

DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE MESURE DE L'IMPEDANCE GLOBALE D'UNE INSTALLATION POUR LA TRANSMISSION CPL

Imène Elfeki, Ismail Aouichak, Thierry Doligez, Yves Raingeaud, Jean-Charles Le Bunetel

▶ **To cite this version:**

Imène Elfeki, Ismail Aouichak, Thierry Doligez, Yves Raingeaud, Jean-Charles Le Bunetel. DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE MESURE DE L'IMPEDANCE GLOBALE D'UNE INSTALLATION POUR LA TRANSMISSION CPL. 19ème Colloque International et Exposition sur la Compatibilité ÉlectroMagnétique (CEM 2018), Jul 2018, Paris, France. hal-02020568

HAL Id: hal-02020568

https://univ-tours.hal.science/hal-02020568

Submitted on 15 Feb 2019

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.

DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE MESURE DE L'IMPEDANCE GLOBALE D'UNE INSTALLATION POUR LA TRANSMISSION CPL

Imene ELFEKI[1, 2], Ismail AOUICHAK[1], Thierry DOLIGEZ [2], Yves. RAINGEAUD[1], Jean-Charles LEBUNETEL[1]

[1] GREMAN CNRS 7347, Université de Tours
[2]Laboratoire des Applications Numériques (LAN)

Résumé. L'impédance d'accès au réseau au niveau du smart compteur Linky pour la communication CPL bas débit dépend de l'impédance globale d'une installation. L'intérêt de ce papier est de mesurer l'impédance globale d'une installation domestique en utilisant un filtre LCL pour masquer l'impédance du réseau. La variation fréquentielle et temporelle de l'impédance globale d'une maison dans la bande de fréquence entre 30kHz et 500 kHz est mesurée en plusieurs scénarii. La classification des charges domestiques selon leurs impacts sur l'impédance globale de l'installation est indispensable pour améliorer la communication CPL bas débit dans un réseau basse tension.

I. INTRODUCTION

L'utilisation du réseau de distribution basse tension pour la communication courant porteur en ligne CPL est une solution qui intéresse de nombreux distributeurs d'énergie dans le monde. Le principal avantage des communications CPL réside dans l'utilisation de l'infrastructure de câbles existante entre le poste de transformation HTA\BT et le compteur intelligent côté client.

La réglementation dans le domaine de la CEM comme la norme française NF EN 50065 et le Comité européen de l'électrotechnique CENELEC a spécifié le niveau maximum de la transmission sur les réseaux électriques basse tension. Dans la bande CENELEC-A de 35,9 kHz à 90,6 kHz le niveau maximum est défini de 134 dBµV à 120 dBµV en monophasé et triphasé. Dans la bande FCC de 150 kHz à 487 kHz, le niveau de transmission maximal est fixé à 66 dBµV [1].

La transmission CPL dans un réseau basse tension se caractérise par une faible impédance d'accès spécifiquement côté client [1,2].

Les installations domestiques d'un même réseau électrique sont physiquement liées les unes aux autres, de sorte que l'impédance d'accès mesurée dans de nombreux ouvrages [3, 4,5] dépend principalement de l'impédance d'entrée de l'installation du client et de l'impédance du réseau. Dans cet article, nous présentons la mesure d'impédance totale d'une installation domestique en fonction des charges connectées. Pour réaliser la variation temporelle et fréquentielle d'une impédance d'une installation, un filtre LCL est dimensionné pour masquer l'impédance du réseau qui est variable au cours du temps et en fonction de la fréquence.

Dans la section II, la conception du filtre est présentée. La section III développe en détails la méthode de mesure proposée pour les mesures de l'impédance globale de l'installation. Le test et la validation de la méthode seront introduits dans la section IV. La section V présente les résultats de mesures. La classification des charges selon leurs impacts sur l'impédance globale de l'installation sera étudiée dans la section VI.

II. DIMENSIONNEMENT DU FILTRE

Le filtre LCL est réalisé pour masquer l'impédance du réseau qui est variable en fonction du temps et en fréquence. L'impédance du filtre doit être élevée car l'impédance d'installation domestique à mesurer est en parallèle avec le filtre connecté au réseau. Si l'impédance du filtre est trop faible, l'impédance du filtre risque de masquer l'impédance de l'installation domestique. L'impédance du filtre doit également être invariante dans le temps.

Pour respecter cette spécification, un filtre LCL est proposé avec une première bobine L1 égale à 3,6 mH, une capacité égale à 5 µF et une seconde bobine L2 de valeur égale à 0,5 mH. Ces inductances sont dimensionnées pour conduire des courants de 20A. Pour éviter les problèmes de saturation, les inductances sont réalisées avec un noyau à air. Le schéma électrique du filtre est présenté dans la fig. 1 et 2.

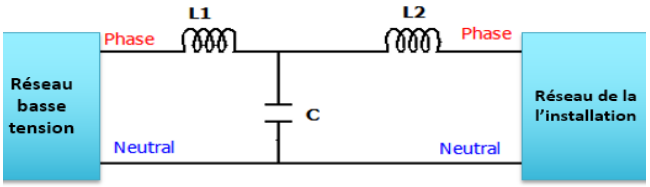


Fig. 1. Filtre LCL

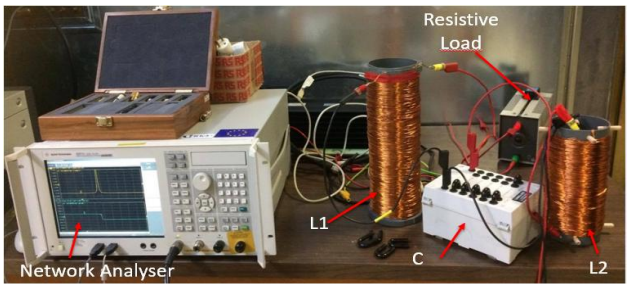


Fig. 2. Réalisation électrique du filtre LCL

III. METHODE DE MESURE DE L'IMPEDANCE D'UNE INSTALLATION SOUS TENSION

Le filtre est installé du coté client entre le disjoncteur principale et le tableau électrique comme c'est présenté dans la fig. 2.

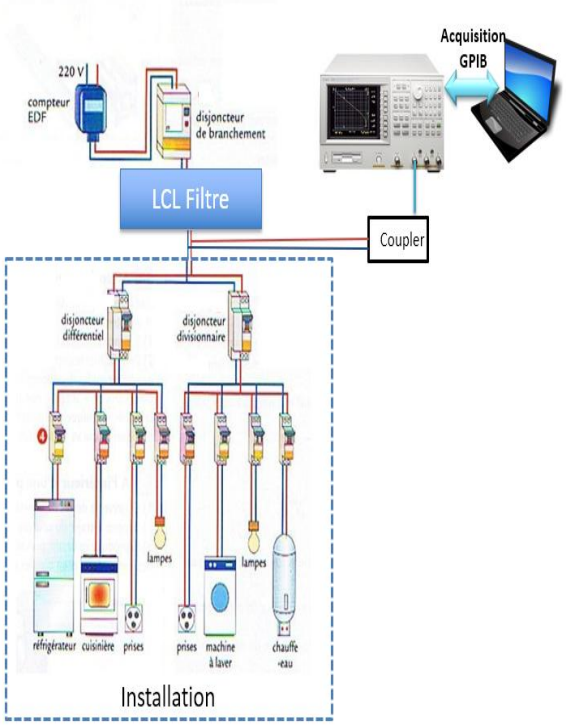


Fig. 3. Installation du filtre LCL

Le système d'acquisition consiste à la mesure du paramètre de réflexion S11 à l'aide d'un analyseur de réseau [6]. L'impédance est calculée de l'expression (1) :

$$Zmesurée = 50 * \frac{1+S11}{1-S11} \qquad (1)$$

La méthode de mesure est basée sur les deux mesures : impédance de référence et impédance totale.

III.1. Mesure de l'impédance de référence Zref

Cette impédance de référence représente l'impédance du réseau cascadée avec l'impédance du filtre lorsque l'installation du client est déconnectée du réseau.

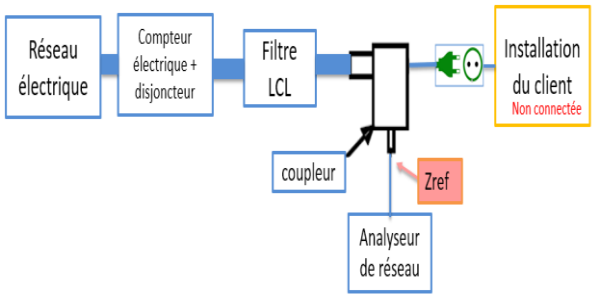


Fig.4. Configuration 1

Les résultats de mesure en temps-fréquence du Zref sont présentés dans la fig. 5. La méthode de mesure consiste à balayer en mode zéro SPAN chaque fréquence pendant 20 millisecondes. Le nombre de fréquences balayées est fixé à 201 points dans la bande de 30 kHz à 500 kHz. Cette mesure est synchronisée avec la fréquence 50 Hz du réseau.

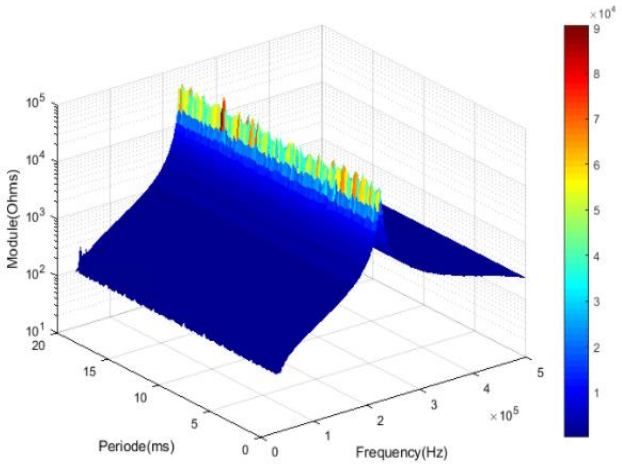


Fig. 5. Variation Temps-Fréquence du Zref

Zref varie de 100 Ω à 10 kΩ, elle est supérieure aux impédances du réseau généralement mesurée et caractérisée par un comportement invariant pendant la période de 20 millisecondes. Le filtre permet donc de masquer la variation temporelle de l'impédance du réseau [7, 8, 9, 10]. La mesure de référence sera utilisée pour extraire l'impédance de l'installation Zinstallation.

III.2. Mesure de l'impédance totale Ztotal et la déduction de Zinstallation

Ztotal est égale à l'impédance de référence Zref en parallèle avec l'impédance de l'installation client Zinstallation quand l'installation est connectée au réseau basse tension.

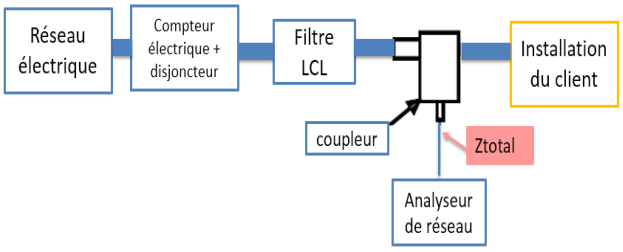


Fig.6. Configuration 2

Zinstallation est déduite de Zref et Ztotal selon les expressions (3) et (4).

$$Z_{installation} = \frac{Z_{total} * Z_{ref}}{Z_{ref} - Z_{total}} \qquad (3)$$

$$Z_{installation} = \frac{Z_{total}}{1 - \frac{Z_{total}}{Z_{ref}}} \quad (4)$$

Z_{total} est très faible en le comparant à Z_{ref}. Nous concluons donc que Z_{total} est quasiment égale à $Z_{installation}$, donc l'impédance mesurée est directement l'impédance de l'installation du client.

IV. TEST DE LA METHODE

La validation de la méthode est effectuée en mesurant l'impédance d'une charge connue. Cette étape permet de vérifier que le filtre a une impédance suffisamment élevée devant la charge. La mesure de l'impédance de la charge connue est réalisée par deux méthodes:

- A travers une mesure directe avec l'analyseur de réseau présentée dans la fig. 7.

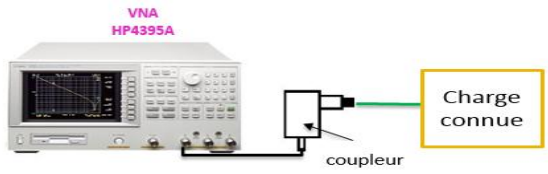


Fig. 7. Validation de la mesure d'une charge connue

- En utilisant la méthode proposée présentée à la fig. 8.

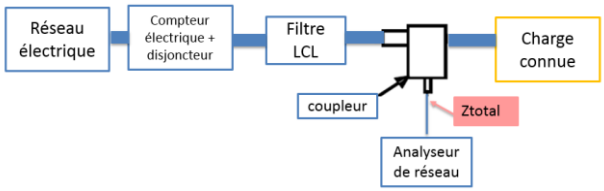


Fig.8. Installation de la charge en avec le filtre LCL

Les résultats de mesure de la charge connue par les deux méthodes sont affichés dans le fig. 9.
Les résultats de mesures sont quasiment identiques. Pour évaluer la précision de la méthode proposée, l'erreur entre les deux mesures consiste à l'écart entre la mesure directe de la charge et la mesure par la méthode proposée. L'erreur calculée dans la fig. 10 ne dépasse pas 1Ω sur toute la bande de fréquence.

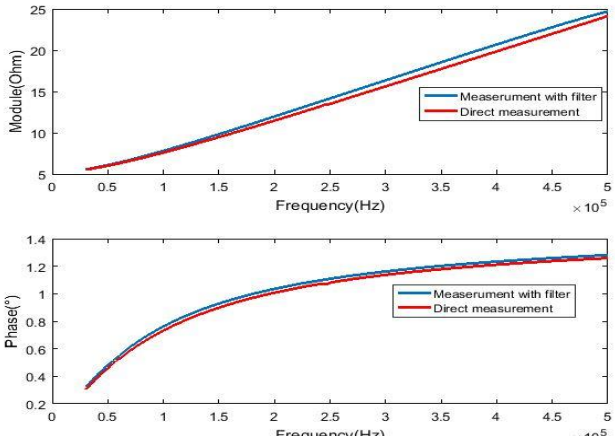


Fig. 9. Impédance de la charge mesurée

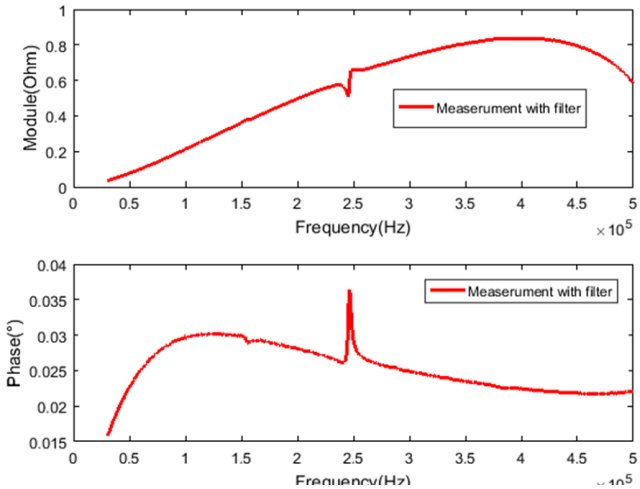


Fig. 10. Erreur calculée

V. RESULTATS DE MESURE DE L'IMPEDANCE D'UNE MAISON INDIVIDUELLE

La liste des charges connectées dans la maison se compose d'un ordinateur portable, d'un lave-linge, d'un sèche-linge, d'une imprimante, d'une lampe, d'un réfrigérateur, d'un four, d'une micro-onde, d'une cafetière, d'un robot, une box internet, 2 plug CPL, une chaudière, une VMC, un chargeur de téléphone, un canapé électrique et des volets électriques.
La $Z_{installation}$ est mesurée lorsque l'installation est connectée au réseau. La mesure est effectuée lorsque tous les charges sont en mode de fonctionnement OFF.

V.1. Variation fréquentielle de l'impédance globale de l'installation domestique

La mesure est effectuée dans la bande de fréquence de 30 kHz jusqu'au 500 kHz à 12h. Le résultat de mesure est présenté dans la fig. 11.

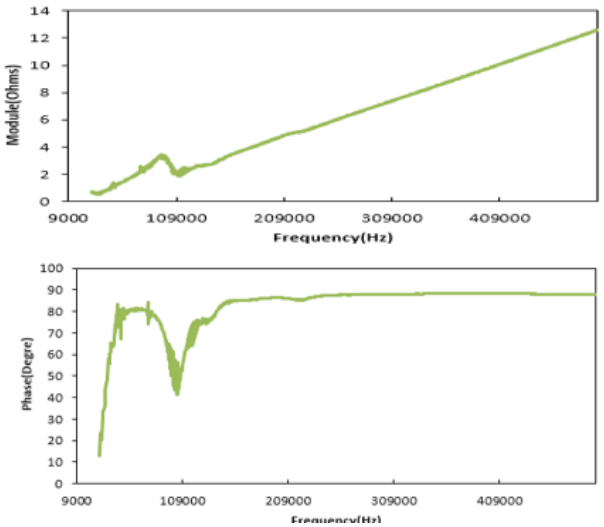


Fig. 11. Variation fréquentielle de Zinstallation

L'impédance totale d'une maison varie en fonction de la fréquence. Son comportement est inductif. L'impédance globale est faible à cause de la mise en parallèle des charges domestiques.

V.2. Mesures des variations temporelles sur la période du réseau

Les mesures de la variation de l'impédance d'une installation durant une période du secteur ont été synchronisées avec la fréquence de 50 Hz [11].

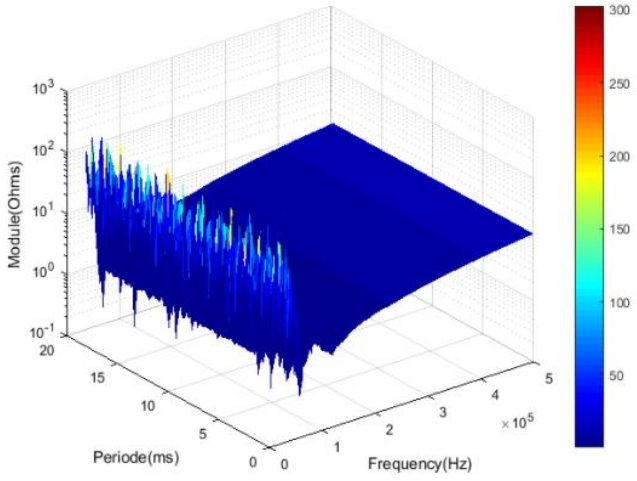


Fig. 12. Variation Temps-Fréquence du Zinstallation

Le comportement variant dans le temps de l'impédance globale de l'installation montre une forte variation dans la bande des fréquences basses. Cette variation temporelle est due au bruit présent en basse fréquence lié à la présence d'appareil incluant des convertisseurs AC/DC.

VI. CLASSIFICATION DES CHARGES DOMESTIQUES SELON LEUR IMPACT SUR L'IMPEDANCE GLOBALE DE L'INSTALLATION

Dans cette partie, la configuration de mesure est utilisée pour mesurer Zinstallation dans plusieurs scénarios pour étudier l'impact de:

- l'impédance du câble électrique et des disjoncteurs,
- les charges dues à leur connexion à l'installation et au mode de fonctionnement de la charge (ON ou OFF).

VI.1. Impact des Câbles et des disjoncteurs

Pour mesurer l'impédance due à ces éléments, nous avons mesuré Zinstallation lorsque toutes les charges sont déconnectées.

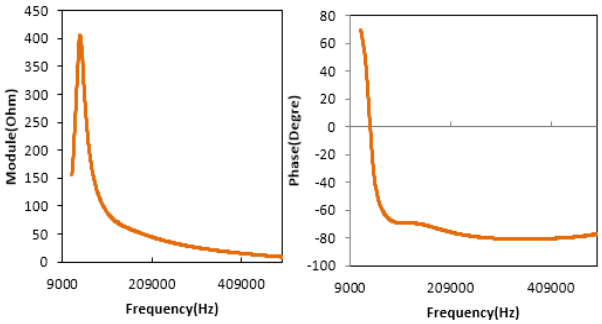


Fig. 13. Zinstallation sans charges connectées

Les résultats présentés dans la fig. 13 montrent une impédance élevée en basses fréquences. L'impédance diminue en fonction de la fréquence. La phase négative représente l'impact élevé de l'impédance des câbles.

VI.2. Impact des charges domestiques

Pour étudier l'impact de certaines charges domestiques sur l'impédance globale de l'installation, Zinstallation est mesurée dans plusieurs scénarios.

a - L'impact des charges en mode OFF

Zinstallation est mesurée lors du branchement des charges à l'installation. Le mode de fonctionnement est fixé sur OFF pour toutes les charges. De nombreuses mesures montrent deux types de charges:

- Charges non impactantes

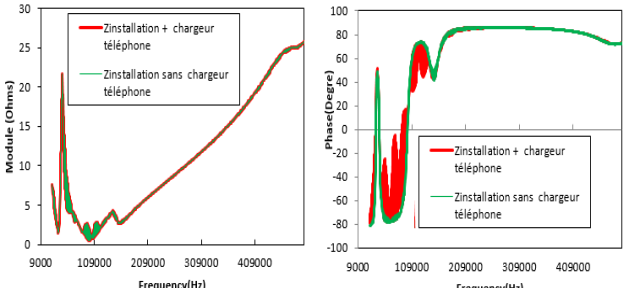


Fig. 14. Impact du chargeur de télephone

- Charges impactantes

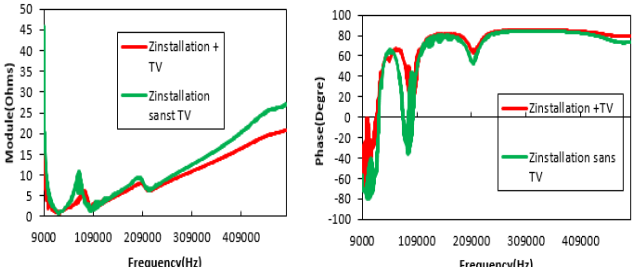


Fig. 15. Impact de la TV

L'étude de l'impact du branchement des charges domestiques est classée dans le tableau suivant:

Tableau 1: classification des charges selon son impact lors du branchement au réseau domestique

Connection of loads in *OFF operating mode*		
Charges domestiques	***Impactante***	***Non impactante***
Machine à laver	×	
Séche-linge		×
Imprimante		×
Portable	×	
lampe	×	
Four		×
Four micro onde	×	
Machine à café	×	
Robot	×	
Canapé électrique	×	
Table d'induction	×	
Chaudière		×
Lave-vaisselle	×	
VMC		×
Réfrigérateur avec porte ouverte	×	
Téléviseur	×	
Chargeur de téléphone		×

Des nombreuses charges ont un impact majeur sur l'impédance globale de l'installation. Les charges impactantes sont caractérisées par une faible impédance dans la bande de fréquence de 30 à 500 kHz. Certaines charges comme la machine à laver, le chargeur de téléphone et certains types de lampes n'entraînent aucune variation fréquentielle du module de l'impédance, mais génèrent certains types de bruit visible par les variations de la phase.

b - Impact des charges en mode ON

En général, les charges domestiques sont toujours connectées à l'installation en mode OFF et l'utilisateur les met en fonctionnement lorsqu'il en a besoin. Dans cette partie tous les appareils domestiques sont connectés au réseau en mode OFF et chaque appareil est mis en fonctionnement individuellement. L'intérêt consiste à classer les charges en fonction de leur impact sur l'impédance globale de l'installation lorsqu'elles passent de l'état OFF vers ON. Des nombreuses mesures sont effectuées dans différents scénarios montrent deux types de charges :

- Charges non impactantes

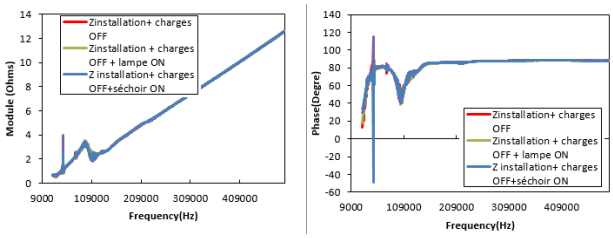


Fig. 16. Impact de la lampe et du séche-linge

- Charges impactante

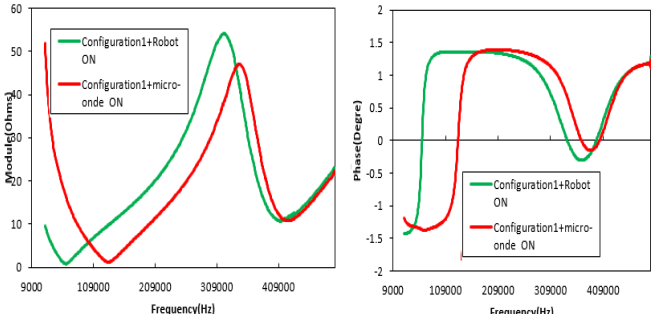


Fig. 17. Impact du robot et du micro-onde

L'étude de l'impact du changement du mode de fonctionnement des charges domestiques est classée dans le tableau suivant:

Tableau 2: classification des charges selon l'impact de leur mode de fonctionnement

Changement de OFF vers ON		
Charges domestiques	***Impactante***	***Non -impactante***
Machine à laver		×
Séche-linge		×
Imprimante		×
Portable		×
Lampe		×
Four		×
Four micro onde	×	
Machine à café	×	
Robot	×	
Canapé électrique		×
Table d'induction		×
Chaudière		×
Lave-vaisselle		×
VMC		×
Réfrigérateur porte ouverte / fermée		×
Téléviseur	×	
Chargeur de téléphone		×

La plupart des charges n'ont pas d'impact lorsque le mode de fonctionnement passe à ON à part le téléviseur, le robot, le micro-onde et la machine à café. Ce sont des appareils utilisés ponctuellement qui peuvent influencer des transmissions CPL dans la bande 9kHz-500kHz. Il est difficile de prévoir le moment optimal pour éviter de

transmettre en même temps que le fonctionnement de ces appareils.

CONCLUSION

Cet article décrit une méthode de mesure de l'installation domestique globale dans la bande de fréquences entre 30 et 500 kHz. Un filtre LCL est utilisé pour masquer l'impédance du réseau. Son impédance est élevée et son comportement est invariant à court terme. La configuration développée permet la mesure de l'impédance d'installation sans connaissance préalable des charges connectées. Les variations temporelles et fréquentielles de l'impédance d'une installation sont étudiées. La classification de l'impact de la connexion des charges et le changement du mode de fonctionnement est effectué suite à la réalisation de différents scénarios de mesure de l'impédance globale de l'installation. Les résultats de mesure présentés peuvent être utilisés pour calculer l'impédance d'accès dans n'importe quel point du réseau en mettant en parallèle les impédances d'installations domestiques présentes sur la même branche du réseau basse tension.

REFERENCES

[1] K. Razazian, M. Umari, A. Kamalizad, V. Loginoc, M. Navid, « G3-PLC Specification for Powerline Communication: Overview, System Simulation and Field Trial Results », Power Line Communications and Its Applications (ISPLC) IEEE International Symposium , June 2010.

[2] H. Bouassam, M. Rifi, V. Degardin, « Influence of load impedances on the quality of Power Line Communication », International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM), 2014.

[3] Guangbin Chu, Jianqi Li, Weilin Liu, « NarrowBand Power Line Channel Characteristics for Low Voltage Access Network in China », IEEE International Symposium Power Line Communications and Its Applications ISPLC, 2013.

[4] G. Hooijen," Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 40, no. 4, november 1998.

[5] Martin Sigle, Wenqing Liu, and Klaus Dostert, « On the Impedance of the Low-Voltage Distribution Grid at Frequencies Up to 500 kHz », IEEE International Symposium Power Line Communications and Its Applications ISPLC, 2012.

[6] M. Ait Ou Kharraz, C. Lavenu, P. Jensen, « Characterization of the Input Impedance of Household Appliances in the FCC Frequency Band », IEEE International Symposium Power Line Communications and Its Applications ISPLC, 2017.

[7] M. Arzbergerl, K. Dostert, T. Waldeck, M. Zimmermann, « Fundamental Properties of the Low Voltage Power Distribution Grid », IEEE International Symposium Power Line Communications and Its Applications ISPLC, 1997

[8] Jorg Bausch, Timo Kistner, Marko Babic, Klaus Dostert, « Characteristics of Indoor Power Line Channels in the Frequency Range 50-500 kHz », IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2006

[9] Antoniali Massimo, and Andrea M. Tonello, « Measurement and characterization of load impedances in home power line grids », IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 63, Issue: 3, March 2014.

[10] Corripio, FJ Canete, and al. « Analysis of the cyclic short-term variation of indoor power line channels », IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume: 24, Issue: 7, July 2006.

[11] Adrian Z. Amanci, Francis P. Dawson, « Synchronization System with Zero-Crossing Peak Detection Algorithm for Power System Applications », International Power Electronics Conference IPEC, 2010.