

Etude d'un disjoncteur hybride ultra- rapide pour le système de batterie de moyenne puissance

NGUYEN Van-Sang, HO Tien-Phu, Bertrand RAISON, Jean -Christophe CREBIER
Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble, G2ELab, Grenoble INP

Résumé -Plusieurs modèles de disjoncteurs hybrides existants pour les applications de systèmes de forte puissance jusqu'à 320kV/9kA sont capables de couper le courant continu (CC) en plusieurs millisecondes. Pour des niveaux de courants et de tensions inférieurs comme dans les applications de systèmes de batterie, ce temps de coupure est trop long pour satisfaire aux exigences de protection contre les défauts. Par ailleurs, ces dispositifs hybrides ou totalement mécaniques sont également volumineux et coûteux. Cet article traite de la conception, l'optimisation de l'algorithme de contrôle et la mise en œuvre matérielle d'un disjoncteur hybride compact et "rapide" pour les applications de systèmes de moyenne puissance de 12VDC – 48VDC/50A. La conception du disjoncteur hybride proposée améliore de manière significative les formes d'onde en commutation, la dissipation thermique et la production CEM ainsi que la fiabilité en cas de nombreuses activations du disjoncteur qui conviennent à des strictes exigences du système de batterie.

Mots-clés : disjoncteur hybride, coupure mécanique, MOSFET, modèle d'arc, puissance moyenne, le système de batterie.

1. Introduction

En fonctionnement normal, le disjoncteur mécanique à CC (MCB) peut interrompre très grands courants continus mais à comparer avec les interrupteurs semi-conducteur, ils sont volumineux, lourds et coûteux. Par ailleurs, le temps d'ouverture est assez long et ne satisfait pas aux systèmes de batteries une fois que le courant de défaut s'apparaît. En outre, l'arc se produisant à son contact produit de grandes perturbations électromagnétiques rayonnées et conduites pouvant affecter les appareils électroniques dans l'environnement du disjoncteur. Par comparaison, le circuit disjoncteur / interrupteur à semi-conducteur (SCB) fonctionne très rapidement, mais ils génèrent de grandes pertes de conduction à l'état passant [1].

Pour vaincre en partie les inconvénients des deux dispositifs, une technologie à base de disjoncteur hybride a été proposée en combinant les deux (MCB et SCB) dans un seul appareil, un disjoncteur hybride (HCB). HCB est un dispositif qui hérite des caractéristiques avantageuses des de MCB et SCB. Comme un MCB, il a une faible perte de conduction en fonctionnement normal et peut bloquer le courant de court-circuit important jusqu'à la valeur nominale de l'appareillage sous une tension élevée entre les deux bornes. Selon les conditions de mise en œuvre, le HCB peut réduire l'arc électrique et introduire la possibilité d'améliorer les caractéristiques de transition en termes de vitesse d'ouverture, la fiabilité dans le temps et cycles et qualité de formes d'ondes. Dans [2-4], les conceptions actuelles DC HCB pour certaines applications spécifiques ont la capacité de coupure jusqu'à 320kV/9kA mais ils ne sont pas assez rapides pour certaines applications plus exigeantes en terme de réponse. Par ailleurs, il n'existe pas à notre connaissance de système HCB pour la puissance moyenne avec le temps d'action rapide.

Dans cet article, un disjoncteur hybride rapide pour le système de batterie de puissance moyenne de 12VDC – 48VDC/50A a été développé. Il a adapté pour isoler la source électrochimique du système de batterie en quelques centaines de microsecondes. Pour obtenir les valeurs souhaitées de la durée d'action, d'un algorithme de gestion de l'ouverture du HCB proposée a été utilisé. Les procédures de l'analyse et de la conception de ce HCB seront détaillées dans les sections suivantes.

2. Architecture proposée du disjoncteur hybride

La plupart des disjoncteurs/contacteurs mécaniques sont conçus pour couper le courant alternatif 50 Hz. Par rapport à un disjoncteur DC, la présence des passages par zéro du courant alternatif simplifie la gestion de

L'ouverture du disjoncteur CA et facilite considérablement le travail d'isolement galvanique par l'extinction naturelle de l'arc entre ses bornes. Au début de cette étude, un MCB DC a été utilisé comme organe de contacteur/protection de la batterie, mais il y avait de nombreux obstacles tels que les niveaux de bruits CEM et un temps d'ouverture assez long. L'ouverture régulière du contacteur/disjoncteur en cours d'utilisation pose aussi le problème de la dégradation de la qualité des contacts au fil du temps. En raison de nombreux inconvénients mentionnés au niveau du MCB, la mise en œuvre d'un SCB a été envisagée. Cependant, SCBa une très élevé résistance à l'état passant par rapport celle de MCB, et génère des pertes de chaleur importantes pendant le temps de fonctionnement réduisant au passage le niveau d'énergie délivrée à la charge. Cela entraîne l'augmentation la taille du dissipateur de chaleur pour empêcher la défaillance de l'appareil. Finalement, le système a besoin d'une qualité de commutation élevée qui ne peut être satisfait que par l'emploi d'un HCB ou d'un SCB. Selon les exigences du système de batterie, les idées des disjoncteurs hybrides ont été prises en compte par la suite. Le schéma fondamental du disjoncteur hybride d'aujourd'hui [5, 6] est représenté sur la figure. 1. Dans ce schéma, il ya trois branches différentes pour le courant à travers le disjoncteur: le disjoncteur mécanique, des éléments électroniques de puissance et labranche d'absorption d'énergie. Une troisième branche de la dissipation de chaleur peut être nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du module électronique de puissance qui va devoir absorber l'énergie d'ouverture du circuit. Etant donné les composants du module électronique de puissance, plusieurs types d'appareils et matériaux avait été envisagés. Pour les applications basse tension, le MOSFET à base de silicium sont préférés par leur baisse réduite de tension directe, leur petite taille, leur fréquence de fonctionnement élevée et leur faible coût. A partir d'ici, un ou plusieurs MOSFET sont dédiés au module électronique de puissance.

En fonction de la capacité du dispositif de semi-conducteur pour résister à l'opération d'avalanche et la génération des pertes au cours de l'ouverture, le module électronique de puissance et le dispositif d'absorption d'énergie peuvent être un seul et même système. Pour cela, la chaleur générée pendant le temps d'ouverture doit rester sous la limite thermique du dispositif électronique sélectionné et de son système de refroidissement associé. L'opération d'ouverture doit être optimisée afin de minimiser la chaleur qui sera dissipée par le module électronique de puissance. De même, la forme des grandeurs électriques durant la commutation peut être adaptée.

La sélection des composants a besoin de tenir compte de plusieurs valeurs en régime nominal et en cas de défaillance. Il n'y a pas seulement la tension et le courant nominal ainsi que la tension et le courant maximum, mais aussi une puissance dissipée maximale, des pertes minimales à l'état passant, un temps de réponse minimal, une signature CEM minimale.

La deuxième étape importante est le choix du transistor MOSFET, et les premières valeurs sont des valeurs maximales de tension et de courant, les comportements thermiques, et le nombre de MOSFET à mettre en parallèle si la solution parallèle est nécessaire. Pour ajouter le module électronique de puissance et le composant d'absorption d'énergie dans la Fig. 2 dans un système unique, une conception thermique appropriée est nécessaire, dynamique mais aussi statique.

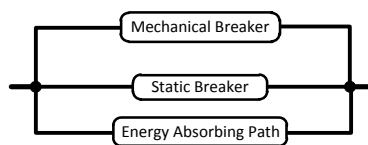


Fig. 1. Trois branches du disjoncteur hybride

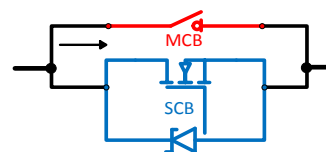


Fig. 2. Deux composantes principales du disjoncteur hybride

3. Résultats obtenus

Un disjoncteur hybride 12VDC – 48VDC/50A est mis en œuvre pour les expériences. La validité de la topologie et l'algorithme proposé ont ensuite été vérifiés avec un MCB et un MOSFET sélectionnés et mis en œuvre dans un HCB "monolithique" avec son circuit de commande.

Pour vérifier les améliorations du HCB, les opérations régulières de MCB ont été prises en compte. La figure 3 montre le signal de commande pour activer / désactiver MOSFET en alimentant la bobine du MCB et le courant dans le circuit principal. Ces formes d'onde donnent le temps de retard à l'ouverture du MCB qui est de environ 3ms. Dans la figure 4, le courant et la tension indiquent les bruits CEM et le temps de commutation à proprement parler n'est pas inférieur à 350µs.

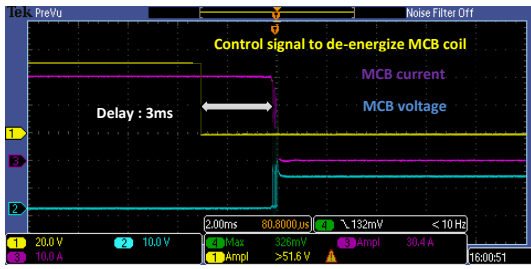


Fig. 3. Signal piloter la bobine et le courant MCB

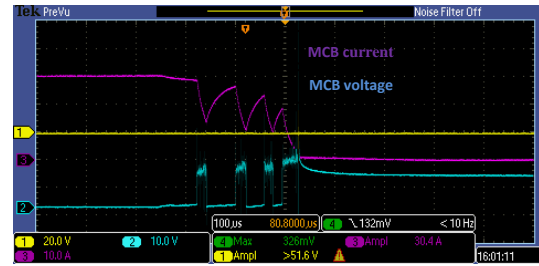


Fig. 4. Courant et de tension de MCB avec rebonds

La figure 5 montre le signal de commande pour activer / désactiver MOSFET en alimentant la bobine du MCB et le courant dans le circuit principal. La figure 6 montre la conception du HCB, le design combine la partie pour piloter la bobine du MCB, le MOSFET et le snubber afin de réduire les bruits pendant le temps de l'ouverture de MOSFET. Les opérations de test sont exécutées dans les mêmes conditions de la source et de la charge avec les opérations régulières.

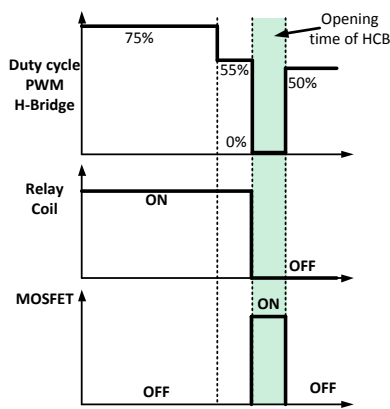


Fig. 5. L'algorithme de commande

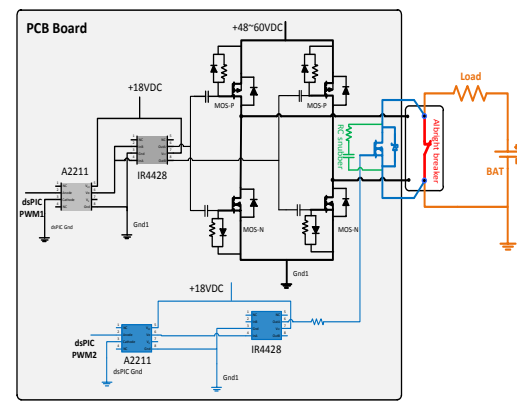


Fig. 6. L'architecture HCB

Dans la figure. 7, le prototype du HCB est représenté. Nous pouvons voir les courants de HCB, le courant du MOSFET et le courant du MCB pendant le temps d'ouverture du HCB dans Fig.8 et Fig. 9. Lorsque HCB commence à ouvrir le circuit, les signaux de commande sont appliqués pour ouvrir le MCB et garantir la fermeture du MOSFET, dans la Fig. 8, le temps de retard de 1,5 ms est souligné. Dans la figure.9, le courant MCB a été utilisé pour faire un signal de retour pour ouvrir le MOSFET au moment quand le courant du MCB atteint à zéro, MOSFET commence alors à s'éteindre, après presque 250µs de délai, une sonde de courant a été mis en place à côté de prototype HCB. Nous pouvons voir le temps pour éteindre le courant principal du HCB adiminué de 350µs dans la figure 4 à moins de 8µs la figure.10.

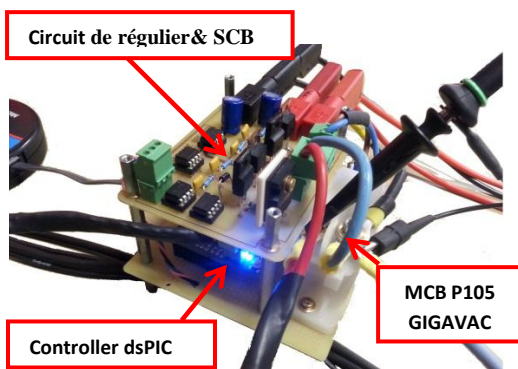


Fig. 7. L'architecture du disjoncteur hybride prototype

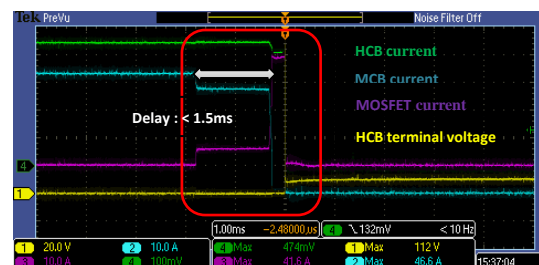


Fig. 8. Retard de 1.5ms

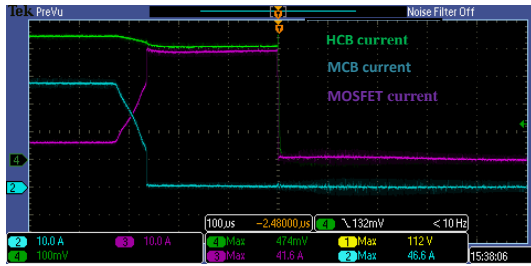


Fig. 9. Courants HCB, MOSFET et MCB sans rebond

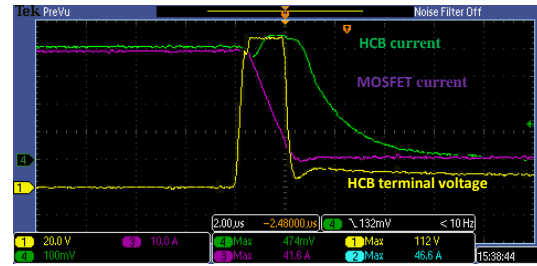


Fig. 10. Courant et la tension du HCB et le pouls de MOSFET

En outre, en comparant les formes d'ondes des Fig. 6 et 7, les bruits CEM ont disparu de manière significative comme cela est visible précisément sur la figure. 10.

A partir des résultats expérimentaux, nous pouvons voir clairement les améliorations entre le fonctionnement régulier du MCB et le fonctionnement du HCB pendant le temps d'ouverture. Le disjoncteur hybride proposé exploite les avantages des MCB et SCB et limite les inconvénients des deux systèmes en réduisant le temps d'ouverture et surtout en éliminant les bruits CEM pour un système de batterie de 12VDC – 48VDC/50A. La contre partie de cela est un système plus complexe mais surtout la perte d'une isolation galvanique complète puisque le transistor de coupure maintient un lien filaire entre les deux parties du système la batterie et sa charge. Une évolution du HCB est donc nécessaire si l'application impose l'isolation galvanique. Cela sera étudié plus tard.

4. Conclusion

Cet article présente une étude de HCB. Au début de ce travail, pour prouver la mise en œuvre inévitable du HCB pour le système de batterie de puissance moyenne, le MCB et SCB conventionnel ont été considérés pour prouver de leurs caractéristiques insatisfaisantes pour un système de moyenne puissance avec les sources électrochimiques. Une des plus grandes limitations des HCB existants est la capacité de couper le courant en plusieurs millisecondes, ce qui est un temps trop grand pour certaines sources électrochimiques tels que les batteries de fortes puissances. Ensuite, le calcul thermique pour MOSFET a été pris en compte à côté des calculs pour les sélections du MCB et du MOSFET. Enfin, certains circuits ont été mis en place pour sélectionner les composants de semi-conducteurs les plus appropriés pour le disjoncteur hybride. Le temps de retard pour la commutation, le temps de coupure du courant principal, les bruits CEM ont été étudiés dans plusieurs cas. Tous ces aspects ont été améliorés de façon significative. Le temps de retard réduit forme 3ms à 1.5ms, le temps de coupure est passé de 350 μ s à 8 μ s et les bruits CEM de HCB sont sensiblement réduits.

Dans les travaux futurs, un HCB bidirectionnel sera étudiée afin de pouvoir effectuer des opérations de coupure protection de la batterie durant les opérations de charge et de décharge.

5. Reference

- [1] R. Kapoor, A. Shukla, G. Demetriades, "State of art of power electronics in circuit breaker technology" Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012 IEEE.
- [2] C. M. Franck, "HVDC Circuit Breakers: A Review Identifying Future Research Needs" IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 26, Issue: 2.
- [3] A. M. S Atmadji, J.G.J Sloot, "Hybrid switching: a review of current literature" 1998 International Conference on Energy Management and Power Delivery, 1998. Proceedings of EMPD '98. Volume: 2, 1998 IEEE.
- [4] C. Meyer, M. Kowal, R. W. De Doncker, "Circuit breaker concepts for future high-power DC-applications" Industry Applications Conference, 2005. Fortieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005, Volume: 2, 2005 IEEE.