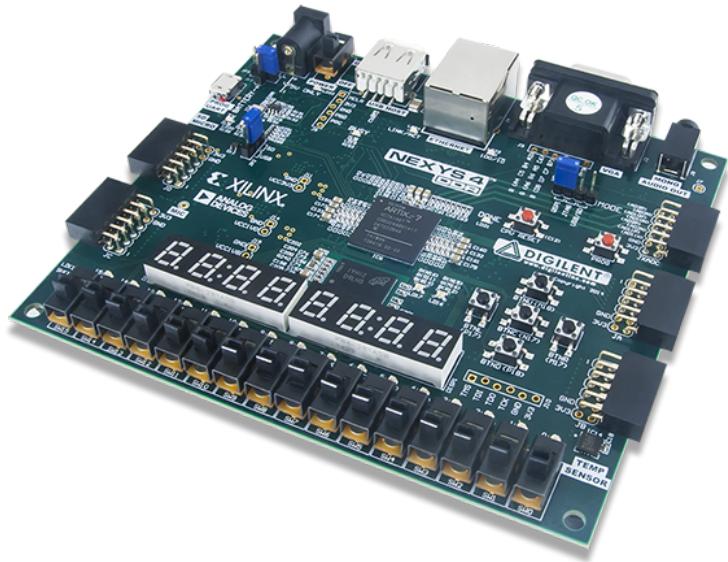


Compte Rendu



Historisation de trajectoire de vol

BLANCHET Gabin, GIROUD Thomas
Date : 31 janvier 2025

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Contexte	4
2	Présentation matérielle	5
2.1	Accéléromètre : ADXL362	5
2.1.1	Communications en série : SPI	5
2.2	Sortie audio	6
3	Résultats	8
4	Pour aller plus loin	10
4.1	Enregistrement des inclinaisons	10
4.2	Graduation	10
4.3	Manche	10
4.4	Objet embarqué et autonome	10

Table des figures

1.1	Exemple du fonctionnement de l'horizon artificiel	3
2.1	Exemple du fonctionnement d'une liaison SPI	6
2.2	Filtre Sallen-Key Butterworth d'ordre 4	6
3.1	Photo de l'indicateur visuel	8
3.2	Photo de la Nexys 4 DDR	9

Chapitre 1

Introduction

L'horizon artificiel [1] est un instrument de bord dans les avions, utilisé pour indiquer le comportement de l'appareil par rapport à l'horizon réel. Il montre l'inclinaison latérale (roulis) et l'inclinaison avant-arrière (tangage) de l'avion. L'écran affiche un ciel bleu pour la partie supérieure et une zone brune ou verte pour la partie inférieure, permettant de visualiser rapidement si l'avion est en montée, en descente ou incliné.



FIGURE 1.1 – Exemple du fonctionnement de l'horizon artificiel

On a choisi d'ajouter à l'indicateur visuel, un indicateur sonore qui permettrait d'avertir le pilote en cas d'inclinaison trop importante. Ce système est déjà présent dans certains avions notamment avec l'alerte "Pull up" lorsque l'avion a une inclinaison trop en avant.

Garder en mémoire un historique des inclinaisons et en utilisant d'autres paramètres de l'avion, on peut retrouver sa trajectoire de vol. Cette fonction peut être utilisée pour comprendre certains accidents.

1.1 Contexte

Ce projet est réalisé dans le cadre d'un projet de deuxième année de cycle ingénieur. Celui-ci a pour objectif d'une montée en compétences sur la programmation de cible embarquée, la gestion de capteur et l'interfaçage. En effet, ce projet inclue une interface VGA, permettant d'accéder à l'indicateur visuel. Mais on a aussi la sortie audio gérée et la lecture d'un capteur permettant de connaître l'inclinaison. Ainsi, on a choisi la carte Nexys 4 DDR pour effectuer ce projet. L'ensemble du projet est en VHDL.

Chapitre 2

Présentation matérielle

La carte Nexys 4 DDR intègre différents capteurs et interfaces que l'on peut utiliser. De plus, le FPGA Artix-7 offre une efficacité suffisante pour mener à bien ce projet. L'intérêt d'utiliser un FPGA est le parallélisme des tâches, car en effet nous devons gérer l'interface VGA, les sorties capteurs notamment de l'accéléromètre ainsi qu'une unité de calcul pour l'affichage de l'horizon. De plus, nous cherchons à réduire le plus possible les latences et avoir un dispositif qui fonctionne en temps réel.

2.1 Accéléromètre : ADXL362

Intégrer sur la carte Nexys 4 DDR, nous avons à disposition un accéléromètre sur les 3 axes. L'intérêt dans notre projet de l'utilisation d'un accéléromètre est de déterminer la rotation d'un objets à partir de l'accélération. Ainsi nous pouvons connaître le roulis (roll) et le tangage (pitch).

Le capteur fournit des données avec une résolution de 12 bit en sortie. Toutefois nous pouvons modifier la résolution dans une gamme de $\pm 2\text{ g}$, $\pm 4\text{ g}$ et $\pm 8\text{ g}$. [2]

2.1.1 Communications en série : SPI

L'accéléromètre ADXL362 fonctionne via une **Serial Peripheral Interface**, il s'agit d'une méthode de transmission de l'information via un bus de données synchrone.

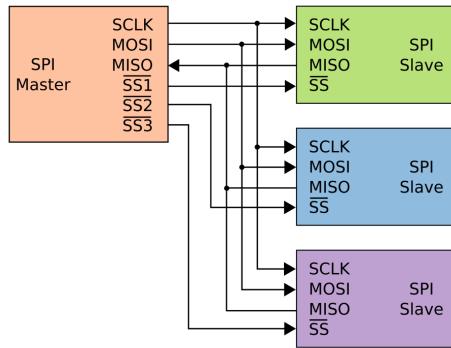


FIGURE 2.1 – Exemple du fonctionnement d'une liaison SPI

Comme illustrer sur l'illustration 2.1, les circuits communiquent par une organisation en maître-esclave. Le maître contrôle les flux de données notamment grâce à l'horloge nommée SCLK (Serial Clock). Nous avons utilisé l'interface SPI de **Diligent** afin de communiquer avec le capteur [3].

2.2 Sortie audio

La carte Nexys 4 DDR propose une sortie mono audio à avec un port Jack J8. En amont de ce port, on retrouve un filtre passe-bas Sallen-Key Butterworth d'ordre 4 [4].

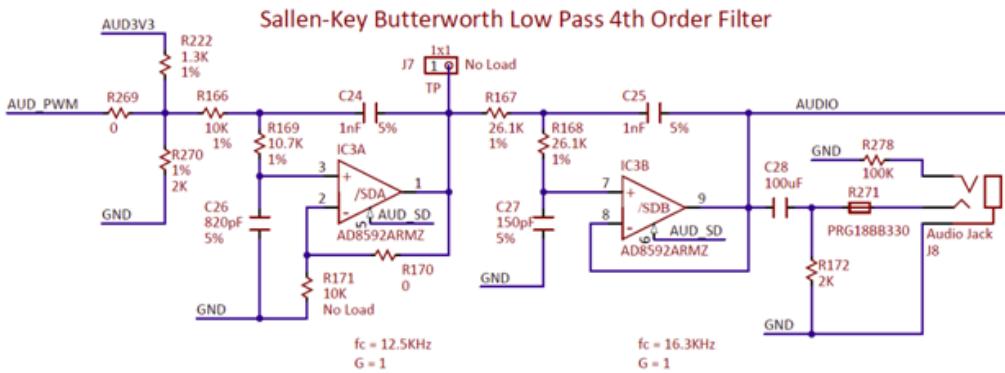


Figure 29. Sallen-Key Butterworth Low-Pass 4th Order Filter.

FIGURE 2.2 – Filtre Sallen-Key Butterworth d'ordre 4

On peut remarquer que le filtre prend en entrée un signal **AUDIO_PWM** qui est directement connecté à la broche **A11** de l'Artix-7. En sortie de ce

filtre, on peut retrouver le port Jack qui permet d'avoir accès au signal **AUDIO**.

Il s'agit d'un regroupement de deux filtres ayant chacun sa fréquence de coupure à $f_c = 12,5kHz$ et $f_c = 16,30kHz$. Ainsi, on se limitera à des sons d'une fréquence de $10kHz$.

Chapitre 3

Résultats

Cette partie a pour objectif de montrer le résultat obtenu. On peut voir ci-dessous l'indicateur visuel de notre horizon artificiel. On peut en déduire que l'avion est en virage à droite en montée.

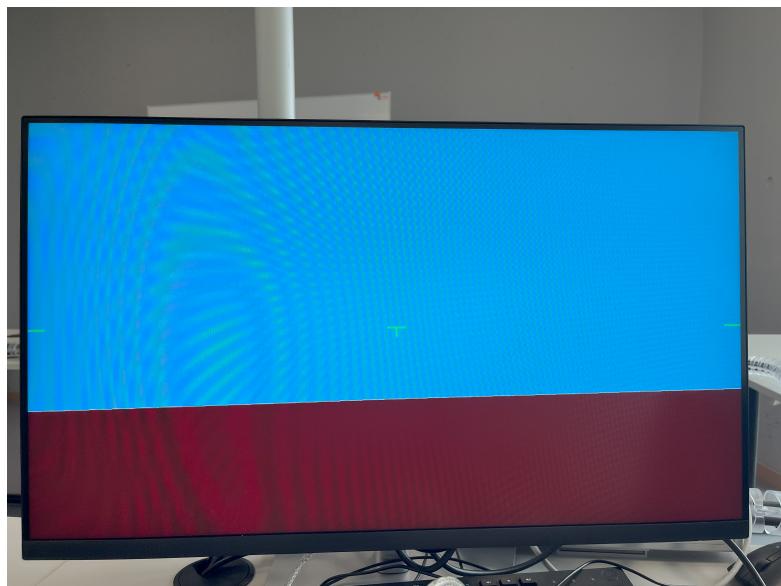


FIGURE 3.1 – Photo de l'indicateur visuel

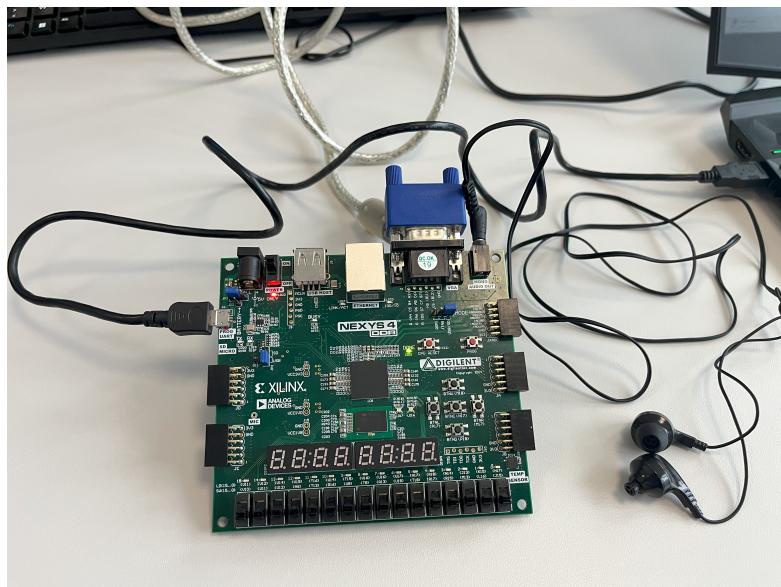


FIGURE 3.2 – Photo de la Nexys 4 DDR

Sur la figure ci-dessus, on peut observer la carte que l'on a utilisé avec les différentes sorties.

Chapitre 4

Pour aller plus loin

Bien que le projet répond au contexte et à notre idée de départ, on a quelques pistes pour développer ce projet.

4.1 Enregistrement des inclinaisons

Enregistrement des inclinaisons dans la **SRAM** de la carte. Nous cherchons à nous familiariser avec l'utilisation de la DDR 2 notamment avec le pilote **mig** de xilinx.

4.2 Graduation

On aimerait ajouter à l'avenir des graduations à l'horizon. Ces graduations permettent d'avoir une estimation rapide de l'angle de montée en pied par minute, ainsi que de l'angle en degré.

4.3 Manche

L'ajout d'un joystick jouant le rôle du manche permettrait de rendre plus immersif le projet.

4.4 Objet embarqué et autonome

Nous souhaitons rendre notre projet en objet embarqué notamment avec une batterie externe et en programmant la configuration dans la mémoire flash. De même, la réalisation d'un boîtier afin de protéger la carte.

Bibliographie

- [1] Lavionnaire, “Instruments de vol - vol horizontal,” 2024. <https://www.lavionnaire.fr/InstVolHoriz.php>.
- [2] D. Inc., “Nexys 4 ddr github,” 2017. <https://github.com/Digilent/Nexys-4-00B/blob/master/src/hdl/ADXL362Ctrl.vhd>.
- [3] D. S. Design, “Fpga-based pwm signal generation,” 2024. Available at : <https://github.com/Digilent/Nexys-4-DDR-00B/tree/master>.
- [4] D. Inc., “Nexys 4 ddr reference manual,” 2024. <https://digilent.com/reference/programmable-logic/nexys-4-ddr/reference-manual>.