

Etude de la Performance d'un Dispositif STATCOM Utilisée pour Compenser la Puissance Réactive au Point de Raccordement

M. Mezaache, K. Chikhi, et C. Fetha

Université de Batna
Rue Chahid Mohamed El-Hadi Boukhrouf, Batna 05000, ALGERIE
Emails: mezaache_mohamed@yahoo.fr, k_chikhi@lycos.com

Abstract—The industrial extension during the last decades led to increasing considerable requirements in the electric power, in spite of the significant energy production. The FACTS concept “Flexible Alternative Current Transmission Systems” regroups all devices to basis of electronics of power that permits to improve the exploitation of the electric network. The technology of these systems “static switches” assure a speed superior to the one of the classic electromechanical systems. The objective of this paper is to study the functions of control offered by the STATCOM “STATIC COMPensator” in the regulation of the voltage by compensation of the reactive energy.

Key-Words—FACTS, Static switches, STATCOM.

Résumé—L'extension industrielle pendant les dernières décennies menées à augmenter des exigences considérables dans la puissance électrique, malgré la production d'énergie significative. Le concept FACTS “Flexible Alternative Current Transmission Systems” regroupe tous les dispositifs à base d'électronique de puissance qui permettent d'améliorer l'exploitation du réseau électrique. La technologie de ces systèmes “interrupteurs statiques” assure une vitesse supérieure à celle des systèmes électromécaniques classiques. L'objectif de cet article est d'étudier les fonctions de contrôle offertes par le STATCOM “STATIC COMPensator” dans la régulation de la tension par compensation de l'énergie réactive.

Mots Clés—FACTS, Interrupteurs statiques, STATCOM.

I. INTRODUCTION

LES systèmes FACTS sont capables de changer les paramètres de réseau d'une manière rapide et efficace afin de réaliser une meilleure performance du système. Ces contrôleurs sont employés pour augmenter la perfection de la performance dynamique des systèmes d'énergie en termes de stabilité de tension/angle tout en améliorant le profil de la capacité de transit de puissance et la tension [1].

Les dispositifs STATCOM sont de purs systèmes d'électronique de puissance réalisés avec des convertisseurs à base d'IGBT, IGCT ou GTO. Ils sont raccordés au réseau à travers un filtre inductif et injectent un courant contrôlé dans le système afin de régler la tension au nœud de raccordement et/ou de compenser la puissance réactive d'une charge/générateur [2].

II. ETUDE ET CONTROLE DU STATCOM

A. Description d'un STATCOM

Le concept de base du STATCOM a été proposé par Gyugyi en 1976. Le rôle de STATCOM est d'échanger de l'énergie réactive avec le réseau. Ce dispositif est la version des SVC “Static Var Compensator” composé d'un convertisseur de tension à base de semi-conducteur de haute technologie “IGBT, IGCT” associé à un condensateur comme source de tension continue et l'ensemble connecté en parallèle au réseau par le biais d'un transformateur abaisseur, ce transformateur de couplage en a deux rôles:

- Lier le système avec le STATCOM.
- L'inductance du lien est la source du courant continu; comme représenté sur la “Fig. 1” [2], [3], et [4].

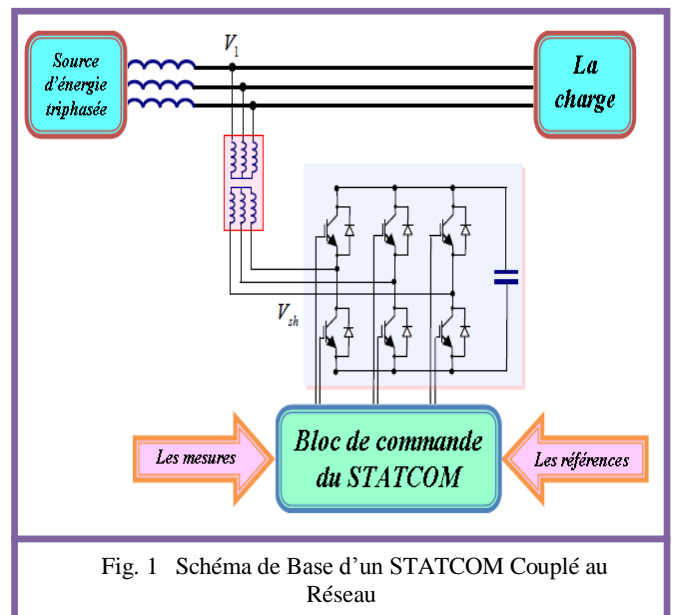


Fig. 1 Schéma de Base d'un STATCOM Couplé au Réseau

L'avantage de ce dispositif est de pouvoir échanger de l'énergie de nature inductive ou capacitive uniquement à l'aide d'une inductance. Contrairement au SVC, il n'y a pas d'élément capacitif qui puisse provoquer des résonances avec des éléments inductifs du réseau. La figure suivante représente une cellule réelle d'un compensateur shunt des FACTS “STATCOM” [5], et [6].

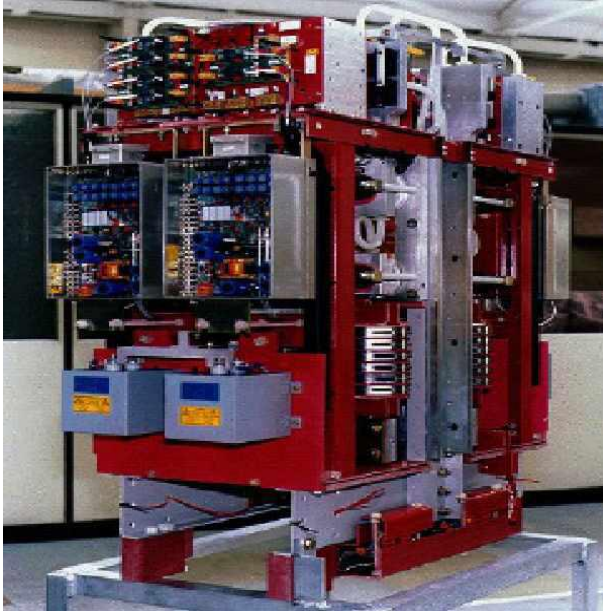


Fig. 2 Une Cellule STATCOM

B. Principe de fonctionnement d'un STATCOM

L'échange d'énergie réactive se fait par le contrôle de la tension de l'onduleur " V_{sh} ", qui est en phase avec la tension " V_1 ".

L'écoulement des puissances active et réactive, entre ces deux sources de tension est exprimé comme suit:

$$P = \frac{V_1 V_{sh}}{X_{sh}} \sin(\delta), \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_1}{X_{sh}} [V_1 - V_{sh} \cos(\delta)], \quad (2)$$

Où:

δ : l'angle de phase entre les deux tensions " V_1 " et " V_{sh} ".

X_{sh} : la réactance d'une phase du transformateur de couplage shunt.

A partir des équations (1) et (2), on peut constater que: lorsque les deux tensions sont en phase " $\delta = 0$ ", il n'y a qu'un écoulement de puissance réactive, la valeur de la puissance échangée ne dépendant que de l'amplitude des deux tensions " V_1 " et " V_{sh} ".

On peut envisager trois cas possibles:

☞ Si " V_1 " est égale à " V_{sh} ": pas de génération, ni d'absorption de puissance réactive.

☞ Si " V_1 " est supérieure à " V_{sh} ": un courant inductif " I_{sh} " s'établi entre les deux sources de tension à travers la réactance " X_{sh} ", ce courant est en retard de 90 degrés par rapport à " V_1 ", comme indique la "Fig. 3", le STATCOM absorbe de la puissance réactive du nœud de connexion par conséquence la tension du nœud " V_1 " diminue.

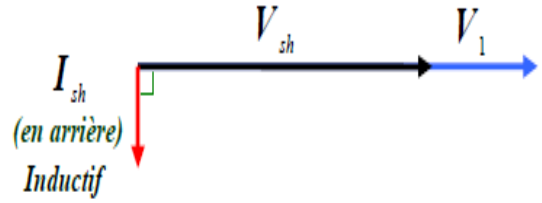


Fig. 3 Diagramme Vectoriel du STATCOM d'une Compensation Inductive

☞ Si " V_1 " est inférieure à " V_{sh} ": le courant capacitif " I_{sh} " qui circule à travers la réactance est en avance de 90 degrés par rapport à la tension du nœud, comme indique la "Fig. 4", le STATCOM génère de la puissance réactive au nœud de connexion, c'est-à-dire la tension de ce dernier augmente [3], et [7].

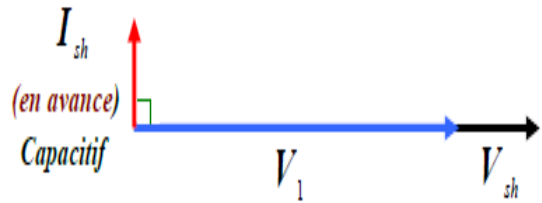


Fig. 4 Diagramme Vectoriel du STATCOM d'une Compensation Capacitive

C. Contrôle du STATCOM

1) Identification des Références:

On va utiliser la méthode Watt-Var découplée pour déterminer les références des paramètres du STATCOM.

La "Fig. 5" illustre le circuit équivalent de l'onduleur shunt connecté au réseau.

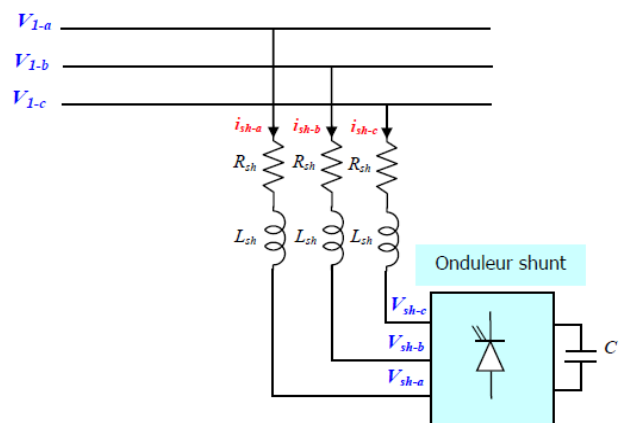


Fig. 5 Circuit Equivalent de l'Onduleur Shunt Connecté au Réseau

Nous avons le système d'équation suivant:

$$\begin{cases} V_{1-a} - V_{sh-a} = R_{sh} i_{sh-a} + L_{sh} \frac{di_{sh-a}}{dt} \\ V_{1-b} - V_{sh-b} = R_{sh} i_{sh-b} + L_{sh} \frac{di_{sh-b}}{dt} \\ V_{1-c} - V_{sh-c} = R_{sh} i_{sh-c} + L_{sh} \frac{di_{sh-c}}{dt} \end{cases}, \quad (3)$$

L'écriture matricielle de l'équation (3) est la suivante:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sh-a} \\ i_{sh-b} \\ i_{sh-c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{sh}}{L_{sh}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_{sh}}{L_{sh}} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_{sh}}{L_{sh}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{sh-a} \\ i_{sh-b} \\ i_{sh-c} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{sh}} \begin{bmatrix} V_{1-a} - V_{sh-a} \\ V_{1-b} - V_{sh-b} \\ V_{1-c} - V_{sh-c} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

En passant par la transformation de Park, l'équation (4) s'écrit comme suit:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sh-d} \\ i_{sh-q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{sh}}{L_{sh}} & \omega \\ \omega & -\frac{R_{sh}}{L_{sh}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{sh-d} \\ i_{sh-q} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{sh}} \begin{bmatrix} V_{1-d} - V_{sh-d} \\ V_{1-q} - V_{sh-q} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Pour pouvoir aboutir à une commande aisée du système, on va procéder au découplage des deux composantes du courant "i_{sh}".

Pour cela, on pose:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{L_{sh}} (V_{1-d} - V_{sh-d}) \\ \beta = \frac{1}{L_{sh}} (V_{1-q} - V_{sh-q}) \end{cases}, \quad (6)$$

On peut écrire les deux composantes comme suit:

$$\begin{cases} \alpha = \left(K_p + \frac{K_i}{S} \right) (i_{sh-d}^* - i_{sh-d}) - \omega \times i_{sh-q} \\ \beta = \left(K_p + \frac{K_i}{S} \right) (i_{sh-q}^* - i_{sh-q}) + \omega \times i_{sh-d} \end{cases}, \quad (7)$$

Avec: "α" et "β" étant les sorties des deux régulateurs PI (Proportionnel Intégral) des courants "i_{sh-d}" et "i_{sh-q}" respectivement.

Les valeurs des courants "i_{sh-d}^{*}" et "i_{sh-q}^{*}" sont les références des courants actif et réactif fournis par le STATCOM.

Le schéma bloc de la méthode Watt-Var découplée est représenté sur la "Fig. 6".

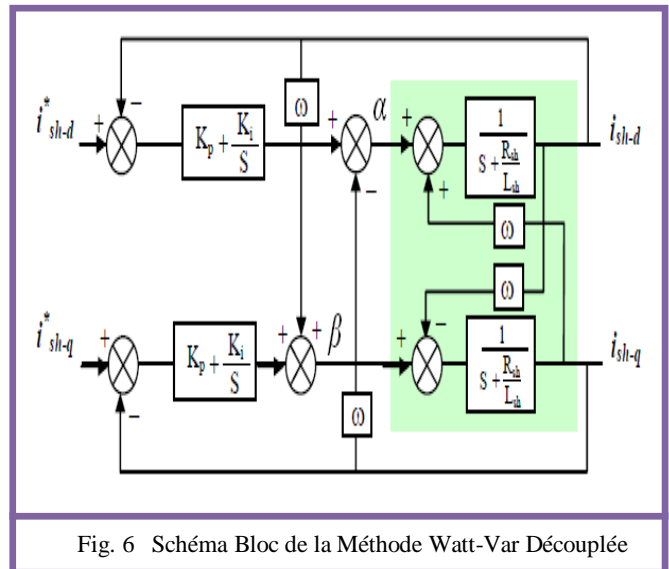


Fig. 6 Schéma Bloc de la Méthode Watt-Var Découplée

Les puissances de référence active "P_{sh}^{*}" et réactive "Q_{sh}^{*}" sont des références de courant "i_{sh}^{*}", déterminées comme suit:

$$\begin{cases} P_{sh}^* = \frac{3}{2} (V_{1-d} \times i_{sh-d}^* + V_{1-q} \times i_{sh-q}^*) \\ Q_{sh}^* = \frac{3}{2} (V_{1-q} \times i_{sh-d}^* - V_{1-d} \times i_{sh-q}^*) \end{cases}, \quad (8)$$

2) Commande de l'Onduleur:

Nous avons choisi la commande par MLI "Modulation de Largeur d'Impulsion", car le dispositif STATCOM commande de fortes puissances et a besoin d'une fréquence fixe pour les commutations.

Le but principal de la régulation du STATCOM est de contrôler le courant à la sortie de l'onduleur. Pour cela, nous utilisons un régulateur PI avec compensation de pôles parce qu'il est parmi les meilleures méthodes en termes de suivi de consigne, il représenté par la boucle de commande de la "Fig. 7" [2], [3], et [7].

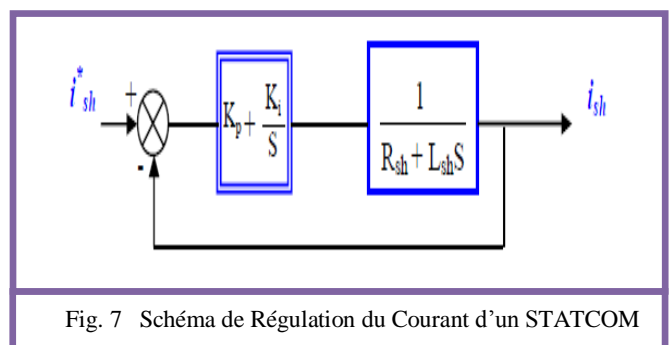


Fig. 7 Schéma de Régulation du Courant d'un STATCOM

III. SIMULATION DU STATCOM

Cet élément est consacré à la simulation du STATCOM, cette simulation a été performée dans l'environnement MATLAB/Simulink.

A. Réseau Etudié

Le réseau de notre étude est constitué d'un générateur "G" de "400 (KV)" avec une puissance nominale de "1000 (MVA)", connecté au réseau infini à travers d'une ligne de transport d'énergie électrique de "500 (Km)" de longueur, comme le montre sur la figure suivante [2]:

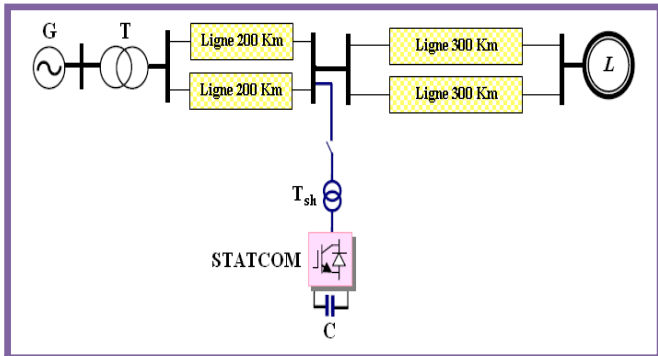


Fig. 8 Schéma du Réseau Equipé du STATCOM

Le schéma équivalent du réseau est présenté par la "Fig. 9".

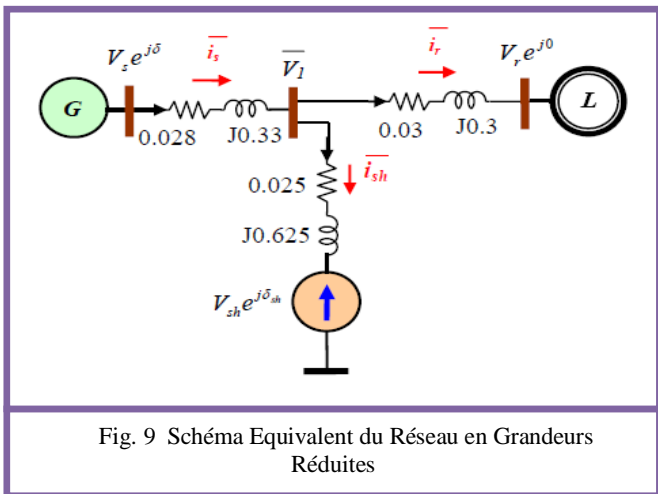


Fig. 9 Schéma Equivalent du Réseau en Grandeurs Réduites

Pour simplifier les calculs, nous avons utilisé des grandeurs réduites. Nous considérons d'abord, le système de base comme suit:

" $S_{base}=1000$ (MVA)" et " $U_{base}=400$ (KV)". La tension du jeu de barre de génération " $V_s=1$ (p.u.)", et le système énergétique débite sur une charge " $P_1=1.0$ (p.u.) et $Q_1=0.5$ (p.u.)" dans un état d'équilibre. A l'instant " $t=1$ (s)", nous avons changé les références de puissance pour qu'elles deviennent " $P_2=1.4$ (p.u.) et $Q_2=0.0$ (p.u.)". Enfin, à l'instant " $t=2$ (s)" nous avons changé les références de puissance pour qu'elles deviennent " $P_3=0.0$ (p.u.) et $Q_3=0.1$ (p.u.)".

B. Résultats de Simulation

On trouve les figures qui montrent les variations de:

- La tension délivrée par le STATCOM " V_{sh} ".
- Le courant injecté par le STATCOM " I_{sh} ".
- La puissance active " P_{sh} " et réactive " Q_{sh} " fournie par le STATCOM.

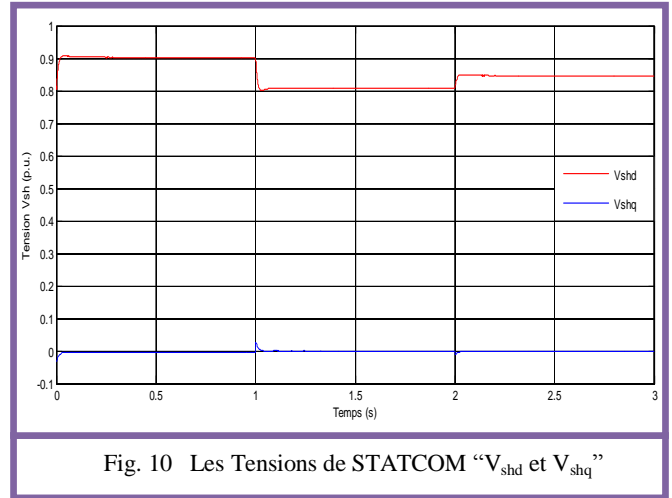


Fig. 10 Les Tensions de STATCOM " V_{shd} et V_{shq} "

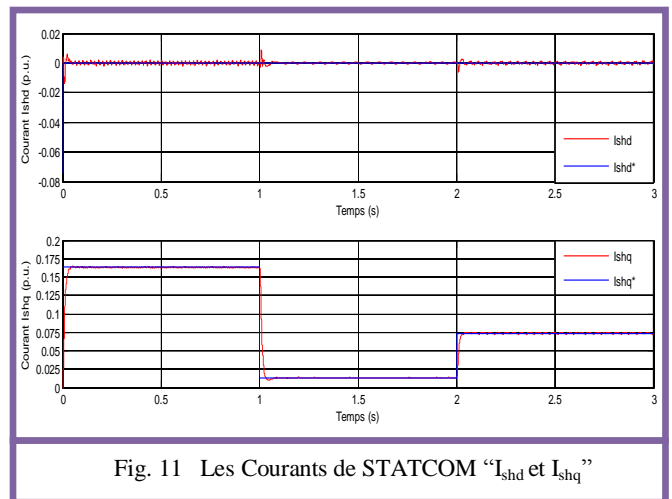


Fig. 11 Les Courants de STATCOM " I_{shd} et I_{shq} "

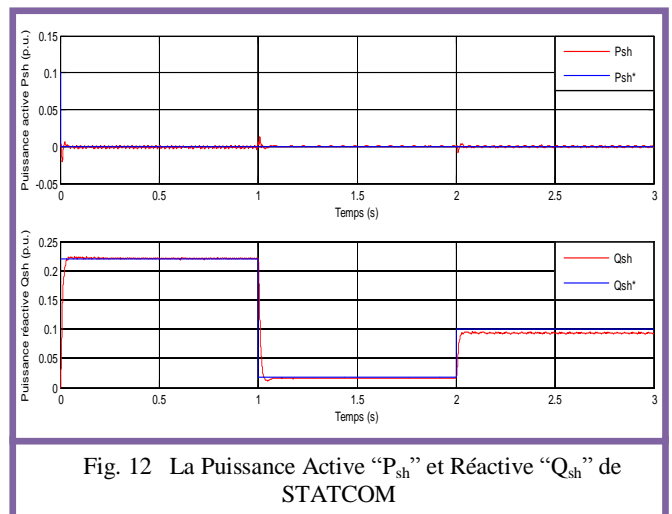


Fig. 12 La Puissance Active " P_{sh} " et Réactive " Q_{sh} " de STATCOM

C. Interprétation des Résultats

L'examen de courbes précédentes après les simulations numériques permet de constater que, le STATCOM est caractérisé par:

✓ Evolution de la tension " V_{sh} ":

Le STATCOM injecte une tension " V_{shd} " en phase avec la tension " V_1 " où " $V_{shq} \approx 0$ " qui diminue à l'instant " $t=1$ (s)", ensuite on charge la ligne avec une autre charge différente à l'instant " $t=2$ (s)" pour avoir ce qui se passe dans le réseau.

La tension " V_{sh} " qui est en mode inductif supérieur à la tension " V_1 " détermine le sens positif du courant réactif " I_{shq} " injecté par le STATCOM au réseau, indiquant que le compensateur délivre une puissance réactive vers le réseau.

✓ Evolution du courant " I_{sh} ":

L'augmentation de la réactance de ligne a abaissé le courant " I_{shq} " à "0.0125 (p.u.)" à l'instant " $t=1$ (s)" dans le but de compenser la puissance réactive dans la ligne, comme le montre sur la "Fig. 11".

Les deux courants de STATCOM " I_{shd} " et " I_{shq} " suivent leurs grandeurs de références, ce qui valide le bon fonctionnement des régulateurs proportionnels intégraux "PI" placés dans la méthode Watt-Var découplée utilisée.

✓ Evolution de la puissance active " P_{sh} " et de la puissance réactive " Q_{sh} ":

Avant " $t=1$ (s)", le STATCOM injecte une quantité de puissance réactive " Q_{sh} " de l'ordre de "0.22 (p.u.)" pour soulever la tension " V_1 " à "0.9 (p.u.)". Après la mise en service de la charge " P_2, Q_2 " à l'instant " $t=1$ (s)", la puissance " Q_{sh} " décroît à la valeur "0.02 (p.u.)" à cause de l'effet de cette charge sur la ligne électrique. Par contre; lorsqu'on applique la charge " P_3, Q_3 " à l'instant " $t \geq 2$ (s)", on aura plus de puissance réactive est nécessaire pour la compensation et le STATCOM injecte environ " $Q_{sh} \approx 0.1$ (p.u.)", comme nous l'observons sur la "Fig. 12".

Une petite quantité de la puissance active " P_{sh} " est absorbée dans cette phase pour maintenir la tension à la borne du condensateur constante.

IV. CONCLUSION

La réponse dynamique du STATCOM est rapide et capable à passer d'un mode d'opération capacitif à un mode inductif, dans un temps réduit. Quand la tension alternative diminue, le STATCOM réagit en produisant la puissance réactive, donc la tension continue augmente; c'est le mode capacitif. En revanche, quand la tension alternative augmente, le STATCOM réagit par absorbant la puissance réactive, donc la tension continue a diminué; c'est le mode par induction [8].

Quand le STATCOM est utilisé comme un compensateur, le mouvement d'un mode capacitif à un mode par induction, est très rapide [9].

Dans le futur travail, on essaiera de faire une étude profonde sur le placement optimal de ce dispositif installé en Algérie pour une exploitation plus efficace des réseaux par action continue et rapide sur les différents paramètres du réseau.

REFERENCES

- [1] H. Guentri, F. Lakdja, et M. Laouar, "Utilisation d'un outil de simulation pour l'étude de transit de puissance avec et sans dispositifs FACTS," 2^{ème} Conférence Internationale en Electroniques et Pétrole, vol. 4, no. 1, Université d'Oran, 5-6 Mars 2013.
- [2] A. Abdelaali, "Contrôle des réseaux électriques par les systèmes FACTS: (Flexible AC Transmission Systems)," Mémoire de Magister en Electrotechnique, Option Electricité Industrielle, Université de Batna, 2009.
- [3] D. Louardi, "Contrôle de l'écoulement de puissance active par système FACTS," Mémoire de Magister en Electrotechnique, Option Electricité Industrielle, Université de Batna, 2009.
- [4] K. Merini, F.Z. Gherbi, S. Hadjeri, and K.F. Elatrech, "Study the best location of STATCOM to improve the voltage," The International Conference on Electrical Networks, vol. 6, no. 3, pp. 2-7, University of Sidi Bel-Abbès, 28-29 September 2010.
- [5] B. Khoukha, "Modélisation et simulation d'un système FACTS: UPFC," Mémoire de Magister en Electrotechnique, Option Mécatronique, Université de Batna, 2009.
- [6] H. Rachida, "Contrôle des puissances réactives et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique," Mémoire de Magister en Electrotechnique, Option Identification Modélisation et Commande Numérique des Processus, Ecole Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran, 2009.
- [7] G. S. Eskandar, "Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques," Thèse de Doctorat, Université de Henri Poincaré, Nancy-I, France, 2003.
- [8] F. Ghezal, S. Hadjeri, S.A. Zidi, F. Gherbi, H.Boudjella, and B.Razkallah, "Behavior of a three-level 48-pulses STATCOM," The Second International Conference on Electrical and Electronics Engineering, University of Laghouat, 21-23 April 2008.
- [9] F. Ghezal, J.M Ramirez, S. Hadjeri, and M. K.Fellah, "The two modes of 48-pulses STATCOM," The International Conference on Electrical Networks, vol. 6, no. 6, pp. 14-19, University of Sidi Bel-Abbès, 28-29 September 2010.