

## Réduction des perturbation électromagnétique conduites dans la machine asynchrone

H. Miloudi <sup>a \*</sup>, A. Bendaoud <sup>a</sup>, M. Miloudi <sup>a</sup>

<sup>a</sup> APELEC Laboratory, Université de Sidi Bel Abbès

---

### ARTICLE INFO

Article history :  
Received November 2013  
Accepted January 2014

Keywords :  
CEM ;  
Filtre ;  
Machine asynchrone ;  
Mode commun ;  
Perturbation électromagnétique ;  
Haute fréquence.

---

### ABSTRACT

La CEM est devenue un critère incontournable dans la conception des convertisseurs. Les normes imposées sont garantes de l'aptitude d'un système à fonctionner dans son environnement de façon satisfaisante et sans produire de perturbations électromagnétiques intolérables pour les appareils du voisinage.

Dans l'association onduleur câble machine les variations di/dt et dv/dt sont relativement importantes. Les fronts raides de courant et de tension ont la fâcheuse tendance à générer des perturbations électromagnétiques conduites et/ou rayonnées qui peuvent être gênantes voire destructrices. Dans cet article, les auteurs proposent ici un outil permettant l'optimisation du filtre complet en tenant compte de l'ensemble de la structure. Cette méthode permet d'estimer et réduire le niveau des courants ainsi la tension de mode commun dans la machine asynchrone.

©2014 LESI. All right reserved.

---

## 1. Introduction

Dans les associations onduleur-câble-machine, l'interrupteur de puissance est la source principale des perturbations conduites et rayonnées [1, 2, 3]. La connexion d'un moteur asynchrone à un onduleur par un câble long possède deux problèmes principaux : les surtensions et les courants de fuite. L'augmentation des gradients de tension imposés par les interrupteurs de puissance utilisés dans les entraînements à vitesse variable provoque l'apparition de surtensions aux bornes du moteur lorsque le câble est long. Celles-ci peuvent entraîner le claquage de l'isolant des enroulements des moteurs. Les surtensions peuvent être fatales pour la machine. D'autre part une grande partie du bruit acoustique de la machine alimentée par un onduleur à MLI a une origine électromagnétique. Le spectre harmonique de la tension simple à la sortie de l'onduleur est très riche en harmoniques qui agissent directement sur l'acoustique du moteur [4].

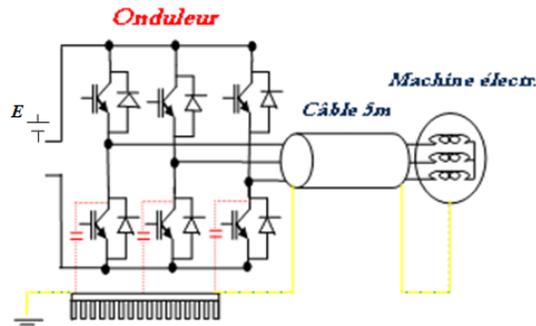
Ce travail s'inscrit dans le cadre de la réduction des émissions conduites générées par un onduleur triphasé. Afin de limiter les PEMS, les normes donnent un gabarit à respecter

---

\*Email : miloud.kachi@gmail.com

par le concepteur d'un système d'électronique de puissance. Ceci induit classiquement un ajout de filtres CEM composés essentiellement d'inductances et de capacités qui ont pour but d'isoler les perturbations générées par le convertisseur et de les faire circuler le moins possible à l'extérieur de celui-ci. des filtres à l'entrée et à la sortie du l'onduleur (qu'est considéré comme la source de la pollution électromagnétique) sont testés pour avoir leur répercussion sur les PEMs.

Le système étudié est présenté sur la figure 1.



**Fig. 1.** Spectre de tension de MC du moteur.

La modélisation HF correspondant à l'étude des perturbations conduites définie sur une plage fréquentielle de [50 kHz – 30 MHz].

Dans notre cas, la prédiction des émissions conduites générées par un onduleur triphasé repose sur la linéarisation de la structure. La méthode proposée est basé sur une approche matricielle, dont l'objectif est de déterminer le spectre des signaux directement dans le domaine fréquentiel.

Cette méthode nécessite de connaître, pour une structure donnée, et d'identifier :

- les principaux mécanismes de génération des perturbations,
- l'ensemble des chemins de propagation critiques et de la victime.

En effet, les générateurs des perturbations sont constitués par la cellule de commutation, celle-ci est remplacée par des sources de tensions et de courants pour former un schéma CEM équivalent. Chaque mode de propagation est remplacé par une source équivalente :

- Le mode commun est modélisé par une source de tension,
- Le mode différentiel est modélisé par une source de courant.

## 2. La compatibilité électromagnétique dans l'électronique de puissance

Les commutations des composants semi-conducteurs de puissance utilisés dans les variateurs de vitesse de moteurs asynchrones sont la principale source des perturbations électromagnétiques conduites [5, 6, 7].

Lors de l'analyse d'une perturbation électromagnétique on constate que le problème englobe trois éléments : **une source de perturbation** qui émet de l'énergie électromagnétique, **un canal de couplage** au travers duquel l'énergie de ces perturbations se propage et enfin **un récepteur** qui capte cette énergie, la traite et la superpose à sa fonction normale [11].

Dans le cas d'un onduleur triphasé, l'analyse à trois composantes "source-chemin-victime" permet d'élaborer un schéma équivalent pertinent. Dans cette étude, la machine

asynchrone représente évidemment la victime. Les sources, quant à elles, sont relativement simples à localiser puisqu'elles sont encore une fois associées aux interrupteurs de puissance et plus précisément aux fortes variations de potentiels et de courants que ces derniers provoquent [3, 8].

Les stratégies de commande sont nettement plus complexes et engendrent des densités spectrales larges bandes. La troisième composante, le chemin de propagation, qu'est néanmoins le système triphasé de conducteurs et la machine asynchrone qui représente l'un des principaux trajets pour les courants parasites.

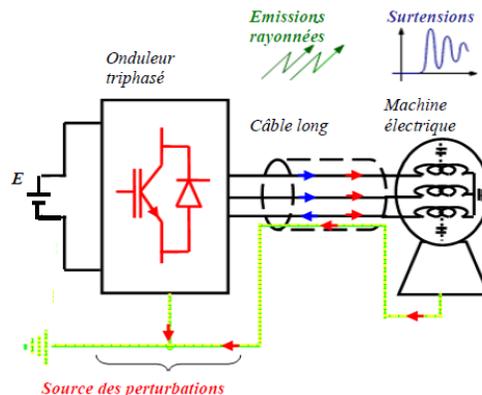
Les perturbations peuvent se propager de deux manières : soit en conduction, soit en rayonnement [5, 8, 10]. Dans le premier cas les perturbations interviennent soit en mode commun (MC) soit en mode différentiel (MD). Dans le second cas les perturbations sont rayonnées sous forme de champ électrique et de champ magnétique.

- Les perturbations conduites utilisent comme vecteur les matériaux conducteurs.
- Les perturbations rayonnées sont transmises par une onde électromagnétique et utilisent comme support les milieux diélectriques.

Un signal électrique –utile ou parasite conduit par une liaison n'a que deux façons de se propager : en mode différentiel ou en mode commun

### 3. Topologie et identification des types de pollution Em

La configuration globale du système présentée sur la figure 2 fait apparaître les différentes perturbations électromagnétiques générées par onduleur triphasé alimentant un moteur par l'intermédiaire d'un câble long. Les perturbations électromagnétiques spécifiques au variateur de vitesse sont majoritairement dues aux commutations de l'onduleur, que l'on considérera comme étant la source de perturbations. Les fronts de tension très rapides et les fréquences de commutations élevées de ces convertisseurs peuvent provoquer la circulation d'importants courants HF et donc endommager voire détruire certains éléments du système.



**Fig. 2.** Les courants de mode commun (MC) et de mode différentiel dans le système étudié.

La variation de ces grandeurs électriques est à l'origine de la pollution électromagnétique :

- la commutation du courant crée des perturbations de mode différentiel,

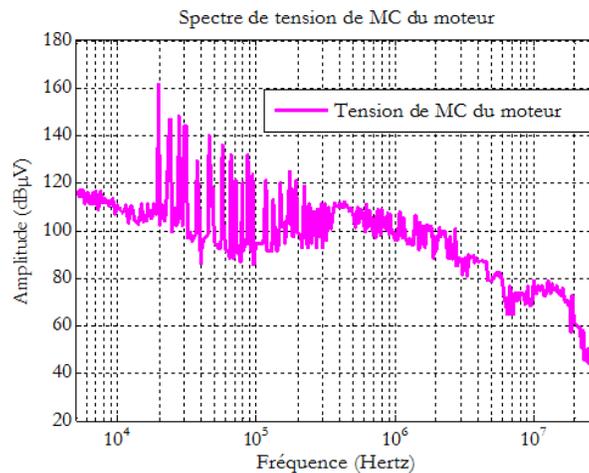
- la commutation de la tension génère des courants HF de mode commun que nous retrouvons dans les composants parasites,
- la somme de la pollution de mode différentiel et de mode commun donne la pollution EM totale générée par l'élément sous test.

Donc, pour modéliser la pollution de type mode différentiel, il faut utiliser des sources de courant ayant la forme du courant commuté. Pour modéliser la pollution de mode commun, il faut prendre des sources de tension ayant la forme de la variation de tension.

#### 4. Tension/Courant de MC dans la machine asynchrone

Les spectres de courant de mode commun ainsi que la tension de mode commun dans le moteur sont obtenus à l'aide d'une approche matricielle. Elle consiste à remplacer chaque sous système (onduleur, câble, machine) par son impédance équivalente, et remplacer la cellule de commutation par des générateurs équivalents. Dans notre cas les générateurs représentent les signaux de puissance au sein de la cellule de commutation de l'onduleur présenté par une tension de mode commun.

Les figures 3 et 4, représentent respectivement le spectre de courant de mode commun dans le moteur et le spectre de la tension de mode commun du moteur. Les résultats sont ceux issus d'une configuration de système d'entraînement à vitesse variable sans tenir en considération le filtre d'entrée,



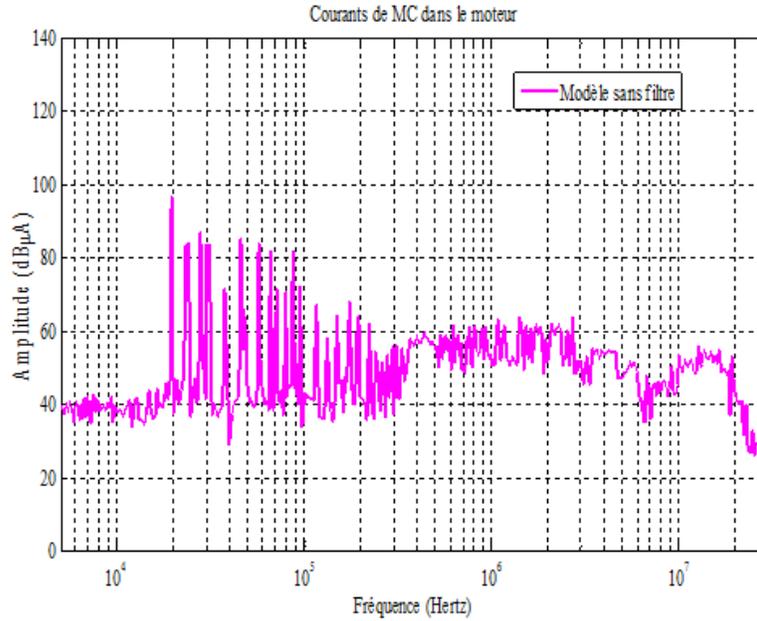
**Fig. 3.** Spectre de tension de MC du moteur.

Nous observons distinctement sur ces relevés (Fig.3 et Fig.4), les lobes issus de la perturbation conduite. Globalement, le niveau est supérieur à 40 dBµV sur une grande partie de la plage de fréquences.

donc l'insertion du filtre soit à l'entrée, ou à la sortie du variateur de vitesse reste une obligation pour réduire ces perturbations électromagnétiques.

#### 5. Reduction des Pems dans la machine asynchrone

Le filtrage reste la meilleure technique pour maîtriser les perturbations électromagnétiques conduites, pour cela. On a inséré dans un premier temps un filtre LC (de structure

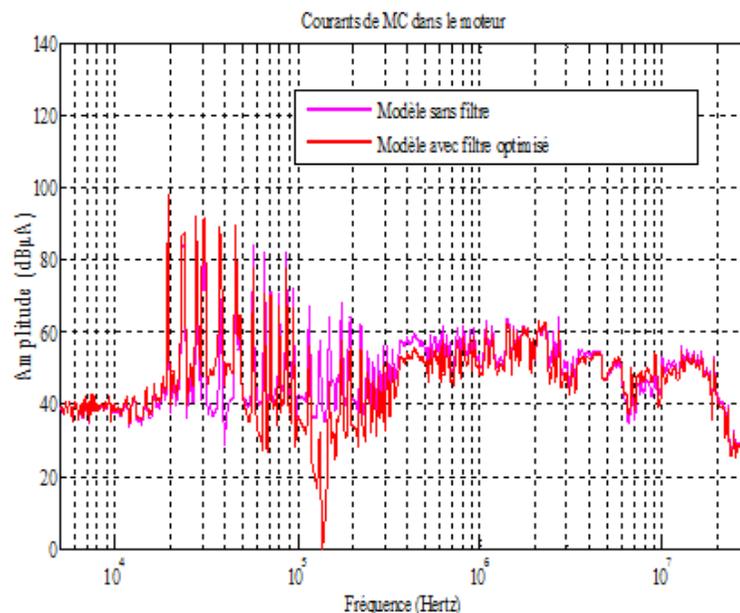


**Fig. 4.** Spectre de tension de MC du moteur.

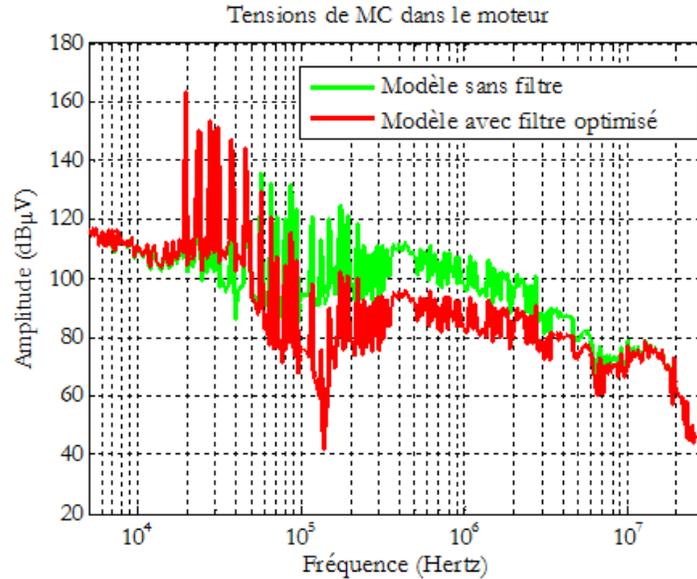
L) optimisé à l'entrée de l'onduleur puis à la sortie de ce dernier pour avoir son influence sur les spectres de la tension et du courant de mode commun dans la machine asynchrone.

### 5.1. Insertion du filtre optimisé à l'entrée de l'onduleur

Dans cette configuration, le filtre est imposé en face du réseau, cette technique est largement utilisée par les nouvelles générations de variateurs de vitesse. La combinaison de chemins fortement impédants (inductance) et faiblement impédants (capacités) permet d'aiguiller les courants perturbateurs selon des chemins ne perturbant pas le réseau.



**Fig. 5.** Spectres des courants de MC dans le moteur (avec et sans filtre CEM d'entrée).

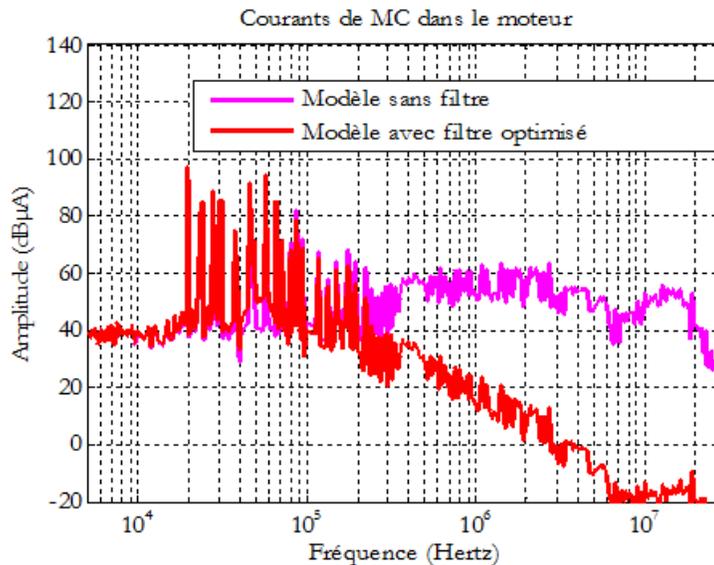


**Fig. 6.** Spectres des tensions de MC dans le moteur (avec et sans filtre CEM d'entrée).

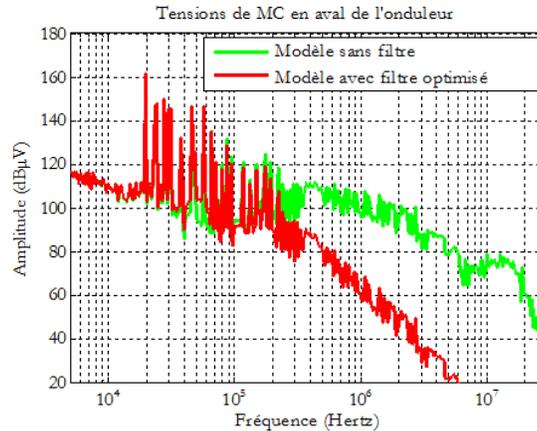
Le filtre à l'entrée n'influe pas sur le spectre du courant de mode commun dans le moteur, malgré une nette amélioration à partir de 150 kHz. Le niveau d'émission reste presque identique à celui calculé en absence du filtre CEM sur une grande partie de fréquence [50 kHz – 30 MHz].

## 5.2. Insertion du filtre optimisé à la sortie de l'onduleur

Dans cette section nous voulons insérer le filtre optimisé précédemment, à la sortie de l'onduleur, dont l'objet est de savoir son influence sur les IEMs dans le système à étudier. Les figures 7 et 8 représentent respectivement les spectres des courants et des tensions de MC dans le moteur (avec et sans filtre CEM).



**Fig. 7.** Spectres des courants de MC dans le moteur (avec et sans filtre CEM de sortie).



**Fig. 8.** Spectres des tensions de MC dans le moteur (avec et sans filtre CEM de sortie).

En terme de réduction d'harmoniques et de surtension, l'insertion d'un filtre à la sortie du variateur de vitesse peut réduire les harmoniques de tension appliqués à la machine, ainsi que les surtensions, comme le montre la Fig. 7. Le courant de mode commun dans le moteur est bien réduit, ainsi sur la figure 8, la surtension appliquée au moteur est aussi réduite.

## 6. Conclusions

L'amélioration de la compatibilité électromagnétique agit du côté des sources en tentant de réduire les perturbations qu'elles émettent, et du côté des victimes en les protégeant des influences extérieures. Les auteurs proposent une approche qui consiste à modifier le chemin de propagation des perturbations grâce à l'insertion du filtre, en amont de l'onduleur (côté réseau), en aval de celui-ci (côté machine), ou simultanément de part et d'autre, cette solution est dite solution matériel.

Filtre de MC en amont de l'onduleur est particulièrement efficace pour l'aspect normatif. Mais malheureusement, il n'y a aucune action sur les surtensions moteur, et aussi il ne permet pas de réduire les courants de mode commun circulant dans le moteur.

Le filtre déposé juste à la sortie de l'onduleur permet d'atténuer les variations de la tension de mode commun à l'entrée de l'ensemble câble-machine. Et par conséquent, la durée de vie de la machine est améliorée par réduction du courant dans le moteur. Les émissions rayonnées par les câbles sont également atténuées.

## REFERENCES

- [1] Norbert Hanigovszki, Jon Landkildehus, Giorgio Spiazzi, and Frede Blaabjerg « EMC Evaluation of the Use of Unshielded Motor Cables in AC Adjustable Speed Drive Applications » IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.21, No.1, January 2006.
- [2] Kayhan.G, Nobuyoshi. M, Mitsukatsu. O, Fumio. H « New Approximation with Neural Networks to Estimate Common Mode (CM) Model Impedance Parameters in Motor Drive System » Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2002. Page(s) : 648 – 653, 2002.
- [3] Bertrand Revol, B. Revol, Schanen J-L., Roudet J., Souchard Y « EMI Modeling Of

- An Inverter – Motor Association » IEE, Compatibility in Power Electronics, CPE, Poland, pp 86-95, 2003.
- [4] Stefan Laurentiu Capitaneanu « Optimisation de la Fonction MLI d'un Onduleur de Tension deux-Niveaux » Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse 2002.
- [5] G. Grandi, D. Casadei, U. Reggiani « Common and Differential-Mode HF Current Components in AC Motors Supplied by Voltage Source Inverters » IEEE Trans. on Power Elect, Vol.19, No.1, January 2004.
- [6] Y. Weens, N. Idir, J.J. Franchaud, R. Bausière, "High Frequency model of a shielded 4-wire energy cable", EPE 2005, CD ROM, Dresde, Allemagne.
- [7] N. Idir, J.J. Franchaud, R. Bausière « Evaluation and Reduction of Common Mode Currents in Adjustable Speed Drives » in conf PCIM Europe 2003, pp 279-284, Nürnberg, Germany, May 20-22, 2003.
- [8] Adam Kempinski « Emi Noise Splitting Into Common And Differential Modes In PWM Inverter Drive System » 4th International Workshop Compatibility in Power Electronics - CPE 2005. Gdynia, Polska, 2005.
- [9] S. P. Weber, E. Hoene, S. Guttowski, « Modeling Induction Machines For Emc-Analysis » 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2004.
- [10] H. Slimani, A. Bendaoud, F. Benhamida, H. Miloudi, A. Timatine, K. Medles, « Propagation des perturbations electromagnetiques dans un cable alimentant un moteur asynchrone », TELECOM2011 & 7ème JFMMA, Mars 16-18, 2011 – Tanger MAROC.
- [11] Clayton r. Paul « Introduction to Electromagnetic Compatibility », 2ème edition John Wiley et Sons 2006.