

Application d'une nouvelle approche FMV pour la compensation active globale et sélective des harmoniques de courants

Hamouda.n, Hemsas.k-e

Laboratoire d'Automatique de Sétif, LAS

Département d'Electrotechnique, Faculté de sciences de l'Ingénieur

Université Ferhat ABBAS de Sétif

hammouda.nourou@yahoo.fr, hemsas_ke_dz@yahoo.fr

Résumé--- Dans cet article, nous présentons une nouvelle technique de compensation active des harmoniques, basée sur un filtre d'extraction multi-variable 'FMV'. Ce dernier exploite la transformée de Concordia, et fait l'extraction globale ou sélective des courants harmoniques de références, et par conséquence faisant leurs compensations, globale ou sélective, par les injectent en opposition de phase moyennant à un onduleur, et par une commande appropriée, soit hystérésis, soit MLI.

Les résultats de simulation numérique dans l'environnement Matab-Simulink d'un système de puissance PD3 à diode débite sur une charge inductive, montrent bien l'efficacité de cette nouvelle technique d'extraction des harmoniques de référence.

Mots clés—Compensation active, harmonique, filtre multi-variable, compensation globale, compensation sélective, régime équilibré, MLI, hystérésis

I. INTRODUCTION

La prolifération de perturbations électriques est due à un nombre croissant de charges non linéaires présentent dans les lignes électriques (tels que les convertisseurs, les ordinateurs personnels, les appareils à tubes fluorescents, etc.). Tous ces appareils possèdent la particularité d'absorber des courants non sinusoïdaux et donc d'introduire dans les lignes électriques des pollutions harmoniques en courant [1].

Les composantes harmoniques générées se propagent dans l'ensemble du réseau de distribution électrique sous la forme de courants qui peuvent sérieusement affecter d'autres appareils en allant parfois même jusqu'à les détériorer [2].

Depuis maintenant quelques années, les Filtres Actifs Parallèles (FAPs) se sont révélés être des techniques efficaces pour la compensation des composantes harmoniques [2],[3]. Ces filtres cherchent à identifier les composantes harmoniques afin de les réinjecter efficacement dans le réseau électrique en opposition de phase. Ils sont également capables de corriger le facteur de puissance et de compenser l'éventuel déséquilibre d'un système triphasé.

De plus, les FAPs peuvent être insérés aisément dans les installations existantes de distribution électrique sans

nécessiter de grandes modifications. Reconnus pour leur facilité de mise en œuvre, pour leur robustesse et leur fiabilité, ils représentent aujourd'hui la technique la plus largement employée pour dépolluer les systèmes électriques.

Un FAP basé sur la technique d'extraction FMV, peut compenser, en temps réel, totalement ou partiellement toute perturbation pouvant survenir sur le réseau électrique [2]. Dans cet article nous présentons une compensation globale et sélective d'un ou plusieurs rangs harmoniques (compensation simultanée des harmoniques 5 et 7).

II. STRUCTURE GENERALE D'UN FILTRE ACTIF PARALLELE

La structure générale d'un FAP triphasé de type tension est présentée par la Fig. 1 où l'on distingue l'onduleur et le filtre de sortie de la partie puissance ainsi que les différents blocs de la partie contrôle-commande.

La partie puissance est généralement constituée d'un onduleur de tension à base d'interrupteurs de puissance dont les états des interrupteurs de l'onduleur sont contrôlés par le régulateur à hystérésis dont la bande d'hystérésis Δh vaut 0.2 [3], d'un circuit de stockage d'énergie (souvent capacitif) et d'un filtre de sortie du premier ordre afin d'atténuer les composantes dues aux commutations de l'onduleur et 'a connecter le filtre actif au réseau électrique [3],[4].

La partie contrôle-commande est composée d'une première étape dont le rôle est l'identification des harmoniques dont la qualité du filtrage dépend en grand partie de la méthode d'identification des harmoniques de références, et d'une seconde étape qui réalise la régulation de la tension continue. Une troisième et dernière étape génère la commande de l'onduleur.

Cette étude se limite au cas, où la source de tension est sinusoïdale, et où le courant absorbé par la charge est entaché de composantes harmoniques. Dans ces conditions, le taux global de distorsion harmonique THD est bien adapté pour qualifier le degré de pollution harmonique sur le réseau électrique.

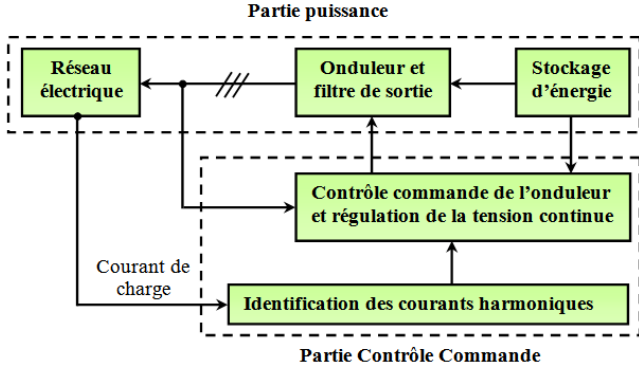


Fig.1. structure générale du filtre actif parallèle.

III. IDENTIFICATION DES HARMONIQUES DE REFERENCE PAR UN FILTRE MULTI-VARIABLE

A. Principe de la méthode FMV.

Le filtre multi-variable est un filtre d'extraction, il est hautement sélectif, il a été développé au sein du laboratoire de Nancy. Son principe de base s'appuie sur les travaux de Song Hong-Scok [5] et est basé sur l'extraction de la composante fondamentale ou harmonique des signaux, directement selon les axes $(\alpha - \beta)$.

B. Modèle mathématique du 'FMV'.

Le modèle mathématique est développé dans la première fois par Song Hong-Scok, la relation entre les grandeurs d'entrées et de sortie ayant un effet intégrale [5] comme le montre l'expression (1)

$$\hat{i}_{\alpha\beta}(s) = e^{j\omega_c t} \int e^{-j\omega_c t} i_{\alpha\beta}(t).dt \quad (1)$$

Où

ω_c : La pulsation de coupure

Après la transformation de Laplace de l'équation (1), on a trouvé l'équation (2) [6].

$$H(s) = \frac{\hat{i}_{\alpha\beta}(s)}{i_{\alpha\beta}(s)} = \frac{s + j\omega_c}{s^2 + \omega_c^2} \quad (2)$$

La fonction de transfert (2), elle prouve que le signal de sortie $\hat{i}_{\alpha\beta}$ est en phase avec le signal d'entrée $i_{\alpha\beta}$. D'ailleurs, si nous traçons le diagramme de Bod de cette fonction de transfert nous trouverons des similitudes avec un filtre de passe bande.

Supposer maintenant que nous ajoutons deux nouvelles constantes k_1 et k_2 dans l'expression (2). Alors nous avons obtenu l'expression (3) comme suite :

$$H(s) = \frac{\hat{i}_{\alpha\beta}(s)}{i_{\alpha\beta}(s)} = K_2 \cdot \frac{(s + K_1) + j\omega_c}{(s + K_1)^2 + \omega_c^2} \quad (3)$$

Si on pose $K_2 = 20$ et on varie K_1 , on peut tracer le diagramme de Bod en 3D, on trouve les Figures ci-dessous.

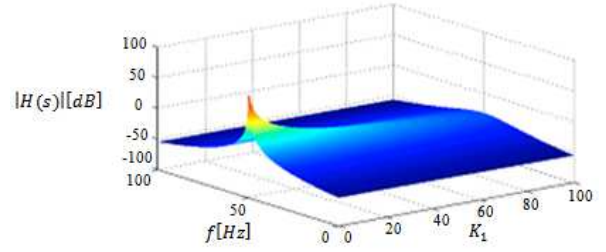


Fig.2. courbe du gain de $H(s)$ en fonction de f et K_1

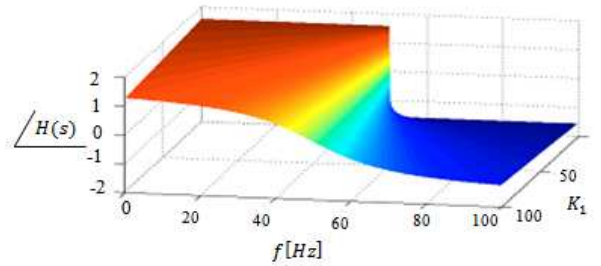


Fig.3. courbe de la phase de $H(s)$ en fonction de f et K_1

Les Fig.2 et Fig.3 montrent que :

1. à 50Hz, l'angle de phase du diagramme de Bod est nul. Ce qui signifie que deux signaux d'entrée et de sortie sont en phase l'un par rapport l'autre.
2. pour que $|H(s)| = 0 \text{ dB}$, il est nécessaire que :
 $K_1 = K_2 = K = 20$

La Fig.4 donne le schéma de circuit du filtre décrit par l'équation (3).

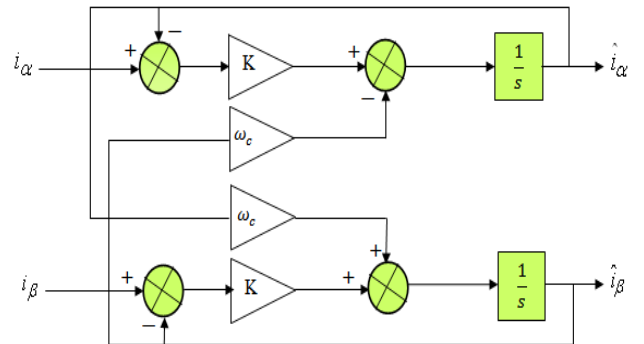


Fig.4. schéma de circuit du FMV

Selon les axes $(\alpha - \beta)$, les expressions liant les composantes $\hat{i}_{\alpha\beta}$ en sortie du FMV aux composantes d'entrée $i_{\alpha\beta}$ sont les suivantes :

$$\hat{i}_{\alpha} = \left(\frac{K}{s}\right)[i_{\alpha}(s) - \hat{i}_{\alpha}(s)] - \frac{\omega_c}{s} \cdot \hat{i}_{\beta}(s) \quad (4)$$

$$\hat{i}_{\beta} = \left(\frac{K}{s}\right)[i_{\beta}(s) - \hat{i}_{\beta}(s)] - \frac{\omega_c}{s} \cdot \hat{i}_{\alpha}(s) \quad (5)$$

Où:

$i_{\alpha\beta}$: Le courant électrique d'entrée selon les axes $(\alpha - \beta)$.

$\hat{i}_{\alpha\beta}$: La composante du courant qui passe dans le filtre FMV.

K : constante à fixer par le diagramme de Bod.

$\omega_c = h.2\pi.f$: Pulsation du courant identifié.

C. Identification globale des harmonique à base du FMV

Quant aux courants diphasés d'axes $(\alpha - \beta)$ ils peuvent être définis comme la somme d'une composante fondamentale et d'une composante harmonique [6] :

$$\begin{cases} i_{\alpha} = i_{\alpha 1} + i_{\alpha h} \\ i_{\beta} = i_{\beta 1} + i_{\beta h} \end{cases} \quad (6)$$

Où :

$i_{\alpha 1}$: Composante fondamentale du courant i_c sur l'axe α

$i_{\beta 1}$: Composante fondamentale du courant i_c sur l'axe β

$i_{\alpha h}$: Composante fondamentale du courant i_c sur l'axe α

$i_{\beta h}$: Composante fondamentale du courant i_c sur l'axe β

Le rôle du FMV est d'extraire les composantes fondamentales du courant de charge à la pulsation $\omega_c = 2\pi.f$ avec ($f = 50\text{ Hz}$) directement selon les axes $(\alpha - \beta)$ [7], [8]. Ensuite, les composantes harmoniques du courant selon les axes $(\alpha - \beta)$, notées ici $i_{\alpha h}$ et $i_{\beta h}$ sont obtenues en soustrayant sur chaque axe, la sortie du FMV à son entrée. Les courants harmoniques de références sont obtenus par la transformation inverse de Concordia.

$$\begin{bmatrix} i_{c_ref1} \\ i_{c_ref2} \\ i_{c_ref3} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} \quad (7)$$

La Fig.5 représente le diagramme de l'identification globale des harmoniques de courant de charge à base de la technique du filtre multi-variable.

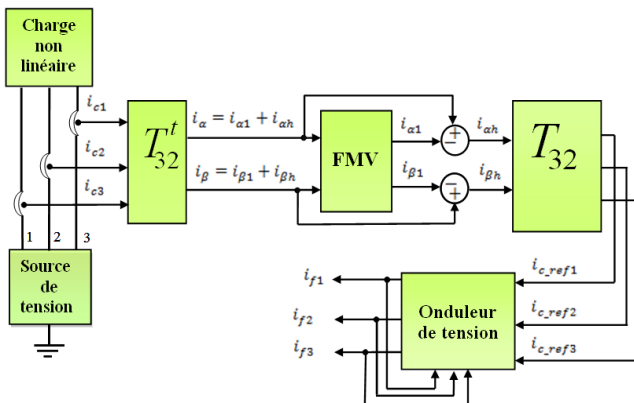


Fig.5. algorithme d'identification des courants harmoniques de référence à base du filtre FMV

A. Identification sélective des harmonique à base du FMV

Un système triphasé des courants de la charge $[i_c]$ peut se décomposer en deux sous systèmes directe et inverse [1],[3].

Le système direct $[i_c]_+$ est constitué de la composante fondamentale et des harmoniques 7, 13, 19,...Le système inverse ou indirect $[i_c]_-$ est constitué des harmoniques 5, 11, 17,...etc.

L'identification d'un harmonique d'ordre h exige la connaissance de sens de propagation de ce dernier.

Si le système de courant de rang h est direct ($h = 6n + 1$), la pulsation de cet harmonique est définie comme suite :

$$\omega_h = +h.\omega_1 \quad (8)$$

Si le système de courant de rang h est inverse ($h = 6n - 1$) la pulsation de cet harmonique est définie comme suite :

$$\omega_h = -h.\omega_1 \quad (9)$$

Dans cet article, nous avons identifié deux harmonique, 5 et 7. L'harmonique 5 se propage dans le sens inverse par une pulsation $\omega_5 = -5.\omega_1$ contre l'harmonique 7 se propage au sens direct une pulsation $\omega_7 = 7.\omega_1$.

La Fig.6 montre bien diagramme d'identification des courant harmoniques 5 et 7 à base d'un filtre multi-variable 'FMV', le choix des paramètres $K_5 = 18$ et $K_7 = 16$ se fait à base du diagramme de Bod en 3D.

Le courant harmonique de référence, lorsqu'on veut compenser les deux harmoniques 5 et 7 est la somme de deux courants sur chaque phase comme le montre la Fig.6.

Où

T_{32}^t : est la transformateur direct de Concordia

T_{32} : est la transformateur inverse de Concordia

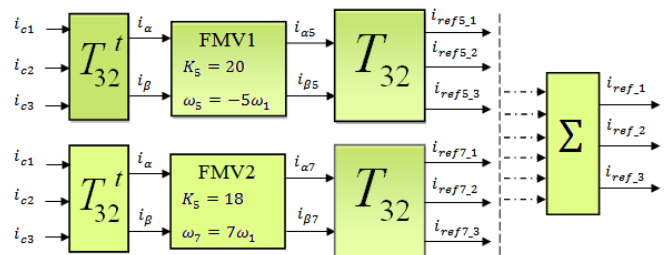


Fig.6. algorithme d'identification des courants harmoniques 5 et 7 à base du FMV

IV. RESULTATS DE SIMULATION NUMERIQUE

Les modèles et l'ensemble des simulations sont réalisés dans l'environnement Matlab/Simulink. L'objectif est de valider et de montrer l'efficacité de la compensation active (totale ou sélective) des harmoniques à base du FMV, la compensation sélective est consacrée pour les deux premiers

harmoniques 5, 7 et les deux au même temps. Le système simulé est montré dans la Fig.7 (la charge non linéaire est PD3 à diode débité sur une charge inductive). Les paramètres du système simulé sont donnés dans le Tab.1.

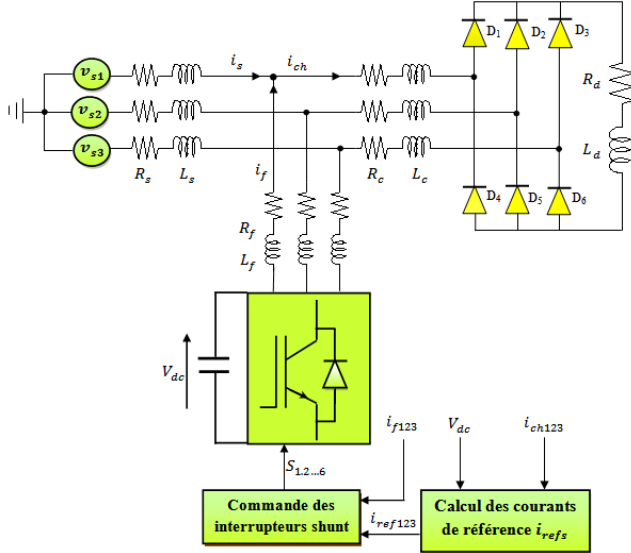
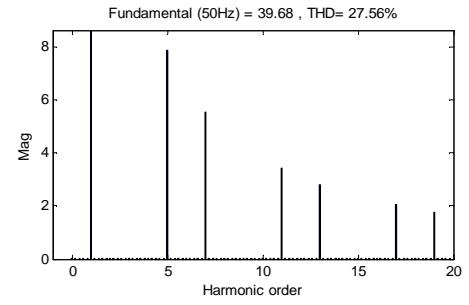


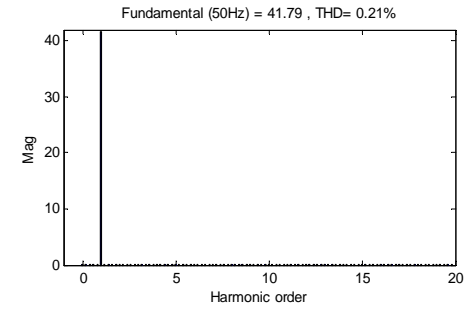
Fig.7. système de filtrage simulé

| V_s | f | L_s | R_s | L_c | R_c | R_d | L_d |
|------------------|------------------|--------------------------|----------|-------|-------|------------|-------|
| 220V | 50Hz | 0,0115mH | 1mΩ | 0,1mH | 1mΩ | 10Ω | 0,2H |
| V_{dc} pour h5 | V_{dc} pour h7 | $V_{dc} \rightarrow F-G$ | C_{dc} | L_f | R_f | Δh | |
| 370V | 350V | 700V | 8mF | 1mH | 1mΩ | 0,2A | |

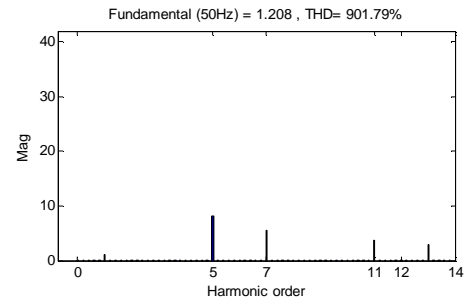
Tab.1. paramètres du système simulé



(a)



(b)



(c)

Fig.10. (a), (b), (c) spectre harmonique des courants i_c , i_s et i_f

A. Compensation globale des harmonique de courant à base d'un FMV

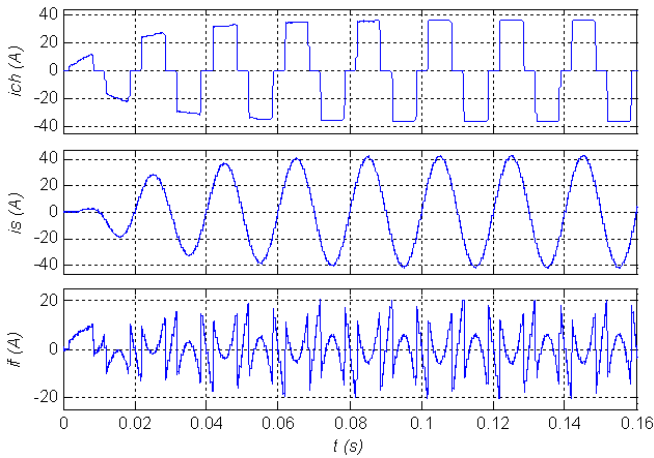


Fig.9. compensation globale de l'harmonique de courant à base d'un FMV

B. Compensation de l'harmonique 5 et 7 du courant de la charge

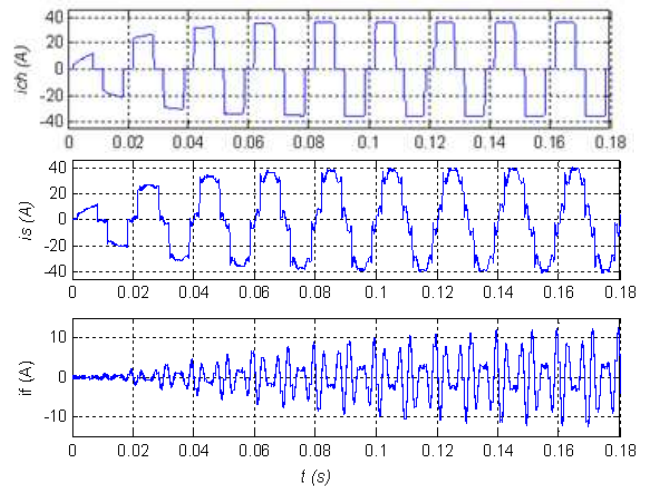


Fig.12. compensation de l'harmonique 5 et 7 du courant de la charge

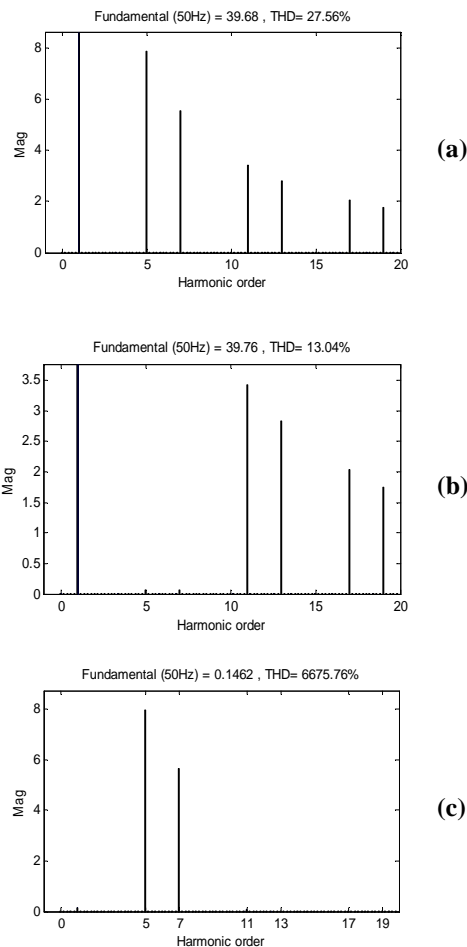


Fig.13. (a), (b), (c) spectre harmonique des courants i_c , i_s et i_f

Les résultats de simulation numérique présentent le courant de charge circulant dans la première phase, le courant délivré par la source et celui fourni par le filtre actif. On remarque que la forme d'onde du courant de source est purement sinusoïdale dans le cas de la compensation globale et approché de la forme sinusoïdale dans le cas d'une compensation sélective. La valeur du gain K pour identifier les harmoniques 5 et 7 se fait par le diagramme de Bode en 3D ou 2D.

La capacité du filtre actif à compenser les harmoniques courant de la charge est démontrée par la lecture de spectre harmonique du courant de réseau après le filtrage. La THD du courant de source passe de 27.56% avant la compensation, à 0,21% après la compensation totale des harmoniques ($V_{dc} = 700V$) et passe de 27.56% à 13,04% après la compensation des harmoniques 5 et 7 ($V_{dc} = 400V$),

V. CONCLUSION

On peut conclure que :

- le filtre actif parallèle peut être compensé les harmoniques du réseau électrique totalement et individuellement.

- La méthode d'identification *FMV* est très efficace pour extraire les harmoniques de références et facile à mise en œuvre.
- L'identification des harmoniques n'a pas besoin d'un circuit PLL contraire *p-q* et *d-q*.
- La technique *FMV* nous permet de compenser sélectivement ou totalement les harmoniques du réseau.
- La technique *FMV* nous permet de compenser les harmoniques du réseau en régime déformé et déséquilibré de tension.

REFERENCES

- [1] H. Akagi, "Trends in Active Power Line," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 9, no. 3, pp. 263-268, 1994
- [2] N. Bruyant, "Etude et commande généralisées de filtres actifs parallèles, compensation global ou sélective des harmoniques, régime équilibré ou déséquilibré ». Thèse de doctorat de l'université de Nantes, France, (1999).
- [3] T. GOURAUD, « Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique ». Thèse, Nantes, France, (1997).
- [4] M. Abdusalam, P. Poure and S. Saadate, « Hardware implementation of a three-phase active filter system with harmonic isolation based on Self-Tuning-Filter ». PESC, 39th IEEE Power Electronics Specialists Conference, Island of Rhodes, Greece, (2008).
- [5] S. Hong-Seok, P. Hyun-Gyu, N. Kwanghee, An instantaneous phase angle detection algorithm under unbalanced line voltage condition, in: IEEE 30th Annual Power Electronics Specialist Conference PESC'99, vol. 1, August, 1999, pp.
- [6] T.Thomas, K.Haddad, G.Joos et A.Jaafari, "Design and Performance of active power filters", IEEE Industry Applications Vol. 4, N°5, Septembre octobre, 1998 .
- [7] M. Abdusalam, P. Poure and S. Saadate, « Study and experimental validation of harmonic isolation based on Self-Tuning-Filter for three-phase active filter ». ISIE, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Cambridge, UK, (2008).
- [8] K. Kubo, K. Sakai, "Feedforward voltage compensation for digital active filter using frequency domain decomposition", EPE'97, Trondheim, Vol.4, pp.786-791.