

IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC GENERATION AS SUPPORT TO FAILS IN DISTRIBUTION NETWORKS

IMPLEMENTACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA COMO RESPALDO ANTE FALLOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

MSc. Ramón Antonio Álvarez López, MSc. Adriana Arango Manrique

Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Campus la Nubia, Tel.: +(57) (6) 887 9498.

E-mail: raaalvarezlop@unal.edu.co, aarangoma@unal.edu.co

Abstract: This paper deals with power control system for a GD system using photovoltaic panels that are connected to an electric distribution network through a phase inverter and we analyze the behavior to failures. The inverter control is by current hysteresis allowing control in power delivered by photovoltaic panels and work on the Maximum Power Point Tracking (MPPT). The simulation software used to modeling the photovoltaic system and all components for system connection is Matlab.

Keywords: Distributed generation, solar photovoltaic generation, MPPT.

Resumen: Este artículo trata sobre un sistema de control de potencia para un sistema de Generación Distribuida (GD) utilizando paneles fotovoltaicos que se conecta a una red distribución eléctrica a través de un inversor trifásico y se analiza el comportamiento frente a fallos. El control de disparo del inversor se hace por histéresis de corriente, lo que permite controlar la potencia que entregan los paneles fotovoltaicos y trabajar en el punto de máxima potencia (MPPT). La metodología de simulación utilizada para modelar el sistema fotovoltaico y todos los componentes para su conexión al sistema es el Matlab.

Palabras clave: Generación distribuida, generación fotovoltaica, MPPT.

1. INTRODUCCIÓN

La operación del sistema de distribución ha cambiado gracias a la instalación y crecimiento de Generación Distribuida (GD), mediante recursos distribuidos como paneles solares, cerca de la demanda, lo que aumenta la flexibilidad en operación del mismo (Yu *et al.*, 1992). Esta nueva forma de operación, conocida como Microrredes (MG), tiene la capacidad de trabajar aisladamente o conectada en paralelo con la red de distribución (Sioshansi, 2011). Lo que además ha permitido implementar la GD como una posible solución para garantizar la seguridad en el suministro a largo plazo y calidad en la prestación del servicio de electricidad (Sioshansi, 2011).

El desconocimiento en la operación de las MG, hace necesario realizar evaluaciones que determinen los requerimientos técnicos y el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos cuando se presentan fallos en los sistemas de distribución (Koutsopoulos, 2011), (Gharavi y Ghafurian, 2011).

Este artículo describe el impacto sobre el sistema de distribución cuando se conecta microgeneración basados en sistemas fotovoltaicos (PV) y su comportamiento una vez recuperada la red de un fallo por interrupción del servicio eléctrico.

El artículo está organizado como sigue: en la sección 2 se describe el caso de estudio y el modelo sobre el que se analiza el impacto de la penetración y masificación del sistema fotovoltaico sobre la MG. En la sección 3 se muestran los resultados de las simulaciones y por último la sección 4 se expresan las principales conclusiones del estudio.

2. CASO DE ESTUDIO

El servicio de energía eléctrica es un bien público por lo que las empresas generadoras y los operadores de red realizan un gran esfuerzo técnico y administrativo para garantizar dicho servicio (Sioshansi, 2011), sin embargo, resulta una tarea complicada debido a la complejidad del sistema interconectado, las variaciones en las cargas y a efectos debidos a variaciones climáticas. Por tal motivo, muchos usuarios que requieren el servicio de energía eléctrica de forma ininterrumpida, recurren a la microgeneración, basada en generadores que usan como fuente primaria de energía hidrocarburos, los cuales se caracterizan por tener un gran índice de contaminación ambiental, además de su baja eficiencia (Yu *et al.*, 1992).

La nueva estrategia para mantener la red sostenible y amigable con la naturaleza, ha estimulado durante los últimos años países como España, Holanda, Estados Unidos, la implementación de incentivos que impulsan el uso de energías limpias como son el caso de la energía PV y la energía eólica, entre otras (Yu *et al.*, 1992). En este sentido, se propone el análisis de un sistema de microgeneración basado en energía PV en el que se analizan los efectos positivos que este tipo de generación producen sobre el sistema de distribución, ante la presencia de fallos que interrumpen el suministro de electricidad en la red eléctrica (Koutsopoulos, 2011; Gharavi y Ghafurian, 2011).

2.1 Sistema de respaldo ante fallos por interrupción mediante microgeneración

Los sistemas convencionales de respaldo ante fallos por interrupción de la energía eléctrica, constan de un generador impulsado por un motor de combustión, un sistema de transferencia eléctrica que realiza el encendido del mismo y un sistema de alarma que se activa en caso de fallos en la planta, la desconexión del sistema de microgeneración se produce una vez retorne el

fluido eléctrico de la red. Dicha situación de restablecimiento produce perturbaciones, las cuales se evidencian en el presente trabajo y se propone una solución para minimizar su impacto sobre el sistema de distribución mediante el uso de sistemas PV. En la figura 1 se puede apreciar el sistema de respaldo que usa microgeneración basado en PV. El cual consta de un arreglo de paneles solares, configurados de forma tal que se obtenga la potencia y tensión necesaria para ser entregada por el inversor a la carga.

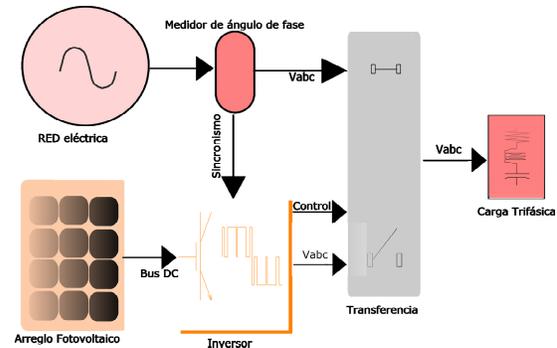


Fig.1: Diagrama de bloques del caso de estudio propuesto (sistema de respaldo de energía eléctrica con microgeneración PV)

2.2 Principio de funcionamiento del conjunto panel - inversor

La función del arreglo de paneles solares es producir la potencia que precisa la carga en los intervalos de tiempo en los cuales se producen las fallas de interrupción en el suministro de energía eléctrica. Dicho trabajo es realizado sin mayor dificultad porque bastará con realizar el cálculo de KWh/m^2 requeridos para la región geográfica que se especifica. El posible problema consiste en que la potencia entregada por el arreglo de paneles se encuentra en la forma de corriente directa (DC), y se requiere el uso de un inversor electrónico de potencia. El inversor está compuesto por un circuito de conmutación de alta frecuencia y un puente de transistores IGBTs, que a partir de una secuencia de disparo de los dispositivos de conmutación (IGBTs) sintetiza tensiones y corrientes sinusoidales con las magnitudes, frecuencias y fases requeridas. Para el efecto, en el análisis de este caso de estudio se propone un inversor de corriente controlado por histéresis, debido a la simplicidad y facilidad de implementación para simulación.

2.3 Estructura de control del inversor

El inversor es capaz de sintetizar las tensiones, frecuencias y magnitudes de salidas requeridas, tal y como se registra en la amplia literatura existente

y referente al control de máquinas rotativas de corriente alterna (Pardo y Díaz, 2004). Para la demostración de las ventajas de la utilización de microgeneración basada en sistemas PV, recurrimos a la utilización del método de cálculo de la potencia reactiva instantánea en sistemas trifásicos propuesta por Akagi, Kanazawa y Nabae en 1983 (Akagi *et al.*, 1983). El desarrollo de dicha teoría se desarrolla en sistema de coordenadas estacionarias $\alpha\beta 0$ (transformación de coordenadas de Concordia y Clark), y se define la potencia activa instantánea como los productos de tensión e intensidad de las componentes según el mismo eje, la potencia imaginaria instantánea como el producto vectorial de tensión y corriente en los ejes alfa y beta respectivamente, y la potencia homopolar como el producto de la tensión y la corriente homopolar.

$$P = \sum_1^n v_n(t) \cdot i_n(t) \quad Q = v_a \times i_b + v_b \times i_a \quad (1)$$

Desarrollando (1) se pueden obtener las expresiones para las corrientes en coordenadas $\alpha\beta 0$.

$$i_a = \frac{v_a P - v_b Q}{v_a^2 + v_b^2} \quad i_b = \frac{v_a Q + v_b P}{v_a^2 + v_b^2} \quad (2)$$

De (2) podemos concluir que si conocemos las tensiones de fase y las potencias activas y reactivas requeridas a la salida del inversor, podemos sintetizar las corrientes que provocan dichas potencias. La conclusión anterior se puede extrapolar para el caso en que se requiere sincronización de las tensiones y corrientes de salidas del inversor con un generador determinado, en dicho caso se recurre a la transformada de Park, y el sistema de coordenadas quedaría referenciado a $dq0$.

Los resultados anteriores ponen de manifiesto, que un sistema de generación basado en paneles fotovoltaicos brinda la posibilidad de sincronización de tensiones y corrientes de fase del inversor con una fuente externa de referencia. La figura 2, muestra el diagrama de bloques del inversor usado en el caso de estudio. En dicho diagrama se pueden observar el conjunto de medidas y transformaciones que son necesarias para lograr la generación de potencia activa y reactiva, en sincronismo con una fuente de generación externa.

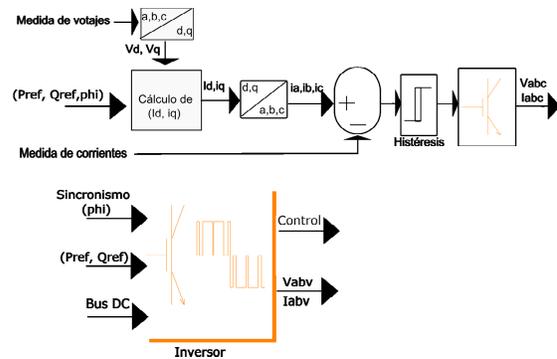


Fig.2: Inversor estático trifásico controlado por histéresis con referencias de P , Q y f

2.4 Sistema de respaldo ante fallos por interrupción mediante microgeneración

Se analiza el comportamiento de la red una vez superado un fallo por interrupción del servicio eléctrico, cuando el usuario cuenta con un sistema de respaldo que usa un sistema de microgeneración convencional (típicamente generadores con propulsor de combustión). Se propone la simulación del mismo, siguiendo el diagrama unifilar que se muestra en la figura 3. Dicho sistema describe una red de distribución, conformada por un generador conectado a 13.2kV, un transformador reductor 13.2 kV/220V, una línea de distribución y una barra a la que se conecta la microgeneración y la carga trifásica comercial.

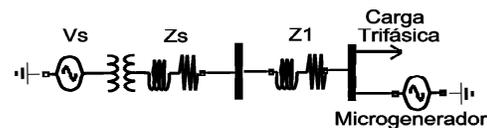


Fig.3: Diagrama unifilar del sistema de distribución y respaldo de energía mediante microgeneración

Es importante destacar que la transferencia eléctrica se debe realizar de forma instantánea, una vez superado el fallo por interrupción de la red eléctrica, debido a que el usuario no admite una nueva interrupción del servicio mientras se devuelve la carga (operada por microgeneración) a la red eléctrica.

Para la simulación del sistema con fuente de microgeneración convencional en Matlab /Simulink, se implementa el diagrama de bloques que se muestra en la figura 4.

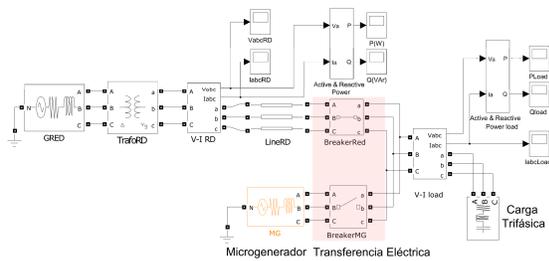


Fig.4: Esquema de simulación del sistema de distribución y respaldo de energía mediante microgeneración convencional

2.5 Resultados obtenidos mediante la simulación del sistema de distribución y respaldo

Una vez implementado el sistema en Matlab/Simulink se realizaron diferentes medidas de corrientes, potencia activa y potencia reactiva, con la intención de caracterizar el comportamiento del sistema de distribución, una vez superado un fallo por interrupción del servicio eléctrico. En la figura 5, se puede apreciar el comportamiento de las corrientes por fases medidas en el transformador. Se puede observar que el pico de corriente generado por el transitorio es tres veces el pico de corriente con carga nominal. Además dicho transitorio persiste por alrededor de siete ciclos, lo que forzaría una nueva desconexión del sistema.

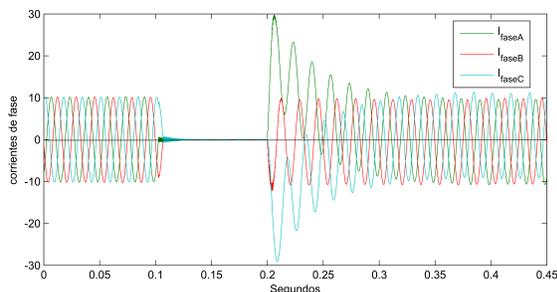


Fig.5: Corrientes por fase de un sistema con respaldo y transferencia convencional después de un fallo por interrupción

Por otra parte se observa que el comportamiento de la potencia activa de la red, al igual que las corrientes por fase, sufre las consecuencias del proceso de transferencia eléctrica, debido a que dicha potencia activa alcanza picos de elevada magnitud, que sin lugar a duda pueden provocar un nuevo fallo en la red eléctrica. En la figura 6, se muestra la respuesta de la potencia en el proceso de reconexión de la red eléctrica, usando un sistema de microgeneración convencional y su sistema de transferencia eléctrica.

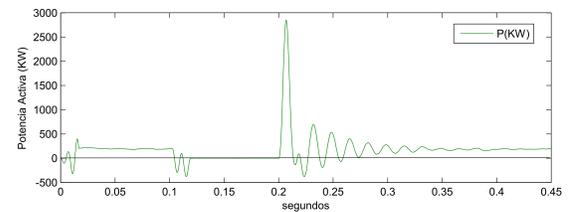


Fig.6: Potencia Activa de un sistema con respaldo y transferencia convencional después de un fallo por interrupción.

Siguiendo con el análisis, se estudió el comportamiento de la potencia reactiva que es responsable en gran medida de la carga, la cual se supone invariante para simplificar el análisis.

Dicho comportamiento se muestra en la figura 7, donde se debe denotar que si bien el pico de potencia no es tan pronunciado como en el caso de la potencia activa, sufre variaciones que no son despreciables y su efecto debe ser considerado.

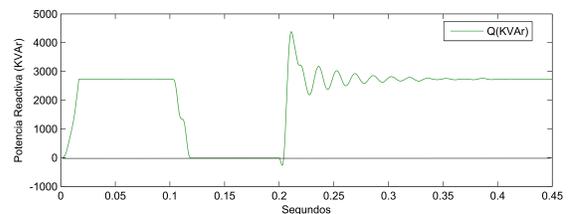


Fig.7: Potencia Reactiva de un sistema con respaldo y transferencia convencional después de un fallo por interrupción

2.6 Simulación del sistema de respaldo ante fallos por interrupción mediante microgeneración basada en un sistema PV

Para la simulación del sistema con microgeneración fotovoltaica, se implementa el diagrama unifilar del sistema de distribución, con la adición del inversor controlado por histéresis y sincronizado con las corrientes de red.

En la figura 8, se puede apreciar el comportamiento de las corrientes por fases, medidas en el transformador, cuando el sistema de microgeneración incluye un inversor controlado por corriente y sincronizado con la red. Se observa que los picos de corrientes se atenúan por completo, en comparación con los presentados anteriormente en el sistema, con microgeneración y transferencia convencional.

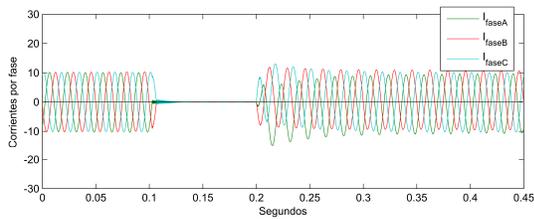


Fig. 8: Corrientes por fase de un sistema con respaldo PV y transferencia controlada mediante inversor después de un fallo por interrupción

En consecuencia de la sincronización del sistema de microgeneración basado en un sistema PV con inversor sincronizado con la corriente de red eléctrica, se puede apreciar que las variaciones presentadas por la potencia activa de la red de distribución se reducen. La figura 9, muestra que las variaciones de la potencia activa en el momento de la conexión con la red presenta una variación que no es significativa, como se presenta en el caso con la microgeneración convencional. Se observa también, que la potencia activa aumenta la estabilidad después de la re-conexión.

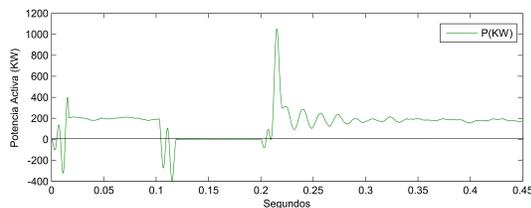


Fig. 9: Potencia Activa de un sistema con respaldo PV y transferencia controlada mediante inversor después de un fallo por interrupción.

Finalmente, uno de los resultados más significativos y que validan la hipótesis de este trabajo, es el comportamiento de la potencia reactiva del sistema, una vez realizada la transferencia. Se puede apreciar en la figura 10, que las variaciones en la potencia reactiva del sistema han permanecido inmutables, a pesar de la transición.

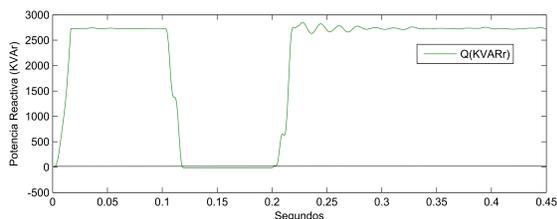


Fig. 10: Potencia Reactiva de un sistema con respaldo PV y transferencia controlada mediante inversor después de un fallo por interrupción.

4. CONCLUSIONES

En este artículo se realizó la implementación de sistemas fotovoltaicos en las redes de distribución que utilizan tecnología de electrónica de potencia para determinar el aporte que esta nueva generación al sistema frente a los fallos que se presentan en la red, especialmente ante interrupciones del suministro de electricidad.

Durante el desarrollo del trabajo se comprobó que la apuesta por la implementación de sistemas de generación limpia como la solar y eólica, aportan grandes ventajas competitivas al sistema eléctrico, no sólo, desde el punto de vista ambiental, sino también desde la calidad de la potencia y el óptimo aprovechamiento de los recursos energéticos.

Se verificó la hipótesis que se abordó durante todo el desarrollo del presente trabajo, que consistía en el planteamiento de que si los sistemas de microgeneración incluyen un inversor que permita la sincronización con la red eléctrica, los efectos producidos durante la conexión de ambos sistemas después de recuperada la red de un fallo por interrupción, no son tan significativos, como los sucedidos con los sistemas de microgeneración convencional.

Por otra parte, se puede afirmar que la incorporación de sistemas que incluyen inversores de potencia, ayudan a conservar la calidad y estabilidad del sistema eléctrico, cuando se aprovecha el potencial que estos componentes proporcionan.

Una conclusión final, es el hecho de que cuando se logra sincronismo de todos los generadores que conforman un sistema de interconexión eléctrica, la potencia reactiva del sistema permanece constante y por ende las tensiones, lo que se traduce en menores pérdidas, aumento de la eficiencia y disminución de los costos de operación del sistema.

REFERENCIAS

- Yu X., Ceati C., Dillon T. y Simoes M. G. (2011). *The New Frontier of Smart Grids*, Industrial Electronics Magazine, IEEE, vol. 5.
- Sioshansi F. P. (2011). *Smart grid: integrating renewable, distributed & efficient energy*, USA, Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Koutsopoulos I. y Tassiulas L. (2011). *Challenges in Demand Load Control for the Smart Grid*, IEEE Network, 2011, vol. 25.

Gharavi H. y Ghafurian R. (2011) *Smart Grid: The Electric Energy System of the Future*, Proceedings of the IEEE, vol. 99.

Akagi H, Kanazawa Y., Nabae A. (1983). *Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits*. Proceedings of IEEJ International Power Electronics Conference (IPEC-Tokio), Pages: 1375-1386.

Pardo G., A. y Díaz R., J. L. (2004). *Aplicaciones de los convertidores de frecuencia, Estrategias PWM*, Editorial Java E. U., Colombia.