

TRAÇABILITE DES RESEAUX D'IMPEDANCE DE LIGNE (RSIL)

François Ziadé^{1a}, Mohamed Ouameur¹, André Polétaeff¹, Miha Kokalj², Borut Pinter²

¹LNE, 29 avenue Roger Hennequin 78197 Trappes Cedex, France
²SIQ, Tržaška c. 2 SI- 1000 Ljubljana, Slovénie

Abstract. The Line Impedance Stabilization Network (LISN) is mostly used in electromagnetic compatibility for conducted and radiated radio-frequency emission and susceptibility tests. The input impedance is one of the most important parameters in LISN calibration. To measure the input impedance, an adapter is required to connect the Vector Network Analyzer (VNA) to the Equipment Under Test (EUT) port of the LISN. For test laboratories, it is of best interest to perform this calibration with high accuracy. Until now the impact of the adapter has not been clearly demonstrated theoretically. We present the design of an adapter and its associated modelling, a method for removing its impact from the measurement, the theoretical error on magnitude and phase input impedance.

1 Introduction

Ce travail s'intéresse à la problématique de l'étalonnage des réseaux de stabilisation d'impédance de ligne (RSIL) utilisés dans le domaine de la compatibilité électromagnétique (CEM). Les RSIL sont utilisés en CEM pour la mesure des perturbations conduites. Les RSIL sont notamment employés dans les laboratoires d'essais CEM pour quantifier les perturbations émises/reçues par des appareils électriques vis à vis d'autres équipements électriques ou vis à vis du réseau électrique. Ces mesures sont nécessaires pour statuer sur la conformité d'un appareil avant sa mise sur le marché européen. La mesure de l'impédance d'entrée (Z_{in}) entre phase-masse, et neutre-masse du RSIL est un des paramètres prépondérants à connaître avant son utilisation. La valeur de Z_{in} en fonction de la fréquence est obtenue par la mesure du facteur de réflexion en entrée Γ du RSIL à l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA). La difficulté de cette mesure réside dans la différence entre la connectique du VNA et celle du RSIL (Figure 1).

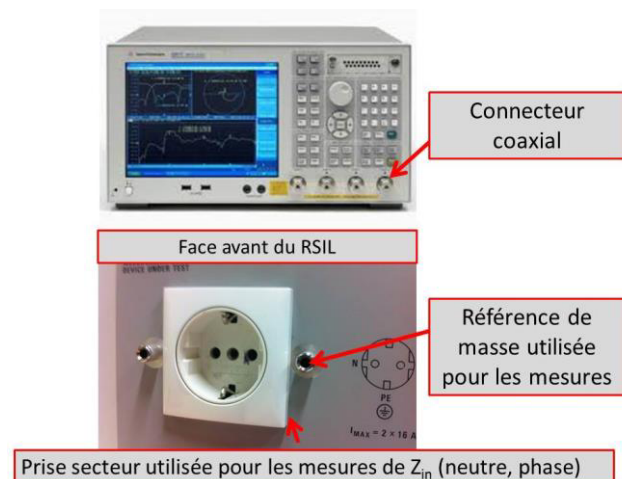


Figure 1. Différence entre la connectique du VNA et celle du RSIL.

Le VNA utilise des connecteurs coaxiaux. Les RSIL se présentent avec des connecteurs de type prise secteur. Dans les laboratoires d'essais CEM, des adaptateurs sont utilisés sans connaître leur influence sur la mesure. La figure 2 est une illustration d'un adaptateur utilisé pour connecter le VNA au RSIL afin de mesurer l'impédance d'entrée Z_{in} de ce dernier. D'autre part, les incertitudes de mesure liées à la méconnaissance des caractéristiques fréquentielles de ces adaptateurs ne permettent pas dans certains cas de statuer sur la conformité des RSIL selon la norme CISPR 16-1-2 [1]. Dans ce travail nous proposons une méthode de correction ainsi que des adaptateurs entièrement calculables. La méthode permet de soustraire entièrement de la mesure l'impact des adaptateurs et ainsi obtenir l'impédance « vraie » du RSIL.

Dans cet article nous allons présenter successivement la méthode de correction, les adaptateurs fabriqués ainsi que leur modélisation, et enfin nous présenterons des résultats de mesure. Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche européen JRP « Improved EMC test methods in industrial environments » ainsi que le cadre d'un projet de métrologie française débutés respectivement en 2013 et en 2012.



Figure 2. Exemple d'adaptateur « maison » utilisé dans les laboratoires d'essais CEM.

^a Email de correspondance de l'auteur : francois.ziade@lne.fr

2 Méthode de correction

Un VNA est utilisé pour mesurer l'impédance d'entrée d'un RSIL. Avant d'effectuer la mesure au VNA ce dernier doit être préalablement étalonné afin de déterminer ses erreurs systématiques. La mesure au VNA permet d'obtenir le facteur de réflexion Γ_{in} à l'entrée de l'adaptateur. La méthode de correction permet de calculer la valeur du facteur de réflexion à l'entrée du RSIL Γ_{RSIL} (Figure 3).

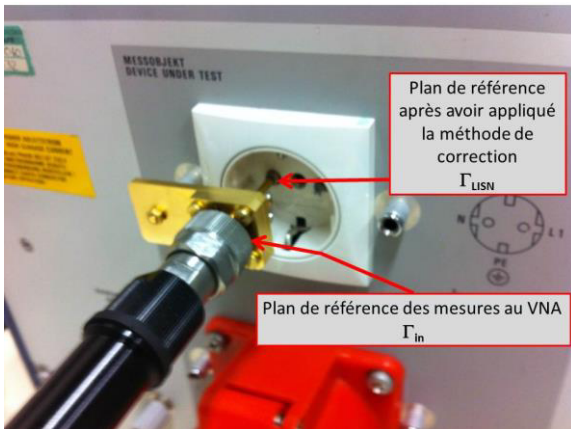


Figure 3. Avant l'application de la méthode de correction le plan de référence pour la mesure du facteur de réflexion est situé avant l'adaptateur. Après avoir appliqué la méthode de correction celui-ci est situé après l'adaptateur.

Il est donc possible de calculer la valeur de l'impédance d'entrée du RSIL Z_{RSIL} en corrigeant la mesure au VNA et éliminer ainsi l'impact de l'adaptateur. La valeur de l'impédance d'entrée du RSIL Z_{RSIL} est alors donnée par :

$$Z_{RSIL} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{RSIL}}{1 - \Gamma_{RSIL}} \quad (1)$$

Au préalable il est donc nécessaire d'obtenir Γ_{RSIL} . Pour déterminer Γ_{RSIL} il est donc impératif de connaître la matrice S de l'adaptateur (Figure 4). Les sections suivantes présentent les adaptateurs fabriqués et la démarche mise en œuvre pour calculer la matrice S de ces derniers. La matrice S connue le facteur de réflexion Γ_{RSIL} peut être calculé à partir de la mesure au VNA de Γ_{IN} et de la matrice S de l'adaptateur obtenue par calcul. La relation suivante présente la relation entre Γ_{RSIL} , Γ_{IN} et la matrice S de l'adaptateur.

$$\Gamma_{RSIL} = \frac{\Gamma_{IN} - S_{11}}{S_{22}(\Gamma_{IN} - S_{11}) + S_{12} - S_{21}} \quad (2)$$

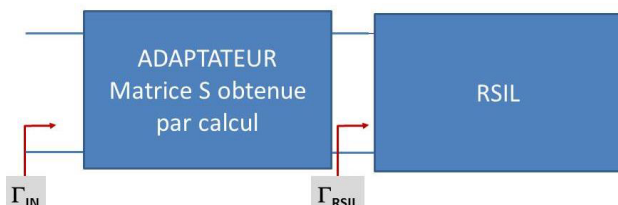


Figure 4. Γ_{RSIL} est fonction de Γ_{IN} et de la matrice S de l'adaptateur.

3 Adaptateurs développés

Deux adaptateurs ont été spécifiquement développés pour mesurer l'impédance d'entrée Z_{in} des RSIL Rohde & Schwarz ESH3-Z5, ESH2-Z5 et ENV216. Les adaptateurs développés au LNE sont composés d'un connecteur type N (broche centrale et corps), d'un diélectrique en Macor, d'une plaque en laiton définissant la masse commune entre la ligne coaxiale et la ligne bifilaire et enfin les deux broches de la ligne bifilaire. L'isolant en Macor permet de centrer précisément la broche centrale des deux lignes. Ce matériau est beaucoup plus dur que le téflon ce qui permet une bonne tolérance d'usinage, en revanche sa permittivité de 6 est 3 fois plus élevée que celle du téflon. Les dimensions et la géométrie de ces adaptateurs est le résultat d'une étude d'optimisation sur les dimensions du connecteur type N, du Macor et des broches de la ligne bifilaire. Dans la figure 5 est présenté l'adaptateur réalisé pour les mesures du RSIL ESH3-Z5 de chez Rohde et Schwarz. La géométrie de l'adaptateur destiné aux RSIL ESH2-Z5 ENV216 est identique excepté les dimensions de la ligne bifilaire. Pour pouvoir utiliser l'adaptateur il faut au préalable obtenir par calcul sa matrice S et corriger la mesure en tenant compte de ses paramètres S. La modélisation est présentée dans la section suivante.

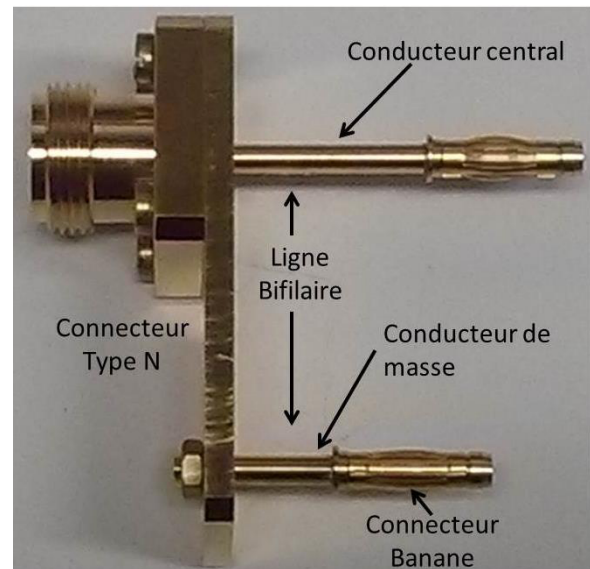


Figure 5. Adaptateur pour la mesure de Z_{in} du RSIL ESH3-Z5.

4 Modélisation des adaptateurs

Pour appliquer la méthode de correction présentée dans la partie 2 de cet article il est nécessaire au préalable de connaître la matrice S de l'adaptateur. La modélisation a donc pour objectif la détermination de la matrice S de ce dernier. Le travail de modélisation est primordial. Pour garantir la confiance dans notre calcul nous avons utilisé parallèlement trois méthodes différentes (Figure 6) :

- deux méthodes numériques (CST Microwave Studio, Comsol Multiphysics)
- une méthode analytique programmée sous Matlab

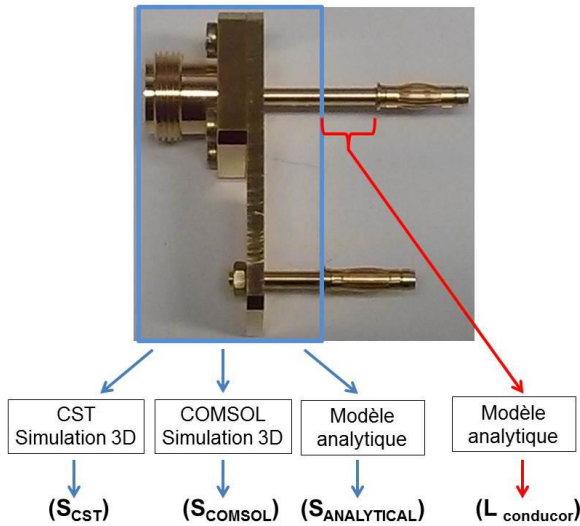


Figure 6. Méthodes utilisées pour calculer la matrice S des adaptateurs.

Le calcul des paramètres S obtenu avec CST est défini comme la méthode de référence pour la partie connecteur type N et ligne bifilaire. Le tronçon du conducteur central situé avant le connecteur banane est modélisé uniquement par calcul analytique : son modèle équivalent est une inductance. Le modèle des adaptateurs a comme données d'entrée des mesures dimensionnelles ainsi que des mesures de permittivité. Toutes ces mesures sont traçables au Système International d'unités (SI). La matrice S de ces adaptateurs est à son tour traçable au SI. Dans la figure 7 est présentée la méthodologie employée pour obtenir la traçabilité des paramètres S des adaptateurs.

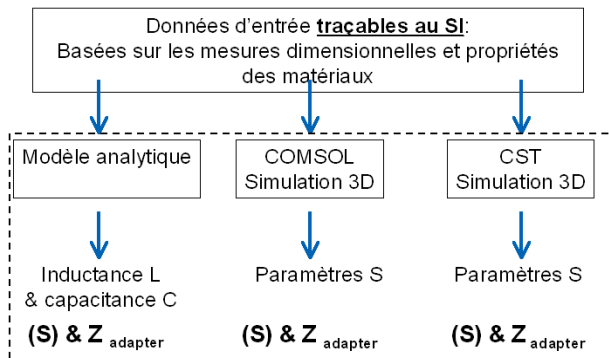


Figure 7. Traçabilité de la modélisation des adaptateurs développés.

4 Résultats de mesure

Dans cette partie nous allons présenter les résultats obtenus en appliquant la méthode de correction. Les mesures sont effectuées au VNA entre 9 kHz et 30 MHz. A partir de la mesure du facteur de réflexion en entrée du RSIL on peut calculer l'impédance d'entrée du réseau en fonction de la fréquence. Connaissant la matrice S de l'adaptateur, obtenue par calcul, la méthode de correction est appliquée pour corriger les valeurs de l'impédance d'entrée du RSIL.

La calibration du VNA E5071C Agilent est réalisée avec le kit de calibrage 85032F du même fabricant. Une fois l'étalonnage terminé, le câble coaxial et l'adaptateur sont connectés au réseau RSIL. Dans les figures 8 et 9 sont présentés les résultats obtenus sur la phase de Z_{in} respectivement pour les RSIL ESH2-Z5 et ESH3-Z5. Les limites supérieure et inférieure de la norme CISPR 16-1-2 sont également spécifiées. A 30 MHz, pour le RSIL ESH2-Z5, la méthode appliquée permet de corriger d'environ 5° la mesure. A 23 MHz, pour le RSIL ESH3-Z5, la méthode appliquée permet de corriger d'environ 2° la mesure. Ces résultats démontrent l'efficacité de la méthode de correction et des adaptateurs développés. Il est alors possible de garantir à l'utilisateur une plus grande justesse et répétabilité des résultats d'étalonnage des RSIL.

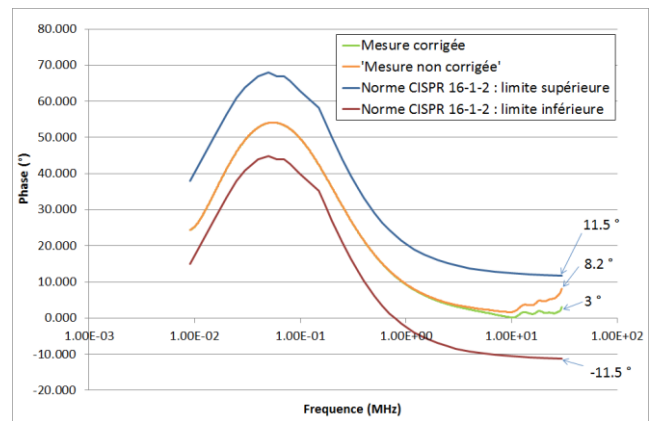


Figure 8. Résultats de mesure de la phase de Z_{in} obtenus avec le RSIL ESH2-Z5 et l'adaptateur calculable.

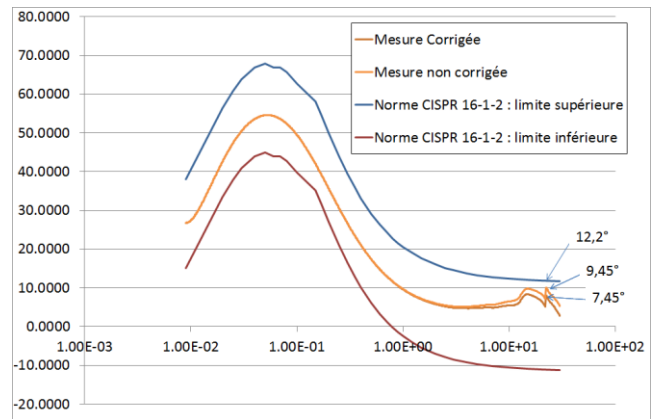


Figure 9. Résultats de mesure de la phase de Z_{in} obtenus avec le RSIL ESH3-Z5 et l'adaptateur calculable.

5 Conclusion

Cet article présente le travail effectué sur la problématique de mesure de l'impédance d'entrée des RSIL et met en évidence l'influence des adaptateurs utilisés au cours de l'étalonnage des RSIL. Une méthode de correction est proposée permettant de corriger complètement la mesure obtenue au VNA. Cette méthode est basée sur la connaissance de la matrice S de l'adaptateur utilisé. Deux adaptateurs ont été développés spécifiquement pour la mesure des RSIL Rohde & Schwarz ESH3-Z5, ESH2-Z5 et ENV216. Ces

adaptateurs ont été complètement modélisés et leur matrices S calculées de 9 kHz à 100 MHz. Les RSIL ESH2-Z5 et ESH3-Z5 ont été mesurés de 9 kHz à 30 MHz selon la norme CISPR 16-1-2. Les résultats obtenus démontrent l'efficacité de la méthode de correction et des adaptateurs développés. Il est alors possible de garantir à l'utilisateur une plus grande justesse et répétabilité des résultats d'étalonnage des RSIL.

Références

1. CISPR 16-1-2, Edition 1.2 2006-08, Reference number CISPR 16-1-2:2003+A1:2004+A2:2006.