



Systèmes de communications sans fil (partie B)
TELECOM201b

Devoirs maison Conversion Numérique Analogique

ING – Filière TELECOM — Dec. 2024

Germain PHAM – Chadi Jabbour

Formation Initiale
Département Communications et Électronique
Télécom Paris

1 Introduction

Ce devoir maison (DM) a pour objectif d'approfondir les notions de modélisation des systèmes de communications sur MATLAB/OCTAVE abordés dans le premier DM. Nous nous concentrerons aussi sur deux autres aspects :

1. l'émulation du temps continu et,
2. la simulation des non-linéarités.

Comme pour le premier DM, les rendus attendus sont les scripts et fonctions MATLAB. Vos codes doivent être clairement commentés, les noms des variables auto-suffisantes et les figures clairement tracées (axes, épaisseur de ligne, taille de la police ...).

2 Conversion Numérique Analogique

Le scénario considéré dans ce DM est un convertisseur numérique-analogique (CNA) avec une fréquence d'échantillonnage de $F_s = 30.72 \text{ MSps}$ avec un nombre de bits et une pleine échelle paramétrables.

Comme MATLAB/OCTAVE sont des logiciels qui fonctionnent à pas fixe, la solution simple pour émuler un fonctionnement temps continu est de sur-échantillonner (*fortement*) les signaux. Le choix du facteur de sur-échantillonnage est un compromis entre précision et complexité. En effet, plus le facteur de sur-échantillonnage est élevé, plus on va se rapprocher d'un fonctionnement temps continu mais ceci se paie par une augmentation de la taille des vecteurs à traiter.¹

Pour ce DM, pour vous simplifier les choses, nous fixerons le facteur de sur-échantillonnage à $\text{OSRsim} = 16$. Vous aurez donc une fréquence d'émulation du temps continu de $F_{Ssim} = 491.52 \text{ MHz}$ (16×30.72). Nous fixerons aussi le nombre de points à l'entrée du CNA à $Nsamples_in = 2^{12}$ et donc à sa sortie le nombre de points sera $Nsamples_out = 2^{16}$ (16×2^{12}).

Toutes les simulations sont à faire avec des signaux sinusoïdaux dont les fréquences et amplitudes seront fixées ultérieurement. Nous vous laisserons le soin de définir les fréquences exactes des signaux afin que le tracé de la FFT *brute* soit sans fuites spectrales.

Question 2.1 Proposer une fonction qui modélise un CNA. On vous laisse le soin de bien choisir les entrées et sorties de votre fonction².

Question 2.2 Proposer un script qui utilise la fonction précédente et qui trace le spectre de sortie d'un CNA 12 bits. N'oubliez pas d'appliquer un fenêtrage pour le tracé du spectre³. Le signal à convertir en analogique est une sinusoïde (numérique) de $Fsig \approx 1 \text{ MHz}$ dont l'amplitude ("crête") est égale à la moitié de la pleine échelle du CNA qu'on fixera à $PE = 2$; autrement dit, le signal électrique en sortie du convertisseur occupe exactement la plage de tension disponible à la sortie du CNA.

Le SNR d'un CNA, quand on considère uniquement le bruit de quantification, noté aussi $SQNR$ (Signal to quantization noise ratio), est donné par la même expression que pour un CAN :

$$SQNR_{dB} \approx 6.02 \cdot nb + 1.76 + 20 \log_{10} \left(\frac{2 \cdot A_{in}}{PE} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{f_s}{2 \cdot Bw} \right), \quad (1)$$

1. Il est important de ne pas confondre la notion de sur-échantillonnage dans ce cas qui est juste une astuce pour émuler un fonctionnement temps continu avec la notion de sur-échantillonnage dans les convertisseurs analogiques-numériques qui traduit un choix matériel réel.

2. Similairement au DM CAN, veillez à créer votre vecteur signal en dehors de la fonction CNA

3. Il sera approprié de réutiliser la fonction de calcul de spectre implémentée pour le précédent DM

avec nb le nombre de bits, A_{in} l'amplitude crête du signal d'entrée, PE la pleine échelle, f_s la fréquence d'échantillonnage et Bw la bande d'intégration.

Question 2.3 En réutilisant la fonction de calcul de SNR codée pour le premier DM, proposer un script qui permet de tracer le SQNR à la sortie d'un CNA en fonction du nombre de bits pour une amplitude A_{in} égale à $PE/2$. La bande utile est $[0 - 10 \text{ MHz}]$. Comparer la courbe obtenue à la courbe théorique.

Pour modéliser les non-linéarités du CNA, nous allons appliquer le polynôme d'ordre 3 suivant à la sortie du CNA :

$$y_{NL}(t) = y(t) + \alpha_3 y^3(t), \quad (2)$$

avec $y(t)$ la sortie idéale (sans non-linéarités) du CNA, $y_{NL}(t)$ la sortie non linéaire du CNA et α_3 une constante qui dépend de l'implémentation du CNA que nous fixerons à $\text{alpha_3} = -0.01$.

Question 2.4 Proposer un script qui trace le spectre d'un CNA 12 bits non linéaire pour un signal 2-tons (2 sinusoïdes). Nous fixerons les fréquences d'entrée à $f_1 \approx 2 \text{ MHz}$ et $f_2 \approx 3 \text{ MHz}$ et leur amplitude à $PE/4$.

Question 2.5 Proposer une fonction qui permet de calculer le rapport d'intermodulation d'ordre 3 (IM3) d'un signal 2-tons. Testez là avec le script précédent d'abord avec 2 tons à $f_1 \approx 2 \text{ MHz}$ et $f_2 \approx 3 \text{ MHz}$ puis à $f_1 \approx 0.5 \text{ MHz}$ et $f_2 \approx 3 \text{ MHz}$.