

LELEC1101 - Projet d'électricité

Le clavier

12 mai 2015

Le clavier considéré ici comprend 12 touches, une pour chaque note et sa dièse correspondante. Quatre autres boutons permettent de passer d'une octave à une autre. Le clavier permet de générer des fréquences allant de 523.25 Hz à 7902.1 Hz et couvre donc les octaves 5 à 8.

La figure 1 représente le circuit du clavier. Le clavier est composé de deux réseaux de diviseurs résistifs. Le réseau constitué des quatre potentiomètres permet de gérer les octaves tandis que le réseau constitué des douze résistances correspond aux notes et aux dièses correspondantes.

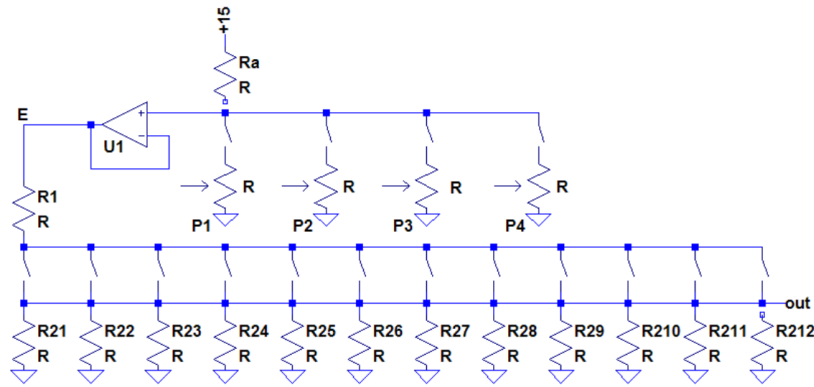


FIGURE 1: Circuit du clavier.

La tension étiquetée **out** sur la figure 1 sera appliquée à l'entrée du VCO¹, qui produira ensuite à sa sortie un signal périodique dont la fréquence est directement proportionnelle à l'entrée, selon la convention 1 mV correspond à 1 Hz. Cette tension out est donnée par la formule

$$\text{out} = E \frac{R_{2i}}{R_{2i} + R_1} \text{ avec } i = 1 \dots 12.$$

Le dimensionnement complet du clavier se base sur cette formule. En dimensionnant dans un premier temps le clavier pour l'octave 8, l'obtention de l'octave 7 est immédiate en divisant la tension E par deux, et ainsi de suite pour l'octave 6 et 5. C'est précisément le rôle du réseau de diviseurs résistifs constitué par les potentiomètres. L'utilisation de potentiomètres à la place de simples résistances permet de "calibrer" le circuit afin de conserver une bonne précision (car en pratique l'alimentation ne vaut pas exactement 15 V). Des valeurs de potentiomètres différentes sont utilisées afin de permettre un calibrage plus simple. Arbitrairement, E vaut 14 V pour l'octave 8 et est divisé par 2 pour chaque octave inférieure.

La présence d'un amplificateur suiveur entre ce premier réseau de diviseurs résistifs et le suivant est indispensable pour éviter les rendre indépendants.

1. Il est essentiel de prendre la tension à cet endroit, et non avant les interrupteurs. Cela permet au clavier de ne générer une tension non-nulle que quand une touche est pressée.

Le tableau 1 résume les résultats du dimensionnement du clavier. Seules les valeurs standard de la série de Renard E12 ont été utilisées. En utilisant une combinaison de 3 résistances en séries ou en parallèles, une erreur inférieure à 0.01% est garantie (sans tenir compte des tolérances des résistances). En utilisant une combinaison plus économique de seulement 2 résistances, des erreurs bien plus grandes peuvent survenir (de l'ordre de 0.10% à 0.30%). Une telle erreur est encore raisonnable pour l'oreille humaine qui ne peut pas différencier deux sons dont la fréquence ne diffère pas de plus de 0.6%[1]. Cependant, ces erreurs risquent encore d'être amplifiées dans les blocs suivant du synthétiseur, il est donc préférable de les minimiser au maximum dans ce premier bloc.

Résistance	Valeur (en k Ω)
R_1	10
R_{21}	82 (15 + 0.390)
R_{22}	3.3 + (680 8.2)
R_{23}	10 + (0.120 2.7)
R_{24}	22 (0.330 + 15)
R_{25}	15 1000 18
R_{26}	100 220 8.2
R_{27}	150 (0.150 + 6.8)
R_{28}	8.2 39 56
R_{29}	4.7 + (0.820 270)
R_{210}	220 (0.470 + 4.7)
R_{211}	0.056 + (4.7 180)
R_{212}	2.7 + (1.8 12)

Résistance	Valeur (en k Ω)
R_a	0.47
P_1	maximum 10
P_2	maximum 1
P_3	maximum 0.47
P_4	maximum 0.1

TABLE 1: Résumé du dimensionnement du clavier.

Le tableau 2 donne quant à lui les valeurs mesurées de la tension out. Les imprécisions s'expliquent par les imprécisions des résistances et/ou du calibrage.

Octave \rightarrow Note \downarrow	5	6	7	8
C	510 mV (-2.53%)	1040 mV (-0.62%)	2100 mV (+0.33%)	4160 mV (-0.86%)
C#	547 mV (-1.26%)	1100 mV (-0.78%)	2230 mV (-0.58%)	4460 mV (-0.565%)
D	570 mV (-2.95%)	1180 mV (+0.45%)	2390 mV (+1.73%)	4720 mV (+0.45%)
D#	590 mV (-5.18%)	1240 mV (-0.36%)	2510 mV (+0.84%)	4950 mV (-0.56%)
E	640 mV (-2.92%)	1305 mV (-1.02%)	2640 mV (+0.11%)	5200 mV (-1.40%)
F	680 mV (-2.64%)	1390 mV (-0.49%)	2790 mV (-0.14%)	5500 mV (-1.56%)
F#	720 mV (-2.70%)	1470 mV (-0.67%)	2950 mV (-0.34%)	5840 mV (-1.35%)
G	770 mV (-1.78%)	1560 mV (-0.51%)	3140 mV (+0.13%)	6180 mV (-1.46%)
G#	830 mV (-0.07%)	1660 mV (-0.07%)	3350 mV (+0.8%)	6600 mV (-0.6%)
A	860 mV (-2.27%)	1750 mV (-0.57%)	3510 mV (-0.28%)	6940 mV (-1.42%)
A#	915 mV (-1.86%)	1850 mV (-0.79%)	3730 mV (+0.02%)	7380 mV (-1.05%)
B	970 mV (-1.79%)	1960 mV (-0.78%)	3960 mV (+0.22%)	7790 mV (-1.42%)

TABLE 2: Résumé des mesures effectués avec erreur relative calculées par comparaison avec le tableau suivant http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_pitch_notation#Table_of_note_frequencies. Certaines lignes manquent car nous n'avions pas les bonnes résistances.

Pour améliorer la précision du clavier, on peut :

- Utiliser des potentiomètres à la place des combinaisons de résistances, et calibrer le clavier

- avant chaque utilisation. Cependant cette solution n'est ni économique (un potentiomètre coûte beaucoup plus cher qu'une résistance) ni pratique (nécessitera un long calibrage) ;
- Utiliser des résistances plus précises ($\pm 1\%$ par exemple) ;
 - Mesurer chaque résistance utilisée et remplacer celles dont la valeur est trop imprécise par une autre plus précise.

Références

- [1] Jacob Benesty, M. Mohan Sondhi, and Yiteng Huang. *Springer Handbook of Speech Processing*, page 65. Springer, 2008.