

Des performances

Un circuit d'essai synthétique pour valider la conception des valves à thyristors CCHT

Baoliang Sheng, Hans-Ola Bjarne

prouvées

Les nouvelles valves à thyristors CCHT d'ABB permettent de contrôler de tels niveaux de puissance que les essais de fonctionnement au moyen des traditionnels circuits en opposition ne sont pas toujours réalisables. Une nouvelle méthode d'essai s'impose alors qui reproduit avec précision des contraintes de tension et de courant supérieures à celles susceptibles de se produire en exploitation. Un circuit d'essai synthétique développé par ABB pour satisfaire ce besoin a permis d'accroître la fiabilité des valves tout en faisant l'économie d'importants investissements.

L'accroissement des capacités de contrôle de puissance des thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) d'ABB rend très difficile, voire parfois impossible, les essais de fonctionnement des valves à thyristors CCHT avec les traditionnels circuits d'essai en opposition [1,2]. Face à ce constat, le développement d'un circuit d'essai synthé-

tique fut envisagé et ABB réunit, pour le projet, une équipe d'ingénieurs en essais de grande puissance et de spécialistes en conception des valves à thyristors. Leurs efforts débouchèrent sur un nouveau circuit d'essai synthétique [3] exploité commercialement pour la première fois en mai 2000 pour tester les valves à thyristors CCHT du projet de transport d'énergie

en CCHT de Three Gorges – Changzhou en Chine. Le nouveau circuit d'essai synthétique, capable de reproduire des contraintes de tension et de courant supérieures ou égales à celles auxquelles sont susceptibles d'être soumises les valves en exploitation [4], a permis d'accroître la fiabilité de ces composants essentiels.

Pourquoi un nouveau type de circuit d'essai ?

Les énormes progrès réalisés par la technologie des semi-conducteurs au cours des récentes années ont dopé les performances des dispositifs à électronique de puissance. L'augmentation rapide des puissances volumiques spécifiques des thyristors utilisés pour le transport d'énergie CCHT est un exemple type. Dans le même temps, les besoins de fiabilité et de disponibilité accrues se renforçaient également. En conséquence, des prescriptions très strictes s'appliquent désormais aux essais réalisés sur les composants et modules.

Jusqu'à présent, les laboratoires d'essais avaient l'habitude d'utiliser un circuit en opposition totalement ou partiellement contrôlé (également appelé circuit d'essai direct) pour tester le fonctionnement des valves à thyristors CCHT. Les plus fortes puissances assignées des thyristors modernes compliquent, cependant, la simulation des conditions réelles de fonctionnement à l'aide des traditionnels essais en opposition. Les difficultés concernent principalement la reproduction de contraintes de tension sur les thyristors car seul un nombre limité de ces composants peut être connecté en série dans chaque montage d'essai du fait de la capacité limitée des installations électriques du laboratoire. Pour reproduire avec précision ces contraintes, au minimum cinq thyristors doivent être connectés en série dans chaque montage d'essai. Il n'est cependant pas économiquement justifié d'augmenter la puissance électrique installée pour satisfaire cette exigence.

Développement d'un nouveau circuit d'essai

La solution qui consiste à augmenter la puissance d'un circuit d'essai en opposition traditionnel fut rapidement abandonnée car elle aurait supposé d'importants investissements sans pour autant offrir de meilleures conditions d'essais que la solution finalement retenue par ABB.

Une équipe ABB, composée d'ingénieurs en essais de grande puissance et

1

Batteries de condensateurs de la section haute tension du circuit d'essai synthétique



de spécialistes en conception de valves à thyristors CCHT, fut réunie en Suède pour étudier la faisabilité du développement d'un circuit d'essai synthétique comme solution de remplacement à une installation électrique plus « musclée » pour le laboratoire. Le fruit de ce travail collectif est un nouveau circuit d'essai synthétique 1, 2, 3, construit et installé au laboratoire d'essais de grande puissance d'ABB Power Systems à Ludvika.

Conception et principe de fonctionnement du circuit

Dans un circuit d'essai synthétique, le courant et la tension d'essai sont four-

2

Ponts en opposition totalement commandés et testés par le nouveau circuit d'essai synthétique



Principaux matériels du circuit d'essai synthétique

Le circuit d'essai synthétique comprend trois générateurs d'essai, deux groupes de transformateurs d'essai, deux convertisseurs à thyristors totalement commandés, une inductance de lissage, deux batteries d'inductances, deux batteries de condensateurs, cinq valves à thyristors CCHT auxiliaires et un système de contrôle-commande MACH 2. Avec cet équipement, plus de 12 thyristors connectés en série peuvent être testés en un seul montage sous des contraintes pouvant atteindre 4900 A et 70 kV. La séquence d'amorçage et les données temporelles sont réglables en permanence; la précision de synchronisation est de 10 μ s.

Circuit générateur de courant

Générateur(s) : puissance active en continu 9 MW, puissance réactive en continu 25 MVA et puissance de court-circuit 1300 MVA. Un second générateur d'un pouvoir de court-circuit assigné de 2500 MVA peut, au besoin, être connecté en parallèle.

Groupe de transformateurs 1 (pont redresseur) : 3 \times 66,7 MVA

Groupe de transformateurs 2 (pont onduleur) : 3 \times 33,3 MVA

Ponts redresseur et onduleur : montage en opposition totalement commandé avec 11,2 kV et 4900 A côté c.c.

Inductance de lissage : 1200 A, 10 mH et 10 m Ω par enroulement; 12 enroulements sont disponibles pour différents montages en parallèle ou en série.

Circuit générateur de tension

Générateur c.c. : 70 kV/15 A, niveau de tension réglable en continu

Batterie de condensateurs côté source, C2 : 81 μ F, réglable par pas de 4,5 μ F

Batterie d'inductances côté source, L2 : 211 mH, réglable par pas de 0,2 mH

Batterie de condensateurs côté source.

C1 : 72 μ F, réglable par pas de 0,9 μ F

Batterie d'inductances de commutation, L1 : 4 unités de 3,2 mH, 6,4 mH, 12,8 mH et 25,6 mH

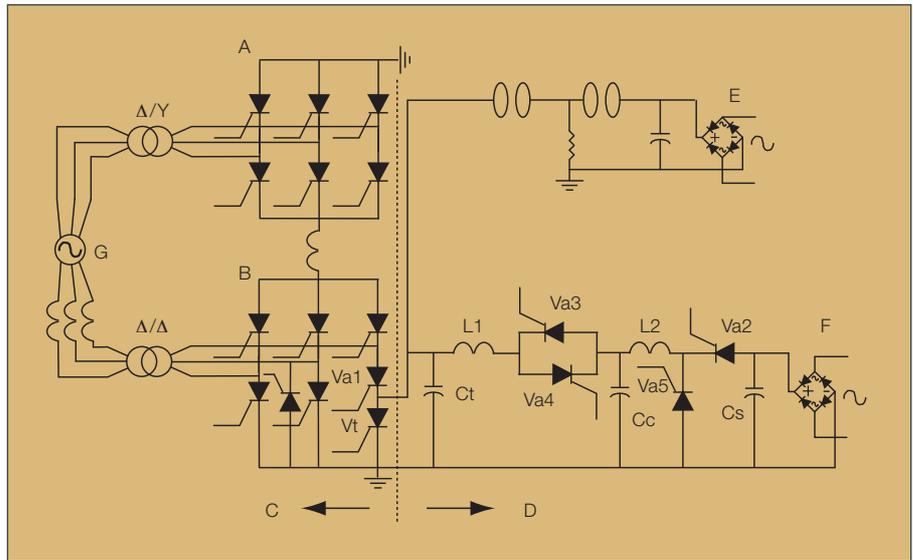
Générateur de tension de choc

200 kV/10 kJ

nis par deux sources d'énergie séparées. Le nouveau circuit d'essai synthétique ABB associe un circuit en opposition totalement commandé traditionnel, qui fournit le courant, et un circuit oscillant de tension innovant [4] qui applique la tension. Le principe de fonctionnement du circuit est décrit brièvement ci-dessous (pour une description détaillée, cf. [3]).

Une des fonctions des valves du redresseur totalement commandé du circuit en opposition suppose que l'objet en essai, V_t , conduit un courant (représentant le courant d'exploitation) après amorçage. Juste avant la fin de la commutation, la source de tension est connectée en amorçant la valve auxiliaire, V_{a3} . A partir de cet instant, et jusqu'au passage par zéro du courant de source, l'objet en essai conduit un courant égal à la somme du courant fourni par la source de courant et du courant d'injection fourni par la source de tension. L'objet en essai continue de conduire le courant d'injection pendant environ 600 μs après le passage par zéro du courant de source. L'inductance $L1$ et la tension sur C_s sont définies pour créer la même dérivée de courant

4 Schéma de principe du circuit d'essai synthétique



A = Onduleur
 B = Redresseur
 C = Section haute intensité
 D = Section haute tension
 E = Générateur de tension de choc
 F = Source de courant continu

(di/dt) qu'en exploitation réelle pendant environ 200 μs avant le passage à zéro du courant [5]. La tension inverse de rétablissement et la tension directe sont produites par amorçage des valves auxiliaires V_{a4} et V_{a5} à des instants appropriés. La valve auxiliaire V_{a1} sert à isoler le circuit haute intensité du circuit haute tension.

Pendant les essais, le nouveau circuit synthétique présente les mêmes paramètres réseau aux moments de l'amorçage et du blocage, reproduisant fidèlement l'interaction complexe thyristors/réseau. Etant donné que deux sources sont utilisées, le courant et la tension d'essai peuvent être réglés indépendamment pour donner les niveaux de contrainte requis.

3 Générateur du circuit d'essai avec courants d'essai permanents jusqu'à 4000 A_{eff} à 50 Hz



Reproduire avec précision les conditions en exploitation

L'amorçage et le blocage sont les deux états les plus critiques du fonctionnement des thyristors [6]. Au moment de l'amorçage, une dérivée de courant initial élevée, générée par la capacité parasite chargée et le condensateur du circuit RC de protection de la valve à thyristors, traverse les thyristors. Ce phénomène peut entraîner une densité de puissance excessive dans le silicium et provoquer la défaillance suite à une fusion locale. Pendant l'extinction, qui est la fonction de base des semi-conducteurs comme les thyristors, l'interaction entre le thyristor et le réseau provoque une surtension dans le thyristor.

Un programme complet d'essais de fonctionnement, tel que prescrit par les normes CEI et IEEE, peut être réalisé avec le nouveau circuit d'essai [5]. Le programme d'essais de fonctionnement des valves à thyristors CCHT inclut :

- Essais en service continu maximal
- Essai en service temporaire maximal ($\alpha = 90^\circ$)
- Essais sous tension alternative minimale (essai sous tension d'amorçage mini et essai sous tension d'extinction mini)
- Essai avec courant continu intermittent
- Essais sous tension directe transitoire durant la période de rétablissement

- Essai avec courant de défaut à une boucle et réapplication de tension directe
- Essai avec courant de défaut à boucle multiple sans réapplication de tension directe

Les valves à thyristors CCHT du projet de Three Gorges – Changzhou

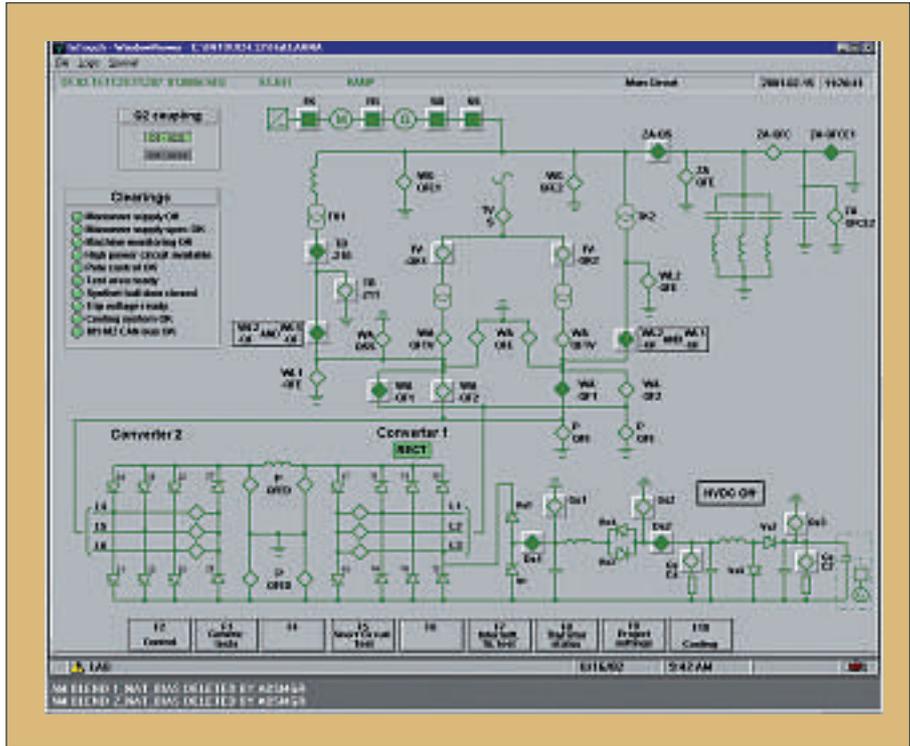
ABB a utilisé le nouveau circuit synthétique pour une campagne complète d'essais de type et sur prélèvement, réalisée sur 36 modules de thyristors répartis en 18 montages d'essai destinés au projet de transport d'énergie en CCHT de Three Gorges – Changzhou 6. Les mesures relevées pendant les cycles d'essais sont présentées en 7.

Les résultats des essais de type obtenus ont validé la pertinence de la conception des valves à thyristors CCHT. Le fait que les contraintes appliquées lors des essais étaient supérieures ou égales à celles qui seront subies en exploitation témoigne de la fiabilité très élevée des modules de thyristors.

Des essais exhaustifs pour une fiabilité maximale

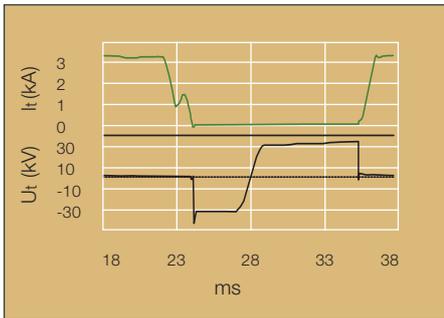
Une fiabilité élevée est garantie pour les valves à thyristors CCHT d'ABB par la réalisation d'un ensemble d'essais

5 Ecran opérateur d'exploitation et de commande des séquences d'amorçage, des données temporelles et d'état du fluide de refroidissement

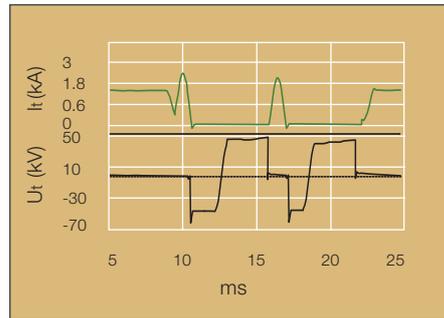


6 Structure bivalente pour le projet CCHT de Three Gorges – Changzhou en Chine

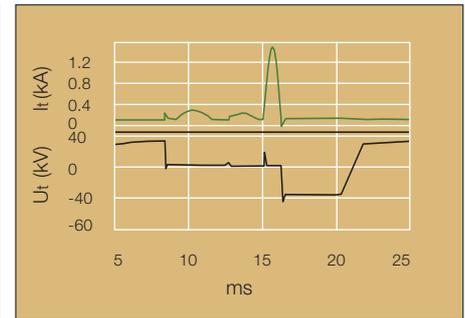




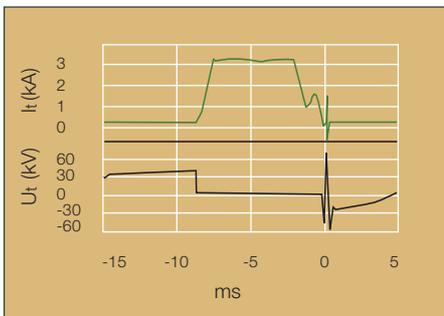
Amorçage et extinction périodiques
(b avec $\alpha = 90^\circ$)



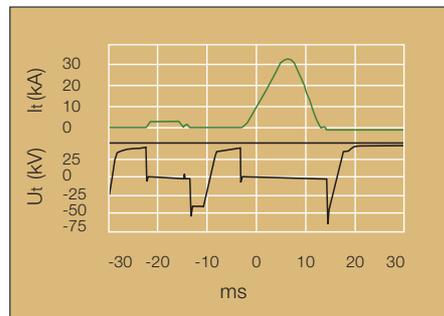
Amorçage et extinction périodiques
(b avec $\alpha = 90^\circ$)



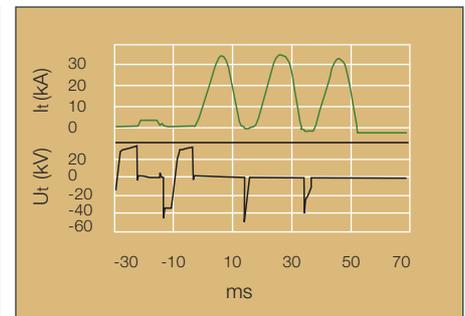
Essai avec courant continu intermittent



Essai sous tension transitoire durant la
période de rétablissement



Essai avec courant de défaut à une
boucle et réapplication de tension
directe



Essai avec courant de défaut à trois
boucles sans réapplication de tension
directe

sévères: essais de fonctionnement, essais diélectriques et essais de sensibilité des valves aux perturbations électromagnétiques. Pour vérifier la rigidité diélectrique et la compatibilité électromagnétique (CEM), ABB collabore avec le *Swedish Transmission Research Institute* qui dispose de son propre laboratoire haute tension à

Ludvika. C'est cet engagement d'ABB à tester intégralement ses valves à thyristors CCHT qui contribue à leur réputation de haute qualité. Le nouveau circuit d'essai synthétique renforce ainsi la position de leader d'ABB dans le secteur du transport d'énergie CCHT.

Dr. Baoliang Sheng
Hans-Ola Bjarne
ABB Power Technologies
SE-77180 Ludvika
Suède
baoliang.sheng@se.abb.com
hans-ola.bjarne@se.abb.com

Bibliographie

- [1] IEEE Guide for Testing of Thyristor Valves, IEEE 857 (1996).
- [2] Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques, CEI 60700-1 (1998).
- [3] **B. L. Sheng, E. Jansson, A. Blomberg, H-O. Bjarne, D. Windmar:** A new synthetic test circuit for the operational tests of HVDC thyristor modules. Proceedings of IEEE APEC 2001 Conference, Anaheim, USA, pp 1242–1246.
- [4] **B. Sheng, H-O. Bjarne, P. Riffon, W. Ma:** Operational tests of Three Gorges – Changzhou HVDC thyristor valves by using a synthetic test circuit. Proceedings of Cigré ICPS 2001 Conference, Wuhan, China, pp 396–400.
- [5] Task Force 03 of Working Group 14.01: Test circuits for HVDC thyristor valves. Cigré Technical Brochure 113.
- [6] Task Force 01 of Working Group 14.01: Voltage and current stresses on HVDC valves. ELECTRA No. 125, July 1989.