

Caractérisation Electromagnétique du Blindage en Champ Proche et Lointain

H. Miloudi¹, A. Bendaoud¹, M. Miloudi², A. Gourbi²
¹IRECOM Laboratory, Sidi Bel Abbès University, Algeria
²Djilali Liabes University, Sidi Bel Abbès, Algeria

Abstract: The use of electronic devices multiplies in all areas. The steady increase of these devices and their evolution towards miniaturization and integration of increasingly sophisticated ways of increasing their critical electromagnetic radiation and susceptibility. Any electronic device can cause interference with other equipment in its immediate environment. The performance of these systems may be altered, hence the need to know and control the electromagnetic environment of each element. For this reason, we must be able to determine the electromagnetic radiation in the immediate vicinity of each component or device. In this work the authors examine the effectiveness of shielding near and far electric and magnetic fields and the influence of the quality of material used for shielding.

Résumé: L'utilisation des dispositifs électroniques se multiplie dans tous les domaines d'activités. La progression constante de ces dispositifs ainsi que leur évolution vers une miniaturisation et une intégration de plus en plus poussées augmentent de manière critique leur rayonnement électromagnétique parasite ainsi que leur susceptibilité. Tout dispositif électronique peut provoquer des interférences avec d'autres équipements placés dans son environnement proche. Les performances de ces systèmes peuvent être altérées, d'où la nécessité de connaître et de contrôler l'environnement électromagnétique de chaque élément. Pour cela, il faut être capable de déterminer le rayonnement électromagnétique au voisinage immédiat de chaque composant ou dispositif.

Dans ce travail les auteurs étudient l'efficacité de blindage en champ électrique et magnétique proche et lointain ainsi que l'influence de la qualité du matériau utilisé pour le blindage.

Mots clés — *Blindage, EMI champ proche, champ lointain, matériaux*

Introduction

Le développement d'équipements électroniques ont rendu la vie facile d'un côté, ils ont aussi créé un nouveau type de problèmes de faire fausse image, la diminution de l'efficacité ou le court-circuit de l'équipement électronique de l'autre côté. Ce problème

se pose principalement en raison de l'interférence électromagnétique (EMI).

Le blindage est un moyen d'utiliser un bouclier (une forme conduite de matériel) partiellement ou totalement envelopper un circuit électronique, qui est un émetteur ou récepteur d'interférence électromagnétique. Par conséquent, il limite la quantité de rayonnement EMI de l'environnement externe qui peut pénétrer dans le circuit et, inversement, elle influence beaucoup l'interférence électromagnétique et l'énergie générée par le circuit peut s'échapper dans l'environnement externe. Une variété de matériaux a été utilisée pour le blindage d'un large éventail de la conductivité électrique, la perméabilité magnétique ainsi que la géométrie [3].

Au cours des dernières années de nombreux travaux ont été réalisés dans l'étude des phénomènes électromagnétiques. Nous veillons dans ce travail que tous les matériaux ne sont pas équivalents pour atténuer les champs électromagnétiques. Nous traitons de l'efficacité de blindage pour différents matériaux en fonction de la fréquence et analysé distinctement d'une part pour les champs électriques et d'autre part pour les champs magnétiques. Nous traitons dans un premier temps la propagation des ondes. La deuxième partie réservée à l'étude du blindage EMI et l'influence du Matériel en utilisant notamment la simulation avec le Logiciel Matlab.

Propagation d'onde planes

L'onde électromagnétique est constituée de la superposition de champs électrique et du champ magnétique qui se déplace dans le vide à la vitesse de la lumière $c = 3 \times 10^8$ m/s [5].

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

L'impédance d'onde définie par le rapport entre les modules du champ électrique \vec{E}_T transverse et de l'excitation magnétique transverse \vec{H}_T :

$$Z_{\text{onde}} = \left| \frac{\vec{E}_T}{\vec{H}_T} \right| \quad (2)$$

L'énergie emmagasinée par le champ électrique E vaut :

$$W_E = \xi_0 \cdot \frac{E^2}{2} \quad (3)$$

L'énergie créée par le champ magnétique H vaut :

$$W_H = \mu_0 \cdot \frac{H^2}{2} \quad (4)$$

Dans la zone du rayonnement, l'impédance d'onde est calculée par :

$$\frac{E}{H} = \eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \approx 377\Omega \quad (5)$$

Zones de Rayonnement Electromagnétique

En fonction de la distance à une source de rayonnement électromagnétique, nous définissons deux zones: la région de rayonnement proche laquelle est divisée en deux espaces (la zone de Rayleigh et la zone de Fresnel) et la région de rayonnement lointain (zone de Fraunhofer) (Fig.1).

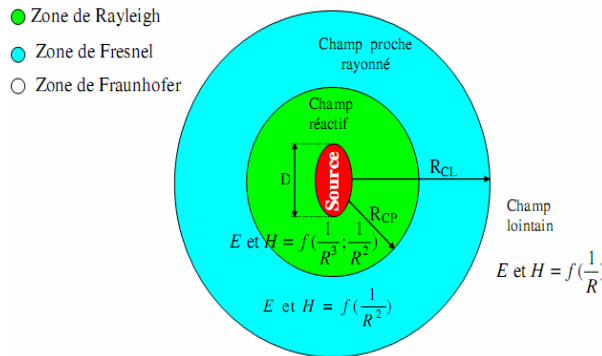


Figure 1: Zones de rayonnement d'une source de perturbation

Zone de Rayleigh (région de champ réactif): C'est la zone du champ très proche qui entoure immédiatement la source RCL : région du champ lointain (Fig. 1). Le champ contenu dans cet espace est dit réactif, en effet la majorité de l'énergie électromagnétique n'est pas rayonnée, mais plutôt emmagasinée.

Zone de Fresnel (région de rayonnement proche) : Il s'agit d'une zone intermédiaire entre la zone du champ proche réactive et la zone du champ lointain RCP : région du champ proche (Fig. 1).

Zone de Fraunhofer (région de champ lointain) : Cette région est située à grande distance de la source ($r > \frac{\lambda}{2\pi}$) (Fig. 1 et Fig. 2).

Le gain et la distribution angulaire sont essentiellement indépendants de la distance et l'onde électromagnétique est quasiment plane.

Afin de déterminer les limites de ces différentes régions, nous pouvons utiliser l'exemple de rayonnement d'un élément infinitésimal (dipôle électrique ou magnétique) en raison de sa simplicité et de sa vaste utilisation dans la littérature. Cette approche est basée sur l'utilisation de critères physiques (puissance, impédance d'onde,...) et géométriques (dimensions) de ces éléments [9].

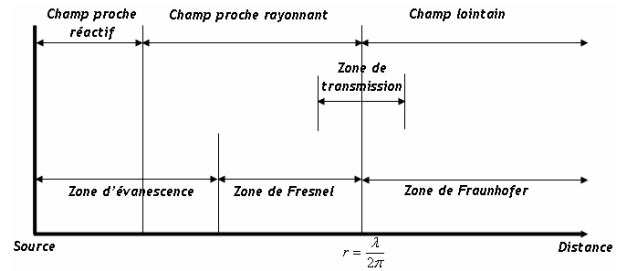


Figure 2 : Les zones champ proche et champ lointain

Champ Proche et champ Lointain

Lors de l'étude du rayonnement d'une source électromagnétique, la notion de champ lointain est introduite afin de simplifier la formulation des équations d'ondes. Dans cette zone qui s'étend d'une certaine distance r à l'infini, l'amplitude des champs électrique et magnétique décroît en 1/r. Localement, cette onde formée par le couple champ électrique et champ magnétique est plane et transverse. Cette définition d'une zone de champ lointain implique par conséquent la présence d'une zone de champ proche [4] entourant la source de rayonnement. La difficulté consiste alors à définir la limite entre ces domaines.

L'impédance d'un milieu est le rapport entre le champ E et le champ H; elle se calcule par la formule suivante :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} = \frac{E}{H} \quad (6)$$

$$Z_{air} = 377\Omega$$

$$\mu_0 : \text{Permeability of free space } \mu_0 = 0.4\pi 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$\epsilon_0 : \text{Dielectric constant } \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$

Efficacité d'un blindage

Les blindages électromagnétiques ont pour but de protéger des installations électroniques (ou électriques) contre les effets redoutables de certains couplages électromagnétiques.

On définit l'efficacité du blindage comme le rapport entre l'énergie de l'onde incidente à l'énergie de l'onde transmise. Elle représente donc le facteur d'atténuation de l'onde, et on l'exprime en dB:

$$SE_E = 20 \log \left(\frac{E}{E_b} \right) \tag{7}$$

$$SE_H = 20 \log \left(\frac{H}{H_b} \right) \tag{8}$$

E et H : les intensités du champ électrique et magnétique sans blindage, et E_b , H_b les intensités du champ avec blindage.

$$S = S_r + S_a + S_m [dB] \tag{9}$$

S_a : Atténuation par absorption, S_r : Atténuation par réflexion et S_m : Atténuation par réflexion Multiple.

Le blindage est en général employé en dernier ressort car c'est une solution lourde et souvent onéreuse. Avant d'employer cette solution, on a cherché à augmenter l'immunité électromagnétique du circuit perturbé et, on a cherché à diminuer l'amplitude du champ électromagnétique délivré par le perturbateur.

Epaisseur de la peau δ : L'épaisseur de la peau est définie comme la distance dans la surface du métal, où la densité de courant diminue jusqu'à 37% de sa valeur au début de la surface (Fig. 3). La relation entre les propriétés du matériau et la profondeur de la peau du blindage métallique est la suivante:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \tag{10}$$

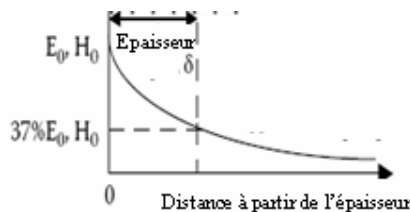


Figure 3 : Variation du champ en fonction de l'épaisseur δ .

Impédance du métal: l'impédance du métal est celle qui est utilisée pour le blindage. La valeur de l'impédance du métal dépend des propriétés du matériau utilisé. La relation qui permet de calculer cette impédance est la suivante :

$$Z_m = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \tag{11}$$

pour le métal où $\sigma \gg \omega\epsilon$, on peut écrire :

$$Z_m \approx \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \tag{12}$$

La figure 4 représente la réflexion et la transmission du champ dans un blindage [1, 3].

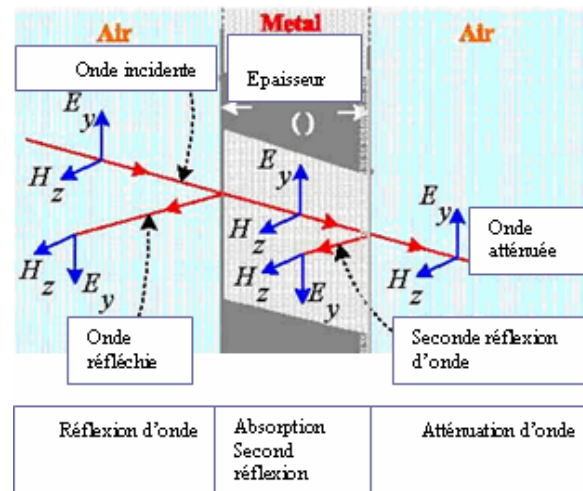


Figure 4 : Réflexion et transmission dans un blindage.

Atténuation par absorption S_a : L'amplitude d'une onde décroît exponentiellement lorsqu'elle traverse un milieu donné (pertes ohmiques provoquant une dissipation de chaleur).

$$E(x) = E_0 e^{-x/\delta} \tag{13}$$

le terme traduisant les pertes par absorption n'est pas important quand la fréquence est faible.

Atténuation par réflexion S_r : L'atténuation due à la réflexion est le rapport : $E_r/E_i = H_r/H_i$, et on peut écrire:

$$S_r = 20 \cdot \log \frac{(z_1 + z_2)^2}{4z_1z_2} \quad (14)$$

L'impédance Z_2 est celle du blindage. L'impédance Z_1 est celle de l'air, elle dépend de la distance par rapport à la source de perturbation. Nous sommes donc obligés de distinguer entre le champ lointain et le champ proche à haute impédance (couplage capacitif) et champ proche à basse impédance (couplage inductif) [7].

Pour tracer des courbes donnant les pertes par réflexion en fonction de la fréquence, nous avons besoin d'exprimer l'impédance d'onde et l'impédance du blindage en fonction de la fréquence.

Coefficient de réflexion en champ électrique proche : La figure 4. montre la réflexion en champ électrique proche pour différents matériaux utilisés pour un blindage.

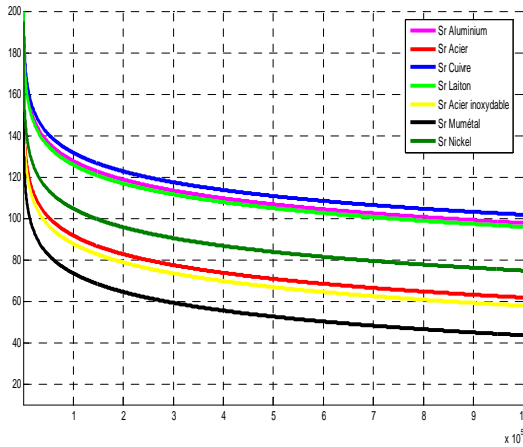


Figure 5 : Réflexion en champ électrique proche.

Le terme diminue de façon importante, l'efficacité de blindage. Mais les pertes par réflexion ne sont pas importantes pour des hautes fréquences.

Coefficient de réflexion en champ magnétique proche : Par contre, la réflexion en champ magnétique proche augmente n'est pas très élevé en raison de la faiblesse de Z_0 par rapport à l'impédance Z_{blindage}

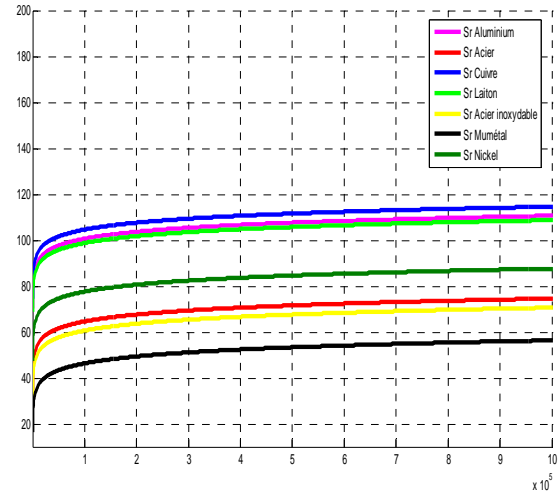


Figure 6 : Coefficients de réflexion en champ magnétique

Coefficient de réflexion en champ lointain : Les figures 5, 6, 7 montrent que le matériau joue aussi un rôle très important par la prise en compte de l'impédance du blindage. En comparant ces courbes, on constate que l'atténuation par réflexion est plus faible pour l'acier que pour du cuivre car la résistivité du cuivre est plus faible que celle de l'acier

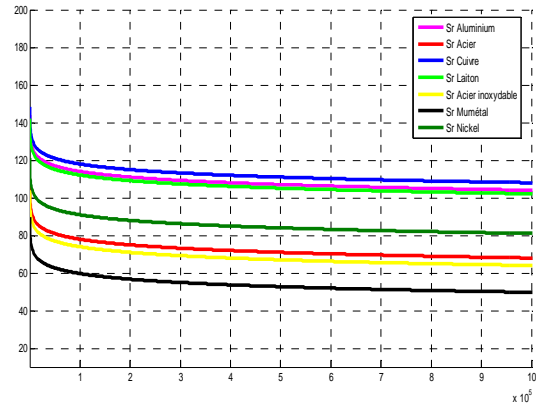


Figure 7 : Réflexion en champ lointain.

Exemple 1: Coefficient de réflexion pour l'acier
La courbe de la figure 8, représente le terme de la réflexion du blindage en fonction de la fréquence pour 1 mm d'Acier. Le terme de réflexion a une valeur faible tant que la fréquence dépasse 500 kHz.

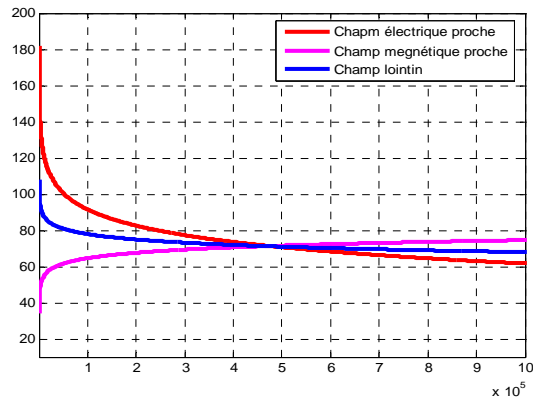


Figure 8 : Reflection pour l'acier

Exemple 2: Coefficient de réflexion pour le Cuivre

La courbe de la figure 9, représente le terme de la réflexion du blindage en fonction de la fréquence pour le cuivre. Le terme de réflexion a une valeur faible tant que la fréquence dépasse 500 kHz.

D'après les figures 8, 9 ; l'atténuation par réflexion est plus importante pour un champ électrique en champ proche que pour un champ magnétique car l'impédance d'onde est bien plus élevée pour les champs électriques.

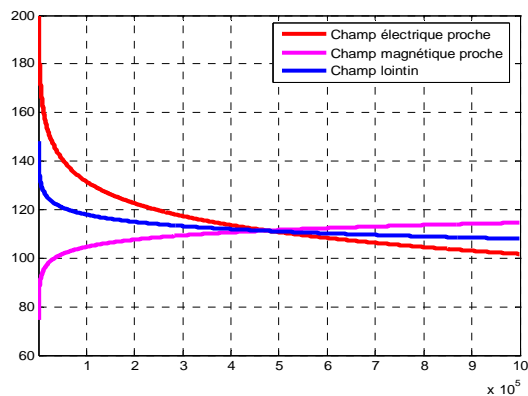


Figure 9 : Reflection du champ pour le cuivre

Conclusions

Le blindage en général employé en dernier ressort car c'est une solution lourde et souvent onéreuse. Son efficacité réelle dépend bien sûr de la qualité du matériau utilisé pour le blindage (efficacité intrinsèque), mais également des ouvertures pratiquées dans ce blindage,

La réflexion est plus importante pour un champ électrique en champ proche que pour un champ magnétique.

References

- [1] CLAYTON R. PAUL., *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, A JOHN WILEY & SONS, Second Edition, 2006
- [2] T. Dumrongkittigule, P. Khamphakdi, W. Khan-ngern and C. Chatuthai, *The Study of Low Frequency Magnetic Field Shielding Causing by Power Transformer*, EMC'03, Bangkok, Thailand 2003.
- [3] Xingcun Colin Tong, *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*, CRC Press; 2009
- [4] Anne LOUIS, *Compatibilité électromagnétique Des moyens d'essais à la modélisation de composants électroniques*, Thèse de Diriger des Recherches, Université de Rouen, Décembre 2006.
- [5] Shen Wang, *Modeling and Design of Planar Integrated Magnetic Components*, Master of Science in Electrical Engineering, July 21, 2003, Blacksburg, Virginia.
- [6] Jason Jon Yoho., *Physically-Based Realizable Modeling and Network Synthesis of Subscriber Loops Utilized in DSL Technology*, Master of Science in Electrical Engineering, October 2001, Blacksburg, Virginia..
- [7] Kim, S. Neikirk, D.P., *Compact Equivalent Circuit Models for the Skin Effect*, IEEE, 1815-1818 vol.3, 1996
- [8] MILOUDI. H, *Modélisation C.E.M d'un onduleur triphasé alimentant un moteur asynchrone*, thèse de magister, UDL (2007).
- [9] Lakhdar BOUCHELOUK, *Conception et validation de sondes pour les mesures en champ proche*, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris, le 26 Octobre 2006.

Author address: A. Bendaoud Laboratoire IRECOM, Sidi Bel Abbès University, Sidi Bel Abbès, 22000, Algeria, Email: babdelber22@yahoo.fr