

Mohammad Saif KHAN

Thèse de **doctorat de l'Université Paris-Saclay** dans la spécialité Génie électrique (ED 575)

« Système de mesure étalon pour la mesure traçable au SI des impulsions haute tension jusqu'à 500 kV dans le domaine nanoseconde et sub-nanoseconde »

Soutenue le lundi 9 janvier 2023 au LNE, 1 rue Gaston Boissier, Paris 15^e

Résumé de la thèse :

Le travail de cette thèse de doctorat a porté sur le développement d'un système de mesure étalon pour assurer la traçabilité au SI des mesures de haute puissance pulsée dans le domaine nanoseconde et sub-nanoseconde (HPPNS). Cette traçabilité est nécessaire pour les mesures exactes et précises des formes d'onde de tension qui constituent l'élément clé des systèmes fondés sur la haute puissance pulsée. Un système d'étalonnage a été développé pour la caractérisation d'impulsions de haute tension, d'amplitude pouvant atteindre 500 kV avec des temps de montée très faibles jusqu'à quelques centaines de picosecondes.

Le système de mesure HPPNS développé est divisé en quatre composants : le diviseur de tension, la charge de terminaison, les connecteurs haute tension et les cônes de transition. Le diviseur de tension est le composant central de ce système de mesure car il permet l'analyse des formes d'onde HPPNS à travers un oscilloscope calibré en abaissant les amplitudes de tension des formes d'onde HPPNS à des niveaux adéquats qui peuvent être mesurés à travers un oscilloscope sans déformation de forme d'onde. Le diviseur de tension conçu par calculs analytiques et numériques a une valeur élevée du rapport de division qui est relativement constante en fonction de la fréquence jusqu'à au moins 2 GHz, ainsi que des réponses de phase linéaires. Cependant, ses performances en termes de mesure exacte et précise des formes d'onde HPPNS incidentes dépendent également des caractéristiques de la charge de terminaison de ligne de transmission puisque les réflexions d'une charge de terminaison de ligne insuffisamment adaptée pourraient conduire à une mauvaise interprétation de la forme d'onde mesurée à la sortie du diviseur. Une charge de terminaison de ligne de 50 Ω est développée et caractérisée. Elle possède des propriétés d'isolation élevées pour des amplitudes de tension jusqu'à 500 kV et un coefficient de réflexion maximum de -27 dB pour des fréquences jusqu'à 2 GHz.

Le système de mesure HPPNS complet a été caractérisé en deux étapes.

Premièrement, le système de mesure HPPNS a été caractérisé à de faibles niveaux de puissance d'entrée par deux méthodes différentes, à savoir la caractérisation au VNA et la caractérisation par une méthode de mesure d'atténuation haute fréquence traçable au SI. Les résultats obtenus à partir de ces deux méthodes ont été comparés aux résultats de la modélisation par le logiciel CST et tous ces résultats se sont avérés en bon accord les uns avec les autres. Ces caractérisations ont démontré que le système de mesure HPPNS développé possède un rapport de division élevé d'environ 85 dB, une bande passante de 2 GHz et une réponse de phase linéaire. De plus, un atténuateur du commerce ayant une bande passante de 7 GHz a été ajouté en sortie du diviseur et tout ce système a été caractérisé à nouveau par les deux méthodes basse puissance. Les résultats obtenus sont les suivants : près de 110 dB de rapport de division, une bande passante de 2 GHz et une réponse de phase linéaire.

Dans la deuxième étape de caractérisation, ce système a été testé à des niveaux de puissance élevés via un générateur de Marx. Différentes formes d'onde de haute tension (pics de tension jusqu'à 300 kV) et de temps de montée très courts (jusqu'à 420 ps) ont été mesurés avec succès grâce à ce système et un budget d'incertitude a été établi. Les incertitudes de mesure ont été évaluées à 3,4 % pour les pics de tension et à 87 ps pour les paramètres temporels.

Mots clés de la thèse :

Haute puissance pulsée, étalon de mesure, diviseur de tension, étalonnage, incertitude de mesure