

INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA A LA RED

La confluencia de diversos factores como la reestructuración y liberalización del sector eléctrico, la evolución tecnológica (que permite reducir el coste mejorando la eficiencia de sistemas de generación cada vez más pequeños y modulares) y el creciente auge de las energías renovables, está definiendo las directrices de lo que constituirá un nuevo modelo de generación eléctrica en los próximos años: la Generación Distribuida o Distribución Activa. Existe ahora en el sector eléctrico un desafío con la Generación Distribuida cuyo crecimiento y conexión a la red eléctrica tendrá con seguridad gran influencia en la calidad del suministro.

El presente artículo trata de enmarcar los campos de trabajo existentes en la complicada tarea de la interconexión de sistemas de Generación Distribuida a la red eléctrica y que es uno de los campos de trabajo actuales del Departamento de Energía de la Fundación Labein:

- Interconexión a red y calidad de onda, dos conceptos presentes en el marco legal.

- El punto de interconexión a red: Los inversores.

- Técnicas de control y simulación.

- Mejora de la fiabilidad de suministro: FACTS y Custom Power.

Como consecuencia de todo ello, en los últimos años se ha producido un cambio radical en el sector eléctrico a nivel legislativo. Los nuevos requisitos de calidad conllevan un nuevo orden de magnitud, tanto cualitativa (parámetros definidos reglamentariamente) como cuantitati-

Eugenio Perea, Ingeniero de Telecomunicaciones
Eduardo Zabala, Dr. Ingeniero Industrial
Emilio Rodríguez, Ingeniero de Telecomunicaciones
Asier Gil de Muro, Ingeniero Industrial

vamente (número de consumidores).

El desarrollo de normativas en el ámbito de la interconexión de sistemas a la red eléctrica y, como consecuencia, también de calidad de onda eléctrica se fundamenta en el conocimiento de los problemas asociados a estos dos puntos (conexión y calidad). Así, existen una gran cantidad de actividades en todo el mundo para el desarrollo de normativas concernientes a la potencia y calidad de potencia. Por ejemplo, podemos citar el EPRI (*Electric Power Research Institute*), que lleva a cabo proyectos de investigación, guías y documentos de referencia que proporcionan entradas de información durante el desarrollo de normativas.

Los Grupos de trabajo internacionales para el desarrollo de normas de calidad de onda eléctrica son:

- Power Engineering Society** (PES) del IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), del que hay que destacar los Comités IEEE SCC-21 y el IEEE SCC-22, "*Standards Coordinating Committee on Power Quality*" entre otros muchos.

Cabe reseñar la norma IEEE P1547, "*Distributed Resources and Electric Power Systems Interconnection*" como indicativa del problemas de la interconexión de fuentes de Generación Distribuida a la red eléctrica. Es la norma donde se fijan los requisitos de interconexión en Generación Distribuida (GD).

- IEC, que es una organización basada en Comités nacionales y que

desarrolla normas relacionadas con el equipamiento eléctrico, servicios y metrología. Está dividido en cuatro Comisiones

Técnicas: SC37A (*Low voltage surge protective devices*), SC77A (*EMC-Low frequency phenomena*), TC-á4 (*Electrical Installations*), TC81 (*Lightning protection*).

- Otros Organismos internacionales son UIE (*International Union of Electricity Applications*), CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) o ANSI (*American National Standards Institute*).

En el ámbito estatal cabe reseñar la Ley 54/1997, desarrollada mediante el Real Decreto 1955/2000 y por la Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo, por la que se aprueba el procedimiento de medida y control de la continuidad del suministro eléctrico. El anterior marco legal establece los requisitos de la calidad de suministro eléctrico en España, así como su medida y control. Además, la norma UNE-EN 50140 es la referencia normativa a nivel europeo para los parámetros de calidad de onda.

En el aspecto relativo a la interconexión de sistemas eléctricos de potencia hay que mencionar:

- La Orden Ministerial de 5 de septiembre de 1985, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 500 kVA y centrales de autogeneración eléctrica.

- El Real Decreto 1443/2000, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

- El Real Decreto 2818/1998, que trata sobre la producción de

energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración.

El punto de conexión a red: Los inversores

Muchos de los circuitos clásicos de electrónica de potencia son empleados en los sistemas de Generación Distribuida para la modificación y adaptación de la energía. Por ejemplo, la conexión de fuentes de energía a la red se lleva a cabo mediante inversores controlados digitalmente. El convertidor CC/CA o inversor permite entregar la energía proveniente de una fuente de tensión o corriente continua a la red. Esta fuente puede proceder de un generador de corriente continua (por ejemplo paneles fotovoltaicos) o de un rectificador. Estos sistemas tienen gran importancia dentro de la Generación Distribuida, ya que de ellos depende la calidad de la onda. Esta dependerá tanto del ti-

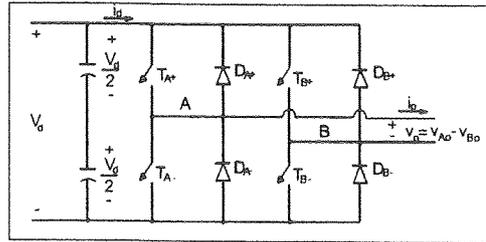


Figura 1: Convertidor de puente completo.

po de control aplicado al inversor como de los filtros de salida.

El control más completo de la parte CC/CA se realiza mediante el convertidor de puente completo (Full-bridge) ilustrado en la figura adjunta.

Existen los siguientes modos de control de los inversores de puente completo:

- PWM (modulación de anchura del pulso, *Pulse Width Modulation*): mediante esta técnica podemos controlar la amplitud y la frecuencia del primer armónico de la tensión de salida.

- Onda cuadrada: Sólo permite

el control de la frecuencia del primer armónico de la tensión de salida; la amplitud de la tensión es siempre fija (se debería controlar por otros medios).

Técnicas de control y simulación

Para llevar a cabo el control del inversor, lo primero es calcular las intensidades que hay que inyectar en la red. Por ejemplo, si se quisiera diseñar un inversor que inyecte potencia activa a la red y que, a la vez, realice una compensación de la energía reactiva de una línea de distribución, el proceso a seguir es el de las técnicas de control vectorial que utilizan las transformaciones de Clark, o "Field Orientation", y la de Park. De esta forma, primero se miden las corrientes y tensiones de línea; posteriormente se calculan las potencias activa y reactiva instantáneas y, por último, se calculan las corrientes de referen-

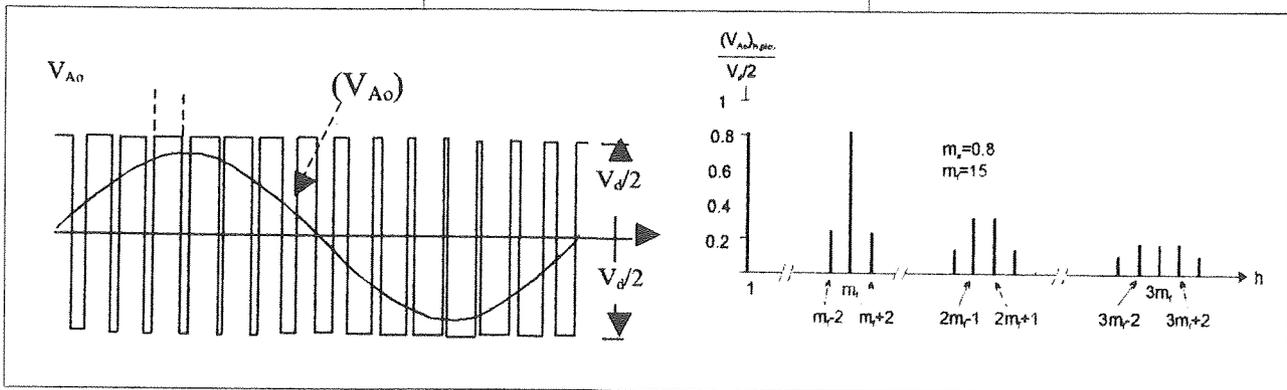


Figura 2: Control de inversor mediante la técnica PWM.

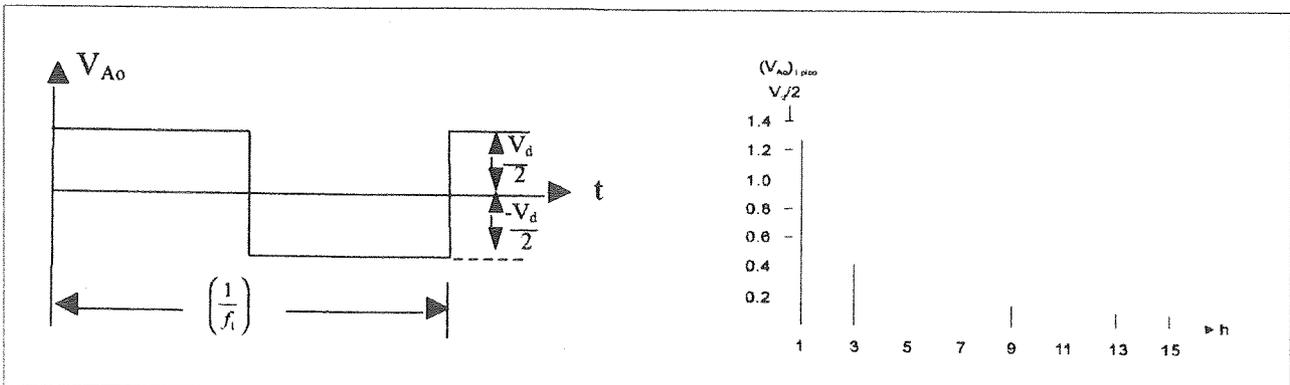


Figura 3: Control de inversor mediante una onda cuadrada.

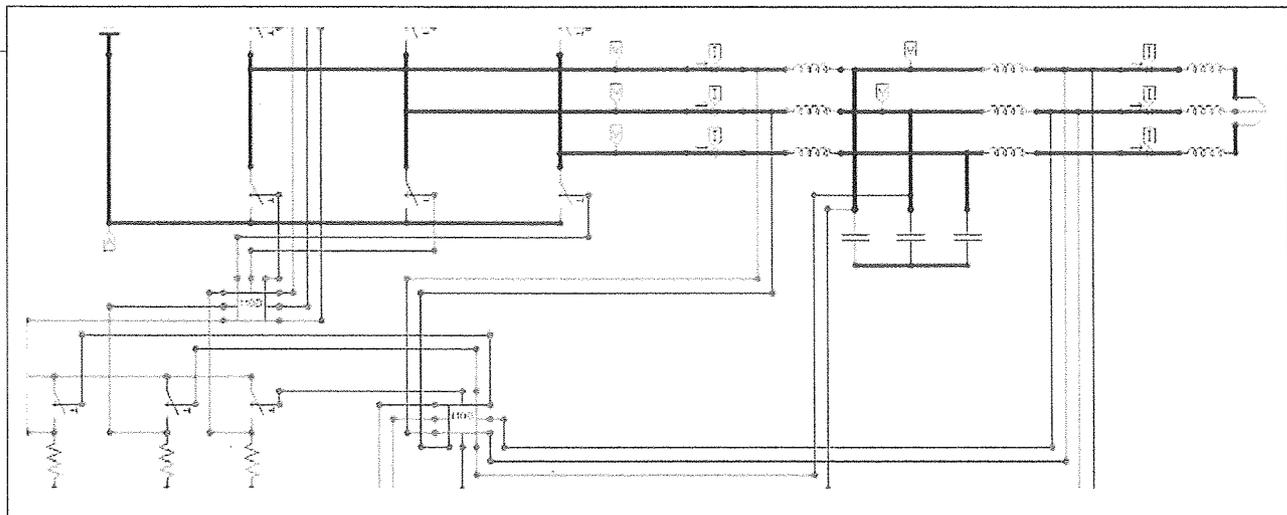


Figura 4: Modelo de conexión a red a través de un inversor para su simulación mediante EMTP.

cia. Si se quisiera un control más preciso, sería necesario controlar las intensidades del inversor y la línea mediante mediciones de las intensidades y tensiones en el filtro y cálculo de los errores respecto de los valores de referencia.

Las técnicas de control también pueden realizarse mediante Simulación, cuyos programas más utilizados son:

- ATP-EMTP (*Alternative Transient Program o ElectroMagnetic Transient Program*) utilizado para simular transitorios electromagnéticos, electromecánicos y de sistemas de control en sistemas eléctricos polifásicos de potencia.

- PSCAD-EMTDC, que es también un simulador de transitorios para redes eléctricas.

- Microtran, programado en 1987 con el objetivo de ser la versión de ordenador del más conocido EMTP.

- Matlab – Simulink / PSB (*Power System Blockset*). PSB es un *toolbox* para Matlab que permite simular sistemas eléctricos polifásicos de potencia. Aunque no es un *software* diseñado específicamente para simular transitorios, es capaz de hacerlo correctamente. Se muestra especialmente potente a la hora de simular sistemas de control.

En la figura 4 se muestra una simulación llevada a cabo en el Departamento de Energía de Labein mediante EMTP, en la que el modelo para el control de los switches podía realizarse mediante un componente denominado Model o mediante los TACS (*Transient Analysis of Control Systems*).

Las intensidades obtenidas en la simulación, y representadas en las siguientes figuras están realizadas para un sistema trifásico a 380 V y 5 kW de potencia activa. Se representan la intensidad a la salida del inversor (en

rojo), la que se entrega a la línea (en azul) y la que circula por el condensador del filtro (en verde).

Mejora de la fiabilidad de suministro: FACTS y Custom Power

La preocupación por la fiabilidad de suministro eléctrico es creciente. Hoy en día, en la era de automatización, los ordenadores y la robótica, el nuevo concepto de fiabilidad de suministro adquiere gran relevancia que el número de interrupciones, fluctuaciones de tensión, sobretensiones y duración de las mismas es mucho más importante que el número acumulado de horas de interrupción.

Por otra parte, los avances en los dispositivos semiconductores de potencia (GTO: *Gate-Turn-Off Thyristor*, IGBT: (*Insulated Gate Bipolar Transistor*, MCT: *MOS-Controlled Thyristor*) han permitido la aparición de nuevas tecnologías cuyo objetivo es proveer mejor calidad de onda

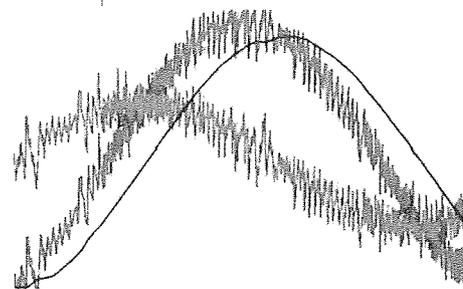
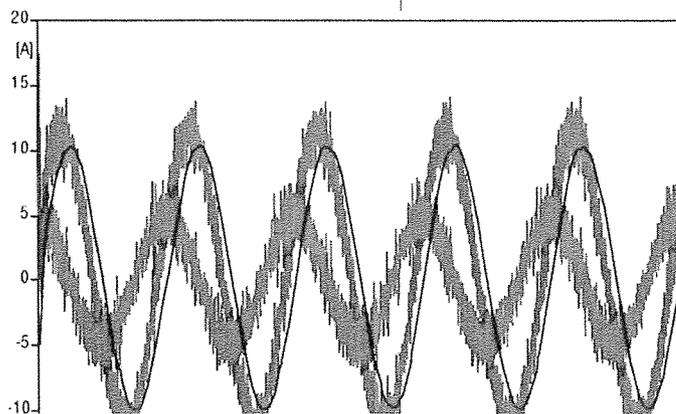


Figura 5: Resultados de la simulación con EMTP de la conexión a red a través de un inversor. En rojo: intensidad a la salida del inversor; en azul, intensidad entregada a la línea y en verde, intensidad que circula por el condensador del filtro.

eléctrica al cliente. De esta forma se introducen en el mercado las tecnologías basadas en semiconductores de potencia: FACTS y *Custom Power*.

FACTS

Los *FACTS (Flexible AC Transmission Systems)* son sistemas de potencia que permiten mejorar las características para la transmisión de la energía eléctrica. Tradicionalmente se han utilizado en líneas de transporte, mejorando la capacidad de una línea para transportar energía eléctrica y permitiendo optimizar sus costes, para una misma potencia transmitida y calidad del suministro, a causa del aumento del margen de funcionamiento.

Muchos de los sistemas instalados son electromecánicos. Gracias al avance de la Electrónica de potencia, especialmente las prestaciones de los componentes electrónicos de potencia en cuanto a la tensión e intensidad que son capaces de gestionar, los FACTS se basan cada vez más en sistemas electrónicos de potencia.

Permiten mejorar la transmisión de energía eléctrica de una línea controlando su consumo de energía activa y reactiva. Mediante diferentes técnicas y topologías los sistemas FACTS mejoran las siguientes características de una línea de transporte de energía eléctrica:

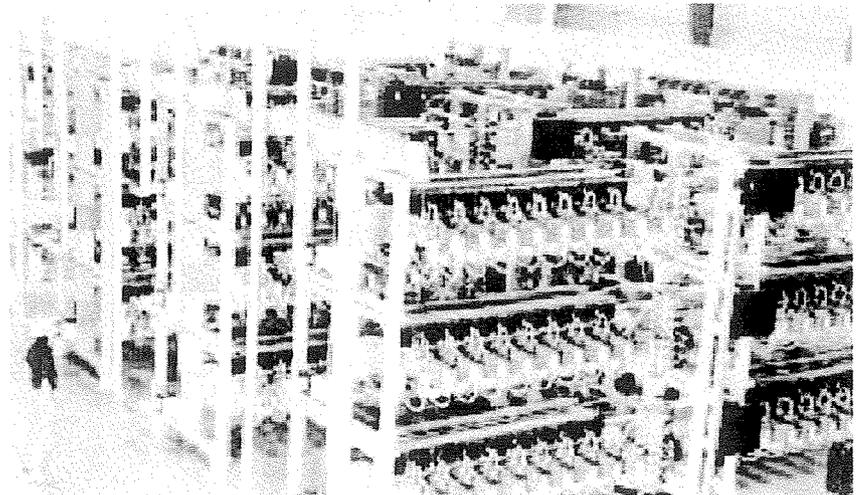
- Aumento de la capacidad de transmisión de potencia al objeto de minimizar el número de líneas de transporte instaladas.
- Aumento del margen de estabilidad de la línea.
- Atenuación de las oscilaciones de potencia.

FACTS en Distribución Activa

Ante el nuevo mercado de la Distribución Activa o Generación Distribuida, se impone la flexibilidad de la transmisión en función de los parámetros variables del nuevo mercado liberalizado de la energía eléctrica en cada momento. El hecho de

que la energía pueda variar dinámicamente en su camino desde generación a consumo exige mayor margen de diseño de las líneas. Sin embargo, sería conveniente limitar el trazado masivo de líneas de transporte y distribución a fin de minimizar el margen.

Esta flexibilidad (razón de ser de los sistemas FACTS) es también de gran interés en las redes de distribución, a medida que los sistemas de Distribución Activa adquieren mayor peso en el mercado de generación de energía eléctrica.



Custom Power

Es un concepto basado en el uso de controladores electrónicos de potencia en el sistema de distribución para proveer un suministro de valor añadido, más fiable y de mejor calidad. Hace referencia al suministro de una calidad específica a un cliente concreto por parte del proveedor y para ello se dispone un grupo en paralelo con la red. De esta forma se mejora el número de interrupciones, la magnitud y duración de las fluctuaciones de tensión dentro de unos límites determinados, la magnitud y duración de sobretensiones dentro de unos límites determinados, la distorsión armónica, los desequilibrios de tensión o el factor de potencia en la carga.

Los dispositivos *Custom Power* realizan funciones de regulación de

tensión, compensación de potencia reactiva, reducción de la tasa de control de armónicos o limitación de corrientes de cortocircuito. Los más utilizados son el UPS, DVR y el Statcom:

- *UPS (Uninterrupted Power Supply)* son Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) muy utilizados, que, ante la ocurrencia de un fallo en la red, permiten conmutar la alimentación de un conjunto de equipos desde la red de suministro eléctrico a un sistema alternativo local durante un periodo de tiempo.

Figura 6: FACTS para 160 MVA instalado en la subestación de INEZ (Kentucky), 1998.

- *DVR (Dynamic Voltage Restorer)* es un convertidor conectado a la línea de distribución mediante un transformador instalado en serie, que suma vectorialmente una tensión adecuada a la tensión de red. Permite controlar el flujo de potencia reactiva y activa, compensar huecos en la tensión de red y mejorar los desequilibrios entre fases.

- *D-Statcom (Distribution Static Compensator)*. Semejante al anterior, pero conectado mediante un transformador en paralelo, puede inyectar una tensión de amplitud y fase variables, que permita controlar la tensión y corregir el factor de potencia. ■