



**HAL**  
open science

## Stratégie de modulation pour la réduction de la tension de mode commun générée par un variateur de vitesse à redresseur MLI

Mehdi Messaoudi, Arnaud Videt, Nadir Idir, Heu Vang, Hocine Boulharts

► **To cite this version:**

Mehdi Messaoudi, Arnaud Videt, Nadir Idir, Heu Vang, Hocine Boulharts. Stratégie de modulation pour la réduction de la tension de mode commun générée par un variateur de vitesse à redresseur MLI. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065253

**HAL Id: hal-01065253**

**<https://hal.science/hal-01065253>**

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.

# Stratégie de modulation pour la réduction de la tension de mode commun générée par un variateur de vitesse à redresseur MLI

Mehdi MESSAOUDI<sup>1,2</sup>, Arnaud VIDET<sup>1</sup>, Nadir IDIR<sup>1</sup>, Heu VANG<sup>2</sup>, Hocine BOULHARTS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Lille 1, <sup>2</sup> Schneider Electric

**RESUME** – Dans la variation de vitesse, les perturbations conduites de mode commun sont les plus difficiles à maîtriser du fait des multiples chemins de propagation possibles. Ces perturbations peuvent être réduites à l'aide de filtres qui sont généralement très volumineux. Une solution pour réduire la taille de ces filtres consiste à réduire les perturbations de mode commun à leur source, à savoir la tension de mode commun. C'est dans cette optique que s'inscrit cet article qui étudiera une stratégie de modulation permettant la synchronisation de tous les fronts de tension dans une association onduleur-redresseur entièrement commandé. Avec l'utilisation de cette stratégie de synchronisation que l'on qualifiera de synchronisation totale (ST), il est possible de réduire la tension de mode commun à de simples résidus issus des commutations des différents bras de la structure. Dans cet article seront présentés des développements de la stratégie de synchronisation totale en termes de généralisation à tout point de fonctionnement du variateur ainsi qu'une étude de l'impact des résidus liés aux commutations des différents bras de la structure sur le spectre de la tension de mode commun.

**MOTS-CLES** – Stratégie de modulation, CEM

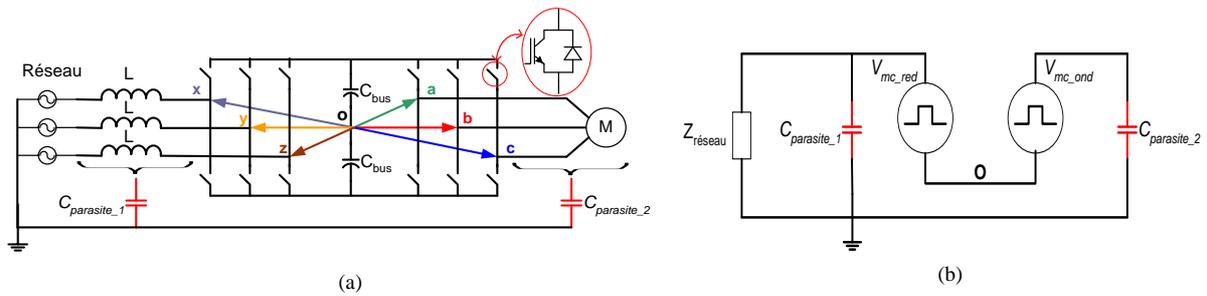
## 1. Introduction

Avec le durcissement des normes CEM imposant un taux de distorsions harmoniques sur le réseau de plus en plus faible, et la multiplication des applications nécessitant la bidirectionnalité du transfert de puissance, l'utilisation de variateurs de vitesse, avec un redresseur entièrement commandé, permet de satisfaire à ces deux critères. Mais l'utilisation de telles structures de redressement entraîne en contrepartie une augmentation des perturbations d'origine électromagnétiques (PEM) dont l'émission est limitée par des normes (EN61800-3). Et notamment les perturbations conduites de mode commun qui provoquent aussi une usure prématurée des roulements des machines. Le chemin de propagation étant essentiellement capacitif, ces PEM trouvent leur origine dans les variations la tension de mode commun, sur lesquelles une action de réduction permettrait une diminution du niveau de ces perturbations. Cette réduction des variations de la tension de mode commun est largement étudiée pour des structures de conversion de type onduleur. Ces stratégies de modulation consistent à effectuer des synchronisations de deux fronts de tension opposés [1] dans l'optique de réduire les variations de la tension de mode commun à zéro [2]. L'un des problèmes de ces doubles commutations est qu'elles génèrent des surtensions entre phases deux fois plus élevées qu'avec des stratégies de modulation classiques dans les applications à câble long entre le variateur et la machine. Néanmoins, dans le cas d'utilisation de structures multi niveaux, elles peuvent être acceptables [3] [4] [5] [6].

L'utilisation d'un redresseur entièrement commandé permet la synchronisation de fronts entre onduleur et redresseur ce qui a pour effet de ne pas générer, à priori, de surtensions supérieures à celles des stratégies classiques. Ce type de synchronisations peut être réalisé en utilisant la composante homopolaire [7] ce qui réduit à 8 le nombre de variations de la tension de mode commun (au lieu de 12). Une autre stratégie [8] utilise ces synchronisations onduleur-redresseur afin de réduire, en théorie, à zéro le nombre de variations de la tension de mode commun. Dans cet article, des développements de cette dernière stratégie de modulation seront apportés et une étude des résidus obtenus par synchronisation de différentes commutations sera effectuée.

## 2. Présentation de la stratégie de commande étudiée

Un variateur de vitesse à redressement entièrement commandé va générer un ensemble de six tensions découpées (figure 1.a) qui vont être à l'origine d'une tension dite de mode commun.

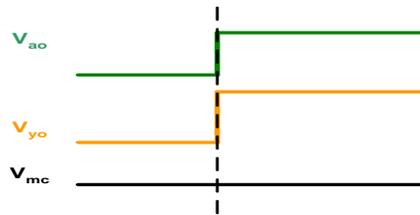


**Figure 1 : Représentation des tensions du variateur de vitesse (a) et modèle équivalent simplifié de mode commun (b)**

$Z_{\text{réseau}}$  comprend l'impédance du réseau et des câbles d'interconnexion. Pour cette association onduleur-redresseur entièrement commandé, on peut exprimer la tension de mode commun, via une représentation de mode commun simplifiée (figure 1.b), comme la différence de potentiels des potentiels moyens des tensions redresseurs et onduleur.

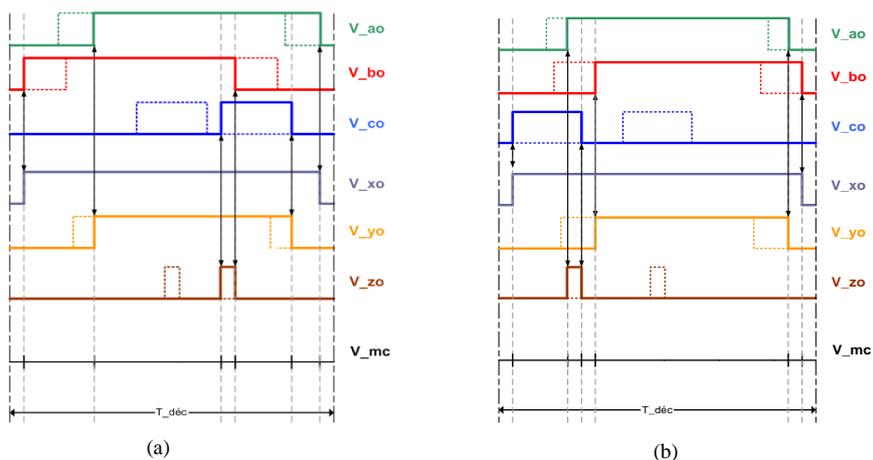
$$V_{\text{mc}} = \frac{1}{3}(V_{a_o} + V_{b_o} + V_{c_o}) - \frac{1}{3}(V_{x_o} + V_{y_o} + V_{z_o}) \quad (1)$$

De cette équation, on en déduit qu'il est possible de maintenir la tension de mode commun à la même valeur en appliquant pour chaque variation des tensions onduleur, une variation égale des tensions du redresseur (figure 2). C'est sur ce principe que repose la stratégie de synchronisation présentée par la suite.



**Figure 2 : Principe de la synchronisation onduleur-redresseur MLI**

Cette stratégie de modulation [8] utilise le déplacement des impulsions de commande de telle sorte que l'ensemble des impulsions redresseur et onduleur soient synchronisés (figure 3.a). Il est toujours possible d'obtenir une synchronisation dite totale (ST) moyennant que la somme des impulsions de commande générées par l'onduleur soit égale à celles générées par le redresseur. Cette condition se traduit par une égalité des composantes homopolaires appliquées à l'onduleur ( $h_{\text{no\_ond}}$ ) et au redresseur ( $h_{\text{no\_red}}$ ). Cette égalité peut amener à devoir augmenter la tension du bus continu de 15% dans le pire des cas, ce qui conduirait à un surdimensionnement des condensateurs du bus continu.

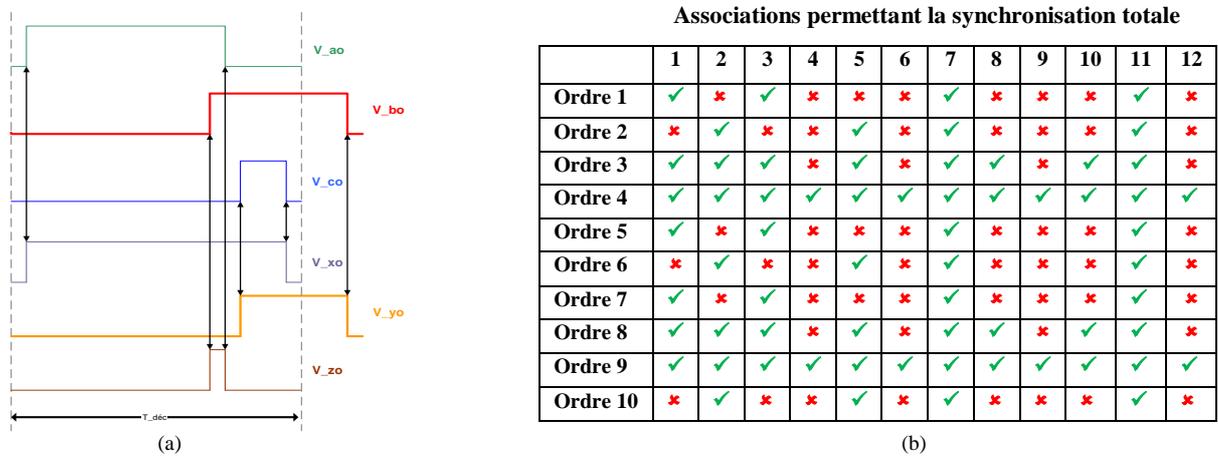


**Figure 3 : Exemple de synchronisation totale (a) et autre association (b)**

## 2.1 Développements de la stratégie

Cette synchronisation de tous les fronts peut se faire de multiples façons par le biais d'associations différentes comme par exemple en figure 3.b où le front montant de  $V_{a_o}$  est synchronisé avec le front montant de  $V_{z_o}$  plutôt qu'avec  $V_{y_o}$ . On peut dénombrer 12 associations liées aux différentes permutations des 6 impulsions disponibles. Ainsi, on dispose

pour tout point de fonctionnement décrit par l'ensemble redresseur MLI + onduleur de 12 associations possibles des fronts afin d'obtenir en théorie une annulation des variations de la tension de mode commun. Mais parmi ces associations certaines sont sources de problèmes avec notamment des cas où l'ensemble des impulsions d'un même type (on voudrait avoir uniquement des impulsions où s'alterne un état bas puis haut puis bas) ne reste pas confiné dans la période de découpage (figure 4.a).

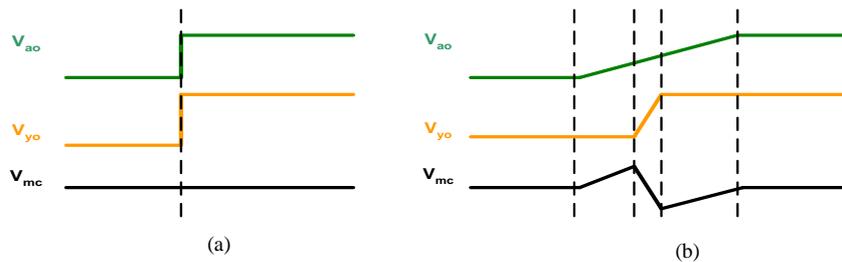


**Figure 4 : Cas indésirable de synchronisation totale (a) et identification de ces cas (b)**

Les cas où certaines impulsions sortent de la période de découpage sont néfastes car ils vont nécessiter l'utilisation d'impulsions d'un autre type (état haut puis bas puis haut). L'association au sein d'une même période de découpage d'impulsions avec des successions d'états différentes va générer, entre autre, une augmentation de la tension entre phases instantanée qui va se traduire par une ondulation de courant plus importante et une mise en œuvre plus complexe. Un premier axe d'étude autour de cette stratégie de modulation a été d'identifier les cas où l'on a la certitude d'avoir un confinement de l'ensemble des impulsions d'un même type dans la période de découpage. Ces cas sont identifiés par des ✓ dans le tableau (figure 4.b) et sont donnés en fonction d'ordres (numérotés de 1 à 10) qui représentent chacun un ordonnancement des 6 impulsions (de la plus grande à la plus petite). Ces aspects seront approfondis dans la version finale de l'article.

### 3. Etude des résidus des commutations

Cette stratégie de modulation permet la synchronisation de tous les fronts d'une association onduleur-redresseur entièrement commandé (figure 5.a). De ce fait, il est nécessaire de modéliser les commutations au niveau de chaque bras car ce sont ces commutations qui vont créer des résidus au niveau de la tension de mode commun (figure 5.b).



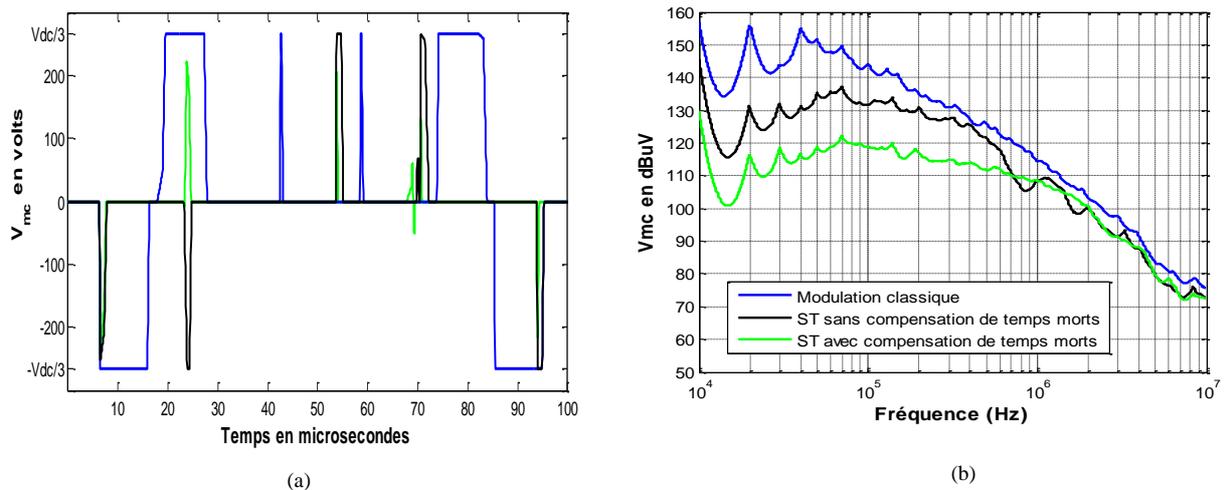
**Figure 5 : Synchronisation cas idéal (a) et avec prise en compte des phénomènes lors des commutations (b)**

A cet effet, un modèle comportemental des commutations a été élaboré de telle sorte à reproduire de façon linéaire les phénomènes liés aux différents types de commutations (turn ON et turn OFF) avec notamment la prise en compte de l'effet des courants commutés. De plus, une attention particulière devra être apportée aux temps morts et à leur compensation. Ainsi, des impulsions de la largeur d'un temps mort peuvent apparaître sur la tension de mode commun (figure 6.a) dans le cas d'une mauvaise compensation ayant pour effet de dégrader le spectre de la tension de mode commun. L'étude de l'impact des différents types de synchronisations sera approfondie dans la version finale de l'article.

### 4. Résultats

Les résultats ci-après montrent l'apport de la stratégie de synchronisation totale en termes de réduction du spectre de la tension de mode commun par rapport aux stratégies de modulation classiques qui utilisent une MLI centrée avec

porteuses triangulaires. Pour tous ces résultats la fréquence de découpage de l'onduleur et du redresseur est identique et est fixée à 10 kHz. La tension de bus,  $V_{dc}$ , est quant à elle fixée à 800 volts.



**Figure 6 : Réponse temporelle sur une période de découpage (a) et fréquentielle sur toute la période de fonctionnement (b) de la tension de mode commun**

On observe un gain à la fréquence de découpage de 30dB (figure 6.b) avec la stratégie étudiée pour laquelle les temps morts sont compensés via le signe du courant dans chacune des phases. De plus, à 150kHz (fréquence qui marque le début de la norme pour les perturbations conduites) on observe un gain de 20dB ce qui laisse présager un impact positif sur le dimensionnement du filtre de mode commun.

## 5. Conclusion

La stratégie de synchronisation qui a été présentée permet une réduction de la tension de mode commun à de simples résidus liés aux commutations. Cette réduction des PEM de mode commun telle que développée au travers de cette stratégie permettrait une réduction des éléments de filtrage et notamment l'inductance de mode commun dont le volume pour de tels variateurs de vitesse est loin d'être négligeable. Au final, cette stratégie permet de réduire le mode commun et la présence de différentes combinaisons permettant de réaliser cette synchronisation totale ouvre la porte à l'optimisation de différents paramètres des variateurs de vitesse autres que le mode commun. Le modèle des commutations sera à l'avenir affiné afin de se rapprocher au plus de la réalité pour finalement déboucher sur une validation expérimentale de la stratégie de modulation étudiée.

## 6. Références

- [1] J. Zitzelsberger, « Space Vector Modulation with Current Based Dead Time Compensation using Kalman-Filter », IEEE 32nd Annual Conference on Industrial Electronics, IECON 2006, 2006, Paris (France)
- [2] M. Cacciato, A. Consoli, « Reduction of common-mode currents in PWM inverter Motor drives », IEEE transactions on industry applications, 1999, vol. 35, pp 469 - 476
- [3] H. Zhang, A. Von Jouanne, « Multilevel Inverter Modulation Schemes to Eliminate Common-Mode Voltages », IEEE transactions on industry applications, 2000, vol. 36, pp 1645 - 1653
- [4] J. Rodríguez, « A new modulation method to reduce common-mode voltages in multilevel inverters », IEEE transactions on industrial electronics, 2004, vol. 51, pp 834 - 839
- [5] A. BenAbdelghani, « Use of Extra Degrees of Freedom in Multilevel Drives », IEEE transaction on industrial electronics, 2002, vol. 49, pp 965 - 977
- [6] A. Videt, « Variateur de vitesse à impact électromagnétiques réduit : onduleur multi niveaux et nouvelles stratégies de modulation », 2006, Université de Lille 1
- [7] H.-D. Lee, « A common mode voltage reduction in boost rectifier/inverter system by shifting active voltage vector in a control period », IEEE Transactions on Power Electronics, 2000, vol. 15, pp 1094 - 1101
- [8] A. Videt, P. Loizelet, M. Thiam, « Control method and system for reducing the common-mode current in a power converter », brevet détenu par Schneider Toshiba Inverter Europe, soumission 2010 , n° US 2012/0081932 A1, 2012