



**HAL**  
open science

## Caractérisation fréquentielle du vieillissement de matériaux diélectriques

Steven Coutin, Jean-Marc Dienot, R. Ruscassie, Ioav Ramos

► **To cite this version:**

Steven Coutin, Jean-Marc Dienot, R. Ruscassie, Ioav Ramos. Caractérisation fréquentielle du vieillissement de matériaux diélectriques. Neuvième Conférence Plénière du GDR ONDES Université de Lille -Pôle évènementiel de LILLIAD, Nov 2021, Lille, France. hal-04288894

**HAL Id: hal-04288894**

**<https://hal.science/hal-04288894>**

Submitted on 16 Nov 2023

**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.

## Caractérisation fréquentielle du vieillissement de matériaux diélectriques

S. Coutin<sup>1,3</sup>, J-M. Dienot<sup>1,2</sup>, R. Ruscassie<sup>1</sup>, I. Ramos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> : Université de Pau et des Pays de l'Adour/E2S UPPA, Laboratoire SIAME – Fédération IPRA,  
 EA4581, 64000 Pau, France

<sup>2</sup> : Université de Toulouse III, Laboratoire Labceem, 65000 Tarbes, France

<sup>3</sup> : NOVATEM SAS, 31400 Toulouse, France  
 steven.coutin@novatem-sas.com

### Résumé

La problématique étudiée ici concerne les matériaux diélectriques utilisés dans les systèmes d'isolation électrique de bobinages statoriques présents dans les machines électriques.

Pour améliorer la durée de vie de ces équipements, il est intéressant de caractériser le vieillissement des isolants, en fonction des contraintes qu'ils subissent (électrique, thermique, chimique...). Une approche possible consiste à suivre l'évolution de l'impédance du bobinage sur une large bande de fréquences [1]. Nous présentons aussi des mesures de champ électriques pouvant fournir des informations concernant un changement au sein du bobinage et des matériaux qui le constitue [2].

### 1. Introduction

Les bobinages statoriques alimentés par des convertisseurs fonctionnant avec des semi-conducteurs à grand gap font face à des contraintes plus sévères que celles rencontrées jusqu'alors. Les puissances commutées et les fréquences de commutation pouvant être atteintes justifient toutefois l'utilisation de ces semi-conducteurs. Cependant, ces nouvelles contraintes imposées peuvent provoquer un vieillissement prématuré des bobinages [3].

L'impédance de ces bobinages peut être modélisée par une représentation circuit composée de différentes cellules RLC [1]. Cette modélisation permet d'étudier l'évolution fréquentielle de l'impédance en simulation où les phénomènes de vieillissement peuvent être pris en compte.

L'objectif est donc d'obtenir par des caractérisations électriques large bande des bobinages, différentes informations à corréler avec les phénomènes de vieillissement. Ces caractérisations peuvent être réalisées par des mesures de paramètres S (scattering parameters) transformées en impédances et complétées par des mesures de champ proche par l'intermédiaire de sondes dédiées [2].

### 2. Modélisation et structures des bobinages

Une structure simplifiée de bobinage peut être utilisée selon les phénomènes à observer ou les applications visées.

Sur la figure 1, une modélisation 2D du bobinage est proposée. Elle tient compte des effets capacitifs inter-spires ( $C_{tt}$ ) et entre conducteurs et noyau ( $C_{tc}$ ). Ces capacités dépendent de l'état de l'isolant qui va être modifié par les phénomènes de vieillissement [4].

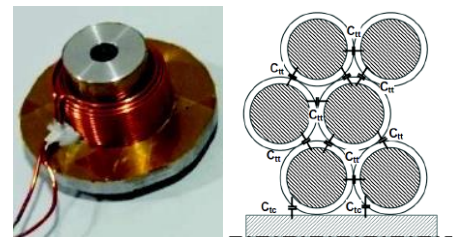


Figure 1 : Modèle 2D d'un bobinage [1]

La modélisation numérique 3D est une autre approche possible. Sur la figure 2, un modèle simplifié est proposé, constitué de 2 plaques de cuivre séparé par un échantillon de résine. Il permet d'obtenir des informations aux interfaces cuivre/résine et en volume concernant le matériau diélectrique. Cette configuration peut se retrouver dans un bobinage à conducteurs rectangulaires.

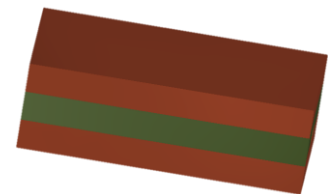


Figure 2 : Modèle 3D d'un échantillon cuivre-résine-cuivre

Les avantages d'une telle structure sont multiples. L'analyse des phénomènes observés est simplifiée, en simulation et expérimentalement. Il est aussi possible d'instrumenter ce type d'échantillon au plus proche des zones étudiées, en insérant par exemple des outils de mesure directement dans les plaques de cuivre.

La difficulté réside cependant dans la transposition des résultats à des structures plus complexes.

### 3. Mise en œuvre et résultats

Un banc permettant de piloter des machines électriques à hautes fréquences a été développé dans [2]. Le convertisseur mis en place est composé de MOSFET SiC pouvant atteindre des commutations à des fréquences de plusieurs centaines de kHz.

Ce banc comporte aussi un jeu de capteurs permettant de caractériser électriquement l'équipement testé, notamment des sondes de champ intégrées sur PCB.

Le système d'acquisition de données qui a été développé permet une caractérisation fréquentielle large-bande (1 GHz).

Des premiers résultats permettent d'observer les variations de signature fréquentielle liées à la présence de défauts sur une phase statorique d'un moteur. Sur la figure 3, nous voyons ces déviations aux alentours de 700kHz et 20MHz où la mesure de champ présente des pics dont la fréquence varie en fonction des défauts. Ces défauts ont été introduits en implantant des capacités parasites de différentes valeurs entre une phase et le neutre d'un moteur.

L'objet de notre étude est maintenant d'obtenir ce type de résultat sur nos nouveaux prototypes de bobinages, ceci après avoir imposé des cycles de vieillissement électrique ou thermique.

### 4. Conclusion

*Les différents outils de simulation et d'expérimentation mis en place précédemment vont permettre d'étudier les liens existant entre signature fréquentielle et vieillissement des matériaux diélectriques au sein d'enroulements statoriques. C'est aussi une base de travail pour le développement d'autres moyens de mesure non-intrusive adapté à de nouveaux bobinages.*

*Sur ces enroulements statoriques, des campagnes de vieillissement électrique, thermique ou encore chimique vont être menées pour pouvoir corrélér le plus finement possible l'évolution des caractéristiques fréquentielles aux phénomènes physiques correspondant à la dégradation de l'isolant.*

### 5. Bibliographie

- [1] J.I. Ramos Chavez, « Design of high frequency operating mechatronic systems: tools and methods of characterization of electromagnetic couplings between electromechanic converters and power electronics converters » Thèse, INP Toulouse, 2016
- [2] J-M. Larbaig, « Study of the electromagnetic stresses induced by SiC components in a power conversion chain for high frequency optimization » Thèse, UPPA, 2021
- [3] M. Kilper, S. Fickel, H. Naumoski and K. Hameyer, "Effects of Fast Switching Semiconductors Operating Variable Speed Low Voltage Machines," 2019 9th International Electric Drives Production Conference (EDPC), 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/EDPC48408.2019.9011884
- [4] F. Perisse, P. Werynski and D. Roger, "High frequency behavior of AC machine: application of turn insulation aging diagnostic," Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2006, pp. 555-559, doi: 10.1109/ELINSL.2006.1665379

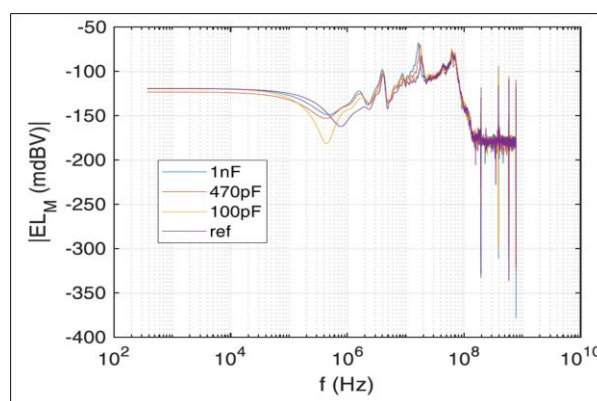


Figure 3 : Mesure de champ électrique avec simulation d'un défaut sur une phase d'un bobinage [2]