

RADAR DOPPLER HYPERFREQUENCES POUR DETECTION DE VITESSE

Fabien Ferrero⁽¹⁾, Cyril Luxey⁽²⁾, Gregory Sauder⁽¹⁾, Philippe Lorenzini⁽¹⁾,
Gilles Jacquemod⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ecole Polytechnique Universitaire l'Université de Nice-Sophia Antipolis

⁽²⁾ IUT R&T de l'Université de Nice-Sophia Antipolis

Introduction

Afin de compléter leur formation théorique, les étudiants de l'option Télécommunication et Réseaux de Polytech' Nice - Sophia Antipolis suivent plusieurs enseignements de Conception Assistée par Ordinateur durant leur année de spécialisation [1]. Un nouveau mini-projet va permettre aux futurs ingénieurs d'étudier les éléments de base des communications radiofréquences en réalisant l'étude d'un système radar Doppler pour la détection de vitesse [2]. Cet article a pour objectif de décrire cette expérience pédagogique qui s'étale sur cinq séances de trois heures. Les différents éléments du système et le travail demandé aux étudiants seront expliqués.

Description du dispositif

Le schéma bloc radar Doppler est présenté sur la Figure 1. Le système utilise une simple translation de la fréquence pour récupérer la fréquence Doppler. Deux antennes sont utilisées, une pour l'émission et la seconde pour la réception, le signal reçu est alors mélangé avec le signal émis. Cette maquette va permettre aux étudiants de mieux appréhender les principaux blocs de base des télécommunications radiofréquences que sont les amplificateurs, les mélangeurs, les circuits hyperfréquences et les antennes. La dernière séance permettra aux étudiants de valider leur système complet par la mesure de la vitesse d'un train électrique.

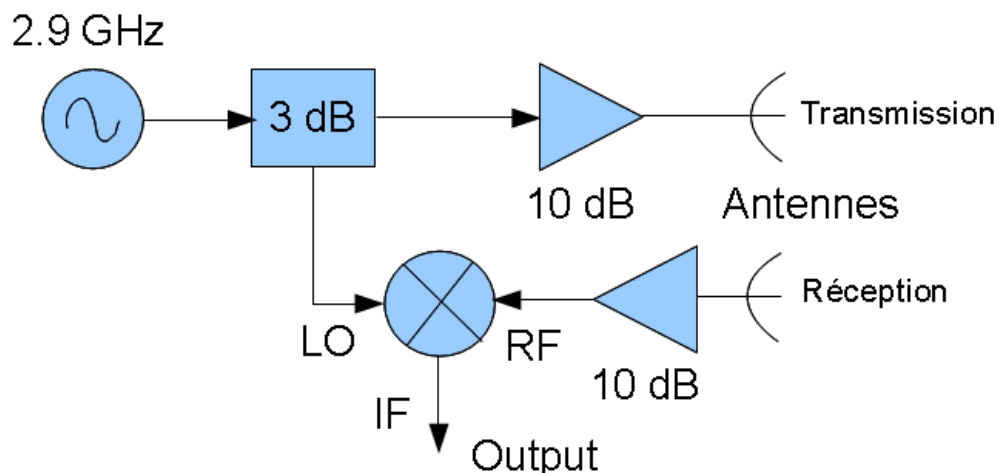


Figure 1 : Schéma bloc du radar Doppler

Déroulement des séances de conception

Les étudiants sont en charge de la conception de l'antenne et du diviseur de puissance, les règles de conception pour l'amplificateur et le mélangeur leurs sont également expliquées. En début de séance, l'enseignant effectue une présentation du travail à réaliser en insistant sur les points clés et les verrous. Les étudiants possèdent ainsi un cahier des charges à satisfaire pour le bon fonctionnement du système. L'objectif pour les séances de conception est de parvenir à un masque finalisé pour une réalisation par lithographie. Malheureusement, compte tenu de difficultés d'ordre pratique telles que l'accès aux salles de conception, l'étape de fabrication ne peut pas être effectuée par les étudiants. Des composants déjà réalisés leurs seront proposés pour les phases de caractérisation et de test. En ce qui concerne l'organisation du projet, il se décompose en 5 ateliers (Labs) détaillés ci-après.

Lab 1 : Initiation à Momentum

La première séance consiste à présenter le fonctionnement du radar Doppler. Une rapide étude système est proposée aux étudiants et des spécifications pour chaque composant sont proposées. Cette introduction est suivie d'une initiation au logiciel de simulation électromagnétique ADS/Momentum (2,5D) d'Agilent. Les étudiants effectuent dans un premier temps la simulation d'une ligne microruban sous le simulateur circuit. Cette ligne est ensuite exportée sous Momentum et simulée. Toutes les étapes nécessaires lors d'une simulation électromagnétique sont détaillées : l'insertion et la configuration des ports d'alimentation, la définition d'un substrat et des couches qui le composent et enfin le maillage de la structure. Les résultats de cette simulation n'étant pas foncièrement différents de ceux obtenus avec l'analyse circuit (formules analytiques), on propose dans l'exemple qui suit de rajouter une antenne patch non alimentée à proximité de cette ligne pour montrer l'utilité d'une telle simulation. De ce fait, le couplage électromagnétique entre les deux éléments est observable lorsque l'on trace les courants surfaciques. Cette initiation se termine par la mise en réseau de plusieurs antennes patch, pour former successivement un réseau linéaire, puis un réseau plan de 6x6 éléments. Les étudiants sont notamment invités à faire varier la phase du signal qui alimente chaque antenne en vue d'obtenir un faisceau rayonné qui s'écarte de la direction normale à la structure (dépointage électronique).

Lab 2 : Conception de l'antenne patch et d'un réseau de patches

La deuxième séance consiste à concevoir la partie antennaire du radar. Pour cela, une initiation théorique qui résume les mécanismes de fonctionnement des antennes patch de forme rectangulaire est effectuée. Les principes généraux des techniques d'alimentations et de modélisation sont ainsi présentés. Une procédure simple de conception basée sur les équations analytiques des patches est proposée. Il est possible aux étudiants de pré-dimensionner une antenne à 2,9 GHz sur un substrat spécifié ($\epsilon_r=3.2$, $h=2.3\text{mm}$). L'étape suivante consiste à simuler sous Momentum ce patch et à réajuster ses dimensions. Une fois que le patch correspond aux spécifications, cette antenne est mise dans un réseau de 4 éléments. Une attention tout particulière est donnée à la conception du réseau de distribution de puissance pour minimiser le coefficient de réflexion du système. Les étudiants ont pour objectif de maximiser le gain dans la direction normale à l'antenne. Nous disposons à ce jour de plusieurs antennes satisfaisant au cahier des charges en termes de coefficient de réflexion (-10 dB minimum à 2,8 et 3 GHz) et qui présentent des gains de 14 dBi dans l'axe (mesurée dans une chambre anéchoïde). La Figure 2 présente un réseau de quatre patches avec les performances simulées (bleu) en termes de diagramme de rayonnement. L'antenne réseau présente un gain suffisant pour notre application et permettra d'obtenir une sélectivité angulaire acceptable.

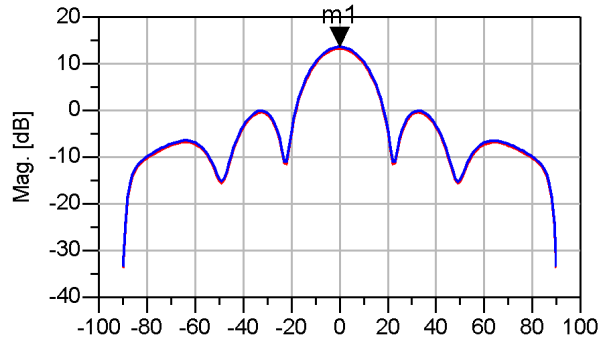
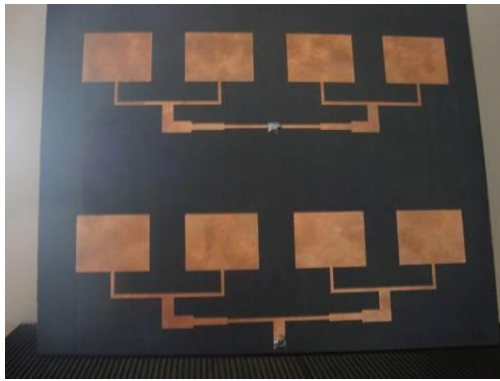


Figure 2 : Antenne réseau à quatre patches et simulation du diagramme de rayonnement

Lab 3 : Conception d'un diviseur equi-réparti en technologie microruban

La troisième séance concerne le diviseur microruban qui doit assurer une division équi-amplitude du signal émis à la fréquence de 2.9 GHz avant d'attaquer l'amplificateur d'émission et la voie LO du mélangeur (Figure 1). Différentes solutions sont proposées pour réaliser cette opération, les avantages et inconvénients de chaque solution sont étudiés. La solution finale choisie est le diviseur de type Wilkinson. L'intérêt de ce diviseur est mis en évidence aux étudiants en leur proposant de désadapter la charge en sortie de l'un des deux ports de sortie. La conception est dans un premier temps effectuée sous ADS, puis le masque du diviseur est créé, et les étudiants peuvent vérifier leurs résultats sous le logiciel Momentum, puis une co-simulation ADS et Momentum est proposée pour tenir compte de la résistance 100 Ω (Figure 3).

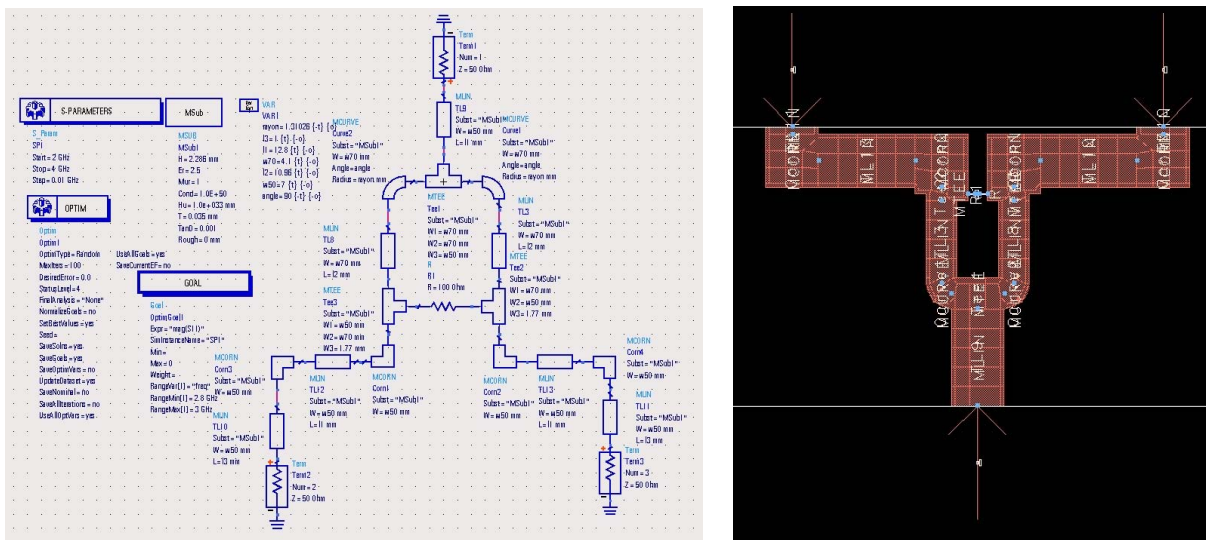


Figure 3 : Diviseur de Wilkinson sous ADS et Momentum

Lab 4 : Caractérisation des amplificateurs et des mélangeurs

La quatrième séance s'intéresse à la conception et à la caractérisation des amplificateurs et des mélangeurs. Un amplificateur Mini-circuits ERA-3SM+ est utilisé. Les techniques de polarisation par stub radial et ligne $\lambda/4$ sont expliquées aux étudiants. Pour le mélangeur, un composant de Mini-circuits Sky-7G+ a été choisie. Pour ces composants, les datasheets sont distribués aux étudiants qui

vérifient en mesure les données à leur disposition (Gain, Point de compression à 1 dB, IP3, Gain de conversion du mélangeur). Un analyseur de réseau, un synthétiseur et un analyseur de spectre sont mis à leurs dispositions. Les étudiants ont aussi la possibilité de vérifier le comportement de l'antenne et du diviseur de Wilkinson. Quelques résultats de mesure sont présentés sur la Figure 4.

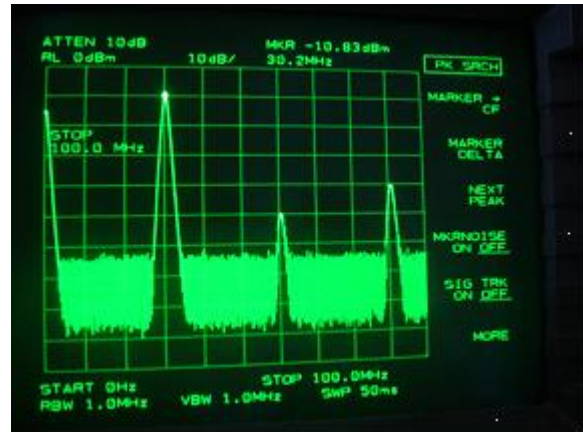
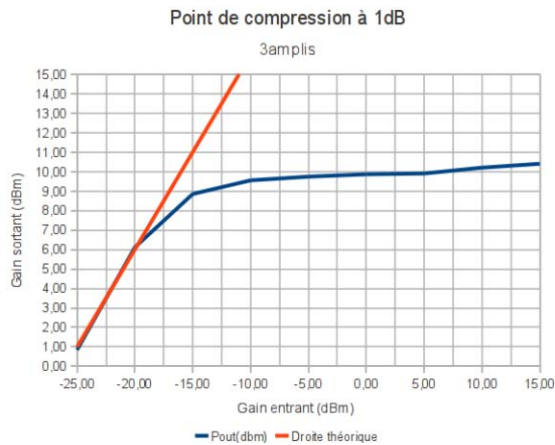


Figure 4 : Point de compression à 1 dB et gain de conversion du mélangeur

Lab 5 : Mise en fonctionnement du radar et vérifications expérimentales

La dernière séance est consacrée à la mise en place du système Doppler et à l'expérimentation de la maquette. Les différents modules sont assemblés pour former le radar (Figure 5). Deux solutions sont alors proposées aux étudiants pour extraire la vitesse de l'objet en déplacement dans l'axe du radar. Premièrement, l'utilisation d'un oscilloscope classique où l'on vient manuellement capturer le signal sinusoïdal comme présenté sur la Figure 5.

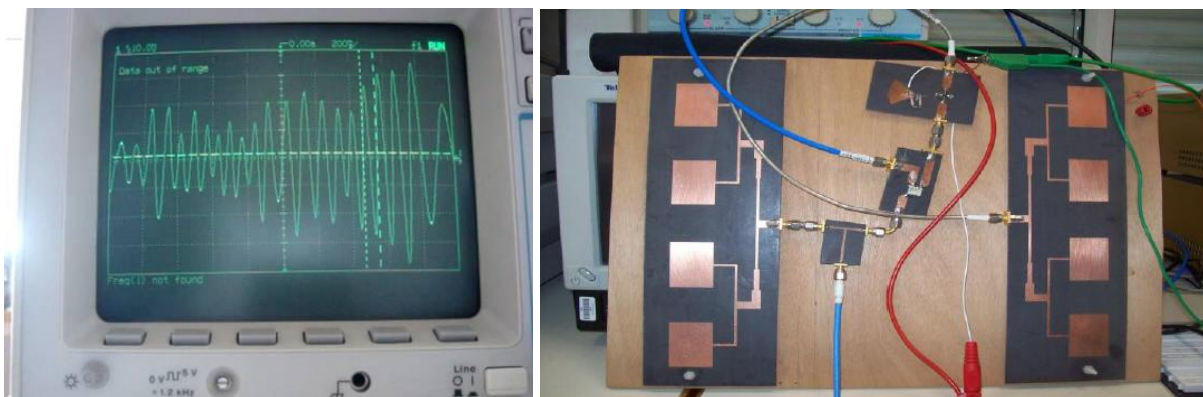


Figure 5 : Oscillations en sortie du mélangeur à l'oscilloscope et assemblage modulaire

Les étudiants peuvent alors extraire la vitesse et calculant la fréquence de la sinusoïde et en appliquant la formule (1) avec $\alpha=0$ puisqu'on se place en face de l'objet en mouvement (Figure 6) :

$$V = \cos(\alpha) \cdot F_d \cdot \lambda / 2 \quad (1)$$

F_d est la fréquence Doppler et λ la longueur d'onde dans le vide. Ils peuvent alors évaluer les limites d'utilisation du radar en termes de plage de vitesse mesurée, de distance de fonctionnement

et de taille d'objet en mouvement. Des objets de natures différentes (conducteurs, isolants) sont placés devant le radar et la notion de surface équivalente radar est définie aux étudiants.

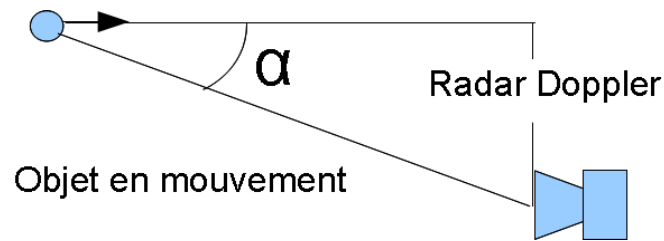


Figure 6 : Définition de l'angle entre l'objet en mouvement et l'axe du radar

Une deuxième solution utilisant le logiciel Labview et un oscilloscope piloté en LAN est aussi proposée aux étudiants. Une maquette avec un train électrique est alors installée (Figure 7), pour améliorer la réflexion des ondes électromagnétiques sur le train, une plaque métallique est posée sur celui-ci. Les étudiants peuvent alors vérifier la formule (1) en faisant plusieurs acquisitions avec différents angles d'inclinaison de l'objet en mouvement comme défini sur la Figure 6.

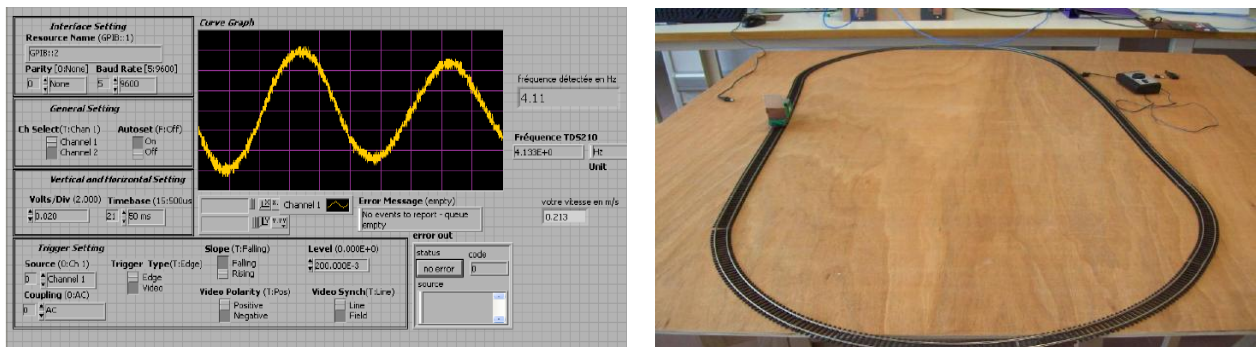


Figure 7 : Acquisition sous Labview et mesure de la vitesse d'un train électrique

Conclusion

Cette manipulation permettra ainsi, pour les futurs ingénieurs, de mieux comprendre les principes théoriques qui leur ont été présentés durant leur formation. Il en ressort que les étudiants éprouvent un réel engouement pour ce mini-projet particulièrement didactique car permettant de pouvoir observer en temps réel l'effet physique Doppler et de mettre en pratique de nombreux concepts qu'ils ont dû tout d'abord apprendre et ensuite maîtriser tout au long de leur cycle d'études d'ingénieur.

Références

[1] C. Luxey, P. Le Thuc, R. Staraj, P. Lorenzini, G. Jacquemod, : « Communication sans fil a modulation fsk entre deux pc » JPCNFM 2008.

[2] Michael A. Jensen, David V. Arnold, and Donald E. Crockett : « System-Level Microwave Design: Radar-Based Laboratory Projects »; IEEE Transactions on Education, vol. 43, issue 4, pp. 414-419.