



HAL
open science

Modèles fréquentiels forts niveaux pour la prédiction d'impact d'impulsion électromagnétique sur les systèmes

Kemystetter Lucas, Mejecaze Guillaume, Caignet Fabrice, Boyer Alexandre,
Ruffat François, Puybaret Frédéric

► To cite this version:

Kemystetter Lucas, Mejecaze Guillaume, Caignet Fabrice, Boyer Alexandre, Ruffat François, et al.. Modèles fréquentiels forts niveaux pour la prédiction d'impact d'impulsion électromagnétique sur les systèmes. Workshop CEM 2024, Dec 2024, Angers, France. hal-04831591

HAL Id: hal-04831591

<https://hal.science/hal-04831591v1>

Submitted on 11 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modèles fréquentiels forts niveaux pour la prédiction d'impact d'impulsion électromagnétique sur les systèmes

Lucas KEMYSTETTER, Guillaume MEJECAZE, Fabrice CAIGNET, Alexandre BOYER, François RUFFAT, Frédéric PUYBARET

LAAS CNRS { KEMYSTETTER Lucas } lkemystett@laas.fr

CEA Gramat { MEJECAZE Guillaume }

LAAS CNRS { CAIGNET Fabrice }

LAAS CNRS { BOYER Alexandre }

LAAS CNRS { François RUFFAT }

CEA Gramat { PUYBARET Frédéric }

Modèles fréquentiels, Forts niveaux, TDR, diode

Frequency models, high level, TDR, diode

Résumé/Abstract

Dans cet article l'utilisation d'une méthode fréquentielle sera proposée afin d'extraire d'une mesure TLP les paramètres S d'une diode pour différentes tensions d'injection. Ces paramètres S permettront d'aboutir à un modèle SPICE équivalent dépendant de la puissance injectée. Il sera ensuite démontré qu'une extrapolation des éléments composant le modèle est possible afin de prévoir le comportement d'un composant sur une large plage d'injection.

In this article the use of a frequency method will be proposed in order to extract from a TLP measurement the S parameters of a diode for different injection voltages. These S parameters will allow the extraction of an equivalent SPICE model depending on the injected power. It will then be demonstrated that an extrapolation of the elements composing the model is possible in order to predict the behavior of a component over a wide injection range.

Proposition de communication

Les impulsions électromagnétiques sont étudiées depuis maintenant plusieurs dizaines d'années. Qu'elles soient de cause naturelle ou que l'on parle de guerre électromagnétique, ces phénomènes posent de réels problèmes du point de vue de nos systèmes. En effet, ces impulsions peuvent être à l'origine de dysfonctionnement voire de destruction des systèmes électroniques. Ces effets peuvent avoir de lourdes conséquences et, dans certains systèmes, il est impossible de tolérer ne serait-ce qu'un dysfonctionnement provisoire. Le but de ce travail est donc de proposer une méthode fiable et simple à mettre en œuvre afin de simuler la propagation de ces impulsions dans les systèmes électroniques. L'une des problématiques principales est la modélisation des composants (passifs et actifs) lorsqu'ils sont soumis à de très fortes impulsions. Ceux-ci peuvent avoir des comportements fortement non linéaires notamment les composants de protection comme des TVS.

La plupart des modèles actuellement utilisés (pour les composants de protections) sont des modèles comportementaux issus de mesures quasi statiques effectuées grâce à des moyens tels que le TLP (Transmission Line Pulse) [1]. Cette approche donne des résultats satisfaisants quand on s'intéresse à des destructions liées à des énergies mise en jeu trop importante. Néanmoins, dès lors que l'on souhaite s'intéresser au comportement transitoire de dispositifs, il est très souvent compliqué d'extraire des modèles SPICE équivalent directement de mesures quasi statiques. Le comportement transitoire d'un dispositif est pourtant un enjeu majeur car il peut être responsable de chemins de conduction non prévus pouvant complètement modifier le comportement des systèmes lors d'une agression. C'est

pourquoi, dans ce travail, une approche fréquentielle basée sur les travaux de [2], [3] et [4] est proposée pour pallier les limitations citées plus haut et proposer des modèles simples à mettre en œuvre, capables de tenir compte de ces phénomènes transitoires, rapides et adaptatifs en fonction de la puissance incidente. L'utilisation d'un TLP pour effectuer ces mesures est ici de rigueur, d'une part pour pallier les limitations en puissance d'un analyseur de réseaux vectoriels classique et d'autre part, car même si le VNA (Vector Network Analyzer) pouvait atteindre des puissances d'injections représentatives de nos perturbations (kV et dix A), son mode de fonctionnement en CW (Continuous Wave) endommagerait inévitablement les dispositifs mesurés. C'est pourquoi, une approche pulsée propre au TLP est préférée. Pour démontrer qu'il est possible de développer des modèles tels que cités plus haut, il sera ici question d'étudier un dispositif très simple, en l'occurrence une diode de puissance (MMSD914T1G) que l'on retrouve classiquement dans des alimentations à découpage. En nous basant sur l'impédance équivalente du dispositif, nous sommes parvenus à identifier les différentes contributions des éléments du modèles, ce qui nous permet d'aboutir au modèle présenté en Figure 1. Les valeurs des éléments du montage sont ensuite extraites, soit par optimisation, soit directement en faisant varier les éléments jusqu'à être représentatif des paramètres S. Quant au TLP utilisé, il s'agit d'un modèle de la marque HPPI et nous nous limiterons dans cette étude à une gamme d'injection comprise entre (100 et 2000 V).

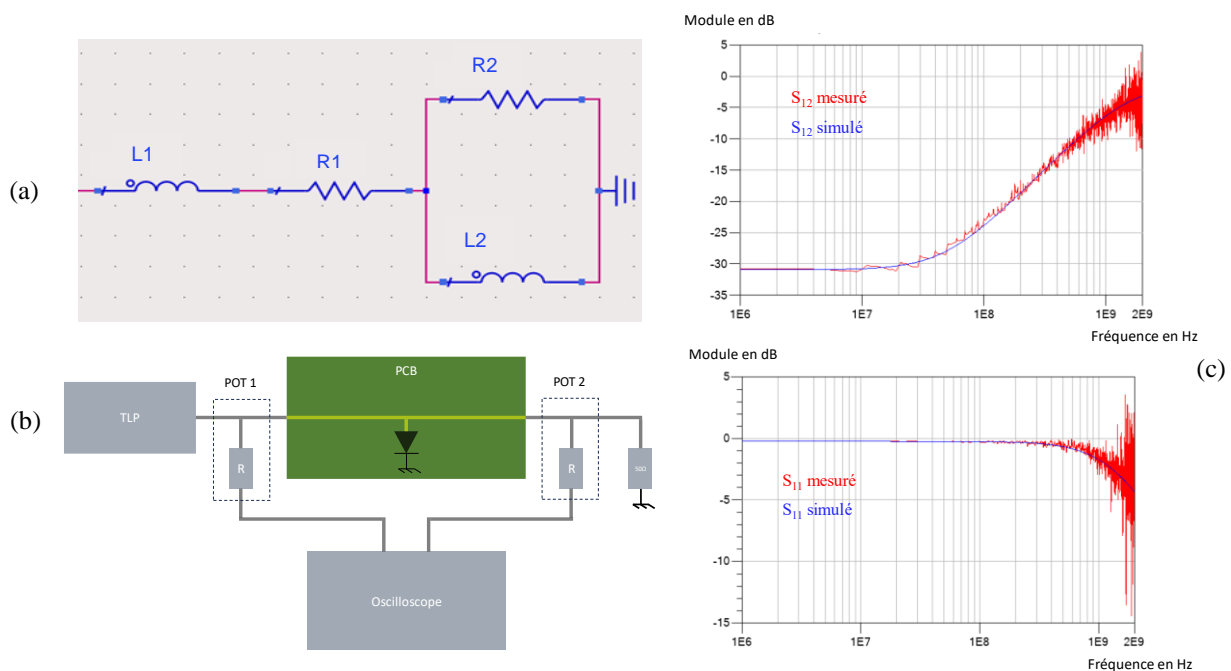
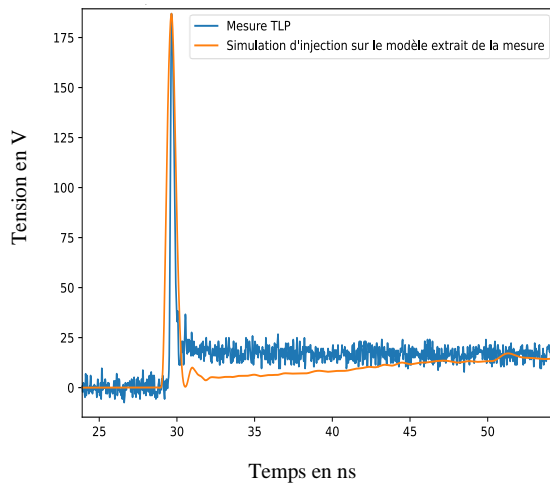


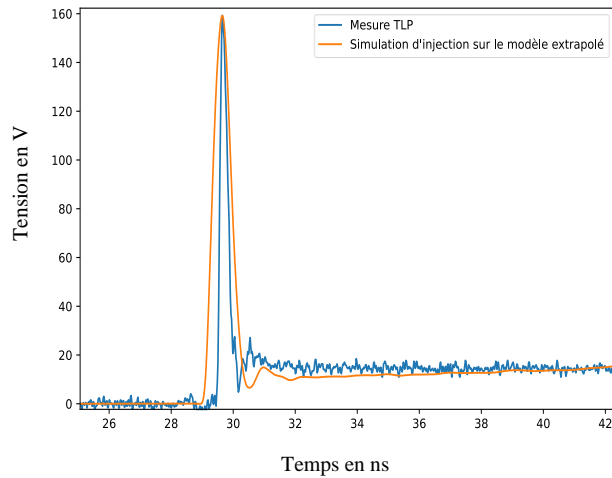
Figure 1: Modèle SPICE de la diode de puissance (a), schéma du montage de mesure (b) ainsi que la comparaison entre mesure et simulation de la réponse fréquentielle pour une injection de 2000 V TLP (c).

Comme nous pouvons le voir, ce modèle volontairement très simple permet de reproduire de manière très satisfaisante le comportement de la diode jusqu'à une fréquence de 2 GHz, et seulement pour un régime dans lequel elle est passante. En l'occurrence, notre cas d'usage ne nous impose pas de devoir étudier le régime bloqué de la diode bien que ce soit envisageable en complétant le modèle. La fréquence haute du modèle est imposée par le temps de montée de l'impulsion générée par le moyen d'injection. Dans notre cas, le temps de montée est de 100 ps et donc, le contenu spectral est bien trop faible au-delà de 2 GHz pour que les paramètres S soient exploitables passés cette fréquence. L'inductance L_1 représente l'inductance d'accès du composant, elle est donc extrinsèque. R_1 est une combinaison de la résistance d'accès et de la résistance intrinsèque au dispositif, quant à L_2 et R_2 , ce sont des éléments purement intrinsèques. L'idée est ensuite d'appliquer la même méthodologie pour plusieurs tensions d'injection. Ainsi, en extrapolant les valeurs des composants du modèle, le comportement temporel de la diode peut être reproduit, comme on peut le voir sur la Figure 2, aussi bien sur un point auquel le modèle est extrait (1000 V) que sur un point pour lequel nous extrapolons le modèle (800 V).

(a) Comparaison mesure simulation à 1000 V en aval de la diode



Comparaison mesure simulation à 800 V en aval de la diode



(b)

Figure 2: Comparaison simulation et mesure en temporel au POT 2 pour des injections de 1000 V (a) et 800 V (b)

Conclusion

L'extrapolation des éléments telle que présentée dans l'exemple ci-dessus devrait permettre d'envisager des simulations à l'échelle d'un système complet, et donc de simuler la propagation de l'impulsion dans le système en tenant compte de tous les chemins de conduction possibles. Nous prévoyons donc d'exploiter cette méthode sur une alimentation à découpage complète afin de l'éprouver dans des scénarii concrets d'agression. La méthodologie complète de mesure permettant l'obtention des modèles équivalents de protections sera présentée.

Bibliography

- [1] ANSI/ESD STM5.5.1, ESD Association Standard, "Test Method for Electrostatic Discharge (ESD) Sensitivity Testing Transmission Line Pulse (TLP) - Component Level" ANSI/ESD STM5.5.1-2016.
- [2] Fabien Escudié, Fabrice Caignet, Nicolas Nolhier, Alexandre Boyer. Frequency Based Method Investigation to Extract an ESD Protection Dynamic SPICE Model from TLP Measurements. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2022, 64 (1), pp.47 - 57. 10.1109/TEMC.2021.3106770 . hal-03408285
- [3] F. ESCUDIE, *Optimisation de modèles comportementaux de composants pour la prédiction de défaillances fonctionnelles et matérielles liées aux décharges électrostatiques (ESD)*, 2018. PhD report
- [4] F. Ruffat, F. Caignet, A. BOYER, G. MEJECAZE, F. PUYBARET, F. ESCUDIE, *A fast and efficient Model Extraction Method to predict the transient Response of ESD Protection Devices*, 2022. EMC Europe 2022