

### **III- Identification des courant harmonique :**

#### **III-1 Introduction à la stratégie de commande: [13]**

La stratégie de commande se base sur la détection des courants perturbateurs dans le domaine temporel. Trois possibilités d'identification des courants perturbateurs ont déjà été proposées :

- Identification à partir de la détection du courant de la charge polluante,
- Identification à partir de la détection du courant de la source,
- Identification à partir de la détection de la tension de la source.

La première méthode est la plus appropriée au filtre actif parallèle installé par le consommateur pour compenser les courants perturbateurs causés par ses charges polluantes. C'est pourquoi cette méthode de détection sera employée dans ce travail.

#### **III-2 La méthode d'identification des courants perturbés : [1] [10]**

##### **III-2-1 Généralités sur les méthodes d'identification :**

Les différentes méthodes d'identification de courant perturbateur peuvent être regroupées en deux familles d'approche.

La première utilise la transformée de Fourier rapide dans le domaine fréquentiel, pour extraire les harmoniques du courant. Cette méthode est bien adaptée aux charges où le contenu harmonique varie lentement. Elle donne aussi l'avantage de sélectionner les harmoniques individuellement et de ne choisir de compenser que les plus prépondérants. Il est à noter que cette méthode nécessite une grande puissance de calcul afin de réaliser, en temps réel, toutes les transformations nécessaires pour extraire les harmoniques.

La deuxième famille est basée sur le calcul des puissances instantanées dans le domaine temporel. Certaines de ces méthodes se basent sur le calcul des puissances harmoniques de la charge non linéaire. D'autres peuvent être utilisées pour compenser à la fois les courants harmoniques et la puissance réactive, en se basant sur la soustraction de la partie fondamentale active du courant total.

Récemment, des nouvelles méthodes d'identification ont été présentées pour donner le choix de compenser un, plusieurs ou voire même tous les types de courants perturbateurs. En effet, en se basant sur la régulation de la tension continue et sur celles du réseau électrique aux points de raccordement, nous pouvons compenser à la fois tous les courants perturbateurs, tout en offrant la possibilité de réguler la tension de la charge . Cette méthode, qui ne peut être implantée que numériquement, ne garantit pas une compensation parfaite de la puissance

réactive, de même que la régulation de tension n'assure pas toujours une bonne qualité à la tension de la charge.

Une autre méthode, appelée la méthode de détection synchrone et reposant sur la transformée de Park a été proposée. Cette méthode se base essentiellement sur le calcul de la pulsation fondamentale obtenue par une PLL. Cela exige une précision parfaite du calcul de cette pulsation afin de ne pas avoir des courants identifiés erronés.

Enfin, la méthode d'identification la plus utilisée est celle appelée méthode des puissances réelles et imaginaires instantanées. Cette méthode offre l'avantage de choisir la perturbation à compenser avec précision, rapidité et facilité d'implantation. Pour toutes ces raisons nous avons retenu cette méthode d'identification pour le reste de notre étude. En effet, afin de pouvoir compenser les courants harmoniques, les courants déséquilibrés et la puissance réactive conjointement ou individuellement, cette méthode nous a semblé la mieux appropriée.

### III-2-2-Principe du fonctionnement de la méthode des puissances instantanées

#### III-2-2-1- Généralités sur les puissances instantanées

En présence des harmoniques, la puissance apparente est composée de trois parties : active ( $P$ ), réactive ( $Q$ ) et déformante ( $D$ ) comme le montre la relation (III.1).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (\text{III.1})$$

Cette méthode exploite la transformation  $\alpha$ - $\beta$  pour obtenir les puissances réelles et imaginaires.

Notons par  $(V_\alpha, V_\beta)$  et  $(I_\alpha, I_\beta)$  les composantes orthogonales du repère  $\alpha$ - $\beta$  associées respectivement aux tensions de raccordement du *filtre actif parallèle* ( $V_s$ ) et aux courants absorbés par les charges polluantes ( $I_s$ ). La transformation  $\alpha$ - $\beta$ -0 triphasée permet d'écrire, la relation des tensions suivante :

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s1} \\ V_{s2} \\ V_{s3} \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

Et la relation des courants ci-dessous :

Les composantes avec l'indice (0) représentent les séquences homopolaires du système triphasé de courant et de tension.

La puissance active instantanée, notée  $P(t)$ , est définie par la relation suivante :

$$\begin{cases} P(t) = V_{s1}I_{s1} + V_{s2}I_{s2} + V_{s3}I_{s3} = P(t) + P_0(t) \\ P(t) = V_\alpha I_\alpha + V_\beta I_\beta \\ P(t) = V_0 I_0 \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

Avec  $p(t)$  la puissance réelle instantanée,  $p_0(t)$  la puissance homolaire instantanée.

L'avantage de la transformation  $\alpha$ - $\beta$ -0 est la séparation des séquences homopolaires du système triphasé de courant ou de tension. De la même manière, la puissance imaginaire instantanée peut s'écrire sous la forme suivante :

$$q(t) = -\frac{1}{\sqrt{3}}[(V_{s1} - V_{s2})I_{s3} + (V_{s2} - V_{s3})I_{s1} + (V_{s3} - V_{s1})I_{s2}] = V_\alpha I_\beta - V_\beta I_\alpha \quad (\text{III.4})$$

La puissance  $q$  a une signification plus large que la puissance réactive habituelle. En effet, contrairement à la puissance réactive, qui ne considère que la fréquence fondamentale, la puissance imaginaire prend en compte toutes les composantes harmoniques de courant et de tension. C'est pourquoi on lui donne une autre dénomination (puissance imaginaire) avec comme unité le Volt-ampère imaginaire (VAI). A partir des relations (III.3) et (III.4), nous pouvons établir la relation matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & V_{s\beta} \\ -V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{III.5})$$

Dans le cas général, chacune des puissances  $p$  et  $q$  comporte une partie continue et une partie alternative, ce qui nous permet d'écrire l'expression ci-dessous :

$$\begin{cases} p = \bar{p} + \tilde{p} \\ q = \bar{q} + \tilde{q} \end{cases} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

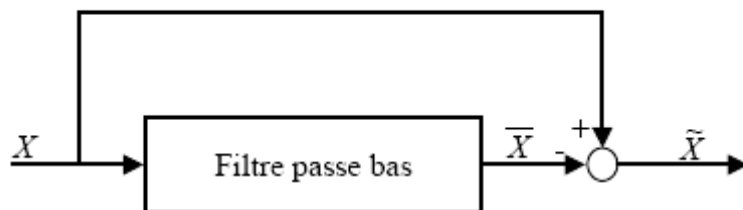
- $\bar{p}$  une puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant et de la tension.
- $\bar{q}$  une puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant et de la tension.
- $\tilde{p}$  et  $\tilde{q}$  des puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices du courant et de la tension.

Afin d'isoler les puissances actives et réactives conventionnelles, il faut connaître avec précision les fréquences des pulsations des puissances instantanées formées à partir de la relation (III.6). Pour cela, nous baserons notre étude sur l'analyse fréquentielle des puissances instantanées données dans différents cas de courant et tension.

Il est à noter qu'on considère désormais que le réseau étudié est composé de trois fils ce qui empêche les composantes homopolaires d'y circuler.

### III-2-2-2- Séparation des puissances perturbatrices

Après avoir identifié les pulsations des puissances instantanées, le filtre de puissance chargé d'isoler les puissances active et réactive conventionnelles peut être dimensionné. Un circuit constitué d'un filtre passe bas avec un soustracteur peut être employé, comme le présente la **Fig.( III.1)**.



**Fig (III.1) :** Schéma représentant le principe de séparation des puissances

L'ordre de ce filtre passe-bas définit la dynamique et l'efficacité de la méthode d'identification.

Des filtres de puissance du quatrième ou cinquième ordre ont été proposés [Ala–10]. Dans notre étude, nous avons choisi un filtre passe-bas du deuxième ordre en vue de simplifier l'approche d'implantation numérique de ce dernier. En effet, un ordre plus élevé entraînerait des temps de calcul plus longs ce qui peut être préjudiciable dans notre étude. La relation suivante donne l'expression générale d'un filtre passe-bas du deuxième ordre :

$$\frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (\text{III.7})$$

La fréquence de coupure,  $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ , est choisie pour que le filtre de puissance puisse bloquer toute composante perturbatrice des puissances instantanées ( $\tilde{X}$ ). Elle doit aussi permettre aussi le passage des composantes continues représentant les puissances active et réactive à la fréquence fondamentale ( $X$ ). Cette fréquence est donc choisie selon le type de la charge, soit :

- 60 Hz pour un courant de charge équilibré avec un temps de réponse du filtre de 20 ms,
- 20 Hz pour un courant de charge déséquilibré avec un temps de réponse du filtre de 60 ms.

### III-2-2-3- Calcul des courants perturbateurs

En inversant la relation (III.6), nous pouvons recalculer les courants dans le repère  $\alpha$ - $\beta$  comme le montre l'équation (III.8) :

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{s\alpha}^2 + V_{s\beta}^2} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

En considérant les équations (III.6) et (III.8), nous pouvons séparer le courant dans le repère ( $\alpha$ - $\beta$ ) en trois composantes, active et réactive à la fréquence fondamentale et les harmoniques. Ceci conduit à:

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P} \\ 0 \end{bmatrix}}_{\text{courant actif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{q} \end{bmatrix}}_{\text{courant réactif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{P} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{\text{courants harmoniques}} \quad (\text{III.9})$$

Avec  $\Delta = V_\alpha^2 + V_\beta^2$  supposé constant dans l'hypothèse d'une tension sinusoïdale équilibrée du réseau électrique.

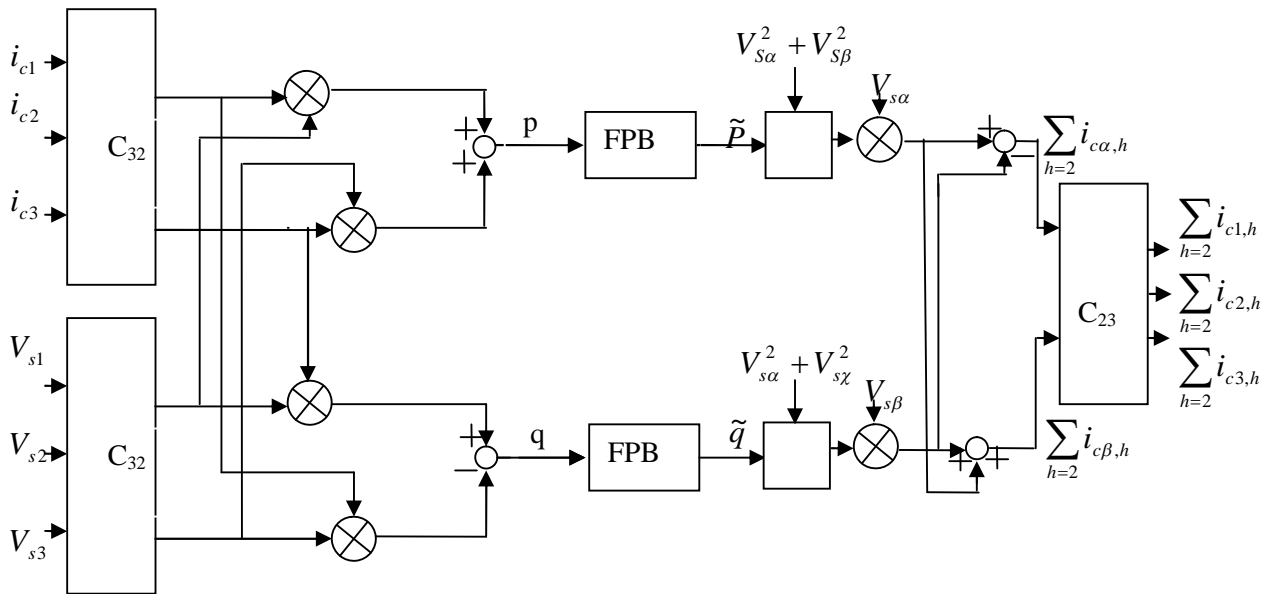
Cette expression montre donc que l'identification des différentes composantes du courant dans le repère ( $\alpha$ - $\beta$ ) revient à séparer des termes continus des puissances réelle et imaginaire instantanées. Les courants perturbateurs triphasés qui représentent les courants identifiés, dits courants de référence ( $I_{ref}$ ), sont calculés à partir de la transformation  $\alpha$ - $\beta$  inverse (transformation C2-3) donnée par la relation (III.10) :

$$\begin{bmatrix} I_{ref1} \\ I_{ref2} \\ I_{ref3} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{p\alpha} \\ I_{p\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{III.10})$$

Avec  $I_{p\alpha}$ ,  $I_{p\beta}$  courants perturbateurs calculés dans le repère ( $\alpha$ - $\beta$ ) à partir des courants réactifs et harmoniques de la relation (III.16).

#### III-2-2-4- Algorithme d'identification

Finalement, l'algorithme d'identification que nous avons défini peut être représenté par le synopsis de la **Fig.(III.2)**. Par souci de simplification, nous décrivons les matrices des relations (III.8 et III.9), après avoir enlevé les composantes homopolaires, et (III.11) respectivement par les blocs notés  $C_{32}$  et  $C_{23}$ .



**Fig (III.2) :** Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées

En plus de l'algorithme général de la méthode d'identification, nous représentons sur la **Fig. (III.2)**, deux des blocs appartenant à la partie de contrôle-commande et que nous aborderons dans ce qui suit : le bloc régulation de tension continue. Le bloc régulation de courant continu.

### III-3- La commande de l'onduleur :

Le but de la commande de l'onduleur est de permettre la meilleure reproduction des courants perturbés de référence, à travers les ordres de commande appliqués aux drivers interrupteurs de puissance. Les deux principales familles de commande des convertisseurs statiques sont :

La commande par hystérésis,

La commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).

### III-3-1- Commande par hystérésis :

La commande par hystérésis, appelée aussi commande en tout ou rien, est une commande non linéaire qui utilise l'erreur existant entre le courant de référence et le courant produit par l'onduleur. L'erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis. Dès que l'erreur atteint la bande inférieure ou supérieure, un ordre de commande est envoyé de manière à rester à l'intérieur de la bande. La simplicité de la mise en oeuvre, est le principal atout de cette technique. En revanche, les commutations évoluant librement à l'intérieur de bande d'hystérésis, on ne peut maîtriser correctement le spectre haute fréquence dû aux fréquences de commutations.

Afin de résoudre ce problème de la maîtrise des fréquences de commutation et de sa répercussion sur les interrupteurs, une autre stratégie de commande peut être proposée à savoir la *commande par hystérésis modulée*. Mais dans cette stratégie de commande, il est difficile de définir la largeur de la bande de l'hystérésis. De plus, le fonctionnement avec une fréquence de commutation quasi fixe nous empêche de conserver l'avantage d'une rapidité illimitée obtenue par la commande par hystérésis.

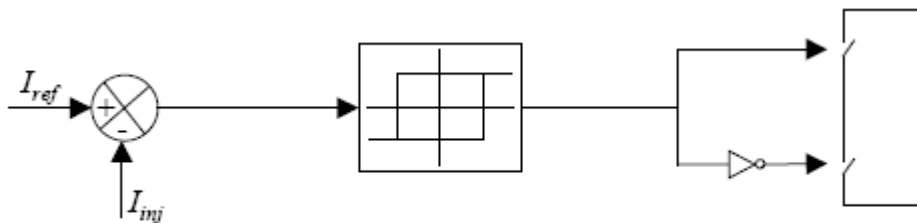


Fig (III.3) : Principe de commande des courants par hystérésis

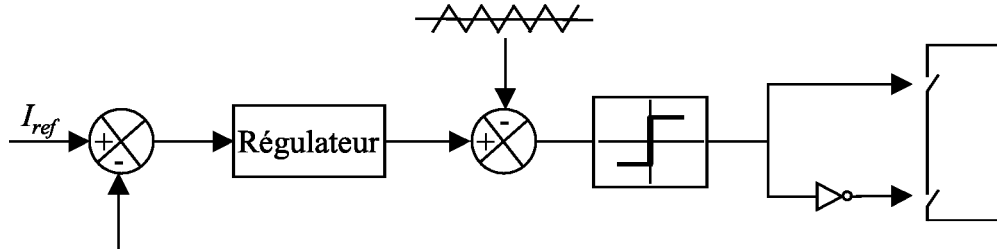
### III-3-2- Commande par modulation de largeur d'impulsion :

Afin de contourner les problèmes précédents, nous introduirons une deuxième famille de commande de l'onduleur : la *commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)*. La technique de commande par MLI résout le problème de la maîtrise de la fréquence de commutation fonctionnant avec une fréquence fixe facile à filtrer en aval de l'onduleur.

La plus simple et la plus connue des modulations de largeur d'impulsion est sans doute la MLI à échantillonnage naturel, dite *MLI intersective*. Cette technique de commande met en oeuvre d'abord régulateur qui détermine la tension de référence de l'onduleur (modulatrice) à partir de l'écart entre le courant mesuré et sa référence. Cette dernière est ensuite comparée



avec un signal triangulaire (porteuse à fréquence élevée fixant la fréquence de commutation). La sortie du comparateur fournit l'ordre de commande des interrupteurs.



**Fig (III.4) :** Principe de commande des courants par MLI

D'autres techniques de MLI existent également dans la littérature comme la MLI à échantillonnage régulier où on peut distinguer deux méthodes :

- la MLI à échantillonnage régulier symétrique où la référence est échantillonnée à chaque période de la porteuse,
- la MLI à échantillonnage régulier asymétrique où la référence est échantillonnée à la demi période de la porteuse.

Plus récemment, nous avons vu apparaître une technique de commande, dite commande à modulation vectorielle. Cette dernière diffère des techniques présentées précédemment par le fait qu'elle ne s'appuie pas sur des modulations appliquées à chacun des interrupteurs.

Finalement, nous avons choisi, dans la suite de notre étude, la technique de commande à MLI à échantillonnage naturel. Cette technique représente en réalité la MLI analogique et pourra être employée dans la partie de simulation profitant en cela de sa facilité de modélisation.

**Conclusion :**

Dans cette partie contrôle-commande. Nous avons exprimé les critères qui nous ont guidé par la méthode des puissances instantanée (**Parke**) pour Identifier le courant harmonique.

Est dans le chapitre prochaine on va étudier la commande du filtre actif parallèle (l'onduleur et régulateur)