

Titre en français : Etude et conception d'une chaîne de détection et d'identification de particules

Titre en anglais : Study and design of a processing chain for particle detection and identification

Nom du directeur de thèse : Karine Coulié (DETECT/ IRM-PV)

Co-direction : Wenceslas Rahajandraibe (ACSE / CCSI)

Tel : 04 13 94 53 19

E-Mail : karine.coulie@univ-amu.fr; wenceslas.rahajandraibe@univ-amu.fr

Laboratoire : IM2NP

Financement : demandé

Type de financement : Contrat Doctoral ED353

Résumé en français :

Cette thèse se situe dans le cadre du développement d'un ensemble associant une matrice dédiée à la détection de particule avec une chaîne de traitement innovante à base d'un oscillateur contrôlé en tension (VCO), développés à l'IM2NP.

La plupart des détecteurs existants sont basés sur une lecture directe des courants détectés. Par exemple, dans le cas d'une analyse spectrométrique, il est nécessaire de récupérer la forme réelle des courants générés. Comme dans de nombreux cas le courant est une impulsion étroite de quelques nanosecondes, la chaîne de lecture doit donc présenter une résolution suffisamment élevée et utiliser des circuits large bande (10 fois la largeur du signal). Dans ce but, un amplificateur de lecture possédant une réponse rapide est requis. Cette contrainte en termes de temps de réponse génère un certain nombre de problèmes dans la conception du circuit de conditionnement du signal. En définitive, la plupart des détecteurs sont basés sur une lecture des courants détectés utilisant des CSA (Charge Sensitive Amplifiers) qui présentent une largeur de bande plus faible que les LNA. Cependant, dans ce cas, les informations concernant la forme du courant détecté sont moins précises. Afin de pallier les problèmes rencontrés lors de la conception d'un circuit capable de traiter directement le courant détecté, nous avons développé au laboratoire une solution originale basée sur une détection indirecte du signal en utilisant un oscillateur contrôlé en tension, dont les variations de sorties reproduisent au mieux les variations du courant d'entrée. Cette solution a fait l'objet d'un brevet et de plusieurs stages et publications. L'objectif de cette thèse est la mise en œuvre d'une chaîne de caractérisation complète, allant de la matrice de détection jusqu'à l'identification du signal. Lorsqu'une particule ionisante traverse la matrice de détection, elle génère des paires électrons-trous qui seront collectées aux différentes électrodes du dispositif, induisant ainsi l'apparition d'un courant. Ce courant va provoquer une variation de tension dans l'oscillateur utilisé comme chaîne de détection. Afin d'identifier la particule responsable de la création du courant, il est nécessaire de caractériser la signature électrique laissée par le passage de la particule incidente, à partir des caractéristiques de l'oscillation enregistrée en sortie de la chaîne de traitement. Cette thèse se focalisera ainsi tout d'abord sur l'étude et l'optimisation de la matrice, à l'aide de la simulation composant. Cela peut se faire par le biais de méthode numérique à partir d'outil CAO dédié aux dispositifs technologiques, mais l'étude

devra définir la meilleure stratégie de simulation pour cette chaîne de traitement. Cette partie du travail sera coordonnée par l'équipe IRM-PV. Elle visera également à l'implémentation de la chaîne complète de détection, en partant de la cellule de détection, jusqu'au traitement du signal issu du VCO sous la forme d'un analyseur multicanaux, et de sa structure matricielle. L'objectif ici est de concevoir au niveau transistor chaque bloc fonctionnel allant du conditionnement du signal issu de la matrice de détection jusqu'à traitement numérique permettant une analyse fine des données issues du détecteur. Un benchmark technologique sera effectué afin d'en définir la plus adaptée et la plus robuste vis à vis des contraintes électriques et environnementales. Ce volet sera mené en collaboration entre l'équipe IRM-PV et l'équipe CCSI. L'originalité de l'approche consiste en la co-conception du détecteur et de son électronique de conditionnement sur la base d'une technologie intégrée sur substrat bulk (CMOS) ou isolant (SOI).

Résumé en anglais :

This thesis is part of the development of a set associating a matrix dedicated to particle detection with an innovative processing chain based on a voltage-controlled oscillator (VCO), developed at IM2NP.

Most of the existing detectors are based on a direct reading of the detected currents. For example, in the case of a spectrometric analysis, it is necessary to recover the real shape of the generated currents. As in many cases the current is a narrow pulse of a few nanoseconds, the read chain must therefore have a sufficiently high resolution and use wideband circuits (10 times the width of the signal). For this purpose, a sense amplifier having a fast response is required. This constraint in terms of response time generates a number of problems in the design of the signal conditioning circuit. Ultimately, most detectors are based on a reading of the detected currents using CSAs (Charge Sensitive Amplifiers) which have a lower bandwidth than LNAs. However, in this case, the information concerning the shape of the detected current is less accurate. In order to overcome the problems encountered when designing a circuit capable of directly processing the detected current, we have developed in the laboratory an original solution based on indirect detection of the signal using a voltage-controlled oscillator, whose output variations best reproduce the variations of the input current. This solution has been the subject of a patent and several training courses and publications. The objective of this thesis is the implementation of the characterization chain, from the detection matrix to the identification of the signal. When an ionizing particle crosses the detection matrix, it generates electron-hole pairs which will be collected at the various electrodes of the device, thus inducing the appearance of a current. This current will cause a voltage variation in the oscillator used as the detection chain. In order to identify the particle responsible for creating the current, it is necessary to characterize the electrical signature left by the passage of the incident particle, based on the characteristics of the oscillation recorded at the output of the processing chain. This thesis will therefore focus first on the study and optimization of the matrix, using device simulation. This can be done using a digital method using a CAD tool dedicated to technological devices, but the study will have to define the best simulation strategy for this processing chain. This part of the work will be coordinated by the IRM-PV team. It will also aim to implement the complete detection chain, starting from the detection cell, up to the processing of the signal from the VCO in the form of a multi-channel analyzer, and its matrix structure. The objective here is to design at the transistor level each functional block ranging from the conditioning of the signal from the detection matrix to digital processing, allowing a fine analysis of the data from the detector. A technological benchmark will be

carried out in order to define the most suitable and the most robust with respect to electrical and environmental constraints. This component will be carried out in collaboration between the IRM-PV team and the CCSI team. The originality of the approach consists in the co-design of the detector and its conditioning electronics based on integrated technology on a bulk (CMOS) or insulating (SOI) substrate.

Profil du candidat recherché :

Titulaire d'un Master, d'un diplôme d'Ingénieur ou équivalent Bac+5 dans le domaine de l'électronique, microélectronique, physique. Des expériences en conception de dispositifs microélectronique ou en conception de circuits intégrés analogiques et mixte seront un plus.

Publications sur le sujet :

Castellani-Coulié K.; Aziza H.; Rahajandraibe W.; Micolau G.; Portal J-M, "Development of a CMOS Oscillator Concept for Particle Detection and Tracking", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 60, No 4, pp. 2450 – 2455, Août 2013, DOI: 10.1109/TNS.2013.2254723.

Coulié-Castellani, K., Rahajandraibe, W.; Micolau, G., Aziza H. J.-M. Portal, "Optimization of a Particles Detection Chain Based on a VCO Structure", *Journal of Electronic Testing*, vol. 32, n°1, pp. 21-30, 2016, DOI: 10.1007/s10836-016-5563-7.

Coulié K., Rahajandraibe W., Aziza H, Micolau G., Vauché R., "Detection limit of a VCO based detection chain dedicated to particles recognition and tracking", *EPJ Web of Conferences*, EDP Sciences, 2018, 170, pp.09002, DOI: 10.1051/epjconf/201817009002.

K. Coulié, W. Rahajandraibe and L. Ottaviani, "On the Improvement of VCO Based Matrix Particle Detector for High Resolution Particles Recognition and Tracking", *Proceedings RADECS 2020*.

K. Coulié, W. Rahajandraibe, L. Ottaviani, "Particle Identification and Tracking by the Use of a Pixel-Based Semiconductor Radiation Detector Coupled with Voltage Controlled Oscillators", *Proc. ANIMMA 2021*, EPJ Web of Conferences 253, 09007 (2021).
<https://doi.org/10.1051/epjconf/202125309007>.

Insertion professionnelle après thèse :

Laboratoires de recherches académique ou grande institution du domaine de la Microélectronique, la Physique, de l'instrumentation médicale, spatiale (CNES, ESA, NASA), nucléaire (CERN, CEA, IRSN, ONERA, etc.), le CNRS et les Universités des sciences en général mais aussi plusieurs entreprises privées comme Thales Alenia Space, STMicroelectronics, IBM, etc.