

Diagnóstico y Reconfiguración ante Fallas en un Inversor Fotovoltaico basado en un Convertidor de Diodo Enclavado con Filtro LCL

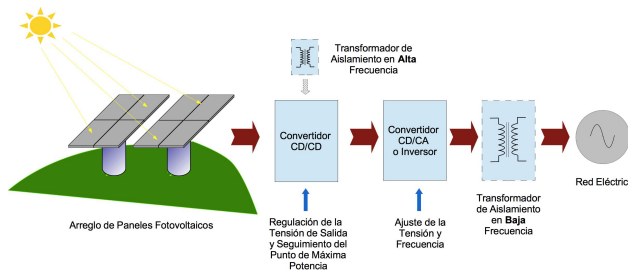
Proyecto de Tesis de Maestría

Posgrado en Ingeniería Electrónica

Asesores: Dr. Daniel Ulises Campos Delgado y Dr. Andrés Alejandro Valdez Fernández.

Motivación y antecedentes

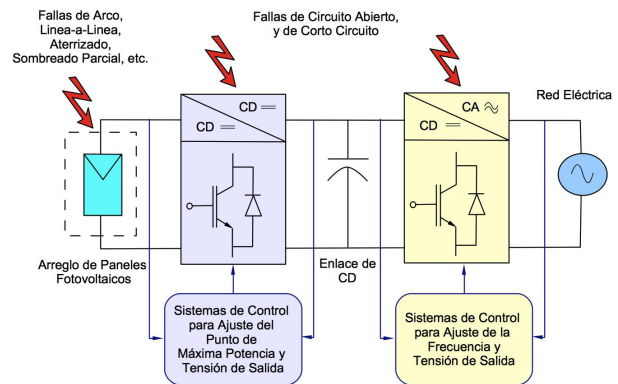
En años recientes, debido al incremento del sector industrial y al avance apresurado en la tecnología, se han elevado considerablemente los requerimientos de energía eléctrica tanto en cantidad como en calidad. Actualmente, las tendencias mundiales en la aplicación de tecnologías fotovoltaicas apuntan hacia la implementación de sistemas de generación distribuida (SGD) y centralizados para el



suministro de energía eléctrica, donde los sistemas interconectados a la red eléctrica son los que han tenido mayor proliferación. El impulso de este mercado se debe en gran medida a la difusión e incentivos financieros que han implementado diferentes gobiernos de países líderes en este rubro como China, Alemania, Japón y Estados Unidos. Por lo tanto, los Sistemas Fotovoltaicos (SFV) interconectados con la red de suministro eléctrico

crecerán gradualmente, y su incorporación al sistema de distribución impondrá grandes retos en cuanto a la estabilidad de la red del suministro eléctrico. Producto de esto, aspectos como la confiabilidad, seguridad, y eficiencia, serán de gran importancia en las unidades encargadas de la conversión de energía [1], [2].

Las diferentes condiciones de falla en un SFV se pueden establecer partiendo de los elementos que lo conforman. Ejemplos de estos elementos pueden ser los siguientes: los propios módulos fotovoltaicos (celdas solares), dispositivos para el almacenamiento de energía (baterías), convertidores de potencia (CD-CD y CD-CA), seguidores solares (activos y pasivos), controladores de carga, controladores para el seguimiento del punto de máxima potencia, fusibles de protección, conectores, sensores, entre otros. En 2012, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés) publicó un estudio acerca de la confiabilidad de paneles fotovoltaicos. Este estudio mostró mejoras en cuanto a la tasa de degradación en paneles fotovoltaicos, para los cuales el fabricante garantizaba una vida útil de 25 años [3]. Por otra parte, y de acuerdo al estudio publicado en [4], la esperanza de vida para los módulos fotovoltaicos no excede los 30 años (para tecnologías maduras), mientras que la esperanza de vida en inversores para SFV residenciales es de 15 años; sin embargo, la mayoría de los fabricantes sólo garantizan de 5 a 10 años de vida útil. En este mismo contexto, se han publicado diversos estudios sobre la incidencia de fallas en SFV. En 2004 se publicaron los resultados de una investigación realizada en los 90s, en el cual se estudió la incidencia de fallas en SFV de 1-5 kWp interconectados a la red e instalados en residencias de Alemania [5]. En dicho estudio se encontró que una falla ocurriría cada 4.5 años en cada sistema instalado. Del total de las fallas registradas en este estudio, el inversor contribuyó con el 63%, los módulos fotovoltaicos con el 15 %, y el 22 % restante fueron fallas registradas en otros componentes [6].



Por otro lado, 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. [7] 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 [8]. No obstante, este inversor multinivel resulta de interés para Sistemas de Generación Distribuida (SGD) interconectados con la red, ya que es posible compensar condiciones de falla simplemente reconfigurando su arquitectura y añadiendo algunos dispositivos de potencia [6], [9].

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 enlace 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 [11,12].

Objetivo

Estudiar, diseñar e implementar un controlador tolerante a fallas (diagnóstico + reconfiguración) para un Convertidor Multinivel de Diodo Enclavado trifásico y filtro LCL trabajando como Inversor Fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Propuesta y actividades

En la presente propuesta de tesis se estudia un Inversor Fotovoltaico Trifásico basado en un Convertidor de Diodo Enclavado con filtro LCL, la topología de este convertidor es mostrada en la Figura 1. Las condiciones de falla a estudiar son FCA [12]-[14]. 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 [12,14] 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 de Diodo Enclavado. 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 localización en el proceso de diagnóstico, por lo que los observadores propuestos serán los encargados de estimar la componente en CD de los perfiles. Tomando como base la localización de la falla, se estudiará una estrategia de reconfiguración para el control nominal, con el fin reducir el deterioro del desempeño en el inversor. Finalmente, se pretenden implementar el convertidor físicamente en lazo cerrado con el controlador y la etapa FDI+reconfiguración propuestos. Posteriormente, es necesario obtener resultados

Materias por Cursar

En el semestre Agosto-Diciembre/2017 se deben cursar 2 de las siguientes 5 materias:

1. Automatización de Procesos
2. Detección y Estimación
3. Reconocimiento de Patrones
4. Tópicos Selectos en Ingeniería Electrónica
5. Electrónica de Potencia Avanzada (Posgrado en Ing. Eléctrica, Facultad de Ingeniería)

Referencias

- [1] European Renewable Energy Council, *Renewable Energy Scenario to 2040: Half of the Global Energy Supply from Renewables in 2040*, May 2004.
- [2] International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, *Trends 2016 In Photovoltaic Applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2015*, 21st. Edition, 2016.
- [3] International Energy Agency, *Photovoltaic Power Systems Programme, Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems. Good Practices for Monitoring and Performance Analysis*, Report IEA-PVPS T13-03: 2014, March 2014.
- [4] International Energy Agency, *Photovoltaic Power Systems Programme, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricities*, IEA- PVPS T12-08:2016, January 2016.
- [5] U. Jahn and W. Nasse, "Operational performance of grid-connected PV systems on buildings in Germany," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 12, no. 6, 2004, pp. 441-448.
- [6] M.I.E. J. A. Pecina Sánchez, "Diagnóstico de Fallas en Convertidores de Potencia para Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red," Tesis Doctoral, Posgrado en Ingeniería Electrónica, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Febrero 2017.
- [7] 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.
- [8] 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, pp. 5019-5028, nov 2013.
- [9] Behrooz Mirafzal, "Survey of Fault-Tolerance Techniques for Three-Phase Voltage Source Inverters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 61, No. 10, Oct. 2014, pp. 5192-5202.
- [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. 32, No. 3, pp. 2360-2375, March 2017.
- [11] P. Lezana, J. Pou, T. A. Meynard, J. Rodriguez, S. Ceballos and F. Richardeau, "Survey on Fault Operation on Multilevel Inverters", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 7, pp. 2207-2218, 2010
- [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] 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*, Vol. 7, No. 6, pp. 509-522, 2013.
- [14] D.R. Espinoza-Trejo and D.U. Campos-Delgado, "An Observer-Based Faults Diagnosis for Single and Simultaneous Faults in Induction Motor Drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 2, pp. 671-679, 2011.