

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Réseaux électriques

Présenté par

BAHI BACHIR

Thème

Contrôle des puissances actives et réactives dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (UPFC)

Soutenu le 26/05/2016. Devant le jury composé de :

Mr. **GACEM Abdelmalek**

Maitre de conférences Président

Mr. **LABBI Yacine**

Maitre de conférences Rapporteur

Mr. **MAMMERI Oussama**

Maitre de conférences Examinateur

Année Universitaire 2015/2016

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier «**DIEU**» qui nous a aidé pour que ce modeste travail soit achevé et pour que nous avons réussi.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous a orientées et nous a encouragées. Nous pensons en particulier à notre encadreur: **LABBI YACINE**, d'avoir nous bien suivi et dirigé notre travail et de nous faire profités de son savoir, ainsi de ses conseils, et pour toute l'aide, les remarques constructive qui nous ont d'améliorer ce travail, et qui grâce a lui nous avons pus réaliser nos objectif.

Nous précieux remerciements vont au président et membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptent de juger ce travail.

Nous grands remercient aussi tous les enseignants qui ont contribué à notre formation a l'institut d'électrotechnique.

En fin, nous remercions nos amis pour leur aide, leur soutien et leur compréhension.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I COMPENSATION CLASSIQUE

I-1 Introduction.....	03
I-2 Le Facteur De Puissance.....	04
I-2-1 Définition.....	04
I-2-2 Les avantages d'un bon facteur de puissance	04
I-2-3 Les inconvénients d'un mauvais facteur de puissance.....	05
I-3 L'effet Des Sources De L'énergie Réactive.....	05
I-3-1 Les sources.....	05
I-3-2 Effets du transit de l'énergie réactive.....	05
I-3-2-1 Pertes actives.....	06
I-3-2-2 La chute de tension.....	06
I-4 Compensation:Comment? EtPourquoi ?.....	07
I -5 Compensation de L'énergie Réactive.....	08
I-6 Les Moyens De Compensation.....	09
I-7 Différents Type De Compensation.....	09
I-7-1 Compensation shunt.....	09
I-7-2 Compensation séries.....	10
I-7-3 La compensation par déphasage.....	11
I-8 Conclusion.....	12

Chapitre II : FACTS

II.1 introduction.....	13
II.2 Stabilité De Réseaux.....	13

II .2.1 Notion sur la stabilité.....	13
II.3 Principe De Fonctionnement Des FACTS.....	15
II.3.1 Utilisation des FACTS.....	15
II.3.2 Types de FACTS.....	15
II. 3. 3 Compensateur statique d'énergie réactive.....	15
II. 3. 4 Capacités série commandées par thyristor (TCSC).....	16
II- 3- 5 Régulateur de déphasage commandé par thyristor (TCPAR).....	16
II. 3.6 Compensateur statique (STATCOM).....	17
II. 3.7 Compensateur Série Statique Synchrone (SSSC).....	18
II.3.8 Contrôleur de transit de puissance unifié (UPFC).....	19
II. 4 Application des FACTS.....	21
II.5 Conclusions.....	22
 Chapitre III : MODELISATION ET CONTRÔLE D'UN UPFC	
III.1 Introduction.....	23
III.2 Modélisation de l'UPFC.....	24
III.2. 1 Modélisation de la partie shunt de l'UPFC.....	24
III.2.2 Modélisation de la partie série.....	27
III.3 .1 Partie shunt.....	28
III.3 .1.1 Identification des références.....	28
III.3 .1.2 Contrôle la puissance active et réactive (P/Q).....	29
III.3 .1.2.1 Méthode Watt-Var Découplé.....	29
III.3.3 Partie série.....	32
III.3 .2.1 Identification des références.....	32
III.3.2.2 Contrôle la puissance active et la tension (P/V).....	32
III.3.3 Commande de l'onduleur.....	36
III.3.3.1 Commande par hystérésis.....	36
III.3.3.2 Commande par MLI.....	36
III.4.1 Le réseau test.....	37
III.4.2 Le Contrôle-Commande.....	37
III.4.3 Les résultats des simulations.....	38
III.5. Conclusion.....	46

CONCLUSION GÉNÉRALE.....	47
---------------------------------	-----------

Listes des Acronymes et symboles

Acronymes

FACTS :Flexible Alternating Current Transmission Systems

SMIB: Single Machine Infinity Bus

GTO: Gate Turn Off thyristor

TCR : Thyristor Controlled Reactor

TSR: Thyristor Switched Reactor

TSC: Thyristor Switched Capacitor

SVC : Static Var Compensator

TCBR : Thyristor Control Breaking Resistor

STATCOM: Static Synchronous Compensator

SSG: Static Synchronous Generator

TCSC :Thyristor Controlled Series Capacitor

TCSR :Thyristor Controlled Series Reactor

TSSR Thyristor Switched Series Reactor

SSSC :Static Synchronous Series Compensator

GCSC : GTO Thyristor-Controlled Series Capacitors

TCPAR: Thyristor Controlled Phase Angle Regulator

UPFC: Unified Power Flow Controller

Symboles

P_m : puissance mécanique

ω : Vitesse angulaire de la machine [rad/s]

δ : Angle rotorique[deg]

P : puissance active

Q : puissance réactive

Listes des Acronymes et symboles

V : tension terminale du générateur

V_d, V_q : composante directe et en quadrature de la tension terminale

I : courant d'armature du générateur

I_d, I_q : composante directe et en quadrature du courant d'armature

X_d, X_q : réactance synchrone d'axe direct et en quadrature

K_a : gain de l'UPFC

T_a : constante de temps de l'UPFC

f : fréquence

t : temps

$\underline{U}$: vecteur de commande

Δ : indique une petite perturbation ou déviation d'une variable

Figure I.1 : représentation des puissances par FRESNEL.....	04
Figure I. 2 : schéma de ligne HT ou.....	06
Figure I. 3 : Diagramme vectoriel.....	06
Figure I.4.a : diagramme traduisant les change d'énergie dans le circuit d'alimentation d'un récepteur est montrant l'intérêt de la compensation.....	08
Figure I.4.b : Diagramme vectoriel représentant l'importance de la compensation	08
Figure I.5 : Compensation shunt d'une ligne	09
Figure I.6: Principe de la compensation série.....	10
Figure I.7 : courbe de puissance avec et sans compensation série.....	11
Figure I.8 : Principe de compensation par déphasage.....	11
Figure I .9 : compensation par déphasage pour $\alpha = \pi / 5$	12
Figure II.1 Schéma type du SVC en connexion shunt.....	15
Figure II.2 Schéma d'un TCSC multi gradins pour une compensation série.....	16
Figure II.3 Schéma du contrôle de l'angle de transport par TCPAR.....	16
Figure II.4 Schéma représentatif du SVS (solid-stat switching-converter based).....	17
Figure II.5 Schema: (a) STATCOM. (b) caractéristiques tension / courant du STATCOM.....	18
Figure II.6 Compensation série statique synchrone.....	19
Figure II.7 Contrôleur de transit puissance unifié.....	20
Figure II.8 Diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux.....	21
Figure III.1 Schéma général du système de contrôle UPFC.....	23
Figure III.2 . Circuit équivalent de l'UPFC.....	24

Figure III.3. Schéma simplifié d'un STATCOM (partie parallèle de l'UPFC) connecté au réseau.....	25
Figure III.4 Schéma simplifié d'un UPFC (partie série) connecté au réseau.....	27
Figure III.5 Schéma bloc de la méthode Watt-Var découplée.....	30
Figure III.6 Schéma global du contrôle par la méthode Watt-Var découplé.....	30
Figure III.7 Représentation de vecteur de courants active et réactive.....	31
Figure III.8 Contrôleur shunt.....	31
Figure III.9 commande de convertisseur de série de l'UPFC.....	35
Figure III.10 Contrôle de courant par hystérésis.....	36
Figure III.11 Contrôle de courant par MLI.....	37
Figure III.12 Schéma équivalent en grandeurs réduites.....	37
Figure III.13: Résultats des simulations pour le contrôle de la puissance dans la ligne.....	42
Figure III.14: Résultats des simulations de deuxième test pour le contrôle de la puissance dans la ligne.....	46.

Résumé :

Les moyens classiques de contrôle des réseaux qui étaient les dispositifs électromécaniques pourraient dans l'avenir s'avérer trop lents et insuffisants pour répondre efficacement aux perturbations des réseaux électriques. Il faudra donc compléter leur action en mettant en œuvre des dispositifs électroniques de puissance ayant des temps de réponse courts, connus sous l'appellation FACTS (acronyme anglais de: Flexible Alternative Current Transmission System) pour le contrôle des réseaux électriques.

Ce travail, présente l'influence combinée de l'un et le plus performant de ces dispositifs, à savoir l'UPFC sur la stabilité transitoire des réseaux tests soumis aux différentes perturbations. Une étude a été faite entre l'influence de ce dispositif sur l'amélioration de la stabilité transitoire utilisée le logiciel SIMULIK/MATLAB.

Mots Clés : Réseaux Electriques, Stabilité transitoire, Amélioration, FACTS, UPFC.

Abstract:

The traditional methods of control of the networks that were the electromechanical devices could in the future prove too slow and insufficient to answer the disturbances of the electrical supply networks effectively. It will thus be necessary to supplement their action by implementing electronic devices of power having short, known response times under name FACTS (English acronym of: Flexible device Alternative Current Systems Transmission) for the control of the electrical supply networks.

This work, presents the combined influence of the one and most powerful of these devices, namely the UPFC in transient stability of the networks tests subjected to the various disturbances. A study has been made between the influences of the device to improvement transient stability used software SIMULIK/MATLAB.

Key Words : networks, transient stability, improvement, FACTS, UPFC.

Introduction Générale

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre de centrales électriques, de lignes, de transformateurs etc., ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel. En conséquence, il est aujourd'hui important d'avoir des réseaux maillés et de travailler proche des limites de stabilité afin de satisfaire ces nouvelles exigences.

Les réseaux maillés, soumis à des boucles de puissance indésirables entre zones interconnectées, subissent des surcharge de lignes, des problèmes de stabilité et de toute manière un accroissement des pertes. Les moyens classiques de contrôle des réseaux pourraient dans l'avenir s'avérer trop lents et insuffisants pour répondre efficacement aux perturbations du réseau, compte tenu notamment des nouvelles contraintes.

Les études de stabilité transitoire concernent les grandes perturbations comme les court-circuits, la perte d'ouvrage ou de groupe de production ... etc. La conséquence de ces défauts peut être très grave, pouvant même conduire à l'effondrement complet du réseau.

Parmi les solutions récentes, adoptées à tel perturbation c' est l'utilisation de la nouvelle technologie à base d'électronique de puissance les systèmes de transmission flexible en courant alternatif FACTS pour le contrôle du réseau, le développement récent des dispositifs FACTS ouvre de nouvelles perspectives pour une exploitation plus efficace des RE par action continue et rapide sur les différents paramètres du réseau (déphasage, tension, impédance). Ainsi le transit de puissance seront mieux contrôlés et la tension mieux tenue ce qui permettra d'augmenter les moyens de stabilité ou de tendre vers les limites thermiques des lignes.

Le but de ce thème est de résoudre dans les réseaux interconnectés des problèmes de contrôles, d'amortissement d'oscillations, d'amélioration de la stabilité transitoire et enfin réguler le transit de puissance.

Introduction Générale

Ce travail s'articule autour de la stabilité du system électrique, en utilisant dispositifs FACTS, l'UPFC les plus puissant (Unified Power Fllow Controller) qui est constitué de deux parties :

- une partie en parallèle qui injecte du courant au réseau,
- une partie en série qui injecte une tension en série avec le réseau.

Dans le première chapitre, nous étudierons les caractéristiques et la compensation classique de base.

Dans le deuxième chapitre, nous faisons un rappel sur la stabilités dynamiques consistent à analyser et connaître à l'avance les variations dans le temps des grandeurs électriques et différents méthodes d'amélioration de la stabilité dynamique par l'incorporation des FACTS (Flexible AC Transmission System), on présente les différentes méthodes de compensation qui peuvent être classées en trois catégories :

- Les compensateurs parallèles.
- Les compensateurs séries.
- Les compensateurs hybrides (série-parallèle).

Le troisièmes chapitre développe un modèle de l'UPFC. Dans ce chapitre nous avons étudié le comportement du système et la synthèse des lois de commande, il est nécessaire d'établir un modèle adéquat du dispositif. Nous avons étudié un réseau réel associé à un UPFC, expliqués dans ainsi que les résultats des simulations obtenus par Matlab.

Chapitre I

COMPENSATION CLASSIQUE

I.1 Introduction :

L'énergie électrique est l'énergie la plus importante du 20^{ème} siècle et la plus utilisée dans le monde.

L'énergie électrique provient de la transformation des diverses autres formes d'énergie naturelles ou artificielles.

Les productions industrielles du courant ont pour sources d'énergie :

- ❖ l'énergie chimique (piles électrochimique, piles à combustibles)
- ❖ l'énergie thermique (turbines à vapeur, turbines à gaz)
- ❖ l'énergie hydraulique (turbines hydraulique)
- ❖ l'énergie nucléaire (centrales nucléaire)
- ❖ l'énergie solaire (centrales photovoltaïque, piles voltaïque, photopiles)
- ❖ l'énergie géothermique, et l'énergie éoliennes, sont aussi des sources de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Actuellement la production, la transmission et la distribution de l'énergie électrique sont exécutées en courant alternatif triphasée.

L'énergie électrique elle se décompose en deux :

- énergie active.
- énergie réactive, et énergie résultante est appelé énergie apparente.

On est amené à reconnaître que les deux attributs essentiels de la qualité de cette énergie sont :

- la permanence de la mise à disposition des usages.
- La constance d'une tension sur laquelle elle est délivrée.

I.2 Le Facteur De Puissance :

I.2.1 Définition :

C'est le quotient de la puissance active consommée et de la puissance apparente fournie.

$$F = \frac{P(W)}{S(VA)} = \cos \varphi$$

Le $\cos \varphi$ est le facteur de puissance du fondamental et ne prend pas en compte la puissance véhiculée par les harmoniques. Un facteur de puissance proche de 1 indique une faible consommation d'énergie réactive et optimise le fonctionnement d'une installation.

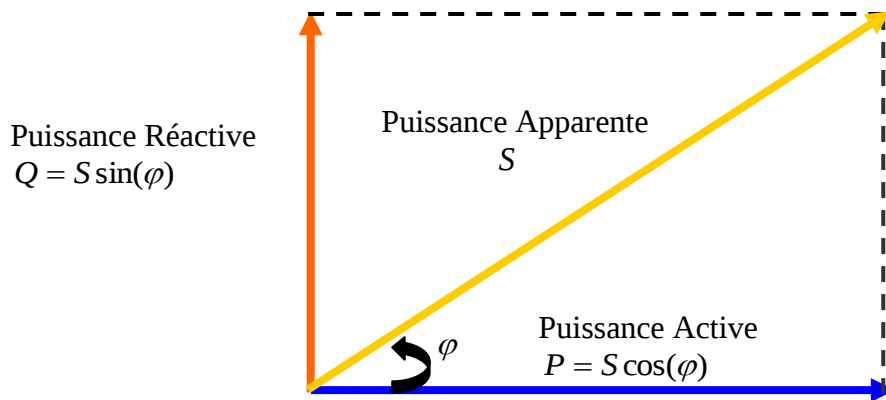


Figure I.1 : représentation des puissances par FRESNEL

Une trop grande consommation d'énergie réactive pour une installation électrique va augmenter considérablement ses courants en ligne bien sa puissance active n'est pas changée.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} \quad (\text{I.1})$$

Si Q augmente on a l'augmentation de I .

L'amélioration du facteur de puissance tend idéalement à lui donner une valeur proche de 1.

En pratique, on se contente d'une valeur proche de 0.9 (inductif).

I.2.2 Les avantages d'un bon facteur de puissance :

Un bon facteur de puissance, c'est-à-dire $\cos \varphi$ élevé (proche de 1), ou $\tan \varphi$ faible (proche de 0).

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :

- La diminution de la facturation d'énergie réactive.
- La diminution de la puissance souscrite en KVA.
- La limitation des pertes d'énergie active dans les câbles compte tenu de la diminution de l'intensité véhiculée dans l'installation.
- L'amélioration du niveau de tension en bout de ligne.
- Diminution de la section des câbles
- L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire.

I.2.3 Les inconvénients d'un mauvais facteur de puissance :

Comme nous venons de le voir précédemment, pour une même puissance utile fournie par un appareillage électrique, il faut transporter dans tous les circuits électrique une intensité d'autant plus grande que le $\cos \varphi$ est faible, cela entraîne :

- Une surfacturation par une surconsommation ou une pénalité.
- Une dégradation de la capacité de transport de l'énergie électrique par des câbles.
- Un surdimensionnement des installations neuves : câbles (section), transfo, etc...
- Des renforcements prématurés des installations existantes.
- Ne laisse pas de réserve de marche au secondaire du transformateur.

I.3 L'effet Des Sources De L'énergie Réactive :

I.3.1 Les sources :

Tous les machines électriques à courant alternative et les réseaux électriques consomment ou produisent l'énergie électrique active ou réactive a partir des sources.

Par exemple les sources réactives sont :

- ✓ Les moteurs synchrones.
- ✓ Les condensateurs shunts.
- ✓ Les centrales électriques.
- ✓ Les lignes ouvertes.

I.3.2 Effets du transit de l'énergie réactive :

Pour satisfaire à la demande de la consommation active de la consommation active de la clientèle, on essaye de minimiser les pertes actives entraînées par le transport, ainsi que la chute de tension, ces deux grandeurs sont en rapport avec le transit de la puissance réactive.

Considérons une liaison assimilable à une impédance $Z = R + jX$, qui transporte de A vers B une puissance $S = P + jQ$, figure (I.2)

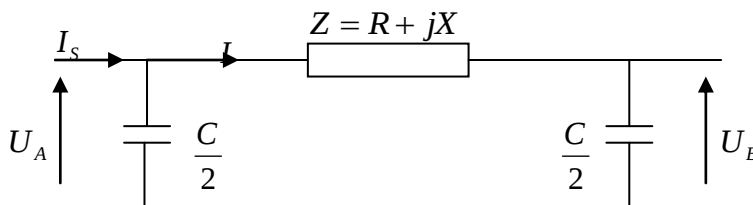


Figure I. 2 : schéma de ligne HT ou THT

Π

I.3.2.1 Pertes actives :

- Les pertes de puissance active sont calculées d'après la formule :

$$\Delta U = 3RI^2$$

- Le courant qui circule dans cet élément est :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

$$\Delta P = \frac{R.(P^2 + Q^2)}{U_B^2} \Rightarrow$$

$$\Delta P = \frac{R.P^2(1 + \tan^2 \varphi)}{U_B^2} \quad (I.2)$$

φ : Angle de déphasage entre la puissance active et la puissance apparente, alors $\tan \varphi = \frac{Q}{P}$

Remarque :

Le transit de puissance réactive entraîne une augmentation des pertes actives.

I.3.2.2 La chute de tension :

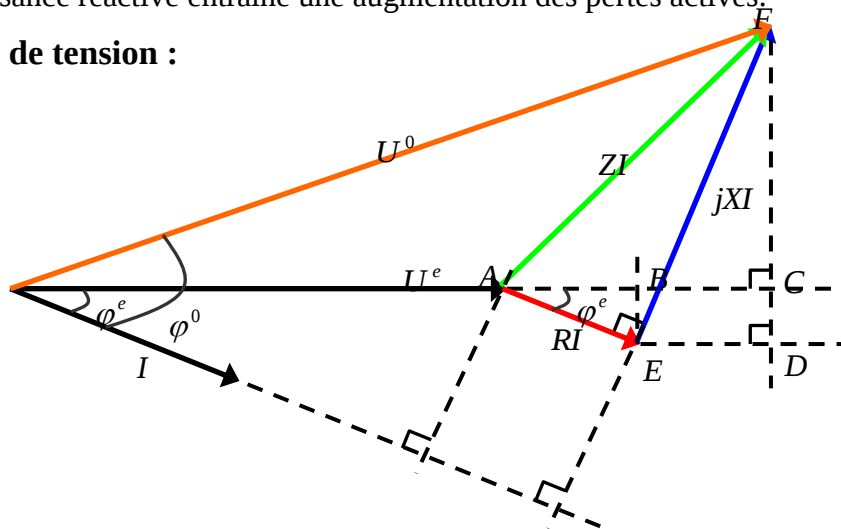


Figure I. 3 : Diagramme vectoriel

La chute de tension entraîne par ce transport est :

$$\overline{\Delta U} = (AB + BC) + j(FD - CD)$$

Tel que :

$$AB + BC = RI \cos \varphi^e + XI \sin \varphi^e$$

$$FD - CD = XI \cos \varphi^e - RI \sin \varphi^e$$

Donc :

$$\overline{\Delta U} = \frac{RI \cos \varphi^e + XI \sin \varphi^e}{U^e} + j \frac{XI \cos \varphi^e - RI \sin \varphi^e}{U^e}$$

$$\overline{\Delta U} = \frac{RP + XQ}{U_B} + j \frac{XP - RQ}{U_B} \quad (\text{I .3})$$

ΔU : Chute de tension.

$\overline{\Delta U}$: Chute de tension complexe.

R : Résistance de la ligne AB.

X : Réactance inductif de la ligne AB.

Remarque :

Pour les réseaux de transport R est faible devant X , donc cette chute de tension est majorée principalement par le transit de la puissance réactive.

Le transit de la puissance réactive entraîne :

- ❖ des pertes active, et chutes de tension
- ❖ des surinvestissements.
- ❖ Déréglage de la tension du réseau dans une plage déterminée.

I.4 Compensation : Comment ? et Pourquoi ?

Les réseaux électrique à pour but de véhiculer de la puissance depuis sa source jusqu'aux centres de consommations dans un réseau à courant alternative [2]. La puissance apparente S à deux composantes : la puissance P et la puissance Q liées par le déphasage.

$$S = P + jQ = UI[\cos \varphi + j \sin \varphi]$$

Le premier apparaît comme utile. L'autre comme une puissance parasite dont la circulation sur le réseau provoque des phénomènes indésirables.

On voit donc l'intérêt économique de réduire les transits de la puissance réactive pour réduire les pertes.

Mais comme les charges alimentées par le réseau absorbent en général de la puissance réactive, on cherchera à compenser cette puissance le plus près possible des consommateurs.

La chute de tension à travers le réseau est donnée par :

$$\Delta U^* = \frac{PR + QX}{U^2}$$

Par conséquent le transit de la puissance réactive est une composante de la chute de tension, composante qui est d'autant plus grande que le rapport X/R est plus grand. Ce qui est le cas de réseau de transport à haute tension. Il apparaît clairement que la compensation de la puissance réactive et la tenue du plan de tension sont initialement liées et indissociables.

I.5 Compensation de L'énergie Réactive :

Pour limiter les courants en ligne et donc l'énergie réactive absorbée par l'installation, on doit donc installer des sources d'énergie réactive en parallèle sur notre installation. On appelle cette technique " Compensation de l'énergie réactive ". Cette compensation permet d'améliorer le facteur de puissance ($\cos \varphi$) .Soit un appareil ou groupe d'appareils appelant une puissance active P (W) et une puissance réactive (VAR). On souhaite réduire la $\tan \varphi$ à une valeur plus faible $\tan (\varphi')$.

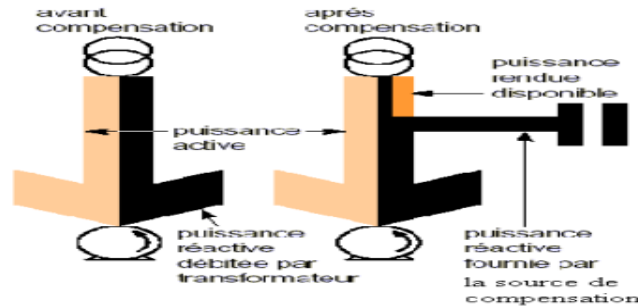


Figure I.4.a : diagramme traduisant les changes d'énergie dans le circuit d'alimentation d'un récepteur est montrant l'intérêt de la compensation.

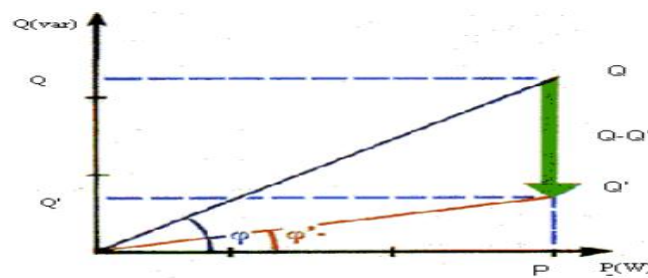


Figure I.4.b : Diagramme vectoriel représentant l'importance de la compensation

Q : la puissance réactive appelée par la charge seule.

$Q - Q'$: la puissance réactive fournie par la source supplémentaire.

Q' : la puissance réactive transitée par la source principale.

P : la puissance active appelée par la charge.

$Q = P \cdot \tan \varphi$ et $Q' = P \cdot \tan \varphi'$ La puissance des condensateurs à installer sera égale à

$$Q_b = Q - Q' \quad (\text{I.4})$$

$$Q_b = P(\tan \varphi - \tan \varphi') \quad (\text{I.5})$$

Les valeurs de $\cos \varphi$ et de $\tan \varphi$ évoluent avec le temps il convient d'utiliser des valeurs moyennes de ces dernières pour l'utilisation de la formule (I.5).

I.6 Les Moyens De Compensation :

Il y a plusieurs sources qui sont capables de produire de l'énergie réactive, ce qui permet de les utiliser comme des moyens de compensation d'énergie réactive et peut les classer comme suit :

- Les compensateurs rotatifs: qui sont les moteurs synchrones.
- Les compensateurs statiques: qui sont les batteries de condensateurs

I.7 Différents Type De Compensation :

I.7.1 Compensation shunt :

On insère maintenant au milieu de la ligne un compensateur d'énergie réactive idéal.

Ce dispositif permet de maintenir la tension V_M à la tension V , en contrôlant le flux de puissance réactive (Figure I.5). En effet, la chute de la tension à travers une ligne est donnée par la relation en négligeant le terme résistif de la ligne.

$$\Delta V = \frac{X_L Q}{V} \quad (\text{I.6})$$

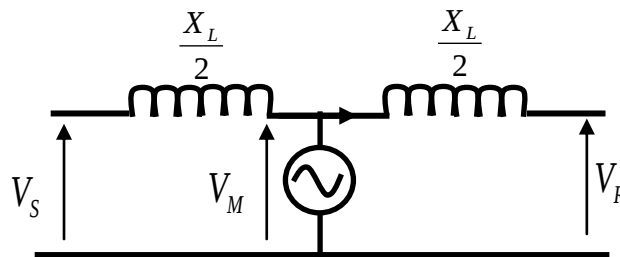


Figure I.5 : Compensation shunt d'une ligne.

L'équation (I.7) donne l'expression de la puissance transmise par la ligne compensée. On remarquera que la puissance maximal transite est doublée et est obtenu pour un déphasage $\delta = \pi$.

$$P = \frac{2V^2}{X_L} \sin \frac{\delta_{12}}{2} \quad (\text{I.7})$$

I.7.2 Compensation séries :

Cette compensation a pour principe d'insérer une réactance sur la ligne toujours dans le but d'en augmenter la puissance transmissible. La ligne étant modélisée par une réactance de type inductif, on comprend aisément que l'on diminue cette réactance de type capacitif. En conservant le même modèle de ligne, on obtient la compensation série donnée par la (figure I.6).

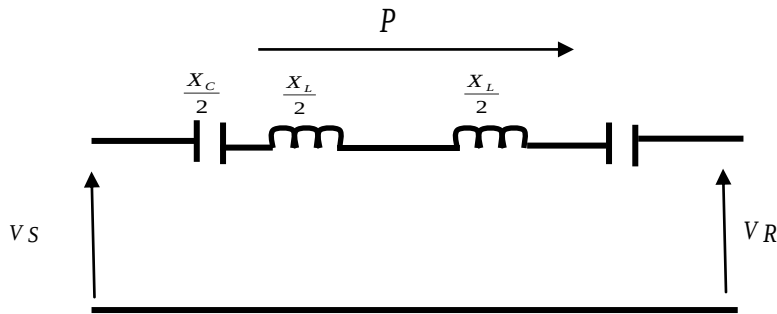


Figure I.6 : Principe de la compensation série

La réactance introduite aura la valeur X_C , donnée par l'équation (I.8) :

$X_C = s.X_L$ (I.8), s : est le degré de compensation $0 \leq K < 1$

L'impédance totale entre le récepteur et la source est maintenant donnée par l'équation (I.9).

La puissance transmise, exprimée par l'équation (I.10) est alors fonction du degré de compensation s (figure I. 7)

$$X_{total} = X_L - X_C = X_L(1 - K) \quad (I.9)$$

$$P = \frac{V^2}{X_L(1 - K)} \sin \delta_{12} \quad (I.10)$$

Avec ce type de compensation les condensateurs doivent, échanger de l'énergie réactive en quantité importante. Les propriétés sont similaires à celles de la compensation d'énergie réactive.

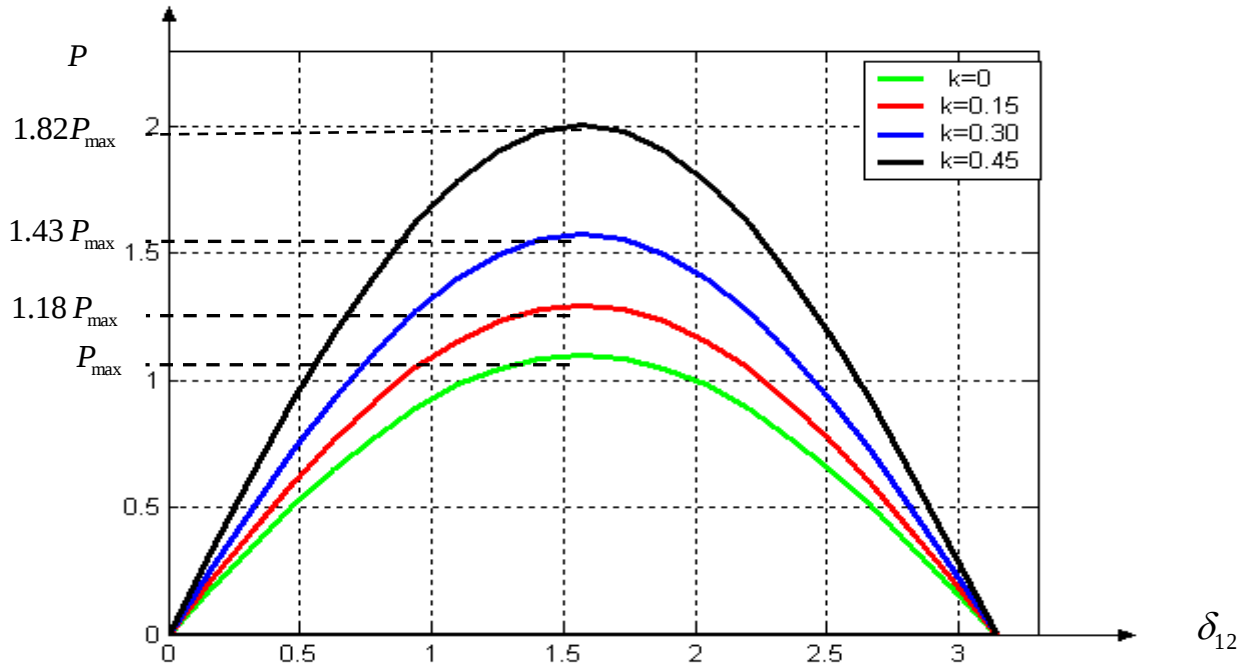


Figure I.7 : courbe de puissance avec et sans compensation série

I.7.3 La compensation par déphasage :

Le principe de cette compensation est basé sur l'insertion d'un déphaseur sur la ligne. Ce dispositif est modélisé par une source de tension, d'amplitude et phase variables. On peut alors avoir en sortie du déphaseur une tension V_s de même amplitude qu'à l'entrée V_G mais déphasée de l'angle α (Figure I.8)

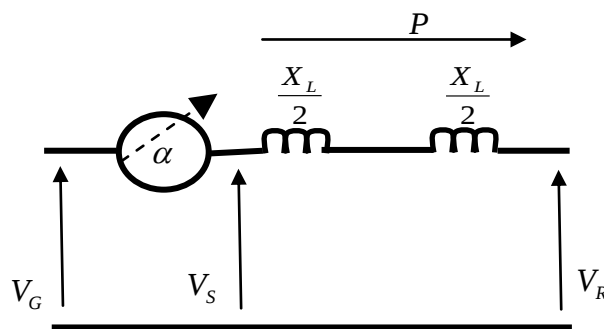


Figure I.8 : Principe de compensation par déphasage

La puissance transmissible sur la ligne est alors fonction de l'angle déphasage α équation. I.11

$$P = \frac{V^2}{X_L} \sin(\delta + \alpha) \quad (\text{I.11})$$

Pour ce type de compensation, la puissance maximale n'est pas augmentée, mais le réglage de α permet le réglage transit de puissance. Ce dispositif fonctionne finalement comme une vanne électronique.

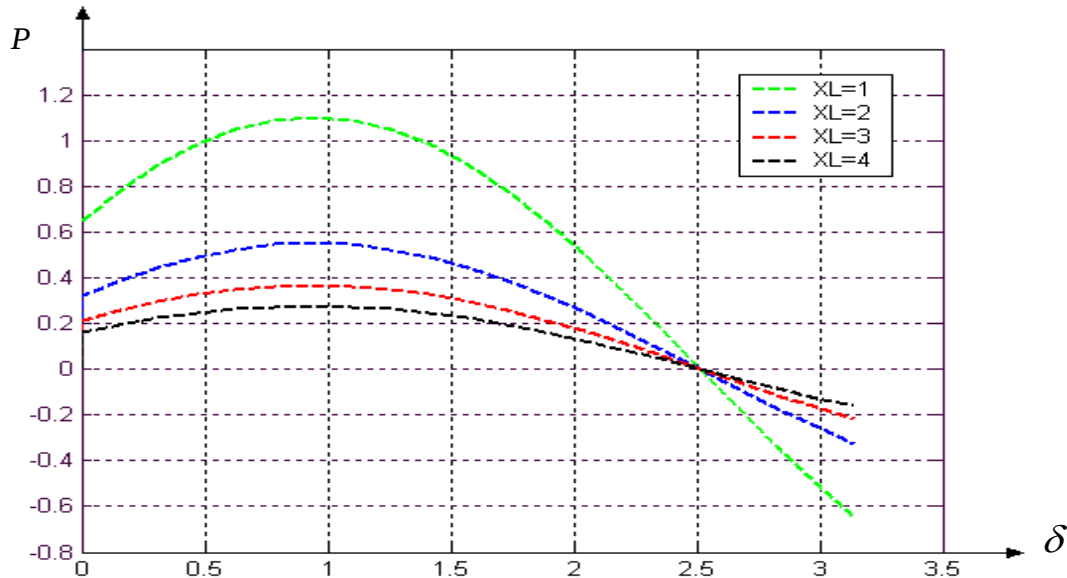


Figure I .9 : compensation par déphasage pour $\alpha = \pi / 5$

I.8 CONCLUSION :

D'après ce chapitre nous faire une présentation sur la généralité et notion de base de la compensation classique et leur Avantage, mais pour autre efficacité et amélioration dans le temps réel et pour une compensation dans un temps important et continue nous présente le compensation ou les system transmission flexible en courant alternative FACTS dans la prochaine chapitre.

Chapitre II

FACTS

II.1 Introduction :

L'énergie électrique étant très difficilement stockable, il doit y avoir en permanence équilibre entre la production et la consommation.

Les générateurs, les récepteurs et les réseaux électriques qui les relient ont des inerties mécaniques et/ou électriques qui rendent difficile le maintien d'un équilibre garantissant une fréquence et une tension relativement constantes.

Normalement, face à une variation de puissance, le système électrique, après quelques oscillations, retrouve un état stable.

Dans certains cas, le régime oscillatoire peut diverger. Des études sont nécessaires pour pouvoir éviter ce phénomène et garantir la stabilité du réseau électrique. Elles le sont particulièrement dans le cas des réseaux industriels qui comportent un ou des groupes générateurs et des moteurs.

Les études des stabilités dynamiques consistent à analyser et connaître à l'avance les variations dans le temps des grandeurs électriques en différents points d'un réseau et les évolutions des paramètres mécaniques des machines tournantes, suite à des perturbations brutales.

Dans notre étude, les méthodes d'amélioration de la stabilité dynamique sont choisies d'après la nature du système ; par l'incorporation des FACTS (Flexible AC Transmission System).

II.2 Stabilité De Réseaux électrique

II .2.1 Notion de la stabilité :

La stabilité est définie comme la propriété d'un système à retrouver son point de fonctionnement (ou point d'équilibre) après avoir subi aux plusieurs perturbations.

Elle est caractérisée par les fluctuations de puissances transitées dans le réseau et se mesure par les variations dans le temps des tensions et fréquences associées. Nous distinguons trois types de stabilité.

- 1- **Stabilité statique** : le réseau a un comportement stable, c'est-à-dire que, soumis à de faibles perturbations, il revient à son point de fonctionnement initial ceci avec d'éventuelles oscillations amorties jusqu'au retour à l'équilibre. Elle concerne les phénomènes lents

engendrés par des baisses ou montées de charge journalières, ainsi que de ses variations des plans de tension et/ou de fréquence.

2-Stabilité transitoire : lorsque l'on passe d'un état stable statique à un autre, suite à une perturbation durable voulue ou non, ce changement d'équilibre s'accompagne d'un régime variable oscillatoire amorti considéré comme acceptable eu égard à des fourchettes prédéfinies de ΔU , Δf , Δt . Elle est observée lorsque, suite à une perturbation importante, le régime oscillatoire est divergent. Il induit une perte d'alimentation ou un nouvel état stable inacceptable (ex : moteur qui « rampe »)

3- La stabilité dynamique : le réseau est apte à éviter tout régime oscillatoire divergent et à revenir à un état stable acceptable. Ceci inclut l'intervention éventuelle des protections et automatismes divers fonction des perturbations envisagées. Les études de stabilité dynamique consistent à :

- envisager les principaux scénarios critiques tels que court-circuit, perte d'énergie mécanique, perte de source électrique, variation de charge, contraintes du processus,
- prédire le comportement du réseau face à ces perturbations,
- préconiser les mesures à prendre en exploitation, telles que type de protection, réglage de relais, délestages, configurations... pour éviter les modes de fonctionnement indésirables.

Ces études permettent donc la maîtrise du comportement du réseau considéré, qu'il soit public ou privé, H.T. ou B.T. Elle concerne les phénomènes lents de faibles amplitudes causées par : l'ouverture de lignes (faiblement chargées) créant un système à haute impédance, manque d'excitation, ... etc ; Elle peut aussi être causée par le système de commande

II.3 Principe De Fonctionnement Des FACTS :

Nous nous intéressons qu'aux principaux dispositifs FACTS cités plus haut, ces derniers sont des compensateurs shunts, série et des déphaseurs. Pour cela nous prendrons l'exemple d'une ligne de transport dans laquelle sont insérés ces dispositifs

II.3 1 Utilisation des FACTS :

Les FACTS permettent de contrôler dynamiquement l'écoulement de puissance en utilisant des divers composants de l'électronique de puissance

II. 3. 2Types de FACTS :

Les FACTS peuvent se diviser en six familles distinctes :

- SVC : Compensateur statique d'énergie réactive.
- TCSC : Capacité en série commandée par thyristor.
- TCPAR : Régulateur de déphasage par thyristor.
- STATCOM : Compensateur statique.

- SSSC : Compensateur série statique synchrone.
- UPFC : Contrôleur de transit de puissance unifié.

II. 3. 3 Compensateur statique d'énergie réactive (SVC) :

La figure II.1 est le diagramme unifilaire de la connexion shunt du SVC (Static Var Compensator). Le SVC est composé des thyristors commandés par des capacités (TSCs) et d'autres par des réactances (TCRs). La génération de la puissance réactive varie constamment entre des valeurs capacitives et inductives mises en jeu dans le circuit. Le SVC est utilisé afin de réguler la tension des systèmes de transport, à la valeur de référence. L'installation d'un SVC à un ou plusieurs points appropriés dans le réseau peut augmenter la capacité de transfert et réduire les pertes tout en maintenant le profile de la tension pendant le régime perturbé [11].

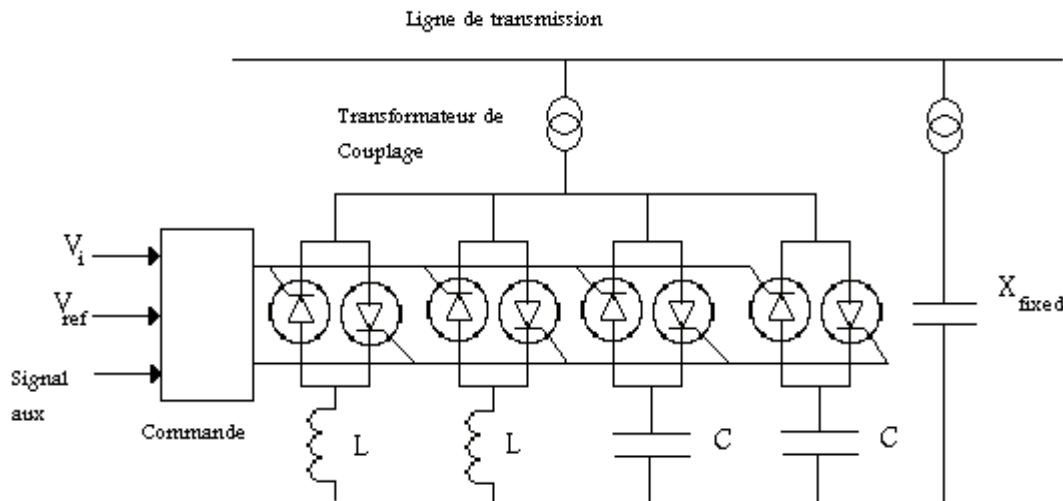


Figure II.1 Schéma type du SVC en connexion shunt.

II. 3. 4 Capacités série commandées par thyristor (TCSC) :

Les condensateurs en série commandés par thyristor (TCSC) fournissent une technologie prouvée qui adresse des problèmes dynamiques spécifiques dans des systèmes de transmission. Le gradin du TCSC est composé de capacités fixes en parallèle avec des thyristors, en série avec une bobine. Chaque gradin est en parallèle avec une varistance (MOV) en métal oxyde, qui protège le gradin contre les surtensions. Séparés et disposés en série, les gradins forment ainsi un système complet de compensation. La capacité principale de valeur fixe est disposée en séries avec les gradins.

La Figure II.2 décrit le schéma de compensation série d'une ligne de transmission, dans lequel est inclus un TCSC à plusieurs modules. Il est possible de varier l'impédance totale de compensateur en modifiant l'angle d'amorçage du thyristor. La compensation série de la ligne de transmission, commandé par thyristor permet d'amortir les fluctuations de puissance car le TCSC est essentiellement utilisé afin de contrôler l'écoulement de puissance [12].

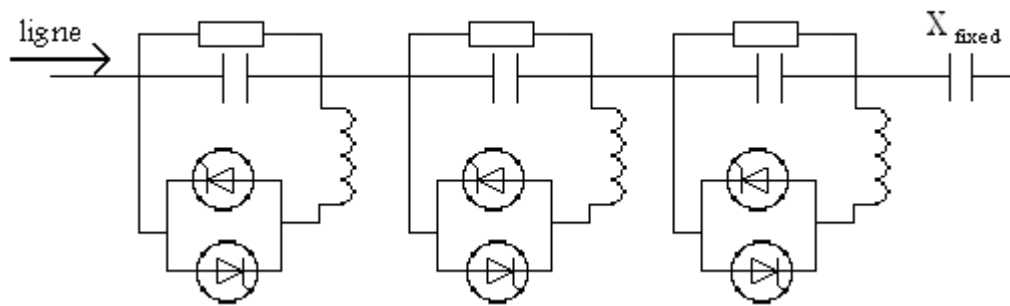


Figure II.2 Schéma d'un TCSC multi gradins pour une compensation série.

II. 3. 5 Régulateur de déphasage commandé par thyristor (TCPAR) :

Dans les lignes de transmission, les puissances actives P et réactive Q sont fonctions du déphasage entre les deux tensions de départ et d'arrivée. Placé en série avec la ligne de transmission, le TCPAR met les tensions en quadrature et modifie le déphasage de la tension à travers la ligne et par conséquent, commande l'écoulement de puissance.

Le schéma type TCPAR est montré sur la figure **II.3** qui comporte un transformateur d'excitation relié par shunt, un transformateur d'insertion de série et un arrangement de commutateur de thyristor reliant une combinaison choisie de tension. La capacité du TCPAR à maintenir l'angle interne pendant les premières oscillations peut également être utilisé efficacement pour augmenter la marge de stabilité du système [10].

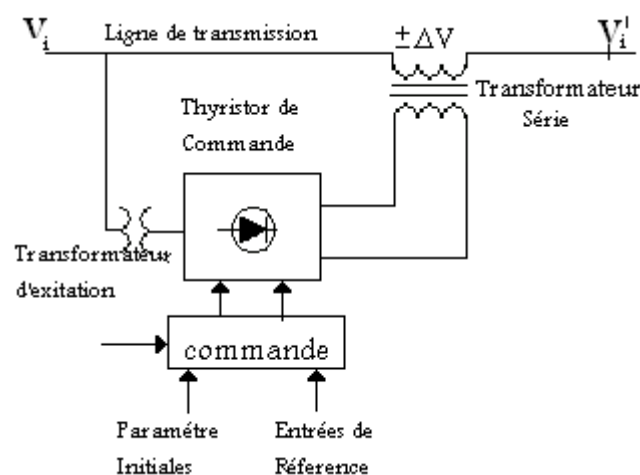


Figure II.3 Schéma du contrôle de l'angle de transport par TCPAR

II. 3.6 Compensateur statique (STATCOM) :

Le dispositif STATCOM (Compensateur statique) a une caractéristique semblable au compensateur synchrone, mais comme dispositif électronique, il n'a aucune inertie et est supérieur au compensateur synchrone : une meilleure dynamique, une charge de placement inférieure et des coûts de fonctionnement et d'entretien inférieurs. Le modèle fonctionnel du SVS est décrit par la **figure II.4**.

L'amplitude V et le déphasage φ , sont définis respectivement par la valeur de référence de Q_{ref} et P_{ref} . Les valeurs de V et φ déterminent les puissances réactive et active échangées entre le SVS et le système AC.

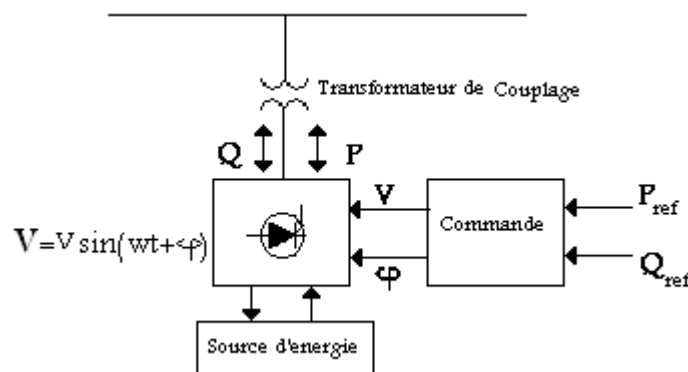


Figure II.4 Schéma représentatif du SVS (solid-stat switching-converter based)

Le STATCOM est utilisé aussi comme un compensateur statique d'énergie réactive, SVC, pour la commande de la tension de transmission par la compensation shunt réactive.

Le STATCOM fournit une puissance réactive capacitive maximale, pour n'importe quelle tension même si elle est inférieure à zéro. Cette possibilité donnée par le STATCOM, prouve qu'il est plus efficace que le SVC, dans l'amélioration de la stabilité transitoire.

L'amplitude variable de la tension triphasée V contrôle l'échange de puissance réactive entre le STATCOM et le système AC. Dans ce cas, l'amplitude de la tension augmente au-dessus de celle de la tension du système AC. Le STATCOM agit comme une capacité et génère une puissance réactive. Lorsque l'amplitude de la tension produite décroît au-dessous de celle du système AC, le STATCOM agit comme une inductance et absorbe la puissance réactive.

Le STATCOM génère ou absorbe la puissance réactive (**Figure II.5**). Ce qui lui permet d'amortir les oscillations du réseau.

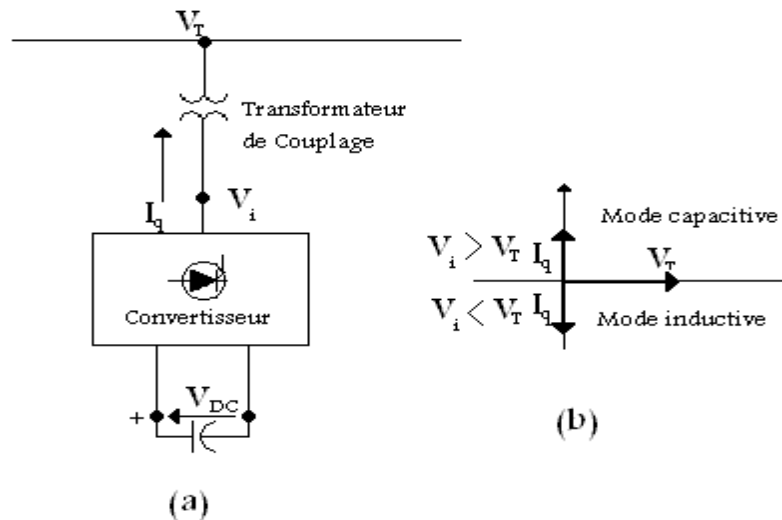


Figure II.5 Schema: (a) STATCOM. (b) caractéristiques tension / courant du STATCOM

II. 3.7 Compensateur Série Statique Synchrone (SSSC) :

Le SSSC est utilisé pour injecter une tension en série dans la ligne de transport. La **figure II.6** représente un dispositif dans lequel des tensions en série, sont injectée dans la ligne de transport afin d'accroître ou de décroître la tension à travers l'impédance inductive de la ligne et par la suite augmenter le courant fondamental de la ligne et la puissance transmise. Par conséquent, si le déphasage de la tension injecté ΔV est choisie à 90° degré en arrière par rapport au déphasage du courant de la ligne, nous obtenons une compensation série équivalente a celle fournie par un condensateur série a la fréquence fondamentale. Par contre, si le déphasage de ΔV est de 90° en avance sur le courant de la ligne, la compensation série au même effet que lorsque l'impédance réactive de la ligne augmente.

Contrairement a la compensation série conventionnelle, la tension injectée ΔV fournie par le SSSC est indépendante du courant de la ligne. Le SSSC permet de fournir une tension de compensation constante en présence d'un courant de ligne variable.

L'amplitude de la tension injectée ΔV peut être commandée indépendamment de l'amplitude du courant de la ligne. Le pouvoir que possède le SSSC pour la compensation de la ligne de transport, dans les deux modes capacitif et inductif, peut être utilisé dans l'amortissement des oscillations du réseau .

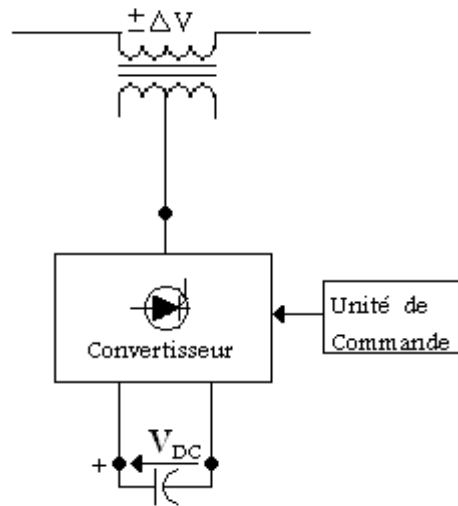


Figure II.6 Compensation série statique synchrone

II. 3.8 Contrôleur de transit de puissance unifié (UPFC) :

Si on remplace la capacité C dans la **figure II.6** par un accumulateur d'énergie (DC) ayant une capacité infinie, le déphasage de la tension série ΔV peut être choisi indépendamment du courant de la ligne entre 0 et 2π . Ceci est possible lorsque la source de tension synchrone, UPFC, génère et absorbe la puissance active et réactive. Dans un cas idéal, la puissance réactive est généralement produite ou absorbée, mais en pratique la puissance active est générée et absorbée par l'accumulateur d'énergie (DC). Si la source DC est disponible, elle peut être considérée comme le système de puissance AC.

L'implantation pratique d'un tel dispositif, dans lequel la source d'énergie DC est alimentée par le système de puissance AC est décrite dans la **figure II.7**. Le convertisseur à connexion shunt fournit la puissance active que l'onduleur à connexion série échange avec la ligne. Cette figure montre que les deux convertisseurs AC-DC peuvent fournir la compensation nécessaire tout en assurant un échange de puissance active et réactive à travers la liaison capacitive DC.

L'un du convertisseur est placé en série et l'autre en parallèle avec la ligne transmission.

Le convertisseur (2) est utilisé pour injecter une tension série ΔV à la tension terminale du réseau AC, avec une amplitude et un déphasage variable. Cette tension injectée, agit comme une source de tension AC dans laquelle le courant qui circule est celui de la ligne. La génération de l'énergie active demandée par le convertisseur (2) est assurée par la connexion en shunt du convertisseur (1) avec le système de puissance AC.

La génération de la puissance réactive dans le convertisseur shunt est indépendante de la puissance active échangée avec la source terminale DC. Par conséquent, le convertisseur shunt peut aussi accomplir la fonction d'un STATCOM indépendant. Grâce à ce dispositif, il est possible de fournir une tension série ΔV avec une amplitude et un déphasage ϕ appropriés.

L'UPFC peut réaliser une multitude de fonction qui permettent le contrôle de l'écoulement de puissance. Les différentes fonctions du contrôle de l'écoulement de puissance du UPFC, sont les suivantes:

- Commande de la tension d'arrivée et réglage de la tension de départ.
- Commande de la compensation série de la ligne.
- Contrôle par réglage de déphasage.
- Combinaison de toutes les commandes de la tension terminale, de la compensation série de la ligne ainsi que le réglage du déphasage.

Le UPFC est extrêmement puissant grâce à son pouvoir d'agir sur différents paramètres, ce qui permet d'avoir une commande adéquate de l'écoulement de puissance

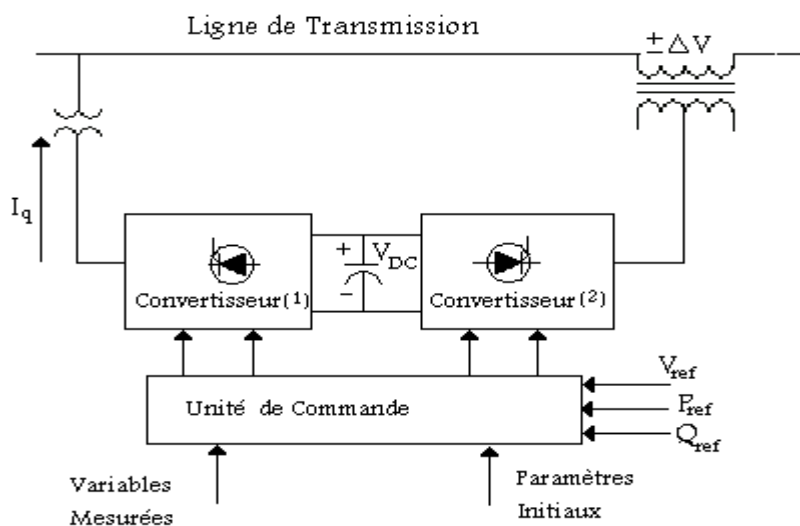


Figure II.7 Contrôleur de transit puissance unifié

II. 4 Application des FACTS :

L'idée principale des FACTS peut être expliquée par l'équation de base de la puissance transmise à travers une ligne de transport à courant alternatif.

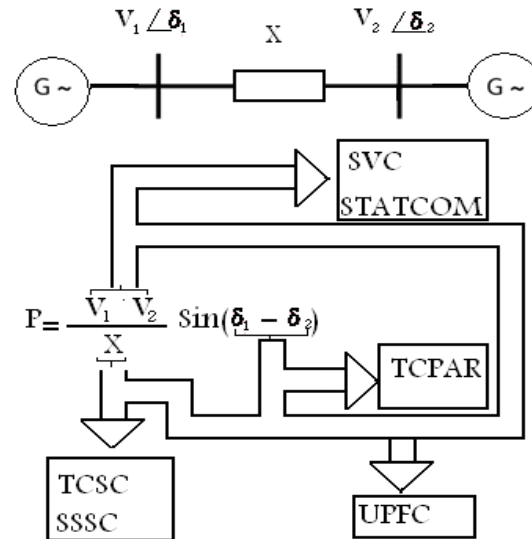


Figure II.8 Diagramme schématisque des applications des FACTS dans les réseaux.

La **figure II.8** représente la puissance transmise entre deux nœuds du système. Elle dépend des tensions aux deux extrémités de l'interconnexion, de l'impédance de la ligne et de la différence d'angle de phase entre les deux systèmes. Les différents dispositifs de FACTS peuvent activement influencer un ou plusieurs de ces paramètres pour la commande du flux de puissance et pour l'amélioration de la stabilité de tension aux nœuds de l'interconnexion.

Selon la configuration du système, les tâches des FACTS peuvent être récapitulées comme suit:

- Systèmes maillés: Commande du transit de puissance.
- Systèmes radiaux et lignes parallèles: commande de l'impédance.
- Systèmes faiblement connectés: commande de la tension.

Le tableau **II.1** résume d'une manière simple l'impact de l'utilisation de chaque FACTS, à la résolution des différents problèmes qui entravent le bon fonctionnement du réseau électrique.

Tableau II.1 Application des FACTS a la résolution des problèmes dans le réseau

	Contrôle de Charge	Contrôle de Tension	Stabilité Transitoire	Amplitude des Oscillations
SVC STATCOM	★	★★★	★	★★
TCSC	★★	★	★★★	★★
SSSC	★★★★	★	★★★★	★★
TCPAR	★★★★	★★	★	★★
UPFC	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★

Influence:

Petite → ★.

Moyenne → ★★.

Forte → ★★★.

Les lignes de transport constituent une composante importante du réseau. Elles sont constituées d'impédances série et shunt. L'impédance série peut affecter le maximum de puissance transmise à travers la ligne et l'impédance shunt est à prédominance capacitive. L'impédance série de la ligne, les tensions de départ et d'arrivée ainsi que le déphasage entre les tensions, déterminent la puissance transitée. Les FACTS sont utilisés afin de changer les paramètres série et shunt ainsi que le déphasage des tensions d'arrivées des lignes de transport dans le but de contrôler l'écoulement de puissance .

II- 5 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre un aperçu sur la notion de stabilité, d'évaluation et les différents procédés d'amélioration et de commande. Parmi ces derniers, les dispositifs FACTS sont introduits d'une manière simple en précisant pour chacun : sa définition, son schéma représentatif ainsi que ses domaines d'application.

CHAPITRE III

Modélisation et Contrôle d'un UPFC

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier un système de transmission AC associé à un UPFC. La conception, l'identification des références et les blocs de commande de base de l'UPFC seront exposés. Les résultats des simulations sont obtenus en appliquant Matlab/simulink.

Il est constitué de deux onduleurs de puissance qui sont connectés à travers un circuit continu commun. L'un des onduleurs, connecté en parallèle, assure la compensation de la puissance réactive. L'autre, branché en série avec la ligne de transmission, permet de contrôler le transit de puissance active et réactive.

Il est capable de contrôler, simultanément et indépendamment, la puissance active et la puissance réactive de la ligne. Il peut contrôler les trois paramètres associés au transit de puissance ; la tension, l'impédance et l'angle de transport de la ligne.

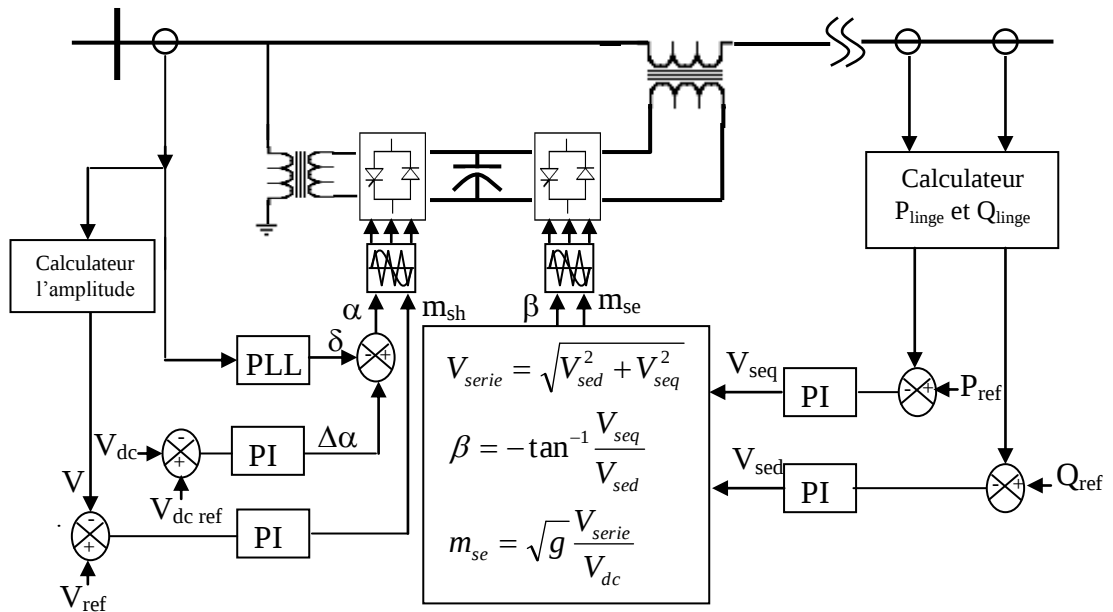


Figure III. 1 Schéma général du système de contrôle UPFC

Le dispositif UPFC est constitué de deux onduleurs triphasés de tension à thyristors GTO, l'un connecté en parallèle au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur triphasé et l'autre connecté en série avec le réseau via trois transformateurs monophasés dont les primaires sont reliés, entre eux, en étoile. Les deux onduleurs sont interconnectés par un bus continu et par un condensateur de filtrage comme indiqué sur la figure III.1.

III.2. Modélisation de l'UPFC

Le circuit équivalent du système UPFC est représenté par la figure III.2. Les deux convertisseurs série et shunt de l'UPFC sont modélisés respectivement par deux sources de tension V_c et V_p . La ligne de transmission est modélisée par une résistance r en série avec une inductance L .

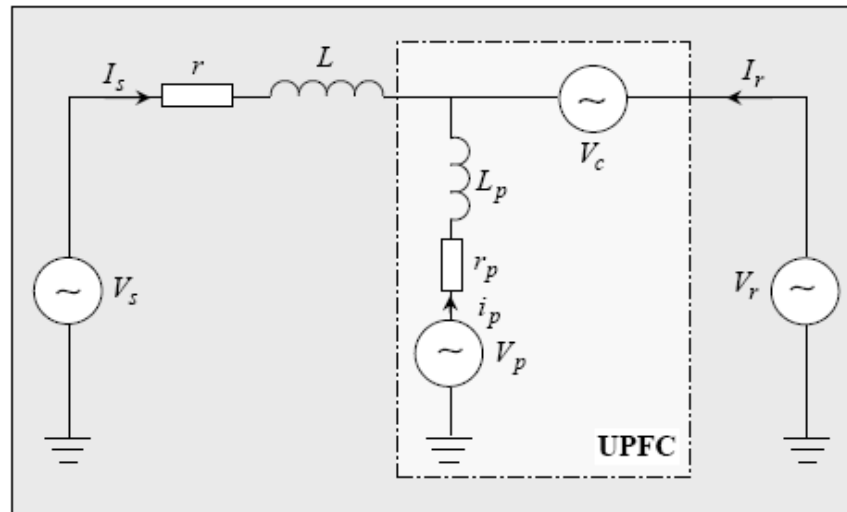


Figure III.2 . Circuit équivalent de l'UPFC

Les paramètres R_p et L_p représentent respectivement la résistance et l'inductance de fuite du transformateur de la partie shunt de l'UPFC. La non linéarité due aux commutations des interrupteurs électroniques des deux onduleurs de l'UPFC et à la saturation du transformateur est négligée dans le système équivalent étudié.

III.2.1. Modélisation de la partie shunt de l'UPFC

La structure triphasée de la partie shunt de l'UPFC nommée STATCOM est représentée dans la Figure (III.3). L'onduleur est modélisé par des interrupteurs idéaux en série avec la résistance R qui représente les pertes par conduction. Le réseau électrique

est représenté par les trois tensions simples V_a , V_b et V_c celles au point de raccordement de la partie shunt. Chaque capacité est en parallèle avec une résistance qui représente ses pertes.

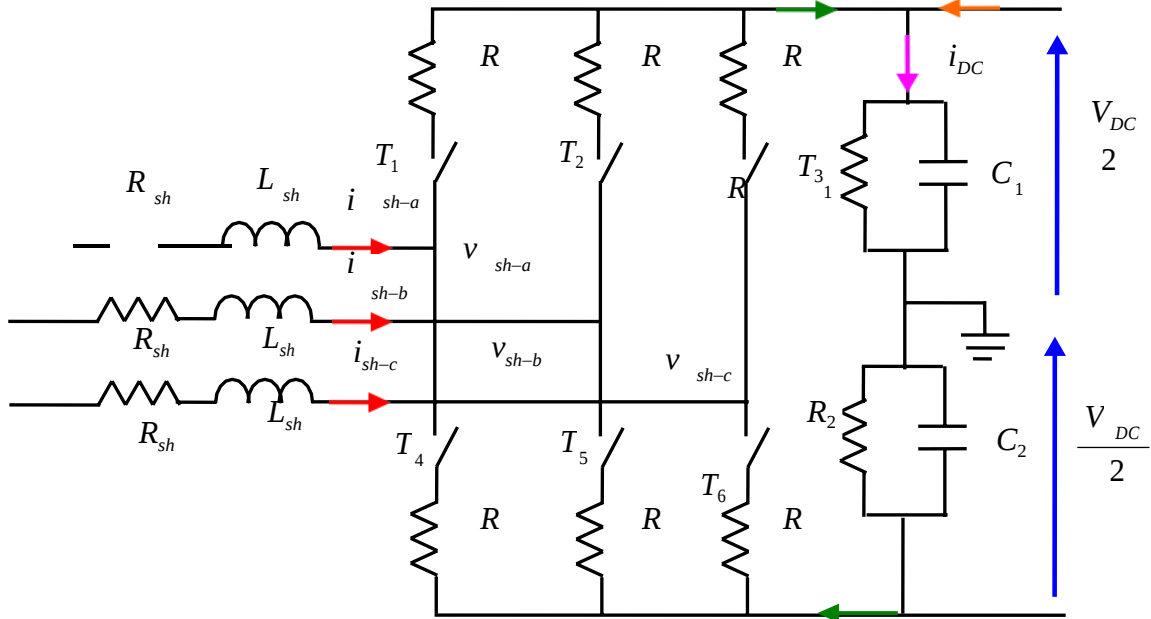


Figure III.3. Schéma simplifié d'un STATCOM (partie parallèle de l'UPFC) connecté au réseau

La relation entre les courants et tensions, côté alternatif, est donnée par l'équation III.1.

$$L_{sh} \frac{di_{sh-a}}{dt} + R_{sh} i_{sh} = V_a - V_{sh-a} \quad (\text{III.1})$$

Considérons u_1 , u_2 et u_3 , les fonctions de commutation des trois bras de l'onduleur, définies de la manière suivante :

Pour $k \in \{1, 2, 3\}$

$u_k = 1$ si T_k est fermé et T_{k+3} est ouvert

$u_k = -1$ si T_k est fermé et T_{k+3} est ouvert

De ce fait, la tension v_{sh-a} s'écrit sous la forme suivante :

$$V_{sh-a} = R i_{sh-a} + u_k \frac{V_{DC}}{2} \quad (\text{III.2})$$

Ainsi, en remplaçant (III.2) dans (III.1), nous obtenons :

$$L_{sh} \frac{di_{sh-a}}{dt} + R_{sh} i_{sh-a} = V_a - R i_{sh-a} - u_k \frac{V_{DC}}{2} \quad (\text{III.3})$$

nous pouvons représenter l'équation III.3 sous forme matricielle :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sh-a} \\ i_{sh-b} \\ i_{sh-c} \end{bmatrix} = \frac{-(R_{sh} + R)}{L_{sh}} \begin{bmatrix} i_{sh-a} \\ i_{sh-b} \\ i_{sh-c} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{sh}} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - \frac{1}{L_{sh}} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \frac{V_{DC}}{2} \quad (III.4)$$

Pour le côté continu, nous notons V_{DC} , et i_{DC} , la tension aux bornes du condensateur et son courant. Les équations suivantes donnent la relation d'état côté continu :

$$i_{DC} = \frac{1}{2} C_1 \frac{dV_{DC}}{dt} + \frac{V_{DC}}{2R_1} \quad (III.5)$$

Où : $C1=C2=2C$ et $R1=R2=0.5R_c$

Donc, nous pouvons écrire :

$$\frac{dV_{DC}}{dt} = \frac{i_{DC}}{C} - \frac{V_{DC}}{R_c C} \quad (III.6)$$

Pour calculer le courant i_{sh-DC} , considérons (a_i) la fonction de commande de l'interrupteur T_i , $i \in \{1,2,3,4,5,6\}$. Cette fonction prend la valeur 1 lorsque l'interrupteur est fermé et 0 quand il est ouvert.

De ce fait le courant i_{sh-DC} , en alternance positive, s'exprime de la manière suivante :

$$i_{sh-DC} = a_1 i_{sh-a} + a_2 i_{sh-b} + a_3 i_{sh-c} \quad (III.7)$$

Pour l'alternance négative, le courant i_{sh-DC} est donné par l'expression III.8.

$$i_{sh-DC} = -(a_4 i_{sh-a} + a_5 i_{sh-b} + a_6 i_{sh-c}) \quad (III.8)$$

Ainsi la somme des deux expressions (III.7) et (III.8) donne :

$$2i_{sh-DC} = (a_1 - a_4) i_{sh-a} + (a_2 - a_5) i_{sh-b} + (a_3 - a_6) i_{sh-c} \quad (III.9)$$

Or les fonctions a_i et a_{i+3} sont complémentaires, d'où $u_i = a_i - a_{i+3}$, ainsi l'expression finale reliant le courant continu aux courants alternatifs est la suivante :

$$i_{sh-DC} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sh-a} \\ i_{sh-b} \\ i_{sh-c} \end{bmatrix} \quad (III.10)$$

La puissance active côté alternatif s'écrit de la manière suivante :

$$P_{sh-ac} = \begin{bmatrix} i_{sh-a} & i_{sh-b} & i_{sh-c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sh-a} \\ V_{sh-b} \\ V_{sh-c} \end{bmatrix} = R i_{sh-a}^2 + R i_{sh-b}^2 + R i_{sh-c}^2 + \begin{bmatrix} i_{sh-a} & i_{sh-b} & i_{sh-c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \frac{V_{DC}}{2} \quad (III.11)$$

La puissance fournie aux condensateurs par la partie parallèle s'écrit de la manière suivante:

$$P_{sh-DC} = i_{sh-DC} \cdot V_{DC} = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sh-a} \\ i_{sh-b} \\ i_{sh-c} \end{bmatrix} \frac{V_{DC}}{2} \quad (\text{III.12})$$

Pour la partie shunt, la puissance active fournie côté alternatif est égale à la puissance active absorbée côté continu plus les pertes de l'onduleur.

III.2.2. Modélisation de la partie série :

La structure de cette partie est identique à celle de la partie parallèle. Le bus de tension continu est le même. Côté alternatif, le transformateur de liaison est représenté par trois transformateurs monophasés élévateurs. Les inductances de fuites et les résistances des transformateurs sont notées L_{se} et R_{se} (Figure. III.4).

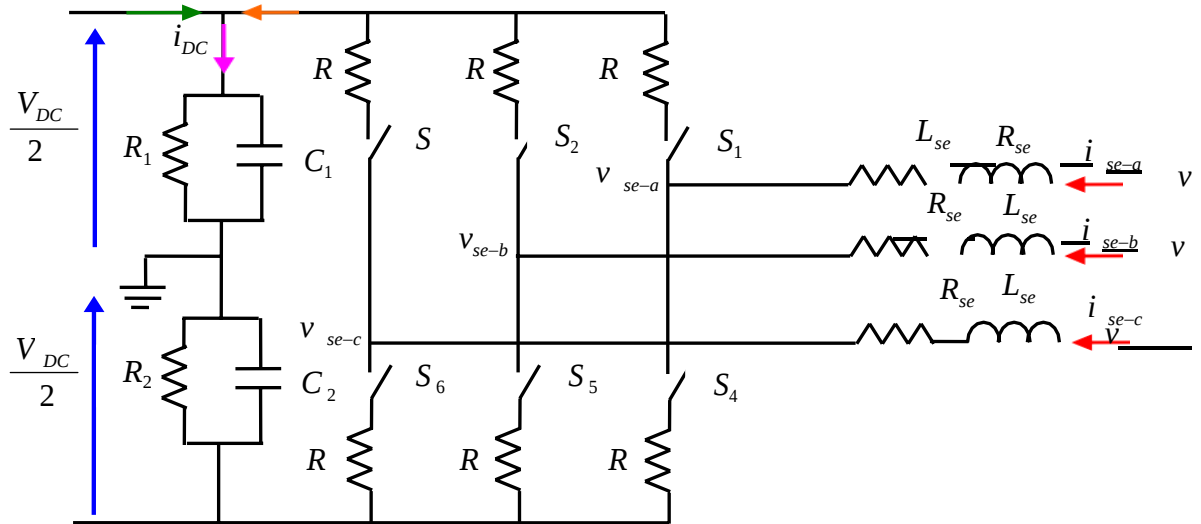


Figure III.4 Schéma simplifié d'un UPFC (partie série) connecté au réseau

Nous obtenons des résultats similaires à ceux de la partie parallèle :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{se-a} \\ i_{se-b} \\ i_{se-c} \end{bmatrix} = \frac{-(R_{se} + R)}{L_{se}} \cdot \begin{bmatrix} i_{se-a} \\ i_{se-b} \\ i_{se-c} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{se}} \begin{bmatrix} V_a \\ V_d \\ V_c \end{bmatrix} - \frac{1}{L_{se}} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \frac{V_{DC}}{2} \quad (\text{III.13})$$

Avec : $w_k=1$ si S_k est fermé et S_{k+3} est ouvert

$w_k=-1$ si S_k est ouvert et S_{k+3} est fermé

Pour $k \in \{1,2,3\}$

De la même façon que pour la partie parallèle, la relation entre le courant continu i_{se-DC} et les courants alternatifs (i_{s-a} , i_{s-b} , i_{s-c}) s'exprime comme suit.

$$i_{se-DC} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} W_1 & W_2 & W_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{se-a} \\ i_{se-b} \\ i_{se-c} \end{bmatrix} \quad (\text{III.14})$$

La puissance active côté alternatif, P_{se-ac} , s'écrit de la manière suivante :

$$P_{se-ac} = \begin{bmatrix} i_{se-a} & i_{se-b} & i_{se-c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{se-a} \\ V_{se-b} \\ V_{se-c} \end{bmatrix} = R i_{se-a}^2 + R i_{se-b}^2 + R i_{se-c}^2 + \begin{bmatrix} i_{se-a} & i_{se-b} & i_{se-c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \frac{V_{DC}}{2} \quad (\text{III.15})$$

La puissance fournie aux condensateurs, P_{se-DC} , par la partie série s'écrit :

$$P_{se-DC} = i_{se-DC} \cdot V_{DC} = \begin{bmatrix} W_1 & W_2 & W_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{se-a} \\ i_{se-b} \\ i_{se-c} \end{bmatrix} \frac{V_{DC}}{2} \quad (\text{III.16})$$

Dans l'hypothèse où les condensateurs et les onduleurs ne consomment pas de puissance active (R_1 , R_2 sont très grandes et R est très petite), alors la puissance active fournie par la partie parallèle est absorbée par la partie série.

III.3 Contrôle de l'UPFC

Théoriquement, le dispositif UPFC devrait être traité comme un système multi variable deux convertisseurs se fera séparément. Pour chacun, il existe des méthodes d'identification car les deux convertisseurs série et shunt sont connectés d'un côté à la ligne de transmission et de l'autre côté au circuit continu, chaque un des deux convertisseurs possède donc deux entrées et deux sorties. Cependant pour faciliter le traitement du dispositif, le contrôle des références ainsi que les méthodes de commande de l'onduleur.

III.3.1. Partie shunt

III.3.1.1. Identification des références

Dans le cas général, la partie parallèle de l'UPFC compense la puissance réactive au point de raccordement et régule la tension aux bornes du condensateur. La régulation de la tension continue compense la puissance active demandée par la partie série et bien évidemment les pertes des onduleurs et des transformateurs. Il faut déterminer les références pour commander le dispositif.

Il existe plusieurs méthodes d'identification des références, parmi lesquelles nous pouvons citer : Contrôle la puissance active et réactive (P/Q)

III.3 .1.2 Contrôle le puissance active et réactive (P/Q)

III.3 .1.2.1 Méthode Watt-Var Découplé :

Afin de comprendre le principe de cette commande dans le cas général, nous considérons un onduleur connecté au réseau, via la résistance R et l'inductance L (qui représentent le modèle simplifié d'un transformateur), comme indiqué sur la figure III.13.

Nous avons l'équation suivante :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R}{L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{1}{L} \begin{bmatrix} V_a - e_a \\ V_b - e_b \\ V_c - e_c \end{bmatrix} \quad \text{III.17}$$

En passant par la transformation de Park, l'équation III.17 s'écrit de la manière suivante :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{s-d} \\ i_{s-q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{se}}{L_{se}} & w \\ -w & -\frac{R_{se}}{L_{se}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s-d} \\ i_{s-q} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{se}} \begin{bmatrix} V_{1-d} - V_{2-d} - V_{b-d} \\ V_{1-q} - V_{2-q} - V_{b-q} \end{bmatrix} \quad \text{III.18}$$

Pour connaître les avantages du système de commande, l'algorithme watt-var découplé classique est présenté brièvement.

Les deux nouvelles variables présentées en (III.19), sont les sorties du système de commande constitué de deux contrôleurs PI :

$$x_1 = \frac{1}{L} (V_d - e_d) \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{1}{L} (V_q - e_q) \quad \text{III.19}$$

Les valeurs de i_d^{ref} et i_q^{ref} sont les références des courants actif et réactif [5] :

$$\begin{aligned} x1 &= (Kp + \frac{K_I}{s})(i_d^{ref} - i_d) - w i_q \\ x2 &= (Kp + \frac{K_I}{s})(i_q^{ref} - i_q) + w i_d \end{aligned} \quad \text{III.20}$$

Nous appliquons la transformation de Laplace à l'équation III.17 Nous transformons ainsi les équations III.19 et III.20. Nous obtenons les fonctions de transfert (III.21) :

$$F(s) = \frac{i_d}{i_d^{ref}} = \frac{i_q}{i_q^{ref}} = \frac{K_I + s.K_p}{K_I + s(\frac{R}{L} + K_p) + s^2} \quad \text{III.21}$$

Le contrôle est optimal si les gains KP et KI sont maximaux

Le schéma de contrôle d'un UPFC par la méthode "Watt-Var découplé" est représenté sur la figure III.5.

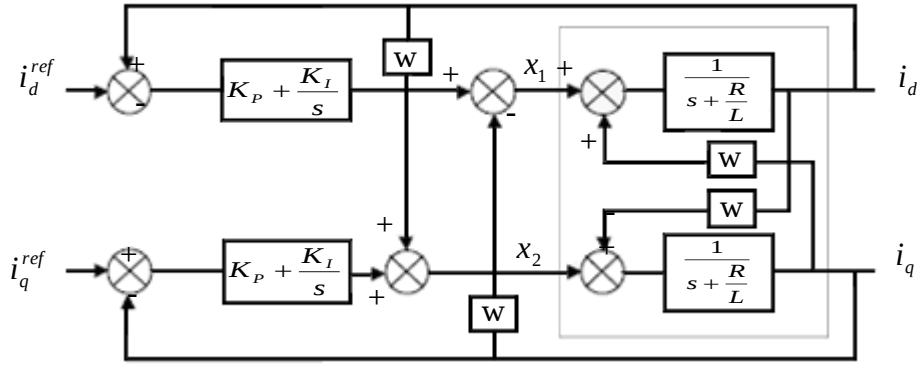


Figure III.5 Schéma bloc de la méthode Watt-Var découplée

Le schéma global de l'identification des références et de régulation du courant pour cette méthode est montré sur la figure **III.5** où le régulateur est celui de la figure **III.6**

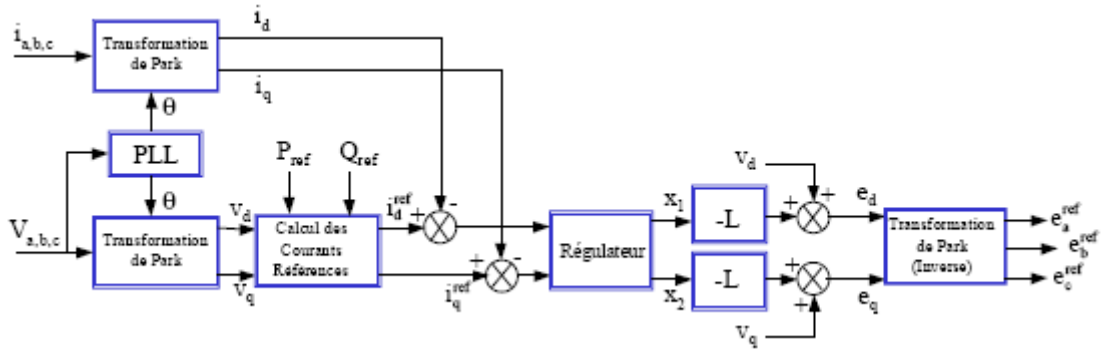


Figure III.6 Schéma global du contrôle par la méthode Watt-Var découplée

Les puissances active et réactive (P_{ref} , Q_{ref}) sont des références de courant de la partie parallèle, déterminées comme suit :

$$\begin{bmatrix} i_{s-d}^{ref} \\ i_{s-q}^{ref} \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{2-d}^2 + V_{2-q}^2} \begin{bmatrix} V_{2-d} & V_{2-q} \\ V_{2-q} & -V_{2-d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{ref} \\ Q_{ref} \end{bmatrix} \quad \text{III.22}$$

Les composantes du courant de la partie parallèle sont comparées avec ses références. Les écarts entre elles, passent par les régulateurs, comme indiqué sur la figure **III.5**. A partir des équations **III.19**, les sorties des régulateurs (x_1 et x_2) donnent les composantes de la tension de référence de la MLI dans le repère d-q. En passant par la transformation inverse de Park, nous obtenons les références de la MLI pour la partie série.

Le courant shunt est commandé en variant l'amplitude et l'angle de la tension de convertisseur shunt. Les équations dynamiques dans l'espace de D-Q sont données par :

$$\frac{di_{Dsh}}{dt} = -\frac{r_{sh}w_b}{x_{sh}}i_{Dsh} + w.i_{Qsh} + \frac{w_b}{x_{sh}}(e_{Dsh} - v_{1D})$$

$$\frac{di_{Qsh}}{dt} = -\frac{r_{sh}w_b}{x_{sh}}i_{Qsh} - w.i_{Dsh} + \frac{w_b}{x_{sh}}(e_{Qsh} - v_{1Q})$$

III.23

Où,

r_{sh} , x_{sh} = résistance et réactance de fuite de transformateur shunt respectivement.

e_{Dsh}, e_{Qsh} = composants de tension de sortie de convertisseur shunt.

V_{1D}, V_{1Q} = composants de tension à JB qui le courant a injecté (port 1 of UPFC).

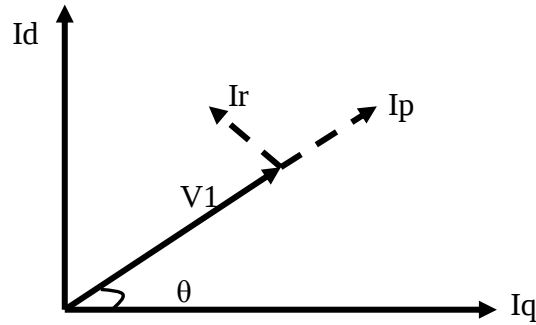


Figure III.7 Représentation de vecteur de courants active et réactive

Les courants active et réactive sont définis comme :

$$i_{Rsh} = i_{Dsh} \cos(\theta) - i_{Qsh} \sin(\theta)$$

$$i_{Psh} = i_{Dsh} \sin(\theta) + i_{Qsh} \cos(\theta)$$

III.24

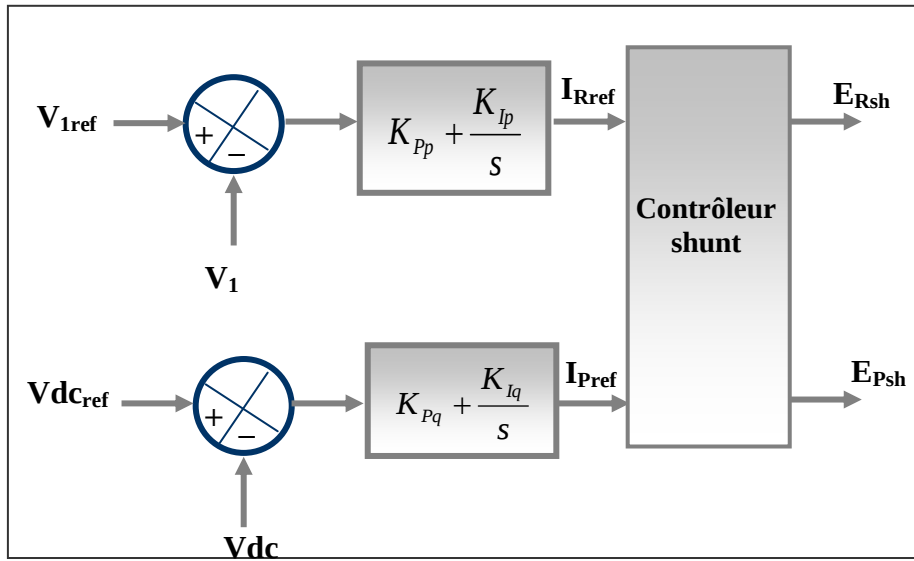


Figure III.8 Contrôleur shunt

Où,

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_{1D}}{v_{1Q}} \right) \quad \text{III.25}$$

$$v_1 = \sqrt{(v_{1D})^2 + (v_{1Q})^2}$$

Les tensions active et réactive de convertisseur shunt est donnée par :

$$\begin{aligned} e_{Rsh} &= e_{Dsh} \cos(\alpha) - e_{Qsh} \sin(\alpha) \\ e_{Psh} &= e_{Dsh} \sin(\alpha) + e_{Qsh} \cos(\alpha) \end{aligned} \quad \text{III.26}$$

III.3.2. Partie série :

III.3.2.1. Identification des références

La partie série est utilisée pour le contrôle des puissances active et réactive transitées dans la ligne de transmission, on contrôlant l'amplitude et l'angle de phase de la tension injectée par le convertisseur série. Il faudra alors déterminer les références pour commander la partie série.

Il existe plusieurs méthodes d'identification des références, parmi lesquelles

III.3.2.2. Contrôle la puissance active et la tension (P/V) :

L'objectif de cette contrôle de convertisseur série est de contrôler la tension à la fin de Jb ou point de branchement Vg, par opposition au contrôle d'écoulement de puissance réactive sur la ligne Q_{ligne}. En même temps que le contrôle de l'amplitude de tension de l'extrémité. Le convertisseur de série ainsi contrôler le puissance active sur la ligne P_{ligne}.

Habituellement, seulement trois conducteurs relie le convertisseur de l'UPFC au système à AC, on peut supposer que le système triphasé peut être transformé en système orthogonal synchronisme tournant. La tension de référence de système est choisie pour être la tension V d'extrémité. $V_d = V$ et $V_q = 0$. Ce contrôle est basé sur hypothèses qui la tension sinusoïdal de convertisseur de série et que la tension de Jb d'extrémité est maintenue constante par les actions de la dérivation convertisseur. Enfin, on suppose ainsi que la tension de condensateur de DC est maintenue constante par les actions du convertisseur shunt. $\Delta V_{dc} = 0$, et par conséquent on trouve les équations complètes de système.

$$\frac{d\Delta i'_{sed}}{dt} = -\frac{w_B R'_L}{L_L} \Delta i'_{sed} + w \Delta i'_{seq} + \frac{w_B}{L_L} (-\Delta v'_{sed} - \Delta v'_{gd}) \quad \text{III.27}$$

$$\frac{d\Delta i'_{seq}}{dt} = -\frac{w_B R'_L}{L_L} \Delta i'_{seq} + w \Delta i'_{sed} + \frac{w_B}{L_L} (-\Delta v'_{seq} - \Delta v'_{gq}) \quad \text{III.28}$$

Dans toutes ces prétentions, les équations de système pour un petit signal Δx de perturbation peuvent être réduites aux équations suivantes

où R' et L' représentent les résistance et l'inductance total de la ligne de transmission:

$\Delta i'_{se} = \sqrt{\Delta i'^2_{sed} + \Delta i'^2_{seq}}$ est le courant de ligne de transmission, $\Delta v'_g = \sqrt{\Delta v'^2_{gd} + \Delta v'^2_{gq}}$ et

$\Delta v'_{se} = \sqrt{\Delta v'^2_{sed} + \Delta v'^2_{seq}}$ sont respectivement les tensions de JB à l'extrémité et la tension de

convertisseur série, et w et w_s sont la valeur de fréquence de système et lui de base,

respectivement, La puissance active et réactive triphasée dans la ligne de transmission et la

et le JB de extrémité sont données par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} P'_{line} &= \frac{3}{2} (v'_{gd} \cdot i'_{sed} + v'_{gq} \cdot i'_{seq}) \\ q'_{line} &= \frac{3}{2} (v'_{gq} \cdot i'_{sed} - v'_{gd} \cdot i'_{seq}) \end{aligned} \quad \text{III.29}$$

Les variations de la puissance active et réactives dues aux changements des signaux d'entrée peuvent alors être exprimées comme :

$$\begin{aligned} \Delta p'_{line} &= \frac{3}{2} (\Delta v'_{gd} \cdot i'_{sedo} + v'_{gdo} \cdot \Delta i'_{sed} + \Delta v'_{gq} \cdot i'_{seqo} + v'_{gqo} \cdot \Delta i'_{seq}) \\ \Delta q'_{line} &= \frac{3}{2} (v'_{gq} \cdot i'_{sedo} + v'_{gdo} \cdot \Delta i'_{sed} - \Delta v'_{gq} \cdot i'_{seqo} - v'_{gdo} \cdot \Delta i'_{seq}) \end{aligned} \quad \text{III.30}$$

Où $i'_{seo} = \sqrt{i'^2_{sedo} + i'^2_{seqo}}$ et $v'_{go} = \sqrt{v'^2_{gdo} + v'^2_{gqo}}$ représente respectivement les courant de ligne de transmission et la tension de JB d'extrémité.

Par conséquent, le modèle du l'espace d'état pour le convertisseur série dans l'UPFC peut être décrit comme suit :

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x} &= A \cdot \Delta x + B \cdot \Delta u \\ \Delta y &= C \cdot \Delta x + D \cdot \Delta u \end{aligned} \quad \text{III.31}$$

Où les vecteurs des variables d'état et d'entrée sont :

$$\begin{aligned} \Delta x &= \begin{bmatrix} \Delta i'_{sed} & \Delta i'_{seq} \end{bmatrix}^T \\ \Delta u &= \begin{bmatrix} \Delta v'_{sed} & \Delta v'_{seq} & \Delta v'_{gd} & \Delta v'_{gq} \end{bmatrix}^T \\ \Delta y &= \begin{bmatrix} \Delta p'_{line} & \Delta q'_{line} \end{bmatrix}^T \end{aligned} \quad \text{III.32}$$

La matrice A d'état est

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{w_B R_L'}{L_L'} & w \\ -w & -\frac{w_B R_L'}{L_L'} \end{bmatrix} \quad \text{III.33}$$

La matrice d'entrée B est

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{w_B}{L_L'} & 0 & -\frac{w_B}{L_L'} & 0 \\ 0 & -\frac{w_B}{L_L'} & 0 & -\frac{w_B}{L_L'} \end{bmatrix} \quad \text{III.34}$$

et les matrices de retour et de réaction sont données, respectivement, par :

$$C = \begin{bmatrix} V_{gdo} & V_{gqo} \\ V_{gqo}' & -V_{gdo}' \end{bmatrix} \quad \text{III.35}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & i_{sedo}' & i_{seqo}' \\ 0 & 0 & -i_{seqo}' & -i_{sedo}' \end{bmatrix}$$

La fonction de transfert de système peut être aisément obtenue à partir du modèle du l'espace d'état décrit dans l'équation (III.35) comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta p_{line}' \\ \Delta q_{line}' \end{bmatrix} = [C.(sI - A)^{-1}.B + D] \begin{bmatrix} \Delta v_{sed}' \\ \Delta v_{seq}' \\ \Delta v_{gd}' \\ \Delta v_{gq}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) & g_{13}(s) & g_{14}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) & g_{23}(s) & g_{24}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{sed}' \\ \Delta v_{seq}' \\ \Delta v_{gd}' \\ \Delta v_{gq}' \end{bmatrix} \quad \text{III.36}$$

Où

$$g_{11}(s) = \frac{\Delta p_{line}'}{\Delta v_{sed}'}, g_{12}(s) = \frac{\Delta p_{line}'}{\Delta v_{seq}'}, g_{13}(s) = \frac{\Delta p_{line}'}{\Delta v_{gd}'}, g_{14}(s) = \frac{\Delta p_{line}'}{\Delta v_{gq}'} \quad \text{III.37}$$

$$g_{21}(s) = \frac{\Delta q_{line}'}{\Delta v_{sed}'}, g_{22}(s) = \frac{\Delta q_{line}'}{\Delta v_{seq}'}, g_{23}(s) = \frac{\Delta q_{line}'}{\Delta v_{gd}'}, g_{24}(s) = \frac{\Delta q_{line}'}{\Delta v_{gq}'}$$

Maintenant, si on assume que la ligne de transmission alimente un grand système, on peut pose V_g' est approximativement constant et donc $\Delta V_{gd}' = \Delta V_{gq}' = 0$, dans ce cas l'équation (III.36) est deviennt :

$$\begin{bmatrix} \Delta p_{line}' \\ \Delta q_{line}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{sed}' \\ \Delta v_{seq}' \end{bmatrix} \quad \text{III.38}$$

L'équation (III.38) démontre que deux types de commande peuvent être développés :

une type de commande utiliserait les termes de couplage direct $\frac{\Delta p'_{line}}{\Delta v'_{sed}}$ et $\frac{\Delta p'_{line}}{\Delta v'_{seq}}$, tandis que l'autre serait utiliser les termes de couplage suivante $\frac{\Delta q'_{line}}{\Delta v'_{sed}}$ et $\frac{\Delta q'_{line}}{\Delta v'_{seq}}$.

Figure III.8 montre le schéma de contrôle utilisé pour le convertisseur série, Les deux objectifs de commande c'est-à-dire P_{line} et Q_{line} ou P_{line} et V_g nous allons voir à leur application et les tests en MATLAB.

Les testes démontrent que la puissance réactive et la tension V_g contrôlent ont une même performance, ainsi la tension V_g est contrôlée l'écoulement de puissance réactive dans la ligne.

Les sorties des contrôleurs de PI sont des composants d et q de V_{se} la tension série injecté respectivement V_{sed} et V_{seq} . L'amplitude de la tension série peut être calculée par l'équation suivante:

$$V_{se} = \sqrt{V_{sed}^2 + V_{seq}^2} \quad \text{III.40}$$

Le rapport de modulation est :

$$m_{se} = \sqrt{g} \frac{V_{se}}{V_{dc}} \quad \text{III.41}$$

L'angle de phase de la tension série injecté en ce qui concerne par la signal de référence, est donnée comme suit :

$$\beta = -\tan^{-1} \frac{V_{seq}}{V_{sed}}$$

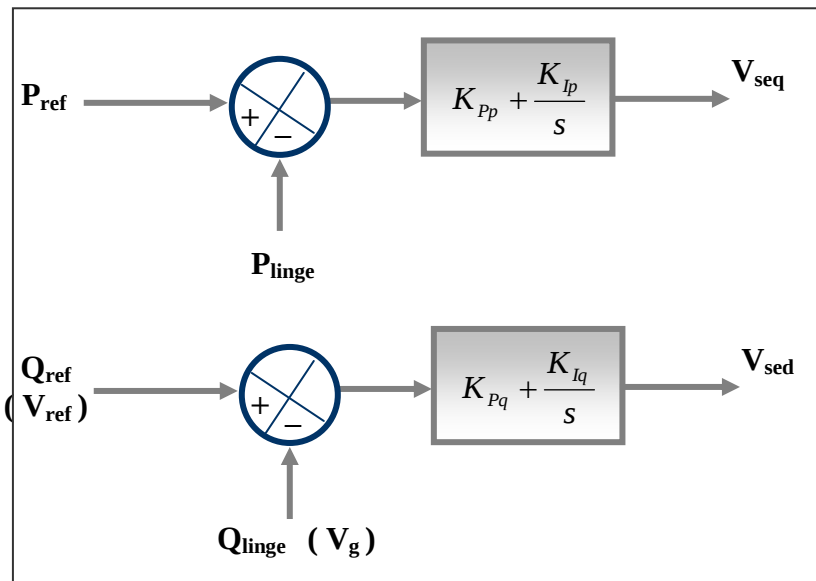


Figure III.9 commande de convertisseur de série de l'UPFC

III.3.3. Commande de l'onduleur :

L'objectif de la commande est de générer les ordres d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de sorte que la tension créée par l'onduleur soit la plus proche de la tension de référence. Deux méthodes de commande peuvent être utilisées :

- commande par hystérésis,
- commande par MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion)

III.3.3.1. Commande par hystérésis :

Le principe de contrôle des courants par hystérésis consiste à maintenir chacun des courants générés dans une bande enveloppant les courants de référence. Chaque violation de cette bande donne un ordre de commutation.

En pratique, c'est la technique schématisée sur la figure **III.10** que l'on utilise. La différence entre le courant de référence et celui mesuré est appliquée à l'entrée d'un comparateur à hystérésis dont la sortie fournit directement l'ordre de commande des interrupteurs du bras correspondant de l'onduleur.

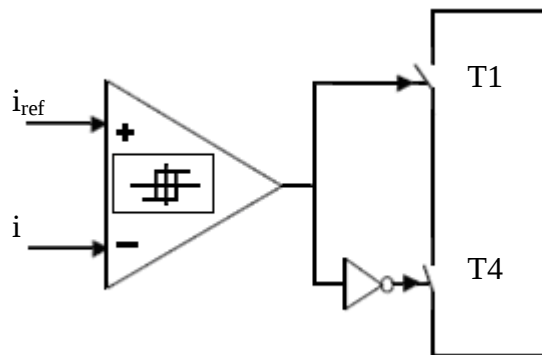


Figure III.10 Contrôle de courant par hystérésis

La simplicité de la mise en œuvre de cette stratégie est son avantage, tandis que la fréquence de commutation variable peut être son inconvénient. Celui-ci peut être remédié par une autre version de contrôle par l'hystérésis avec une fréquence de commutation fixe.

III.3.3.2 Commande par MLI :

La méthode basée sur la MLI met en œuvre d'abord un régulateur qui, à partir de l'écart entre le courant et sa référence, détermine la tension de référence de l'onduleur (modulatrice). Cette dernière est ensuite comparée avec un signal en dent de scie à fréquence élevée (porteuse). La sortie du comparateur fournit l'ordre de commande des interrupteurs. Le schéma de principe de cette méthode est donné sur la figure **III.11**

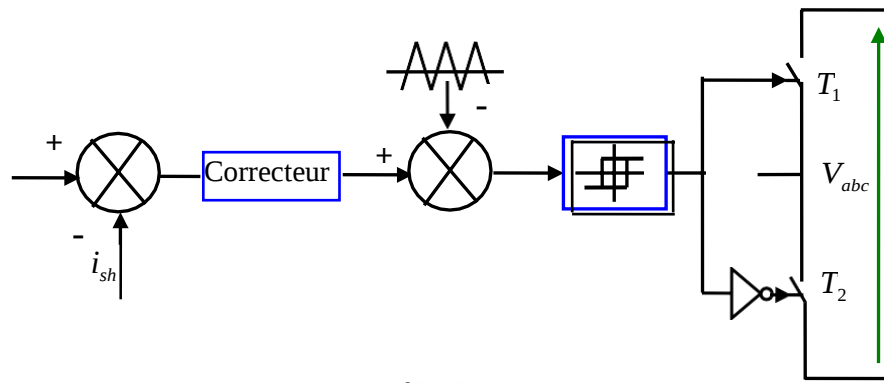


Figure III.11 Contrôle de courant par MLI

La rapidité du contrôle par hystérésis à réagir au changement brusque de référence, donne des performances dynamiques et statiques meilleures. Malgré ces avantages, nous avons choisi la commande par MLI car le dispositif UPFC commande de fortes puissances et a besoin d'une fréquence fixe pour les commutations.

III.4.1 Le réseau test :

Considérons le réseau teste de notre étude qui est constitué d'un générateur connecté au réseau infini par le transformateur T et ligne de transmission d'énergie (Annexe A).

En considérant les grandeurs réduites du système, le schéma équivalent du réseau est présenté par la figure III.12.

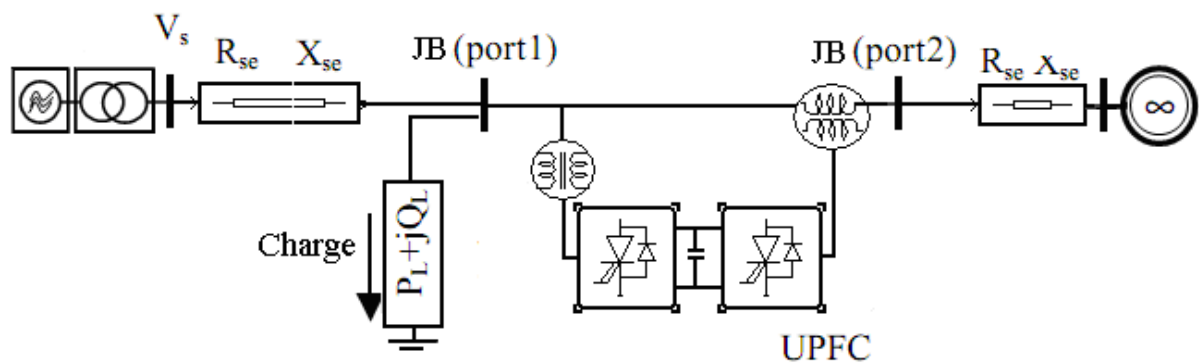


Figure III.12 Schéma équivalent en grandeurs réduites :

III.4.2 Le Contrôle-Commande

Pour simplifier les calculs, nous avons utilisé des grandeurs réduites. Nous considérons d'abord la base du système en grandeur réduite comme suit :

$$S_{base}=1000 \text{ MVA et } U_{base}=400 \text{ KV}$$

Par conséquent les deux autres bases du système (le courant et l'impédance), sont calculées de la manière suivante :

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}U_{base}} = 1443 \text{ A}$$

$$Z_{base} = \frac{U_{base}^2}{S_{base}} = 160 \text{ } \Omega$$

III.4.3 Les résultats des simulations

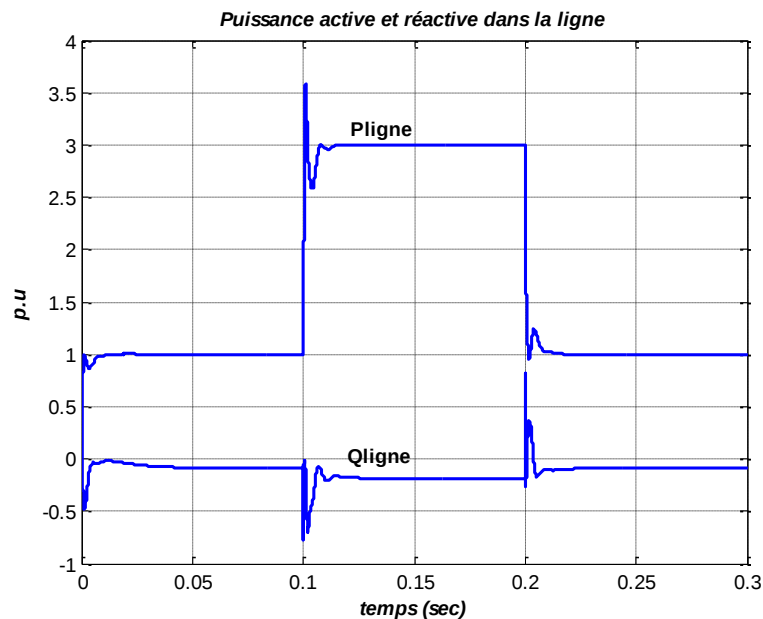
Nous avons fait les simulations avec MATLAB. Nous avons d'abord choisi les références des système : $P = 1 \text{ p.u}$ et $V_{dc} = 3.38 \text{ p.u}$ et $V_1 = 1 \text{ p.u}$, $V = 1 \text{ p.u}$.

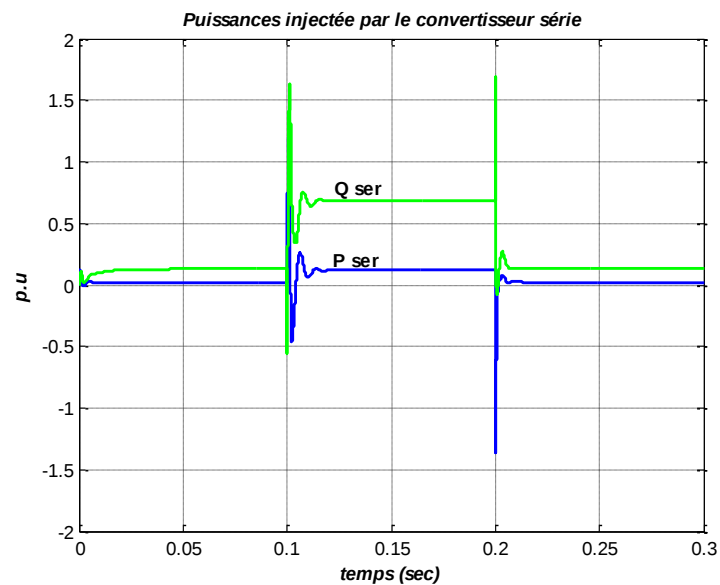
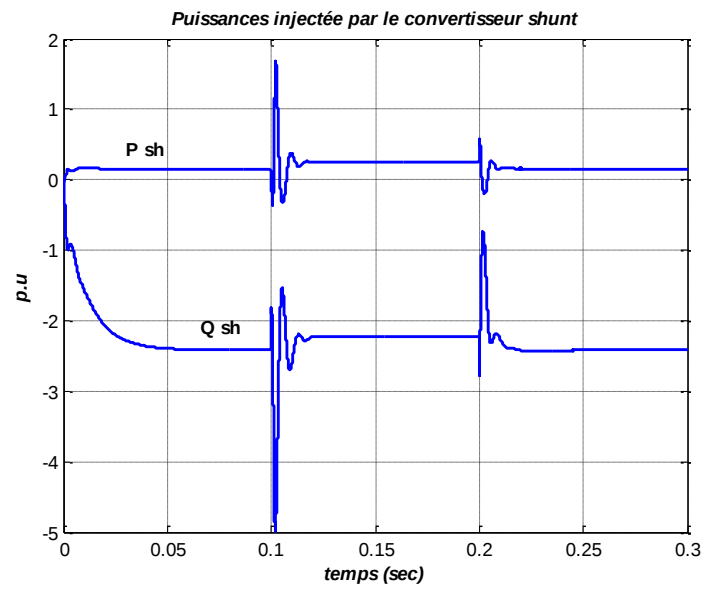
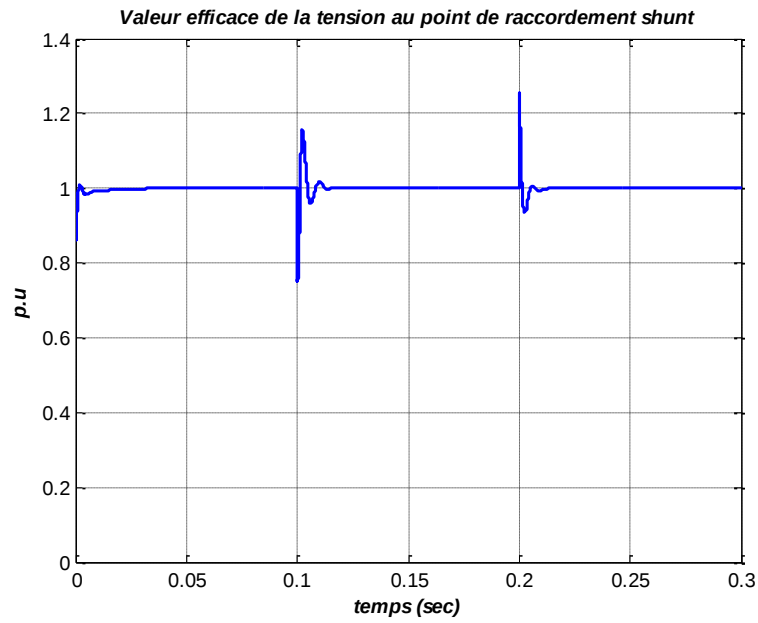
Et la charge applique est $P_{ch} = 3 \text{ p.u}$ et $Q_{ch} = 2 \text{ p.u}$

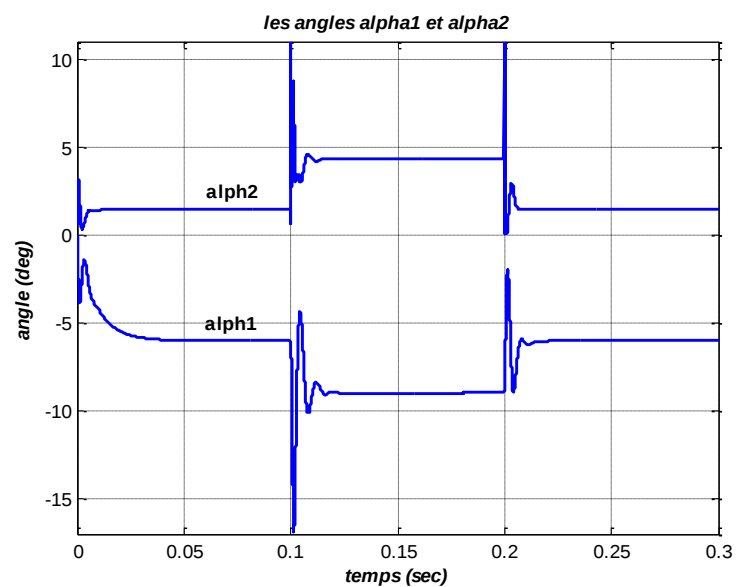
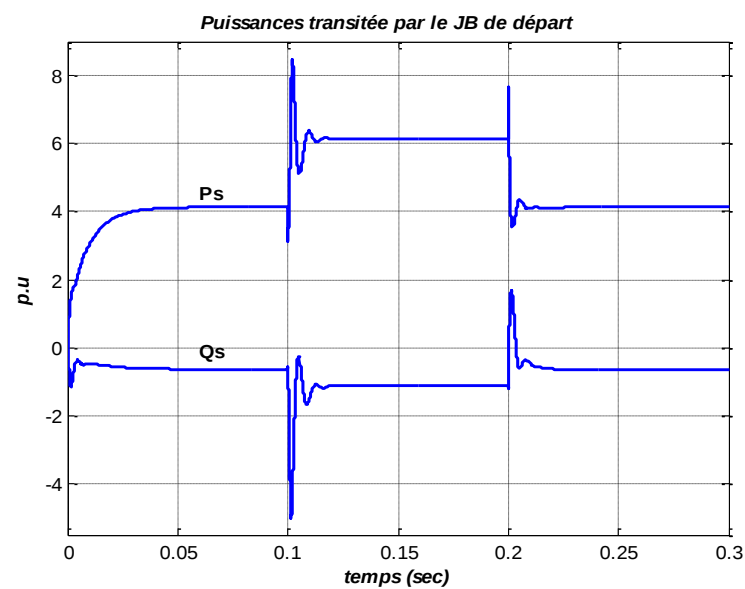
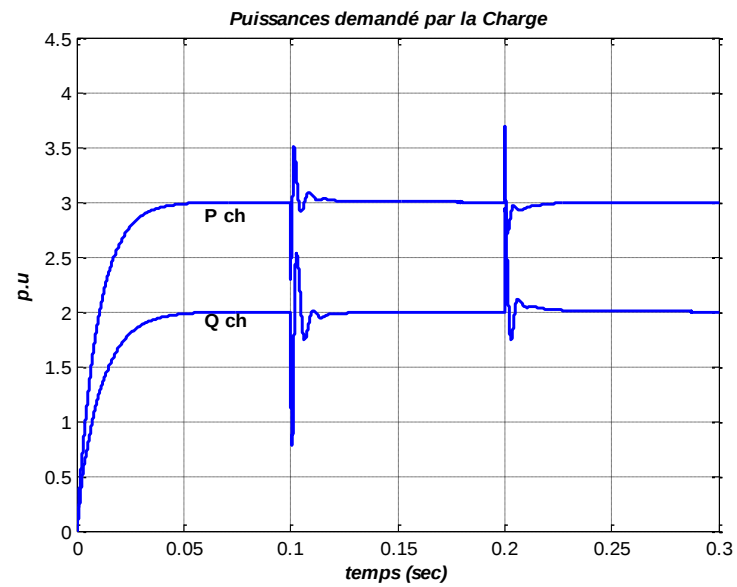
A l'instant $t = 0.1 \text{ s}$, nous avons changé les références de puissance pour qu'elles deviennent : $P = 3 \text{ p.u}$. Ensuite, à l'instant $t = 0.2 \text{ s}$ nous avons remis les références initiales.

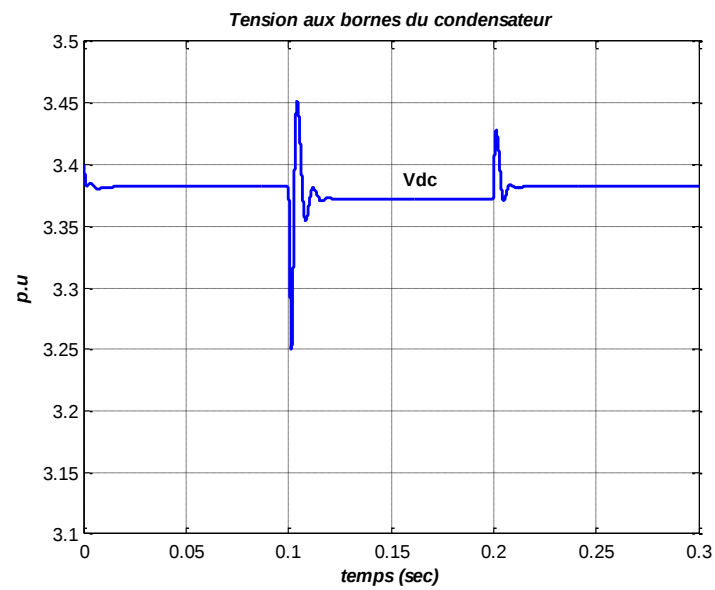
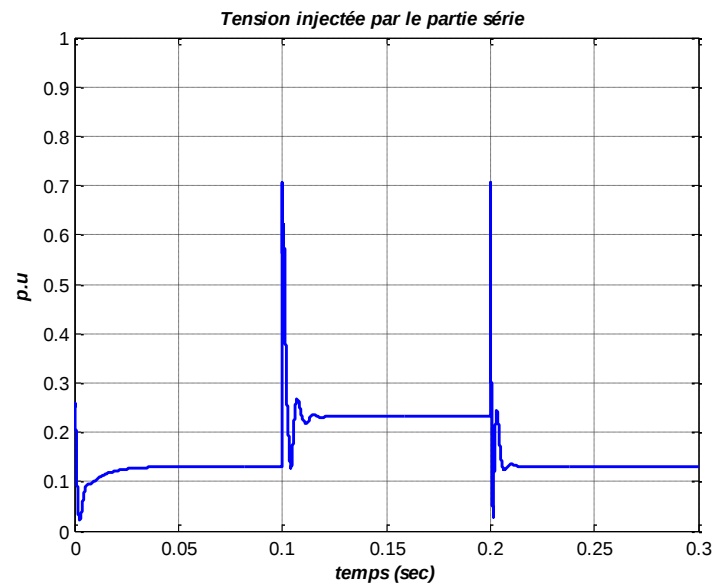
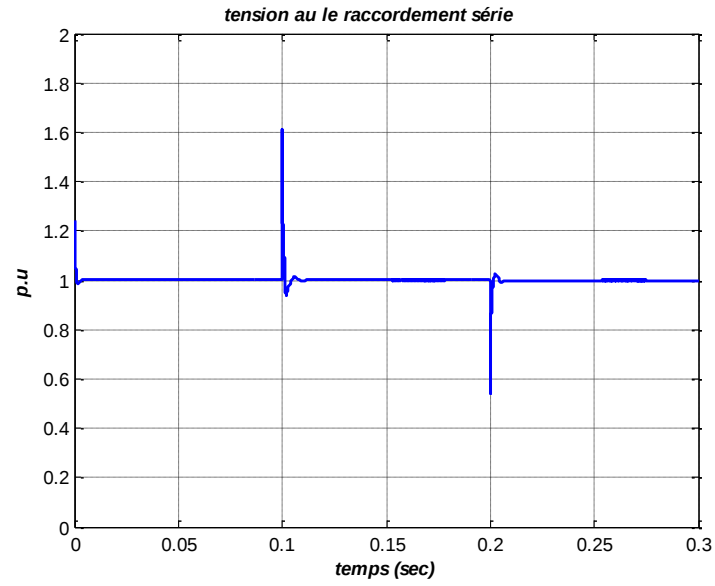
La figure III.13 montre les variations de :

- la puissance active et réactive
- la tension injectée en série
- le courant injecté par la partie parallèle
- la puissance réactive injectée par partie parallèle
- la valeur efficace de la tension au point de raccordement
- la tension aux bornes du condensateur









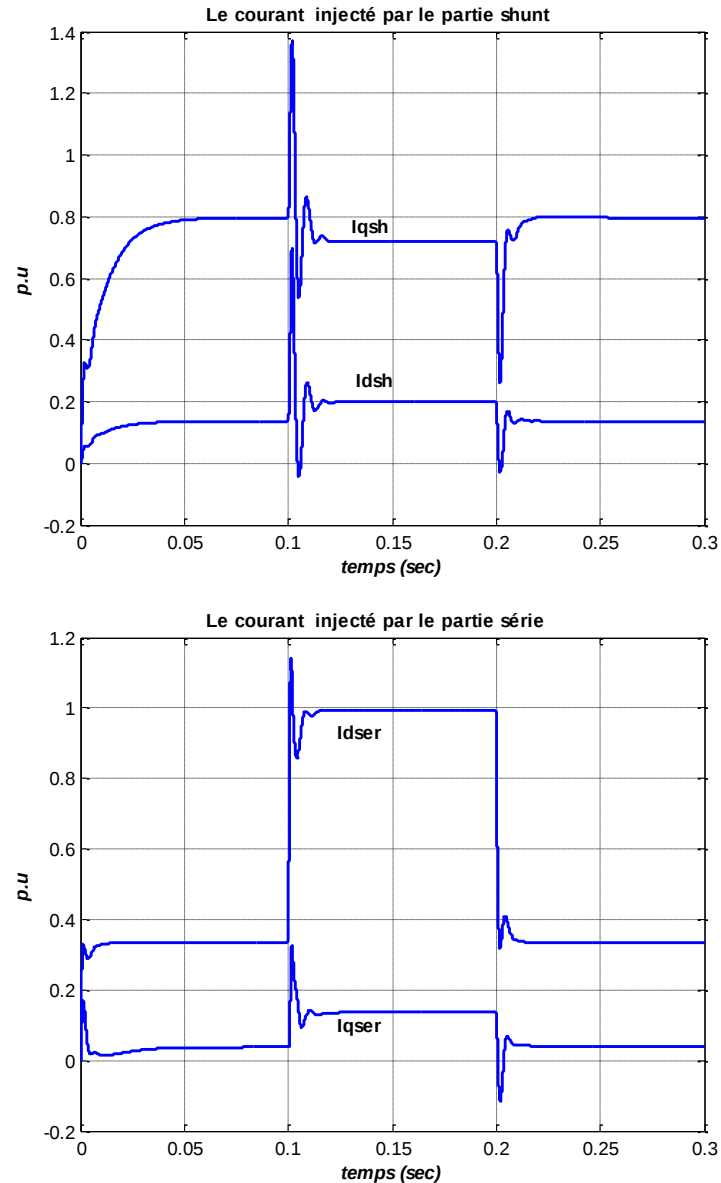
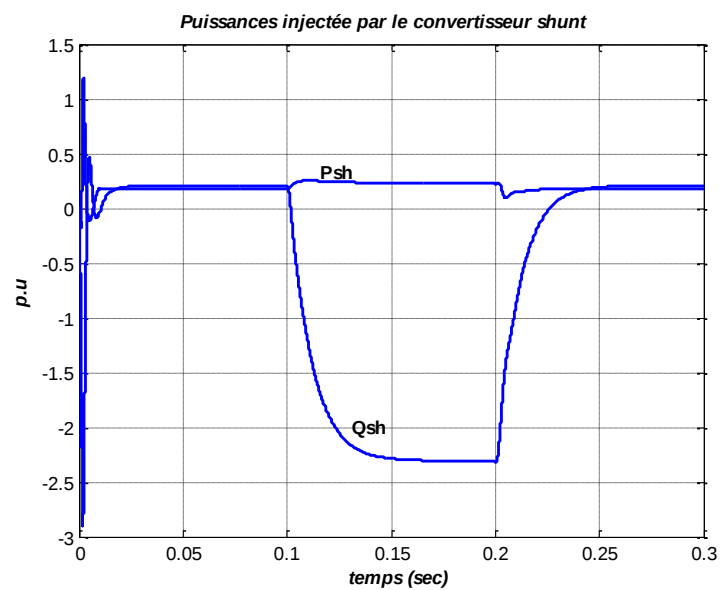
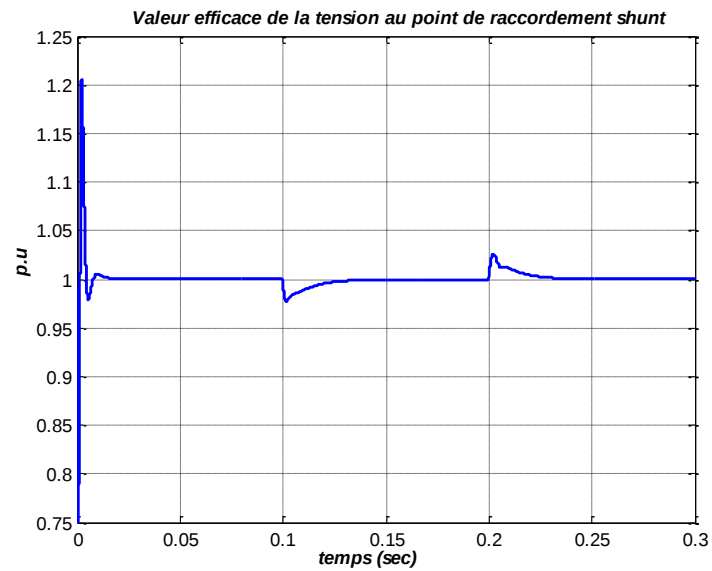
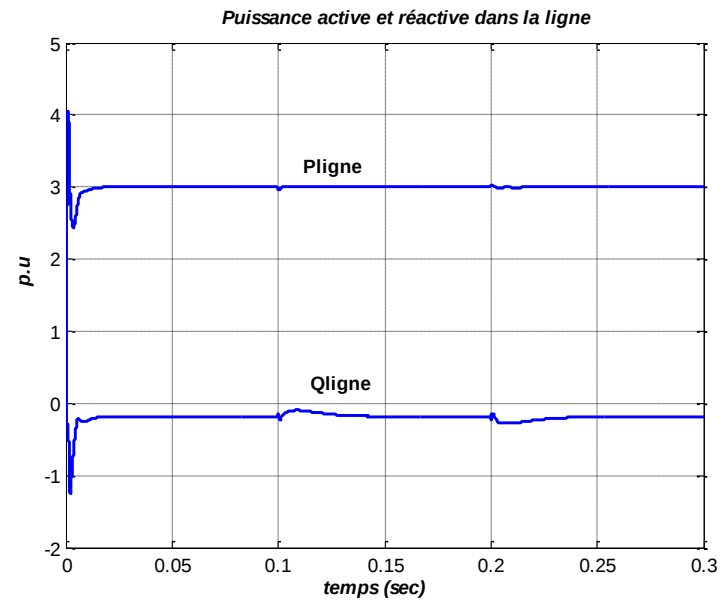


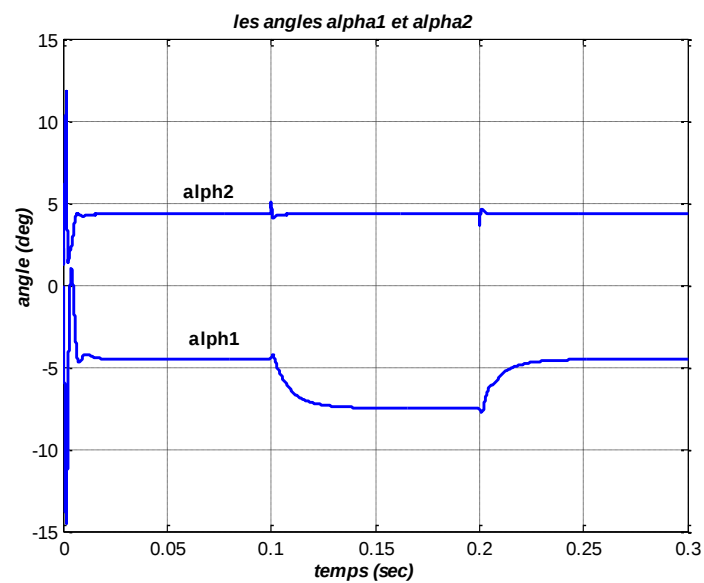
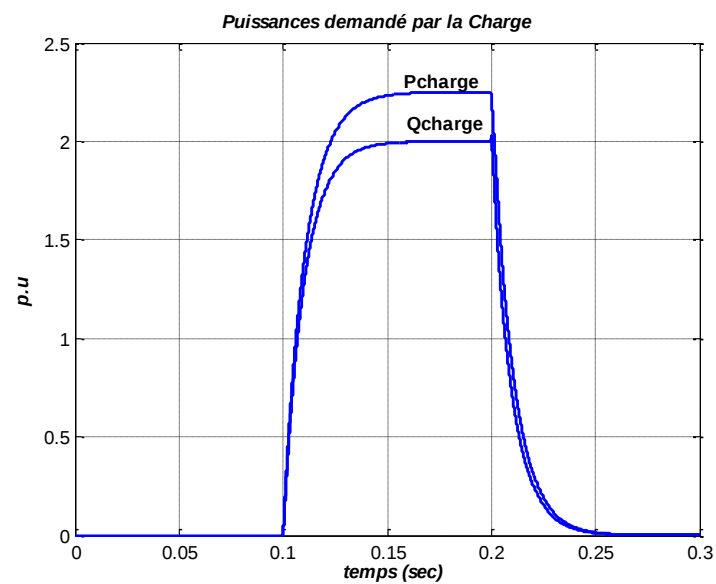
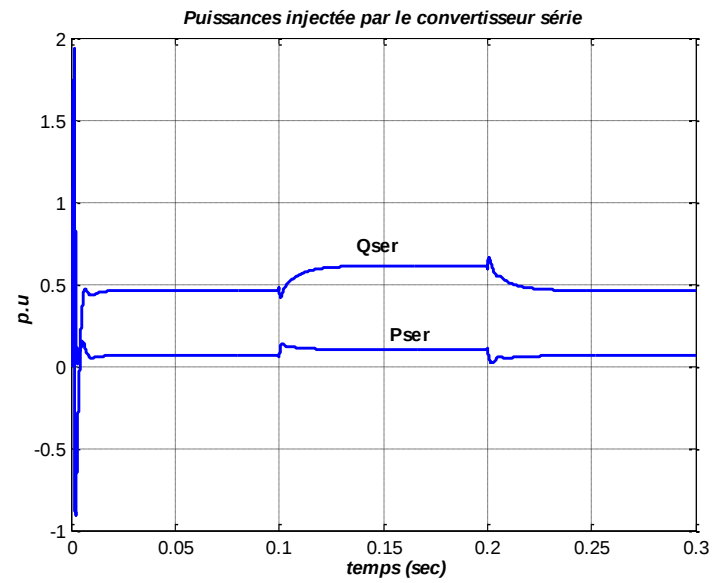
Figure III.13: Résultats des simulations pour le contrôle de la puissance dans la ligne

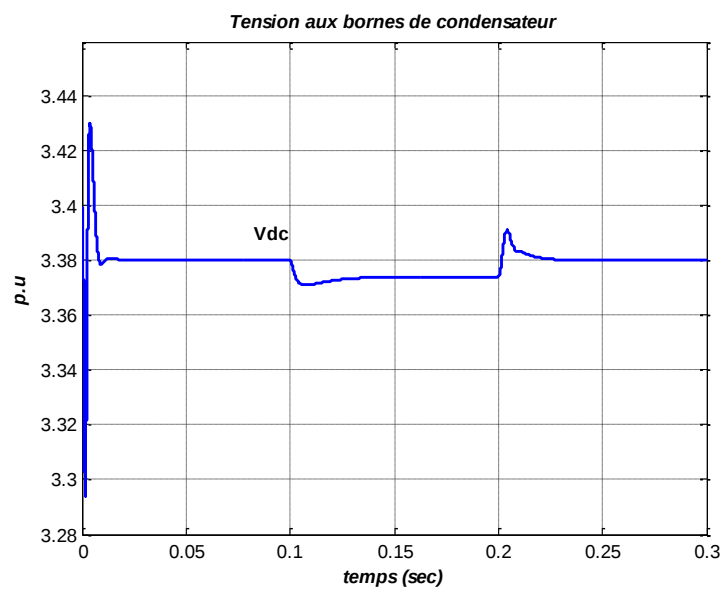
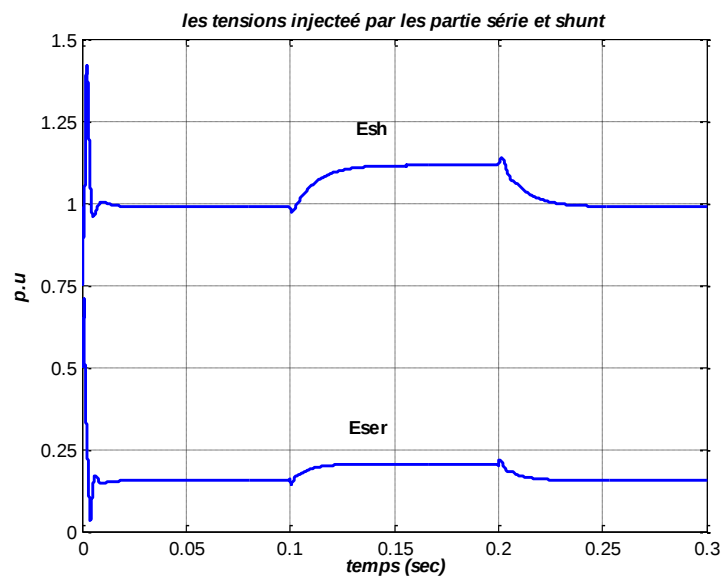
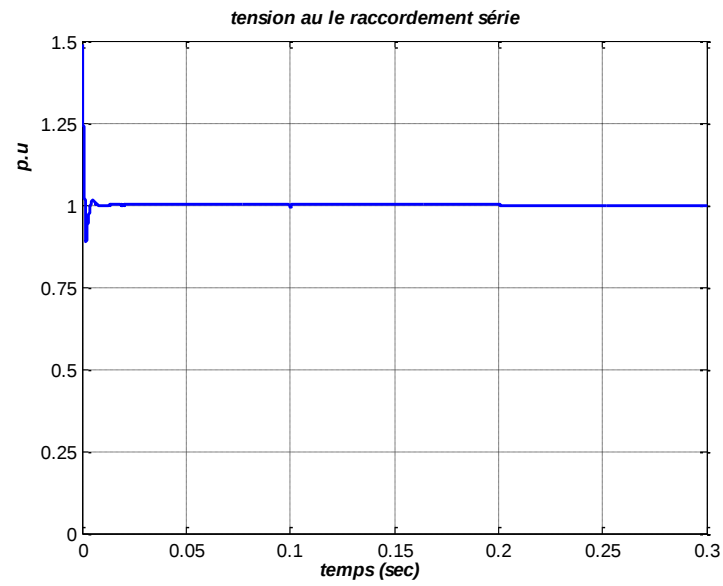
Nous remarquons que la puissance active suivent leurs consignes, cela valide le bon fonctionnement des régulateurs de la partie série. Grâce aux régulateurs de la partie parallèle, la tension au point de raccordement ainsi que celle aux bornes du condensateur restent constantes. En effet, la partie parallèle injecte (ou consomme) de la puissance réactive de manière à ce que la tension du réseau reste constante.

Afin de teste la stabilité sur la puissance active transitée dans la ligne, sur l'UPFC, nous considérons un autre exemple. Nous considérons que les références est constante est identique à l'exemple précédent.

Dans ce cas, on faire une variation brusque dans la charge applique a l'instant $t=0.1$ s ($P_{ch}=2.25$ et $Q_{ch}=2$ p.u) et déconnecte cette charge a l'instant $t=0.2$ s comme indiqué sur la figure III.15.







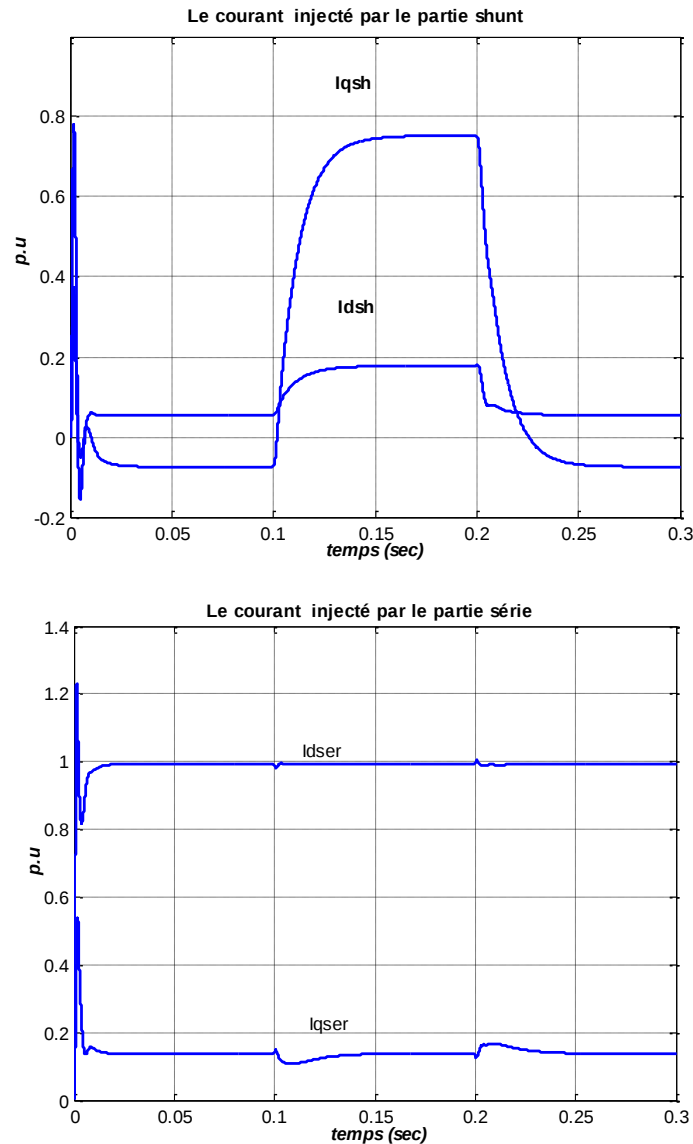


Figure III.14: Résultats des simulations de deuxième test pour le contrôle de la puissance dans la ligne

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons d'abord montré la structure de base et principe de fonctionnement d'un UPFC, nous avons développé le modèle mathématique du dispositif connecté au réseau de transport d'énergie électrique, nous avons vu ses différentes caractéristiques et son influence sur les puissances active et réactive qui transitent dans la ligne de transport, nous avons également choisi la méthode watt-var découplé pour identifier les référence du système de commande des deux parties, ensuite nous avons pris la méthode basée sur la MLI pour le contrôle des deux onduleurs de l'UPFC, on choisissant le régulateur PI avec compensation de pôles pour la partie shunt et pour la partie série. En fin nous avons calculé les coefficients des régulateurs utilisés.

Conclusion Générale

Nous avons présenté dans ce mémoire un aperçu sur la notion de stabilité, ses méthodes d'évaluation et les différents procédés d'amélioration et de commande. Parmi ces derniers, les dispositifs FACTS sont introduits d'une manière simple en précisant sa définition, son schéma représentatif ainsi que ses domaines d'application.

Dans ce travail, nous avons étudié par simulation numérique en utilisant le MATLAB à la modélisation, l'identification des références et l'élaboration de la dispositif et commande de l'UPFC afin d'améliorer la stabilité d'un réseau électrique, nous avons présenté au début la constitution générale des systèmes ainsi que les différentes stratégies de commande.

L' applications de l'UPFC sont prometteurs, depuis la zone d'opération implique un contrôle les paramètres des réseaux indépendant les tension, l'angle et l'impédance (la puissance active et réactive (stratégie P/Q) ou puissance active et le tension (stratégie P/V) dans la ligne de transmission).

Dans la partie modélisation nous avons établi le modèle mathématique de l'UPFC d'après la modélisation et la commande.

Nous avons opté pour la commande MLI (Modulation à Largeur d'Impulsion), car les puissances mises en jeu sont importantes, ce qui nécessite un contrôle de la fréquence des commutations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1].P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill Press 1994.
- [2]. R. Orizondo, and R. Alves, UPFC Simulation and Control Using the ATP/EMTP and MATLAB/Simulink Programs, IEEE PES Transmission and Distribution Conference, 2006.
- [3].T.K. Mok, Haoming Liu, Yixin Nia, Felix F. Wu, Ron Hui, Tuning the fuzzy damping controller for UPFC through genetic algorithm with comparison to the gradient descent training , Electrical Power and Energy Systems 27 (2005) 275–283
- [4].DZ Fang_ Xiaodong Yang, Design of UPFC Fuzzy-Logic Damping Controller Using the Strategy of Oscillation Energy Descent, International Journal of Emerging Electric Power Systems, Volume 6, Issue 2, Article 3, 2006.
- [5].Na He, Ruiye Liu, Dianguo Xu, The Study of UPFC Fuzzy Control with Self-adjustable Factor, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005.
- [6].SA Taher, R Hematti, A Abdolalipour, Low Frequency Oscillations Damping by UPFC with a Robust Fuzzy Supplementary Controller, Int. J. Elec. Power Eng, 2008.
- [7].SA Taher, R Hematti, Optimal Supplementary Controller Design Using GA for UPFC in Order to LFO Damping, Int. J. SofiComput, 2008..
- [8].A. E. Hammad, Analysis of power system stability enhancement by Static Var Compensator, IEE transactions in power systems, VOL. PWRS-1, No. 4, pp. 222-227, November1986.
- [9].Yvon Bésanger, VERS L'AMELIORATION DE LA SECURITE DES RESEAUX ELECTRIQUES DE PUISSANCE, l'Institut National Polytechnique de Grenoble, DECEMBRE 2006.
- [10].M. O. Sadegh, “control of power electronic devices (FACTS) to enhance power system stability”, PHD Thesis, Glasgow, March 2003.
- [11].Eskandar GHOLIPOUR SHAHRAKI, Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques, Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, Octobre 2003.
- [12].D. P. E. Lerch, L. Xu, Advanced SVC control for damping power system oscillations, IEE transactions on power systems, VOL. 6.pp. 524-535, 1991.
- [13].H. F. Wang, Effect of STATCOM on power system oscillations stability, 34th-Universities-Power-engineerig-Conference, Univ. Leicester, UK, Vol. 1, pp. 34-7, 1999.
- [14] L. Gyugui et al., Static Synchronous Series Compensator: A Solid- state approach to the Series Compensation of transmission line, IEEE trans. ON power delivery, Vol. 12, January 1997.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [15].L. Gyugui, A Unified Power Flow Control Concept for Flexible AC Transmission System', IEEE Proceedings-C, Vol. 139, 1992.
- [16]. R. J. Fleming and J. Sun , "An Optimal Multivariable Stabilizer For a Multi-Machine Plant ", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.5, No.1, March 1990.
- [17].Y. N. YU, Electric power system dynamics, New York academic Press, 1983.
- [18].A. F. Snyder, Inter-Area Oscillation Damping with Power System Stabilizers and Synchronized Phasor Measurements, Master's Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.
- [19]. A.A. El-Emary., Static VAr compensator, Synchronising torque coefficient, IEE Proceedings online no. 19960544, Paper first received 13th Decmber 1994 and in revised form 12th April1996.
- [20].D.E. Goldeberg, Genetic Algorithms in search, Optimization and Machine learing, Addison-Wesley, 1989.
- [21].T. Blicke and L. Thiele, A Comparison of Selection Schemes used in Genetic Algorithms, TIK-Report Nr. 11 (Version 2), December 1995, Switzzeland.
- [22].C.A. Coello, "An Empirical Study of Evolutionary Techniques for Multiobjective Optimization in Engineering Design", PHD. Dissertation, Department of Computer Science, Tulane University, 1996.
- [23].L. Gyugyi, K.K Sen and C.D. Schauder, "The Interline power flow concept: A new approach to power management in transmission systems", IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 14, No. 3, pp. 1115-1123, July 1999.
- [23].C.T. Chang and Y.Y. Hsu, "Design of controllers and supplementary damping controller for power transmission control and stability enhancement of a longitudinal power system" IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 149, No. 4, PP. 463-471, July 2002.