

REDUCTION DU CHAMP PROCHE RAYONNE PAR UN VARIATEUR DE VITESSE

O. AOUINE(*)(), J. AIME(*)(+), C. LABARRE(**), F. COSTA(***) , J. ROUDET(+), J. ECRABEY(*)et P. BAUDESSON (++)**

(*): Schneider Electric, 37, quai Paul-Louis Merlin F-38050 Grenoble

(**): Ecole des Mines de Douai, 941, rue C. Bourseul, 59508 Douai

(***) : SATIE (UMR 8029), ENS de Cachan PRES UniverSud, 61, Av. du Président Wilson, 94230 Cachan, France

(+): G2Elab ENSIEG BP 46 38402 Saint Martin d'Hères, France

(++) : S.T.I.E , 33 rue André Blanchet 27120 Pacy sur Eure

Résumé. Cette communication présente une pratique expérimentale à l'aide à la conception utilisant les mesures en champ proche pour identifier les sources perturbatrices dans un système d'électronique de puissance notamment les variateurs de vitesse industriels. L'objectif est de pouvoir minimiser ces sources de perturbation en agissant de plusieurs façons : choix des composants, agencement interne du convertisseur, amélioration du routage. Parmi ces possibilités, nous nous sommes focalisés sur le problème du routage des composants qui est probablement le facteur principal contribuant aux émissions rayonnées. Des modifications de routage ont été proposées et réalisées sur un prototype afin de réduire les émissions. Leur efficacité a été évaluée et analysée par la mesure du champ magnétique proche rayonné par ce variateur de vitesse modifié. Le nouveau routage proposé a permis de réduire d'environ 6 dB l'amplitude du champ magnétique rayonné.

I. INTRODUCTION

Un banc de mesure de champ proche a été réalisé en tenant compte des spécificités des systèmes d'électronique de puissance.

Pour les mesures en champ proche nous avons utilisé le banc représenté sur la figure1 qui permet d'avoir une cartographie 2D suite à une mesure en champ proche en fixant la hauteur de la sonde de mesure manuellement.

Les sondes utilisées sont des sondes de type boucle circulaire de champ magnétique, elles font partie d'un kit de sondes champ proche de la société « Langer EMV- Technik ».

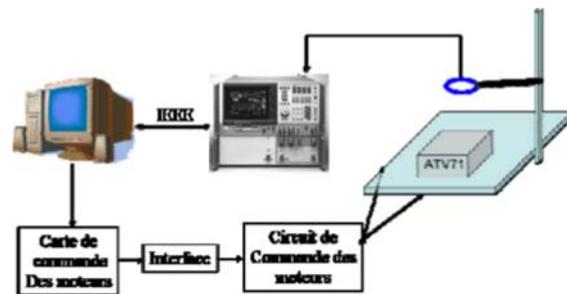


Fig.1- Le banc de test champ proche

On positionne le variateur sous test sur la table du banc et on l'alimente sous les conditions de son fonctionnement normal, le déplacement de la sonde automatisé selon l'axe X et Y permet de balayer point par point toute la surface du variateur, l'axe Z est ajusté manuellement, ce qui permet d'ajuster rapidement la hauteur d'acquisition en fonction de l'encombrement et du niveau d'émission recherché.

Les valeurs mesurées par la sonde sont amplifiées puis transmises vers le récepteur de mesure.

On s'intéresse à l'amplitude du pic le plus élevé pour une fréquence donnée, la valeur repérée est transmise vers l'ordinateur via la liaison GPIB comme résultat de mesure.

Une simple superposition de la cartographie de la composante verticale H_z avec l'équipement sous test permet d'identifier facilement les sources perturbatrices, et une superposition avec les composantes longitudinales H_x et H_y nous permet d'avoir une idée sur le modèle équivalent à la source.

Afin de réduire les perturbations électromagnétiques, des modifications ont été alors apportées sur le variateur, elles sont ensuite validées.

II. IDENTIFICATION DES SOURCES DE RAYONNEMENT

II.1 Présentation du variateur

Le système sous test est un variateur de vitesse industriel conçu par la société S.T.I.E (Schneider-Toshiba-Inverter-Europe), filiale du groupe Schneider Electric. C'est un variateur appartenant à la série ATV71 dont le schéma de principe est donné à la figure 2.

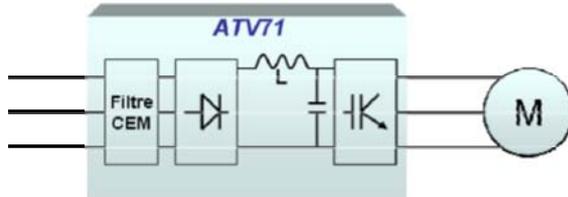


Fig.2- Schéma simplifié des éléments de base du variateur.

Il est alimenté en triphasé (380V), sa puissance est de 18.5 kW, il a un courant nominal de sortie de 41A. Les auxiliaires sont alimentés par une alimentation à découpage Fly Back dont la fréquence du découpage est égale à 50 kHz. Enfin, l'électronique numérique de contrôle est basée sur l'utilisation d'un microcontrôleur séquencé par un quartz résonnant à 40 MHz, un schéma du variateur sous test est donné à la figure3.

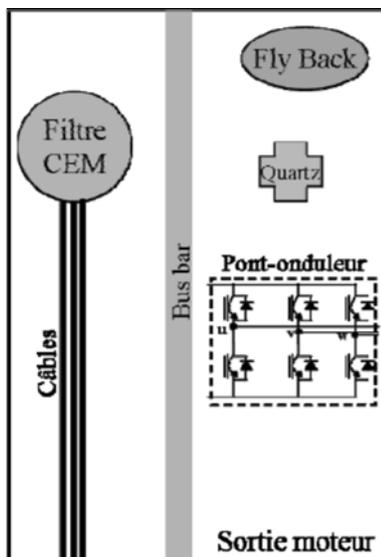


Fig.3-Schéma topologique du variateur sous test

II.2 Identification des sources de rayonnement

Nous avons tout d'abord procédé à une analyse spectrale en plusieurs endroits au-dessus du variateur. Ceci afin de déterminer les fréquences les plus importantes d'émission des sources pour lesquelles il est alors nécessaire de réaliser des cartographies. Les courbes des figures 4, 5 et 6 représentent l'amplitude du champ magnétique dans la bande de fréquence 150 kHz-30 MHz au-dessus du Fly-back, 9 kHz-200 kHz

sur le module de puissance et le filtre de mode commun et 1-20 MHz au-dessus de trois sources différentes à 10 centimètres du PCB dans le cas où l'onduleur commute à 12 kHz et le moteur tourne avec une vitesse de 40 Hz.

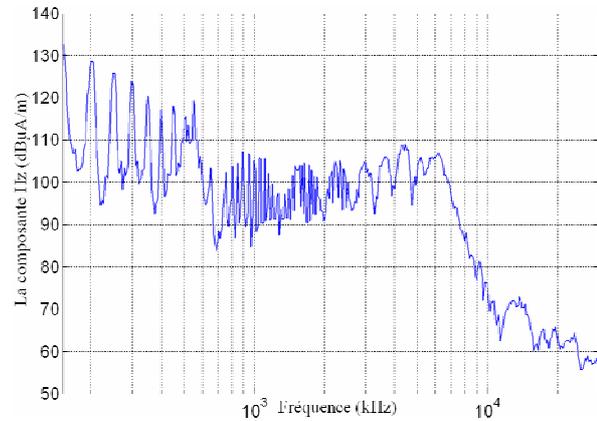


Fig.4- Amplitude de la composante z du champ magnétique au-dessus de l'alimentation à découpage

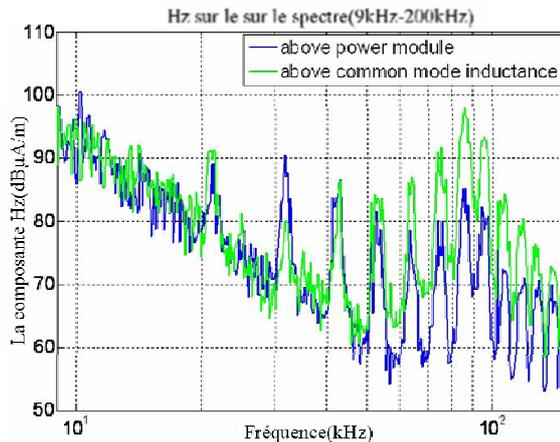


Fig.5- Amplitude de la composante z du champ magnétique au-dessus du module de puissance et du filtre de mode commun.

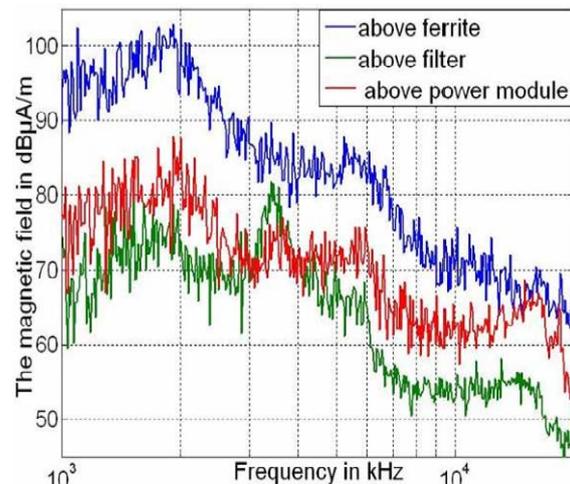


Fig.6- Amplitude de la composante z du champ magnétique sur la bande (1-20) MHz

Le quartz de l'horloge figure parmi les sources les plus gênantes en haute fréquence surtout en champ lointain. Etant donné les petites dimensions de ce composant, nous étions obligés d'approcher la sonde le maximum possible pour effectuer notre mesure champ proche, nous avons obtenu le spectre que l'on peut voir sur la figure 7.

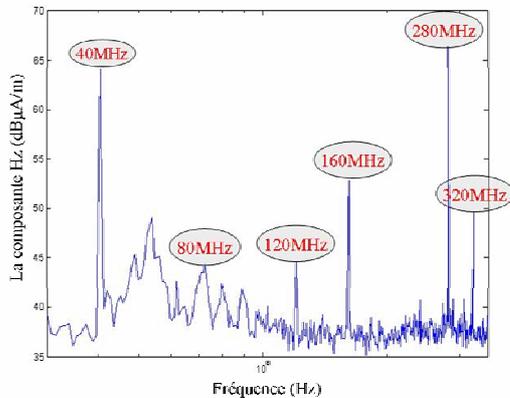


Fig.7- Amplitude de la composante z du champ magnétique au-dessus du quartz sur la bande (30-400) MHz

Le premier pic important apparaît à la fréquence 40 MHz, il correspond à la fréquence d'oscillation du quartz. Le champ magnétique atteint son maximum à chaque passage par un des harmoniques de cette fréquence et plus particulièrement le cinquième harmonique (280 MHz).

Après l'identification des fréquences d'émission les plus importantes, nous avons réalisé plusieurs cartographies à ces fréquences sur toute la surface du variateur. Un exemple est montré sur la figure 8 à la fréquence de 36 kHz (triple de la fréquence de découpage de l'onduleur). A partir de ces différentes mesures de champ proche, nous avons identifié les sources de perturbation que nous avons listées dans le tableau I.

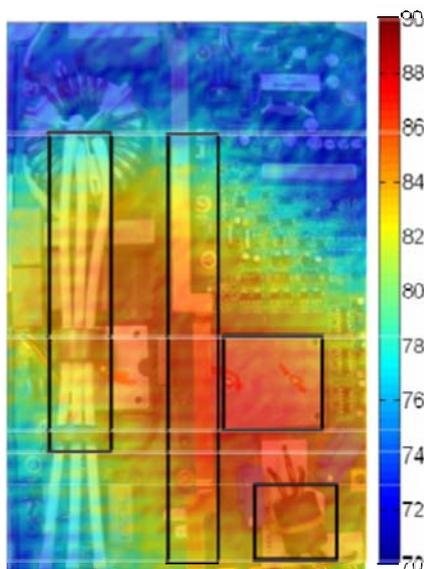


Fig. 8 – Cartographie des sources rayonnantes dans le variateur à 36 kHz

Tableau I – Identification des sources de perturbation.

Sources	Fréquence
alimentation à découpage	fréquence de découpage et ses harmoniques
filtre de mode commun	fréquence de découpage et ses harmoniques & 3,8 MHz
module de puissance	fréquence de découpage et ses harmoniques
bus bar	fréquence de découpage et ses harmoniques & 1,9 MHz
câbles internes	1,9 MHz
horloge	40 MHz et ses harmoniques

La fréquence de découpage représente une fréquence commune de rayonnement pour plusieurs sources simultanément qu'on peut identifier facilement sur la figure précédente, expliquant ainsi la continuité des lignes de champ sur toute la surface du variateur.

III. MODIFICATIONS DE ROUTAGE

Le champ rayonné est attribuable aux modes différentiel et commun [8]. Les courants de mode différentiel s'écoulent à travers les pistes et les câbles de la structure. Ceux de mode commun sont générés par les fronts de commutations des semi-conducteurs (figure 9).

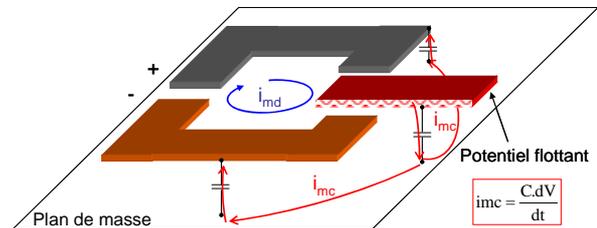


Fig. 9 – Courants parasites au sein d'un convertisseur

Afin de limiter la pollution vers le réseau, ils sont recyclés par un filtre de mode commun. De plus, les courants de mode commun se rebouclent via des capacités parasites et parcourent ainsi des boucles ayant de grandes surfaces contribuant à un niveau importants de rayonnement. De plus, le transfert de mode (MC ↔ MD) doit être limité en s'assurant que le mode différentiel présent sur le bus continu soit le plus faible possible. La topologie initiale du variateur est présentée à la figure 11. Les potentiels PA (bus barre) et PC sont les potentiels « plus » et « moins » du bus continu. Une première amélioration consiste à router un plan PA' superposé au plan PC au sein duquel le courant du bus va circuler. Une capacité de filtrage du mode différentiel est créée par routage. On opère ainsi un filtrage du mode différentiel [9], tout en réduisant la surface de la boucle de courant. Cela limite l'occurrence d'un transfert de mode MD ↔ MC. Le câble véhiculant et recyclant les courants de mode commun de la structure vers la terre crée une boucle

importante. Or, ce mode est le principal responsable de la génération des perturbations rayonnées [8]. Il est donc crucial de limiter au maximum les boucles des courants de mode commun. De plus ce câble est placé à proximité des câbles d'aménages de courant L1, L2 et L3. Il est donc à craindre qu'il existe un couplage significatif entre une source de perturbation importante, ici le câble du filtre relié à la terre et une partie du circuit critique que sont les câbles de connexion du réseau au filtre de mode commun. En effet, ces derniers couvrent une surface de boucle très importante. Cette partie du montage est donc particulièrement sensible à toute source d'excitation et peut être considérée comme un véritable amplificateur de perturbations rayonnées (figure 10).

Dans la configuration actuelle, la dégradation du rayonné est donc à prévoir. Mais on peut également s'interroger de l'impact d'une telle topologie sur l'efficacité du filtre de mode commun. L'évacuation des courants de mode commun vers la terre peut être remise en cause du fait que ces mêmes courants peuvent se reboucler via les câbles L1, L2 et L3. Le filtre est alors court-circuité. Afin de limiter la probabilité qu'apparaisse un tel couplage, la seconde modification consiste à re-router le câble de terre (figure 12).

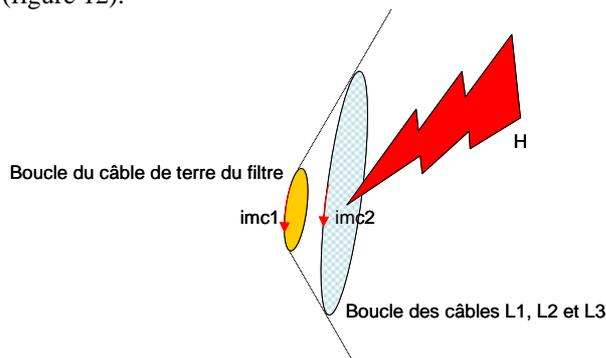


Fig. 10 – Configuration initiale des boucles de courant

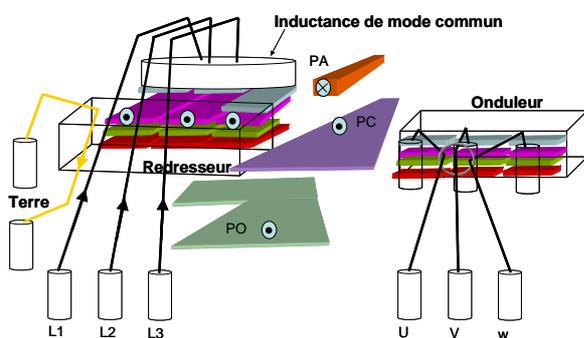


Fig. 11 – Topologie initiale du variateur de vitesse

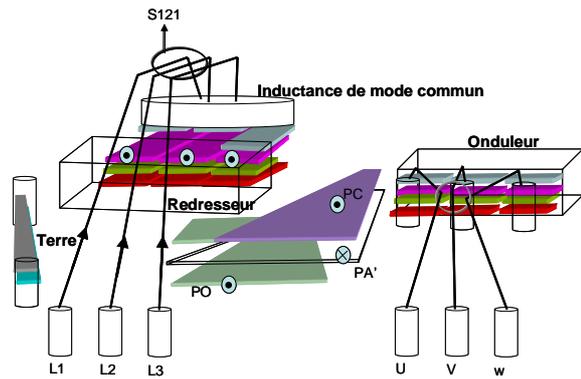


Fig. 12 – Topologie modifiée du variateur de vitesse

IV. COMPARAISON DES RESULTATS DE MESURE AVANT ET APRES MODIFICATIONS

Avant de mesurer le champ magnétique des trois composantes sur toute la surface du variateur, nous avons réalisé une analyse spectrale comparative pour les trois composantes du champ magnétique à une hauteur de 10 centimètres du PCB et en un seul point situé au centre du variateur dans les deux cas, et nous avons obtenu les résultats illustrés sur les figures 13, 14 et 15.

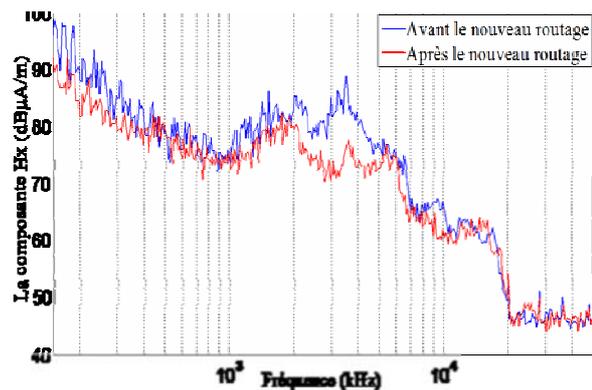


Fig. 13 – comparaison de la composante H_x sur la bande (150 kHz-50 MHz)

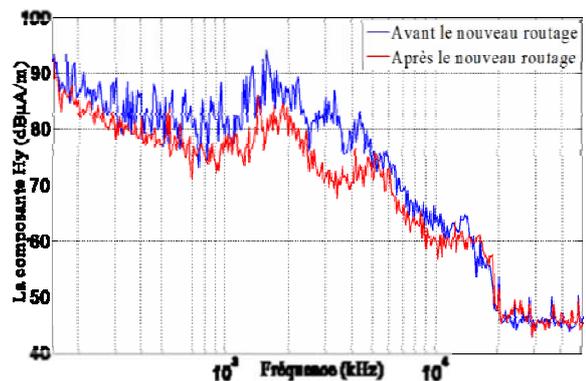


Fig. 14 – comparaison de la composante H_y sur la bande (150 kHz-50 MHz).

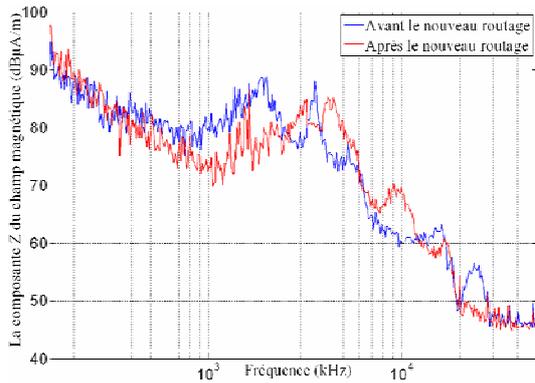


Fig. 15 – comparaison de la composante H_z sur la bande (150 kHz-50 MHz)

Sur les composantes longitudinales H_x et H_y , nous observons une amélioration plus significative que sur la composante verticale H_z , surtout au niveau des pics identifiés dans la partie II.2

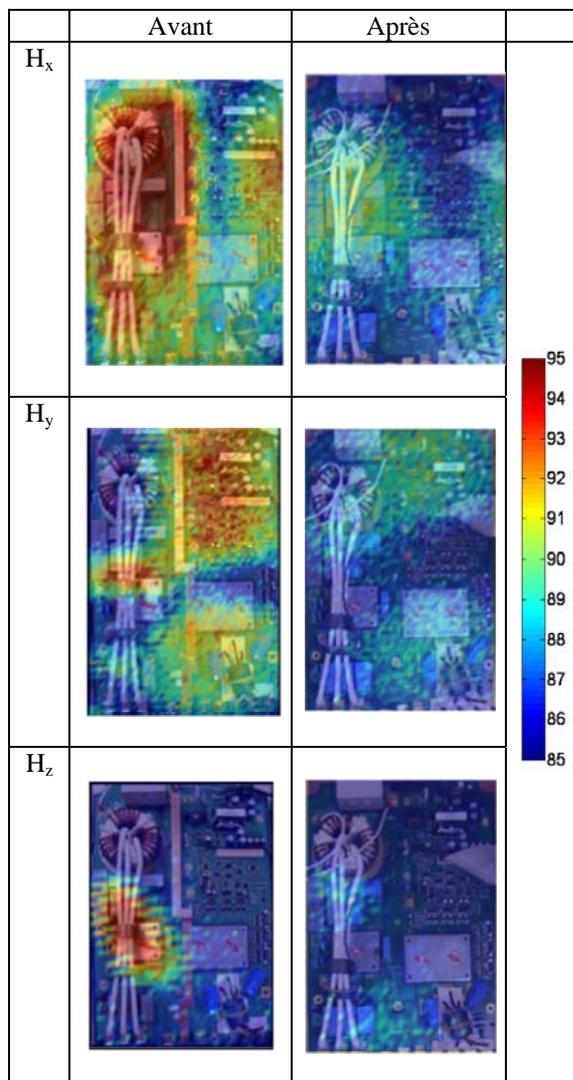


Fig. 14– Comparaison des cartographies du champ magnétique (en $\text{dB}\mu\text{A/m}$) en basse fréquence (36 kHz)

Pour évaluer plus précisément l'effet du nouveau roulage proposé, nous avons comparé à la figure 14 les cartographies des trois composantes du champ magnétique avant et après modifications à la troisième fréquence harmonique de la fréquence de découpage (36 kHz).

Les cartographies obtenues confirment ce que nous avons remarqué sur les spectres précédents : les améliorations apportées au niveau du rayonnement sont beaucoup plus visibles sur les composantes longitudinales H_x et H_y que sur la composante verticale H_z , car le courant du mode commun circule dans le plan perpendiculaire au PCB.

Nous pouvons déjà constater que l'amplitude du champ magnétique a diminué sur certaines plages de fréquence d'environ 6 dB sur les différentes composantes. La diminution très nette sur les composantes x et y du champ magnétique est essentiellement dû au recyclage des courants de mode commun, qui circulent dans des plans perpendiculaires au PCB du variateur [7].

Après l'analyse spectrale en haute fréquence, nous nous sommes intéressés aux deux pics les plus importants, à 1,9 MHz au dessus de la ferrite et à 3,8 MHz au dessus du filtre de mode commun. Ce pic est dû principalement à la résonance propre de l'inductance du filtre de mode commun et de ses éléments parasites.

Nous avons réalisé des cartographies de la composante z à ces deux fréquences avant et après les modifications, les résultats de mesure sont présentés à la figure 16.

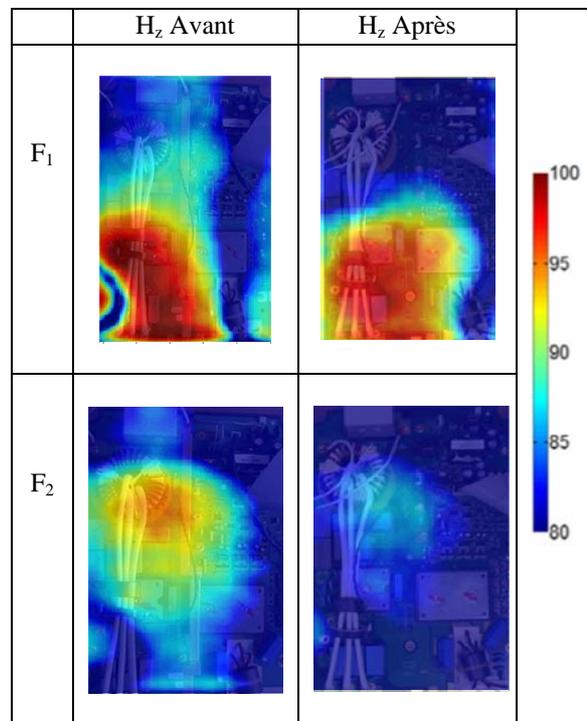


Fig. 16 – Cartographie du champ magnétique (en $\text{dB}\mu\text{A/m}$) en haute fréquence ($F_1=1,9$ MHz et $F_2=3,8$ MHz).

Les mesures en hautes fréquences montrent aussi une diminution du niveau de rayonnement ainsi que de la surface de distribution des lignes de champ magnétique, surtout à 3,8 MHz où l'on remarque bien l'efficacité du routage du bus bar qui contribue à la réduction du couplage avec le filtre du mode commun.

Les modifications du routage visent plus précisément le courant du mode commun, qui contribue plus sur les composantes longitudinales, mais nous avons observé une diminution du niveau de la composante verticale ce qui prouve la non-séparation du mode commun et du mode différentiel.

V. CONCLUSION

Dans cet article nous avons décrit une méthode de mesure champ proche ainsi que le système industriel sous test. Ensuite nous avons présenté les mesures en champ proche qui nous ont permis d'identifier les différentes sources rayonnantes en hautes et en basses fréquences. Puis, nous avons présenté les modifications apportées sur le routage et leurs objectifs. Enfin, des mesures effectuées après les modifications montrent une réduction du rayonnement notamment sur les composantes longitudinales.

Au-delà de l'identification des sources rayonnantes, les mesures en champ proche peuvent aider à la conception d'un système d'électronique de puissance propre en exploitant ses résultats pour mieux optimiser le routage et le placement des composants critiques. Les premières modifications apportées montrent une amélioration de 6dB en moyenne au niveau du rayonnement.

REFERENCES

- [1] O. Aouine, C. Labarre, F. Costa, P. Baudesson and J. Ecrabey, "Identification of the radiated sources inside a variable speed drive from near-field measurement", IEEE Symposium on embedded EMC, 2emc, Rouen 2007.
- [2] O.Aouine, F.Costa, C.Labarre and J. Ecrabey, "Measurement and Modeling of the Magnetic Near Field Radiated by a Buck Chopper", accepted, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility.
- [3] E. Béreau, C. Labarre and F. Costa "Measurement Bench for Electromagnetic Near Field Characterization of Power electronics Devices", in Proc. Symposium on Embedded EMC, 2Emc, 2005.
- [4] M. Hernando, A. Fernandez, M. Arias, M. Rodriguez, F. Las-Heras "Radiated noise measurement system to estimate the EMI regulations compliance of a power electronic circuit", ISIE 2007, VIGO.
- [5] Y. Vives, C. Arcambal, D. Baudry, A. Louis, B. Mazari, M. Stanislawiak, P. Eudeline

"Characterisation of the magnetic field radiated by different toroidal core inductors", 2emc.

- [6] D.Baudry, "Conception, validation et exploitation d'un dispositif de mesure de champ électromagnétique proches –application CEM-", thèse de doctorat de l'université de Rouen, Avril 2005.
- [7] F De Daran, J. Chollet-Ricard, F. Lafon and O. Maurice "Prediction of the field radiated at one meter from PCB's and microprocessors from near EM field cartography", IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2003.
- [8] Y. Vives, C. Arcambal, D. Baudry, A. Louis, B. Mazari, M. Stanislawiak, P. Eudeline "Characterisation of the magnetic field radiated by different toroidal core inductors", IEEE Symposium on embedded EMC, 2emc, Rouen 2005.
- [9] Clayton R. Paul, "A Comparison of the Contributions of Common-Mode and Differential-Mode Currents in Radiated Emissions", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No. 2, May 1989.
- [10] Nobuyoshi Mutoh, Joji Nakashima, and Masaki Kanesaki, "Multilayer Power Printed Structures Suitable for Controlling EMI Noises Generated in Power Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 6, December 2003.

REMERCIEMENTS

Ce travail a reçu le soutien de l'Union Européenne (CPER – Génie Electrique : FUTURELEC V).