

Modèle de Prédiction des Couplages par Diaphonie entre les Signaux de Commande et de Puissance d'un Hacheur Survolteur

Nassima. TIDJANI⁽¹⁾, Jean-Charles. LE BUNETEL⁽²⁾

⁽¹⁾LTSS, université Amar Telidji, Laghouat, Algérie, ⁽²⁾GREMAN, université François-Rabelais, Tours, France

RESUME - Les perturbations électromagnétiques telles que la diaphonie sont un grand problème pour le contrôle des composants dans l'électronique de puissance. Dans ce travail, un modèle de prédiction des couplages par diaphonie entre les signaux de commande et de puissance d'un hacheur survolteur est présenté. Ce modèle est issu de modélisation basée sur la méthode des moments, et d'optimisation réalisée par des algorithmes génétiques. Le modèle Spice proposé est utilisé pour étudier la diaphonie en fonction des paramètres physiques des pistes entre la partie commande et la partie puissance d'un hacheur survolteur.

Mots-clés— Diaphonie, NEXT, FEXT, méthode des moments, paramètres linéiques, hacheur survolteur, algorithme génétique.

1. INTRODUCTION

Afin de rendre de plus en plus petit les supports PCB et répondre aux besoins du marché actuel, les composants électroniques sont de plus en plus miniaturisés et proches les uns des autres. La technologie SiP (System-in-Package) a pour objectif d'intégrer plusieurs circuits, des composants passifs, des connecteurs et des antennes à l'intérieur d'un seul et même boîtier pour créer des sous-systèmes électroniques entièrement fonctionnels. Cependant, ces évolutions entraînent également une dégradation de la qualité des signaux et une augmentation des perturbations électromagnétiques comme la diaphonie au sein des cartes PCB [1]-[3]. La diaphonie est l'interférence entre un signal injecté sur une ligne (agresseur) et un signal d'une deuxième ligne voisine (victime). Cela peut provoquer un dysfonctionnement ou une détérioration totale d'un système. La tension retrouvée au début de la ligne victime est appelée paradiaphonie (NEXT), et celle qui se trouve à l'autre extrémité est appelée télédiaphonie (FEXT). Dans ce travail un modèle Spice de prédiction des couplages par diaphonie entre les signaux de commande et de puissance d'un hacheur survolteur est présenté. Dans le but de modéliser les différents couplages électromagnétiques ainsi que les imperfections qui existent dans la carte PCB du hacheur survolteur, plusieurs composants Spice sont proposés. Ces composants sont issus de modèle mathématique, et des mesures réalisées par un analyseur d'impédance, suivi par des optimisations par des algorithmes génétiques sous MATLAB.

2. LE HACHEUR SURVOLTEUR

La cohabitation au sein d'une même carte PCB de différents étages augmente les problèmes dus aux différents couplages électromagnétiques comme la diaphonie. L'origine de ces couplages électromagnétiques parasites est liée à l'activité interne et aux imperfections des différents composants: la circulation de courant génère un champ

magnétique, tandis que les commutations rapides de signaux créent un champ électrique [4]. Dans ce travail, un modèle Spice d'un hacheur survolteur est proposé pour enrichir la bibliothèque dédiée à la compatibilité électromagnétique. Ce modèle Spice tient compte de la diaphonie et des imperfections des composants au sein d'une seule carte PCB. La figure 1 illustre le hacheur survolteur monté sur une carte PCB. La tension de commutation varie de 0 à 100V. On observe que la carte PCB comporte deux parties une partie de commande, et une partie de puissance qui sont juxtaposés, ce qui induit une forte diaphonie à cause des tensions et des courants commutés.



Fig 1. Photographie d'un hacheur survolteur

La figure 2 illustre le modèle électrique du hacheur survolteur. Il est composé de trois modèles Spice proposés dans ce travail (Xligne, XInd, XCap), et d'un MOSFET IRFP240 et d'une diode MUR 460, tous les deux issus de la bibliothèque Spice.

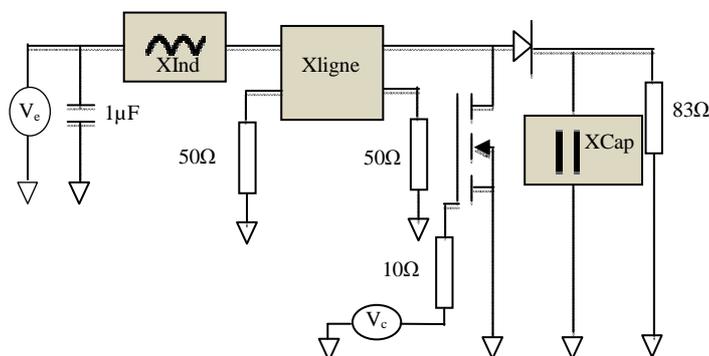


Fig 2. Modèle électrique du hacheur survolteur

La tension d'entrée V_e est de 50V, et la tension de commande V_c est de 9V. Les composants XInd et XCap représentent respectivement le comportement d'une inductance d'une valeur de 2mH, et d'une capacitance d'une valeur de 220 μ F en fonction de la fréquence.

Le composant Xligne illustré sur la figure 3 permet la modélisation de deux lignes de transmission microrubans couplées, en prenant en compte la diaphonie [5]-[6]. Cette modélisation est élaborée à partir des paramètres physiques des lignes de transmission microrubans couplées. Ceci par l'utilisation d'un modèle mathématique basé sur la méthode des moments [7]-[12]. Les valeurs introduites dans le modèle Spice de Xligne illustré sur la figure 3 correspondantes à une largeur des pistes $w=3$ mm, hauteur du substrat $h=1,5$ mm, espacement $s=3$ mm, et une permittivité diélectrique $\epsilon_r=4,7$.

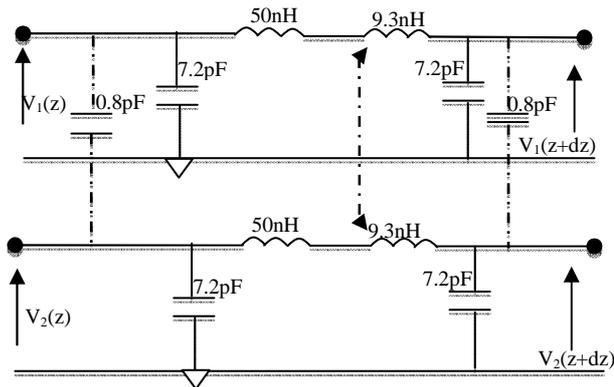


Fig 3. Modele Spice de Xligne

3. MODELISATION DE L'INDUCTANCE ET DE LA CAPACITANCE

Le calcul des modèles du comportement de l'inductance et de la capacité utilisés dans la carte PCB du hacheur survolteur, est réalisé à partir de la mesure faite à l'aide d'un analyseur d'impédance 4294A, dans la gamme de fréquence [200kHz-50MHz]. La mesure est découpée en fonction de la croissance ou la décroissance de l'impédance. Chaque gamme de fréquence est modélisée par des branches de (RLC) série. L'analyseur d'impédance nous a permis aussi d'extraire le modèle équivalent de l'inductance (figure 4), et de la capacité (figure 5). Cette modélisation est suivie par une optimisation effectuée par une méthode d'optimisation sous MATLAB avec les paramètres mesurés comme des valeurs initiales. L'optimisation des paramètres R_i , L_i , et C_i de chaque branche des modèles électriques équivalents se fait par la minimisation de l'erreur entre l'impédance calculée et celle mesurée (éq.1) [14] [15].

$$f_{obj} = \frac{1}{N} \sum_1^N (Z_{calculée} - Z_{mesurée})^2 \quad (1)$$

Avec N: nombre de point de mesure.

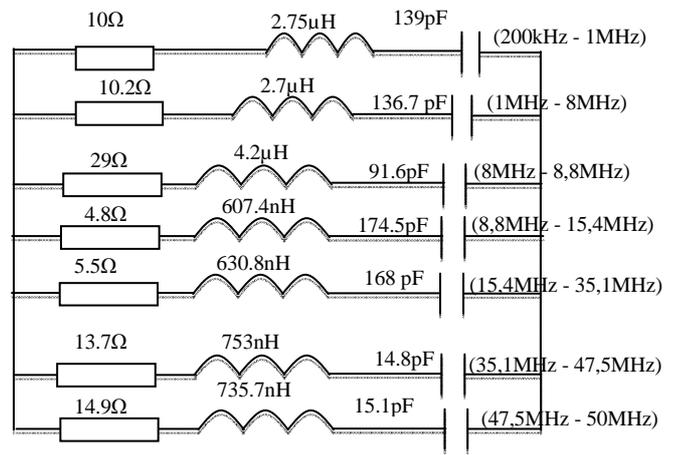


Fig 4. Modele Spice de XInd

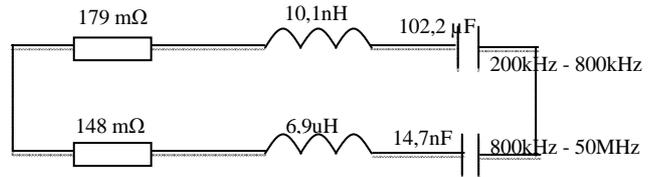


Fig 5. Modele Spice de XCap

Dans ce travail, on a cherché à minimiser l'erreur quadratique moyenne par des routines numériques basées sur les algorithmes génétiques [16] [17]. Les figures 6,7 représentent le module et la phase issus de la mesure et de l'optimisation de l'impédance inductance (XInd). Les figures 8 et 9 représentent le module et la phase issus de la mesure et par l'optimisation de l'impédance de la capacité (XCap). On observe que le modèle optimisé reproduit de façon satisfaisante la courbe de la mesure de l'impédance de l'inductance en fonction de la fréquence.

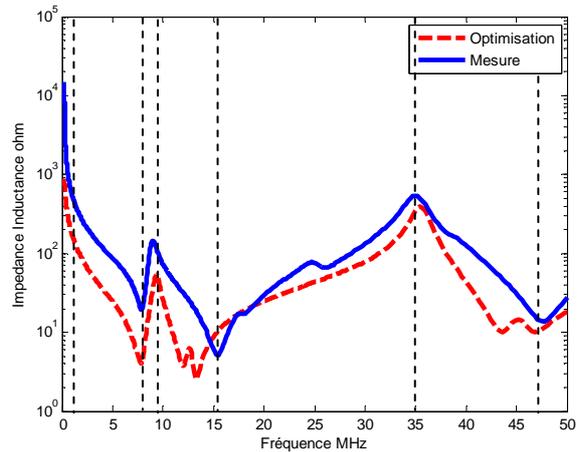


Fig 6. Impédance de XInd

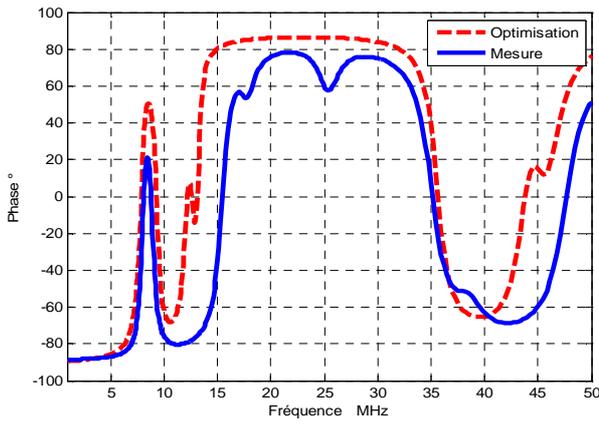


Fig 7. Phase de XInd

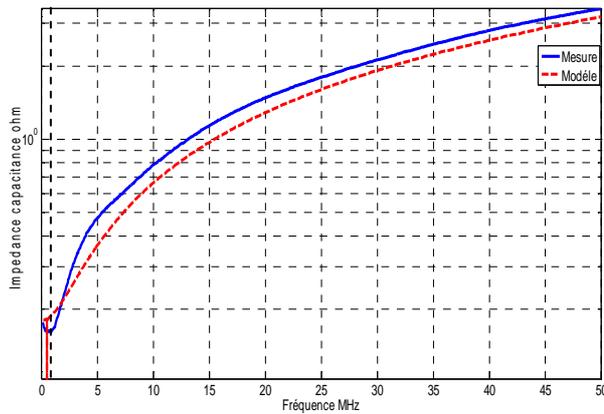


Fig 8. Impédance XCap

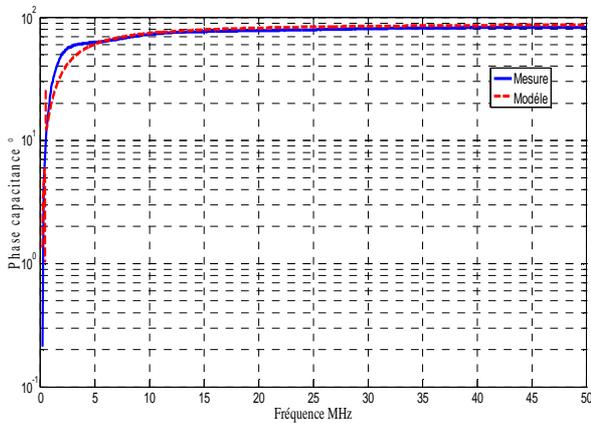


Fig 9. Phase de l'impédance XCap

4. SIMULATION DE LA DIAPHONIE ENTRE CIRCUIT DE PUISSANCE ET COMMANDE

Les figures 10 et 11 représentent le NEXT et le FEXT issus du modèle complet du hacheur survolteur et de la mesure. L'amortissement pour le signal mesuré du NEXT vaut 0,0937, ce qui est proche de celui du signal modélisé valant 0,102. La pseudo-fréquence du signal mesuré coïncide

à celle du modèle (13.5 MHz). La diaphonie est correctement estimée. De ce fait ces modèles seront utilisés pour estimer l'impact de la diaphonie sur la commande pour des tensions différentes en sortie du hacheur.

Ce hacheur est souvent utilisé dans les convertisseurs de puissance pour créer un bus de tension continue. La suite de l'étude est réalisée dans les conditions d'une tension de sortie fixée à 400V.

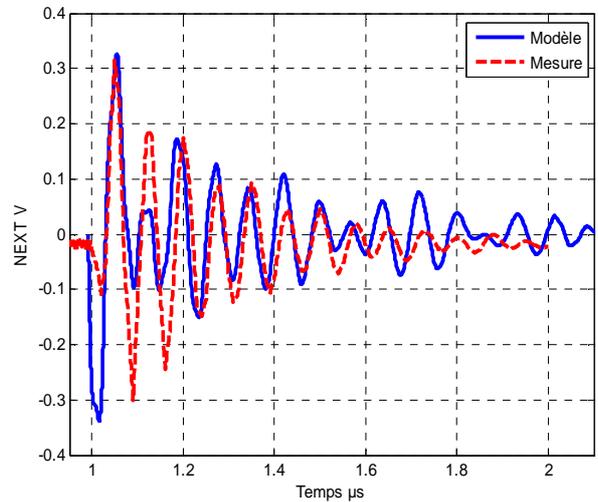


Fig 10. NEXT par modèle et mesure

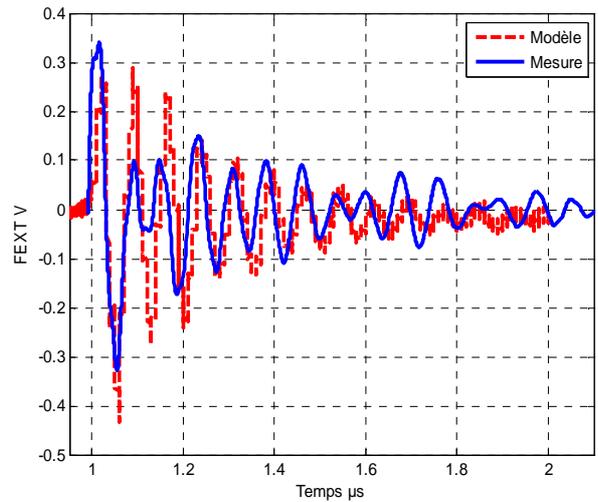


Fig 11. FEXT par modèle et mesure

5. INFLUENCE DES PISTES DE PUISSANCES ET DE COMMANDE

Pour estimer l'impact des couplages électromagnétiques sur la commande du MOSFET, plusieurs simulations sont réalisées avec les modèles précédents. Différents scénarios sont proposés pour étudier l'influence des écartements des pistes, de la largeur de piste de puissance sur la diaphonie engendrée.

La largeur de la piste de commande est fixée à 0,6 mm de longueur de 10cm et pour différents espacements. La

diaphonie est simulée pour plusieurs largeurs pour la piste de puissance:

- $w = 0,6$ mm
- $w = 1$ mm
- $w = 1,5$ mm
- $w = 2$ mm

Les figures 12 et 13 représentent le NEXT et le FEXT en simulation sur la piste de commande du hacheur survolteur. On observe que la diaphonie augmente lorsque les largeurs des pistes de puissance diminuent, au fur et à mesure que l'espacement augmente. On constate que le NEXT et le FEXT sont symétriques.

La tension parasite est supérieure à 1V pour un espacement inférieur à 1mm pour la piste de 0,6mm de largeur. Cela peut être suffisant pour amorcer des MOSFETs ayant une tension V_{GS} proche de 1V.

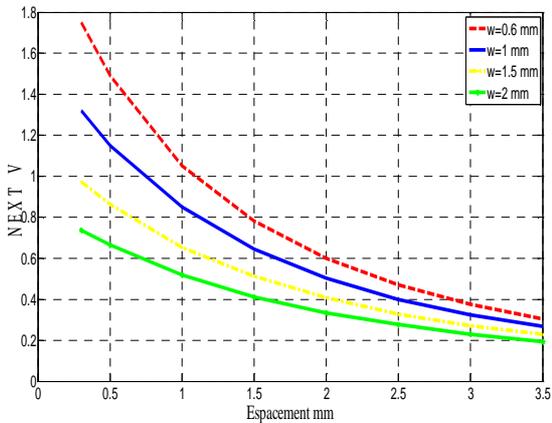


Fig 12. NEXT pour différentes largeurs de piste

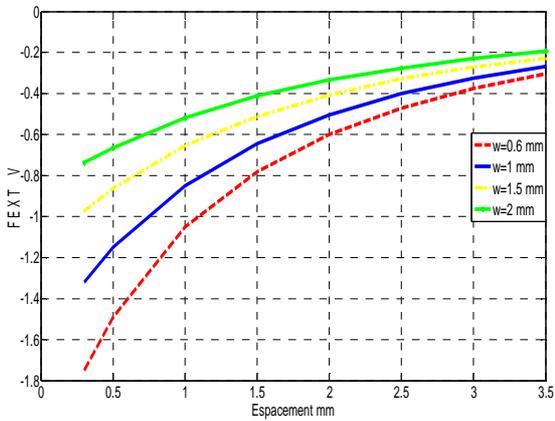


Fig 13. FEXT pour différentes largeurs de piste

La deuxième simulation réalisée étudie l'influence de la longueur des lignes de transmission couplées sur la diaphonie pour différentes valeurs d'espacement et pour la largeur de piste la plus défavorable. Cela correspond aux largeurs des pistes de commande et de puissance de 0.6 mm.

Les valeurs de longueur des lignes utilisées:

- $l = 1$ cm
- $l = 2$ cm
- $l = 3$ cm
- $l = 5$ cm
- $l = 7$ cm
- $l = 9$ cm
- $l = 10$ cm
- $l = 12$ cm

La figure 14 représente le NEXT en simulation pour les 8 longueurs des pistes couplées. Plus les pistes sont proches, moins la diaphonie est proportionnelle à la longueur. Ce réseau de courbe va permettre au concepteur de déterminer la longueur acceptable limitant l'influence de la diaphonie de la partie puissance sur le circuit de commande.

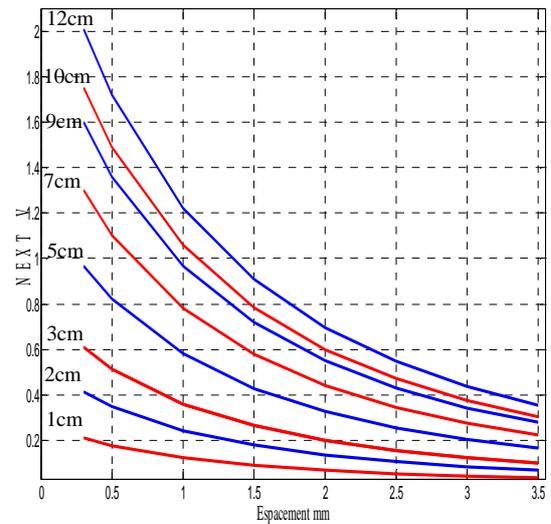


Fig 14. NEXT pour différentes longueurs de piste

6. CONCLUSION

Dans ce travail un modèle Spice de prédiction des couplages par diaphonie entre les signaux de commande et de puissance d'un hacheur survolteur est présenté.

La modélisation et l'optimisation des composants constituant le hacheur survolteur ont permis de mieux reproduire les phénomènes électromagnétiques. Ces phénomènes électromagnétiques sont dus à un signal en créneaux créé pour la commutation du MOSFET qui a un temps de montée de quelques nanosecondes.

Le modèle proposé nous a permis d'étudier l'influence de la largeur de la piste de puissance, ainsi que la longueur des lignes sur la diaphonie qui agit sur la commande d'un MOSFET.

La diaphonie récoltée peut atteindre plusieurs volts, ce qui peut déclencher la commande du MOSFET, et induire à un mauvais fonctionnement du système. De ce travail, notre perspective est de visualiser l'impact de la diaphonie sur la commande industrielle.

7. REFERENCES

- [1] A. Charoy, *Comptabilité électromagnétique*, Dunod, 2012.
- [2] R. Clayton, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, second edition, USA: John Wiley & Sons, 2006.
- [3] A. Boyer, S. Akue-boulingui, E. Sicard, S. Baffreau, "Methodologie de prediction des risques d'interferences dans un couplage puce a puce", TELECOM 07, Fes, March 2007, Maroc.
- [4] S. Musa, M. Sadiku, J. Clark, *Finite Element Analysis for Electromagnetic Parameters of Multiconductor Interconnects in Multilayered Dielectric Media*, *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, Vol. 1, No. 4, pp. 181-190, December 2012.
- [5] E. Metlevskis, *Analysis of Rectangular Microstrip Structures by the Method of Moments*, 18th International conference on microwave radar and wireless communications, pp. 1-4, Vilnius, 2010.
- [6] W. Gibson, *The Method of Moments in Electromagnetics*, USA: Taylor & Francis Group, 2006.
- [7] N. Tidjani, J. Le Bunetel, A. Ouchar, *Crosstalk Analyses in Coupled Transmission lines used in Telephony Mobile*, 17th IEEE Signal and Power Integrity, pp.155-158, Paris, 2013.
- [8] N. Tidjani, J. Le Bunetel, A. Ouchar, «Crosstalk Estimation in Asymmetrical Printed Circuit Boards Traces used in Telecommunications Systems», *International Conference on Wireless and Mobile Communication Systems (WMCS '13)*, WSEAS, Paris, France, 29-31 October, 2013.
- [9] N. Tidjani, J.C.Le Bunetel, A. Ouchar, Y. Raingeaud: «An Approach to Electromagnetic Compatibility Design Rules for Control Bus used in Power Electronics», *International conference on electrical engineering and automatic control (ICEEAC)*, Setif, Algeria, 24-26 November 2013.
- [10] F. Gardiol, *Traité d'Electricité: Electromagnétisme*, Presses polytechniques et universitaires romandes, vol.3, 1996
- [11] J. Pérez, R. Carles, R. Fleckinger, *Électromagnétisme: Fondements et Applications*, Fr: Dunod, 2001.
- [12] R. Clayton, *Analysis of Multiconductor Transmission Lines*, USA: John Wiley & Sons, IEEE Press, 2008.
- [13] T. Nguyen, L. Daniel, F. Bouillault, X. Mininger, « Modélisation d'un capteur magnétoélectrique par la méthode des éléments finis », MGE, 2010, Montpellier (France).
- [14] S.Amédée, R.F.Gérard, ' ALGORITHMES GENETIQUES' , TE de fin d'année,2004.
- [15] S.Belakehal,«Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », universite costantine, 2010.
- [16] T.Ouahidi,«Conception et simulation d'une source d'alimentation constituée d'un préregulateur et d'un onduleur monophasé de puissance 1KVA»,université du québec, 2002.
- [17] D.Chariag,«Elaboration d'un outil d'analyse du réseau électrique domestique dans la bande CPL»Thèse doctorat, universite de Tours, 2013.