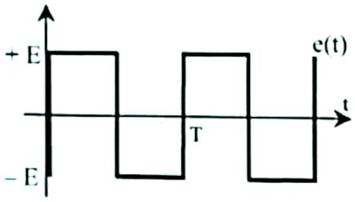
Nom Etudiant-e : … … Julian … BARKOUDEH … … … … … … … Date : … … … … …

A – Travail Préparatoire. *(activité(s) : étude préparatoire / rédaction - temps maximal = 35 min)*

On souhaite filtrer un signal rectangulaire e(t) *(représenté ci-dessous)*, de valeur crête *(ou amplitude)* **E = 2,5V**, de période **T = 1ms**, pour récupérer uniquement sa composante fondamentale.



Sa décomposition en série de Fourrier s'écrit :

$$e(t) = \frac{4E}{\pi}\sin(\omega t) + \frac{4E}{3\pi}\sin(3\omega t) + \frac{4E}{5\pi}\sin(5\omega t) + \dots$$

On réalisera, pour cela, **un filtre passe-bas à réponse de Butterworth** *(construit à partir d'un circuit à capacités commutées « MF10 » (voir datasheet en ligne) alimenté en +/- 5 V)*.

A la sortie du filtre, on souhaite que l'amplitude de l'harmonique fondamentale filtrée soit :

- égale à **2,25 V** *(condition 1)*.
- **au moins 100 fois plus grande** que celle des harmoniques suivantes *(condition 2)*.

Q.1) ***Calculer*** l'atténuation A_{max} *(en dB)* et la fréquence correspondante f_p, que doit posséder le filtre, pour réaliser la condition 1. ***Calculer*** l'atténuation A_{min} *(en dB)* et la fréquence correspondante f_a, que doit posséder le filtre, pour réaliser la condition 2 *(voir aussi le Chapitre 3 – page 1)*.

$A_{max} = -20 \log\left(\frac{2,25}{\frac{4\times 2,5}{\pi}}\right) = 3,013$ dB à $f_p = \frac{1}{10^{-3}} = 1$ KHz

$A_{min} = -20 \log\left(\frac{\frac{2,25}{100}}{\frac{4E}{3\pi}}\right) = 33,55$ dB à $f_a = 3 f_p = 3$ KHz

↳ **Appel n°1**

Q.2) On indique qu'un filtre du 4ème ordre, dont la fonction de transfert H(p) suivante, convient :

$$H(p) = \frac{H_0}{\left[1 + \frac{1,8478}{\omega_p}.p + \left(\frac{p}{\omega_p}\right)^2\right]\left[1 + \frac{0,7653}{\omega_p}.p + \left(\frac{p}{\omega_p}\right)^2\right]}$$

Calculer la valeur à donner à H_0 pour respecter la condition 1. ***Vérifier*** *(par le calcul)* que la condition 2 est respectée. ***Montrer*** que ce filtre peut être réalisé avec 2 cellules *(de filtrage)* adaptées en impédances et mises en cascade, dont vous préciserez, pour chacune d'elles : fonction, ordre, et valeurs des paramètres caractéristiques *(amplification statique, fréquence propre et coefficient d'amortissement - voir aussi le Chapitre 2 – page 7)*.

$H(j\omega_p) = \frac{H_0}{1 + \frac{1,8478}{\omega_p} j\omega_p + \left(\frac{j\omega_p}{\omega_p}\right)^2} \times \frac{1}{1 + \frac{0,7653}{\omega_p} j\omega_p + \left(\frac{j\omega_p}{\omega_p}\right)^2} = \frac{H_0}{1,8478 j} \times \frac{1}{j\, 0,7653}$

$A_{max} = -20 \log\left(\frac{|H_0|}{1,8478 \times 0,7653}\right) = 3,013 \Rightarrow |H_0| = 10^{-0,1505} \times (1,8478 \times 0,7653)$

$= 0,9991$

à $H(3j\omega_p) = \frac{H_0}{3\times 1,8478 j - 8} \times \frac{1}{3\times 0,7653 j - 8}$

$\Rightarrow A_{min} = -20 \log\left(\frac{|0,9991|}{\sqrt{5,54^2 + (8)^2} \times \sqrt{2,29^2 + 8^2}}\right) = 38,2$ dB

On peut simplifier H(p) en deux fonctions filtre passe bas de 2nd ordre pour avoir une fonction passe bas 4ième ordre

↳ **Appel n°2**

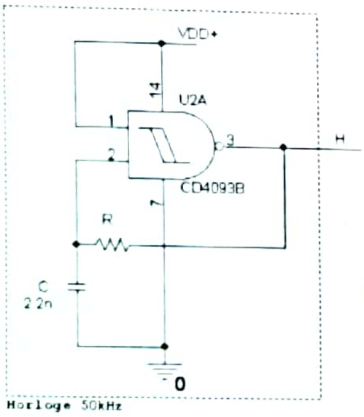
Q.4) Le signal d'horloge *(qui commandera les commutateurs du circuit MF10)* est généré par un **circuit astable** *(oscillateur numérique)*, construit autour d'une porte NAND trigger *(voir datasheet du circuit **CD4093** alimenté en **0 / 5 V** – pages 4 et 5 notamment)*.

Donner la valeur du produit « **R.C** » permettant de générer le signal d'horloge : $f_{CLK} = 50 \,.\, f_p$ *(trouvée en Q1)*. On fixe **C = 2,2 nF**. ***Calculer*** la valeur théorique à donner à R.

$f_{CLK} = 50 . f_P = 50$ KHZ $\Rightarrow f_{CLK} = \dfrac{1}{R \times 2{,}2 \cdot 10^{-9} \ln\left(\dfrac{3{,}3(5-1{,}8)}{1{,}8\cdot(5-3{,}3)}\right)}$

$\Rightarrow R = 7{,}3$ kΩ

Q.5)



➔ ***Câbler***, ***<u>sources éteintes</u>***, le circuit complet de l'horloge *(voir ci-contre et la datasheet du circuit **CD4093** alimenté en **0 / 5 V** – pages 4 et 5 notamment)*.

Appel n°4

➔ ***Observer*** le signal d'horloge créé, $\mathbf{u_H(t)}$, à l'oscilloscope.

➔ ***Mesurer*** la valeur de la fréquence f_{CLK} du signal d'horloge obtenu.

$f_{CLK} = 50{,}7$ KHZ avec $R = 10{,}5$ kΩ

➔ ***Ajuster*** la fréquence d'horloge, pour obtenir $f_{CLK} = 50 \,.\, f_p$, à l'aide de condensateurs placés en parallèle sur **C** , ou bien à l'aide d'un potentiomètre en série avec **R**.

Appel n°5

Q.6) On utilise un circuit MF10 *(circuit MF10 = 2 circuits MF5 (pour faire un filtre du 4ème ordre))* pour réaliser le filtre de la question Q.2), suivant **<u>le mode 1</u>** *(voir datasheet du circuit MF10 – pages 6 à 9 notamment)*. Le rapport « f_{CLK} / f_{-3dB} » est fixé à **50**. La résistance d'entrée R_1 est fixée à **15 kΩ**.

(Rappel : 1/Q = 2.m - Analogie entre le modèle mathématique LowPass vu en cours et la doc. du MF10)

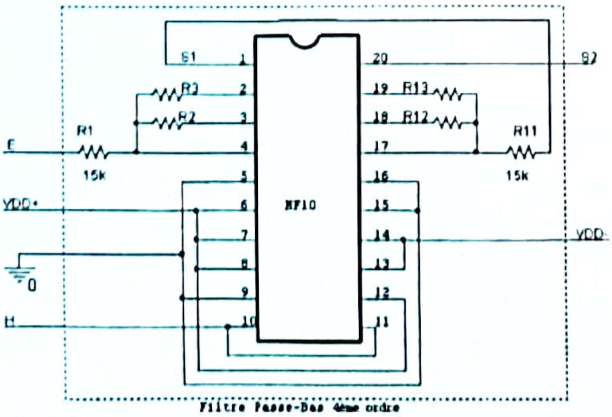
Calculer les valeurs des résistances R_2 et R_3 constitutifs de chaque filtre du 2nd ordre à réaliser *(on pourra utiliser des résistances de valeurs normalisées afin de s'approcher de chacune des valeurs calculées)*.

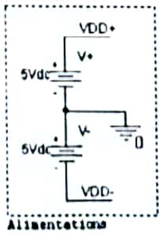
Bloc 1 : $H_{0LP} = -\dfrac{R_2}{R_1} \Rightarrow -1 = -\dfrac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = 15$ kΩ

$Q = \dfrac{R_3}{R_2}$ or $Q = \dfrac{1}{2m} = 0{,}54 = \dfrac{R_3}{R_2} \Rightarrow R_3 = 8{,}1$ kΩ

Bloc 2 : $H_{0LP} = \dfrac{-R_2}{R_1} \Rightarrow -1 = \dfrac{-R_2}{R_1} \Rightarrow R_1 = R_2$ or $Q = \dfrac{1}{2m} = \dfrac{R_3}{R_2} \Rightarrow R_3 = 19{,}6$

Q.7)





➔ ***Câbler***, ***<u>sources éteintes</u>***, le circuit complet du filtre *(voir ci-contre et la datasheet du circuit **MF10** alimenté en **+5V/-5V**)*, à la suite du circuit de l'horloge.

Appel n°6

Q.8) <u>Etude en régime harmonique</u> *(le signal appliquée (en entrée E)* ***$u_E(t)$ est sinusoïdal****, d'amplitude* ***E = 1 V****)*

➔ ***Relever*** le diagramme de Bode du filtre *(sortie S2)* en visualisant les signaux à l'oscilloscope *(prendre une quinzaines de points judicieusement choisis)*, en ***effectuant*** les mesures :

- des valeurs efficaces de $u_E(t)$ et $u_{S2}(t)$: U_{Eeff} et U_{S2eff} ,
- de la phase de $u_{S2}(t)$ *(on prendra $u_E(t)$ comme référence des phases)* : $\theta_{us2/uE}$

(Tracé manuel : doc-réponses en fin de sujet – Tracé automatique : s'aider d'un tableur (Tutoriel du logiciel « Synchronie » disponible en ligne)).

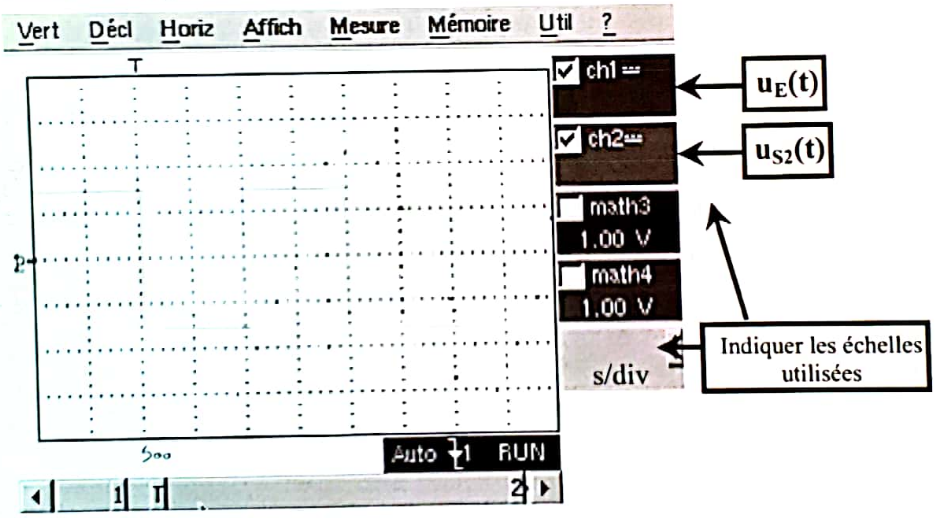
➔ **Appel n°7**

➔ Le filtre répond – il au gabarit de départ ? ***Justifier*** les écarts éventuels.

En comparant avec les simulations, on remarque que le gain est bien à -3 dB à la fréquence de coupure (1 KHZ). La courbe de la fréquence tend aussi vers la même valeur que dans les simulations. Des écarts sur la courbe de gain sont visibles sur les hautes fréquences.

Q.9) <u>Le signal d'entrée, à filtrer, est un signal rectangulaire</u> *(évolution +/- 2,5 V, de fréquence égale à1 kHz).*

➔ ***Observer*** et ***représenter*** simultanément $\mathbf{u_E(t)}$ et $\mathbf{u_{S2}(t)}$, en entrée / sortie du filtre.



➔ **Appel n°8**

➔ ***Commenter*** le résultat obtenu et ***justifier*** la *(les)* cause*(s)* des écarts qui apparaissent entre les résultats expérimentaux et théoriques

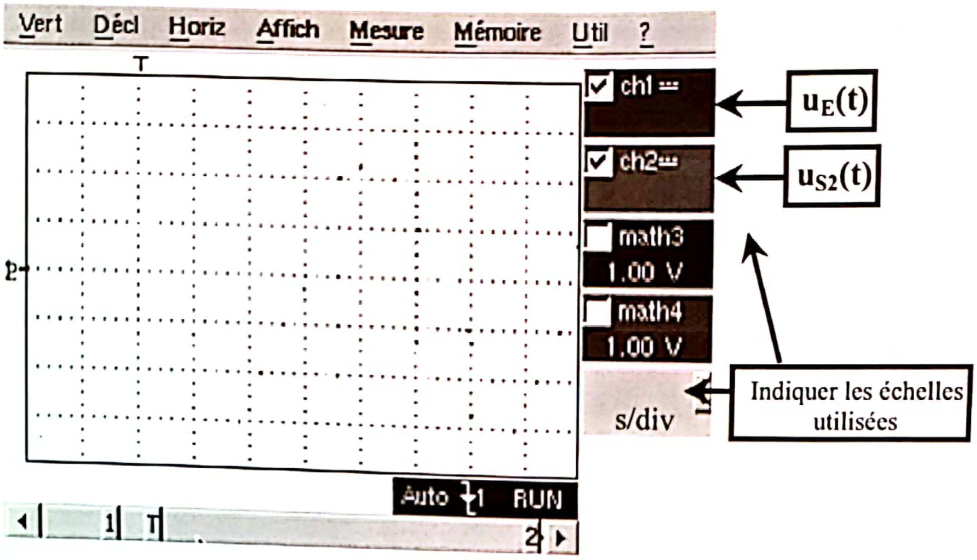
On remarque la forme de la courbe qui est pas une sinusoïde parfaite avec du bruit. Cela peut s'expliquer par le nombre de fil trop élevé. En addition, la fréquence CLK n'est pas exactement à 50 KHZ, cela peut expliquer la forme de la courbe.

B.3) <u>Expérience n°3 : Effets de la commutation.</u>

Q.10) <u>Le signal d'entrée, à filtrer, est un **signal sinusoïdal**</u> *(évolution +/- 2,5 V, de fréquence égale à1 kHz).*

➔ ***Observer*** et ***représenter*** *(page 7)* simultanément $\mathbf{u_E(t)}$ et $\mathbf{u_{S2}(t)}$, en entrée / sortie du filtre *(vous réglerez les échelles horizontale (base de temps) et verticale (en V/div) de manière à <u>faire apparaitre les discontinuités de tension autour du passage à 0 V</u>).*

Le signal observé en sortie du filtre présente « des paliers » *(ou discontinuités)* dus à la commutation et au blocage du signal durant T_{CLK} *(du signal d'horloge commandant les commutateurs des capacités commutées).*



→ **Appel n°9**

Q.11) Il est possible d'atténuer ces discontinuités en plaçant, à la sortie du filtre à commutation, *un filtre analogique de lissage*. Il s'agit d'un filtre passe-bas de type {Rs ; Cs} dont la constante de temps est égale à la période d'échantillonnage **T**$_{CLK}$. ***Calculer*** la fréquence de coupure de ce filtre {Rs ; Cs} et ***proposer*** des valeurs pour **Rs** et **Cs**.

$T_{CLK} = \frac{1}{F_{CLK}} = \frac{1}{50\times10^3} = 20\ \mu s \Rightarrow T_s = R_s \cdot C_s$ … on choisit une résistance de $10\ k\Omega \Rightarrow C_s = \frac{20\times10^{-6}}{10\times10^3} = 2\ nF$

→ ***Câbler***, *ce filtre de lissage* et observer les allures des tensions avant et après ce filtre. → **Appel n°10**

→ ***Conclure*** sur son efficacité *(On pourra interpréter ses performances à partir d'une observation des représentations fréquentielles des signaux).*

B.4) *Expérience n°4 :* Conséquences du sous-échantillonnage.

Q.12) Le signal d'entrée, à filtrer, est un **signal sinusoïdal** *(amplitude de 1V, de fréquence égale à1 kHz).*

Si la fréquence f du signal appliqué en entrée du filtre est supérieure à « $f_{CLK}/2$ », on observera en sortie du filtre, un signal non plus à la fréquence f mais à $\lvert f_{CLK} - f \rvert$, du fait du sous-échantillonnage : *c'est le repliement spectral (ou aliasing).*   Si $\lvert f_{CLK} - f \rvert$ est dans la Bande-Passante du filtre, alors c'est ce signal à $\lvert f_{CLK} - f \rvert$ qui est « vu » par le filtre à l'entrée et traité par celui-ci. Le signal observé en sortie, dès lors qu'il se trouve dans la Bande-Passante du filtre, sera atténué au maximum de A_{max} *(voir page 1).*

→ ***Rappeler*** les valeurs de f_{CLK} *(signal d'Horloge)* et de la Bande-Passante du filtre étudié :