«RÉALISATION ET CARACTÉRISATION DE DISPOSITIFS DE MESURE ASSOCIÉS À LA DÉTERMINATION DE LA CONSTANTE DE VON KLITZING À PARTIR D'UN CONDENSATEUR CALCULABLE ÉTALON DIT DE THOMPSON-LAMPARD» PAR RALPH SINDJUI

Présentée par : Ralph Sindjui Discipline : informatique Laboratoire : LISV

Résumé :
Le sujet de thèse s'inscrit dans le cadre d'un nouveau projet de détermination de la constante de von Klitzing RK débuté depuis quelques années au LNE et dont l'aboutissement est prévu pour 2018. A ce jour, la mesure la plus exacte de cette constante traçable au Système International d'unités (SI) est obtenue via le raccordement de l'ohm produit par l'effet Hall quantique au farad, matérialisé à l'aide d'un condensateur calculable dit de Thompson-Lampard. Afin d'améliorer sa précédente détermination délivrée en 2000 avec une incertitude relative de 5.10-8, le LNE a décidé de construire un nouvel étalon calculable de Thompson-Lampard (déjà en cours de développement) et d'améliorer l'exactitude de l'ensemble des dispositifs de mesure

associés avec pour objectif de réduire l'incertitude globale sur la détermination de RK à une valeur proche de 10-8.
Le travail de thèse porte sur l'amélioration de la chaîne de mesure associée à cette détermination. Elle comporte différents ponts de comparaison d'impédances coaxiaux en deux et quatre paires de bornes dont l'élément central est un autotransformateur étalon double étage. Afin de réduire les incertitudes associées à ces ponts, une nouvelle génération d'autotransformateurs étalons a été conçue et caractérisée. La correction a été réduite en comparaison avec les anciens autotransformateurs utilisés pour la dernière détermination de RK et est connue avec une incertitude de 1.10-9 de 400 Hz à 1600 Hz pour des tensions allant de 10 V à 200 V. L'implémentation de ces autotransformateurs étalons double étage dans la chaîne de mesure va réduire la contribution sur l'incertitude globale des rapports étalons de 1,5.10-8 à 5.10-9.
Des études exploratoires ont également été menées sur la possible automatisation partielle ou complète des ponts de comparaison d'impédances actuellement utilisés au LNE pour la réalisation et la dissémination du farad. L'objectif était de dégager des pistes de mise en œuvre de ponts automatiques ou semi-automatiques permettant d'atteindre un faible niveau d'incertitude, typiquement de l'ordre de quelques 10-7 ou mieux, et pouvant être utilisés par un opérateur non spécialiste des ponts de comparaison coaxiaux. Un pont de comparaison automatique a été réalisé et permet d'effectuer des mesures de comparaisons d'impédances définies en deux paires de bornes de manière rapide et conviviale et offre la possibilité de comparer des impédances de natures différentes. Il présente cependant des incertitudes plus fortes (de l'ordre du 10-6 à 1 kHz) en comparaison aux ponts à transformateurs étalons (de l'ordre du 10-8 à 1 kHz). La précision d'un pont de comparaison automatique étant tributaire de la précision des générateurs employés, l'exploration de ponts de comparaison semi-automatiques a également été réalisée. Ils permettent de combiner les avantages des ponts de comparaison automatiques avec la précision des ponts à transformateurs étalons. Ainsi, les propriétés de ces derniers (permettant d'atteindre les meilleurs niveaux d'incertitudes possibles) sont utilisées pour la définition du rapport de comparaison et les compensations des ponts sont réalisées à l'aide de dispositifs numériques. L'incertitude minimale pouvant être atteinte avec ces ponts de comparaison semi-automatiques définis en deux et quatre paires de bornes est de l'ordre de quelques 10-8 pour une gamme de fréquences allant de 100 Hz à 20 kHz. Ce type de réalisation est un objectif possible à la suite du travail réalisé.

Abstract :
The comparison of electrical quantities expressed in units of the International System of Units (SI) and the same quantities generated from quantum effects is a direct way of

determining physical constants. The determination of the von Klitzing constant (quantum of resistance) from a calculable capacitor is a part of this process. The last determination of this constant was conducted at LNE in 2000 with an uncertainty of 5.10-8. To achieve a target uncertainty of 1.10-8, the LNE decided to build a new standard capacitor and improve the associated measurement chain. The work presented here is implemented in the framework of the design/amelioration and the characterization of the measurement chain leading to the relative uncertainty of 1.10-8. The measurement chain includes different coaxial AC bridges for impedance comparison (two-terminal-pair and four-terminal-pair) whose central elements are two-stage standard autotransformers. In order to reduce the uncertainties associated to these bridges, a new generation of two-stage autotransformers has been developed and calibrated. With this new generation, the correction has been decreased compared to the previous autotransformer used for the last determination of the von Klitzing constant and is known with an uncertainty of about 1?10-9 from 400 Hz to 1600 Hz for voltages ranging from 10 V to 200 V. The implementation of this apparatus in the dedicated measurement chain will reduce the contribution of the standard ratio uncertainty on the global uncertainty from 15 parts to 5 parts in?109.
Exploratory studies were also conducted about the possible partial or full automation of coaxial AC bridges for impedance comparison currently used at LNE for the realization and dissemination of farad. The objective was to identify solutions for the implementation of digital bridges or digitally-assisted bridges to achieve a low level of uncertainty, typically of the order of few parts in 107, and suitable for use by an operator non-specialist in coaxial AC bridges. A digital bridge has been developed and calibrated and allows the comparison of impedances defined in two-terminal-pair in a rapid and user-friendly manner, and provides the ability to compare impedances of different natures. However, it has large uncertainties (in the order of 10-6 at 1 kHz) compared to standard transformers bridges (of the order of 10-8 at 1 kHz). The exploration of digitally-assisted bridges has also been performed as a possible perspective following the work performed (to achieve uncertainties of the order of a few parts in 108.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Pierre SABOUROUX, Maître de Conférences, Habilité à Diriger des Recherches, à Aix-Marseille Universités/Institut Fresnel - UMR 7249 - Marseille - Rapporteur
François VURPILLOT, Professeur des Universités, à l'Université de Rouen/Groupe de Physique des Matériaux (GPM) - UMR CNRS 6634 - Rapporteur
Luc CHASSAGNE, Professeur des Universités, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire d'Ingénierie et des Systèmes de Versailles (LISV) -

Vélizy - Directeur de thèse
Christophe CONSEJO, Ingénieur de Recherche, à l'Université de Montpellier /Laboratoire Charles Coulomb (L2C) - UMR 5221 - Montpellier - Examinateur
Pierre GOURNAY, Physicien, au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) - Sèvres - Examinateur
Dominique PLACKO, Professeur, à l'ENS Cachan/Laboratoire des Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie (SATIE) - UMR CNRS 8029 - Examinateur
Olivier THEVENOT, Ingénieur de Recherche, au Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE) - Trappes - Invité

Contact : dredval service FED : theses@uvsq.fr