

Le drone quadrirotor

*Ceci est une fiction, toute ressemblance avec des faits réels ne serait que pure et fortuite coïncidence.*¹

Marouane et Orélien, à ne pas confondre avec Marwane et Aurélien, conçoivent dans le cadre de leur projet dérivateur (très différent du projet intégrateur), un drone révolutionnaire. Comme on est des gens biens, nous allons les aider à dimensionner quelques éléments du système, et en premier, le système de communication entre la télécommande et le drone.

Le système d'acquisition choisi est illustré figure 1a. Le signal émis par la télécommande autour d'une fréquence centrale est ramené en bande de base. Il est composé de quatre sous-bandes, une pour chaque hélice. Chaque sous-bande fait 2 kHz de large. Le signal est numérisé par un convertisseur analogique numérique. La sélection des sous bandes se fera sur un FPGA grâce à des filtres numériques.

Le système sera ainsi composé des éléments suivants :

- Le convertisseur analogique numérique
- Le filtrage numérique
- La gestion de l'alimentation
- L'intégration du système sur un PCB

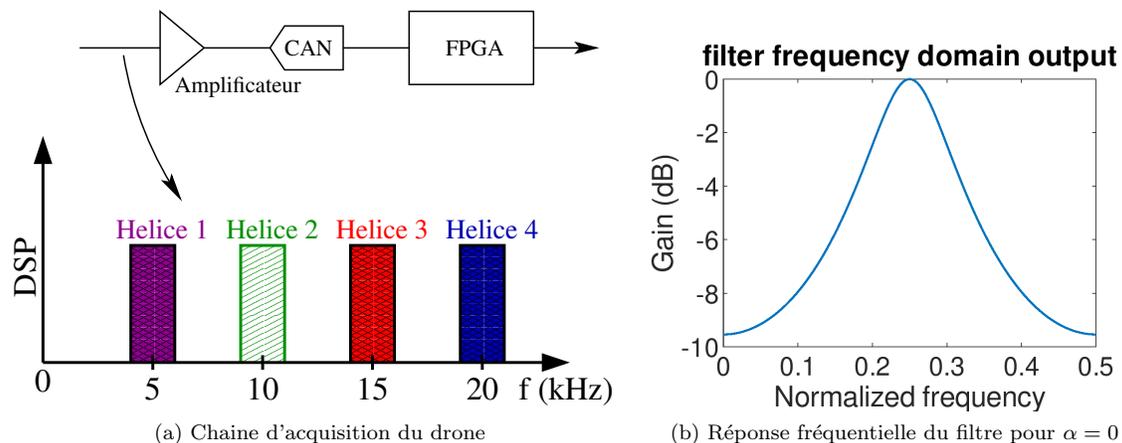


FIGURE 1 – Schéma du système et graphe du filtre

1 Convertisseur Analogique Numérique

Le signal reçu par le drone, en fonction de la distance entre la télécommande et le drone, varie entre ± 0.1 mV à ± 10 mV.

1. Un peu comme l'année dernière, il faut se réinventer a'men'donné.

Question 1.1 Sachant qu'on souhaite utiliser un CAN avec une pleine échelle allant de 0 à 5 V, que doit-on faire en amont du CAN afin d'exploiter au mieux les caractéristiques du convertisseur ?

On décide d'utiliser un CAN échantillonné à 80 kHz.

Question 1.2 Quel est le nombre de bits nécessaire pour le CAN pour assurer un rapport signal à bruit de 20 dB sur toute la plage d'entrée sur la bande 0 – 21 kHz ?

2 Filtrage numérique

Pour filtrer et isoler les quatre canaux, nous utiliserons un filtre passe-bande reconfigurable. Ce filtre sera implémenté sur le FPGA qui aura la même fréquence de fonctionnement que celle du CAN. La fonction de transfert du filtre est donnée par :

$$H(z) = \frac{1}{2 + \alpha z^{-1} + z^{-2}} \quad (1)$$

La reconfiguration se fera en faisant varier α entre -2 et 2 .

Question 2.1 Quelle est la condition nécessaire sur α pour garantir la stabilité du filtre ?

Question 2.2 Donner un schéma de réalisation possible pour ce filtre.

Question 2.3 Donner l'expression de la réponse fréquentielle $H(j\omega)$ du filtre pour le cas $\alpha = 0$. En déduire l'expression de son module.

Le module normalisé est tracé dans la figure 1b.

Question 2.4 Le filtre dans cette configuration serait adapté pour le filtrage de quelle hélice ? Justifier votre réponse.

Le signal filtré est ensuite décimé par un facteur 13.

Question 2.5 Expliquer pourquoi il est essentiel de filtrer avant de décimer. Quelle est la valeur de la fréquence d'échantillonnage f'_e après décimation ? Tracer l'allure du spectre entre 0 et f'_e en supposant que le filtre annule intégralement les canaux non conservés dans le cas $\alpha = 0$

Question 2.6 Tracer l'allure du spectre entre 0 et f'_e en supposant que le filtre annule intégralement les canaux non choisis dans le cas $\alpha = 0$.

3 Gestion de l'alimentation

Le drone, comme tout drone qui se respecte, est conçu pour voler en autonomie et effectuer à la fois des acrobaties et potentiellement de jolies prises de vues. Pour ce faire, le drone est équipé d'une batterie rechargeable qui permet d'alimenter le système de vol². Pour différentes considérations, une batterie de technologie LiPo (Lithium Polymère) et de capacité 2250 mA · h est choisie comme source principale d'énergie pour le vol. Certes plus fragiles que la batterie NiMh et nécessitant un entretien et un stockage spécifiques pour maximiser leur durée de vie, elles présentent aussi l'avantage ne pas disposer d'effet mémoire, ce qui signifie qu'il est possible de les charger même si elles n'ont pas subi un déchargement complet au préalable. La batterie sélectionnée utilise deux cellules et permet de déployer une tension de 12.1 V³.

Ayant la fibre un peu ecolo, Marouane et Orélien envisagent de charger la batterie grâce à un module photovoltaïque (PV). Ils espèrent aussi disposer d'un temps de vol "infini", le module PV fournissant idéalement suffisamment d'énergie pour répondre aux besoins du vol. Afin de minimiser les contraintes de poids, nos deux comparses choisissent la technologie développée par l'Université de Linz en Autriche qui, pour un mètre carré de cellule solaire pèse 5.2 g et produit 120 W dans des conditions standards d'ensoleillement. Le drone offre un espace carré de 15 cm de côté pouvant accueillir un petit module PV.

2. On supposera que la partie "vidéo" est alimentée par une deuxième batterie qu'on exclura de notre analyse

3. On supposera aussi que le profil de décharge est constant

Question 3.1 Sachant que le module PV est conçu pour développer une tension moyenne qui correspond à la batterie, quel est le temps moyen de charge total? ⁴

Marouane considère que ce temps de chargement est excessif et qu'il faudrait pouvoir charger la batterie en 1 h maximum.

Question 3.2 Quel est le courant moyen nécessaire pour charger la batterie dans ce laps de temps?

Vu les performances limitées du PV, Orélien s'aperçoit que la transition écologique n'est pas pour tout de suite et suggère à Marouane de concevoir un convertisseur AC-DC branché sur le secteur illustré par figure 2.

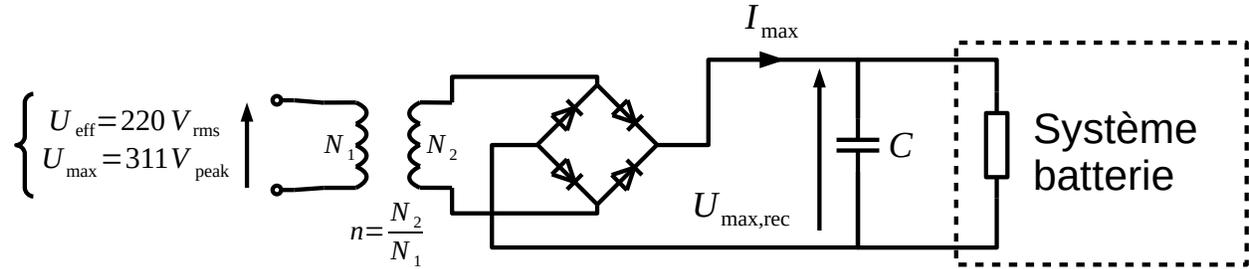


FIGURE 2 – Schéma électrique du système de charge

Question 3.3 Identifier les trois opérations réalisées par ce convertisseur?

Sachant que la tension efficace du secteur est $U_{\text{eff}} = 220 \text{ V}_{\text{rms}}$ (donc $U_{\text{max}} = 311 \text{ V}$) ⁵ et que le redresseur délivre une tension moyenne de $U_{\text{moy,rec}} = 7.7 \text{ V}$ et un courant $I_{\text{max}} = 4.5 \text{ A}$:

Question 3.4 Calculer la tension crête à la sortie du redresseur?

Question 3.5 Dédire le rapport de transformation n (rapport du nombre de spire du secondaire sur le nombre de spires du primaire du transformateur).

Le système batterie du drone fonctionne sous une tension de 12.1 V et tolère une variation maximale de 10% de cette alimentation. Un condensateur de 75 mF est utilisé pour filtrer la tension à la sortie du redresseur ($U_{\text{max,rec}}$).

Question 3.6 Calculer le taux d'ondulation de la tension de sortie après filtrage?

Question 3.7 L'utilisation d'un régulateur de tension après ce convertisseur AC-DC est elle nécessaire? Justifier votre réponse.

Question 3.8 Est-ce que ce convertisseur répond aux exigences de Marouane en termes de temps de charge?

4 Intégration sur PCB

Marouane et Orélien sont satisfaits de leur design et vont voir Carim pour la fabrication de leur PCB. Comme Carim pense que leur idée de drone est un peu farfelue, il décide de leur poser quelques questions pour être sûr qu'ils savent de quoi ils parlent.

4. On néglige les pertes dues à l'étage de conditionnement de la tension

5. La fréquence du signal issu du secteur est 50 Hz

Question 4.1 Qu'est-ce un PCB ?

- (A) un schéma
- (B) un BOM (bill of material)
- (C) circuit imprimé
- (D) une netlist

Question 4.2 Qu'est ce qu'il y a de commun entre la vue *schéma* et la vue *routage* dans le design d'un PCB

- (A) la liste des empreintes
- (B) l'emplacement exacte des composants
- (C) la liste des composants
- (D) Rien

Question 4.3 Dans un PCB 4-couches, comment s'appelle l'élément qui permet de relier deux pistes qui se trouvent dans les deux couches intermédiaires ?

- (A) une pastille
- (B) un VIA borgne
- (C) un VIA enterré
- (D) un VIA non métallisé

Question 4.4 Pourquoi dans la phase du routage il faut obligatoirement respecter les règles de dessin (DRC) ?

- (A) pour être sûr que le circuit routé réalise la même fonction que la version sur le schéma
- (B) pour se conformer aux capacités de fabrication
- (C) pour éviter un court-circuit et/ou circuit ouvert
- (D) pour réduire la surface du PCB

Sur un PCB 2-couches avec une épaisseur de cuivre de 35 μm , le courant maximal qui peut traverser une piste de section S est donné par :

$$i = 9.868 \cdot \Delta T^{0.44} \cdot S^{0.725} \quad (2)$$

où :

- i est en Ampère
- ΔT est l'augmentation de la température en degrés
- S est la section de la piste en mm^2

Question 4.5 On dispose sur un PCB 2-couches d'un bloc d'alimentation qui génère un courant de 4.5 A. Pour alimenter le reste du circuit qui doit être fonctionnel entre 25 °C et 85 °C, on utilise une piste de largeur :

- (A) 1.05 mm
- (B) 0.806 mm
- (C) 10.5 mm
- (D) Peu importe sa largeur