



**HAL**  
open science

# Bruit électromagnétique et susceptibilité des architectures électroniques en présence d'environnement thermique agressif

Jean-Marc Dienot, Emmanuel Batista, José Gonzalo

## ► To cite this version:

Jean-Marc Dienot, Emmanuel Batista, José Gonzalo. Bruit électromagnétique et susceptibilité des architectures électroniques en présence d'environnement thermique agressif. Congrès National de la Recherche en IUT CNRIUT 2016, Jun 2016, NANTES, France. pp.0. hal-01546906

**HAL Id: hal-01546906**

**<https://hal.science/hal-01546906>**

Submitted on 26 Jun 2017

**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.



## Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of some Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author's version published in: <https://oatao.univ-toulouse.fr/16136>

**Official URL** : <https://cnriut2016.sciencesconf.org/>

### To cite this version :

Dienot, Jean-Marc and Batista, Emmanuel and Gonzalo, José *Bruit électromagnétique et susceptibilité des architectures électroniques en présence d'environnement thermique agressif*. (2016) In: Congrès National de la Recherche en IUT CNRIUT'16, 8 June 2016 - 9 June 2016 (NANTES, France).

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator:

[tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr](mailto:tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr)

# Bruit électromagnétique et susceptibilité des architectures électroniques en présence d'environnement thermique agressif

Jean-Marc Dienot<sup>1</sup>, Emmanuel Batista<sup>2</sup>, José Gonzalo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Labceem, IUT-Université P. Sabatier, 1 rue Lautréamont, Tarbes, France

<sup>2</sup>Alstom Transports S.A, Rue du Dr Guinier, Séméac, France

## THEMATIQUE – Compatibilité Electromagnétique(CEM)

- Informatique - Robotique - Imagerie – **Electronique**
- Section CNU 63, Génie électrique, électronique, photonique et systèmes

**RESUME** - Ce papier présente une synthèse d'études, principalement expérimentales, menées au LabCEEM-IUT de Tarbes autour des interactions thermique-électromagnétiques dans des architectures électroniques sensibles. Une première partie présente les développements de méthodes et de bancs associés visant à qualifier le comportement CEM : émission, immunité, de cartes électroniques en fonction de la température locale ou ambiante. Des résultats et leurs analyses sur des démonstrateurs électroniques reproduisant des commandes de type numérique et modulables (PWM) sont présentés. Cette synthèse démontre quelques conclusions importantes quant à l'origine et les conséquences de la modification des performances CEM dues à la température.

*Mots-clés—Emission Electromagnétique; Immunité; Température; Circuits électroniques.*

## 1. INTRODUCTION

L'intégration de fonctions et modules électroniques compacts et performants, dans les systèmes embarqués notamment, entraîne de nouvelles problématiques CEM pouvant modifier l'intégrité des missions électriques prévues [1][2]. Nous travaillons sur les deux principaux aspects CEM dans les systèmes électroniques pouvant dépendre des impacts de l'environnement interne et externe, comme la température :

-l'évaluation du bruit électromagnétique, du principalement aux commutations des différentes technologies de composants numériques et de module de puissance [3].

-l'immunité et la sensibilité des circuits et modules de contrôle et commande (Smart command), fonctionnant principalement avec des formats numériques type PWM. (Pulse Width Modulation)[4].

Nous présentons tout d'abord deux types de caractérisation CEM sur les circuits électroniques : Champ Proche et en mode TEM, qui ont été complétés par l'agression et la mesure en température. Ces 2 bancs CEM innovants ont été développés et implantés sur la Plateforme LabCEEM de l'IUT de Tarbes. Des campagnes d'essais sur plusieurs démonstrateurs délivrant des signaux de type PWM ont été menées. Les principaux résultats sont présentés. Les impacts de la température, en fréquence et en niveaux, sur les réponses de d'émission, de susceptibilité et d'immunité électromagnétiques sont comparés et analysés

## 2. LES DEUX BANCS CEM EN FONCTION DE LA TEMPERATURE.

L'état de l'art actuel des caractérisations CEM en mode rayonné sur des modules électroniques, en émission et en immunité, propose des mesures en banc Champ proche ou en cellules TEM/GTEM [5][6]. La première permet souvent de faire des mesures directement sur un PCB finalisé, en surface. La seconde est une alternative aux procédures en espace libre ou en chambre blindée, mais nécessite la réalisation de prototypes PCB dédiés. Nous utilisons ces deux approches, avec soit un banc dit "Champ Proche" (IMPRO), équipés de sondes Magnétiques et Electriques dédiées, soit des cellules TEM dites de CRAWFORD, dont les dimensions de PCB test sont de l'ordre de 10cm\*10cm. Pour accéder à des mesures paramétriques en fonction de la température, nous avons inclus sur ces deux bancs des moyens différenciés d'agression thermique et de mesures/contrôle de la température sur les cibles (Fig. 1 et Fig.2).

Dans les deux cas de figure, l'expérimentation consiste à réaliser deux tests CEM dits d'Emission et d'Immunité sur la même cible. Pour l'émission, nous collectons les répartitions spectrales des puissances de champ électromagnétique issues des structures et circuits. Le test d'immunité quant à lui consiste à injecter des signaux RF ou Pulsés, à différentes puissances, et de contrôler les apparitions de défauts non-destructifs dans le fonctionnement nominal de puces et de circuits électroniques. L'ensemble de ces investigations est répétée avec différents pas de température. Les deux bancs peuvent monter jusqu'à des températures d'agression nominale

de 350-400°C. Cependant, l'apparition bien effective de défauts d'immunité et les risques de destruction thermique des composants ainsi que de certaines parties des bancs, nous font limiter nos études en pratique à un échauffement maximum autour de 100-120 °C.

Le contrôle et l'acquisition de la valeur de température réellement présente autour des circuits et du PCB est réalisée par deux dispositifs distincts suivant les deux bancs. Sur le banc de Champ proche, une sonde de température, légèrement décalée par rapport à la sonde de champ électromagnétique, est placée en parallèle sur le bras motorisé (Fig. 1). Elle vient donc mesurer la température, par contact, de la zone de test en champ proche.

Pour le banc en cellule TEM, la mesure de température, vu le dispositif contraignant, se fait directement sur le PCB de test. Des capteurs résistifs, type thermo-résistance et thermocouple souple sont placés à plusieurs points du PCB lors de sa réalisation, à la surface de la carte et/ou des puces et boîtiers de circuits. L'acquisition multipoint de ces capteurs de température est contrôlé par un système de connecteurs en nappes reliés à un contrôleur piloté par un processeur et réalisant des acquisitions numériques (Système PXI, NI).

L'ensemble des dispositifs nécessite avant les procédures de test CEM, des calibrations, afin de prendre en compte les pertes en fréquences des connectiques, affectées elles aussi également par la présence de différentes températures. La dérive peut atteindre 1,5 à 6 dB suivant les fréquences.

### 3. APPLICATIONS SUR DE MODULES DE PUISSANCE

Le rayonnement en mode commun et différentiel de différentes configurations et technologies de modules de puissance a été passé en revue. Les supports d'étude, substrats et PCB (Printed circuit Board) ont été réalisés en laboratoire (Labceem, IUT Tarbes) et comparés avec des structures industrielles. Ces démonstrateurs comportent différentes technologies de circuits de puissance: IGBT, MOS Power et leurs connectiques associées: Power PCB (PPCB), Busbar.

Les figures suivantes présentent deux démonstrateurs de référence de notre étude: les cartes de la famille PTRxx (réalisé en Laboratoire), et le prototype industriel(Alstom). Les investigations expérimentales, préliminaires aux modélisations, ont été réalisées sur les bancs CEM dédiés (cellules TEM et Banc de Scan champ proche).

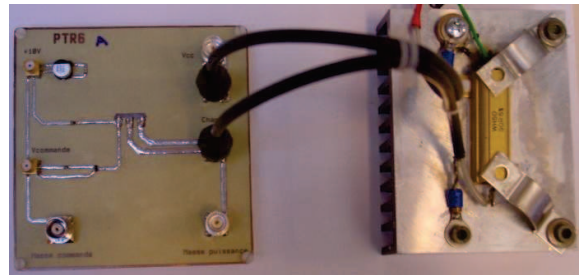


Fig. 3. Vue du prototypes PTR6a-module de puissance avec IGBT Silicium et charge associée



Fig. 4. Vues du prototype NT1 – module de puissance en technologie hybride et Bump bonding(Alstom)

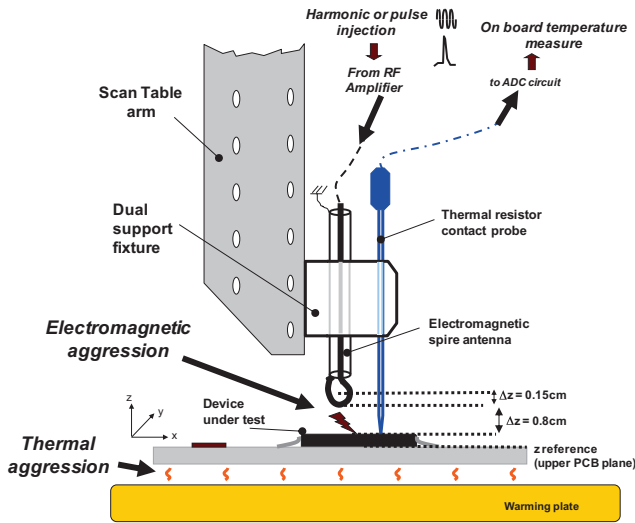


Fig. 1. Schéma du banc d'agression thermique-électromagnétique en champ proche (IMPRO)

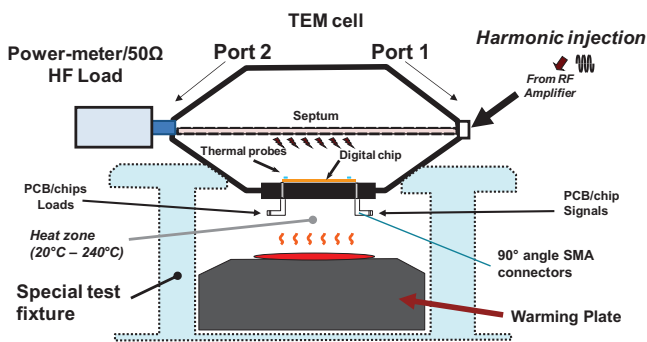


Fig. 2. Schéma du banc de caractérisation CEM en cellule TEM avec la température pour le test de PCB 10cmx10cm

Ces modules ont été tests en émission uniquement, soit en champ proche (modules industriels), soit en cellule TEM (modules PTRxx). Les conditions de commutation sont de différents niveaux: 50V, 20A pour les prototypes PPCBB sur substrat Power PCB (Aluminium-époxy-cuivre), 1kW (150V, 10A) pour les prototypes industriels(substrat Céramique). Lors de la commutation de ces modules, la température interne ou localisée sur la puce peut atteindre 100 à 300 ° sans apport d'échauffement supplémentaire.

Les figures suivantes montrent les principaux résultats comparés du comportement électromagnétique de ces dispositifs, avec les informations et conclusions suivantes:

- en mode champ proche, les niveaux de rayonnement lors des commutations peuvent être assez importants vis-à-vis de perturbations et couplages avec d'autres structures: 5 à 25 V/m, pour des points de mesure de 1 à 5 cm.

- les pics d'émission maximale sont très large bande, jusque dans la gamme des radiofréquences: 1MHz à quelques centaines de MHz. La résonance principale se situe souvent entre 5MHz et 29 MHz(signature du PCB/Substrat)

- Enfin, ces pics (résonance max. de la configuration) sont changent avec différentes technologies et différentes températures, peu en fréquence mais de manière conséquente sur le niveau d'émission.

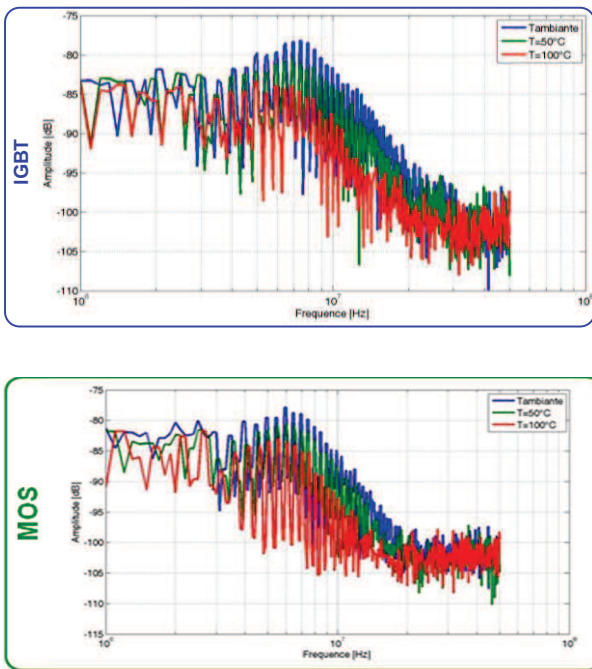


Fig. 5. Spectres de rayonnement en fonction de la température pour des prototypes PTR6a(IGBT) et PTRb(MOS Power)

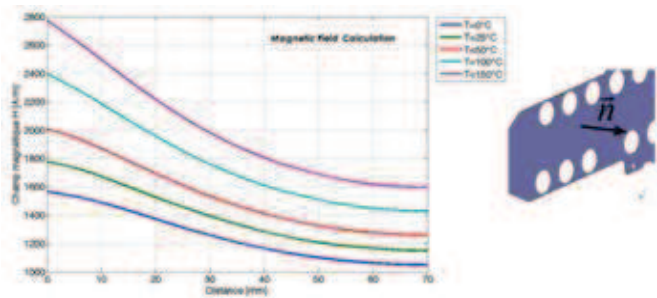


Fig. 6. Niveau de champ magnétique rayonné en fonction de la température pour une structure passive de puissance - BUSBAR

#### 4. APPLICATIONS SUR DES DEMONSTRATEURS PWM.

Les circuits actuels de control, de commande et de transmission, utilisent les différentes formes d'ondes et propriétés de la modulation de largeur d'impulsion (PWM). Utilisées notamment pour contrôler la conversion d'énergie et différentes motorisations, ces commandes sont un point sensible et critique d'une chaîne de transmission/commande électronique [6]. Différents démonstrateurs, intégrés (CPLD, FPGA) ou discrets (DIL, CMS) ont été réalisés pour nos études.

La figure suivante montre deux prototypes d'une commande élémentaire, incluant deux signaux PWM. Les deux prototypes sont similaires dans leur fonctionnement nominal, les différences viennent de leur réalisation en routage classique (Dual-In Line, DIL) et en report en surface(Component Mounted Surface, CMS).

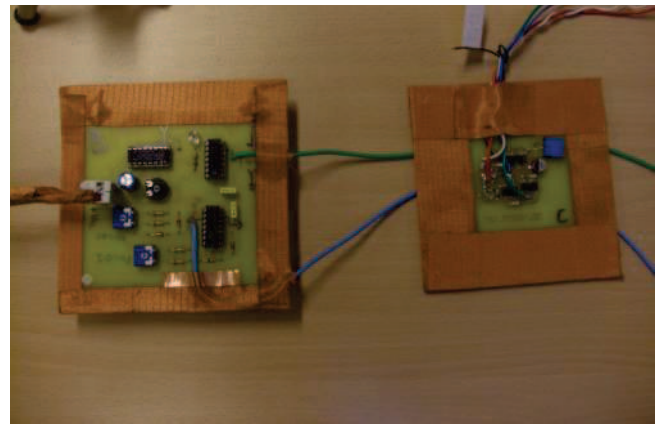


Fig. 7. Vue des prototype RobCom A (Techno. DIL) et Robcom B (Techno CMS) utilisés pour les tests de susceptibilité de circuits de commande.

Pour la partie émission des ces architectures, nous avons démontré la forte influence sur les répartitions spectrales de puissance de ces composants avec la température, variations encore plus significatives que celles des composants de puissance. Non seulement la gamme de fréquences de rayonnement est très large-bande, mais on aperçoit une différence de répartition en fréquence de l'énergie rayonnée très significative suivant la température d'agression externe qui augmente(Fig. 8)

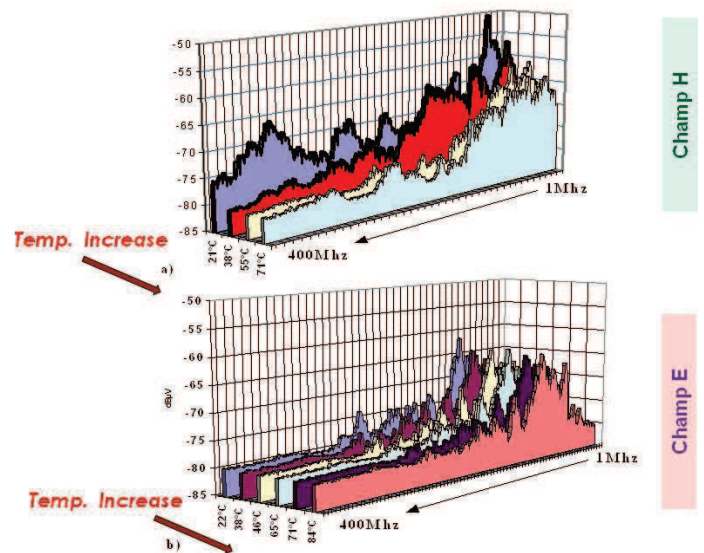


Fig. 8. Spectres de rayonnement Champ E / Champ H en fonction de la température pour des circuits de commande

Pour la partie susceptibilité et immunité des composants de commande, nous surveillons les signaux de sortie sur leurs caractéristiques nominales principales (Fig. 9): le rapport cyclique  $\alpha$ , la fréquence  $f_0$ , les marges de commutation  $V_{DD-GND}$ , et la valeur moyenne glissante  $V_{MEAN}$ . Le critère de défaut utilisé est de 1% sur ces paramètres.

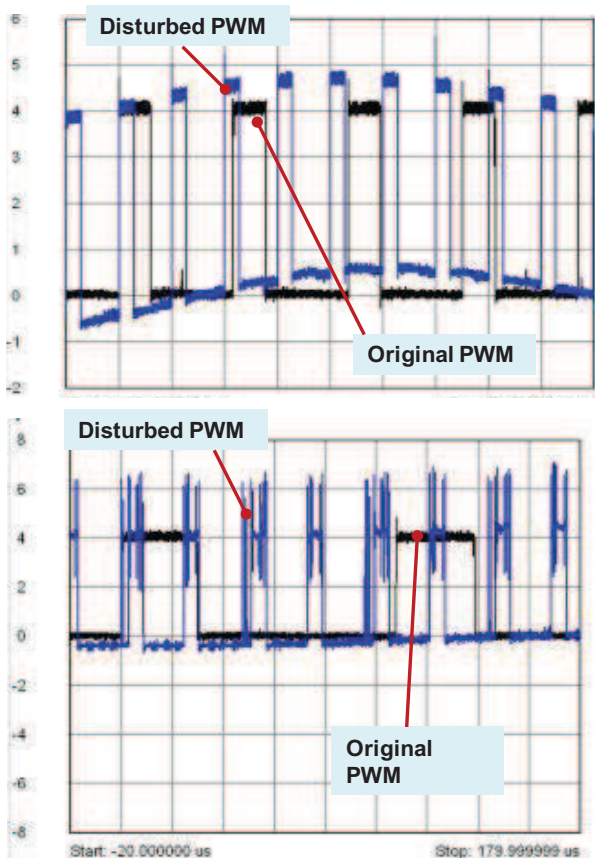


Fig. 9. Exemples de critères de défaillances sur les caractéristiques de signaux PWM soumis à une agression électromagnétique

Après une série de campagnes d'agression électromagnétique, sur différents PCB, en localisé (champ proche) ou en cellule TEM, et pour plusieurs pas de température (20° à 120 °C), nous présentons les variations de susceptibilité significatives avec l'impact de la température (Fig. 10 et Fig. 11). Ceci permet de poser la prise en compte d'une immunité à "durcir" lorsque les cartes de commande sont dans des environnements à haute température.

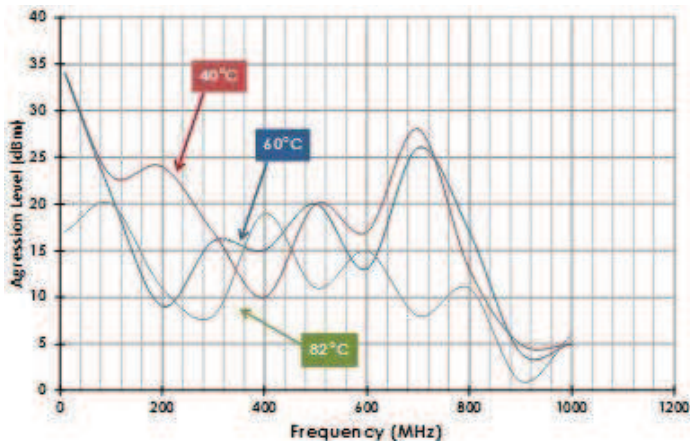


Fig. 10. Variation des cas d'immunité du critère «Duty cycle- 1% » pour différentes température du PCB

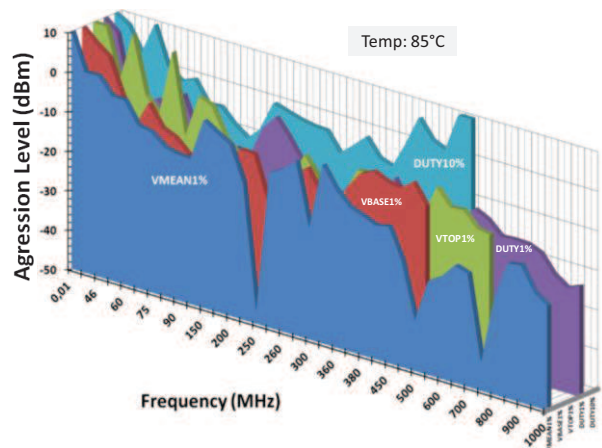


Fig. 11. Représentation des cas de susceptibilité sur 5 critères du PWM pour une température du PCB de 85°C

## 5. CONCLUSIONS

Nous avons présenté une synthèse de travaux sur la CEM des circuits électroniques visant en prendre en compte un aspect multiphysique sur leurs comportements électromagnétiques: l'impact de température. Deux bancs de test spécifiques, basés sur des procédures expérimentales conventionnelles pour l'évaluation de l'émission et de l'immunité des cartes électroniques, ont été développés et sont décrits. La prise en compte de l'agression externe en température montre des variations significatives sur les figures d'Emission et d'Immunité de composants électroniques. Les résultats et conclusions importantes de ces études doivent permettre de prendre en compte les contraintes CEM de manière plus fines et plus critiques quant aux problématiques réalistes de cas de couplages et d'interactions électromagnétique dans et autour des systèmes électroniques actuels[7][8].

## 6. REFERENCES

- [1] S. Weber, S. Guttowski, E. Hoene, W. John and H. Reichl, " EMI Couplings from Automotive Traction Systems", In Proc. of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Vol. 1, pp. 591-594, Istanbul(TUR), May 11-16, 2003.
- [2] S. Ben Dhia, E. Sicard, A. Boyer, Y. Mequignon, J.M. Dienot, " Thermal Influence on 16 bits Microcontroller Emission", In Proc. of 2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC for IC session, Honolulu (USA), July 9-13, 2007.
- [3] J.M. Dienot, "Characterization and simulation of digital device electromagnetic noise under non-ambient temperature conditions.", Electronics Letters Volume 43, Issue 20, pp 1073-1074, September, 2007, DOI 10.1049/el:20070495.
- [4] J.M. Dienot, E. Batista, J.I. Ramos, "Thermal-electromagnetic susceptibility behaviors of PWM patterns used in control electronic circuit", In Proc. of 10th International Workshop on the Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits, pp. 190-195, EMC Compo 2015, Edinburgh, Scotland, 10<sup>th</sup>-13<sup>th</sup> November, 2015.
- [5] D. Baudry, C. Arcambal, A. Louis, B. Mazari, and P. Eudeline, " Applications of the Near-Field Techniques in EMC Investigations", IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, Vol. 49, N° 3, pp. 485-493, August 2007.
- [6] P-M. Nicolae, I-D. Nicolae, D-G. Stănescu, "Using GTEM Cells for Immunity Tests on Electronic Boards with Microcontroller", Proc. of IEEE 2012 Symp. on EMC, pp. 44-49, Pittsburgh(USA), August 5-10, 2012
- [7] X. K. Gao, E. K. Chua, and E. P. Li, "Integrated EM immunity design and diagnosis system for electronic devices", in Proc. of 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 329-332, Kyoto, Japan, July 20-24, 2009.
- [8] J.M. Dienot, E. Batista, "Real-Cases of Electromagnetic Immunity and Reliability in Embedded Electronics Architectures", in Book of Abstract of EUROEM 2012, pp 87, European Electromagnetic Symposium, Toulouse, France, 2-6 July, 2012.