

CORRIGE

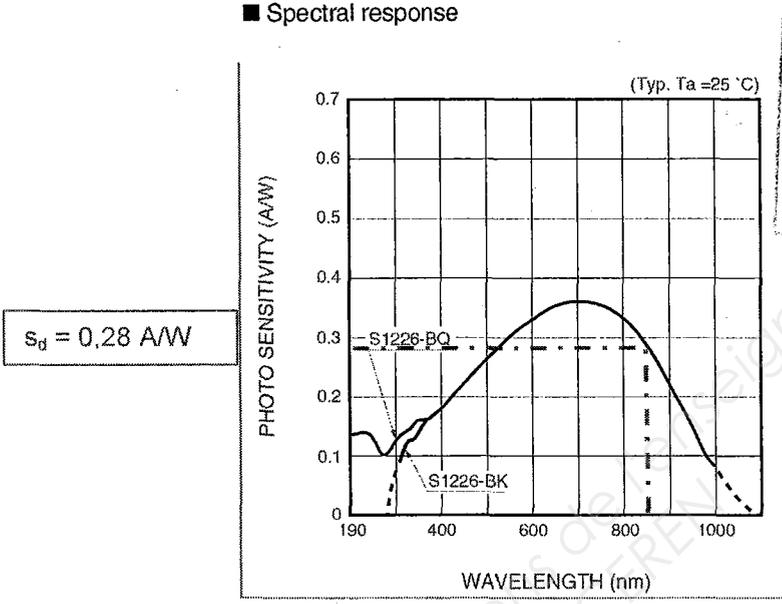
Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

Corrigé

PARTIE A : ÉTUDE DU CAPTEUR OPTIQUE.

1. Caractéristiques de la photodiode.

1.1. Sachant que la photodiode est éclairée par une radiation lumineuse de longueur d'onde $\lambda = 850 \text{ nm}$ déterminer la sensibilité s_d de la photodiode.



1.2. Déterminer l'unité du flux lumineux Φ . $\rightarrow \Phi$ s'exprime en watt.

2. Montage photovoltaïque en régime continu :

2.1. Donner la valeur de V_d . Justifier que dans ce mode le courant d'obscurité est nul.

$V_d = 0 \text{ V}$ car $V = V^+$. Si $V_d = 0 \rightarrow e^{\left(\frac{q \cdot V_d}{kT}\right)} = 1$ donc $I_o = I_s \left(1 - e^{\left(\frac{q \cdot V_d}{kT}\right)} \right) = 0 \text{ A}$

2.2. En déduire l'expression de V_0 en fonction de I_r , puis montrer que V_0 est proportionnelle à Φ .

$V_0 = R \cdot I_r - \varepsilon = R \cdot I_r$ (AOP idéal). Puisque $V_d = 0 \text{ V}$, on a $I_r = I_p$ donc $V_0 = (R \cdot s_d) \cdot \Phi$.

2.3. Déterminer l'expression de la sensibilité s_c du capteur définie par : $s_c = \frac{V_0}{\Phi}$.

Calculer sa valeur en mV/nW.

$s_c = V_0 / \Phi = R \cdot s_d$. $s_c = 2 \text{ mV/nW}$.

2.4. Indiquer l'élément du montage qui permet d'améliorer la sensibilité du capteur.

Pour augmenter la sensibilité il faut augmenter R (au détriment du temps de réponse).

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C1 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

3. Etude du montage photovoltaïque en régime variable :

3.1. A partir de la courbe de la **figure 9**, déterminer les valeurs du gain maximum G_{\max} et de la fréquence de coupure f_{coup} de l'ALI. En déduire les valeurs de A_0 et τ .

On mesure $G_{\max} = 95 \text{ dB}$ et $f_{\text{coup}} = 50 \text{ Hz}$ donc $A_0 = 10^{\frac{G_{\max}}{20}} = 5,62 \cdot 10^4$ et $\tau = \frac{1}{2\pi f_{\text{coup}}} = 3,18 \text{ ms}$.

3.2. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte, $\underline{T}(j\omega) = \frac{\underline{R}(j\omega)}{\underline{\varepsilon}(j\omega)}$ en fonction de $\underline{A}_d(j\omega)$ et $\underline{K}(j\omega)$.

$$\underline{T}(j\omega) = \frac{\underline{R}(j\omega)}{\underline{\varepsilon}(j\omega)} = \underline{A}_d(j\omega)\underline{K}(j\omega)$$

3.3. Démontrer que la fonction de transfert en boucle fermée s'exprime sous la forme :

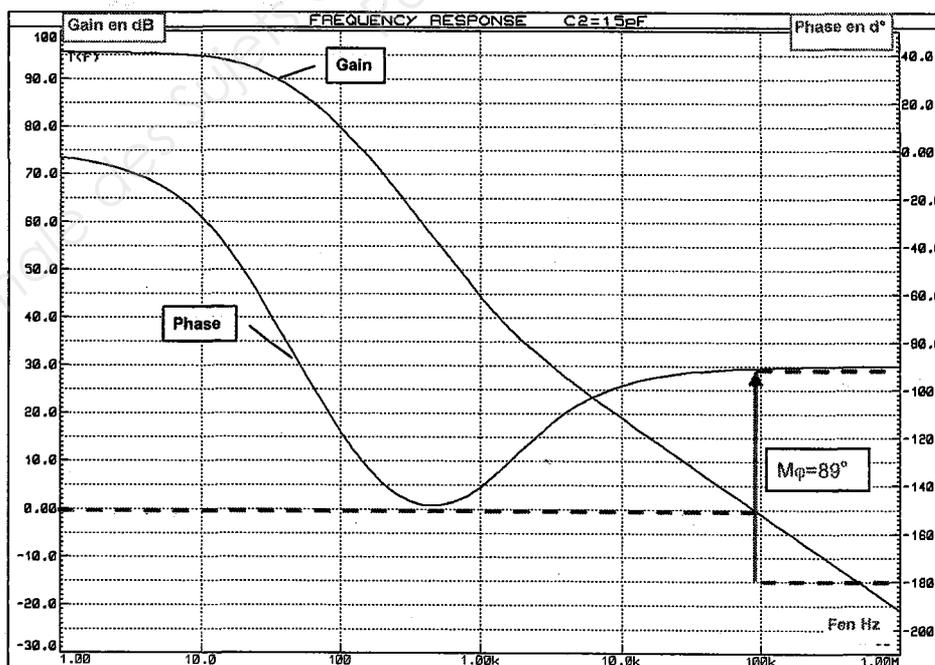
$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{V}_o(j\omega)}{\underline{V}'(j\omega)} = \frac{\underline{A}_d(j\omega)}{1 + \underline{T}(j\omega)}$$

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{V}_o(j\omega)}{\underline{V}(j\omega)} = \frac{\underline{A}_d(j\omega)}{1 + \underline{A}_d(j\omega)\underline{K}(j\omega)} = \frac{\underline{A}_d(j\omega)}{1 + \underline{T}(j\omega)}$$

3.4. Donner la condition sur $\underline{T}(j\omega)$ qui correspond à la limite d'instabilité du système.

La boucle peut entrer en oscillation si : $\underline{T}(j\omega) = \underline{A}_d(j\omega)\underline{B}(j\omega) = -1$.

3.5. Flécher la marge de phase M_ϕ : document réponse n°1. Donner sa valeur. $\rightarrow M_\phi = +89^\circ$.



Session 2011	BTS Système Électronique	Page C2 sur 10
11SEE4PA1	Épreuve U42- Physique Appliquée	
	Corrigé	

3.6. Conclure sur la stabilité du système et sur le rôle du condensateur C_2 .

$M_\varphi > 45^\circ$ donc le système est suffisamment stable. Le rôle de C_2 est donc rendre le système stable.

PARTIE B : TRAITEMENT DU SIGNAL ISSU DU CAPTEUR

1. Méthode n°1 : Utilisation d'un filtrage sélectif (figure 8)

1.1 Justifier le choix de la fréquence centrale du filtre sélectif → La fréquence centrale du filtre sélectif est choisie égale à f_0 de manière à sélectionner le signal informatif de fréquence f_0 .

1.2 Rappeler le nom donné au coefficient Q. → Q est appelé « facteur de qualité du filtre ».

1.3 Donner l'expression de Δf , la bande passante à -3 dB du filtre puis la calculer.

$$\Delta f = f_0/Q = (1,25 \cdot 10^3)/30 = 42 \text{ Hz.}$$

1.4 Exprimer le module de $\underline{A}(jf)$. Montrer que la module de $\underline{A}(jf)$ pour les fréquences f_0 et f_b vaut respectivement $|\underline{A}(jf_0)| = 1$ et $|\underline{A}(jf_b)| = 0,211$.

$$|\underline{A}(jf)| = \frac{1}{\sqrt{1 + 30^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} \text{ donc } |\underline{A}(jf_0)| = \frac{1}{\sqrt{1 + 30^2 \left(\frac{f_0}{f_0} - \frac{f_0}{f_0} \right)^2}} = 1 \quad |\underline{A}(jf_b)| = \frac{1}{\sqrt{1 + 30^2 \left(\frac{f_b}{f_0} - \frac{f_0}{f_b} \right)^2}} = 0,211$$

1.5 Donner les relations numériques liant \hat{U}_0 et \hat{S} d'une part puis \hat{U}_b et \hat{B} d'autre part.

$$\hat{U}_0 = \hat{S} \quad \hat{U}_b = 0,211 \cdot \hat{B}$$

1.6 Rapport signal sur bruit

1.6.1 Exprimer en fonction des amplitudes \hat{S} et \hat{B} les puissances moyennes P_s et P_b que fourniraient respectivement les signaux sinusoïdaux $s(t)$ et $b(t)$ appliqués à une résistance R_n .

$$P_s = \frac{S_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{\hat{S}^2}{2R_n} \quad \text{et de même} \quad P_b = \frac{\hat{B}^2}{2R_n}$$

1.6.2 Exprimer le rapport signal sur bruit $\left(\frac{S}{N}\right)_e$ en entrée du filtre en fonction de \hat{S} et \hat{B} puis le

calculer. →
$$\left(\frac{S}{N}\right)_e = 10 \log \left[\frac{P_s}{P_b} \right] = 20 \log \left[\frac{\hat{S}}{\hat{B}} \right] = 0 \text{ dB.}$$

1.6.3 Exprimer le rapport signal sur bruit $\left(\frac{S}{N}\right)_s$ en sortie du filtre en fonction de \hat{U}_0 et \hat{U}_b puis le

calculer. →
$$\left(\frac{S}{N}\right)_s = 20 \log \left[\frac{\hat{U}_0}{\hat{U}_b} \right] = 20 \log \left[\frac{\hat{S}}{0,21 \hat{B}} \right] = 13,5 \text{ dB.}$$

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C3 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

- 1.6.4 Conclure sur l'influence du filtre sélectif sur le rapport signal sur bruit. → Le filtre sélectif améliore le rapport signal sur bruit.
- 1.6.5 Indiquer sur quel paramètre du filtre sélectif il faudrait agir pour améliorer le rapport signal sur bruit. → On augmente (S/N)s en diminuant $|A(jf_b)|$. Il faut donc augmenter le facteur de qualité Q afin de diminuer la bande passante du filtre. $|A(jf_0)| = 1$ reste égal à 1.
- 1.6.6 Indiquer la raison pour laquelle ce paramètre ne pourra pas être amélioré autant qu'on le souhaiterait. → Le filtre sélectif étant analogique, on ne peut pas augmenter Q indéfiniment.

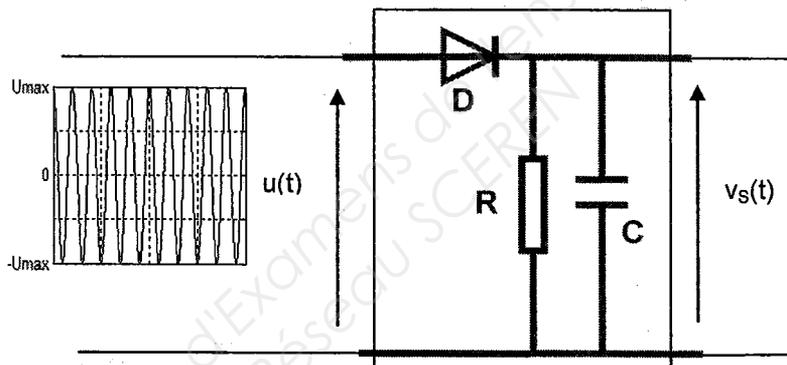
1.7 Extraction d'un signal image de la turbidité

- 1.7.1 Indiquer quel paramètre de $u(t)$ porte l'information de la turbidité.

L'information de la turbidité est comprise dans l'amplitude U_{\max} de $u(t)$.

- 1.7.2 Proposer sur le **document réponse n°2** une structure simple permettant d'extraire de $u(t)$ une tension $v_s(t)$ image de la turbidité.

On utilise un détecteur d'enveloppe :



2 Méthode n°2 : Utilisation d'une détection synchrone (figure 12)

- 2.1 Donner l'expression du signal $u'(t)$ en sortie du multiplieur en fonction de K , $s(t)$, $b(t)$ et $v_c(t)$.

$$u'(t) = K.v(t).v_c(t) = K.b(t).v_c(t) + K.s(t).v_c(t).$$

- 2.2 Montrer que $u'(t)$ est la somme d'une composante continue U'_0 et de 3 composantes sinusoïdales notées $u'_1(t)$, $u'_2(t)$ et $u'_3(t)$. Donner l'expression de U'_0 et des amplitudes \hat{U}'_1 , \hat{U}'_2 et \hat{U}'_3 des composantes sinusoïdales en fonction de K , \hat{V}_c , \hat{S} et \hat{B} . Donner les expressions des fréquences f_1 , f_2 et f_3 associées à chaque composante sinusoïdale en fonction de f_0 et f_b .

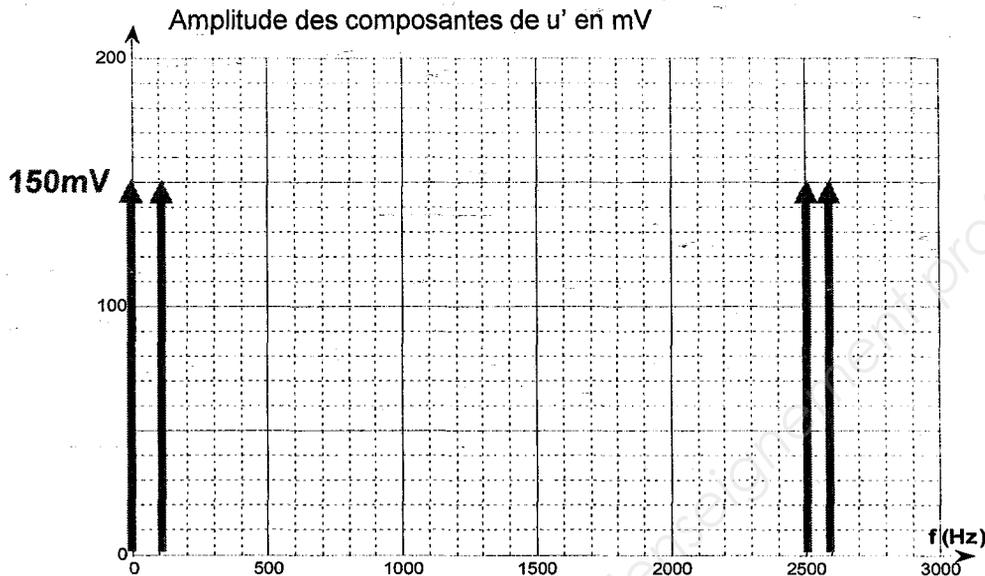
$$u'(t) = \underbrace{\frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{S}}_{U'_0} + \underbrace{\frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{B}.\cos((\omega_b - \omega_0)t)}_{u'_1(t)} + \underbrace{\frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{S}.\cos(2\omega_0.t)}_{u'_2(t)} + \underbrace{\frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{B}.\cos((\omega_b + \omega_0)t)}_{u'_3(t)}$$

$\begin{cases} U'_0 = \frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{S} \\ f = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} \hat{U}'_1 = \frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{B} \\ f_1 = f_b - f_0 = 100\text{Hz} \end{cases}$	$\begin{cases} \hat{U}'_2 = \frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{S} \\ f_2 = 2f_0 = 2,50\text{kHz} \end{cases}$	$\begin{cases} \hat{U}'_3 = \frac{1}{2}K\hat{V}_c.\hat{B} \\ f_3 = f_0 + f_b = 2,60\text{kHz} \end{cases}$
---	--	---	--

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C4 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

2.3 Effectuer les applications numériques puis représenter sur le **document réponse n°3** le spectre d'amplitude de $u'(t)$.

$\begin{cases} U'_0 = 150 \text{ mV} \\ f = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} U'_1 = 150 \text{ mV} \\ f_1 = f_b - f_0 = 100 \text{ Hz} \end{cases}$	$\begin{cases} U'_2 = 150 \text{ mV} \\ f_2 = 2f_0 = 2,50 \text{ kHz} \end{cases}$	$\begin{cases} U'_3 = 150 \text{ mV} \\ f_3 = f_0 + f_b = 2,60 \text{ kHz} \end{cases}$
--	---	--	---

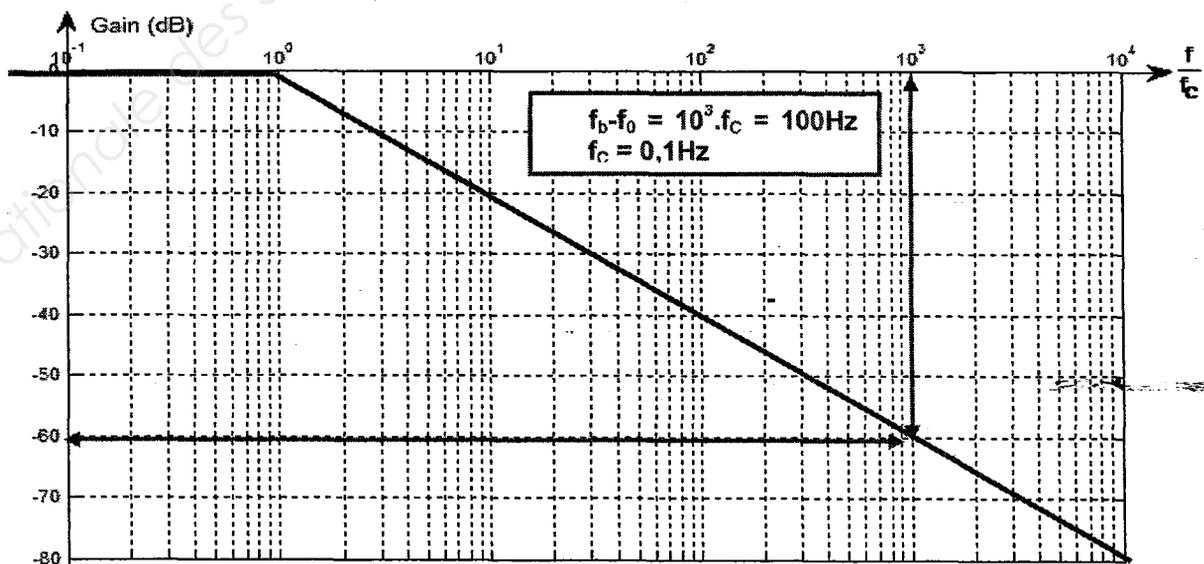


2.4 Parmi ces quatre composantes indiquer celles qui sont représentatives de la grandeur à mesurer et celles qui restent influencées par le bruit.

U'_0 et $u'_2(t)$ sont représentatives de la turbidité alors que $u'_1(t)$ et $u'_3(t)$ restent influencées par le bruit (composantes de fréquences $f_b - f_0$ et $f_b + f_0$).

2.5 Filtre passe bas

2.5.1 Tracer le diagramme de Bode asymptotique du gain en fonction de la fréquence sur le **document réponse n°4**.



Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C5 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

2.5.2 En déduire l'expression de f_c en fonction de $f_b - f_0$ puis calculer la valeur de f_c .

On veut $f_b - f_0 = 1000 f_c$ avec $f_b - f_0 = 100 \text{ Hz}$ donc $f_c = 0,1 \text{ Hz}$.

2.6 Rapport signal sur bruit

2.6.1 Après avoir identifié sur le spectre de v'_s la composante correspondant au signal utile et celle correspondant au bruit, calculer le rapport signal sur bruit $\left(\frac{S}{N}\right)'_s$ en sortie du filtre passe bas.

La composante de fréquence nulle est représentative de la turbidité alors que celle de fréquence $f_0 - f_b$ est influencé par le bruit.

$$\left(\frac{S}{N}\right)'_s = 20 \cdot \log\left(\frac{V'_s s_0}{V'_s s_0 / 1000}\right) = 20 \log(10^3) = 60 \text{ dB}$$

2.6.2 Comparer ce résultat à celui obtenu dans la première méthode. Conclure sur l'intérêt de la détection synchrone.

La détection synchrone a permis de gagner $(60 - 13,5) = 46,5 \text{ dB}$ par rapport à la 1ère méthode.

2.6.3 Indiquer comment agir sur f_c pour améliorer le rapport signal sur bruit.
En déduire dans ce cas l'influence sur le temps de réponse de la chaîne de mesure.

Il faut diminuer f_c ce qui va augmenter le temps de réponse de la chaîne de mesure.

2.7 Etude du multiplieur à découpage

2.7.1 Exprimer la tension $v_-(t)$ en fonction de $v(t)$ et $u'(t)$. $v_-(t) = \frac{v(t) + u'(t)}{2}$ (Millman).

2.7.2 Si $v_c(t) > 0$, H est ouvert.

- A partir du graphe 1 du document réponse n°5, donner la valeur de $v_c(t)$. $\rightarrow v_c(t) = 1 \text{ V}$.
- Exprimer $v_+(t)$ en fonction de $v(t)$. $\rightarrow v_+ = v(t)$ car $i^+ = 0$.
- En déduire l'expression de $u'(t)$ en fonction de $v(t)$.

Comme $v_+ = v_-$ on obtient $v(t) = \frac{v(t) + u'(t)}{2}$ ce qui donne $u'(t) = v(t)$.

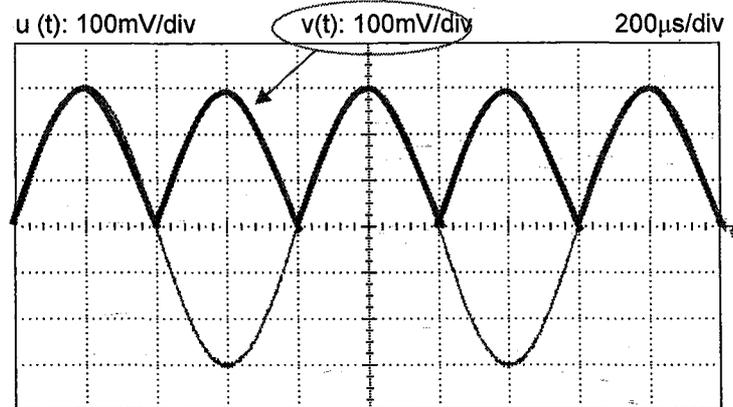
2.7.3 Si $v_c(t) < 0$, H est fermé.

- A partir du graphe 1 du document réponse n°5, donner la valeur de $v_c(t)$. $\rightarrow v_c(t) = -1 \text{ V}$.
- Donner la valeur de $v_+(t)$. $\rightarrow v_+(t) = 0$ car $i^+ = 0$.
- En déduire l'expression de $u'(t)$ en fonction de $v(t)$.

Comme $v_+(t) = v_-(t)$ on obtient $0 = \frac{v(t) + u'(t)}{2}$ ce qui donne $u'(t) = -v(t)$.

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C6 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

2.7.4 Sur le document réponse n°5 (graphe 2) représenter la tension $u'(t)$ en concordance des temps avec $v(t)$.



2.7.5 Montrer que $u'(t)$ peut s'écrire $u'(t) = K.v(t).v_c(t)$ avec $K = 1 \text{ V}^{-1}$.

→ Si $v_c(t) = 1 \text{ V}$ on a $u'(t) = v(t)$ donc on peut écrire : $u'(t) = v_c(t).v(t)$.

→ Si $v_c(t) = -1 \text{ V}$ on a $u'(t) = -v(t)$ donc on peut aussi écrire : $u'(t) = v_c(t).v(t)$.

Ainsi $u'(t)$ est la tension en sortie d'un multiplieur de coefficient $K = 1 \text{ V}^{-1}$.

Rappel : Soit un signal sinusoïdal de pulsation ω_0 et d'amplitude E .

Le signal redressé double alternance correspondant a pour développement en série de Fourier :

$$x(t) = \frac{2E}{\pi} + \frac{4E}{\pi} \left[\frac{1}{3} \cos(2\omega_0 t) - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos(4\omega_0 t) + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos(6\omega_0 t) + \dots \right].$$

2.7.6 Calculer la valeur moyenne $\langle u'(t) \rangle$ du signal $u'(t)$ en sortie du multiplieur.

$$\langle u'(t) \rangle = 2.E/\pi = 2.(300)/\pi = 191 \text{ mV}.$$

2.7.7 La fréquence de coupure du filtre passe bas est égale à 0,1Hz et sa fonction de transfert en régime statique est égale à +1. Déterminer l'expression de la tension $v'_s(t)$.

La fréquence de coupure du filtre est très basse devant celle du signal redressé double

alternance : $f_c \ll 2f_0$. Seule la composante continue est transmise.

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C7 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

PARTIE C : ETUDE DU FILTRE A MOYENNE GLISSANTE

1. Etude de la résolution de la mesure

1.1 Déterminer la valeur q du quantum du CAN. $\rightarrow q = \frac{V_{ref}}{2^N - 1} \approx 4,9 \text{ mV}$.

1.2 Exprimer la résolution r en fonction de q , ΔV et ΔTu puis calculer sa valeur. Indiquer si elle est conforme à la valeur souhaitée.

$$r = q \cdot \frac{\Delta Tu}{\Delta V} = 0,049 \text{ NTU}$$

1.3 Déterminer la plus petite valeur non nulle que peut prendre un échantillon y_n en sortie du filtre numérique.

\rightarrow La valeur minimale non nulle pour y_n est $y_n = \frac{1}{8} = 0,125$ (un échantillon x_n égal à 1 et les 7 autres nuls).

1.4 Vérifier que la valeur du quantum q' de l'ensemble constitué par le CAN et le filtre numérique est égal à 0,61 mV.

$$q' = \frac{q}{8} \approx 4,9 \text{ mV} / 8 = 0,61 \text{ mV}$$

1.4 En déduire que la résolution r' de l'ensemble est conforme au cahier des charges ($r' \leq 0,001 \text{ NTU}$).

\rightarrow La résolution est $r' = q' \cdot \frac{\Delta Tu}{\Delta V}$ avec $q' = 0,61 \text{ mV}$. Soit $r' = 6,1 \cdot 10^{-4} \text{ NTU}$. Elle est bien conforme au cahier des charges.

2. Bruit de quantification

2.1 Calculer l'amélioration du rapport signal sur bruit si le nombre N de bits passe de 10 à 13.

Pour 10 bits $(S/N)_{10} = 62 \text{ dB}$ pour 13 bits $(S/N)_{13} = 80 \text{ dB}$. Le gain est de +18 dB.

2.2 Indiquer sur quel paramètre du CAN il faut agir, et de quelle manière, si l'on veut améliorer le rapport signal sur bruit.

Il faut augmenter F_e pour diminuer P_b .

3. Etude des caractéristiques du filtre numérique

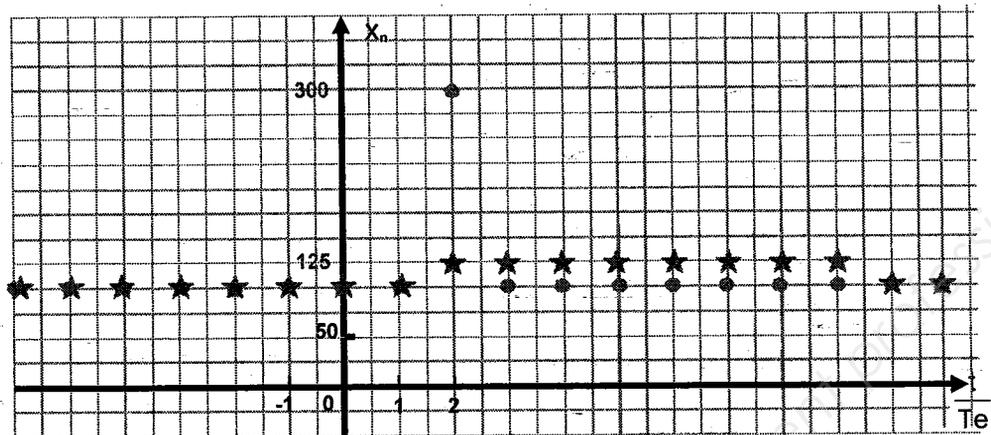
3.1. Préciser en le justifiant s'il s'agit d'un filtre récursif ou non récursif.

C'est un filtre non récursif car les échantillons de sortie ne dépendent pas des échantillons de sortie précédents.

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C8 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

3.2. Réponse à signal perturbé par une impulsion parasite

3.2.1. Dessiner sur le même graphique la séquence $\{y_n\}$ obtenue en sortie du filtre.



3.2.2. Indiquer l'avantage apporté par le filtre.

Le filtre atténue les impulsions parasites dues à une augmentation brutale et passagère de la turbidité.

3.2.3. Préciser en le justifiant si le filtre est stable ou non. Expliquer pourquoi ce résultat était prévisible.

Le filtre est stable car après une impulsion en entrée le signal de sortie revient à sa valeur initiale. Ceci était prévisible puisque le filtre est non récursif.

3.2.4. Indiquer comment améliorer l'action du filtre.

En calculant la moyenne sur un plus grand nombre d'échantillons. (le temps de calcul sera plus long).

3.3. Réponse en fréquence du filtre numérique

3.3.1. Etablir l'expression de $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$, fonction de transfert en z du filtre.

$$Y(z) = \frac{1}{8} [1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-7}] X(z) \quad \text{donc} \quad H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{8} [1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-7}]$$

3.3.2. Donner l'expression de $H(jf)$ en y faisant apparaître le rapport f/F_e .

$$H(jf) = \frac{1}{8} \left[\frac{1 - e^{-j \left(2\pi \frac{f}{F_e} \right)}}{1 - e^{-j \left(2\pi \frac{f}{F_e} \right)}} \right]$$

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C9 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	

3.3.3. Donner l'expression $H'(f)$ du module de $\underline{H}(jf)$.

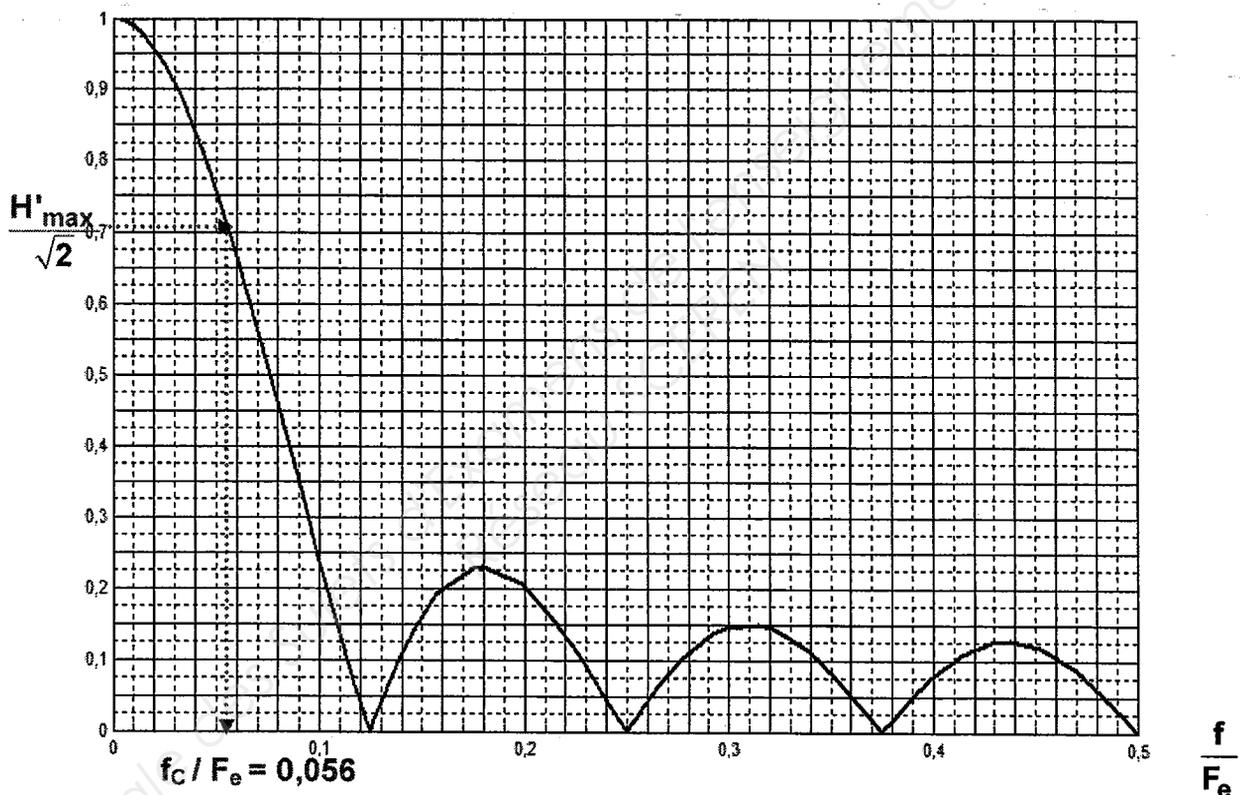
$$H'(f) = \left| \frac{\sin\left(8\pi \frac{f}{F_e}\right)}{8\pi \frac{f}{F_e}} \right|$$

3.3.4. La courbe de réponse en fréquence du module $H'(f)$ du filtre avec bloqueur est donnée sur le **document réponse n°7**. En déduire la nature du filtre. → c'est un filtre passe bas.

3.3.5. Placer sur le **document réponse n°7** le rapport $\frac{f'_c}{F_e}$.

La fréquence de coupure est la fréquence pour laquelle $|\underline{H}(jf)| = \frac{H_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$

H' Module du filtre numérique



3.3.6. Déterminer la valeur à donner à F_e pour obtenir une fréquence de coupure de 1,4 Hz.

$$f_c = 0,056 \cdot F_e \quad \text{Pour avoir } f_c = 1,4 \text{ Hz il faut } F_e = 25 \text{ Hz.}$$

3.3.7. Indiquer au-delà de quelle fréquence théorique le filtre numérique ne traitera plus correctement le signal. Préciser si cette valeur est compatible avec une mesure de turbidité.

Pour respecter la règle de Shannon il faut $f_{\max} = F_e/2 = 12,5 \text{ Hz}$.

Le dispositif ne convient que pour des signaux qui varient lentement. Ceci est compatible avec une mesure continue de la turbidité de l'eau qui est une grandeur variant lentement au cours du temps.

Session 2011	BTS Système Électronique Épreuve U42- Physique Appliquée	Page C10 sur 10
11SEE4PA1	Corrigé	