco de observadores PI para la estimación de los estados y perfiles de falla del sistema [12], 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 pretende implementar el convertidor físicamente en lazo cerrado con el controlador propuesto [13] y la etapa FDI por desarrollar. 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.

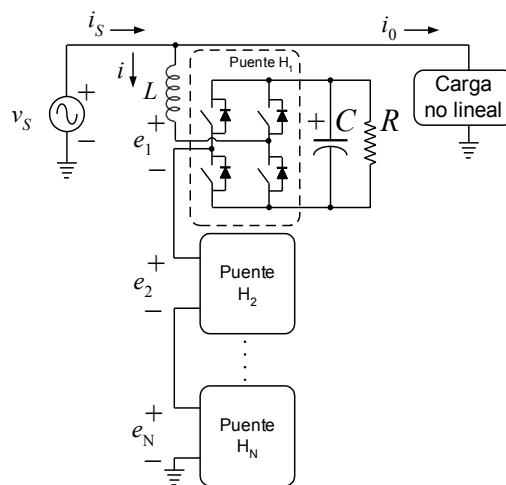


Figura 1. Convertidor multinivel HB de N niveles.

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] P. Lezana, J. Pou, T. A. Meynard, J. Rodriguez, S. Ceballos and F. Ri-chardeau (2010). Survey on Fault Operation on Multilevel Inverters.
- [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] A. Pecina-Sanchez, D.U. Campos Delgado, D.R. Espinoza-Trejo and E.R. Arce-Santana, "Diagnosis of Open Switch Faults in Variable Speed Drives by Stator Current Analysis and Pattern Recognition", *IET Electric Power Applications*, Volume 7, Issue 6, July 2013, p. 509 - 522.
- [12] D.R. Espinoza-Trejo, D.U. Campos Delgado, E. Barcenas and F.J. Martinez-Lopez, "Robust Fault Diagnosis Scheme for Open-Circuit Faults in Voltage Source Inverters feeding Induction Motors by Using Nonlinear PI-Observers", *IET Power Electronics*, Vol. 5, No. 7, pp. 1204 - 1216, 2012.
- [13] G. Escobar, A.A. Valdez, M.F. Martínez-Montejano and V.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.