

Génération du chaos sur les récepteurs antennaires

Sous certaines conditions d'agression, les circuits électroniques comportant des composants non linéaires peuvent basculer dans un comportement chaotique. Pour des applications de défense, de type brouillage offensif, celui-ci peut être recherché afin de provoquer le dysfonctionnement intentionnel des systèmes. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés au cas particulier d'un étage d'entrée de récepteur de communications muni d'un circuit limiteur à diodes. Nous avons déterminé les paramètres de l'agression électromagnétique capable de provoquer l'apparition de signaux chaotiques lors de l'illumination de l'antenne. Ce phénomène a été analysé, modélisé et vérifié expérimentalement.

R. Vézinet CEA-Gramat

F. Caudron • A. Ouslimani • A. Kasbari École nationale supérieure de l'électronique et de ses applications (ENSEA), ECS-Lab, Cergy

Dans le cadre des études conduites au CEA-Gramat sur la vulnérabilité des systèmes aux agressions électromagnétiques intentionnelles, nous nous sommes intéressés à la génération volontaire d'un comportement chaotique dans les circuits électroniques. En effet, celui-ci est susceptible de générer des dysfonctionnements importants des équipements, ce qui pourrait permettre d'obtenir le brouillage, voire la destruction des électroniques des systèmes d'armes à des niveaux de champ électromagnétique relativement faibles.

L'étude présentée dans cet article, conduite en association avec l'ENSEA, traite plus spécifiquement de la problématique des comportements chaotiques

pouvant être provoqués au sein des circuits électroniques de l'étage d'entrée d'un récepteur antennaire.

Les récepteurs antennaires utilisent des circuits électroniques sensibles comme des amplificateurs faible bruit (LNA) ou des détecteurs. Compte tenu de leur sensibilité, ils sont souvent protégés par des circuits non linéaires (diodes) ou des limiteurs, installés entre l'antenne réceptrice et l'étage de réception. Un tel circuit, excité par un simple signal sinusoïdal, peut faire l'objet de comportements complexes comme le doublement de la période ou le chaos.

Pour cette étude, nous avons pris comme modèle d'expérimentation une antenne « patch » WiFi – 2,45 GHz, associée à un limiteur à diode PIN BAP64-02.

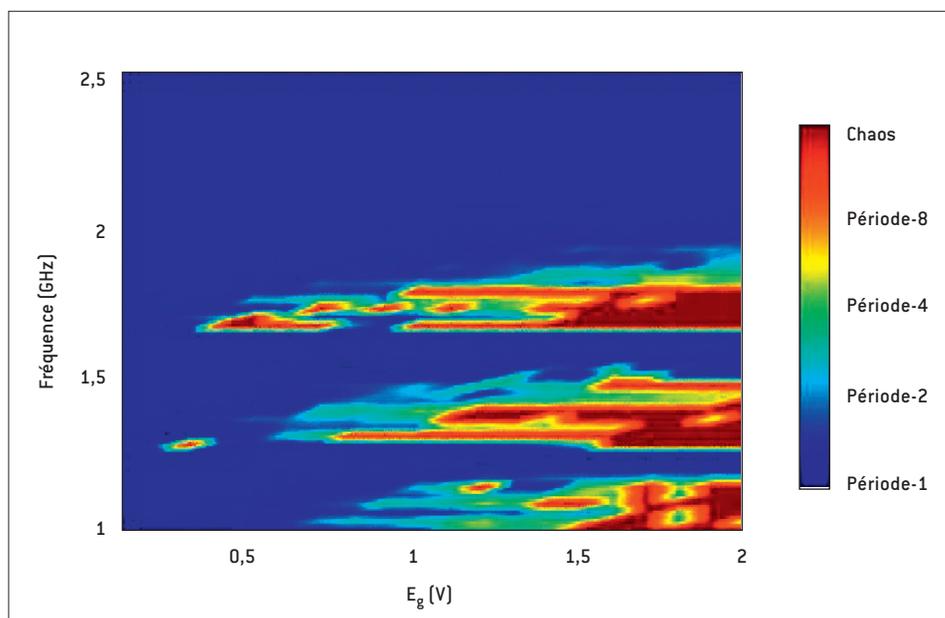


Figure 1. Diagramme de bifurcation théorique pour une antenne patch WiFi fournissant le nombre de périodes en fonction de la fréquence et de la tension du signal excitateur.

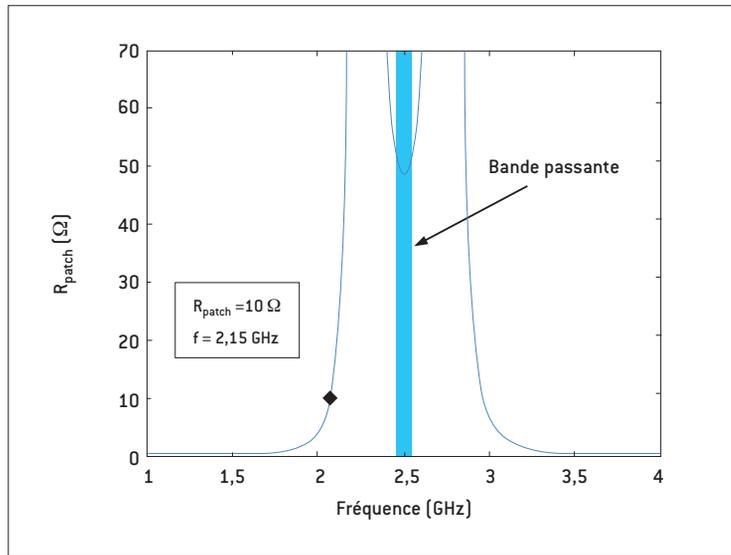


Figure 2. Partie réelle de l'impédance de l'antenne WiFi en fonction de la fréquence, montrant sa bande passante et le point hors bande (à 2,15 GHz) utilisé.

Dans un premier temps, les conditions d'apparition du chaos ont été analysées par simulation numérique. Les modèles analytiques des circuits simples de type RLD (Résistance-Ligne-Diode) ont été étendus pour prendre en compte l'impédance de sortie de l'antenne sur toute la bande d'intérêt de l'étude. Nous avons proposé une équation différentielle non linéaire à retards décrivant le comportement d'un tel dispositif. Les phénomènes chaotiques peuvent alors être analysés à partir de diagrammes dits « de bifurcations » (figure 1).

Ce diagramme montre que, par doublements de période successifs, ces bifurcations vont se rapprocher de plus en plus pour aboutir à une zone d'accumulation; le signal possède alors une infinité de périodes : c'est le comportement chaotique.

Nous avons montré que ce phénomène se produit dans les conditions suivantes :

- > L'antenne doit présenter une impédance suffisamment faible, typiquement inférieure à 5 ou 10 Ω . Cette désadaptation, combinée à la rupture d'impédance liée aux non-linéarités de la diode, provoquent des réflexions multiples aperiodiques, autrement dit le chaos;
- > La faible impédance de l'antenne est obtenue en l'agressant en dehors de sa bande de fonctionnement [1];
- > La tension délivrée par l'antenne doit dépasser un certain seuil (2 Volts dans cet exemple). Il faut donc que le gain de l'antenne, hors de sa bande de fonctionnement, soit suffisant pour générer un signal.

Dans le cas de l'antenne "patch" WiFi étudiée ici (figure 2), à la fréquence limite de 2,15 GHz, elle

présente un gain de -15 dB par rapport à son gain maximal, ce qui conduit à une tension délivrée de 2 V pour un niveau minimal d'agression du champ électromagnétique externe de 530 V/m.

Dans un deuxième temps, des expérimentations en injection et en illumination, menées au laboratoire ECS-Lab à l'ENSEA et au CEA – Gramat, avec différentes antennes, ont confirmé ces prévisions théoriques.

Conclusion

Ces nouveaux résultats montrent que, sous certaines conditions, il est possible de provoquer un comportement chaotique dans un circuit d'entrée antennaire « front-end », pour des niveaux de champs électromagnétiques relativement faibles. Par la suite, cette étude devrait être généralisée à d'autres types de circuits et de systèmes mettant en oeuvre des topologies différentes (cartes numériques ou analogiques).

D'autres aspects liés au chaos ont été explorés et vont être poursuivis. Il s'agit notamment de l'étude d'oscillateurs chaotiques d'ordres élevés et de fortes puissances destinés à illuminer des cibles pour lesquelles les fréquences vulnérantes sont étendues sur un large spectre.

RÉFÉRENCES

- [1] F. CAUDRON, A. OUSLIMANI, R. VÉZINET, A. KASBARI, "Chaotic behavior in receiver front-end limiters", *Prog. In Electromagn. Res. (PIER) Letters*, **23**, p. 19-28 [2011].