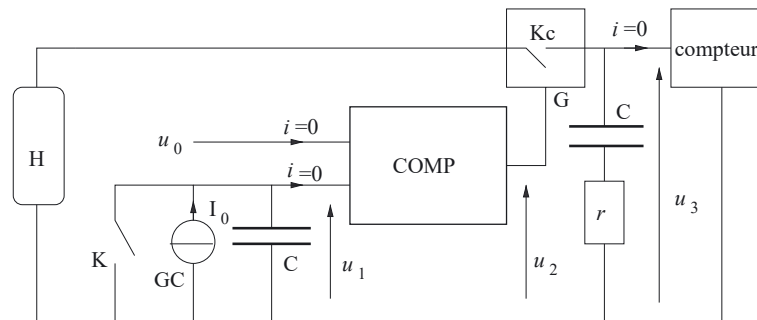


DM 1 : Électronique numérique

1 Convertisseur analogique/numérique à compteur d'impulsions

Un convertisseur analogique/numérique doit transformer un signal continu (une tension ici) dont la mesure est par exemple 7,31 V en un nombre entier, 7 si la précision est le volt, ou 73 si la précision est le déci-Volt, etc... Dans le montage suivant :

- H est une horloge fournissant une tension crêteaux de période T, valant 0 si $t \in [nT, nT + \frac{T}{2}[$, +15 V si $t \in [nT + \frac{T}{2}, (n+1)T[$;
- GC est un générateur de courant assurant une intensité constante I_0 dans sa branche ;
- COMP est un comparateur, qui délivre une tension $u_2 = +15$ V si $u_1 > U_0$, et $u_2 = -15$ V si $u_1 < U_0$;
- Kc est un interrupteur commandé par la gâchette G, il est fermé si le potentiel de la gâchette est négatif, ouvert s'il est positif ;
- le compteur, remis à zéro entre deux acquisitions, compte le nombre d'impulsions, une impulsion étant un basculement de la tension u_3 de 0 à +15 V.



À $t = 0$, l'interrupteur K passe de la position fermée à la position ouverte et u_0 est la tension qu'on veut numériser ; on la suppose constante pendant le processus de conversion.

1. Établir l'expression de $u_1(t)$.
2. Sur un même graphique, tracer l'allure des courbes $u_0(t)$ et $u_1(t)$ avec les valeurs numériques $u_0 = 7,31$ V, $T = 1,0$ ms, $I_0 = 10$ mA et $C = 10$ μ F.
3. En déduire l'évolution dans le temps de u_3 en supposant que $rC \ll T$. Combien d'impulsions le compteur a-t-il compté ?
4. En déduire qu'on a ainsi réalisé un convertisseur analogique/numérique dont la précision est le volt. Comment modifier ce dispositif pour obtenir une précision du déci-Volt ?

2 Mouvement apparent

Un robinet mal fermé laisse couler trois gouttes par seconde. Il est situé à 5,00 m du sol et on donne $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

5. Combien de gouttes sont en vol à un instant donné ?
6. Que voit-on si on éclaire le dispositif avec un stroboscope dont la fréquence des éclairs est $f_e = 3,00 \text{ Hz}$?
7. Que voit-on si on éclaire le dispositif avec un stroboscope dont la fréquence des éclairs est $f_e = 2,90 \text{ Hz}$? Combien de gouttes semblent sortir du robinet par seconde dans ce cas ?
8. Que voit-on si on éclaire le dispositif avec un stroboscope dont la fréquence des éclairs est $f_e = 3,10 \text{ Hz}$? Quelle est la vitesse apparente d'une goutte qui semble quitter le sol ?

3 Multiplexage

Le multiplexage a été développé pour limiter la mise en place de câbles trop nombreux, en faisant circuler sur une même ligne N communications téléphoniques simultanées. La qualité cherchée dans le signal vocal est sommaire et se limite à la bande spectrale [300 Hz, 3 400 Hz]. Le signal multiplexé est une suite cyclique d'échantillons de chacun des signaux sonores, chaque échantillon étant codé sur un octet :

- le signal sonore de la première conversation est échantillonné et codé ;
- puis celui de la deuxième conversation est échantillonné et codé ;
- puis celui de la troisième, et ainsi de suite jusqu'à la $N^{\text{ième}}$;
- les deux octets suivants sont réservés à la gestion du réseau téléphonique ;
- cette suite de $N+2$ octets forme une trame ;
- on revient alors au premier signal sonore, qu'on échantillonne et qu'on code, et ainsi de suite.

Le débit maximal d'une ligne donnée est 256 ko par seconde.

9. Calculer la valeur maximale de N sachant que $N+2$ est une puissance de 2.
10. Calculer dans ce cas la fréquence d'échantillonnage.

4 Théorème de Shannon

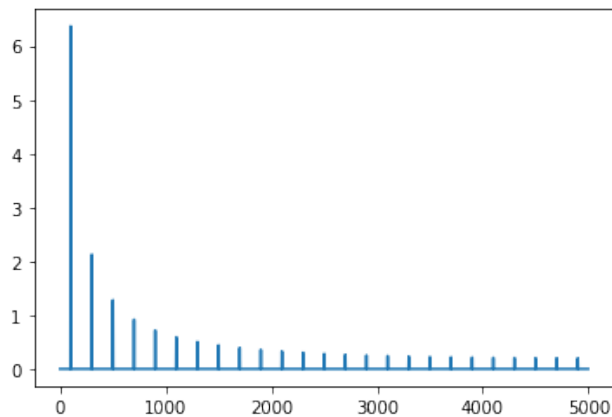
On souhaite réaliser l'échantillonnage d'un signal $s(t)$. Les paramètres de l'échantillonnage sont : N nombre de points et f_e fréquence d'échantillonnage.

11. Que valent la période d'échantillonnage et l'intervalle minimum entre deux raies pour $N = 1000$ et $f_e = 20 \text{ kHz}$. Comment s'applique le théorème de Shannon dans ces conditions ? Comment diminuer l'intervalle minimum entre deux raies ? Comment échantillonner un signal de fréquence plus élevée ?
12. Le nombre de points d'échantillonnage est imposé pour un oscilloscope. Proposer une valeur de t_{obs} pour visualiser deux signaux sinusoïdaux de fréquences 4000 et 4020 Hz avec $N = 4096$.

13. On souhaite visualiser le spectre de Fourier d'un signal créneau d'amplitude 5,0 V et de fréquence 100 Hz. Le programme suivant en Python permet de visualiser un signal et le spectre de Fourier. Cet algorithme sera utilisé dans l'exercice suivant. Proposer une valeur de N et de la fréquence d'échantillonnage.

```
[2]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
N = 4000
F = 100
Fe = 10000
Te, deltaF = 1/Fe, Fe/N
T = 1/F
vT, vF = np.arange(N)*Te, np.arange(N)*deltaF
S = np.zeros(N)
Nb_pts_signal = round(T/Te)
for i in range(N) :
    j = i % Nb_pts_signal #j=modulo(i, Nb_pts_signal)
    if j < (Nb_pts_signal/2) :
        S[i] = 5
    else :
        S[i] = -5
TF_Se = np.fft.fft(S)
plt.plot(vF[:N//2], 1/N*2*abs(TF_Se[:N//2]))
#spectre corrigé en divisant par N et *2
#car fonction paire de la TF.
```

[2]: [<matplotlib.lines.Line2D at 0x1f6d9796160>]



5 Filtrage numérique avec Python

On souhaite réaliser un filtrage numérique avec un passe-bas du premier ordre. La période d'échantillonnage est notée T_e . Le signal numérisé est stocké dans une liste de taille N , notée V_E , contenant l'ensemble des valeurs $V_E(nT_e)$ accessible par la commande $V_E[n]$ avec $n \in [0, N - 1]$ en Python.

14. Déterminer l'équation différentielle reliant l'entrée V_E et la sortie V_S aux bornes du condensateur pour un circuit RC série. Définir ω_c , la pulsation de coupure à -3 dB.
15. On veut construire la suite $V_S[k] = V_S(kT_e)$ pour k variant de 0 à $N - 1$. Intégrer l'équation différentielle entre les points de mesures kT_e et $(k + 1)T_e$. On utilise la méthode des trapèzes $\frac{V_S(k+1)T_e + V_S(kT_e)}{2}T_e$, pour évaluer l'intégrale de la tension de sortie entre kT_e et $(k + 1)T_e$. Montrer que la relation de récurrence peut se mettre sous la forme :

$$V_S[k + 1] = AV_S[k] + B(V_E[k + 1] + V_E[k])$$

Exprimer A et B en fonction de T_e , et ω_c .

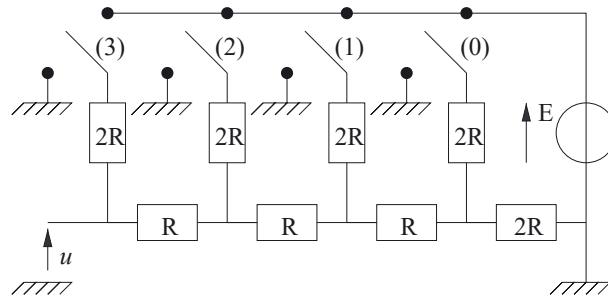
16. On part de $V_S[0] = 0$. En s'aidant de l'énoncé de l'exercice précédent, réaliser un programme Python permettant de créer un signal d'entrée constitué de 1024 points avec une fréquence d'échantillonnage de 1200 Hz, le signal de sortie après passage dans le filtre et la visualisation du signal et du spectre des signaux d'entrée et de sortie. Quel est le spectre de Fourier des signaux d'entrée et de sortie ?

6 Convertisseur numérique/analogique 4 bits

Une tension numérique est codée sur $N = 4$ bits :

$$u_e = \epsilon_0.2^0 + \epsilon_1.2^1 + \epsilon_2.2^2 + \epsilon_3.2^3 \text{ avec } \forall k \in \{0, 1, 2, 3\}, \epsilon_k = 0 \text{ ou } 1$$

Dans le montage suivant, l'état du bit k agit sur l'interrupteur k , en position masse si $\epsilon_k = 0$, en position E si $\epsilon_k = 1$.



17. Combien de valeurs différentes peut prendre u_e ?
18. Déterminer l'expression de u en fonction de E et des valeurs des ϵ_k .
19. En déduire l'utilité de ce montage.

7 En bonus :

N'importe quel(s) exos(s) des précédents TD non corrigé en classe dont vous voulez la correction