Modèle basse fréquence de l'inductance parasite de condensateurs métallisés à géométrie rectangulaire

T. TALBERT, N. DAUDE, C. JOUBERT et P. MERLE
Laboratoire d'Electrotechnique de Montpellier
Université de Montpellier II
Place Eugène Bataillon, CC 079
F 34095 Montpellier Cedex 5

talbert@crit.univ-montp2.fr, daude@crit.univ-montp2.fr, joubert@crit.univ-montp2.fr, pmerle@crit.univ-montp2.fr

Résumé: - L'utilisation de condensateurs au polypropylène s'est généralisée en électronique de puissance, grâce à leur fiabilité, leur capacité d'auto-cicatrisation, et leur faible coût. Utilisés dans les filtres de lignes afin d'empêcher la propagation de perturbations hautes fréquences, ou dans les circuits d'aide à la commutation (CAC) afin de limiter la variation de tension aux bornes des composants, leurs performances sont cependant limitées en hautes fréquence par les inductances parasites liées aux bobinages et aux connections. Cependant, même si le comportement des condensateurs bobinés a été largement traité [1, 2, 3, 4], aucune recherche n'a été effectuée sur des composants à géométrie carrée (condensateurs mille-feuilles, composants montés en surface CMS, etc...), ou sur des composants bobinés aplatis. Le but de cet article est de proposer un modèle simple en basse fréquence de l'inductance parasite de condensateurs métallisés au polypropylène à géométrie rectangulaire.

Pour déterminer l'inductance parasite du condensateur à partir du champ magnétique (**B**), il faut au préalable connaître la répartition du potentiel vecteur magnétique (**A**) à l'intérieur de celui-ci. Les composants que nous allons étudier, sont constitués de couches rectangulaires, alternées de métal et de diélectrique. Nous connaissons grâce aux équations de Maxwell, pour chacune des ces couches, l'équation de propagation du potentiel vecteur magnétique (**A**), équation différentielle qui est liée aux termes sources (**J**):

$$\frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial z^2}-\frac{1}{\varepsilon_{couche_i}.\mu_{couche_i}}.\frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2}=-\mu_{couche_i}.\mathbf{J}$$

Une résolution analytique impose la connaissance parfaite du composant (épaisseur exacte du métal et du diélectrique, nombre de couches métal-diélectrique-métal, etc...), ce qui n'est pas notre cas puisque le constructeur ne donne pas accès à ces données. Par ailleurs, le nombre important de couches de matériaux rend complexe la résolution, à cause des nombreuses conditions aux limites à prendre en considération. Il faut donc simplifier le modèle en rendant homogène le composant. Nous obtenons ainsi une seule et unique équation différentielle à résoudre, celle de l'équation de propagation du potentiel magnétique (**A**) à l'intérieur du composant [5]. La résolution de cette équation donne accès au potentiel vecteur, et par conséquent à la densité volumique d'énergie magnétique emmagasinée à l'intérieur du composant. Nous sommes alors en mesure de calculer analytiquement l'inductance parasite du condensateur.

Mais la résolution de cette équation de propagation dans une géométrie cartésienne, qui ne possède pas de symétrie de révolution, n'est pas simple. Pour cela, nous proposons une méthode de résolution originale, fondée sur la méthode des éléments finis (en utilisant un seul élément), afin d'obtenir une solution analytique approchée de la solution du problème. Nous utilisons plus particulièrement, parmi les différentes méthodes des résidus pondérés, la méthode de Galerkine puisque celle-ci donne une solution qui constitue une bonne approximation et qui est au finale plus simple. La validation du modèle est faite sur des composants à géométrie rectangulaire provenant de Siemens-Matsushita. La possibilité d'obtenir un certain nombre d'informations techniques (taille externe du composant, diamètre et longueur de la connectique), nous a permis de tester la validité de notre modèle sur des composants à géométrie elliptique (composants bobinés aplatis) de SB Electronique. Ces validations, nous permettent de montrer qu'à partir de la simple connaissance des paramètres physiques du composant (largeur, longueur, épaisseur, type d'isolant) nous sommes en mesure de déterminer la valeur de son inductance parasite. Nous pourrons par la suite, proposer un modèle haute fréquence du condensateur, celui-ci tenant compte des différentes fréquences de résonance et d'anti-résonnance du composant. Puis, nous serons alors en mesure de présenter des formes de condensateurs minimisant l'inductance parasite des bobinages.

Mots-clés: Composants passifs, Capacité, Inductance parasite, Méthode des éléments finis, Méthode de Galerkine.

[1] W. J. Sarjeant, Capacitors, *IEEE Transaction on Electrical Insulation*, Vol.25, N˚5, pp.861-922, Oct.1990.

[2] Ch. Joubert, A. Béroual, G. Rojat, Magnetic field and current distribution in metallized capacitors, *Journal of Applied Physics*, Vol.76, N°9, pp.5288-5293, Nov. 1994.

[3] S. Siami, N. Daudé, Ch. Joubert, P. Merle, *Minimization of the stray inductance in metalized capacitors: Connections and winding geometry dependence*, Eur. Phys. J. AP 4,37-43 (1998).

[4] N. Daudé, Ch. Joubert, C. Coillot, S. Siami, P. Merle, *Numerical Optimization of Capacitors with Internal Cylinders. Minimization of the Stray Inductance*, IEEE-SMC, IMACS, CESA'98, Nabeul-Hammamet, Tunisia, Apr. 98.

[5] R. P. Feyman, R. B. Leighton, M. Sands, *The feyman Lectures on Physics*, Tomes 1 and 2, Addison-Wesley, 1970.

[6] G. Dhatt, G. Touzot, *Une présentation de la méthode des éléments finis*, Presses de l'Université Laval, 1981.