



Mejora potencial

Tecnologías de transporte para apoyar la integración de las energías renovables

ROLF GRUNBAUM, SIMON VOGELSANGER, ANDERS GUSTAFSSON, JANISSA AREVALO – En los últimos años las redes de transporte de electricidad de alta tensión se han visto expuestas a exigencias sin precedentes. Se deben en buena parte a la desregulación, el rápido aumento de las transferencias de electricidad entre empresas y la oposición a la construcción de nuevos sistemas de transporte por razones ambientales y económicas. A esto se añade la dificultad de controlar el flujo de electricidad y mantener la estabilidad, especialmente cuando se integran en la red cantidades muy grandes de renovables (ER) de parques eólicos marinos, por ejemplo. Los periodos de vientos fuertes o radiación solar elevada y cargas bajas agravan los problemas. Esto se puede resolver con productos de ABB como FACTS (sistemas de transporte flexible de corriente alterna) y tecnologías HVDC (corriente continua de alta tensión), que permiten transportar más corriente de forma estable, flexible y controlable.



En teoría, las limitaciones de la capacidad de transporte de electricidad o del control del flujo pueden evitarse añadiendo nuevas instalaciones de transporte o generación. Los dispositivos FACTS de ABB cumplen los mismos objetivos sin necesidad de añadir más instalaciones, y la tecnología HVDC es el complemento perfecto para resolver las tareas de transporte más exigentes.

La solución FACTS se justifica cuando se requiere una respuesta rápida, variaciones frecuentes de producción o una producción fácilmente ajustable. Los dispositivos principales de la familia FACTS son:

- El compensador estático de var (SVC)
- Condensadores en serie (SC)
- Los dispositivos SVC Light® y PCS 6000 de STATCOM (compensador estático)

El compensador estático de var

Un SVC regula rápidamente la tensión de la línea y la lleva al punto de consigna necesario. Tras un incidente como un

cortocircuito de la red, o la desconexión de la línea o el generador, el SVC suministrará potencia reactiva dinámica de respuesta rápida. Además, un SVC también aumenta la capacidad de transporte, reduce pérdidas, mitiga oscilaciones de electricidad activa y evita sobretensiones con pérdidas de carga. La capacidades de var rápida de un SVC lo hacen idóneo para:

- Controlar la tensión dinámica y en equilibrio para incrementar la capacidad de transporte y reducir las variaciones de tensión.
- Mejorar la estabilidad síncrona para incrementar la estabilidad angular y mejorar la amortiguación de las oscilaciones.
- Mejorar la calidad de la electricidad en redes que transportan cargas industriales muy pesadas.

ABB instaló recientemente dos SVC, cada una con una potencia nominal de ± 250 MVar, en la red de transporte noruega de 420/300 kV. Las SVC se instalaron en las subestaciones de Viklandent y Tunnsjodal para aumentar la capacidad de importación de electricidad en la región hasta los 400 MW.

Condensadores en serie

La compensación en serie de circuitos de transporte con condensadores tiene varias ventajas:

- Aumento del transporte de electricidad activa sin comprometer la estabilidad angular o de tensión.
- Aumento de la estabilidad angular y de tensión para un nivel determinado de transporte.
- Reducción de las pérdidas de transporte en muchos casos.
- Reducción del número de líneas de transporte necesarias.

La compensación en serie requiere control, protección y supervisión para trabajar como una parte integral de un sistema eléctrico. Además, como el condensador en serie trabaja a la misma tensión que el resto del sistema, debe estar totalmente aislado del potencial de tierra.

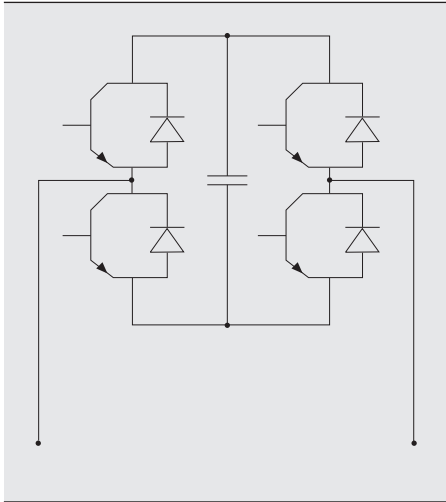
La solución FACTS permite respuesta rápida, variaciones frecuentes de producción y producción fácilmente ajustable.

El dispositivo de protección principal del condensador en serie es un varistor, generalmente de óxido de zinc (ZnO), que limita la tensión en el condensador a valores seguros y lo protege contra intensidades de cortocircuito. Suele utilizarse un dispositivo de protección rápida para derivar el condensador en serie cuando el varistor no puede absorber el exceso de corriente de fallo.

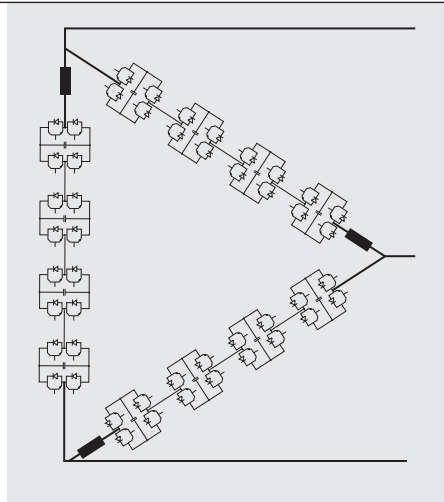
Imagen del título

¿Cómo ayudan las tecnologías HVDC y FACTS de ABB a los operadores de redes a aumentar la capacidad de transporte de electricidad? SVC de la subestación de 400 kV de Viklandet, Noruega.

2 Configuración de inversores multinivel en cadena

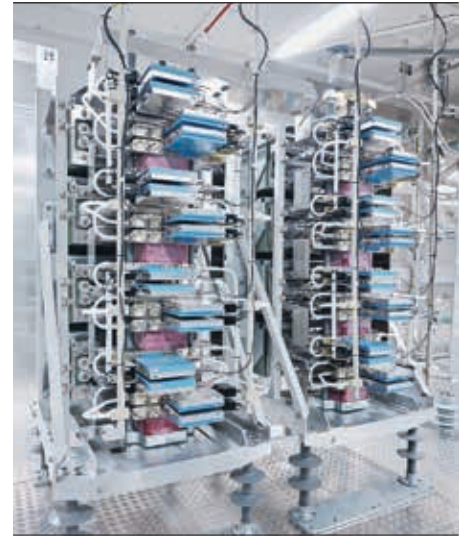


2a Celda de puente H con IGBT (una sola fase)



2b Cadena trifásica de puentes H

3 Grupos de puentes H modulares



Fingrid, el operador del sistema de transporte finlandés, acudió a ABB para instalar dos condensadores en serie (de 301 y 369 MVar) para atender la demanda de transporte interno, mejorar la estabilidad de la red y potenciar el corredor de exportación a Suecia en 200 MW → 1.

SVC Light

SVC Light es un dispositivo STATCOM (compensador estático) basado en un concepto de inversor de la fuente de tensión (VSC) multinivel modular en cadena

SVC Light está disponible para tensiones de sistema de hasta 69 kV y nominales de inversor de hasta ± 360 MVar → 3. Para tensiones superiores se utiliza un transformador reductor para conectar el SVC Light a la red.

Para aumentar la estabilidad dinámica y la capacidad de la red, Transelec S.A, el principal operador de transporte eléctrico de Chile, decidió instalar SVC Light. El dispositivo tiene una potencia nominal de 65 MVar inductivos a 140 MVar capacitivos a 220 kV y se encuentra en la sobrecargada subestación de Cerro Navia de 220 kV, en Santiago de Chile. Además de aumentar la capa-

cidad, el SVC Light regula y controla la tensión de red a 220 kV en condiciones de contingencia y equilibrio y proporciona energía reactiva dinámica de respuesta rápida tras un incidente.

PCS 6000 STATCOM y transporte de energía eléctrica mar adentro

Como el viento del mar es fuerte, sobre todo por la tarde, cuando el consumo de electricidad es alto, los parques eólicos están empezando a construirse mar adentro.

Una turbina eólica marina entrega la energía a través de un transformador emplazado en una plataforma y un cable de CA tendido hasta la costa, donde la tensión se incrementa y la electricidad entra en la red. La lejanía del aerogenerador de la

parte principal de la red incrementa los problemas de estabilidad y fiabilidad, razón por la que los operadores de sistemas de transporte están intensificando los requisitos de los códigos de red, específicamente en lo referente a energía reactiva, control de tensión y capacidad de respuesta a cortes.

FACTS proporciona el control de tensión rápido y dinámico exigido por estos códigos de red, algo imposible para los componentes de energía reactiva conmutados mecánicamente convencionales, como baterías de condensadores y reactancias.

Los transformadores y cables del parque eólico añaden reactancia a la red, que varía con la producción de energía activa. Estas fuentes adicionales y variables de energía reactiva también deben compensarse. Esto puede hacerse con PCS 6000 STATCOM de ABB.

El PCS 6000 garantiza cumplimiento de red completo y compensación de energía dinámica para cualquier parque eólico. Está diseñado como sistema modular compacto para aplicaciones de hasta 38 MVar por grupo. La instalación en paralelo de varios PCS 6000 satisface demandas de mayor potencia. En varios parques eólicos se encuentran ya en funcionamiento más de 20 PCS 6000.

Las SVC, los condensadores en serie y los dispositivos STATCOM mejoran el transporte de CA. La tecnología HVDC de ABB facilita el transporte de CC.

Un SVC regula rápidamente la tensión de la línea y la lleva al punto de consigna necesario.

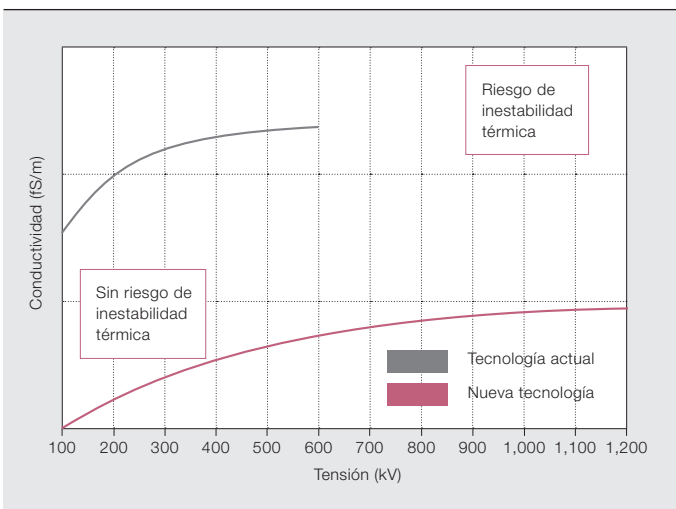
adaptado para aplicaciones de sistemas eléctricos. Entrega potencia reactiva a la red con una respuesta muy dinámica. SVC Light puede, por ejemplo, apoyar redes débiles, mejorar la disponibilidad de grandes parques eólicos en condiciones de red variables y aliviar redes sobrecargadas por la presencia de gran número de aparatos de aire acondicionado en países cálidos.

Los IGBT (transistores bipolares de puerta aislada) son componentes clave del SVC Light. La solución multinivel en cadena se compone de módulos de puentes H en serie unidos para formar una rama monofásica de la ramificación del VSC → 2.

4 Prueba de tipo del sistema de cables HVDC extruidos de 525 kV



5 Comparación de conductividad y tensión para los sistemas de aislamiento de cables HVDC nuevos y anteriores



El PCS 6000 garantiza cumplimiento de red completo y compensación de energía dinámica para cualquier parque eólico y está diseñado como un sistema modular compacto para aplicaciones de hasta 38 MVar por grupo.

HVDC Light (tecnología VSC)

Normalmente, la tecnología HVDC resulta más rentable para el transporte de grandes cantidades de electricidad a distancias superiores a 600 km por tendidos aéreos y a 50 a 100 km por cables subterráneos o submarinos. Pero muchos otros factores hacen de la tecnología HVDC (especialmente HVDC basada en VSC, como HVDC Light de ABB) el complemento ideal para redes de CA en desarrollo. Por ejemplo, los sistemas HVDC Light permiten campos electromagnéticos naturales, cables sin aceite y estaciones convertidoras de dimensiones reducidas. Además, ayudan a afrontar los problemas de integración de energías renovables con un control rápido de la energía reactiva y activa (independientemente), apoyo a la tensión y mejora de la calidad de la electricidad. Otras ventajas, como la capacidad de arranque sin electricidad y la posibilidad de conexión a redes de CA más débiles, hacen que HVDC Light sea especialmente atractivo para interconexiones de red y suministro de electricidad a sistemas aislados o zonas metropolitanas masificadas. Las conexiones de transporte sólidas contribuyen a reducir la variabilidad y a aumentar la precisión de las previsiones de generación de energía renovable gracias a su efecto geográfico suavizante sobre grandes extensiones.

HVDC Light: mayor tensión y cables más largos

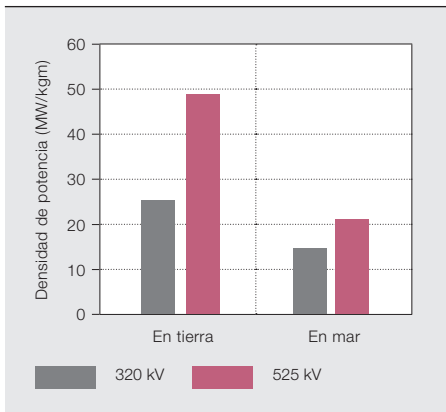
Recientemente, ABB batió un récord mundial de tensión con el enlace Skager-rak de 500 kV entre Noruega y Dinamarca. ABB ha suministrado los cuatro

enlaces del sistema Skager-rak: Skager-rak 1 y 2 en la década de los 70, Skager-rak 3 en 1993 y ahora Skagerrak 4. El sistema abarca 240 km y ofrece una capacidad de transporte de 1700 MW para permitir la generación hidráulica y el almacenamiento en Noruega, que se utilizará para equilibrar la generación eólica en Dinamarca.

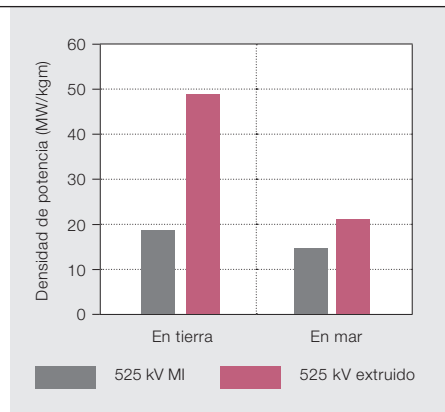
Skagerrak 4 cuenta con dos estaciones VSC de 700 MW. El nuevo enlace opera en modo bipolar con el enlace Skagerrak 3 que utiliza tecnología HVDC de convertidor conmutado en línea clásico. Esta es la primera vez que dos tecnologías se conectan con una disposición bipolar. El sistema de control avanzado MACH de ABB se utilizó para controlar las diferentes formas de gestionar la inversión de polaridad entre estas dos tecnologías.

ABB también suministrará el cable HVDC extruido más largo del mundo, NordBalt, entre Suecia y Lituania. NordBalt (300 V/700 MW) consta de un par de cables con una longitud total de 53 km sobre tierra y 400 km bajo el mar Báltico. El cable está tendido a través de antiguas zonas minadas y depósitos de explosivos en desuso, además de atravesar la zona natural protegida Natura 2000 en la parte lituana. El cable refuerza el suministro de electricidad y la seguridad de la energía a ambos lados del mar Báltico e integra el incipiente mercado báltico de comercialización de energía con el mercado nórdico.

6 Comparaciones de densidad de potencia para el sistema de cable de 525 kV



6a Con un sistema de cable de CC extruido de 320 kV; comparación para 1,5 GW o menos (525 kV Al, 320 kV Cu)



6b Con cable MI (conductores de Al)

Un nuevo sistema de cable más potente

La tecnología del sistema de cable HVDC extruido es perfecta para transportar la electricidad a través de zonas ambientalmente delicadas o zonas pobladas y para aplicaciones costeras o en mar abierto.

ABB desarrolló y probó con éxito un sistema de cable de CC de 525 kV con una potencia nominal superior a 2 GW para aplicaciones subterráneas y submarinas. Este innovador sistema emplea un nuevo material de aislamiento de CC de polietileno entrecruzado (XLPE), terminación exenta de porcelana y aceite basada en tecnología de ABB para bornas, una junta para tierra y una junta marina flexible. Este nuevo sistema de cable HVDC de 525 kV abre un sugestivo futuro para el transporte de electricidad y es un paso decisivo hacia una red de CC apta para

Un buen material aislante de cable HVDC debe tener una conductividad de CC baja para evitar pérdidas térmicas. La conductividad de los materiales de aislamiento aumenta con el campo eléctrico y la temperatura. Por lo tanto, una mayor conductividad aumenta el riesgo de fuga térmica y fallo eléctrico. En → 5 se compara la conductividad de los cables nuevos con la de otros cables. En los últimos, el riesgo de fuga térmica aumenta cuando la tensión de prueba supera los 600 kV; en los primeros, este riesgo es insignificante, incluso con niveles de tensión mucho más altos.

Las nuevas terminaciones se basan en la actual tecnología de borna de HVDC de ABB. El aislante de material compuesto polimérico utilizado ofrece máxima seguridad sin riesgo de proyección de esquirlas en caso de explosión. Esta seguridad

viene dada por los elementos de elastómero (adaptadores y cono de esfuerzo), incluido un material con propiedades eléctricas no lineales y elementos geométricos.

La tecnología HVDC es más rentable para el transporte de grandes cantidades de electricidad a grandes distancias.

la integración de mercados de energía y un mayor aprovechamiento de las energías renovables → 4. Un único par de cables HVDC extruidos de 525 kV, cada uno con el diámetro de un disco compacto, transporta energía suficiente para grandes parques eólicos marinos que suministran electricidad a 2 millones de hogares.

El sistema de cable de CC extruido de 525 kV transporta un 50% más energía a larga distancia que las soluciones anteriores (como el sistema de CC de cable extruido de 320 kV). La tecnología aligera el peso del cable por megavatio instalado de capacidad de transporte y las tensiones más altas proporcionan un transporte fiable con menores pérdidas.

En comparación con el nivel de 320 kV, la energía transportada en MW/kgm (potencia por kilogramo de un cable de un metro) es aproximadamente el doble que la de un circuito de cable terrestre y un 50% más que la de un circuito submarino → 6a.

Cuando se comparan con cables HVDC “clásicos” con su aislamiento de papel comprimido impregnado en aceite muy viscoso (cable impregnado en masa o MI), el sistema de cable de CC extruido es superior en términos de MW por kg y cable de un metro → 6b. También el tiempo de empalme es sensiblemente menor para un sistema de cable extruido que para un MI.

La tendencia hacia la construcción de más plantas de energía renovable de mayor tamaño es muy clara y sólida. Las tecnologías FACTS y HVDC favorecerán la construcción de redes fiables, flexibles e interconectadas. Ya hay muchos productos innovadores y sofisticados que ayudan a superar los problemas de integración de renovables y la mejora de la flexibilidad y la eficiencia de los sistemas eléctricos necesarias para satisfacer la creciente demanda eléctrica mundial. Las nuevas tecnologías y productos brindarán nuevas posibilidades en el futuro, como las estaciones convertidoras VSC de 500 kV de ABB o el nuevo cable extruido HVDC de 525 kV. Avances como estos reflejan el compromiso de ABB para seguir siendo líderes en el desarrollo y el uso de tecnologías de transporte de electricidad.

Rolf Grunbaum

ABB Power Systems, FACTS
Vasteras, Suecia
rolf.grunbaum@se.abb.com

Simon Vogelsanger

ABB Power Systems, FACTS
Turgi, Suiza
simon.vogelsanger@ch.abb.com

Anders Gustafsson

ABB Power Systems, cables de alta tensión
Karlskrona, Suecia
anders.h.gustafsson@se.abb.com

Janissa Arevalo

Iniciativas del sector industrial de redes inteligentes de ABB
Zúrich, Suiza
janissa.arevalo@de.abb.com