

TDAD_TNS3 : Synthèse de filtre numérique

 Me 19 mai 2020
  **Sujet : 9h00**
 Correction : Avec vos enseignants

Problème n°1 : Un correcteur audio numérique de grave

On vous propose d'effectuer la synthèse d'un correcteur audio numérique de grave en se basant sur la fonction de transfert d'un correcteur analogique. La fonction pour ce type de correcteur (appelé aussi Baxandall) est de la forme suivante :

$$H(jf) = \frac{b1}{b2} \cdot \frac{1 + \frac{jf}{b1 \cdot fx}}{1 + \frac{jf}{b2 \cdot fx}}$$

avec $b1=1+3\alpha$ et $b2=4-3\alpha$ où le paramètre α qui évolue entre 0 et 1 permet de régler la correction à appliquer sur les basses. Afin d'illustrer le comportement de ce filtre on propose le script Scilab suivant et dont on obtient le tracé ci-dessous.

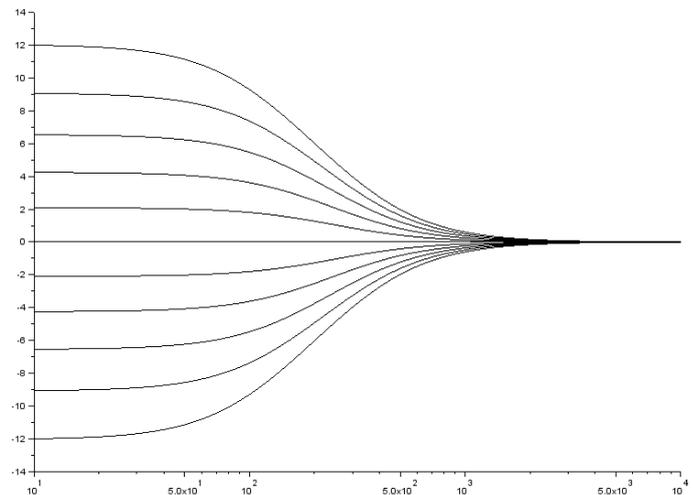
```

// Etude d'un correcteur de
grave
function H=basstune(alpha,
fx, f)
    b1=1+3*alpha;
    b2=4-3*alpha;
    H1=(1+(f/(b1*fx))^2)^0.5;
    H2=(1+(f/(b2*fx))^2)^0.5;
    H=b1*H1./(b2*H2);
endfunction

alpha=0:0.1:1;
fx=100;
f=logspace(1,4,100);
N=length(alpha);
for i=1:N,

H=basstune(alpha(i),fx,f);

plot2d("ln",f,20*log10(H))
end
    
```



Q1 : Télécharger et exécuter le script. Que représente le tracé obtenu ? Justifier le nom donné à ce correcteur audio.

Q2 : Dans le script proposé, que permet de réaliser l'instruction `alpha=0:0.1:1` ?

Q3 : A quoi correspond l'option "ln" dans l'utilisation de la fonction plot2d ?

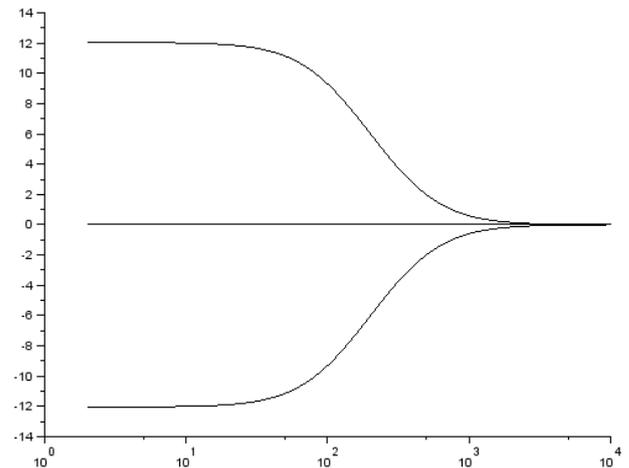
Afin de réaliser ce correcteur audio en version numérique on propose de s'inspirer de la fonction de transfert analogique en utilisant la transformée bilinéaire dont la définition est donnée ci-dessous.

$$\frac{j\omega}{\omega_c} = a \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad \text{avec} \quad a = \frac{1}{\tan\left(\frac{\pi \cdot f_x}{F_c}\right)}$$

Q4 : Exprimer la fonction de transfert H(z) et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme $H(z) = \frac{A + B \cdot z^{-1}}{C + D \cdot z^{-1}}$ où vous exprimerez A, B, C & D en fonction des variables a, b1 & b2.

Q5 : Compléter le script Scilab (à télécharger) en complétant les ??? des lignes 05,06,11,12,14,15,16.

```
01 function [num, den]=bassNum(alpha, Fe, fx)
02     b1=1+3*alpha;
03     b2=4-3*alpha;
04     a=1/tan(%pi*fx/Fe);
05     num=[??? ???];
06     den=[??? ???];
07 endfunction
08
09 fx=100;
10 Fe=20e3;
11 alpha=???;
12 for i=???,
13     [num, den]=bassNum(alpha(i), Fe, fx);
14     [Hn, fr]=??? (???, ???, 5000);
15     gaindB=20*??? (Hn(2:5000));
16     F=???*??? (2:5000);
17     plot2d("ln", F, gaindB);
18 end
```



🔧 Problème n°2 : Un démodulateur NAVTEX

Contexte

Le NAVTEX (Navigational Telex) est un service international relevant du Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer (SMDSM). C'est un système automatique qui permet aux navires de recevoir des bulletins météorologiques et des informations de navigation. Ce service utilise une fréquence de 490kHz pour les émissions en français et de 518kHz pour les émissions en anglais.

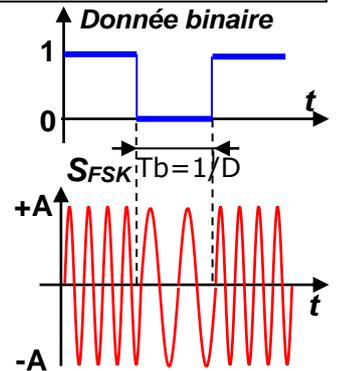
Les récepteurs NAVTEX embarqués à bord des bateaux restent toujours en veille. Ils visualisent, enregistrent et impriment les messages dès leur réception. Vous trouverez ci-dessous un exemple de message commençant par 4 caractères ZCZC indiquant le début du message et permettant d'indiquer l'émetteur en fonction (ici Cross Corsen). Les 4 caractères NNNN indiquent la fin du message

<p>Exemple de message NAVTEX</p> <p>ZCZC AL17 191207 UTC SEP 03 IROISE - LORIENT APPROACHESS GUNNERY EXERCISES IN 'BASSE DE GUIHEL' AREA BOUNDED BY 47-29'00N 003-19'00W / 47-29'30N 003-16'00W / 47-38'12N 003-15'13W .../... NNNN</p>	<p>Un récepteur NAVTEX</p> 
---	--

Les informations numériques sont transmises en utilisant une modulation de fréquence de type FSK dont le principe de fonctionnement consiste à coder la valeur de chaque bit par une fréquence différente :

- Transmission d'un bit 1 : fréquence $518\text{kHz} + 85\text{Hz}$
- Transmission d'un bit 0 : fréquence $518\text{kHz} - 85\text{Hz}$

Le débit de la transmission est relativement faible et fixé à $D = 100 \text{ bit/s}$.

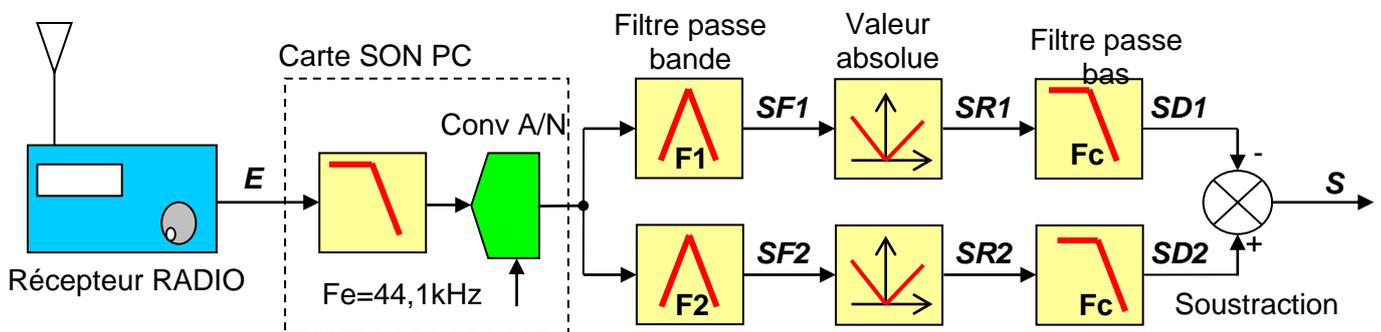


Lorsque l'on souhaite s'économiser l'achat d'un récepteur NAVTEX il est possible en utilisant le changement de fréquence d'un simple récepteur en mode BLU de récupérer un signal audio modulé FSK autour d'une fréquence beaucoup plus basse (Généralement $1,7\text{kHz}$). En connectant ce signal sur l'entrée audio il est ainsi possible grâce à un traitement numérique d'effectuer la démodulation et le décodage des trames NAVTEX.

Dans le cadre de ce problème on vous propose donc d'implanter sous SCILAB un démodulateur FSK en utilisant un signal audio au format .wav centré sur $1,7\text{kHz}$ contenant les informations numériques telle que :

- Transmission d'un bit 1 : fréquence $F2 = 1,7\text{kHz} + 85\text{Hz}$
- Transmission d'un bit 0 : fréquence $F1 = 1,7\text{kHz} - 85\text{Hz}$

Le schéma synoptique de cette réalisation est donné sur la figure suivante :



Afin d'effectuer la synthèse du filtre numérique on utilise un équivalent analogique dont on rappelle la fonction de transfert. Le facteur de qualité est identique pour les 2 filtres passe bande et on fixe $Q=10$. Pour effectuer le calcul de la fonction de transfert numérique on utilise la transformation bilinéaire en posant :

$$\frac{Vs(j\omega)}{Ve(j\omega)} = \frac{\frac{j\omega}{Q\omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

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

Q1 : Montrer que la fonction de transfert en z peut s'écrire :

$$F(z) = \frac{\frac{a}{Q} \cdot (1-z^{-2})}{\left(1 + \frac{a}{Q} + a^2\right) + z^{-1} \cdot (2 - 2a^2) + z^{-2} \cdot \left(1 - \frac{a}{Q} + a^2\right)}$$

Q2 : Compte tenu que les fréquences centrales des 2 filtres sont sensiblement les mêmes (autour de 1700Hz), calculer la bande passante de ces 2 filtres et montrer que ce choix est adapté pour cette application.

Q3 : Ecrire un script Scilab et tracer la réponse fréquentielle (sur 1000 points) du filtre numérique centrée sur la fréquence $F1$. Valider cette partie auprès de votre enseignant.

Q4 : Afin de pouvoir réutiliser plusieurs fois la définition du filtre passe bande numérique, on vous demande d'écrire une fonction Scilab renvoyant le numérateur et le dénominateur d'un filtre passe bande du 2nd ordre. La définition de cette fonction est la suivante : **function [num,den]=Pbande2ordNum(Q,Fo,Fe)**

Q5 : Afin d'illustrer le fonctionnement du filtre centré sur la fréquence $F1$ on vous demande d'illustrer la sortie du filtre en présence d'un signal sinusoïdal de fréquence $F1$ puis de la fréquence $F2$ en respectant le rythme des données binaires. Justifier simplement le résultat obtenu.

Q6 : En s'inspirant de la démarche précédente on vous propose d'écrire une fonction permettant de renvoyer le numérateur et le dénominateur d'un filtre passe bas numérique du 2nd ordre dont la définition de la fonction est : **function [num,den]=Pbas2ordNum(m,Fo,Fe)**

Q7 : On opte pour un filtre Bessel du 2nd ordre avec une fréquence de coupure de 100Hz bien adapté pour récupérer l'information numérique. En utilisant l'application en ligne Analog Filter Wizard, déterminer la valeur du coefficient d'amortissement m et la fréquence propre f_0 . Proposer un script permettant de tester le bon fonctionnement de votre filtre.

Q8 : On vous demande pour cette partie d'écrire un script permettant d'implanter la totalité du démodulateur NAVTEX et de le tester en générant un signal modulé FSK avec le message numérique suivant : 0 1 0 1 0 0 1 1.