

I.1. Introduction

Il existe plusieurs topologies d'onduleurs, dont chacun correspond à un type d'application déterminé ou permettant d'atteindre des performances recherchées, [2]. Dans ce chapitre, on a présenté les différentes topologies d'onduleurs de tension multi niveaux où nous avons donné leurs avantages et leurs inconvénients.

I.2. Principe de l'onduleur multiniveaux

Ce paragraphe a pour but d'introduire le principe général du comportement multiniveaux. La figure 1.1 aide à comprendre comment travaillent les convertisseurs multiniveaux [3, 4]. Un convertisseur à deux niveaux est représenté à la figure I.1.a, dans laquelle les commutateurs semi-conducteurs ont été remplacés par un interrupteur idéal.

La tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs: 0 ou V_{dc1} . Sur la figure I.1.b, la tension de sortie de trois niveaux peut prendre trois valeurs: 0, V_{dc1} ou $V_{dc1} + V_{dc2}$.

dans la figure I.1.c le cas général de m niveaux est présenté [5].

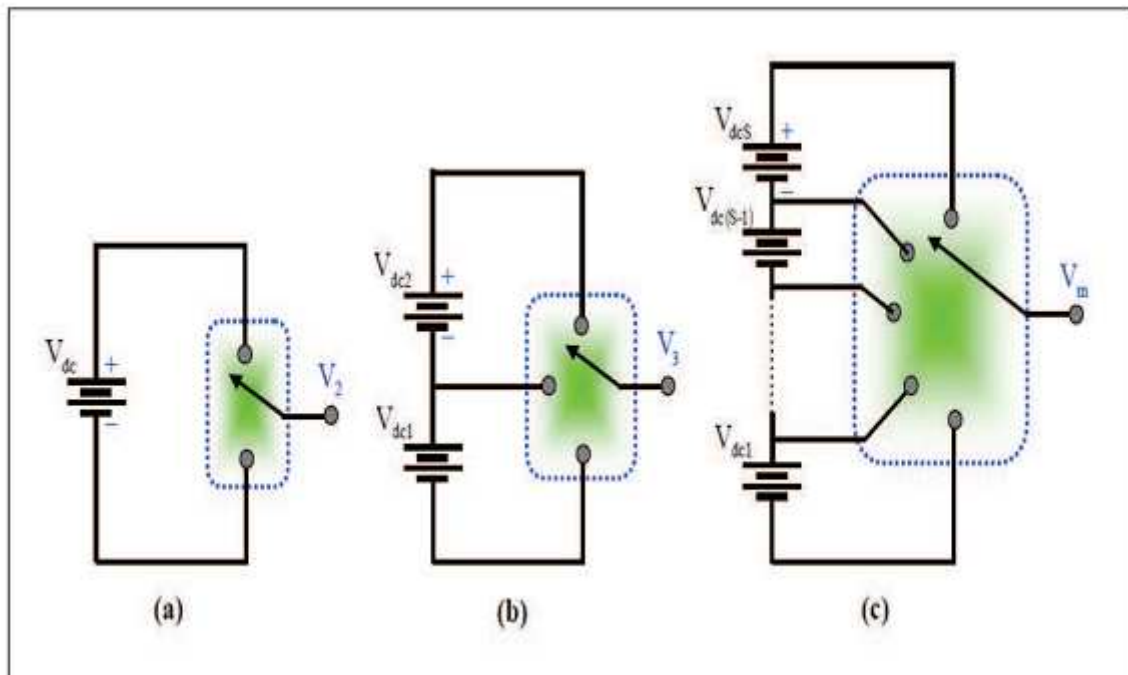


Figure I. 1: Onduleur à niveaux multiples à deux (a), à trois (b) et à m niveaux (c)

En général, les convertisseurs multiniveaux peuvent être vus comme des synthétiseurs de tension, dans lesquels la tension de sortie est synthétisée à partir de plusieurs niveaux de tension discrets.

I.3. Les Différentes topologies des onduleurs multiniveaux

La figure 1.2 représente les topologies des onduleurs multiniveaux les plus récentes

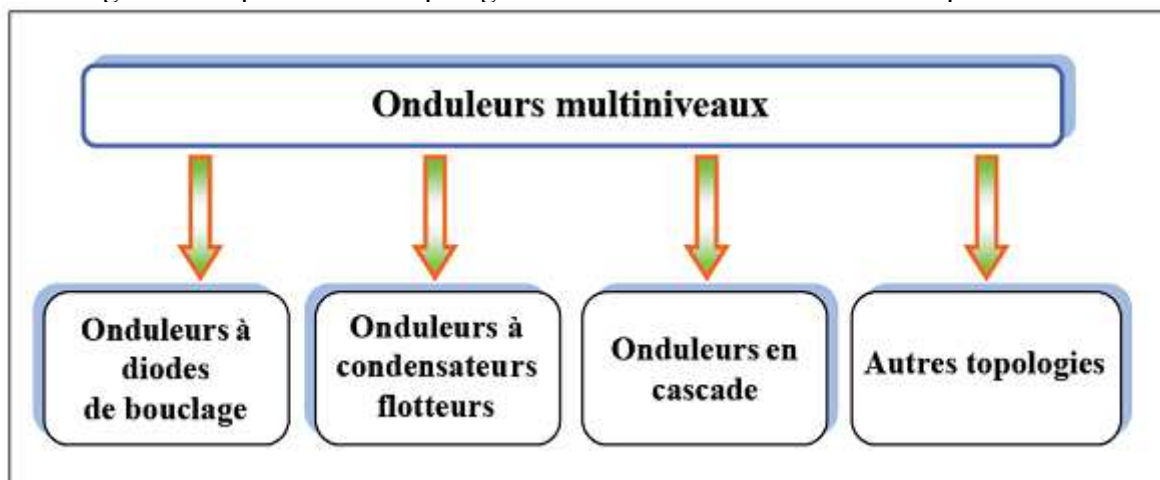


Figure I. 2: Différentes topologies des convertisseurs multiniveaux

I.3.1. Onduleurs multiniveaux en cascade

En 1975, dans les auteurs ont proposé un convertisseur multiniveaux en cascade qui consistait en la mise en série de plusieurs ponts à deux niveaux monophasé ; ces ponts étant connectés à des sources de tension continues séparées. La figure (I.3) Montre le schéma de base d'un convertisseur N niveaux en cascade formé par l'association en série de $N-1/2$ ponts à deux niveaux. La tension V_s en sortie d'une telle structure est donnée par la somme des $N-1/2$ tensions en sortie des ces ponts.

Une autre alternative consiste à envisager de mettre en série plusieurs ponts monophasé alimentés par une même source de tension continue E_c figure (I.4). Cette structure est appelée polygonale et l'utilisation d'un transformateur d'isolement à la sortie de chaque pont est obligatoire pour connecter les sortie alternative de chaque pont.

Il est à noter cependant que pour ces deux structures, l'encombrement (et par conséquent l'augmentation du coût) de l'installation reste des handicaps pénalisants. En effet, pour l'obtention d'une tension de sortie à N niveaux, il faudra disposer de $(N-1)/2$ pont monophasé par bras. Chaque à la valeur doit être dimensionné pour le courant de charge et pour une tension continue égale à la valeur maximal de la tension en sortie du bras divisée par N (ceci est valable dans le cas des onduleurs polygonaux pour un rapport de transformation unitaire).

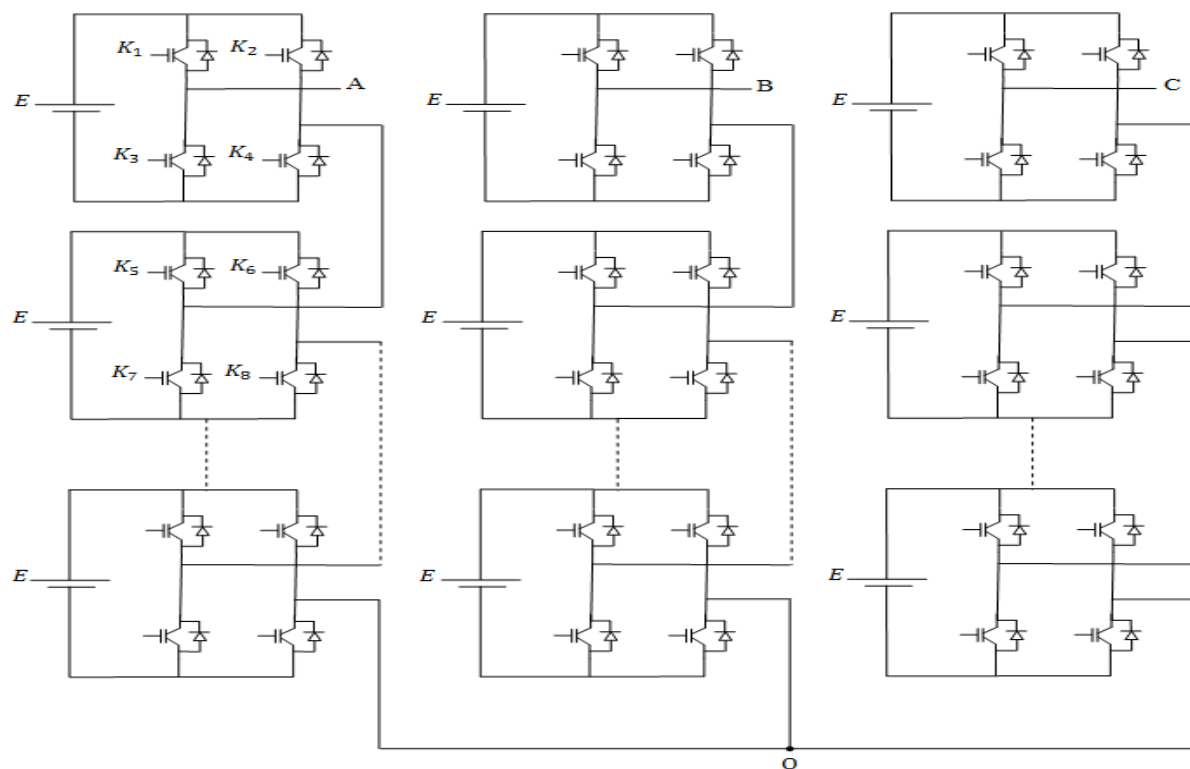


Figure I. 3: Structure d'un convertisseur N niveaux en cascade

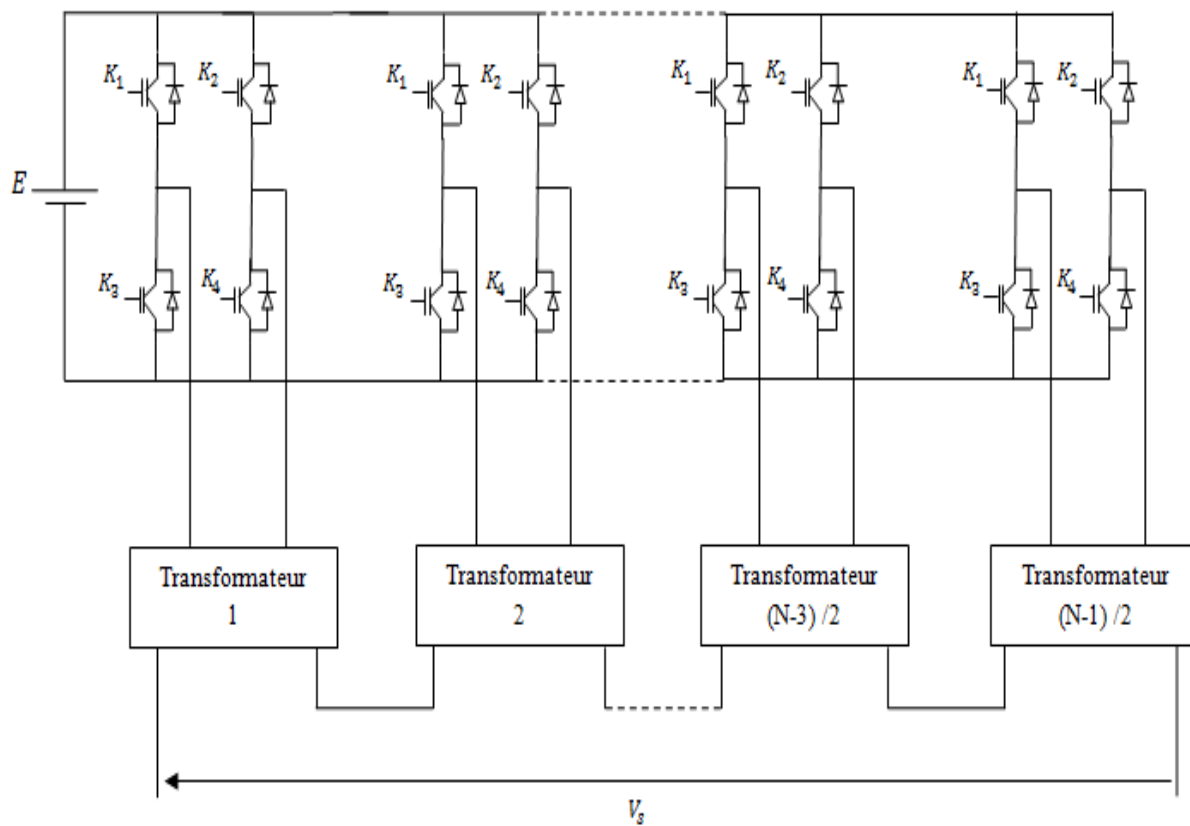


Figure I. 4: Structure d'un convertisseur polygonale N niveaux

I.3.2. Onduleur de tension à diodes flottante

La structure de ce type d'onduleurs est la plus utilisée. On associe à chaque phase des diodes appelées diodes flottantes, qui sert à appliquer les différents niveaux de tension de la source continue. Par rapport à l'onduleur à capacités flottantes, on n'a pas besoin d'utiliser des capacités pour chaque phase, ce qui élimine les risques des résonances parasites. Néanmoins, Il se pose le problème d'équilibrage des tensions aux bornes des capacités de source continue.

La résolution de ce problème est plus simple dans le cas de l'onduleur à diodes flottantes par rapport au cas de l'onduleur à capacités flottantes, vu le nombre réduit des capacités utilisées. A la suite de ce travail, on se limite à l'étude de l'onduleur multi-niveaux à diodes flottantes.

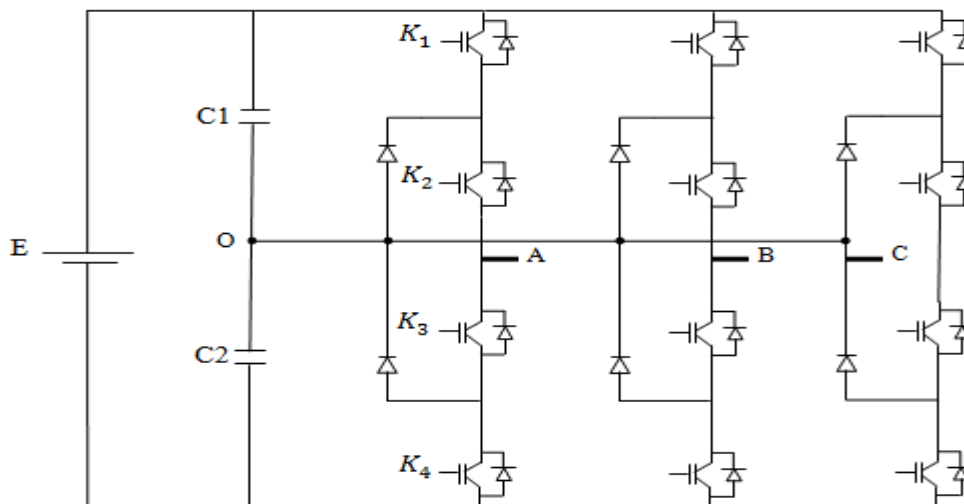


Figure I. 5 : Schéma d'un onduleur à diode flottante à 3 niveaux

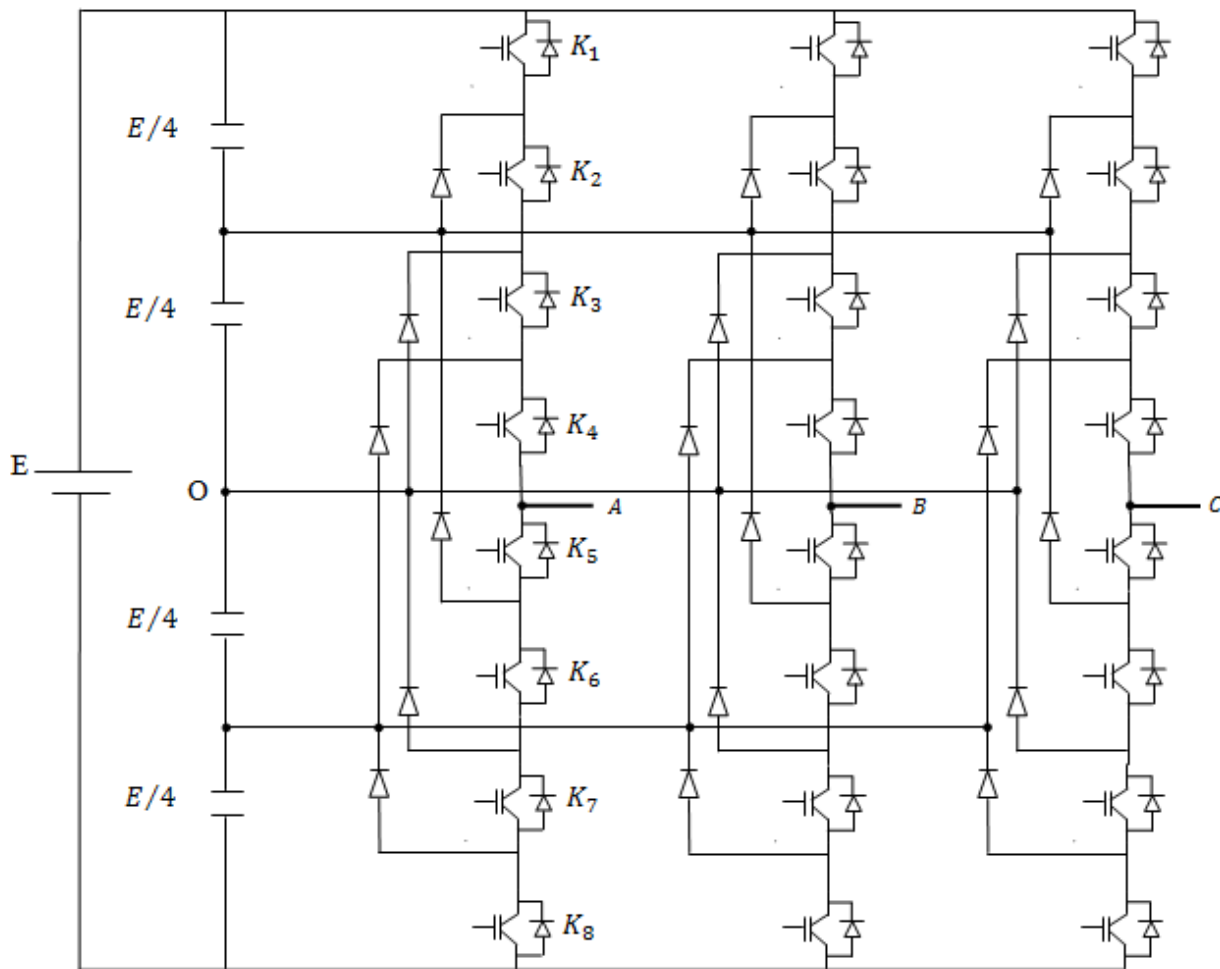


Figure I. 6 : Schéma d'un onduleur à diode flottante à 5 niveaux

I.3.3. Onduleur de tension à condensateurs flotteurs

La topologie de l'onduleur multi-niveaux à condensateur flotteur (flying capacitor Multi level inverter), donnée par la figure 1.7, a été proposée en 1992 [6]. Elle est considérée comme l'alternative la plus sérieuse à la topologie de l'onduleur à diode flottante. L'avantage de cette topologie est qu'elle élimine le problème des diodes de bouclage présents dans les topologies des onduleurs à diode flottante multi-niveaux.

En plus, cette topologie limite naturellement les contraintes en tension imposées aux composants de puissance (faible valeur de dv/dt aux bornes des composants) et introduit des états de commutation additionnelles qui peuvent être utilisés pour aider à maintenir l'équilibre des charges dans les condensateurs.

La topologie de l'onduleur à condensateur flotteur a assez d'états de commutation pour contrôler l'équilibre des charges dans chaque bras d'onduleur ayant n'importe quel nombre de niveaux, ce qui n'est pas le cas dans l'onduleur à diode flottante.

Actuellement il semble que cette topologie a quelques inconvénients. Néanmoins, quelques points faibles doivent toujours être explorés:

le contrôleur de la charge du condensateur ajoute la complexité au contrôle du circuit entier.

La topologie de l'onduleur à condensateur flotteur à multi-niveaux peut exiger plus de condensateurs que la topologie de l'onduleur à diode flottante. de plus, il est évident que des courants de grandes valeurs efficaces circuleront à travers ces condensateurs;

il y a un potentiel de résonance parasite entre les condensateurs découplés.

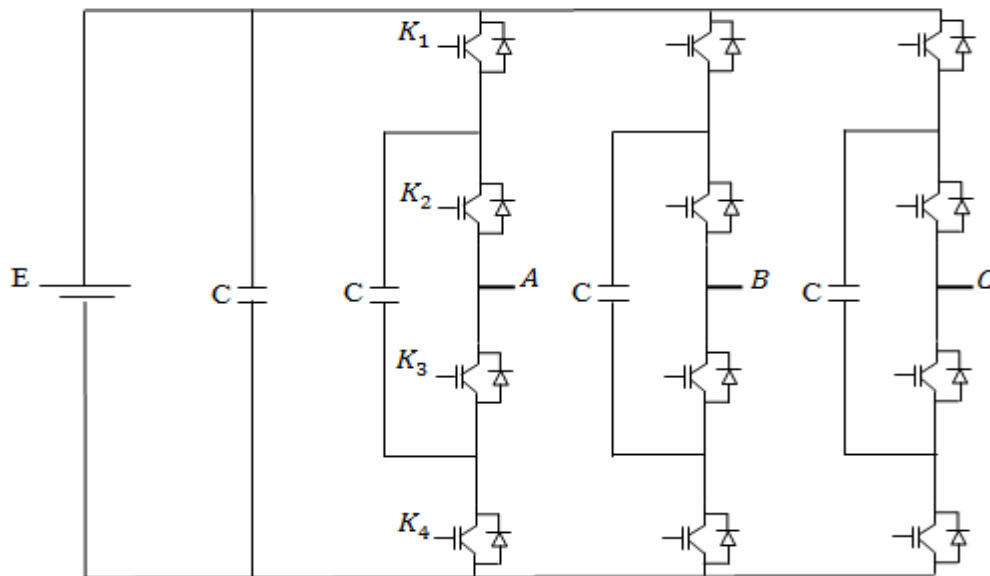


Figure I. 7 : Schéma d'onduleur cellules imbriquées à 3 niveaux

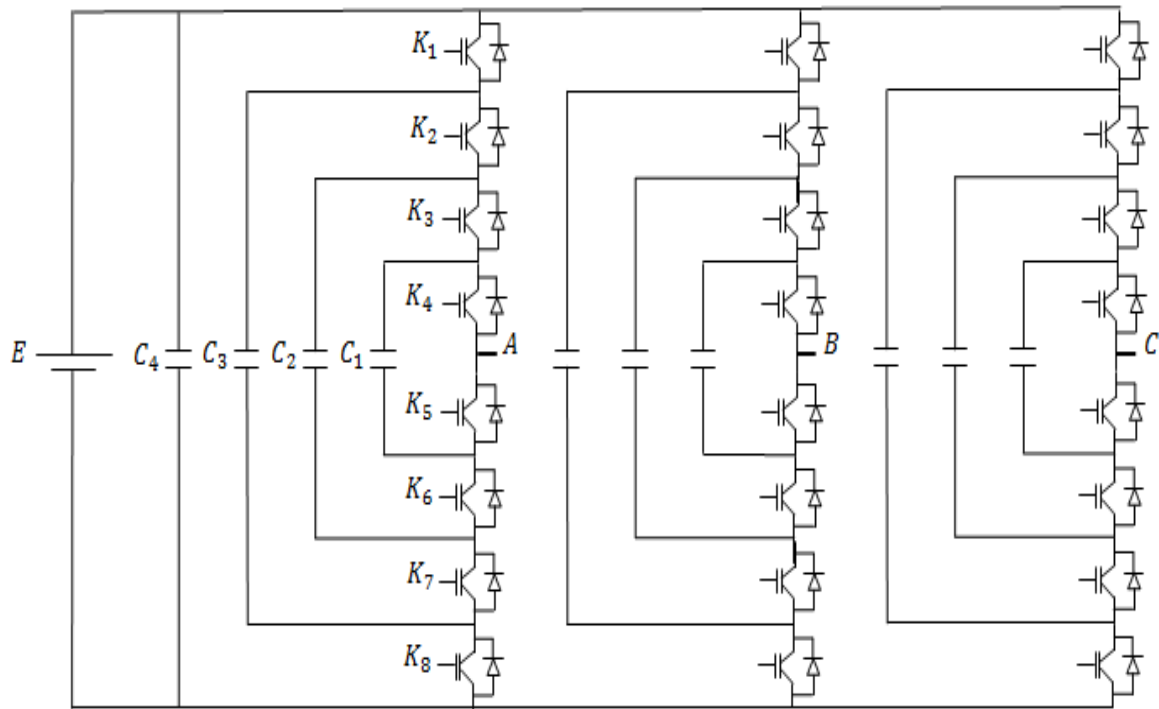


Figure I. 8 : Schéma d'onduleur cellules imbriquées à 5 niveaux

I.3.4. Autres topologies

Outre les trois topologies de base discutées précédemment, d'autres topologies de convertisseurs multiniveaux ont été proposées, mais la plupart d'entre elles sont à base de circuits "hybrides", combinaisons de deux topologies de base ou de légères variations de celles-ci. Ces topologies sont :

- a) Le convertisseur asymétrique hybride,
- b) Le convertisseur avec des ponts en cascade et sources CC/CC avec isolement,
- c) Le convertisseur avec des topologies multiniveaux en cascade,
- d) Le convertisseur avec commutation douce,
- e) Les convertisseurs reliés par transformateur,
- f) Le convertisseur Diode/Capacitor-Clamped : variante de l'onduleur NPC,
- g) Le convertisseur New Diode-Clamped : autre variante de l'onduleur NPC,
- h) Le convertisseur multiniveaux généralisé .

I.4. Les Différentes stratégies de commande des onduleurs multi niveaux

Dans cette partie, nous élaborons quelques stratégies de commande de l'onduleur à multi niveaux qui permettent de générer une source de tension la plus sinusoïdale possible figure (1.9):

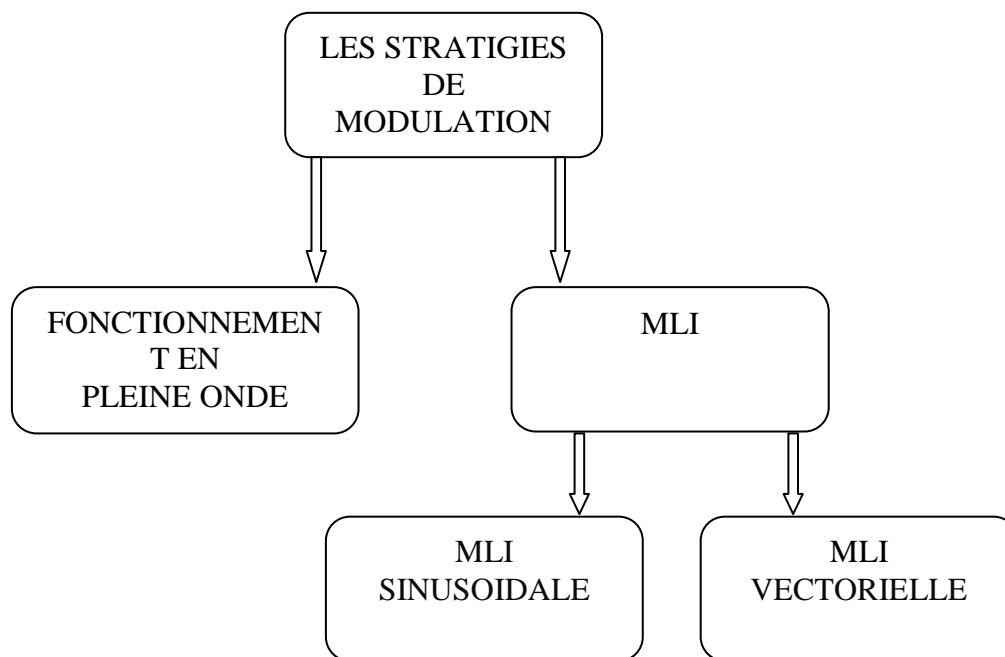


Figure I. 9 : Les Différentes stratégies de modulation pour la commande des onduleur

I.4.1. Commande en pleine onde

La commande en pleine onde est une commande classique souvent utilisé pour la commande des onduleurs. Plusieurs cas qui se différencient par les manières d'élaborer la séquence de commande des interrupteurs et de régler la valeur de la tension à la sortie de l'onduleur pour alimenter la machine asynchrone.

Plusieurs commandes pleines ondes sont possibles pour cet onduleur. Cette stratégie consiste à générer un système de tension dans les fondamentaux constituent un système triphasées équilibre.

I.4.2. Les Techniques de commande MLI

I.4.2.1. Généralités sur les MLI

Le choix d'une technique dépend du type de machine à commander, de la gamme de puissance, des semi-conducteurs utilisés pour l'onduleur et de la simplicité d'implantation de l'algorithme. Ce sont finalement des critères de coût et de performance qui vont déterminer ce choix. Les critères de performances permettent d'évaluer et de comparer les qualités des différentes techniques de MLI.

I.4.2.2. Objectif de la Technique MLI

Les objectifs principaux d'une **MLI** sont les suivants:

- Obtenir dans la charge électrique des courants dans la variation est proche de la sinusoïdale par le contrôle de l'évolution des rapports cycliques et grâce à une fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie
- Imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées.
- Permettre un contrôle fin de l'amplitude du fondamentale des tensions de sortie généralement sur la plus grande plage possible et pour une fréquence de sorties larges variable

Les paramètres essentiels de **MLI** sont par conséquent:

La fréquence de modulation : f_m ;

L'indice de modulation: $m = f_m / f_s$

Où f_s est la fréquence des fondamentaux des grandeurs de sortie de l'onduleur;

Coefficient de réglage:

$$r = \frac{\text{valeur crête du fondamental de la tension de charge souhaitée}}{\text{amplitude des crêteaux de la tension de sortie}}$$

On cherche généralement à obtenir une valeur maximale de "**r**" la plus élevée possible.

I.4.2.3. Les Différentes types de MLI

La technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) permet de commander la tension de sortie de l'onduleur en amplitude et en fréquence à partir des signaux de commandes des interrupteurs de l'onduleur tout en limitant l'effet des harmoniques. Il existe différentes structures de Modulation de Largeur d'Impulsion permettant de gérer les trois courants d'alimentation de la machine asynchrone à partir des courants de référence calculés au niveau de la commande .Trois types de MLI sont généralement utilisés [8]:

- **La MLI pré calculée:** consiste à calculer les instants de commutation des interrupteurs de puissance de manière à éliminer certaines harmoniques non désirables. Ces séquences sont alors enregistrées dans une mémoire et restituées cycliquement pour assurer la commande des interrupteurs. L'implantation de cette technique de MLI sur circuit intégré spécifique est alors envisageable. Plusieurs travaux d'intégration ont d'ailleurs été réalisés pour ce type de structure.
- **La MLI dent scie :** est basée sur la comparaison entre une onde modulante,

de forme sinusoïdale à faible fréquence, et une autre onde porteuse de forme dent de scie à fréquence plus élevée. Les points d'intersection entre la porteuse et la modulante déterminent les instants de commutation. Ce genre de MLI est surtout bien adapté à l'électronique analogique mais est difficilement utilisable en numérique. En effet, il est, par exemple, difficile de reproduire une tension de référence sinusoïdale parfaite à partir d'informations numériques.

➤ **La MLI vectorielle :** utilisée dans les commandes modernes des machines asynchrones pour obtenir des formes d'ondes arbitraires non nécessairement sinusoïdales. Le principe de la MLI vectorielle consiste à reconstruire le vecteur tension statorique V_s à partir de huit vecteur tension. Chacun de ces vecteurs correspond à une combinaison des états des interrupteurs d'un onduleur de tension triphasé, Cette méthode de MLI peut désormais être implantée dans des circuits intégrés numériques. Elle nécessite toute fois des calculs numériques rapides et précis. De ce fait, la fonction MLI est séparée des fonctions de "commande algorithmique" et implantée dans un circuit intégré spécifique.

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes topologies de la famille des onduleurs multi-niveaux. Le principe de base de toutes ces topologies est l'association de plusieurs cellules de commutation à caractéristiques spécifiques, avec une présentation générale pour les différentes stratégies de commande des onduleurs multi niveaux.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude de l'onduleur de tension multi niveaux de type Cascade. L'étude d'un cas d'onduleur triphasé à trois et cinq niveaux sera exposée.