

*Chapitre IV:*  
*Filtrage actif dans la compensation hybride*

### Introduction

Après le chapitre précédant, nous découvrais que Les filtres passifs présentent certains inconvénients, tel que la résonance, l'encombrement, les pertes....pour palier ces inconvénients, la conception de nouvelles structures de convertisseurs statiques appelés filtres actifs. Le filtre actif est utilisé pour compenser en temps réel les perturbations, en tout ou en partie.

Dans le premier chapitre nous avons présenté les différentes solutions de filtrage actif des harmoniques, les filtres actifs parallèles et séries, et leur combinaison, dans ce chapitre, nous passons à l'étude en détails les filtres actifs parallèles.

#### IV-1. Structure du filtre actif parallèle

Le filtre actif de puissance parallèle peut être exécuté avec deux types de convertisseurs:[7]

Ø L'onduleur de tension

Ø L'onduleur de courant.

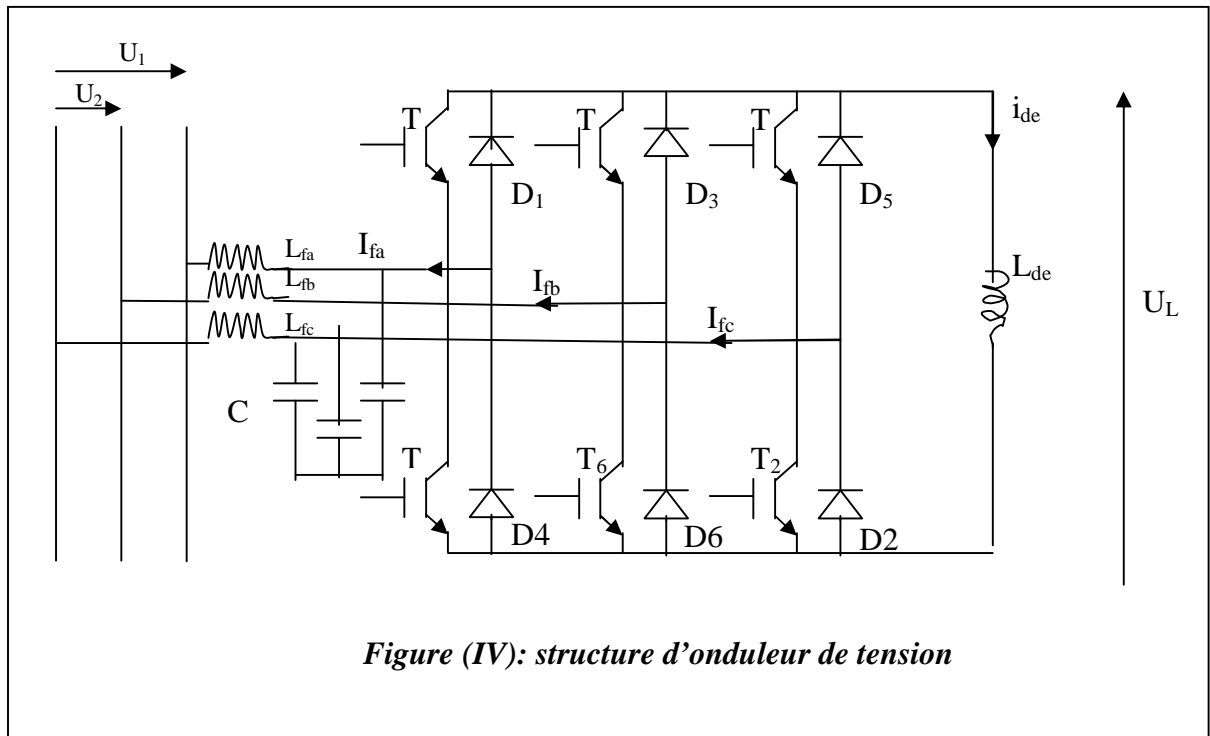
Chaque convertisseur a un côté alternatif et un côté continu.

L'onduleur de tension a trois inductances au côté alternatif et un condensateur au côté continu.

L'onduleur de courant a trois condensateurs au côté alternatifs et une inductance au côté continu.

Le filtre actif est placé en parallèle avec la charge, il est appelé filtre shunt ou parallèle. Ce filtre compensateur de courant injecte un courant ( $i_r$ ) qui s'oppose au courant harmonique produit par la charge ( $i_{Rh}$ ), le courant résultant est alors sinusoïdal.

Généralement on préfère l'onduleur de tension en tant que filtre actif de puissance parallèle parce qu'il présente de faibles pertes du côté continu et pour sa le filtre actif de puissance analysée dans ce chapitre est basé sur l'onduleur de tension à MLI connecté au réseau **Figure (IV-1)**.



#### IV-2. Principe du filtre actif parallèle

Connectés sur un réseau alimentant des charges polluantes, ces structures ont pour vocation, dans une configuration parallèle **Figure (IV-2-a)**, d'éliminer de façon actif, tout ou partie des harmoniques de courant resté après le filtrage passif. [10]

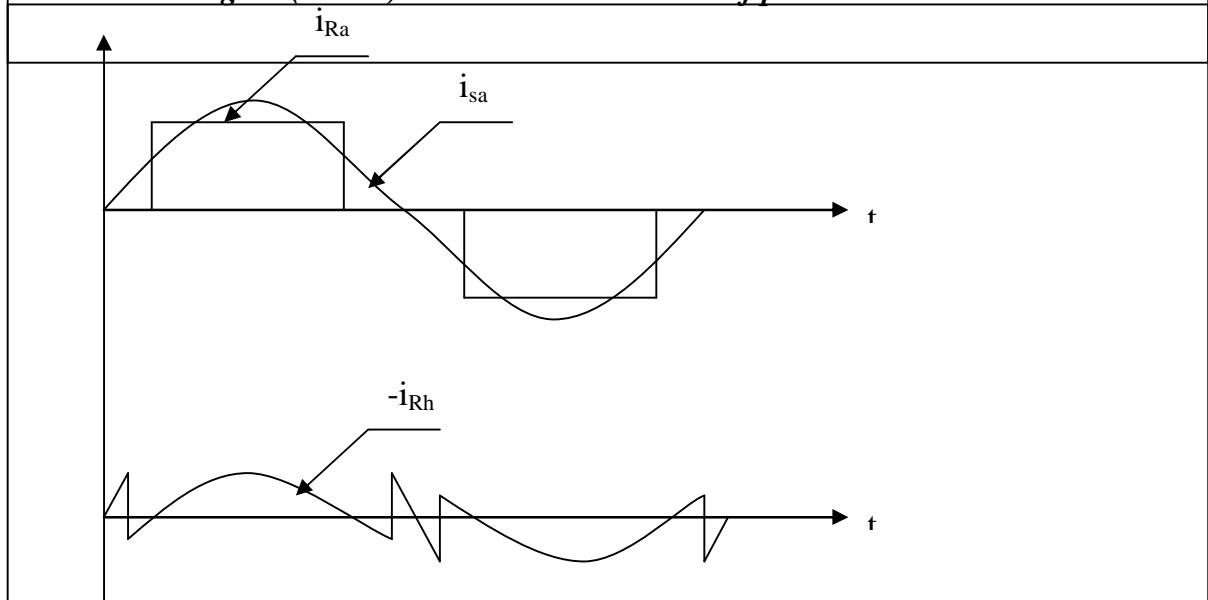
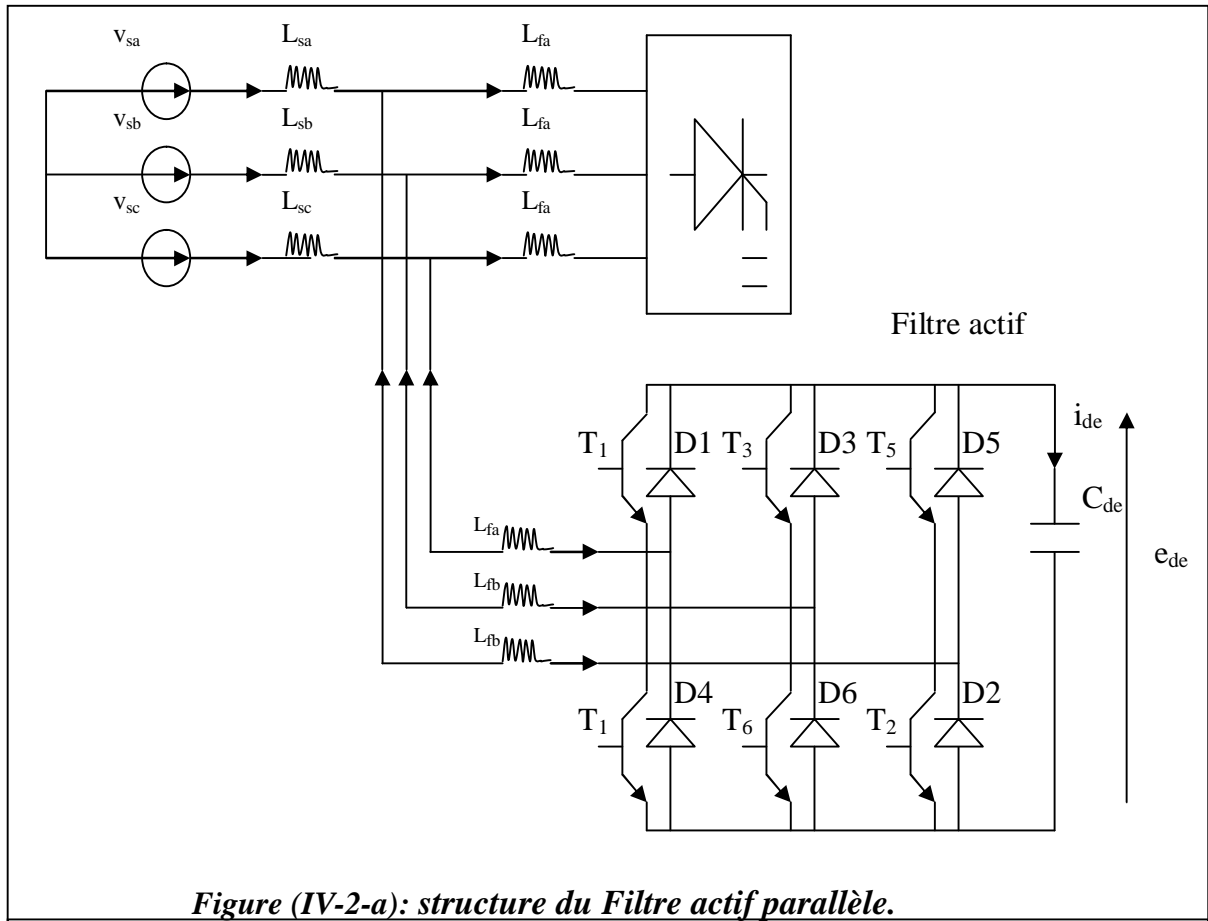
La figure (IV-2-a) montre la structure de filtre actif parallèle réalisé à partir d'un onduleur de tension. Selon le mode de commande retenu, on pourra traiter uniquement les composantes harmoniques et/ou la puissance réactive.

Dans ce travail l'onduleur traite seulement la compensation harmonique. Il doit donc absorber des courants compensant les harmoniques créés par le récepteur polluant, dans notre cas le redresseur non commandé qui étudie dans le 2<sup>ème</sup> chapitre, comme exemple classique d'un récepteur polluant, **Figure (3-2-b)**.

La particularité de ce montage est que l'onduleur de tension possède une source continue flottante constituée par un condensateur. La tension ( $e_{dc}$ ) de cette source doit obligatoirement être régulée et l'on est amené à munir le filtre d'une boucle de tension.

Les éventuelles variation de ( $e_{dc}$ ) provoquent l'apparition de courant filtres dans le filtre permettant d'injecter ou de prélever de l'énergie dans la condensateur  $c_{dc}$ , pour contrôler l'état de charge. A l'équilibre, seul la consigne harmonique est présente.

L'utilisation des onduleurs dans ces applications de filtrage actif suppose l'emploi de fréquences de découpage très supérieures harmonique que l'on veut éliminer.



### **IV-3. Dimensionnement du filtre actif et détermination des éléments de stockage d'énergie et des semi-conducteurs d'injection**

Le développement et la commercialisation d'un filtre actif sont liés à son prix de revient et son encombrement. Il apparaît donc important, désormais, d'étudier le dimensionnement des filtres actifs et plus particulièrement le dimensionnement des éléments de stockage d'énergie ( $L_{de}$ ,  $C_{de}$ ) et des semi-conducteur d'injection (MOSFET, GTO, IGBT...).[7]

Pour cela nous introduisons la notion de <<fonction de conversion >> qui permet de s'affranchir du fonctionnement interne d'un convertisseurs et de la stratégie de commande utilisée.

Ce principe permet une mise en équations plus simple et donc une résolution plus rapide du problème. en suite nous exposons la démarche qui nous a permis de déterminer le dimensionnement des éléments de stockage des filtres actifs en fonction de la stratégie de correction (M.L.I ,hystérésis,...) et de type de pollution.

### **IV-4. Stratégies de commande**

La stratégie de commande est basé sur la théorie de calcul des puissances actifs et réactifs instantanés, La méthode des puissances instantanées comme une stratégie de commande réside dans le fait qu'elle est reliée aux harmoniques de courants et de tensions à la fois. [10]

Les trois tensions  $[V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}]^t$  et les trois courants  $[I_{sa}, I_{sb}, I_{sc}]^t$  mesurés subissent une transformation du système triphasé au système biphasé (d, q).

#### **IV-4-1. Calcul des courants de référence**

La commande à MLI de l'onduleur nécessite la détermination des courants harmoniques de référence qui seront à la suite comparés à une porteuse triangulaire de haute fréquence afin, d'obtenir les signaux de commande à générer aux gâchette des semi-conducteur constituant l'onduleur de tension.

Ø La détermination des courants de références est basée sur la théorie de calcul de puissance.

Ø Soient les tensions simple du réseau :

$$\begin{cases} V_{sa} = \sqrt{2}V_{eff} \sin(\omega t) \\ V_{sb} = \sqrt{2}V_{eff} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_{sc} = \sqrt{2}V_{eff} \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (4-3)$$

Ces vecteurs sont exprimés dans le système (d, q) biphasé par :

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Ra} \\ i_{Rb} \\ i_{Rc} \end{bmatrix} \quad (44)$$

Ce pendant, les puissances instantanées réelles et imaginaires sont données respectivement par les produits tensions courant, scalaire et imaginaire suivants :

$$P = V_d i_d + V_q i_q \quad (4-6)$$

$$Q = V_d i_q - V_q i_d$$

Ou sous forme matricielle.

$$\text{Avec : } V = \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix}, I = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_d & V_q \\ -V_q & V_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} \quad (4-7)$$

Les puissance p et q peuvent être exprime en composantes continue et composantes harmonique respectivement par :

$$p = p_{dc} + p_{11} \quad (4-8)$$

$$q = q_{dc} + q_{11}$$

Ainsi, les courant harmonique de référence dans le système (d,q) correspondants aux puissance harmonique  $p_{11}$  et  $q_{11}$  seront par :

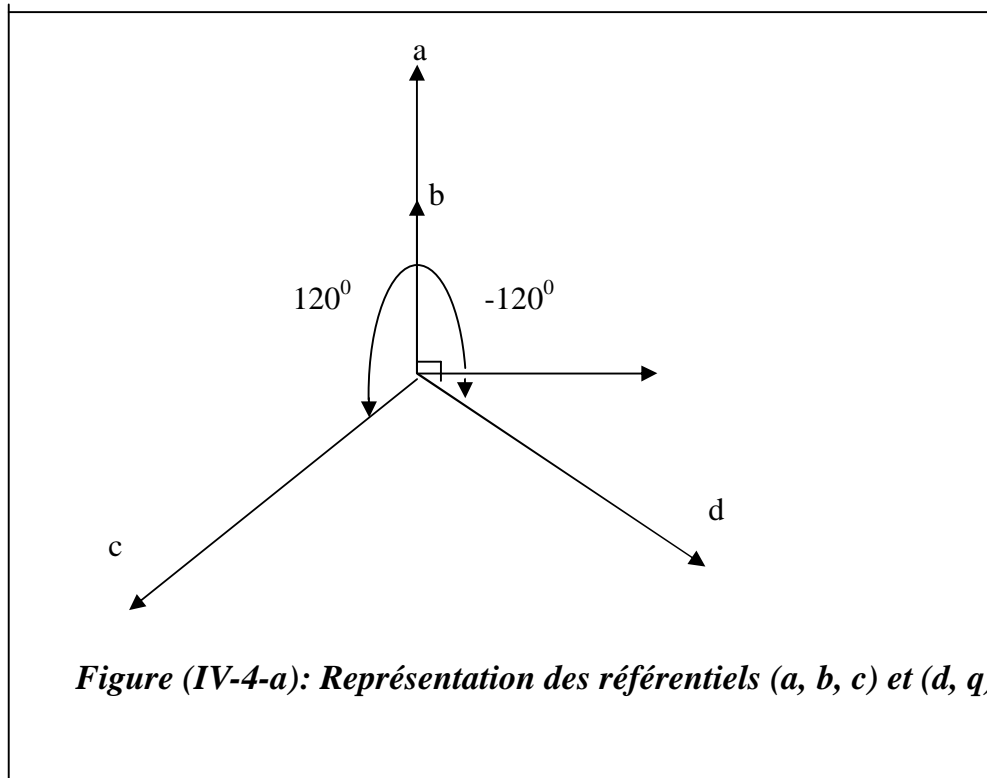
$$\begin{bmatrix} I_{hd}^* \\ I_{hq}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_d & V_q \\ -V_q & V_d \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_{11} \\ q_{11} \end{bmatrix} \quad (4-9)$$

$$\begin{bmatrix} I_{hd}^* \\ I_{hq}^* \end{bmatrix} = -\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_d & -V_q \\ V_q & V_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} \\ q_{11} \end{bmatrix} \quad (4-10)$$

Avec :  $\Delta = V_d^2 + V_q^2$

Ces courant sont convertis au système triphasé comme suit :

$$\begin{bmatrix} I_{ha}^* \\ I_{hb}^* \\ I_{hc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{3}{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{hd}^* \\ I_{hq}^* \end{bmatrix} \quad (4-11)$$



**Figure (IV-4-a): Représentation des référentiels (a, b, c) et (d, q)**

#### **IV-4-2. Control de la tension du condensateur**

Le contrôle de la tension du coté continu est assuré en ajustant la partie variation de puissance absorbée par le convertisseur. La puissance réelle dissipée dans l'onduleur dépend de l'amplitude de la composante fondamentale du courant en phase avec la tension de phase respective.

On déduit de (4-11) que le courant référence de chaque phase contient un terme en phase avec la tension respective, et avec une amplitude proportionnelle à la puissance du (**Figure (IV-4-2)**, sous système B).

En ajustant  $P_{av}$ , l'onduleur absorbera la puissance réelle nécessaire à couvrir les pertes dans l'onduleur et a maintenir la tension ( $e_{de}$ ) constante. [7]

#### **IV-4-4. Principe de la commande à MLI**

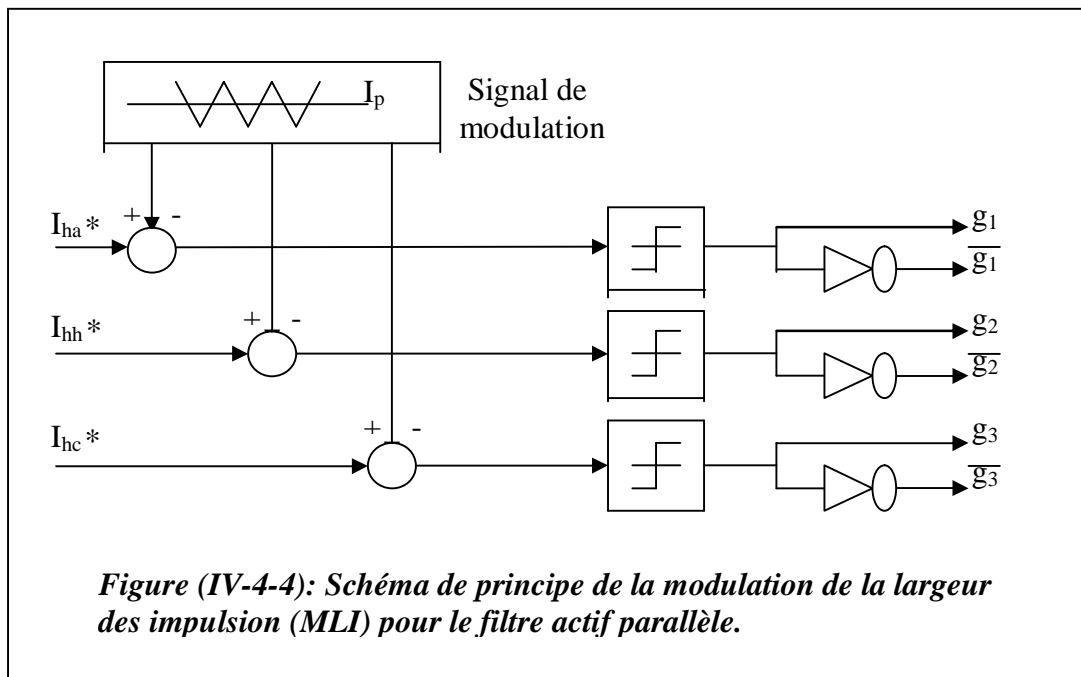
L'utilisation de la technique MLI est particulièrement intéressante dans le cas de l'onduleur triphasé et rend aussi possible le contrôle en amplitude et en fréquence des tensions de sortie de l'onduleur. C'est une forme de commande en créneaux ou les périodes de fermeture / ouverture sont variables. Le principe de cette méthode (MLI) est donné dans la **figure (IV-4-4)**.

Le courant de référence  $I_{hi}^*$  est comparé à tout instant à un signal triangulaire ( $I_p$ ) de haute fréquence ( $f_p$ ) appelé porteuse. L'intersection de  $I_p$  et  $I_{hi}$  commande l'amorçage (ou le blocage) de l'interrupteur  $T_i$ . Habituellement les interrupteurs  $T_i$  et  $T_i'$  situés sur le même bras de l'onduleur sont commandés de façon complémentaire ( $g'_i = \overline{g_i}$ ) pour obtenir des tension de sortie faciles à régler en valeur moyenne, et pour éviter la mise en court-circuit de la source. Les tension fournies par l'onduleur sont des tension en créneaux données par :

$$\begin{cases} V_{fab} = (g_1 - g_2)e_{dc} \\ V_{fbc} = (g_2 - g_3)e_{dc} \\ V_{fca} = (g_3 - g_1)e_{dc} \end{cases} \quad (4-12)$$

Ou  $g_1, g_2$  et  $g_3$  sont des variables logiques décrivant les états des interrupteurs (si  $g_1=1$  alors  $T_1$  est passant et  $T_4$  est bloqué ; c'est le contraire).





Le comparateur de l'intersection est un modulateur de durée qui consiste à faire varier le rapport cyclique et ensuite l'envoyer sur les interrupteurs de puissance. Les trois ondes de courants de référence modulent l'onde triangulaire de haute fréquence ou le dispositif de chaque branche conduit tout le temps. [7] / [10]

#### IV-4.5. Caractérisation de la modulation

Deux paramètres caractérisent la commande

1). L'indice de modulation ( $I_m$ ) égal au rapport de la modulation à la fréquence de la référence.

$$I_m = f_p / f_r \quad (4-13)$$

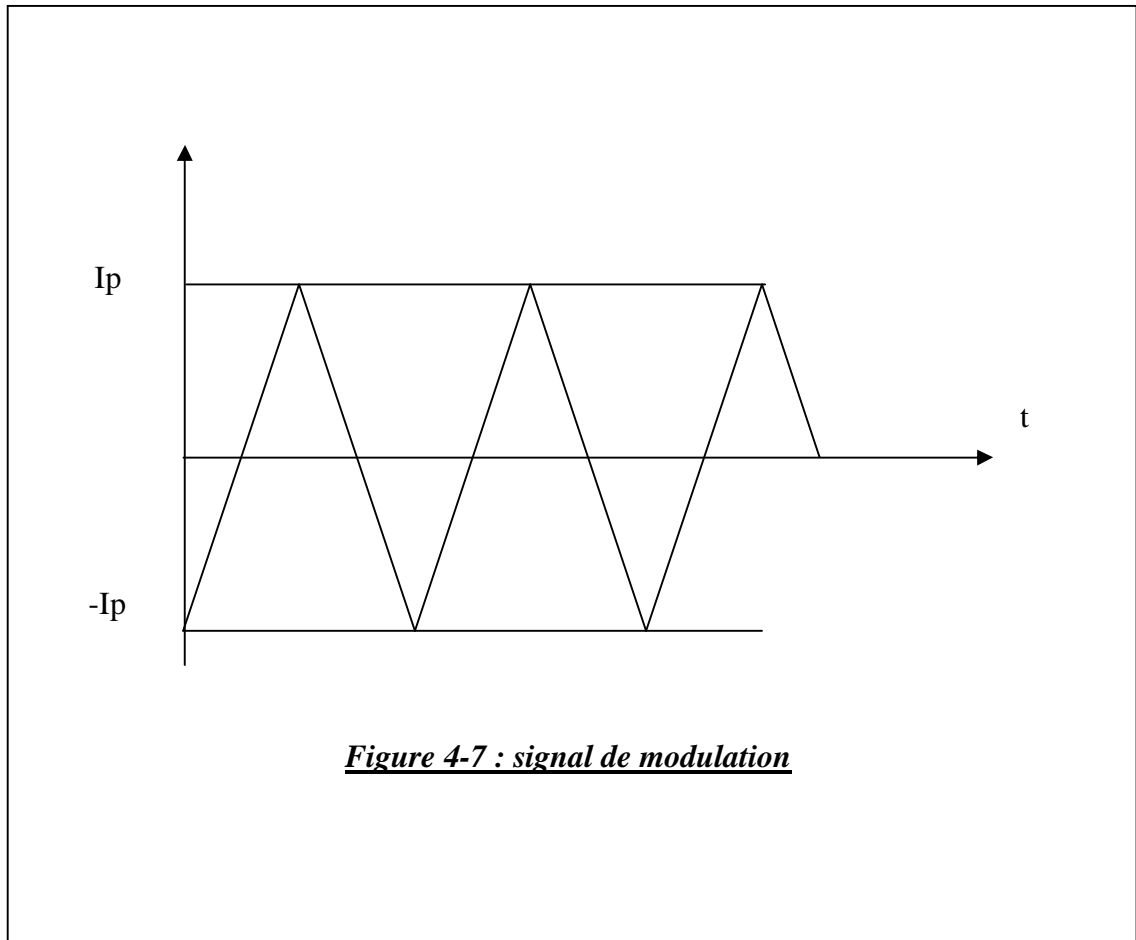
Où :  $f_r = 50\text{Hz}$

$f_r$  : est la fréquence du réseau.

2). Le coefficient de réglage en courant 'r' égal au rapport de l'amplitude du courant de référence à l'amplitude de la porteuse.

$$r = I_{hi}^* / I_p \quad (4-14)$$

(i est lié à la phase a , b ou c)

**IV-4-6. Modélisation de la porteuse****Figure 4-7 : signal de modulation**

$Y_1$  et  $Y_2$  sont les équations des droites constituant la porteuse :

$$Y_1 = a t + b ; t \in [0, T_p/2]$$

$$a = \tan \alpha = 4I_p / T_p$$

avec:

$I_p$ : amplitude de la porteuse

$T_p$ : période de la porteuse.

$$Y_1 = \frac{4I_p t}{T_p} + b$$

$$\text{Pour } t=0 \Rightarrow Y_1 = -I_p$$

$$\text{Donc : } Y_1 = \frac{4I_p}{T_p} t - I_p \quad (4-16)$$

$$Y_2 = a' t + b'$$

$$a' = \tan \alpha = \frac{-2I_p}{T_p - T_p/2} = \frac{-4I_p}{T_p}$$

$$a' = \frac{-4I_p}{T_p}$$

$$I_p = \frac{-4I_p}{T_p}(T_p/2) + b' \Rightarrow b' = I_p + \frac{4I_p}{2}$$

$$= I_p + 2I_p = 3I_p$$

$$\text{Donc : } Y_2 = \frac{-4I_p t}{T_p} + 3I_p \quad (4-17)$$

La fonction de la porteuse sera :

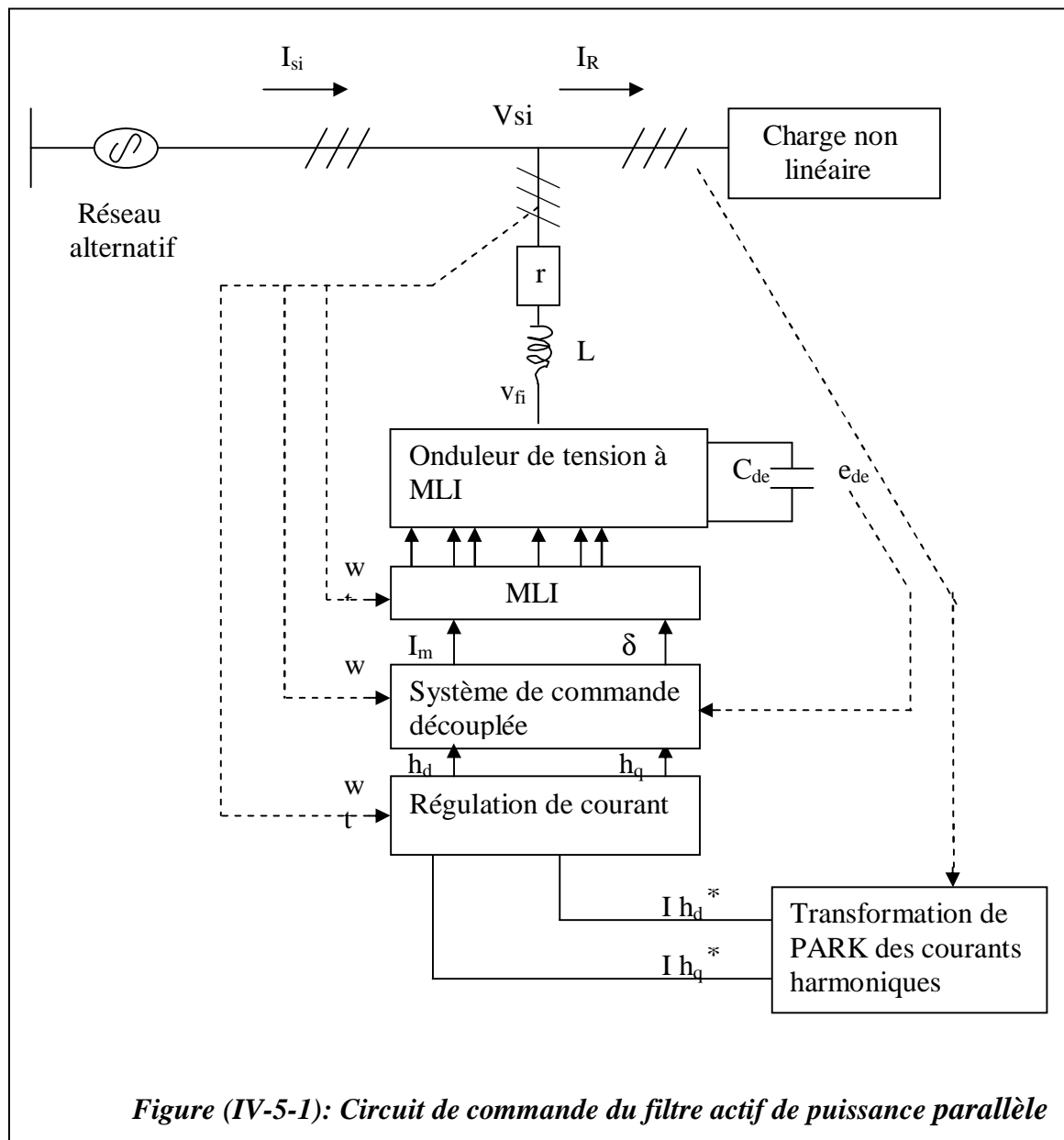
$$I_p(t) = \begin{cases} 2I_p(2t/T_p - \frac{1}{2}) & t \in [0, T_p/2] \end{cases} \quad (4-18)$$

$$\begin{cases} 2I_p(-2t/T_p + \frac{3}{2}) & t \in [T_p/2, T_p] \end{cases} \quad (4-19)$$

#### **IV-5. Principe de fonctionnement de l'onduleur de tension en filtre actif**

L'onduleur de tension injecte trois courants alternatifs  $i_{fa}$  ;  $i_{fb}$  et  $i_{fc}$  afin d'annuler les courants harmoniques générés par la charge non linéaire, voir **figure IV-5-1**.

Dans les courants principaux  $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ , et  $i_{sc}$  auront seulement leurs composantes fondamentales et les tensions harmoniques seront annulées.



L'onduleur de tension à M.L.I est utilisé pour fournir trois tensions  $V_{fi}$  ( $V_{fa}, V_{fb}, V_{fc}$ ) à partir d'une tension continue  $e_{dc}$ , **Figure (IV-5-1)**, les trois tensions sont fournies par l'onduleur de tension sont synchronisées avec les trois tensions de source d'alimentation par une commande convenable des signaux de commande des semi-conducteurs. [7]

**Conclusion:**

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté le moyen le plus choisissant dans les réseaux électriques qui s'appelle le filtrage actif il a été particulièrement visa avec comme principal objectif la validation des études analytiques et des simulations numériques