

L'IDENTIFICATION DES COURANTS HARMONIQUES FACE À LA PERTURBATION DE LA TENSION

RACHID DEHINI*, RYMA BERBAOUI

Mots clés: Filtre actif parallèle (FAP), Méthodes d'identification, Puissances instantanées $p-q$, Technique neuronale, Charges non linéaires.

Généralement, l'efficacité des filtres actifs parallèles (FAP) dépend de trois conceptions: d'onduleur, les méthodes d'identification et la commande utilisée. Dans notre cas, nous avons mis l'accent sur le deuxième élément. La recherche nous a montré que les méthodes d'identification classiques telle que la méthode des puissances instantanées $p-q$ est capable de fonctionner de manière optimale sur une large gamme de fonctionnement et perturbation, autant qu'elle est très efficace avec des tensions de source non polluées. D'ailleurs ces tensions ne sont pas toujours saines et sauvées. Cependant le FAP avec un $p-q$ ne peut pas avoir un rendement satisfaisant dans des conditions où les tensions sont perturbées, la performance du système se détériore. Afin de surmonter ces difficultés tout en maintenant le système stable, une méthode de détection de courants harmoniques qui utilise des réseaux neurones artificiels RNA a été appliquée dans l'état stable et perturbé de la tension.

1. INTRODUCTION

À cause de la prolifération des matériels à base électronique de puissance et l'expansion des charges non linéaires dans les réseaux électriques de distribution, le problème de contaminations par les courants harmoniques et leur traitement prennent une grande importance; même si ces charges non linéaires sont alimentées par une tension sinusoïdale, elles absorbent des courants non sinusoïdaux. Ces courants harmoniques peuvent déformer l'onde de tension, compte tenu des impédances des circuits; l'écoulement de ces courants à travers les impédances de réseau donne lieu à des tensions harmoniques, ces tensions vont s'ajouter à la tension nominale du réseau électrique en modifiant sa forme sinusoïdale. Les principales sources à l'origine de la pollution harmonique du réseau sont les arcs électriques, les convertisseurs statiques, les appareillages informatiques, les appareils d'éclairage fluorescent, les téléviseurs, les appareils électroménagers, etc. [1, 2].

Plusieurs solutions de dépollution des réseaux électriques apportent une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations bien localisées et utilisent des composants passifs (inductances, condensateurs, transformateurs), tel que le filtre passif, qui est utilisé pour piéger les courants harmoniques, ainsi que pour améliorer le facteur de puissance. Néanmoins cette solution traditionnelle a certains inconvénients telle la résonance avec l'impédance de réseau électrique; qui peut provoquer des tensions harmoniques élevées [3, 4].

Les inconvénients engendrés par les solutions traditionnelles qui ne répondent plus aux exigences des réseaux électriques modernes et l'apparition des interrupteurs à base semi-conducteurs, comme les thyristors gate turn off (GTO) et les insulated gate bipolar transistor (IGBT), ont conduit les chercheurs et les producteurs de l'énergie électrique à proposer une nouvelle structure d'une solution moderne et efficace appelée filtre actif parallèle (FAP) [5, 6], comme le montre la Fig. 1. Les compensateurs actifs comportent au moins un convertisseur statique afin de satisfaire la mitigation des harmoniques. La tâche de ces dispositifs est d'injecter des courants harmoniques de telle sorte que les perturbations responsables de la dégradation des performances des équipements et installations électriques soient compensées en temps réel.

Les charges non linéaires absorbent un courant qui est constitué d'une composante fondamentale et des harmoniques. Le filtre actif parallèle est conçu pour injecter des courants harmoniques de même amplitude mais de phase opposée à ceux de la charge, d'où il résulte des courants sinusoïdaux du côté du réseau. Dans ce but, on a donc besoin d'identifier les courants harmoniques générés par la charge. Plusieurs méthodes d'identification peuvent être utilisées, dans le domaine fréquentiel et dans le domaine temporel, telle que la méthode des puissances instantanées $p-q$ [7–10]. Récemment, certaines méthodes basées sur l'intelligence artificielle ont été appliquées dans le but d'améliorer la détection des courants harmoniques.

La dernière décennie a vu une augmentation d'intérêt spectaculaire aux réseaux de neurones artificiels RNA, qui se caractérise par sa capacité d'apprentissage et de reconnaissance à grande vitesse, le RNA a justifié leur efficacité dans de nombreux domaines des machines et les filtres [11–14]. Dans ce travail, une méthode de détection des courants harmoniques à l'aide d'un réseau de neurones artificiels RNA est présentée et qui pourrait être employée dans la détection des perturbations du courant dans le cas où l'onde de la tension est aussi déformée. Cette méthode peut obtenir avec précision les courants de référence de chaque phase. Les performances de la méthode neurale sont évaluées sous la simulation et sont comparées à la méthode des puissances instantanées $p-q$.

2. LA MÉTHODE DES PUISSANCES INSTANTANÉES $P-Q$

Cette méthode est basée sur la conversion $\alpha-\beta$ afin d'enlever les puissances réelles et imaginaires. Etant donné que (v_α, v_β) et (I_α, I_β) sont 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_{ch}) . Afin de calculer la puissance réelle et imaginaire, cette méthode utilise la transformation $\alpha-\beta$.

* Université de Tahri Mohammed, Département: Génie Electrique, B.P 417 Bechar (08000), ALGERIE, E-mail: dehini_ra@yahoo.fr

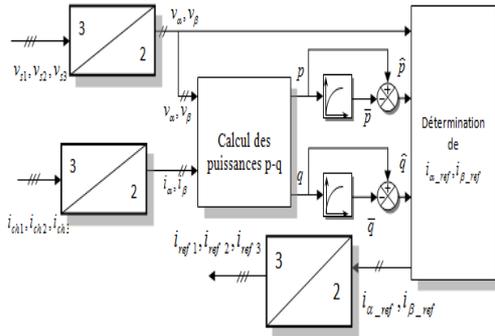


Fig. 2 – Algorithme $p-q$ pour l'identification des courants de référence.

Le condensateur de stockage C absorbe les fluctuations de courant provoquées par la compensation de la puissance réactive, la présence d'harmoniques, le contrôle de la puissance active et également par les pertes du convertisseur. La tension moyenne aux bornes du condensateur doit être maintenue à une valeur constante. La régulation de cette tension se fait par absorption ou relaxation de la puissance active dans le réseau électrique. La correction de cette tension doit être faite en ajoutant le courant actif fondamental dans le courant de référence de (FAP). Pour réaliser ces objectifs, un contrôleur en boucle fermée proportionnel intégral (PI) est ajouté pour réguler la tension continue du condensateur de la (FAP), comme le montre la Fig. 3.

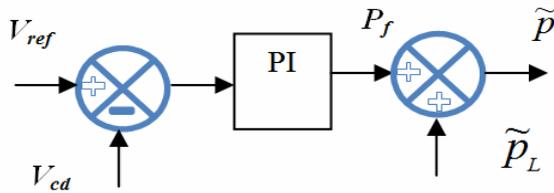


Fig. 3 – Boucle de régulation de la tension continue.

4. L'IDENTIFICATION NEURONALE DES HARMONIQUES ET LA RÉGULATION DU TENSION CONTINUE

De nos jours, l'une des topologies les plus populaires utilisés est multilayer feed forward neural network (MLFFN). Ce réseau est constitué d'un ensemble de neurones de sortie et un ou plusieurs neurones intermédiaires, appelés couches cachées. Premièrement, l'information est entraînée dans le réseau par la couche d'entrée, ensuite elle passe à travers les couches cachées de sortie enfin à travers la couche de sortie. Un MLFFN à trois couches reliées entre elles par les matrices de poids w et le vecteurs de biais b qui sont des paramètres libres, le schéma est illustré par la Figs. 6 et 7.

Afin de modifier w et b , le RNA utilise l'apprentissage, de telle sorte que la fonction de RNA se rapproche à la fonction du système, la RNA minimise l'écart entre la valeur de sortie actuelle y et de la fonction de référence. Chaque entrée dans la colonne Entrée x est pondérée par un approprié w . La somme des entrées pondérées et le biais forme l'entrée de la fonction de transfert f . Le vecteur d'activation est déterminé comme étant une:

$$a = \sum (wx + b). \quad (9)$$

Les neurones peuvent utiliser toute fonction de transfert différentiable f pour générer leur sortie. Dans notre cas, la fonction de transfert logsig est utilisée dans la couche d'entrée et la couche cachée.

$$\text{logsig}(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}}. \quad (10)$$

Dans ce travail, la moindre erreur moyenne quadratique (LMS) est utilisée pour superviser l'apprentissage, dans lequel la règle d'apprentissage est fournie avec un ensemble de comportement du réseau souhaité:

$$\{x_1, y_1\}, \{x_2, y_2\}, \dots, \{x_n, y_n\}. \quad (11)$$

Comme chaque entrée est appliquée au réseau, la sortie du réseau est comparée à la valeur de consigne. L'erreur est calculée comme la différence entre la sortie de la consigne et la sortie du réseau. La moyenne de la somme de ces erreurs est calculée comme suit:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e(k)^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y(k) - y'(k))^2, \quad (12)$$

où $y'(k)$ est la sortie du réseau, $y(k)$ est la sortie cible. L'objectif de l'algorithme LMS est d'ajuster les poids et les biais du réseau linéaire de manière à réduire au minimum cette Erreur moyenne quadratique (LMS). Dans ce travail, la méthode $p-q$ est modélisée par un réseau de neurone artificiel RNA, comme la représente la Fig. 4. Ce RNA contient deux couches cachées, chacune a 12 neurones, et une couche de sortie avec 3 neurones. La fonction d'activation est à base logarithmique pour les deux couches cachées neurones et fonction d'activation linéaire pour les neurones de couche de sortie.

5. RÉSULTATS DE LA SIMULATION

La performance de cette méthode d'identification et de régulation a été examinée par la simulation. Le modèle de système a été implanté dans l'environnement Matlab/Simulink. Les paramètres du système sont indiqués dans Tableau 1.

Tableau 1

Paramètres du système

La tension de phase U	220 V
La fréquence de source f_s	50 Hz
L'inductance de filtre L_f	0.7 mH
Dc condensateur C_{dc}	0.768474 mF
L'inductance de lissage L_{smooth}	70 μ H
Puissance nominale de la charge SN	80 kVA

Un redresseur à diodes triphasé avec une charge RL a été utilisé comme une charge qui génère les courants harmoniques. La charge initiale (résistance 3.33 Ω et l'inductance 60 mH).

La RNA de Fig. 4 a sept entrées ($v_{sa}, v_{sb}, v_{sc}, v_{dc}, i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}$) et trois sorties ($i_{ref1}, i_{ref2}, i_{ref3}$), comme dans la méthode de $p-q$. Le modèle neuronique des couches cachées est représenté en Fig. 4, d'où chaque neurone comporte n entrées. Ce paramètre varie en fonction de la couche cachée choisie, où n est égal à 7. Si le neurone de la couche cachée appartient

à 1 et n est égal à 12, le neurone de la couche cachée appartient à 2. Pour les neurones de la couche de sortie, n est égal à 12.

L'identification et le filtrage s'effectuent pour chaque phase, après prélèvement sur le réseau électrique, le courant est décomposé en série de Fourier de la façon suivante:

$$i_c(t) = i_{cf}(t) + i_{ch}(t). \quad (13)$$

Dans cette expression $i_{cf}(t)$ représente le courant fondamental et $i_{ch}(t)$ représente le courant harmonique tel que:

$$i_c(t) = I_{11} \cos(\omega t - \alpha) + I_{12} \sin(\omega t - \alpha). \quad (14)$$

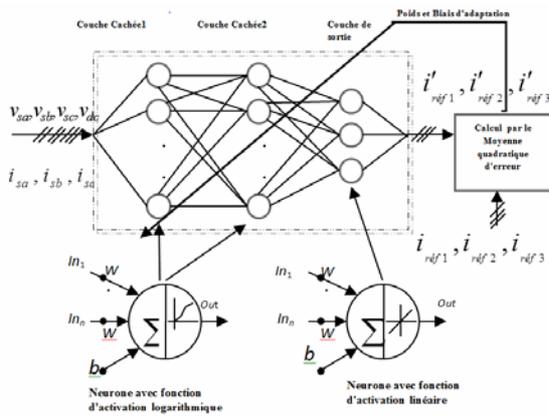


Fig. 4 – Modélisation du ($p-q$ théorie) par un réseau de neurone.

Dans cette expression $i_{cf}(t)$ représente le courant fondamental et $i_{ch}(t)$ représente le courant harmonique tel que:

$$i_{ch}(t) = \sum_{n=2}^{49} I_{n1} \cos(n\omega t - \alpha) + I_{n2} \sin(n\omega t - \alpha), \quad (15)$$

où ω est la fréquence fondamentale du réseau électrique, α est un angle quelconque qui peut être égale à zéro, I_{11} et I_{12} sont les amplitudes associées aux cosinus et sinus du courant fondamental, I_{n1} I_{n2} sont associés aux cosinus et sinus du courant harmonique. L'identification des harmoniques se fait par un réseau de neurones pour les trois phases comme le montre Fig. 4. Les entrées sont de sept ($v_{sa}, v_{sb}, v_{sc}, v_{dc}; i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}$). Les sorties de ce réseau sont de trois ($i'_{réf1}, i'_{réf2}, i'_{réf3}$) termes en cosinus et en sinus issus de la décomposition en série de Fourier du courant mesuré.

$$i'_{réf1}(t) = \sum_{n=2}^{49} I_{n1} \cos(n\omega t - \alpha) + I_{n2} \sin(n\omega t - \alpha) + i_{cf}(t). \quad (16)$$

5.1. CAS: MÉTHODE DES PUISSANCES INSTANTANÉES $P-Q$

Dans la simulation, on suppose que durant la période de $0,60 \text{ s} \leq t \leq 0,65 \text{ s}$, la tension est perturbée par les harmoniques h_5 et h_7 .

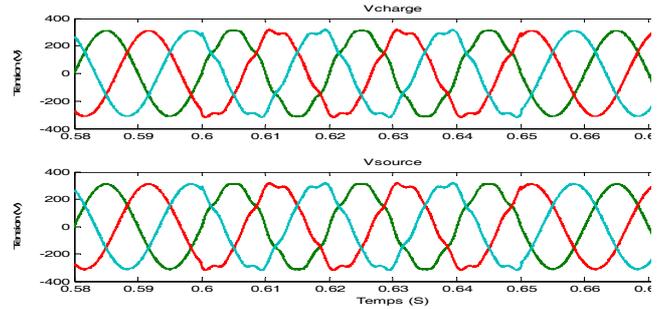


Fig. 5 – Tensions de charge et tensions de source.

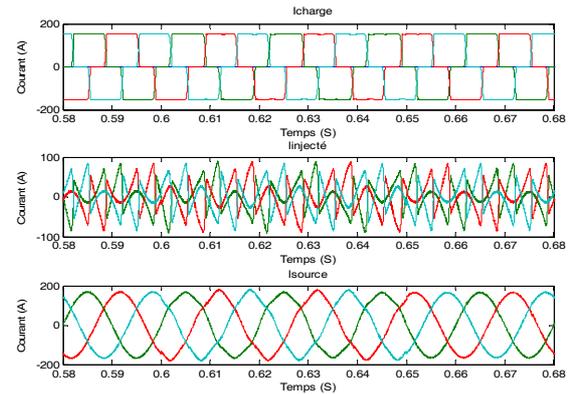


Fig. 6 – Les courants de charge, courants injectés par l'onduleur et les courants de source.

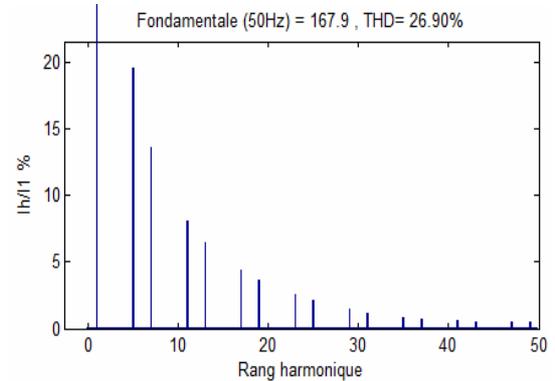


Fig. 7 – Décomposition spectrale du courant de charge sans perturbation de tension de source.

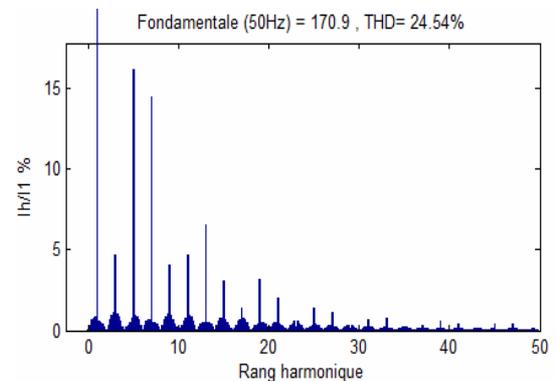


Fig. 8 – Décomposition spectrale du courant de charge avec perturbation de tension de source.

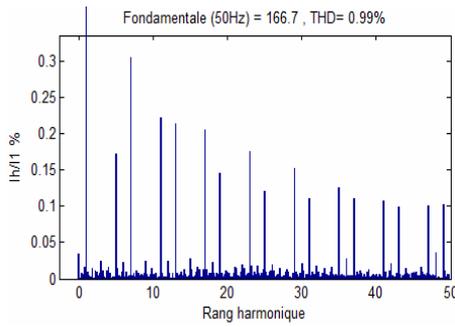


Fig. 9 – Décomposition spectrale du courant de source sans perturbation de tension de source.

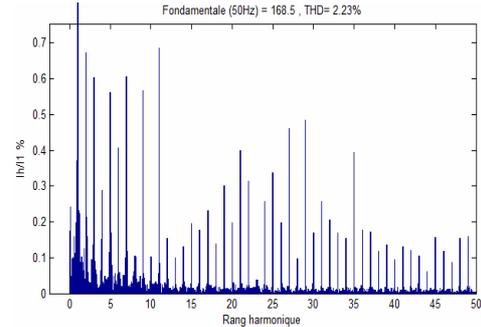


Fig. 12 – Décomposition spectrale du courant de source sans perturbation de tension de source.

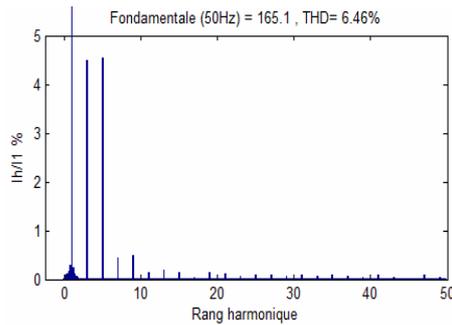


Fig. 10 – Décomposition spectrale du courant de source avec perturbation de tension de source.

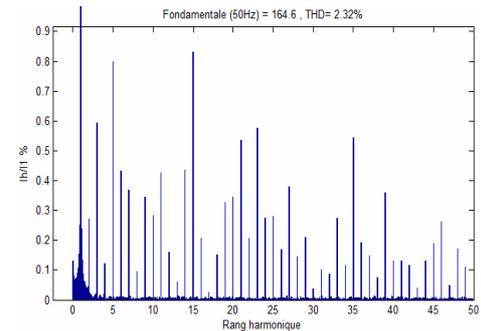


Fig. 13 – Décomposition spectrale du courant de source avec perturbation de tension de source.

Figures 6, 7 et 9 nous ont montré que les méthodes de contrôle classiques tel $p-q$ est capable de fonctionner de manière optimale sur une large gamme de fonctionnement et perturbation du courant, ainsi qu'il est très efficace avec des tensions saines sauves. Les résultats de la simulation ; dans le cas où on utilise la méthode $p-q$; indique clairement que la présence des harmoniques dans le signal de la tension entraine l'accroissement des courants harmoniques dans le réseau électrique, comme le montre Figs. 6, 8 et 10. On peut remarquer que le taux de croissance de THD est 552,52 %.

5.2. CAS: MÉTHODE BASÉE SUR LES RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

En deuxième lieu, afin de réagir aux changements perturbateurs imprévus dans le signal de tension, la performance du FAP a été examinée avec la méthode basée sur les réseaux de neurones artificiels en gardant les mêmes taux de perturbation au niveau de la tension. Lorsque la méthode proposée a été utilisée, on a obtenu le signal de courant d'alimentation illustré dans les Fig. 11. Pendant la perturbation de la tension, la valeur THD a été prise (Fig. 13).

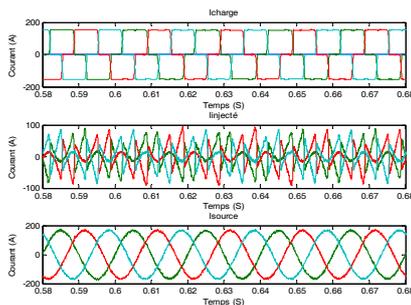


Fig. 11 – Les courants de charge, courants injectés par l'onduleur et les courants de source.

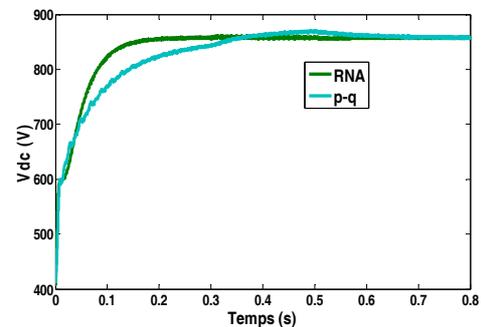


Fig. 14 – Comparaison entre les deux méthodes pour la régulation de la tension du condensateur de stockage.

Les deux méthodes d'identification du FAP ont été utilisées. En effet leur capacité d'apprentissage et de reconnaissance à grande vitesse, le réseau de neurones artificiels permet à FAP d'améliorer leurs performances. Les résultats de filtrage sont illustrés dans Figs. 9, 10, 12 et 13. On peut bien constater que les déformations sont réduites et le THD calculé jusqu'à 2,5 kHz est diminué, quoique la performance de filtrage soit améliorée.

Figure 14 représente la tension contrôlée entre les bornes du condensateur. Nous avons comparé entre l'approche proposée RNA et le régulateur PI qui est incorporé dans (méthode de $p-q$), il semble clairement que le RNA soit caractérisé par un très faible temps de montée et le temps de stabilisation (T_m est égale à 0,0323 s, T_s est égale à 0,3 s) par rapport à contrôleur PI (T_m est égal à 0,18862 s, T_s est égal à 0,42 s). RNA présente des résultats meilleurs au niveau du contrôle de la tension V_{dc} que PI.

6. CONCLUSIONS

Les perturbations harmoniques au niveau de la tension dégradent la performance du FAP basé sur la méthode d'identification $p-q$, de telle façon qu'on ne peut intervenir pour compenser les harmoniques du courant et la puissance réactive. Dans ce travail, une nouvelle stratégie d'identification et commande basée sur le réseau de neurones artificiels a été proposée, afin de restaurer la performance du FAP. Cette méthode a été confrontée à (méthode des puissances instantanées $p-q$ + contrôleur PI) et vérifiée par des études implantées dans l'environnement Matlab-simulation. Les résultats des simulations montrent que RNA est capable d'adapter lui-même leurs poids et les biais, dans le but d'atteindre une identification et un contrôle qui peuvent suivre les changements brutaux de la tension.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les membres du personnel de laboratoire de „Smart Grids & Renewable Energies Lab <sgre_lab@yahoo.fr>”, l'Université de Tahri Mohamed, Béchâr (Algérie), pour leur aimable assistance technique.

Reçu le 19 mars 2016

RÉFÉRENCES

1. M. Lopez, L. Moran, J. Espinoza, J. Dixon, *Performance analysis of a hybrid asymmetric multilevel inverter for high voltage active power filter applications*, Proceedings of the IEEE Industrial Electronics Conference, November 2–6, 2003, Roanoke, Virginia, USA, pp. 1050–1055.
2. B. Berbaoui, B. Chellali, R. Dehini, B. Fardi, *Optimization of shunt active power filter System fuzzy logic controller based on ant colony algorithm*. J. Theor. Applied Inform. Technol, **14**, pp. 117–125 (2010).
3. S. Chennai, *Power quality improvement using Three-level neural point clamped universal conditioner for all voltage disturbances compensation*, Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg, **61**, 1, pp. 188–193 (2016).
4. J.R. Macedo Jr., J.W. Resende, M.I. Samesima, *Shunt tuned filter on the LV side of distribution systems: design and performance*, 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, September 12–15, 2004, pp. 94–99.
5. S.A. Soliman, K.M. El-Naggar, A. Al-Kandari, *Kalman filtering based algorithm for low frequency power systems subharmonics identification*, International Journal of Power and Energy Systems, **17**, 1, pp. 38–43 (1997).
6. D. Lihua, F. Juntao, C. Changchun, *Global fast terminal sliding mode control for an Active power filter based on backstepping desined.*, Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg, **61**, 3, pp. 293–298 (2016).
7. A. Tahri, A. Draou, *Instantaneous active and reactive power measuring method in three phase power system*, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, **4**, 6, pp. 17–28 (2005).
8. O. Abdelkhalek, C. Benachaiba, T. Benslimane, M. Haidas, *A novel theory of reference harmonic current identification based on the per unit system used for the active filters*, Journal of Electrical & Electronics Engineering, **8**, 2, pp. 747–757 (2008).
9. L. Hui, L. Guohai, S. Yue, *A novel harmonics detection method based on wavelet algorithm for active power filter*, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 21–23, 2006, Dalian, China, pp. 7617–76211.
10. W. Dai, T. Huang, N. Lin, *Single-phase shunt hybrid active power filter based on ANN*, Proceedings of the Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, **2**, pp. 40–44 (2007).
11. N.K. Nguyen, D. Ould Abdeslam, P. Wira, D. Flieller, J. Mercklé 2008, *Artificial neural networks for harmonic currents identification in active power filtering schemes*, 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, Orlando, Florida, 2008, pp. 2696–2701.
12. N. Pecharanin, M. Sone, H. Mitsui, *An application of neural network for harmonic detection in active filter*, IEEE World Congress on Computational Intelligence., IEEE International Conference on Neural Networks, (ICNN), 1994, pp. 3756–3760 (1994).
13. M. Rukonuzzaman, M. Nakaoka, *Adaptive neural network based harmonic current compensation in active power filter*, Proceedings, IJCNN'01, International Joint Conference on Neural Networks, **3**, pp. 2281–2286 (2001).
14. A. Chebabhi, M.K. Fellah, M.F. Benkhoris, A. Kessal, *Artificial neural network based synchronous reference frame theory in the dq0-axes for reference harmonic currents generation of a four leg shunt active power filter*, Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., **61**, 4, pp. 408–413 (2016).

THE HARMONICS CURRENTS IDENTIFICATION FACES TO THE VOLTAGE DISTURBANCE

Key words: Shunt active power filter (SAPF), Identification methods, Instantaneous pq-theory, Neuronal artificial technique, Non-linear loads.

The shunt active power filters (SAPF) effectiveness, usually depends on its three parts: the inverter, the identification methods and the control used. In our case, we focused on the second design. Research has shown us that classical identification methods, such as the instantaneous pq-theory method, can operate to best advantage in a wide range of operation and perturbation, as it is very effective with unpolluted source voltages. Moreover, these voltages are not always safe and sound. However, the instantaneous pq-theory method cannot have a satisfactory performance under conditions where the voltages are disturbed, the system's performance is deteriorating. In order to overcome these difficulties while maintaining stable system, a method of detecting harmonic currents that utilized artificial neural networks (ANN) was applied in the stable and disturbed state of voltage.