

## RESUMÉ et MOTS CLÉS

Pour la diffusion sur le *web*

TITRE EN FRANÇAIS : Calibration numérique des non linéarités des récepteurs RF hautes vitesses.

Résumé en français :

Dans les systèmes de télécommunications modernes, la tendance est à l'augmentation de la bande passante afin de transférer le traitement du signal au domaine numérique pour tirer parti de sa flexibilité et de sa puissance de calcul. On parle alors d'architectures à numérisation RF (radio fréquence) direct. Dans de tels systèmes, les convertisseurs analogique-numérique à entrelacement temporel (TiADCs pour « Time-interleaved Analog to Digital Converters ») dotés d'une architecture de quantification à approximations successives (SAR pour « Successive Approximation Register ») offrent théoriquement la possibilité d'atteindre des fréquences d'échantillonnage très élevées, avec de meilleures performances telles que le rapport signal sur bruit (SNR pour « Signal to Noise Ratio »), le SFDR (pour « Spurious Free Dynamic Range ») et la consommation énergétique. Cependant, les désappariements entre les sous-convertisseurs réduisent fortement ces performances. Les solutions de compensation numérique des désappariements linéaires ont montré leur efficacité au point où les erreurs non linéaires constituent le prochain frein. Dans cette thèse, nous démontrons la possibilité de compenser numériquement ces erreurs non linéaires dans un cadre plus général, qui peut être spécifié pour modéliser le comportement d'un ou plusieurs blocs de la chaîne de réception. Nous nous sommes intéressés en particulier à la partie frontend d'un récepteur à numérisation RF direct, basé sur une architecture de quantification SAR entrelacée et doté d'une résolution de 12 bits et d'une fréquence d'échantillonnage de 8 GS/s.

Tout d'abord, la modélisation et la compensation numérique des désappariements d'erreurs linéaires d'offset, de gain et d'instant d'échantillonnage ont été étudiées et décrites en adoptant un formalisme mathématique plus général. Celui-ci est étendu, en s'appuyant sur la théorie des systèmes dynamiques et les séries de Volterra, pour établir un modèle mathématique des erreurs non-linéaires dynamiques dans les récepteurs à numérisation RF direct. Après l'établissement de ce modèle, qui décrit les distorsions spectrales causées par les erreurs non-linéaires, nous proposons une méthode de compensation numérique. Bien que le modèle ne capture pas totalement le comportement du circuit dans le cadre des exigences requises pour le type d'applications visées, nous démontrons, d'un point de vue théorique, la validité de cette méthode et présentons les résultats de simulations correspondantes.

Ensuite, nous abordons donc le problème d'estimation en ligne des coefficients pour les erreurs introduites par la partie frontend du récepteur RF nécessaire à l'intégration de cette solution. Afin de simplifier le problème, nous nous limitons au cas des erreurs non linéaires statiques. Nous décrivons les difficultés liées à cette estimation et nous proposons et évaluons plusieurs méthodes.

Enfin, nous proposons une implémentation en technologie 28 FDSOI d'une partie de notre méthode de compensation numérique pour évaluer les performances en termes de consommation énergétique et de surface de la partie numérique afin d'obtenir une vision réaliste de la performance globale du récepteur.

MOTS-CLÉS en français (8 maximum) :

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 Récepteurs RF                  | 5 Modélisation          |
| 2 (Ti)ADC                        | 6 Calibration numérique |
| 3 Traitement numérique du signal | 7 Télécommunication     |
| 4 Erreurs non linéaires          | 8                       |

TITRE EN ANGLAIS : Digital calibration of nonlinearities in high-speed RF receivers.

Résumé en anglais :

In modern telecommunications systems, the trend is to increase bandwidth to transfer signal processing to the digital domain, taking advantage of its flexibility and computing power. This is known as direct RF digitization architectures. In such systems, TIADCs with an interleaved SAR quantization architecture theoretically offer the possibility of achieving very high sampling frequencies, with improved performance such as SNR, SFDR, and energy consumption. However, mismatches between the sub-converters greatly reduce these performances. Digital compensation solutions for linear mismatches have proven effective to the point where nonlinear errors are the next bottleneck. In this thesis, we demonstrate the possibility of digitally compensating these nonlinear errors in a more general framework, which can be specified to model the behavior of one or more blocks of the receiver chain. We focused particularly on the frontend part of a direct RF digitization receiver based on an interleaved SAR quantization architecture with a 12-bit resolution and a sampling frequency of 8 GS/s.

First, the modeling and digital compensation of linear mismatch errors such as offset, gain, and sampling instants were studied and described using a more general mathematical formalism. This was extended, using dynamic systems theory and Volterra series, to establish a mathematical model of dynamic nonlinear errors in direct RF digitization receivers. After establishing this model, which describes the spectral distortions caused by nonlinear errors, we propose a digital compensation method. Although the model does not fully capture the circuit's behavior within the required specifications for the targeted applications, we demonstrate, from a theoretical perspective, the validity of this method and present the corresponding simulation results.

Next, we address the problem of online coefficient estimation for errors introduced by the frontend part of the RF receiver, necessary for the integration of this solution. To simplify the problem, we limit ourselves to the case of static nonlinear errors. We describe the difficulties related to this estimation and propose and evaluate several methods.

Finally, we propose an implementation in 28 nm FDSOI technology of part of our digital compensation method to evaluate the performance in terms of energy consumption and the area of the digital part to obtain a realistic view of the receiver's overall performance.

MOTS-CLÉS en anglais (8 maximum) :

- |   |                           |   |                     |
|---|---------------------------|---|---------------------|
| 1 | RF receivers              | 5 | Modelling           |
| 2 | (Ti)ADC                   | 6 | Digital calibration |
| 3 | Digital signal processing | 7 | Telecommunication   |
| 4 | Nonlinear errors          | 8 |                     |

BONNAFOUX Clément

Visa du Directeur de thèse  
(Avis Favorable)



