

TDAD_TNS4 : Un analyseur de spectre audio

 Me 27 mai 2020
  **Sujet : 9h00**
 Correction : Avec vos enseignants

Dans les chaînes HiFi on rencontre couramment des analyseurs de spectre audio. Ces dispositifs se composent d'un grand nombre de filtres passe-bandes en parallèle comme l'indique la figure 1 ci-dessous. Chaque filtre couvre une partie de la bande de fréquence sous test. En observant le niveau à la sortie de chaque filtre, on peut voir le spectre de fréquence du signal audio. La résolution de l'analyseur est déterminée par la largeur de bande des filtres. Les fréquences d'analyse sont généralement inférieures à quelques centaines de kHz.

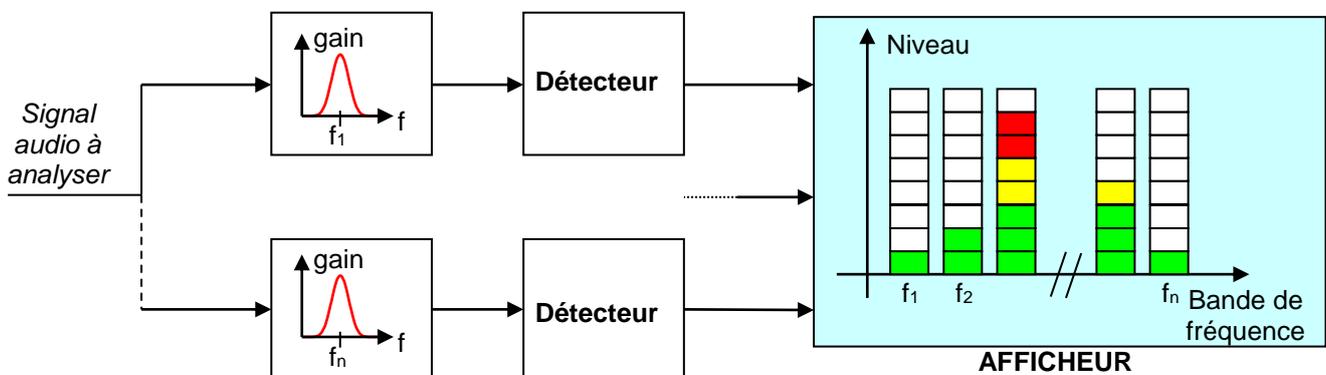


Figure 1 : synoptique d'un analyseur audio

Nous vous proposons d'implanter numériquement cet analyseur de spectre et de tester son fonctionnement.

Afin de couvrir une bonne partie de la bande passante audio, on choisit des filtres centrés sur les valeurs de fréquences centrales f_0 suivantes : 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz. Tous ces filtres passe bande du 2nd ordre ont le même facteur de qualité $Q = \sqrt{2}$ ce qui permet d'effectuer un bon recouvrement de la bande passante audio.

Q1 : Ecrire un script Scilab permettant de tracer et superposer les modules des fonctions de transfert des 6 filtres passe bande qui composent l'analyseur de spectre. On fixe **$F_e=44.1\text{kHz}$**

Afin d'optimiser le script vous utiliserez la fonction `Pbande2ordNum` définie au cours des séances précédentes permettant de calculer les numérateurs et dénominateurs des filtres numériques et vous effectuerez une boucle de type `for` en utilisant un vecteur définissant les 6 fréquences centrales tel que **$F_0AS=[125\ 250\ 500\ 1000\ 2000\ 4000]$** .

Valider cette partie auprès de votre enseignant.

Q2 : Afin d'obtenir un tracé plus représentatif on vous propose de remplacer le simple plot par la suite des fonctions suivantes que vous commenterez :

```
[H, fr]=frmag (Num, Den, 5000) ;  
N=length (H) ;  
gaindB=20*log10 (H (2:N) ) ;  
F=Fe*fr (2:N) ;  
plot2d ("ln", F, gaindB) ;
```

Pour quelle raison la valeur $fr(1)$ et donc $H(1)$ par conséquent n'est pas retenu dans le tracé ?

Q3 : A partir de l'observation effectuée sur le tracé précédent, quel réglage intéressant obtient-on en effectuant le choix $Q = \sqrt{2}$?

Q4 : Afin d'effectuer la détection d'amplitude en sortie du filtre passe bande on vous propose d'implanter une solution de type élévation au carré suivi d'un filtre passe bas du 1er ordre avec $f_c=1\text{Hz}$.

Ecrire un script Scilab permettant d'illustrer le fonctionnement du dispositif détection d'amplitude lorsqu'il reçoit en entrée un signal sinusoïdal de fréquence 125Hz d'amplitude 1V efficace sur une durée de 1s.

Valider cette partie auprès de votre enseignant et justifier le niveau obtenu sur la sortie.

Q5 : Afin d'obtenir le résultat sur une échelle logarithmique on vous propose de n'afficher que les 100 derniers points du signal de sortie en utilisant les instructions suivantes :

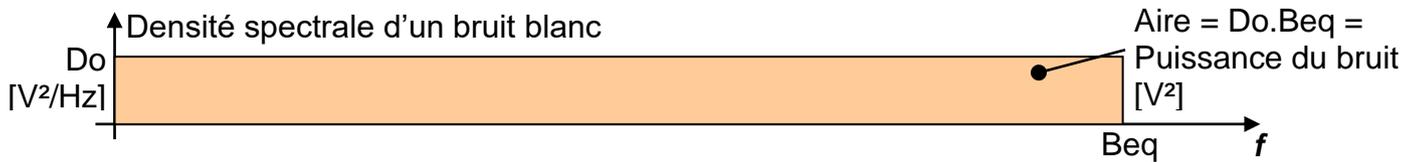
```
N=length (Sortie) ;  
x=1:100 ;  
plot2d (x, 20*log10 (Sortie (N-99:N) ) , rect=[1, -70, 100, 10])
```

A quoi correspond l'option `rect` dans l'utilisation de la fonction `plot2d` ?

Q6 : Afin d'illustrer le fonctionnement de votre analyseur de spectre on vous propose de tracer les 6 sorties des modules détections d'amplitudes pour les 6 filtres. On utilisera la commande `subplot(1,6,i)` pour reproduire l'affichage de l'analyseur de spectre sur les 6 bandes en conservant le tracé sur une échelle logarithmique. On connecte sur l'entrée de l'analyseur de spectre un signal sinusoïdal de fréquence 1kHz pendant 2s. Valider cette partie auprès de votre enseignant et justifier la réponse fournie par votre analyseur de spectre ainsi constitué.

Q7 : Lorsque l'on souhaite caractériser la courbe de réponse en fréquence d'un équipement ou d'une installation audio grâce à l'analyseur de spectre, l'idée principale consiste à injecter une source de bruit et mesurer le résultat sur l'analyseur.

Dans un premier temps on vous propose d'envoyer un bruit blanc (**bruitblanc.wav**), c'est à dire un signal aléatoire dont la densité spectrale est constante sur une grande plage de fréquence.



Quel est l'affichage obtenu sur votre analyseur de spectre ? Pour quelle raison le niveau obtenu n'est pas constant ? On vous propose d'essayer avec le fichier **bruitrose.wav**. Quel est le résultat obtenu ? En déduire l'allure de la densité spectrale d'un bruit rose.

Q8 : Pour compléter la réalisation de cet analyseur de spectre on vous propose de mettre en œuvre un correcteur paramétrique dont la fonction de transfert est :

$$T(j\omega) = \frac{1 + \frac{j\omega}{Q_1 \omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + \frac{j\omega}{Q_2 \omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

On donne par ailleurs $Q_1 = \frac{1,5}{5\alpha + 1}$ et $Q_2 = \frac{1,5}{6 - 5\alpha}$ où α correspond au réglage du correcteur avec $1 \geq \alpha \geq 0$

Exprimer le module de la fonction de transfert $|T(j\omega)|$ en fonction de ω , Q_1 , Q_2 et ω_0 et calculer ce module lorsque $\omega \ll \omega_0$, $\omega = \omega_0$, $\omega \gg \omega_0$. Justifier ainsi la fonction du filtre.

Pour $\omega = \omega_0$ calculer le gain maximum et le gain minimum pour les 2 valeurs extrêmes du paramètre α .

Q9 : Exprimer la fonction de transfert en z de l'équivalent numérique sous la forme d'un numérateur et d'un dénominateur en z . Pour effectuer le calcul de la fonction de transfert numérique on utilise la transformation bilinéaire en posant :

$$j\omega = \Omega \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \text{ avec } \frac{\Omega}{\omega_0} = \frac{1}{\tan\left(\frac{\omega_0 T_e}{2}\right)} = a \quad \text{pour obtenir une correspondance des fréquences centrales analogiques et numériques}$$

Q10 : Ecrire un script Scilab permettant de tracer et superposer le gain en dB de cette fonction de transfert pour $f_0 = 1\text{kHz}$ et pour les valeurs du paramètre α : 0, 0.5, 1

Afin d'optimiser le script vous implantez une fonction **parametrique** permettant de calculer les numérateurs et dénominateurs des filtres numériques et vous effectuerez une boucle de type for.

Vous choisirez pour l'échelle de fréquence une échelle logarithme en utilisant les informations proposées aux questions précédentes. Valider cette partie auprès de votre enseignant.