

5

CONCLUSIONES

En este Capítulo final se pretende realizar un resumen de las conclusiones obtenidas a lo largo de esta tesis, además de hacer especial hincapié en las aportaciones originales realizadas. Por otra parte, se sugerirán una serie de nuevas líneas de investigación hacia las cuales se podrían encaminar los futuros trabajos que pudieran ser continuación del realizado en esta tesis doctoral.

5.1 APORTACIONES DEL PRESENTE TRABAJO

El constante aumento de cargas no lineales conectadas a la red eléctrica de baja tensión ha provocado en los últimos años un notable deterioro en la calidad de la tensión. Este empeoramiento ha sido provocado por el alto contenido armónico de las corrientes que demandan estos equipos. Para intentar paliar este problema, diversos organismos internacionales han abordado la creación de normas reguladoras para controlar en cierta medida este constante deterioro en la calidad de la tensión. En Europa, la norma pertinente sobre armónicos de corriente de baja frecuencia es la IEC 1000-3-2, generada por CENELEC. La principal característica de esta norma es que no persigue la obtención de corrientes de entrada perfectamente senoidales. Su objetivo es conseguir que cada armónico quede por debajo de un valor menor que un cierto límite máximo. De hecho, la denominación habitual de “corrección del

factor de potencia” pierde vigencia en cierta medida a raíz del texto de la norma, siendo más correcto referirse a la “reducción del contenido armónico de la corriente de entrada”. Esta particularidad ha dado pie a una serie de nuevas filosofías para la reducción del contenido armónico, siendo una de ellas la base para la realización de esta tesis. En concreto, la solución basada en el uso de salidas auxiliares retrasadas. Su filosofía se basa en utilizar convertidores convencionales con alguna pequeña modificación para conseguir que el contenido armónico de la corriente de entrada sea menor que el permitido por la norma.

Una salida auxiliar retrasada es simplemente una salida adicional del convertidor, en general de tipo reductor, con la particularidad de que se le ha añadido una bobina “retrasadora”. Esta pequeña modificación da lugar a un importante cambio en el circuito equivalente de esta salida, que pasa a convertirse en una fuente de tensión con una Resistencia Sin Pérdidas en serie. Si colocamos este circuito equivalente entre el rectificador de entrada del convertidor y el condensador de almacenamiento de energía, conseguimos que los diodos del rectificador conduzcan durante más tiempo, reduciendo así el contenido armónico de la corriente de entrada.

Las principales aportaciones de esta tesis son las siguientes:

En primer lugar, el estudio detallado de la forma de onda que se obtiene al conectar el Reductor Activo de Armónicos (RA²) a un convertidor convencional. De esta forma, se ha podido determinar con exactitud el ángulo de conducción de la corriente de entrada necesario para cumplir la norma IEC 1000-3-2 en cada una de sus clases (A, B, C y D) así como con las diferentes tensiones nominales existentes en Europa (220 V, 230 V y 240 V).

También se han estudiado diversos tipos de salida retrasada, obteniendo un modelo estático de cada una de ellas. En concreto, se han estudiado los siguientes tipos:

- salida retrasada con un rectificador de media onda
- salida retrasada con un rectificador de doble onda basado en un transformador con toma media
- salida retrasada con un rectificador de doble onda basado en un transformador con toma media y con las dos bobinas retrasadoras acopladas
- salida retrasada con un rectificador de doble onda basado en un puente completo de diodos

En todas ellas se ha estudiado la conexión a topologías que excitan el transformador tanto de forma simétrica como asimétrica, incluyendo la conexión del RA² a la bobina de convertidores sin aislamiento galvánico.

En el tercer Capítulo se realiza el estudio estático de varias topologías, obteniendo modelos estáticos de las mismas. Una aportación más es el estudio de la controlabilidad de los convertidores mediante la función de transferencia de la tensión de salida en cadena abierta. Como conclusión general, podemos decir que el Reductor Activo de Armónicos es un sistema realmente versátil puesto que es posible implementarlo en un gran número de convertidores. Además, las modificaciones a realizar son muy pequeñas ya que únicamente es necesario añadir dos (o en ocasiones, tres) elementos magnéticos de pequeño tamaño, así como dos (o cuatro, según el caso) diodos adicionales. En general, también es necesario añadir un devanado más al transformador principal. Por tanto, al no tener que añadir un gran número de componentes adicionales, el incremento de tamaño y coste a que da lugar la implementación del RA² es bastante pequeño. Como dato significativo, es necesario resaltar que la tensión en el condensador de almacenamiento crece en general por encima del valor de pico de la tensión de entrada. Sin embargo, a pesar de que el aumento es en general moderado, en ocasiones puede superar los 450 V, lo cual puede ocasionar un eventual aumento de tamaño al no haber condensadores electrolíticos comerciales que soporten una tensión superior a ésta. Otro dato significativo es la posibilidad de que la salida principal opere en MCC, lo cual es muy interesante de cara a implementar sistemas de rectificación síncrona autoexcitada en dicha salida.

Por último, se ha realizado el estudio dinámico de dos convertidores con RA²: el convertidor en Medio Puente y el convertidor de Retroceso, siendo ésta probablemente la aportación más interesante de la tesis. Además, se han obtenido los modelos de los dos convertidores alimentados tanto desde una tensión de entrada continua como desde una tensión de entrada alterna. Dada la complejidad de los modelos obtenidos, se ha intentado hacer una simplificación de los mismos, obteniendo las funciones simplificadas tanto en alta como en baja frecuencia. Por otra parte, también se ha obtenido un modelo promediado de gran señal, siendo esta una herramienta realmente interesante para el estudio de esta familia de convertidores.

Las conclusiones más interesantes del estudio dinámico podemos resumirlas en dos:

- El RA² no modifica apenas la función de transferencia entre el ciclo de trabajo y la tensión de salida y por tanto, para controlar el convertidor podemos utilizar el mismo regulador que el utilizado para controlar el convertidor CC/CC convencional sobre el que se implementa el RA².
- El condensador de almacenamiento hace las funciones de filtro pasa bajos y promedia todas las señales que pasan a través de él con lo que su comportamiento pasa a ser básicamente como el de un sistema de primer orden. Además, dada la elevada capacidad de este condensador, el comportamiento de dichas señales es bastante lento.

A modo de resumen, podemos concluir que el Reductor Activo de Armónicos basado en el uso de salidas auxiliares retrasadas es un sistema muy versátil para conseguir cumplir la norma IEC 1000-3-2 con un amplio rango de convertidores de potencia media. Además, la implementación del RA² apenas penaliza ni el tamaño ni el coste del convertidor original ya que el número de elementos adicionales a añadir es muy bajo. Por otra parte, el RA² sólo recicla una pequeña parte de la energía manejada por el convertidor, con lo que la penalización en el rendimiento es muy baja. En cuanto al sistema de control, el coste de rediseño también es muy bajo ya que podemos utilizar el mismo regulador que en el convertidor CC/CC sobre el que implementamos el RA².

Los inconvenientes de este sistema de reducción del contenido armónico de la corriente de entrada provienen del incremento de la tensión en el condensador de almacenamiento que, a pesar de no ser excesivo, puede ser determinante para la idoneidad de la topología por una razón puramente coyuntural y es que en ocasiones se pueden superar los 450 V en este condensador. Esta variabilidad implica también que sea complicado utilizar el RA² en convertidores con rango de tensión de entrada universal.

5.2 SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS

Como sugerencias para la continuación de la línea de investigación iniciada en esta tesis, se proponen las siguientes:

- Estudio de las posibles modificaciones del RA^2 para ser implementado en convertidores con doblador de tensión de entrada. De esta forma, podríamos utilizar el Reductor Activo de Armónicos en convertidores con rango de tensión de entrada universal.
- Implementación del RA^2 en sistemas trifásicos. En este trabajo se ha abordado únicamente el estudio del RA^2 aplicado a convertidores monofásicos, pero la misma filosofía puede ser aplicable en convertidores con tensión de entrada trifásica.
- Estudio de diferentes sistemas de control para convertidores con RA^2 , como por ejemplo, el control modo corriente.