

# Commande adaptative avec identification neuronale par retour d'état (SSNN) du système UPFC pour la compensation des puissances active et réactive

A. Bouanane<sup>1</sup>, A. Chaker<sup>2</sup>, S.zebirate<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Dr Moulay Tahar, Département d'électrotechnique, Saïda.

<sup>2</sup> ENSET d'Oran, Département de génie électrique – BP 1523. EL Mnaouer. Oran

E-MAIL : [bouananeabd@yahoo.fr](mailto:bouananeabd@yahoo.fr)

**Résumé—** Dans notre présente communication, nous présentons l'efficacité du contrôleur électrique du flux de puissance universel (unified power flow controller UPFC) avec le choix d'une stratégie de commande. Pour évaluer les performances et la robustesse du système, on propose une commande hybride combinant le concept des réseaux neurones avec les régulateurs classiques vis-à-vis des variations des caractéristiques de la ligne de transmission dans le but d'améliorer la stabilité du réseau électrique de puissance.

**Mots Clés :** Système UPFC, commande adaptative, réseaux neurones, espace d'état (SSNN).

## I. INTRODUCTION

Avec l'évolution rapide du monde moderne, la demande en énergie électrique ne cesse de croître et les installations électriques sont continuellement renforcées afin de faire face à ces exigences. La construction des nouvelles centrales et nouvelles lignes est nécessaire ; mais avec les dispositifs FACTS, on peut résoudre certains problèmes tout en utilisant les installations existantes.

Après avoir mis en évidence la nécessité d'un contrôle rapide du flux de puissance dans la ligne de transport et la description du nouveau concept « FACTS » qui est né pour répondre aux difficultés croissantes dans les réseaux et notamment la maîtrise du flux sur les axes de transport, on s'intéresse dans notre travail au contrôleur électrique du flux de puissance universel [1], [2] (unified power flow controller UPFC).

L'UPFC est constitué de deux convertisseurs de commutation (série et shunt) (Fig.1) et même ce dispositif est l'union d'un compensateur parallèle et d'un compensateur série. Il est capable de contrôler simultanément et indépendamment la puissance active et la puissance réactive. Il peut contrôler les trois paramètres associés au transit de puissance à savoir la tension de la ligne, l'impédance de la ligne et l'angle de transport.

## II. CONFIGURATION DE VARIATEUR DE CHARGE UNIVERSEL (UPFC) :

On suppose que l'UPFC [3] représenté par la fig. 1 est branché dans un système de transmission simplifié, à l'arrivée de la ligne de transmission (Receiving End).

Les deux onduleurs à source de tension constituant l'UPFC sont connectés entre eux à travers un circuit continu commun.

Deux transformateurs T1 et T2 sont utilisés pour relier les deux onduleurs, l'un en série et l'autre en parallèle, à la ligne de transmission.

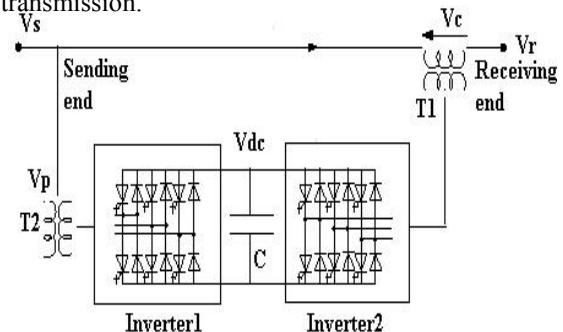


Fig.1 configuration du système UPFC

Toute fois, cette composition offre à l'UPFC la possibilité de contrôler la puissance active et la puissance réactive indépendamment d'où :

- L'onduleur série(2) « Inverter2 » accomplit la fonction principale de l'UPFC, en injectant en série une tension alternative (AC) avec une amplitude et un angle de phase réglables.
  - L'onduleur parallèle(1) « Inverter1 » a pour rôle de fournir ou d'absorber de la puissance effective demandée par l'onduleur (2) à la liaison (DC), comme il peut aussi produire ou absorber de la puissance réactive selon la demande, et assurer une compensation shunt indépendante à la ligne de transport.
- L'onduleur série (2) fournit ou absorbe la puissance réactive nécessaire localement et produit de la puissance active comme résultat de l'injection en série d'une tension.

## III. MODELISATION DU SYSTEME UPFC :

Le circuit simplifié du système de contrôle et de compensation de l'UPFC est représenté sur la (Fig.2) la modélisation de ce circuit est basé sur des hypothèses simplificatrices sous la forme de sources de tension idéales donc Les équations dynamiques de l'UPFC sont divisées en trois systèmes d'équations : les équations de la branche série, les équations de la branche parallèle et celles du circuit de courant continu.

En appliquant les lois de KIRCHOFF on aura les équations suivantes de chaque branche.

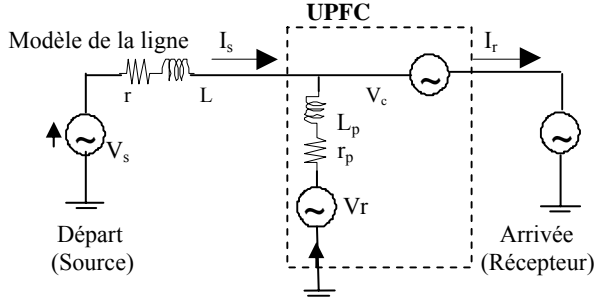


Fig. 2. Circuit équivalent de l'UPFC

a- La modélisation de la branche série est donnée par les équations suivantes :

$$\begin{aligned}\frac{di_{sa}}{dt} &= -\frac{r}{L} \cdot i_{sa} + \frac{1}{L} (v_{sa} - v_{ca} - v_{ra}) \\ \frac{di_{sb}}{dt} &= -\frac{r}{L} \cdot i_{sb} + \frac{1}{L} (v_{sb} - v_{cb} - v_{rb}) \\ \frac{di_{sc}}{dt} &= -\frac{r}{L} \cdot i_{sc} + \frac{1}{L} (v_{sc} - v_{cc} - v_{rc})\end{aligned}\quad (1)$$

La transformation de Park pour but de modéliser ce système triphasé (a, b, c) en biphasé (d, q) comme suit : (2)

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) & 1/2 \\ \cos(\omega t - 120^\circ) & -\sin(\omega t - 120^\circ) & 1/2 \\ \cos(\omega t + 120^\circ) & -\sin(\omega t + 120^\circ) & 1/2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}$$

Où x peut être une tension ou un courant.

Dans notre cas, la composante  $x_o$  n'existe pas vu que le système d'alimentation est supposé symétrique. Après la transformation de Park, l'équation (1) se traduit dans le repère d-q selon les équations

$$\begin{aligned}\frac{di_{sd}}{dt} &= \omega \cdot i_{sq} - \frac{r}{L} \cdot i_{sd} + \frac{1}{L} (v_{sd} - v_{cd} - v_{rd}) \\ \frac{di_{sq}}{dt} &= -\omega \cdot i_{sd} - \frac{r}{L} \cdot i_{sq} + \frac{1}{L} (v_{sq} - v_{cq} - v_{rq})\end{aligned}\quad (3)$$

La forme matricielle de l'axe d-q peut être réécrite sous la forme suivante :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r/L & +\omega \\ -\omega & -r/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \frac{1}{L} \begin{bmatrix} v_{sd} - v_{cd} - v_{rd} \\ v_{sq} - v_{cq} - v_{rq} \end{bmatrix}$$

b- La Modélisation de la branche shunt :

Le modèle mathématique de l'UPFC shunt est donné de même manière par les équations suivantes :

$$\begin{aligned}\frac{di_{pa}}{dt} &= -\frac{r_p}{L_p} \cdot i_{pa} + \frac{1}{L_p} (v_{pa} - v_{ca} - v_{ra}) \\ \frac{di_{pb}}{dt} &= -\frac{r_p}{L_p} \cdot i_{pb} + \frac{1}{L_p} (v_{pb} - v_{cb} - v_{rb}) \\ \frac{di_{pc}}{dt} &= -\frac{r_p}{L_p} \cdot i_{pc} + \frac{1}{L_p} (v_{pc} - v_{cc} - v_{rc})\end{aligned}\quad (4)$$

Avec une transformation en repère d,q on aura le système d'équation (5) :

$$\begin{aligned}\frac{di_{pd}}{dt} &= \omega \cdot i_{pq} - \frac{r_p}{L_p} \cdot i_{pd} + \frac{1}{L_p} (v_{pd} - v_{cd} - v_{rd}) \\ \frac{di_{pq}}{dt} &= -\omega \cdot i_{pd} - \frac{r_p}{L_p} \cdot i_{pq} + \frac{1}{L_p} (v_{pq} - v_{cq} - v_{rq})\end{aligned}\quad (5)$$

La forme matricielle est donnée comme suite :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{pd} \\ i_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_p/L_p & -\omega \\ \omega & -r_p/L_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{pd} \\ i_{pq} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_p} \begin{bmatrix} v_{pd} - v_{cd} - v_{rd} \\ v_{pq} - v_{cq} - v_{rq} \end{bmatrix}$$

c- La modélisation de la branche continue de l'UPFC :

En se passant sur le principe d'équilibre des puissances et en négligeant les pertes des convertisseurs. La tension continue  $V_{dc}$  par l'équation suivante :

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C v_c} (p_e - p_{ep}) \quad (6)$$

D'où  $p_e = v_{ca} i_{sa} + v_{cb} i_{sb} + v_{cc} i_{sc}$

$$p_{ep} = v_{pa} i_{pa} + v_{pb} i_{pb} + v_{pc} i_{pc}$$

Avec  $p_e$  : la puissance active absorbée du système AC

$p_{ep}$  : la puissance active injectée par l'onduleur shunt en système AC

En appliquant la transformation de PARK sur l'équation (6) on obtient :

$$\frac{dv_{dc}}{dt} = \frac{3}{2 C v_{dc}} (v_{pd} i_{pd} + v_{pq} i_{pq} - v_{cd} i_d - v_{cq} i_q) \quad (7)$$

L'UPFC série et L'UPFC shunt sont identiques à tout point de vue. Les commandes utilisées pour l'onduleur série sont aussi les mêmes pour l'onduleur shunt.

#### IV. CONFIGURATION DU CIRCUIT DE REGLAGE :

Théoriquement l'UPFC devrait être traité comme un système multivariable car les deux convertisseurs série et shunt sont connectés d'un côté à la ligne de transmission et l'autre côté au circuit continu DC et donc comportent chacun deux entrées et deux sorties. Ce pendant pour faciliter la synthèse des réglages, le traitement des deux convertisseurs se fera séparément. La possibilité de cette séparation est justifiée par deux facteurs principaux. Premièrement, le couplage entre les deux convertisseurs sur la ligne de transmission est assez faible. Deuxièmement, la variation dynamique de la tension du côté du continu DC est dominée par le convertisseur parallèle. Le contrôle du convertisseur parallèle dans l'UPFC est très similaire au celui du compensateur SVC. Donc pour contrôler le flux de puissance active dans la ligne de transmission, le régulateur de l'UPFC série doit ajuster l'angle de la phase de la tension de compensation  $V_c$  tandis que pour régler le flux de puissance réactive, l'amplitude de la tension injectée série doit être contrôlé. Pour assurer la stabilité du système, une chaîne de contrôle est implémentée avec le contrôle PI.

❖ Contrôle de la branche série

❖ Contrôle de la branche parallèle et la partie continue.

#### IV.1 DESCRIPTION DU SYSTEME DE COMMANDE DE L'UPFC :

Les puissances actives et réactives P et Q, sont donnés par les équations :

$$P = \frac{3}{2}(V_{sd} \cdot i_{sd} + V_{sq} \cdot i_{sq})$$

$$Q = \frac{3}{2}(V_{sd} \cdot i_{sq} - V_{sq} \cdot i_{sd}) \quad (8)$$

Où  $i_{rd} = i_{sd} + i_{pd}$   
 $i_{rq} = i_{sq} + i_{pq}$

Les puissances de référence active et réactive  $P^*$  et  $Q^*$  des puissances réelles désirées P et Q sont utilisées comme entrée au système de commande de l'UPFC. A partir de l'équation (8) les courants de référence  $i_{sd}^*$  et  $i_{sq}^*$  peuvent être calculés comme suit:

$$i_{d}^* = \frac{2}{3} \left( \frac{P^* \cdot V_{sd} - Q^* \cdot V_{sq}}{\Delta} \right) \quad i_{q}^* = \frac{2}{3} \left( \frac{P^* \cdot V_{sq} + Q^* \cdot V_{sd}}{\Delta} \right) \quad (9)$$

Avec

$$\Delta = V_{sd}^2 + V_{sq}^2$$

Les courants de référence  $I_{rdref}$  et  $I_{rqref}$  sont calculés suivant les équations (8). Ces valeurs de référence  $I_{rdref}$  et  $I_{rqref}$  sont ensuite comparées aux courants de ligne réels du récepteur. Les sorties des correcteurs PI en courants fournissent les valeurs des tensions de commandes  $V_{sd}$  et  $V_{sq}$ .

L'objectif est d'avoir des puissances active et réactive à l'arrivée de la ligne (Receiving End) identiques à celles des consignes ( $P^*$ ,  $Q^*$ ) en forçant les courants de ligne ( $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$ ) de suivre correctement leurs références.

Les courants de référence calculés en (8) sont comparés aux courants de ligne réels, et après une correction en courant on aboutit aux tensions de commande (UPFC série)  $V_{cd}$  et  $V_{cq}$  qui représentent les tensions de référence du circuit de commande à MLI (PWM) de l'onduleur de la fig. 3.

#### IV.2 REGULATEUR PI-DECOUPLE :

D'après le système d'équation (3) ou (5), on peut avoir que le système contient un couplage entre les courant actif Id et réactif Iq. L'interaction entre les boucles de courant causé par le terme de couplage ( $\omega$ ) (fig.3). Cela explique la déviation de la puissance réactive par rapport à la référence. Pour réduire l'interaction entre la puissance active et réactive, un découplage des deux boucles de courants est nécessaire.

La fonction de découplage est de soustraire le produit de  $\omega L$  et Iq du contrôleur selon l'axe d et d'ajouter le produit de terme  $\omega L$  et Id au contrôleur selon l'axe q. La conception du système de régulation doit commencer par la sélection des variables à régler et ensuite celle des variables de commande et leur association aux variables réglées.

Il existe différentes techniques d'ajustement bien adapté au régulateur PI. Il existe deux approches empiriques bien connues proposées par Ziegler et Nichols, pour la détermination des paramètres optimaux du régulateur PI. La méthode de Ziegler-Nichols, utilisée dans cette présente thèse, est basée sur un essai conduit en boucle fermée avec un simple régulateur proportionnel analogique. Le gain  $K_p$  de ce régulateur est

graduellement augmenté jusqu'à la limite de stabilité, ce qui se manifeste par un régime permanent oscillatoire. Sur la base des résultats ainsi obtenus, les paramètres du régulateur PI analogique donnés par la fonction de transfert.

$$K(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

On peut dire dans les conditions du convertisseur, le dépassement des courants doit être minimal. Par conséquent, l'introduction d'une condition simple  $K_i = (r/L) \cdot k_p$ . On obtient la fonction de transfert sous la forme  $F(s) = k_p / (k_p + s)$  qui est de premier ordre avec une constante de temps  $T = 1/k_p$ .

$$D'où \quad F(s) = \frac{1}{1 + s \cdot T} \quad (10)$$

Ainsi, la détermination de la constante de temps dépend des changements admissibles maximaux des grandeurs de contrôle  $V_{cd}$  et  $V_{cq}$  pour le contrôleur série et de même pour le convertisseur shunt. Donc d'après la méthode de Ziegler-Nichols, le gain critique  $K_{pc}$  et la période  $T_c$  des oscillations est mesurés d'après le choix du tableau comme suite :

$$K_p = 0,45 k_{pc} \quad \text{et} \quad T_i = 0,83 T_c \quad \text{avec} \quad T_d = 0$$

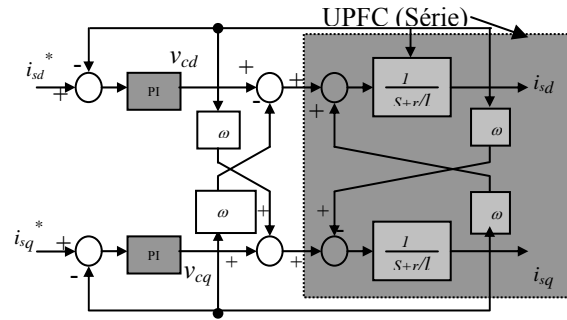
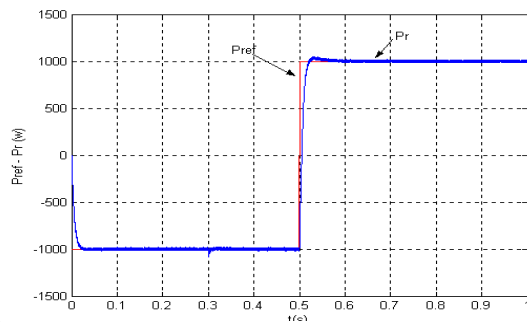


Fig.3. SCHEME EN BLOCS DE REGLAGE DEUPFC (série)

#### IV.3 RESULTATS DESIMULATION UPFC AVEC PI-D :



(b)

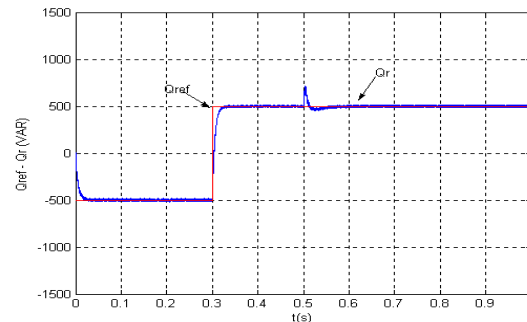


Fig.4 (a), (b). REPONSES DES PUISSANCES AVEC UN PI-D

Les figures (4-a, b) illustrent le comportement des puissances active et réactive, où on remarque que le contrôle du système a une réponse dynamique rapide pour que les puissances atteignent leurs régimes permanents après un changement dans les valeurs de référence.

On remarque aussi la présence de l'interaction entre les deux composantes (d et q). Ces influences sont causées par l'onduleur à MLI qui est incapable de produire les signaux continus dont a besoin le découplage, ce qui fait croître l'erreur au niveau des régulateurs PI-D.

Pour le test de Robustesse, nous avons testé pour une variation de la réactance  $X_L$  à 30% d'où j'ai eu les variations sur les puissances de sortie suivantes

Suite à ces changements, les puissances active et réactive (fig. 5) subissent de larges déviations plus ou moins importante avec un dépassement remarquable aux moments de changement des consignes ( $P_{ref}$ ,  $Q_{ref}$ ) ; ce qui signifie la dégradation des performances du régulateur PI, interprétée par la perte de la stabilité du système

On a simulé cette fois-ci en introduisant une perturbation (fig.6) de durée 25 ms et d'amplitude 1.5 pour tester encore une fois sa robustesse et la stabilité du système.

La réponse des puissances active et réactive à 30% de  $X_L$  n'a pu être relevée, le message d'erreur donné par « MATLAB command » indiquait la saturation de la commande à l'infini lors des variations brusques des signaux de consigne.

On peut vérifier la réponse de l'asservissement pas uniquement en poursuite mais également en régulation en ajoutant une perturbation.

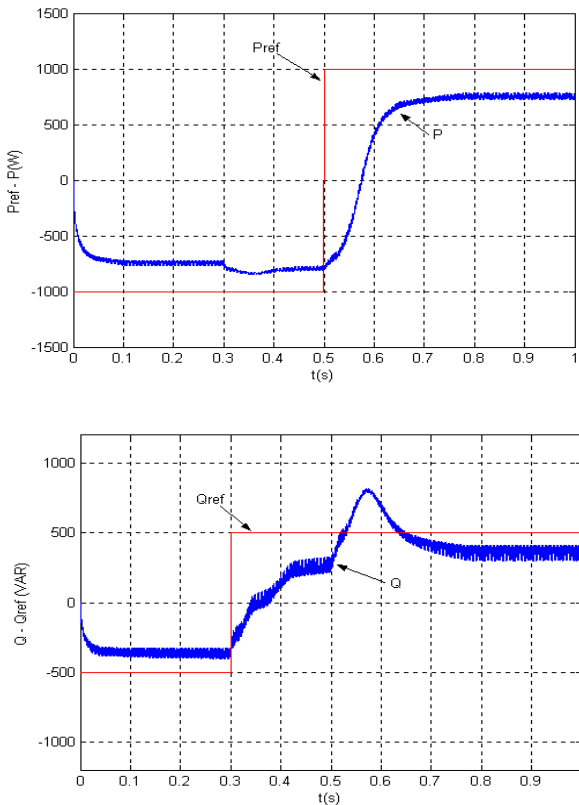


Fig.5. REPONSES DES PUISSANCES AU CHANGEMENT DE LA REACTANCE DE 30%.

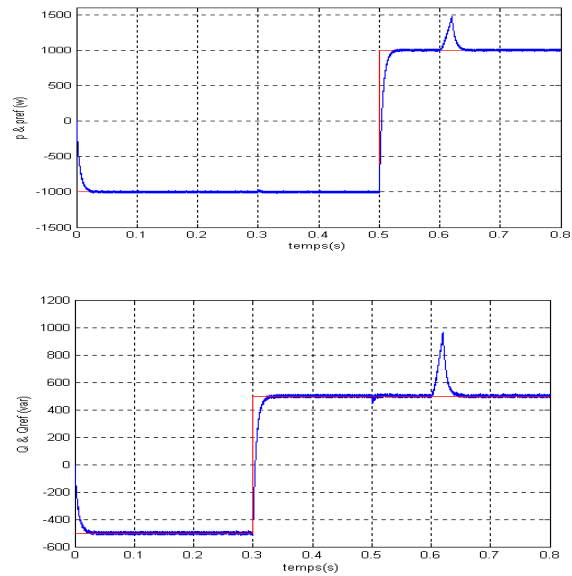


Fig.6.SYSTEME UPFC PERTURBE POUR TESTER LA STABILITE.

## V. COMMANDE ADAPTATIVE NEURONALE.

L'intérêt de la commande adaptative [4] apparaît essentiellement au niveau des perturbations paramétriques, c'est à dire agissent sur les caractéristiques du processus à commander, les perturbations agissent sur les variables à réguler ou à commander. Dans cet article on présente la méthode de réglage proposé pour L' UPFC, en privilégiant l'approche classique fondée sur les réseaux neurones.

### V.1CHOIX D'UN RESEAU DE NEURONE :

Dans cet article le réseau d'Elman [5] dit réseau à couche cachée, est un réseau récurrent, donc mieux adapté pour la modélisation des systèmes dynamiques. Son choix dans la commande neuronale par retour d'état, est justifié par le fait, qu'en particulier, ce réseau peut être interprété comme un modèle d'espace d'état non linéaire. L'apprentissage par l'algorithme de rétropropagation standard est la loi utilisée pour l'identification de l'UPFC.

### V.2 COMMANDE ADAPTATIVE NEURONALE PAR RETOUR D'ETAT « SSNN ».

L'intégration de ces deux approches (commande adaptative+neuronale) [6] dans une seule structure hybride, fait que chacune d'elles tire profit de l'autre ; mais pour modifier le comportement dynamique du système UPFC, on a ajouté une contre réaction calculée à partir du vecteur d'état (retour d'état) (fig.7).

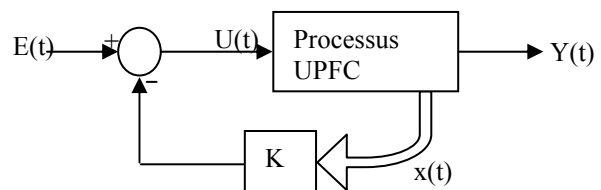


Fig.7 SCHEME FOCTIONNEL D'UNE COMMANDE PAR RETOUR D'ETAT DE L'UPFC.

La commande par retour d'état consiste à considérer le modèle du processus sous la forme d'une équation d'état :  

$$X^*(t) = A x(t) + B u(t) \quad (11)$$

Et équation d'observation :

$$Y(t) = C x(t) + D u(t) \quad (12)$$

Où  $u(t)$  est le vecteur de commande,  $x(t)$  le vecteur d'état, et  $y(t)$  le vecteur de sortie de dimension pour un système discrétisé au pas d'échantillonnage  $T_e$  les paramètres du processus aux instants d'échantillonnage  $k T_e$  se formalisent ainsi :

$$x(t+1) = A_d x(t) + B u_d(t) \quad (13)$$

$$y(t) = C_d x(t) + D_d u(t) \quad (14)$$

La fonction de transfert  $G(s) = Y(s) / U(s)$  de notre processus UPFC s'écrit sous la forme :

$$G(s) = \frac{1}{s + r/L} \quad (16)$$

On déduit les équations de la représentation d'état de l'UPFC :

$$\begin{cases} \dot{x}^* = -\left(\frac{r}{L}\right)x + u \\ y = x \end{cases} \quad (17)$$

Avec :  $U(t) = e(t) - k x(t)$

$$\text{Soit : } X(t+1) = [A_d - K B_d] x(t) + B_d e(t) \quad (18)$$

$$Y(t) = C_d x(t) \quad (19)$$

La dynamique du processus corrigé par retour d'état est présente fonction de l'équation caractéristique de la matrice  $[A_d - K B_d]$ ,  $K$  étant la matrice retour d'état du processus asservi.

Notre système est décrit sous forme matricielle dans l'espace d'état :

$$\begin{cases} \dot{x}^* = A x + B u \\ y = C x + D u \end{cases} \quad (20)$$

Où :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{r}{L} & \omega \\ \omega & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$u = \begin{bmatrix} v_{cd} \\ v_{cq} \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} i_{sd} & i_{sq} \end{bmatrix}^T$$

### V.3 IDENTIFICATION BASE SUR RESEAU D'ELMAN:

Un processus identifié [7] [8] sera alors caractérisé par la structure du modèle (fig.8), de son ordre et par les valeurs des paramètres. Il s'agit donc, d'un corollaire de la simulation de processus pour lequel on utilise un modèle et un jeu de coefficients afin de prédire la réponse de système. Le réseau Elman constitué de trois couches : une couche d'entrée, couche cachée et une couche de sortie. Les couches d'entrée et de sortie interfèrent avec le milieu extérieur, ce qui n'est pas le cas pour la couche intermédiaire dite couche cachée c.à.d. l'entrée du réseau est la commande  $U(t)$  et sa sortie est  $Y(t)$ . Le vecteur d'état  $X(t)$  issu de la couche cachée est injecté dans la couche d'entrée.

On déduit les équations suivantes :

$$X(t) = W_r X(t-1) + W_h U(t-1) \quad (21)$$

$$Y(t) = W_o X(t) \quad (22)$$

Où,  $W_h$ ,  $W_r$  et  $W_o$  sont les matrices poids. Les équations sont les descriptions standards de l'espace d'état des systèmes dynamiques. L'ordre du système dépend du nombre d'états qui est égal au nombre de couches cachées. Quand une donnée entrée-sortie est présentée au réseau à l'itération  $k$  l'erreur quadratique à la sortie du réseau est définie comme suit

$$E_t = \frac{1}{2} (y_d(t) - y(t))^2 \quad (23)$$

Pour toutes les données  $u(t)$ ,  $y_d(t)$  de  $t = 1, 2, \dots, N$ , la somme des erreurs quadratiques est :

$$E = \sum_{t=1}^N E_t \quad (24)$$

Les poids sont modifiés à chaque itération, pour  $W_o$  on a :

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_t}{\partial W_o} &= -(y_d(t) - y(t)) \frac{\partial y(t)}{\partial W_o} \\ &= -(y_d(t) - y(t)) x^T(t) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \text{Pour } W_h \text{ et } W_r, \text{ On a : } \frac{\partial E_t}{\partial W_h} &= -\frac{\partial E_t}{\partial y(t)} \cdot \frac{\partial y(t)}{\partial x(t)} \cdot \frac{\partial x(t)}{\partial W_h} \\ &= -(y_d(t) - y(t)) W_o^T \cdot u(t) \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_t}{\partial W_r^i} &= -\frac{\partial E_t}{\partial y(t)} \cdot \frac{\partial y(t)}{\partial x_i(t)} \cdot \frac{\partial x_i(t)}{\partial W_r^i} \\ &= -(y_d(t) - y(t)) W_o^i \frac{\partial x_i(t)}{\partial W_r^i} \end{aligned} \quad (27)$$

De cette dernière on obtient :

$$\frac{\partial x_i}{\partial W_r^i} = X^T(t-1) + W_r^i \cdot \frac{\partial x(t-1)}{\partial W_r^i} \quad (28)$$

La variation de la matrice de poids en fonction du gain d'apprentissage s'écrit sous la forme :

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E_t}{\partial W} \quad (29)$$

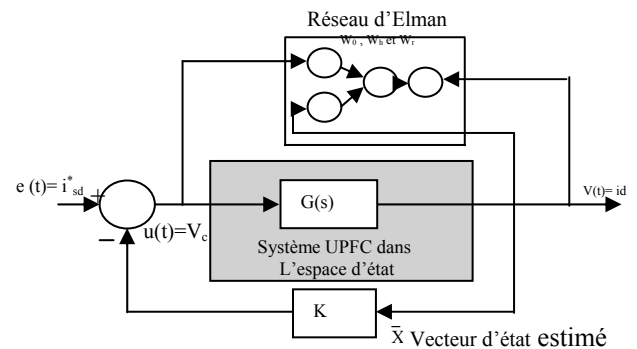


Fig.8 RESEAU D'ELMAN ET RETOUR D'ETAT.

Notons que les performances de l'identification sont meilleures lorsque le signal d'entrée est suffisamment riche en fréquences pour exciter les différents modes de processus. Les trois poids  $W_o$ ,  $W_r$  et  $W_h$  qui sont respectivement les matrices de l'équation d'état du processus (système UPFC)  $[C, A \text{ et } B]$  sont devenus stable après un temps approximatif  $t=0.3s$  et plusieurs itérations (fig.9).

**Remarque :** Pour le réseau neurone de type Elman on suppose le vecteur biais est nul ( $D=0$ )

Dans l'apprentissage **en ligne** du réseau **Elman**, les tâches d'identification et de synthèse même la correction se font l'une après l'autre. Ou la correction des valeurs numériques des paramètres se fait de façons récurrente donc l'erreur d'estimation (fig.10) met environ presque une second ( $t=1s$ ) pour converger vers zéro c.à.d. la régulation en poursuite.

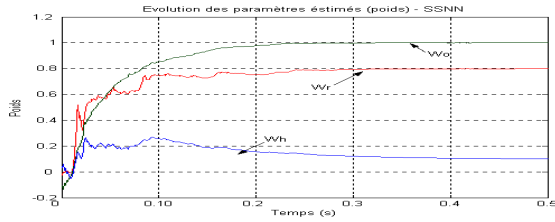


Fig.9 EVOLUTION DES POIDS

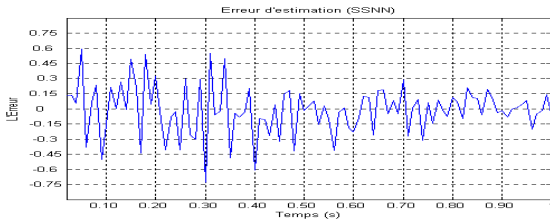


Fig.10 ERREUR D'ESTIMATION

#### V.4 TEST DE ROBUSTESSE :

Pour vérifier la robustesse de se contrôleur, deux tests ont été réalisés. Pour chaque test nous avons varié les paramètres de la ligne de la transmission mais le contrôleur est resté inchangé. On peut constater que la variation de la réactance ( $\pm 25\%$ ) n'a presque pas d'influence sur les caractéristiques de sortie du système UPFC (fig.11).

Pour pouvoir comparer les réponses des puissances active et réactive du système UPFC, on a donné les trois cas de (fig.11) Où (a)et (c) sont les réponses à des variations de ( $\pm 25\%$ ) et (b) est la réponse du système sans aucun changement de réactance.

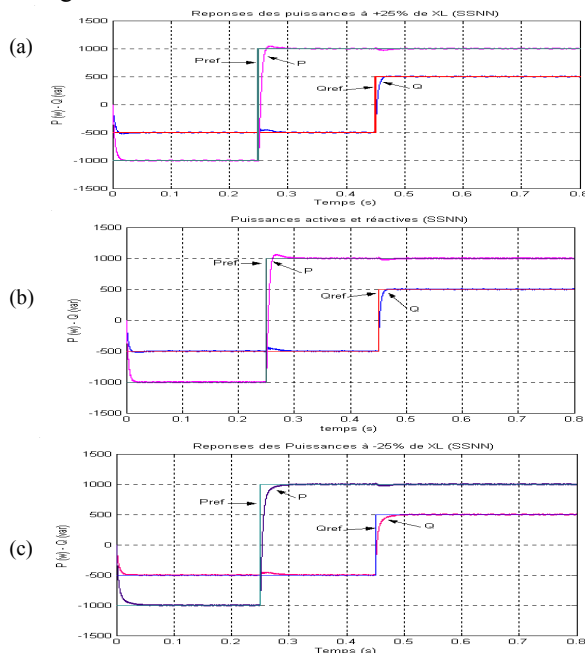


fig.11 COMMANDE ADAPTATIVE NEURONALE (SSNN) DES PUISSANCE P et Q à ( $\pm 25\%$  de  $X_i$ )

## VI. CONCLUSION

L'identification de processus sera alors caractérisée par la structure du modèle, de son ordre et par les valeurs des paramètres .il s'agit donc, d'un corollaire de la simulation de processus pour lequel on utilise un modèle et un jeu de coefficients afin de prédire la réponse de système. L'emploi d'une identification plus avancée à basse de réseaux de neurones peut être fiable à l'algorithme de calcul de la commande.

Dans cet article on a utilisé pour l'identification des paramètres du système un réseau neurone dit réseau d'Elman avec trois couches .comme on l'a déjà vu. Notons que les performances de l'identification sont meilleures lorsque le signal d'entrée est suffisamment riche en fréquences pour exciter les différents modes de processus.

La commande adaptative neuronale par retour d'état (SSNN : state space neural network)) est une commande hybride basée sur la représentation d'état du système UPFC, a été testée .les performances de cette dernière, se trouvent légèrement dégradée, ceci est peut être dû au retard causé par l'algorithme, ce dernier ne peut pas être réduit à volonté ou il est peut dû au choix du gain K de la boucle fermée.

Enfin le processus d'identification basé sur l'apprentissage du réseau de neurones d'Elman, permet d'obtenir le comportement dynamique du processus et d'estimer la sortie de système aussi que son vecteur d'état à partir des informations que sont le signale de commande et la sortie mesurée.

## VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] I. Papic, P. Zunko, D. Povh, M. Weinhold, "Basic control of unified power flow controller". *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 1734–1739, 1997.
- [2] Y. H. song and A .T. Johns,' flexible AC transmission systems (FACTS).' IEE power and Energy series 30.1999.
- [3] Gyugyi L.: unified power flow control concept for flexible AC transmission systems. *IEE Proc.* 139 (1992) 323-331
- [4] O. pages 'étude de comparaison de différentes structures de commande multi- contrôleurs application à un axe robotise.' thèse 2001. (LAMII/CESALP).université de Savoie.
- [5] Xiang Li, Guanrong C., Zengqian C., and Z. Yuan 'Chaotifying Linear Elman Networks' *IEEE transaction neural networks.* vol1, 3, 5 September 2002.
- [6] M. A. Denai, T. Allaoui, "Adaptive fuzzy Decoupling of UPFC- Power Flow Compensation", 37th UPEC2002, 9-11 September 2002, Straffordshires University UK.
- [7] S. zebirate, A.chaker,O.traiaia , 'commande adpaptative decouple neuronale d'un compensateur de flux de puissance UPFC'reference480.laboratoire LAAS.CCECE 03-CCGEI 2003.Montreal.IEEE May 2003.
- [8] S. zebirate, A.chaker, 'commande addaptative decouple neuronale d'un UPFC (unified power flow control)', JCGE Saint Nazaire, Juin 2003.