

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie électrique et Electronique

Spécialité : Réseaux Electrique

Présenté par : SOUID Salah Eddine

LAIB Nour Eddine

AYACHI AMOR Saci

Thème

**Modélisation de transformateur déphaseur
dans les réseaux électriques**

Devant la commission composé de :

Mr.	Khechkhouxhe Ali	MA (A)	Président
Mr.	Guia Talal	MA (A)	Membre
Mr.	GUEHRAR Youcef	MA (A)	Membre (Encadreur)
Md	Takouti Nassira	MA (B)	Membre

2010-2011

-Dédicaces

Je dédie ce travail de fin d'études :

A mes chers parents

A mes frères et sœurs

A mes collègues

A toutes mes amies

- Remerciements

avant tout on remercie dieu le tout puissant qui nous a donné le courage la patience, l'aide et volonté de réaliser ce modeste travail.

Nous exprimons toute notre gratitude à Monsieur le Professeur Y. GUEHRAR, pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi.

nous remercions aux enseignants du département Génie électrique.

Liste de figure

FIGURE	PAGE
Figure I-1 Transport de puissance	3
Figure I-2 Réseaux parallèles	4
Figure I-3 diagrammes des tensions des systèmes parallèles	5
Figure I-4 Interconnexion de deux réseaux	6
Figure I-5 Diagramme de charge d'un transformateur déphaseur	7
Figure I-6 Flux de puissance supplémentaire	10
Figure I-7 Flux de puissance actif	10
Figure I-8 Flux de puissance réactif	11
Figure II-1 Transformateurs déphaseurs symétriques à un noyau	13
Figure II-2 Diagramme vectoriel du triangle prolongé en T	15
Figure II-3 Schéma du triangle prolongé en T	15
Figure II-4 Diagramme vectoriel du Delta-hexagonal	15
Figure II-5 Schéma du Delta-hexagonal	15
Figure II-6 Transformateur déphaseur de deux-noyau	17
Figure II-7 Transformateur déphaseur en quadrature à deux parties actives - diagramme de connexion simplifié	18
Figure II-8 Diagramme vectoriel du transformateur déphaseur en quadrature à une partie active	18
Figure II-9 Schéma du transformateur déphaseur en quadrature à une partie active	18
Figure II-10 Diagramme vectoriel du transformateur déphaseur à module constant	19
Figure II-11 Schéma du transformateur déphaseur à module constant	19
Figure III-1 schéma bloc de demo Phasor Simulation of Delta-Hexagonal Phase Shifting Transformers	21
Figure III- 2 Bloc de Delta-hexagonal Phase Shifting Transformer	22
Figure III-3 Schéma de Connexions des enroulements de transformateur déphaseur	22
Figure III-4 Variation de déphasage comme fonction de la position de prise	24
Figure III-5 Boîte de dialogue et Paramètres de bloc Delta-hexagonal	

Phase Shifting Transformer (PST)	25
Figure III-6 Paramètres de PST utilisé dans le demo	27
Figure III-7 Schéma détaie de bloc Signal processing	29
Figure III.8 Résultats de simulation pour 1 ^{ier} cas	30
Figure III-9 Résultats de simulation pour 2 ^{ième} cas	32
Figure III-10 Résultats de simulation pour 3 ^{ième} cas	33

ملخص:

بصفة عامة, استخدام المحولات الكهربائية مغيرة الطور (PST) مسجل ضمن مشكلة تحسين كفاءة الشبكات الكهربائية. الاستعمال الأكثر شيوعا لهذا الجهاز هو السيطرة على تدفق الطاقة الفعالة في شبكات الطاقة الكهربائية بين نقطتين.

يمكن أن يكون المحول (PST) من جزء فعال أو جزئين فعالين مع ضبط متناظر أو غير متناظر.

Résumé:

De manière générale, l'utilisation des transformateurs déphaseurs PST s'inscrit dans une problématique d'optimisation du réseau existant. L'application la plus usuelle de ces appareils est de contrôler le transit de puissance active entre deux points dans les réseaux électriques.

Le PST peut être à une parties actives ou deux partie actives et en réglage symétrique ou non symétrique.

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I

Transformateur déphaseur et transport de puissance

Introduction	2
I-1-Transport de puissance	2
I-2-Principe	3
I-3-Diagramme de charge d'un transformateur déphaseur:	6
Conclusion.....	11

Chapitre II

Types de transformateurs déphaseurs

Introduction	12
II-1-T-types des transformateurs déphaseurs	12
II-1-1-Aspects Généraux	12
II -1-2-Conception à un partie active.....	14
II -1-2-1-Triangle prolongé en T	15
II-1-2-2-Delta-hexagonal.....	15
II-1-2-3 Caractéristiques communes	16
II-1-3- Conception de Deux-partie active.....	16
II-1-3-1 Transformateur déphaseur en quadrature	17
II-1-3-2-Transformateur déphaseur à module constant.....	19
Conclusion.....	20

Chapitre III

Simulation

Introduction	21
III-1-Description de circuit	21
III-1-1-Schéma block.....	21
III-1-2-Description de bloc Delta-hexagonal Phase Shifting Transformer (PST)...	21
III-1-2-1-Connexions de transformateur déphaseur Delta-Hexagonales.....	22
III-1-2-2-Boîte de dialogue et Paramètres	25
III-1-2-3-Entrées et sorties	27
III-2-Démonstration.....	29

III-2-1-Contrôle de boucle ouverte de transfert de puissance	29
III-3-Visualisation et discussions des résultats	30
III-3-1-les deux réseaux en le même déphasage.....	30
III-3-1-1 1 ^{er} cas : les deux transformateurs en les mêmes Tap initial (0).....	30
III-3-1-2 2 ^{ème} cas : les deux transformateurs en pas les mêmes Tap initial	31
III-3-2-3 ^{ème} cas : les deux réseaux en pas le même déphasage	32
Conclusion	33
Conclusion générale	34
Références bibliographique	34

Introduction générale

La nécessité de commander le flux de puissance a augmenté tôt dans l'histoire du développement des réseaux électriques. Quand les réseaux à haute tension sont superposés aux réseaux locaux, les réseaux connectés en parallèles ou les lignes de transmission de différents niveaux de tension deviennent standard. De nos jours, des grands réseaux électriques à haute tension sont connectés pour augmenter la stabilité de ces réseaux et au même temps permettre l'échange d'énergies électriques entre eux. Complications, attribuées à plusieurs facteurs tels que la variation de la production d'électricité et/ou l'appelle de puissance, qui peut surgir et doit être traitée pour éviter potentiellement les perturbations catastrophiques. Des outils supplémentaires dans la forme des transformateurs déphaseurs (phase-shifting transformers (PSTs)) sont disponibles pour commander le flux de puissance pour stabiliser les réseaux. Celles-ci peuvent être justifiées pour maintenir la qualité d'alimentation des réseaux électriques exigée.[1]

De manière générale, l'utilisation des transformateurs déphaseurs s'inscrit dans une problématique d'optimisation du réseau existant. L'application la plus usuelle de ces appareils est la régulation de transit de puissance active sur les lignes. Mais il existe également des conceptions innovantes offrant d'autres fonctionnalités que la simple régulation de transit de puissance active. Il est ainsi possible d'associer à la fonction déphasage une fonction réglage de tension, ou une fonction de raccordement entre deux réseaux de tensions différentes (autotransformateurs déphaseurs).[2]

L'objet du présent rapport est d'illustrer une petite étude bibliographique sur les transformateurs déphaseurs. Pour cela, nous avons organisé ce travail en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, Nous présentons le principe de fonctionnement de PST et le transfert de puissance.
- le deuxième chapitre identifie les types de transformateur déphaseur.
- Dans le troisième chapitre, nous simulons et discuterons un exemple de transfert de puissance basé sur un type de transformateur déphaseur utilisant Matlab Simulink.

Chapitre I

Transformateur déphaseur et transport de puissance

Introduction

Sur les réseaux interconnectés, on installe parfois une ligne de transport additionnelle afin de satisfaire les besoins d'énergie d'une région en croissance. Dans d'autres cas, on a recours à une ligne supplémentaire pour améliorer la stabilité générale du réseau. Dans ces circonstances, on doit utiliser des méthodes spéciales pour que la ligne ajoutée transporte la charge voulue.

La solution est d'introduire Un autotransformateur à déphasage qu'est un transformateur triphasé spécial qui change l'angle entre la ligne d'entrée et la ligne de sortie, sans en changer le rapport de transformation.

Donc, le principe de transfert de puissance utilisant le transformateur déphaseur est le l'objet de ce chapitre. [1]

I-1-Transport de puissance:

Pour transporter une puissance électrique entre deux points d'un réseau, une différence entre les valeurs efficace de la tension de source (V_s) et la tension de charge (V_L) et/ou l'angle de phasage est nécessaire. Utilisant la notation de la figure I-1, on a : [2]

$$\bar{Z} = R + jX = Z \times e^{j\gamma_z} \quad (\text{I-1})$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\text{I-2})$$

$$\gamma_z = \arctan\left(\frac{X}{R}\right) \quad (\text{I-3})$$

$$\bar{V}_s = V_s \times (\cos \gamma_s + j \sin \gamma_s), \quad \bar{V}_L = V_L \times (\cos \gamma_L - j \sin \gamma_L) \quad (\text{I-4})$$

$$\Delta \bar{V} = \bar{V}_s - \bar{V}_L \quad (\text{I-5})$$

$$\Delta \bar{V} = (V_s \times \cos \gamma_s - V_L \times \cos \gamma_L) + j(V_s \times \sin \gamma_s - V_L \times \sin \gamma_L) = \Delta V \times e^{-j\gamma_\Delta} \quad (\text{I-6})$$

$$\Delta V = \sqrt{V_s^2 - 2 \times V_s \times V_L \cos(\gamma_s - \gamma_L) + V_L^2} \quad (\text{I-7})$$

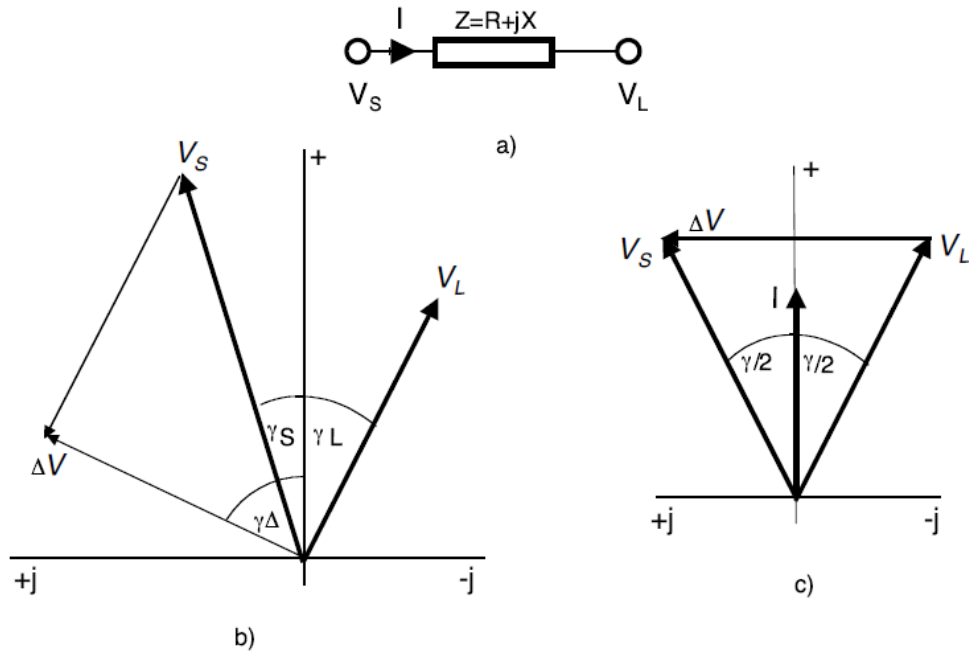


Figure I- 1 Transport de puissance

$$\gamma_{\Delta} = \arctan\left(\frac{V_S \times \sin \gamma_S - V_L \times \sin \gamma_L}{V_S \times \cos \gamma_S - V_L \times \cos \gamma_L}\right) \quad (\text{I-8})$$

$$\bar{I} = \frac{\Delta V}{Z} \times e^{j(\gamma_{\Delta} - \gamma_Z)} \quad (\text{I-9})$$

Pour les conditions symétriques (figure I-1-c)

$V_S = V_L = V$, et $\gamma_S = \gamma/2$, et $\gamma_L = -\gamma/2$, $R \ll X$, donc

$$\Delta V = 2V \times \sin(\gamma/2) \quad (\text{I-10})$$

$$\gamma_{\Delta} = \pi/2 \quad (\text{I-11})$$

$$I = \frac{2V \times \sin(\gamma/2)}{X} \quad (\text{I-12})$$

I-2-Principe:

En raison du caractère inductif de réseau électrique, un flux de puissance actif entre la source et la charge doivent être accompli avec un retard de phase entre les terminaux. Les transformateurs déphaseurs sont des outils préférés pour atteindre ce but. Deux configurations principales sont d'intérêt particulier: (1) flux de puissance entre les réseaux de transmission fonctionnant en parallèle où un réseau inclut un PST et (2) là où

une ligne de transmission simple qui inclut un PST se relie deux réseaux indépendants.

Ce dernier est en fait un cas particulier du premier, mais il est devenu plus important de nos jours pour l'interconnexion de grands réseaux. Pour les considérations suivantes, on le suppose que la résistance R est petite comparée à la réactance X et ainsi a été

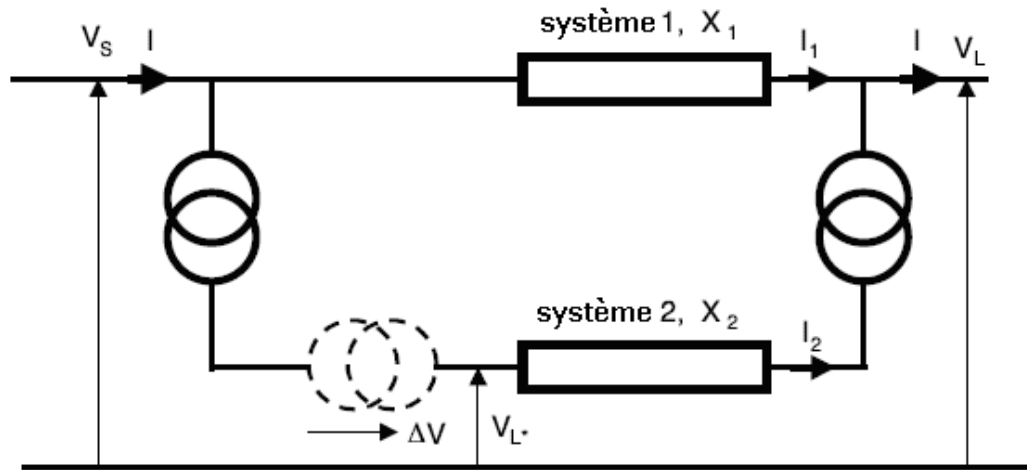


Figure I- 2 Réseaux parallèles

Une situation pratique de base est que l'emplacement où la puissance est nécessaire (côté de charge) est relié au côté de source par deux réseaux qui n'ont pas nécessairement avoir le même niveau de tension (Voir la figure I-2). Sans mesure supplémentaire, les courants I_1 et I_2 seraient distribués proportionnellement au rapport des impédances des réseaux,

$$I_1 = I \times X_2 / (X_1 + X_2)$$

$$I_2 = I \times X_1 / (X_1 + X_2) \quad (I-13)$$

et dans ce cas, il n'y a aucun doute que le réseaux 2 prendrait seulement une petite partie de la charge en raison des impédances supplémentaire des deux transformateurs dans cette branche. Si le flux de puissance dans le réseau 2 est augmenté, une tension supplémentaire ΔV doit être présentée pour compenser la chute de tension accrue dans le réseau 2. Présument que la puissance active devrait être fourni à la charge et vu le caractère inductif des réseaux, cette tension doit avoir un retard de phase 90° aux

tensions de la ligne-à-terre du réseau (V_L). En principe, la source de ΔV peut être installée dans chacun des deux réseaux. (La figure I-3) montre les diagrammes de tension des deux cas. (La figure I-3-a) correspond à (la figure I-2) avec le PST installé dans le réseau 2, le réseau avec le plus à grande impédance. La tension supplémentaire ramène la chute de tension dans le réseau 2 à cela du réseau 1.

La tension sur le côté secondaire de PST V_{L^*} est en avance de la tension d'entrée V_S . Par définition, ceci s'appelle avance de phase. Si les PST étaient installés dans le réseau 1 (figure I-3-b), la tension supplémentaire augmenterait la chute de tension à celle du réseau 2. Dans ce cas, La tension côté charge V_{L^*} est en retard de la tension côté source et c'est défini comme retard de phase. À partir des diagrammes on constate qu'un avance de phase réduit au minimise l'angle total entre la source et la charge.[2]

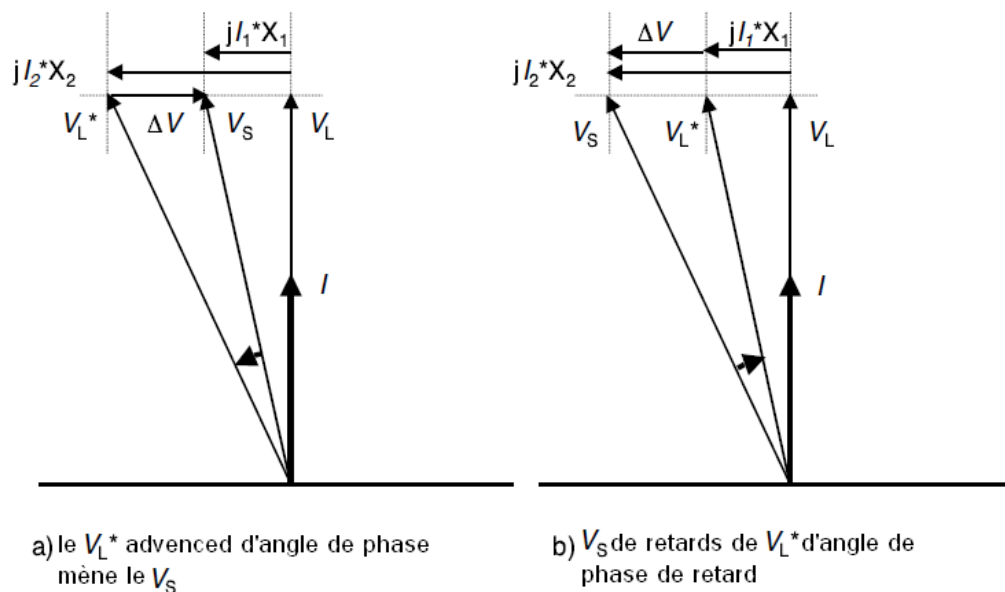
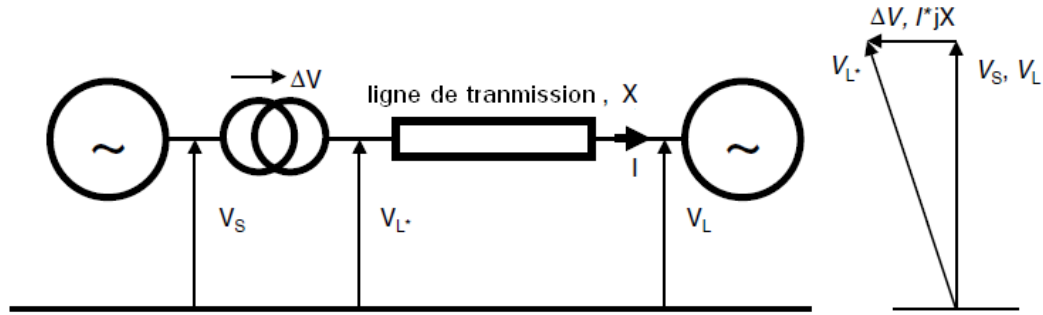


Figure I- 3 Diagrammes des tensions des systèmes parallèles

La deuxième application importante est l'utilisation d'un PST pour commander le flux de puissance entre deux grands réseaux indépendants (la figure I-4). Une avance de phase est nécessaire pour réaliser un écoulement de puissance active de réseau 1 à réseau 2. [2]



$$\bar{V}_S + \Delta \bar{V} - \bar{I} \times jX - \bar{V}_L = 0$$

Pour

$$V_S = V_L = V$$

Donc

$$\Delta \bar{V} - \bar{I} \times jX = 0$$

Figure I- 4 Interconnexion de deux réseaux

I-3-Diagramme de charge d'un transformateur déphaseur:

Jusqu'ici, le transformateur déphaseur a été considéré comme une boîte noire dans une condition à vide, et seulement son effet déphasage a été discuté. Maintenant le déphasage est tout à fait un état normal pour un transformateur et peut être trouvé dans chaque transformateur qui incorpore des différentes connections des enroulements primaires et secondaires.

Le transformateur déphaseur se fonctionne entre les réseaux ayant la même fréquence et l'ordre de phase. Les tensions peuvent différer dans amplitude et l'angle de phase. Pour développer le diagramme de charge d'un transformateur déphaseur, l'unité doit être fractionnée dans deux parties: celui présentant un transformer idéal sans pertes, qui accomplit le déphasage, et l'autre qui est un transformateur avec un rapport 1:1 et une impédance équivalente (figure I-5-a).

On commence de développer le diagramme sur le côté de charge, où la tension V_L et I_L actuelle sont connues. Ajoutant la chute de tension, $I \times R_T + I \times jX_T$, à la tension

V_L résultant la tension V_{L^*} , qui est une tension interne, non mesurable, du transformateur déphaseur. Cette tension est tournée dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens contraire, et en conséquence les tensions de source $V_{S,retard}$, ou $V_{S,avance}$, sont obtenus, qui est nécessaire pour produire la tension V_L et I_L actuelle sur le côté de charge. L'angle α détermine le déphasage à vide, soit comme angle de déphasage en retard $\alpha_{(r)}$ ou comme angle de déphasage en avance $\alpha_{(a)}$. Sous aucune charge, les tensions V_L et V_{L^*} sont identiques, mais à charge, V_{L^*} est décalé par la phase β de la charge. Comme résultat, les angles de phase à vide sont pas les mêmes comme à charge. L'angle de déphasage en avance est réduit au $\alpha_{(a)}^*$, tandis que l'angle de déphasage en retard est augmenté jusqu'au $\alpha_{(r)}^*$. L'angle de phasage en avance à charge est donné par :

$$\alpha_{(a)}^* = \alpha_{(a)} - \beta \quad (\text{I-14})$$

et L'angle de phasage en retard à charge est donné par :

$$\alpha_{(r)}^* = \alpha_{(r)} + \beta \quad (\text{I-15})$$

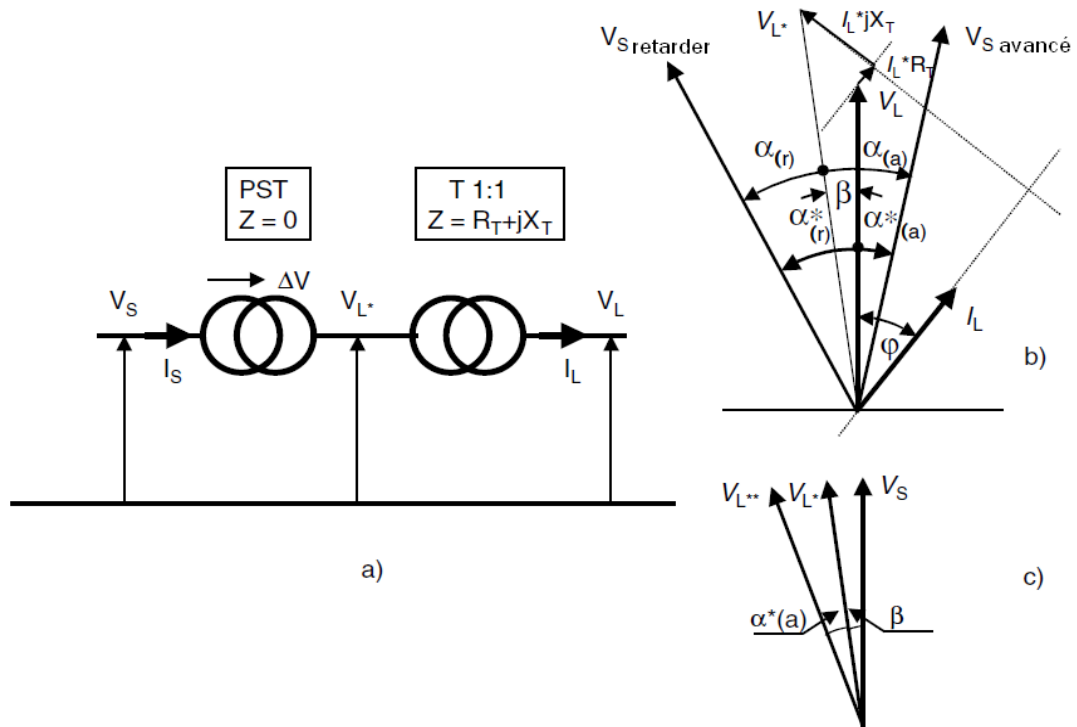


Figure I- 5 Diagramme de charge d'un transformateur déphaseur

Cela est très important pour le fonctionnement d'un transformateur déphaseur. Puisque l'angle de phase détermine la tension à travers la PST, une augmentation de l'angle de phase de la charge en retard signifierait que le PST est surexcité ; donc l'angle de déphasage de la charge en retard devrait être limité avec l'angle à vide. L'angle de charge β peut être calculé à partir :

$$\beta = \arctan\left(\frac{z_T \times \cos \gamma_z}{100 + z_T \times \sin \gamma_z}\right) \quad (\text{I-16})$$

Là où toutes les quantités sont en per unité (p.u.) et z_T = impédance de transformateur.

En réalité, le transformateur déphaseur n'influe pas sur la tension de source ni sur la tension côté charge parce que on le présume que les réseaux sont stables et ne seront pas influencés par le flux de puissance. Ceci signifie que V_s et V_L coïncident et V_{L*} serait décalé par $\alpha^*_{(a)}$ à V_{L**} (figure 1-5-c).

Les tensions (V_s) de la source et (V_L) de la charge sont considérées constante, c.-à-d., ne sont pas influencée par la puissance transférée, et ils ont le même fréquence mais pas nécessairement la même amplitude et la même déphasage. Pour calculer le flux de puissance on l'a supposé que les tensions ($\bar{V}_s$) et ($\bar{V}_L$) et l'impédance (Z) sont connus.

$$V_s = V_s \times (\cos \gamma_s + j \sin \gamma_s) \quad (\text{I-17})$$

$$V_L = V_L \times (\cos \gamma_L + j \sin \gamma_L) \quad (\text{I-18})$$

$$Z = jX \quad (\text{I-19})$$

Alors le courant devient

$$I_L = \frac{1}{Z} \times (V_s - V_L) = \frac{1}{X} \times ((V_s \times \sin \gamma_L - V_L \times \sin \gamma_L) - j(V_s \times \cos \gamma_s - V_L \times \cos \gamma_L)) \quad (\text{I-20})$$

Et la puissance à la source (S_s) et à la charge (S_L) peut être calculée en multipliant la tension respective avec le courant complexe conjugué :

$$S_s = \frac{V_s}{X} \times V_L \times \sin(\gamma_s - \gamma_L) + j \frac{V_s}{X} \times (V_s - V_L \times \cos(\gamma_s - \gamma_L)) \quad (\text{I-21})$$

$$S_L = \frac{V_s}{X} \times V_L \times \sin(\gamma_s - \gamma_L) + j \frac{V_s}{X} \times (V_s \times \cos(\gamma_s - \gamma_L) - V_L) \quad (\text{I-22})$$

Puisqu'une simple impédance inductive a été assumée, seulement la puissance réactive change. Conditions symétriques $V_s = V_L = V$, $\gamma_s = 0$, and $\gamma_L = -\gamma$) sont très communes:

$$S_s = \frac{V^2}{X} \times (\sin \gamma + j(1 - \cos \gamma)) = \frac{2V^2 \times \sin(\gamma/2)}{X} \times (\cos(\gamma/2) + j \sin(\gamma/2)) \quad (I-23)$$

$$S_L = \frac{V^2}{X} \times (\sin \gamma - j(1 - \cos \gamma)) = \frac{2V^2 \times \sin(\gamma/2)}{X} \times (\cos(\gamma/2) - j \sin(\gamma/2)) \quad (I-24)$$

Cette solution peut être considérée comme charge de base ($S_{L0} = P_0 + jQ_0$) qui existe seulement quand la grandeur et/ou l'angle de phase des tensions de source et de charge sont différents. Si un PST est installé dans ce circuit avec un angle avancé α de déphasage la charge transférée peut être calculée par $\alpha + \gamma$ de substitution comme angle et ajouter l'impédance déphaseur X_T de transformateur au X . En présentant la charge de base dans le résultat, le flux de puissance peut être calculé en fonction du α

$$P_L(\alpha) = P_{L0} \times \cos \alpha - Q_{L0} \times \sin \alpha + \frac{V^2}{X} \times \sin \alpha \quad (I-25)$$

$$Q_L(\alpha) = P_{L0} \times \sin \alpha + Q_{L0} \times \cos \alpha + \frac{V^2}{X} (1 - \cos \alpha) \quad (I-26)$$

Le schéma I-6 montre la variation du flux de puissance supplémentaire pour des conditions symétriques, pas précédent chargez, l'impédance constante X , et la charge supplémentaire maximum 1 p.u. ($P_0 = Q_0 = 0, V^2 / X = 1$). Comme peuvent être vus de l'équation I-25 et l'équation I-26 et le schéma I-6, un simple flux de puissance ohmique n'est pas possible dans le cas symétrique.

Dans la figure I-7 et la figure I-8, la variation de tout le flux de puissance avec l'angle de déphasage est tracé pour 1 charge supplémentaire de p.u et impédance constante, selon différentes charges précédentes. Le transfert le plus efficace de puissance active peut être obtenu dans le cas d'une charge capacitive.

Un autre problème est la détermination de la différence nécessaire de tension (valeur et angle) quand V_s , la charge $S_0 = P_0 + jQ_0$, et l'impédance X sont connues : [2]

$$V_L = \sqrt{\frac{V_s^2 - 2Q_0 \times X}{2}} + \sqrt{\left(\frac{V_s^2 - 2Q_0 \times X}{2}\right)^2 - (P_0^2 + Q_0^2) \times X^2} \quad (I-27)$$

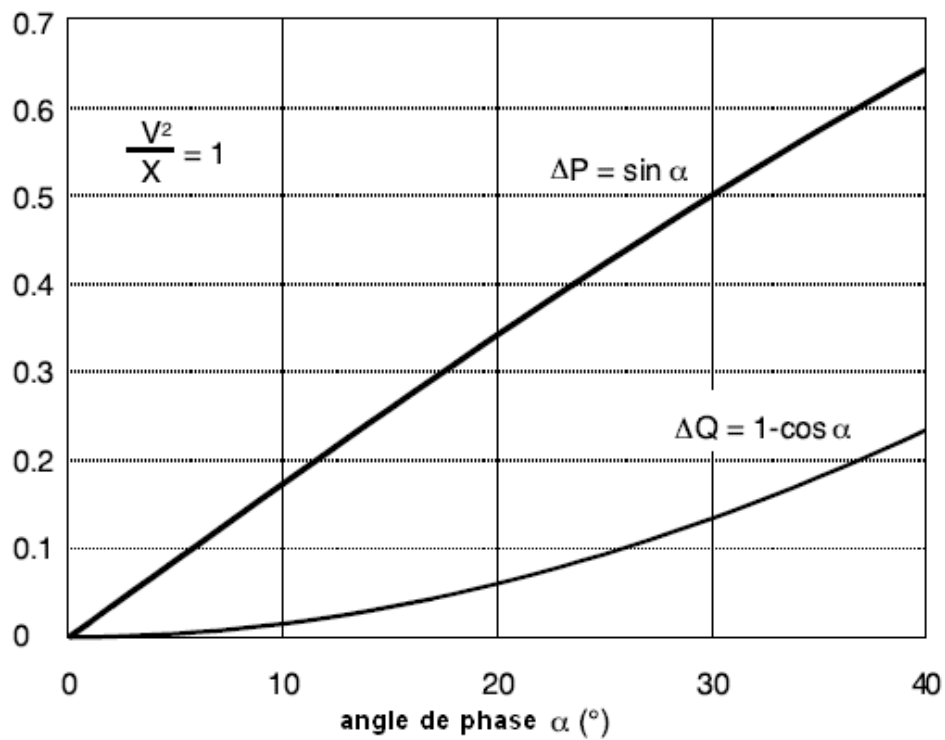


Figure I-6 Flux de puissance supplémentaire

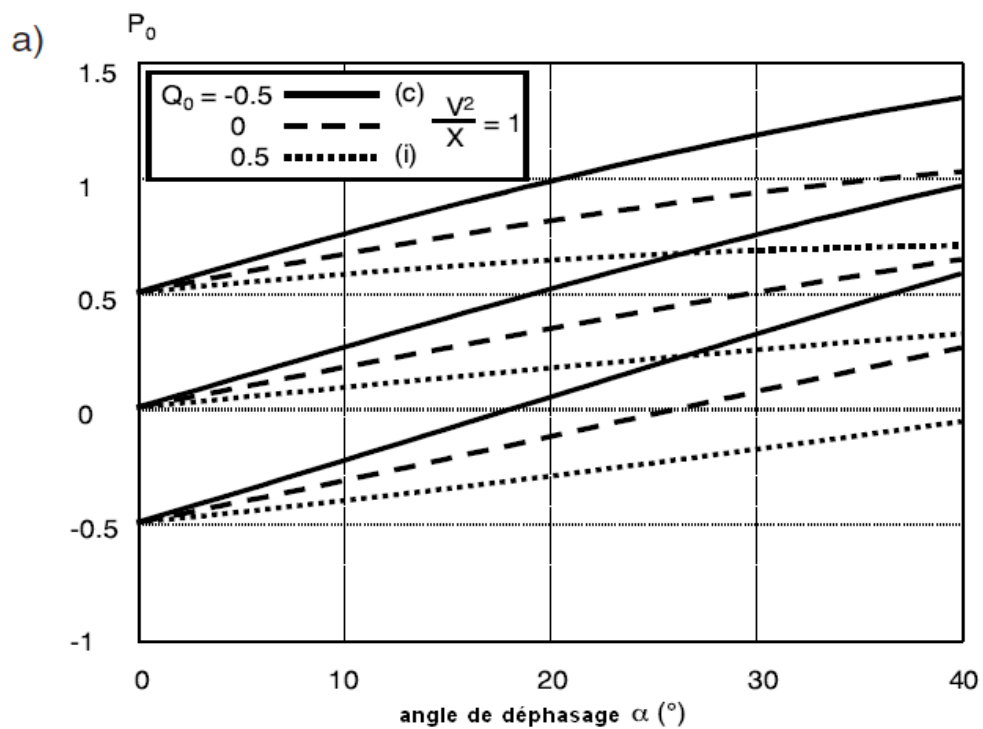


Figure I-7 Flux de puissance actif

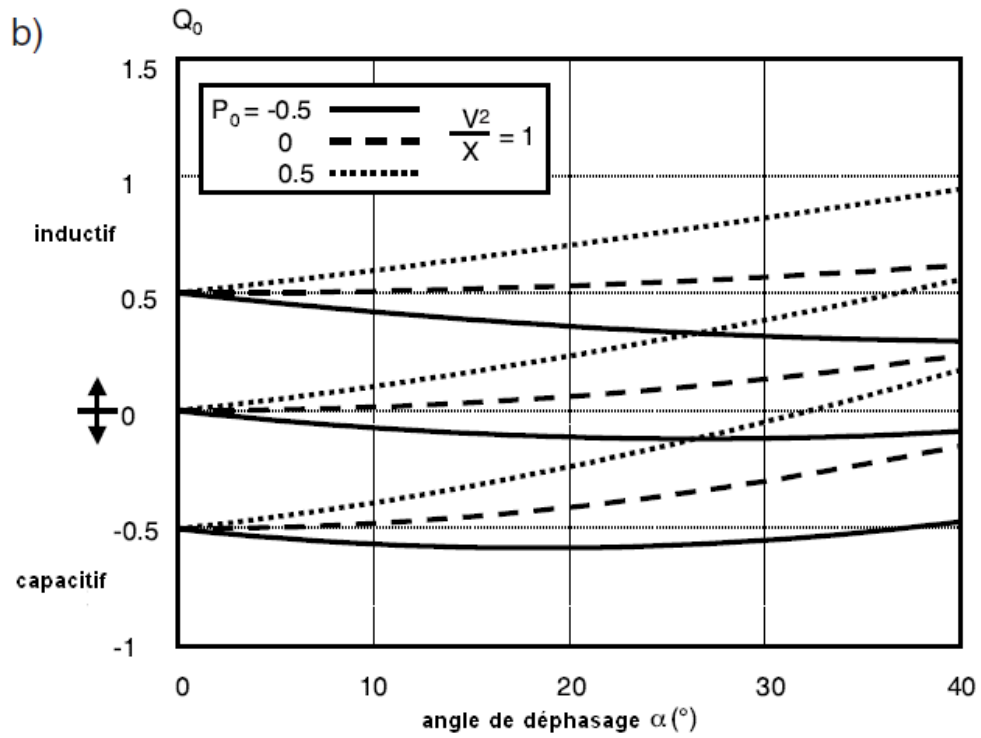


Figure I-8 Flux de puissance réactif

$$V_{LA} = V_S \times V_L^2 \times \frac{V_L^2 + Q_0 \times X}{(P_0 \times X)^2 + (V_L^2 + Q_0 \times X)^2} \quad (I-28)$$

$$V_{Lr} = -V_S \times V_L^2 \times \frac{P_0 \times X}{(P_0 \times X)^2 + (V_L^2 + Q_0 \times X)^2} \quad (I-29)$$

$$\gamma_L = \arctan \frac{-P_0 \times X}{(P_0 \times X)^2 + (V_L^2 + Q_0 \times X)^2} \quad (I-30)$$

Conclusion

La demande croissante d'énergie électrique, l'interconnexion et la fiabilité des réseaux ainsi que la difficulté à construire de nouvelles lignes conduira les opérateurs à se tourner vers des nouveaux matériels pour réguler les flux de puissances tels que transformateurs déphaseurs et réactances série.[3]

Chapitre II

Types de transformateurs déphaseurs

Introduction

Il existe une grande variété de transformateurs déphaseurs permettant d'atteindre de nombreux objectifs. Tous sont basés sur le même principe qui vise à introduire en série sur une ligne électrique une tension constituée d'une combinaison des tensions de ligne. Selon la manière de créer cette tension en série, il est possible de définir deux principales catégories de transformateurs déphaseurs en fonction, non pas de leurs performances, mais de leur construction: les transformateurs déphaseurs à une partie active et ceux à deux parties actives.

Pour les deux types, cependant, il est parfois envisageable d'installer soit deux appareils de puissance moitié et de plein angle en parallèle, soit deux appareils de pleine puissance et d'angle moitié en série. Ces deux configurations permettent d'atteindre des objectifs différents en termes de gestion du réseau pendant les indisponibilités dues aux opérations de maintenance.[4]

II-1-Types des transformateurs déphaseurs:

II-1-1-Aspects Généraux:

Le principe général pour obtenir un déphasage est basé sur la connexion d'un segment d'une phase avec une autre phase. Pour obtenir une tension supplémentaire ΔV avec angle de 90° , l'utilisation de l'enroulement connecté en triangle offre la solution la plus simple. (La figure II-1) montre une disposition possible et elle est utilisée pour présenter quelques uns des définitions de base. L'enroulement secondaire de la phase $V_2 - V_3$ est fractionné en deux moitiés et elle est reliée en série avec la phase V_1 . En concevant cet enroulement comme enroulement de régulation et à l'aide des commutateurs de prise en charge (on-load tap changers OLTC), ΔV et l'angle de déphasage peuvent être changés en charge. Le diagramme de vectorielle de Fresnel a été tracé pour des états à vide, c.-à-d., sans considérer la chute de tension dans l'unité. Il devrait également noter que les courants dans les deux moitiés de l'enroulement en série ne sont pas en phase. C'est différent des transformateurs de puissance normaux.

Du diagramme de connexion (figure II-1-a), les équations suivantes peuvent être dérivées :

$$V_{S1} = V_{10} + (\Delta V_1 / 2) \quad (\text{II-1})$$

$$V_{L1} = V_{10} - (\Delta V_1 / 2) \quad (\text{II-2})$$

$$\Delta V_1 = V_{S1} - V_{L1} \quad (\text{II-3})$$

Dans le diagramme de phase (Figure II-1-b) suit ($V_{S1} = V_{L1} = V$) :

$$V_{10} = V \times \cos(\alpha / 2) \quad (\text{II-4})$$

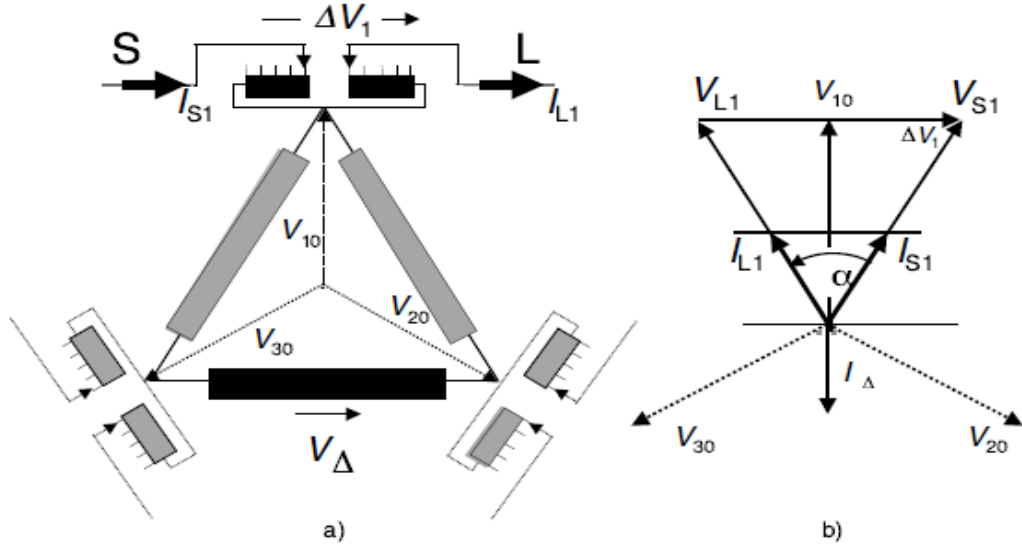


Figure II-1 transformateurs déphaseurs symétriques à un noyau

$$\Delta V = 2V \times \sin(\alpha / 2) \quad (\text{II-5})$$

$$V_{\Delta} = \sqrt{3}V \times \cos(\alpha / 2) \quad (\text{II-6})$$

et avec, $I_S = I_L = I$, la partie du courant qui est transféré à l'enroulement d'excitation

devient

$$I_{10} = \sqrt{3}I_{\Delta} \quad (\text{II-7})$$

$$I_{10} = 2I \times \sin(\alpha / 2) \quad (\text{II-8})$$

$$I_{\Delta} = I \times \frac{2}{\sqrt{3}} \times \sin(\alpha / 2) \quad (\text{II-9})$$

La puissance de sortie peut être calculée à partir

$$P_{\text{sys}} = 3V \times I \quad (\text{II-10})$$

Et la puissance nominale, qui détermine la taille des transformateurs déphaseurs,

devient

$$P_T = 3\Delta V \times I = P_{\text{sys}} \times 2 \sin(\alpha / 2) \quad (\text{II-11})$$

Une troisième puissance (P_{Δ}) est la puissance qui est transférée vers le circuit secondaire. Cette puissance est différente de P_T parce qu'une partie du courant primaire

est compensée entre les deux parties d'enroulement en série lui-même. Dans des conceptions de deux-noyau (voir l'équation II-3), cette puissance détermine également la capacité nécessaire de l'OLTC.

$$P_{\Delta} = V_{\Delta} \times I_{\Delta} = \frac{1}{3} P_{sys} \times \sin \alpha \quad (II-12)$$

En plus de la puissance transférée, l'angle de déphasage est également important. Un angle de déphasage de 20° signifie que le transformateur déphaseur doit être conçu pour 34,8% de la puissance de sortie, et un angle de 40° exigerait 68,4%. À cet égard, il doit considérer que l'angle efficace de déphasage sous la charge est plus petit que l'angle à vide de déphasage. Dans le cas optimum quand le facteur de puissance de charge est proche de 1, une impédance de transformateur déphaseur de 15% réduirait l'angle de déphasage de charge par 8,5° (équations I-14 et I.16). Dans la pratique, les solutions diverses sont possibles pour concevoir un transformateur déphaseur. Les facteurs principaux influençant le choix sont:

- La puissance et le déphasage de sortie requise
- facteur de transformation de tension
- Capacité de court-circuit des réseaux connectés
- Limitations d'exploitation de réseaux
- Spécification de performances de commutateur OLTC

En outre, les préférences d'un fabricant le type de transformateur (noyau ou coquille) ou le type des enroulements et d'autres caractéristiques de conception peuvent également jouer un rôle. Selon l'estimation, des conceptions simples ou de deux noyaux sont employées. Les conceptions de Deux noyau peuvent exiger un réservoir ou deux réservoirs.[2]

II -1-2-Conception à un partie active:

Ces appareils très répandus en faible tension et faible puissance se déclinent en plusieurs versions, qui chacune existe en réglage symétrique ou non symétrique.

Le réglage symétrique permet d'avoir à vide un module de la tension de sortie égale à celui de la tension d'entrée, alors que la tension de sortie des déphaseurs non symétriques évolue en fonction de l'angle de déphasage.

La figure II-2 et II-3 montre deux exemples de déphaseur à une partie active (Triangle prolongé en T et Delta-hexagonal).

II -1-2-1-Triangle prolongé en T:

Dans la connexion Triangle prolongé en T, le point milieu entre les deux enroulements de régulation est relié au sommet d'un enroulement connecté en triangle et enroulé sur la colonne opposée.

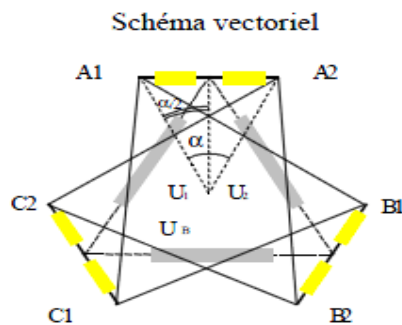


Figure II-2 Diagramme vectoriel du triangle prolongé en T

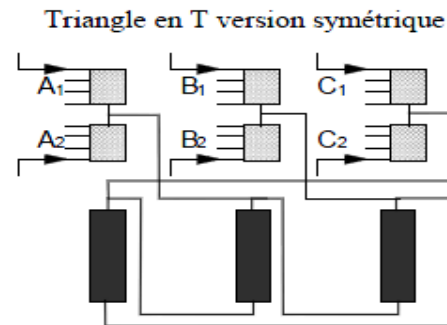


Figure II-3 Schéma du triangle prolongé en T

Les figures ci-dessus montrent un transformateur déphaseur à une partie active, symétrique, en triangle prolongé en T, et le diagramme vectoriel correspondant.

II-1-2-2-Delta-hexagonal:

Dans la structure delta-hexagonal, l'enroulement de régulation est inséré entre les côtés adjacents du triangle, ce qui lui donne la forme d'un hexagone irrégulier.

Les figures ci-après montrent la connexion de base d'un transformateur déphaseur delta hexagonal ainsi que son diagramme vectoriel.

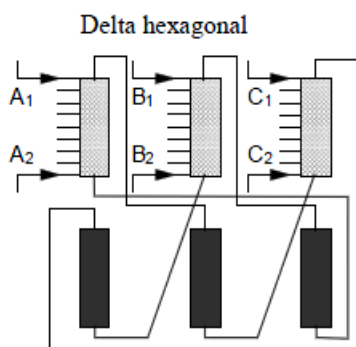


Figure II-4 Diagramme vectoriel du Delta-hexagonal

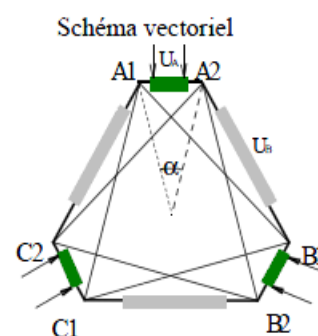


Figure II-5 Schéma du Delta-hexagonal

II-1-2-3 Caractéristiques communes:

La conception des transformateurs déphaseurs à une partie active est simple. La partie active a une puissance de dimensionnement fonction de la puissance traversant et de l'angle de déphasage maximal. Néanmoins ils ont l'inconvénient de nécessiter un changeur de prises en série dans la ligne. Cette exigence implique des restrictions dues aux limites technologiques des changeurs de prises.

Ces appareils présentent tous l'inconvénient d'avoir l'élément de réglage en série avec la ligne. Par conséquent deux points sont à prendre en considération :

pour des angles de déphasage faibles très peu de spires sont en série dans la ligne. Il en résulte de graves problèmes de tenue au court-circuit.

Le changeur de prises en charge (OLTC) en série avec la ligne doit être dimensionné pour le courant de court circuit de la ligne et pour son niveau diélectrique.[3]

II-1-3- Conception de Deux-partie active:

Le circuit le plus utilisé généralement pour une conception de deux-noyau est montré sur la figure II-6. Cette configuration se compose d'une unité de série et d'une unité principale. Pour de plus petites estimations et de plus basses tensions, des transformateurs déphaseurs de deux-noyau peuvent être construits dans un à réservoir unique, alors que de plus grandes estimations et des transformateurs déphaseurs de haute tension exigent une conception de deux-réservoir.

L'avantage d'une conception de deux-noyau est la flexibilité en choisissant la tension d'étape et le courant de l'enroulement de réglementation. Ceux-ci peuvent être optimisés en conformités avec la tension et les estimations actuelles de l'OLTC.

-Puisqu' les OLTC ont limité les courants et le pas des tensions par phase aussi bien que la capacité de commutation, elles sont les caractéristiques limitant principal pour le taux maximum possible de PSTs. Plus d'un OLTC par phase peuvent être utilisée pour les très grandes puissances. Jusqu'à une certaine puissance, OLTCs tripolaire peut être utilisé ; pour des puissances plus élevées, trois OLTCs mono polaires sont nécessaires. Le niveau d'isolation d'OLTC est indépendant de la tension de réseaux et peut être gardé bas.

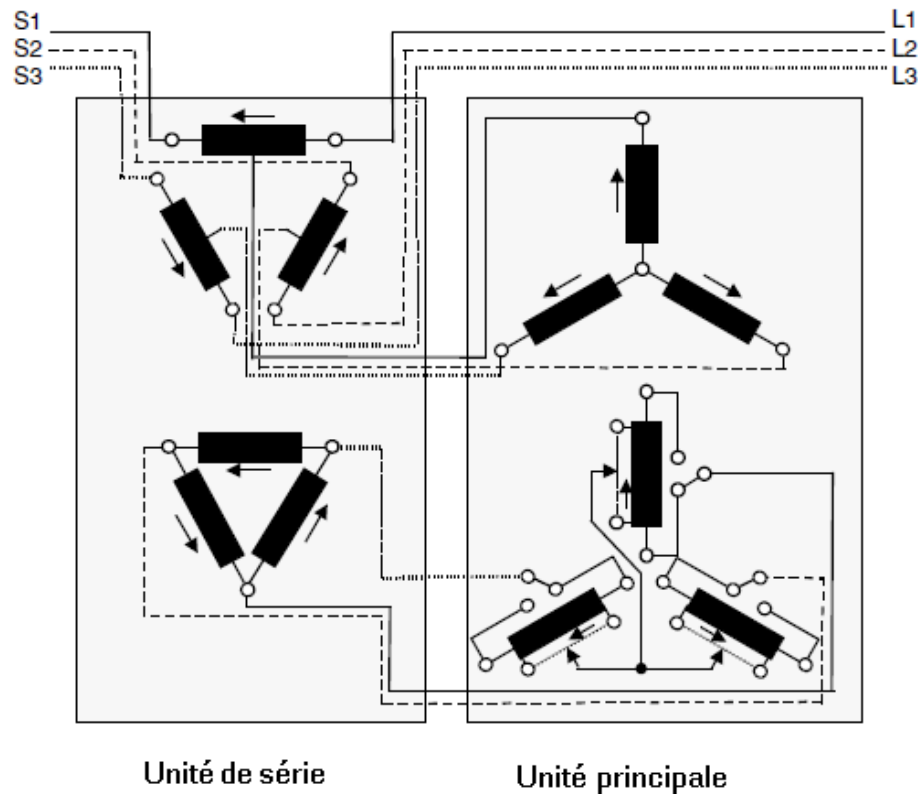


Figure II-6 Transformateur déphaseur de deux-noyau

L'impédance de circuit court est la somme des impédances principale et séries des transformateurs. Puisque l'impédance de l'unité série est constante et indépendante de l'angle de phase, l'unité peut être conçu pour autoprotection, et la variation de l'impédance avec l'angle de déphasage peut être gardée petit quand l'impédance de l'unité principale est gardé bas.[2]

II-1-3-1 Transformateur déphaseur en quadrature :

Les transformateurs de quadrature sont une combinaison d'un transformateur de puissance réglable ou l'auto - transformateur avec un transformateur déphaseur. Le PST, qui peut être d'une conception à un parie active ou à de deux- paries actives, est alimenté à partir du côté réglé du transformateur de puissance (la figure II-7). Par cette méthode, la tension de sortie peut être ajustée dans les relations de quatre-quadrants (amplitude et phase).[2]

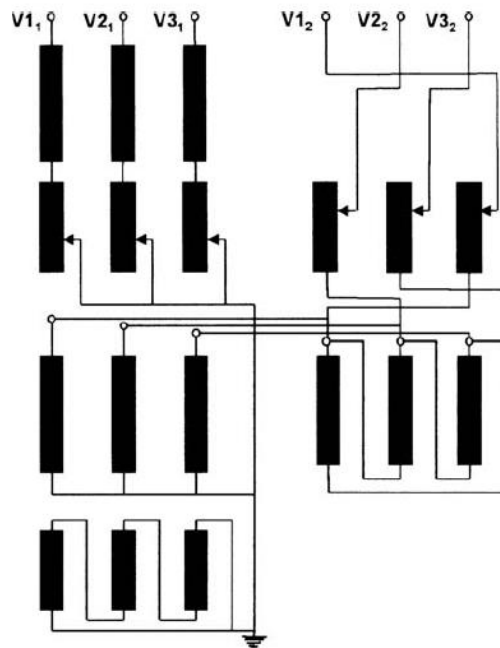


Figure II-7 Transformateur déphaseur en quadrature à deux paries actives -
diagramme de connexion simplifié.

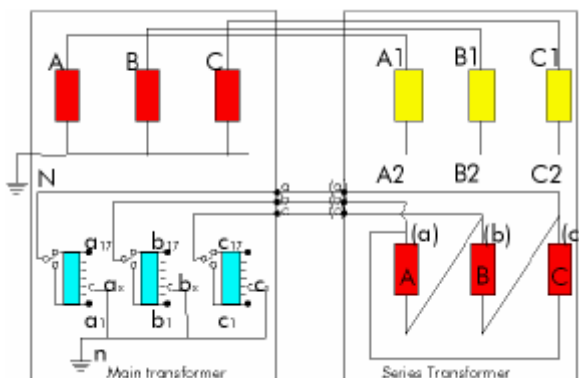


Figure II-8 Diagramme vectoriel du
transformateur déphaseur en
quadrature à un parie active

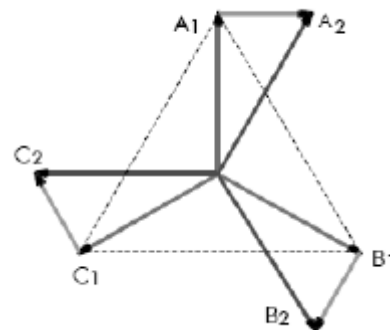


Figure II-9 Schema du transformateur
déphaseur en quadrature à un parie active

Le principal inconvénient de ces transformateurs déphaseurs est le fait que la tension de sortie dépend directement de l'angle de déphasage. Il faut également noter que ces transformateurs déphaseurs n'ont pas un comportement totalement symétrique, c'est-à-dire que leur sur-induction et leur chute de tension dépendent de la direction du transit de puissance. Sur ces transformateurs déphaseurs, la tension de ligne est prélevée avant (ou après) l'enroulement en série pour alimenter un transformateur de réseau presque standard avec une régulation du côté basse tension. Dans la plupart des cas, la régulation va de 0 à 100 % mais ce n'est pas obligatoire et la régulation peut être décalée, en particulier si un angle de déphasage

positif et négatif n'est pas nécessaire.

L'enroulement de régulation basse tension alimente l'enroulement basse tension connectée en triangle du transformateur survolteur. La seule différence avec un survolteur de réglage de tension habituel est que les phases sont mélangées afin de survolter avec une tension qui n'est pas en phase avec la tension de la ligne.

II-1-3-2-Transformateur déphaseur à module constant:

Le transformateur déphaseur à module constant, à l'inverse de son cousin en quadrature, permet d'avoir un module de tension de sortie à vide indépendant de l'angle de déphasage et égal à celui de la tension d'entrée. Ceci est atteint au moyen d'une légère modification sur la tension d'alimentation du transformateur principal, qui au lieu d'être alimenté directement depuis le réseau, est alimenté depuis le point milieu de l'enroulement en série du transformateur survolteur.

L'indépendance de la tension de sortie et du déphasage rend cette conception particulièrement adaptée à un angle de déphasage important.

Ceci est illustré sur les figures ci-dessous

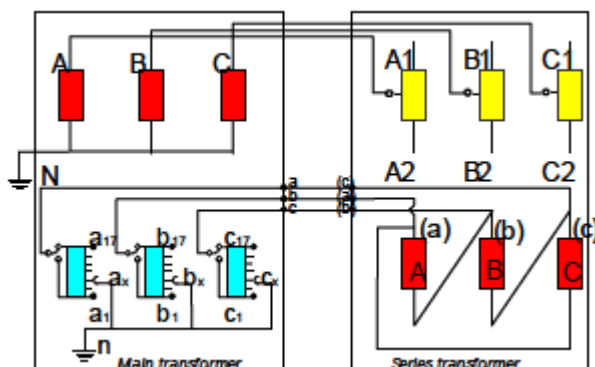


Figure II-10 Diagramme vectoriel du transformateur déphaseur à module constant

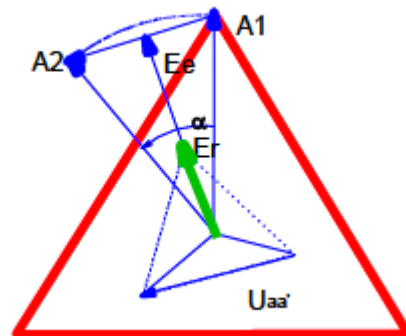


Figure II-11 Schéma du transformateur déphaseur à module constant

Par conséquent, ce type de transformateur déphaseur a le même comportement quelle que soit la direction du transit de puissance. L'inconvénient de ce type de connexion est le fait d'alimenter le transformateur principal avec une tension variable en fonction de l'angle de déphasage, engendrant ainsi des pas de régulation inégaux.

L'isolation du point milieu est une des parties les plus délicates de la conception dans la mesure où elle nécessite des outils de simulation sophistiqués afin être correctement prévue. Ces outils doivent permettre la simulation du comportement de deux parties actives connectées ensemble.

Conclusion

Les transformateurs déphaseurs sont des équipements qui ont fait leurs preuves et ils ont été utilisés depuis assez longtemps pour résoudre des problèmes locaux de transits de puissance dans les réseaux à tension alternative. Bien qu'ils ne constituent pas une réponse générale au développement structurel du réseau, leur utilisation est intéressante parce qu'ils peuvent être construits et mis en service assez rapidement en comparaison à un renforcement de ligne. Ils peuvent empêcher un déclenchement de ligne en équilibrant le courant entre plusieurs lignes et, par conséquent, ils permettent une utilisation optimisée du réseau existant.[4]

Chapitre III Simulation

Introduction

Dans ce chapitre nous représenterons un exemple utilisé dans le **demo** de matlab/simulink/**SimPowerSystems**. Ce demo est intitulé **Phasor Simulation of Delta-Hexagonal Phase Shifting Transformers**, donc il utilise un transformateur déphaseur delta-hexagonale (simulation de phasor).

III-1-Description de circuit :

Deux réseaux de 120 kV 1000 MVA sont interconnectés à travers deux transformateurs déphaseurs. L'angle de déphasage peut être varié au moyen d'un changeur de prise en charge (OLTC).

III-1-1-Schéma block:

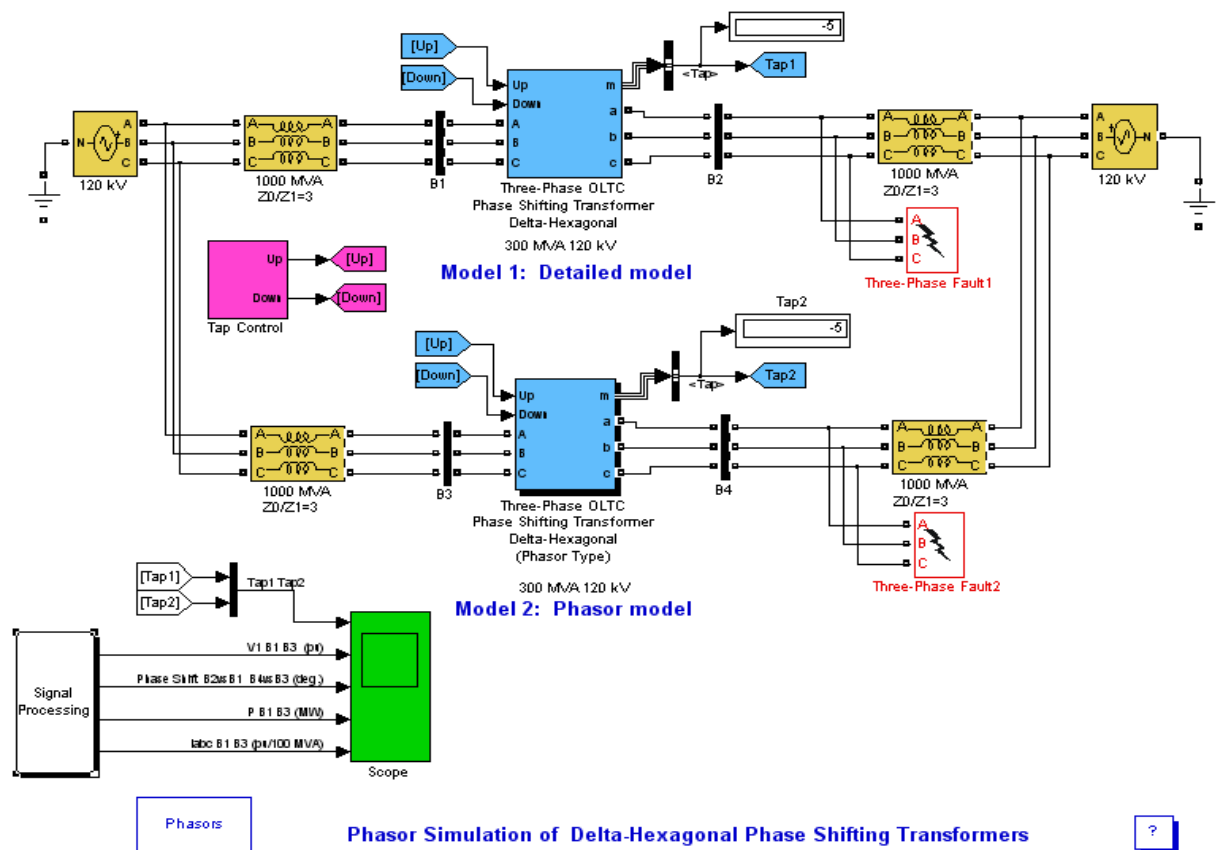


Figure III-1 schéma bloc de demo Phasor Simulation of Delta-Hexagonal Phase Shifting Transformers

III-1-2-Description de bloc Delta-hexagonal Phase Shifting Transformer (PST):

Ce bloc est employé pour modéliser un transformateur déphaseur utilisant des changeurs de prise en charge (OLTC) pour présenter un déphasage entre les tensions

triphasées entre deux jeux de barres dans un réseau électrique. Le contrôle de déphasage dans un réseau électrique affectera principalement l'écoulement de la puissance active. Bien que le transformateur déphaseur ne soit pas autant flexible et rapide que les FACTS, il peut considérer comme un contrôleur de base de flux de puissance.

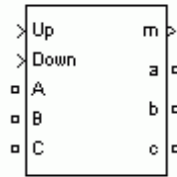


Figure III- 2 Bloc de Delta-hexagonal Phase Shifting Transformer

III-1-2-1-Connexions de transformateur déphaseur Delta-Hexagonales:

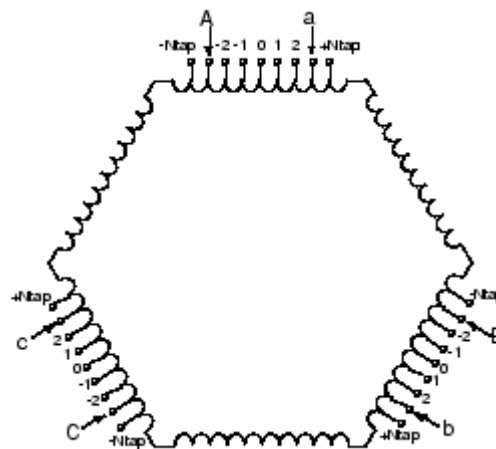


Figure III-3 Schéma de Connexions des enroulements de transformateur déphaseur

Chaque phase se compose de deux enroulements couplés dessinés en parallèle sur la figure : un enroulement composé de deux OLTCs et un enroulement simple. Tous les enroulements ont le même nombre de tours. Les deux OLTCs varient le déphasage en déplaçant des bornes d'entrée de transformateur (A, B, C) et les bornes de sorties (a, b, c) symétriquement par rapport au prise central 0. Cette connexion delta-hexagonale a l'avantage de garder un rapport 1:1 en tension, tandis que le déphasage est varié

Quand les deux prises d'OLTCs sont déphasées de la position centrale (0) à l'extrémité d'enroulement (position Ntap), le déphasage entre les entrées (ABC) et les sorties (ABC) varie de 0 à 60 degrés. Quand les bornes ABC sont à la position (−Ntap) et les bornes abc sont à la position (+Ntap), les tensions de sortie abc sont déphasées de 60 degrés des tensions d'entrée ABC. En outre, quand les bornes ABC sont à la

position (+N_{tap}) et les bornes abc sont à la position (−N_{tap}), les tensions de sorties abc sont déphasées de -60 degrés des tensions d'entrée ABC. Pour les positions intermédiaires, le déphasage ψ est donné par l'équation suivante (Cette équation suppose que toutes les prises sont également espacées) :

$$\psi = 2 \times \arctan\left(-\frac{k}{\sqrt{3}}\right)$$

Où:

ψ = le déphasage de tension de sorties abc par rapport au tensions d'entrée ABC

N = position de prise

k = position relative de prise = N / N_{tap}

Range:

$$-60^\circ \leq \psi \leq +60^\circ$$

$$-N_{\text{tap}} \leq N \leq +N_{\text{tap}}$$

$$-1 \leq k \leq +1$$

Par exemple, si chaque demi enroulement se compose de 10 prises (total de 21 prises comprenant le prise central 0) et si les bornes abc et les bornes ABC sont respectivement au prise −7 et +7, puis, $k=7/10=0.7$

Par conséquent, les tensions de sortie sont déphasées de 44 degrés par rapport aux tensions d'entrée.

L'angle de phase varie presque linéairement en fonction de la position de prise comme montré sur la figure ci-dessous.

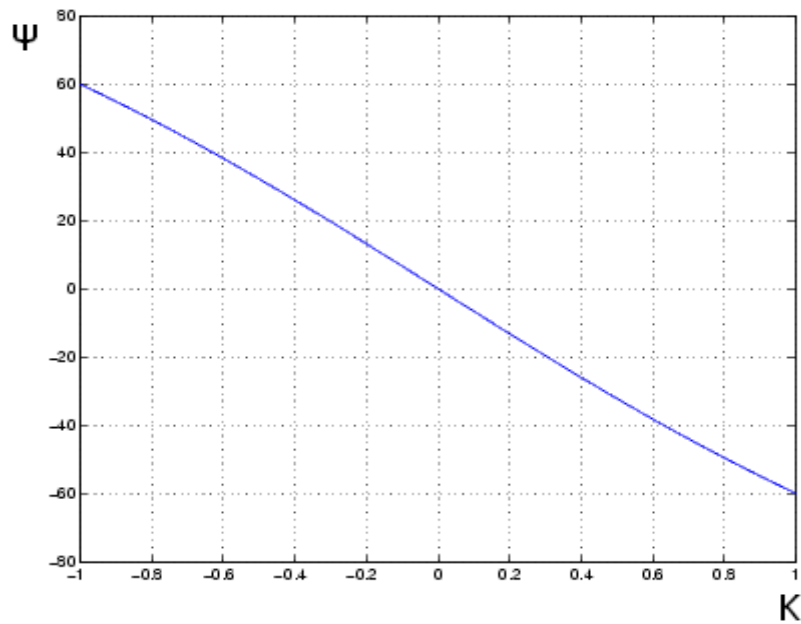


Figure III-4 Variation de déphasage comme fonction de la position de prise

Commandez les positions de prise, et donc le déphasage, en envoyant des impulsions à une des deux entrées de bloc marquées en **Up** et en. L'application d'une impulsion à l'entrée **Up** (ou **Down**) déplacera la position de prise vers le haut (ou vers le bas) quand le signal change de 0 à 1.

Les changeurs de prises mécaniques sont des dispositifs relativement lents. Le temps requis pour se déplacer d'une position de prise à la prochaine est habituellement comporté entre 3 et 10 secondes. Vous spécifiez ce temps de retard mécanique dans le menu de bloc.

III-1-2-2-Boîte de dialogue et Paramètres:

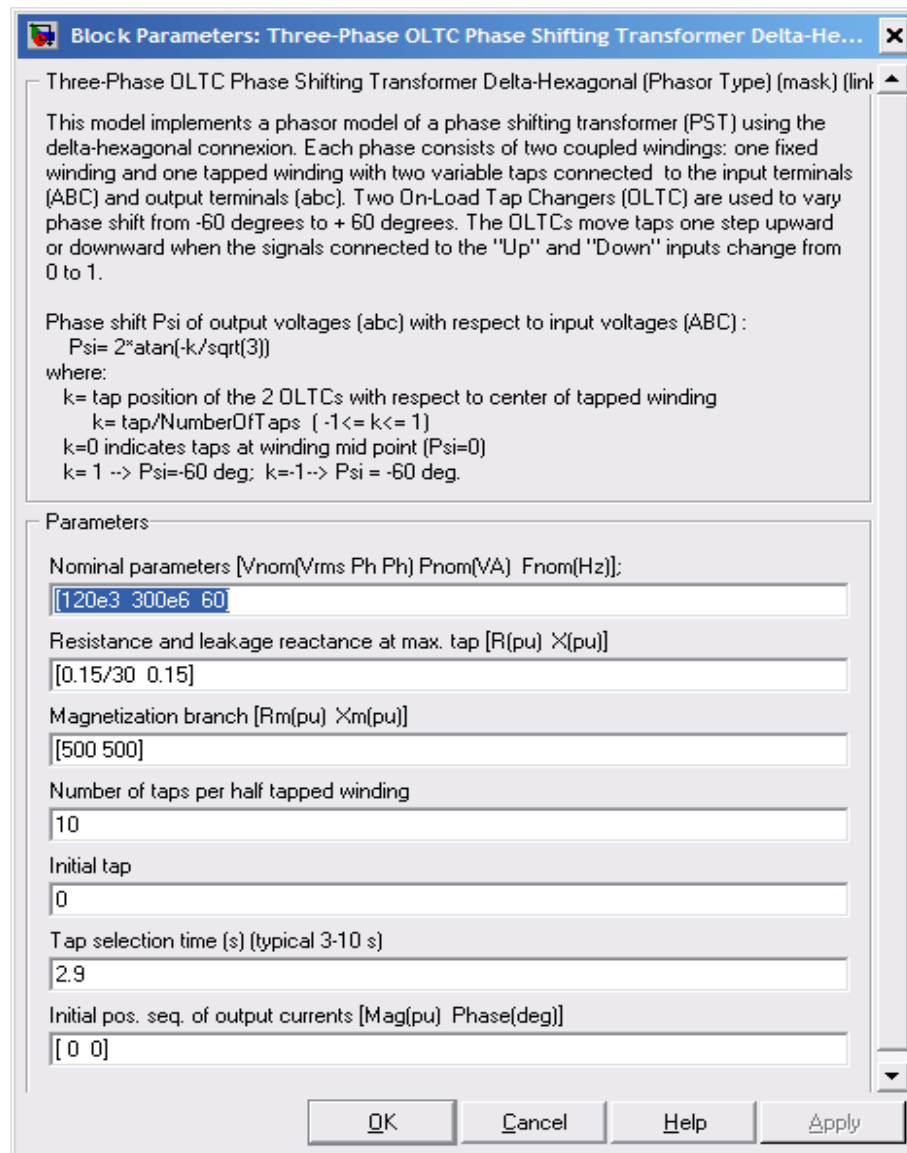


Figure III-5 Boîte de dialogue et Paramètres de bloc Delta-hexagonal Phase Shifting Transformer (PST)

Nominal parameters [Vnom Pnom Fnom](Paramètres nominaux):

La tension nominale entre phase, en volts efficaces, la puissance nominale triphasée, en VA et la fréquence nominale, en hertz.

Resistance and leakage reactance at max. tap[R X] (Résistance et réactance de fuite au prise maximale) :

L'impédance de court-circuit de transformateur due aux résistances et aux réactances de fuite d'enroulement, au déphasage maximum (l'entrée aux positions $-N_{\text{tap}}$ et sortie aux positions $+N_{\text{tap}}$). Spécifie la résistance et la réactance, en pu.

Magnetizing branch [Rm Xm] (Branche magnétisante):

La résistance R_m , en pu, et la réactance X_m , en pu, de branche parallèle modelant respectivement des pertes fer et des courants magnétisants réactifs. La saturation n'est pas modelée.

Number of taps per half winding (Ntap) (Nombre de prises par demi-enroulement):

Le nombre de prises par demi-enroulement. Le nombre totale de prises par enroulement, y compris la prise centrale 0, est donc $2 \times N_{tap} + 1$.

Initial tap (prise initial):

Spécifiez un nombre entier (Tapinit) correspondant à la position initiale de prise des bornes de sortie ABC. La position initiale de prise des bornes d'entrée abc est donc -Tapinit.

Tap selection time (le temps de la sélection de prise):

Là retard de temps mécanique, en quelques secondes, requises pour que l'OLTCs déplace les prises par une position. Les valeurs typiques sont dans la gamme 3s à 10s

Initial pos. seq. output currents [Mag Phase] (Courants de sortie initiaux de séquence positive. [Amplitude phase]):

La valeur des **courants de sortie initiaux de séquence positive** (Amplitude **en pu et phase en degré**). Si vous connaissez la valeur initiale des courants vous pouvez la spécifier afin de commencer la simulation en équilibré. Si vous ne connaissez pas ces valeurs, vous pouvez partir [0 0]. Le système atteindra l'équilibré après une état transitoire courte.

Tous les paramètres de transformateur déphaseur utilisé dans le demo sont représentés dans la figure III-6.

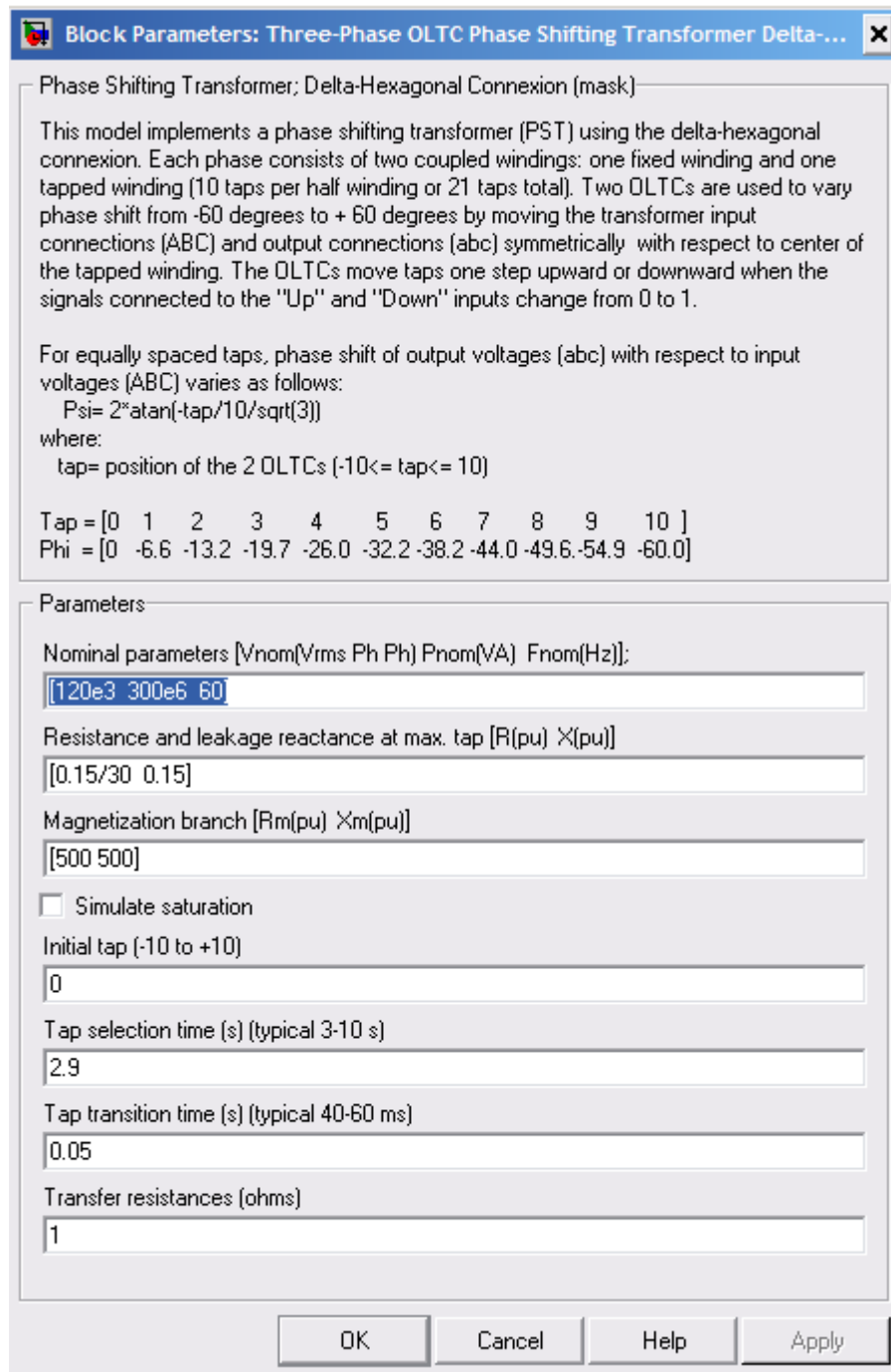


Figure III-6 Paramètres de PST utilisé dans le demo

III-1-2-3-Entrées et sorties:

ABC : Les trois bornes d'entrée de transformateur

abc : Les trois bornes de sortie de transformateur

Up : Entrée de Simulink pour le contrôle de prise. L'application d'une impulsion de 0 à 1 à cette entrée change la position de prise de bas vers le haut.

Down : Entrée de Simulink pour la position de contrôle de prise. L'application d'une impulsion de 0 à 1 à cette entrée change la position de prise de haut vers le bas.

m : Vecteur de sortie de Simulink contenant 17 signaux internes. Ces signaux sont des signaux complexes (tension, courant ou impédances) ou des signaux de commande. Ils peuvent être individuellement accédés à l'aide du bloc de jeux de barres. Ils sont, en ordre :

Signal	Groupe de signal	Noms de signal	Définition
1-3	VABC (cmplx)	VA (pu) VB (pu) VC (pu)	Les tensions de phase (phase à la terre) d'entrée de transformateur sur les bornes A, B, C (pu)
4-6	Vabc (cmplx)	Va (pu) Vb (pu) Vc (pu)	Les tensions de phase (phase à la terre) de sortie de transformateur sur les bornes a, b, c (pu)
7-9	IABC (cmplx)	IA (pu) IB (pu) IC (pu)	Courants de phase entrant dans les bornes A, B, C d'entrée
10-12	Iabc (cmplx)	Ia (pu) Ib (pu) Ic (pu)	Courants de phase sortant des bornes a, b, c
13-14	Z (cmplx)	Z1 (pu) Z0 (pu)	Impédances complexes de séquence positive et de séquence homopolaire
15	Psi (degrés)	Psi (degrés)	Le déphasage entre les tensions de sortie les tensions d'entrée
16	Tap	Tap	position de prise
17	Ready	Ready	Signal logique produit par le contrôleur de changeur de prise. Le signal Ready devient (1) après que la sélection de prise ait été accomplie, de ce fait permettant un nouveau changement de prise. les impulsions Up et Down de l'OLTC sont bloqués tant que le signal Ready est (0).

III-2-Démonstration:

III-2-1-Contrôle de boucle ouverte de transfert de puissance:

Afin d'observer l'impact du déphasage sur le transfert de puissance, le déphasage est augmenté de zéro jusqu'à 32,2 degrés en retard (Tap+5), puis le déphasage est réduit à zéro et encore augmenté jusqu'à 32,2 degrés en avance. Ceci est exécuté en envoyant 5 impulsions au l'entrée « Up », et puis, 10 impulsions au entré « Down ». Car la sélection de prise est un processus mécanique relativement lent (3 sec par prise comme spécifique dans le paramètre de temps de sélection de prise au menu de bloc), le temps d'arrêt de simulation est placé à 50s.

Commençons la simulation et observons l'opération de PST sur la Scope. Des résultats obtenus avec les deux modèles sont superposés à cinq traces.

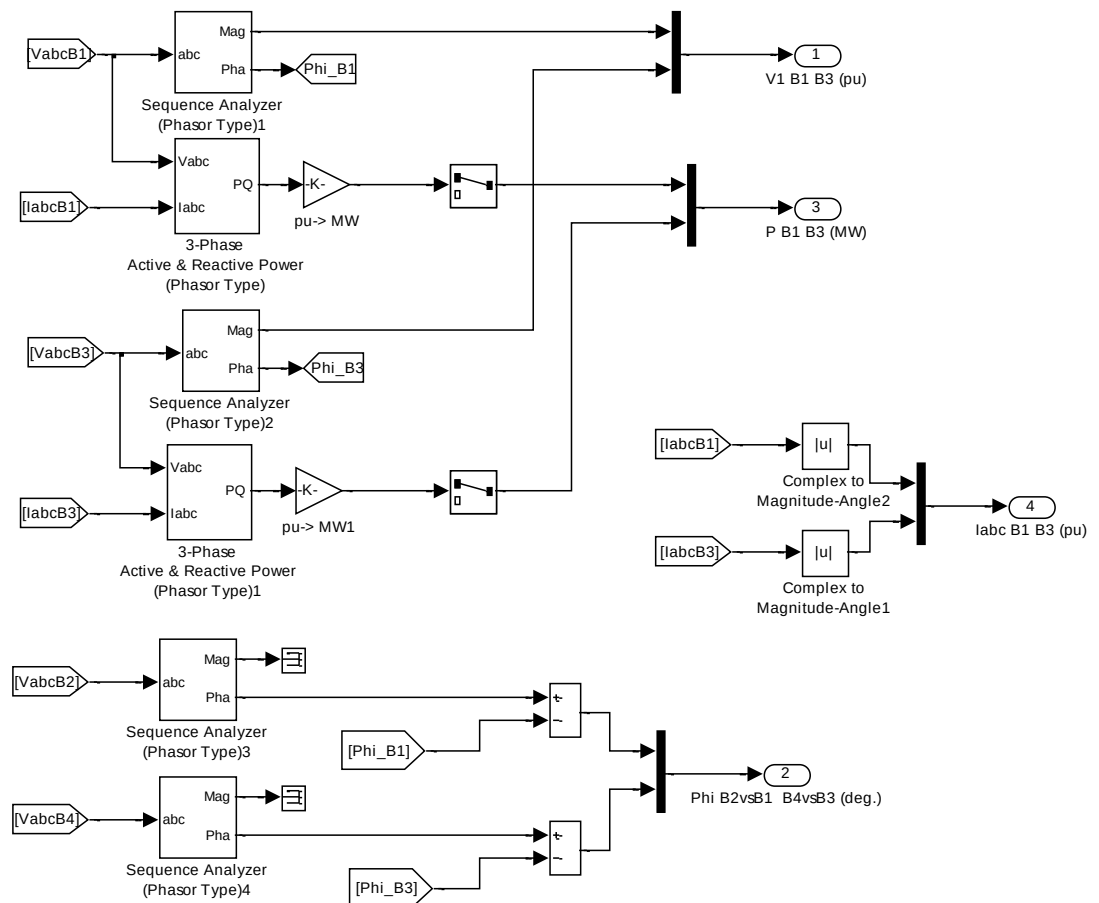


Figure III-7 Schéma détaillé de bloc Signal processing

- La trace 1 montre la position de prise Tap.

- La trace 2 montre une superposition des amplitudes des tensions de séquence positive mesurées au jeu de barre B1 (jaune) et au jeu de barre B3 (magenta)
- Les traces 3 montre les déphasages entre les tensions de séquence positive mesurées sur les bornes (ABC) les bornes (abc).
- La trace 4 compare la puissance active mesurée au jeu de barre B1 (jaune) et au jeu de barres B3 (magenta).
- Trace 5 montre une superposition des amplitudes des courants de séquence positive mesurées au jeu de barre B1 et au jeu de barre B3

III-3-Visualisation et discussions des résultats :

Pour visualiser les résultats de Scope nous convertissons les résultats de simulation vers Workspace et puis on tracons les courbes utilisant les fonctions plot et subplot. Notons que le colore bleu est pour les paramètres de jeu de barre B1 et le vert pour les paramètres de jeu de barre B3.

III-3-1-les deux réseaux en le même déphasage:

III-3-1-1 1^{ier} cas : les deux transformateurs en les mêmes Tap initial (0):

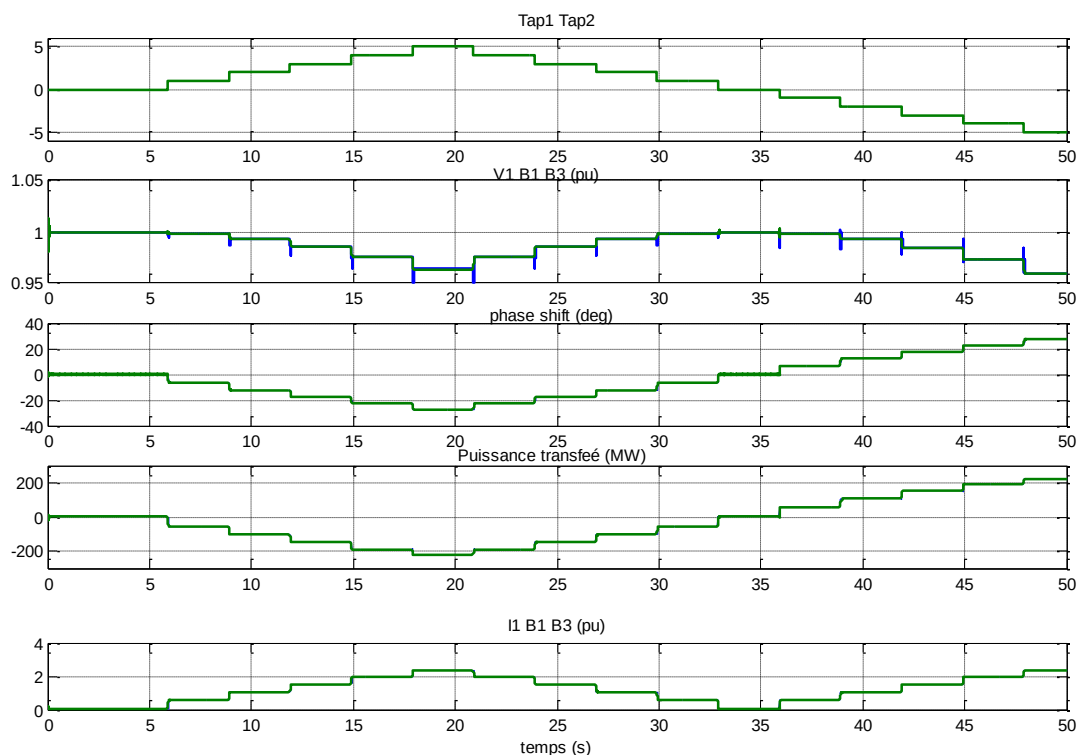


Figure III.8 Résultats de simulation pour 1^{ier} cas

Quand la simulation commence l'OLTCs soyez à la position 0 (déphasage zéro). Car les deux réseaux sont symétriques avec les deux angles internes réglés à 0 degrés, il

n'y a aucune écoulement de puissance. Puis, le déphasage est augmenté et le jeu de barres B2 (ou B4) est en retard au jeu de barres B1 (ou B3). Comme B2 est retardé la tension interne de la source située du côté droit, le flux de puissance écoule de droite à gauche. La puissance mesurée de gauche à droite est donc négatif pour des positions positives de prise. La puissance maximum est obtenue au Tap +5, ou à -5 quand le déphasage est respectivement de -32,2 degrés et de +32,2 degrés. Puissance active peut être calculé de $P = V1.V2 \cdot \sin(\psi) / (X1 + X2 + X_{pst})$,

Où :

$V1 = V2 =$ tension interne = 1.0 pu;

$X1 = X2 =$ réactances de réseau = réactance de fuite de 1pu /1000 MVA ;

$X_{pst} =$ PST au prise 5. La réactance de fuite de PST varie avec la position de prise (de zéro pu de prise zéro à 0,15 à prise max (10)).

L'impédance de séquence positive du modèle de transformateur est disponible comme signal dans son sortie de mesure « m ». La réactance obtenue au prise 5 est $X_{pst} = 0.1067$ pu/300 MVA. Toute la réactance exprimée en pu/100 MVA est $X = 0,1 + 0,1 + 0.1067/3 = 0.2356$ pu/100 MVA. La puissance active prévue au prise 5 est $P = 1 \cdot \sin(32.2 \text{deg}) / 0,2356 = 2,26$ pu/100 MVA ou 226 MW, qui correspondent bien à la valeur mesurée sur la trace 4 (224 MW).

À cause de tension développée à travers la réactance de fuite de PST, le déphasage mesuré entre les tensions d'entrée et sortie de PST (la trace 3) est inférieure à la valeur prévue (à vide). Par exemple, 27,2 degrés est obtenus au prise 5, au lieu des 32,2 degrés de valeur théorique calculée à vide. La variation de déphasage dépend du courant de charge.

III-3-1-2 2^{ième} cas : les deux transformateurs en pas les mêmes Tap initial :

Pour visualisé ces résultats on a choisis pour PST1 Tap initial=0 et PST2 Tap initial=5.

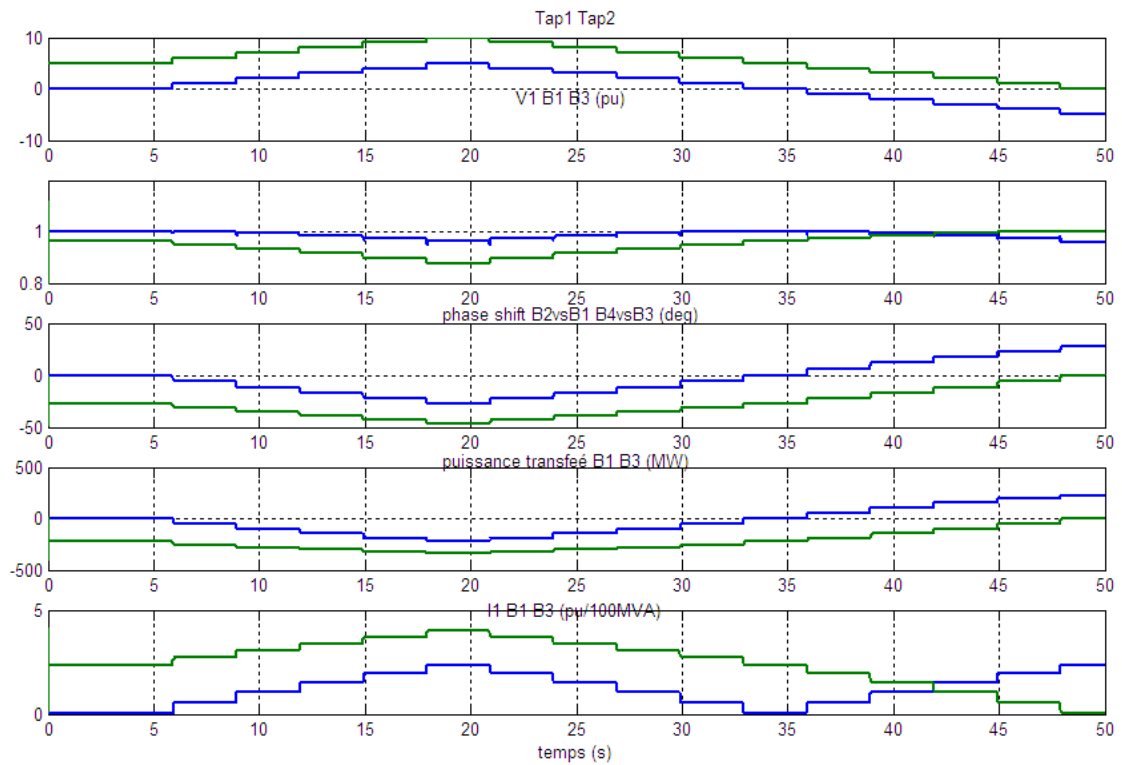


Figure III-9 Résultats de simulation pour 2^{ème} cas

Pour ce cas on voit que la puissance transférée dépend de la position de prise. Si la position de prise augmente le déphasage et la puissance transférée augmentent aussi.

III-3-2-3^{ème} cas : les deux réseaux en pas le même déphasage:

Les résultats de figure III-10 sont obtenus pour que le réseau 2 (à droite) est en retard de 10 degrés au réseau 1 (à gauche) et la position initiale de deux PST est la même et égale à 0.

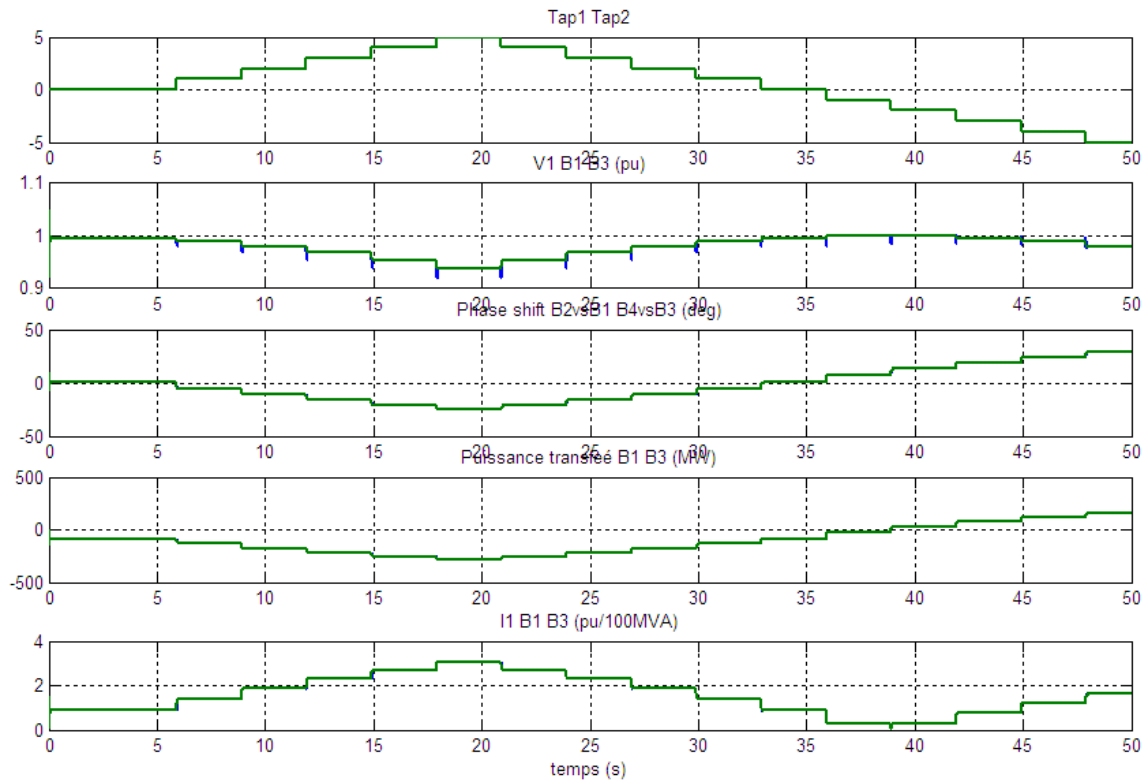


Figure III-10 Résultats de simulation pour 3^{ième} cas.

On constate que la puissance transférée n'est pas nul au début à cause de déphasage entre les deux réseaux. Pour avoir un transfert de puissance nul il faut mettre les PST à la position -1.

Conclusion

On peut conclure que le transfert de puissance entre deux réseaux se fait si les deux ne sont pas en phase. Pour forcé un transfert de puissance de réseau à l'autre il faut varier le déphasage entre eux, cela est réalisable utilisant un PST.

Conclusion générale

Dans ce travail nous illustrions une étude bibliographique sur le transformateur déphaseur et leur principe de fonctionnement et leurs différents types ;

Les transformateurs déphaseurs sont des équipements qui ont fait leurs preuves et ils ont été utilisés depuis assez longtemps pour résoudre des problèmes locaux de transits de puissance dans les réseaux à tension alternative. Bien qu'ils ne constituent pas une réponse générale au développement structurel du réseau, leur utilisation est intéressante parce qu'ils peuvent être construits et mis en service assez rapidement en comparaison à un renforcement de ligne. Ils peuvent empêcher un déclenchement de ligne en équilibrant le courant entre plusieurs lignes et, par conséquent, ils permettent une utilisation optimisée du réseau existant.

Bien que la technologie soit presque la même que celle des transformateurs de puissance, nous avons vu dans ce rapport les différents types existants de ce transformateur.

En outre, les connexions internes d'un transformateur déphaseur peuvent être complexes mais, malgré cela, sa fiabilité doit être élevée puisque son objectif principal est le transfert de puissance et de supprimer les déclenchements de ligne.

Références bibliographique :

- [1] T.Wildi (2005) " Electrotechnique" , Bibliothèque Nationale, Paris, page 1046.
- [2] H. Harlow (2004) "electric power transformers Engineering" , CRC Press LLC,USA,p.84-95
- [3] F .Perrot. "Nouveaux matériels pour réguler les flux de puissance: transformateur déphaseur et réactance série", 93404-St OUEN, p.1-2
- [4] P.Hurlet (2006)"French experience in phase-shifting transformers" A2-204-CIRGE, 21, rue d'Artois, F-75008 PARIS, p.2-5
- [5] J.Verboomen, "Phase Shifting Transformers: Principles and Applications", pub_1502_2, p.5

