

Caractérisation de sources impulsionnelles de forte puissance par la méthode EMIR®

par Patrick Levesque[°], Jean-Louis Lasserre^{**}, Alain Paupert^{**}, Gilles Teysseidou^{**}

[°] ONERA, Département Mécanique du Solide et l'Endommagement, BP 72, 92322 Châtillon cedex, France
E-mail: levesque@onera.fr

^{**} DGA/DCE, Centre d'Etudes de Gramat, F-46500 Gramat, France
E-mail: lasserjl@cegramat.fr, paupert@cegramat.fr, teyssegi@cegramat.fr

1- Résumé

Depuis plus de dix ans, l'Onera a développé une méthode de visualisation quantitative de champs électromagnétiques (EM) appelée méthode EMIR® (ElectroMagnétique-InfraRouge). Pour effectuer une métrologie simple du champ EM, on a mis au point un capteur consistant en un film photothermique de faible épaisseur ($\leq 25 \mu\text{m}$) dont les propriétés électriques ont été choisies de façon à transformer une partie du champ incident en chaleur. Cet échauffement est détecté par une caméra infrarouge.

Le champ d'application de cette méthode est particulièrement ouvert : caractérisation en ondes entretenues de blindages (CEM, visualisation de fuites, de champs électriques internes), de systèmes rayonnants (antennes, chambre réverbérantes), de défauts de structures (contrôle non destructif, diagnostic) et détermination de la constante diélectrique de matériaux bruts ou d'objets manufacturés (métrologie).

Cette méthode a été étendue à la caractérisation des sources électromagnétiques impulsionnelles de forte puissance. Nous décrivons ci-après quelques résultats.

Mots clés : électromagnétisme, infrarouge, EMIR, source impulsionnelle, calorimètre.

2- Caractérisation traditionnelle des sources impulsionnelles de forte puissance

Les principaux paramètres permettant de caractériser une source impulsionnelle de forte puissance fonctionnant en régime pulsé monocoup ou répétitif par rafale sont représentés par le champ électrique rayonné, son profil en plan E et H et l'énergie contenue dans chaque impulsion. Le profil du champ électrique rayonné s'obtient généralement à une certaine distance de l'antenne, en zone de champ lointain à l'aide de capteurs passifs (dipôles large bande avec balun intégré, guide, etc...). L'énergie rayonnée par la source est généralement obtenue en zone de champ proche, à faible distance de l'ouverture rayonnante par l'emploi de calorimètre à alcool.

Le relevé du diagramme en champ électrique nécessite de nombreuses mesures ponctuelles permettant l'obtention du profil temporel de l'impulsion. Ces dernières s'effectuent de manière directe si la fréquence de la source impulsionnelle autorise l'acquisition sur un numériseur de vitesse d'échantillonnage et de profondeur mémoire suffisante, soit indirectement par l'emploi de mélangeurs ou de détecteurs hyperfréquence dans le cas contraire. Les sources pulsées de fort niveau n'étant généralement pas répétitives en amplitude, ce type de métrologie impose également l'emploi d'un capteur de référence disposé en un point fixe et destiné à corriger ces fluctuations. Un étalonnage fréquentiel est requis pour le détecteur et le capteur (aire effective).

Les mesures d'énergie se réalisent à l'aide d'un calorimètre à alcool placé directement en sortie de l'ouverture rayonnante.

La détermination des coefficients d'absorption et de réflexion dans la plage de fréquence d'utilisation se fait en plaçant le dispositif entre deux antennes coniques munies de lentilles bi-convexes produisant un faisceau focalisé. Les courbes d'absorption et de réflectivité d'un calorimètre à alcool ne sont pas constantes en fonction de la fréquence. La réflectivité est de l'ordre de 25%.

Dans le cas de plusieurs impulsions, le dispositif n'est pas capable de dissocier l'énergie de chacune des impulsions. Il est alors possible de l'estimer en associant une mesure du profil temporel des impulsions de champ électrique à l'aide d'un capteur disposé par exemple à l'intérieur de l'ouverture rayonnante.

3- Caractérisation des sources impulsionnelles de forte puissance par la méthode EMIR

Le principe de la mesure est décrit sur la figure 1. Un film photothermique est placé devant la source à caractériser. Une partie de l'énergie incidente est absorbée par le film qui s'échauffe. L'échauffement est visualisé à l'aide d'une caméra infrarouge. La méthode EMIR permet de visualiser et de quantifier la quantité d'énergie incidente. L'échauffement dépend de la densité d'énergie incidente (J.m^{-2}) et des propriétés intrinsèques du film, notamment de sa chaleur spécifique volumique ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$). Moyennant une calibration préalable du film photothermique et la connaissance de la durée de l'impulsion, il est possible de remonter à la valeur du champ électrique.

Les propriétés EM (transmission, absorption, réflexion en puissance) du film photothermique peuvent être adaptées en fonction des diverses applications. La sensibilité est réglée par l'absorptivité du film qui est fonction, comme le montre la figure 2, de sa résistance carrée. Il est également possible de choisir un film de très faible réflectivité (de l'ordre de 3 %).

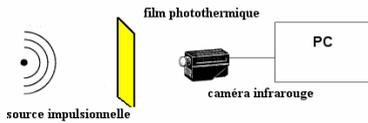


Figure 1 - Principe de la mesure

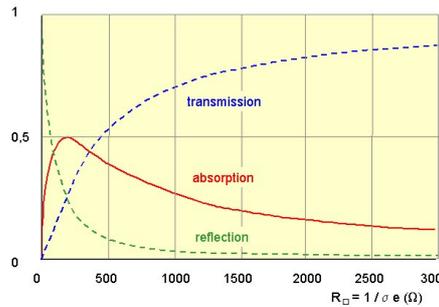


Figure 2 - Transmission, absorption, réflexion en puissance d'un film photothermique

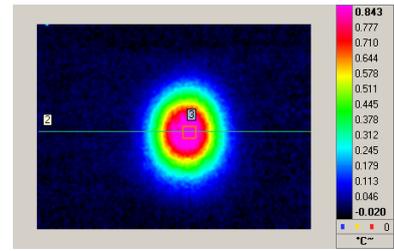


Figure 3 - Image obtenue par EMIR[®] représentant l'échauffement maximal du film soumis à des séries de 1 à 5 impulsions à la fréquence de répétition de 20 Hz.

Nous montrons sur la fig. 3, l'image obtenue par EMIR[®], pour une source délivrant des impulsions micro-ondes (9 GHz) de durée de quelques nanosecondes et d'une intensité de quelques 10^8 W. Elle représente l'échauffement maximal du film soumis à des séries de 1 à 5 impulsions à la fréquence de répétition de 20 Hz. La caméra utilisée est une caméra infrarouge (JADE MWIR à plan focal de la société CEDIP, ondes courtes (3-5 μm)). La fréquence d'acquisition de la caméra est de 145 Hz avec un temps d'intégration de 1300 μs . La figure 4 représente l'évolution temporelle d'une surface de 10x10 pixels prise au centre de la tache. Nous pouvons ainsi suivre l'énergie contenue dans chacune des impulsions. La dispersion de l'amplitude de la densité d'énergie est de 18 %, hormis le défaut de la source qui apparaît à la quatrième impulsion se traduisant par un saut de 76 J/m^2 .

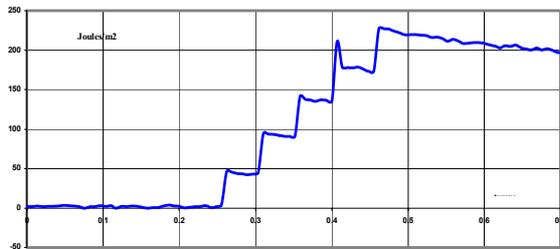


Fig. 4 - Evolution temporelle du point d'échauffement maximal du film soumis à des séries de 1 à 5 impulsions à la fréquence de 20 Hz

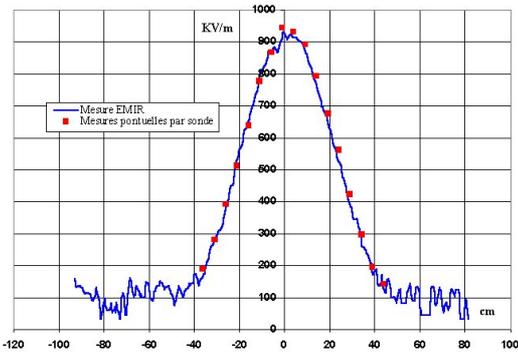


Fig. 5 - Profil horizontal (Plan H) du champ électrique (KV/m)

La figure 5 montre le profil horizontal (plan H) exprimé en kV/m de la fig. 3 que nous comparons à celui obtenu par des mesures ponctuelles par sondes électromagnétiques.

4- Conclusion

L'ensemble des résultats montre que la méthode EMIR permet d'obtenir en une seule fois des cartographies en énergies et/ou en champ électrique en régime pulsé monocoup ou répétitif. Dans le cas de plusieurs impulsions, la méthode est capable de dissocier l'énergie de chacune des impulsions. Parmi les autres avantages, on peut citer sa grande résolution spatiale (pouvant atteindre quelques dizaines de μm), sa plage fréquentielle de mesure (500 MHz à 20 GHz) et la faible influence du film sur le champ incident (réflectivité de l'ordre de 1 % pour un film de 1500 ohms^2). La sensibilité actuelle de la méthode est dans le meilleur des cas (caméra en ondes longues et absorptivité du film de 50 %) de 0,5 J/m^2 pour un rapport signal à bruit de 2. La dynamique dépend de la différence entre les niveaux haut et bas de la mesure. Selon les configurations d'essais, elle varie de 30 dB environ à une dizaine de dB lorsque la densité d'énergie incidente monocoup devient faible (de l'ordre de 10 J/m^2).

Références

- 1 D. Balageas and P. Levesque, "EMIR : a photothermal tool for electromagnetic phenomena characterization", Revue Générale de Thermique, 37, 1998, p 725-739
- 2 P. Levesque., L.Leylekian et D.Balageas., "Vectorial characterisation of electromagnetic fields by infrared thermography", 5th Quantitative InfraRed Thermography (QIRT'2000), Reims (France), 18-21 juillet 2000.
- 3 P. Levesque, L. Leylekian, «Capteur vectoriel de champs électromagnétiques par thermographie infrarouge », Brevet français n° 9816079, 1998
- 4 P. Levesque, A. Deom, «High power source characterization using the EMIR method », Workshop OTAN SCI 119, Copenhague, 10-13 juin 2002.
- 5 P. Levesque, M. Nacitas, D. Balageas, Mesure des champs électromagnétiques en amplitude et en phase par thermographie infrarouge, JINA 96, Nice, novembre 1996