

MODELISATION ET COMMANDE D'UN RESEAU ELECTRIQUE

APPLICATION AU FACTS TYPE SERIE (TCSC)

N. D Velotsangana ¹, L. F Rafanotsimiva ², J. M Razafimahenina ³

*¹Ecole Doctorale Thématique Energies Renouvelables et Environnement, Université
d'Antsiranana*

²Ecole du Génie Industriel, Institut Supérieur de Technologie D'Antsiranana

³Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antsiranana

v.davidndalana@gmail.com

Sous-thème 2 : La branche industrielle, la maîtrise de l'énergie et l'environnement

Type de communication : Orale

Mots clés : Dispositif FACTS, TCSC, réseau électrique, commande, stabilité

Résumé

Le dispositif Flexible Alternating Current for Transmission Systems (FACTS), ou systèmes de transmission à courant alternatif flexible, constitue tous les dispositifs à base d'électronique de puissance permettant de régler le transit de puissance dans le réseau électrique en agissant sur des paramètres : impédance, les tensions et les déphasages aux extrémités d'une ligne.

Dans le cadre de ce projet de recherche, l'objectif est d'insérer un dispositif FACTS en tirant conclusion sur la réponse offerte lorsqu'on applique une commande multi modèles de Takagi-Sugeno (T-S) pour l'ensemble réseau électrique et le FACTS. Ainsi dans ce présent papier, le TCSC a été utilisé qui fait partie des FACTS série.

La méthodologie de base est utilisation des modèles dynamiques d'un réseau électrique adaptés aux faibles perturbations ainsi que celui d'un TCSC appliqués à la commande non linéaire basée sur le modèle flou de Takagi-Sugeno, pour assurer la stabilité des systèmes non linéaires. Cette technique est appliquée sur un système mono-machine connecté à un jeu de barres de puissance infinie (SMIB) et simulée à l'aide de « MATLAB / SIMULINK ».

D'après le résultat obtenu, le compensateur série de puissance réactive améliore considérablement la réponse du système étudié.

Dans le cadre de ce travail, le dispositif FACTS série le condensateur Série contrôlé par Thyristor (en anglais, Thyristor Controlled Series Capacitor, TCSC) a été utilisé

dans un réseau électrique. Le résultat escompté du schéma proposé prouve le contrôle au mieux le transit de puissance transité, tout en utilisant les lignes déjà existantes et fait revivre l'installation à partir de la demande de puissance réactive de la charge et du générateur à induction. L'insertion de dispositif FACTS série dans le réseau perturbé valide l'efficacité de la nouvelle approche afin d'amortir les oscillations de transit de puissance. L'approche multi modèle est utilisé pour un réseau SMIB intégrant un dispositif FACTS série TCSC pour trouver un meilleur résultat pour la stabilisation.

Abstract

The Flexible Alternating Current for Transmission Systems (FACTS) device, or flexible alternating current transmission systems, constitutes all the devices based on power electronics making it possible to regulate the transit of power in the electrical network by acting on parameters: impedance , voltages and phase shifts at the ends of a line.

As part of this research project, the objective is to insert a FACTS device by drawing a conclusion on the response offered when applying a multi-model Takagi-Sugeno (TS) command for the entire electrical network and the FACTS . Thus in this present paper the TCSC has been used which is part of the FACTS series.

The basic methodology is use of dynamic models of a power grid adapted to low disturbances as well as that of a TCSC applied to the nonlinear control based on the fuzzy model of Takagi-Sugeno, to ensure the stability of the nonlinear systems. This technique is applied on a single-machine system connected to an infinite power busbar (SMIB) and simulated using "MATLAB / SIMULINK".

Based on the result, the series reactive power compensator significantly improves the response of the system under study.

In the framework of this work, the FACTS device series the Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) was used in an electrical network. The expected result of the proposed scheme proves the best control of the transited power flow, while using the already existing lines and revives the installation from the reactive power demand of the load and the induction generator. The insertion of serial FACTS devices into the disturbed network validates the effectiveness of the new approach in damping out oscillations in power transit. The multi-model approach is used for a SMIB network integrating a TCSC series FACTS device to find a better result for stabilization.

1. Introduction

Les problèmes majeurs qui restent toujours à la préoccupation des gestionnaires des réseaux électriques sont le maintien de la stabilité et le réglage de la tension. Ils doivent être restés à un niveau admissible.

Le taux de raccordement des abonnés dans le réseau électrique ne cesse d'augmenter, a été constatée partout dans le monde.

Ces dernières années, la production des énergies renouvelables, particulièrement celles produites par des éoliennes, prennent une place de plus en plus importante dans le réseau électrique.

Pour remédier le maintien des paramètres qui définissent la condition de la stabilité, les condensateurs et les réactances fixes ou mécaniquement commutées shunt et série, et des alternateurs synchrones ont été utilisés pour résoudre une grande partie du problème.

L'arrivée de l'interrupteur à Thyristor, les portes ont été ouvertes au développement des équipements en électronique de puissance appelée Flexible Alternating Current for Transmission Systems (FACTS). Dont le premier dispositif FACTS, nommé Static Var Compensator (SVC) ou compensateur statique de puissance réactive a été mis en service en 1970.

Le présent article consiste à mettre en œuvre un dispositif (FACTS) de type TCSC. Ce dispositif est inséré dans la ligne électrique, dans le but d'améliorer la qualité de l'énergie électrique dans le réseau de transport. Il a de diverses fonctions, tel le maintien de la tension et l'amélioration de la stabilité du réseau.

L'approche multi modèle est utilisé pour un réseau SMIB intégrant un dispositif FACTS série TCSC pour trouver un meilleur résultat pour la stabilisation en considérant le cas d'une faible perturbation.

2. Matériels et méthodes

Dans ce travail, les matériels utilisés sont les réseaux de transport de l'énergie électrique, le dispositif FACTS type TCSC et un logiciel de simulation Matlab/Simulink. TCSC (Thyristor Controlled Serie Capacitor) est constitué d'un condensateur mis en parallèle avec des thyristors et une bobine en série. Leur contrôle permet de faire varier la longueur électrique de la ligne. La bobine en série avec les thyristors se comportent comme un TCR, mais comme l'impédance de la capacité est inférieure à celle de la ligne, les harmoniques ne se propagent que très peu dans le réseau. [1] Dans un réseau électrique de courant alternatif où les pertes sont supposées nulles, la puissance transmise dans la ligne est donnée par l'équation suivante :

$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta_{12} \quad (1)$$

La puissance P est fonction d'amplitude des tensions E_1 et E_2 aux extrémités de la ligne, du déphasage δ_{12} entre ces deux tensions et de l'impédance X de la ligne.

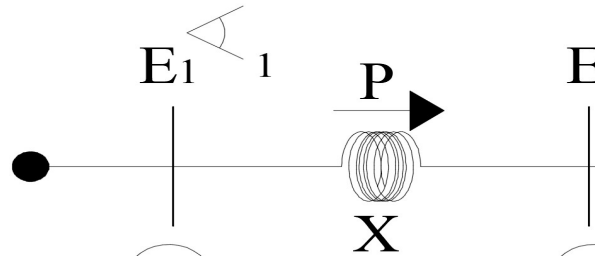


Figure 1 : Puissance active une ligne de transport

La meilleure répartition des charges assure l'amplitude de la tension et de la phase pour des conditions de fonctionnement données pour nous permettre de calculer les puissances transitées générées, y compris les pertes.

La puissance active P transitée entre deux réseaux de tension V_1 et V_2 présente un angle de transport δ et connectée par une liaison d'impédance X .

Pour un réseau interconnecté :

$$P_{ik} = \frac{v_i v_k}{x_{ik}} \sin(\delta_i - \delta_k) \quad (2)$$

Pour éviter les pertes en ligne, nous pouvons agir sur l'amplitude de tension ou sur l'angle de transport ou encore sur l'impédance de la ligne.

Dans le cadre de ce travail, nous allons utiliser le modèle d'une machine synchrone qui alimente un réseau infini au travers de lignes et d'un transformateur. [2]

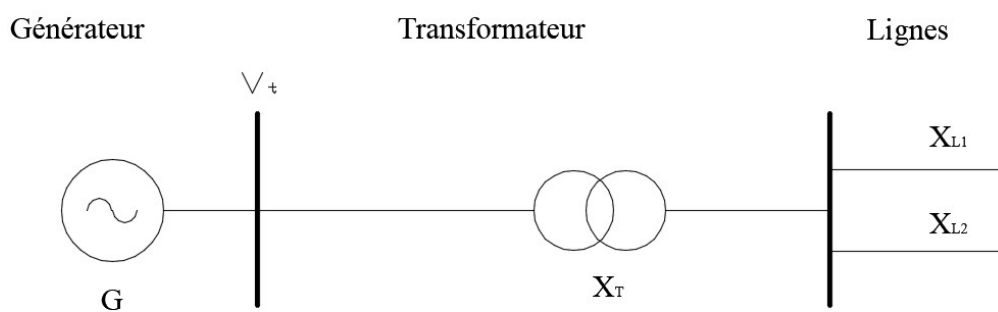


Figure 2 : Modèle d'une machine connectée à un nœud infini

Le modèle proposé dans cet article est l'équation dynamique d'un réseau électrique valable pour des faibles perturbations et que les variables d'état sont l'angle de puissance δ , la vitesse relative de rotation électrique ω et la tension interne en quadrature E_q du générateur, la relation devient comme suit :

$$\begin{cases} \dot{\delta}(t) = \omega(t) \\ \dot{\omega}(t) = -\frac{D}{H}\omega(t) - \frac{\omega_0}{2H} \frac{1}{x_{ds}} V_s \sin \delta(t) E_q(t) + \frac{\omega_0}{2H} P_{m0} \\ \dot{E}_q(t) = \frac{x_d - x'_d}{x_{ds}} V_s \sin \delta(t) \omega(t) - \frac{1}{T_{d0}} \frac{x_{ds}}{x_{ds}} E_q(t) + \frac{x_{ds}}{x_{ds}} \frac{k_c}{T_{d0}} U_f(t) \end{cases} \quad (3)$$

A la sortie, la tension de sortie du générateur et la puissance électrique transitant dans les lignes :

$$V_t^2(t) = \frac{x_s^2}{x_{ds}^2} \left[E_q^2(t) + V_s^2 + \frac{2x_d}{x_s} V_s \cos \delta(t) E_q(t) \right] \quad (4)$$

$$P_e(t) = \frac{1}{x_{ds}} V_s \sin \delta(t) E_q(t) \quad (5)$$

Les objectifs de ce projet sont alors de pouvoir contrôler le transit de puissance dans les réseaux et d'augmenter leur capacité de charge jusqu'à leur limite thermique maximale.

Un condensateur série commandée par thyristors TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor), c'est la première génération FACTS qui possède la possibilité de contrôler l'impédance de la ligne.



Figure 3 : Un condensateur série commandée par thyristors

Ce dispositif a un grand intérêt. Les angles d'amorçage des thyristors peuvent changer de 90 degrés jusqu'à une valeur maximale dans une plage de fonctionnement inductif et de fonctionnement capacitif. Le TCSC a une réactance contrôlable dans les régions inductives et capacitives.

En fixant l'angle de phase, on peut modifier l'impédance de la ligne pour diminuer ou augmenter le flux de puissance active

$$X_c = SX_L \quad (6)$$

Où $0 \leq S \leq 1$

Le multimodèle peut permettre d'obtenir des lois de commande par résolution simultanée d'Inégalités Linéaires Matricielles (LMI). [3]

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^2 F^i(x(t))(A_i x(t) + B_i u(t)) \quad (7)$$

Les gains de la commande PDC sont donnés par :

$$F_i = M_i X^{-1} \quad (8)$$

et la commande PDC par :

$$u(t) = - \sum_{i=1}^2 \mu_i(Z(t)) F^i(x(t)) \quad (9)$$

Les données utilisées pour la comparaison du résultat obtenu est celui de [2] (Rafanotsimiva L.F., 2013). Les paramètres décrivant les éléments du système sont les suivants :

$$f_0 = 50\text{Hz} ; \omega_0 = 314,159\text{rad/s} ; D = 5\text{pu} ; H = 4\text{pusec} ; T'_{d0} = 8\text{sec} ; k_c = 200\text{pu} ; x_d = 1,81\text{pu} ; x'_d = 0,3\text{pu} ; x_T = 0,15\text{pu} ; x_{L1} = 0,5\text{pu} ; x_{L2} = 0,93\text{pu} ; x_{ds} = x_T + x_d + \frac{x_{L1}x_{L2}}{x_{L1}+x_{L2}} =$$

$$2,28518 ; x'_{ds} = x_T + x'_d + \frac{x_{L1}x_{L2}}{x_{L1}+x_{L2}} = 0,77518 ; x_s = x_T + \frac{x_{L1}x_{L2}}{x_{L1}+x_{L2}} = 0,47518 ; \max|k_c U_f(t)| = 7\text{pu}.$$

$$\delta_0 = 67,5^\circ (\delta_0 = 1,18\text{rad}) ; P_{m0} = 0,9\text{pu} ; V_{t0} = 1,0\text{pu}$$

3. Résultats

Nous avons étudié un système mono-machine connecté à un jeu de barre infini (de l'anglais SMIB : Single Machine Infinite Bus) pour tester nos programmes réalisés sous MATLAB.

Le système comporte une machine synchrone connectée à un jeu de barre infini à travers une ligne de transport. Et le TCSC est inséré dans la ligne électrique présentant un affaissement.

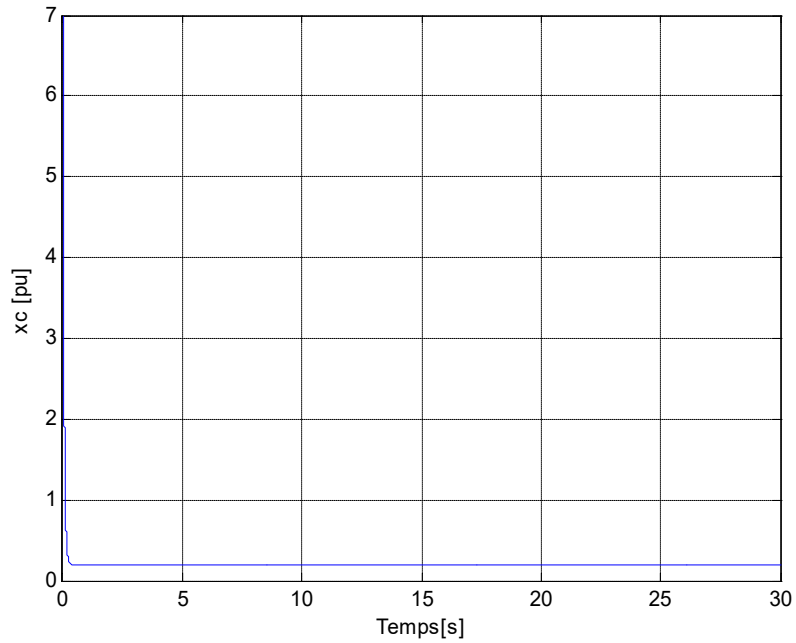


Figure 4 : réactance du TCSC

Dans ce cas, la représentation multimodèle appliquée au modèle non linéaire considéré permet de nous donner un résultat sur l'angle de transport.

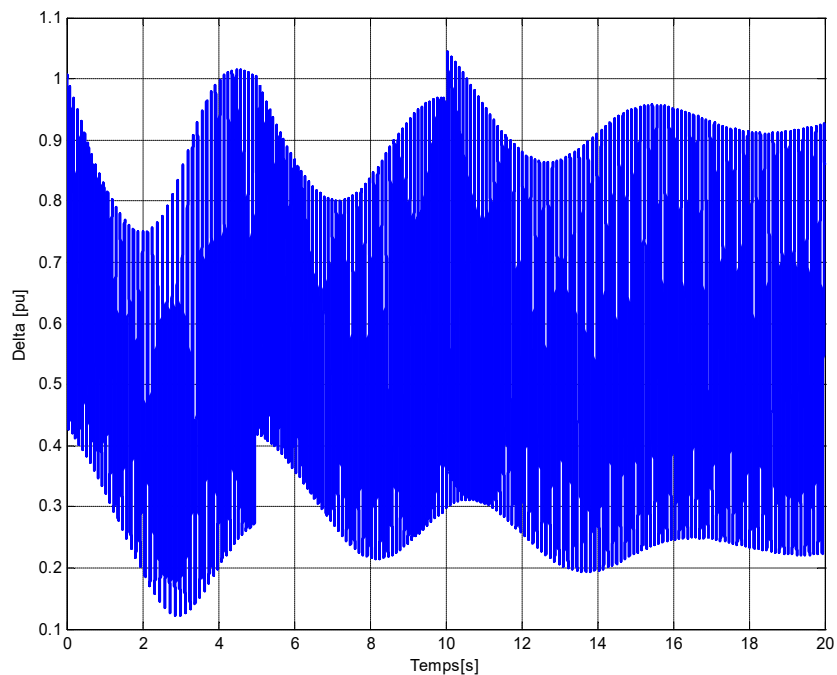


Figure 5 : angle de puissance δ

Par conséquent, l'insertion de TCSC modifie la structure en 10^{ème} seconde, mais sous l'approche multimodèle floue de Takagi-Sugeno (T-S), le réseau a retrouvé sa stabilisation juste une seconde après.

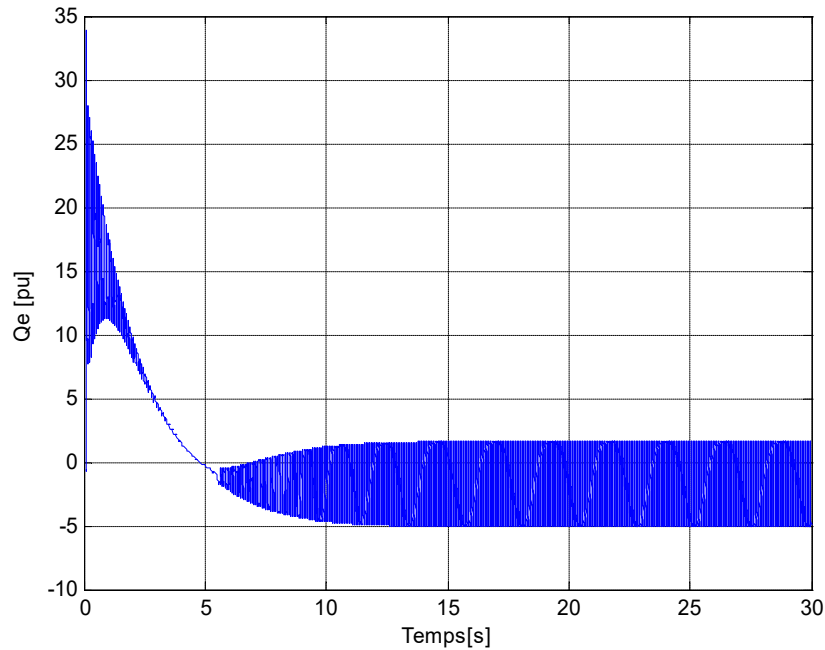


Figure 6 : Puissance réactive totale

La figure (6) donne une allure de la puissance réactive de l'ensemble réseau, TCSC avec la commande multi modèle.

4. Discussion

Nous avons constaté qu'une perturbation a été observée pendant la compensation du TCSC à la 10^{ème} seconde. Par la commande floue de T-S, à partir de 14s, le réseau a pu retrouver le synchronisme et garder sa stabilité, par l'élargissement de sa marge de stabilisation.

La figure (6) illustre la variation de l'angle de puissance de 0.1 pu à 0.9 pu nous avons disposé un modèle mathématique non linéaire du réseau électrique qu'on linéarise autour de différents points de fonctionnement, grâce à la commande floue de T-S, pour cette méthode le nombre de modèles dépend de la précision de modélisation souhaitée, de la complexité du système non linéaire et du choix de la structure des fonctions d'activation.

Le modèle de Takagi-Sugeno dont la partie conséquence est un modèle linéaire en représentation d'état le plus utilisé en analyse et commande.

5. Conclusion

Le FACTS série type TCSC permettant d'injecter ou d'absorber la puissance réactive vers le réseau électrique.

Il est branché dans la ligne électrique existant pour augmenter la puissance active transitée et améliorer l'angle de puissance de transport.

Le FACTS rend une optimisation des transits de puissance sur les installations existantes et une amélioration de la stabilité dynamique du réseau électrique. Ainsi, il permet d'augmenter les productions, de réduire les pertes, les coûts et d'allonger la durée de vie des équipements de protection du réseau électrique.

Dans ce manuscrit, nous avons affiché des résultats obtenus à partir du problème de la stabilisation du modèle SMIB. Nous avons utilisé un dispositif FACTS type série TCSC pour avoir un support de tension du réseau électrique.

L'utilisation de commande non linéaire qui sera implantée dans un logiciel destiné à l'étude dynamique des réseaux à partir de la technique de Lyapunov basée sur le modèle flou de Takagi-Sugeno donne une solution pertinent sur la linéarisation du système non linéaire à partir de la fonction candidate de Lyapunov.

6. Références

Javad M, Kazem Z , Mehrdad T H, Ain Shams Engineering Journal (2016) 7, 143–158
Performance comparison of TCSC with TCPS and SSSC controllers in AGC of realistic interconnected multi-source power system

T. Takagi, M. Sugeno. Fuzzy identification of systems and its application to modelling and control. IEEE Trans. on Systems, Man, Cybernetics, vol. 15, no.1, p. 116-132,1985.

Rafanotsimiva L. F. (2013). *Etude de commandes non linéaires pour réseaux électriques: Application à un système SMIB, Thèse de doctorat, Université d'Antsiranana.*