



Electronique pour les systèmes embarqués

TP Acquisition

1 Introduction

Dans ce TP, nous nous intéressons à la conception d'une chaîne de numérisation conçue pour être intégrée dans un bracelet connecté. Nous nous intéresserons particulièrement au convertisseur analogique numérique (CAN). Ce CAN servira à la numérisation de signaux provenant d'une multitude de capteurs placés sur le bracelet. Pour des raisons de simplicité, nous nous restreindrons dans le cadre de ce TP à trois capteurs :

- Un microphone pour la reconnaissance vocale. Après amplification, conditionnement et filtrage, le signal a une bande passante de 4.16 kHz avec une dynamique d'entrée allant de $\pm 5 \text{ mV}$ à $\pm 1.5 \text{ V}$ ¹ centrée autour de 2 V sur laquelle il faut garantir un SNR de 40 dB.
- Un altimètre nécessitant une numérisation sur 12 bits avec une fréquence d'échantillonnage supérieure à 40 kHz. Les signaux en sortie sont compris entre 0.3 et 2.7 V.
- Un capteur de battement cardiaque avec une sortie faible fréquence et une dynamique comprise entre 1.3 et 3.3 V.

Pour des raisons de miniaturisation, nous souhaitons intégrer un seul et unique CAN pour la numérisation des signaux issus de tous ces capteurs. Un multiplexeur analogique permettra de commuter l'entrée du CAN entre les différents capteurs en fonction des besoins de l'utilisateur. Nous souhaitons également que sa consommation de puissance soit inférieure à 20 mW.

2 Détermination des spécifications du CAN

Question 2.1 Analyser les spécifications des différents capteurs. Déterminer la pleine échelle (PE) et la fréquence d'échantillonnage minimales qui permettent de satisfaire les spécifications

1. Nous modéliserons la sortie comme une sinusoïde pour simplifier le calcul

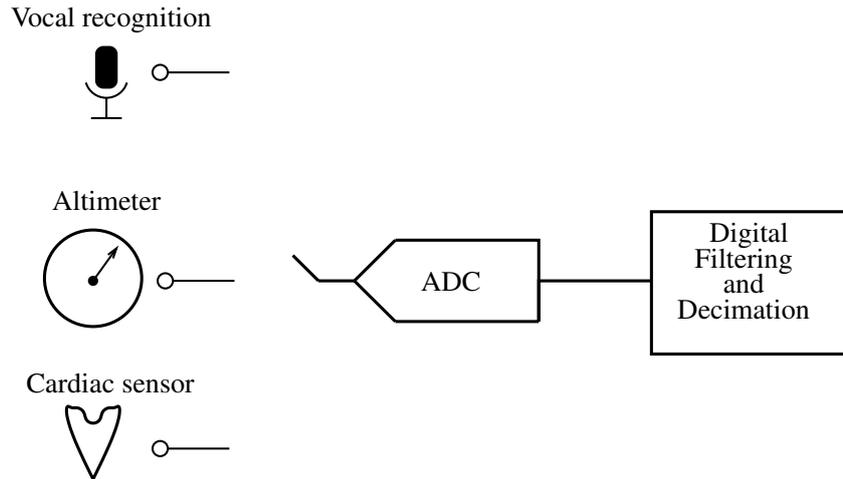


FIGURE 1 – Chaîne d’acquisition du bracelet connecté

de tous les capteurs.

Dans le reste de notre étude, nous fixerons la fréquence d’échantillonnage à 50 kHz pour prendre une marge suffisante pour le filtre anti-repliement. PE sera fixée à 4 V pour éviter la saturation du CAN par des signaux parasites. Le signal issu du microphone pour la reconnaissance vocale est le plus exigeant en terme de résolution due à sa très grande dynamique d’entrée. On rappelle l’expression du rapport signal à bruit de quantification (SQNR) pour un CAN ² :

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

Question 2.2 Calculer le nombre de bits nécessaires au CAN pour pouvoir sécuriser le SNDR ³ requis pour toute la dynamique d’entrée.

Question 2.3 Charger le fichier `ADC_DR.m`. Fixer n à la valeur obtenue dans la question précédente. Vérifier que la résolution est obtenue pour toute la dynamique d’entrée. (Les résultats sont affichés dans la console Octave/Matlab et les figures sont sauvegardées automatiquement dans le même répertoire.)

Nous allons analyser à présent le spectre de sortie du CAN. Nous allons le faire en présence d’interféreurs et perturbateurs qui peuvent engendrer une dégradation des performances. Nous allons modéliser ces interféreurs par deux sinusoïdes d’amplitude $A_p = 10$ mV à 16 kHz et à 22 kHz. ⁴

Question 2.4 Charger le fichier `ADC_L.m`. Fixer n à la valeur trouvée dans la question précédente. Fixer l’amplitude du signal d’entrée à 5 mV et l’amplitude des interféreurs à 10 mV. Observer le spectre et relever la valeur du SNR dans la bande de 0 Hz-4.16 kHz et dans la bande de Nyquist du CAN. Que doit-on faire dans le domaine numérique pour assurer la résolution dans ce scénario ?

2. Cette expression n’est pas applicable aux CAN qui utilisent la mise en forme du bruit de quantification tels que les CAN $\Sigma\Delta$

3. Dans cette section, comme la seule erreur présente est le bruit de quantification, SNR, SNDR et SQNR sont équivalents

4. Sachez qu’en pratique les interféreurs peuvent être aussi bien des raies parasites que des signaux plus riches en fréquence. La forme et l’amplitude de ces interféreurs dépendent d’une multitude de paramètres tels que la nature du capteur, le type d’alimentation utilisée, l’environnement,...

Question 2.5 *En vous basant sur les spécifications de dynamique d'entrée, de résolution, de vitesse et de consommation du CAN, vérifier que le produit AD7682/7689 permet de satisfaire nos besoins. Justifier votre réponse.*

3 Caractérisation du capteur de battement cardiaque

La carte du capteur cardiaque sera alimentée à 5 V. Cette tension alimentera le régulateur qui nous permettra de générer le VDD interne de 4.4 V.

- Retirer tous les cavaliers (*jumpers*),
- Régler l'alimentation externe à 5 V et la connecter à la carte à l'aide des connecteurs mini-banane.
- Mesurer, à l'aide d'un multimètre, la tension VDD interne au niveau de la pointe prévue pour. Utiliser le câble banane-pointe pour réaliser cette mesure. Régler le potentiomètre correspondant pour obtenir une valeur de 4.4 V.
- Remettre le cavalier de VDD.
- Répéter la même opération pour régler la tension VCM à 2 V en utilisant le potentiomètre correspondant.

Nous allons dans un premier lieu, tester notre circuit avec une entrée sinusoïdale de 2 Hz avec une amplitude de 4 mVpp. Pour cela :

- Assurez vous que la sortie du générateur est désactivée (et/ou déconnectée du circuit)
- Fixer les valeurs de fréquence et d'amplitude
- Connecter le connecteur noir de l'adaptateur BNC-banane (connecté au générateur basse fréquence (GBF)) à la masse du système.
- Connecter le connecteur rouge au circuit au niveau de l'entrée de la chaîne de conditionnement à l'aide d'un câble banane-pointe.
- Activer la sortie du générateur

Question 3.1 *En ajustant le potentiomètre de l'étage de sortie, mesurer le gain minimal et maximal du système d'acquisition.*

Question 3.2 *Simuler temporellement votre circuit avec LTspice pour un RV de $1\ \Omega$ et de $100\ \text{k}\Omega$ ⁵. Comparer les valeurs de simulation aux valeurs de mesure.*

Après avoir mesuré le gain, nous allons mesurer la bande passante du système. Régler le système dans la configuration gain minimal.

Question 3.3 *Faites varier la fréquence du signal d'entrée en partant de $f = 2\ \text{Hz}$ pour déterminer la fréquence de coupure (à $-3\ \text{dB}$) basse f_c^b et la fréquence de coupure haute f_c^h (les fréquences pour lesquelles le gain en tension vaut $G_0/\sqrt{2}$, avec G_0 le gain pour $f = 2\ \text{Hz}$).*

Question 3.4 *Faites une simulation AC de votre circuit avec LTspice pour un RV de $1\ \Omega$. Comparer les valeurs de simulations aux valeurs de mesure.*

Après avoir validé le système d'acquisition avec un GBF, nous allons enfin connecter le capteur cardiaque. Déconnecter le GBF et replacer le cavalier qui permet de relier le capteur au circuit de conditionnement.

Question 3.5 *Placer votre doigt sur le capteur, relever à l'oscilloscope la valeur de votre battement cardiaque.*

5. Dans LTspice file \rightarrow open \rightarrow Mes documents \rightarrow CapCardiac.asc

4 Mesures avec la plateforme ADALM

Pour la partie mesure, nous allons utiliser la plateforme ADALM 1000⁶ illustrée dans la Figure 2. Elle intègre deux CANs AD7682, deux CNAs et une partie numérique (micro-contrôleur et interface USB) qui permet de transférer les données numérisées sur un ordinateur.

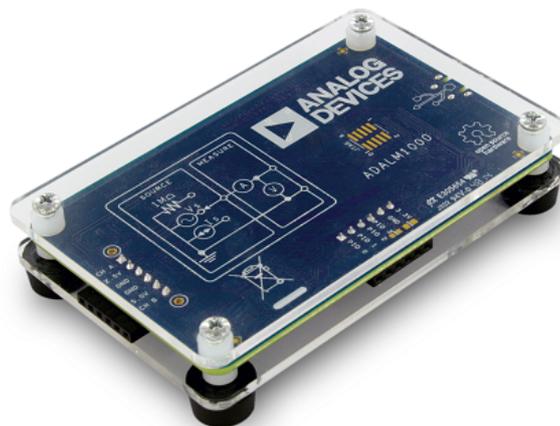


FIGURE 2 – Adalm 1000

Appliquer un signal sinusoïdal d'amplitude $V_{pp} = 0.5\text{ V}$, de fréquence 5 kHz et d'un offset de 2 V à l'entrée du CAN. Pour cette manipulation, connectez la tension positive du générateur à l'entrée CH A et l'entrée négative à la masse de la maquette. Charger le fichier `Acq_Dyn.m` qui vous permettra de visualiser le signal de sortie en temporel ainsi que son spectre.

Question 4.1 *Faites des tests pour $V_{pp}=0.5\text{ V}$, 1 V, 2 V et 4 V. Relever et analyser les valeurs du SNDR.*

Question 4.2 *Commenter les valeurs obtenues et comparer les à celles de la datasheet. Expliquer la différence entre les deux.*

Question 4.3 *Comparer les performances (théoriques et pratiques) à celles du CAN du Raspberry Pi Pico. Conclure.*

Nous allons à présent utiliser notre CAN pour numériser le signal issu du capteur de battement cardiaque. Connecter la sortie de la carte du capteur à la plateforme ADALM1000. Charger le fichier `Acq_Cap.m`. Ce script va lancer une acquisition sur 10 secondes.

Question 4.4 *Positionner votre doigt sur le capteur, lancer l'acquisition. Assurez vous que votre signal est bien conditionné (amplitude supérieure à 0.5 V mais pas de saturation). Pour ce faire, n'hésitez pas ajuster la valeur du gain en ajustant le potentiomètre de l'étage de sortie. Relever la valeur du rythme cardiaque.*

A vous de jouer à présent !! Numériser le signal avec la Raspberry PI Pico et proposer un algorithme pour relever automatiquement le rythme cardiaque !!

6. (<https://wiki.analog.com/university/tools/m1k>)