



HAL
open science

Etude d'un émetteur compacte pour applications Ultra Large Bande

Davide Bucci, Euler Macedo, Tan-Phu Vuong, Glauco Fontgalland, Smail Tedjini

► **To cite this version:**

Davide Bucci, Euler Macedo, Tan-Phu Vuong, Glauco Fontgalland, Smail Tedjini. Etude d'un émetteur compacte pour applications Ultra Large Bande. 19ème colloque international Optique Hertzienne et Dielectriques, Sep 2007, Valence, France. hal-02186260

HAL Id: hal-02186260

<https://hal.science/hal-02186260>

Submitted on 17 Jul 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.

Etude d'un émetteur compacte pour applications Ultra Large Bande

Davide Bucci*, Euler Macedo** **, Tân-Phu Vuong*, Glauco Fontgalland** et
Smail Tedjini*

* *Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes
ESISAR/INPGrenoble Valence*

davide.bucci@esisar.inpg.fr

tan-phu.vuong@esisar.inpg.fr

smail.tedjini@esisar.inpg.fr

** *Laboratório de Eletromagnetismo e Microondas Aplicados
UFCEG/CEEI/UAEE Campina Grande, PB, Brasil*

fontgalland@dee.ufcg.edu.br

Résumé: Dans ces dernières années, il y a eu un développement très marqué des systèmes de télécommunications sans fils. Des réseaux locaux aux téléphones portables, le marché demande de plus en plus des systèmes rapides, fiables et très peu gourmands en énergie. Les technologies Ultra Large Bande (ULB ou UWB pour Ultra Wide Band) constituent un candidat très prometteur pour répondre à ce type d'exigences. Une possibilité consiste à émettre des impulsions de durée inférieure à la nanoseconde. À cause du caractère impulsionnel, le spectre occupé par ce type de modulation est très large.

Dans ce papier, nous proposons l'étude d'un émetteur ULB constitué par un générateur d'impulsions couplé avec une antenne ULB. La spécificité de notre approche consiste à ne pas aborder la conception de ces deux éléments séparément, mais plutôt les considérer comme faisant partie d'un système unique, dans une stratégie de co-design. Des résultats de simulation et de mesure seront présentés, attestant la possibilité d'obtenir un module d'émission ULB qui respecte les masques proposés par les organismes de régulation.

Mots clés: Ultra Large Bande, Générateur d'impulsions, émetteurs impulsionnels UWB, Antennes, Co-design.

1 Introduction

Les technologies Ultra Large Bande (ULB) sont actuellement en train d'être très explorées, grâce à leurs atouts dans des applications de télécommunication sans fils sur courte distance. Au lieu d'utiliser des signaux sinusoïdaux modulés, comme dans les systèmes basés sur une porteuse, une possibilité consiste à émettre des impulsions de durée inférieure à la nanoseconde, afin d'occuper un spectre de plusieurs gigahertz (Lu & al, 2003). Les systèmes adoptant ces solutions fournissent donc des signaux caractérisés par une densité spectrale de puissance très petite, sur une bande spectrale très large. Ces signaux sont donc confondus avec le bruit de fond par les systèmes de communication traditionnels et n'interagissent pas avec eux.

La Commission Fédérale de Communications Nord Américaine (FCC) a défini en 2002 les caractéristiques des signaux à utiliser dans les systèmes ULB (Docket 98-153, 2002). Pour être qualifiés comme étant ultra large bande, le signal émis doit posséder une largeur de bande relative supérieure au 25% de la fréquence centrale ou supérieure ou égale à 500 MHz. Pour les dispositifs de communications portables, la norme alloue une plage spectrale qui est comprise entre 3,1 GHz et 10,1 GHz.

Le but de ce papier est de présenter l'étude d'un module émetteur compacte capable de rayonner des signaux dans cette bande de fréquence. D'abord, nous présenterons la technique utilisée pour réaliser les impulsions. Ensuite, nous fournirons les résultats de simulation et de mesure concernant le générateur. Nous terminerons sur l'étude expérimentale d'un module émetteur complet intégrant générateur d'impulsions et antenne.

2 Etude de l'émetteur Ultra Large Bande

2.1 Techniques de réalisation des impulsions

La littérature propose plusieurs techniques capables de délivrer des impulsions sub-nanoseconde. Parmi les techniques existantes nous pouvons citer l'utilisation de transistors à avalanche (Rai & Shukla, 1994), la génération optoélectronique (Nunnally, W.C, 1993), l'utilisation de composants logiques à très hautes performances (Smaïni & al, 2006), les diodes « step recovery » (Burgess & al., 2006 ; AN 918 - HP). Cependant, l'intérêt principal des applications ULB étant l'utilisation dans des dispositifs mobiles, des contraintes de taille et de consommation sont à considérer dans le choix de la technologie à utiliser. Le but étant de réaliser des prototypes avec des circuits hybrides, nous avons choisi d'utiliser des diodes de type « step recovery » (SR). Cette technique bien connue permet d'obtenir des échelons ou des impulsions avec des temps de montée inférieurs à la centaine de picosecondes et avec une amplitude de quelques volts. Ces caractéristiques sont tout à fait compatibles avec les signaux utilisés dans les systèmes de communication ULB. Le schéma de principe d'un générateur d'échelon utilisant une diode « step recovery » est visible en Figure 1.

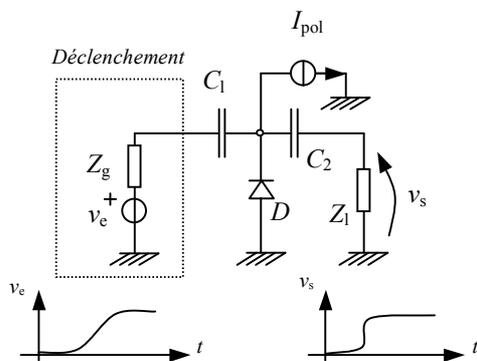


Figure 1: Schéma de principe d'un générateur d'impulsions avec diode « step recovery »

La diode D est polarisée en polarisation directe I_{pol} , grâce à la présence du générateur de courant de polarisation et stocke une certaine charge Q_f . Si à l'entrée du circuit on applique un échelon de quelques volts v_e , avec un temps de montée de l'ordre de quelques nanosecondes, la diode se retrouve polarisée en inverse. Avant de se placer dans un état haute impédance, la diode reste en conduction, jusqu'à qu'elle épuise complètement la charge stockée. La transition réalisée entre les états basse et haute impédance peut avoir lieu dans les diodes « step

recovery » dans un temps extrêmement court, dit temps de récupération (recovery time), de l'ordre de quelques dizaines de picosecondes. Cette propriété permet donc de générer des impulsions extrêmement rapides, en permettant de réduire grandement le temps de montée de l'échelon lent utilisé pour porter en polarisation inverse la diode.

La charge Q_f stockée dans la jonction PN dépend à la fois des caractéristiques de la diode et du courant de polarisation. Si l'on appelle τ la durée de vie des porteurs minoritaires dans la jonction, on peut approximer la charge Q_f avec l'expression suivante (AN 918 - HP) :

$$Q_f \approx I_{pol} \tau \quad (1)$$

Cette expression est valable si la durée du temps pendant laquelle le courant I_{pol} est appliquée à la diode est longue devant la durée de vie des porteurs minoritaires τ . La maîtrise du courant de polarisation de la diode est donc un élément important, car la caractéristique de récupération de la diode dépendent de la charge Q_f .

2.2 Etude du générateur d'impulsions

Notre travail a consisté initialement à choisir une diode SR disponible commercialement et ensuite de mettre au point un circuit capable d'exploiter ses caractéristiques. Dans le but de réaliser des prototypes en technologie hybride, le modèle de diode choisie a été la MMD840, fabriquée par Aeroflex-Metelics. Cette diode est caractérisée par une durée de vie des porteurs de 15 ns et un temps de récupération maximum de 70 ps. Cette dernière caractéristique est particulièrement intéressante, car elle donne l'ordre de grandeur du temps de montée des impulsions que l'on peut obtenir par cette technique. Un échelon avec un temps de montée de 70 ps permettrait de remplir la partie basse du spectre allouée par les normes FCC pour les télécommunications ULB, entre 3,1 GHz et 5 GHz. Les composantes en basse fréquence qui occupent le spectre entre la continue et 3,1 GHz devront être filtrées par un filtre passe haut placé entre le générateur et l'antenne. Un autre avantage de ce choix a été que le fabricant fournit un modèle SPICE de son produit, ce qui a permis de réaliser quelques simulations, tout en sachant que les modèles SPICE sont limités et ne prennent pas en compte le temps de récupération.

La technologie de prototypage que nous avons utilisée consiste à réaliser des circuits hybrides sur un

substrat en FR4 d'épaisseur 1,6 mm. Ce substrat, qui n'est pas qualifié pour des applications radiofréquences, a néanmoins été choisi en raison de son coût très limité, aspect très important dans la conception d'un dispositif qui peut intéresser un public très large. De plus, des études sur une antenne patch adaptée aux applications ULB et réalisée sur ce substrat au laboratoire LCIS (Vuong & al., 2007) ont déjà démontré la possibilité d'utiliser ce substrat pour des applications dans cette gamme de fréquences. La Figure 2 montre le schéma du circuit utilisé dans les simulations réalisées à l'aide du logiciel Ansoft Designer 3.0.

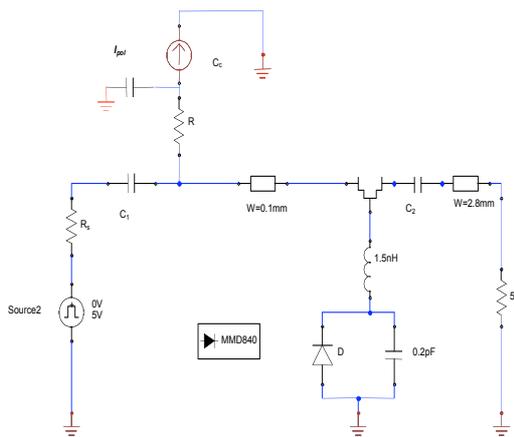


Figure 2 : Circuit utilisé pour la simulation du générateur d'impulsions

Par rapport au schéma de principe, plusieurs éléments ont été ajoutés pour améliorer les performances dans la bande de fréquence considérée. En particulier, quand la diode effectue la transition, le signal rapide doit être transféré vers la charge et non pas revenir en arrière vers le générateur des impulsions de déclenchement (Source 2 dans le schéma). Pour cette raison, nous avons utilisé une ligne microruban très fine pour amener les impulsions de déclenchement et la polarisation I_{pol} à la diode. Nous avons choisi d'utiliser une largeur de 0,1 mm, ce qui correspond à la limite des moyens de photolithographie du LCIS. De cette façon, on obtient une ligne d'impédance caractéristique très élevée (environ 160Ω), qui se comporte en haute fréquence quasiment comme un circuit ouvert. La charge a été reliée avec une ligne de largeur 2,8 mm, ce qui correspond à une impédance caractéristique de 50Ω .

2.3 Résultats de simulation

En Figure 3, nous avons représenté l'allure temporelle simulée de l'impulsion de déclenchement (qui a une amplitude de 5V et un temps de montée de 2 ns, valeurs facilement atteignables avec une porte

logique de famille 74ACxx), du courant circulant dans la diode et de la tension mesurée sur la charge. Le courant de polarisation directe a été ajusté à 6 mA, valeur qui permet d'obtenir une transition juste après la fin de la montée de l'impulsion de déclenchement.

Les résultats des simulations nous confirment donc la possibilité d'obtenir des impulsions sur une charge de 50Ω avec une amplitude de 3 V et un temps de montée de 80 ps. Etant donné les limitations du modèle SPICE vis à vis du temps de récupération des diodes, nous avons choisi de réaliser des prototypes, afin de réaliser une validation expérimentale des performances.

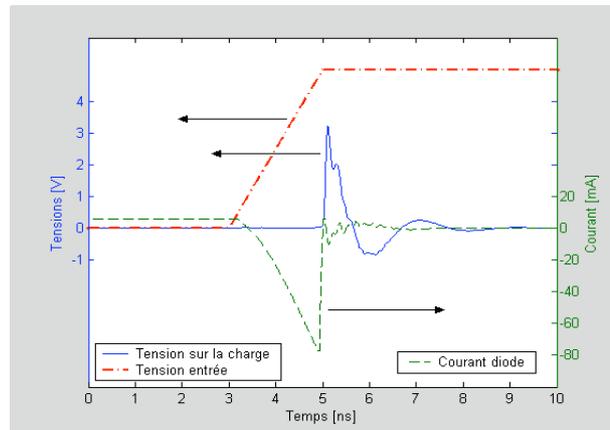


Figure 3 : Allure simulée dans le domaine du temps de l'échelon de déclenchement à l'entrée, du courant dans la diode et de la tension en sortie.

2.4. Réalisation d'un prototype de générateur d'impulsions

La Figure 4 présente le layout du prototype réalisé avec les moyens du LCIS. Une photographie du

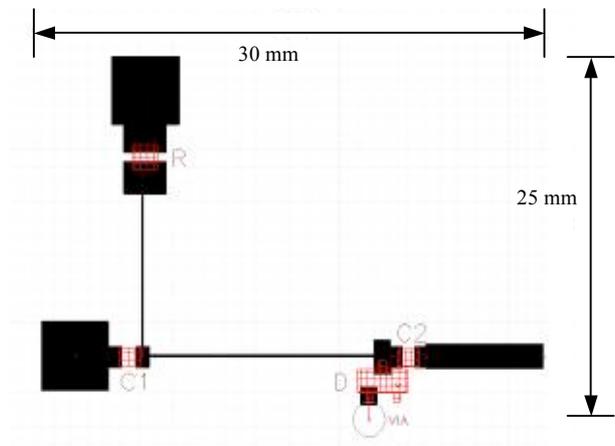


Figure 4 : Layout utilisé pour la réalisation du générateur d'impulsions

générateur fabriqué avec ce layout est visible dans la Figure 5. Nous nous sommes intéressés à une étude dans le domaine du temps. Pour cette raison, un oscilloscope à échantillonnage (Tektronix CSA8000 + 80E02) a été utilisé pour mesurer la réponse du générateur d'impulsions en connectant l'entrée à 50Ω de l'instrument de mesure à la place de la charge. Le courant de polarisation a été fourni en utilisant une alimentation externe, qui a été réglée de façon à fournir 6 mA à la diode dans le circuit sous caractérisation.

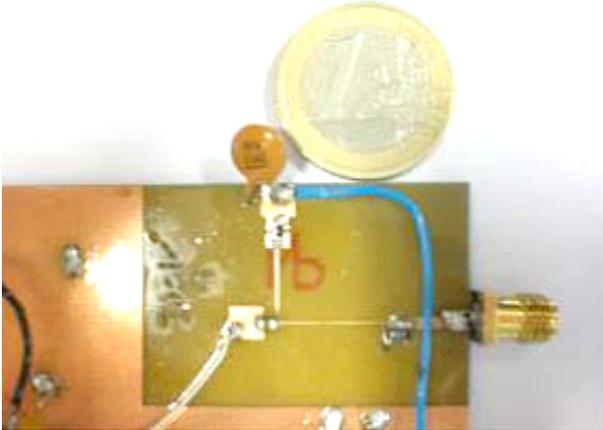


Figure 5 : Photographie du prototype de générateur d'impulsions

La Figure 6 montre une comparaison entre les résultats des mesures et la simulation du circuit. On peut remarquer un bon accord entre les simulations et les mesures en particulier dans la première partie de l'impulsion, qui correspond à la transition de la diode. En particulier, l'amplitude mesurée ($3,2 \pm 0,1$) V et celle simulée sont en très bon accord, tandis que le temps de montée mesuré est de (100 ± 15) ps, plus long par rapport au 80 ps obtenus en simulation. Cet écart est raisonnable, car, comme nous avons observé

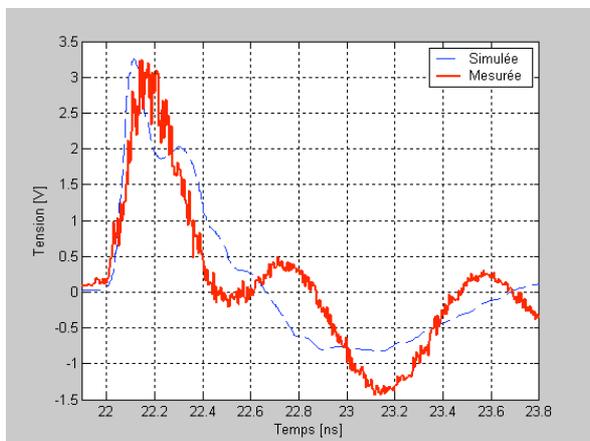


Figure 6 : Comparaison entre la tension mesurée et simulée obtenue sur une charge de 50Ω .

auparavant, le modèle SPICE ne prends pas en compte le temps de transition de la diode et le temps de montée observé en simulation est donné seulement par la capacité de jonction et les paramètres du circuit externes à la diode.

Le signal délivré par ce générateur permet donc de couvrir au moins la partie basse de la bande ULB, regroupant les fréquences comprises entre $3,1 \text{ GHz}$ et 6 GHz , une fois réalisée la fonction de filtrage permettant d'éliminer les composantes en basse fréquence présentes dans le spectre du signal de sortie.

3 Réalisation d'un émetteur complet : générateur et antenne

Dans une approche orientée vers la réalisation d'un système complet, il est intéressant d'aborder la réalisation du générateur et de l'antenne de façon conjointe et non pas en les considérant comme étant deux systèmes séparés. De cette façon, on peut envisager d'adopter une stratégie de « codesign », qui peut permettre de simplifier la résolution de certains problèmes. Au laboratoire LCIS, une antenne adaptée pour travailler dans la bande de fréquence $3,1 \text{ GHz}$ - $10,6 \text{ GHz}$ a été développée et décrite (Vuong & al., 2007, Duroc & al., 2006). La réalisation d'un système complet implique la réalisation conjointe de l'antenne à côté du générateur d'impulsions. Cette solution est particulièrement intéressante dans le cas d'une antenne patch, car les deux éléments peuvent être réalisés sur un même substrat. Une photo du prototype combinant antenne et générateur d'impulsions est visible dans la Figure 7. Pour réduire l'influence des composantes basse fréquence, nous avons utilisé un simple filtre réalisé à l'aide d'un *stub* en court circuit de 2 mm , qui est placé en parallèle avec l'antenne patch.

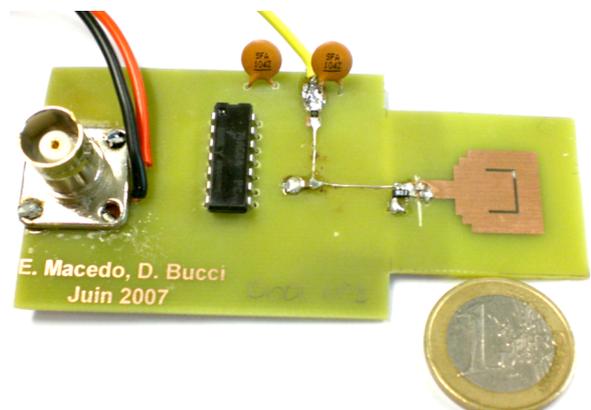


Figure 7 : Photographie d'un émetteur ULB complet

Le champ rayonné par ce premier prototype a été mesuré à l'aide d'une antenne cornet certifiée jusqu'à 18 GHz et un analyseur de spectre capable de couvrir la bande 1 GHz-10 GHz. Le module d'émission a été orienté de façon à aligner la direction de gain maximum de l'antenne patch vers l'ouverture d'entrée de l'antenne à cornet et la distance entre l'émetteur et l'antenne de réception était de 0,75m. La puissance isotrope rayonnée effective, en Anglais Effective Isotropic Radiated Power (EIRP), a été évaluée en prenant en compte la distance entre les deux antennes avec l'équation des radars et en compensant le gain de l'antenne de réception.

Le résultat de la mesure dans une bande comprise entre 1 GHz et 6 GHz est montré en Figure 8, où on a représenté aussi le bruit obtenu en éteignant l'émetteur et le masque spectral « indoor » établi par la FCC. La fréquence de répétition des impulsions utilisée est de 5 MHz. La puissance totale consommée par le module est de 145 mW. On peut remarquer la présence de puissance émise entre 2,8 GHz et 4,6 GHz, ce qui permet de couvrir la partie basse du spectre alloué par la FCC. Néanmoins, entre 1,0 GHz et 2,8 GHz, on remarque la présence d'une composante en basse fréquence qui sort de la bande permise et qui doit être éliminée.

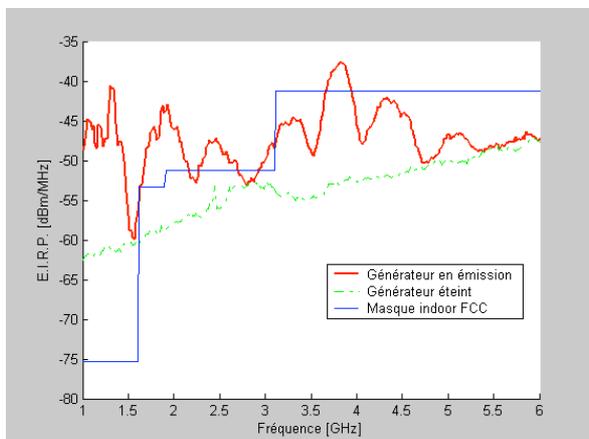


Figure 8 : Puissance isotrope rayonnée effective mesurée avec le module d'émission complet.

4 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons discuté la faisabilité d'un émetteur Ultra Large Bande piloté par un signal logique TTL sur 5V et intégrant un générateur d'impulsions et une antenne patch sur un seul substrat. Le module permet d'obtenir un signal qui couvre la partie basse de la bande allouée par la FCC, comprise entre 3,1 GHz et 4,6 GHz avec une consommation de 145 mW. Les perspectives de ce travail consistent à améliorer les performances des dispositifs, en

particulier pour ce qui concerne les composantes spectrales inférieures à 3,1 GHz qui doivent être filtrées. La prochaine étape consistera dans la mise au point d'un filtre capable de diminuer l'influence de ces composantes.

5 Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Anthony Ghiotto et Laurent Guilloton du laboratoire LCIS, pour les nombreuses discussions et l'assistance pendant la réalisation des prototypes, Nicolas Corrao de l'IMEP et Saad Skali du RFTLab pour leur disponibilité et l'assistance concernant les mesures.

Références

- (Docket 98-153, 2002) E.T. Docket No. 98-153, « Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems », Federal Communications Commission, Adopted February 14, 2002, Released April 22, 2002
- (Duroc & al., 2006) Y. Duroc, T.P. Vuong, S. Tedjini, « Realistic Modeling of Antennas for Ultra Wide Band Systems », *IEEE Radio and Wireless Symposium*, January 17-19, 2006, pages 347
- (Vuong & al., 2007) T.P. Vuong, A. Ghiotto, Y. Duroc, S. Tedjini, "Design and Characteristics of a Small U-Slotted Planar Antenna for IR-UWB", *Wiley, Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 49, Issue 7, pp. 1727-1731, July 2007.
- (Nunnally, W.C, 1993) W. C. Nunnally, "Generation and Application of moderate Power Ultra Wideband or Impulse Signals", *proc. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Vol.2, pp. 260 – 264, August 1993.
- (Smaïni & al, 2006) L. Smaïni et al. "Single Chip CMOS Pulse Generator for UWB Systems", *IEEE Journal of Solid State Circuits*, vol. 41, July 2006
- (Rai & Shukla, 1994) V. N. Rai, M. Suhkla, "A High-Voltage Pulser Circuit with Subnanosecond Rise Time", *Rev. Sci. Instrum.* 65 (6), June 1994
- (Lu & al, 2003) G. Lu, P. Spasojevic, L. Greenstein, "Antenna and Pulse Designs for meeting UWB Spectrum Density Requirements" *Proc. IEEE Conf. on UWB Systems and Technologies*, pp. 162-166, 2003
- (Burgess & al., 2006) Burgess, S.J., Trombino, G., "A low-Cost Microstrip UWB Pulse Generator with integral Bi-Phase Switching Modulation", *proc. IET Seminar on Ultra Wideband Systems*, 2006
- (AN 918 - HP) Pulse and Waveform Generation with Step Recovery Diodes – Application Note 918 – Hewlett Packard