République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministre de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie
Département du Génie Electrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

Thème

Commande d'un Transformateur Intelligent (Solid State Transformer)

Proposé et Dirigé par :

Dr. Nadir Kabeche

Préparé et présenté par.

Mr. Merazi Mohamed **et** **Mr.** Dahmani Mohamed Redha

Promotion - 2020 -

Remerciements

En premier lieu, nous remercions DIEU tout puissant, qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions notre prompteur ***Dr. KABACHE*** *qui ont suivi de très près ce travail, pour leur aide, leurs orientation leur disponibilité et tous les conseils qu'ils nous ont prodigué pendant toute la durée de ce travail.*

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury
Pour avoir accepté d'évaluer ce travail, pour toutes
Leurs remarques et critiques constructives.

En fin Nous remercions aussi toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin au sein et nous exprimons notre très grande reconnaissance à notre famille, à Mon père et ma mère nos frères et mes sœurs à nos proches pour nous avoir encouragés.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail ***:***

A la lumière de notre vie, mes chers parents, en témoignage de leur Amour et de leur sacrifice sans limites ; nous leurs souhaite une Bonne santé, que Dieu me les garde.

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

A tous mes collègues de la promotion 2020

A tous ceux qui m'aiment et qui me sont chers

A mes professeurs, mon Promoteur et mon binôme

Merazi. Mohamed

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail :

A la lumière de notre vie, mes chers parents, en témoignage de leur Amour et de leur sacrifice sans limites ; nous leurs souhaite une Bonne santé, que Dieu me les garde.

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

A tous mes collègues de la promotion 2020

A tous ceux qui m'aiment et qui me sont chers

A mes professeurs, mon Promoteur et mon binôme

Dahmani Med Redha

ملخص

يلخص هذا العمل، دراسة حول محول أشباه الموصلات، يسمى ذكيًا ويتألف أساسًا من محولات تعتمد على أجهزة إلكترونية للطاقة. يتكون العمل من ثلاثة أجزاء. الأول يعطي المفاهيم العامة للمحولات الكلاسيكية والذكية ، والثاني يشرح طوبولوجيا ونماذج المراحل المختلفة و اخيرا المحاكاة للوظائف و المراحل المختلفة التي تم تحديدها ونمذجتها سابقا و تكمن اهمية هذا العمل في تقليص حجم محولات الطاقة بالاعتماد على اشباه الموصلات والقدرة على التحكم في مختلف وظائفها مع تكامل مختلف مصادر الطاقة المتجددة .

كلمات مفتاحية : محول اشباه الموصلات (SST) , المحولات الذكية , النمذجة , الفرق في قيس الزاوية, الفرق في المستوى.

Résumé

Ce travail résume, une étude sur un transformateur à semi-conducteur (SST), dit intelligent, et principalement constitué de transformateurs qui reposent sur des appareils électroniques pour l'alimentation. Le travail se compose de trois parties. La première donne des concepts généraux de transformateurs classiques et intelligents, la seconde explique les topologies et modèles des différentes étapes de SST et enfin, les simulations des différentes fonctions et étapes de SST qui ont été précédemment identifiées et modélisées et l'intérêt de ce travail réside dans la réduction de la taille des transformateurs de puissance en s'appuyant sur les semi-conducteurs et la capacité à contrôler leurs différentes fonctions avec l'intégration de diverses sources d'énergie renouvelables.

Mots-clés : transformateur à semi-conducteur (SST), transformateurs intelligents, modélisation, Décalage de phase, décalage de niveau

Abstract

This Work, summaries, a study on a semiconductor transformer (SST), called intelligent, and mainly consisting of transformers that rely on electronic devices for power. The work consists of three parts. The first gives general concepts of classic and smart transformers, the second explains the topologies and models of the different stages of SST and finally, the simulations of the different functions and stages of SST that were previously identified and modeled and The interest of this work lies in reducing the size of power transformers by relying on semiconductors and the ability to control their various functions with the integration of various renewable energy sources.

Key Words: solid state transformer (SST), intelligent transformers, modeling, Phase shift, Level shift.

Liste des Figures

Figure 1.1 Un réseau intelligent. 4
Figure 1.2 . Structure d'un SST.1 6
Figure.1.3 .Configurations de topologie d 1 7
Figure 1.4 Principe de fonctionnement d 1 9
Figure 1.5 Configuration d'un SST à 03 étage 10
Figure 1.6 SST à haut tension et haut puissance 11
Figure 1.7 Application potentielle de la 1SST dans le futur système de distribution 15
Figure 1.8 système de traction basée sur SST 16
Figure 1.9. Système éolien interfacé par SST. 16
Figure 1.10 .SST dans un réseau intelligent. 16

Figure 2.1 Configuration schématique de la conception de SST en trois étages 19
Figure 2.2. Configuration de l'étage d'entrée triphasé. 21
Figure 2.3 Chemin de conduction du convertisseur Courant positive /courant négative. 22
Figure.2 4.chemin de conduction du convertisseur Courant positive /courant négative. 22
Figure. 2. 5. Une configuration D'un bras de l'étage d'entrée MMC. 24
Figure .2.7. Schéma block d'une stratégie fournissent et orienté les tensions de référence 26
Figure 2.8. Schéma fonctionnel du contrôleur MMC de l'étage d'entrée triphasé. 26
Figure.2. 9. PD- PWM décalé de niveau 28
Figure.2 .10 .PWM décalé de phase 29
Figure. 2.11. Configuration de L'étage D'isolation 30
Figure.2. 12. Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur HFT. 32
Figure.2 13. Tensions et courants du transformateur. 32
Figure 2.14.Tension d'entrée et densité de flux magnétique du transformateur. 33
Figure.2 15. Schéma du contrôleur MMC de l'étage d'isolement monophasé. 35
Figure.2 17. Schéma d'un onduleur de tension triphasé 38
Figure. 2 .18 Génération des signaux de commande MLI sinus-triangle de l'onduleur triphasé ... 40

Figure 3.1: l'implémentation Matlab / Simulink 43
Figure 3.2. Étage d'entrée – Configuration MMC triphasée. 44
Figure 3.3. Etage d'entrée – Configuration des sous -modules demi-pont(SM). 45
Figure 3.4 L'étage d'entrée : les tensions de référence. 45

Figure 3.5. Etage d'entrée - Bloc de la technique PWM déphasée pour le bras supérieur de la phase A 47
Figure 3.6. Bloc de sélection de commutation 47
Figure 3.7 l'étage d'isolation SST. 48
Figure 3.8. Paramètres de HFT 48
Figure 3.9. Etage d'isolement - Mise en œuvre de la MCC monophasée MT 49
Figure 3.10. Etage d'isolement – Configuration de la commande convertisseurs monophasé MV et LV 49
Figure 3.11. Topologie d'Onduleur MLI triphasé 50
Figure 3.12. Tension/ Courant source alternative (alimentation SST) avant le filtrage 52
Figure 3.13. Tension Courant source alternatif (alimentation SST) après le filtrage 53
Figure 3.14. Tension VDC (la sortie de MMC 1) avec Vdcref 53
Figure 3.15. Tension de condensateur VC phase A 54
Figure 3.16 courant circule dans la phase A demi bras supérieure 54
Figure 3.17. Tension d'entrée de HFT. 55
Figure 3.18. Tension de sortie de HFT. 55
Figure 3.19. Tension de sortie de redresseur monophasé 55
Figure 3.20. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI triphasé 56
Figure 3.21. Tension composé de sorti de l'onduleur MLI triphasé 56
Figure 3.22. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI phase A 56
Figure 3.23. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI phase B 57
Figure 3.24. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI phase C 57
Figure 3.25. Tension simple de sortie de l'onduleur MLI phase A 57

Nomenclatures

SST - Transformateur à semi-conducteurs

ST- transformateur Intelligent

MMC - convertisseur multi-niveau modulaire (*Modular Multi-level Converter*)

SM - sous-module

MT/BT - Moyen/basse tension

N1/N2 - nombre de spires primaire et secondaires

MVAC - moyen voltage alternatif courant

LVAC - bas voltage alternatif courant

U1L1 - tension composé phase 1

I1L1 - Courant dans la phase 1

1D - Un Dimensionnel

2D - Deux dimensions

3D - trois dimensions

AC - courant alternatif

DAB - Double pont actif

DC - Courant continu

DG - Génération distribuée

FBC - Convertisseur Full-Bridge

GTO - Thyristor à ouverture de porte

HF - Haute Fréquence

HFT - Transformateur haute fréquence

HV - Haute tension

IGBT - Transistor bipolaire à grille isolée

LF - Basse fréquence

LFT - Transformateur basse fréquence

BT - Basse tension

MF - Moyenne fréquence

MFT – Transformateur à moyenne fréquence

Nomenclature

MOSFET - Transistor à effet de champ en oxyde métallique

MV - Moyenne tension

PWM - Modulation de largeur d'impulsion

RMS - Root Mean Square

SAB - Pont actif simple

SIC - Carbure de silicium

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 Comparaison entre Thyristors et transistors..... 12
Tableau 1.2.Comparaison entre Bipolaire- 1Mosfet et IGBT..... 13
Tableau 2.1. État de commutation du circuit 1 23
Tableau.2.2. les topologies et les stratégies 36
Tableau 3.1 : paramètres utilisés..... 50

Introduction Générale 1
Organisation de la thèse : 2

Chapitre 1. L'état de l'art Des transformateurs intelligents

1.1 Introduction 4
1.2 .Transformateurs intelligent 5
1.2.1. Définition et historique 5
1.2.2. Structures et organisation d'un SST 6
1.2.3 Topologie d'un SST 7
1.2.4 Principe de fonctionnement d'un transformateur à semi-conducteurs 9
1.2.5 Conception d'un SST à trois étages 10
1.2.6 Lespplications haute tension/huate puissance : 11
1.2.7 Avantages et inconvénients d'un SST: 14
1.2.8 Applications générales du SST 15
1.2.8.1 Réseaux intelligent 16
1.3 Conclusion 17

Chapitre 2. Modélisation d'un SST a trois étages

2.1 Introduction 19
2.2 Modélisation d'un SST à trois étages 19
2.2.1 Étage d'entrée : Configuration et control 20
2.2.1.1 Modèle mathématique 23
2.2.1.2. Commande latérale moyenne tension 26
2.2.1.3 Technique de modulation 27
2.2.1 Étage d'isolation: Configuration et control 29
2.2.1.1 MMC monophasé 30
2.2.1.2 Transformateur haute fréquence 31
2.2.1.3 Convertisseur monophasé à pont complet à deux niveaux 34
2.2.3.1 Conception de COV pour un convertisseur à quatre branches 37
2.2.3.2 .Modélisation de l'onduleur triphasé 38
2.2.3.3 Technique de modulation 40
2.3 Conclusion 41

Chapitre 3. Implémentation d'un SST a trois étages sur l'environnement MATLAB/SIMULINK

3.1 Introduction: 43
3.2. Mise en œuvre de l'étape d'entrée MV 44

3.2.1. La mise en œuvre de l'étage d'entrée MV 44
3.2.2. Blocs de contrôle 45
3.3. Mise en œuvre de l'étape d'isolement MT-BT 48
3.4. Mise en œuvre de l'étage de sortie BT 50
3.4.1. Configuration de l'étage de sortie 50
3.5. Résultats de la simulation 50
3.6. Conclusion 58

Conclusion générale 59
Références bibliographiques 60

Introduction Générale

D'Après les statistiques de l'Agence Internationale de l'énergie, plus des trois-quarts de l'énergie mondiale consommée en 2010 étaient d'origine fossile. Ces derniers sont aujourd'hui également avérées être causes de pollution de l'air, et d'une augmentation de l'effet de serre provoquant le réchauffement climatique. Face à la demande mondiale croissante, cette même agence préconise donc le développement des sources d'énergies plus propres.[1]

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la nécessité de protéger l'environnement et de réduire la dépendance aux énergies fossiles, ainsi que de répondre à la demande croissante, a indiqué l'importance de se diriger vers l'intégration des sources. [2]

L'intégration de ces sources d'énergie renouvelables nécessite des technologies très modern basés sur l'électronique de puissance, ces technologies est une solution prometteuse pour intégrer une grande quantité d'énergie renouvelable, ce qui nécessite des réseaux plus, intelligents plus flexibles et plus contrôlables. C'est pourquoi l'une des technologies d'électronique de puissance la plus efficace qui ait trouvée son application dans le système de distribution est le transformateur intelligent « smart transformer » ou généralement appelé « Solid State Transformateur » (SST).[3]

Le transformateur à semi-conducteurs (SST) est un nouveau type de transformateur de puissance intelligent basé sur l'électronique de puissance qui peut réaliser une conversion de tension et un transfert d'énergie flexibles. Avec le développement du système Internet d'énergie, le transformateur à semi-conducteurs en tant que routeur d'énergie a gagné de plus en plus d'attention[4], Comparé au transformateur traditionnel, le transformateur intelligent (SST), qui nomme également transformateur d'électronique de puissance (PET), a des avantages tels que la petite taille, moins perte de puissance et capacités à fournir un contrôle de la qualité de l'énergie pour atténuer ou éviter les baisses de tension, améliorer les indices de fiabilité (par exemple, en réduisant le nombre d'interruptions et leur durée), conversion DC / AC ou AC / DC flexible, contrôle actif de flux de puissance, etc. Il est prévu que le développement de SST peut être bénéfique pour le système d'alimentation.[5]

Cette mémoire décrit le circuit de base et le principe de fonctionnement de SST basé sur un convertisseur multi-niveau MMC et ses applications pour les moyennes tensions. Diverses fonctions d'amélioration de la qualité de l'énergie sont démontrées par simulation informatique pour un circuit SST complet.[6]

Organisation du mémoire :

Ce document présente une étude sur les transformateurs intelligents dans le monde et de leurs applications. Il vise à donner aux chercheurs et aux ingénieurs d'application concernés par la qualité de l'énergie une perspective globale sur l'état de la technologie des transformateurs intelligents, donc le travail que nous présentons dans cette mémoire comprend trois chapitres **:**

- Dans Le premier chapitre, on trouve un état de l'art sur les SST, il présente des définitions et les rôles de chaque partie des blocs SST, et en plus quelque généralités sur les réseaux intelligent, ainsi les différences entre un SST et un transformateur classique.

- Le deuxième chapitre est consacré pour un contenu qui résume et explique les étapes de modélisation des différents étages qui constitue le SST à trois étages.

- Le troisième chapitre fait l'objet d'étude de simulation des différents étages de notre SST dans l'environnement Matlab/Simulink.

- Finalement, on termine par une conclusion générale qui regroupe tous les principaux résultats obtenus dans ce travail ainsi que les perspectifs envisagés.

Chapitre 1

L’état de l’art Des transformateurs intelligents

1. Chapitre 1. L'état de l'art Des transformateurs intelligents

1.1 Introduction

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction générale, la nécessité de protéger l'environnement et de réduire la dépendance aux énergies fossiles, ainsi que de répondre à la demande croissante, a indiqué l'importance de se diriger vers l'intégration des sources renouvelables.[2]

L'intégration de ces dernier à du système électrique, ainsi que la diversification dès les charges qui y sont connectées, introduit la nécessité d'un système de distribution avec un flux d'alimentation bidirectionnel, un contrôle local et une gestion de l'alimentation. Ce nouveau système est généralement appelé «Smart Grid».[7].

Le « Smart Grid » est une dénomination d'un réseau électrique intelligent, les réseaux intelligents « Smart Grid » désignent essentiellement une nouvelle génération des réseaux électriques équipées des technologies de l'information et de communication (TIC).Ces derniers permettent la gestion optimale de l'électricité entre les producteurs et les consommateurs. L'utilité des réseaux intelligents est d'établir un équilibre entre l'offre et la demande d'énergie ainsi que de minimiser les pertes d'électricité dans le réseau de distribution. Les réseaux intelligents intègrent les différentes sources pour la production de l'électricité (gaz naturel, pétrole, charbon, etc.), ainsi que les sources renouvelables (solaire, éolien, géothermie, etc.).[8][9]

L'application et la mise en œuvre réelle des réseaux intelligents et en particulier des micro-réseaux - une extension de ce concept pour les réseaux électriques locaux, sont actuellement à l'étude dans différents centres de recherche [1],[2].[7]



Figure 1.1 Un réseau intelligent.

L'évolution progressive vers un réseau électrique plus intelligent demande de nombreuses avancées technologiques,[10] ce concept implique l'utilisation de technologies intelligentes, telles que des transformateurs intelligents.

1.2 .Transformateurs intelligent

1.2.1. Définition et historique

L'idée d'un «transformateur intelligent » est discutée depuis 1970. Le but initial était de convertir le courant alternatif en courant alternatif pour augmenter ou diminuer de manière similaire à celle d'un transformateur conventionnel.[11][12][13]

En 1970, W. McMurray de général électrice a introduit pour la première fois un convertisseur AC / AC à liaison haute fréquence, qui est devenu la base du transformateur à semi-conducteurs basé sur un convertisseur AC / AC direct.
Une littérature importante a été publiée depuis lors pour étudier la conception, le fonctionnement et le contrôle du transformateur à semi-conducteurs [1.14]

Avec l'avancement des circuits et des appareils électroniques de puissance, le transformateur à semi-conducteurs devient une option viable pour remplacer le transformateur conventionnel à base de cuivre et de fer pour une meilleure qualité d'énergie. Les technologies de commutation à semi-conducteurs permettent la conversion de puissance entre différents formats tels que DC / DC, DC / AC, AC / DC et AC / AC avec toutes les fréquences souhaitées.

Le but principal de la conversion de puissance à semi-conducteurs est de convertir le courant alternatif en courant alternatif pour augmenter ou diminuer avec une fonction identique à celui d'un transformateur conventionnel mais avec une taille et un poids très réduits.[11][14]

Bien que l'idée du transformateur à semi-conducteurs puisse être utilisée pour des appareils fonctionnant à n'importe quelle tension à la fois du côté primaire et du côté secondaire, par défaut, il est supposé dans cette thèse que cet appareil est conçu comme une interface entre des systèmes fonctionnant à moyenne et basse tension. , respectivement, c à d au niveau de la tension de distribution.[11].

1.2.2. Structures et organisation d'un SST

Plusieurs structures peuvent réaliser la fonctionnalité de la conversion AC-AC isolée pour convenir potentiellement au rôle SST dans les systèmes de distribution. La classification présentée ici est celle proposée dans les références.[11],[3].

Les structures de base d'un SST sont illustrées sur (fig. 1.2). Cette structure comprend les étages suivants :

- Redresseur alternatif haute tension à base de semi-conducteurs
- Convertisseur CC haute tension-haute fréquence à base de semi-conducteurs.
- Transformateurs haute fréquence.
- Redresseur coté base tension pour avoir l'énergie en DC, un onduleur pour obtenir l'énergie en AC et un circuit de commande.

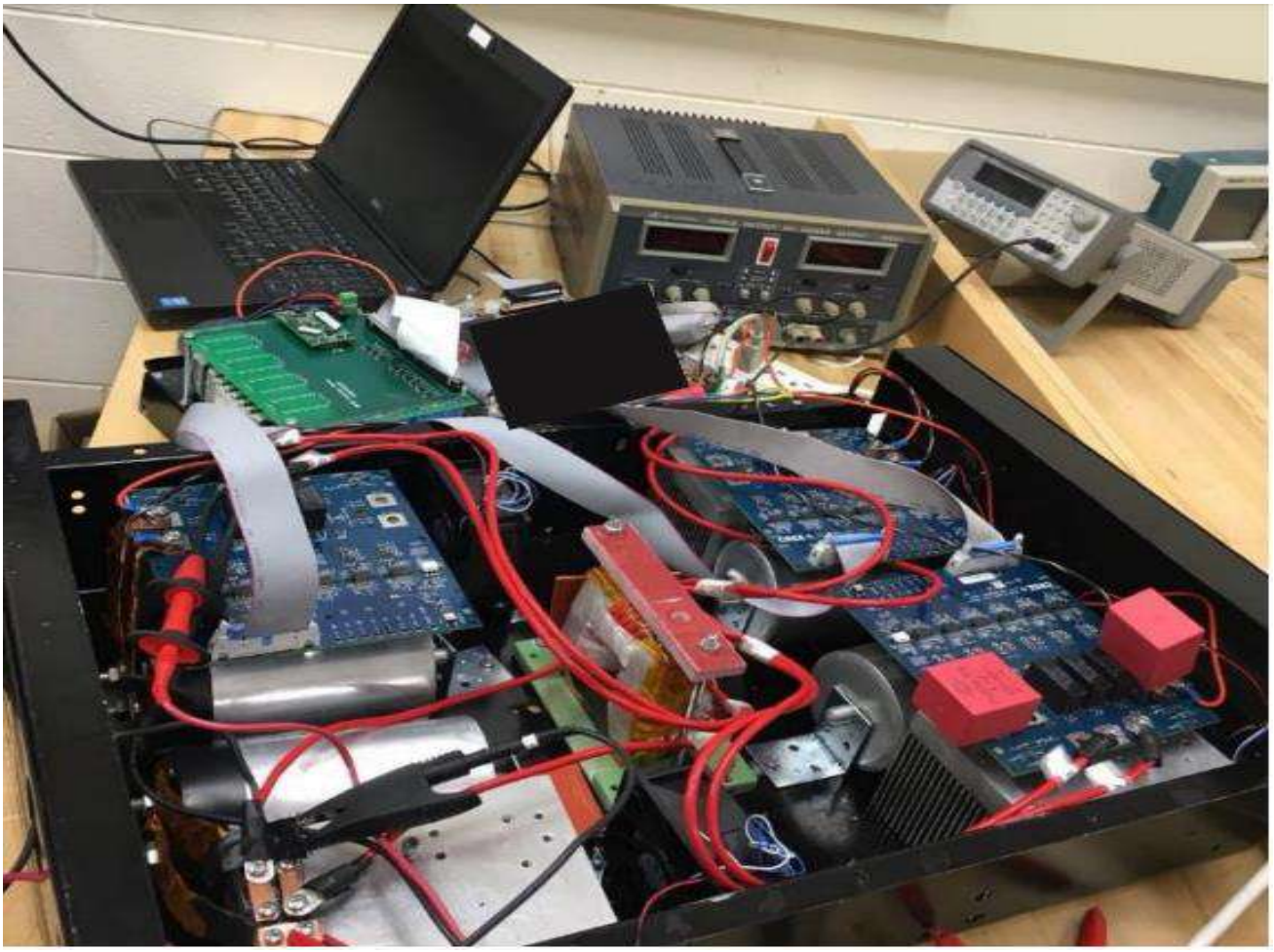


Figure 1.2. Structure d'un SST.

1.2.3 Topologie d'un SST

De nombreuses structures de convertisseur peuvent réaliser la fonctionnalité de la conversion AC-AC isolée, convenant ainsi potentiellement au SST dans les systèmes de distribution. Afin de documenter ces topologies, une approche de classification des configurations possibles a été présentée[11][3]. Compte tenu des étapes de conversion possibles[5][15].

Quatre configurations de base peuvent être envisagées pour SST concernant une application spécifique.

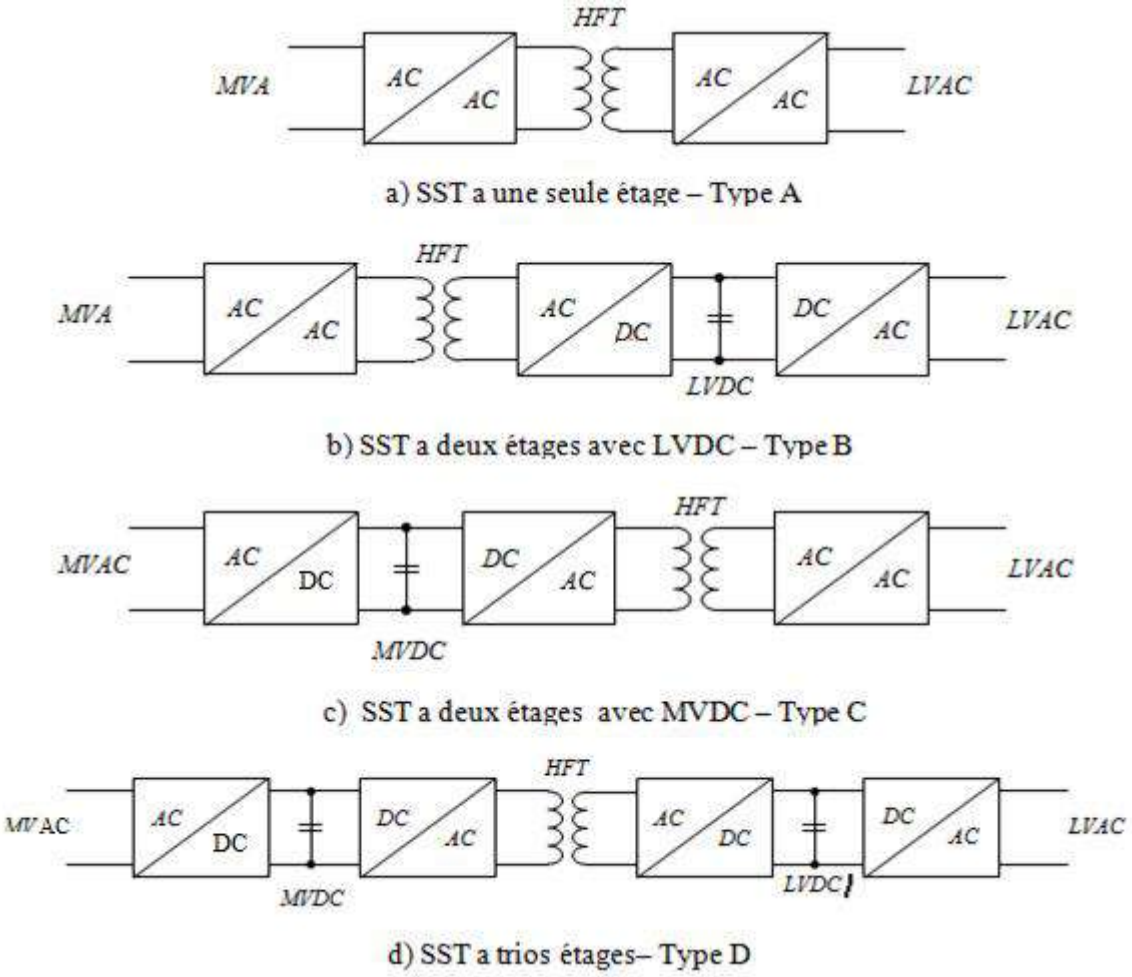


Figure.1.3 .Configurations de topologie

La figure (1.3) montre quatre configurations de topologie de base, à savoir les types A, B, C et D, qui peuvent convenir aux fonctions SST [1-15], [1-16].

La plupart des configurations SST conçues pour une application sur le terrain ont adopté le type D, car de nombreuses topologies appropriées peuvent être choisies pour chaque étage, ce qui permet d'optimiser ses performances.

Jusqu'à six topologies SST représentatives ont été identifiées dans les références [1.11], [1.12]:

1. Un SST à un étage comprenant des modules de conversion à pont complet AC-AC.
2. Un SST à un étage comprenant des modules de convertisseur flyback AC-AC.
3. Un SST à deux étages comprenant des modules convertisseurs de suralimentation isolés AC-DC et une impulsion avec un onduleur biphasé modulé (PWM).
4. Un SST à deux étages comprenant des modules de conversion DAB (pont actif double AC-DC) et un onduleur biphasé PWM.
5. Un SST à trois étages comprenant un redresseur multiniveau à pont complet en cascade, des modules DAB CC-CC et un onduleur biphasé PWM.
6. Un SST à trois étages comprenant un redresseur multiniveau à diode, des convertisseurs CC-CC à pont complet et un onduleur biphasé PWM.

Les propositions de type A présentent des solutions possibles à faible coût et légères en raison de la configuration simple.

Des dispositifs d'alimentation à quatre quadrants peuvent être nécessaires en cas de tension et de courant bidirectionnels. Cependant, l'absence de liaison CC les rend inadaptés aux applications nécessitant une compensation de puissance réactive. De plus, les perturbations d'un côté peuvent également affecter l'autre côté, ce qui est un inconvénient des transformateurs traditionnels.

Les SST de type B et de type C adoptent des configurations à deux étages, avec un étage d'isolement sur les côtés moyenne ou basse tension. Des dispositifs d'alimentation à quatre quadrants sont également nécessaires du côté CA de l'étage d'isolement pour un flux d'énergie bidirectionnel. Par rapport à la configuration de type A, la compensation de puissance réactive est possible si des topologies appropriées sont choisies. Les topologies de type A et B ne conviennent pas pour un fonctionnement à haute tension car la commutation à tension nulle (ZVS) est difficile à garantir dans une plage d'entrée aussi large, et les topologies multiniveaux matures ne peuvent pas non plus être facilement appliquées du côté haute tension. Dans cette condition, de grandes pertes de commutation ne peuvent pas être évitées sans sacrifier la fréquence de commutation, conduisant à une efficacité inférieure et à une gestion thermique difficile. Les topologies de type C peuvent ne pas rencontrer un tel problème car de nombreuses recherches ont été effectuées pour la conversion AC / DC haute tension [62]. Néanmoins, l'absence de bus DC basse tension rend impossible l'intégration des ressources renouvelables du côté basse tension (potentiellement résidentiel).

1.2.4 Principe de fonctionnement d'un transformateur à semi-conducteurs

Le principe du transformateur à semi-conducteurs est donné sur la figure. Comme on peut le voir, la tension d'entrée à fréquence industrielle du réseau est d'abord convertie en tension alternative à haute fréquence par les convertisseurs électroniques de puissance, puis, une tension alternative à haute fréquence est induite vers le secondaire par induction électromagnétique : dans le côté secondaire, la tension alternative à haute fréquence est convertie en une tension de sortie souhaitée par d'autres convertisseurs électroniques de puissance. Les boucles de contrôle sont connectées aux bornes d'entrée et de sortie pour garantir que la tension de sortie ne change pas avec la fluctuation de la charge. Le rapport du transformateur à semi-conducteurs k est déterminé par le rapport du transformateur de fréquence et deux convertisseurs électroniques de puissance le rapport de tension .K peut être calculé par la formule (1) comme suit : $K = k1 * k2 * k3$

Où **:** K est le rapport du transformateur à semi-conducteurs, K1 est le rapport du transformateur haute fréquence K2, K3 sont des rapports de deux transformateurs électroniques de puissance respectivement. Par 0modification des paramètres de la puissance des bornes de sortie convertisseur électronique, comme la fréquence, la phase initiale et forme d'onde, peut convertir un type de fréquence, forme d'onde et des signaux électriques à angle de phase à l'autre. C'est clair que le transformateur à semi-conducteurs a des fonctions, telles que variable conversion et phasage tension fréquence.[5]

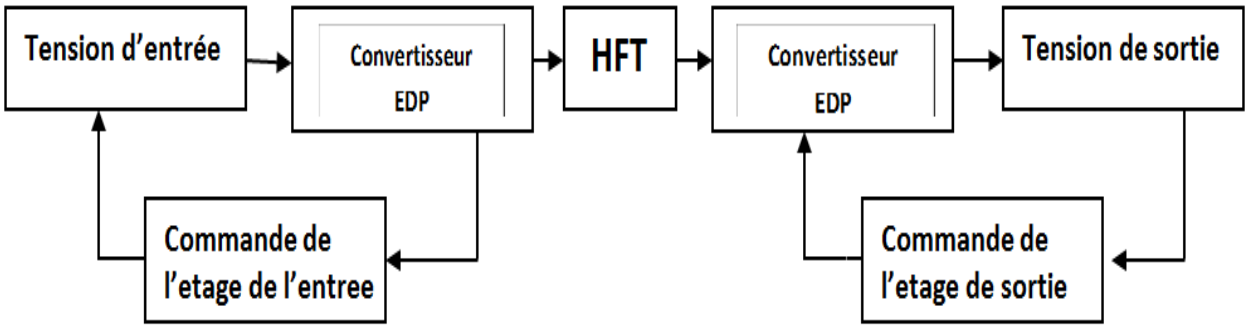


Figure 1.4 Principe de fonctionnement

1.2.5 Conception d'un SST à trois étages

Pour une application dans un système de microréseau, la conception d'un SST la plus appropriée est celle basée sur trois étapes, illustrées sur la figure (1.5).Il utilise deux ponts convertisseurs semi-conducteurs et un transformateur entre les deux. Dans la première étape il y'a un convertiseur est connecté au côté MT, il transforme la tension alternative triphasée(courant), d'une fréquence de 50 ou 60 Hz, à une tension (courant) continue dans le circuit intermédiaire. La tension continue est ensuite reconvertie en courant alternatif, mais avec une fréquence plus élevée, par la seconde partie du pont convertisseur MT. Grâce à la fréquence élevée de la tension résultante, les propriétés magnétiques du noyau du transformateur sont mieux utilisées et le transformateur peut donc être fabriqué considérablement plus petit tout en maintenant la même capacité de puissance. Du côté basse tension, un second pont de convertisseur transforme la tension alternative haute fréquence en une autre continue. Ensuite, on revient à la tension alternative avec une fréquence standard à l'aide d'un onduleur triphasé. A noter, que la tension continue, coté basse tension, peut être utilisée directement pour alimenter des charge continues.

Les SST utilisent des convertisseurs électroniques de puissance avec transformateur haute fréquence pour convertir une moyenne ou haute tension coté entrée en basse tension côté sortie du SST. Le résultat est un produit qui donne aux utilitaires une contrôlabilité améliorée de la transaction d'énergie électrique dans le réseau tout en assurant une taille et un poids considérablement réduits.

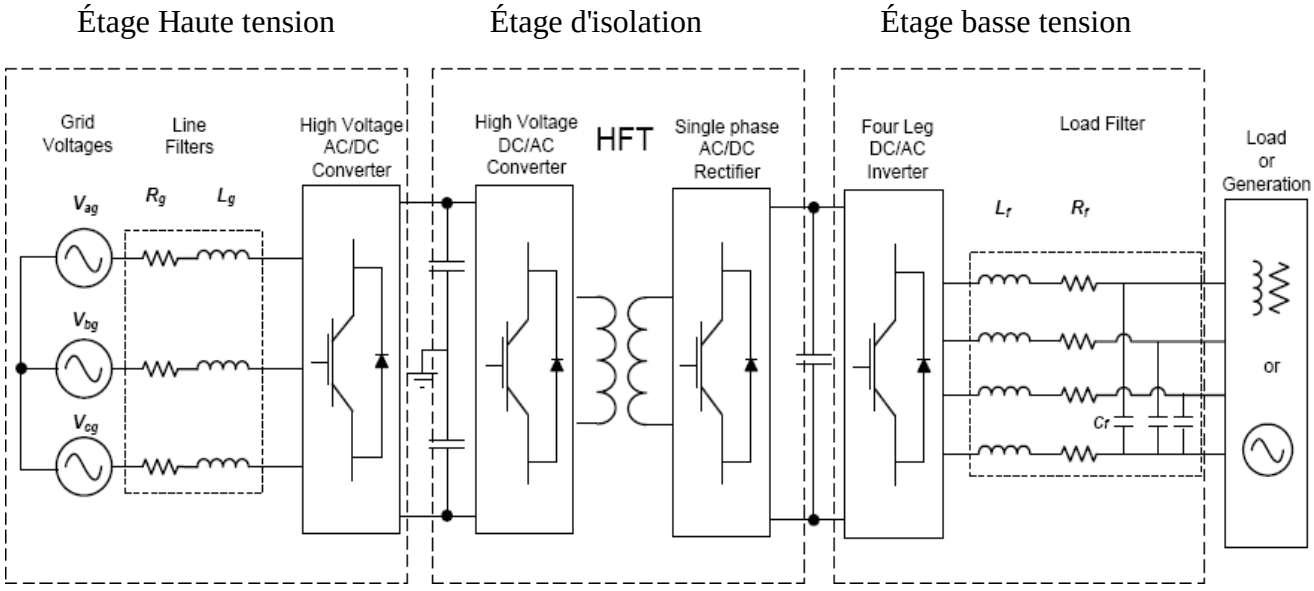


Figure 1.5 Configuration d'un SST à 03 étages

En plus de la tache de transformation de la tension, la structure du SST et, via la commande de ses différents blocs, différentes autres taches peuvent êtres ciblées telles que le filtrage et l'amélioration de la qualité d'énergie, le contrôle du flux de puissance, etc

1.2.6 Les applications haute tension/huate puissance :

En outre, compte tenu de la limitation des dispositifs d'alimentation et des composants magnétiques, les topologies SST susmentionnées peuvent devoir être connectées en série / en parallèle pour les applications **haute** tension et **haute** puissance, comme illustré sur la fig.(1.6).

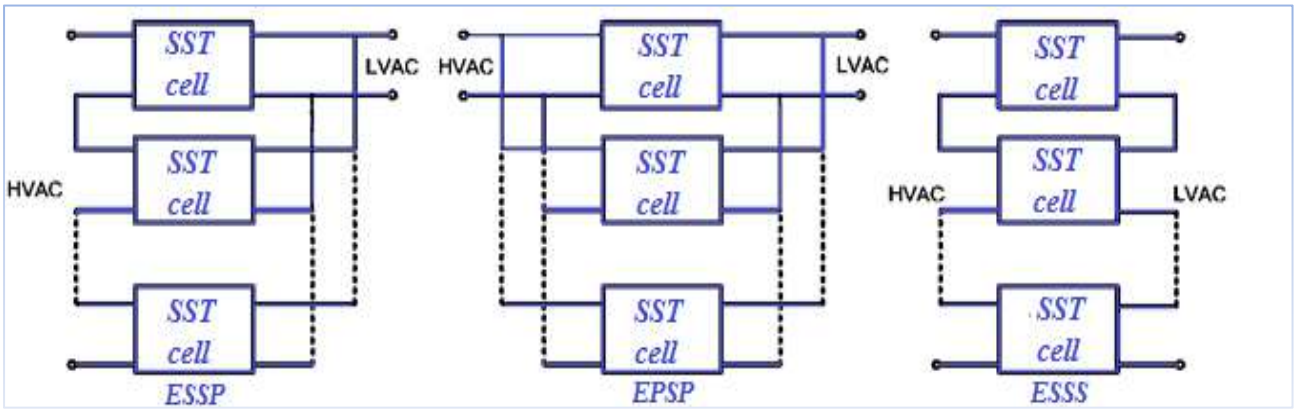


Figure 1.6 SST à hauts tension et hauts puissance

Trois connexions possibles sont illustrées, qui sont les entrées série sortie parallèle (ISOP), les entrées parallèle sortie parallèle (IPOP) et les entrées série sortie série (ISOS). La série d'entrées / sorties parallèles (IPOS) n'est pas incluse car elle est la même avec ISOP dans cette application. Il convient de souligner que ces configurations SST entrent toujours dans les quatre catégories susmentionnées du point de vue de l'étape de conversion.

Les convertisseurs modulaires à plusieurs niveaux sont une technologie innovante qui permet d'utiliser des convertisseurs de source de tension composés de commutateurs IGBT basse tension dans les applications moyenne et haute tension. Il existe plusieurs types de topologies de convertisseur à plusieurs niveaux et, bien que les concepts fondamentaux soient similaires, il existe des différences dans les exigences de contrôle entre ces différentes topologies. Les différentes topologies de convertisseur à plusieurs niveaux incluent le pont en cascade en cascade, le diode-clamped, le condensateur volant et les convertisseurs modulaires à plusieurs niveaux. Cette thèse se concentrera sur la topologie du convertisseur modulaire à plusieurs niveaux qui sera expliquée ci-dessous. Avec plusieurs réseaux d'appareils connectés en série, les modules de la séquence peuvent

être connectés ou court-circuités pour atteindre le niveau de tension souhaité. Il en résulte une tension de convertisseur «en escalier» avec la qualité de la forme d'onde directement liée au nombre de niveaux de tension utilisés, qui est le nombre de sous-modules dans le convertisseur, et la qualité des approches de contrôle utilisée[16].

Il est clair que la structure d'un SST se compose essentiellement de composants ou de commutateurs d'électronique de puissance, par conséquent un choix convenable doit être effectué pour sélectionner le composant le mieux adapté pour l'application envisagée. En le choix doit se port soit sur le thyristor soit sur le transistor et la question c'est lequel d'eux est le plus convenable en effet, tandis que le thyristor n'est pas adapté à l'application haute fréquence, le transistor n'est pas adapté à l'application haute puissance. Par conséquent, pour les applications haute fréquence, nous devrions utiliser un transistor en raison de son faible temps d'activation et de désactivation. Par contre, pour les applications à forte puissance, le thyristor doit être utilisé en raison de sa capacité de transport de courant élevée. A noté que, l'utilisation d'un thyristor pour une application haute fréquence, Il en résultera une faible efficacité du circuit résultant. Par conséquent, nous ne pouvons utiliser les appareils dans une application appropriée que lorsque nous connaissons les différences qui les séparent. Le tableau (1.1), explicitent les point communs et les point de différence entre un transistor et un thyristor.

Tableau 1.1 Comparaison entre Thyristors et transistors

PARAMÈTRES	THYRISTOR	TRANSISTOR
Définition	Le thyristor est un dispositif semi-Conducteur à quatre couches utilisées pour la rectification et la commutation.	Le transistor est un dispositif semi-Conducteur à trois couches qui sont principalement utilisé pour l'ampli - fication et la commutation.
Puissance admissible	Plus par rapport au transistor.	Moins comparé aux thyristors.
Intensité et tension nominales	Courant et tension nominaux élevés.	Courant et tension nominaux faibles.
Pertes internes	Moins comparé aux transistors.	Plus par rapport aux thyristors.
Temps de mise en marche et d'arrêt.	Nécessite plus de temps pour allumer e éteindre.	Prend très moins de temps pour allumer et éteindre
Poids	C'est encombrant.	Il est bon marché et donc économique d'utiliser plusieurs applications
Procédure de déclenchement	Il suffit d'une seule impulsion pour Passer en état de conduction.	Il a besoin de courant continu élément pour Le maintenir dans un état de conduction
Application haute fréquence	Ne convient pas.	Adapté

Pour le transistor, il faut choisir l'IGBT et le MOSET, le tableau (1.2) résume une comparaison entre les deux types. En effet, le choix du type du commutateur dépend de plusieurs paramètres, à savoir :

- Le niveau de la tension à l'entrée du SST.
- La valeur de la puissance à transmettre.
- La valeur du courant à faire circuler.
- La valeur de la fréquence coté HF.
- La fréquence de commutation du composant

Tableau 1.2. Comparaison entre Bipolaire- 1Mosfet et IGBT

Caractéristique de l'appareil	Bipolaire de puissance	Mosfet3. de puissance	IGBT
Tension nominale	élevé<1kV	élevé<1kV	Très élevé>1kV
Courant nominale	élevé<500A	faible<200A	élevé>500A
Lecteur d'entrée a Gâchette	Courant20-200Hfe	TensionVgs3-10V	TensionVge4_8V
Impédance d'entrée	faible	élevé	Elevé
Impédance de sortie	faible	moyenne	Faible
Vitesse de commutation	Lente	Rapide	moyenne
Coût	Bas	Moyen	Elevé

Pour la conversion de puissance d'un hacheur, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs. Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques KW) et les IGBTS à des puissances plus élevées.

1.2.7 Avantages et inconvénients d'un SST:

Le SST fournit de nouvelles façons de contrôler le routage de l'électricité et ajoute également de nouvelles fonctionnalités au réseau de distribution telles que la compensation de puissance réactive, les courants de court-circuit limités ou la compensation de l'affaissement de tension ainsi que devrait Jouer un rôle clé dans le remplacement des transformateurs basse fréquence conventionnels alors Les principaux avantages des SST par rapport aux transformateurs conventionnels est:

- taille et poids plus petits,
- contrôle rapide du flux de puissance active bidirectionnelle,
- performances améliorées de qualité d'énergie,
- intégration facile des ressources distribuées,
- correction du facteur de puissance,
- contrôle de la puissance réactive des deux côtés du SST,
- équilibrage automatique et fréquence variable,
- régulation de tension instantanée,
- compensation de l'affaissement de la tension,
- compensation harmonique,
- isolation des défauts entre les côtés primaire et secondaire.
- Le SST présente une EMI plus élevée que le transformateur conventionnel, ce qui peut nécessiter une meilleure compréhension de l'impact SST et une meilleure conception pour atténuer cet impact.

Ces dernières années, des appareils électroniques à haute fréquence, haute puissance et faible perte ont été disponibles à un prix moins élevé. Les avantages du SST combinés à des appareils électroniques de puissance moins chers soutiennent la faisabilité économique du SST pour remplacer le conventionnel transformateur.[17]

La combinaison de tous ces aspects avec les capacités et avantages offerts par ce dispositif a également favorisé une recherche significative dans le développement et l'application du SST.[18]

1.2.8 Applications générales du SST

Des travaux acharnés ont été faits pour améliorer le fonctionnement du SST et insérés dans différentes sections électriques avec l'augmentation de ses fonctionnalités, cette section résumera les principales applications de SST **:**

• Vue d'ensemble des domaines d'application typiques.

• Application de traction.

• Intégration des énergies renouvelable.

• Station de recharge CC.

• le conditionneur de qualité d'énergie unifié (UPQC).

• l'Application dans les réseaux intelligents (Smart Grid).

Il existe de nombreuses applications typiques où il peut être utilisé. Le schéma suivant donnera une brève idée des utilisations de l'application de SST.

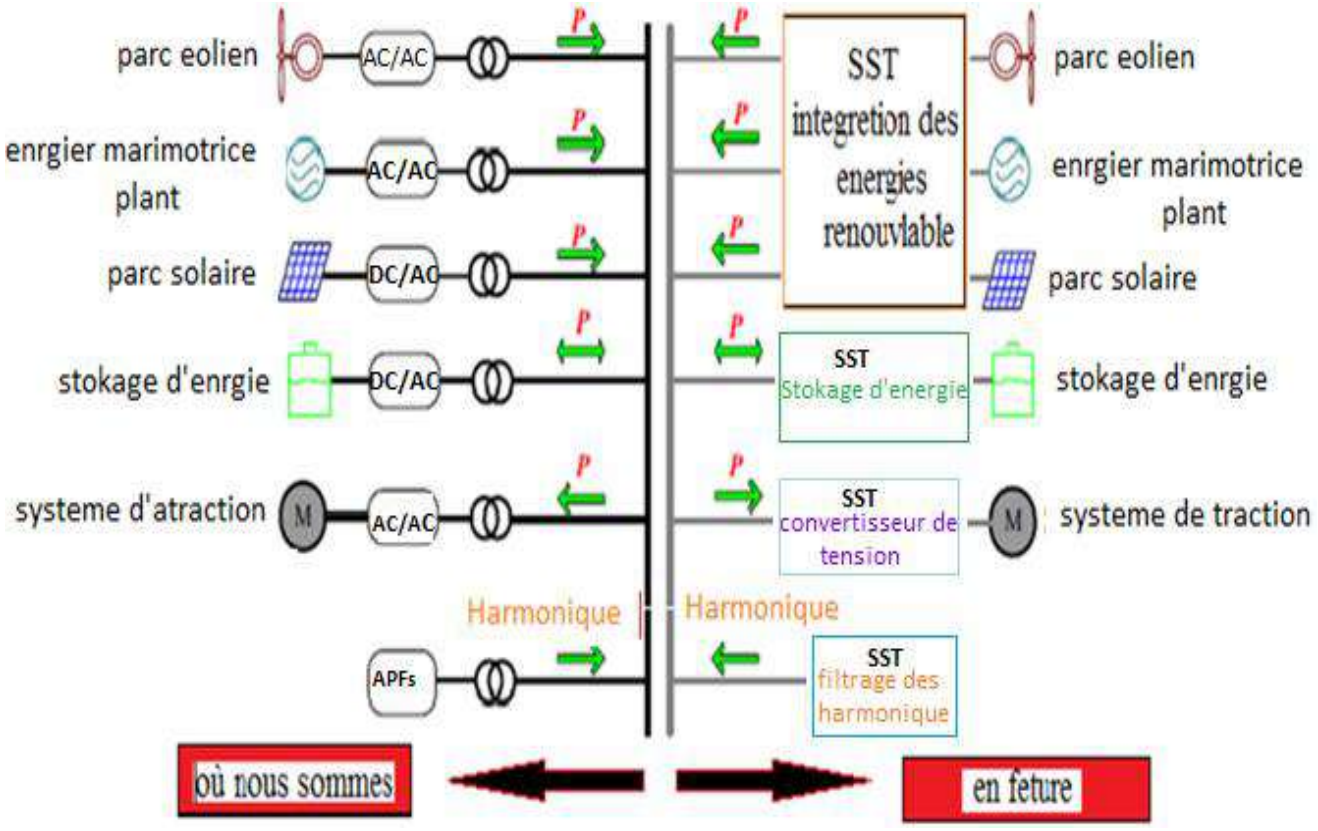


Figure 1.7 Application potentielle de la 1SST dans le futur système de distribution

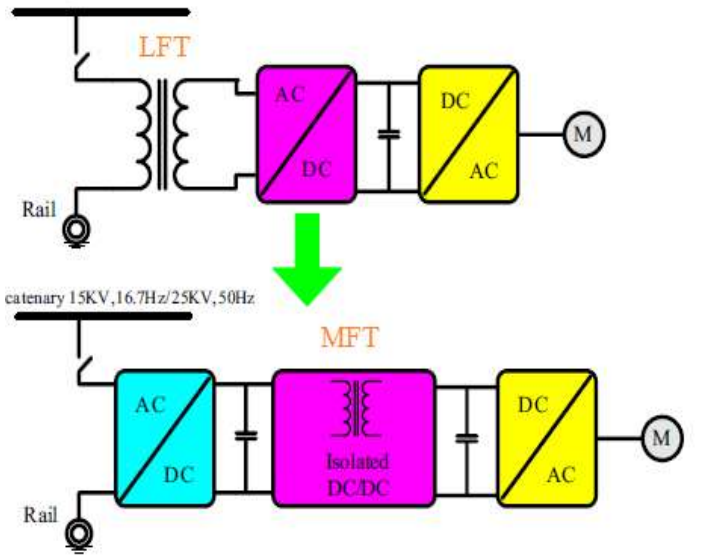


Figure 1.8 système de traction basée sur SST

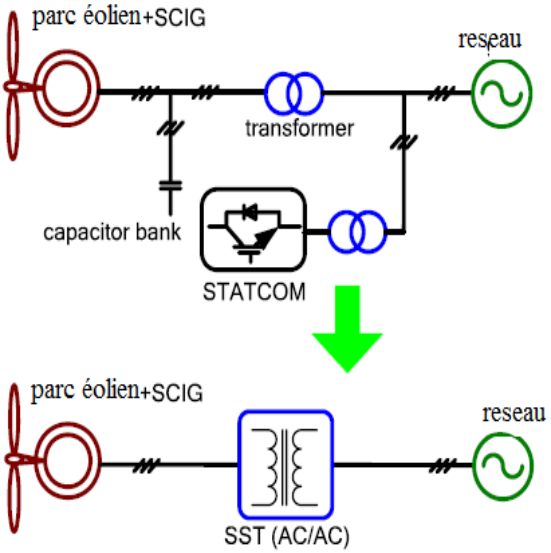


Figure 1.9. Système éolien interfacé par SST.

1.2.8.1 Réseaux intelligent

Le SST peut être utilisé pour ajuster et géré de manière dynamique et efficace la distribution d'énergie dans le réseau électrique.

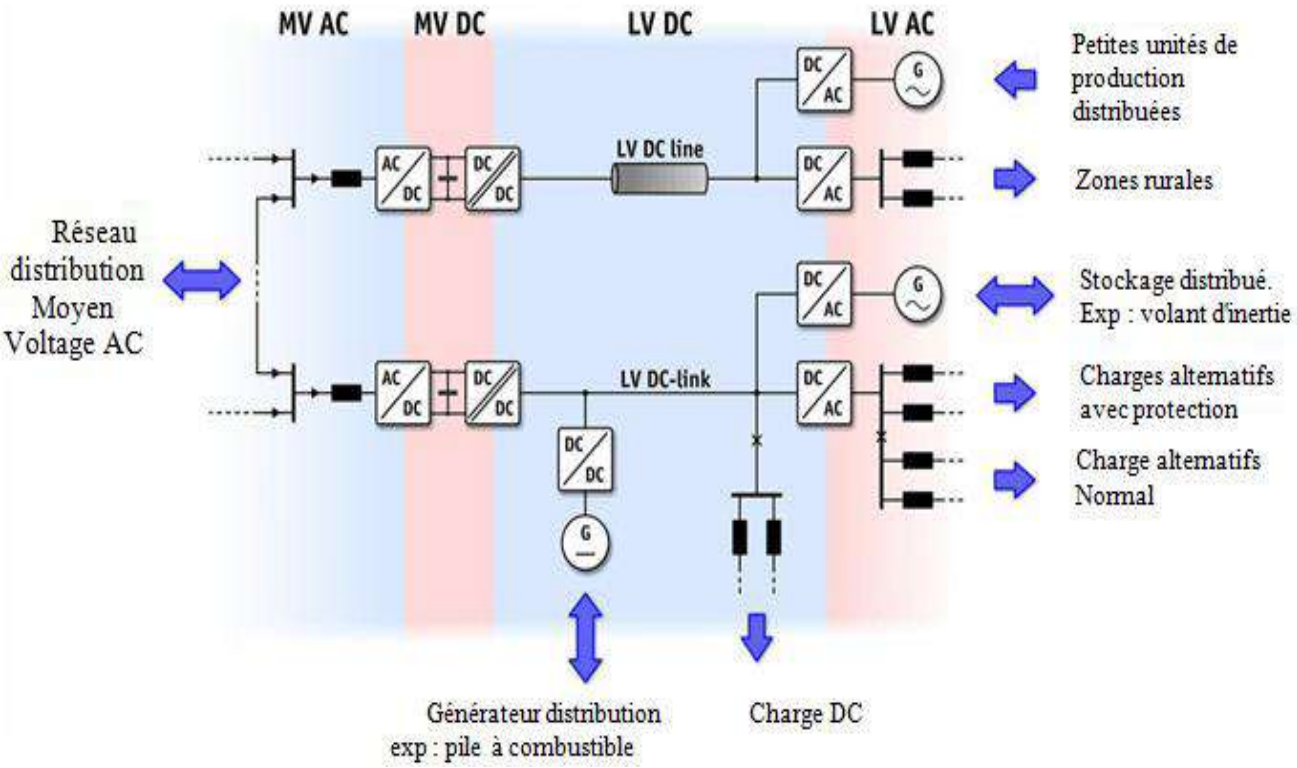


Figure 1.10 .SST dans un réseau intelligent.

Intégration avec d'autres systèmes La liaison BT CC dans la topologie SST fournit un bon point d'intégration flexible pour les systèmes d'énergie renouvelable dans le réseau de distribution. Lorsque la demande de charge est supérieure aux capacités de la source d'énergie renouvelable, un convertisseur unidirectionnel peut être utilisé. Lorsque les capacités de production les plus élevées dépassent la demande de charge pendant certaines périodes, alors la puissance excédentaire pourrait être renvoyée au réseau à l'aide d'un convertisseur bidirectionnel.

1.3 Conclusion

Ce chapitre a introduit une expression analytique pour l'état de l'art d'un nouveau modèle de transformateur à semi-conducteurs SST qui est utilisé comme un dispositif de transmission bidirectionnel contrôlable. Nous avons vu quelques généralités et notions de base sur le SST et fait une étude sur les différentes architectures et les applications de SST à l'aide du contrôle du courant Dans SST, il peut être largement utilisé dans le système de distribution. Dans ce chapitre, les concepts et les développements dans le domaine de la SST ont été montrés. De plus la comparaison entre ces différentes topologies de transformateur à semi-conducteurs a été résumée. Enfin, nous avons conclu que le transformateur conventionnel qui a été largement utilisé dans les applications industrielles jusqu'à présent présente des inconvénients tels que la saturation du noyau pour une charge non linéaire, une mauvaise régulation de la tension, une grande taille. La majorité de ces problèmes peuvent être réduits ou complètement éliminés par un transformateur intelligent à base électronique de puissance à semi-conducteurs, plus petits concernant la taille et moins chers pourraient être relativement faciles à planter pour des réseaux de moyenne tension, dans de petits champs solaires ou des modules de stockage. La vitesse de commutation plus rapide des périphériques à semi-conducteurs aiderait un utilitaire à gérer plusieurs sources d'alimentation alimentant le réseau, car davantage de transformateurs permettraient de contrôler et d'ajuster la qualité de l'alimentation. Par conséquent Le reste de cette thèse est divisé en deux chapitres suivants plus une annexe et les deux chapitres Ils se consacreront à la modélisation et à la simulation.

Chapitre 2

Modélisation d'un «SST» à trois étages

2. Chapitre 2. Modélisation d'un SST a trois étages

2.1 Introduction

La modélisation des transformateurs intelligents est un domaine très vaste et généralement les modelés sont employés pour la simulation des comportements transitoires. Une représentation exacte de chaque situation transitoire exige un modèle développé et convenable pour une gamme de fréquences à plusieurs mégahertz.

Les convertisseurs modulaires multi niveaux (MMC) constituants une topologie de convertisseur de source de tension émergente adaptée à de nombreuses applications. La structure de MMC basée sur un sous-modulaire simple (SM) offre une évolutivité et une fiabilité [16][4].

2.2 Modélisation d'un SST à trois étages

La figure (2.1) montre la configuration schématique et la conception nécessaire d'un SST à trois étages bidirectionnelle, qui se compose de trois étages principales: étage moyenne tension, étage d'isolement et étage basse tension.

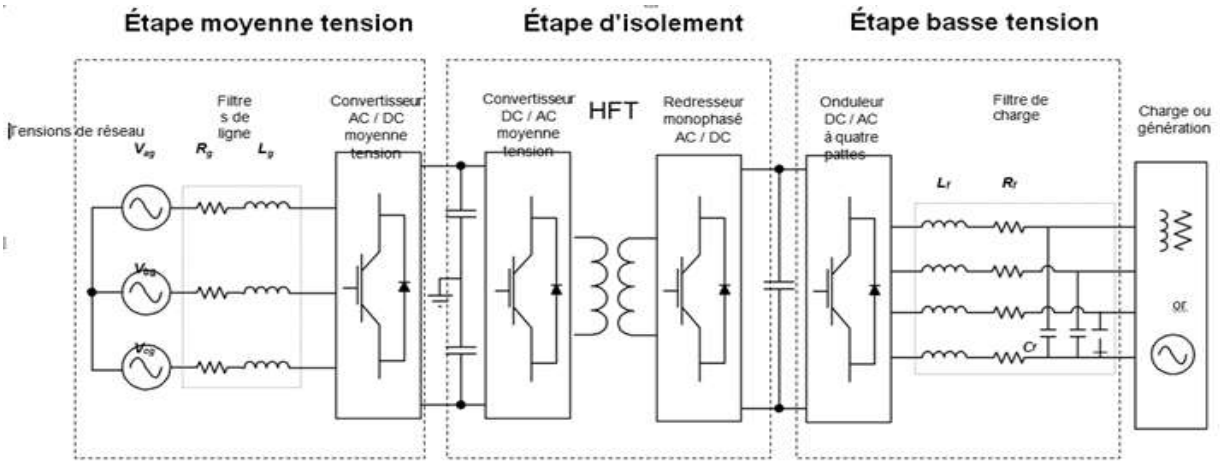


Figure 2.1 Configuration schématique de la conception de SST en trois étages

Tant que la puissance passe du côté MT vers le coté BT, la tension alternative à fréquence d'entrée est convertie en une tension continue MT par le convertisseur triphasé alternatif / continu, qui dans ce cas fonctionne comme un redresseur. L'étage d'isolation, qui comprend un transformateur à haute fréquence (HFT) et les deux convertisseurs correspondants les côtés MT et BT, convertit d'abord la tension continue côté MV a une tension en onde carrée haute fréquence appliquée au primaire du HFT. Le signal carré du côté secondaire est ensuite converti en une forme d'onde CC en courant continu par le convertisseur côté BT, qui fonctionne également en tant que redresseur.

Enfin, le convertisseur courant continu / courant alternatif triphasé côté BT, qui fonctionne comme un onduleur, fournit la forme d'onde alternative à fréquence et puissance de sortie à partir de la liaison CC du côté BT.

Le côté MT (appelé ci-après étage d'entrée) est connecté à un réseau de distribution MT,

tandis que le côté BT (appelé ci-après étage de sortie) est supposé être connecté à un réseau BT auquel la charge et la production pourraient être connectées. Lorsque l'énergie circule du côté BT vers le coté MT (c'est-à-dire que la génération BT est prédominante), le comportement du SST est similaire à celui décrit ci-dessus; à la base, les étages d'entrée et de sortie remplacent les fonctions. Le reste de cette section résume la configuration sélectionnée pour chaque étape et les contrôleurs correspondants.

Au début, le MMC triphasée avec des demi- ponts (SM) est utilisée comme un convertisseur de raccordement au réseau à l'étage d'entrée, qui transforme la tension alternative en tension continue. La commande orientée tension (VOC) est Une méthode comporte des équations a été utilisée pour générer des signaux de référence appropriés, en plus la méthode de PWM décalé et déphasé de niveau (level shift et phase shift) est utilisée comme technique de modulation. La conception et la liaison entre les SM en intégrants des capacités, a permet une circulation des courants et génération d'une tension Continu lissée par la capacité de filtrage en shunt parallèle.

L'étage d'isolation est divisé en trois parties: une MMC monophasée fonctionne comme un onduleur, un HFT, et un pont redresseur (AC/DC) double alternance monophasé avec filtre shunt parallèle C. la commande utilisée pour les convertisseurs DC/AC et AC/DC est identique et en utilisant des générateurs d'impulsions avec un décalage de temps.

Un onduleur MLI triphasé est utilisé pour l'étage de sortie. Pour la commande en applique la commande PWM sinus triangulaire pour générer des signaux de référence appropriés.

2.2.1 Étage d'entrée : Configuration et control

L'étage MT du SST est connecté à un système de distribution alternatif triphasé via des filtres RL. La figure (2.2) illustre la configuration de la console MMC triphasée sélectionnée pour ce travail.

S'il est supposé que la puissance passe du côté MT au côté BT du SST, le contrôleur MMC côté MV agit comme un redresseur qui convertit la tension alternative du réseau en une tension continue.

En cas d'inversion du flux de puissance, le MMC joue le rôle d'un onduleur qui transmet la tension continue du circuit intermédiaire de l'étage d'entrée à la tension alternative à la fréquence du réseau.

Dans la topologie considérée et comme le montre dans la figure (2.2), chaque branche du MMC triphasé se compose de deux bras supérieur et inférieur avec un sous-module (SM) connecté en série similaire, une résistance de bras (R_{arm}) et une inductance de bras (L_{arm}).Différents types de SM sont disponibles pour la réalisation d'un MMC tels que le convertisseur à demi- pont, le convertisseur à pont complet, le convertisseur NPC (pince neutre) à trois niveaux, le convertisseur a condensateur volant à trois niveaux (FC) et différentes topologies de convertisseurs à connexion croisée peuvent être utilisés dans le MMC.[19][20]Dans ce travail, le convertisseur demi-pont est utilisé comme SM pour MMC.

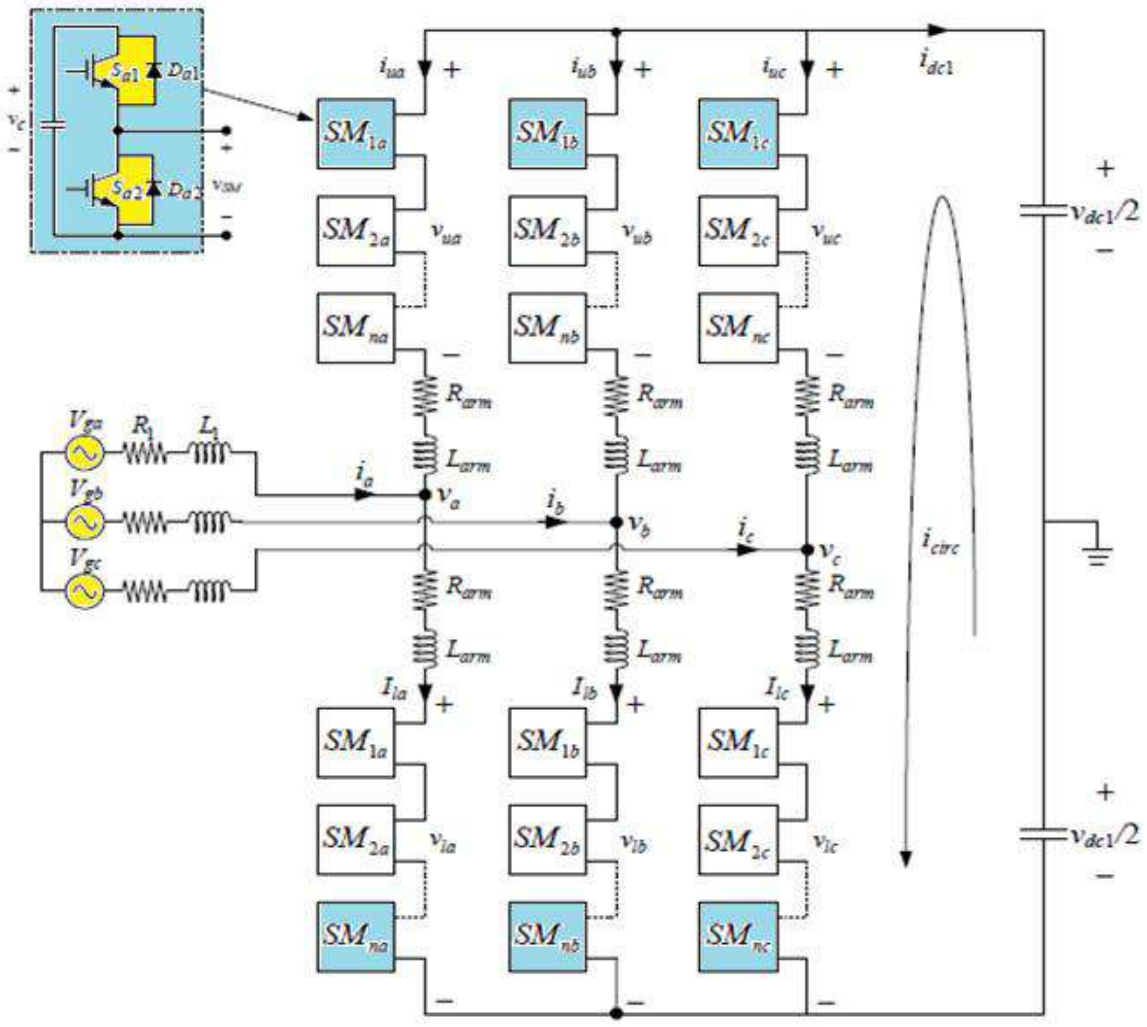


Figure 2.2. Configuration de l'étage d'entrée triphasé**.**

Il est important de comprendre les chemins de conduction des sous-modules, qui dépendent de la nécessité d'activer ou de désactiver l'IGBT ainsi que de la polarité du courant. Chaque sous-module sera dans l'un des deux états indiquant qu'un IGBT est allumé et l'autre éteint. La figure (2.3) montre les différents chemins de conduction lorsque la polarité du courant est positive et la figure (2.4) montre les différents chemins de conduction avec une polarité de courant négative. Cela sera utile lors de l'analyse de la perte de puissance de conduction dans le convertisseur.[16]

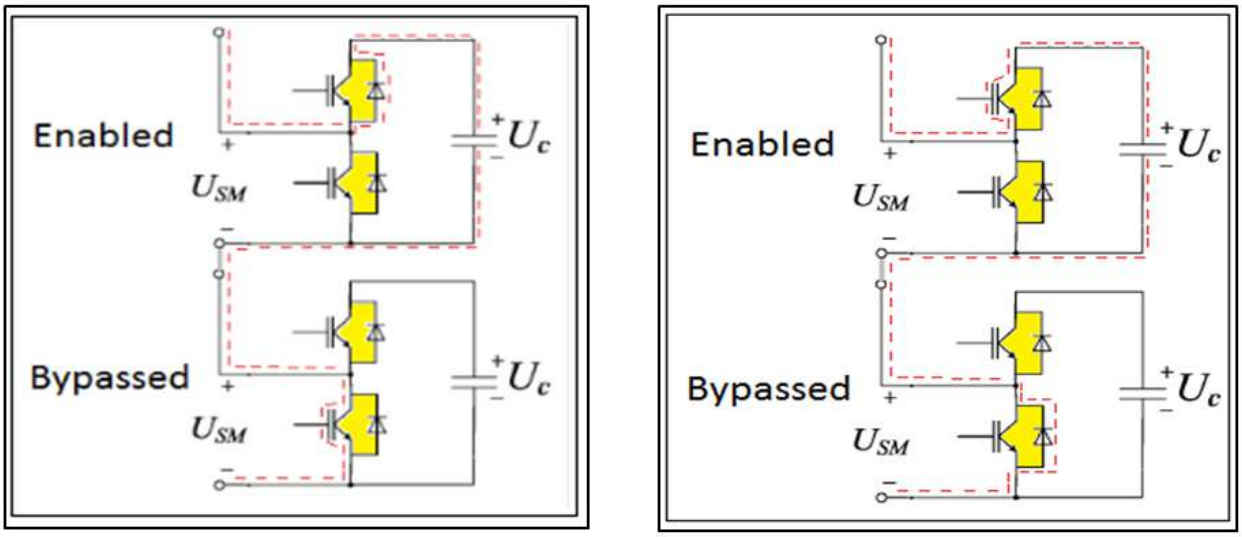


Figure 2.3 Chemin de conduction du convertisseur Courant positive /courant négative**.**

En détail, La figure (2.4) illustre les différents états de fonctionnement du demi-pont SM par rapport à la direction du courant. Comme on peut le voir sur cette figure, le demi-pont SM comprend deux commutateurs IGBT s1 et s2, et un condensateur lorsque la source a courant continue avec une tension de Vc, s1 et s2 sont commutés de manière complémentaire.

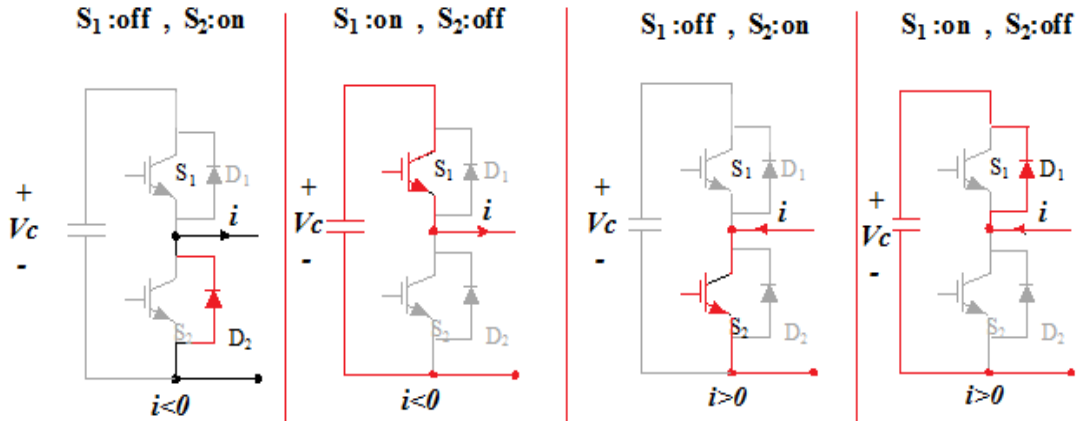


Figure.2 4.chemin de conduction du convertisseur Courant positive /courant négative.

Lorsque le commutateur $\mathbf{S_1}$est ON, la tension de SM est égale à $\mathbf{V_c}$ et on dit que SM est inséré. Lorsque le commutateur $\mathbf{S_2}$est ON, la tension de SM est égale à zéro et on dit que SM est contourné.

De plus, lorsque le courant s'insère de la polarité positive du condensateur, le condensateur est chargé et lorsque le courant s'insère de la polarité négative du condensateur, le condensateur est déchargé. (Voir le tableau 2.1)

Tableau 2.1. État de commutation du circuit 1

Numéro d'état De figure 2.6	S_1	S_2	V_0	**direction actuelle**	**chemin actuel**	**charge du condensateur**
1	0	1	0	$i_0 > 0$	s_2	/
2	0	1	0	$i_0 < 0$	D_2	/
3	1	0	v_c	$i_0 > 0$	D_1	charge
4	1	0	v_c	$i_0 < 0$	s_1	décharge

Étant donné que dans la topologie MMC, chaque bras doit pouvoir fonctionner avec la tension totale de la liaison continue, la valeur de chaque tension de capacité SM doit être :

$$v_{cSM} = \frac{v_{dc}}{n} \tag{2.1}$$

2.2.1.1 Modèle mathématique

Pour mieux analyser le modèle de la MMC côté MV, la figure (2.6) illustre l'interaction d'un tronçon MMC et de la liaison CC à tension continue [20]-[21].

Le courant des bras supérieur et inférieur de la phase k, (k = a, b, c), i_{uk} et i_{lk} , (u/upper/supérieur), (L/Lower/ inférieur) peut être exprimé par :

$$i_{uk} = i_{circ} - \frac{i_k}{2} \tag{2.2}$$

$$i_{Lk} = i_{circ} + \frac{i_k}{2} \tag{2.3}$$

Où **:** i_k est le courant d'entrée de la phase k, et i_{circ} est le courant de circulation qui peut être obtenu en ajoutant (2.2) et (2.3)**:**

$$i_{circ} = \frac{i_{uk} + i_{Lk}}{2} \tag{2.4}$$

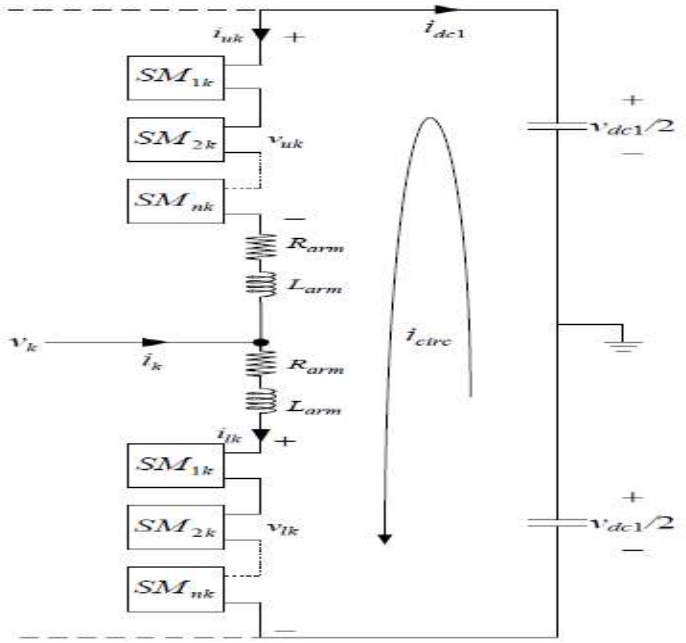


Figure. 2. 5. Une configuration D'un bras de l'étage d'entrée MMC.

Les tensions supérieures et inférieures des phases k, v_{uk} et v_{lk} peuvent être exprimées comme suit:

$$v_{uk} = \frac{v_{dc1}}{2} - v_k - R_{arm} i_{uk} - L_{arm} \frac{di_{uk}}{dt} \tag{2.5}$$

$$v_{Lk} = \frac{V_{dc1}}{2} + v_k - R_{arm} i_{Lk} - L_{arm} \frac{di_{Lk}}{dt} \tag{2.6}$$

Où : v_k est la tension de la phase k du côté alternatif du MMC, **Rarm** et **Larm** sont respectivement la résistance et l'inductance de chaque bras du MMC. En soustrayant (2.6) de (2.5) et en remplaçant iuk et i_{lk} de (2.2) - (2.3), on obtient la forme suivante pour v_k :

$$v_k = \frac{v_{Lk} - v_{uk}}{2} + \frac{R_{arm} i_k}{2} + \frac{L_{arm}}{2} \frac{di_k}{dt} \tag{2.7}$$

Comme on peut le voir sur la figure (2.2)**:**

$$v_{gk} = v_k + R_1 i_k + l_1 \frac{di_k}{dt} \tag{2.8}$$

Où **:** R1 et L1 sont la résistance et l'inductance des filtres d'entrée. En remplaçant (2.7) dans (2.8) on obtient l'équation suivante **:**

$$v_{gk} = \frac{v_{Lk} - v_{uk}}{2} + \frac{R_{arm} i_k}{2} + \frac{L_{arm}}{2} \frac{di_k}{dt} + R_1 i_k + L_1 \frac{di_k}{dt} \tag{2.9}$$

Un circuit équivalent du MMC peut être déduit de ces résultats (voir figure 2.5). En utilisant les formes suivants [22]**:**

$$v_{eq} = \frac{v_{Lk} - v_{uk}}{2} \tag{2.10}$$

$$R_{eq} = R_1 + \frac{R_{arm}}{2} \tag{2.11}$$

$$L_{eq} = L_1 + \frac{L_{arm}}{2} \tag{2.12}$$

L'équation (2.9) devient **:**

$$v_{gk} = v_{eq} + R_{eq} i_k + L_{eq} \frac{di_k}{dt} \tag{2.13}$$

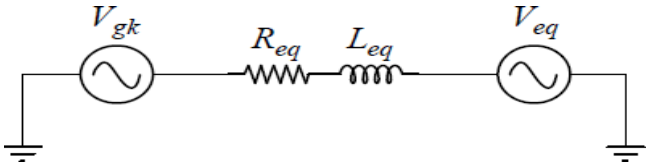


Figure. 2.6. Circuit équivalent d'une MMC [22]

2.2.1.2. Commande latérale moyenne tension

Une méthode de commande orientée tension (VOC) et Dépend des fonctions a été choisie pour générer des signaux de référence appropriés pour la technique de modulation mise en œuvre dans ce travail.

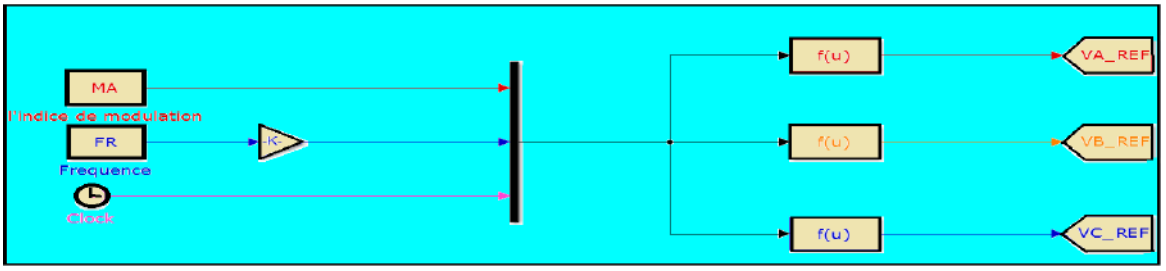


Figure .2.7. Schéma block d'une stratégie fournissent et orienté les tensions de référence

Le schéma fonctionnel est illustré à la figure (2.8); le schéma VOC fournit la tension de référence v *de la phase k[23]-[24].

À partir des équations (2.5) et (2.6) et en négligeant la chute de tension à travers l'impédance du bras, les tensions de référence pour les bras supérieurs et inférieurs des phases k, v_{uk}^{*} et v_{lk}^{*}, sont obtenues comme suit:

$$v_{uk}^{*} = \frac{v_{dc1}}{2} - v_{k}^{*} \tag{2.14}$$

$$v_{Lk}^{*} = \frac{V_{dc1}}{2} + v_{k}^{*} \tag{2.15}$$

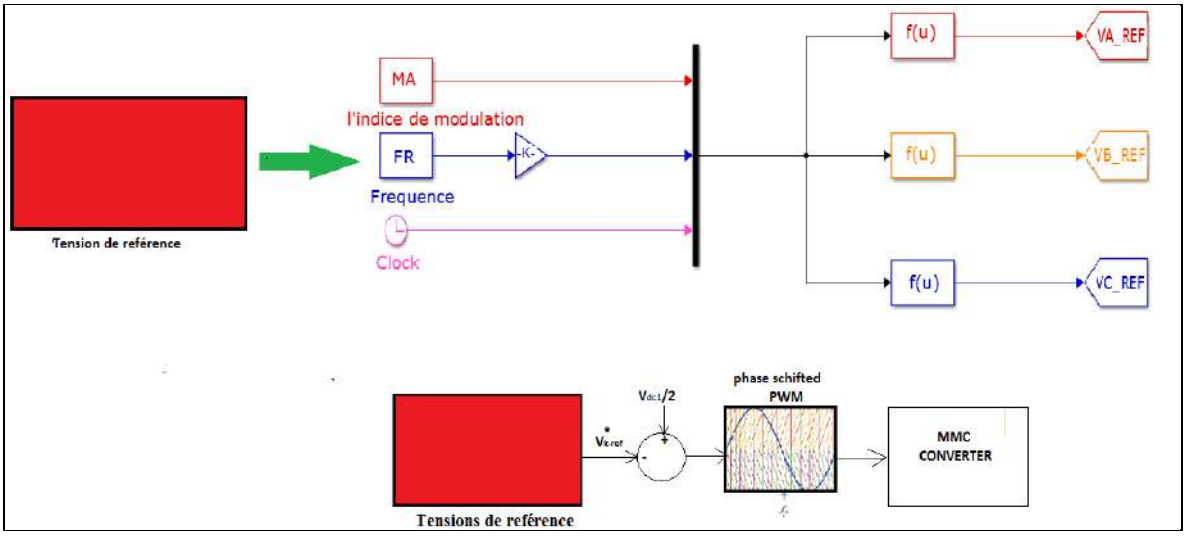


Figure 2.8. Schéma fonctionnel du contrôleur MMC de l'étage d'entrée triphasé.

2.2.1.3 Technique de modulation

La modulation de largeur d'impulsion sinusoïdale (SPWM) est une technique simple qui est utilisée pour une séquence d'impulsions de tension en activant / désactivant en conséquence des commutateurs électroniques de puissance dans un convertisseur. Cette technique conduit à générer des impulsions d'amplitude constante mais de largeur variable. Il existe plusieurs techniques principales de modulation, telles que le PWM décalé de niveau, le PWM déphasé, le PWM de disposition de phase, l'élimination harmonique sélective, la modulation vectorielle spatiale (SVM) ou la modulation de niveau le plus proche (NLM) ont été développés pour contrôler les MMC.[25][26]

Dans ce travail, Nous avons utilisé deux stratégies de modulation multi porteuses pour les convertisseurs modulaires à plusieurs niveaux et elles sont déphasées et décalées de niveau Sont **:**

- Modulation de largeur d'impulsion à déphasage(PSPWM)
- Modulation de largeur d'impulsion décalée de niveau (LSPWM). il y'a trois types **:**
    - Disposition de phase (PD)
    - Disposition d'opposition de phase (POD)
    - Disposition d'opposition en phase alternative (APOD)

En fin, Parmi les avantages de ces deux méthodes, on trouve :

- Algorithme de contrôle simple
- Configuration matérielle minimale
- Chaque cellule est associée à une paire de supports, ce qui permet un contrôle facile
- Configuration matérielle minimale
- Annulation harmonique légèrement meilleure

2.2.1.3.1 Modulation de largeur d'impulsion à niveau décalée (LSPWM)

Dans (LSPWM), les tensions de référence des bras de phase sont comparées à n porteuses triangulaires pour générer les niveaux de tension de sortie souhaités (n + 1).Tous les signaux porteuses sont décalées les uns par rapport aux autres en tenant compte de la référence zéro et ces signaux doivent avoir une fréquence et une amplitude égales. Le nombre des signaux porteuses nécessaires pour l'inverseur de niveau n est (n-1), Et est égale le nombre des sous-modules SMs dans chaque bras. Dans cette technique de modulation, le nombre des SMs insérés dans les bras supérieurs et inférieurs (nu et nl) est toujours contrôlé de sorte que n SMs sont insérés dans chaque jambe à tout instant; donc**:**

$$n_u + n_l = n \tag{2.16}$$

Si le convertisseur MMC a n SM dans chaque bras (voir Fig. 2.2), alors n formes d'onde porteuses en phase sont comparées à la forme d'onde de référence de chaque phase comme illustré à la Figure 2.9.

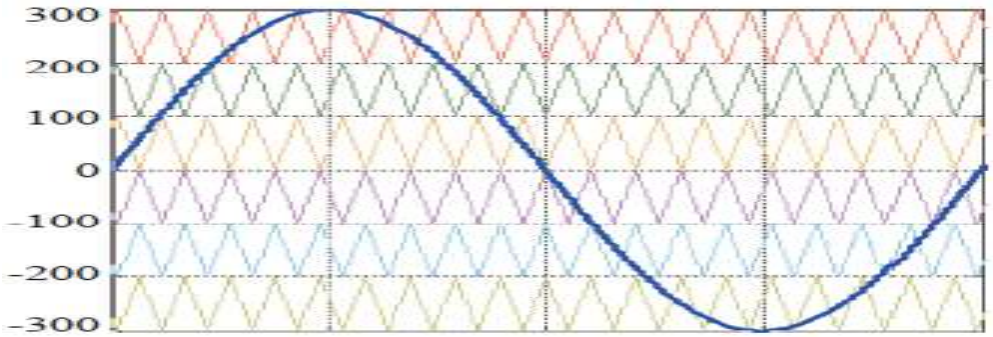


Figure.2. 9. PD- PWM décalé de niveau

2.2.1.3.2 Modulation de largeur d'impulsion à déphasage (PSPWM)

La modulation de largeur d'impulsion de porteuse déphasée spécifiquement pour les convertisseurs multi niveaux modulaires utilise une porteuse pour chaque sous-module du bras. Ces formes d'onde porteuses, généralement des formes d'onde triangulaires, mais les formes d'onde en dents de scie sont également une option, sont ensuite également déphasées.

Pour la modulation déphasée, tous les signaux porteurs doivent avoir une amplitude et une fréquence égales. Le déphasage approprié est calculé par cette formule :

$$\textit{Phase Shift} = \frac{360^{\circ}}{n} \quad \text{avec : n} \rightarrow \text{nombre de SM} \tag{2.17}$$

Il y'a deux paramètres clés **:** l'amplitude et l'indice de modulation de fréquence. Les équations pour calculer ces paramètres sont présentées en (2.18) et (2.19). L'indice de modulation de fréquence relie la fréquence de commutation de l'appareil à la fréquence fondamentale du convertisseur dans (2.18), **fcr** est la fréquence porteuse choisie et **mf** est la fréquence fondamentale ou 60 Hz.

$$f_m = \frac{f_{cr}}{m_f} \tag{2.18}$$

$$am = \frac{dev(ref)}{dev(car)} \tag{2.19}$$

La figure (2.10) montre une comparaissant entre la forme d'onde de référence et n formes d'onde porteuses en phase **:**

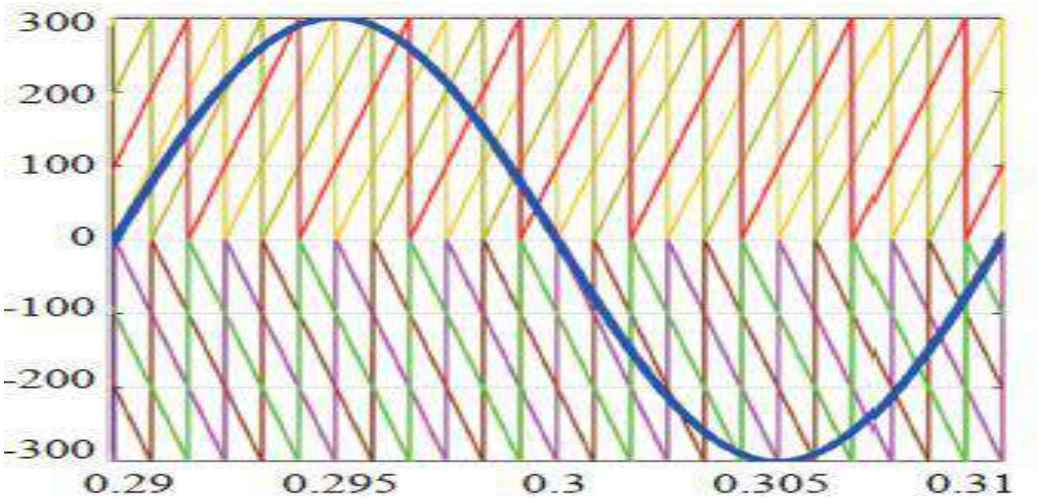


Figure.2 .10 .PWM décalé de phase

2.2.1 Étage d'isolation: Configuration et control

Le modèle mis en œuvre pour représenter l'étage d'isolation comprend trois parties principales (Fig. 2.11):

- Un MMC monophasée à un bras, dont le travail ressemble à celui d'un onduleur, génère un signal d'entrée haute fréquence vers le HFT cela fonctionne avec une forme d'onde à 2 kHz.
- Le HFT qui est modélisé comme un transformateur idéal en série avec son impédance de court- circuit
- Un convertisseur à double pont monophasé (BT monophasé) agissant en tant que redresseur et fournissant la tension de liaison continue requise pour l'étage de sortie du SST.[27]

Une brève description de la stratégie de contrôle mise en œuvre pour les convertisseurs de chaque côté HFT est donnée ci-dessous.

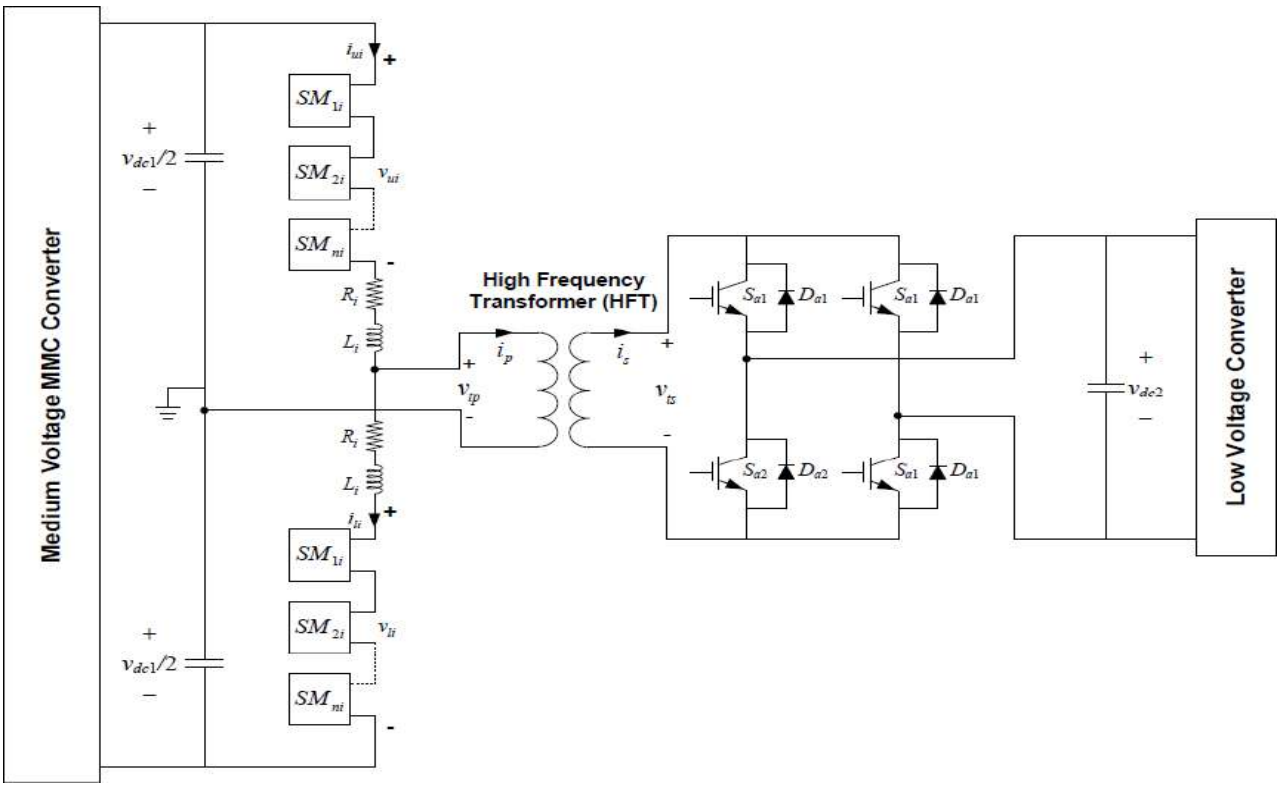


Figure. 2.11. Configuration de L'étage D'isolation

2.2.1.1 MMC monophasé

La stratégie de contrôle mise en œuvre pour ce convertisseur monophasé MV est l'utilisation des générateur d'impulsions décalé dans le temps, pour chaque demi période on envoie une impulsion au SM coté supérieur et inférieur de cette manière :

- 1 ère Demi période : une impulsion pour les 03 IGBT supérieur de bras supérieur avec 03 IGBT inférieur de bras inférieur.
- 2 ère Demi période : une impulsion pour les 03 IGBT inférieur de bras supérieur avec 03 IGBT supérieur de bras inférieur.

Ce technique renvoi une demi-période positive vers le négatif pour produire une alternance négatif et positif de fréquence élevé, cette commutation engendre un signal carré de fréquence 2 kHz pour attaquer le HFT. [28]

La tension de référence alternative v_{tp}^{*} peut être exprimée comme suit:

$$v_{tp}^{*} = m_a \frac{v_{dc1}}{2} \sin(2\Pi f_h t) \qquad (2.20)$$

Où : ma est l'indice de modulation de l'onduleur, vdc1 est la tension de liaison CC côté MT du SST, et f_h est la fréquence de fonctionnement du HFT.

Les tensions de référence des bras supérieur et inférieur, v_{ui}^* et v_{li}^*, sont obtenues comme suit**:**

$$v_{ui}^* = \frac{v_{dc1}}{2}(1 - m_a \sin(2\Pi f_n t)) \tag{2.21}$$

$$v_{li}^* = \frac{v_{dc1}}{2}(1 + m_a \sin(2\Pi f_n t)) \tag{2.22}$$

Dans ce cas on peut utiliser La stratégie PWM à décalage et a déphasage de niveau pour déterminer le nombre de SM à insérer ou à contourner dans chaque bras (nu et nl dans le tableau 2.2)

2.2.1.2 Transformateur haute fréquence

Le transformateur à haute fréquence (HFT) est le composant principal du SST pour réaliser l'isolation électrique. Il doit également permettre des rapports de tension et de courant élevés entre l'entrée et la sortie. L'utilisation d'un HFT dans le SST est la principale raison de la réduction de la taille par rapport aux transformateurs classiques fonctionnant à la fréquence du réseau (c'est-à-dire 50-60 Hz).Par conséquent, une conception optimisée de la haute fréquence en mode DAB est nécessaire pour tirer parti des avantages de la SST[18]. De nombreuses considérations et difficultés de conception doivent être prises en compte afin de satisfaire le fonctionnement à haute tension, haute puissance et haute fréquence du transformateur à étage d'isolation. Le premier défi est le choix du matériau magnétique qui devrait être suffisant pour fournir une densité de puissance élevée et une perte faible. Le deuxième défi est la configuration du noyau et des enroulements, car ils auront un effet considérable sur le rendement à haute fréquence. Le troisième défi est la conception thermique, qui doit éviter les pannes de l'appareil dans les applications haute tension et forte puissance. Enfin, l'exigence d'isolation est très importante dans les applications haute tension et dans la conception compacte, principalement lorsque l'huile est éliminée[29]. Les articles [17-18] présentent la conception et l'optimisation de transformateurs pour les applications SST. La figure (2.12) illustre la structure principale d'un transformateur a haut fréquence. .

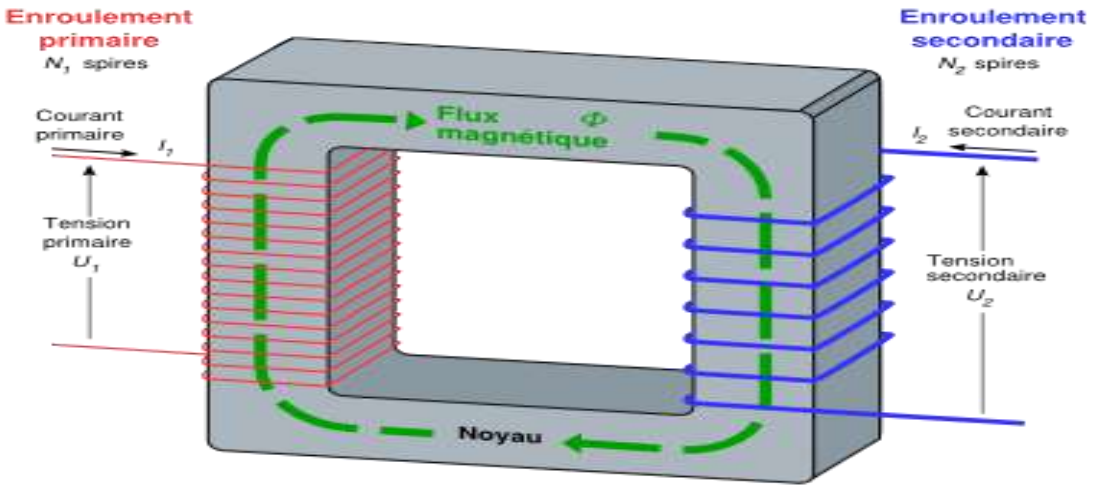


Figure.2. 12. Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur HFT.

Le transformateur est constitué de deux enroulements (ou plus) couplés sur un noyau magnétique, comme à la figure (2.12). Le cote de la source de tension alternatif U1 est appelle le primaire, et a N1 enroulements de fils (tours). Le courant I1 qui traverse cet enroulement donne naissance à un flux ϕm dans le circuit magnétique. Ce flux induit une force électromotrice dans le deuxième enroulement dit « enroulement secondaire » de N2 spires aux bornes duquel apparait une tension U2. Il faut remarquer qu'il n'existe aucune connexion électrique entre le primaire et le secondaire. Tout le couplage entre les deux enroulements est magnétique.

Lorsqu'on applique une tension alternative à la source, ceci crée un flux alternatif dans le noyau magnétique. Selon la loi de Faraday, ce flux crée des forces électromotrices dans les bobines. La force électromotrice induite est proportionnelle au nombre de tours dans la bobine et au taux de variation du flux. Selon le rapport du nombre de tours entre le primaire et le secondaire, le secondaire alimente la charge avec une tension différente de celle de la source.

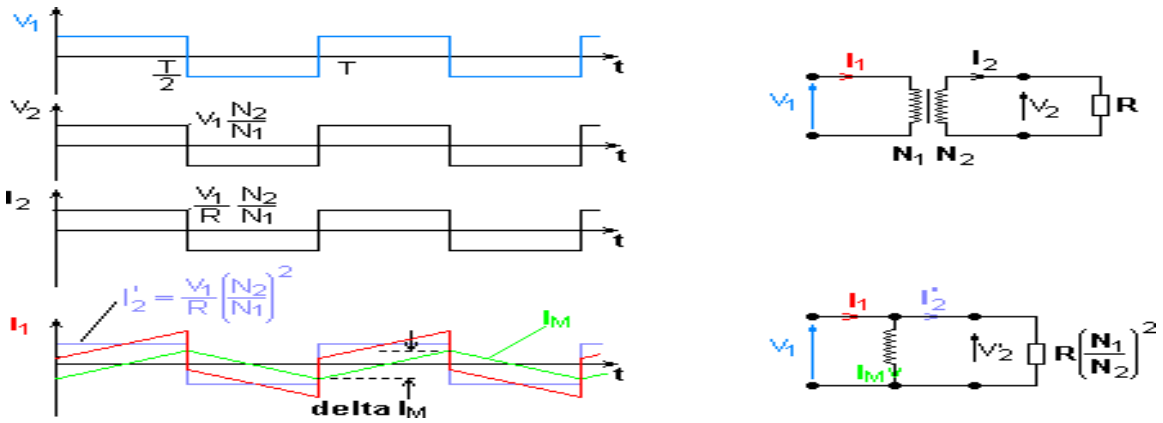


Figure.2 13. Tensions et courants du transformateur.

On suppose qu'il existe une tension carrée $\mathbf{V_1}$du côté primaire du transformateur. Cela provoque un courant D'entrée$\mathbf{I_1}$, qui consiste en le courant de retour secondaire transformé I_2 et le courant magnétisant $\mathbf{I_M}$ (figure2.13). Un noyau sans entrefer est utilisé afin de réduire au maximum le courant magnétisant.

La tension carrée à l'entrée du transformateur génère un courant magnétisant $\mathbf{I_M}$ de forme triangulaire presque indépendant du courant secondaire (voir également le circuit équivalent de la figure 2.13). Le courant magnétisant est approximativement proportionnel au flux magnétique **(Φ),** c'est-à-dire à la densité de flux magnétique **(B).**

La tension d'entrée $\mathbf{V_1}$détermine le flux magnétique dans le noyau du transformateur correspondant à la loi de Faraday **:**

$$v = N.\frac{d\phi}{dt} \tag{2.23}$$

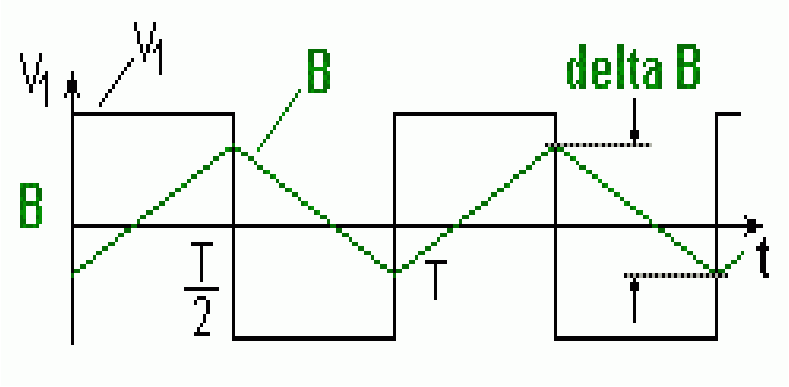


Figure 2.14.Tension d'entrée et densité de flux magnétique du transformateur.

Alors les formules de Boucherot sont données par **:**

$$u_1 = \frac{2\Pi}{\sqrt{2}} fN_1\varphi_{\max} = 4.44\, fN_1\varphi_{\max} \tag{2.24}$$

$$u_2 = \frac{2\Pi}{\sqrt{2}} fN_2\varphi_{\max} = 4.44\, fN_2\varphi_{\max} \tag{2.25}$$

$$\varphi_{\max} = B_{\max}.\mathrm{S} \tag{2.26}$$

S : section du circuit magnétique (en m2)

$B_{max:}$ champ d'induction maximal (en T:Tesla).

φ : flux utile crée par spire dans les enroulements primaire et secondaire.

On tire alors de (2.24), (2.25) et (2.26) :

$$u_1 = 4.44.f.\mathrm{B}_{max}.\mathrm{N}_1.S \tag{2.27}$$

$$u_2 = 4.44.f.\mathrm{B}_{max}.\mathrm{N}_2.S \tag{2.28}$$

Pour le transformateur à droite dans le diagramme ci-dessus, les conditions suivantes s'appliquent

- Le changement (B) de la densité de flux dépend de la fréquence f = 1/ T ~~et~~ du nombre de tours (N_1).
- Plus la fréquence et le nombre de tours sont élevés, plus le changement de densité de flux est faible.
- plus le changement de densité de flux (B) est faible, plus les pertes par hystérésis sont réduites.[3]

2.2.1.3 Convertisseur monophasé à pont complet à deux niveaux

Dans cette section en peut utiliser deux méthodes dans la première méthode Le pont à deux niveaux monophasé BT (figure 2.11), Il redresse la tension de sortie du HFT (V_{ts}) et contrôle la tension de liaison CC du côté BT (V_{dc2}) à la valeur souhaitée. Le pont utilisé est un pont de Greatz, le signale d'entrée est un signal Alternatif carré de fréquence élevée, le redresseur garde l'alternance positif à sa valeur maximal et inverse l'alternance négatif en alternance positive ce qui va produire un signale continu de valeur fixe au point maximal servant comme entrée pour l'onduleur MLI.

Dans la deuxième méthode Le pont BT monophasé à deux niveaux rectifie le courant de sortie du HFT (is) et contrôle la tension de liaison cc côté BT (vdc2) à la valeur souhaitée. Le schéma du contrôleur est illustré à la figure (2.11)[32]- [33].La tension de liaison cc vdc2 est comparée à sa valeur de référence et l'erreur résultante sont appliquées à un contrôleur PI. Le signal de sortie du régulateur PI est utilisé pour générer le courant de référence (is *).

La comparaissant entre le courant is et sa valeur de référence si*(si* - is) est appliquée à un contrôleur PR pour générer la valeur de référence pour le bloc PWM pour engendrer des impulsions de commutation.

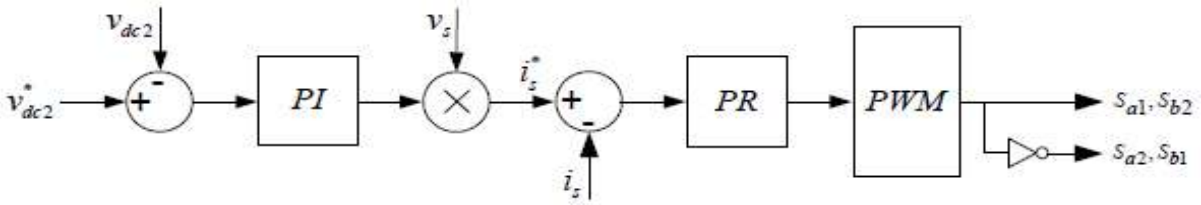


Figure.2 15. Schéma du contrôleur MMC de l'étage d'isolement monophasé.

Dans le tableau (2.2) ci-dessus il y'a un résumé d'une analyse détaillée sur les topologies et les stratégies de contrôle proposées pour les conceptions SST en trois étages.

Selon le tableau, les convertisseurs MMC peuvent fournir une topologie efficace pour le côté MV du SST, leurs principaux avantages sont la modularité et l'évolutivité : le niveau de tension souhaité peut être facilement atteint par une connexion en série de sous-modules MMC (SM). De plus, une topologie MMC peut fournir une qualité et une efficacité de puissance élevées avec une taille réduite de filtres passifs. Ces caractéristiques font de l'option MMC une topologie attrayante pour l'étape MV du SST. De plus, d'après les informations présentées dans le tableau, il est évident que le PWM à niveau décalé (LS-PWM) est une méthode de modulation bien adaptée pour le MMC en raison de son algorithme simple et de ses exigences matérielles minimales. Comme on peut le déduire du tableau, la topologie DAB (Dual Active Bridge) monophasé offre une bonne efficacité tout en maintenant un faible nombre de composants passifs, ce qui permet une conception simple et compacte. Le tableau montre également que la modulation à déphasage est simple à mettre en œuvre et que ses courants RMS inférieurs entraînent des valeurs nominales des composants plus faibles. Ces avantages l'emportent sur les pertes de coupure plus élevées rencontrées avec cette méthode.

Tableau.2.2. les topologies et les stratégies

Etage d'isolement DC-DC MT / BT Topologie du convertisseur	**Les avantages**	**Les inconvénients**
Double actif monophasé Convertisseur de pont	- Moins de composants passifs - Bonne efficacité	-De grands courants de condensateur RMS DC peuvent se produire
Actif double triphasé Convertisseur de pont	-Courant RMS plus petit que Dual Active Pont -Notes de composants inférieures -Pas besoin d'inducteurs supplémentaires	-Nombre élevé de commutateurs et d'inductances - Pertes plus élevées
Isolé bidirectionnel Convertisseur de pont complet	-Fréquence de commutation et puissance élevées -densité	-Nécessite une inductance supplémentaire -Nécessite un circuit d'amortissement
Topologie du doubleur de courant isolé bidirectionnel	-Manipulation de courant élevé -Moins de pertes de conduction -Moins de commutateurs	-Nécessite deux inducteurs supplémentaires -Tension de fonctionnement limitée
Isolé bidirectionnel Topologie push-pull	-Manipulation de courant élevé -Exigences d'inductance réduites -Moins d'interrupteurs requis	-Utilisation inefficace d'un transformateur complexe
Stratégie de contrôle	**Les avantages**	**Les inconvénients**
Modulation de déphasage	Contrôle et algorithme simples	Pertes plus élevées à faible puissance
Modulation trapezoidal	Gamme haute tension	Impossible de fonctionner à vide
Modulation triangular	Faibles pertes de commutation	Courants RMS élevés

2.2.3 Étage de sortie: configuration et contrôle

La topologie de convertisseur à quatre branches constitue un choix efficace pour les applications nécessitant un contrôle précis du redresseur contrôlé à courant neutre. L'ajout d'un bras supplémentaire offre un degré de liberté et une meilleure capacité de contrôle par rapport au convertisseur classique à trois bras [22-23].

La tâche principale des contrôleurs de convertisseur côté BT est d'obtenir des tensions de condensateur à séquence positive (c'est-à-dire d'obtenir des tensions équilibrées aux bornes du condensateur) avec une fréquence et une tension stables, indépendamment du niveau de charge / génération et du déséquilibre des courants côté BT. Chaque séquence positive, négative et nulle a son contrôleur 8 correspondant ; les références de tension des condensateurs à séquence négative et nulle sont définies en permanence à zéro pour annuler ces composants aux bornes du condensateur du filtre, même en présence de courants de charge / génération déséquilibrés. Le contrôleur de tension à séquence positive régule les tensions du condensateur du filtre.

Différents types de charge / génération, y compris une charge non linéaire qui génère des harmoniques, une charge / génération biphasée qui est une charge déséquilibrée peut être connectée à ce convertisseur. De plus, un défaut de court-circuit peut survenir à la borne de charge. Ainsi, une stratégie de contrôle PWM universelle utilisant les COV a été mise en œuvre pour ce convertisseur afin de fournir une tension et un courant efficaces du côté secondaire du SST dans différents types d'états transitoires, de connexion de charge ou de conditions de défaut.

2.2.3.1 Conception de COV pour un convertisseur à quatre branches

Dans cette section, l'objectif est de concevoir une stratégie de commande complète pour le convertisseur à quatre branches afin d'avoir des performances efficaces en cas d'augmentation de charge, de défaut de court-circuit, de connexion de charge asymétrique et non linéaire à l'étage de sortie de SST. Pour réaliser cette stratégie de contrôle, la procédure de conception de contrôle sera étudiée séparément pour deux études de cas: connexion de charge asymétrique et non linéaire. Enfin, la stratégie de contrôle globale sera présentée en combinant ces deux stratégies de contrôle :

- Compensation de tension harmonique sélective.
- Conception de contrôle pour connexion de charge déséquilibrée.

Dans Cette mémoire, un convertisseur PWM triphasé à trois bras est utilisé pour le côté BT du SST, avec une impédance RL pour les courants de filtrage et une batterie de condensateurs pour les tensions de filtrage (Fig.2.16).

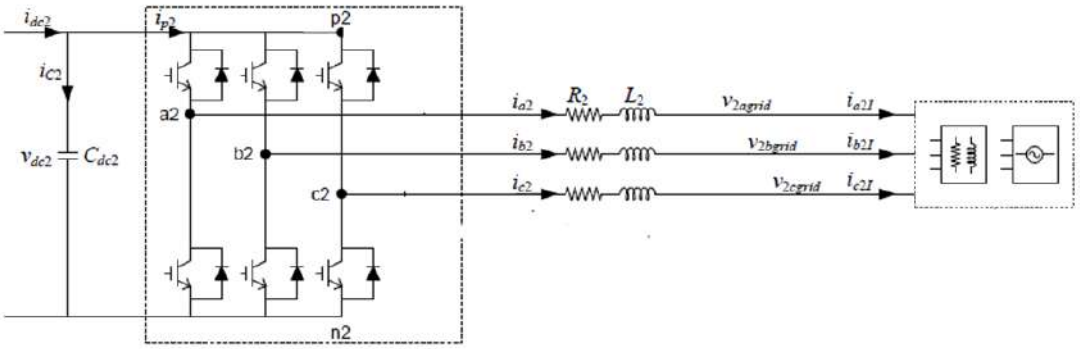


Figure.2. 16 .Configuration du convertisseur latéral basse tension

2.2.3.2 .Modélisation de l'onduleur triphasé

Pour modéliser l'onduleur de tension, (figure 2.17), on considère son alimentation comme une source parfaite, supposée d'être constituée de deux générateurs de fem égale à E/2 connectés entre eux par un point noté n_0 .[3]

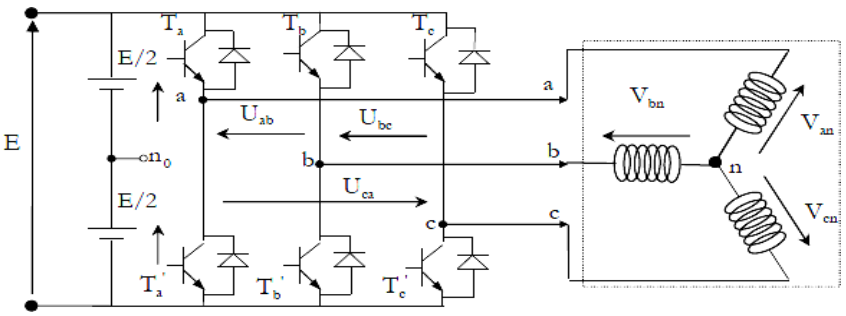


Figure.2 17. Schéma d'un onduleur de tension triphasé

Pour simplifier l'étude, on supposera que :

- La commutation des interrupteurs est instantanée ;
- La chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable ;
- La charge triphasée, est équilibrée, couplée en étoile avec un neutre isolé n.

L'onduleur est commandé à partir des grandeurs logiques Si. On appelle T_i et T'_i les transistors (supposés être des interrupteurs idéaux).On a :

- si Si=1, alors T_i est passant et T'_i est ouvert
- si Si=0, alors T_i est ouvert et T'_i est passant.

Les tensions composées (de lignes) délivrées par l'onduleur sont données comme suit :

$$u_{ab} = v_{an} - v_{bn} = (s_a - s_b) \tag{2.29}$$

$$u_{bc} = v_{bn} - v_{cn} = (s_b - s_c) \tag{2.30}$$

$$u_{ca} = v_{cn} - v_{an} = (s_c - s_a) \tag{2.31}$$

Les tensionsVan, Vbn, Vcn forment un système de tension triphasée équilibrée alors :

$$v_{an} + v_{bn} + v_{cn} = 0 \tag{2.32}$$

De (2.29), (2.31) et (2.31), on a **:**

$$v_{an} = \frac{E}{3}(2S_a - S_b - S_c) \tag{2.33}$$

De (2.29), (2.30) et (2.32), on a **:**

$$v_{bn} = \frac{E}{3}(2S_b - S_a - S_c) \tag{2.34}$$

De (2.29), (2.31) et (2.32), on a **:**

$$v_{cn} = \frac{E}{3}(2S_c - S_a - S_b) \tag{2.35}$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_a \\ s_b \\ s_c \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

2.2.3.3 Technique de modulation

La modulation de largeur d'impulsion sinusoïdale utilise une forme d'onde de référence et une forme d'onde porteuse pour générer un signal d'attaque de grille. (figure 2.18)

Le principe général consiste à convertir une modulante (tension de référence au niveau commande), généralement sinusoïdale, en une tension sous forme de créneaux successifs générée à la sortie de l'onduleur (niveau puissance). Cette technique repose sur la comparaison entre deux signaux :

- Le premier, appelé signal de référence, représente l'image de la sinusoïde qu'on désire à la sortie de l'onduleur. Ce signal est modulable en amplitude et en fréquence.
- Le second, appelé signal de la porteuse, définit la cadence de la commande des interrupteurs statiques de l'onduleur. C'est un signal de haute fréquence par rapport au signal de référence.

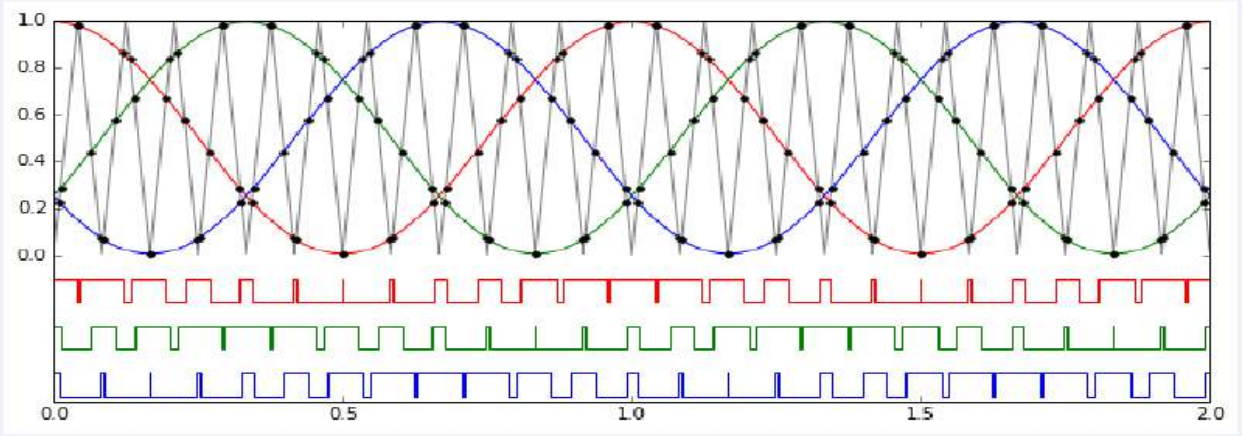


Figure. 2 .18 Génération des signaux de commande MLI sinus-triangle de l'onduleur triphasé

L'intersection de ces signaux donne les instants de commutation des interrupteurs. Le forme du signale, généré par une commande MLI, dépend des deux paramètres suivants :

- L'indice de modulation « m » égal au rapport de la fréquence de modulation sur la fréquence de référence

$$m = \frac{f_p}{f_{ref}} \tag{2.37}$$

- Le coefficient de réglage en tension « r » égal au rapport de l'amplitude de la tension de référence à la valeur crête de l'onde de modulation

$$r = \frac{v_{ref}}{v_p} \tag{2.38}$$

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons fait une description détaillée d'un nouveau modèle SST bidirectionnel à trois étages basé sur les blocs MMC à semi-conducteurs est utilisé comme un dispositif de transmission bidirectionnel contrôlable. Un MMC triphasé avec SM demi-pont est utilisé pour l'étage d'entrée MT. La stratégie de commande orientée tension (VOC) a été utilisée pour générer la tension et la régulation; une méthode PWM déphasé de niveau est utilisée comme technique de modulation. L'étage d'isolation MT / BT est divisé en trois parties: un MMC monophasé, un HFT et un convertisseur PWM en pont de Greatz bidirectionnel monophasé. Des générateurs d'impulsions avec un décalage de temps sont utilisés pour contrôler la MMC monophasée MT, tandis qu'une méthode basés sur des générateurs d'impulsions avec un décalage de temps ou bien la méthode de commande basée sur la résonance proportionnelle (PR) est appliquée au convertisseur PWM bidirectionnel monophasé BT. Un transformateur HF est utilisé avec ses paramètres réel et sa fréquence choisi suivant le signal d'entrée .en fin Un convertisseur triphasé à trois branches est utilisé pour l'étage de sortie BT. La stratégie de MLI sinus-triangulaire est utilisé pour la commande de l'onduleur. Le diagramme de contrôle et la topologie des trois étages sont expliqués en détail afin de mettre en œuvre un SST pour avoir de bonnes performances dans différentes études de cas.

Chapitre3

Implémentation d'un SST a trois étages sur l'environnement MATLAB/SIMULINK

3. Chapitre 3. Implémentation d'un SST a trois étages sur l'environnement MATLAB/SIMULINK

3.1 Introduction:

Le chapitre fournit un résumé du modèle développé en montrant les principaux blocs de chaque étage SST et les approches suivies pour incorporer les pertes dans les modèles de semi-conducteurs. La figure 3.1 montre l'implémentation Matlab / Simulink de niveau supérieur du modèle SST en trois étapes. Les principales caractéristiques de chaque étape ont déjà été analysées dans les chapitres précédents; un bref résumé est fourni ci-dessous:

- Étape d'entrée MT: Une MMC triphasée avec une technique de modulation PWM a déphasage a été mise en œuvre à l'étage d'entrée du SST.
- Etage d'isolation: Un DAB DC / DC qui contient un MMC monophasé, un HFT et un pont redresseur monophasé à pont complet.
- Etage de sortie BT: Un onduleur PWM triphasé à trois branches avec stratégie

Pour une comparaison entre le modèle implémenté et le diagramme du SST bidirectionnel complet à trois étages, voir également la Figure 1.1. La mise en œuvre de chaque étape est détaillée dans les trois sections suivantes, tandis que la dernière section présente les approches suivies pour la mise en œuvre des pertes de semi-conducteurs dans chaque convertisseur. Chaque section présente le schéma des convertisseurs de puissance ainsi que ceux des principaux composants du contrôleur, sans aller dans les derniers détails.

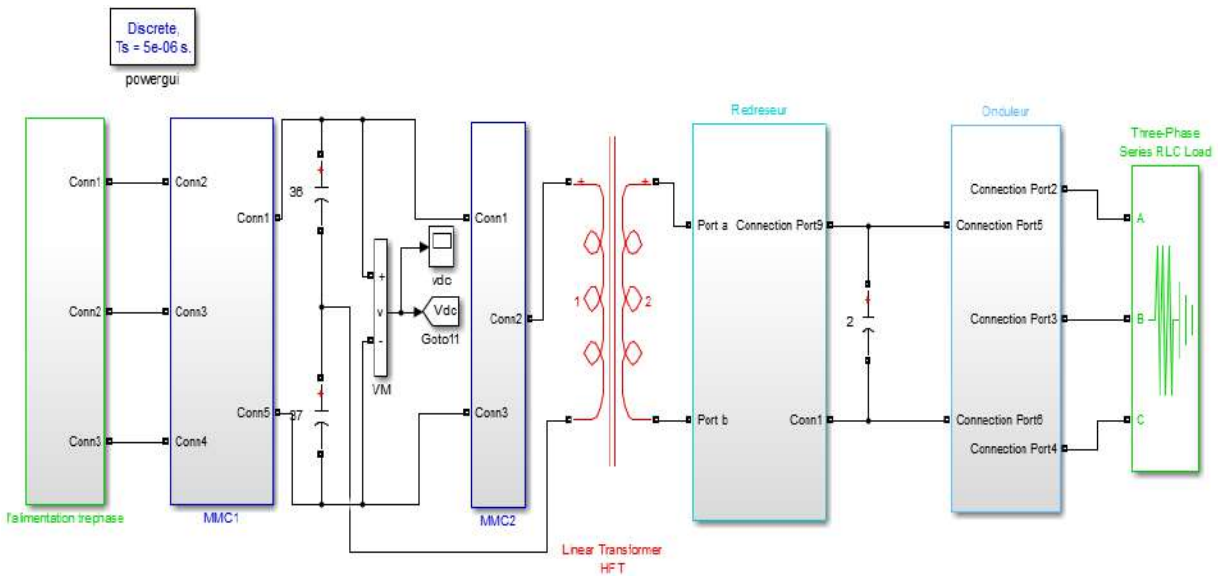


Figure 3.1 l'implémentation Matlab / Simulink

3.2. Mise en œuvre de l'étape d'entrée MV

3.2.1. La mise en œuvre de l'étage d'entrée MV

Le modèle MMC triphasé de l'étage d'entrée MT avec huit SM de conversion demi-pont par bras tel qu'implémenté dans Matlab / Simulink est illustré à la Figure 3.2. Le schéma de chaque sous-module (SM) est représenté sur la figure 3.3, respectivement.

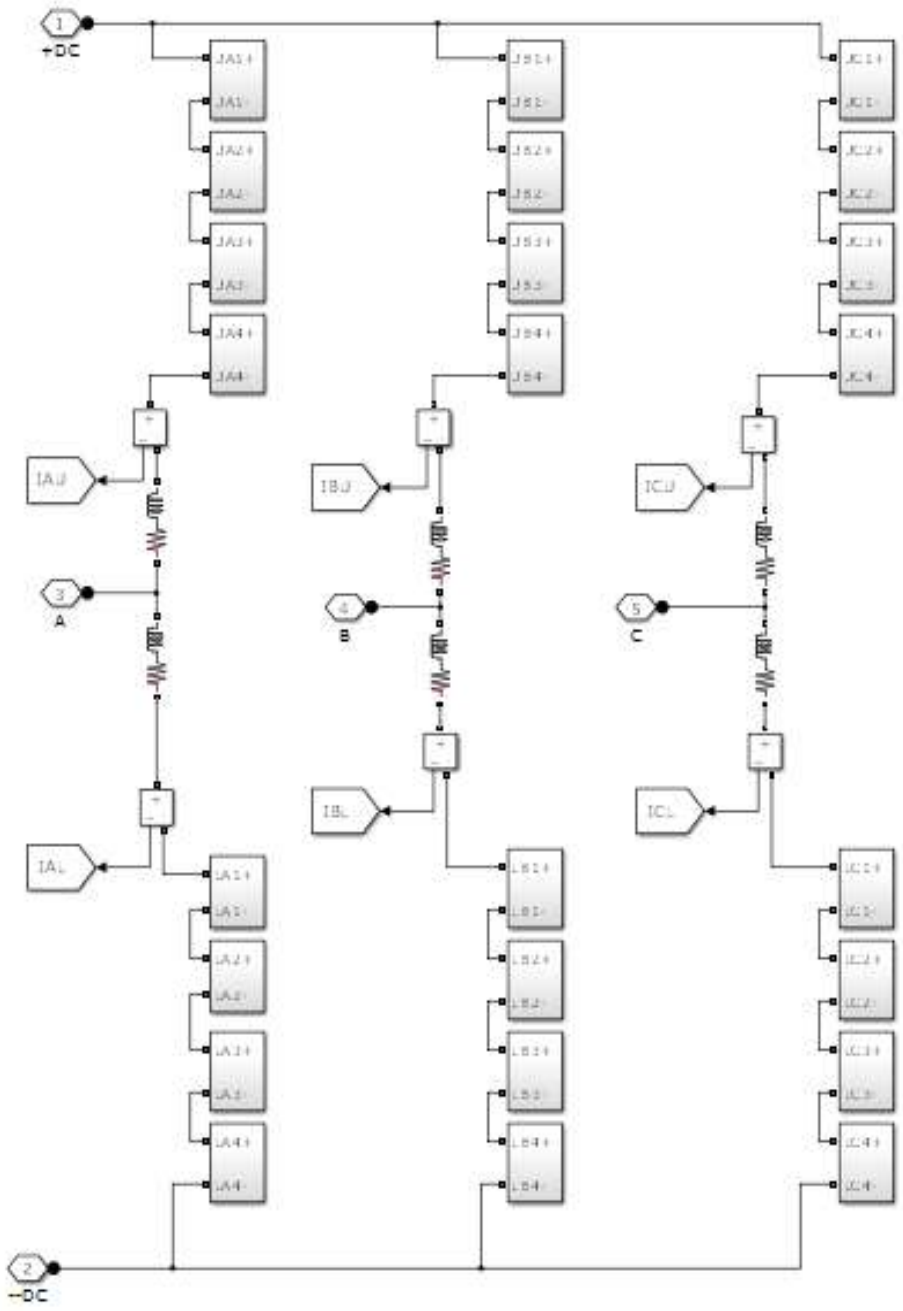


Figure 3.2. Étage d'entrée – Configuration MMC triphasée.

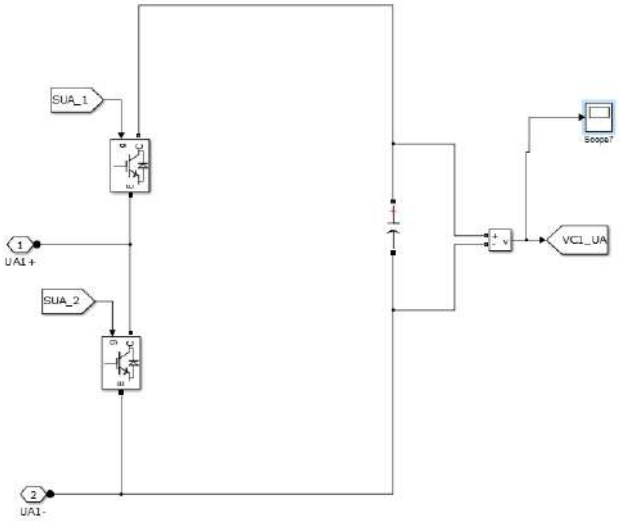


Figure 3.3. Etage d'entrée – Configuration des sous -modules demi-pont(SM).

Comme le montre la figure 3.2 chaque jambe du *MMC* triphasé se compose de deux bras supérieur et inférieur avec huit demi-pont *SM* connectés en série similaire, une résistance de bras et une inductance de bras. Puisque tous les bras sont similaires en termes de contrôle et de structure, seule la mise en œuvre de contrôle pour un bras supérieur de phase A est présentée sur la figure 3.5, qui montre également le bloc MLI à déphasage (PSPWM).

3.2.2. Blocs de contrôle

Comme on peut l'observer à partir de la Figure (3.4) montre les références de sortie générées pour le bloc de modulation dans la trame abc.

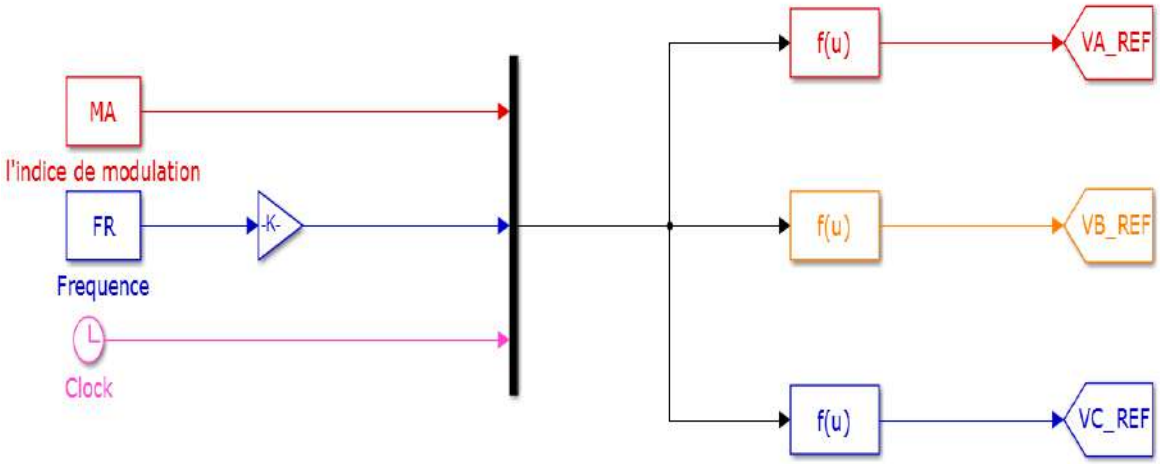
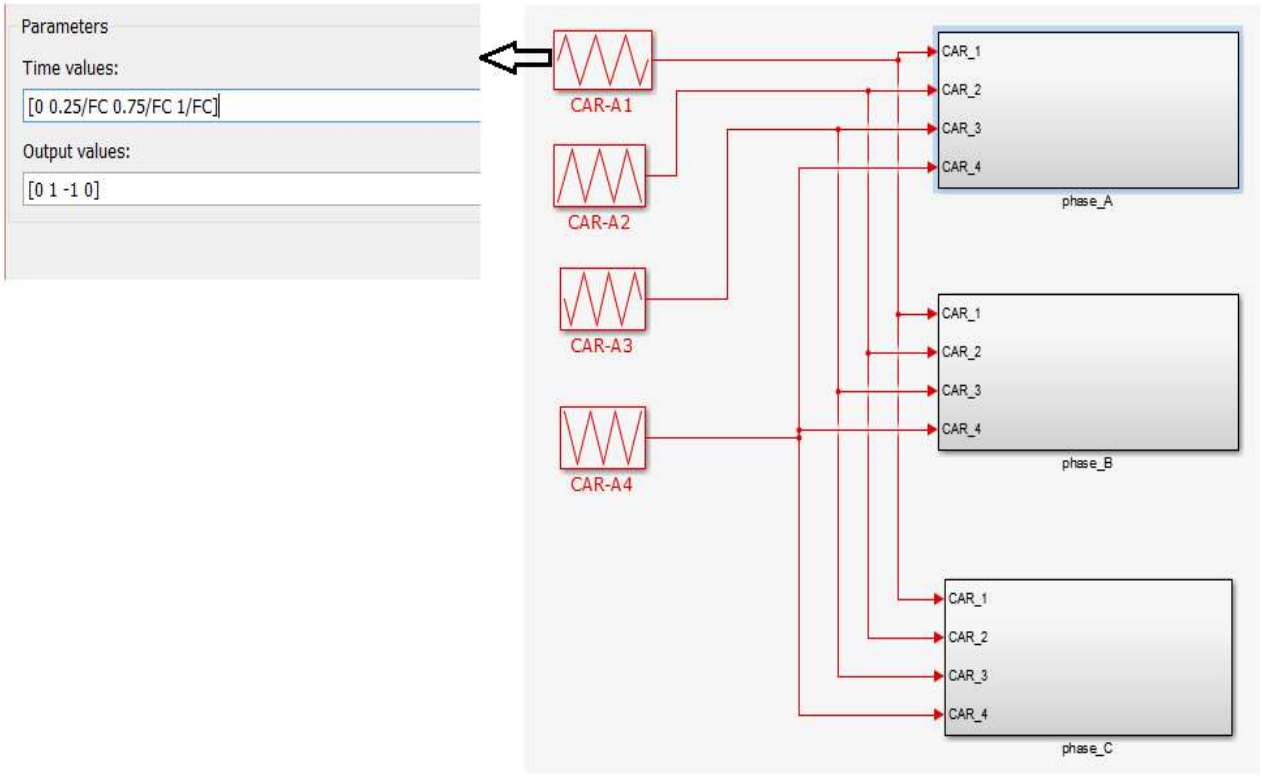
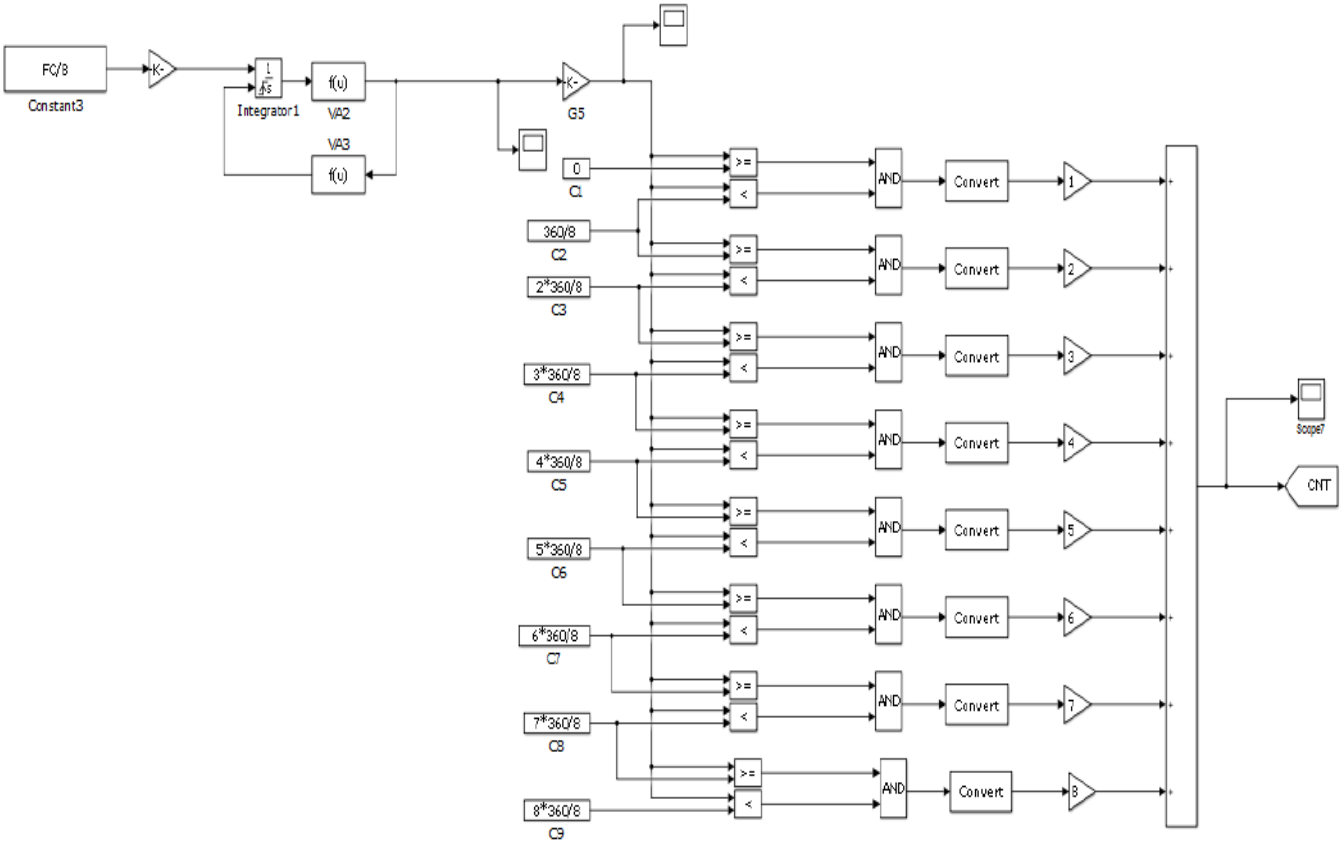


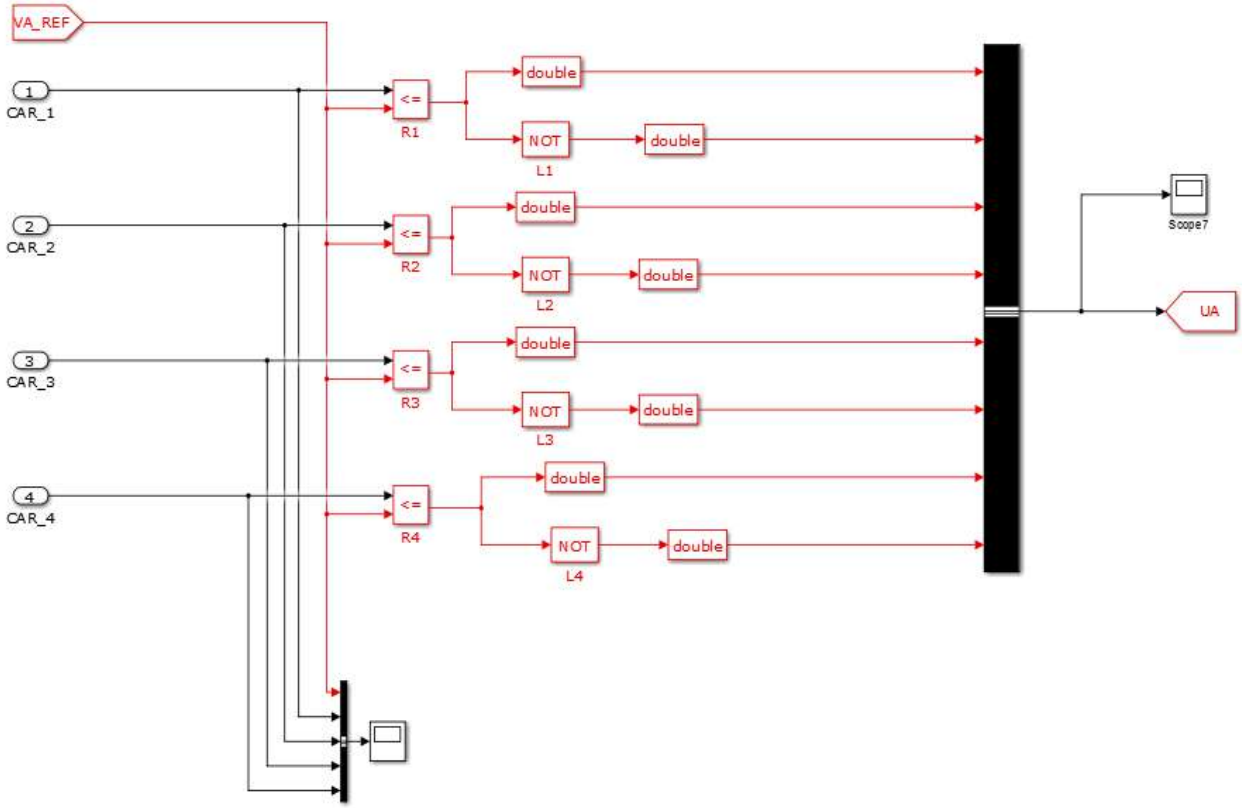
Figure 3.4 L'étage d'entrée : les tensions de référence.



a) Forme d'onde porteuse



b) MLI à décalage de phase avec la référence



C) MLI à décalage de phase avec la référence

Figure 3.5. Etage d'entrée - Bloc de la technique PWM déphasée pour le bras supérieur de la phase A

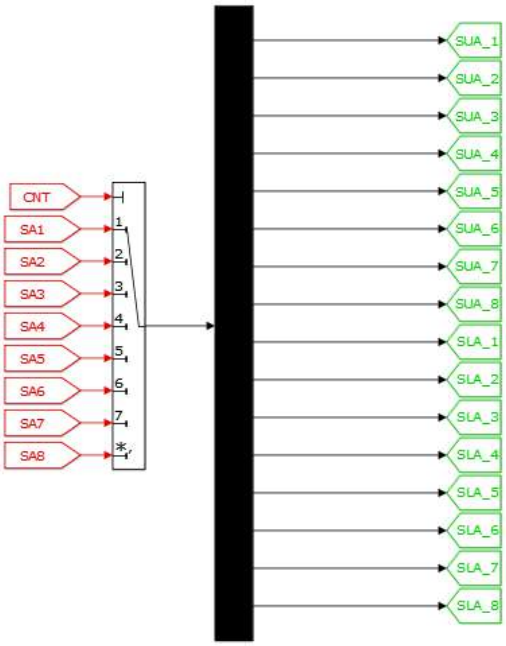


Figure 3.6. Bloc de sélection de commutation

3.3. Mise en œuvre de l'étape d'isolement MT-BT

Comme déjà mentionné, l'étage d'isolement SST se compose de trois parties différentes: la MMC monophasée, le HFT et un pont redresseur monophasé PWM complet.

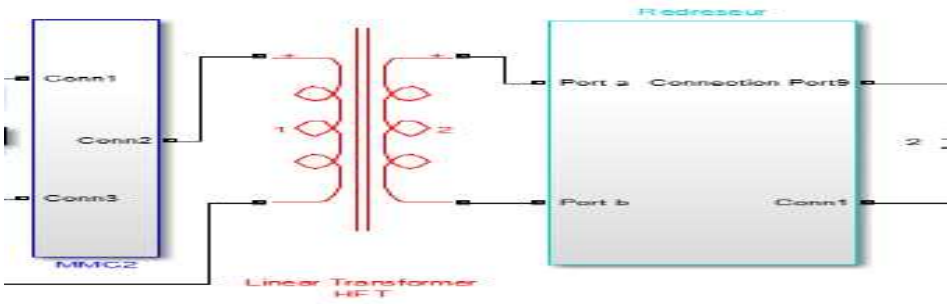


Figure 3.7 l'étage d'isolation SST.

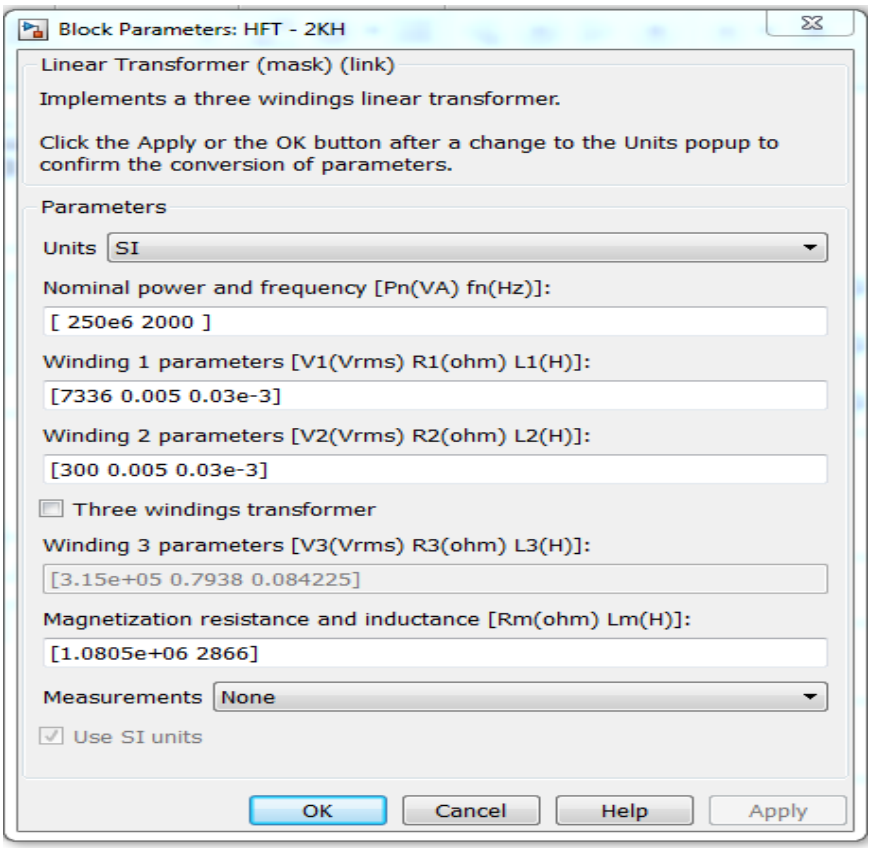


Figure 3.8. Paramètres de HFT

La figure 3.9 montre la configuration du MMC monophasé: il est composé de deux bras avec huit sous-modules demi-pont et une impédance de bras agissant comme un onduleur convertissant la liaison MT CC en forme d'onde haute fréquence multi niveaux au primaire du transformateur haute fréquence.

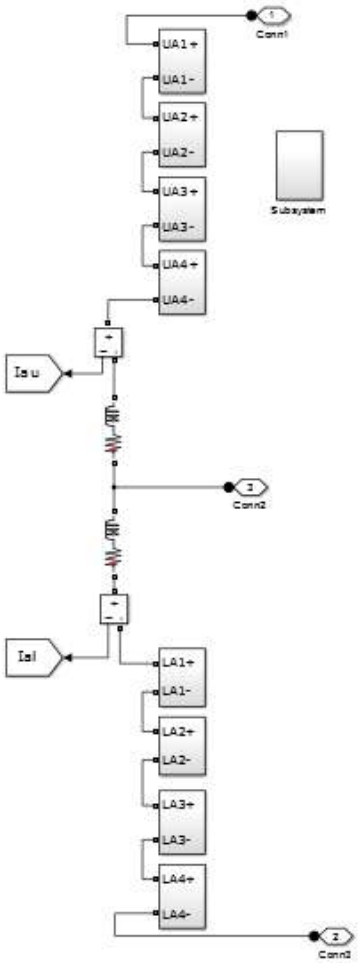


Figure 3.9. Etage d'isolement - Mise en œuvre de la MCC monophasée MT

La procédure de contrôle de cette MMC monophasée est simple basé sur les générateurs d'impulsion sois pour le convertisseur MV ou LV.

La figure 3.10 montre la configuration du redresseur monophasé, son filtre et ses blocs de commande. Comme il peut être observé à partir de la Figure 3.10.

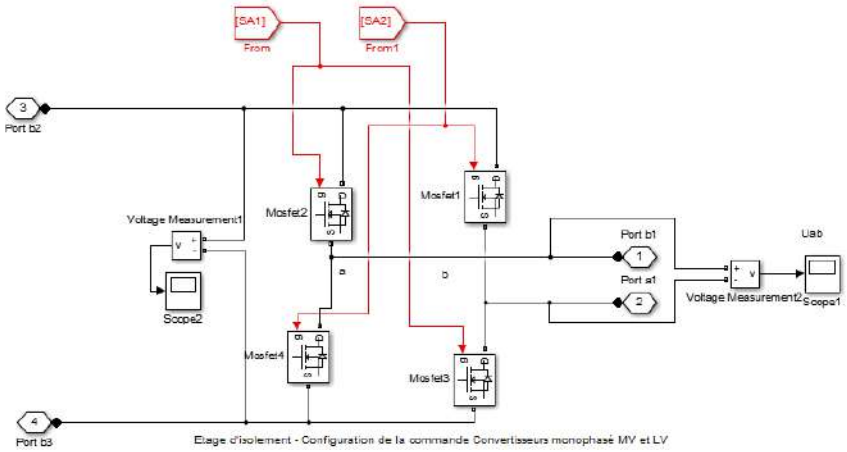


Figure 3.10. Etage d'isolement – Configuration de la commande convertisseurs monophasé MV et LV

3.4. Mise en œuvre de l'étage de sortie BT

3.4.1. Configuration de l'étage de sortie

La figure 3.11 montre la configuration de l'étage BT tel qu'implémenté dans ce mémoire: il s'agit d'un Onduleur triphasé en double alternance en pont tout transistors, avec commande MLI sinus-triangulaire à trois bras.

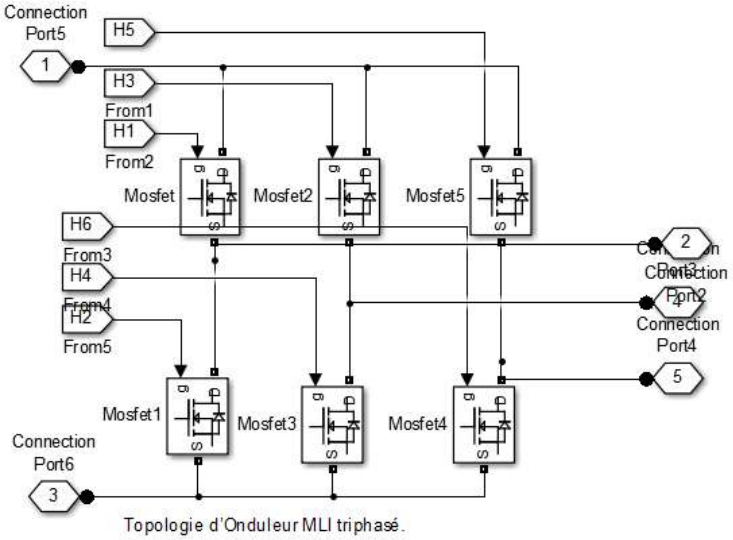


Figure 3.11. Topologie d'Onduleur MLI triphasé

3.5. Résultats de la simulation

Tous les tests ont été simulés en supposant que les pertes dans les semi-conducteurs sont négligées, les classements des semi-conducteurs ne sont donc pas pertinents pour cette étude. Le régime transitoire est non pris en charge dans cette étude, Le tableau (3.1) résume les paramètres utilisés au cours de la simulation pour les différents composants du système étudié.

Tableau 3.1 : paramètres utilisés

Paramètres	Valeurs
Tension réseau (tension composé)	12 kV
Résistance du filtre côté réseau (R1)	0.1 Ω
Inductance du filtre côté grille (L1)	10 mH
Nombre de SM par bras MMC	06
Capacité SM en MMC1 et MMC2	0,4 mF
Résistance du bras de MMC1	0.2 Ω

Inductance du bras de MMC1	5 mH
MMC1 fréquence de commutation	10 kHz
Capacité de liaison cc côté MT	1 mF
Résistance au bras de MMC2	0.001
Inductance du bras de MMC2	0.1 mH
Fréquence de commutation du convertisseur en pont complet MT MMC2 et BT	10 kHz
Fréquence de fonctionnement du transformateur	1 kHz
Résistance de court-circuit du transformateur	0,005 Ω
Inductance de fuite du transformateur	0,03 mH
Capacité de liaison CC côté courant	3 mF
Fréquence de commutation du convertisseur côté BT	10 kHz
Résistance du filtre côté charge (R2)	0.01 Ω
Inductance du filtre côté charge (L2)	0,9 mH
Capacité de filtrage côté charge (C2)	200 µF
Charge	1kw (0.5 kvar)

La tension d'entrée du SST est de valeur 12kV entre Phases et de 50 hz est considérée sinusoïdale sans fluctuations (Fig. 3.12.a). Le courant de ligne est dépendant de la charge ainsi les convertisseurs en aval qui sont considérés comme des impédances de différents types et il est de valeur très faible vue la tension élevée de la source (Fig. 3.12.b).

Le rôle de redresseur triphasé et de redressé la tension sinusoïdal appliqué à l'entrée du SST, les capacités intégrés et le filtre en parallèle ont aidé a bien redressé la tension (Fig. 3.14). Etant donné que le système fonctionne en boucle ouverte et, vu qu'aucune commande n'est utilisée, les blocs MMC sont commandés en plaine onde. Le système des capacités ingérées joue le rôle de liaison entre IGBTs et pour le passage des courants.

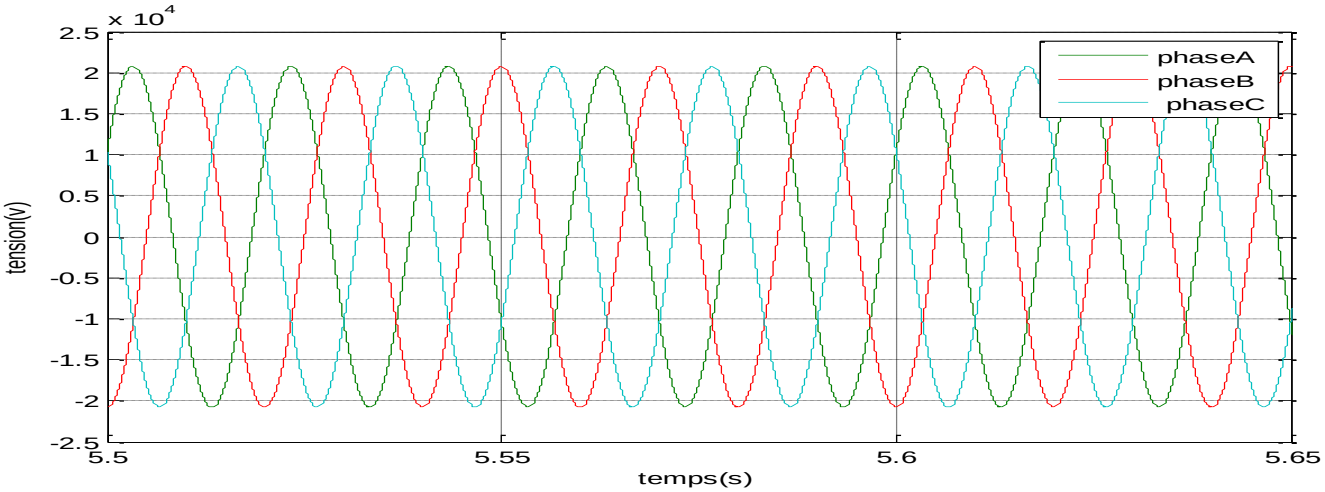
Le rôle de convertisseur DC-AC est de convertir la tension continue à la sortie du redresseur MV et le filtre en une tension alternatif sous la forme d'un signale carré d'une fréquence élevée appropriée

(dans notre cas 2 kHz), figure (3.16). Pour la commande des gâchettes des IGBT, des générateurs d'impulsions ont été utilisés.

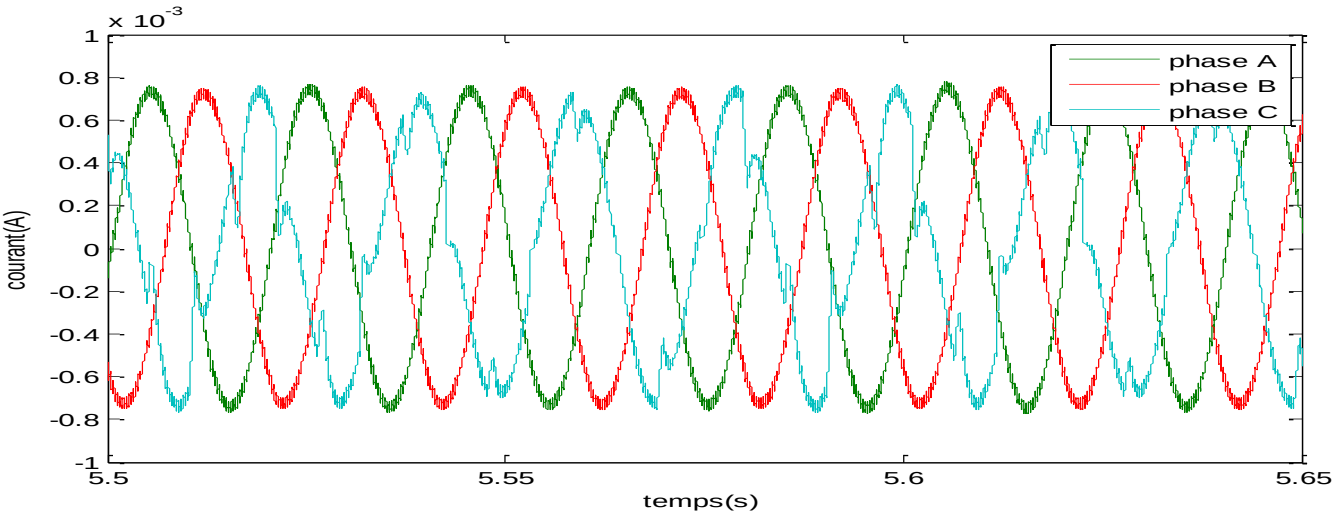
Le transformateur à haute fréquence reçoit la tension désiré de moyen tension a son entrée comme un signal de forme carré a 2000Hz et la convertie en un signal de même forme et d'amplitude abaissé.

Le convertisseur AC-DC, coté basse tension, convertie le signal carré généré par le transformateur HF d'amplitude BT et de fréquence 2000 Hz en un signale continu (3.17).

Les différents signaux, délivrés par l'onduleur, sont rapportés les figures :

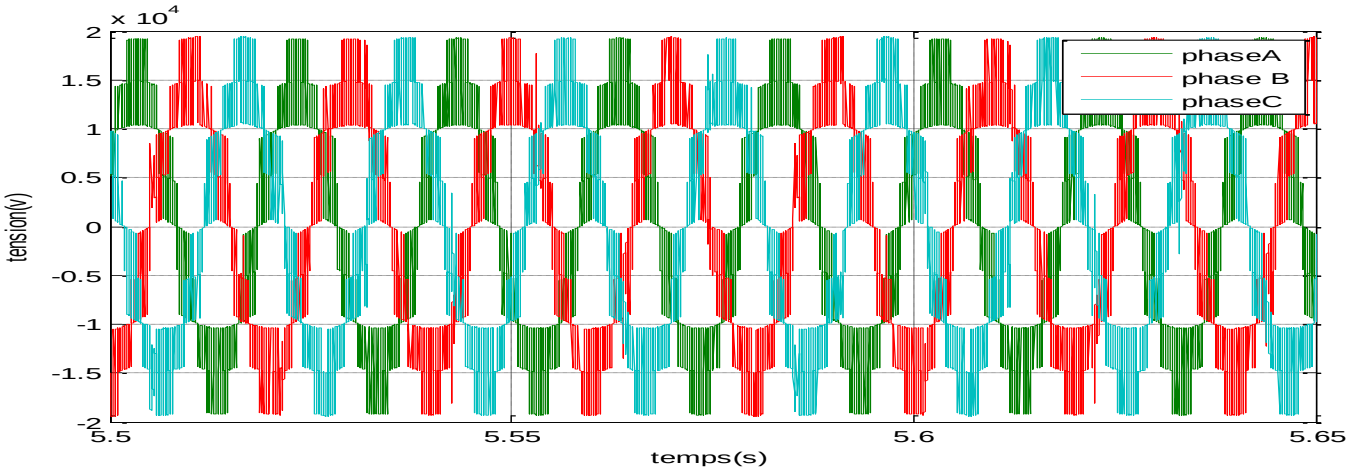


a).Tension source alternatif (alimentation SST) avant le filtrage.

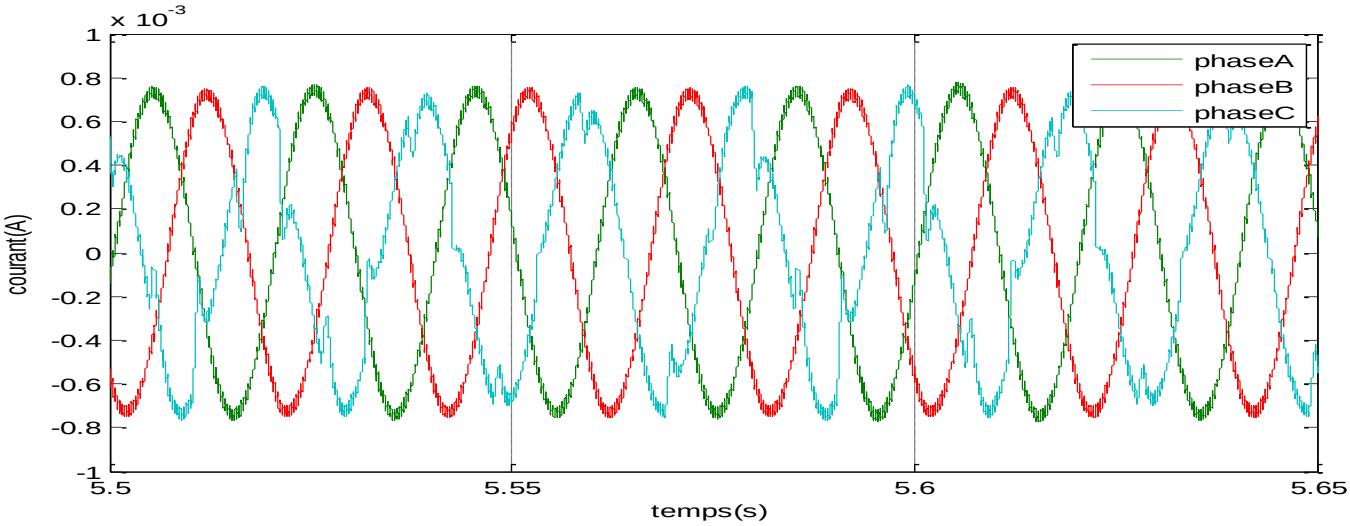


b). Courant source alternatif (alimentation SST) avant le filtrage.

Figure 3.12. Tension/ Courant source alternative (alimentation SST) avant le filtrage



a). Courant source alternatif (alimentation SST) après le filtrage.



b). Courant source alternatif (alimentation SST) après le filtrage.

Figure 3.13. Tension Courant source alternatif (alimentation SST) après le filtrage

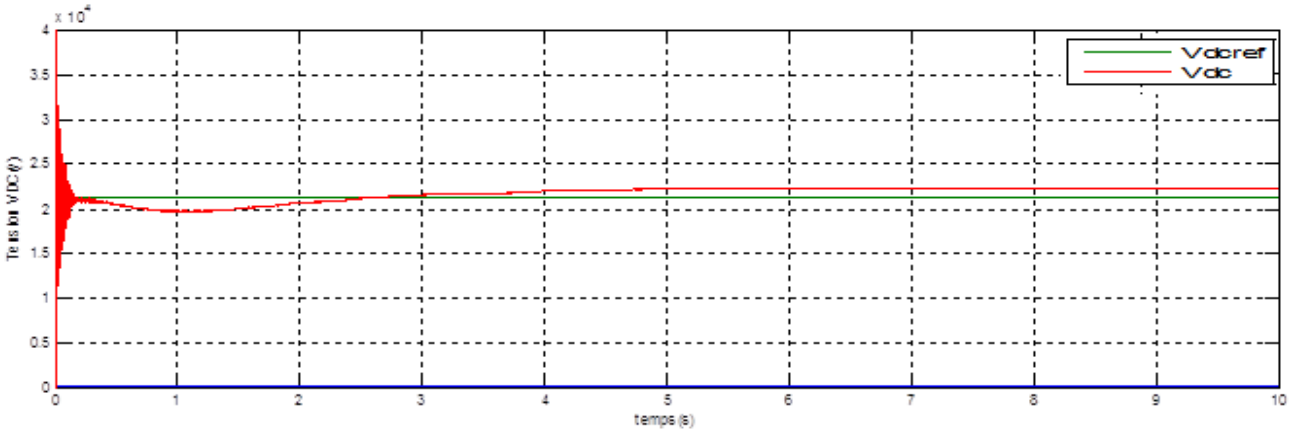
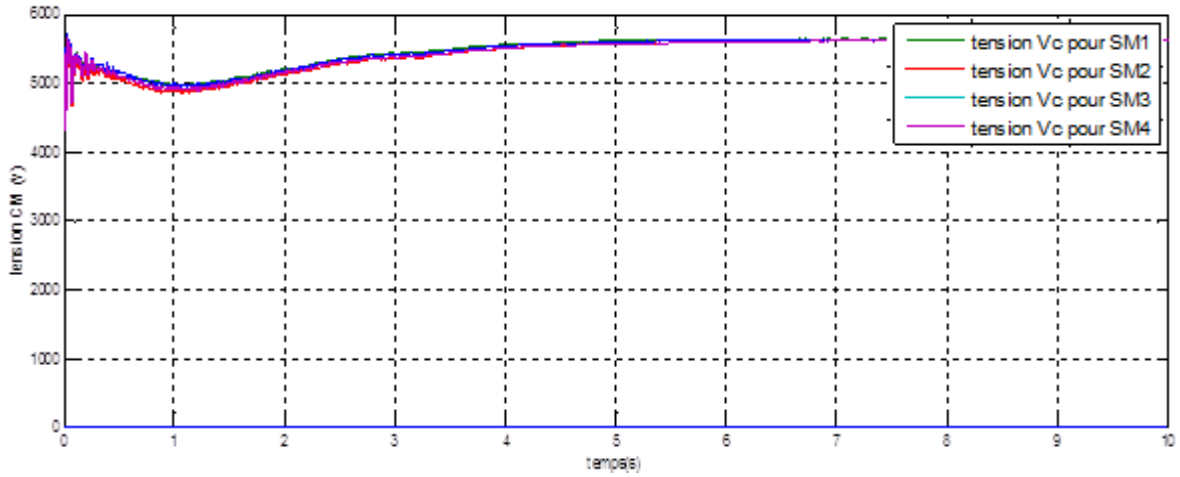
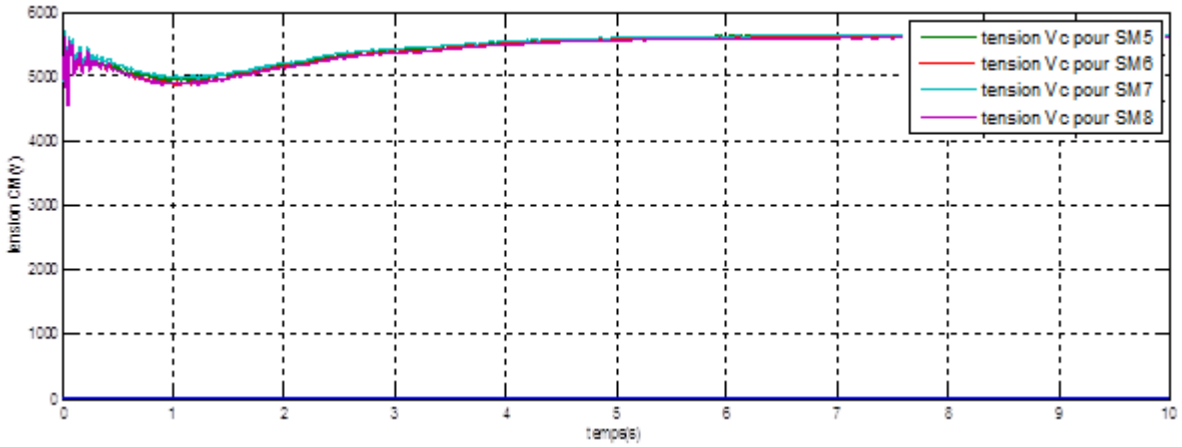


Figure 3.14. Tension VDC (la sortie de MMC 1) avec Vdcref



a)Tension des condensateurs de demi bras superieure



b)Tension des condensateurs de demi bras inferieure

Figure 3.15. Tension de condensateur VC phase A

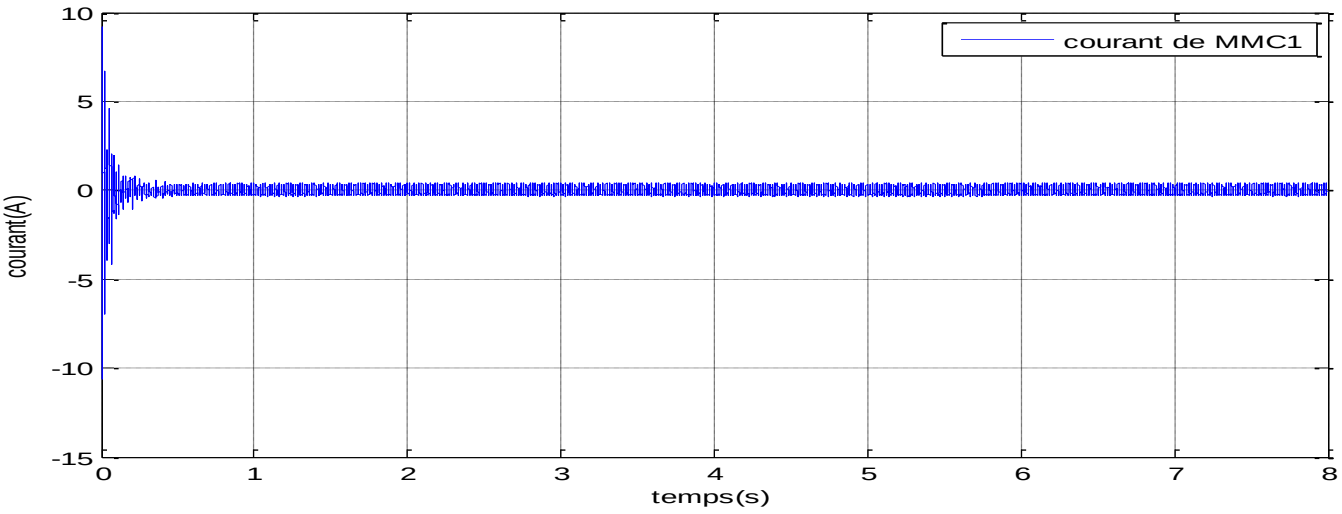


Figure 3.16 courant circule dans la phase A demi bras supérieure

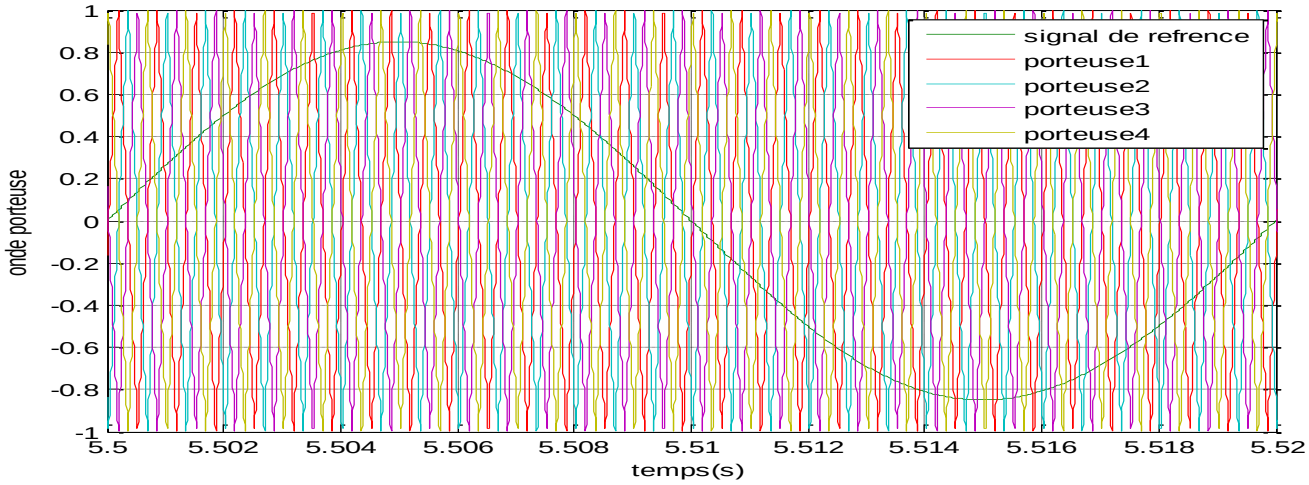


Figure 3.17. MLI triphasé a décalage de phase

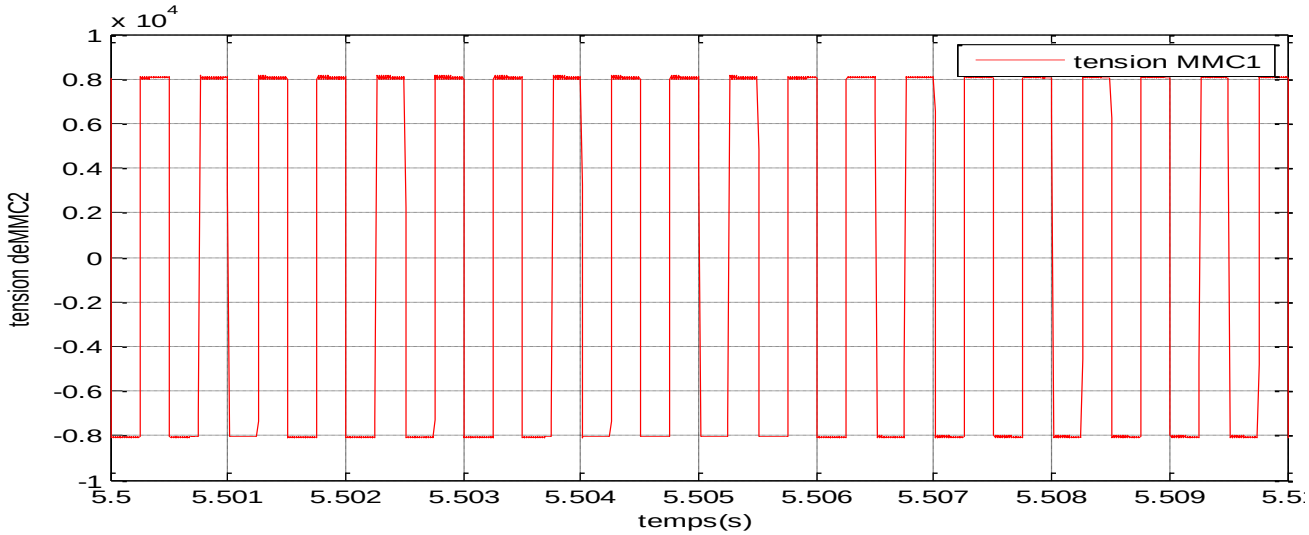


Figure 3.18. Tension d'entrée de HFT.

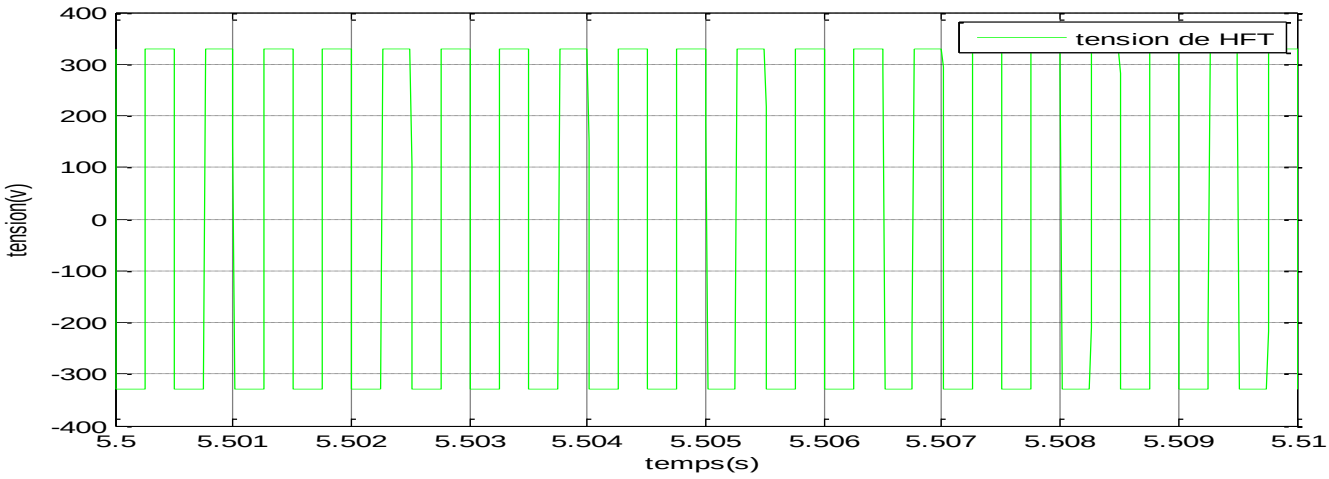


Figure 3.19. Tension de sortie de HFT.

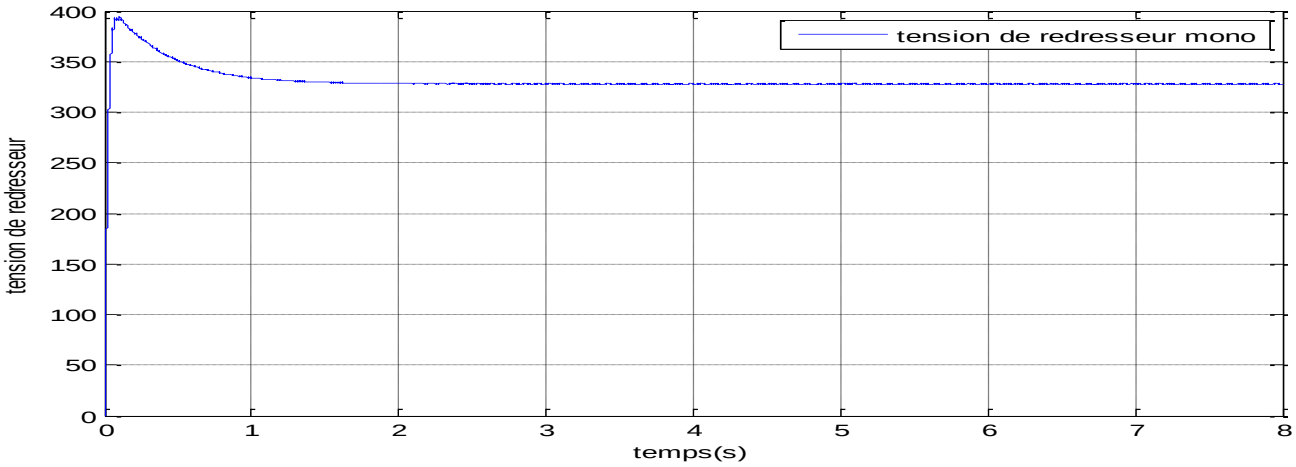


Figure 3.20. Tension de sortie de redresseur monophasé

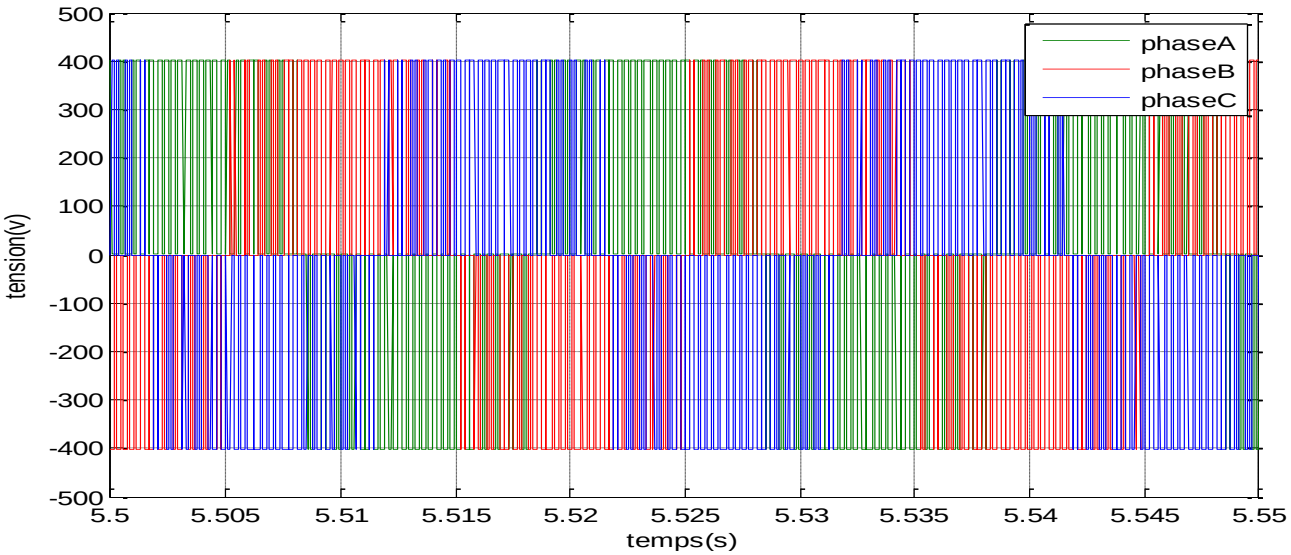


Figure 3.21. Tension composé de sorti de l'onduleur MLI triphasé

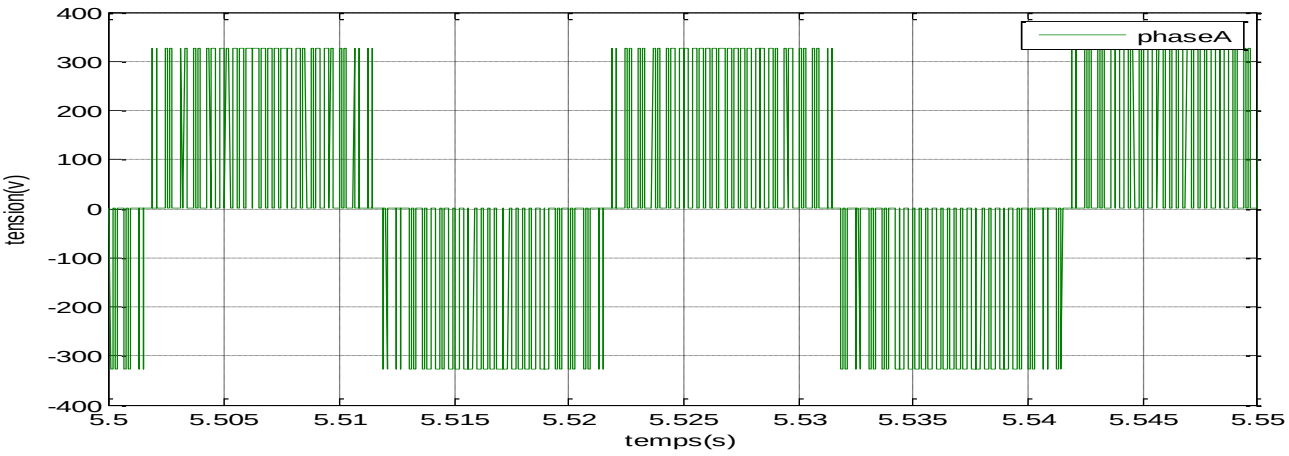


Figure 3.22. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI phase A

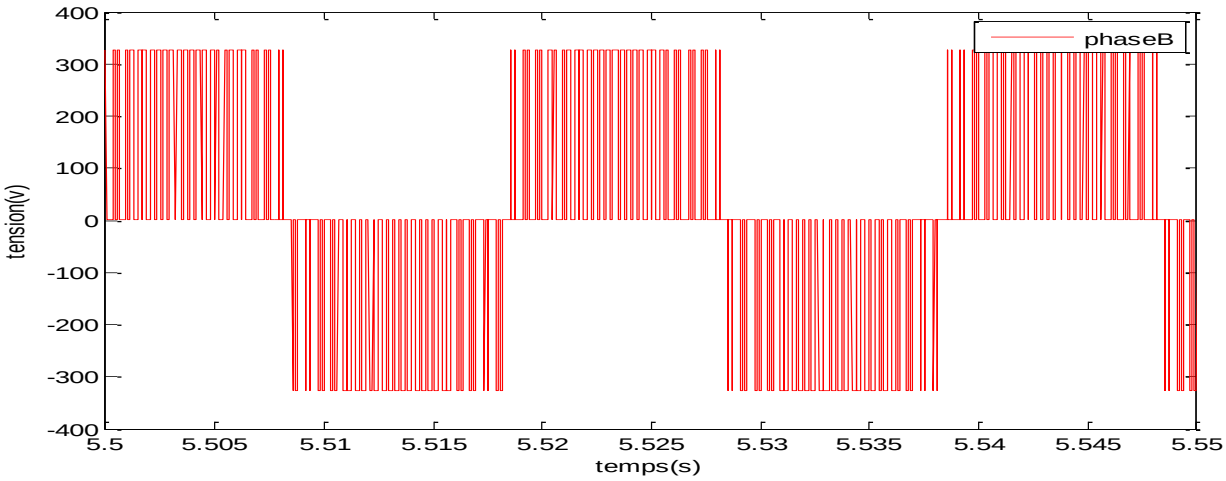


Figure 3.23. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI phase B

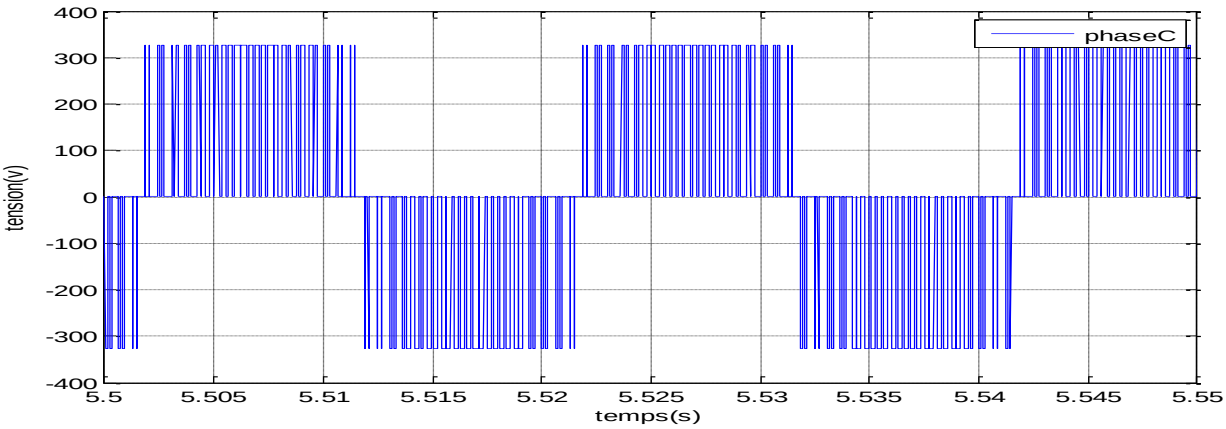


Figure 3.24. Tension composé de sortie de l'onduleur MLI phase C

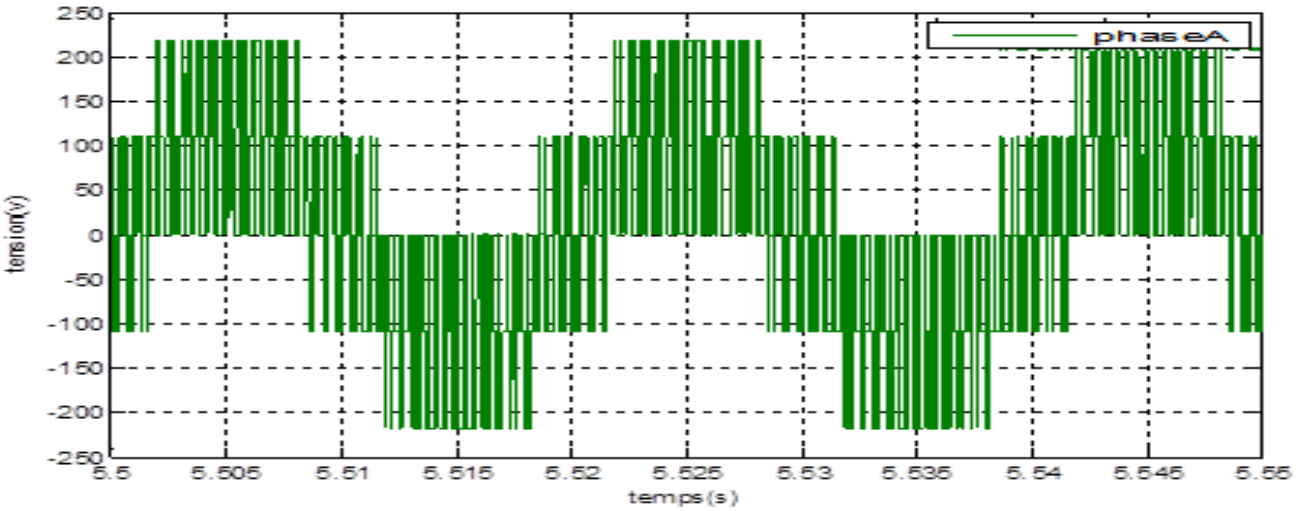


Figure 3.25. Tension simple de sortie de l'onduleur MLI phase A

3.6. Conclusion

Dans ce chapitre, les différents étages du SST ont été modélisés est simulés en utilisant l'environnement Matlab/Simulink. Observant les résultats de simulation obtenus, on constate bien que les résultats envisagés sont atteints concernant la conception d'un transformateur triphasé à base de semi-conducteurs qui peut imiter le fonctionnement d'un transformateur classique. La forme et le fonctionnement du transformateur résultant sont souple est commandable. Dans ce stage et, comme premier pas, le comportement du transformateur a été étudié et simulé en boucle ouverte. L'étude effectuée permet d'étendre les perspectifs vers une exploitation efficace et pratique en assurant des commandes en boucle fermée pour les différents étages du transformateur. Cette extension permettra d'atteindre pleinement d'objectifs tels que :

- L'amélioration du comportement du transformateur
- L'intégration souple et efficace des ressources renouvelables dans le système électrique
- L'amélioration de la transaction d'énergie entre différentes sources
- Le filtrage des harmoniques
- L'amélioration du facteur de puissance.

Conclusion générale

Avec la tendance mondiale à produire de l'énergie électrique propre, la pénétration des sources d'énergie renouvelables dans les infrastructures électriques existantes ainsi les exigences Spécifiques des clients devrait augmenter considérablement au cours des prochaines années, alors C'est un défi très important nécessite une gestion intelligente et des technologies très moderne basés sur l'électronique de puissance. Dans ce contexte le présent travail a donné un aperçu sur le solide state transformateur (SST), et Ce dernier est considéré comme une solution prometteuse pour la gestion intelligente du système électrique et pour contrôlé le routage de l'électricité.

Comme nous l'avons mentionné précédemment le contenu de cette thèse est divisé en trois parties, alors, au début L'étude a illustrée le concept de transformateur à semi-conducteurs en tant que convertisseur isolé, bénéficiant d'une combinaison de convertisseurs électroniques de puissance et de transformatrice haute fréquence. La conception haute fréquence du transformateur réduit considérablement la taille et le poids du transformateur par rapport aux transformateurs classiques.

La partie suivant de c cette mémoire porte sur la modélisation avancée d'un transformateur à semi-conducteurs (SST) bidirectionnel MT / BT à trois étages pour les études de réseau de distribution. En fin et concernent la dernière partie Le modèle développé pour ce travail a été implémenté dans Matlab / Simulink, et son comportement a été testé en réalisant plusieurs études de cas dans différentes conditions de fonctionnement. Les résultats de la simulation soutiennent la faisabilité du SST et ses avantages par rapport au transformateur conventionnel.

Le SST offre plusieurs avantages (par exemple, des performances de qualité de puissance améliorées ou un contrôle de la puissance réactive sur les côtés primaire et secondaire) qui peuvent être d'une importance capitale pour le développement du réseau intelligent. En plus La présente étude a illustrée l'importance des transformateurs électroniques intelligents dans la gestion des réseaux électriques et permet de tracer comme perspectifs, pour la continuité de ce travail**:**

- Etablir la commande en boucle fermée du SST en considérant ses conditions d'utilisation.
- Etablir une étude pour intégrer différentes sources d'énergie avec un seule SST.
- Réalisation d'un prototype du SST.

Références bibliographiques

[1] E. Doctorale, D. E. S. Sciences, and P. L. Ingenieur, “DANS UN SYST EME AVEC STOCKAGE HYBRIDE BATTERIES / SUPERCONDENSATEURS,” 2006.

[2] L. Chalal, “Coordination de systèmes multisources pour favoriser la production d ’ énergie électrique Renouvelable To cite this version : pour favoriser la production d ’ énergie,” 2018.

[3] M. D. E. M. En, “Modélisation et Simulation d ’ un Transformateur Intelligent Utilisé Pour la Gestion du Transit d ’ Énergie Dans un Système Multi-Sources,” 2019 univ medea.

[4] Y. Li *et al.*, “Electrical Power and Energy Systems A modular multilevel converter type solid state transformer with internal model control method,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 85, pp. 153–163, 2017, doi: 10.1016/j.ijepes.2016.09.001.

[5] Y. Pu, H. Miao, C. B. Zeng, and C. F. Zhu, “A solid-state transformer with controllable input power factor and output voltage,” *POWERCON 2014 - 2014 Int. Conf. Power Syst. Technol. Towar. Green, Effic. Smart Power Syst. Proc.*, no. Powercon, pp. 2940–2944, 2014, doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993961.

[6] J. S. Lai, A. Maitra, A. Mansoor, and F. Goodman, “Multilevel intelligent universal transformer for medium voltage applications,” *Conf. Rec. - IAS Annu. Meet. (IEEE Ind. Appl. Soc.*, vol. 3, pp. 1893–1899, 2005, doi: 10.1109/IAS.2005.1518705.

[7] W. A. Rodrigues, R. A. S. Santana, A. P. L. Cota, T. R. Oliveira, L. M. F. Morais, and P. C. Cortizo, “Integration of solid state transformer with DC microgrid system,” *2016 IEEE 2nd Annu. South. Power Electron. Conf. SPEC 2016*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/SPEC.2016.7846176.

[8] A. Ghouari, “Adel Ghouari Étude théorique et expérimentale des réseaux intelligents appliqués dans la gestion d ’ énergie des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique,” 2017.

[9] S. Grid, “Gestion de l ’ énergie d ’ un système hybride autonome pour application « Smart Grid »,” 2016.

[10] J. Jos and P. Camacho, “Contribution à la modélisation et à la commande d ’ un UPFC dans le cadre du développement des réseaux intelligents (SmartGrids) Juan José Pascual Camacho To cite this version : HAL Id : dumas-00944207 Mémoire présenté en vue de l ’ obtention du DIPLOME,” 2014.

[11] M. Ebrahim and A. Firouzjaee, “Advanced modeling of solid state transformer Mohammad Ebrahim Adabi Firouzjaee PhD Thesis Advanced Modeling of Solid State Transformer Mohammad Ebrahim Adabi Firouzjaee.”

[12] documentation ," Les transformateurs" école technique de Blida, IFEG, .IEEE 2014.

[13] "International Journal of Innovations in Engineering and Technology" (IJIET) http://dx.doi.org/10.21172/ijiet.83.027 !!Design of Solid State Transformer.pdf .

[14] R. H. Lasseter, "Smart distribution: Coupled microgrids," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 1074–1082, 2011, doi: 10.1109/JPROC.2011.2114630.

[15] M. Rashidi, "Design and Implementation of a Multi-port Solid State Transformer for Flexible Der Integration," no. December, 2017.

[16] R. Blackmon and R. Blackmon, "Analysis of Modulation and Voltage Balancing Strategies for Modular Multilevel Converters by," 2013.

[17] L. Heinemann and G. Mauthe, "The universal power electronics based distribution transformer, an unified approach," in *2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 01CH37230)*, 2001, vol. 2, pp. 504–509.

[18] A. Shri, "A solid-state transformer for interconnection between the medium-and the low-voltage grid." Delft University of Technology, 2013.

[19] M. A. Perez, S. Bernet, J. Rodriguez, S. Kouro, and R. Lizana, "Circuit topologies, modeling, control schemes, and applications of modular multilevel converters," *IEEE Trans. power Electron.*, vol. 30, no. 1, pp. 4–17, 2014.

[20] A. Shojaei and G. Joós, "A topology for three-stage Solid State Transformer," in *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2013, pp. 1–5.

[21] S. Debnath, J. Qin, B. Bahrani, M. Saeedifard, and P. Barbosa, "Operation, control, and applications of the modular multilevel converter: A review," *IEEE Trans. power Electron.*, vol. 30, no. 1, pp. 37–53, 2014.

[22] X. Yu, X. She, X. Ni, and A. Q. Huang, "System integration and hierarchical power management strategy for a solid-state transformer interfaced microgrid system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 8, pp. 4414–4425, 2013.

[23] A. Yazdani and R. Iravani, "A unified dynamic model and control for the voltage-sourced converter under unbalanced grid conditions," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 3, pp. 1620–1629, 2006.

[24] L. Xu, B. R. Andersen, and P. Cartwright, "VSC transmission operating under unbalanced AC conditions-analysis and control design," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 1, pp. 427–434, 2005.

[25] M. Hagiwara and H. Akagi, "Control and experiment of pulsewidth-modulated modular multilevel converters," *IEEE Trans. power Electron.*, vol. 24, no. 7, pp. 1737–1746, 2009.

[26] M. Mehrasa, E. Pouresmaeil, M. F. Akorede, S. Zabihi, and J. P. S. Catalão, "Function-based modulation control for modular multilevel converters under varying loading and parameters conditions," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 11, no. 13, pp. 3222–3230, 2017.

[27] A. Shojaei and G. Joos, "A modular solid state transformer with a single-phase medium-frequency transformer," in *2013 IEEE Electrical Power & Energy Conference*, 2013, pp. 1–5.

[28] M. Ebrahim and A. Firouzjaee, "Advanced modeling of solid state transformer," p. 21, 2018.

[29] X. She, A. Q. Huang, and R. Burgos, "Review of solid-state transformer technologies and their application in power distribution systems," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. power Electron.*, vol. 1, no. 3, pp. 186–198, 2013.

[30] M. A. Bahmani, T. Thiringer, and M. Kharezy, "Optimization and experimental validation of medium-frequency high power transformers in solid-state transformer applications," in *2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2016, pp. 3043–3050.

[31] M. E. Adabi Firouzjaee and J. A. Martínez Velasco, "Solid state transformer technologies and applications: A bibliographical survey," *AIMS Energy*, vol. 6, no. 2, pp. 291–338, 2018.

[32] P. Lezana, C. A. Silva, J. Rodriguez, and M. A. Pérez, "Zero-steady-state-error input-current controller for regenerative multilevel converters based on single-phase cells," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 733–740, 2007.

[33] H. Wang, Q. Cheng, M. Li, G. Chen, and L. Deng, "The study of single-phase PWM rectifier based on PR control strategy," in *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, 2014, pp. 3818–3823.

[34] A. Furuya, K. Oka, and K. Matsuse, "A characteristic analysis of four-leg inverter in two AC motor drives with independent vector control," in *2007 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2007, pp. 619–624.

[35] S. Ei-Barbari and W. Hofmann, "Digital control of a four leg inverter for standalone photovoltaic systems with unbalanced load," in *2000 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IECON 2000. 2000 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation. 21st Century Technologies*, 2000, vol. 1, pp. 729–734.