

Un enlace directo

# Transporte eficiente de electricidad con HVDC Light®

JAN R. SVENSSON – La actividad de ABB en el ámbito de la HVDC se retrotrae hasta un estudio realizado por Gunnar Asplund, director de investigación de HVDC, en 1993 sobre la utilización de los VSC para la HVDC. En los años transcurridos desde entonces se han instalado por todo el mundo enlaces de HVDC aún mayores y más perfeccionados y la HVDC se ha convertido en un negocio de miles de millones de dólares para ABB.

Partiendo de los positivos resultados del estudio de Asplund, ABB inició en agosto de 1994 un gran proyecto para explorar más a fondo el método VSC.

El IGBT ha sido el caballo de carga de la nueva tecnología. Los IGBT son dispositivos de semiconductor metal-óxido (MOS) en los que la potencia necesaria para el control del componente es muy reducida y puede obtenerse del circuito amortiguador conectado en paralelo. Por lo tanto, no se precisa alimentación auxiliar a nivel del suelo para el grupo de puerta (GU). Además, el GU puede controlar con precisión el encendido y apagado del IGBT, lo que hace posible conectar los IGBT en serie.

La tecnología clave desarrollada por ABB fue la conexión en serie de IGBT encapsulados a presión ("press-pack") para manejar altas tensiones, junto con el desarrollo de un concepto de modo de fallos de cortocircuitos (SCFM) y un adecuado régimen de pruebas.

Para manejar correctamente IGBT conectados en serie hay que conmutar (encendido o apagado) todos al tiempo a fin de que cada uno sea sometido al mismo esfuerzo de tensión. En el caso de una estación HVDC con VSC, es necesario conmutar cientos de IGBT individualmente en una fracción de microsegundo.

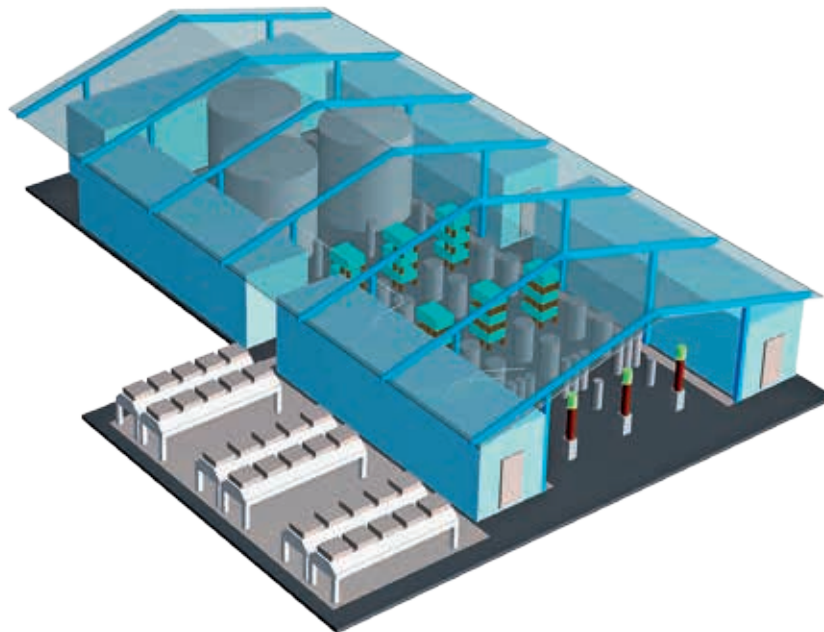
---

Una tecnología clave desarrollada por ABB fue la conexión en serie de IGBT encapsulados a presión para manejar altas tensiones.

Se desarrolló un concepto completo de conexión en serie, incluyendo diseño, fabricación y ajuste de los GU junto con los circuitos amortiguadores y la alimentación. Por último, se verificó el concepto construyendo un prototipo de puente H con cuatro IGBT conectados en serie por cada válvula.

La viabilidad del concepto HVDC con VSC se demostró en 1997 mediante un demostrador instalado entre Hallsjon y Grangesberg, en Suecia central, en una

## 1 Proyecto de HVDC Light en Gotland



línea de CA de 50 kV, de 10 km, temporalmente fuera de servicio. Las especificaciones del demostrador eran:

- Valores nominales de 3 MW /  $\pm 10$  kV, frecuencia de conmutación 1.950 Hz.
- Dos estaciones con VSC de dos niveles y tres fases.
- IGBT press-pack de 2,5 kV/250 A.
- IGBT refrigerados con agua desionizada.
- Mezcla de línea aérea y cable.
- Interruptor y seccionador de CC que utilizaba IGBT conectados en serie.

El 10 de marzo de 1997 se transportó energía eléctrica en el primer sistema HVDC con VSC del mundo. Fue seguido por un amplio programa de pruebas que demostró que el concepto cumplía todas las expectativas.

### Presentación de HVDC Light

En mayo de 1997, ABB lanzó HVDC Light e invitó a clientes a Suecia para seminarios y una visita de estudio al demostrador. El diseño de HVDC Light se basaba en un concepto modular con varios tamaños estandarizados en un margen entre 10 y 100 MW. El diseño tenía convertidores de dos niveles hasta unos  $\pm 80$  kV.

HVDC Light se presentó como un producto respetuoso con el medio ambien-

te: ya que la energía eléctrica se transporta a través de un par de cables subterráneos, no hay impacto visual. La tensión equilibrada con tierra elimina la necesidad de un electrodo, ya que no hay corriente de tierra y no se emite campo electromagnético desde el par de cables.

Las estaciones están diseñadas para que no precisen dotación humana y, en principio, no requieren mantenimiento. Pueden manejarse a distancia. La primera instalación piloto de HVDC Light empezó a funcionar en noviembre de 1999 en la isla sueca de Gotland con dos cables extruidos de 80 kV, con una longitud total de 140 km que conectaban las estaciones terminales → 1.

### Aplicaciones

Como tal generador síncrono, el VSC crea sus propias tensiones de fase. Un controlador en cascada consigue un rápido control de las corrientes activa y reactiva de forma independiente entre sí en un controlador interno, mientras que el otro controlador exterior, más lento, supervisa la referencia de potencia activa o bien la de la tensión del enlace de CC, utilizando la corriente activa. La corriente reactiva se usa para controlar la tensión de CA o para inyectar/consumir energía reactiva. El controlador en

cascada junto con los bucles de control exterior permiten atender a una amplia variedad de ámbitos de aplicación, por ejemplo:

- Redes de interconexión.
- La conexión de activos de producción de energía alejados del consumidor (por ej., energía eólica marina) y la alimentación de cargas remotas (por ej., electricidad desde la costa a plataformas de petróleo y gas).
- Los enlaces de CC en redes de CA mejoran el rendimiento de éstas. HVDC Light elimina los cuellos de botella de las redes existentes y facilita los derechos de paso para las líneas de cables. Además, HVDC Light mejora la estabilidad y la fiabilidad de las redes de CA y aumenta la calidad de la energía eléctrica.
- Suministro a centros urbanos. HVDC Light ocupa poco espacio y su tecnología de cable facilita el derecho de paso en las rutas existentes.

### Tensiones y potencias mayores

Para satisfacer la demanda de los clientes de mayores potencias y menores pérdidas, los semiconductores de potencia de HVDC y su encapsulado han experimentado un desarrollo continuo. Esto ha permitido la optimización de las topologías de convertidores y los algorit-

La viabilidad del concepto HVDC con VSC se demostró en 1997 mediante un demostrador de 10 km, de 3 MW /  $\pm 10$  kV, instalado en Suecia central.

2 Plataforma Troll A. La estación HVDC Light es el bloque gris entre las grúas



mos de control, incluyendo las estrategias de modulación del ancho de impulso (PWM).

#### HVDC Light: 2002–2005

Se creó una nueva generación de cable extruido aislado con polímero, que permitiera una tensión del enlace de CC de  $\pm 150$  kV. Asimismo se desarrolló una estación convertidora utilizando un VSC de punto neutro activo fijado de tres niveles. Estos se utilizaron en dos proyectos: Cross Sound Cable, de 330 MW, y Murray Link, de 220 MW. La separación entre estaciones en este último es de 180 km.

#### HVDC Light: 2005–2007

En un avance posterior, una nueva generación de semiconductores hizo posible retornar a la topología de convertidor de dos niveles empleando un algoritmo de PWM optimizado. Se ejecutaron varios proyectos, incluidos el enlace de Caprivi, de 300 MW, que fue el primer HVDC Light con un enlace aéreo para conectar las partes nordeste y central de Namibia (950 km).

#### HVDC Light: 2007–actualidad

El HVDC Light más reciente suministra energía con menores pérdidas utilizando una topología de convertidor modular multinivel (MMC) con células de convertidor de semipunto. Este avance técnico ha permitido proyectos tales como el DolWin1, de 800 MW, que es el primer proyecto de HVDC Light en el que se

utilizan cables extruidos de 320 kV; y el North Sea Link, de 1.400 MW, que es una conexión HVDC Light bipolar entre Noruega y el Reino Unido (730 km). Se pondrá en servicio en 2021.

Sistemas de accionamiento que emplean HVDC Light en una plataforma marina. Muchas aplicaciones marinas son candidatas ideales para la tecnología HVDC. La plataforma de gas Troll A en el Mar del Norte, por ejemplo, utiliza compresores para inyectar gas a presión en las conducciones, que envían gas a tierra firme, a unos 70 km. Normalmente, el generador de la plataforma necesario para alimentar los compresores es voluminoso y no especialmente eficiente. Sin embargo, ABB ha estado trabajando en motores eléctricos de muy alta tensión (VHV) basados en devanados de estator que aprovechan los cables de CA extruidos con aislamiento de polímero. Un motor VHV puede conectarse directamente a HVDC Light sin utilizar un transformador. La utilización de energía desde tierra firme por medio del motor VHV y HVDC Light aporta muchas ventajas:

- La electricidad generada en tierra firme produce menos emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mayor rendimiento y menor mantenimiento que las turbinas de gas o los motores diésel.
- Menores peso y necesidad de espacio en la plataforma.

En 2005 se instalaron dos sistemas en paralelo en Troll A:  $\pm 60$  kV con un motor VHV de 44 MW/56 kV CA. Otros dos sistemas se completaron en 2015 con un motor VHV de 50 MW y tensión de 66 kV CA → 2.

#### El futuro es HVDC Light

En sólo 19 años, el visionario demostrador de 3 MW ha multiplicado su presencia a 25 instalaciones HVDC Light que transportan más de 10 GW y ha permitido que el negocio mundial de ABB aumente a cifras de miles de millones de dólares. El rápido desarrollo de HVDC Light proseguirá gracias a agentes tales como el cambio climático, la adición de energías renovables a la red, la demanda de energía de más calidad y la estrecha integración de los mercados de energía con la infraestructura eléctrica.

El atractivo de HVDC Light continuará creciendo mientras la tecnología haga ascender la potencia y descender las pérdidas con la introducción de nuevos semiconductores, nuevos materiales para los cables y nuevos convertidores de alta tensión.

#### Jan R. Svensson

ABB Corporate Research  
Vasteras, Suecia  
jan.r.svensson@se.abb.com