



Disjoncteurs à courant continu : un maillon essentiel de la qualité et de la continuité de service

Le développement de disjoncteurs à courant continu renforce la confiance dans un marché HVDC en pleine évolution.

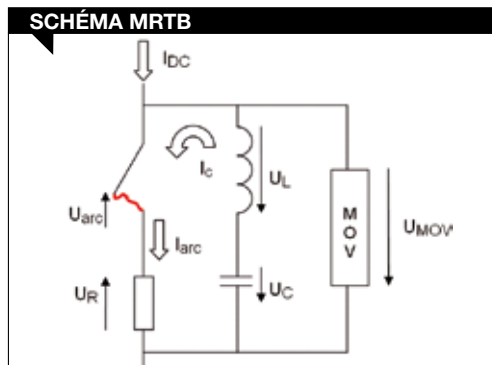
Les liaisons en courant continu à haute tension (High Voltage Direct Current – HVDC) sont tout particulièrement intéressantes pour les réseaux de grande taille car

elles offrent une solution de transmission efficace sur de longues distances, sans pertes capacitives ou inductives. Elles permettent également d'améliorer la stabilité

du réseau en couplant les réseaux voisins non synchronisés tant en fréquence qu'en phase.

Il faut toutefois noter que la coupure de courant continu à haute tension est bien plus complexe que pour le courant alternatif (AC) et qu'elle ne peut être réalisée à l'aide d'un disjoncteur traditionnel. Dans les réseaux AC, le courant passe périodiquement par le zéro (tous les centièmes de seconde pour

un courant à 50 Hz), qui est le moment idéal pour le couper : alors que la puissance de l'arc décroît, le disjoncteur purge la zone entre contacts de tout reste de plasma conducteur, ce qui permet de couper le courant en moins de 20 millisecondes. Pour mieux comprendre le principe, on peut le comparer à une balançoire : le courant zéro correspond au point le plus haut à partir duquel la balançoire commence à redescendre. À cet instant précis, l'énergie cinétique est égale à zéro, ce qui correspond à l'absence d'énergie magnétique dans les câbles et les lignes du réseau AC (il ne reste que de l'énergie électrostatique). Pour un réseau DC, l'analogie est un peu différente, puisqu'il n'y existe pas de courant zéro naturel. On pourrait plutôt le comparer à un train roulant



> EN COMPLÉMENT

QUATRE DISJONCTEURS DC DIFFÉRENTS

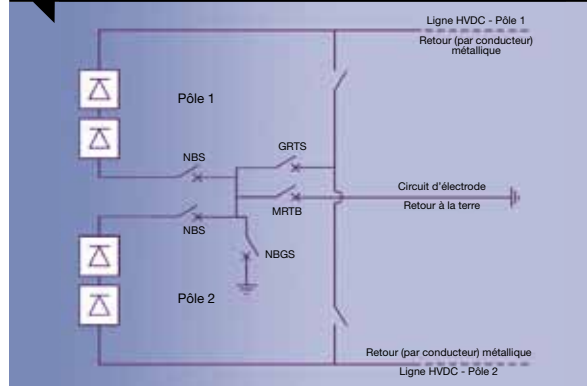
Comme dans un poste AC, des équipements de coupure doivent être placés dans les postes HVDC. Les principaux équipements intègrent jusqu'à quatre types d'appareillage de coupure DC (voir schéma) :

- Disjoncteur de transfert au conducteur [métallique] de retour (MRTB) : En mode d'exploitation unipolaire, on l'utilise pour commuter le courant du retour de l'électrode de terre vers le circuit de l'autre pôle, qui sert alors de conducteur de retour [dit métallique] (pour des raisons de corrosion et de sécurité, il est souvent interdit d'exploiter en régime permanent un schéma HVDC avec retour de courant par la terre, ou par la mer).
- Sectionneur de transfert vers l'électrode de terre (GRTS) : Il est utilisé pour reconfigurer une exploitation unipolaire en bipolaire, en commutant le conducteur de retour (de la définition précédente) vers l'électrode de terre, sans interruption électrique. Un schéma ne peut retourner vers une exploitation bipolaire sans passer par cette étape.
- Sectionneur de la barre de neutre (NBS) : Il est requis pour éliminer un défaut à la terre dans un pôle de convertisseur, en transférant le courant du pôle sain vers le circuit de l'électrode.
- Sectionneur de mise à la terre de la barre de neutre (NBGS) : En cas d'ouverture intempestive du circuit de l'électrode de terre, le NBGS est fermé pour reconstituer une mise à la terre du schéma qui peut ainsi continuer à transmettre du courant.

« Ces équipements sont disposés de manière à répondre à toutes les configurations d'exploitation, en fonction des exigences du client ; ils peuvent s'acquitter d'un grand nombre de tâches différentes comme la reconfiguration des schémas et la protection contre les défauts, les courts-circuits, etc. », explique Bruno Kayibabu, ingénieur principal. Ces commutateurs ont tous en commun d'avoir à transférer un courant continu à pleine puissance d'un circuit vers un autre circuit parallèle ; ce qui les différencie, ce sont les circuits concernés. Bien qu'il s'agisse de composants simples, ils jouent un rôle important dans la qualité et la continuité du service.



TYPES DE DISJONCTEURS DC



MRTB : Metallic Return Transfer Breaker (disjoncteur de transfert au conducteur [métallique] de retour)
GRTS : Ground Return Transfer Switch (sectionneur de transfert vers l'électrode de terre)
NBS : Neutral Bus Switch (sectionneur de la barre de neutre)
NBGS : Neutral Bus Grounding Switch (sectionneur de mise à la terre de la barre de neutre)

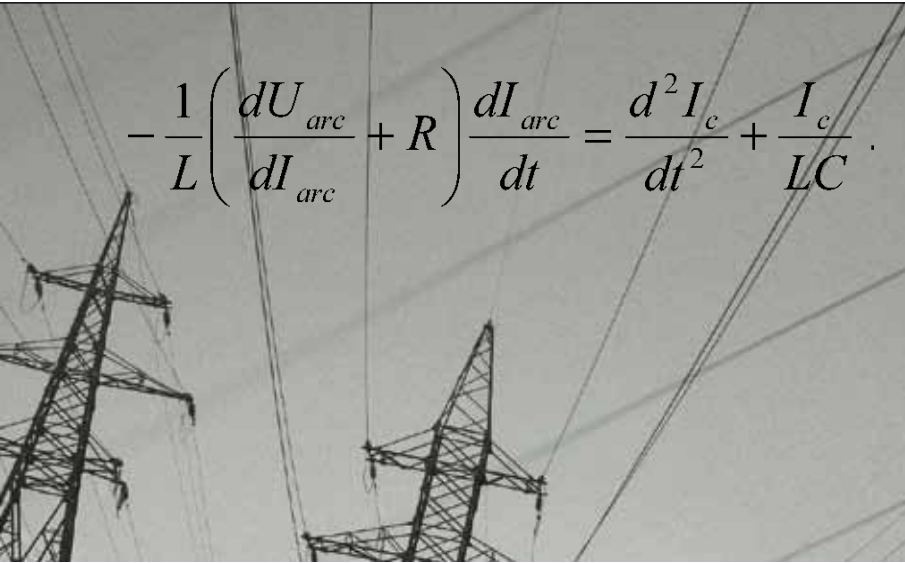
à vitesse constante : la seule façon de l'arrêter consiste à le faire rouler sur une pente montante et de l'immobiliser lorsque sa vitesse est nulle. Dans un réseau DC, il faut créer une tension opposée à celle de la charge pour obtenir un courant zéro.

Un autre défi

La commutation d'un courant continu est également un problème complexe. On peut en illustrer la difficulté à l'aide d'un autre exemple mécanique : augmenter l'intensité d'un courant continu jusqu'à 3 000 A dans une ligne aérienne longue de 1 000 km, par

exemple, requiert une énergie de 4,5 MJ. « Cette quantité d'énergie est équivalente à celle nécessaire pour soulever une masse d'une tonne à une hauteur de 450 m », explique Wolfgang Grieshaber, ingénieur Recherche AREVA T&D. « Si on la laisse tomber de cette hauteur, la masse percute le sol à une vitesse de 100 m/s. Couper un tel courant correspond à attraper la masse juste avant qu'elle ne touche le sol. » Dans les réseaux à courant alternatif, un arc dure environ 20 ms : c'est le temps qui s'écoulerait pour ralentir la masse sur son dernier mètre et la déposer tout doucement sur le sol. Autant dire qu'un seul disjoncteur ne suffit pas pour

$$-\frac{1}{L} \left(\frac{dU_{arc}}{dI_{arc}} + R \right) \frac{dI_{arc}}{dt} = \frac{d^2 I_c}{dt^2} + \frac{I_c}{LC}$$



interrompre un courant continu. L'absence de passage naturel par zéro du courant dans les réseaux DC oblige à ajouter au disjoncteur des éléments capables de créer un zéro de courant artificiel. « C'est le résultat que nous avons obtenu en ajoutant un circuit oscillant LC¹ en parallèle à un disjoncteur AC », explique Bruno Kayibabu, ingénieur AREVA T&D. Le schéma de disjoncteur DC de la page 30 en est un exemple, avec ses deux branches parallèles. La première est constituée d'un circuit de série LC et la seconde d'une résistance non linéaire à oxyde métallique (Metal Oxyde Varistor — MOV), faisant office de para-surtenseur. La commutation s'effectue en deux étapes :

- Étape 1. En position fermée, le courant électrique traverse le disjoncteur, les branches LC et MOV sont passives. Au moment voulu, le disjoncteur commence à former un arc de plus en plus long entre ses contacts qui s'éloignent, mais l'intensité du courant électrique traversant le disjoncteur (I_{arc}) reste quasiment inchangée. Au fur et à mesure que la tension d'arc augmente, ce dernier commence à inter-agir avec le circuit LC : les fluctuations naturelles de la tension d'arc engendrent des oscillations de courant dans la boucle formée par le disjoncteur et la branche LC. L'intensité des oscillations de courant (I_c) augmente jusqu'à finalement dépasser celle du courant

DC (I_{DC}) que l'on veut couper. I_{arc} passe maintenant par des états de courant nul et le disjoncteur peut couper le courant. L'arc dure environ 20 ms.

- Étape 2. Lorsque le courant d'arc est coupé, l'énergie dans la ligne (ou le câble) est encore trop élevée, et elle continue à charger le condensateur. Lorsque le MOV atteint sa tension de coude², il devient conducteur, absorbe l'énergie et limite la tension à U_{MOV} . Cette tension s'oppose à la charge qui traverse le MRTB et force progressivement le courant électrique vers le circuit de retour du schéma. Cette action prend largement plus de temps à s'effectuer que celle de l'arc à s'éteindre. En conséquence, le facteur de dimensionnement correspond à l'énergie dissipée dans le MOV.

Le concept de disjoncteur DC développé par AREVA T&D est simple et fiable car il ne contient aucun composant actif. « AREVA T&D va ainsi pouvoir fournir à ses clients une solution globale pour tout réseau de transmission HVDC, avec un très haut niveau de sûreté de fonctionnement et de fiabilité », conclut Bruno Kayibabu. ●

¹ Un circuit LC est constitué d'une bobine d'inductance, représentée par la lettre L, et d'un condensateur, représenté par le C, montés en série.

² La tension de coude : la tension au-delà de laquelle le para-surtenseur devient conducteur.

EN SAVOIR PLUS

> EN COMPLÉMENT

TESTER LES DISJONCTEURS DC : LA TENSION D'ARC EST ESSENTIELLE

Les oscillations créées entre le disjoncteur et les branches LC sont cruciales pour réaliser la coupure du courant continu. « Plus on fait croître rapidement les oscillations, plus vite on peut faire atteindre au courant oscillatoire la valeur du courant DC et ainsi créer un courant nul propice à la coupure », explique Wolfgang Grieshaber. Ces oscillations sont fortement liées au comportement de la tension d'arc, elle-même dépendante du courant et de la longueur de l'arc.



Wolfgang Grieshaber

Des campagnes de test ont permis de déterminer clairement les caractéristiques physiques fondamentales des disjoncteurs DC d'AREVA T&D, pour mieux connaître la tension d'arc et le courant électrique en fonction du temps. « Ensuite, afin de dimensionner correctement nos équipements, l'objectif consistait à configurer le système et à vérifier que, pour toutes les valeurs du courant, la résistance dynamique de l'arc (dU_{arc}/dI_{arc}) restait suffisamment négative afin que les amplitudes d'oscillations soient suffisantes pour couper rapidement le courant en toute circonstance », explique Wolfgang Grieshaber.