

Die direkte Verbindung

Effiziente Energieübertragung mit HVDC Light®

JAN R. SVENSSON – Die Tätigkeit von ABB auf dem Gebiet der HGÜ in der Neuzeit geht zurück auf eine Studie von Gunnar Asplund, Leiter der HGÜ-Forschung, aus dem Jahr 1993 über die Nutzung von Spannungszwischenkreis-Umrichtern (Voltage Source Converters, VSCs) für die HGÜ. Seitdem wurden immer größere und aufwändigere HGÜ-Verbindungen rund um die Welt realisiert, und die HGÜ hat sich für ABB zu einem Milliardengeschäft entwickelt.

Auf der Grundlage der positiven Ergebnisse aus Asplunds Studie startete ABB im August 1994 ein groß angelegtes Forschungsprojekt zur weiteren Untersuchung des VSC-Ansatzes.

Das „Arbeitspferd“ der neuen Technologie war der Bipolartransistor mit integriertem Gate (IGBT). IGBTs sind Metalloxid-Halbleiterbauelemente, bei denen die zur Ansteuerung erforderliche Leistung sehr gering ist und aus der parallelen Schutzbeschaltung (Snubberschaltung) entnommen werden kann. Somit muss keine Hilfsenergie für die Ansteuereinheit (Gate Unit, GU, die auf hohem Potential liegt) vom Grundpotential geliefert werden. Darüber hinaus kann das Ein- und Ausschalten des IGBT von der GU präzise gesteuert werden, was die Reihenschaltung von IGBTs ermöglicht.

Die von ABB entwickelte Schlüsseltechnologie war die Reihenschaltung von druckkontaktierten IGBTs zur Bewältigung hoher Spannungen zusammen mit der Entwicklung eines Kurzschlusszustandskonzepts (Short-Circuit Failure Mode, SCFM) und eines geeigneten Prüfverfahrens.

Die in Reihe geschalteten IGBTs müssen alle zur gleichen Zeit (ein- oder aus-) geschaltet werden, damit jeder IGBT die gleiche Spannungsbelastung erfährt. Für eine HGÜ-Umrichterstation bedeutet dies, dass Hunderte von IGBTs im Bruchteil einer Mikrosekunde einzeln geschaltet werden müssen.

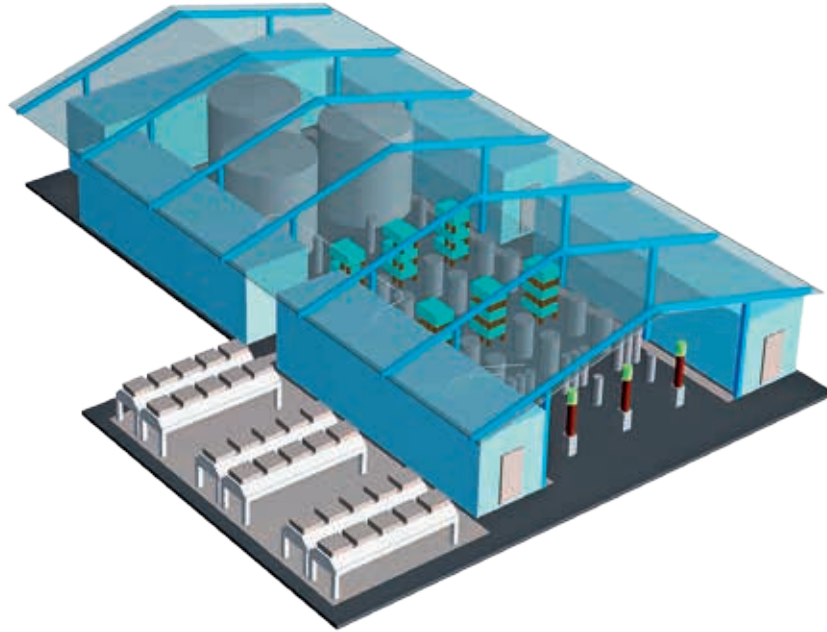
Dazu wurde ein komplettes Reihenschaltungskonzept einschließlich Design, Fertigung und Abstimmung der GUs sowie der Snubberschaltungen und der Stromversorgung entwickelt. Anschließend

Eine von ABB entwickelte Schlüsseltechnologie war die Reihenschaltung von druckkontaktierten IGBTs.

wurde das Konzept durch den Bau eines H-Brücken-Prototyps mit vier in Reihe geschalteten IGBTs pro Ventil verifiziert.

Die Machbarkeit des VSC-basierten HGÜ-Konzepts wurde im Jahr 1997 an einer Demonstrationsanlage nachgewiesen, die in Mittelschweden zwischen Hällsjön und Grängesberg an einer 10 km langen, vorübergehend außer Betrieb genommenen 50-kV-Drehstrom-

1 HVDC-Light-Pilotanlage auf Gotland



leitung installiert wurde. Die Demonstrationsanlage besaß:

- eine Nennleistung von 3 MW bei ± 10 kV und einer Schaltfrequenz von 1.950 Hz,
- zwei Stationen mit dreiphasigen Zweipunkt-VSCs,
- druckkontaktierte IGBTs für 2,5 kV/250 A,
- Kühlung der IGBTs mit entionisiertem Wasser,
- eine Mischung aus Freileitung und Kabelverbindung,
- DC-Leistungsschalter und DC-Chopper aus in Reihe geschalteten IGBTs.

Am 10. März 1997 wurde erstmalig Strom über die erste VSC-basierte HGÜ der Welt übertragen. Ein anschließendes umfangreiches Testprogramm zeigte, dass das Konzept alle Erwartungen erfüllte.

Einführung von HVDC Light

Im Mai 1997 lancierte ABB HVDC Light und lud Kunden zu Seminaren und einem Besuch der Demonstrationsanlage nach Schweden ein. Das Design von HVDC Light basierte auf einem modularen Konzept mit einer Reihe von standardisierten Größen zwischen 10 und 100 MW und Zweipunkt-Umrichtern für bis zu ± 80 kV. HVDC Light wurde als umweltfreundliches Produkt präsentiert. Da der Strom

durch zwei Erdkabel übertragen wird, gibt es keine optische Beeinträchtigung. Aufgrund der ausgeglichenen Spannung gegen Erde ist keine Elektrode erforderlich, d. h. es gibt keinen Erdstrom, und von dem Kabelpaar geht kein elektromagnetisches Feld aus.

Die Stationen können unbemannt betrieben werden und sind im Prinzip wartungsfrei. Der Betrieb kann aus der Ferne erfolgen. Die erste HVDC-Light-Pilotanlage ging im November 1999 auf der schwedischen Insel Gotland in Betrieb und umfasste zwei extrudierte 80-kV-Kabel zwischen den Umrichterstationen mit einer Gesamtlänge von 140 km → 1.

Anwendungen

Als synchroner Generator erzeugt der VSC seine eigenen Phasenspannungen. Eine kaskadierte Regelung ermöglicht eine schnelle Regelung der Wirk- und Blindströme unabhängig voneinander in einem inneren Regler, während der äußere – langsamere – Regler mithilfe des Wirkstroms den Sollwert der Wirkleistung bzw. der DC-Zwischenkreisspannung verfolgt. Der Blindstrom wird zur Regelung der AC-Spannung bzw. zur Einspeisung/zum Verbrauch von Blindleistung genutzt. In Verbindung mit äußeren Regelkreisen ermög-

licht die kaskadierte Regelung die Unterstützung einer Vielzahl von Anwendungen wie:

- die Kopplung von Stromnetzen
- die Anbindung von verbraucherfernen Erzeugungsanlagen, z. B. Offshore-Windenergieanlagen, und die Versorgung von entfernten Verbrauchern wie Öl- und Gasplattformen vom Festland aus
- DC-Verbindungen in AC-Netzen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des AC-Netzes. HVDC Light beseitigt Engpässe in vorhandenen AC-Netzen und erleichtert die Trassierung für Kabelleitungen. Darüber hinaus erhöht HVDC Light die Stabilität und Zuverlässigkeit des AC-Netzes und trägt zur Verbesserung der Versorgungsqualität bei.
- Einspeisepunkte in Stadtzentren: HVDC Light benötigt wenig Platz, und die dazugehörige Kabeltechnologie erleichtert die Trassierung auf vorhandenen Strecken.

Höhere Spannungen und Leistungen

Um der Nachfrage seitens der Kunden nach höheren Leistungen und niedrigeren Verlusten nachzukommen, wurden HGÜ-Leistungshalbleiter und ihre Aufbau- und Verbindungstechnik (Packaging) kontinuierlich weiterentwickelt. Dies hat die Optimierung von Umrichter-

Die Machbarkeit des VSC-basierten Konzepts wurde im Jahr 1997 an einer Demonstrationsanlage mit 10 km und 3 MW/±10 kV nachgewiesen.

2 Die Plattform Troll A. Die HVDC-Light-Station ist der graue Kasten zwischen den Kranen.



topologien und Regelalgorithmen einschließlich Strategien zur Pulsweitenmodulation (PWM) ermöglicht.

HVDC Light 2002–2005

Eine neue Generation von extrudierten polymerisolierten Kabeln wurde entwickelt, um eine DC-Zwischenkreisspannung von ±150 kV zu ermöglichen. Außerdem wurde eine Umrichterstation mit einem Dreipunkt-VSC mit ANPC-Technologie (Active Neutral Point Clamped) entwickelt. Beide kamen in zwei Projekten – Cross Sound Cable (330 MW) und Murraylink (220 MW) – zum Einsatz. Bei der zweiten Anlage liegen die Stationen 180 km auseinander.

HVDC Light 2005–2007

In einem weiteren Entwicklungsschritt ermöglichte eine neue Generation von Halbleitern die Rückkehr zur Zweipunkt-Umrichtertopologie mit einem optimierten PWM-Algorithmus. Eine Reihe von Projekten wurde realisiert, darunter Caprivi Link (950 km, 300 MW), die erste HVDC-Light-Anlage mit einer Freileitung, die die nordöstlichen und zentralen Landesteile Namibias verbindet.

HVDC Light ab 2007

Die neueste HVDC-Light-Technik ermöglicht noch höhere Leistungen bei geringeren Verlusten durch die Verwendung einer modularen Mehrpunkt-Umrichtertopologie (MMC) mit Halbbrücken-Umrichterzellen. Dieser technische Fortschritt hat Projekte wie DolWin1

(800 MW) – das erste HVDC-Light-Projekt mit extrudierten 320-kV-Kabeln – und North Sea Link (730 km, 1.400 MW), eine bipolare HVDC-Light-Verbindung zwischen Norwegen und Großbritannien, ermöglicht. Letztere soll 2021 in Betrieb gehen.

Antriebssysteme auf Offshore-Plattformen

Viele Offshore-Plattformen sind ideale Kandidaten für die HGÜ. Auf der Nordsee-Gasplattform Troll A werden z. B. Kompressoren genutzt, um den Gasdruck in den Pipelines zu erhöhen, die das geförderte Gas zum 70 km entfernten Festland transportieren. Normalerweise sind die zur Versorgung von Kompressoren erforderlichen Plattformgeneratoren sperrig und nicht sonderlich effizient. Doch ABB hat Elektromotoren für sehr hohe Spannungen (Very High Voltage, VHV) mit Statorwicklungen auf der Basis von extrudierten AC-Kabeln mit Polymerisolierung entwickelt. Ein VHV-Motor kann ohne Transformator direkt an die HVDC-Light-Anlage angeschlossen werden. Die Nutzung von Festlandstrom in Verbindung mit HVDC Light und VHV-Motoren bietet viele Vorteile:

- Bei der Erzeugung des Festlandstroms werden weniger Treibhausgasemissionen freigesetzt.
- Höherer Wirkungsgrad und geringerer Wartungsaufwand als bei Gasturbinen oder Dieselmotoren
- Gewichtsreduzierung und geringerer Platzbedarf auf der Plattform

Im Jahr 2005 wurden auf Troll A zwei parallele Systeme mit ±60 kV und einem VHV-Motor mit 44 MW/56 kV AC installiert. Zwei weitere Systeme mit einer Motorleistung von 50 MW und einer Spannung von 66 kV AC wurden 2015 fertiggestellt → 2.

HVDC Light gehört die Zukunft

In nur 19 Jahren sind aus der 3-MW-Demonstrationsanlage 25 HVDC-Light-Anlagen mit einer Übertragungskapazität von über 10 GW und ein weltweites Milliardengeschäft für ABB geworden. Aspekte wie der Klimawandel, die Einbindung erneuerbarer Energien in das Stromnetz, die Nachfrage nach einer höheren Versorgungsqualität sowie die enge Integration der Energiemärkte und der Versorgungsinfrastruktur werden die rasche Entwicklung von HVDC Light weiter vorantreiben.

Die Attraktivität von HVDC Light wird weiter zunehmen. Gleichzeitig wird die Technologie durch die Einführung neuer Halbleiter, neuer Werkstoffe für Kabel und neuer Hochspannungs-Umrichter weiter für steigende Leistungen und sinkende Verluste sorgen.

Jan R. Svensson

ABB Corporate Research
Västerås, Schweden
jan.r.svensson@se.abb.com