

Resumen

Los convertidores de potencia de estado sólido se utilizan como generadores eléctricos polifásicos de tensión o corriente para múltiples aplicaciones, como por ejemplo el control de motores, generación eléctrica, mejora de calidad de red, etc. el uso de este tipo de convertidores supone una ventaja técnica muy importante, pues permite el control preciso de las máquinas eléctricas y la conversión de energía de diferentes naturalezas que, de otro modo, no sería posible.

Debido a las limitaciones propias de la técnica de los semiconductores de potencia, la potencia de un convertidor viene limitada por la capacidad de entregar corriente de dichos semiconductores o de la tensión máxima de funcionamiento de los mismos.

La manera de construir un convertidor de potencia escalable en potencia se fundamenta en utilizar topologías de circuitos, en los que los semiconductores se colocan en serie o en paralelo de forma modular para incrementar la tensión y/o la corriente del convertidor. Cuanto mayor sea la limitación eléctrica de los semiconductores, más complicado se hace realizar un convertidor de alta potencia.

Hoy en día existen múltiples topologías que permiten construir de forma práctica convertidores de más de 50MVA como, por ejemplo, los convertidores multinivel modulares (MMC) o los convertidores multinivel en cascada (MCHB). Estas topologías se basan en el uso de módulos o celdas independientes que se colocan en serie para generar la tensión de salida.

Este tipo de convertidores, por el hecho de ser modulares y escalables, presentan la ventaja de poder seguir trabajando en caso de fallo de uno de los módulos de potencia que lo componen, lo que en grandes convertidores de potencia es de gran importancia puesto que este tipo de accionamientos suelen estar situados en el control de procesos críticos de plantas industriales o en sistemas de generación eléctrica que requieren de una alta fiabilidad de funcionamiento. Ante un fallo en uno de los módulos de potencia, el equipo puede seguir trabajando e intentando entregar la potencia máxima posible. Sin embargo, el convertidor, ante un fallo de uno (o varios) de sus módulos, no será capaz de entregar una tensión equilibrada a la salida si no se aplica algún tipo de técnica para resolver este problema.

Al margen de esto, la utilización de múltiples módulos en serie en la construcción de un convertidor plantea otro inconveniente, que es que todos los módulos no son iguales ni el sistema de alimentación a dichos módulos tampoco está perfectamente equilibrado, lo que lleva a un cierto nivel de desequilibrio de tensiones de salida en el convertidor incluso aunque no haya ningún módulo en fallo.

Además de todo esto, en aplicaciones en donde entre el convertidor y el dispositivo accionado haya una impedancia desequilibrada, aunque el convertidor genere una tensión equilibrada, en el dispositivo accionado, la corriente no lo será.

Así pues y a modo de resumen, podemos decir que, en los convertidores de potencia, existen al menos 3 problemas importantes asociados al desequilibrio de tensiones o corrientes en la construcción y operación de un convertidor de alta potencia:

- 1.- Desequilibrio de tensiones debido al fallo de un módulo de potencia.
- 2.- Desequilibrio de tensiones debido a asimetrías constructivas del convertidor.
- 3.- Desequilibrio de corrientes debido a la existencia de una impedancia asimétrica entre el accionamiento y el dispositivo accionado.

El presente trabajo, pretende dar solución a estos 3 problemas y, en general, desarrollar el conocimiento general en el estado de la técnica para abordar el problema del desequilibrio en los sistemas polifásicos en tiempo real.

El presente estudio se ha realizado sobre un convertidor del tipo MCHB (Multilevel Cascaded H-Bridge), pero los resultados son aplicables a cualquier tipo de convertidor, no sólo multinivel como ya veremos más adelante.

En el trabajo que se presenta, se aborda:

- **El equilibrado de las tensiones mediante la técnica de las componentes simétricas convencionales.**

Se ha abordado el estudio de cómo realizar el equilibrado mediante el método clásico de las componentes simétricas y se han analizado sus principales inconvenientes, planteando la necesidad de buscar un método alternativo.

- **El equilibrado de las tensiones mediante una nueva metodología.**

Se ha desarrollado una nueva metodología que permite resolver de forma algebraica el equilibrado de un sistema eléctrico desequilibrado sin necesidad de resolver el sistema de ecuaciones no lineales trascendente.

Esta nueva metodología explora 2 vías distintas de resolución algebraica, la denominada síntesis vectorial y la síntesis geométrica.

- **La detección y medición de la magnitud del vector de secuencia directa e inversa prácticamente en tiempo real.**

Se ha desarrollado una nueva metodología que permite con tan sólo 3 muestras descomponer el vector espacial instantáneo de una magnitud eléctrica en sus vectores de secuencia directa e inversa, de modo que, a partir del vector de secuencia directa, puede obtenerse con precisión la medida de la frecuencia del sistema eléctrico incluso en régimen transitorio.

- **Obtención de las tensiones simples a partir de las tensiones compuestas en un sistema eléctrico real.**

Los convertidores de potencia realizan convenientemente la medida de tensión trifásica (o polifásica) utilizando las tensiones compuestas y, sin embargo, requieren disponer de los valores de tensiones simples para poder determinar el desplazamiento de neutro correspondiente, se ha desarrollado un método que permite obtener las tensiones simples a partir de las tensiones compuestas en un sistema eléctrico real sin neutro accesible. La solución de este problema no se encuentra en la literatura científica.

La tesis doctoral se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- En el capítulo 1 se realiza una breve reseña histórica desde los inicios de la electrónica de potencia hasta la aparición de los convertidores de potencia para poder comprender de forma razonada la necesidad de que los convertidores de potencia sean tolerantes a fallo. Esta introducción sirve de punto de partida y en ella se presentan los objetivos principales de la tesis.

- En el capítulo 2 se presenta una revisión científico-técnica del estado del arte actual en lo relativo a topologías de convertidores de potencia tolerantes a fallos.
- En el capítulo 3, se presenta la teoría básica de las componentes simétricas y los vectores espaciales de secuencia directa e inversa que servirán de base para posteriormente reslizar el análisis del desequilibrio y el equilibrado del sistema.
- En el capítulo 4 se presenta un método de obtención de las tensiones simples de un sistema eléctrico a partir de las tensiones compuestas, una de las principales aportaciones de la tesis al estado de la técnica.
- En el capítulo 5 se presenta un método para la obtención de los vectores espaciales de secuencia directa e inversa a partir del vector espacial que representa el sistema eléctrico y supone otra de las aportaciones de esta tesis al estado de la técnica.
- En el capítulo 6 se aborda el problema del equilibrado continuo del sistema eléctrico, presentando los principales inconvenientes del mismo y aportando 2 soluciones técnicas al estado de la técnica actual, lo que supone otra de las aportaciones de esa tesis.
- En el capítulo 7 se describe el banco de ensayos empleado para la verificación práctica de los métodos presentados.
- En el capítulo 8 se describen los ensayos realizados y se presentan los resultados obtenidos.
- En el capítulo 9 se esboza la implementación del equilibrado en el sistema de control de un convertidor de potencia.
- Finalmente, en el capítulo 10 se resumen las conclusiones y principales aportaciones de esta tesis al campo de los convertidores modulares de potencia. También se presentan las futuras líneas de investigación a abordar en un futuro cercano.