

Conclusiones, aportaciones y futuros trabajos.

En este último capítulo se realizará una recapitulación de los resultados obtenidos en cada uno de los capítulos anteriores. En primer lugar se expondrán de forma resumida las conclusiones obtenidas en esta tesis doctoral. Le seguirá un apartado donde serán resaltadas las aportaciones del presente trabajo al campo de los reductores activos de armónicos. Para finalizar, se indicarán algunas sugerencias para futuros trabajos de investigación relacionados con la materia aquí tratada.

5.1 Conclusiones.

El valor de los armónicos de baja frecuencia de la corriente de entrada de una fuente conmutada puede ser controlado mediante diferentes estrategias. De entre todas es estrategias mostradas en el capítulo 1, fueron seleccionadas para este trabajo aquellas topologías que reducían el contenido armónico de forma automática utilizando salidas auxiliares alimentadas desde el transformador del convertidor CC/CC, verdadero núcleo del convertidor. Las principales razones que motivaron esta elección fueron la sencillez de su implementación (sólo necesita un lazo de control) y su bajo coste (necesita pocos componentes añadidos).

Tras el estudio de los fundamentos que permitían a las topologías existentes limitar el contenido armónico de la corriente de entrada se ha profundizado en una familia completa de posibles soluciones. El mecanismo utilizado para limitar la corriente de entrada en este tipo de soluciones es interponer entre el rectificador de entrada y el condensador de almacenamiento un elemento que presente alta impedancia. Este elemento ha sido denominado Red de Alta

Impedancia (RAI). Como RAI se han seleccionado aquellas cuya topología estaba relacionada con el convertidor directo.

Mediante la clasificación realizada se han obtenido nuevas topologías no estudiadas anteriormente (Rectificador de onda completa tipo 1 con sólo bobina retrasadora y rectificador de onda completa tipo 2 sin bobina de filtro). Además, ha permitido que topologías como el “interruptor magnético” puedan ser incluidas dentro de la clasificación aquí mostrada, gracias al enfoque generalizado que se le ha dado al trabajo.

Para cada una de las topologías estudiadas y cada una de las posibles topologías del convertidor principal utilizado, se ha obtenido de forma detallada la forma de corriente en cada periodo de conmutación para todos los posibles modos de funcionamiento. El funcionamiento de cada una de ellas se ha resumido en su característica tensión corriente y del análisis de estas características se han extraído las siguientes conclusiones:

- En las topologías que contienen tanto bobina de filtro como bobina retrasadora la diferencia entre las características obtenidas con $K=1$ y valores de K superiores es muy pequeña (especialmente en las topologías de onda completa). Además, en estos casos, aunque pueda modificarse en parte la impedancia de la característica, el valor de pico de la corriente no se ve incrementado como consecuencia de la reducción del valor de la bobina de filtro (esto sucede incluso para valores de K tan pequeños como 0,5).
- La bobina de filtro en la topología de onda completa con dos diodos, no aporta ningún beneficio adicional. Incluso para $K=0$, la diferencia entre los valores medios y los valores de pico de la corriente de entrada es pequeñísima.
- La topología que presenta mayor impedancia con menor tamaño de bobinas es el rectificador de onda completa y 4 diodos. El rectificador de onda completa con transformador de toma media tendrá aproximadamente la mitad y el rectificador de media onda la cuarta parte. Estas apreciaciones son más precisas a medida que aumenta el valor de K .
- El modelo ideal “Fuente de tensión y resistencia sin pérdidas” es aplicable (cometiendo un leve error) a las topologías con bobina de filtro y bobina retrasadora incluso para valores de $K=1$. Para el caso particular del rectificador con transformador de toma media incluso para $K=0$.

El diseño de RAA utilizando el modelo resistencia sin pérdidas es válido en los casos planteados en el párrafo anterior. Para el resto de las topologías deberán utilizarse las hojas de cálculo desarrolladas en este trabajo o los ábacos incluidos en el capítulo 2. Estos diseños consideran que la tensión en el condensador de almacenamiento es constante, siendo esta premisa la más restrictiva desde el punto de vista del cumplimiento de la norma IEC-61000-3-2. Utilizando estos ábacos podrán diseñarse RAA tanto para cumplir en Clase A como en Clase D.

Del estudio de la EMI conducida en modo diferencial se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Aunque el tamaño de la bobina de filtro sea muy grande es necesario incluir un filtro EMI (aún sin tener en cuenta las interferencias en modo común).
- Utilizar una bobina de filtro similar a la retrasadora ($K=1$) reduce apreciablemente el rizado de alta frecuencia. Bobinas de filtro de mayor tamaño no afectarán apreciablemente al contenido armónico de alta frecuencia.
- Dado que el filtro EMI es imprescindible, y desde el punto de vista del tamaño de los componentes magnéticos (bobinas) es más rentable aumentar el tamaño del filtro EMI que el tamaño de la bobina retrasadora.

La utilización de RAI con bobina retrasadora afecta al funcionamiento del convertidor principal de muy diferentes formas, que pueden ser resumidas como:

- Las RAI con rectificadores de media onda afectan de una forma moderada a las topologías principales que las albergan.

- Las RAI con rectificador de onda completa no pueden ser utilizados en los convertidores directos.
- Las RAI con rectificadores de onda completa producirán funcionamientos anómalos en el convertidor principal independientemente del número de transistores del mismo.
- Los funcionamientos anómalos son los causantes de un rizado adicional a la salida. Esta perturbación no puede ser corregida con un control en modo tensión. El control en modo corriente promediada da unos resultados satisfactorios.

Para finalizar mencionar que las RAI de onda completa son las más eficientes (desde el punto de vista del tamaño de los magnéticos) y para trabajar con tensiones universales se recomienda la utilización de topologías con doblador, ya que el rendimiento del convertidor se verá muy afectado si es diseñado para trabajar en un amplio rango de tensiones de entrada.

5.2 Aportaciones.

Si bien el tema de los Reductores Activos de Armónicos no es una tecnología emergente, se han realizado mejoras y se han tratado aspectos no estudiados en trabajos anteriores. Además, como ya ha sido mencionado pueden considerarse como nuevas topologías de RAI al rectificador de cuatro diodos sin bobina de filtro y al rectificador de dos diodos sin bobina de filtro especialmente en los diseños con convertidor de retroceso, ya que en los diseños de onda completa puede encontrarse en la referencia [5.1]. Esa topología ya había sido estudiada en este trabajo ya que estaba dentro de la clasificación inicialmente propuesta.

Desde el punto de vista de las mejoras, decir que se ha reducido el tamaño de las bobinas de filtro haciéndolas tres o cuatro veces inferiores a las utilizadas por otros diseñadores. Además se ha comprobado que esta reducción de tamaño no afecta al funcionamiento del convertidor, ya que las corrientes máximas que por él circulan no son modificadas. El único aspecto que se ve afectado por esta reducción de tamaño es el contenido de EMI conducida en modo diferencial del convertidor. A este respecto se ha demostrado que es más rentable “invertir” en tamaño del filtro EMI que en tamaño de la bobina del filtro de la RAI.

Se ha aportado un método de cálculo para el diseño de RAA tanto en Clase A como en Clase D que puede ser utilizado para el diseño de RAA de cualquier rango de potencias y para cualquier configuración de las incluidas en este trabajo. Si bien existían métodos para el diseño de RAA para algunas de las RAI, estos habían sido deducidos a partir de modelos simplificados. El método propuesto permite estudiar el funcionamiento de las RAI en todos los modos posibles.

Por último es también aportación de este trabajo la descripción de todos los funcionamientos anómalos, su influencia sobre la tensión de salida y el estudio del sistema de control necesario para su corrección.

5.3 Futuros trabajos.

Dentro de la misma línea de trabajo incluida en esta tesis se propone el estudio del efecto producido por la utilización de un condensador de filtrado a la salida de la RAI sobre el contenido EMI diferencial. Este estudio es planteado en esta trabajo pero no ha sido desarrollado en profundidad.

Por otra parte, este trabajo puede ser completado con el estudio de topologías para la integración magnética de las bobinas de la RAI. Son especialmente interesantes y factibles las soluciones para la RAI con transformador de toma media. La posición de las dos bobinas retrasadoras y la no necesidad de bobina de filtro hacen factible un análisis de este tipo.

Bibliografía

- [5.1] Jindong Zhang, Fred C. Lee, Milan Jovanovic “A Novel Interleaved Discontinuous-Current-Mode Single-Stage Power-Factor-Correction Technique with Universal-Line Input”. PESC 2001.