



HAL
open science

Modulation par hystérésis de courant à mémoire d'état d'un onduleur triphasé deux niveaux - comportement électrique

Philippe Le Moigne, Philippe Delarue, Sophie Fernandez

► **To cite this version:**

Philippe Le Moigne, Philippe Delarue, Sophie Fernandez. Modulation par hystérésis de courant à mémoire d'état d'un onduleur triphasé deux niveaux - comportement électrique. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065340

HAL Id: hal-01065340

<https://hal.science/hal-01065340>

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.

Modulation naturelle par hystérésis d'un onduleur de tension triphasé 2 niveaux

Philippe LE MOIGNE* – Philippe DELARUE** – Sophie FERNANDEZ**

* Université Lille Nord de France, F-59000 Lille, France, L2EP, EC Lille, CS20048, 59651 Villeneuve d'Ascq Cedex

** Université Lille Nord de France, F-59000 Lille, France, L2EP, Université des Sciences et Technologie de Lille (USTL), 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

RESUME – L'objet de cet article est de présenter l'architecture de commande rapprochée d'un onduleur triphasé de tension relié au réseau et commandé par hystérésis. La mise en place d'une architecture de commande simple et originale permet de contrôler naturellement le convertisseur en maîtrisant sa fréquence moyenne de commutation. Dès lors, les « pertes silicium » générées par ce type de commande sont proches de celles produites par les modulations naturelles à fréquence fixe pour une même qualité de courants injectés sur le réseau, tout en générant des familles d'harmoniques moins concentrées.

MOTS-CLES – onduleur triphasé – commande par hystérésis – rendement – qualité électrique.

1. Introduction

L'utilisation de convertisseurs statiques au sein des réseaux est de plus en plus répandue, notamment pour connecter les sources de production décentralisées renouvelables. Dans ce cadre, les onduleurs triphasés MLI à injection de courant sinusoïdaux et en phase avec le réseau électrique sont des convertisseurs couramment employés. Les principaux critères qui vont gouverner le choix et le dimensionnement de ces dispositifs de conversion sont le coût, la qualité électrique et le rendement électrique. Pour ce faire, différents types d'onduleurs, d'association de convertisseurs, de semi-conducteurs peuvent être employés pour améliorer les performances de ces dispositifs. Dans tous les cas, une fois la structure de conversion figée et les semi-conducteurs choisis, les performances électriques et énergétiques reposent sur la commande rapprochée du convertisseur et la stratégie de découpage MLI. L'objet de l'article est de comparer les performances énergétiques et électriques d'un onduleur classique deux niveaux injectant une puissance active nominale de 250kW sur le réseau 400v/50Hz en imposant un THDI de 3% sur les courants nominaux [1].

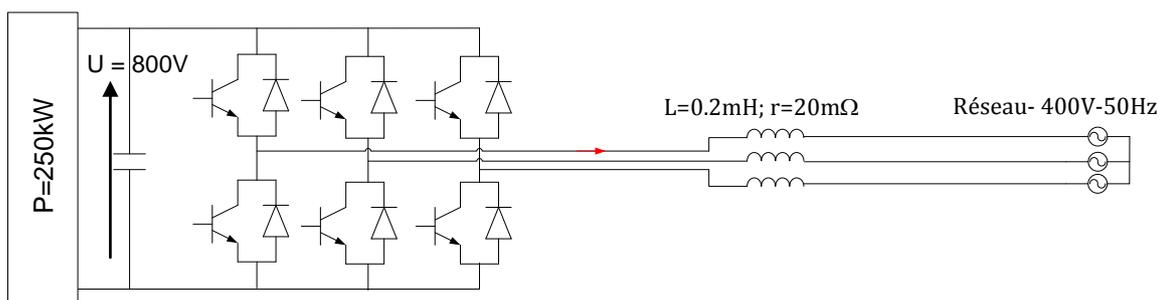


Figure 1 : système étudié – onduleur de tension 2 niveaux relié au réseau

Le système de conversion présenté sur la figure 1 a été commandé de différentes façons pour permettre l'injection de puissance active sur le réseau à facteur de puissance unitaire. De fait, deux familles de stratégies de commande ont été comparées sous cet angle :

- deux modulations naturelles à fréquence fixe (sinusoïdale - flat top)
- des modulations par hystérésis

Les modulations naturelles à fréquence fixe [2] reposent sur des *commandes indirectes* où une régulation de courant définit une tension de référence que le modulateur doit reproduire en valeur moyenne sur une période de découpage. Ces stratégies sont bien connues et ont été étudiées en profondeur dans la littérature. Les modulations par hystérésis reposent sur des *commandes directes* où un contrôle du courant par bande d'hystérésis associé à une stratégie de commande, définit directement la commande rapprochée de cet onduleur. Cette solution est connue, mais beaucoup

moins développée dans la littérature, notamment quant à ses performances énergétiques. L'article propose donc de comparer ces deux approches connues et d'élaborer de nouvelles stratégies simples de commande par hystérésis prenant en compte l'aspect pertes silicium dans ses critères de choix. L'idée de fond étant in fine d'arriver à proposer des dispositifs de commande rapprochée directes les plus simples et les plus efficaces possibles.

2. Architecture de la Modulation Naturelle par Hystérésis

Dans le cadre de ces travaux, différentes commandes par hystérésis de la littérature ont été simulées (bang-bang [3], DPC [4]...) et comparées à l'architecture proposée (figure 2). Cette architecture permet de déterminer les trois fonctions de commande (h_1 , h_2 , h_3) des bras de l'onduleur triphasé de façon structurée, en prenant en compte le couplage des trois phases ainsi que le comportement énergétique du convertisseur.

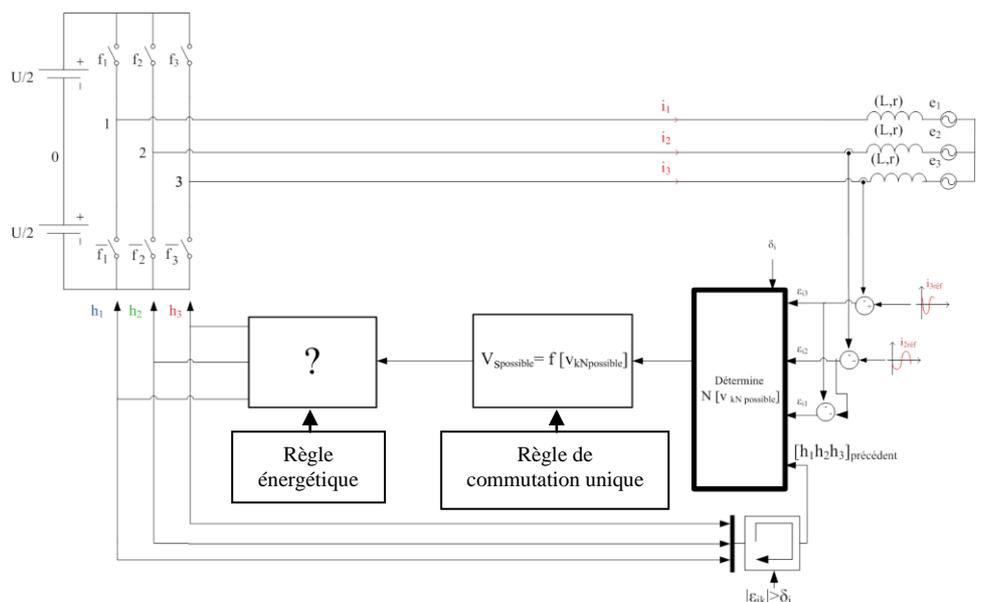


Figure 2 : Architecture de commande par hystérésis à commutation unique

Le principe de cette commande repose sur la connaissance de l'état actuel de la commande l'onduleur ($[h_1, h_2, h_3]_{\text{précédent}}$) et des erreurs de courants. Ceci permet de déterminer les états du convertisseurs pouvant maîtriser l'évolution des courants à chaque sortie de leur bande d'hystérésis. On impose alors une *première règle* pour définir les prochains états autorisés pour l'onduleur parmi cet ensemble de solutions. Cette règle est celle de la **commutation unique** (un seul bras est autorisé à commuter). Celle-ci ne suffit pas, bien entendu, à fournir une solution unique et il faut alors ajouter une seconde règle, basée sur des critères électriques ou énergétiques (faire commuter le bras ayant le courant minimal (HL_{Imin}), bloquer le bras ayant le courant maximal (HL_{FT}), ...) de façon à obtenir une solution unique et déterministe. Cette approche permet d'élaborer naturellement des stratégies à faible impact énergétique et CEM, du fait de la limitation du nombre de commutations.

3. Résultats

La mise en place de ce principe de commande sous « matlab-simulink » a permis de simuler ses performances énergétiques et électriques relativement à d'autres commandes connues pour un même THDI à la puissance nominale. On peut ainsi observer le comportement de l'erreur de courant (figure 3) pour les 2 stratégies proposées (HL_{Imin} et HL_{FT}) comparativement à l'hystérésis bang-bang et la MLI naturelle Flat top, ainsi que le comportement fréquentiel de la tension produite par l'onduleur (figure 4).

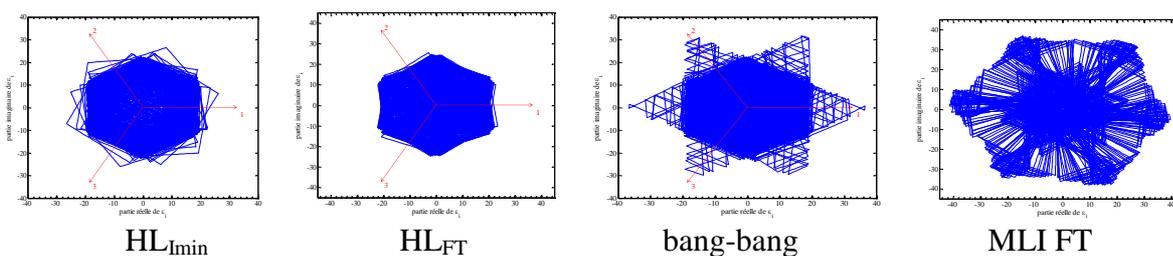


Figure 3 : Evolution des erreurs de courant dans le plan vectoriel

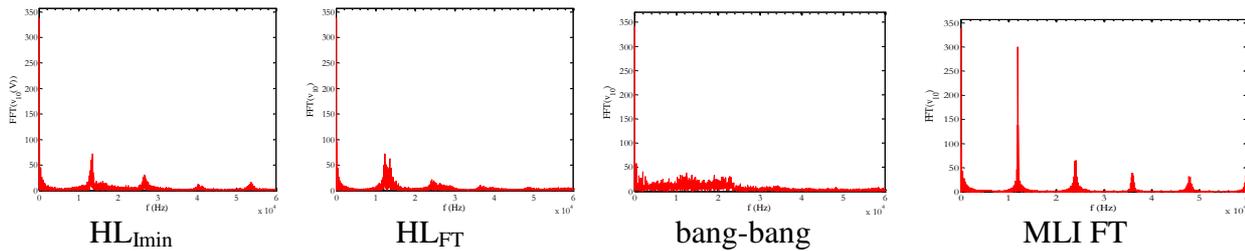


Figure 4 : Spectre harmonique de la tension produite par l'onduleur

On observe avec ces stratégies un comportement plus régulier et une réduction des sorties de bande du courant, ainsi qu'un comportement fréquentiel (figure 4) faisant apparaître naturellement des familles d'harmoniques de tension pour des fréquences similaires à la modulation naturelle « Flat top » (MLI FT).

De même au niveau énergétique (figure 5), les pertes silicium (calculées à partir des données constructeurs) sont intéressantes et comparables aux stratégies implantées traditionnellement. Les paramètres de commande ont été ajustés à la puissance nominale (THDI = 3%) et conservés sur toute la plage de réglage de puissance.

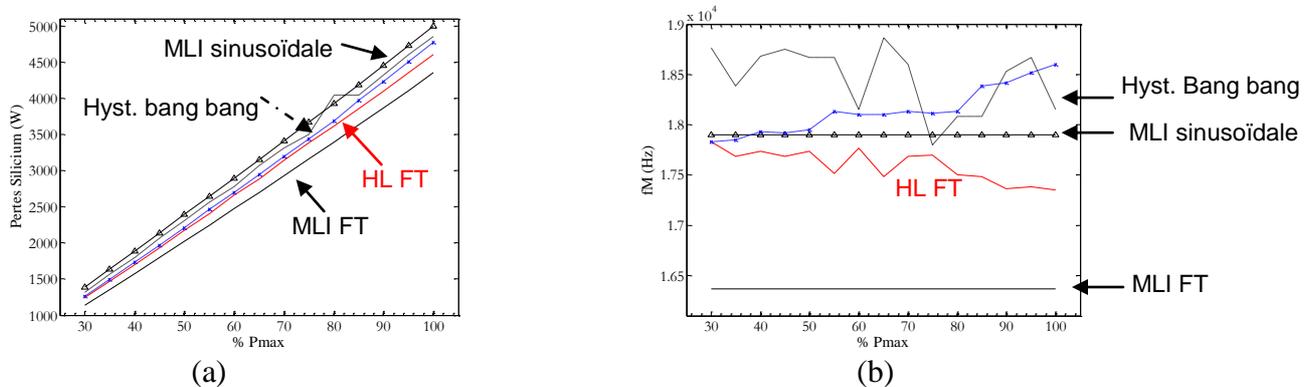


Figure 5 : (a) pertes Silicium onduleur – (b) fréquence moyenne de commutation

4. Conclusion

L'article final détaillera les principes de ces stratégies de commande naturelle par hystérésis appliquées à un onduleur de tension triphasé 2 niveaux relié au réseau. L'objectif est d'obtenir des performances électriques et énergétiques comparables aux commandes indirectes classiques en faisant appel à des commandes les plus simples et les plus rapides possibles. Avec la montée en fréquence des convertisseurs, il convient en effet de réfléchir à des dispositifs de commande les plus « directs » pour utiliser pleinement leurs performances dynamiques.

5. Références

- [1] S. Fernandez, Comparaison des performances électriques d'un onduleur triphasé deux niveaux à commandes directes et indirectes connecté au réseau, Thèse Lille, 10-2013.
- [2] J.P. Cambronne, Ph. Le Moigne, J.P. Hautier, "Synthèse de la commande d'un onduleur de tension", Journal de Physique III, 1996, Juin, pp 757-778.
- [3] Palaniappan, Rasappa G.; Vithayathil, Joseph, "A Control Strategy for Reference Wave Adaptive Current Generation," *Industrial Electronics and Control Instrumentation, IEEE Transactions on*, vol.IECI-27, no.2, pp.92,96, May 1980.
- [4] A. Bouafia, J.-P. Gaubert, and F. Krim, "Analysis and design of new switching table for direct power control of three-phase PWM rectifier," *2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference*, pp. 703–709, Sep. 2008.