

Le futur en continu

Transport massif d'électricité avec HVDC Light®

JAN R. SVENSSON – L'origine du CCHT chez ABB remonte à une étude menée en 1993 par Gunnar Asplund, alors directeur de recherche, sur l'utilisation de convertisseurs à source de tension (*Voltage Source Converters*) dans le transport d'énergie en courant continu haute tension. Depuis, des liaisons toujours plus longues et perfectionnées se sont déployées dans le monde entier, faisant du CCHT une activité ABB qui se chiffre aujourd'hui à un milliard de dollars.

Fort des résultats convaincants de l'étude de G. Asplund, ABB lança en août 1994 un grand projet visant à explorer davantage l'approche VSC.

Si le convertisseur à source de tension est alors la clé de voûte de cette nouvelle technologie, l'IGBT en est la cheville ouvrière. Ce transistor MOS (métal oxyde semi-conducteur) se contente d'une très faible puissance de commande, que peut lui procurer le circuit d'aide à la commutation (*snubber*) connecté en parallèle. Par conséquent, aucune énergie auxiliaire fournie par la terre n'est nécessaire pour alimenter la commande de gâchette. Qui plus est, l'amorçage comme le blocage de l'IGBT peuvent être commandés avec précision, rendant possible la mise en série du composant.

Au rang des innovations phares d'ABB figurent le montage en série de modules IGBT en boîtier pressé pour supporter les hautes tensions, ainsi que le développement d'un mode de défaillance en court-circuit et d'un régime de test approprié. Pour faire le meilleur usage de ces IGBT

en série, tous doivent être amorcés ou bloqués en même temps de façon que chacun supporte la même contrainte de tension. Ce qui revient, dans une station CCHT à convertisseurs VSC, à commuter un à un des centaines d'IGBT en une fraction de microseconde!

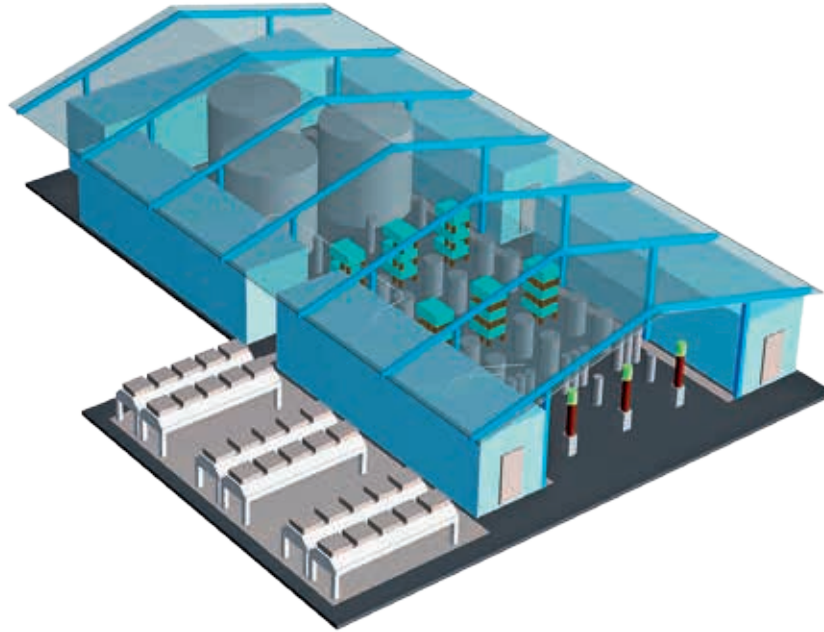
Cette connexion en série fit l'objet d'un

Parmi les technologies phares d'ABB figure la mise en série de modules IGBT en boîtier pressé pour tenir aux hautes tensions.

développement complet incluant la conception, la fabrication et le réglage des commandes de gâchette avec les circuits snubbers et l'alimentation. Un concept validé par la réalisation d'un prototype de pont en H avec quatre IGBT en série par valve.

La faisabilité du CCHT à convertisseurs VSC fut démontrée en 1997 par la liaison expérimentale Hällsjön-Grängesberg, au centre de la Suède, sur une ligne en courant alternatif (CA) de 10 km sous 50 kV mise à disposition pour le projet.

1 Installation HVDC Light® de Gotland, en Suède



Ce démonstrateur avait pour caractéristiques :

- Une puissance et une tension assignées de 3 MW/±10 kV, une fréquence de commutation de 1950 Hz ;
- Deux stations de conversion à VSC triphasés à deux niveaux ;
- Des IGBT de 2,5 kV/250 A en boîtier pressé, refroidis par eau déminéralisée ;
- Une ligne aérienne et un câble souterrain ;
- Un disjoncteur CC et un hacheur CC utilisant des IGBT en série.

Inaugurée le 10 mars 1997, cette première liaison CCHT à convertisseurs VSC au monde fut suivie d'un vaste programme d'essai prouvant que le concept répondait à toutes les attentes.

HVDC Light commercial

En mai 1997, ABB lançait HVDC Light en conviant ses clients à des séminaires et à une visite du démonstrateur en Suède. Résolument modulaire, la solution est alors proposée en plusieurs puissances normalisées dans la plage de 10 à 100 MW, avec des convertisseurs à deux niveaux jusqu'à environ ± 80 kV.

D'emblée, HVDC Light avance ses vertus écologiques : le transport d'énergie sur une paire de câbles souterrains évite tout impact visuel et la tension équilibrée

à la terre élimine le besoin d'une électrode, d'où l'absence de courant à la terre et de champ électromagnétique émanant des câbles.

Conçues pour fonctionner sans intervention humaine et, en principe, sans entretien, les stations de conversion sont manœuvrables à distance. La première installation pilote HVDC Light démarre en novembre 1999 sur l'île suédoise de Gotland avec deux câbles extrudés de 80 kV, 140 km séparant les deux stations terminales → 1.

Applications

Générateur synchrone, le convertisseur VSC crée ses propres tensions de phase. Une commande en cascade permet de régler rapidement et séparément les courants actif et réactif dans un contrôleur interne, tandis qu'un contrôleur externe, plus lent, surveille la référence de puissance active ou la référence de tension de la liaison CC, en utilisant le courant actif. Le courant réactif sert à réguler la tension CA ou à injecter/consommer de la puissance réactive. La commande en cascade ainsi que les boucles de commande externes répondent aux exigences d'une grande variété d'applications :

- Interconnexion de réseaux ;
- Raccordement de parcs de production éloignés des consommateurs

(éolien marin, par exemple) et alimentation électrique de charges distantes (des navires à quai aux plates-formes pétrolières et gazières en mer) ;

- Insertion de liaisons CC dans les réseaux CA pour en augmenter les performances : HVDC Light supprime les goulets d'étranglement dans les réseaux CA, facilite le passage des lignes souterraines, améliore la stabilité et la fiabilité du réseau CA, ainsi que la qualité de la desserte ;
- Alimentation des centres-villes : la faible emprise au sol de la solution et sa technologie câblée permettent d'emprunter sans encombre les couloirs de passage existants.

Montée en charge

Les semi-conducteurs de puissance CCHT et leur conditionnement n'ont cessé d'évoluer pour répondre aux exigences de puissances accrues et de pertes réduites. L'optimisation des topologies de convertisseur et des algorithmes de commande, ainsi que les stratégies de modulation de largeur d'impulsions (MLI) ont participé à ces progrès, échelonnés sur trois grandes périodes.

2002–2005

La mise au point d'une nouvelle génération de câble extrudé à isolation polymère permet d'atteindre une tension de ± 150 kV.

La faisabilité du CCHT à base de convertisseurs à source de tension fut démontrée en 1997 par une liaison expérimentale de 3 MW/±10 kV, sur une distance de 10 km au centre de la Suède.

2 Station HVDC Light (en gris, entre les grues) sur la plate-forme Troll A, au large des côtes norvégiennes



Une station HVDC Light équipée d'un convertisseur VSC actif à trois niveaux, clampé par le neutre, est également développée au profit de deux projets : Cross Sound Cable (330 MW) aux États-Unis et Murraylink (220 MW) dans le Sud australien, lequel totalise 180 km de liaison continue.

2005 – 2007

Une nouvelle génération de semi-conducteurs permet de revenir à la topologie de convertisseur à deux niveaux, grâce à un algorithme MLI optimisé. Plusieurs projets sont menés à bien, dont l'interconnexion Caprivi (300 MW), première liaison HVDC Light aérienne reliant sur 950 km le nord-est et le centre de la Namibie.

Depuis 2007

Les récents développements HVDC Light s'appuient sur une topologie modulaire de convertisseurs multiniveaux et multicellulaires en demi-pont. Ce progrès ouvre la voie à des liaisons de fortes puissances comme DolWin1 (800 MW), première à utiliser des câbles extrudés de 320 kV, et North Sea Link (1400 MW), interconnexion bipolaire longue de 730 km entre la Norvège et le Royaume-Uni, dont la mise en service est prévue en 2021.

Dans l'offshore

Le CCHT trouve de nombreuses applications en mer. La plate-forme de gaz Troll A, en mer du Nord, par exemple, utilise des compresseurs pour augmenter

la pression du gaz acheminé à terre, à 70 km de distance. Ces compresseurs sont généralement entraînés par une génératrice encombrante et peu efficace. La solution ABB ? Des moteurs électriques à très haute tension (THT) dotés de bobinages statoriques exploitant des câbles extrudés CA à isolation polymère. Le moteur THT peut être directement raccordé à HVDC Light sans passer par un transformateur. Le recours à une alimentation depuis la côte, au moyen d'un moteur THT et d'une liaison HVDC Light, a plus d'un avantage :

- L'énergie produite à terre émet moins de gaz à effet de serre ;
- Le moteur THT affiche un rendement supérieur à celui des turbines à gaz ou groupes diesel, tout en nécessitant moins d'entretien ;
- La plate-forme est moins lourde, moins volumineuse.

En 2005, deux systèmes parallèles de ±60 kV, équipés d'un moteur THT de 44 MW/56 kV CA, furent installés sur Troll A → 2. Deux autres chantiers furent achevés en 2015 avec un moteur THT de 50 MW/66 kV CA.

HVDC Light joue les prolongations

En à peine 19 ans, le premier démonstrateur visionnaire de 3 MW entre Hällsjön et Grängesberg s'est démultiplié en 25 installations HVDC Light dans le monde qui transportent aujourd'hui plus de 10 GW et pèsent un milliard de dollars dans le portefeuille d'activités ABB. Ce

déploiement rapide est appelé à se poursuivre sous l'impulsion du défi climatique, de l'insertion des énergies renouvelables dans le réseau électrique, d'une demande d'amélioration de la qualité du courant et du rapprochement des marchés de l'énergie avec l'infrastructure de transport et de distribution électrique.

HVDC Light verra son attractivité renforcée avec l'apparition de nouveaux semi-conducteurs, matériaux de câbles et convertisseurs haute tension, pour acheminer toujours plus de puissance avec moins de pertes.

Jan R. Svensson

ABB Corporate Research
Västerås (Suède)
jan.r.svensson@se.abb.com