

Maxou, le guitariste fauché

Maxyme, un guitariste Palaisien et accessoirement thésard à Télécom Paris, voudrait acquérir une pédale WahWah mais malheureusement, il n'en a pas les moyens. Il décide donc de la concevoir et fabriquer lui-même en utilisant les infrastructures de Télécom Paris. Le WahWah est un effet modifiant la qualité voyelle d'une note. Autrement dit, il transforme un son « o » en « a » et inversement, produisant cet effet quasiment vocal. Ceci nécessite de concevoir un filtre passe bande avec une fréquence centrale reconfigurable dont la valeur est contrôlée par la pédale. Le filtrage passe bande peut se faire dans les deux domaines, analogique et numérique, mais encouragée par la devise de l'école, Maxyme décide de la réaliser en numérique.

Le schéma bloc choisi est illustré figure 1. Le signal de la guitare est ainsi conditionné et numérisé par un convertisseur analogique numérique (CAN). Le signal numérique est ensuite filtré par un filtre passe bande dont la fréquence centrale est contrôlée par la pédale. Le signal filtré est ensuite reconverti en analogique par un convertisseur numérique analogique (CNA), filtré et appliqué à un haut-parleur.

La réalisation de cette pédale WahWah nécessitera l'étude des éléments suivants :

- Les interfaces Analogiques-Numériques
- Le filtrage numérique sur DSP
- La gestion de l'alimentation
- L'intégration du système sur un PCB

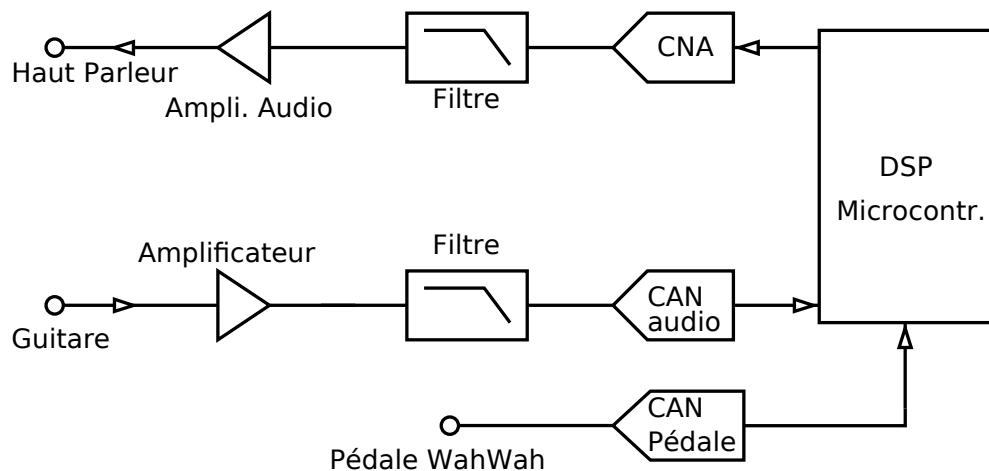


FIGURE 1 – Schéma bloc du système WahWah

1 Interface et dimensionnement système

Le signal de la guitare a une amplitude de ± 200 mV et une bande passante de 20 kHz. Le CAN a une pleine échelle de 0 à 4 V

Question 1.1 Quelle devrait être le gain et la tension moyenne en sortie de l'amplificateur afin de maximiser les performances du CAN ?

Question 1.2 Expliquez brièvement pourquoi il serait nécessaire d'avoir un filtre passe bas avant le CAN ? Ainsi qu'après le CNA ? Quelle devrait être la bande passante de ces filtres ?

La résolution ou le SNR à la sortie du CAN audio devrait être supérieure à 100 dB.

Question 1.3 Proposer un couple (fréquence d'échantillonnage f_e ; nombre de bits nb) qui permettrait d'atteindre la résolution souhaitée. Justifier votre choix. Vous pouvez considérer pour ce calcul que le signal d'entrée est une sinusoïde et que le seul bruit présent est le bruit de quantification.

2 Filtrage numérique

Pour réaliser l'effet wahwah, nous utiliserons un filtre passe-bande reconfigurable. Ce filtre sera implémenté sur un microcontrôleur échantillonné à 50 kHz. 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 Calculer les réponses impulsionnelle et indicielle du filtre pour $0 \leq n \leq 4$

Question 2.3 Donner un schéma de réalisation possible pour ce filtre.

Question 2.4 Donner l'expression de la réponse fréquentielle $H(j\omega)$ du filtre.

Le module du filtre est tracé dans la figure 2 pour différentes valeurs de α .

Question 2.5 Quelles sont, selon vous, les avantages et inconvénients de la solution proposée.

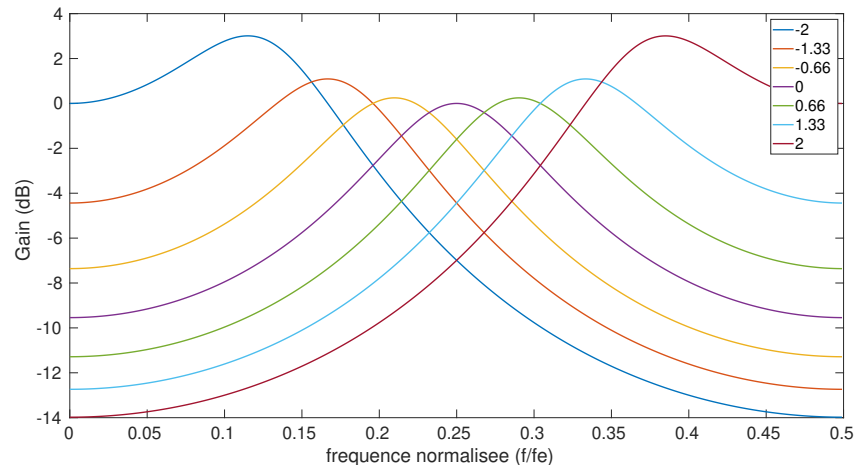


FIGURE 2 – Fonction de transfert du filtre pour différentes valeurs de α

Régulateur	Tension d'entrée [V]	Tension de sortie [V]	Courant de sortie maximal [mA]	Chute de tension (dropout voltage) [V]
A	>10	9	120	2
B	>15	9	1000	7.5
C	>8	7-15	200	1

TABLE 1 – Régulateurs linéaires pour la réalisation de la conversion DC-DC

3 Gestion de l'alimentation

Pour l'alimentation de la chaîne d'acquisition, on utilise un accumulateur (Li-Ion) avec une tension nominale de 9 V et une capacité de 900 mA·h. Le système audio consomme 1 W sous 9 V. La figure 3, illustre le schéma complet du système.

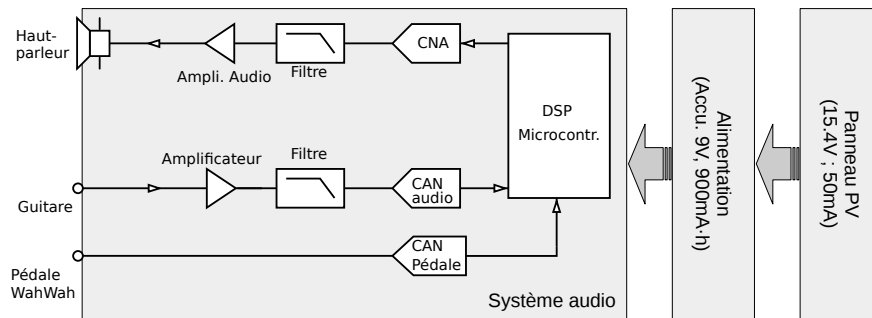


FIGURE 3 – Schéma système d'alimentation

Question 3.1 Est-il préférable de placer un régulateur entre l'accumulateur et le système audio. Si oui, peut-on utiliser un régulateur linéaire? Justifier votre réponse.

Pour charger cet accumulateur on dispose d'un panneau photovoltaïque (PV) MPT15-75 d'une puissance de 770 mW, d'une tension optimale de $V_{opt} = 15.4$ V et d'un courant nominal $I_{opt} = 50$ mA. Le chargement de l'accumulateur se fait à un courant constant $I_{ch} = 180$ mA.

Question 3.2 Justifier l'utilisation d'un convertisseur DC-DC pour l'interface entre le panneau solaire et l'accumulateur.

Pour réaliser cette conversion DC-DC on dispose des trois régulateurs du Tableau 1.

Question 3.3 Quel est le meilleur régulateur pour la réalisation de cette conversion DC-DC. Justifier votre réponse?

Nous décidons finalement d'implémenter ce convertisseur grâce au régulateur C, illustré par la Figure 4. Le courant I_{adj} est suffisamment faible pour être négligé.

Question 3.4 Calculer l'expression de la tension de sortie V_o en fonction de V_{ref} , R_1 et R_2 ?

Question 3.5 Pour $R_1 = 1$ k Ω et $V_{ref} = 2.5$ V calculer la valeur de R_2 pour avoir une tension de 9 V à la sortie du régulateur?

Question 3.6 Combien de temps faut-il pour charger l'accumulateur?

Question 3.7 Quelle est l'autonomie du système une fois l'accumulateur entièrement chargé?

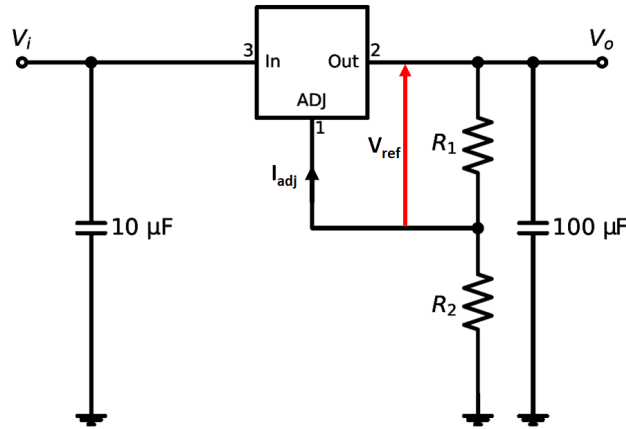


FIGURE 4 – Circuit du convertisseur DC-DC

4 Intégration sur PCB

Enfin Maxyme peut souffler, son *design* étant prêt, il va voir Carim (à ne pas confondre avec Karim) pour la fabrication du PCB. Comme Carim pense que l'idée de ce système WahWah est un peu farfelue, il décide de poser quelques questions. (Une ou plusieurs réponses sont possibles.)

Question 4.1 Qu'est-ce un PCB ?

1. un schéma
2. un BOM (bill of material)
3. circuit imprimé
4. une netlist

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

1. la liste des empreintes
2. l'emplacement exacte des composants
3. la liste des composants
4. 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 ?

1. une pastille
2. un VIA borgne
3. un VIA enterré
4. un VIA non métallisé

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

1. pour être sûr que le circuit routé réalise la même fonction que la version sur le schéma
2. pour se conformer aux capacités de fabrication
3. pour éviter un court-circuit et/ou circuit ouvert
4. pour réduire la surface du PCB