Diagnostic de défauts d'un convertisseur boost entrelacé pour véhicules électriques à pile à combustible

Damien Guilbert, Arnaud Gaillard, Abdoul N'Diaye, Abdesslem Djerdir

▶ **To cite this version:**

Damien Guilbert, Arnaud Gaillard, Abdoul N'Diaye, Abdesslem Djerdir. Diagnostic de défauts d'un convertisseur boost entrelacé pour véhicules électriques à pile à combustible. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065199

HAL Id: hal-01065199
https://hal.science/hal-01065199

Submitted on 18 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Symposium de Génie Electrique 2014
8-9 juillet 2014, Cachan

Diagnostic de défauts d'un convertisseur DC/DC boost entrelacé pour véhicules électriques à pile à combustible

Damien GUILBERT, Arnaud GAILLARD, Abdoul N'Diaye, Abdesslem DJERDIR

IRTES-SET, UTBM, 90010 BELFORT Cedex
Fédération de Recherche CNRS FCLab (FR CNRS 3539), Rue Thierry Mieg, 90010 BELFORT

RESUME – Au cours des dernières décennies, les progrès dans la technologie de l'électronique de puissance a permis de développer l'utilisation des convertisseurs de puissance dans une large gamme d'applications incluant les véhicules électriques. Dans de telles applications critiques, un haut niveau de fiabilité est nécessaire. Les convertisseurs de puissance jouent un rôle essentiel dans le maintien d'un fonctionnement normal pour tous les types de transport électrifié, incluant les véhicules électriques à pile à combustible. Par conséquent, la fiabilité des convertisseurs est cruciale, puisque un défaut dans ces circuits pourrait provoquer une panne ou un disfonctionnement sur l'ensemble de la chaîne de traction si aucune stratégie tolérante aux défauts n'était appliquée. L'objectif de cet article est de présenter une méthode de diagnostic originale fondée sur des équations du courant du bus DC en mode dégradé. Une connaissance approfondie de l'emplacement du défaut permet de mettre en place une stratégie tolérante aux défauts afin d'optimiser les modes dégradés.

MOTS-CLES – Véhicule électrique à pile à combustible, convertisseur boost entrelacé, mode sain, mode dégradé, diagnostic, stratégie tolérante aux défauts, optimisation.

1. Introduction

Récemment, une enquête basée sur l'industrie concernant la fiabilité des convertisseurs de puissance a été réalisée afin de déterminer les besoins de l'industrie et les attentes de fiabilité [1]. Selon cette enquête, les semi-conducteurs de puissance sont classés comme les composants les plus fragiles dans les convertisseurs de puissance. En outre, l'enquête a permis de souligner les causes des principales contraintes des semi-conducteurs de puissance :

1) Environnement ;
2) Transitoires (charge, changement des conditions de fonctionnement de la source d'entrée, défauts) ;
3) Charge importante.

En raison de l'importance des semi-conducteurs de puissance, de nombreux chercheurs ont publiés des articles concernant des méthodes de diagnostic de défauts pour les convertisseurs de puissance, incluant les convertisseurs DC/DC [2]-[10]. L'histogramme représenté sur la Figure 2, montre l'évolution du nombre d'articles [11] concernant les méthodes de diagnostic des défauts d'interrupteurs de puissance. Cette évolution souligne que le diagnostic des défauts dans les convertisseurs DC/DC est un sujet émergent en électronique de puissance.

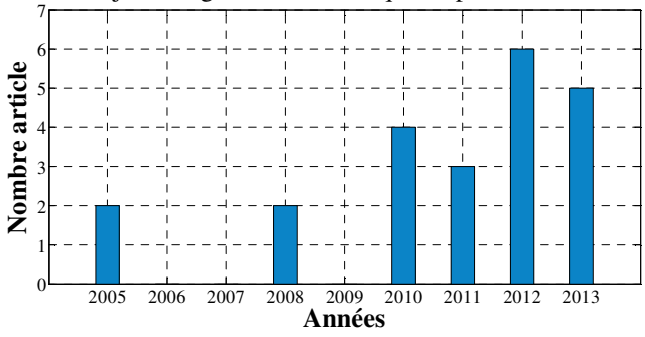

Figure 1 : Nombre croissant d'articles sur le diagnostic des défauts d'interrupteurs de puissance dans les convertisseurs DC/DC [11]

Les défauts les plus communs dans les interrupteurs de puissance sont les défauts de circuit-ouvert, de commande et de court-circuit. En outre, les défauts de circuit-ouvert peuvent être une conséquence des défauts de court-circuit si et seulement si les fusibles fondent avant qu'un défaut de court-circuit endommage le système [12]. Dans cette étude, les défauts de circuit-ouvert sont considérés. Une fois que le défaut a été détecté, l'arrêt du convertisseur doit être évité. Pour assurer une continuité de service et/ou réduire les effets indésirables des modes dégradés, une topologie de convertisseur DC/DC tolérante aux défauts doit être utilisée. En se basant sur la littérature existante [11], seulement 23% des articles présentent une méthode de diagnostic associée à une stratégie tolérante aux défauts. Différentes approches sont présentées dans la littérature pour les convertisseurs DC/DC tolérants aux défauts, basées sur la redondance dynamique avec une reconfiguration du contrôle [2]-[4], reconfiguration du contrôle sans redondance dynamique [8] et modularité [10]. Partant de l'état de l'art de cette thématique de recherche, cet article a pour but de présenter une méthode de diagnostic originale basée sur les équations du courant du bus DC en mode dégradé. Une fois que la phase défectueuse a été détectée, une stratégie tolérante aux défauts est appliquée au système afin d'améliorer les fonctionnements en mode dégradé.

2. Topologie étudiée et spécifications du système

Ce travail de recherche se concentre sur le convertisseur DC/DC comme montré sur la Figure 2 représentant l'architecture d'un véhicule électrique à pile à combustible. Dans cet article, un convertisseur boost entrelacé 3 phases a été choisi pour étudier la tolérance aux défauts. La topologie est représentée sur la Figure 3. Cette topologie présente de nombreux avantages comparée aux autres topologies de convertisseurs DC/DC pour des applications véhicule électrique à pile à combustible [13] incluant compacité, haut rendement, courant d'ondulation réduit et prédisposition aux fonctionnements en mode dégradé. Afin de satisfaire les exigences de la tolérance aux défauts, des fusibles ont été ajoutés en série avec chaque interrupteur. Les fusibles permettent d'isoler la phase défectueuse en cas de défaut de court-circuit. Afin de faciliter l'étude, l'ensemble des charges (réseau de bord, moteur de traction et auxiliaires) est considéré comme une charge résistive connectée au bus DC.

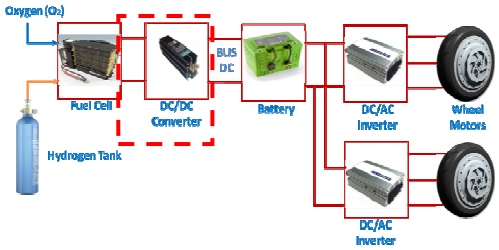

Figure 2 : Architecture de la chaîne de traction d'un véhicule électrique à pile à combustible [14]

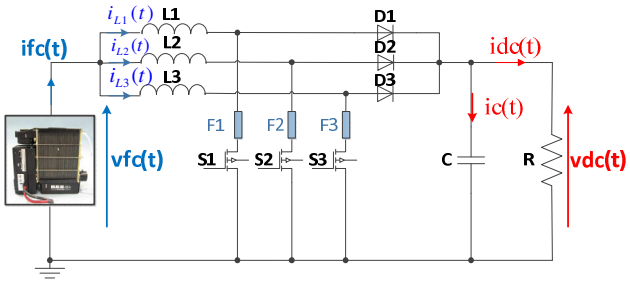

Figure 3 : Convertisseur DC/DC boost entrelacé 3 phases

3. Analyse des modes dégradés

Des résultats de simulation et expérimentaux ont permis de mettre en lumière les effets des modes dégradés sur le système incluant la pile à combustible et le convertisseur DC/DC. Comme le montrent les Figures 4 et 5, un fonctionnement en mode dégradé va provoquer l'augmentation de l'ondulation du courant d'entrée et du courant efficace du condensateur si aucune stratégie tolérante aux défauts n'est appliquée. L'ondulation de courant a des effets indésirables sur la pile à combustible telle que sa durée de vie, sa capacité de puissance en sortie et sa consommation en hydrogène [14]. Il a été suggéré dans la littérature de limiter l'ondulation de courant à 10% du courant nominal de la pile à combustible [15]. Cette exigence a été prise en considération pour le dimensionnement des inductances en mode

sain. Cependant, en mode dégradé, cette condition n'est plus respectée. De là, une stratégie tolérante aux défauts est nécessaire afin de minimiser les effets sur le système.

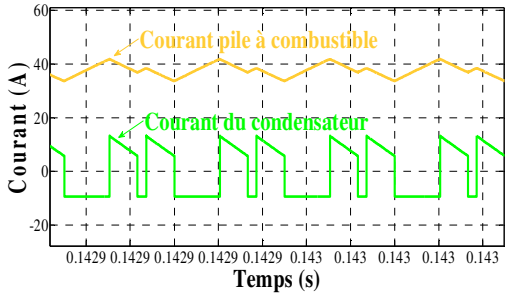

Figure 4 : Impact des modes dégradés obtenu par simulation

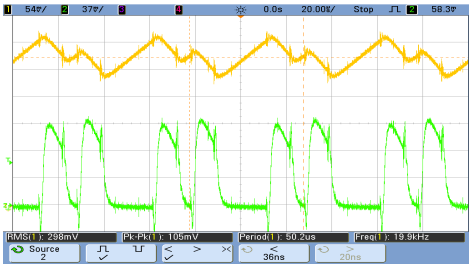

Figure 5 : Impact des modes dégradés obtenu par un essai expérimental

4. Méthode de diagnostic et stratégie tolérante aux défauts

Cet article propose une méthode de diagnostic des défauts d'interrupteurs de puissance pour les convertisseurs DC/DC non-isolés. Cette méthode se base sur les équations du courant du bus DC en mode dégradé suivant la phase défectueuse. La méthode de diagnostic proposée se base sur un algorithme pour détecter les défauts d'interrupteurs de puissance de type circuit-ouvert et court-circuit et est donné sur la Figure 6.

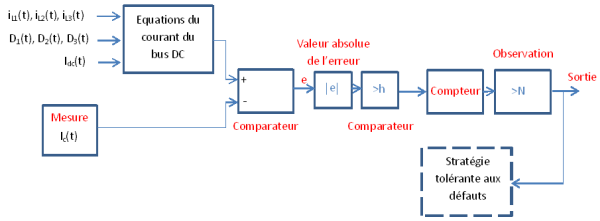

Figure 6 : Diagnostic des défauts d'interrupteurs de puissance basé sur un algorithme

Dans cet algorithme, les équations du bus DC en mode dégradé se basent sur les mesures des trois courants de phase, des ordres de commande des interrupteurs et du courant de charge. Les références de courant du bus DC données par les équations sont comparées à la mesure du courant. Le signal d'erreur symbolisé par la lettre « e » passe à travers un bloc permettant de garder la valeur absolue de l'erreur. Afin de prendre en compte le problème d'offset observé dû aux différents capteurs et aux phénomènes de commutation, un deuxième comparateur est utilisé pour filtrer les pics. Par la suite, le signal « e » est observé et si le signal reste à 1 pendant une période assez longue (N période d'observation égal à NT_s où T_s est la période d'horloge du compteur; alors il peut être conclu qu'un défaut s'est produit. Une défaillance soudaine d'un des capteurs de courant pourrait compromettre le diagnostic et également de diminuer les performances du système au point de vue du contrôle. Les capteurs de courant utilisés ne peuvent pas être considérés comme sans défaut. Ils peuvent être soumis au bruit, à des problèmes de gain et d'offset [12]. C'est pourquoi, dans ce travail de recherche, la redondance analytique est utilisée afin de reconstruire la mesure d'un capteur de courant en cas de défauts. L'algorithme du diagnostic des défauts d'interrupteurs de puissance a été implémenté dans l'environnement Matlab®-Simulink® afin de vérifier les performances de cette dernière. Un défaut de type circuit-ouvert sur l'interrupteur S2 a été simulé à t=0.12s en créant une défaillance dans la commande. Les résultats de simulation sont donnés à la Figure 7. Comme le montre la Figure 7, le défaut est détecté en 100µs. La reconfiguration du contrôle se fait instantanément suivant la phase défectueuse. La phase 3 est maintenant décalée de 180° au lieu de 240° par rapport à la phase 1.

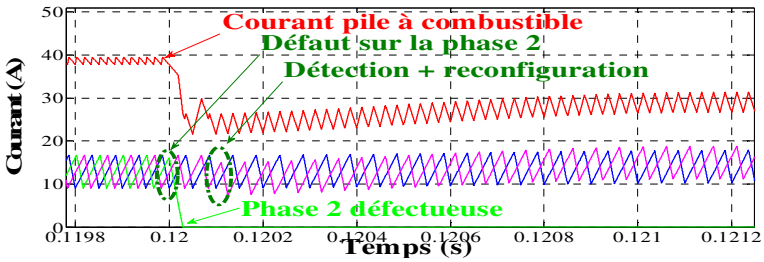

Figure 7 : Evolution des courants avant et après l'apparition du défaut

5. Conclusion et futur travail

Dans ce résumé, un état de l'art a été présenté afin de souligner que le diagnostic des défauts est un sujet émergent en électronique de puissance. De plus, la méthode de diagnostic et la stratégie tolérante aux défauts proposées ont été présentées afin de minimiser les effets indésirables sur le système en mode dégradé. Dans l'article final, des résultats de simulation et expérimentaux seront donnés afin d'évaluer les performances mais aussi les limites de la méthode de diagnostic et de la stratégie tolérante aux défauts proposées. De plus, une discussion sera portée sur notre stratégie basée sur la variation de la fréquence du convertisseur DC/DC mais aussi sur l'impact de la prise en compte des modes dégradés sur le dimensionnement de son inductance.

6. Références

[1] S. Yang, A. Bryant, P. Mawby, D. Xiang, R. Li, and P. Tavner, "An industry-based survey of reliability in power electronic converters", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 47, no. 3, May 2011, pp. 1441–1451.

[2] E. Ribeiro, A.J. Marques Cardoso, C. Boccaletti, "Fault tolerant strategy for a photovoltaic DC\DC converter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 28, No. 6, 2013, pp. 3008-3018.

[3] X. Pei, S. Nie, Y. Chen, Y. Kang, "Open-Circuit Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Strategies for Full-Bridge DC-DC Converters", *IEEE Transactions Power Electronics*, Vol. 27, No. 5, 2012, pp. 2550-2565.

[4] K. Ambusaidi, V. Pickert, B. Zahawi, "New circuit topology for fault tolerant H-bridge DC-DC converter", *IEEE Transactions Power Electronics*, Vol. 25, no. 6, 2010, pp. 1509-1516.

[5] E. Ribeiro, A.J. Marques Cardoso, C. Boccaletti, "Open-Circuit Fault Diagnosis in Interleaved DC-DC Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, Vol., Iss. 99, pp.

[6] M. Hadi Hafizi, A. Izadian, "Model-Based Fault Diagnosis of a DC-DC Boost Converter Using Hidden Markov Model", *IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, 2013, pp. 1-4

[7] E. Ribeiro, A.J. Marques Cardoso, C. Boccaletti, "Fault analysis of dual active bridge converters", *38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2012, pp. 398-403.

[8] T. Park, T. Kim, "Novel fault tolerant power conversion system for hybrid electric vehicles", in *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, IL, USA, 2011.

[9] M. Shahbazi, E. Jamshidpour, P. Poure, S. Saadate, M. Zolghadri, "Open and Short-Circuit Switch Fault Diagnosis for Non-Isolated DC-DC Converters using Field Programmable Gate Array", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 60, Iss. 9, Sept. 2013, pp. 4136-4146.

[10] V. Choudhary, E. Ledezma, R. Ayyanar, R.M. Button, "Fault tolerant circuit topology and control method for input-series and output-parallel modular DC-DC converters", *IEEE Transactions Power Electronics*, Vol. 23, No. 1, 2008, pp. 402-411.

[11] IEEE Xplore, Novembre 2013, disponible en ligne: http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp.

[12] S. Karimi, A. Gaillard, P.Poure, S. Saadate, "Current Sensor Fault-Tolerant Control for WECS With DFIG", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, Iss. 11, November 2009, pp. 4660-70.

[13] M. Kabalo, B. Blunier, D. Bouquain, A. Miraoui, "State-of-the-Art of DC/DC converters for fuel cell vehicles", in: Proc. Of IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, (VPPC'10), Lille, 2010, pp. 1-6.

[14] D. Guilbert, A. Mohammadi, A. Gaillard, A. N'diaye, A. Djerdir, "Interactions between Fuel Cell and DC/DC Converter for Fuel Cell Electric Vehicle Applications: Influence of Faults", IECON 2013, Vienna, Austria, 2013, pp. 1-6.

[15] J.S. Lai, C. Liu, A. Ridenour, "Multiphase soft switched dc/dc converter and active control technique for fuel cell ripple current elimination", April 14 2009, US Patent 7,518,886.