

I) Introduction

Quand on écoute de la musique sur un baladeur et que cette musique est gravée sur un CD, on sait que l'enregistrement a été fait sous forme de 0 et de 1. Un dispositif appelé « convertisseur numérique analogique » (CNA) est chargé de transformer les suites vertigineuses de ces deux chiffres en un signal électrique analogique qui après amplification, est dirigé vers les écouteurs. En fait, une telle transformation doit être effectuée dans tous les domaines d'activité car l'informatique est partout utilisée pour le stockage de données.

Pour obtenir les données qui sont stockées sous forme numérique, toujours sous la forme de suites ordonnées de 0 et de 1, il faut transformer les données analogiques en données numériques. Pour cette opération, on utilise un CAN ou convertisseur analogique numérique.

II) Qu'est-ce qu'un signal analogique ?

La tension électrique appliquée aux bornes d'un haut-parleur constitue un bon exemple de signal électrique. En effet, le son produit par le haut-parleur étant éminemment variable, il en est de même pour la tension électrique qui lui donne naissance.

On note $u = f(t)$ cette tension électrique. À tout instant t , la valeur prise par u sera caractéristique de la fonction f . Puisqu'il s'agit de reproduire un son, il s'agit de reproduire un signal sonore caractérisé à chaque instant par sa hauteur (ou sa fréquence), son amplitude (ou sa puissance), son timbre (ou la richesse des harmoniques associées à la fréquence du son). La tension u doit évidemment contenir la richesse du son qu'elle doit produire.

Question 1:

Tracer une courbe $u = f(t)$ constante et valant 2 V pendant 1 ms.

Échelles : 2 cm pour 1 V ; 0,5 cm pour 0,1 ms.

On pourra effectuer le tracé à la main ou à l'aide du logiciel Hermès.

Question 2:

Tracer une courbe $u = f(t)$ variant comme un sinus et allant jusqu'à 2 V en 0,5 ms entre $t = 0$ et $t = 1$ ms, mêmes échelles.

Question 3:

Quelle serait la fréquence du son que produirait cette dernière tension si elle était appliquée à un haut-parleur ?

III) Comment fabriquer un signal à partir de valeurs élémentaires ?

Le son est un processus dynamique en ce sens qu'il est susceptible de changer à chaque instant. Pour rendre compte du fait que le son change au fur et à mesure que le temps passe, on choisit de modifier sans cesse la valeur attribuée à $u(t)$; comme il s'agit d'une procédure qu'il faut sans cesse recommencer, on fixe une durée Δt au bout de laquelle on change la valeur attribuée à u . L'inverse de cette durée Δt est la fréquence d'échantillonnage. Pour la musique enregistrée sur les CD, cette fréquence vaut 44 kHz. Cela signifie que 44 000 fois par seconde, un logiciel doit fournir (par l'intermédiaire d'un amplificateur électronique) au haut-parleur une valeur $u(t)$ de la tension qui va produire la musique reproduite à partir du CD.

Pour chacun de ces instants t , une valeur de $u(t)$ est établie. Cette valeur impose la puissance sonore instantanée.

La façon dont la valeur de $u(t)$ varie entre deux instants séparés par Δt permet de reproduire la fréquence du son et son timbre, parce que la fréquence d'échantillonnage est nettement plus grande que la zone des fréquences pour laquelle la sensibilité de l'oreille humaine est la plus grande et qu'elle est aussi plus grande que les plus hautes fréquences que le haut-parleur peut reproduire.

Il faut donc fabriquer $u(t)$ à l'instant t ; $u(t + \Delta t)$ à l'instant $t + \Delta t$; $u(t + 2\Delta t)$ à l'instant $t + 2\Delta t$, ..., la valeur absolue de $u(t)$ devant rester comprise dans un certain intervalle $[0; U_{\max}]$.

Le nombre des valeurs possibles que peut prendre $u(t)$ est en fait défini par le nombre de bits qui sont lus en même temps, c'est-à-dire par la taille des mots qui servent à enregistrer le signal.

On sait que 1 seul bit donne les valeurs 0 ou 1 ; que 2 bits donnent les 4 valeurs 00 - 01 - 10 - 11 ; que 8 bits, soit 1 octet, donne 256 ($2^8 = 256$) valeurs allant de 00000000 à 11111111.

Question 4:

Entre quelles valeurs le codage sur 16 bits donne-t-il des résultats ? Comment s'écrivent-ils ? Combien y en a-t-il ?

En résumé, la meilleure reproduction de la tension $u(t)$ sera obtenue en augmentant la fréquence d'échantillonnage et en augmentant la taille des mots utilisés pour le codage (par exemple, un codage sur 32 bits donne la bagatelle de 4 294 967 296 valeurs différentes). On voit alors que le nombre de données à stocker augmente vite si on souhaite mieux affiner la reproduction de $u(t)$. C'est la raison des recherches sur les méthodes non destructives de compression des données.

La sensibilité Δu dans la reproduction de la tension u à une date t est définie par la plus petite variation de la valeur de u qui peut être reproduite. Elle correspond à la valeur, en tension, du bit de poids le plus faible, qui vaut $\frac{U_{\max}}{2^n - 1}$, où n est le nombre de bits des mots. La valeur de codage 0 (niveau logique 0) correspond à une tension nulle. La valeur maximale de codage (niveau logique 1) est fixé à 5,0 V. Cet écart de 5 V est nécessaire pour tenir compte de la technologie électronique utilisée.

La sensibilité du dispositif vaut alors, en Volts : $\Delta u = \frac{5}{2^n - 1}$.

Pour un octet, on a alors $\Delta u = \frac{5,0}{255} = 0,020 \text{ V} = 20 \text{ mV}$.

Question 5:

Que vaut Δu avec un mot de 16 bits ?

Quand la tension maximale fournie par le convertisseur vaut 5,00 V, on revient à la valeur de U_{\max} en utilisant un amplificateur de tension de gain $\frac{U_{\max}}{5}$.

Question 6:

Quel gain faut-il choisir pour le signal utilisé à la question 2 ?

Question 7:

En prenant une valeur de la fréquence d'échantillonnage égale à 5 kHz, représenter la courbe remplaçant le sinus entre $t = 0$ et $t = 1 \text{ ms}$, avec les mêmes échelles. La fréquence d'échantillonnage choisie est-elle bien adaptée à ce signal ?

IV) Un exemple de dispositif utilisable pour 2 bits

On considère le dispositif de la figure 1, constitué d'une source de tension de valeur E , qui peut être connectée par les points E_1 et E_2 à des résistances de valeur $2R$, elles-mêmes étant reliées à une résistance de valeur R ou à une autre résistance de valeur $2R$. Cette dernière est mise à la masse par son autre extrémité. La résistance reliée à E_1 peut, au lieu de cela, être mise à la masse. Il en est de même pour la résistance reliée à E_2 .

Question 8:

Combien y a-t-il de valeurs possibles pour la tension U_{SM} ?

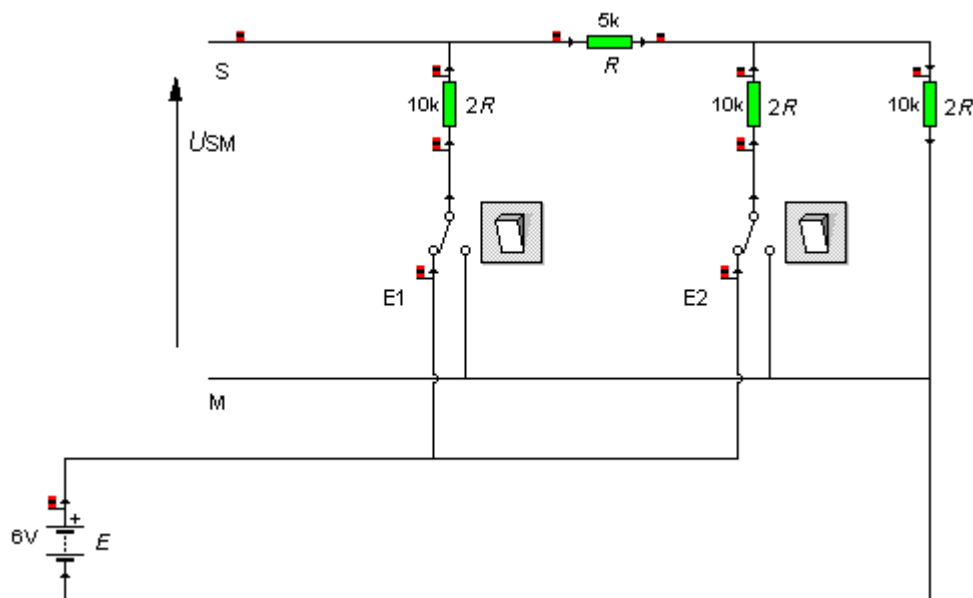
Question 9:

Montrer, par un calcul d'association de résistances, que la plus petite valeur non nulle vaut $\frac{E}{4}$?

Par la suite on admettra que $\Delta u = \frac{E}{2^n}$.

Question 10:

Donner toutes les valeurs possibles en précisant comment les obtenir.

FIG. 1 – Réseau $R - 2R$ à 2 bits**Question 11:**

À l'aide du logiciel *Crocodile Physics*, reproduire le schéma du montage, le copier dans le compte rendu et noter les tensions U_{SM} correspondant aux diverses positions des interrupteurs. Vérifier qu'elles correspondent aux résultats des calculs précédents.

Réaliser le montage sur la platine (il faut utiliser cinq résistances *identiques*), demander sa vérification par le professeur, appliquer ensuite une tension de 6 V (le commutateur du générateur est placé sur continu).

Question 12:

Donner les valeurs de la tension U_{SM} lues sur le voltmètre, en indiquant les valeurs retenues pour E_1 et E_2 .

V) Simulation d'un montage $R-2R$ à l'aide du logiciel de simulation *Crocodile Physics*

Ouvrir, dans *Crocodile Physics*, le fichier R2R.cyp : sur le schéma du montage, on distingue quatre interrupteurs inverseurs (voir figure 2). Le plus à droite correspond au bit de poids le plus faible.

En simulant la manoeuvre des 4 interrupteurs, on obtient 16 valeurs différentes de la tension fournie par le circuit, cette tension étant, ici, affichée par le voltmètre.

Question 13:

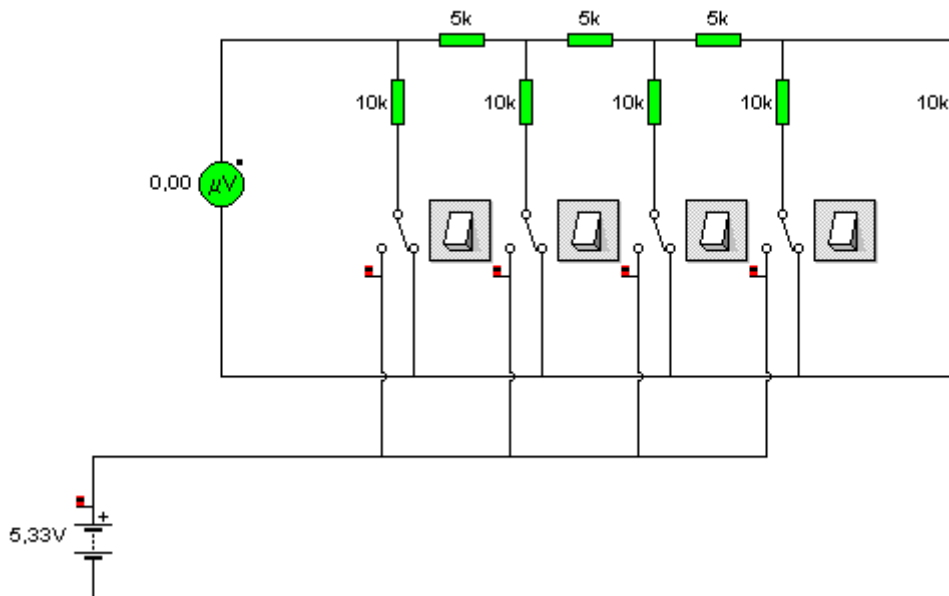
Dans le compte-rendu, introduire un tableau qui donnera les 16 tensions en fonction des positions respectives des 4 interrupteurs, les tensions étant rangées par valeurs croissantes.

VI) Le montage $R - 2R$ sur 4 bits

Réaliser le montage indiqué par le schéma du fichier R2R.cyp. Pour cela, Il faut utiliser 11 résistances identiques : vérifier que les résistances qui vous sont confiées sont identiques, à quelques ohms près.

Placer les résistances en respectant la disposition du schéma, en haut de la plaquette.

Choisir deux points de la plaquette, l'un à gauche, qui jouera le rôle de borne positive et sera donc relié par un long fil à la borne + du générateur, l'autre à droite, à la borne inférieure

FIG. 2 – Réseau $R - 2R$ à 4 bits

de la résistance de valeur $2R$ la plus à droite, qui jouera le rôle de borne négative et sera donc relié par un long fil à la borne du générateur.

Connecter quatre fils courts de quatre couleurs différentes, chacune à la borne inférieure de l'une des résistances de valeur R : ces quatre fils, chacun indépendamment des trois autres, doivent constamment être connectés soit à la source (borne positive) soit à la masse car ils remplacent les interrupteurs inverseurs que nous n'avons pas au laboratoire.

Question 14:

En s'inspirant du tableau précédent, dresser un tableau de toutes les tensions pouvant être produites par ce dispositif, avec le générateur disponible, en précisant l'état de chacun des quatre bits.

Question 15:

Pourquoi la tension maximale produite est-elle inférieure à la tension d'alimentation ?