

## **II.1. Introduction**

Dans ce chapitre on à étudier les onduleurs multi niveaux en cascade, avec une rappelle sur l'onduleur deux niveaux, l'inconvénient de l'onduleur à deux niveaux avec une étude sur un onduleur multi niveaux trois et cinq niveaux triphasé et en fin une généralisation sur l'onduleur à N niveaux.

### **II.2. Structure d'un onduleur de tension à deux niveaux en cascade**

La structure d'onduleur de tension monophasé à deux niveaux se compose d'un pont contenant quatre interrupteurs et une source de tension continue, comme montre la figure II.1.

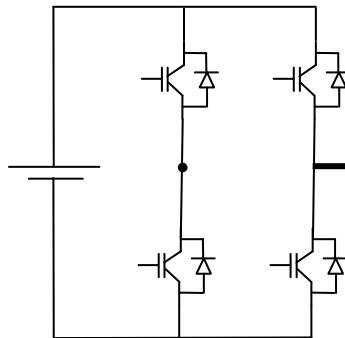


Figure II.1 Structure d'onduleur de tension monophasé en pont à deux niveaux

#### **II.2.1. Inconvénients**

- la mauvaise qualité du signal de sortie.
- un contenu spectrale riche en harmoniques d'où un THD élevé.

## **II.3. Onduleur à trois niveaux de type Cascade**

### **II.3.1. Description**

La structure d'un convertisseur multi-niveaux basée sur la mise en série d'onduleurs triphasé (ou pont en H, ou cellule partielle) est montrée sur la figure II.2

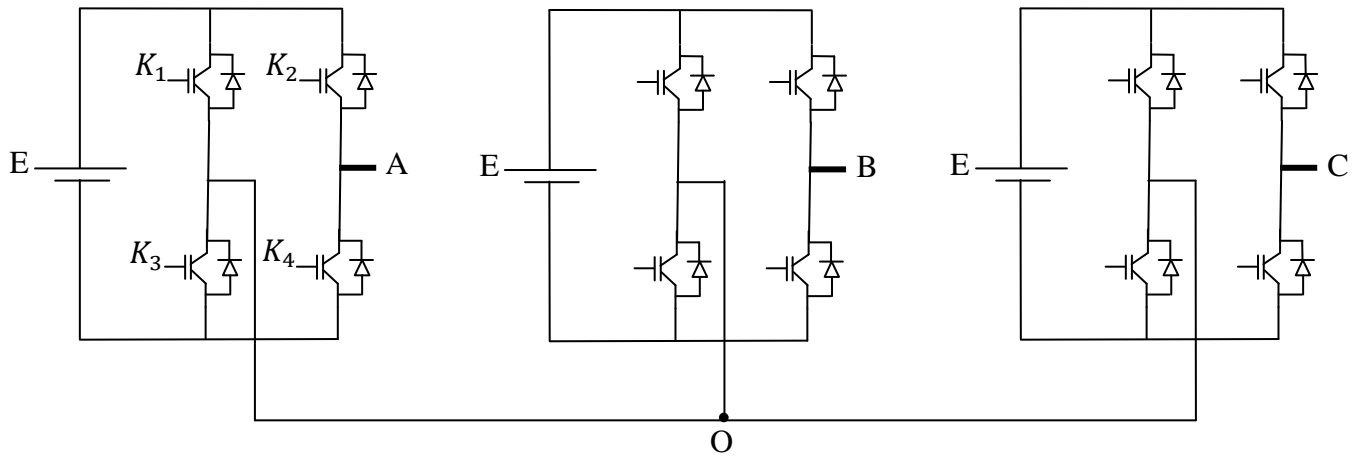


Figure II.2 Schéma triphasé d'un onduleur cascade en pont H à 3 niveaux

Les cellules y sont connectées en étoile, cependant il est également possible de les connecter en triangle [9]. Chaque cellule de l'onduleur est alimentée par une source continue E et composée de quatre interrupteurs qui sont unidirectionnels en tension et bidirectionnels en courant : il s'agit d'associations classiques d'un transistor et d'une diode en antiparallèle.

Les sources doivent être galvaniquement isolées les unes des autres, afin d'éviter un court-circuit lors de leur mise en série .

### II.3.2. Principe de fonctionnement

Pour mieux comprendre le fonctionnement de la structure cascade en pont H à trois niveaux de tension, nous allons nous limiter notre étude à sa structure monophasée, figure II.3.

La structure d'un bras d'onduleur trois niveaux de type cascade en pont H est identique à celui d'un onduleur classique monophasé en pont complet voir figure III.2. Cependant la technique de commande est différente ce qui permettra d'avoir les trois niveaux de tension.

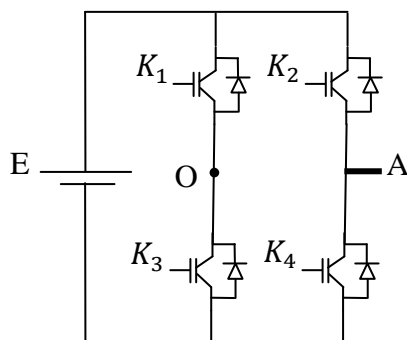


Figure II.3 Bras d' onduleur cascade en pont H à trois niveaux

L'objectif visé est donc de déterminer les valeurs que peut prendre la tension  $V_{ao}$  pour les différents états possibles des interrupteurs, de montrer les séquences de conductions des interrupteurs.

Comme pour le cas de l'onduleur NPC trois niveaux, nous avons trois séquences de fonctionnement possibles:

• **Séquences 1 : Génération du niveau maximum**

Dans ce cas, les interrupteurs K1, K4 sont passants et K2, K3 sont bloqués comme le montre sur la figure II.4 Et la tension de sortie  $V_{ao}$  est:  $V_{ao} = +E$ .

La tension inverse appliquée aux interrupteurs K2, K3 vaut:  $V_{K2} = V_{K3} = +E$ .

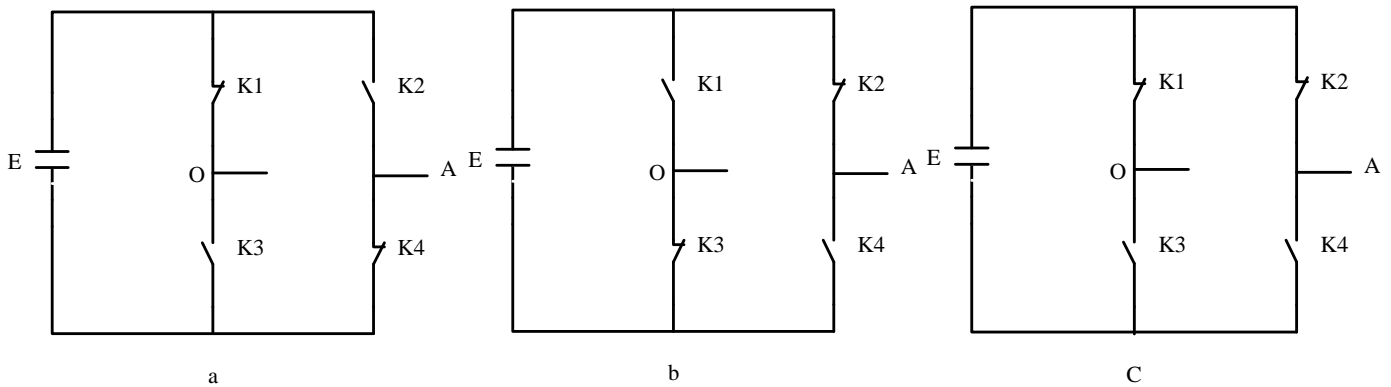


Figure II.4 Séquences de fonctionnement d'un bras d'onduleur trois niveaux en H

• **Séquences 2 : Génération du niveau intermédiaire**

Dans ce cas, les interrupteurs K2, K4 sont passants et K1, K3 sont bloqués comme le montre sur la figure II.4. Et la tension de sortie  $V_{ao}$  est:  $V_{ao} = 0$ .

La tension inverse appliquée aux interrupteurs K1, K3 vaut:  $V_{K1} = V_{K3} = +E$ .

• **Séquences 3 : Génération du niveau minimum**

Dans ce cas, les interrupteurs K1, K4 sont bloqués et K2, K3 sont passants comme le montre la figure II.4. Et la tension de sortie  $V_{ao}$  est:  $V_{ao} = -E$ .

La tension inverse appliquée aux interrupteurs K1, K4 vaut:  $V_{K1} = V_{K4} = +E$ .

Les 3 états ou séquences de commutation possibles sont résumés au tableau II.1

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$V_{oa}$
1	0	0	1	+E
0	1	0	1	0
0	0	1	1	-E

Tableau II.1 États possibles de l'onduleur Cascade à 3 niveaux

Les séquences de fonctionnement, la forme d'onde de la tension de sortie et les états des interrupteurs sont représentés sur la figure II.5:



Figure II.5 Formes d'ondes d'un bras d'onduleur triphasé de type H

**Commentaire:** On remarque que le temps de conduction de chaque interrupteur est identique à celui des interrupteurs du bras d'onduleur trois niveaux de type NPC. Donc les interrupteurs de l'onduleur en pont en H sont moins sollicités que ceux d'un onduleur deux niveaux. Un autre point important à chaque changement de niveau de tension, nous avons un seul interrupteur(IGBT) qui change d'état. Ce qui réduit considérablement les pertes par commutations.

## **II.4. Onduleur à cinq niveaux de type Cascade en pont H**

### **II.4.1. Description**

La structure d'un convertisseur multi-niveaux basée sur la mise en série d'onduleurs monophasés (ou pont en H, ou cellule partielle) est montrée sur la figure II.6

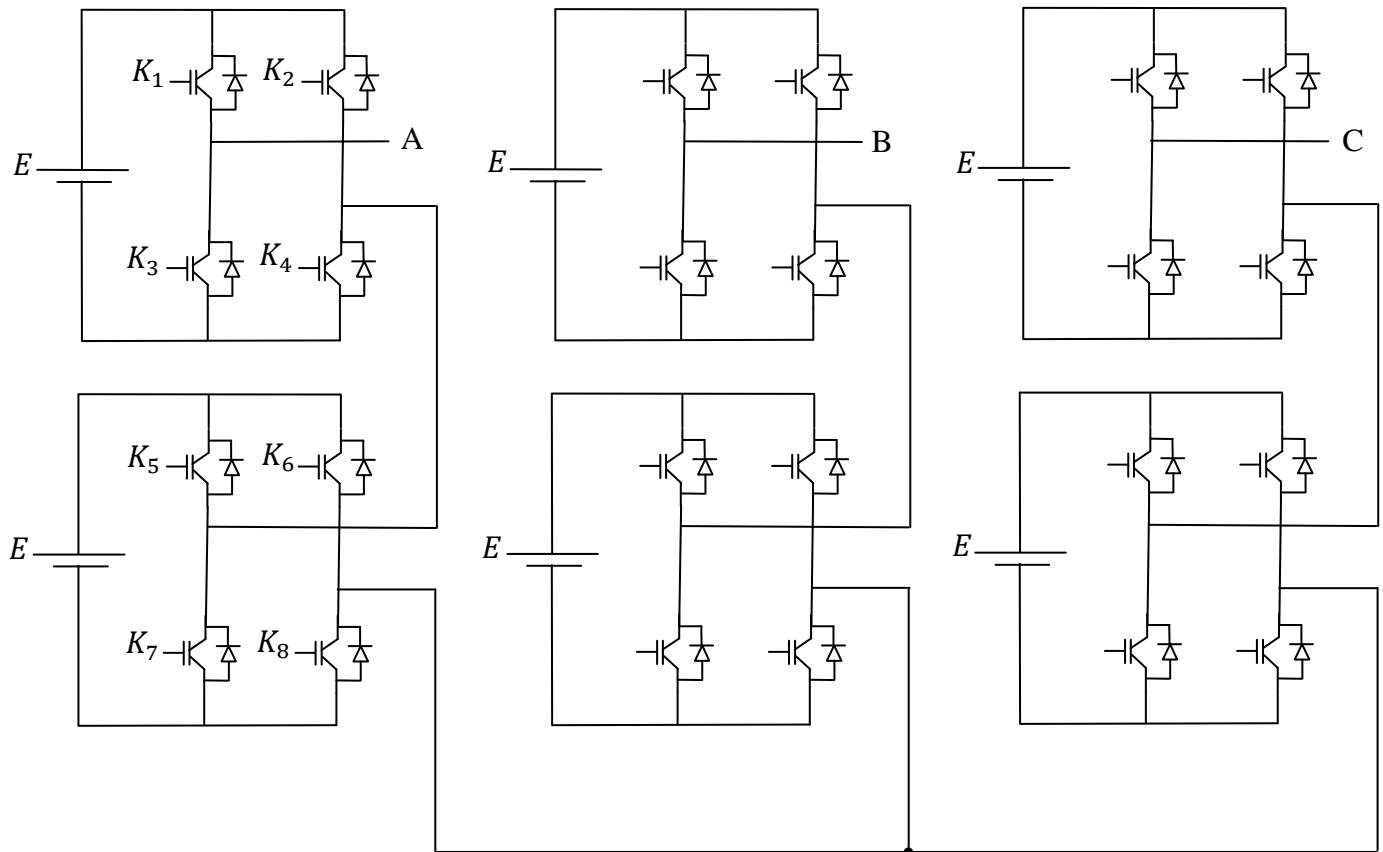


Figure II.6 Schéma d'un onduleur cascade en H à 5 niveaux

#### II.4.2. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du convertisseur cascade en pont H à cinq niveaux de tension, sera illustré par sa structure monophasée, figure II.7.

La structure d'un bras d'onduleur cinq niveaux de type cascade en pont H est l'association en cascade de deux onduleurs classiques monophasés en pont complet. De telle sorte que la tension à la sortie de l'onduleur obtenue est la somme des tensions de sortie des deux onduleurs classiques.

Comme pour le cas NPC, nous avons les cinq séquences de fonctionnements suivantes pour le convertisseur cascade en pont H à cinq niveaux de tensions :

- **Séquence 1:** K1, K4, K5. et K8 sont passants et K2, K3, K6, et K7 sont bloqués Dans ce cas le premier pont monophasé (celui du haut) donne une tension de sortie E et le second pont monophasé (celui du bas) donne également E comme tension de sortie.

D'où la tension de sortie du convertisseur en cascadié H à cinq niveaux de tensions :

$$V_{ao} = E + E = 2E$$

- **Séquence 2:** K1, K4, K5 et K6 sont passants et K2, K3, K7 et K8 sont bloqués, On a toujours E à la sortie du premier pont, mais cette fois ci 0 à la sortie du second pont. D'où la tension  $V_{ao} = E$

•**Séquence 3:** K2, K4, K7 et K8 sont passants et K5, K6, K1 et K3, sont bloqués, On a alors 0 comme tension de sortie dans les deux ponts monophasés montés en cascade. Et la tension de sortie du pont en H obtenue vaut:  $V_{ao} = 0$

• **Séquence 4:** K2, K3, K6 et K7 sont passants et K1, K4, K5 et K8 sont bloqués, Dans ce cas, la tension de sortie est :  $V_{DO} = -E$

• **Séquence 5:** K2, K4, K5 et K6 sont passants et K1, K3, K7 et K8, sont bloqués, On a alors la tension de sortie  $V_{ao} = -E - E = -2E$

Remarque: Les tensions bloquées par les différents interrupteurs au cours des séquences de fonctionnement valent toutes

$$V_{K1} = E, ; = 1 \dots 8$$

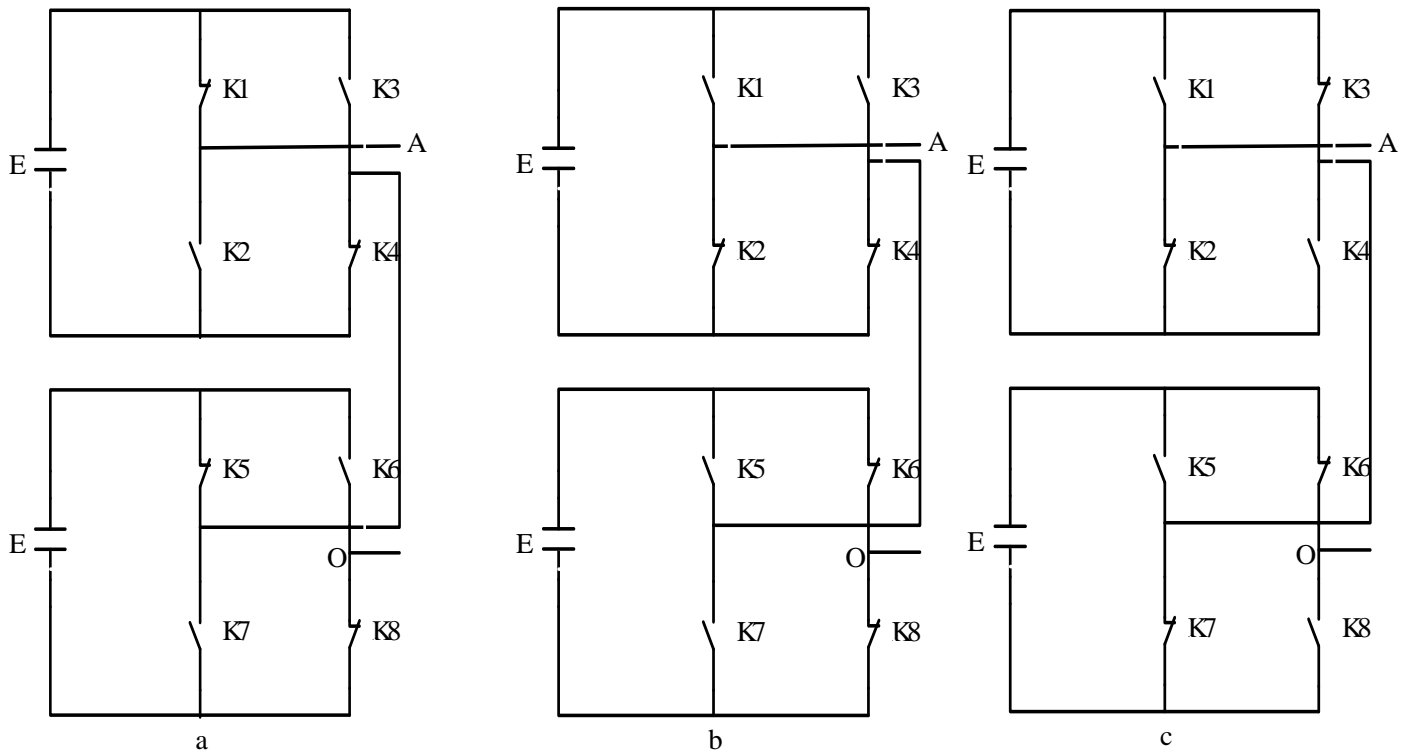


Figure II.7 : Pont H 5 niveaux : Principe et exemples de mécanisme de commutation  
a- Génération de  $V_{ao} = +E$  , b- Génération de  $V_{ao} = 0$  , c- Génération de  $V_{ao} = -2E$

les cinq états ou séquences de commutation possibles sont résumés au tableau II.2.

$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$V_{\text{ca}}$
1	0	0	1	1	0	0	1	$2E$
1	0	0	1	0	1	0	1	$E$
0	1	0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	0	1	$-E$
0	1	1	0	0	1	1	0	$-2E$

Tableau II.2 États possibles de l'onduleur cascade à 5 niveaux

Les séquences de fonctionnement, la forme d'onde de la tension de sortie et les états des interrupteurs sont représentés sur la figure II.8 :

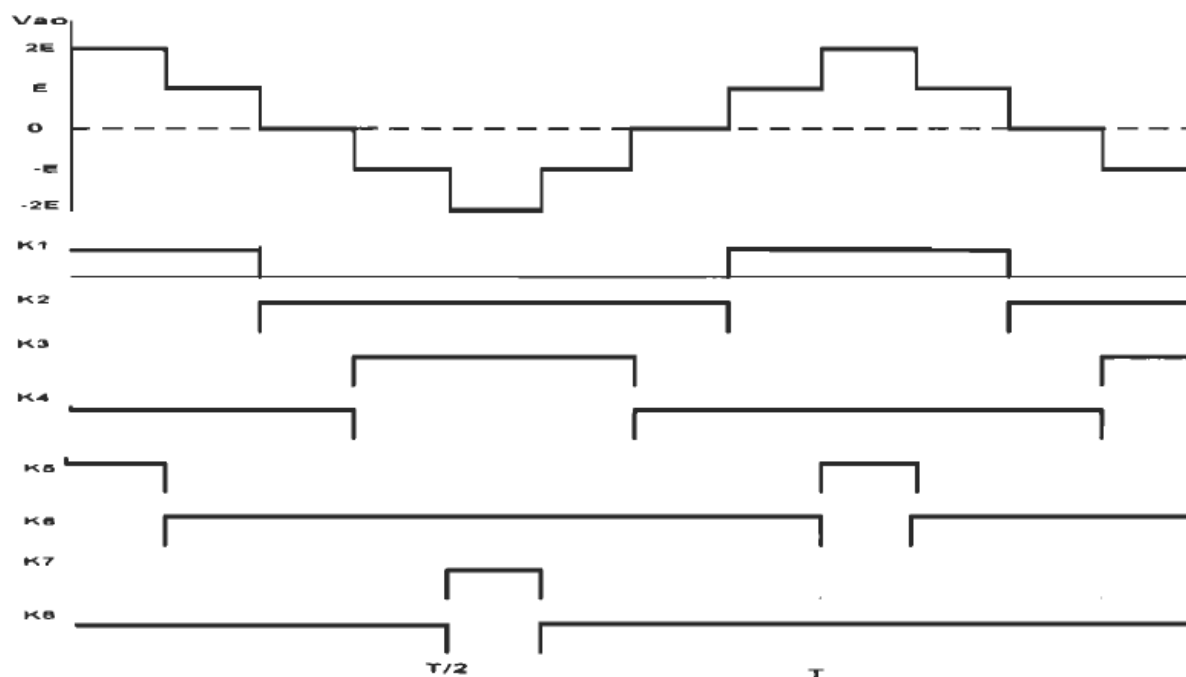


Figure II.8 Formes d'ondes d'un bras d'onduleur triphasé de type H 5niveaux

**Commentaire :** Le signal de la tension de sortie obtenue présente plus de paliers dans ce cas que celui à trois niveaux. Ce qui implique logiquement un signal plus proche d'une sinusoïdale, donc moins de THD. Un autre point important est qu'à chaque changement de niveau de tension, nous avons deux interrupteurs (IGBT) qui changent d'états alors que dans le cas de l' onduleur trois niveaux on a seulement une seule commutation à chaque changement de niveau.

Cependant, par période on a quatre (4) commutations dans le cas cinq niveaux et six (6) commutations dans le cas cascadié trois niveaux. Ainsi, il y aura plus de perte par commutation pour l'onduleur cascade en pont H. il reste à signaler qu'on a moins de pertes par commutation dans le cas du convertisseur cascade en H que dans le cas de l'onduleur NPC. En effet, à chaque changement de niveau dans le cas cascadié trois, on a une seule commutation et deux commutations pour le cas NPC trois niveaux. et pour le modèle cinq niveaux, à chaque changement de niveau de la tension de sortie, on a deux commutations dans les deux cas. Mais la présence des diodes (non idéales en pratique) de maintiens pour le cas NPC redonne l'avantage au convertisseur cascade en pont H du point de vue pertes par commutation.

## **II.5. Généralisation de la structure cascade en pont H à N niveaux de tension**

### **II.5.1. Description**

La structure triphasée d'un convertisseur de type cascadié à N niveaux de tension est présentée à la figure II.9. Chaque phase du convertisseur est constituée de  $(N - J) / 2$  étages de ponts monophasés classiques, ces ponts sont montés en cascade de telle sorte que la tension de sortie de notre onduleur cascade en pont H est la somme des tensions de sorties de chaque pont monophasé. Aussi, par phase nous avons  $2(N - 1)$  interrupteurs commandes  $(N - 1)/2$  et sources continues.



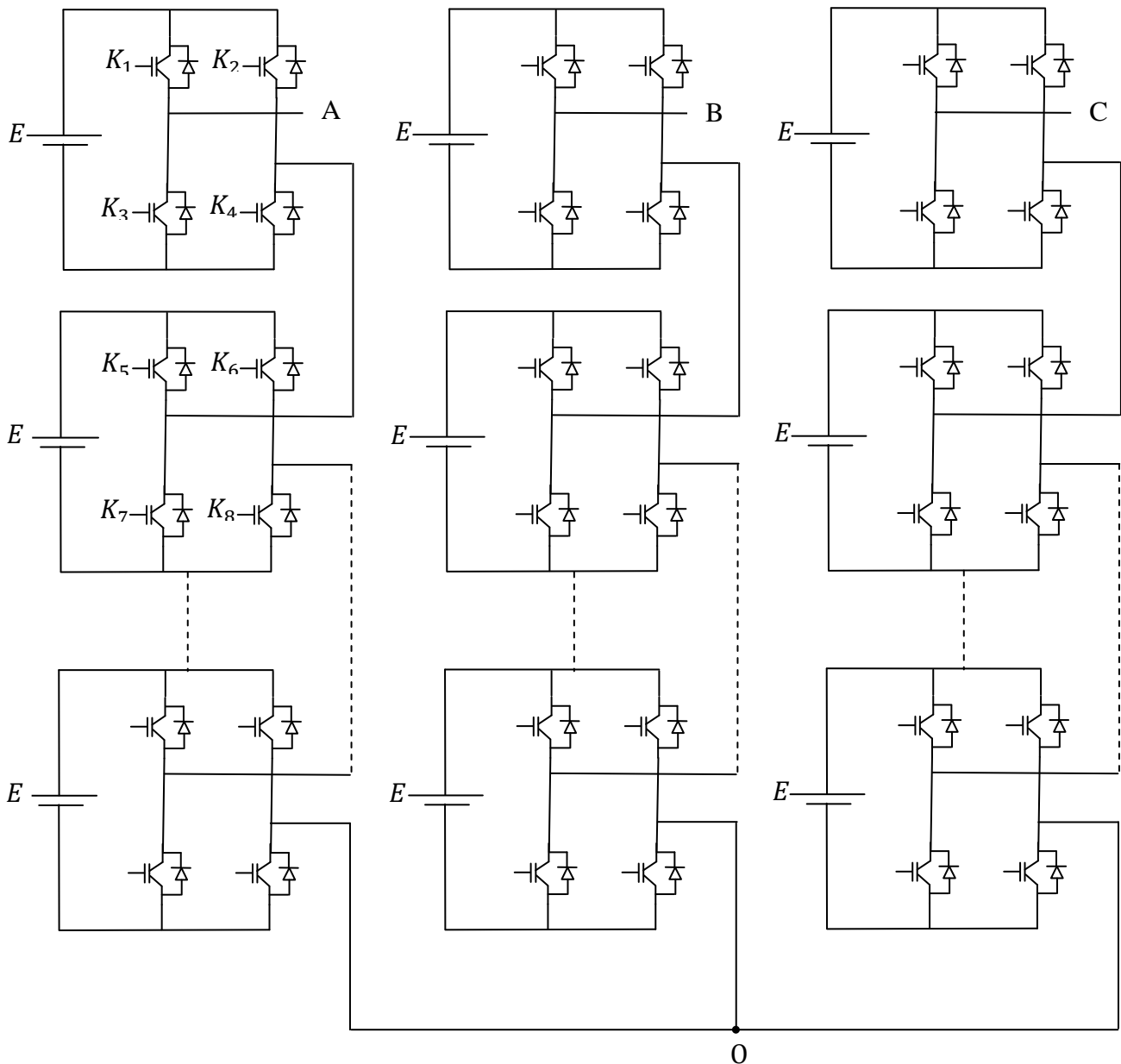


Figure II.9 Schéma d'un onduleur cascade en pont H à N niveaux

### II.5.2. Principe de fonctionnement

Dans chaque pont monophasé classique, nous avons deux interrupteurs commandés en complémentaire. Ainsi, le choix des interrupteurs à fermer ou à ouvrir dépendra de la valeur de la tension de sortie est comptée Pour obtenir le niveau E de chaque étage, les interrupteurs K1 et K4 doivent être fermés et les interrupteurs K2 et K4 ouverts. Ce qui donnera à la sortie du convertisseur cascadié en H une tension de  $V = (N - 1 / 2)E$  . Pour le 2 niveaux - E de chaque étage K1 et K4 sont ouverts et K2 et K4 sont fermés. Pour le niveau 0 de chaque étage, on ferme deux interrupteurs voisins de bras différent (par exemple K2 et K4) et les deux autres restent ouverts .Et pour les N niveaux de tensions du convertisseur cascadié en pont H, nous

combinerons différentes états de la tension de sortie de chaque étage. Le premier niveau de tension correspond à  $V_{ao} = (N - 1/2)E$  et le dernier niveau sera  $V = - (N - 1/2)E$

## **II.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié la description et la présentation du modèle de fonctionnement de l'onduleur triphasé à trois et cinq niveaux de la type Cascade. L'objectif général du chapitre suivant est d'étudier généralement la description et la présentation du modèle de fonctionnement de l'onduleur triphasé à trois et cinq niveaux type NPC à diodes flottantes.