


## Chapitre 4 : Les filtres électriques

Principe de fonctionnement

Le principe du filtre passif est de modifier l'impédance du réseau afin de faire dériver les courants harmoniques et, du même coup, éliminer les tensions harmoniques résultantes. Ces filtres sont composés d'éléments capacitifs et inductifs.

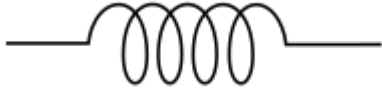
Nature du filtre

Un condensateur est fil coupé en continu et un fil en haute fréquence, tandis qu'une self est un fil en continu et un fil coupé en haute fréquence.


$$Z_c = \frac{1}{C\omega} \quad \text{pour } \omega = 0 \quad Z_c \rightarrow \infty, \quad \text{pour } \omega \rightarrow \infty \quad Z_c \rightarrow 0$$



L'équivalent d'un fil et d'un fil coupé



$$Z_L = L\omega, \text{ nulle pour } \omega = 0 \text{ et } \infty \text{ pour } \omega \rightarrow \infty$$

Etude d'un filtre en régime sinusoïdal

$$v_e(t) = V_e \cos(\omega t) = \text{Ree}(\bar{v}_e), \text{ tension d'entrée}$$

$$v_s(t) = V_s \cos(\omega t + \varphi) = \text{Ree}(\bar{v}_s), \text{ tension de sortie}$$

La fonction de transfert d'un filtre est définie par :

$$\bar{H}(\omega) = \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_e}$$

Le déphasage du filtre est défini par :  $\varphi = \arg(\bar{H}(\omega))$

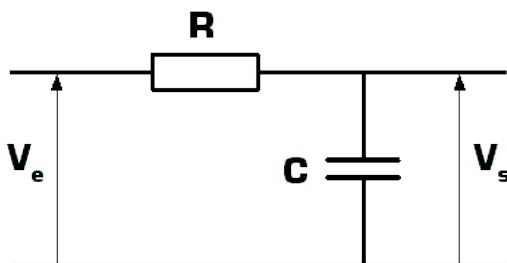
### Etude d'un filtre en régime quelconque

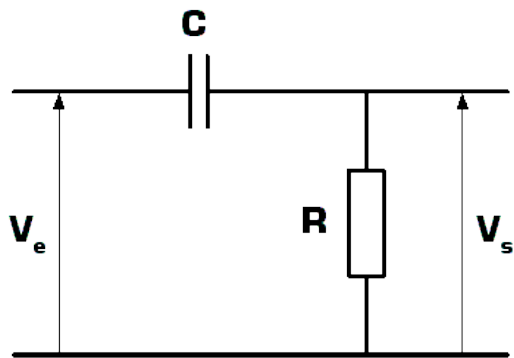
Il s'agit :

- de décomposer le signal d'entrée en signaux sinusoïdaux ( analyse de Fourier) ;
- de comprendre fréquence par fréquence, ce que fait le filtre à chaque sinus de la décomposition ;
- de recomposer le signal de sortie à partir des signaux sinusoïdaux donnés par le filtre.

Filtre passe bas

1) Filtre passe bas du premier ordre





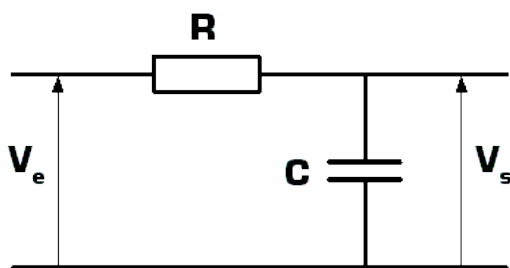
$$\bar{V}_e = \bar{I} \left( R + \frac{1}{jC\omega} \right) \quad \bar{V}_s = \frac{\bar{I}}{jC\omega}$$

$$\bar{H}(\omega) = \frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_e} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

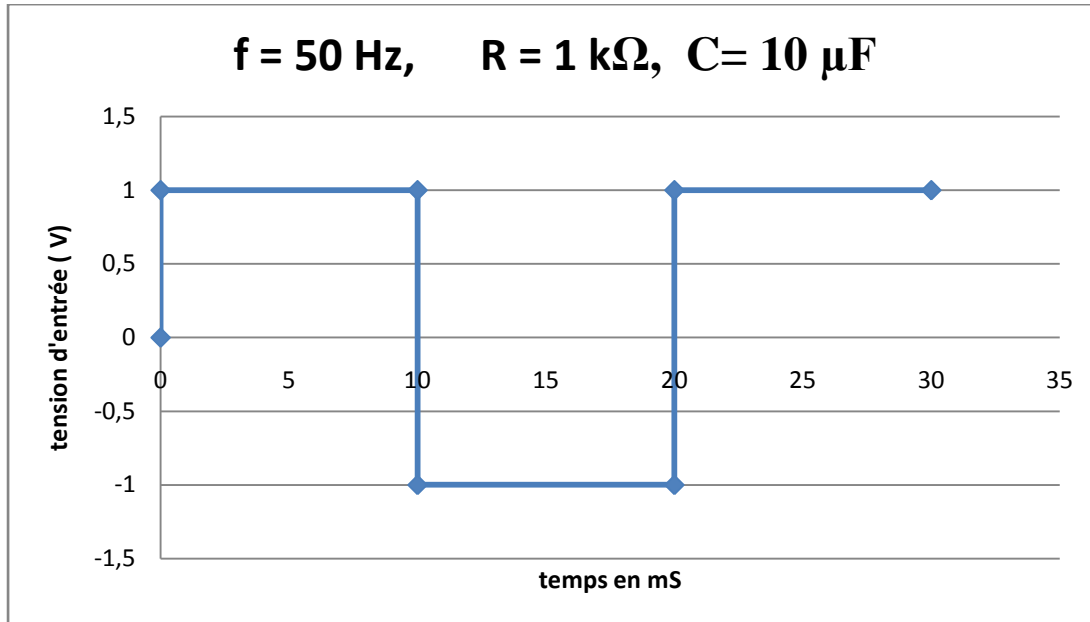
En posant  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$  ,  $\bar{H} \left( r = \frac{\omega}{\omega_0} \right) = \frac{1}{1 + jr}$  ,  $\omega_0$  est la fréquence de coupure.

Ce filtre coupe les hautes fréquences ; nous allons développer son intérêt à partir d'un exemple.

Exemple :



Avec un signal d'entrée  $v_e(t)$  :



Tracer le spectre d'entrée des 5 premiers harmoniques.

Tracer le spectre de sortie des 5 premiers harmoniques

$$v_e(t) = 1 V \quad t \in \left[0, \frac{T}{2}\right]$$

$$v_e(t) = -1 V \quad t \in \left[\frac{T}{2}, T\right]$$

$$v(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t]$$

$v_e(-t) = -v_e(t)$ , fonction impaire, donc  $a_n = 0$ .

$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} v_e(t) \cdot \sin n\omega t \cdot dt$$

$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} \sin n\omega t \cdot dt = \frac{4}{T} \cdot \frac{1}{n\omega} \cdot (-1) \cdot [\cos \omega t]_0^{T/2}$$

$$= \frac{-4}{2\pi n} \left[ \cos n\omega \frac{T}{2} - \cos 0 \right]$$

$$= \frac{-2}{\pi n} [\cos n\pi - \cos 0] = \frac{-2}{\pi n} [-1 - 1]$$

$$b_n = \frac{4}{n\pi}$$

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n\pi} \cdot \sin n\omega t$$

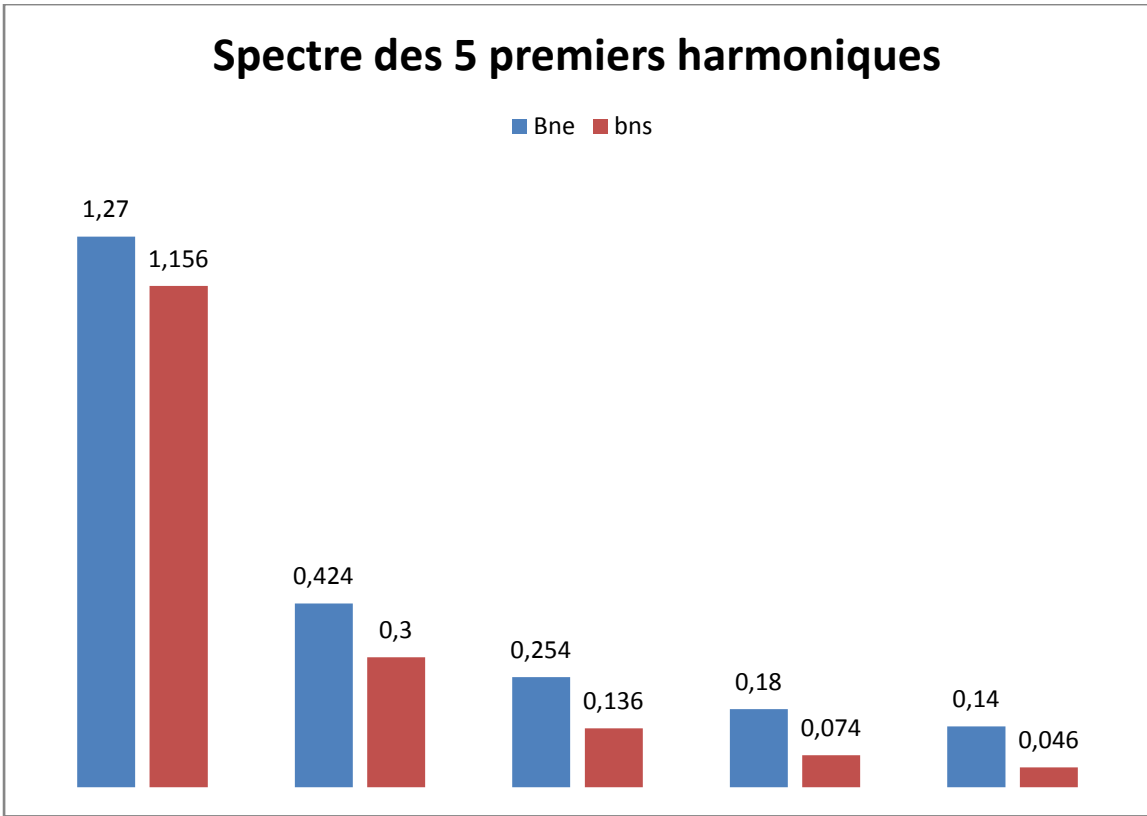
n	1	3	5	7	9
f <sub>n</sub> =n.f	50	150	250	350	450
b <sub>ne</sub> (entrée)	1.27	.424	.254	.181	.141

$$\bar{H}(\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

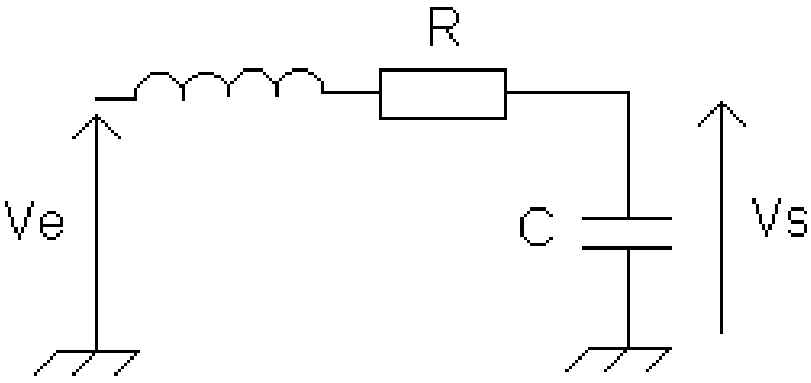
$$|\bar{H}(\omega)| = \left| \frac{1 - jRC\omega}{1 + (RC\omega)^2} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}$$

$$b_{ns} \text{ (sortie)} = |\bar{H}(\omega)| \cdot b_{ne} \text{ (entrée)}$$

n	1	3	5	7	9
ω <sub>n</sub> = 2πnf	314	942	1570	2198	2896
b <sub>ne</sub>	1.27	.424	.254	.18	.14
b <sub>ns</sub>	1.156	.3	.136	.074	.046



Filtre passe bas du deuxième ordre



$$\bar{H}(\omega) = \frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_e} = \frac{1}{1 + jRC\omega - LC\omega^2}$$

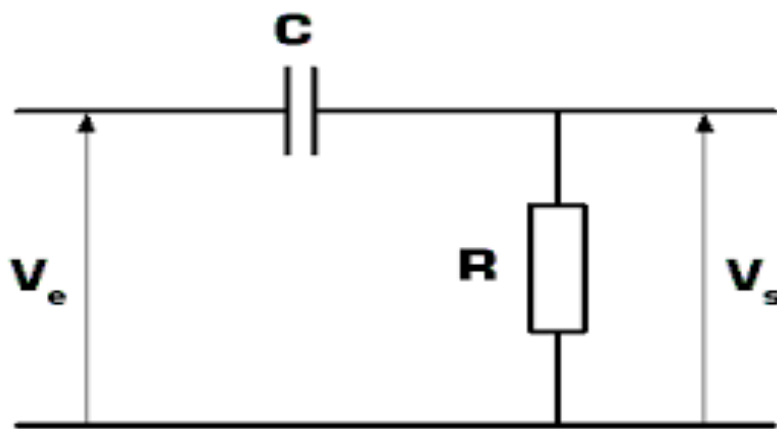
On posant :  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , la pulsation de coupure du filtre, en déduit le facteur de qualité du filtre par :

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Les effets d'un filtre passe bas du deuxième ordre sur un signal triangle par exemple de fréquence  $f_0$  dont la fréquence de coupure est  $f_c$  est inchangé si  $f_c = 50 \cdot f_0$ , par contre le signal d'entrée est transformé en sinus si  $f_c = f_0$  car les harmoniques sont éliminés.

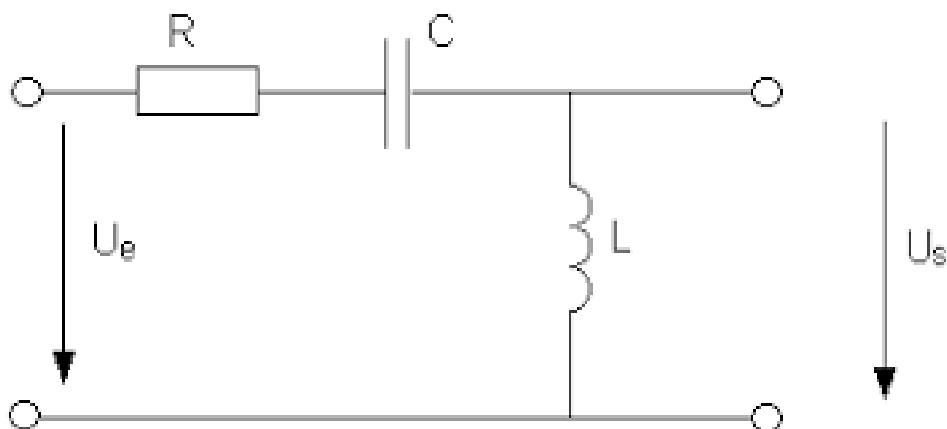
Filtre passe haut

Filtre passe haut du premier ordre



$$\bar{H}(\omega) = \frac{j(RC\omega)}{1 + jRC\omega}$$

Filtre passe haut du deuxième ordre



$$\bar{H}(\omega) = \frac{-LC\omega^2}{1 + jRC\omega - LC\omega^2}$$

Avec une fréquence de coupure de :  $\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  et un facteur de qualité de  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$

### Filtrage des harmoniques

Les courants et tensions harmoniques sont les composantes sinusoïdales des signaux déformés périodiques décomposés en série de Fourier.

Les harmoniques sont une description mathématique de la distorsion d'un signal à priori sinusoïdal.

Les courants harmoniques sont dus à la présence de charges électriques non linéaires dans un réseau électrique. Du fait des impédances du réseau, ces courants harmoniques sont la cause de l'apparition d'harmoniques de tensions qui affectent alors les autres clients du réseau de distribution.

Les courants harmoniques ont divers effets néfastes. Pour la bonne qualité de l'énergie électrique, il est donc important de limiter leur présence. L'installation de filtres, passifs ou actifs, le choix de couplage de transformateur adapté ainsi que le montage de l'électronique de puissance produisant moins d'harmoniques sont autant de solutions pour limiter le taux de distorsion du courant et de la tension électrique.

### Filtrage passif

Le principe du filtrage passif consiste à modifier localement l'impédance du réseau afin de faire dévier les courants harmoniques et, du même coup, éliminer les tensions harmoniques résultantes.

Afin de concevoir ce type de filtre, une connaissance précise des caractéristiques et du comportement du réseau sous l'effet des harmoniques est nécessaire.

### Classification des filtres passifs

Leur classification est selon :

- leur emplacement sur le réseau ;
- leur mode de connection ;
- leur degré d'amortissement ;
- leur fréquence de résonance .



Les filtres passifs peuvent se diviser en deux familles : les filtres séries et les filtres parallèles.

- (a) Série  $\Rightarrow$  les harmoniques littéralement bloqués par une impédance série élevée entre le convertisseur et le réseau.
- (b) Déviés par une faible impédance en parallèle.
- (c) Ou une combinaison des deux.

#### Filtre passif parallèle

Le filtre parallèle est utilisé exclusivement du côté alternatif pour deux

- 1) Il porte uniquement le courant harmonique et est lié à la terre.
- 2) A la fréquence fondamentale, il possède l'avantage de fournir de la puissance réactive.

- Pour une efficacité équivalente au filtre série le filtre parallèle est beaucoup moins cher.
- Le filtre parallèle est surtout utilisé dans le cas des charges génératrices de tensions harmoniques.

#### Types de filtres parallèles

##### a) Filtre résonant

- Impédance très faible à un courant harmonique de rang déterminé. Le facteur de qualité  $Q$  détermine la précision de réglage de l'harmonique correspondant.
- Pour chaque rang d'harmoniques à filtrer, nous devons compter trois branches shunt, il fournit une partie de la puissance réactive du convertisseur par ces capacités.
- L'inconvénient de ce type de filtre shunt et la variation des éléments  $L$  et  $C$  due à leur vieillissement et à leur qualité.
- Il y a risque de résonance si deux filtres résonants ajustés à la même fréquence sont présents sur un même réseau.

##### b) Filtre amorti

On distingue trois types de filtre amorti : 1<sup>er</sup> ordre, 2<sup>ième</sup> ordre et 3<sup>ième</sup> ordre.

Ils offrent plusieurs avantages :

- Leurs performances