

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريش

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département : Electromécanique

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Electromécanique

Spécialité : Commande électrique

Par : - Gueddoudj Anouar

Sujet

Etude et simulation des convertisseurs statique AC-AC et DC-AC

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

M/ Zebiri Fouad	MCB	Univ-BBA	Président
M/ Chouder Adel	MCB	Univ-BBA	Examineur
M/ Merabet Elkheir	Pr	Univ-BBA	Encadrant

REMERCIEMENTS

Au nom d'ALLAH le tout puissant, de nous avoir aidé à réaliser ce modeste projet.

On tient à remercier notre encadrant

Mr : Elkheir Merabet pour son suivi continu ainsi que sa bonne orientation du travail.

On remercie également les membres de jury :

D'avoir acceptés d'honorer par leur présence

A la soutenance de notre mémoire de fin d'étude

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

à : Ma très chère mère,

Mon cher père,

Toute ma famille GUEDDOUDJ,

et tous mes amis,

A toute la promotion d'électrotechnique 2024.



SOMMAIRE

Table des matières

SOMMAIRE	4
Introduction Générale	9
Chapitre I Onduleurs à trois niveaux.....	10
I. 1 Introduction.....	10
I. 2 Modélisation de l'onduleur à trois niveaux de type NPC.....	10
I. 2. 1 Structure de l'onduleur à trois niveaux.....	10
I. 2. 2 Configurations et fonctionnement d'un bras de l'onduleur à trois niveaux.....	12
I. 3 Technique de la commande de l'onduleur à trois niveaux de type NPC	16
I. 3. 1 Commandabilité des convertisseurs statiques.....	16
I. 3. 2 Commande complémentaire.....	16
I. 4 Fonctions de connexion.....	19
I. 4. 1 Relation entre les fonctions de connexion	19
I. 4. 2 Relation entre les fonctions des demi-bras.....	19
I. 5 Modélisation des valeurs instantanées	19
I. 5. 1 Les potentiels V_{i0}	20
I. 5. 2 Tensions de sorties	20
I. 5. 3 Tensions composées.....	21
I. 5. 1 Tensions simples.....	21
I. 5. 2 Courants d'entrée.....	22
I. 6 Commande MLI	23
I. 6. 1 Principe de la modulation de largeur d'impulsion (MLI).....	23
I. 6. 2 Caractéristique de la modulation de largeur d'impulsion (MLI)	23
I. 7 Simulation de commande MLI-ST, pleine onde d'un onduleur à trois niveaux	24
I. 7. 1 Paramètres de simulation	24
Résultats de simulation pour charge RL ($R = 10\Omega$, $L = 1\text{ mH}$).....	25
I. 8 Commande MLI d'un onduleur à trois niveaux.....	26

I. 8. 1	Paramètres de simulation	26
I. 8. 2	Résultats de simulation pour charge RL: ($R = 10\Omega$, $L = 1\text{ mH}$).....	27
I. 9	CONCLUSION :	31
Chapitre II	Onduleur à cinq niveaux.....	32
II. 1	Introduction.....	32
II. 2	Onduleur à cinq niveaux de type NPC.....	32
II. 2. 1	Structure de l'onduleur à cinq niveaux	32
II. 2. 2	Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC à cinq niveaux	33
II. 2. 3	Modélisation de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC.[12]	39
II. 2. 4	Expressions des tensions V_{an}, V_{bn}, V_{cn} en fonction des tensions V_a, V_{b0}, V_{c0}	40
II. 3	Modélisation en vue de la commande d'onduleur cinq niveaux NPC	40
II. 3. 1	Fonction de connexion des interrupteurs	40
II. 3. 2	Commande complémentaire.....	41
II. 3. 3	Fonction de connexion du demi-bras.....	41
II. 3. 4	Modélisation aux valeurs instantanées.....	41
II. 4	Simulation de commande MLI-ST d'un onduleur à cinq niveaux.....	45
II. 4. 1	Paramètres de simulation	45
II. 4. 2	Résultats de simulation pour charge RL ($R = 10\Omega$, $L = 1\text{ mH}$)	45
II. 5	Etude comparative	49
II. 5. 1	Résultats de commande MLI-ST	49
II. 6	Conclusion	49
Chapitre III	Convertisseur AC-AC.....	50
III. 1	Introduction.....	50
III. 2	Gradateur triphasé	50
III. 2. 1	Structures des gradateurs triphasés	50
III. 2. 2	Principe de fonctionnement.....	51
III. 2. 3	Simulation d'un gradateur triphasé avec charge résistive	52
III. 2. 4	Conclusion	58
Conclusion générale	59

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Onduleur triphasé à trois niveaux.....	11
Figure I-2 : Interrupteur bidirectionnel équivalent de la paire transistor–diode.....	11
Figure I-3 Un bras de l'onduleur à trois niveaux de type NPC.....	12
Figure I-4 : Première configuration du 1 ^{er} bras.....	13
Figure I-5 : Deuxième configuration du 1 ^{er} bras.....	14
Figure I-6 : Troisième configuration du 1 ^{er} bras.....	15
Figure I-7 : Forme d'onde de la tension de sortie d'un bras d'onduleur à trois niveaux de type NPC.....	16
Figure I-8 : Principe de la modulation.....	23
Figure I-9 : Schéma bloc de la commande à 180° (pleine onde).....	25
Figure I-10 : Tension composée v_1	25
Figure I-11 : Tension simple v_2	26
Figure I-12 : Courant de phase i_s	26
Figure I-13 : Schéma bloc de la commande MLI de l'onduleur à trois niveaux.....	27
Figure I-14 : Tension simple v_2	27
Figure I-15 : Tension composée v_1	28
Figure I-16 : Courant de phase i_1	28
Figure I-17 : Tension de référence et la tension simple v_2	28
Figure I-18 : Principe de la technique MLI pour la phase 1.....	29
Figure I-19 : Spectre d'harmonique de la tension simple v_2 pour $m=7$	30
Figure I-20 : Spectre d'harmonique de la tension composée v_1 pour $m=7$	31
Figure II-1 : Bras d'un onduleur NPC à cinq niveaux.....	33
Figure II-2 : Première configuration du 1 ^{er} bras.....	34
Figure II-3 : Troisième configuration du 1 ^{er} bras.....	35
Figure II-4 : Troisième configuration du 1 ^{er} bras.....	36
Figure II-5 : Quatrième configuration du 1 ^{er} bras.....	37
Figure II-6 : 5 ^{ème} configuration du 1 ^{er} bras.....	38
Figure II-7 : Signaux de commande de chaque interrupteur [11].....	39
Figure II-8 : Partie commande : commande MLI sinusoïdale.....	45
Figure II-9 : Tension simple v_1	46
Figure II-10 : Tension composée v_2	46
Figure II-11 : Courant de phase i_s	46
Figure II-12 : Tension simple v_1 et la tension v_{ref}	47
Figure II-13 : Technique de MLI par à 4 porteuses pour un onduleur 5 niveaux.....	47
Figure II-14 : Spectre d'harmonique de la tension simple v_1 pour $m=25$	48
Figure II-15 : Spectre d'harmonique de la tension composée v_2 pour $m=25$	48
Figure III-1 : Les gradateurs triphasés couplés en étoile et en triangle.....	51
Figure III-2 : Gradateur triphasé mixte.....	51
Figure III-3 : Gradateur triphasé couplé en étoile avec charge résistive.....	52
Figure III-4 : Schéma bloc de simulation d'un gradateur triphasé avec une charge résistive.....	53
Figure III-5 : Tension de source.....	53
Figure III-6 : Tension simple v_1	54
Figure III-7 : Courant de la phase 1.....	54
Figure III-8 : Signal de commande du thyristor th_1	54

Figure III-9 : Signal de commande du thyristor $th1'$	55
Figure III-10 : Spectre d'harmonique de la tension simple $v1$	55
Figure III-11 : Spectre d'harmonique de courant de la phase 1	56
Figure III-12 : Tension simple $v1$	56
Figure III-13 : Courant de la phase 1	57
Figure III-14 : Spectre d'harmonique de la tension simple $v1$	57
Figure III-15 : Spectre d'harmonique de courant de la phase 1	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: Table de commutation du convertisseur NPC à trois niveaux.	15
Tableau I-2 : La table logique correspondante à cette commande est définie.....	17
Tableau I-3 : La table logique correspondante à cette commande est définie.....	18
Tableau I-4 : La table logique correspondante à cette commande est définie.....	18
Tableau II-1 : Table de commutation de l'onduleur NPC à 5 niveaux.....	38
Tableau II-2 : résultats obtenus pour les deux topologies d'onduleur à trois niveaux et à cinq niveaux.	49

Notions et symboles

E	Tension continue de l'onduleur NPC.
Hz	Hertz.
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion.
THD	le taux global de distorsion harmonique.
NPC	Neutral Point Clamped.
IGBT	Insolated Gâte Bipolaire Transistor.
GTO	Thyristor à extinction par la gâchette
Uc1	La tension continue aux bornes du C1.
Uc2	La tension continue aux bornes du C2.
DD_{k1}, DD_{k2}	les condensateurs de filtrage.
V_{ao}, V_{bo}, V_{co}	Les tensions simples à la sortie de l'onduleur entre les phases de la charge et le point milieu o.
V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}	Les tensions composées aux bornes de la charge.
BK	Commande externe (l'ordre d'amorçage ou de blocage du semi-conducteur bi-commandable Ti.
C	Le nombre de condensateurs d'équilibrage.
C1, C2	Condensateur de filtrage en bas de l'onduleur NPC à trois niveaux.
O	Le point milieu entre C1, et C2.
T	La période de modulation.
Ti	Semi-conducteur commandé (IGBT, GTO).
V_{réf}	Tension de référence.
Ar(v)	Amplitude de la référence
Ap	Amplitude de la porteuse triangulaire.
Fr(Hz)	Fréquence de la tension de référence.
Fp(Hz)	Fréquence de la porteuse triangulaire.
m	Indice de modulation.
r	Coefficient de réglage en tension
F_{KS}	Fonction de connexion, avec (k=1, 2, 3)et (s=1, 2, 3).
α	angule d'amorçage de gradateur

Introduction Générale

Dans le domaine de l'électricité, l'électronique de puissance est un domaine vital touche plusieurs activités tel que le réseau électrique, le transport (urbain, ferroviaires, maritime.....), l'énergie renouvelable et l'industrie. Dans cette époque l'énergie est devenue l'une des choses importantes dans la vie quotidienne de l'homme. Elle est devenu nécessaire d'améliorer les performances des dispositifs de l'électronique de puissance, cette dernière peut être contribue pour l'amélioration du signal électrique.

Les convertisseurs électriques sont des dispositifs basés sur les composants semi-conducteurs, ainsi que des éléments passifs comme les résistances, les condensateurs et les inductances. La combinaison entre elle permet de convertir la forme de signal électrique soit tension ou courant à autre forme cette conversion utiliser dans les activités industrielles actuellement. On distingue quatre types de convertisseur soit :

- DC/DC**: Hacheur qui permet de convertir le signal continu au signal continu commandable;
- DC/AC**: Onduleur qui permet de convertir le signal continu à l'alternatif;
- AC /DC**: Redresseur qui permet de convertir le signal de l'alternatif au continu;
- AC/AC**: Gradateur qui permet de convertir le signal alternatif au alternatif commandable.

Un onduleur est un convertisseur statique, assurant la conversion continue-alternative. Ces dernières années, des convertisseurs statiques sont de plus en plus exploités dans des applications diverses. Certaines d'entre elles exigent une alimentation électrique à haute tension, facilement réglable et ayant de bonnes performances spectrales. Des nouvelles techniques dites multi-niveaux ainsi que des nouvelles topologies des convertisseurs ont été développées.

Les gradateurs peuvent assurer la commande et le réglage du courant débité par une source alternative dans une charge aussi alternative, avec valeur efficace contrôlée sans changement de fréquence. La variation de cette valeur efficace se fait par découpage de la tension à l'aide d'un interrupteur statique.

Cette étude sera basée sur la simulation sous Matlab qui a été utilisé pour effectuer les simulations numériques.

Le premier chapitre, sera consacré à l'étude structure et le principe de fonctionnement et la modélisation de l'onduleur à trois niveaux avec la simulation des commandes (commande pleine onde et la commande MLI-ST) avec charge, le THD sera calculé.

Le deuxième chapitre, sera présenté l'étude de structure et principe de fonctionnement et la modélisation de l'onduleur à cinq niveaux avec la simulation de la commande MLI-ST avec la charge, le THD sera calculé. Une étude comparative des niveaux (trois niveaux et cinq niveaux) en termes de THD de tension.

Le dernier chapitre, sera présenté l'étude d'un gradateur triphasé par son structure et son principe de fonctionnement, des résultats de simulation pour différentes angle d'amorçage seront présentés et discutés.

Finalement, on terminera notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I Onduleurs à trois niveaux

I. 1 Introduction

Dans plusieurs applications industrielles, il est important d'avoir une tension d'alimentation stable et réglable. Cette tension est obtenue par les onduleurs qui permettent d'éliminer la variation de la tension continue. Il existe plusieurs topologies pour la conversion multi niveaux.

La première topologie a été proposée par A. Nabac en 1981 pour la génération de plusieurs niveaux de tension. [1]

Dans ce chapitre, nous serons étudié en détail d'un onduleur de tension à trois niveaux de type NPC à diodes de bouclage en structure et de son principe de fonctionnement, nous construirons un modèle mathématique utilisant le concept de la fonction de connexion de l'interrupteur et du demi-bras.

On sera présenté aussi les résultats de la simulation de commande MLI-ST de cet onduleur.

I. 2 Modélisation de l'onduleur à trois niveaux de type NPC

I. 2. 1 Structure de l'onduleur à trois niveaux

L'idée de base de l'onduleur NPC est l'obtention d'une tension de sortie à trois niveaux par la continue distincte.

L'onduleur triphasé à trois niveaux utilisé est constitué de trois bras et de une source de tension continue. Chaque bras comporte quatre interrupteurs en série et deux diodes médianes. Chaque interrupteur est composé d'un transistor et une diode montée en tête bêche.[2]

Le point milieu de chaque bras est relié à une alimentation continue, de force électromotrice (E). A l'aide d'un diviseur de tension capacitif formé par les condensateurs de filtrage C_1 et C_2 de même capacité, on obtient deux sources secondaires de tension continue délivrant chacune une demi-tension ($E/2$). Étant connectés entre eux en un point neutre noté o .

Ces derniers sont identiques de manière à éviter le déséquilibre de charge ($C_1 = C_2$ c'est-à-dire $U_{c1} = U_{c2}$).

Le point o est connecté avec les deux diodes médianes (DD_{K1} , DD_{K2}),[3],[4]. La figure (I-1) fournit une représentation schématique de cet onduleur .

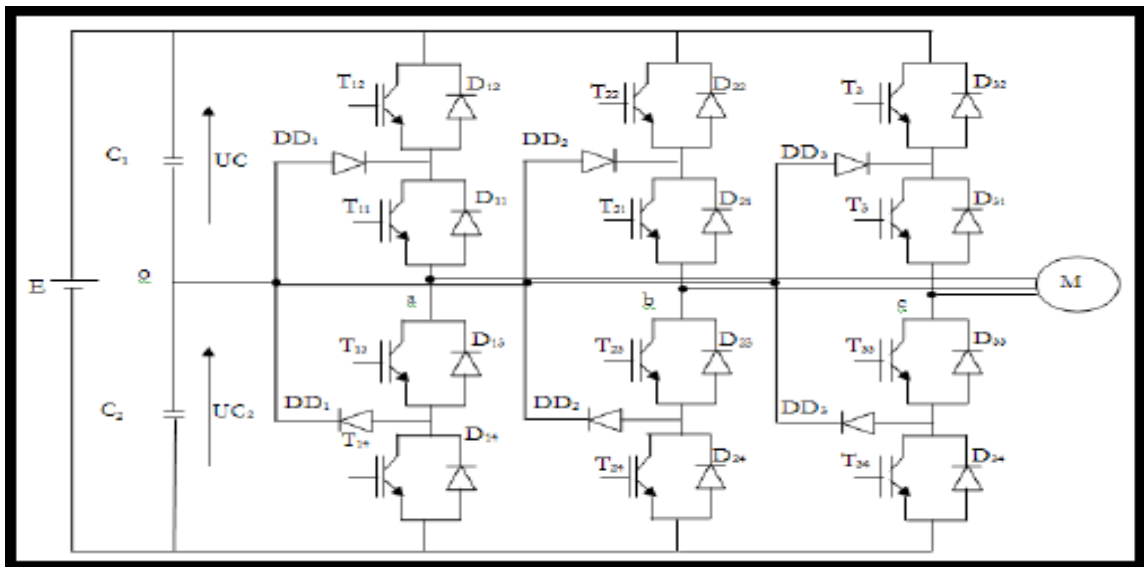


Figure I-1 : Onduleur triphasé à trois niveaux.

Pour simplifier la complexité de la structure de l'onduleur à trois niveaux, on présente chaque paire (transistor -diode) par un seul interrupteur bidirectionnel TD_{KS} (Figure I.2), et vue la symétrie de la structure. L'étude peut se limiter au fonctionnement d'un seul bras (Figure I-3).

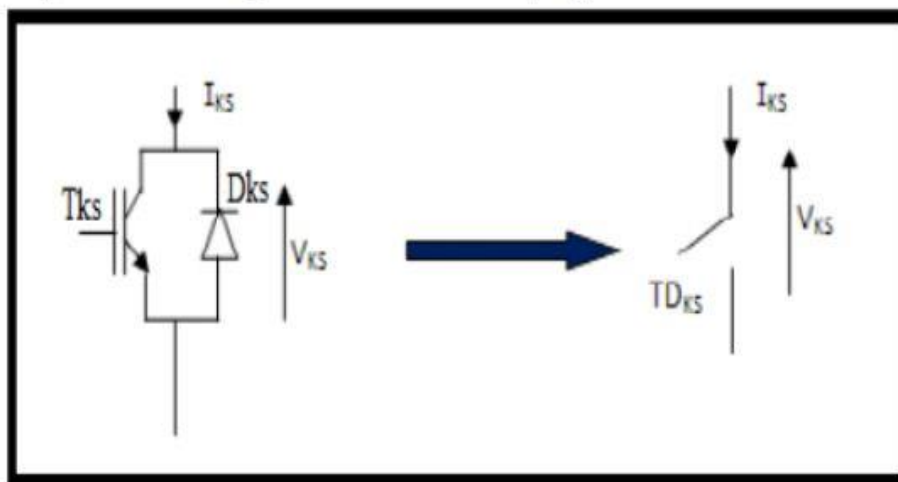


Figure I-2 : Interrupteur bidirectionnel équivalent de la paire transistor-diode.

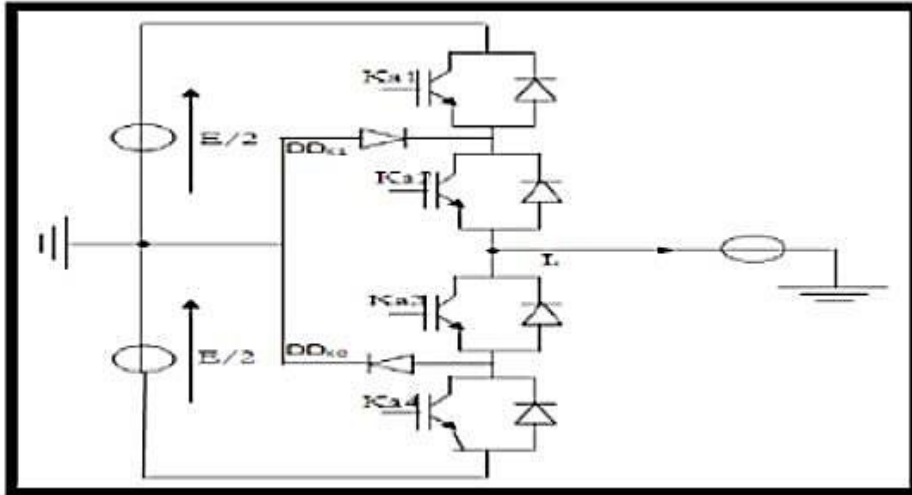


Figure I-3 Un bras de l'onduleur à trois niveaux de type NPC.

L'ouverture et la fermeture des interrupteurs dépend de :

- La commande externe B_{KS} (l'ordre d'amorçage ou de blocage du semi-conducteur bidirectionnel T_{KS}).
- Une commande interne définie par les signes du courant du bras.
- Pour éviter la mise en conduction simultanée des quatre interrupteurs d'un seul bras, qui provoque un court-circuit aux bornes des sources continues et par conséquent le risque de distorsion des condensateurs et des composants semi-conducteurs par surintensité et qui peut engendrer la destruction par surtension des interrupteurs lors d'ouvertures simultanée de ces derniers, on adopte la solution classique suivante :

On doit réaliser une commande complémentaire des différents interrupteurs d'un même bras de l'onduleur,[5].

I. 2. 2 Configurations et fonctionnement d'un bras de l'onduleur à trois niveaux

Il faut déterminer les valeurs que peut prendre la tension simple V_{ao} entre la borne (a) de la charge et le point neutre O. Cette tension est entièrement définie par l'état (0 ou 1) des quatre interrupteurs K_{a1} , K_{a2} , K_{a3} et K_{a4} du bras.

Sur les $2^4=16$ configurations possibles, seules trois configurations sont mises en œuvre. Toutes les autres séquences ne sont pas fonctionnelles et sont donc à éviter. En effet, elles provoquent soit des court-circuits des sources de tension continue, soit elles provoquent la déconnexion de la charge.

On donne ci-dessous le tableau récapitulatif (tableau I.1) représente la tension de sortie V_{ao} d'un onduleur NPC à trois niveaux en fonction de l'état des interrupteurs, la tension au borne des interrupteurs de puissance n'excède jamais la moitié du bus d'entrée.

A la différence de l'onduleur à deux niveaux, chaque demi-bras de l'onduleur à trois niveaux utilisée non pas un interrupteur bidirectionnel mais deux, ce qui permet d'effectuer une commande décalée.[6]

Première configuration {1100}

K_{a1} , K_{a2} sont passants et K_{a3} et K_{a4} sont bloqués (Figure I.4) la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = +E/2 \tag{I-1}$$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka3} = V_{ka4} = +E/2 \tag{I-2}$$

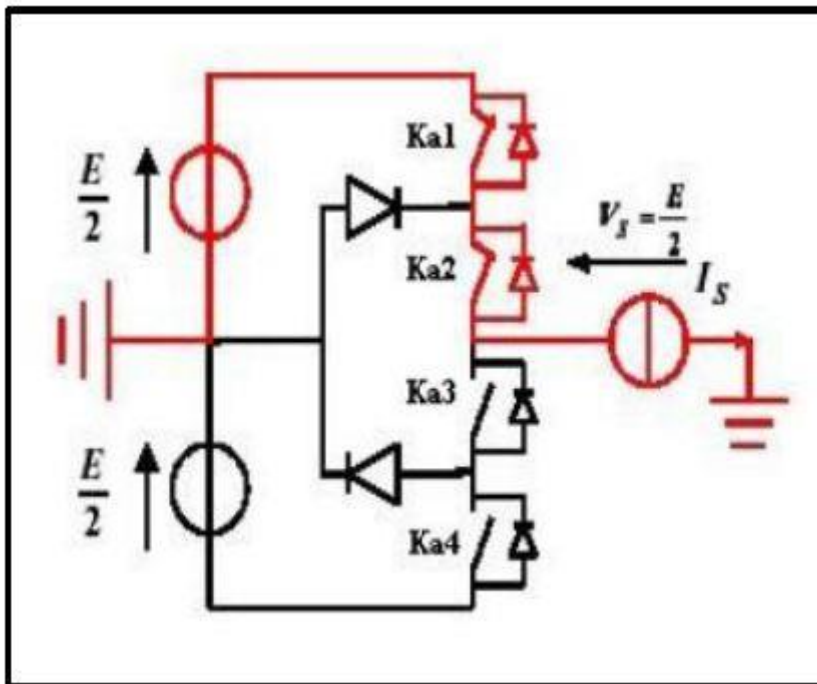


Figure I-4 : Première configuration du 1^{er} bras.

Deuxième configuration {0110}

K_{a2} , K_{a3} sont passants et K_{a1} et K_{a4} sont bloqués (Figure I.5), le point a est relié directement au point neutre 0. La tension simple V_{ao} est nulle :

$$V_{ka1} = 0 \quad (I-3)$$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka4} = +E/2 \quad (I-4)$$

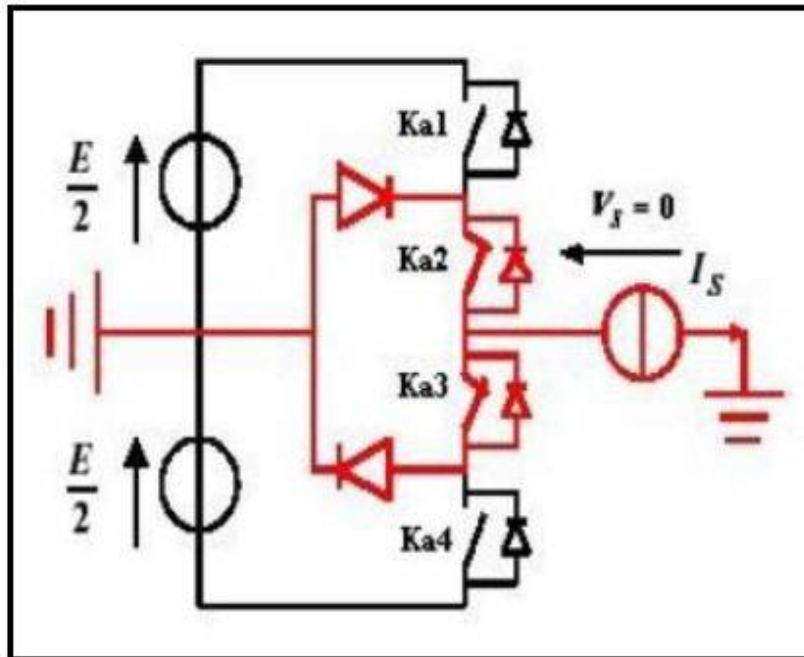


Figure I-5 : Deuxième configuration du 1er bras.

Troisième configuration {0011}

Ka3, Ka4 sont passants et Ka1 et Ka2 sont bloqués (figure I.6), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = -E/2 \quad I-5)$$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = +E/2 \quad I-6)$$

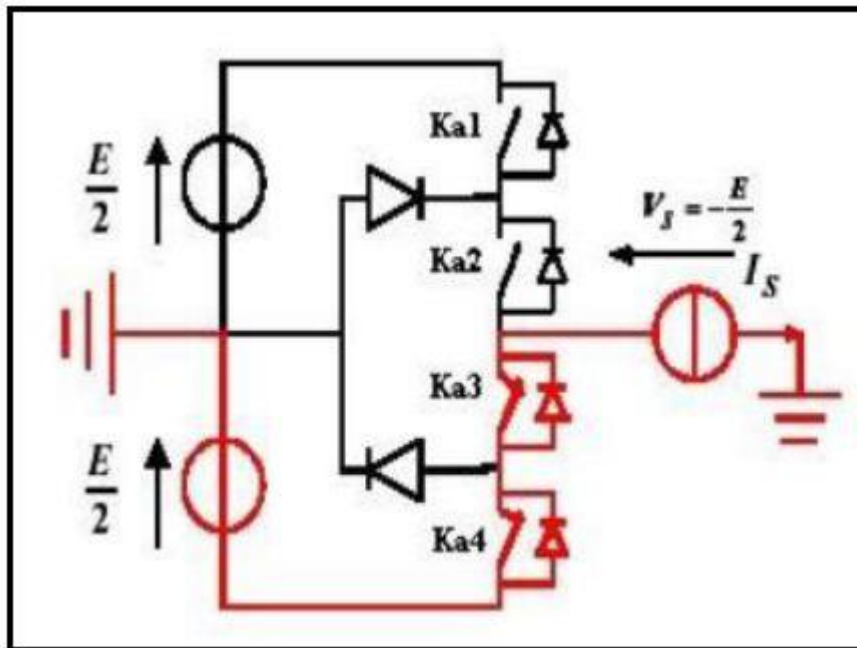


Figure I-7 : Troisième configuration du 1er bras.

Tableau I-1: Table de commutation du convertisseur NPC à trois niveaux.

Etat des interrupteurs				Tension de sortie V_{ao}
K_{a1}	K_{a2}	K_{a3}	K_{a4}	
1	1	0	0	$E/2$
0	1	1	0	0
0	0	1	1	$-E/2$

Pour visualiser l'enchaînement des configurations décrites ci-dessus, la (figure I.7) représente les signaux de commande de chaque interrupteur, ainsi que la forme d'onde de la tension de sortie V_{ao} .

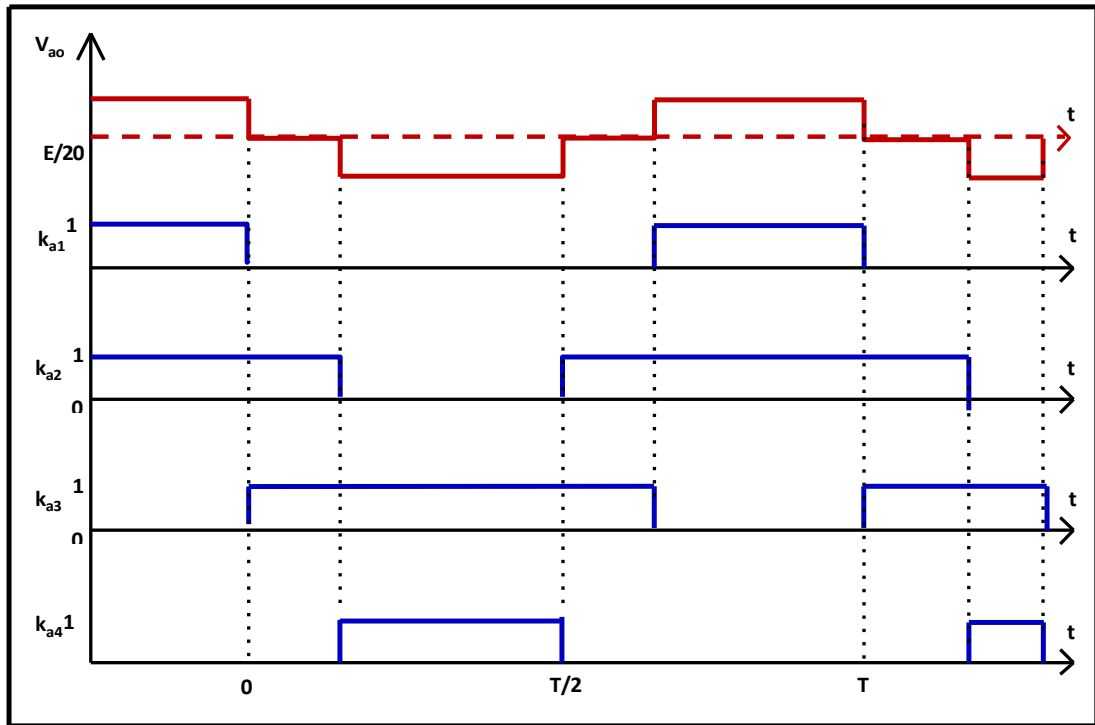


Figure I-8 : Forme d'onde de la tension de sortie d'un bras d'onduleur à trois niveaux de type NPC.

I. 3 Technique de la commande de l'onduleur à trois niveaux de type NPC

I. 3. 1 Commandabilité des convertisseurs statiques

Un convertisseur statique est dit en mode commandable, si les transistors entre différentes configurations dépendent uniquement de la commande externe et non plus des commandes internes. Nous supposons dans la suite que cette condition est toujours vérifiée. Dans ces conditions, on peut définir la notion de fonction de connexion. [7]

I. 3. 2 Commande complémentaire

Pour éviter le court-circuit des sources de tension par conduction de plusieurs interrupteurs, et pour que le convertisseur soit totalement commandable, on adopte une commande complémentaire.

Pour un bras K de l'onduleur triphasé à trois niveaux, et en mode commandable, on définit les trois commandes complémentaires comme suit,[5] :

$$\begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k2}} \\ B_{k3} = \overline{B_{k4}} \end{cases} \begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k3}} \\ B_{k2} = \overline{B_{k4}} \end{cases} \begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k4}} \\ B_{k2} = \overline{B_{k3}} \end{cases} \quad (I-7)$$

1) Commande N° 1

Soit la commande complémentaire suivante :

$$\begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k2}} \\ B_{k3} = \overline{B_{k4}} \end{cases} \quad (I-8)$$

B_{ks} : Commande du transistor T_{KS} du bras K.

Tableau I-2 : La table logique correspondante à cette commande est définie.

B_{k1}	B_{k2}	B_{k3}	B_{k4}	Tension de sortie du bras K (V_{ao})
Off	On	Off	On	Inconnue (dépend de la charge)
Off	On	On	Off	V=0 ou I=0 (inconnue)
On	Off	Off	On	V=0 ou I=0 (inconnue)
On	Off	On	Off	V=0

Cette commande rend le système pratiquement non commandable.

2) Commande N°2

Soit la commande complémentaire suivante :

$$\begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k3}} \\ B_{k2} = \overline{B_{k4}} \end{cases} \quad (I-9)$$

Tableau I-3 : La table logique correspondante à cette commande est définie.

B_{k1}	B_{k2}	B_{k3}	B_{k4}	V_{ao}
Off	Off	On	On	$-U_{c2}=-E/2$
Off	On	On	Off	(inconnue)
On	Off	Off	On	(inconnue)
On	On	Off	Off	$U_{c1}=E/2$

La commande dans ce cas n'est possible qu'à deux niveaux

3) Commande N°3

Soit la commande complémentaire suivante :

$$\begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k4}} \\ B_{k2} = \overline{B_{k3}} \end{cases} \quad \text{I-10)}$$

Tableau I-4 : La table logique correspondante à cette commande est définie.

B_{k1}	B_{k2}	B_{k3}	B_{k4}	V_{ao}
Off	Off	On	On	$-U_{c2}=E/2$
Off	On	Off	On	(inconnue)
On	Off	On	Off	$V=0$
On	On	Off	Off	$U_{c1}=E/2$

Cette commande complémentaire rend le système totalement commandable à trois niveaux. La commande N°3 est la seule qui permet d'exploiter les trois niveaux de tension de sortie possible pour un bras ($U_{c1}, 0, -U_{c2}$), avec $U_{c1} = U_{c2} = E/2$.

C'est cette commande qui va être adopté pour la modélisation de l'onduleur à trois niveaux.

I. 4 Fonctions de connexion

La fonction de connexion F_{KS} traduit l'état ouvert ou fermé de l'interrupteur TD_{KS} . Chaque interrupteur ($K \in (1, 2, 3)$, $S \in (1, 2, 3)$), supposé idéal introduit une fonction de connexion F_{KS} .

$$F_{KS} = \begin{cases} 1 & \text{si l'interrupteur } K_{ks} \text{ est fermé} \\ 0 & \text{Si l'interrupteur } K_{ks} \text{ est ouvert} \end{cases} \quad \text{I-11)}$$

I. 4. 1 Relation entre les fonctions de connexion

Ainsi les fonctions de connexion des interrupteurs du bras K sont liées par les relations suivantes

$$\begin{cases} F_{k1} = 1 - F_{k4} \\ F_{k1} = 1 - F_{k4} \end{cases} \quad \text{(I-12)}$$

I. 4. 2 Relation entre les fonctions des demi-bras

On définit la fonction de connexion du demi-bras qu'on notera F^b avec K:numéro du bras, $M=1$ pour le demi-bras du haut et $M=0$ pour le demi-bras du bas.

Pour un bras K, les fonctions de connexions des demi-bras s'expriment au moyen des fonctions de connexion des interrupteurs comme suit :

$$\begin{cases} F_{k1}^b = F_{k1} \cdot F_{k2} \\ F_{k0}^b = F_{k4} \cdot F_{k4} \end{cases} \quad \text{(I-13)}$$

F_{k1}^b est associé au demi-bras du haut (la paire (K_{K1}, K_{K2})).

F_{k0}^b est associé au demi-bras du bas (la paire (K_{K3}, K_{K4})).

I. 5 Modélisation des valeurs instantanées

Cette modélisation sera effectuée en considérant l'association de l'onduleur de tension triphasé avec une charge triphasé équilibrée couplée en étoile.

Tension simple aux bornes de chaque phase de la charge : V_a, V_b, V_c ;

Tension entre le point milieu «i» de chaque bras de l'onduleur et le point neutre «o» de l'alimentation continue de l'onduleur : V_{ao}, V_{bo}, V_{co} .

I. 5. 1 Les potentiels V_{io}

Les potentiels des nœuds A, B, C de l'onduleur triphasé à trois niveaux par rapport au point milieu M, s'expriment comme suit :

$$\begin{cases} V_{ao} = F_{11} \cdot F_{12} \cdot U_{C1} - F_{13} \cdot F_{14} \cdot U_{C2} = (F_{11} \cdot F_{12} - F_{13} \cdot F_{14}) \cdot E/2 \\ V_{bo} = F_{21} \cdot F_{22} \cdot U_{C1} - F_{23} \cdot F_{24} \cdot U_{C2} = (F_{21} \cdot F_{22} - F_{23} \cdot F_{24}) \cdot E/2 \\ V_{co} = F_{31} \cdot F_{32} \cdot U_{C1} - F_{33} \cdot F_{34} \cdot U_{C2} = (F_{31} \cdot F_{32} - F_{33} \cdot F_{34}) \cdot E/2 \end{cases} \quad \text{I-14)}$$

Pour l'onduleur triphasé à trois niveaux, les fonctions de connexions des demi-bras sont définies selon les relations suivantes :

$$\begin{cases} F_{11}^b = F_{11} \cdot F_{12} \\ F_{21}^b = F_{21} \cdot F_{22} \\ F_{31}^b = F_{31} \cdot F_{32} \\ F_{10}^b = F_{13} \cdot F_{14} \\ F_{20}^b = F_{23} \cdot F_{24} \\ F_{30}^b = F_{33} \cdot F_{34} \end{cases} \quad \text{(I-15)}$$

La forme matricielle obtenue révèle que l'onduleur à trois niveaux est équivalent à une mise en série de deux onduleurs à deux niveaux de plus si on suppose que: $U_{C1}=U_{C2}=E/2$

(E : tension continue délivrée par l'étage continu), on aboutit à :

En traduisant ces fonctions de connexions des demi-bras dans le système (I-14)

On aboutit à :

$$\begin{cases} V_{ao} = F_{11}^b \cdot U_{C1} - F_{10}^b \cdot U_{C2} = (F_{11}^b - F_{10}^b) \cdot E/2 \\ V_{bo} = F_{21}^b \cdot U_{C1} - F_{20}^b \cdot U_{C2} = (F_{21}^b - F_{20}^b) \cdot E/2 \\ V_{co} = F_{31}^b \cdot U_{C1} - F_{30}^b \cdot U_{C2} = (F_{31}^b - F_{30}^b) \cdot E/2 \end{cases} \quad \text{I-16)}$$

Ou la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11}^b - F_{10}^b \\ F_{21}^b - F_{20}^b \\ F_{31}^b - F_{30}^b \end{bmatrix} U_{C2} \quad \text{I-17)}$$

I. 5. 2 Tensions de sorties

Le système d'équation (I-16) nous permet d'avoir les tensions de sortie de l'onduleur à trois niveaux qui s'expriment en fonction des deux tensions d'entrées U_{c1} et U_{c2} .

On peut considérer l'onduleur à trois niveaux comme étant l'association en série de deux onduleurs à deux niveaux et chaque bras de l'un de ces onduleurs sera un demi-bras de l'onduleur à trois niveaux.

Dans ces conditions, nous pourrions définir le modèle liant les fonctions des demi-bras et les tensions aux bornes de la charge V_A, V_B, V_C .

I. 5. 3 Tensions composées

Les différentes tensions composées de l'onduleur triphasé à trois niveaux s'expriment à l'aide des fonctions de connexions des interrupteurs comme suit :

$$\begin{cases} V_{ab}=V_{ao} - V_{bo} = (F_{11} \cdot F_{12} - F_{21} \cdot F_{22}) \cdot U_{C1} - (F_{13} \cdot F_{14} - F_{23} \cdot F_{24}) \cdot U_{C2} \\ V_{bc}=V_{bo} - V_{co} = (F_{21} \cdot F_{22} - F_{31} \cdot F_{32}) \cdot U_{C1} - (F_{23} \cdot F_{24} - F_{33} \cdot F_{34}) \cdot U_{C2} \\ V_{ca}=V_{co} - V_{ao} = (F_{31} \cdot F_{32} - F_{11} \cdot F_{12}) \cdot U_{C1} - (F_{33} \cdot F_{34} - F_{13} \cdot F_{14}) \cdot U_{C2} \end{cases} \quad \text{I-18)}$$

Dans le cas où $U_{C1}=U_{C2}=E/2$ le système (I-14) devient :

$$\begin{cases} V_{ab}=[(F_{11} \cdot F_{12} - F_{21} \cdot F_{22}) - (F_{13} \cdot F_{14} - F_{23} \cdot F_{24})] \cdot E/2 \\ V_{bc}=[(F_{21} \cdot F_{22} - F_{31} \cdot F_{32}) - (F_{23} \cdot F_{24} - F_{33} \cdot F_{34})] \cdot E/2 \\ V_{ca}=[(F_{31} \cdot F_{32} - F_{11} \cdot F_{12}) - (F_{33} \cdot F_{34} - F_{13} \cdot F_{14})] \cdot E/2 \end{cases} \quad \text{I-19)}$$

Les différentes tensions composées de l'onduleur triphasé à trois niveaux s'expriment à l'aide des fonctions des demi-bras comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} F_{11}^b \\ F_{21}^b \\ F_{31}^b \end{bmatrix} U_{C1} - \begin{bmatrix} F_{10}^b \\ F_{20}^b \\ F_{30}^b \end{bmatrix} U_{C2} \right\} \quad \text{I-20)}$$

Dans le cas où $U_{C1}=U_{C2}$, cette relation se réduit à l'équation suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11}^b - F_{10}^b \\ F_{21}^b - F_{20}^b \\ F_{31}^b - F_{30}^b \end{bmatrix} \cdot E/2 \quad \text{(I-21)}$$

I. 5. 1 Tensions simples

Les tensions simples de sorties de l'onduleur se déduisent en fonction des potentiels des nœuds par rapport au point milieu par la relation suivante :

$$V_a + V_b + V_c = 0 \quad \text{I-22)}$$

$$\begin{cases} V_a = (2V_{ao} - V_{bo} - V_{co})/3 \\ V_b = (-V_{ao} + 2V_{bo} - 2V_{co})/3 \\ V_c = (-V_{ao} - V_{bo} + 2V_{co})/3 \end{cases} \quad (\text{I-23})$$

Sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11}^b - F_{10}^b \\ F_{21}^b - F_{20}^b \\ F_{31}^b - F_{30}^b \end{bmatrix} \cdot E/2 \quad (\text{I-24})$$

I. 5. 2 Courants d'entrée

En utilisant les fonctions de connexion des interrupteurs pour trouver des courants d'entrée continus (I_{d1}, I_{d2}, I_{d0}) de l'onduleur à trois niveaux en fonctions des courants alternatifs de lacharge.

I_{d1}, I_{d2}, I_{d0} s'expriment comme suit :

$$\begin{cases} I_{d1} = F_{11} \cdot F_{12} \cdot I_a + F_{21} \cdot F_{22} \cdot I_b + F_{31} \cdot F_{32} \cdot I_c \\ I_{d2} = F_{11} \cdot F_{12} \cdot I_a + F_{23} \cdot F_{24} \cdot I_b + F_{33} \cdot F_{34} \cdot I_c \\ I_{d0} = F_{12} \cdot F_{13} \cdot I_a + F_{22} \cdot F_{23} \cdot I_b + F_{32} \cdot F_{33} \cdot I_c \end{cases} \quad (\text{I-25})$$

Le système I-25) devient en remplaçant les fonctions de connexion des interrupteurs par les fonctions de connexion de demi-bras :

$$\begin{cases} I_{d1} = F_{11}^b \cdot I_a + F_{21}^b \cdot I_b + F_{31}^b \cdot I_c \\ I_{d2} = F_{10}^b \cdot I_a + F_{20}^b \cdot I_b + F_{30}^b \cdot I_c \end{cases} \quad (\text{I-26})$$

Le courant I_{d0} s'exprime en fonction des courants d'entrées (I_{d1}, I_{d2}) et des courants de charges I_a, I_b, I_c par la relation :

$$I_{d0} + I_{d1} + I_{d2} = I_a + I_b + I_c \quad (\text{I-27})$$

Si on remplace les courants continus (I_{d1} et I_{d2}) par leurs expressions relatives, on obtient:

$$I_{d1} = (I_a + I_b + I_c) - (F_{11}^b \cdot F_{12}^b)I_a - (F_{21}^b \cdot F_{20}^b)I_b - (F_{31}^b \cdot F_{30}^b)I_c \quad (\text{I-28})$$

On aboutit à la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} I_{d1} \\ I_{d2} \\ I_{d0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11}^b & F_{21}^b & F_{31}^b \\ F_{10}^b & F_{20}^b & F_{30}^b \\ 1 - F_{11}^b - F_{10}^b & 1 - F_{21}^b - F_{20}^b & 1 - F_{31}^b - F_{30}^b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (I-29)$$

I. 6 Commande MLI

I. 6. 1 Principe de la modulation de largeur d'impulsion (MLI)

La conversion continue alternative est assurée par les commutations des interrupteurs de l'onduleur qui vont ainsi effectuer des connexions temporaires entre les bornes de la source d'alimentation continue et les lignes de la charge triphasée alternative. Le transfert d'énergie est contrôlé par le rapport entre intervalles d'ouverture et de fermeture (rapport cyclique) de chaque interrupteur, donc par la modulation de largeurs d'impulsions de contrôle de ces interrupteurs (MLI), cette technique est basée sur la comparaison d'un signal de référence appelé aussi modulatrice d'amplitude A_r et de fréquence F_r , avec un signal appelé porteuse d'amplitude A_p et de fréquence F_p très élevée. (Figure I.8)

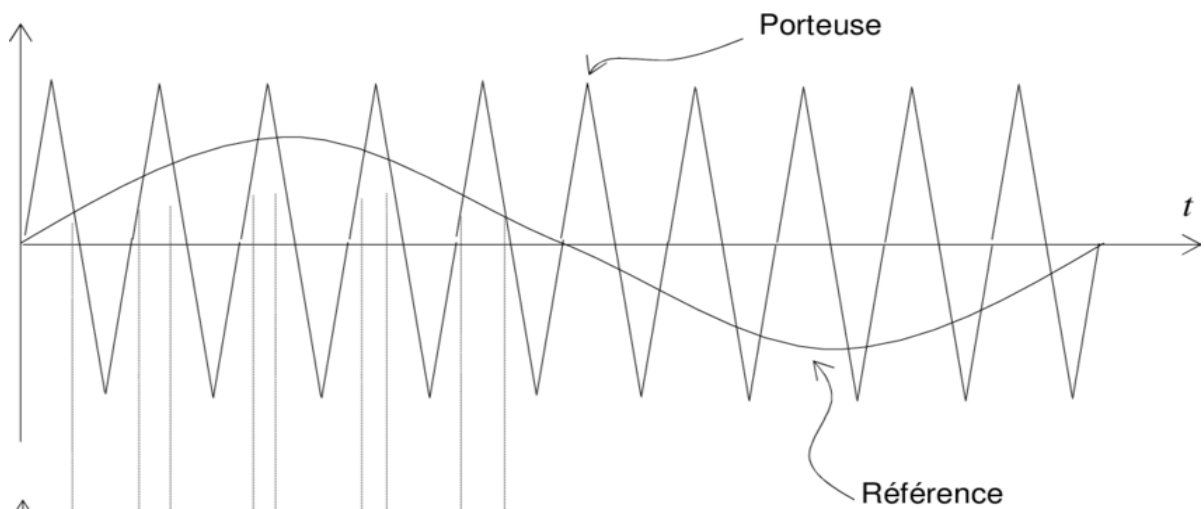


Figure I-9 : Principe de la modulation.

I. 6. 2 Caractéristique de la modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Les paramètres essentiels de la MLI sont:

-La fréquence de la modulation : f_r

-L'indice de modulation : $m = \frac{f_p}{f_r}$ ou f_p est la fréquence de la référence.

-Le coefficient de réglage en tension : $r = \frac{A_r}{A_p}$

Avec:

A_r : Amplitude de la référence.

A_p : Amplitude de la porteuse.

La modulation montre que plus (m) est grand et plus la neutralisation des harmoniques est efficace, d'autre part on cherche à obtenir une valeur de (r) la plus élevée possible.[8]

La modulation est dite synchrone si (m) est un nombre entier ce la conduit à une tension de sortie (U') qui se reproduit identiquement à elle-même tous les $T = \frac{1}{f}$ -

Dans certains cas la modulation est asynchrone, notamment quand à fréquence de modulation f_p , donnée, on fait varier de façon continue la fréquence de la référence.

Pour le choix de (m), on doit tenir compte des pertes supplémentaires pendant les commutations d'un état à l'autre. Ces pertes croissent lorsque la fréquence de modulation augmente.

On ne pourra jamais fonctionner avec un rapport de réglage égal à "1", car il faut toujours laisser une durée suffisantes aux intervalles de conduction et de blocage des interrupteurs d'un même bras. [9]

I. 7 Simulation de commande MLI-ST, pleine onde d'un onduleur à trois niveaux

I. 7. 1 Paramètres de simulation

$R_1=R_2=R_3= 10 \Omega, L_1=L_2=L_3=1\text{mH}, f= 50 \text{ Hz}, V_{dc} = 220\text{V}.$

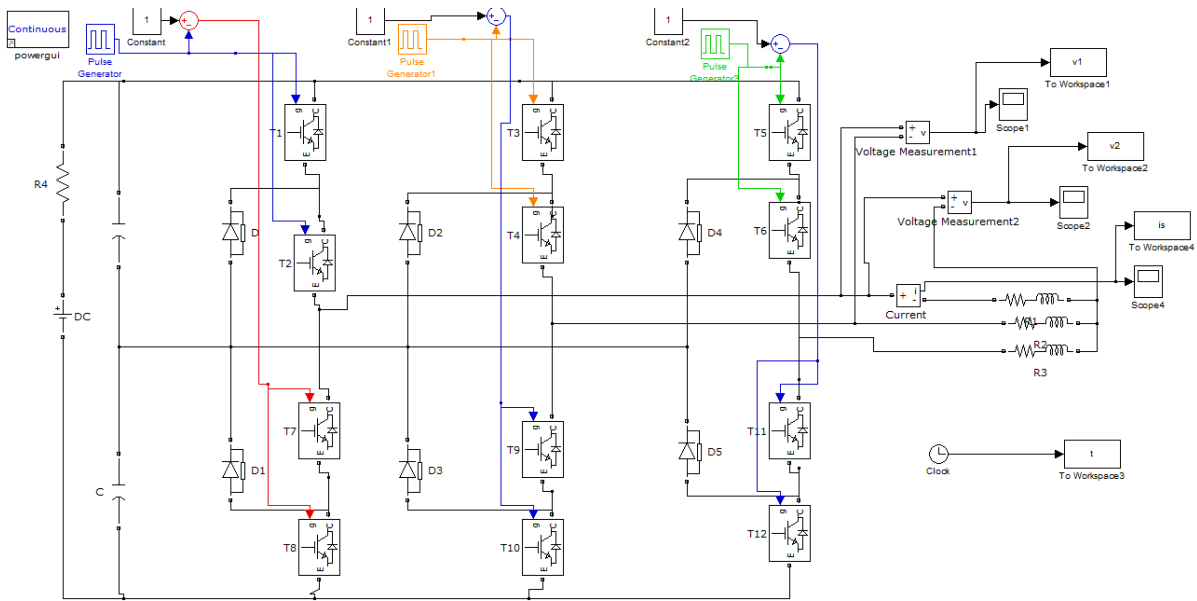


Figure I-10 : Schémabloc de la commande 180°(pleine onde).

Résultats de simulation pour charge RL ($R = 10\Omega$, $L = 1\text{ mH}$)

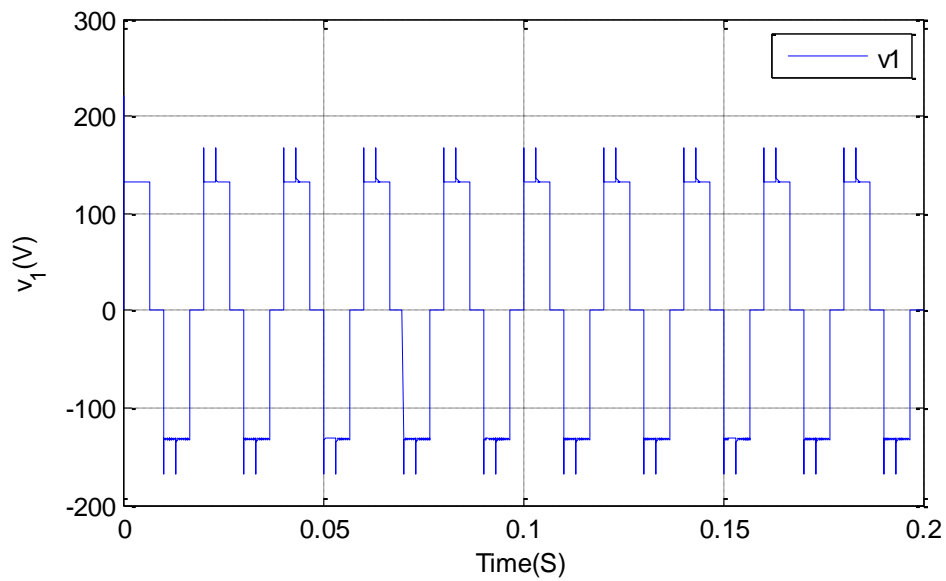


Figure I-11 : Tension composée v1.

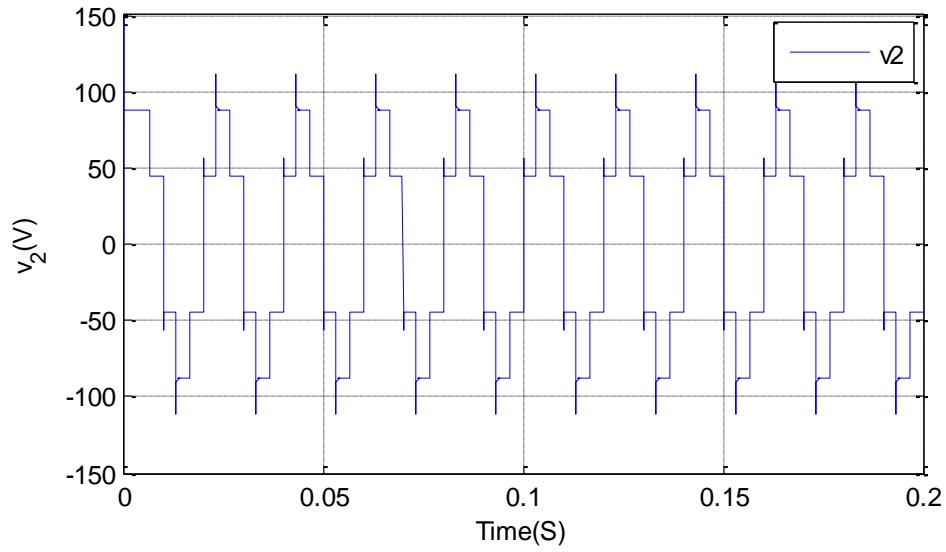


Figure I-12 : Tension simple v_2 .

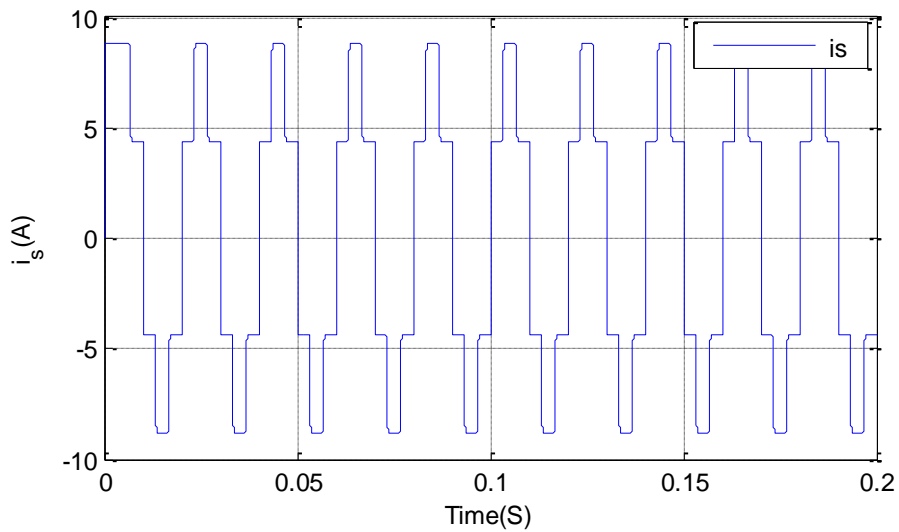


Figure I-13 : Courant de phase i_s .

I. 8 Commande MLI d'un onduleur à trois niveaux

I. 8. 1 Paramètres de simulation

$R_1=R_2=R_3= 10 \Omega, L=1\text{mH}, f= 50 \text{ Hz}, m=7, f_p = m.f, r = 0.8$ et $V_{dc} = 220\text{V}$.

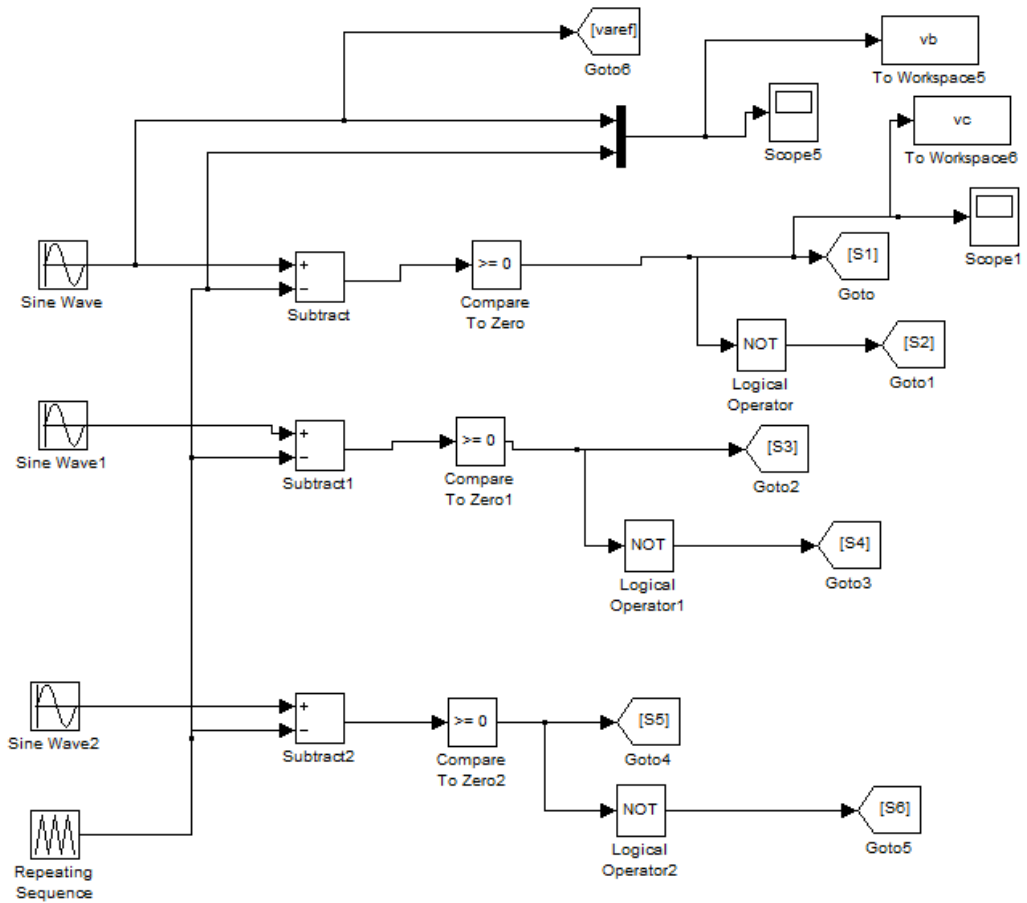


Figure I-14 : Schémabloc de la commande MLI de l'onduleur à trois niveaux.

I. 8. 2 Résultats de simulation pour charge RL: ($R = 10\Omega$, $L = 1\text{ mH}$)

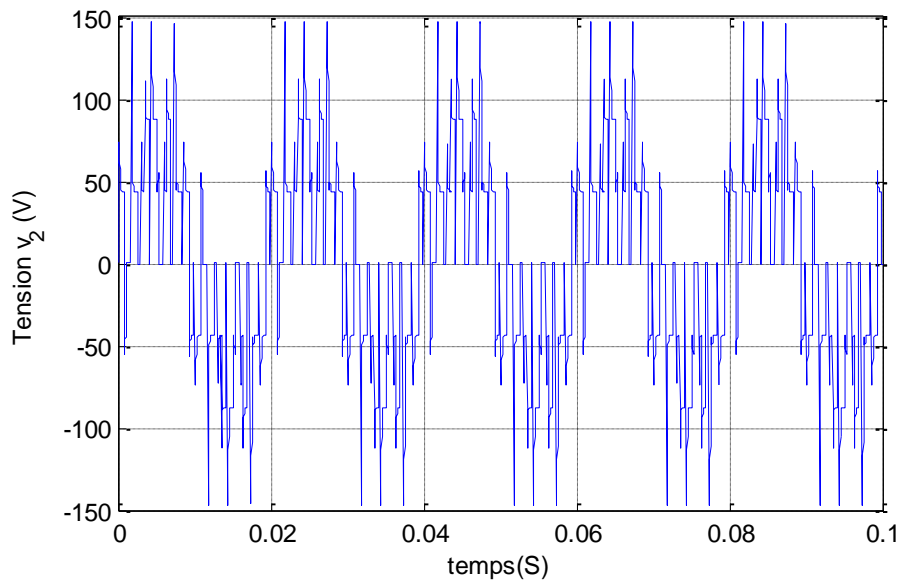


Figure I-15 : Tension simple v_2 .

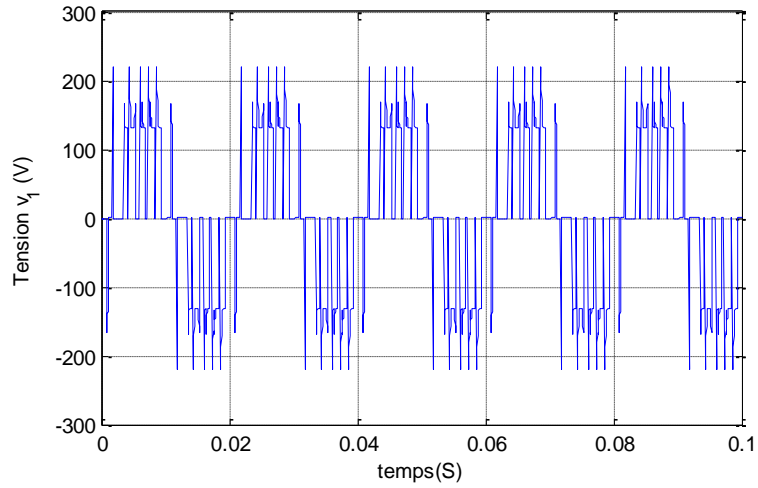


Figure I-16 : Tension composée v_1 .

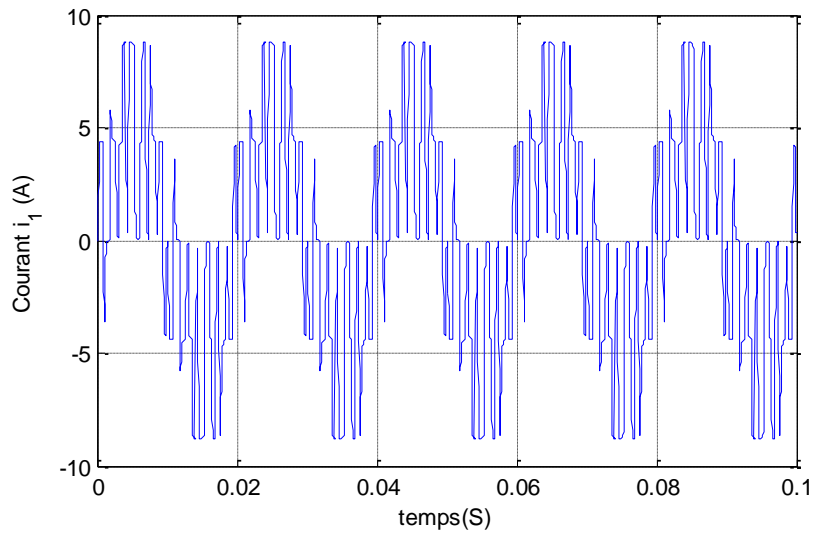


Figure I-17 : Courant de phase I1.

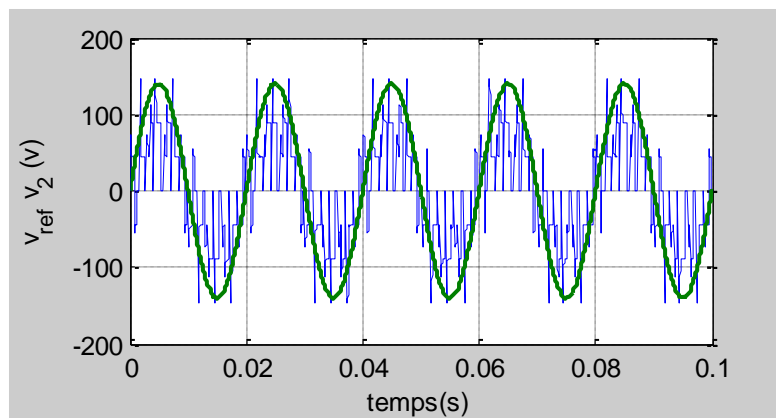


Figure I-18 : Tension de référence et la tension simple v_2 .

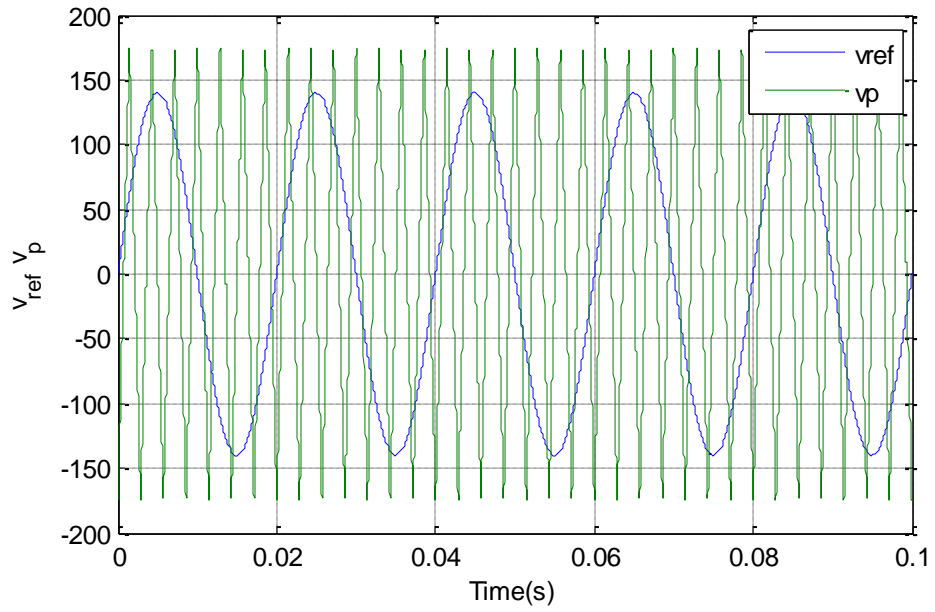


Figure a : Tension de référence v_{ref} et porteuse v_p .

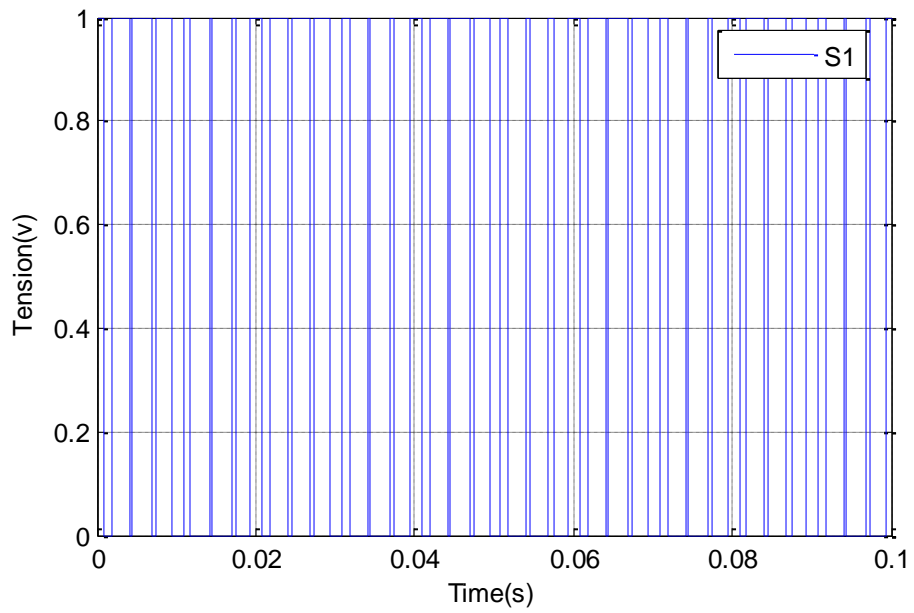


Figure b : Signal de commande S1.

Figure I-19 : Principe de la technique MLI pour la phase 1.

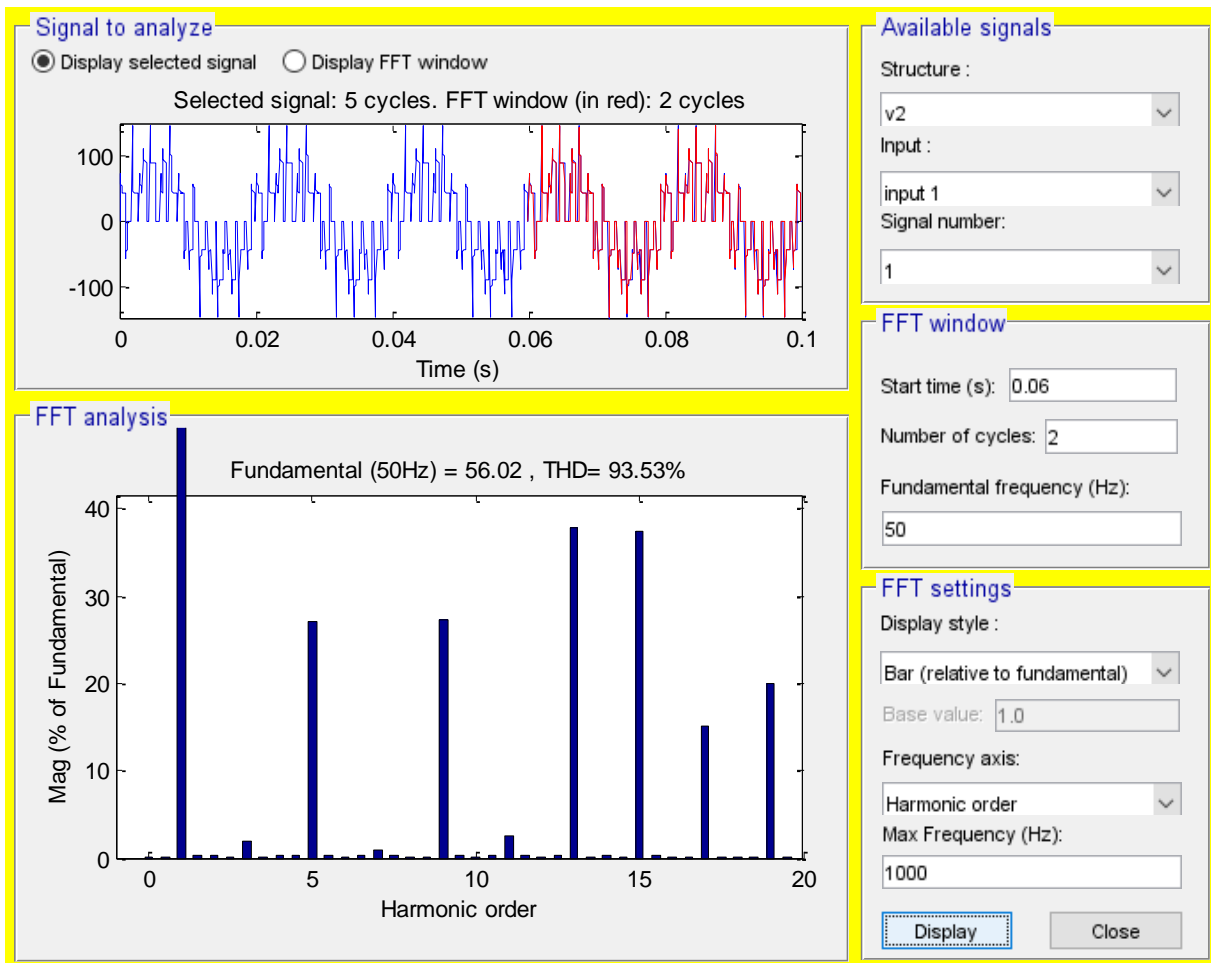


Figure I-20 : Spectre d'harmonique de la tension simple v_2 pour $m=7$.

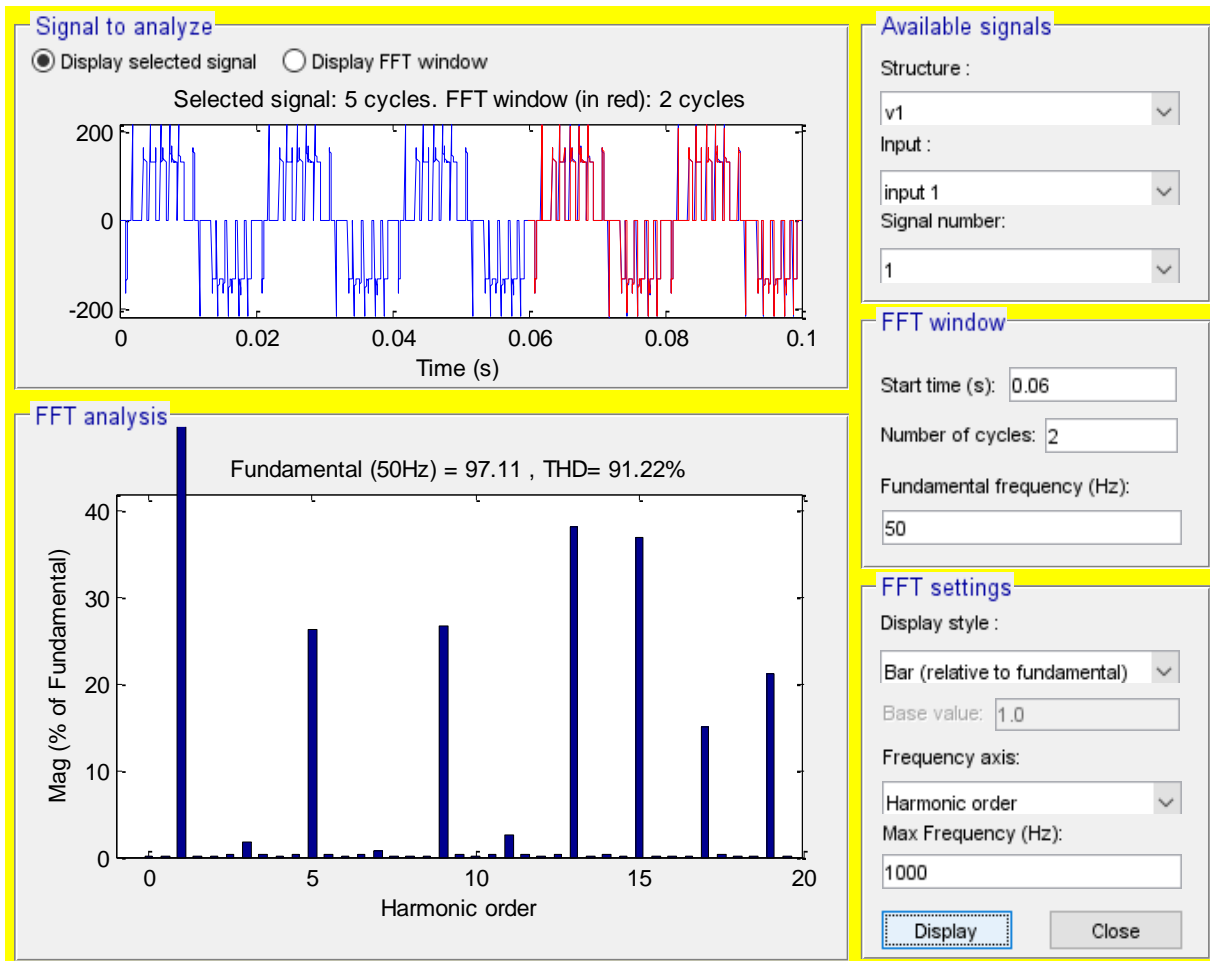


Figure I-21 : Spectre d'harmonique de la tension composée v1 pour m=7.

I.9 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, on a élaboré un modèle de fonctionnement de l'onduleur triphasé à trois niveaux à structure NPC. Pour cela, nous avons défini les différentes configurations possibles d'un bras de cet onduleur.

La structure NPC à trois niveaux est plus avantageux que l'onduleur à deux niveaux, il est très utilisée, à cause de sa simplicité à mettre en œuvre et accessible pour les applications envisagées avec les gammes de tension actuelle des semi-conducteurs. [1]

Ensuite, nous avons présenté le modèle de la commande et à la fin nous avons donné les résultats de simulation de la commande MLI-ST avec une charge RL, Les résultats de simulation montre que la forme de la tension est améliorée, le THD est réduit.

Chapitre II Onduleur à cinq niveaux

II. 1 Introduction

Avec le développement de l'électronique de puissance et des composants à semi-conducteurs, la technique des onduleurs multi niveaux représente un domaine de recherche important, notamment en lien avec des tensions plus élevées. L'objectif est d'obtenir des grandeurs de sortie avec une meilleure qualité, c'est-à-dire présentent un contenu d'harmonique réduit. Il existe plusieurs topologies pour la conversion multi niveaux.

Dans ce chapitre, nous serons étudié en détail l'onduleur de tension à cinq niveaux de type NPC à diodes de bouclage en structure et de son principe de fonctionnement, nous construirons un modèle mathématique utilisant le concept de la fonction de connexion de l'interrupteur et du demi-bras.

II. 2 Onduleur à cinq niveaux de type NPC

II. 2. 1 Structure de l'onduleur à cinq niveaux

L'onduleur triphasé à cinq niveaux étudié est constitué de trois bras et quatre sources de tension continue. Chaque bras comporte huit interrupteurs, plus deux diodes. Chaque interrupteur est composé d'un transistor et une diode montée en tête bêche.

La figure II. 1 donne une représentation schématique d'un bras de cet onduleur, [10].

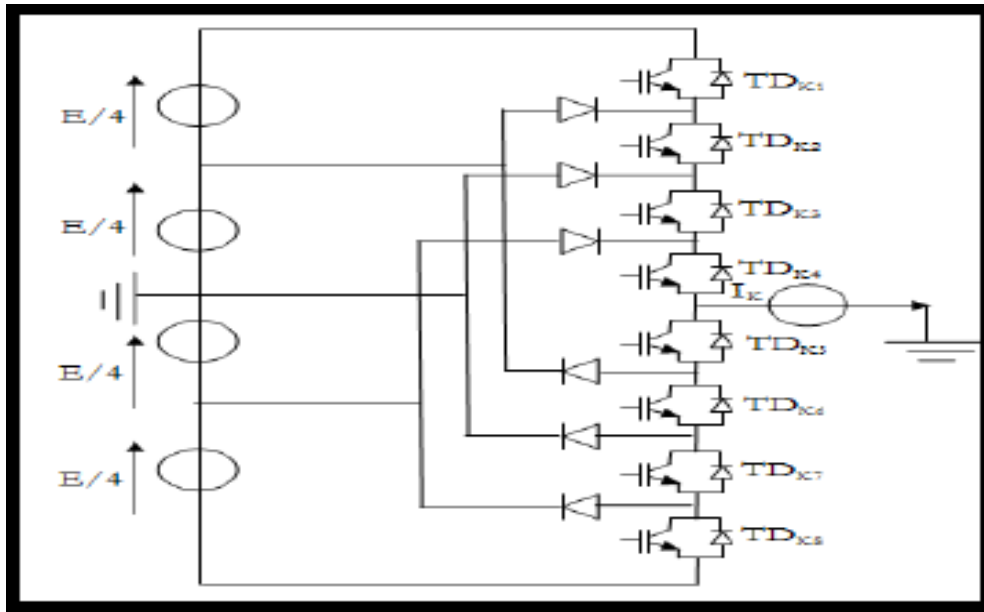


Figure II-1 : Bras d'un onduleur NPC à cinq niveaux.

II. 2. 2 Différentes configurations d'un bras de l'onduleur NPC à cinq niveaux

Une analyse topologique d'un bras montre cinq configurations possibles, pour définir les séquences de fonctionnements de cet onduleur, définissant d'abord les différents états que peut prendre la tension simple (la tension entre le bras de l'onduleur et le point milieu fictif), par exemple. La tension simple V_{ao} est définie par l'état de huit quadruplet qui peuvent être transistor, un GTO ou bien un IGBT ou autre avec une diode en antiparallèle. Les états possibles d'un seul bras d'interrupteurs est de $2^5 = 32$ états que l'on peut représenter par un quadruplet de 0 et 1. Seules les cinq états suivantes sont possibles, [8].

Première configuration {11110000}

K_{a1}, K_{a2}, K_{a3} et K_{a4} sont passants et K_{a5}, K_{a6}, K_{a7} et K_{a8} sont bloqués (figure II.2), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = +E/2 \tag{II-1}$$

Bloqués La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs est :

$$V_{ka5} = V_{ka6} = V_{ka7} = V_{ka8} = +E/4 \tag{II-2}$$

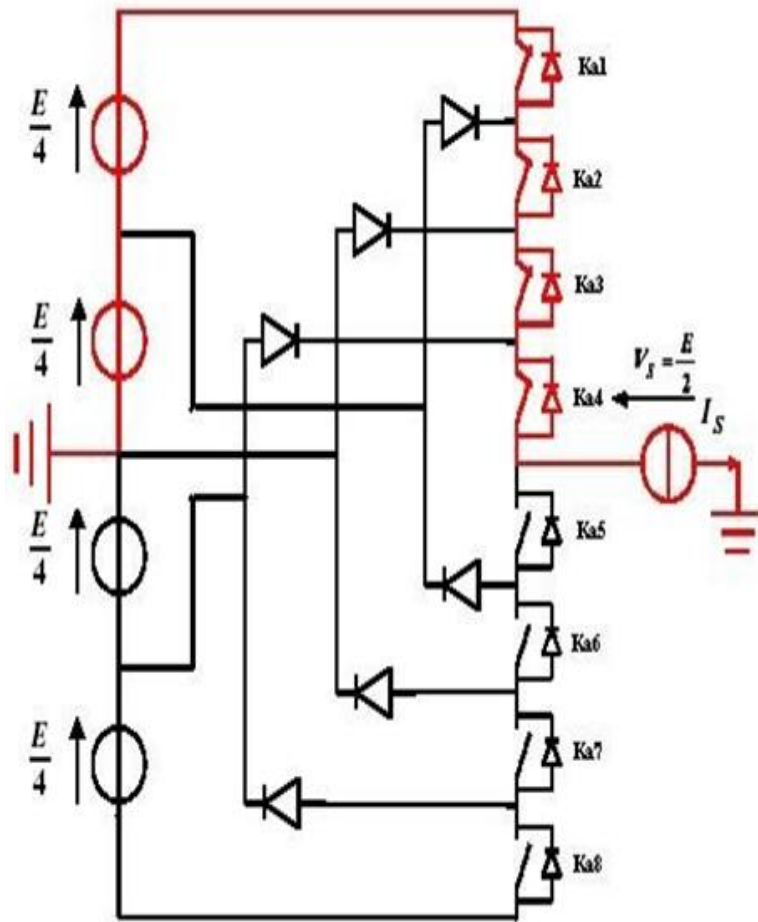


Figure II-2 : Première configuration du 1er bras.

Deuxième configuration {01111000}

K_{a2} , K_{a3} , K_{a4} et K_{a5} sont passants et K_{a6} , K_{a7} , K_{a8} et K_{a1} sont bloqués (figure II.3), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = +E/4 \tag{II-3)}$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka6} = V_{ka7} = V_{ka8} = +E/4 \tag{II-4)}$$

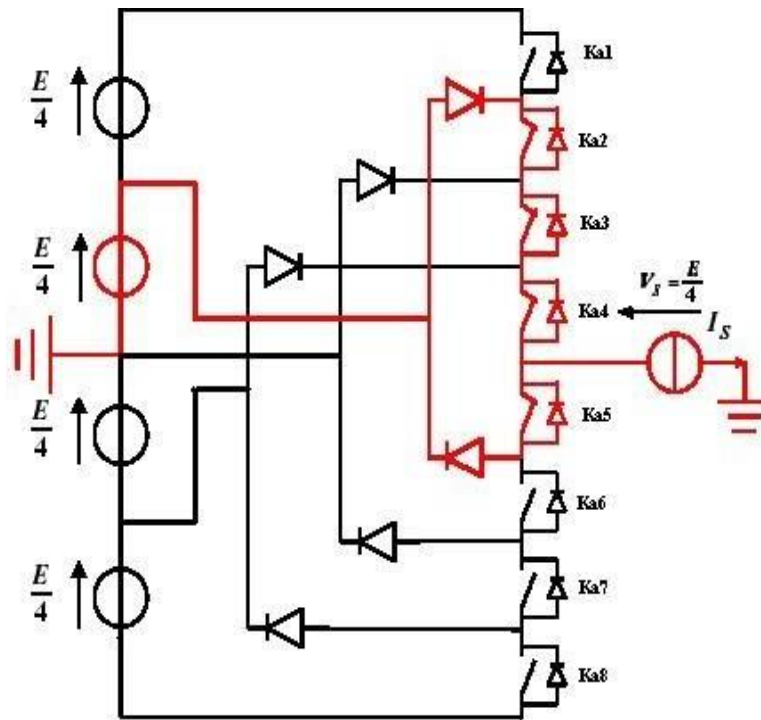


Figure II-3 : deuxième configuration du 1^{er} bras.

Troisième configuration {00111100}

K_{a3} , K_{a4} , K_{a5} et K_{a6} sont passants et K_{a7} , K_{a8} , K_{a1} et K_{a2} sont bloqués (figure II.4), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = 0 \tag{II-5}$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = V_{ka7} = V_{ka8} = +E/4 \tag{II-6}$$

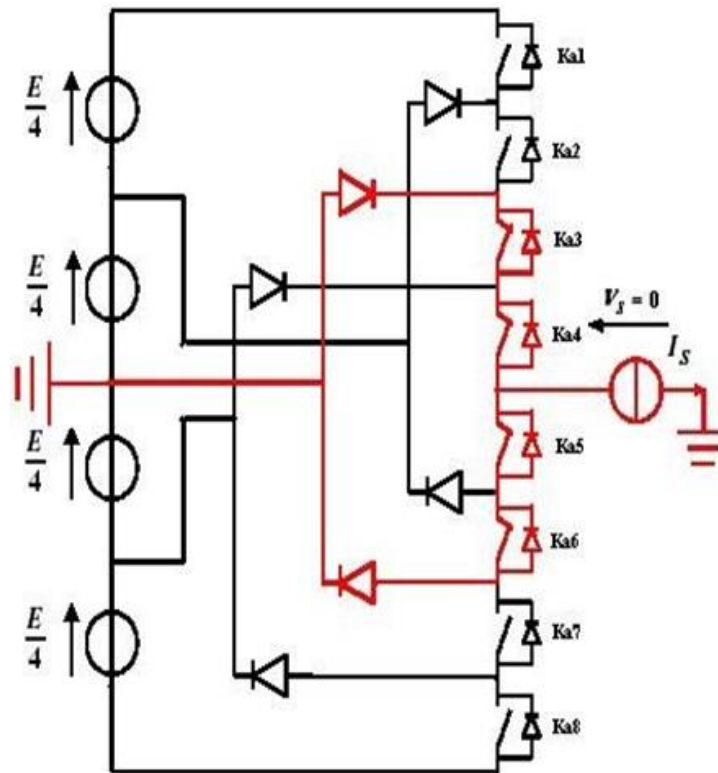


Figure II-4 : Troisième configuration du 1^{er} bras.

Quatrième configuration {00011110}

K_{a4} , K_{a5} , K_{a6} et K_{a7} sont passants et K_{a8} , K_{a1} , K_{a2} et K_{a3} sont bloqués (figure II.5), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = - E/4 \tag{II-7)}$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = V_{ka3} = V_{ka8} = +E/4 \tag{II-8)}$$

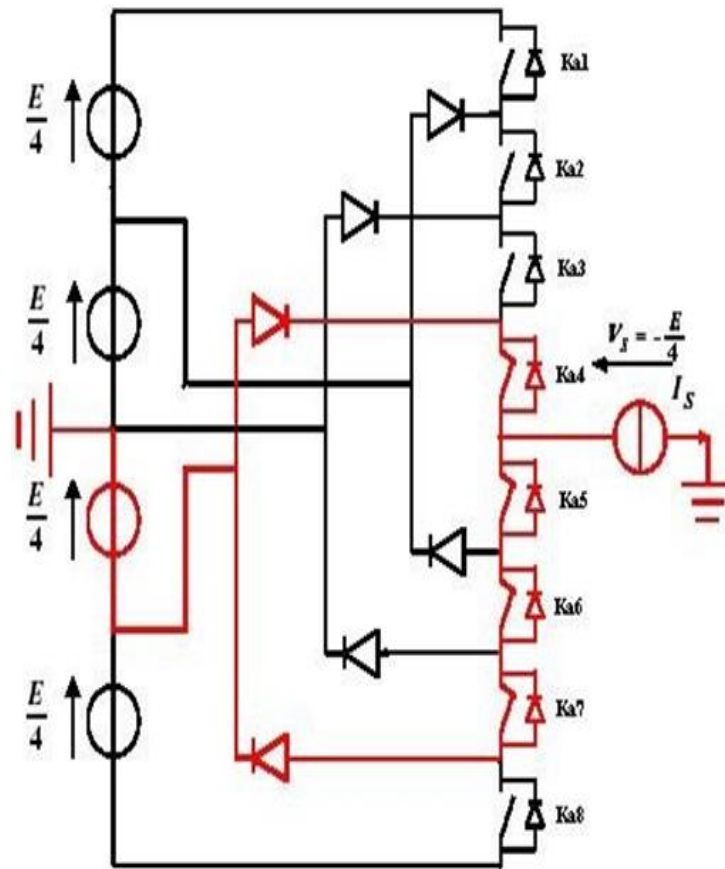


Figure II-5 : Quatrième configuration du 1^{er} bras.

Cinquième configuration {00001111}

K_{a5} , K_{a6} , K_{a7} et K_{a8} sont passants et K_{a1} , K_{a2} , K_{a3} et K_{a4} sont bloqués (figure II.6), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = -E/2 \tag{II-9}$$

La tension inverse appliquée aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = V_{ka3} = V_{ka4} = +E/4 \tag{II-10}$$

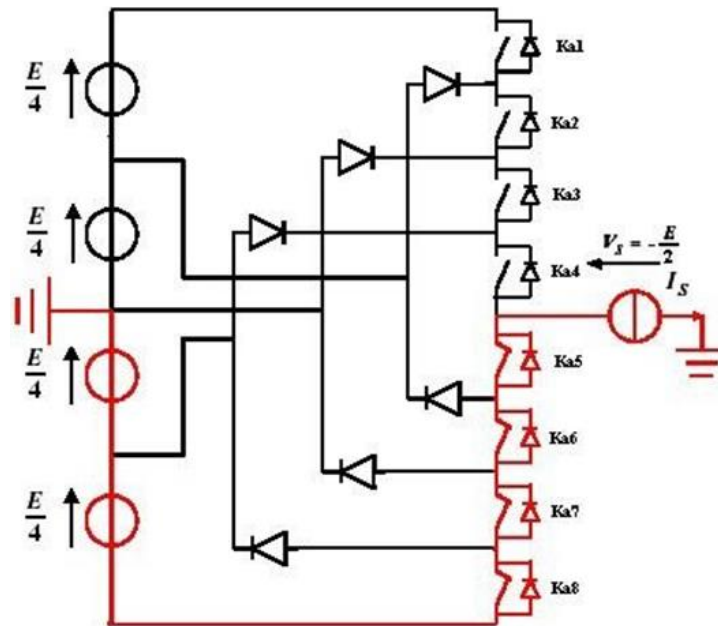


Figure II-6 : Cinquième configuration du 1^{er} bras.

Tableau II-1 : Table de commutation de l'onduleur NPC à 5 niveaux.

Etat des interrupteurs								Tension de sortie V_{ao}
K_{a1}	K_{a2}	K_{a3}	K_{a4}	K_{a5}	K_{a6}	K_{a7}	K_{a8}	
1	1	1	1	0	0	0	0	E/2
0	1	1	1	1	0	0	0	E/4
0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	-E/4
0	0	0	0	1	1	1	1	-E/2

La (Figure II- 7) représente les signaux de commande de chaque interrupteur, ainsi que la forme d'onde de la tension de sortie V_{ao} .

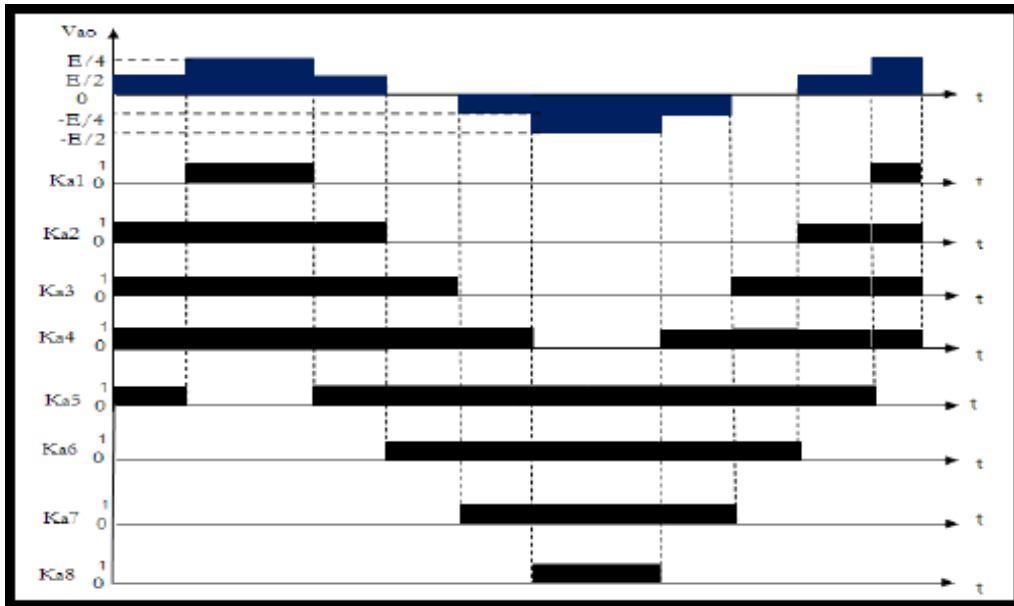


Figure II-7 : Signaux de commande de chaque interrupteur [11].

II. 2. 3 Modélisation de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC.[12]

Les interrupteurs étant considérés comme parfait, le modèle de l'onduleur multi-niveau que nous avons choisi est à base d'équations mathématiques et logiques traduisant son Fonctionnement selon les chronogrammes de conduction des interrupteurs. Il constitue donc L'image même de sa commande, c'est pour cela que nous nous contentons dans cette section Du modèle de commande illustré par les signaux logiques de conduction des interrupteurs (Tableau II-1. et figure II-7).

Pour éviter la conduction simultanée des six interrupteurs d'un seul bras qui peut engendrer leur destruction par croissance du courant lors du court-circuit ou par une surtension dans le cas de l'ouverture de tous les interrupteurs, on définit une commande complémentaire des différents semi- conducteurs d'un bras, plusieurs commandes complémentaires sont possibles pour un onduleur à cinq niveaux, puisque l'onduleur triphasé à cinq niveaux est symétrique, donc l'étude se fera par bras et la commande la plus optimale est la suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{a1} = \overline{K_{a5}} \\ K_{a2} = \overline{K_{a4}} \\ K_{a3} = \overline{K_{a6}} \\ K_{a7} = K_{a1}K_{a2}\overline{K_{a3}} \\ K_{a1} = K_{a4}K_{a5}\overline{K_{a6}} \end{array} \right. \quad \text{II-11)}$$

Où K_{as} désigne la commande de base du transistor T_{Ks} et k indique le numéro du bras (1,2 ou3),

K_{as} vaut 1 lorsque est fermée et elle vaut 0 dans le cas contraire .

$K_{as} = 1$ Si T_k est fermée

Ou

$K_{as} = 0$ Si T_k est ouvert.

II. 2. 4 Expressions des tensions V_{an}, V_{bn}, V_{cn} en fonction des tensions V_a, V_{b0}, V_{c0}

Sachant que la charge triphasée est reliée en étoile équilibrée avec neutre non relié nous aurons :

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \quad \text{II-12)}$$

En outre en appliquant la loi des mailles nous obtenons :

$$\begin{cases} V_{a0} = V_{an} + V_{a0} \\ V_{b0} = V_{bn} + V_{n0} \\ V_{c0} = V_{cn} + V_{n0} \end{cases} \quad \text{II-13)}$$

(II-12) et (II-13) donnent :

$$V_0 = \frac{1}{3} (V_{an} + V_{bn} + V_{cn}) \quad \text{II-14)}$$

Finalement de (II-12) et (II-14) nous tirons :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \text{II-15)}$$

II. 3 Modélisation en vue de la commande d'onduleur cinq niveaux NPC

II. 3. 1 Fonction de connexion des interrupteurs

On associe une fonction F_{KS} à chaque interrupteur, qui décrit son état fermé ou ouvert, tel que [13][14] :

$$F_{KS} = \begin{cases} 1 & \text{Si l'interrupteur } K_{KS} \text{ est fermé} \\ 0 & \text{Si l'interrupteur } K_{KS} \text{ est ouvert} \end{cases} \quad \text{II-16)}$$

II. 3. 2 Commande complémentaire

En utilisant la commande complémentaire (II-11), les fonctions de connexion des interrupteurs du bras k sont liées par les relations suivantes :

$$\begin{cases} F_{K1} = 1 - F_{K5} \\ F_{K2} = 1 - F_{K4} \\ F_{K3} = 1 - F_{K6} \\ F_{K7} = F_{K1}F_{K2}\overline{F_{K3}} \\ F_{K8} = F_{K4}F_{K5}\overline{F_{K6}} \end{cases} \quad \text{(II-17)}$$

II. 3. 3 Fonction de connexion du demi-bras

On définit pour l'onduleur à cinq niveaux une fonction logique de connexion du demi-bras notée F_{KM}^b tel que [15][16] :

k Indice du bras (k =1, 2, 3).

$$M = \begin{cases} 0 & \text{pour le demi – bras du bas} \\ 1 & \text{pour le demi – bras du haut} \end{cases} \quad \text{II-18)}$$

Les fonctions de connexion des trois demi-bras s'expriment comme suites :

$$\begin{cases} F_{11}^b = F_{11}F_{12}F_{13} \\ F_{10}^b = F_{14}F_{15}F_{16} \end{cases} \begin{cases} F_{21}^b = F_{21}F_{22}F_{23} \\ F_{20}^b = F_{24}F_{25}F_{26} \end{cases} \begin{cases} F_{31}^b = F_{31}F_{32}F_{33} \\ F_{30}^b = F_{34}F_{35}F_{36} \end{cases} \quad \text{(II-19)}$$

Les fonctions de connexion des interrupteurs parallèles du bras k sont liées par les équations suivantes :

$$\begin{cases} F_{K7}^b = F_{K1}F_{K2}(1 - F_{K3}) \\ F_{K8}^b = F_{K4}F_{K5}(1 - F_{K6}) \end{cases} \quad \text{II-20)}$$

II. 3. 4 Modélisation aux valeurs instantanées

Cette modélisation sera effectuée en considérant l'association de l'onduleur de tension triphasé à cinq niveaux avec une charge triphasé couplée en étoile avec le neutre isolé.

Nous allons tout d'abord définir les notations et les hypothèses que nous avons utilisées :

Les tensions d'entrée de l'onduleur sont supposées parfaites. Veux dire que ; quel que soit le courant ik émis par cette alimentation, la tension à ses bornes reste constante

$$(U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = U_{C4} = E/4).$$

Le convertisseur est contrôlable c'est-à-dire que les transitions entre les différentes configurations dépendent que du contrôle externe B_{ki} .

La chute de tension aux bornes des semi-conducteurs est négligeable devant

$$U_{Cj} \text{ (j=1, 2, 3,4)}.$$

La charge est triphasée équilibrée, couplée on étoile avec le neutre isolé. D'où

$$\begin{cases} i_A + i_B + i_C = 0 \\ V_A + V_B + V_C = 0 \end{cases} \quad \text{II-21)}$$

Les potentiels des nœuds A, B et C de l'onduleur triphasé à cinq niveaux NPC par rapport au point milieu (M) s'expriment comme suit :

$$\begin{aligned} V_{AM} &= F_{11}F_{12}(1 - F_{13})U_{C1} + F_{11}F_{12}F_{12}(U_{C1} + U_{C2}) - F_{14}F_{15}(1 - F_{16})U_{C3} + F_{14}F_{15}F_{16}(U_{C3} + U_{C4}) \\ V_{BM} &= F_{21}F_{22}(1 - F_{23})U_{C1} + F_{21}F_{22}F_{23}(U_{C1} + U_{C2}) - F_{24}F_{25}(1 - F_{26})U_{C3} + F_{24}F_{25}F_{26}(U_{C3} + U_{C4}) \\ V_{CM} &= F_{31}F_{32}(1 - F_{33})U_{C1} + F_{31}F_{32}F_{33}(U_{C1} + U_{C2}) - F_{34}F_{35}(1 - F_{36})U_{C3} + F_{34}F_{35}F_{36}(U_{C3} + U_{C4}) \end{aligned} \quad \text{II-22)}$$

Pour les tensions simples on a :

$$\begin{cases} V_A = V_{AN} = V_{AM} - V_{NM} \\ V_B = V_{BN} = V_{BM} - V_{NM} \\ V_C = V_{CN} = V_{CM} - V_{NM} \end{cases} \quad \text{II-23)}$$

Les équations des mailles du système source – onduleur – charge donnent :

$$V_{AM} + V_{BM} + V_{CM} = V_A + V_B + V_C + 3V_{NM} \quad \text{II-24)}$$

Avec V_{NM} la tension entre le point milieu de l'alimentation continue de l'onduleur Met le point neutre de la charge N , et dans le cas où le neutre de la charge est isolé permet d'exprimer :

$$V_{NM} = \frac{1}{3}(V_{AM} + V_{BM} + V_{CM}) \quad \text{II-25)}$$

À partir des équations (II-23) et (II-24) on a :

$$\begin{cases} V_A = V_{AM} - \frac{1}{3}(V_{AM} + V_{BM} + V_{CM}) = \frac{1}{3}(2V_{AM} - V_{BM} - V_{CM}) \\ V_B = V_{BM} - \frac{1}{3}(V_{AM} + V_{BM} + V_{CM}) = \frac{1}{3}(-V_{AM} + 2V_{BM} - V_{CM}) \\ V_C = V_{CM} - \frac{1}{3}(V_{AM} + V_{BM} + V_{CM}) = \frac{1}{3}(-V_{AM} - V_{BM} + 2V_{CM}) \end{cases} \quad \text{II-26)}$$

En introduisant les fonctions de connexions des demi-bras et des interrupteurs en parallèles, on aura :

$$\begin{bmatrix} V_{AM} \\ V_{BM} \\ V_{CM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{17} + F_{11}^b \\ F_{27} + F_{21}^b \\ F_{37} + F_{31}^b \end{bmatrix} U_{C1} + \begin{bmatrix} F_{11}^b \\ F_{21}^b \\ F_{31}^b \end{bmatrix} U_{C2} - \begin{bmatrix} F_{18} + F_{10}^b \\ F_{28} + F_{20}^b \\ F_{38} + F_{30}^b \end{bmatrix} U_{C3} - \begin{bmatrix} F_{10}^b \\ F_{20}^b \\ F_{30}^b \end{bmatrix} U_{C4} \quad \text{II-27)}$$

D'après l'équation (II-27), on peut déduire que l'onduleur à cinq niveaux est une mise en série de quatre onduleurs à deux niveaux ou de deux onduleurs à trois niveaux.

Dans le cas où ($U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = U_{C4} = U_C$), la relation se réduit à :

$$\begin{bmatrix} V_{AM} \\ V_{BM} \\ V_{CM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{17} + 2F_{11}^b - F_{18} - 2F_{10}^b \\ F_{27} + 2F_{21}^b - F_{28} - 2F_{20}^b \\ F_{37} + 2F_{31}^b - F_{38} - 2F_{30}^b \end{bmatrix} U_C \quad \text{II-28)}$$

Les tensions composées s'expriment comme suit :

$$\begin{cases} U_{AB} = V_{AM} - V_{BM} \\ U_{BC} = V_{BM} - V_{CM} \\ U_{CA} = V_{AM} - V_{CM} \end{cases} \quad \text{II-29)}$$

Donc, à partir des fonctions de connexions, ces tensions s'écrivent sous la forme :

$$\begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{17} + 2F_{11}^b - F_{18} - 2F_{10}^b \\ F_{27} + 2F_{21}^b - F_{28} - 2F_{20}^b \\ F_{37} + 2F_{31}^b - F_{38} - 2F_{30}^b \end{bmatrix} U_C \quad \text{II-30)}$$

Les tensions simples sont liées aux tensions composées par les relations :

$$\begin{cases} V_{AN} = V_A = \frac{1}{3}(U_{AB} - U_{CA}) \\ V_{BN} = V_B = \frac{1}{3}(U_{BC} - U_{AB}) \\ V_{CN} = V_C = \frac{1}{3}(U_{CA} - U_{BC}) \end{cases} \quad \text{II-31)}$$

Et donc, en fonctions de connexions sous la forme :

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{17} + 2F_{11}^b - F_{18} - 2F_{10}^b \\ F_{27} + 2F_{21}^b - F_{28} - 2F_{20}^b \\ F_{37} + 2F_{31}^b - F_{38} - 2F_{30}^b \end{bmatrix} U_C \quad \text{II-32)}$$

Les courants d'entrée i_{d1} , i_{d2} , i_{d3} , i_{d4} , i_{d0} de l'onduleur à cinq niveaux sont liés aux courants

i_1 , i_2 , i_3 de la charge par les expressions qui suivent :

$$\begin{cases} i_{d1} = F_{17}i_1 + F_{27}i_2 + F_{37}i_3 \\ i_{d2} = F_{11}i_1 + F_{21}i_2 + F_{31}i_3 \\ i_{d3} = F_{18}i_1 + F_{28}i_2 + F_{38}i_3 \\ i_{d4} = F_{10}i_1 + F_{20}i_2 + F_{30}i_3 \end{cases} \quad \text{II-33)}$$

$$i_{d0} = (i_{d1} + i_2 + i_3) - (i_{d1} + i_{d2} + i_{d3} + i_{d4}) \quad \text{II-34)}$$

$$\begin{aligned} i_{d0} = & [1 - (F_{17} + F_{18} + F_{11}^b + F_{10}^b)]i_1 + [1 - (F_{27} + F_{28} + 2F_{21}^b + F_{20}^b)]i_2 + \\ & [1 - (F_{37} + F_{38} + F_{31}^b + F_{30}^b)]i_3 \end{aligned} \quad \text{(II-35)}$$

Pour l'onduleur triphasé à cinq niveaux, le vecteur d'état est :

$$[U_{C1}U_{C2}U_{C3}U_{C4}i_1i_2i_3]^t \quad \text{II-36)}$$

Et ces entrées internes sont :

$$[V_A V_B V_C i_{d1} i_{d2} i_{d3} i_{d4} i_{d0}]^t \quad \text{II-37)}$$

II. 4 Simulation de commande MLI-ST d'un onduleur à cinq niveaux

II. 4. 1 Paramètres de simulation

$R_1=R_2=R_3= 10 \Omega$, $L_1=L_2=L_3=1mH$, $f= 50 \text{ Hz}$, $f_p=1000 \text{ Hz}$, $m = f_p/f$, $v_p=1$ et $V_{dc} = 220V$.

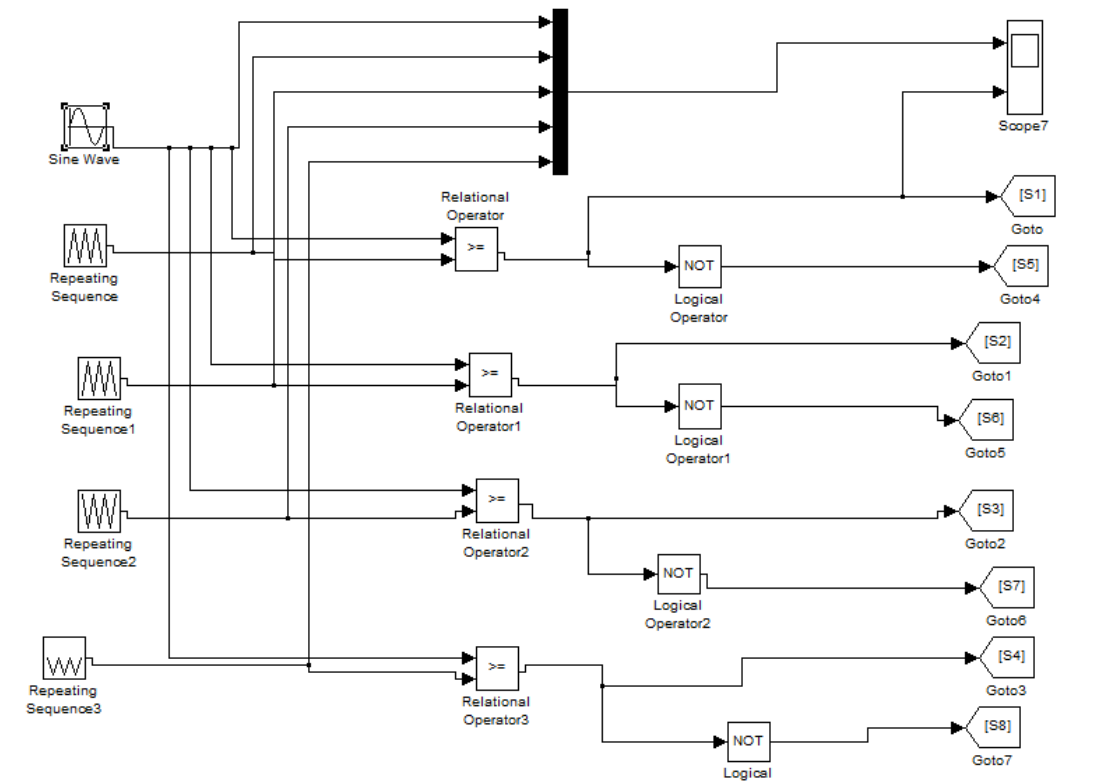


Figure II-8 : Partie commande : commande MLI sinusoidale.

II. 4. 2 Résultats de simulation pour charge RL ($R = 10\Omega$, $L = 1 \text{ mH}$)

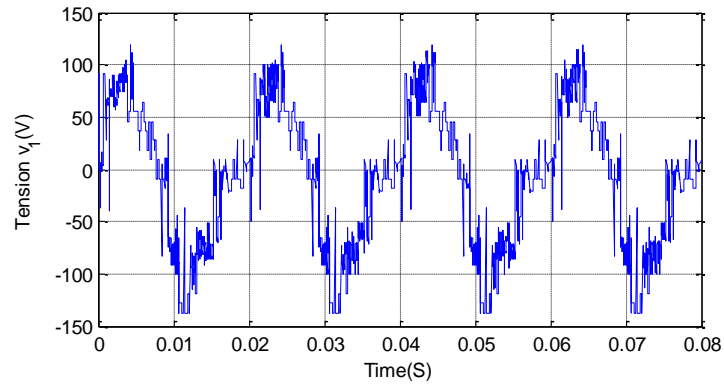


Figure II-9 : Tension simple v_1 .

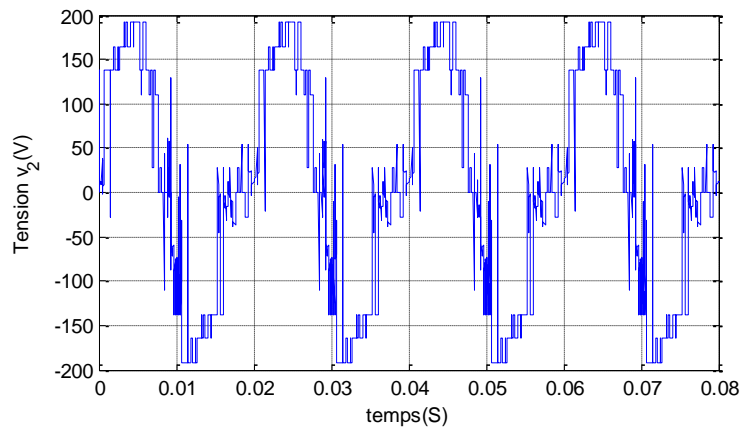


Figure II-10 : Tension composée v_2 .

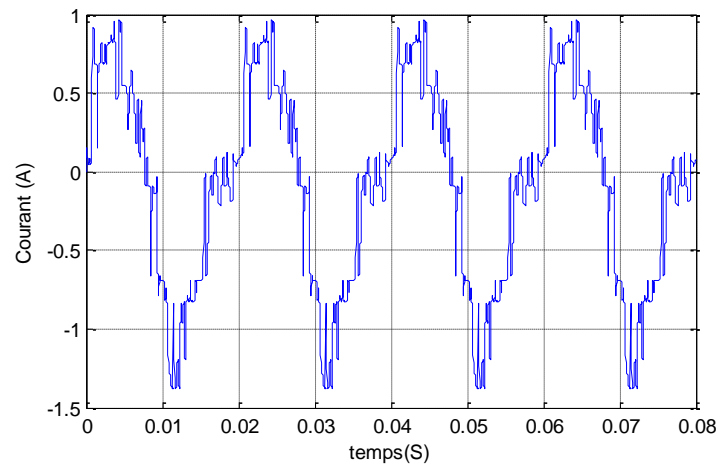


Figure II-11 : Courant de phase i_s .

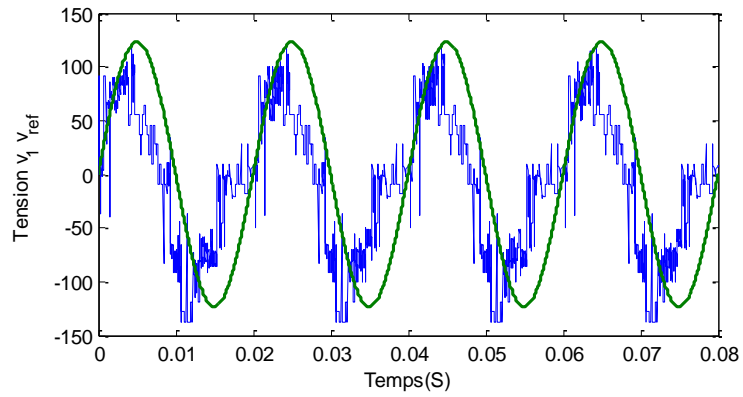


Figure II-12 : Tension simple v_1 et la tension v_{ref} .

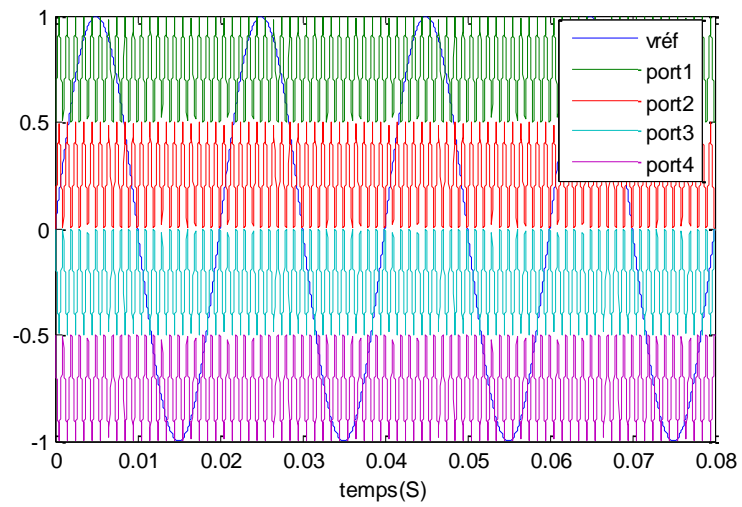


Figure II-13 : Technique de MLI par à 4 porteuses pour un onduleur 5 niveaux.

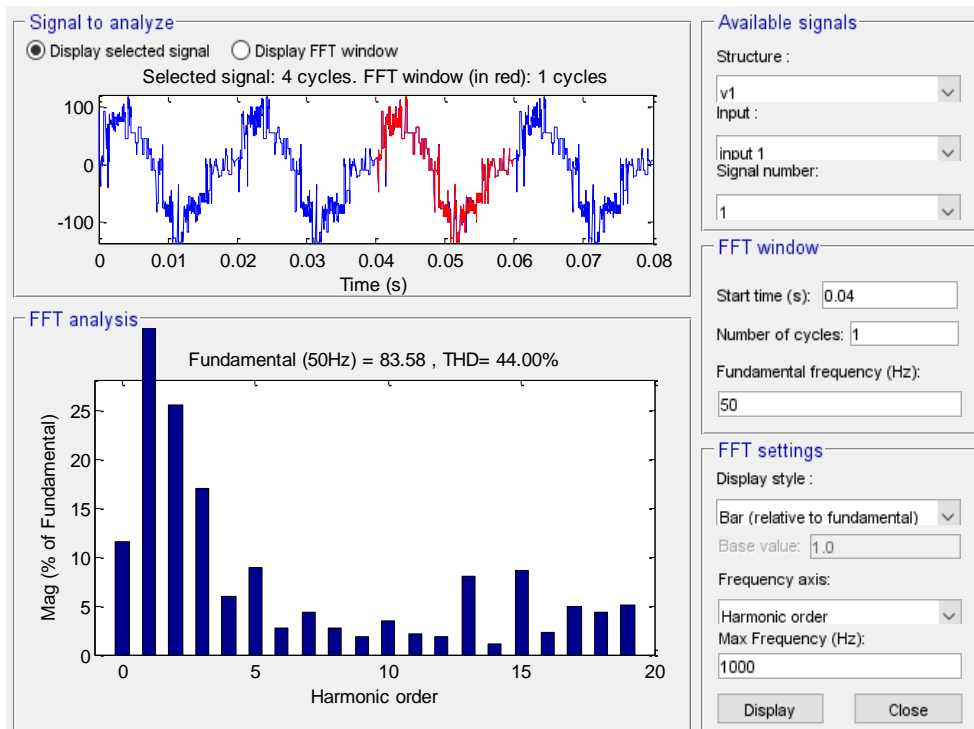


Figure II-14 : Spectre d'harmonique de la tension simple v1 pour m=25.

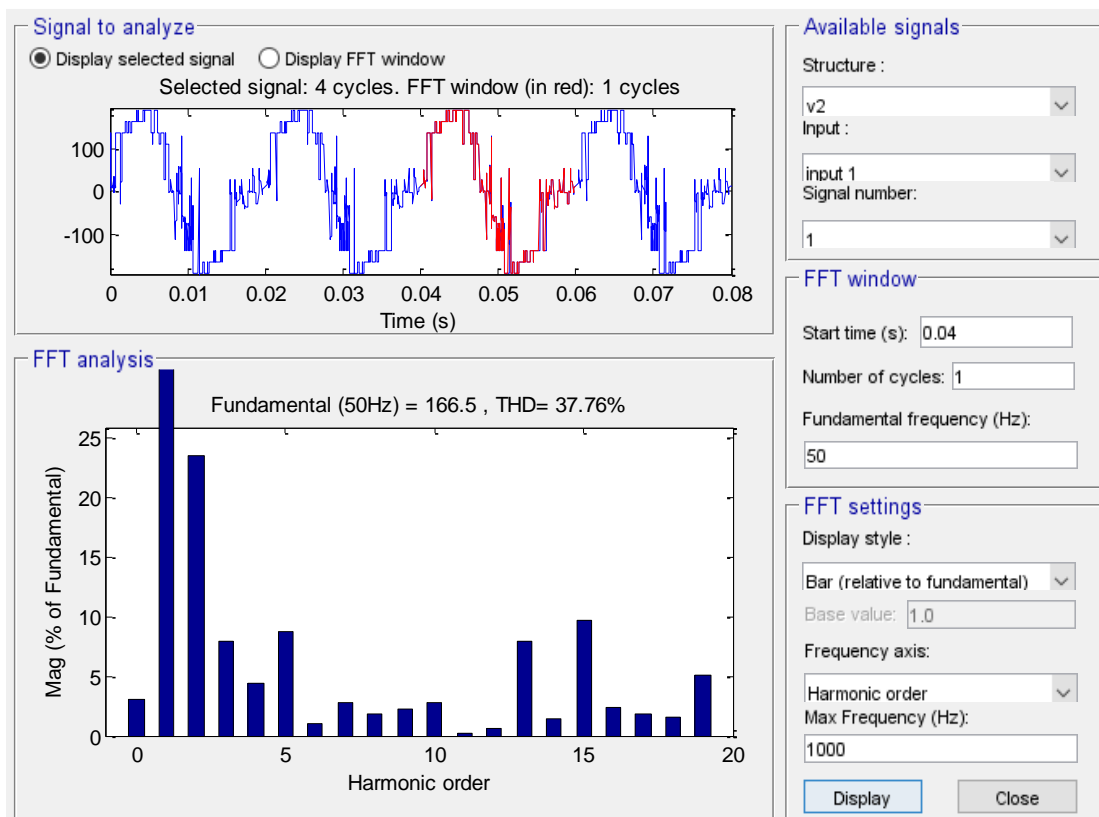


Figure II-15 : Spectre d'harmonique de la tension composée v2 pour m=25.

II. 5 Etude comparative

II. 5. 1 Résultats de commande MLI-ST

Tableau II-2 : la valeur de THD des tensions et le nombre des semi-conducteurs et le nombre des condensateurs d'un onduleur à trois niveaux et cinq niveaux de type NPC, pour la charge RL.

$R=10\Omega$, $L=1mH$.

Tableau II-2 : résultats obtenus pour les deux topologies d'onduleur à trois niveaux et à cinq niveaux.

	THD (%)	Nombre des semi-conducteurs	Nombre des condensateurs
Onduleur 3 niveaux	93.53	30	2
Onduleur 5 niveaux	44	66	4

On remarque que, lorsqu'on augmente le nombre de niveaux de l'onduleur, le THD de tension se diminue c-à-d, la forme de tension proche à la sinusoïde. Donc l'onduleur NPC à cinq niveaux donne une meilleure THD de tension.

II. 6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude détaillée de l'onduleur à cinq niveaux type NPC. Nous avons présenté en premier temps sa structure physique, sa configuration et son principe fonctionnement. Nous avons présenté le modèle de la commande. Ensuite, nous avons donné les résultats de simulation de commande MLI-ST avec une charge RL.

Dans la dernière section, nous avons comparé les résultats obtenus de deux onduleurs en termes de la valeur THD de tension avec technique de commande MLI-ST, et en termes de nombre des semi-conducteurs constituant les deux onduleurs.

Chapitre III Convertisseur AC-AC

III. 1 Introduction

La conversion alternative-alternative (AC/AC) est la plus répandue, car le secteur industriel est le principal consommateur d'énergie électrique ; les charges industrielles sont, pour l'essentiel, des machines électriques à courant alternatif et de nombreuses applications en dépendent. Entre autres, on peut citer comme exemples d'application :

- La commande des moteurs alternatifs ;
- L'interconnexion de réseaux électriques ;
- Les systèmes de transmission de courant alternatif flexible (FACTS).

Il existe plusieurs type des conversions alternatif-alternatif soit directe ou indirect :

III. 2 Gradateur triphasé

Il existe de nombreux types de circuits utilisés pour les gradateurs triphasés alternatifs (tension alternative à alternative). Contrairement aux monophasés. Les charges triphasées (équilibrées) sont connectée sen étoile ou triangle .Deux thyristors connectés anti parallèles, ou un triac, sont utilisés pour chaque phase dans la plupart des cas. Circuits comme décrit. Deux circuits sont d'abord pris en charge, tous deux avec une charge résistive équilibrée (R) gradateur triphasé à trois fils avec une charge équilibrée.[17],[18]

III. 2. 1 Structures des gradateurs triphasés

Gradateur triphasé tout thyristors

Les vrais gradateurs triphasés sont formés de trois ensembles de deux thyristor tête-bêche montés entre les bornes ABC du réseau et celles 1, 2, 3 du récepteur équilibré couplé en étoile Figure(III.1.b) où en triangle figure(III.1.a)

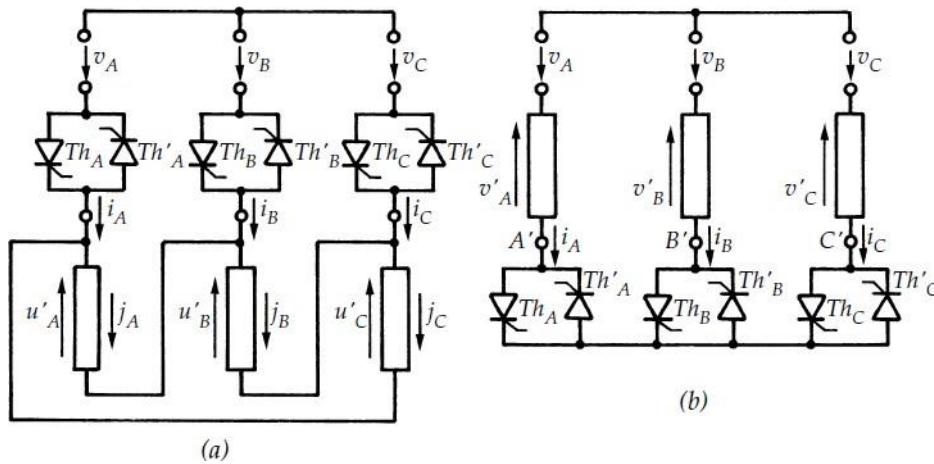


Figure III-1 : Les gradateurs triphasés couplés en étoile et en triangle.

Gradateur triphasé mixte

On trouve également des structures mixtes, obtenues avec les dernières structures, en remplaçant les thyristors Th_1' , Th_2' et Th_3' par trois diodes.

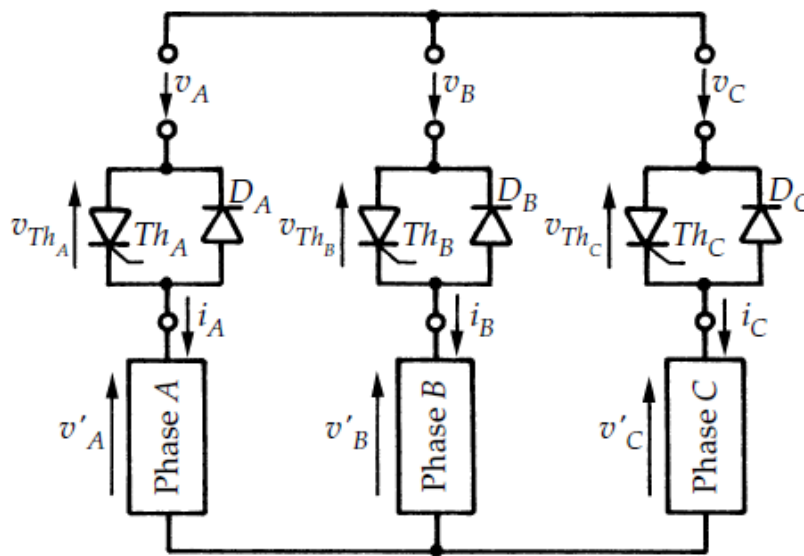


Figure III-2 : Gradateur triphasé mixte.

III. 2. 2 **Principe de fonctionnement**

Le gradateur triphasé normal est formé de trois groupes de deux thyristors, T_1 et T_4 , T_3 et T_6 , T_2 et T_5 , montés entre les trois bornes de la source et celles du récepteur Figure (III.3)

On désigne v_{AN} , v_{BN} , v_{CN} les tensions simples d'alimentation sinusoïdales, de pulsation ω comptées par rapport au point neutre de la source,

$$v_{AN} = \sqrt{2}v_S \sin(\omega t), v_{BN} = \sqrt{2}v_S \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), v_{CN} = \sqrt{2}v_S \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad \text{III-1)}$$

Les phases du récepteur sont parcourues par des courants, et i_c .

v_A , et v_C désignent les tensions aux bornes de ces phases.

v_{Th_A} , v_{Th_B} et v_{Th_C} les tensions aux bornes des trois groupes de thyristors.

Les thyristors sont débloqués à des intervalles égaux de un sixième de période dans l'ordre suivant: T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆. On repère le retard au débloqué par l'angle α : le thyristor T₁ reçoit son impulsion de commande pour $\theta = \alpha$.

Les thyristors de la même phase sont commandés avec un décalage de 180°.

Les thyristors de la phase 2 sont commandés selon un décalage de 120° par rapport à ceux de la phase 1.[19]

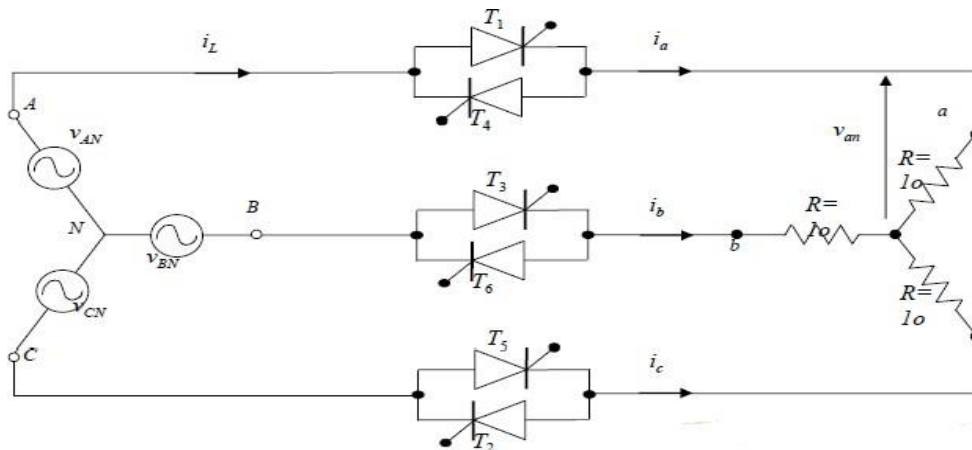


Figure III-3 : Gradateur triphasé couplé en étoile avec charge résistive.

III. 2. 3 Simulation d'un gradateur triphasé avec charge résistive

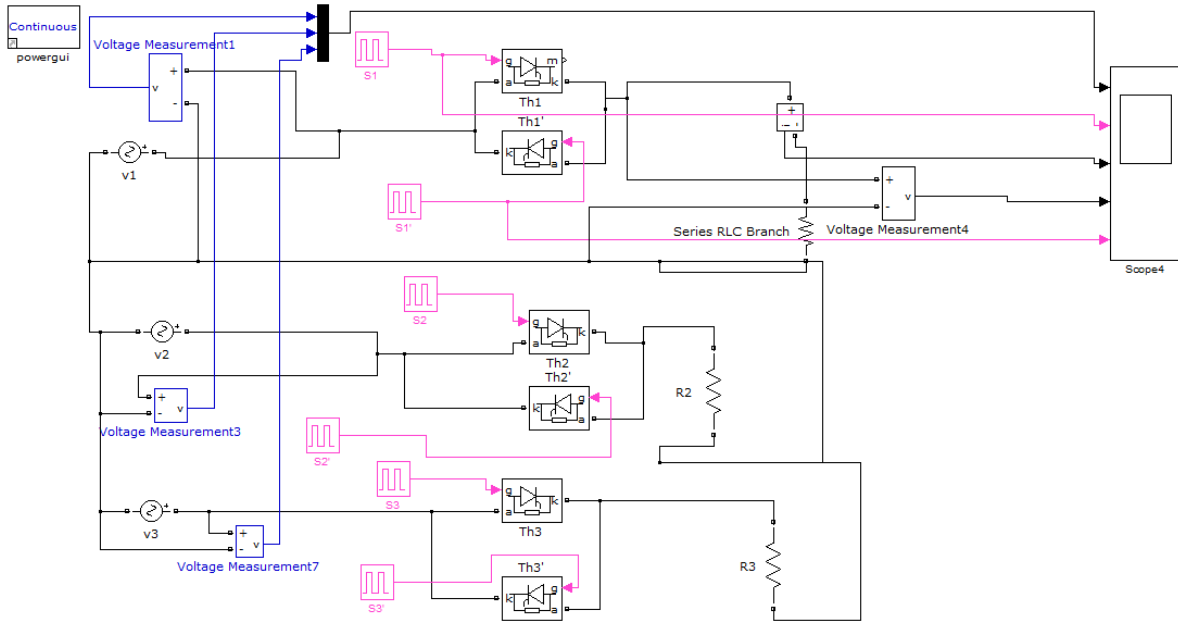


Figure III-4 :Schéma bloc de simulation d'un gradateur triphasé avec une charge résistive

$$\text{Pour } \alpha = \frac{\pi}{3}$$

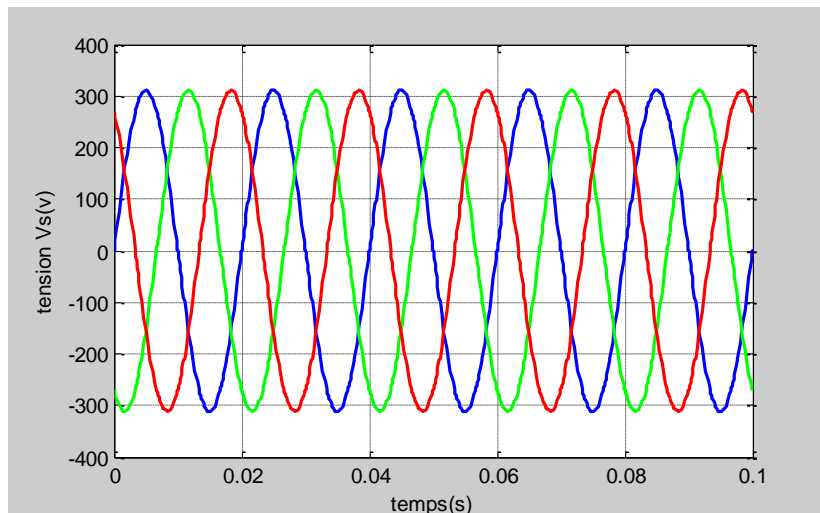


Figure III-5 : Tension de source.

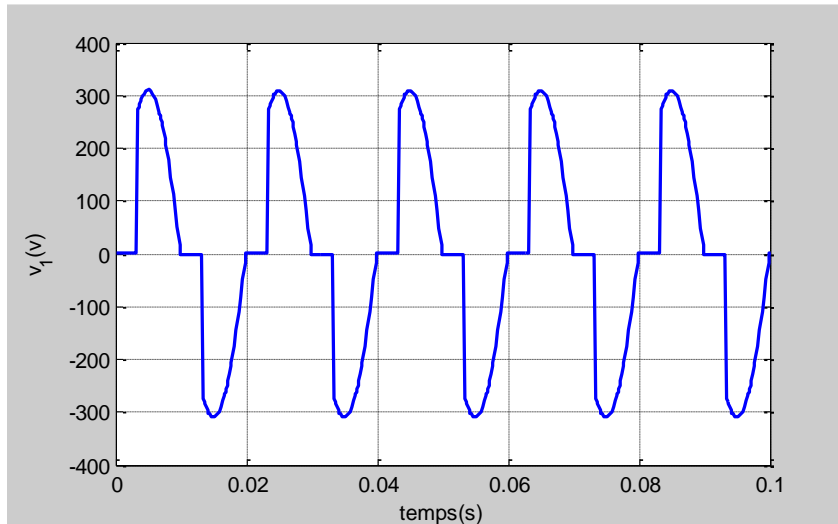


Figure III-6 : Tension simple v_1 .

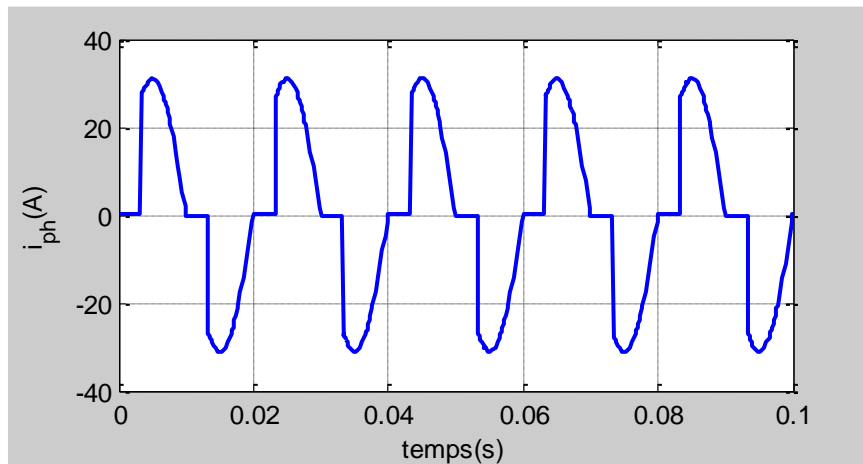


Figure III-7 : Courant de la phase1.

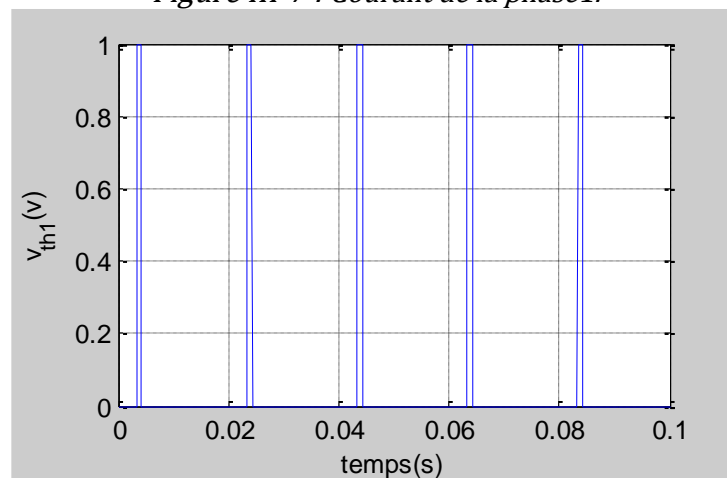


Figure III-8 : Signal de commande du thyristor th_1 .

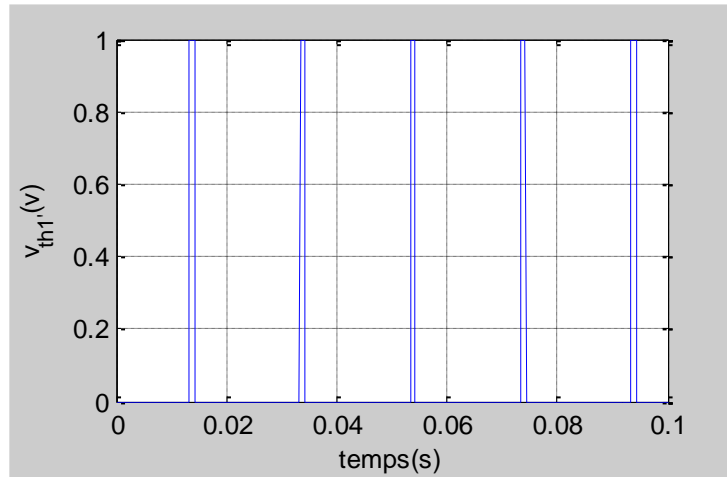


Figure III-9 : Signal de commande du thyristor th1'.

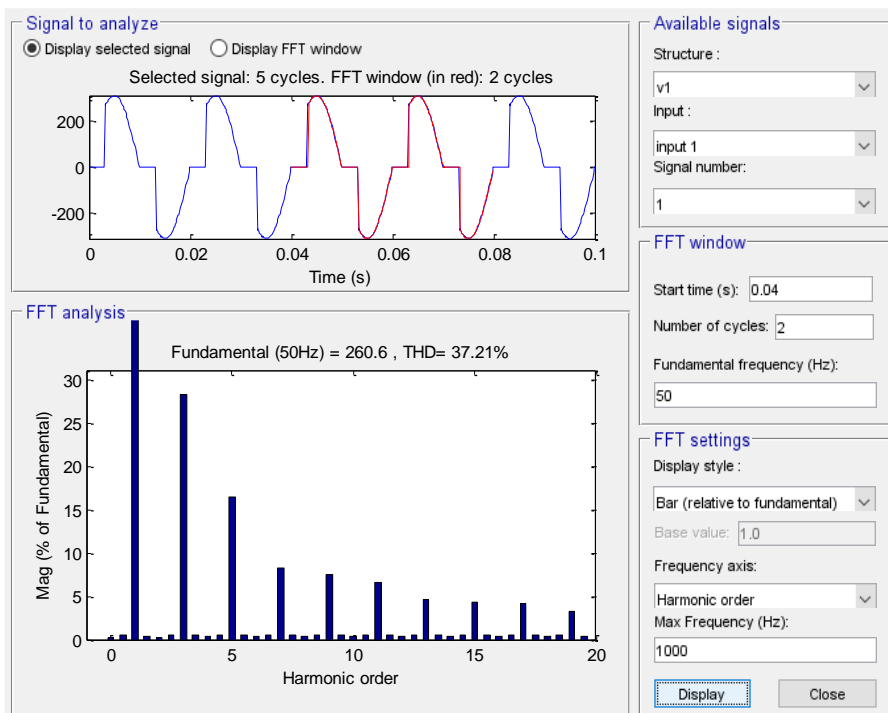


Figure III-10 : Spectre d'harmonique de la tension simple v1.

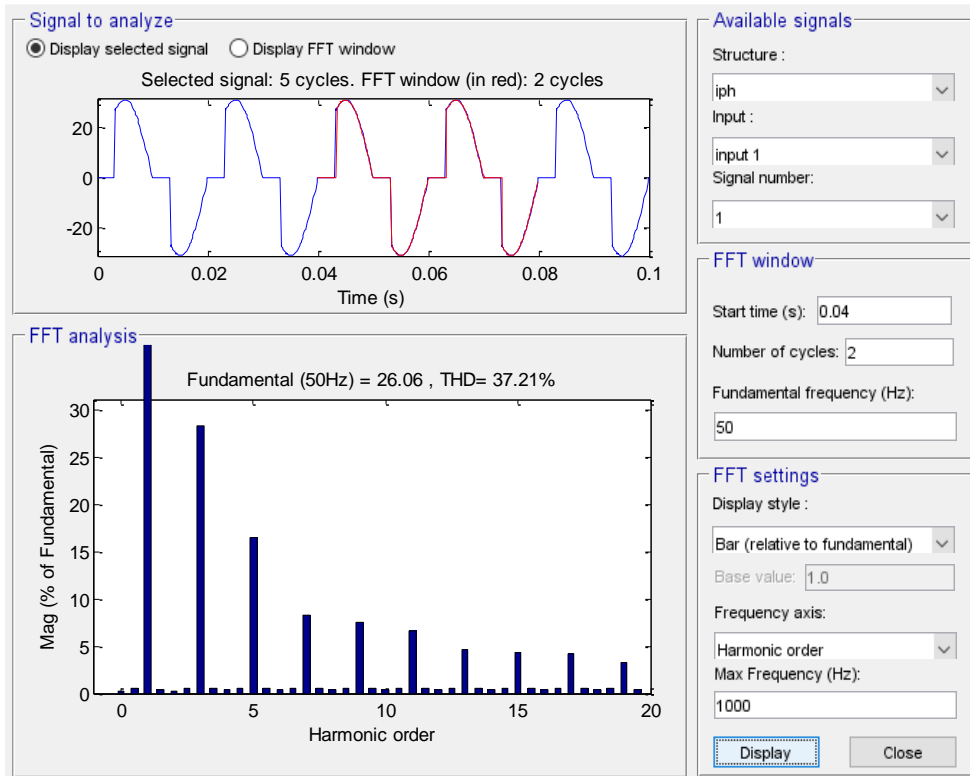


Figure III-11 : Spectre d'harmonique de courant de la phase 1.

Pour $a = \frac{\pi}{2}$

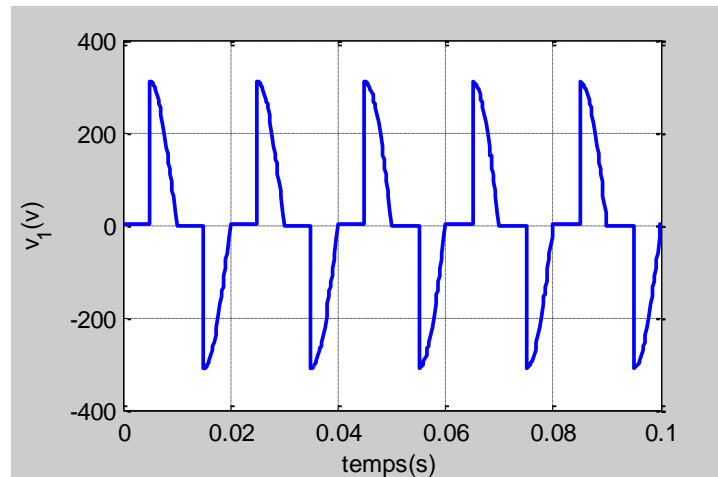


Figure III-12 : Tension simple v_1 .

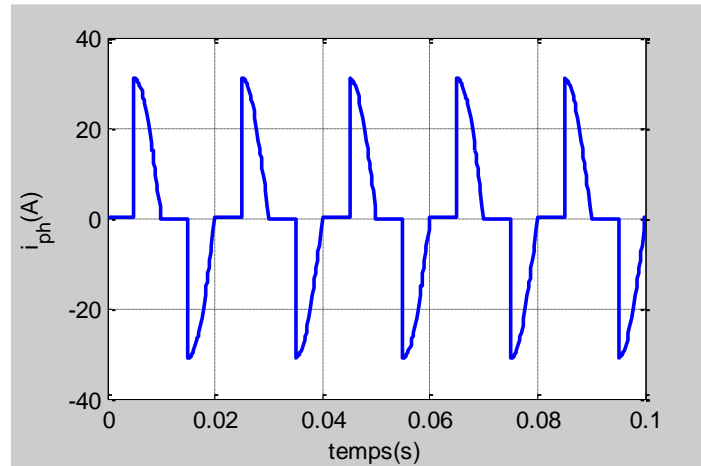


Figure III-13 : Courant de la phase 1.

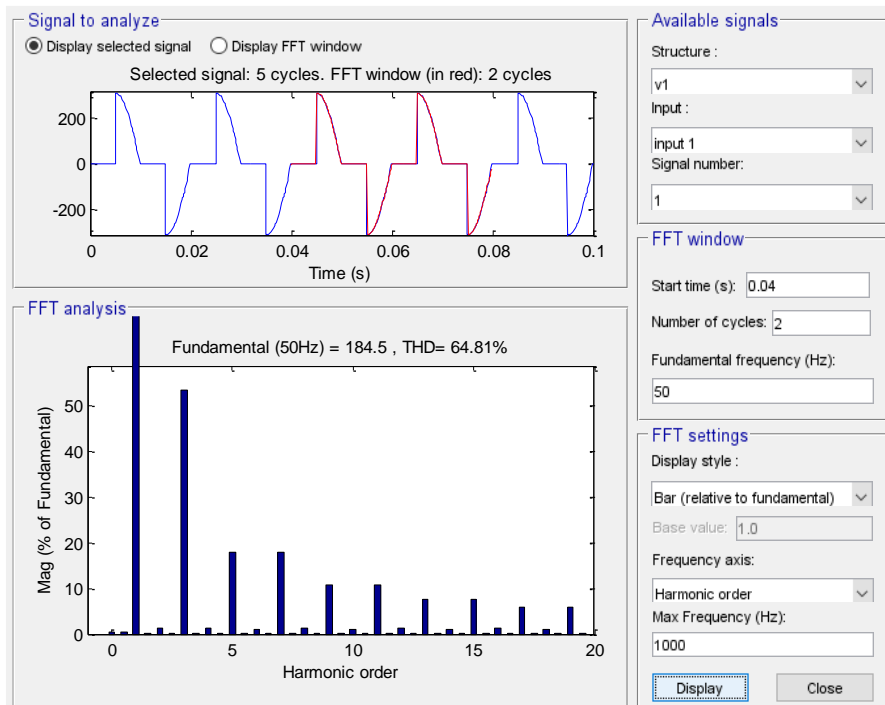


Figure III-14 : Spectre d'harmonique de la tension simple v1.

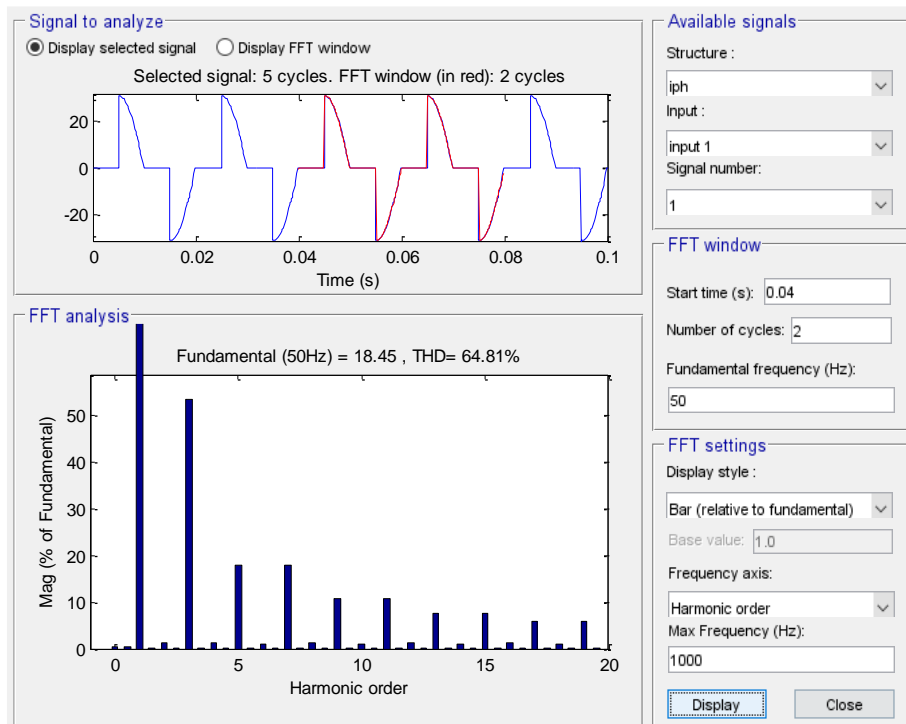


Figure III-15 : Spectre d'harmonique de courant de la phase 1.

III. 2. 4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la structure et le principe de fonctionnement d'un gradateur triphasé, Ensuite, nous avons donné les résultats de simulation avec charge R, les ondes de tension et du courant pour différent angle d'amorçages sont représentés.

Conclusion générale

L'utilisation des convertisseurs statiques dans l'industrie est devenue un champ extrêmement vaste, car les équipements industriels utilisent de plus en plus d'entraînement à vitesse variable. Les onduleurs de tension sont largement employés pour contrôler les moteurs asynchrones.

Le travail réalisé dans ce mémoire a été consacré à l'étude d'une structure et principe fonctionnement de l'onduleur triphasé à trois niveaux et cinq niveaux de type NPC, et connaissant les changements de THD de tension par le changement de la charge et du modèle de contrôle, nous avons étudié la structure et le principe fonctionnement de gradateur triphasé,

Le premier chapitre représenté le modèle de fonctionnement de l'onduleur triphasé à trois niveaux à structure NPC et le modèle de la commande et les fonctions de connexion. Nous avons donné les résultats de simulation pour deux techniques de commande pleine onde et MLI-ST.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude d'un l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC, technique de la commande et les fonctions de connexion. Les résultats de simulation de la commande MLI-ST avec charge sont présentés, nous avons aussi présenté la comparaison entre les deux onduleurs (3N et 5N), une comparaison entre la commande MLI-ST à travers les résultats de THD et en termes de nombre des semi-conducteurs constituant les deux onduleurs.

Le dernier chapitre est dédié à la structure et le principe de fonctionnement d'un gradateur triphasé, nous avons présenté les résultats de simulation avec charge.

Référence

- [1] **D. Kheireddine**, “Stratégies De Commande Des Onduleurs Multiniveaux (MLI ST et MLI Vectorielle) ”, Mémoire Master Université Badji Mokhtar- Annaba, 2019.
- [2] **Siroj Sirisukprasert**, “Optimized Harmonic Stepped-Waveform for Multilevel Inverter”, Thesis for the Degree of Master of Science in Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute, September 1999.
- [3] **B. K. Bose**, “*Power Electronics and AC Drives*”, Edition Practice Hall, 1986.
- [4] **L. M. Tolbert**, “ Multilevel converters for Large Electric Drives”, IEEE Transactions on Industry Application, Vol.35, pp.36-44, January/February 1999.
- [5] **Houria Ben Zemammouch** “Application de la MLI Vectorielle aux Onduleurs Multiniveaux à base de GTO et d’IGBT ”, Mémoire Présenté en vue d’obtention du diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba. 2010.
- [6] **Kelaiaia Mounia Samira**, “Amélioration de la Qualité d’Energie Délivrée Par Un Onduleur Multiniveaux Alimentant Une Machine Asynchrone A Cage” Thèse De Doctorat, Département d’Electrotechnique, 2007.
- [7] **J. P. Caron, J. P. Hautier**, “Convertisseurs Statiques-Méthodologie Causale de Modélisation et de Commande”, Editions Technip, Paris 1999.
- [8] **BOUAKAZ OUAHID**, “Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone”, Mémoire Magister, Université Badji Mokhtar–Annaba, 2006.
- [9] **BERREZZEK Farid**. “Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone”, mémoire d’ingénieur d’état. Université de Annaba- BADJI MOKHTAR, 2006.

- [10] **BOUAKAZ OUAHID** ,“Contribution à l’Analyse des Onduleurs Multiniveaux Fonctionnement Symétrique et asymétrique”, Mémoire d’ingénieur d’état, Département d’électrotechnique, université de Batna,2005.
- [11] **BRIGHEN Haroun et HALAIMIA Safouane**, “Etude et analyse de la commande des onduleurs Multi-niveaux par MLI sinusoïdale”, 2015-2016.
- [12] **LAKEHAL Bilel**, “Modélisation et commande d’un onduleur triphasé à structure multi-niveaux”, Mémoire de master, université deBejaia2015.
- [13] **Lourci N** : “Contribution à l’étude et la commande d’un onduleur à cinq niveaux à diodes flottantes. Application à la conduite d’une machine asynchrone triphasée”. Thèse de magister, ENP, Alger2000.
- [14] **Djaafer LALILI** , “MLI- Vectorielle et commande non linéaire du bus continu des onduleurs multi niveaux. Application à la conduite de la machine asynchrone”, Ecole nationale polytechnique Alger1996.
- [15] **F. MERRAHI**, “Alimentation et commande d’une machine asynchrone à double alimentation (Application à l’énergie éolienne)”, Mémoire de magister, 2007.
- [16] **A. TALHA**, “Etude de différentes cascade de l’ondeur à sept niveaux à structure NPC. Application à la conduite d’une machine synchrone à aimant permanents”, thèse doctorat Alger, école2004.
- [17] **BOUALI MOHAMED LAMINE**, Etude théorique et expérimentale d’un gradateur triphasé commandé, Université BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2018.
- [18] **Mme hajji omedaad**, cour, convertisseur de puissance, 2010-2011
- [19] **GUY SEGUIER**, Électronique de puissance Structures, commandes, applications 10^{ème} édition parution aout 2015.

RESUME Abstract ملخص

Résumé

Ce travail présente une comparaison entre deux structures d'onduleurs triphasés ; un onduleur à trois niveaux et un onduleur à cinq niveaux. La comparaison est basée sur l'évaluation de la distorsion harmonique totale (THD) des deux onduleurs contrôlés par la stratégie de modulation de largeur d'impulsions (MLI-ST). Nous avons également étudié une structure d'un gradateur triphasé basée sur l'évaluation de la distorsion harmonique totale (THD) pour différents angles d'amorçages.

Tous les onduleurs sont modélisés et simulés à l'aide du logiciel Matlab (Simulink-Sim Power Systems), des résultats de simulation numérique sont présentés et commentés.

Mots clés : Onduleur multiniveaux, modulation de la largeur d'impulsion MLI-ST, harmonique, l'onduleur NPC (Neutral Point Clamped), distorsion d'harmonique totale (THD). Gradateur triphasé. Conversions DC-AC, et AC-AC.

Abstract

This work presents the comparison between three structures of two-phase inverters; a three-level inverter and five-level inverter. The comparison is based on the evaluation of the total harmonic distortion THD of the two inverters controlled by the controlled pulse width modulation strategy (PWM), we also studied a structure of three- for different firing angles.

All inverters are modeled and simulated using the Matlab-Simulink-Sim Power Systems, results simulation are presented and commented.

Key words: multi-levels inverters, PWM: Pulse Width Modulation, harmonics, inverter structure NPC (Neutral Point Clamped), total harmonic distortion (THD) three phase dimmer, DC-AC conversions, and AC-AC.

ملخص

يقدم هذا العمل المقارنة بين هيكليين عاكسين ثلاثي الطور مستوى 3 و مستوى 5 , اعتمدت هذه المقارنة على تقييم نسبة انخفاض معدل التشويه التوافقي للعاكسين المتحكم فيهما بواسطة استراتيجية تعديل عرض النبضة كما قمنا بدراسة هيكل خافت ثلاثي الطور يعتمد على تقييم اجمالي التشويه التوافقي

تمت نمذجتهم و محاكاتهم باستعمال برنامج الماطالب. نتائج المحاكاة عرضت ونوقشت