

Filtres

Les filtres utilisés en radiofréquences ou en audiofréquences ont pour but de **sélectionner**, parmi des signaux de fréquences différentes ceux qui seront utiles en éliminant les signaux non nécessaires.

Un filtre est **passif** s'il n'utilise que des composants passifs (bobines, résistances, condensateurs) ou **actif** s'il comporte des composants actifs (transistors, circuits intégrés)

1°) Octave - Décade

a) Octave

Tous les musiciens savent que la note "La grave" a une fréquence de 440Hz, et que la note "LA aigu" a une fréquence de 880Hz soit le double. On dit qu'entre un La grave et un La aigu, il y a **une octave**

Deux fréquences f_1 et f_2 sont séparées d'une octave signifie que

$$f_2 = 2 \times f_1$$

Par exemple,

La fréquence supérieure d'une octave à 1000 Hz est 2000Hz

La fréquence supérieure d'une octave à 2000 Hz est 4000Hz

De 1000 Hz à 4000 Hz, il y a donc 2 octaves

b) Décade

Soit deux fréquences f_1 et f_2 , une décade les sépare si

$$f_2 = 10 \times f_1$$

La fréquence supérieure d'une décade à 1000 Hz est 10 000Hz

La fréquence supérieure d'une décade à 144 MHz est 1,44 GHz

La fréquence inférieure de 2 décades à 1000 Hz est 10 Hz

2°) Les filtres

Les filtres utilisés en radiofréquences ou audiofréquences ont pour but de sélectionner, parmi des signaux de fréquences différentes, ceux qui seront utiles en éliminant les signaux indésirables.

Un filtre est dit "**passif**" s'il n'est constitué que de composants passifs, résistances, condensateurs, bobines.

Un filtre est dit "**actif**" s'il comporte des éléments actifs tels que transistors, circuits intégrés....

Les différents types de filtres sont les suivants :

- Le **filtre passe-bas**, qui comme son nom l'indique se laissera traverser par les fréquences inférieures à sa fréquence de coupure notée F_c ,

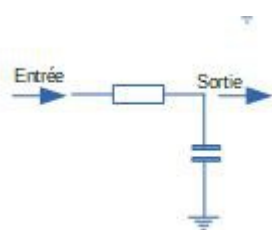
tout en atténuant fortement les fréquences supérieures à F_c

- Le **filtre passe-haut**, qui se laissera traverser par les fréquences supérieures à sa fréquence de coupure notée F_c , tout en atténuant fortement les fréquences inférieures à F_c .

- Le **filtre passe-bande**, qui se laissera traverser par les fréquences situées entre deux fréquences f_1 et f_2 tout en éliminant les fréquences inférieures à f_1 et supérieures à f_2

- Le filtre **coupe-bande (réjecteur ou circuit bouchon)**, qui éliminera les fréquences comprises entre deux fréquences f_1 et f_2 tout en se laissant traverser par les fréquences inférieures à f_1 et supérieures à f_2

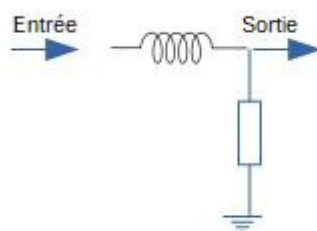
3°) Filtre passe-bas



Passe-bas RC

fréquence de coupure :

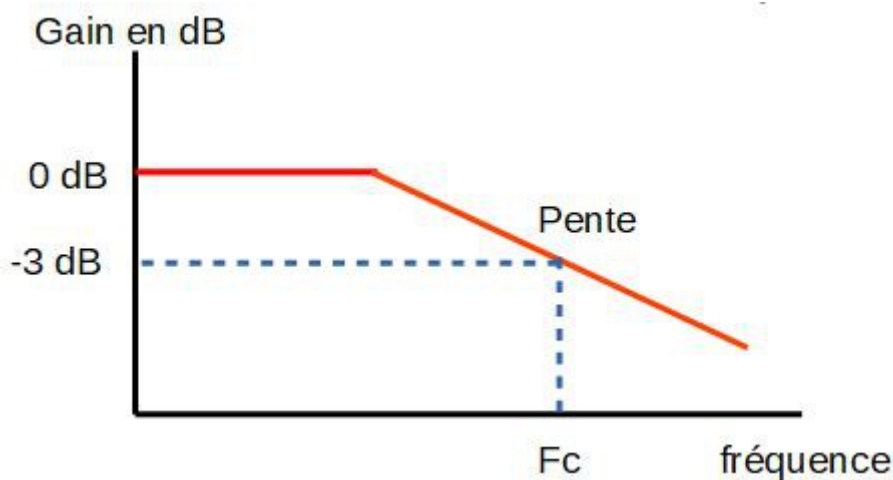
$$F_c = 1 / (6,28 \times R \times C)$$



Passe-bas LR

Fréquence de coupure :

$$F_c = R / (6,28 \times L)$$



Le filtre passe-bas transmet les fréquences inférieures à la fréquence de coupure en atténuant les fréquences supérieures.

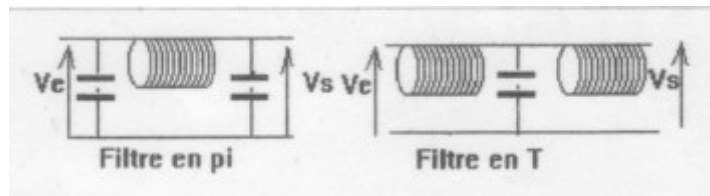
La coupure n'est pas franche, la pente de la courbe peut être plus ou moins prononcée. Une pente « raide » montre un filtre qui coupe efficacement les fréquences supérieures à sa fréquence de coupure et pourra ainsi isoler deux signaux proches l'un de l'autre

La pente s'exprime en dB/octave

Dans les circuits ,ci-dessus, il n'y a qu'un élément réactif (condensateur pour le filtre RC et bobine pour le circuit LR) on calcule que la pente sera de :

-6 dB/octave

-20 dB/décade



Pour les rendre plus efficaces, augmenter la pente, on peut associer plusieurs éléments réactifs

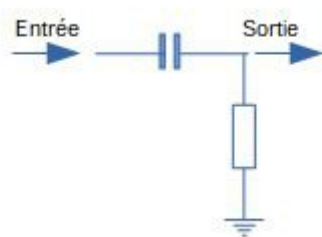
Pour les filtres passe-bas ci-dessus, , il y a 3 éléments réactifs, la pente sera donc

$$3 \times (-6\text{dB/octave}) = -18 \text{ dB/octave}$$

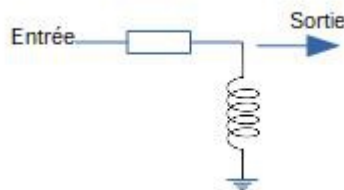
ou

$$3 \times (-20 \text{ dB/décade}) = -60 \text{ dB/décade}$$

4°) Filtre passe haut



Passe-haut CR



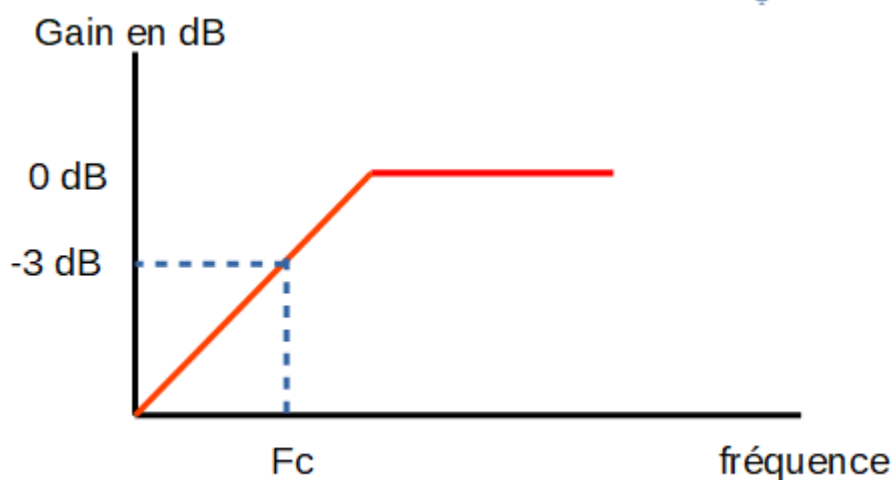
Passe-haut RL

fréquence de coupure :

$$F_c = 1 / (6,28 \times R \times C)$$

Fréquence de coupure :

$$F_c = R / (2 \times \pi \times L)$$

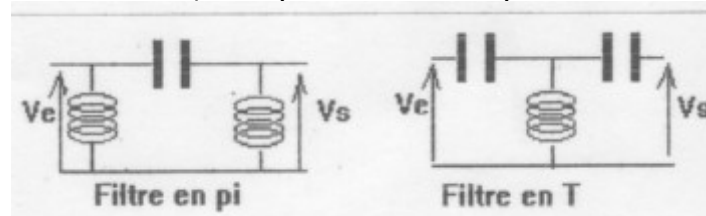


Le filtre passe-haut transmet les fréquences supérieures à la fréquence de coupure en atténuant les fréquences inférieures. Il n'y a qu'un élément réactif (condensateur pour le filtre CR et bobine pour le circuit RL) la pente sera de

-6 dB/octave

-20 dB/décade

Pour les rendre plus efficaces, on peut associer plusieurs éléments réactifs



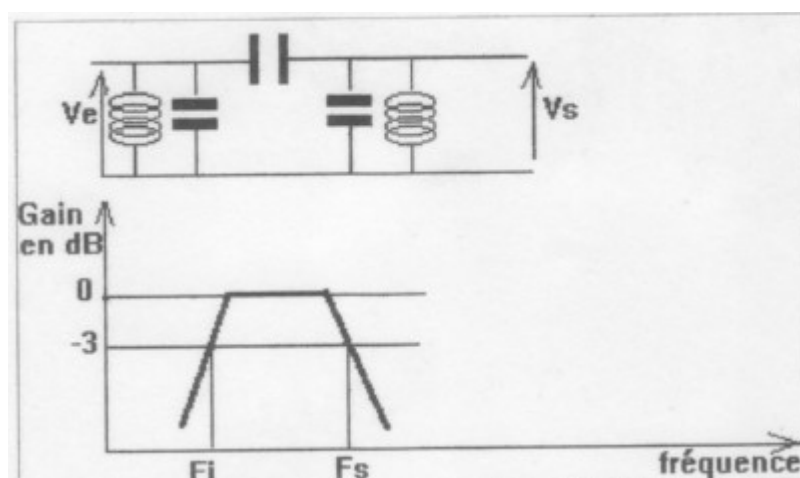
Pour les filtres passe-haut ci dessus, il y a 3 éléments réactifs, la pente sera donc :

$$3 \times (-6\text{dB/octave}) = -18 \text{ dB/octave}$$

ou

$$3 \times (-20 \text{ dB/décade}) = -60 \text{ dB/décade}$$

5°) Filtre passe bande



Le filtre passe-bande transmet les fréquences comprises entre

- F_i : fréquence de coupure inférieure à -3dB

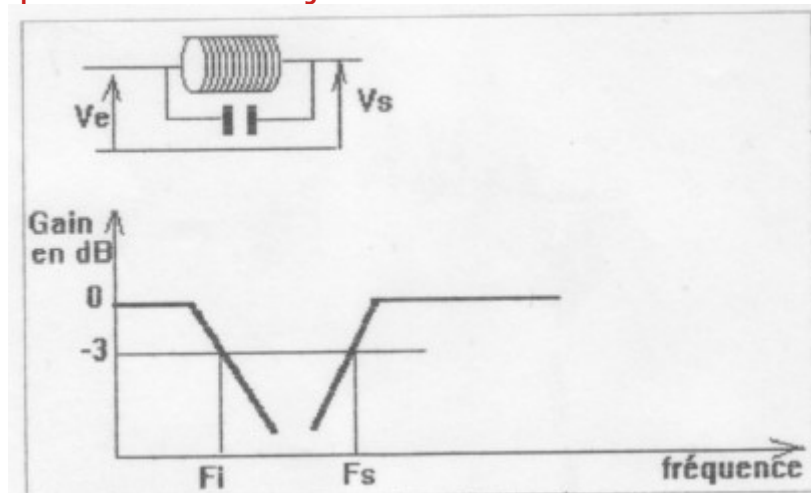
- F_s : fréquence de coupure supérieure à -3dB

La bande passante à -3dB est $B = F_s - F_i$

Par exemple si $F_i = 3,220 \text{ MHz}$ et $F_s = 3,240 \text{ MHz}$, la bande passante à -3dB est

$$B = 3,240 - 3,220 = 0,020 \text{ MHz soit } 20 \text{ kHz}$$

5°) Filtre coupe-bande ou réjecteur

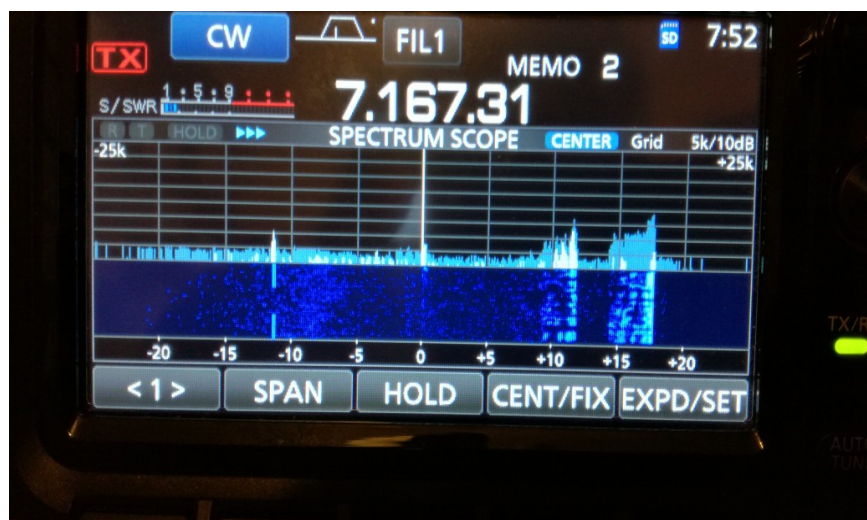


Le filtre coupe-bande atténue les signaux compris entre
- F_i , la fréquence de coupure inférieure à -3dB
- F_s , la fréquence de coupure supérieure à -3dB

C'est un réjecteur de fréquences ou circuit bouchon
Ce circuit a une très forte impédance à la fréquence de résonance
(formule de Thomson)

Ce type de circuit est utilisé par exemple pour fabriquer des antennes à trappes

6°) Les harmoniques



a) l'analyseur de spectre

Analyseur de spectre de l'IC7300

On trouve maintenant dans les récepteurs modernes un analyseur de spectre qui permet d'un coup d'œil de voir la répartition des signaux présents sur une bande de fréquence donnée.

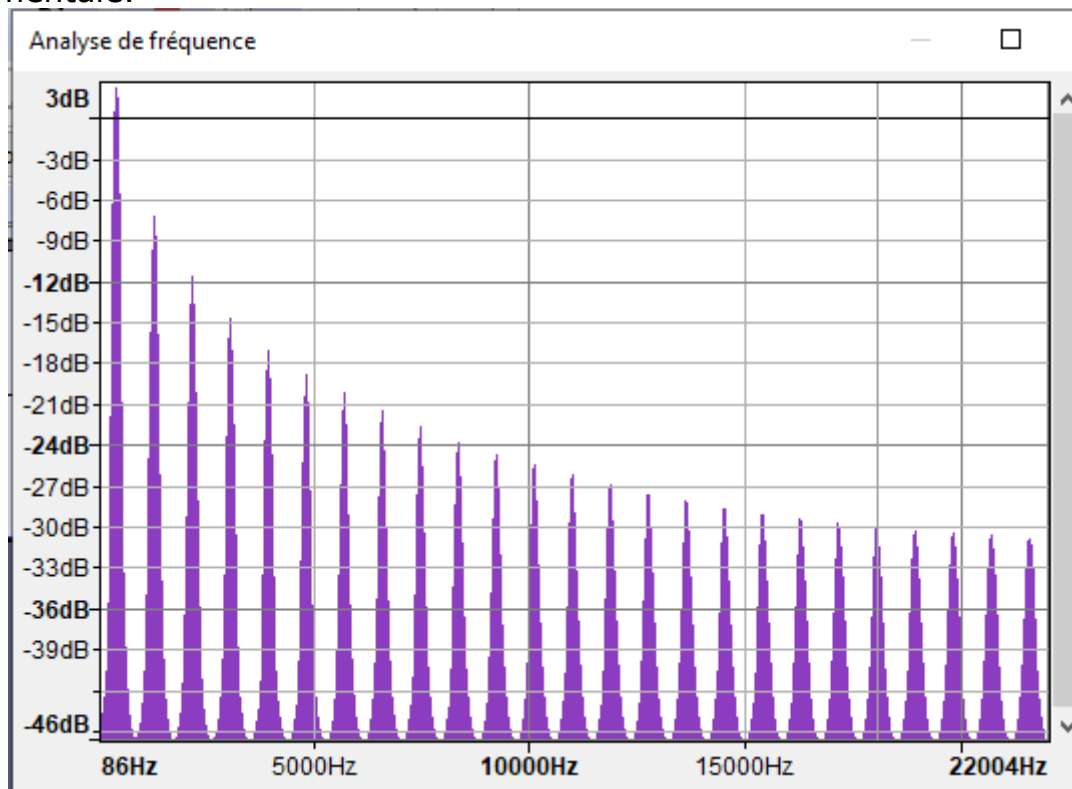
La photo ci-dessus montre une partie de la bande des 40m. La fréquence centrale de l'affichage est 7,16731 MHz. Les signaux présents se répartissent plus ou moins 25 kHz autour de la fréquence centrale.

Il y a trois signaux sur cette petite bande de fréquences, leur hauteur montre leur puissance relative.

b) harmoniques

Les signaux, en basse ou en haute fréquence utilisés dans notre domaine radioamateur sont rarement purement sinusoïdaux. Ils sont des mélanges de fréquences que l'on peut analyser avec un analyseur de spectre.

Ils contiennent comme par exemple un signal carré de nombreuses harmoniques qui sont des multiples de la fréquence « utile » est appelée fondamentale.



Spectre d'un signal **carré de fréquence 440Hz** généré par le logiciel libre *Audacity*

Une analyse fine montre que la raie la plus grande, la fondamentale F est à 440 Hz, la seconde raie à 1320Hz ($3 \times F$) ; la troisième à 2200 Hz ($5 \times F$). Ce sont des **harmoniques** de F. La hauteur du signal diminue à chaque harmonique

c) harmonique : définition

Soit F une fréquence donnée par exemple 440 Hz, F est la fondamentale

On appelle harmonique de rang 2 : $2 \times F = 2 \times 440 \text{ Hz} = 880 \text{ Hz}$

On appelle harmonique de rang 3 : $3 \times F = 3 \times 440 \text{ Hz} = 1320 \text{ Hz}$

On appelle harmonique de rang 4 : $4 \times F = 4 \times 440 \text{ Hz} = 1760 \text{ Hz}$

Dans le signal carré de 440Hz, on ne retrouve que les harmoniques 3 ; 5 ; 7....

d) Les harmoniques en émission radio sont parfois utiles :

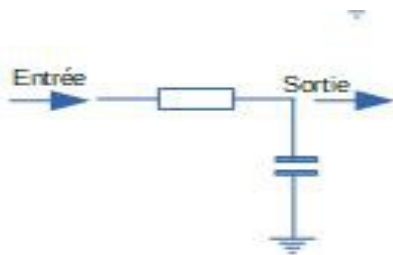
Il est parfois nécessaire de multiplier la fréquence d'un oscillateur, pour cela il suffit de faire passer ce signal dans un étage non linéaire, un amplificateur saturé par exemple, et de nombreuses harmoniques de la fondamentale sont produites, qu'il suffit de filtrer pour sélectionner la fréquence recherchée.

e) Les harmoniques en émission radio sont parfois néfastes:

Un signal HF mal amplifié produira des harmoniques qu'il faut éliminer car elles sont cause de brouillage. Un filtre passe-bas sera placé à la sortie de l'émetteur dont la fréquence de coupure sera inférieure l'harmonique 2 du signal émis.

7°) Exercices corrigés

1) exercice 1



$R = 1\text{k}\Omega$ ou 1k

$C = 1,6 \text{ nF}$ ou 1n6

Un signal de 100 kHz de tension 4V est appliqué à l'entrée de ce filtre passe bas ?
passe-haut ?

Quelle est la tension de sortie ?

Remarque : ces exercices sont extraits d'examens pour la licence. Le calcul, de la tension de sortie est trop complexe si on ne se trouve pas proche de la fréquence de coupure à -3dB. C'est pourquoi, celui qui a posé le problème étudie ce filtre sur une fréquence proche de la fréquence de coupure.

Réponses :

C'est un filtre passe-bas

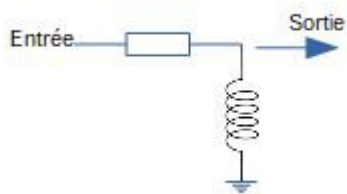
On ne pourra calculer cette tension que si 100 kHz est très proche de la fréquence de coupure à -3 dB du filtre.

$$F_c = 1/(2\pi RC) = 1/(6,28 \times 1\,000 \times 1,6 \times 10^{-9})$$

$F_c = 99522 \text{ Hz}$ soit près de 100 kHz

100 kHz est la fréquence de coupure à -3dB donc la tension de sortie est à 70% de la tension d'entrée soit $4 \times 0,7 = 2,8\text{V}$

Exercice 2



$R = 10\text{k}$

$L = 100 \text{ mH}$

Fréquence de coupure à -3dB ,

Passe bas ? Passe haut ?

Un signal de fréquence 16kHz est appliqué à l'entrée, la tension de sortie du filtre est $0,7\text{V}$.

Quelle est la tension à l'entrée du filtre ?

Réponses :

C'est un filtre passe-haut

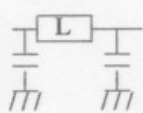
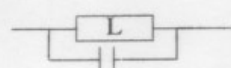
$F_c = R / (2\pi L) = 10\,000 / (6,28 \times 100 \times 10^{-3}) = 15,9\text{KHz}$

La fréquence appliquée à l'entrée du filtre est proche de la fréquence de coupure à -3dB

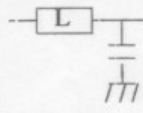
On sait que $U_s = U_e \times 0,7$ donc $U_e = U_s / 0,7 = 0,7 / 0,7 = 1\text{V}$

1. Nombre d'octaves ?	2. Nombre de décades ?
entre $F_1 = 1000 \text{ Hz}$ et $F_2 = 4000 \text{ Hz}$	entre $F_1 = 100 \text{ Hz}$ et $F_2 = 100 \text{ kHz}$
A. 1 B. 3	A. 2 B. 4
C. 2 D. 4	C. 3 D. 5

3. Quelle est la fréquence supérieure de 2 octaves à $F = 14 \text{ MHz}$?	4. Quelle est l'harmonique 3 de 144 MHz ?
A. 28 MHz B. 7 MHz	A. 1440 Hz B. 432 MHz
C. 56 MHz D. 112 MHz	C. 288 MHz D. 116 MHz

5. Filtre ?	6. Filtre ?
L : inductance 	L: inductance 
A. passe bas B. passe bande	A. passe bas B. passe bande
C. passe haut D. réjecteur	C. passe haut D. coupe bande

7. Bande passante à -3 dB	8. Pente ?
Fréquence inférieure de coupure à -3 dB : $F_i = 850 \text{ Hz}$ Fréquence supérieure de coupure à -3 dB : $F_s = 950 \text{ Hz}$	G à 1200 Hz : -3 dB G à 2400 Hz : -9 dB
A. 1700 Hz B. 50 Hz	A. -6dB/octave B. -12dB/octave
C. 20 Hz D. 100 Hz	C. -10dB/décade D. -12dB/décade

9. Pente ?	10. Fréquence?
	de coupure supérieure à -3dB sachant que la bande passante est 250 Hz et la fréquence inférieure de coupure à -3dB 850 Hz
A. -6dB/octave B. -12dB/décade	A. 500 Hz B. 1100 Hz
C. -40dB/décade D. -40dB/octave	C. 100 Hz D. 600 Hz

Préparation à la licence Radioamateur. Questionnaire n°21. F6FTC