

Rob-cem I: une initiation complète aux problématiques de compatibilité électromagnétique dans les circuits et architectures électroniques embarquées

Jean-Marc Dienot

jm.dienot@iut-tarbes.fr

1 rue Lautréamont 65000 Tarbes

RESUME: Les phénomènes de couplages, interférences et risques électromagnétiques deviennent cruciaux dans les architectures électroniques embarquées. La recrudescence dans un volume contraint de circuits électroniques de différentes natures, pour la gestion à la fois de l'énergie, de la mobilité, du contrôle et de la transmission des informations du système embarqué induit un nouvel environnement électromagnétique interne et externe très sévère. Nous présentons un cycle complet de TP CEM autour d'une maquette de système mobile baptisée Rob-cem I. Les émissions électromagnétiques en conduit et rayonné sont caractérisées et servent à l'identification des sources de bruit électromagnétique. L'immunité aux agressions harmoniques et transitoires est également passée en revue, permettant comprendre et expliquer les couplages et leurs conséquences sur l'intégrité d'un système mobile au niveau électronique. Ce cycle de travaux pratiques est opérationnel depuis 2005 dans les filières "Electronique Embarquée" au niveau L3 et Masters de l'université. Avec cette initiation à la CEM des circuits, il nous permet, enseignants et étudiants en électronique, une autre vision et compréhension de la physique et de la conception des architectures électroniques modernes.

Mots clés: Compatibilité électromagnétique (CEM), électronique embarquée, système mobile autonome, bruit électromagnétique, agression, risque électromagnétique.

1 CONTEXTE GENERAL DE LA FORMATION EN CEM DES CIRCUITS ELECTRONIQUES.

La Compatibilité Electromagnétique (CEM) reste encore aujourd'hui un domaine peu connu dans ses pratiques et sa réalité, même si le terme a fait son chemin depuis 1996 dans les esprits et les intitulés de nos diverses activités. A cette date, une certaine recrudescence de la CEM a vu le jour en France, liée à l'affichage juridique du respect de directives européennes concernant les pratiques de normalisation CEM. Les industriels, en premier lieu, se sont inquiétés, du manque soudain de moyens réels et cohérents pour pouvoir répondre à cette directive. (Réf.[1], [2]). Les problèmes d'interférences, de parasites, de bruits électriques, de couplages intempestifs ont toujours existé, naturellement (foudre, rayonnements) ou artificiellement dès l'apparition de l'électricité et de ses démarches visant à la gérer au début du siècle dernier. Mais avec la course effrénée aux densités et aux performances de circuits utilisant l'énergie électrique dans toutes ses formes, analogique et numérique, puissance et signal, les soucis de cohabitation et de pollution électrique entre ces éléments est à l'origine du terme supplétif "Compatibilité" accolé à "Electromagnétique" dès les années 1970. Il exprime le besoin de maîtriser une conception et une cohabitation inhérente entre différents produits pour un fonctionnement nominal harmonieux. Il est apparu bien difficile, il y a une dizaine d'années, de donner une réponse instantanée, fiable et reproductible à l'industriel qui a un souci de norme, à l'ingénieur qui a un souci de conception optimisée sur un prototype, à l'étudiant qui a un souci de mesures pendant des expérimentations. Pour y répondre, des actions pédagogiques sont apparues, surtout entre 1996 et 2000, visant à synthétiser un peu les règles scientifiques du domaine, et ses méthodologies associées (Réf. [3], [4], [5], [6]) Nous présentons aujourd'hui une démarche pédagogi-

que maintenant mature visant à promouvoir la formation expérimentale et théorique en CEM et à l'insuffler dans les formations LMD (Réf. [7], [8]). Depuis 2004, le contexte "Systèmes et Electronique Embarqués" nous permet de centrer cette approche sur des circuits et architectures électroniques qui, en plus des problématiques CEM classiques, font apparaître des contraintes nouvelles par le fait de devoir cohabiter dans un volume fini. Trois principes nous guident aujourd'hui dans cette démarche pédagogique:

- Principe premier: la majeure partie des problèmes dit CEM sont d'origine déterministe, et ont des explications physiques et électroniques connues.
- Principe deuxième: les problèmes CEM n'existent que dans la réalité, lorsque le système est en situation fonctionnelle, en régime nominal.
- Principe troisième: la CEM, en dehors du respect strict des standards et des normes, est un formidable reflet de la qualité de démarche de conception et de mise en œuvre d'un système électronique.

Autour d'un prototype de système mobile (Rob-cem I) regroupant des technologies de circuits de puissance pour la traction et de circuits intégrés numériques pour le contrôle et la transmission des informations, un cycle de travaux pratiques à été mis en place avec un appareillage dédié à l'électronique haute fréquences et la CEM. L'étude du comportement électromagnétique global du système est d'abord passé en revue. Puis l'analyse des émissions électromagnétiques et de leurs modes de propagation est centrée sur la partie puissance, principale source. Ensuite, les agressions et les défaillances sont observées sur la partie commande, principales victimes. L'ensemble de ces travaux permet de comprendre tout l'enjeu de l'architecture électronique dans des systèmes mobiles autonomes.

2 PRESENTATION DE ROB-CEM I ET DE SON ENVIRONNEMENT CEM.

2.1 Architecture de Rob-cem I.

Le robot Rob-cem I est un petit système mobile, de taille 50cmx50cmx40cm, réalisé sur un support principalement en bois, lors de projets d'étudiants en 2000 (fig. 1 et 2) Nous l'utilisons aujourd'hui pour illustrer l'impact des perturbations CEM sur un système autonome. A sa conception, le robot était commandé pour se déplacer de façon normale et prédéfini, et réaliser des parcours spécifiques. Sa commande actuelle a été simplifiée pour permettre une compréhension plus aisée et une illustration plus efficace des effets électromagnétiques.

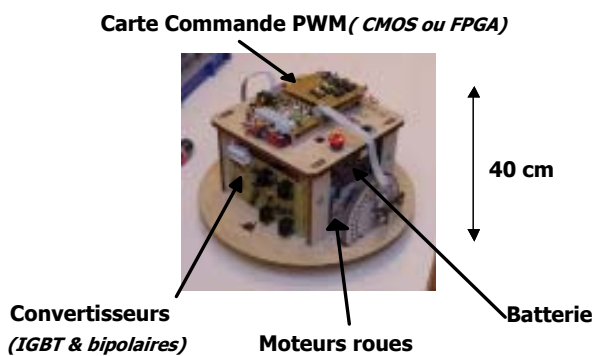


fig. 1: Vue du prototype Rob-cem I sur son support d'étude

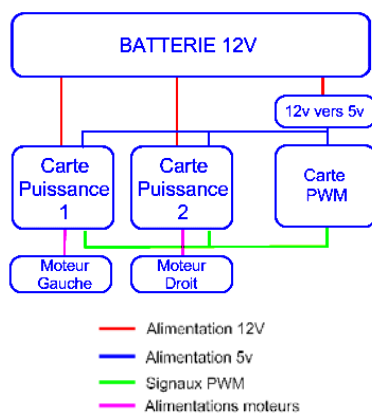


fig. 2: Synoptique de l'architecture de Rob-cem I

Il supporte différentes technologies électroniques de base utilisées pour le transport électrique programmé: motorisations à courant continu sur chaque roue, carte de puissance à transistors MOS ou IGBT avec leurs drivers, carte de commandes versatiles, en technologie discrète CMOS, boîtier DIL ou CMS, ou intégrées avec mémoires (FPGA), capteurs de position et vitesses, transmission avec ou sans fil. Il est autonome par la gestion d'une énergie sous forme de batterie intégrée, de tension nominale de 12V.

2.2 Bruit électromagnétique global de Rob-cem I.

La première étude fondamentale de ce cycle de TP consiste à observer la réalité du bruit électromagnétique de l'ensemble du système et d'en tirer quelques conclusions sur leurs causes. Le robot est mis en situation de fonctionnement avec une programmation de type mouvement circulaire: les deux commandes-moteurs, PWM0 et PWM1, sont réglées chacune sur une vitesse constante mais différentes l'une de l'autre. Le robot est placé sur un support spécifique afin de fonctionner dans le vide. Cette première évaluation, qualitative utilise un banc CEM dédié à la pré-qualification, composé d'un analyseur de spectre 9KHz-1.8GHz, avec un jeu d'antennes UHF et Bi-log couvrant cette gamme de fréquences. Cette première mesure montre toute la problématique d'une caractérisation en champ libre, puisque les perturbations dues au robot sont noyées dans celles du spectre radiofréquence environnant. Il faut donc refaire la caractérisation en espace protégé. Nous utilisons pour cela une cellule GTEM, DC-18GHz, que nous avons sur la plate-forme Labceem de l'IUT (Réf. [9]). Un spectre plus cohérent est alors obtenu, qui sert de base d'analyse pertinente (fig. 3).

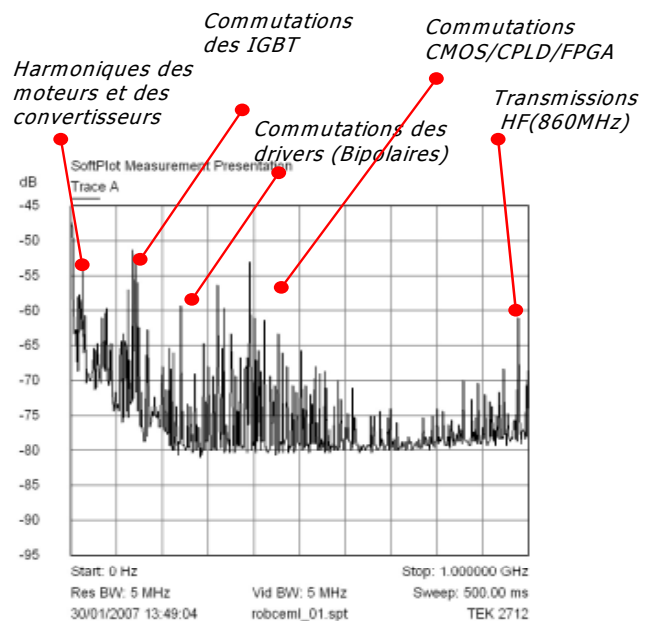


fig. 3: Spectre de bruit électromagnétique de Rob-cem I et identification fréquentielle des sources

Cette première manipulation en deux temps permet de faire prendre conscience aux étudiants de deux réflexes méthodologiques cruciaux lors d'une caractérisation CEM:

- l'attention particulière sur les conditions de mesures en CEM pour obtenir, même qualitativement, quelque chose de reproductible et d'exploitable.
- une patience dans la mesure qui doit s'effectuer de manière méthodique sur toute la gamme de fréquences

de l'appareil, même si le système semble fonctionner nominalement plutôt aux basses fréquences

L'analyse du diagramme fréquentiel de la figure 3 permet ensuite d'identifier les différentes sources de rayonnement et de les lier à l'architecture du robot. L'information pédagogique principale est que le bruit électromagnétique est du, de manière non négligeable, aux différentes gammes de fréquences et surtout de commutations des circuits utilisés: moteurs (Harmoniques 10 kHz), MOS (2 μ s), IGBT (1 μ s), Bipolaires de puissance (100ns), CMOS/calculateurs (10ns), Emetteurs sans fils(500 MHz à 2 GHz)

2.3 Evaluation des couplages et risques électromagnétiques sur Rob-cem I.

Le deuxième TP sur le système consiste à évaluer, ses réactions aux couplages électromagnétiques externes et les risques de dysfonctionnement que cela peut entraîner (fig. 4). Pour cela, afin d'avoir des expérimentations reproductibles et pertinentes, le couplage sur la partie commande a été volontairement renforcé: sur un des circuits de commande, PWM1, la connexion sur une patte inutilisée du circuit intégré, le Reset1, a été allongée électriquement, à la fois sur le PCB puis par un fil conducteur qui dépasse de 8 cm. On a recréé une antenne parasite.

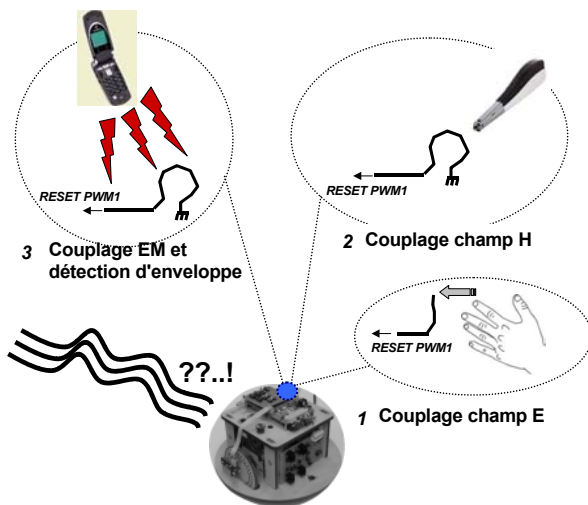


fig. 4: Les 3 types d'agression et de couplage sur le système mobile Rob-cem I

Avec le robot en fonctionnement, trois tests successifs sont proposés. Tout d'abord le couplage en champ électrique : l'expérimentateur approche sa main du fil de commande parasite, à environ 3-4cm dans l'air. La modification du champ électrique est suffisante pour activer le reset du circuit et la commande PWM1 devient inopérante. Le robot se met alors à tourner de manière désordonnée, car une des roues n'est plus programmée. En s'éloignant, le système revient à la normale (mais pas toujours!). Pour éviter cet effet de couplage, on propose de mettre le fil à un potentiel fixe sur un point de masse à proximité. L'effet en champ élec-

trique n'est plus possible. Cependant la boucle formée alors devient une antenne parasite sensible au champ magnétique H; c'est ce que l'on démontre en utilisant, au centre de la boucle, un "allume-gaz" à décharge électrique, qui crée des impulsions de champ magnétique à chaque action(Réf. [8]). Le système se met à s'emballer de nouveau dans ce cas. Enfin, le troisième test consiste à monter qu'un couplage en champ lointain, E et H, est possible avec un émetteur HF couramment utilisé: le téléphone mobile. En activant cet appareil, à environ 4-5cm de la boucle parasite, on arrive encore une fois à perturber le circuit PWM1 donc le système. L'explication est alors fournie à propos de cette expérimentation: ce n'est pas la source HF (900 MHz, 1,8GHz ou 2,4GHz) qui se couple avec le circuit mais l'enveloppe basse fréquence des trames de communications envoyées, qui sont autour de quelques kHz. L'ensemble de cette deuxième expérience reste très intéressant pédagogiquement: aucun matériel CEM spécifique pour un résultat visuel assez impressionnant.

Pour la suite de cette formation, nous passons à l'analyse plus poussée des différents acteurs de ces phénomènes électromagnétiques: les cartes et composants de puissance comme sources majeures, les cartes et circuits de commande comme victimes majeures.

3 EMISSIONS ELECTROMAGNETIQUES SUR DES CARTES DE PUISSANCE DE ROB-CEM I

Les cartes de la famille PTR6 sont des prototypes au format TEM Cell (10x10cm²) représentant des modèles réduits d'une commande de puissance réalisé à partir d'un IGBT(Réf. [10]). Leur utilisation est de simuler expérimentalement le comportement électromagnétique en commutation d'une cellule élémentaire avec ses connectiques et sa charge, et d'en faire une analyse théorique, expérimentale et analytique des émissions et du bruit électromagnétique en régime fonctionnel. Ces TP permettent aussi de relier les comportements de ces cartes à ceux du robot Rob-cem1, considérant qu'elles jouent un rôle important comme source de bruit électromagnétique.

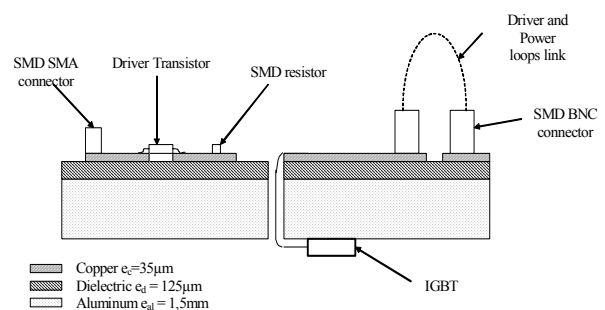


fig. 5: Vue en coupe de l'implantation des composants sur le PPCB(PowerPCB) Cu-Alu

Le design de ces cartes est spécifique: le rôle de la semelle d'aluminium est, à la base, de dissiper la chaleur due aux commutations du composant de puissance. Cependant, dans l'approche de la mesure CEM,

ce PCB de puissance présente un autre avantage: la semelle d'aluminium offre un blindage aux champs électriques extérieurs, ce qui est nécessaire lorsqu'une mesure en cellule TEM est envisagée. C'est pourquoi, le routage a été effectué de façon à avoir la partie commande en surface et de l'autre côté le transistor seul (fig. 5). Le routage prend en compte aussi la taille des boucles de masse pour des raisons de couplage champ à boucle (Réf. [11]). Deux connecteurs coaxiaux ont été prévus pour relier les deux masses: puissance et commande afin d'évaluer l'effet de couplage par impédance commune.

3.1 Analyses en mode conduit et champ proche

A l'aide d'un oscilloscope numérique large bande (200 MHz minimum), associée à des sondes de courant, de tension, de boucles magnétiques et de champ E, une analyse complète du mode conduit et du champ proche peut être menée sur cette carte.

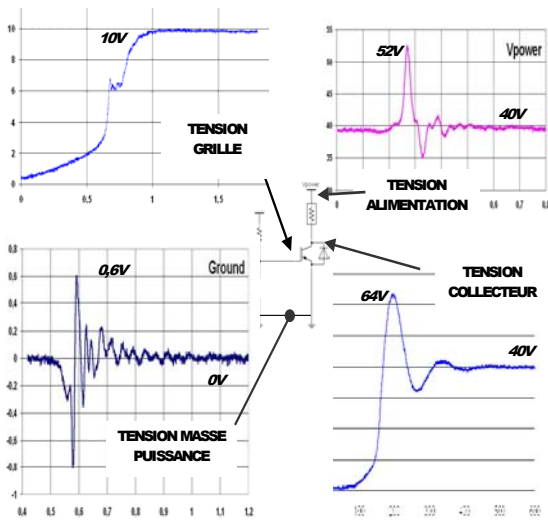


fig. 6: Bilan des différentes formes d'ondes à la commutation observables autour du circuit de la carte PTR6.

Après avoir observé des oscillations et surtensions importantes aux fronts de commutation (fig. 6) et mesuré les principales caractéristiques, un balayage avec une sonde magnétique H permet de constater la prépondérance du rayonnement en champ proche autour des connexions de masse, ainsi que sur le radiateur.

Une étude paramétrique est ensuite proposée afin d'observer l'impact des conditions de commutation sur le comportement électromagnétique de la carte. Les mesures sont effectuées en faisant varier notamment : la fréquence de commutation du driver, entre 1 kHz et 150 kHz, la tension d'alimentation du composant de puissance (Vpower), entre 5 V et 50 V et le rapport cyclique du signal de commande entre 5% et 95%. Pour finir, une de ces études les plus pertinentes consiste à comparer les différences de formes d'ondes lors de raccordement de masse driver/puissance/commande, qui montre l'impact de l'impédance commune (fig. 7).

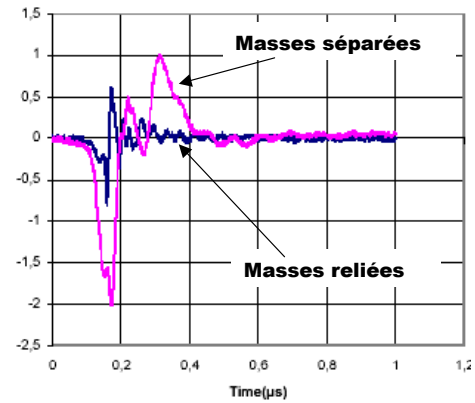


fig. 7: Tension de masse à la commutation sur la partie driver lors de raccordement avec la partie puissance

3.2 Analyses en mode rayonné en cellule TEM.

Comme précisé, le design spécifique de la carte de puissance permet de l'insérer dans une cellule TEM (cellule de Crawford), utilisée pour les investigations CEM et la normalisation au niveau circuit.

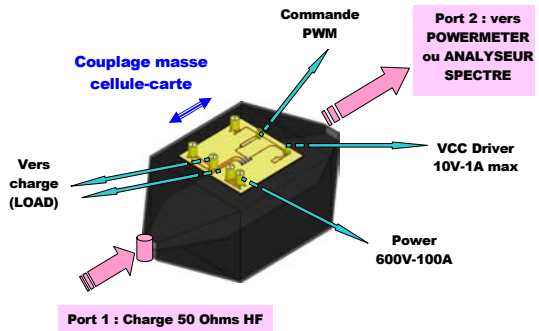


fig. 8: mise en oeuvre de PTR6 sur le banc TEM_CELL

Les mesures sont réalisées à l'analyseur de spectre. L'analyse des courbes obtenues permet de vérifier l'impact des conditions de commutation et notamment de relier la fréquence de résonance principale, ici de 7 à 8 MHz, non seulement au design du PCB et de la technologie du composant uniquement, mais aussi au spectre observé sur le système complet Rob-cem1 (cf. 2.2)

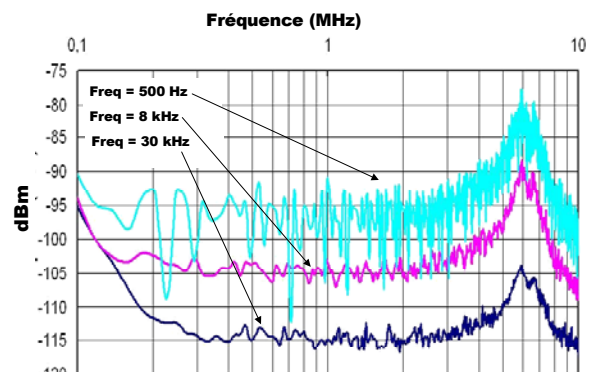


fig. 9: Variation spectrale du rayonnement de l'IGBT en cellule TEM- différentes fréquences de commandes

4 IMMUNITE ET RISQUES DE DEFAILLANCE DES CARTES DE COMMANDE DE ROB-CEM I.

Les dernières parties de ce cycle de TP concernent les agressions de la partie commande du robot. Différentes formes d'ondes d'agression sont proposées pour le test: onde de type CW (Continuous Waves), onde de type Surge (transitoires) et ondes de type ESD (Electro Static Discharge), grâce à un ensemble comprenant un amplificateur large bande, un générateur harmonique HF et un générateur de transitoires. Ces tests sont effectués sur une nouvelle famille de carte, similaires à celles utilisées pour la commande du système Rob-cem1.

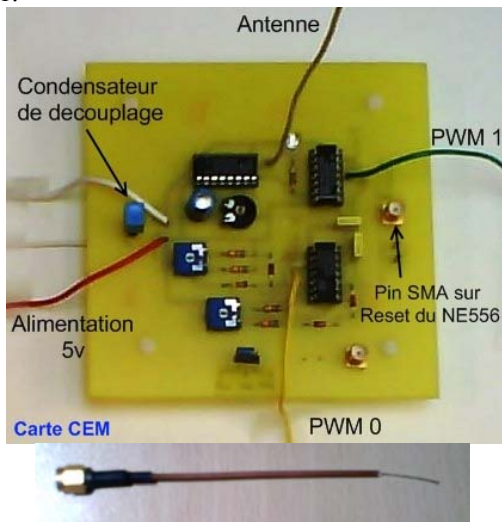


fig. 10: Vue de la carte de commande Rob-com et l'adaptateur - antenne parasite réalisée pour être inséré.

Quelques modifications ont été réalisées sur ces prototypes afin de pouvoir correctement mener une analyse des conditions d'immunité et de dysfonctionnement des circuits (Réf.[12]) : ajout de connecteur SMA sur le reset du NE556 avec un emplacement pour un condensateur de découplage, ajout d'un Pin de sélection $V_{DD}/Rst/GND$ sur le pin Reset du NE556, ajout d'un emplacement pour un condensateur de découplage entre V_{CC} et GND et réalisation d'une antenne parasite en technologie coaxiale micro-ondes (cuivre rigide) permettant d'allonger les zones sensibles de couplage.

4.1 Agressions en mode CW

La condition CW consiste à envoyer une onde sinusoïdale de fréquence variable (0hz à 200 MHz) et d'amplitude variable (-80 à +40 dBm) afin d'observer les différents effets sur la carte. Le TP consiste aussi à aggraver différents points de la carte, pour identifier les points de couplage les plus sensibles, à l'aide d'une sonde HF. On contrôle des critères d'immunité, comme par exemple la mise en défaut du signal PWM1, comme sur le robot. Le tableau suivant récapitule la procédure:

Conditions	Localisations	Critères
CW	Antenne	Déclenchement
	Antenne	Spectre du signal PWM
Fréquence : 1MHz à 1GHz	Alimentation C.I.	Déclenchement
Puissance : -40dBm à +40dBm	Pin Reset du NE556	Effet sur le signal PWM

A l'issue de cette expérience, l'expérimentateur doit retrouver des zones de déclenchement avec les pires cas se situant à 40 MHz pour 100mW injectés.

4.2 Agressions en transitoires

Les agressions en mode "Surge" consistent en l'envoi d'une onde impulsionnelle d'amplitude réglable, répétée plusieurs fois un temps d'attente réglable.

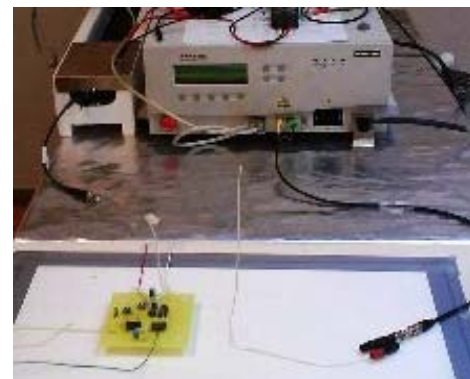


fig. 11: banc d'agression et générateur de transitoires/ESD

Le signal est injecté dans un câble faisant office d'antenne, placé à différentes distances et orientations dans l'espace vis-à-vis de la carte "victime". L'attaque se fait uniquement en mode haute tension/champ électrique. Les mesures sont alors effectuées en faisant varier le niveau du générateur pour différentes distances, et en observant toujours la défaillance éventuelle sur le signal de commande PWM1.

A l'issue de ce TP, on obtient des résultats typiques du tableau suivant:

Tension d'agression	1m	80 cm	60 cm	50 cm	40 cm	35 cm	30 cm	20 cm	15 cm	10 cm	8 cm	5 cm
1kV	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
800V	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
600V	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
400V	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
200V	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
0V	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
-200V	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
-400V	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
-600V	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
-800V	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
-1kV	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

4.3 Agression en mode ESD

Pour finir le tour des modes d'agression possibles, un pistolet ESD est utilisé, connecté au générateur Haute Tension, afin d'effectuer une étude locale des points sensibles de la carte. L'expérimentateur passe en revue,

pour des conditions de décharge fixées, les différentes connexions de la carte.

Tension : Variable
Trigger : Manu
Mode : Continu
Décharge : Air



fig. 12: Vue Pistolet ESD utilisé et modes de réglages utilisés pour l'agression.

Les supports de circuits permettent l'extraction et le remplacement des composants, car cette manipulation peut se révéler destructive pour les C.I.

A l'issue de ce dernier TP, la confirmation doit être faite que la PIN d'alimentation (VDD) et la PIN de Reset inutilisée sont les deux points extrêmement sensibles à une agression électromagnétique, entraînant temporairement ou définitivement, et en conséquence agissant sur la trajectoire du système mobile qui utilise cette fonction.

Tension d'agression	Agression sur Pin Rst	Agression sur masse
-200 V	NON	NON
-400 V	NON	NON
-600 V	NON	NON
-800 V	NON	NON
-1 KV	NON	NON
-2 KV	NON	NON
-3 KV	NON	OUI
-3,2 KV	NON	OUI
-3,4 KV	OUI	OUI
-4 KV	OUI	OUI

5 CONCLUSIONS

Dans le cadre de la formation générale à la CEM, de la physique de l'électronique, et de l'électronique embarquée, un cycle de TP complet a été présenté. Autour de maquettes spécialement conçues et mises en œuvre pour cet objectif depuis 2000, une formation principalement expérimentale à la CEM des systèmes embarqués a été organisée. Un robot roulant, baptisé Robcem I sert de démonstrateur à l'ensemble des problématiques d'interférences et de risques électromagnétiques issues des architectures modernes utilisées dans les systèmes mobiles et autonomes. Après une étude globale sur ce système, des cartes spécifiques, similaires à celles utilisées sur ce robot, sont analysées, tant du point de vue émissions électromagnétiques que du point de vue immunité et susceptibilité. Le matériel utilisé autour de ce cycle est celui de la Plate-forme Labceem de l'IUT de Tarbes qui supporte ces formations. Ce cycle de TP sur l'initiation à la CEM des circuits embarqués est inclus dans un programme plus vaste de formation à la CEM, baptisé "Cemland", qui présente aujourd'hui environ 50 TP expérimentaux, théoriques ou logiciels sur la CEM (Réf. [13]). Le cycle présenté dans cet article est décliné en 6 à 8 séquences de 2H. Il est réalisé effectivement depuis 2004

pour plusieurs publics d'étudiants: Licence Professionnelle(L3), Master1, Master2, Formation Continue. Au niveau L3 et Master, il permet une initiation et une formation complémentaire aux techniques de mesures intégrité signal (Oscilloscopes), fréquentielles(Analyseur de Spectre), expérimentations EM/HF (Cellules, Antennes, capteurs) et Génération de signaux(CW, Transitoires). Il permet aussi de compléter la compréhension physique et électronique des circuits actuels, notamment la mise en œuvre et les conditions de commutation de puissance et de signaux informatiques sur des supports de carte. Ce sont les publics de Licence Pro, ainsi que de Master type microélectronique qui semblent aujourd'hui le plus sensibles à ce type d'approche.

Bibliographie

- [1] "Faut-il avoir peur de la CEM ?", *Tekelec Electron n°79, Mars-Avril 1996.*
- [2] "La CEM ou Compatibilité Electromagnétique", *Le Haut Parleur n°1861, 1997.*
- [3] J. Andrieu, J.L Schanen, J.C. Guignard, "Rayonnement, conduction, émission, susceptibilité, problèmes d'Harmoniques et Réseaux EDF", *Ecole d'été CEM, Grenoble, 7-11 Juillet 1997.*
- [4] "C.E.M.: Effets sur les matériels, réseaux électriques et les personnes", *Journée E.E.A., Le Havre, 13-14 Mars 1997.*
- [5] J. Chilo, "L'IUT et la CEM", *Revue des Départements GEII en IUT, GESI n°48, Mai 1997.*
- [6] M. Lamarche, "quelques expériences pour se familiariser avec les problèmes de CEM", *Bulletin de l'Union des Physiciens, Vol. 91, N°794, Mai 1997, pp 999-1006.*
- [7] J.M. Dienot, "Exemples de travaux pratiques d'électronique en IUT intégrant les aspects CAO, mesures FFT et CEM.", *Actes du 4^{ème} Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'03), Toulouse (France), Novembre 2003, pp. 127-130.*
- [8] B. Sohier, C. Dumond, "Projet didactique: travaux de réalisation en compatibilité électromagnétique en IUT GR&II", *Actes du 4^{ème} Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'03), Toulouse (France), Novembre 2003, pp. 385-388.*
- [9] "Plate-forme Labceem – contraintes électromagnétiques & électronique mobile", <http://www.iut-tarbes.fr>.
- [10] L. Villacampa, "Caractérisation CEM des modules de puissances, montages et mesures sur banc", *rapport de stage, Plate-forme Labceem, Juillet 2003.*
- [11] E. Batista, "Conception d'un démonstrateur du rayonnement de composants de puissance sur Power PCB", *rapport de stage, Labceem, Juin 2006.*
- [12] J. Masson, "Emission et immunité d'une architecture de commande pour Système Mobile Autonome(SMA)", *Rapport de stage, Labceem, Juin 2008.*
- [13] J.M. Dienot, "Cemland, Tarbes (A64, sortie ouest)", *Revue des Départements de Génie Electrique et Informatique Industrielle, GESI n°69, pp 34-36, Juin 2007.*