

1. Principe des filtres d'harmoniques

Les harmoniques sont des **fréquences multiples de la fréquence fondamentale (50 Hz)**, générées par des charges non linéaires (variateurs de vitesse, redresseurs, onduleurs...).

☞ Les filtres ont pour rôle de :

- Réduire la **distorsion harmonique**
- Éviter les **échauffements**
- Améliorer la **qualité de l'énergie électrique**

2. Types de filtres d'harmoniques :

A. Filtres passifs

Applications typiques :

- Installations industrielles avec un ensemble de générateurs d'harmoniques de puissance totale (variateurs de vitesse, alimentations sans interruptions, redresseurs...).
- Installation présentant un besoin de compensation d'énergie réactive.
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en tension pour éviter la perturbation de récepteurs sensibles.
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en courant pour éviter les surcharges.

Principe de fonctionnement :

Un circuit LC accordé sur chaque fréquence d'harmonique à filtrer, est placé en parallèle sur le générateur d'harmoniques (**Fig. 1**). Ce circuit de dérivation absorbe les harmoniques et évite que ceux-ci ne circulent dans l'alimentation.

En général, le filtre passif est accordé sur un rang d'harmonique proche de l'harmonique à éliminer. Plusieurs branches de filtres en parallèle peuvent être utilisées lorsque l'on souhaite une réduction forte du taux de distorsion sur plusieurs rangs.

A. 1. Filtre accordé (simple ou double) (Filtre résonant)

- Composé de **L, C** (parfois avec **R**)
- Accordé sur une fréquence harmonique donnée (ex : $5^e = 250$ Hz dans les redresseurs)
- Fonctionne par **résonance**

Condition de résonance :

La fréquence d'accord est donnée par :

☞ Types :

- **Simple accordé** : une seule fréquence
- **Double accordé** : deux fréquences (ex : 5^e et 7^e)

➤ Utilisation :

- Réseaux industriels avec harmoniques dominantes

Avantages :

- Simple et robuste
- Faible coût
- Très efficace pour une harmonique spécifique

Inconvénients :

- N'élimine qu'une seule harmonique (ou quelques-unes si multi-accordé)
- Sensible aux variations du réseau
- Risque de **résonance indésirable**

Exemple: Dimensionnement du filtre:

Dans cette étude, nous nous limiterons au filtrage des harmoniques de rang 3 et 5. Aussi, le montage des filtres est présenté au travers de la figure suivant:

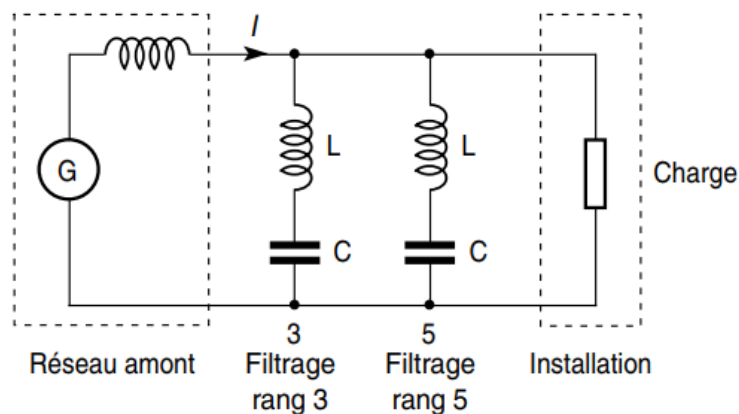


Figure – Schéma du filtre résonant.

Les filtres, pour traiter les harmoniques de rang 3 et 5, doivent avoir respectivement les fréquences de résonance de 150 Hz et de 250 Hz tout en ayant chacun un facteur de qualité supérieur à 75. Pour une valeur de capacité choisie on obtient :

Filtre de rang 3	$f_r = 150 \text{ Hz}$	$C = 1 \text{ microfarad}$
		$L = 1,126 \text{ H}$
		$Z_c = 1061 \text{ Ohms}$
		$Q = 88,4$

Filtre de rang 5	$f_r = 250 \text{ Hz}$	$C = 0,5 \text{ microfarad}$
		$L = 0,8 \text{ H}$
		$Z_c = 1265 \text{ Ohms}$
		$Q = 105,4$

A. 2. Filtre passe-haut

- Atténue les **harmoniques de rang élevé**
- Fonctionne comme un **court-circuit pour les hautes fréquences**

☞ Types :

- 1er ordre (simple)
- 2ème ordre (plus performant)

➤ Utilisation :

- Complément aux filtres accordés

B. Filtres actifs (ou compensateur actif) :

Applications typiques

- Installations tertiaires avec générateurs d'harmoniques de puissance totale **inférieure à 200 kVA** (variateurs de vitesse, alimentations sans interruptions, bureautique...).
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en courant pour éviter les surcharges.

Principe de fonctionnement

Ce sont des systèmes électroniques de puissance installés en série ou en parallèle avec la charge non-linéaire, visant à compenser soit les tensions harmoniques, soit les courants harmoniques générés par la charge.

Principe (Résumé) :

- Mesurent les harmoniques en temps réel
- Injectent un **courant opposé (compensation)**

☞ Types :

- **Filtre actif parallèle (shunt)** : le plus courant
- **Filtre actif série** : protège les charges sensibles

➤ Utilisation :

- Réseaux avec **charges variables**
- Industrie moderne (automatisation)

Le filtre actif réinjecte en opposition de phase les harmoniques présents sur l'alimentation de la charge, de telle sorte que le courant de ligne **I_s** soit sinusoïdal.

C. Filtres hybrides :

Applications typiques

- Installations industrielles avec un ensemble de générateurs d'harmoniques de puissance totale **supérieure à 200 kVA** environ (variateurs de vitesse, alimentations sans interruptions, redresseurs...).
- Installation présentant un besoin de compensation d'énergie réactive.
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en tension pour éviter la perturbation de récepteurs sensibles.
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en courant pour éviter les surcharges.
- Recherche de conformité à des limites strictes d'émission harmonique.

Principe de fonctionnement

Les deux types de dispositifs précédents peuvent être associés au sein d'un même équipement et constituer un filtre hybride (**Fig. 3**). Cette nouvelle solution de filtrage permet de cumuler les avantages des solutions existantes et de couvrir un large domaine de puissance et de performances.

- Combinaison :
 - **Passif** → **harmoniques principales**
 - **Actif** → **correction fine**

➤ Utilisation :

- Installations de **grande puissance**
- Optimisation coût/performance

D. Filtres série et parallèle :

1. Filtre parallèle (Shunt)

☞ Il est **connecté en parallèle avec la charge**.

- **Principe :**

Il offre un chemin de faible impédance aux courants harmoniques, qui sont donc **déviés vers le filtre** au lieu de circuler dans le réseau.

- **Rôle :**
Éliminer les harmoniques du courant.
- **Caractéristique :**
C'est le **type le plus utilisé en industrie.**

2. Filtre série

☞ Il est **placé en série entre le réseau et la charge.**

- **Principe :**
Il présente une **impédance élevée pour les harmoniques**, ce qui **bloque leur propagation** vers la charge.
- **Rôle :**
Protéger les équipements sensibles contre les perturbations.
- **Caractéristique :**
Moins utilisé à cause de son coût et de sa complexité.