LELEC1101 - Projet d'électricité

Dimensionnement du modulateur sigma-delta

Groupe 3

de Broux Michel (8707-13-00)
Colpin Lionel (3965-12-00)
Deprez Damien (2893-13-00)
Martinelle Thibault (8737-13-00)
Paris Antoine (3158-13-00)

24 mars 2015

1 Fonctionnement et théorie

Le schéma bloc du modulateur sigma-delta se trouve à la figure 1. Ici, on choisit une bascule asymétrique.

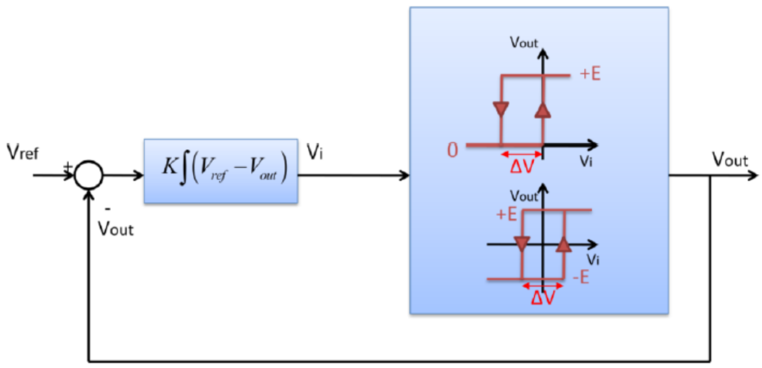

Figure 1: Schéma bloc du modulateur sigma-delta.

Dans un premier temps, calculons la période d'oscillation de la sortie (qui est identique à la période d'oscillation de V_I sur la figure 1.

On démarre avec un signal V_{ref} positif et $V_{\text{out}} = 0$. V_I est alors immédiatement positif et V_{out} sature directement à E. Comme V_{ref} est $\leq E$, V_I va maintenant décroître jusqu'à atteindre ΔV. A ce moment précis, on aura à nouveau $V_{\text{out}} = 0$ et donc V_I va croître jusqu'à atteindre 0, et ainsi de suite.

Sur base de cela, on peut facilement calculer le temps de descente t_f et le temps de montée t_r du signal V_I [1]. On trouve facilement,

$$t_f = -\frac{\Delta V}{(V_{\text{ref}} - E)K},$$

$$t_r = \frac{\Delta V}{K V_{\text{ref}}}.$$

La période T étant la somme du temps de descente et du temps de montée, on trouve

$$T = \frac{\Delta V}{K}\left(\frac{1}{V_{\text{ref}}} - \frac{1}{V_{\text{ref}} - E}\right)$$

et donc finalement

$$f = -\frac{K}{\Delta V}\frac{V_{\text{ref}}(V_{\text{ref}} - E)}{E}.$$

Remarque A partir du temps de descente et du temps de montée, on peut prouver que la moyenne du signal carré V_{out} vaut bien V_{ref}. Il suffit de démontrer l'égalité suivante

$$\frac{E \cdot t_f + 0 \cdot t_r}{T} = V_{\text{ref}}.$$

La figure 2 représente un graphe de cette relation.

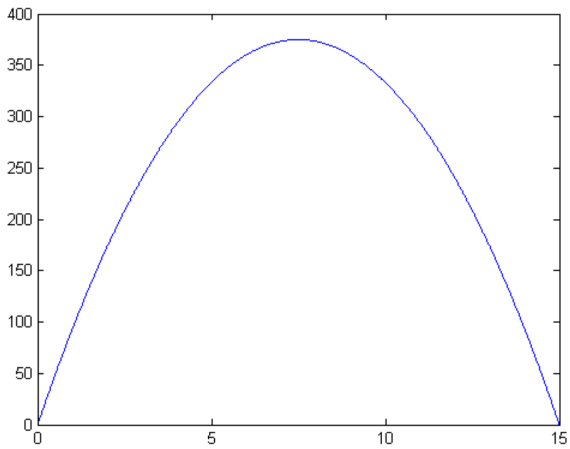

FIGURE 2: Graphe de la fréquence en fonction de V_{ref} pour $\Delta V = 0.1$ V et $K = 10$ s.

On peut faire plusieurs observations à propos de la figure 2. Premièrement, la fréquence de sortie maximale est atteinte pour $V_{\text{ref}} = \frac{E}{2}$ et vaut

$$f_{\max} = \frac{K}{\Delta V}\frac{E}{4}.$$

1. Ce signal sera soit un signal triangulaire, soit un signal en dents de scie, selon la valeur de V_{ref}.

Ensuite, pour un signal V_{ref} sinusoïdal dont l'amplitude peut être négative, la fréquence sature. Or, dans le cas de notre synthétiseur, le signal V_{ref} est la sortie de notre VCO (après passage dans un filtre pour en extraire une sinusoïdale pure). Il faudra donc "déplacer" la courbe de la figure 2 de manière à ce qu'elle soit centré autour de l'origine.

2 Dimensionnement et circuit réel

Le circuit du modulateur sigma-delta est représenté à la figure 3.

img/sigma-delta-circuit.png

Figure 3: Circuit du modulateur.

On va résoudre ce circuit pour obtenir des équations de la même forme que celles de la figure 1. On se concentre d'abord sur l'amplificateur opérationnel. Grâce à la boucle de contre réaction négative, on peut dire $v_- = v_+ = 0$. On peut ensuite obtenir les courants suivants

$$i_{R_4} = \frac{V_{\text{ref}}}{R_4},$$

$$i_{R_6} = \frac{V_{\text{ee}}}{R_6},$$

$$i_{R_3} = \frac{V_{\text{out}}}{R_3},$$

$$i_{C_1} = -C_1 \frac{\mathrm{d}v_{\text{in}}}{\mathrm{d}t}.$$

On applique ensuite KCL et on écrit

$$i_{C_1} = i_{R_4} + i_{R_6} + i_{R_3}.$$

De cette relation, on tire

$$v_{\text{in}} = -\frac{1}{C_1} \int \frac{V_{\text{ref}}}{R_4} + \frac{V_{\text{ee}}}{R_6} + \frac{V_{\text{out}}}{R_3}.$$

Pour se ramener à l'équation de la figure 1, on pose $V'_{\text{ref}} = -R_3(\frac{V_{\text{ref}}}{R_4} + \frac{V_{\text{ee}}}{R_6})$ pour enfin obtenir

$$v_{\text{in}} = \frac{1}{C_1 R_3} \int V'_{\text{ref}} - V_{\text{out}}$$

où V'_{ref} correspond au V_{ref} de la figure 1.

Pour dimensionner le modulateur, on doit respecter plusieurs contraintes. Premièrement la fréquence pour $V_{\text{ref}} = 7.5$ V doit être de 80 kHz. Et deuxièment, on doit déplacer la courbe de la figure 2 de manière à ce que ces racines soient -15 V et $+15$ V. Enfin, on doit choisir ΔV de manière à ce que la bascule ne soit pas sensible au bruit (quelques millivolts).

On va directement anticiper une non-idéalité de la bascule, la valeur de saturation E n'est pas égale à la tension d'alimentation. On a plutôt $E \approx 13.5$ V.

Pour centrer la parabole, il faut que $\frac{R_3}{R_6} V_{\mathrm{ee}}$ soit égale à 6.75 V. Il faut ensuite étirer la parabole de manière à ce que ses racines soient ± 15 V. Il faut donc $\frac{R_3}{R_4} = 0.45$.

En utilisant des valeurs de composants standards (série de Renard E12). On peut choisir, $R_3 = 22$ kΩ et $R_4 = R_6 = 48.5$ kΩ.

On passe ensuite à la contrainte sur la fréquence. On a comme relation

$$\frac{K}{\Delta V} \frac{E}{4} = 80000.$$

On peut fixer arbitrairemet ΔV à 1 V. On a alors $K = \frac{1}{C_1 R_3} = 23703.7037$ et donc $C1 = 1.9$ nF. Enfin, comme $\Delta V = \frac{R_1}{R_2} E$, on peut par exemple choisir $R_1 = 10$ kΩ et $R_2 = 134.6$ kΩ.

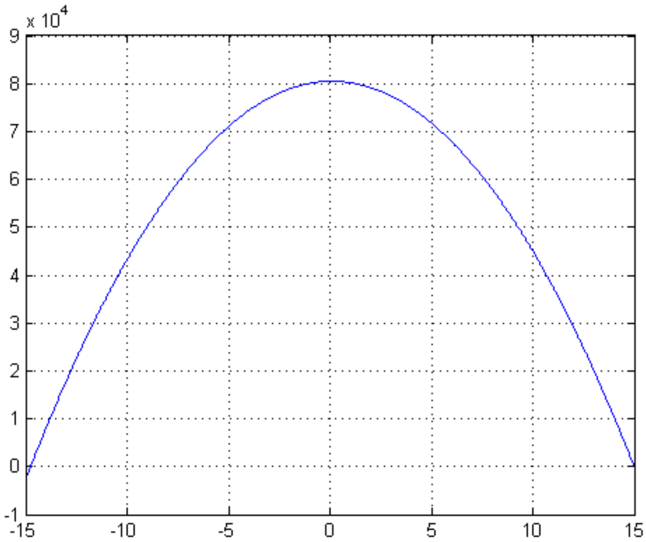

FIGURE 4: Graphe de la fréquence en fonction de la tension d'entrée pour le modulateur dimensionné.

Pour appliquer la signal de sortie du modulateur à l'étage suivant du circuit, il faudra utiliser un diviseur résistif car l'étage suivant ne supporte pas des entrées supérieures à 5 V.