

Chapitre 7 : Introduction et généralités sur le filtrage



Rôle

Il n'est pas un système électronique qui ne fasse appel à, au moins, un filtre. La plupart en comportent en grande quantité.

Le filtrage est une forme de traitement de signal, obtenu en envoyant le signal à travers un ensemble de circuit électroniques, qui modifient son spectre de fréquence et/ou sa phase et donc sa forme temporelle.

Il peut s'agir soit :

- d'éliminer ou d'affaiblir des fréquences parasites indésirables
- d'isoler dans un signal complexe la ou les bandes de fréquences utiles.

Applications :

- ▶ systèmes de télécommunications (téléphone, télévision, radio, transmission de données...)
- ▶ systèmes d'acquisition et de traitement de signaux physiques (surveillance médicale, ensemble de mesure, radars...)
- ▶ alimentation électrique....



Différents types de filtres

On classe les filtres en deux grandes familles : ANALOGIQUE et NUMERIQUE.

Les **filtres numériques** sont réalisés à partir de structure intégrée microprogrammable (DSP). Ils sont totalement intégrables, souples et performants.

Ils sont utilisés chaque fois que c'est possible. Ils sont pour l'instant limités à des fréquences pas trop élevées (< 100MHz).

On ne les utilisera pas si on doit limiter la consommation et nécessitent un pré-filtrage pour éviter le repliement spectral avant la numérisation du signal et un post-filtre de lissage.

Les **filtres analogiques** se divisent eux mêmes en plusieurs catégories :

- les filtres passifs qui font appels essentiellement à des inductances de haute qualité et des condensateurs. Jusque dans les années 70, c'était les seuls filtres conçus. Ils sont actuellement utilisés pour les hautes fréquences. (utilisation de quartz)
- les filtres actifs sont constitués de condensateurs, de résistances et d'éléments actifs qui sont essentiellement des AIL. Ils sont moins encombrants, faciles à concevoir et moins coûteux que les filtres passifs mais restent limités en fréquence (< 1MHz à cause de l'AIL). Ils consomment plus et nécessitent une source d'alimentation.

Remarque :

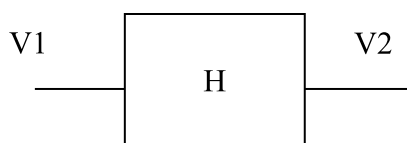
Depuis le début des années 80 sont apparus des filtres actifs à capacités commutés. Ils permettent de programmer la fréquence de coupure et d'être intégrable.

TYPE	COMPOSANTS	SPECIFITES
Filtre numérique	Circuit logiques intégrés	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Signaux numérisés ▶ $F < 100\text{MHz}$ ▶ convient en grande série ▶ entièrement programmable
Filtres passifs	Circuit discret L et C, Composants piézoélectrique (quartz)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ F élevée ▶ pas d'alimentation ▶ non intégrable
Filtres actifs	AIL, R et C	<ul style="list-style-type: none"> ▶ $F < 1\text{ MHz}$ ▶ besoin d'alimentation ▶ tension filtrée faible $< 12\text{V}$
Filtres à capacités commutées	AIL, Interrupteur commandé MOS, R et C intégré	<ul style="list-style-type: none"> ▶ $F < \text{qq MHz}$ ▶ besoin d'alimentation ▶ intégrable ▶ fréquence programmable



Rappels sur la théorie du filtrage

1. Notion de fonction de transfert



Le comportement d'un filtre est défini par l'étude fréquentielle de la fonction de transfert entre la tension de sortie et la tension d'entrée du filtre

$$H(jw) = \frac{V2}{V1}$$

$$H_{dB} = 20 \bullet \log \left| \frac{V2}{V1} \right| \quad \varphi = \text{Arctan}[H(jw)]$$

2. Notion de fonction d'atténuation

Parfois, on préfère définir un filtre par rapport à l'atténuation qu'il amène sur la grandeur d'entrée :

$$A(jw) = \frac{1}{H(jw)} = \frac{V1}{V2}$$

3. Filtre réel – Gabarit

Un filtre idéal présente :

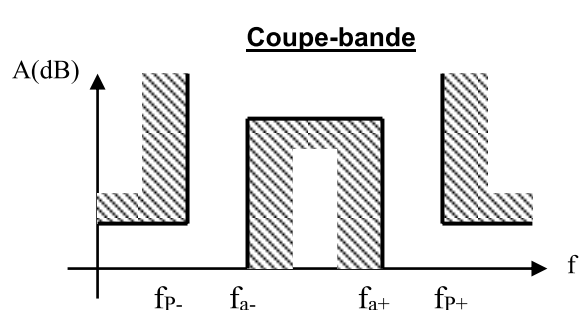
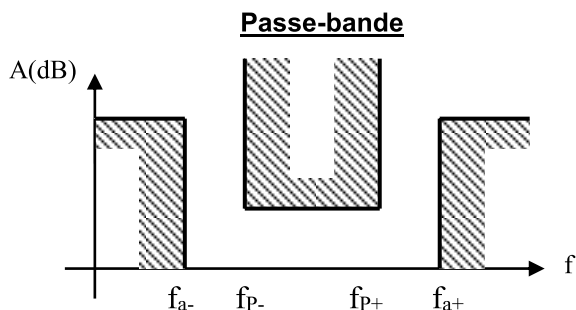
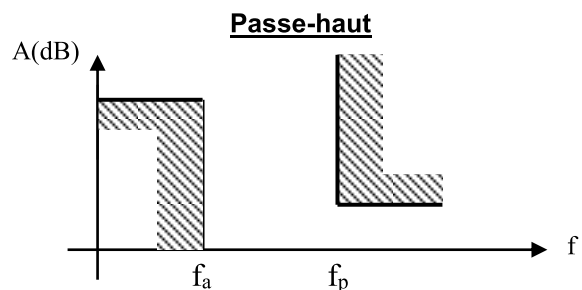
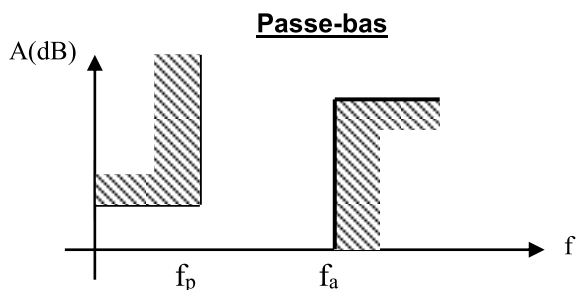
- un affaiblissement nul dans la bande de fréquence que l'on désire conserver (Bande passante)
- un affaiblissement infini dans la bande que l'on désire éliminer (Bande atténuée)

Il est impossible pratiquement de réaliser de tels filtres. Aussi se contente-t-on d'approcher cette réponse idéale en :

- conservant l'atténuation A inférieure à A_{\max} dans la bande passante
- conservant l'atténuation supérieure à A_{\min} dans la bande atténuée

Cela conduit ainsi à définir un **gabarit** définissant des zones interdites et des zones dans lesquelles devront impérativement se situer les graphes représentant l'atténuation du filtre en fréquence.

Suivant le type de réponse que l'on désire obtenir, on est amené à définir 4 familles de filtres :



4. Notion de sélectivité et de bande relative

Au lieu de conserver explicitement les fréquences frontières comme paramètres de calcul, il est plus simple et plus parlant de leur substituer les paramètres équivalents (mais sans dimension) que sont la sélectivité k et la largeur de bande relative B .

Type de filtre	Sélectivité k	Bande relative B	Fréquence de référence
Passe-bas	$\frac{f_p}{f_a}$		fp
Passe-haut	$\frac{f_a}{f_p}$		fa
Passe-bande	$\frac{f_p^+ - f_p^-}{f_a^+ - f_a^-}$	$\frac{f_p^+ - f_p^-}{f_o}$	fo
Coupe-bande	$\frac{f_a^+ - f_a^-}{f_p^+ - f_p^-}$	$\frac{f_a^+ - f_a^-}{f_o}$	fo

Pour un filtre très sélectif, k tend vers 1.

5. Notion de temps de propagation de groupe

Il est défini par :

$$\tau = \frac{d\varphi}{d\omega}$$

Il caractérise le retard apporté par le filtre sur les différents harmoniques du signal d'entrée.

Remarque : pour un signal audio, il faut qu'il soit constant



Recherche de la fonction de transfert d'un filtre

1. Normalisation en fréquence

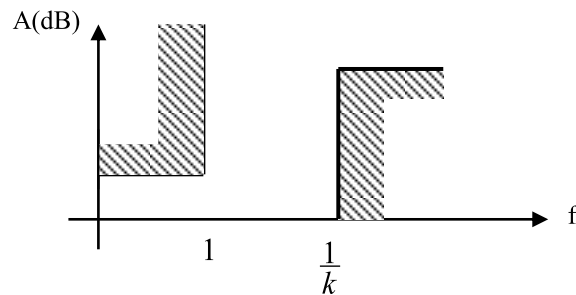
Elle consiste à choisir comme unité de fréquence, non plus le Hertz, mais une fréquence de référence associée au gabarit.

On utilise généralement la fréquence de coupure :

- fp pour les filtres passe-bas
- fa pour les filtres passe-haut
- fo pour les filtres passe-bande et coupe-bande

On essaie le plus souvent possible de symétriser les gabarits des filtres coupe-bande et passe-bande.

Passe-bas normalisé



2. Transposition

On peut ramener l'étude d'un filtre passe-haut, passe-bande symétrique ou coupe-bande symétrique normalisé à celle d'un filtre passe-bas.

C'est une simplification considérable qui justifie à elle seule que l'on recherche à représenter les spécifications d'un filtre par un gabarit simplifié symétrique.

En effet, ces transformations s'appliquent aussi bien aux gabarits qu'aux fonctions de transfert et aux impédances. (on peut vérifier qu'elle ne modifie pas la sélectivité)

Si l'on veut réaliser un filtre passe-haut, passe-bande ou coupe-bande dont les paramètres sont Amax, Amin et k, il suffit alors d'étudier le filtre prototype passe-bas défini par ces mêmes paramètres et d'en transposer la fonction de transfert.

Filtre Passe-bas	Filtre Passe-haut	Filtre Passe-bande	Filtre Coupe-bande
$p \rightarrow \frac{p}{w_o}$	$p \rightarrow \frac{w_o}{p}$	$p \rightarrow \frac{1}{B} \left(\frac{p}{w_o} + \frac{w_o}{p} \right)$	$p \rightarrow B \left(\frac{1}{\frac{p}{w_o} + \frac{w_o}{p}} \right)$

3. Fonction de transfert de filtres analytiques

Lorsque l'on veut dimensionner un filtre, on ne sait calculer analytiquement qu'un petit nombre de fonctions caractéristiques convenant à la réalisation d'un gabarit.

Les différentes fonctions que l'on peut utiliser fixeront les propriétés physiques de notre filtre.

► Filtres de Butterworth

- ordre élevé si l'on veut une grande sélectivité (pb de réalisation)
- pas d'ondulation dans la bande passante
- temps de propagation de groupe # constant (déphasage quasi linéaire)

► **Filtre de Tchebycheff**

- ordre plus petit pour une grande sélectivité
- si l'ordre est n , il présente n ondulations dans la bande passante
- temps de propagation de groupe non constant (déphasage non linéaire)

► **Filtre de Bessel**

- coupure plus douce.
- temps de propagation de groupe constant (déphasage linéaire)
- minimisation des distorsions

► **Filtre de Cauer**

- Filtre à coupure maximale



Structure de filtres actifs

L'inconvénient d'un filtre actif est qu'il faut l'alimenter et se contenter de signaux d'amplitudes limitée par les AIL. Le niveau de bruit et la présence de tension d'offset peuvent aussi limiter les domaines d'applications.

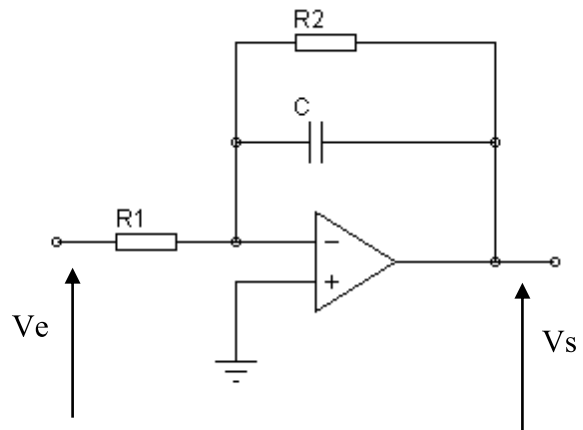
Son avantage est que chaque cellule élémentaire peut se cascader (R_e élevé et R_s faible) afin de former un filtre d'un gabarit plus complexe.

1. Structure du premier ordre

Passe-bas

$$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + R_2 \cdot C \cdot j\omega}$$

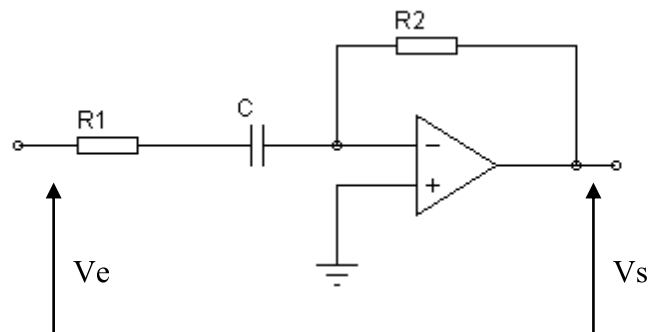
$$f_c = \frac{1}{R_2 \cdot C \cdot 2\pi}$$



Passe-haut

$$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_1 \cdot C \cdot j\omega}{1 + R_1 \cdot C \cdot j\omega}$$

$$f_c = \frac{1}{R_1 \cdot C \cdot 2\pi}$$



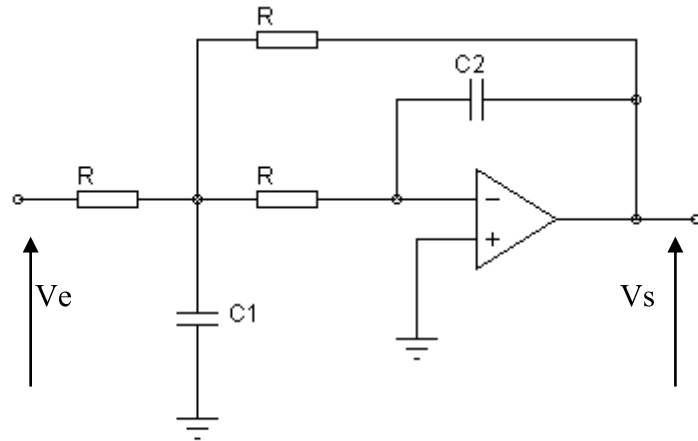
2. Structure du deuxième ordre

Passe-bas

Cellule de Rauch

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{-1}{R^2 \cdot C1 \cdot C2 \cdot p^2 + 3 \cdot R \cdot C2 \cdot p + 1}$$

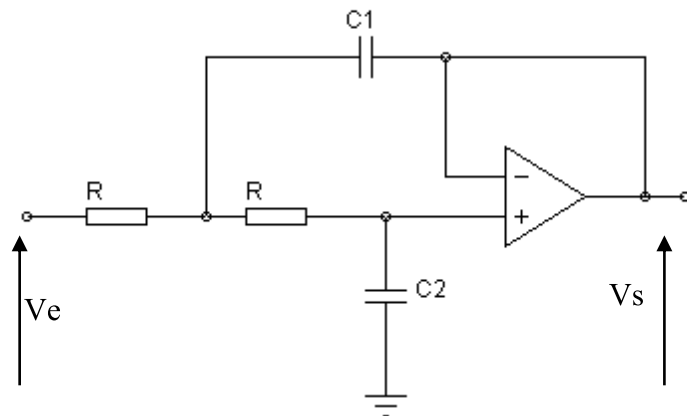
$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot \sqrt{C1 \cdot C2}}$$



Cellule de Sallen key

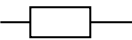
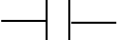
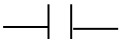
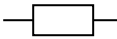
$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{R^2 \cdot C2 \cdot C1 \cdot p^2 + 2 \cdot R \cdot C2 \cdot p + 1}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot \sqrt{C1 \cdot C2}}$$



Passe-haut

On effectue les transpositions :

	Passe-bas	Passe-haut
Structure		
		



- 1. Recherche du gabarit**
- 2. Normalisation du gabarit**
- 3. Choix d'un type de filtre d'après le cahier des charges**
(Butterworth, Cauer, Tchebycheff...)
- 4. Recherche de la fonction de transfert du passe-bas normalisé dans des abaques**
- 5. Transpositions de la fonction de transfert**
- 6. Identification avec une structure**
- 7. Calculs des composants**