

Superredes, las redes eléctricas del futuro

Mònica Aragüés Peñalba

Eduardo Prieto Araujo

Agustí Egea Alvarez

Oriol Gomis Bellmunt

LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los sistemas de generación, transporte y distribución de la energía eléctrica han evolucionado a lo largo de la historia [1]. Las primeras redes de distribución europeas y estadounidenses funcionaban en corriente continua y a baja tensión, presentando considerables pérdidas en los cables. La aparición y difusión del transformador, junto con las mejoras en los generadores de corriente alterna, propiciaron el cambio del transporte en corriente continua a corriente alterna. Modificando los niveles de tensión, gracias al transformador, se lograba transportar la energía eléctrica a largas distancias disminuyendo las pérdidas. Por otro lado, mediante el generador de corriente alterna se producía electricidad a bajo coste usando turbinas hidroeléctricas. Durante el siglo XX el sistema eléctrico de transporte basó su funcionamiento en la corriente alterna, pero se siguieron investigando los sistemas de transmisión en corriente continua, hasta que hoy en día ambas tecnologías compiten por la hegemonía del sistema de transporte eléctrico.

El uso de una tecnología u otra depende de la viabilidad técnica, económica y ambiental de cada una [1]. En caso de que se requiera conectar dos sistemas que funcionan a diferente frecuencia (asíncronos), es necesario usar la tecnología HVDC (High Voltage Direct Current). Por otro lado, la potencia que se transmite mediante un sistema HVDC prácticamente no varía con la distancia, mientras que sí lo hace en HVAC (High Voltage Alternating Current), como consecuencia de los efectos de la potencia reactiva inherente que circula por los cables. Además, en las conexiones HVAC pueden aparecer inestabilidades debido al desfase que produce el efecto inductivo de los cables en los extremos de la transmisión. En HVAC, son necesarias compensaciones de potencia reactiva para mantener la tensión deseada en ambos extremos

y los requisitos de estas compensaciones aumentan con la distancia. En cambio, la tecnología HVDC las líneas no necesitan compensación y los convertidores permiten dar soporte a la red a través del control de potencia reactiva.

A pesar de las ventajas que presenta la tecnología HVDC frente a la HVAC, siguen existiendo factores que justifican la opción HVAC en multitud de aplicaciones. Éstos son, fundamentalmente, la complejidad de las protecciones en HVDC, la dificultad de la transformación de tensiones de corriente continua y el elevado coste de las estaciones de transformación

En términos económicos, resulta muy interesante comparar instalaciones equivalentes en transmisión de potencia, de tecnología HVDC y HVAC, analizando los costes asociados a cada una de ellas en función de la distancia de transmisión (ver Figura 1).

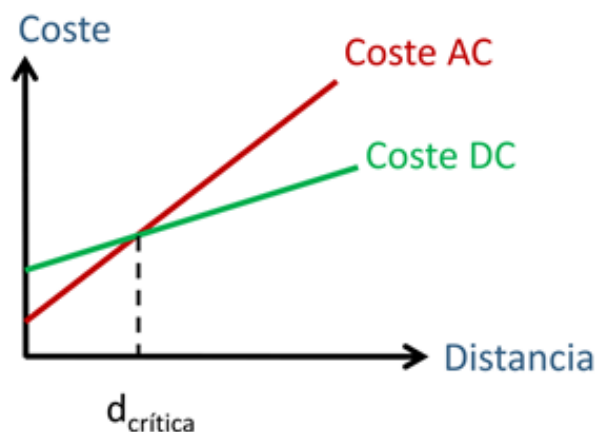


Figura 1. Evolución de los costes de instalaciones HVDC y HVAC en función de la distancia de la transmisión

En sistemas HVDC, el centro de conversión (elemento imprescindible) supone un mayor coste fijo, que se ve corregido por un menor coste de las líneas HVDC (menores pérdidas). Existe un punto de equilibrio (distancia crítica) donde el coste de las instalaciones DC y AC se iguala. Para distancias inferiores

a la crítica (dcrítica en la Figura 1) los costes de la conversión y sus pérdidas encarecen la opción HVDC frente a la HVAC. Pero, para distancias superiores a la crítica, la instalación HVDC resulta más económica. Cuanto mayor es la distancia de la transmisión más económica es la instalación HVDC frente a la HVAC. En transmisiones subterráneas y submarinas el valor de la distancia crítica se sitúa entre 50 y 100 km, mientras que en transmisiones con líneas aéreas, la distancia crítica se aproxima a los 600-800 km. Este análisis demuestra que la transmisión de energía en corriente continua no es solo viable tecnológicamente, sino que económicamente resulta más rentable que la transmisión en alterna, en multitud de aplicaciones.

TECNOLOGÍAS HVDC

Las instalaciones HVDC se pueden clasificar en LCC y VSC en función de la tecnología de convertidores que incorporan: LCC (Line Commutated Converter o convertidores que conmutan con la red eléctrica) se refiere a los convertidores basados en tiristores y VSC (Voltage Source Converter o Convertidores en Fuente de Tensión) se vincula a los convertidores basados en IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors o Transistores Bipolares de Puerta Aislada).

La tecnología LCC fue la primera tecnología HVDC desarrollada. Permite trabajar a tensiones de 800 kV y potencias que superan 1 GW. La tecnología VSC, que se empezó a comercializar hace unos 20 años, puede trabajar a tensiones nominales de 350 kV y potencias máximas de 1 GW. Esta última permite un control independiente de potencia activa y reactiva, presenta bajo contenido armónico y la posibilidad de reiniciar el sistema eléctrico desde cero después de un apagón sin necesidad de unidades generadoras tradicionales, aumentando enormemente las posibilidades de funcionamiento y operación de las conexiones HVDC [2]. A nivel mundial el mercado de la tecnología HVDC está dominado por tres grandes fabricantes: Siemens, ABB y Alstom Grid.

SUPERREDES

Gracias a distintos avances tecnológicos en el campo de la electrónica de potencia y a las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), aparece un nuevo concepto para la transmisión de grandes potencias: las Superredes [3]. Las Superredes surgen de extender las conexiones HVDC punto a punto hacia redes con múltiples nodos, flexibilizando el funcionamiento del sistema eléctrico, presentando gran una capacidad de control y operatividad.

La estructura eléctrica de la superred se basa en lo que se conoce como un sistema multiterminal en corriente continua (M-HVDC). Su control y protección aún se encuentra en fase de estudio y desarrollo. La Figura 2 muestra distintas propuestas de conexión de los diferentes parques eólicos y convertidores de red para configurar la futura Superred [4]. Actualmente, tanto su control [5-6], como su protección [7] y integración a la red convencional [2] son tres temas objeto de estudio para investigadores y empresas del sector eléctrico.



Figura 2. Propuesta de cómo podría ser la futura superred Europea según Friends of the SuperGrid. Fuente: Friends of the SuperGrid [8].

La tecnología de convertidor que se está perfilando como candidata para la Superred es el convertidor VSC modular multinivel MMC (Modular Multilevel Converter) basada en transistores IGBT. Se basa en fuentes de tensión conectadas en serie, a través de un pequeño convertidor, que se conectan y desconectan de forma escalonada para formar una onda sinusoidal. Existen dos variantes de los esquemas básicos de

convertidores MMC en función de la tipología de los pequeños convertidores que lo integran, una basada en la unión de convertidores de medio puente, y la otra basada en un puente completo. La diferencia entre ellos reside en la posibilidad que presenta el puente completo de bloquear cortocircuitos. A nivel de características de operación, los convertidores MMC presentan una mayor capacidad de control y una mínima distorsión armónica, en cambio muestra mayores pérdidas en comparación con las clásicas tecnologías de convertidores de dos o tres niveles. La instalación de este tipo de convertidores ya se encuentra en fase comercial, un ejemplo de ello es el enlace subterráneo HVDC basado en tecnología VSC que se está construyendo entre España y Francia.

A gran escala, a medida que se fueron planteando y desarrollando proyectos de esta tecnología en Europa, la posibilidad de unir diferentes centros de conversión, mediante nuevos enlaces HVDC, creando una gran red eléctrica en corriente continua fue cobrando cierto sentido. Teniendo en cuenta las grandes cantidades de potencia que podría transportar, estaría compuesta por varias estaciones generadoras, varios puntos de conexión a la red de transporte y podría incorporar nodos como parques eólicos marinos o plataformas petrolíferas. Actualmente, no existe ninguna Superred, pero sí iniciativas, trabajos y organizaciones que la respaldan, como por ejemplo el proyecto European Supergrid [8], que plantea la creación de dicha red europea.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Gutiérrez J.I. Frau. Transporte de energía eléctrica en corriente continua: HVDC, Automática e Instrumentación, nº 361, Abril 2005.

[2] Oriol Gomis-Bellmunt, Agustí Egea-Alvarez, Adrià Junyent-Ferré, Jun Liang, Janaka Ekanayake and Nick Jenkins, Multiterminal HVDC-VSC for offshore wind power integration, Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE , pp.1-6, 24-29 July 2011

[3] Agustí Egea y Oriol Gomis. Las futuras autopistas paneuropeas de la energía eléctrica, Automática e

Instrumentación, nº 443, Septiembre 2012.

[4] Oriol Gomis-Bellmunt, Jun Liang, Janaka Ekanayake, Rosemary King and Nicholas Jenkins, Topologies of multiterminal HVDC-VSC transmission for large offshore wind farms, Electric Power Systems Research, Volume 81, Issue 2, February 2011, Pages 271-281.

[5] Mònica Aragüés-Peñalba, Agustí Egea-Alvarez, Oriol Gomis-Bellmunt and Andreas Sumper, Optimum voltage control for loss minimization in HVDC multi-terminal transmission systems for large offshore wind farms, Electric Power System Research, vol. 89, pág. 54-63, ISSN 0378-7796.

[6] Eduardo Prieto-Araujo, Fernando D. Bianchi, Adrià Junyent-Ferre and Oriol Gomis-Bellmunt, Methodology for Droop Control Dynamic Analysis of Multiterminal VSC-HVDC Grids for Offshore Wind Farms, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26 Issue:4, pág. 2476-2485, ISSN 0885-8977.

[7] Fletcher Jin Yang, O'Reilly J.E, Multiterminal DC Wind Farm Collection Grid Internal Fault Analysis and Protection Design, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.25, no.4, pp.2308-2318, October 2010.

[8] Friends of the Supergrid, <http://www.friendsofthesupergrid.eu/>

AUTORES



Mònica Aragüés Peñalba. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica (UPC) e ingeniera de proyectos del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniera Industrial, con especialidad en electricidad por la ETSEIB en 2011. Su tesis doctoral trata sobre modelización, control y simulación de parques eólicos offshore conectados mediante alta tensión en corriente continua y alta tensión

en corriente alterna. Desde Noviembre 2012 forma parte de la sección local del PES-IEEE. Sus intereses de investigación incluyen la integración de energías renovables, el transporte en alta tensión en corriente continua y alta tensión en corriente alterna, las microrredes y la aplicación de electrónica de potencia a redes.



Eduardo Prieto Araujo. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica (UPC) e ingeniero de proyectos del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniero Industrial, con especialidad en automática por la ETSEIB en 2011. Su tesis doctoral trata sobre aplicaciones de control avanzado para la integración energías renovables a la red. Desde Noviembre 2012 forma parte de la sección local del PES-IEEE. Sus intereses de investigación incluyen máquinas eléctricas, integración de energías renovables, transporte en alta tensión en corriente continua, microrredes, electrónica de potencia y automatización industrial.



Agustí Egea Alvarez. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica (UPC) e ingeniero de proyectos del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniero técnico industrial en electricidad por la EUETIB en 2008 e Ingeniero Industrial por la ETSEIB en 2010. Su tesis doctoral trata sobre las redes de transmisión de energía en corriente continua. Desde Noviembre 2012 es presidente de la sección local del PES-IEEE. Sus intereses de investigación son la aplicación de la electrónica de potencia a redes de transporte y distribución, los accionamientos eléctricos, las energías renovables y la electrificación ferroviaria.



Oriol Gomis Bellmunt. recibió el título de Ingeniería Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona, en 2001 y el Doctorado en Ingeniería Eléctrica por la UPC en el 2007. En 1999 se unió a Engitrol S.L., donde trabajó como ingeniero de proyectos en la industria de automatización y control. En 2003, desarrolló parte de su Tesis doctoral en el DLR (Centro Aeroespacial Alemán) en Braunschweig (Alemania). Desde 2004 trabaja en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPC, donde es profesor y participa en el grupo de investigación CITCEA-UPC. Desde 2009 trabaja también en el Instituto de Investigación de Energía de Cataluña (IREC). Sus áreas de investigación incluyen actuadores eléctricos inteligentes, máquinas eléctricas, electrónica de potencia, integración de energías renovables a la red y automatización industrial.