

PROBLEMATIQUES ET IDENTIFICATION DES PERTURBATIONS HARMONIQUES DANS UN RESEAU BASSE TENSION.

S.TADJER, I.HABI

*Laboratoire de la recherche sur l'électrification des entreprises industrielles
Faculté des Hydrocarbures et de la chimie-Université M'Hamed Bougara*

E-mail : Sidahmed79dz@yahoo.fr

Résumé - Cet article traite les grandes approches concernant le problème d'identification de la source perturbatrice dans un réseau électrique, et la stratégie de commande « méthode des puissances instantanées P-Q » du compensateur active ainsi appelé filtre actif de puissance.

Mots clés : Puissances Instantanées, Harmoniques, Filtres Actifs, Convertisseurs Statiques.

Abstract - This article treats the great approaches concerning the problem of identification of the disturbing source in an electrical supply network, and the strategy of order "method of instantaneous powers P-Q" of the compensator activates thus called active filter of power.

1. Origines des harmoniques

L'utilisation des convertisseurs statiques (redresseurs, gradateurs,...) dans les installations de conversion d'énergie électrique a considérablement contribué à améliorer les performances et l'efficacité de ces systèmes. En revanche, ils ont participé à détériorer la "qualité" du courant et de la tension des réseaux de distribution. En effet, ces systèmes consomment des courants non-sinusoidaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale : ils se comportent comme des générateurs de courants harmoniques [1]. Par l'intermédiaire de l'impédance de court-circuit du réseau, les courants harmoniques déforment la tension de celui-ci.

Les déformations du courant et de la tension peuvent perturber le fonctionnement normal d'autres équipements électriques. C'est pourquoi, les distributeurs d'énergie ayant la contrainte de fournir une tension sinusoïdale, prennent en charge l'atténuation des perturbations harmoniques au moyen d'installations de forte puissance. Cependant, les nouvelles réglementations internationales imposent aux consommateurs des limites aux harmoniques, engendrées par leurs systèmes, tant en courant qu'en tension [2]. Ainsi, le filtrage des composantes harmoniques est au centre des préoccupations des distributeurs d'une part et des utilisateurs d'énergie électrique d'autre part.

2. Effets des harmoniques

Les courants et les tensions harmoniques ont des effets néfastes sur le fonctionnement la rentabilité et la durée de vie de certains équipements électriques. Les plus importantes sont :

- *l'échauffement* : les pertes totales par effets Joule sont la somme de celles du fondamental et des harmoniques.

- *Viellissement des installations* est souvent dû à une contrainte en tension consécutive à la présence de la tension harmonique, et donc à, une augmentation locale du courant de fuite, ou encore à l'échauffement exagéré dans les conducteurs. Les plus spectaculaire de ce type d'effet est la destruction d'équipement (condensateurs, disjoncteurs).

- *L'interférence dans les systèmes de communication.*

- *Dysfonctionnement de certains équipements* : en présence d'harmonique, le courant et la tension peuvent changer plusieurs fois de signe au cours d'une demi-période. Par conséquent, les équipements sensibles au passage par zéro de ces grandeurs électriques sont perturbés.

- *Excitation des résonances* : des équipements constitués de capacités ou d'inductances peuvent avoir des fréquences de résonances proches de celles des harmoniques. Ainsi les harmoniques sont amplifiés et ils peuvent apparaître des surtensions des surintensités qui détériorent les câbles, font disjoncter les fusibles. La présence des harmoniques réduit également le rendement des moteurs et des transformateurs en augmentant les pertes d'énergies par hystérésis et par courant de Foucault.

3. Filtres Actifs

L'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les transistors IGBT, a permis d'envisager de nouvelles solutions de compensation des perturbations du réseau électrique. Les filtres actifs constituent une alternative intéressante aux solutions classiques, flexibles et auto-adaptatifs, ils viennent s'ajouter à des structures déjà existantes de convertisseurs. Ils peuvent également être utilisés comme complément aux solutions traditionnelles de dépollution. Le rôle d'un filtre actif est de compenser en temps réel les perturbations, en tout ou en partie, présentes dans les réseaux électriques [3].

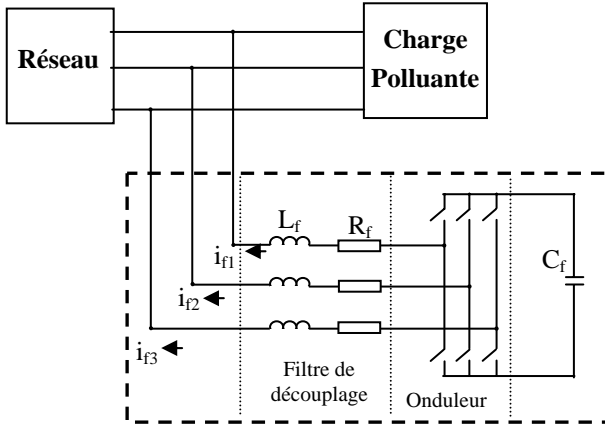


Fig 1 : Schéma de puissance d'un réseau avec filtre actif à structure tension.

4. Identification des courants de référence

La qualité de filtrage réside dans l'efficacité de la méthode utilisée pour l'identification des courants harmoniques. Il existe plusieurs algorithmes qui varient an complexité, parmi les quels on cite :

- La méthode P-Q de la puissance instantanée,
- La méthode repère de référence synchronisée,
- La méthode de la détection synchronisée,
- La méthode de Fourier,
- La méthode basé sur le courant actif,
- La méthode basée sur la régulation de la tension continue,
- La méthode tri-monophasé.

5. Méthode des puissances instantanées

Cette méthode d'identification des courants harmoniques, plus simple, consiste à éliminer la composante continue des puissances active et réactive instantanées ce qui est relativement facile à réaliser [4].

On exploite la transformation de Concordia pour obtenir les puissances active et réactive et nécessite un système triphasé de tensions sinusoïdales à la fréquence fondamentale.

On note respectivement les vecteurs des tensions simples au point de raccordement $[V_s]$ et des courants de charge $[i_c]$ d'un système triphasé et équilibré par :

$$[V_s] = \begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [i_c] = \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

La transformation des valeurs triphasées instantanées de la tension et du courant dans le repère des coordonnées $\alpha - \beta$ est donnée par les expressions suivantes :

$$\begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

et pour les courants :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Les puissances réelle et imaginaire instantanées, notées respectivement P et q , sont définies par la relation matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & v_{s\beta} \\ -v_{s\beta} & v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

En remplaçant les tensions et les courants diphasés par leurs homologues triphasés, on obtient :

$$P = v_{s\alpha} i_{c\alpha} + v_{s\beta} i_{c\beta} = v_{s1} i_{c1} + v_{s2} i_{c2} + v_{s3} i_{c3} \quad (5)$$

De même, pour la puissance imaginaire on a :

$$q = v_{s\alpha} i_{c\beta} - v_{s\beta} i_{c\alpha} = -\frac{1}{\sqrt{3}} [(v_{s1} - v_{s2}) i_{c3} + (v_{s2} - v_{s3}) i_{c1} + (v_{s3} - v_{s1}) i_{c2}] \quad (6)$$

A partir de l'expression (4), On posant :

$$\Delta = v_{s\alpha}^2 + v_{s\beta}^2 \quad \text{On a :}$$

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} \right\} \quad (7)$$

Ou alors :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} i_{cap} \\ i_{c\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{caq} \\ i_{c\beta q} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Avec :

$$i_{cap} = \frac{v_{s\alpha}}{\Delta} P \quad i_{caq} = -\frac{v_{s\beta}}{\Delta} q \quad (9)$$

$$i_{c\beta p} = \frac{v_{s\beta}}{\Delta} P \quad i_{c\beta q} = \frac{v_{s\alpha}}{\Delta} q \quad (10)$$

Les puissances instantanées selon les axes α et β

peuvent s'écrire :

$$\begin{bmatrix} P_\alpha \\ P_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \cdot i_{c\alpha} \\ v_{s\beta} \cdot i_{c\beta} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \cdot i_{c\alpha p} \\ v_{s\beta} \cdot i_{c\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \cdot i_{c\alpha q} \\ v_{s\beta} \cdot i_{c\beta q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{\alpha p} \\ P_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_{\alpha q} \\ P_{\beta q} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$P_{\alpha p} = \frac{v_{s\alpha}^2}{\Delta} P \quad P_{\alpha q} = -\frac{v_{s\alpha} v_{s\beta}}{\Delta} q \quad (12)$$

$$P_{\beta p} = \frac{v_{s\beta}^2}{\Delta} P \quad P_{\beta q} = \frac{v_{s\alpha} v_{s\beta}}{\Delta} q$$

$P_{\alpha p}$: Puissance instantanée active selon l'axe α .

$P_{\beta p}$: Puissance instantanée active selon l'axe β .

$P_{\alpha q}$: Puissance instantanée réactive selon l'axe α .

$P_{\beta q}$: Puissance instantanée réactive selon l'axe β .

D'après les expressions (12), on peut écrire :

$$P = P_{\alpha p} + P_{\beta p} + P_{\alpha q} + P_{\beta q} = P_{\alpha p} + P_{\beta p} \quad (13)$$

L'analyse de l'équation (13) nous ramène aux conclusions suivantes :

La somme des puissances instantanées $P_{\alpha p}$ et $P_{\beta p}$ coïncide avec la puissance instantanée dans un circuit triphasé.

La puissance réactive correspond à la partie de la puissance instantanée qui dépend de q . Ces puissances $P_{\alpha q}$ et $P_{\beta q}$ s'annulent entre elles et elles n'apportent aucune contribution au transfert de puissance instantanée entre la source et la charge.

Dans le cas où les tensions sont sinusoïdales et alimentent une charge non linéaire, les puissances instantanées P et q ont pour expression :

$$P = \bar{P} + \tilde{P} \quad q = \bar{q} + \tilde{q} \quad (14)$$

Avec :

\bar{P} : Puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant.

\bar{q} : Puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant.

\tilde{P} et \tilde{q} : Puissance alternatives liées à la somme des composantes harmoniques du courant.

En considérant les équations (8) et (14), nous pouvons séparer le courant dans le repère $(\alpha - \beta)$ en trois composantes active et réactive à la fréquence fondamentale et la somme des harmoniques. Ceci conduit à l'équation (15) suivante :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_{s\alpha} - v_{s\beta} \\ v_{s\beta} v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P} \\ 0 \end{bmatrix}}_{\text{Courant Actif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_{s\alpha} - v_{s\beta} \\ v_{s\beta} v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{q} \end{bmatrix}}_{\text{Courant Réactif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_{s\alpha} - v_{s\beta} \\ v_{s\beta} v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{P} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{\text{Courants Harmoniques}}$$

Il est évident, d'après la relation (15), que pour identifier une des trois composantes, par exemple les courants harmoniques, les parties alternatives des puissances réelle et imaginaire doivent être séparées des parties continues. Cette séparation peut être réalisée en utilisant l'un des deux artifices de filtrage illustré sur la figure 2.

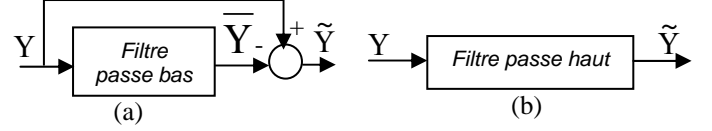


Fig2 : Schéma de principe des filtres utilisés pour l'extraction des composantes alternatives de P et q .

Les courant harmoniques triphasés $i_{ck,h}$ ($k=1,2,3$) sont obtenues à partir des courants diphasés $i_{c\alpha h}$ et $i_{c\beta h}$ par la transformation inverse de Concordia soit :

$$\begin{bmatrix} i_{c1,h} \\ i_{c2,h} \\ i_{c3,h} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha,h} \\ i_{c\beta,h} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Si V et I_1 représentent respectivement les valeurs efficaces de la tension et du courant fondamental et Φ_1 , le déphasage entre eux, alors on peut écrire :

$$\begin{cases} \bar{P} = 3VI_{c1} \cos \Phi_1 \\ \bar{q} = -3VI_{c1} \sin \Phi_1 \end{cases} \quad (17)$$

Les termes \bar{P} et \bar{q} sont respectivement équivalents à la puissance active conventionnelle et à la puissance réactive conventionnelle.

De cette manière, éliminer les courants harmoniques revient à compenser les composantes alternatives \tilde{P} et \tilde{q} . La suppression des courants réactifs revient à compenser la composante continue \bar{q} .

6. Algorithme d'identification

Le schéma de la figure 3 illustre les différentes étapes permettant l'obtention des composantes harmoniques du courant d'une charge non linéaire [5]. La théorie P-Q présentée auparavant est valable uniquement pour les systèmes triphasés dépourvus de composante homopolaire. L'extraction des courants des harmoniques dans des applications monophasées ne peut pas être réalisée par cette méthode. Elle est applicable dans le cas où les tensions V_{s123} sont déformées, à condition de filtrer les ondulations présentées sur le module du vecteur

$$V_{s\alpha\beta} (\sqrt{V_{s\alpha}^2 + V_{s\beta}^2}).$$

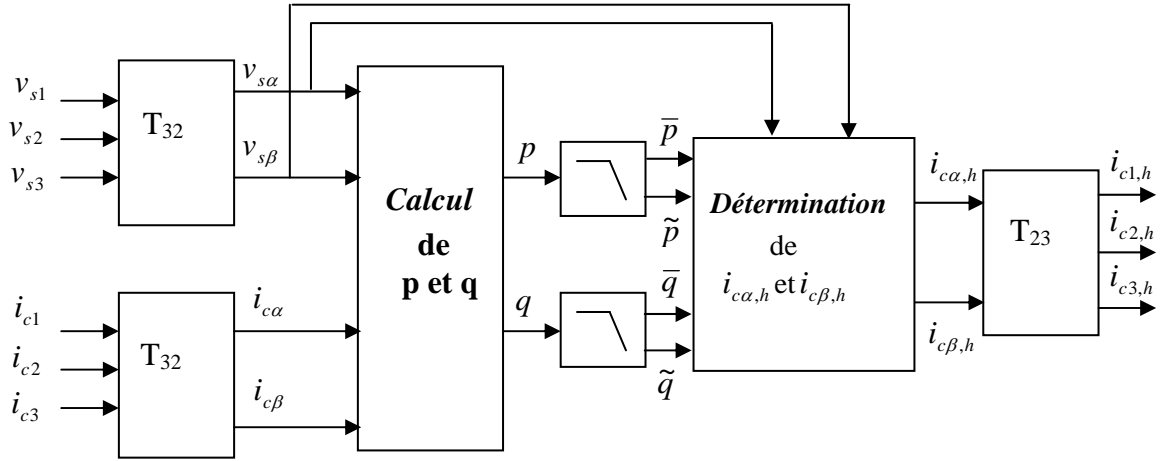


Fig3 : Algorithme 'P-Q' d'extraction des courants harmoniques.

7. Exemple d'identification

Cet algorithme d'identification est utilisé pour extraire les courants harmoniques générés par le redresseur de la figure 4 :

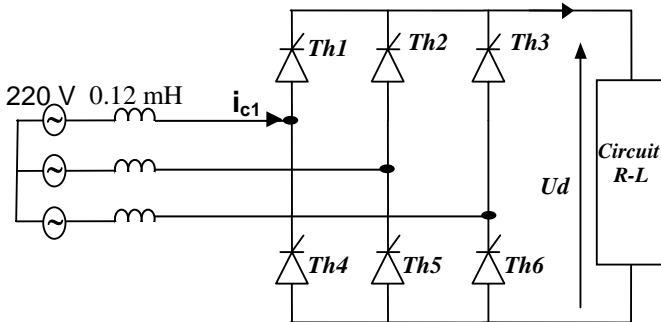


Figure 4 : Exemple d'application pour une charge non linéaire.

Pour l'extraction de la composante harmonique \tilde{p} de la puissance réelle p , ou la composante harmonique \tilde{q} de la puissance imaginaire q , un circuit constitué d'un filtre passe bas et d'un soustracteur est utilisé.

La fonction de transfert des filtres passe bas de p et de q , ainsi ces paramètres destinés à éliminer les composantes \bar{p} et \bar{q} sont donnés dans l'annexe 1.

Cet algorithme permet effectivement d'éliminer la composante fondamentale dans le spectre du courant d'une charge polluante (figure 5).

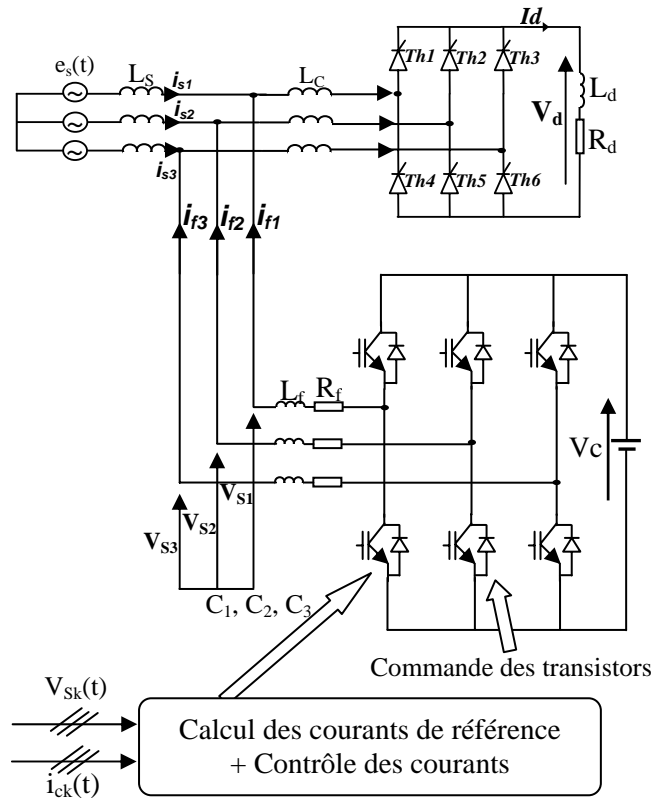


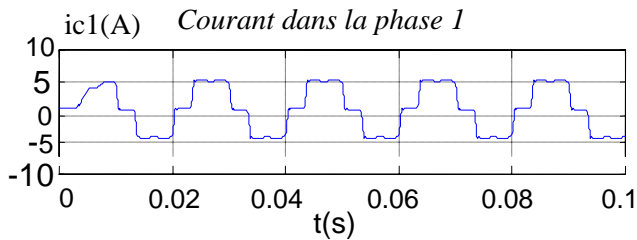
Fig5 : Schéma global du système à simuler.

Conclusion

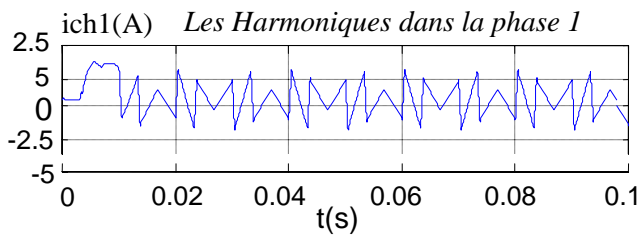
Nous avons présenté le principe d'identification des courants harmoniques par la méthode des puissances instantanées. La méthode de la théorie P-Q à l'avantage d'être assez simple pour mettre en application sous forme analogique puisqu'elle a besoin seulement des opérations de multiplication, division et de filtrage simple. L'inconvénient le plus évident de la méthode P-Q est qu'elle s'exécute mal dans des conditions non équilibrées de tension d'alimentation, parce que l'algorithme suppose que les tensions d'alimentation sont équilibrées et sinusoïdales.

Bibliographie

- [1] T.Gouroaud, "Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique", Thèse de doctorat, Ecole centrale de Nantes, 1997.
- [2] Javerzac (J.L.) et Ott (R.). – La normalisation de l'électricité. Revue Générale d'Électricité, Avril 1995, pp. 16–21.
- [3] M.A.E. Allali, "Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension", Thèse de doctorat, ULP Strasbourg, 2002.
- [4] H. Akagi, Y. Kanazawa, A Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. Vol. IA-20, N°3 1984.
- [5] H. Akagi, Y. Kanazawa, A Nabae, "Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits", Proceeding 1983 International power electronics conference. Tokyo, Japan, PP. 1375-1386, 1983.



C'est la forme d'onde du courant dans la première phase $ic1$.



Ce courant $ich1$ représente la somme de tous les harmoniques, et c'est lui-même qui doit reproduire par le Filtre actif.

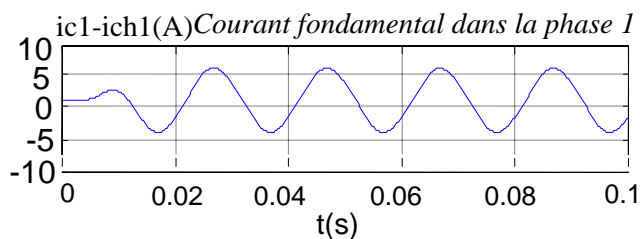


Fig6 : Extraction des courants harmoniques par la méthode des puissances instantanées.

Après l'élimination de la composante fondamentale dans le spectre de courant de la charge polluante on obtient le courant fondamentale de la première phase.