

1.2.- OBJETIVOS Y MÉTODOS

Esta Tesis está dirigida a obtener un modelo que permita predecir las perturbaciones conducidas que se propagan hacia la red de alimentación originadas por los convertidores conmutados. Como convertidor objeto del estudio y planta experimental se ha elegido un ondulator de tensión alimentado de red a través de un rectificador de diodos. Como carga del convertidor se tomará un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla. Se ha elegido esta planta por su interés práctico y su gran implantación en el mundo industrial. La descripción detallada de la planta experimental se trata en el punto 1.2.3. Un aspecto a destacar es que se ha trabajado sobre un equipo comercial, y no sobre un modelo simplificado de laboratorio.

1.2.1.- Objetivos

El objetivo de la Tesis es la obtención de un modelo que permita la determinación de las perturbaciones que aparecen en la red de alimentación originadas en los convertidores conmutados conectados a ella. En particular se estudiara el caso de la propagación de estas perturbaciones a través de una cadena de convertidores en cascada.

El modelo deberá permitir el estudio y *cuantificación* de la influencia sobre la generación de perturbaciones de dos tipos de parámetros:

- a) *Parámetros tecnológicos*: aspectos constructivos y de comportamiento no ideal de componentes. Se considerará el comportamiento en alta frecuencia de los componentes activos y pasivos del sistema.
- b) *Parámetros de control*: dentro de este epígrafe se incluyen diferentes patrones de conmutación que se aplican a los interruptores del inversor. Se considerarán dos tipos de modulaciones: una modulación vectorial clásica y otra de reducción del modo común.

Para estudiar los parámetros tecnológicos se utilizará un rectificador y un ondulator monofásico alimentando una carga RL, mientras que para probar las diferentes técnicas de modulación se utilizará para el inversor una configuración trifásica. En este último caso el inversor alimentará a un motor de inducción trifásico.

El objetivo del modelo es poder *predecir y cuantificar* en qué rango de frecuencias y en qué cuantía son eficaces las diferentes medidas correctoras que se introducen para reducir la emisión de perturbaciones conducidas, tales como los snubbers, condensadores de filtrado de alta frecuencia, diodos rápidos, técnicas de modulación especial... Esto permitirá abordar un estudio paramétrico del efecto sobre las emisiones de diferentes variables. De esta forma se tendrá una orientación en la elección de la solución más adecuada. También deberá permitir conocer la contribución de los dos tipos de propagación, modo común y diferencial, al nivel de

emisión total. Esta distinción, ignorada por la normativa en cuanto a niveles de emisión, es importante a la hora de elegir las medidas correctoras adecuadas, puesto que éstas son distintas para ambos modos.

1.2.2.- Métodos

Para alcanzar los objetivos propuestos se debe abordar el estudio de los siguientes aspectos:

- 1.- modelado de las perturbaciones generadas individualmente por cada convertidor (rectificador y ondulator).
- 2.- propagación de las perturbaciones hacia la red cuando ambos convertidores se conectan en cascada. Esto significa una cierta “superposición” de las perturbaciones generadas individualmente por el rectificador y el ondulator. De hecho, la presencia del rectificador producirá un efecto de modulación de la perturbación generada por el ondulator.
- 3.- caracterización de las impedancias del medio de propagación de las perturbaciones. Esto supone en primer lugar, identificar cuales son los caminos que recorre la perturbación desde la fuente de perturbación hasta la red y, en segundo lugar, medir su impedancia en el margen de frecuencias sobre el que se extiende el estudio. Por lo tanto será necesario disponer de un método de medida adecuado.
- 4.- desarrollar un sistema de medida que permita separar los modos de propagación en modo común, MC, y en modo diferencial, MD.

1.2.2.1.- Modelado de las perturbaciones individuales de cada convertidor

Se trata de obtener un modelo que permita predecir las perturbaciones generadas por cada convertidor individualmente, tanto desde el punto de vista temporal como frecuencial. Para ello se ensayarán por separado ambos convertidores, tal como muestran las Figuras 1.3 y 1.4, respectivamente.

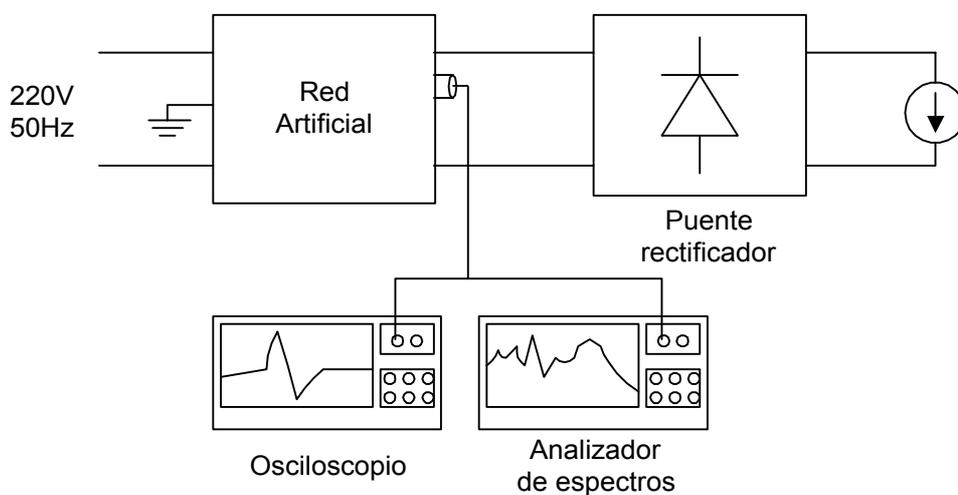


Fig. 1.3 Medida de las perturbaciones generadas por el rectificador

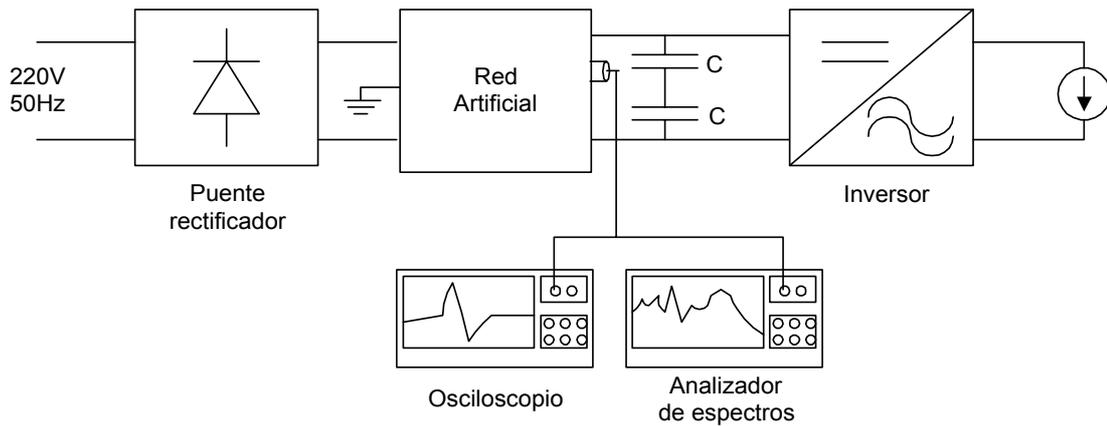


Fig. 1.4 Medida de las perturbaciones generadas por el ondulator

Las perturbaciones generadas por cada convertidor serán medidas con ayuda de una red artificial. De ella se puede obtener tanto el registro temporal como el espectro frecuencial con ayuda de un osciloscopio y de un analizador de espectros. Cabe señalar que en las Figuras 1.3 y 1.4 se representan únicamente las conexiones físicas realizadas, ignorándose los acoplamientos por impedancias parásitas entre las diferentes partes del sistema.

1.2.2.2.- Propagación de las perturbaciones a través de la conexión en cascada

Una vez determinadas las perturbaciones generadas por cada convertidor se debe determinar en qué modo se propagan hacia la red, a través del rectificador, las perturbaciones conducidas generadas por el ondulator. Estas perturbaciones se combinarán con las producidas por el propio rectificador. Se propone un método en que se combinan adecuadamente las perturbaciones generadas individualmente por cada convertidor de forma que se pueda determinar la perturbación global de la conexión en cascada.

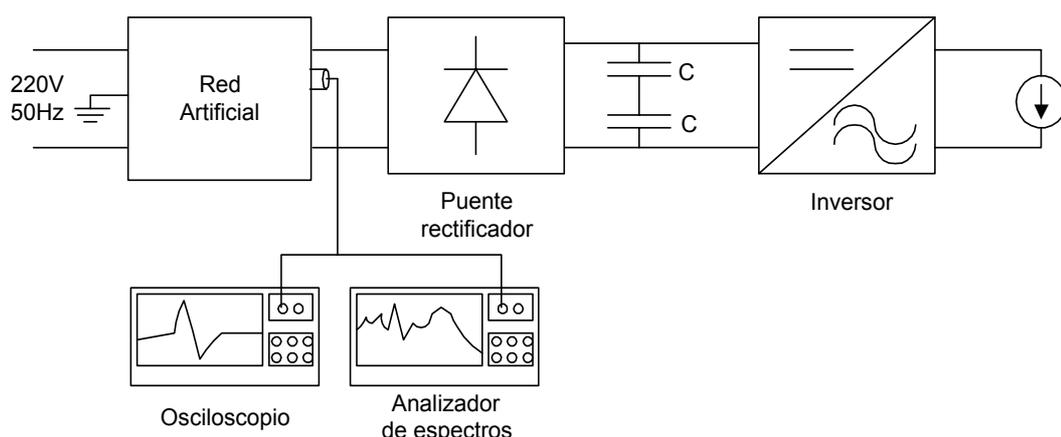


Fig. 1.5 Asociación de convertidores

De esta forma se podrá determinar las perturbaciones producidas por una asociación de convertidores en cascada a partir de las generadas por cada convertidor individualmente.

1.2.2.3.- Modelado del camino de propagación

Mientras que el camino de propagación en MD esta bien definido y es físicamente tangible (es el propio circuito), el circuito recorrido por las perturbaciones de MC no es tan evidente. Es un circuito invisible que se cierra a través de las impedancias parásitas entre las diferentes partes del sistema sometidas a variaciones bruscas de tensión y el retorno. Estas impedancias son distribuidas y su valor depende de la geometría y disposición física del sistema, por lo que su cálculo teórico resulta casi imposible en una disposición geométrica mínimamente compleja. Por lo tanto, la única opción para la estimación de su valor es la medida directa sobre la planta experimental.

Si bien son impedancias distribuidas, se pueden representar con un cierto grado de aproximación por un modelo de parámetros concentrados. Este tipo de circuitos equivalentes simplifican la formulación del modelo y por esta razón han sido elegidos para desarrollar este trabajo. Como se podrá comprobar, los resultados obtenidos por este procedimiento son suficientemente próximos a los obtenidos por ensayo experimental para frecuencias inferiores a los 5MHz.

Para la medida de estas impedancias se ha desarrollado un método de medida experimental basado en un analizador de espectros equipado con un generador de seguimiento. Con este método, que se describe con detalle en el Apartado 2.1 del Capítulo 2, se puede medir con fiabilidad suficiente el módulo de las impedancias que caracterizan el medio de propagación de las perturbaciones. El método de medida de impedancias desarrollado es alternativo a la utilización de un analizador de impedancias. La ventaja que ofrece el analizador de impedancias sobre el método basado en analizador de espectros es que se dispone de la medida de módulo y fase de la impedancia, mientras que con el analizador se carece de ésta última.

1.2.2.4.- Separación de los modos de propagación

Las medidas realizadas con red artificial normativa no distinguen entre los modos común y diferencial. Incluso los límites de la normativa hacen referencia a un nivel de emisión conjunto, sin distinción entre MC y MD. Sin embargo, el conocimiento de la contribución individual de cada uno de los modos de propagación al nivel total de perturbación es un dato de vital importancia para el correcto diseño de los filtros EMI. Por lo tanto, será necesario un método de medida que sea capaz de discriminar entre ambos modos de propagación. Se consideran tres opciones:

- pinza de corriente de alta frecuencia
- utilización de un power splitter
- utilización de circuitos activos de gran ancho de banda

De los tres métodos anteriores se prefiere el de la pinza de corriente de alta frecuencia porque resulta más práctica. En una instalación real es fácil medir corrientes con la pinza amperimétrica. Sin embargo, el power splitter requiere la utilización de una red artificial y no es efectivo para bajas frecuencias. Desde el punto de vista de su validez como métodos de medida, ambos son satisfactorios, pero el de la pinza amperimétrica resulta de más fácil aplicación fuera del laboratorio. En cuanto al tercer método, presenta ciertos inconvenientes en cuanto a margen dinámico y estabilidad de funcionamiento [36].

1.2.3.- Descripción de la planta experimental

Como planta experimental se ha utilizado un inversor de potencia trifásico de la firma SALICRU, construido con un puente rectificador modelo SKD 30/12 A1 y unos módulos de IGBT modelo SKM50GB 123D ambos de la casa SEMIKRON [8]. La disposición de los semiconductores sobre el radiador se puede ver en la Figura 1.6 (Todas las Figuras de este Apartado se encuentran en el Anexo Fotográfico)

En la Figura 1.7 aparece la placa de drivers de los interruptores. En ella se aprecia también la fuente conmutada de alimentación y el transformador de aislamiento con múltiples secundarios para obtener una alimentación independiente para los drivers. Esta placa recibe las señales de encendido/apagado de los interruptores de la placa de protecciones y genera las señales de error producidas por desaturación de los interruptores, por alta o baja tensión en el bus de continua, o por sobretemperatura del radiador.

En la Figura 1.8 aparece la placa de protecciones lógicas. Esta placa ha sido desarrollada por D. Bedford, en colaboración con el Instituto de Cibernética. Su misión es gestionar las señales de error que genera la placa de drivers. En caso de producirse alguno de ellos, deshabilita el funcionamiento del inversor, dejando todos los interruptores abiertos.

En la Figura 1.9 aparece una imagen de todo el sistema completo, montado tal como se utilizó en la parte experimental de la Tesis. La placa de protecciones está montada sobre la de drivers y separada de ella por un plano de masa para evitar interferencias que perturben su normal funcionamiento. Todo el conjunto reposa sobre una mesa de madera cuya superficie está forrada por una lámina de aluminio que actúa como superficie equipotencial. Esta plancha se encuentra conectada al punto medio de la red artificial, a las carcasas de los aparatos de medida y a tierra (terminal de protección). Se ha puesto especial cuidado en minimizar la impedancia de conexión entre el plano de referencia y los instrumentos de medida, es decir, se ha intentado garantizar al máximo la equipotencialidad del plano de masa.

Los instrumentos de medida que se han utilizado son un analizador de espectros Tektronix 2712 equipado con un generador de seguimiento [37] [38] y un osciloscopio digital Tektronix

TDS 510A [39]. Para la medida de las corrientes de alta frecuencia circulantes en el sistema se utilizó una pinza amperimétrica modelo ESH2-Z1 de la casa Rhode-Schwarz. En el Apartado 1.5.2 se ofrecen mas detalles de este instrumento y se describe el modo de utilizarlo.