

WO 2014/118010 A2

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

entre eux, les convertisseurs d'entrée (CONV_{x_En}) présentant une topologie identique, choisie parmi les architectures de type NPC, ANPC, NPP et SMC, - un étage de sortie (E_{out}) connecté à l'étage d'entrée de rang 1 et comportant un convertisseur de sortie (CONV_s) alimenté par une tension différentielle (V_{float}) résultant d'un premier potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un premier convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1 et d'un deuxième potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un deuxième convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1, le convertisseur de sortie (CONV_s) présentant une topologie choisie parmi une architecture à condensateur flottant (FC), SMC, NPC, NPP et ANPC.

Convertisseur de puissance multi-niveaux

Domaine technique de l'invention

- 5 La présente invention se rapporte à un convertisseur de puissance multi-niveaux. Le convertisseur multi-niveaux de l'invention est plus particulièrement destiné à fonctionner dans le domaine de la moyenne tension.

Etat de la technique

- 10 Certaines applications nécessitent aujourd'hui des tensions très élevées. Même si les performances des semi-conducteurs employés dans les convertisseurs de puissance sont sans cesse améliorées, leur tenue en tension n'est cependant pas encore suffisante pour pouvoir proposer des convertisseurs de puissance compacts et sûrs. Par conséquent, différentes solutions ont été élaborées pour permettre une
15 montée en tension tout en respectant les tenues en tension des composants.

- Une première solution consiste simplement en l'association en série des interrupteurs de commutation. Il est cependant difficile de répartir équitablement les contraintes en tension sur chacun des interrupteurs, aussi bien en régime statique qu'en régime dynamique. Par exemple, à l'amorçage, l'interrupteur à la commutation la
20 plus lente risque de subir une tension transitoire excessive tandis qu'au blocage, l'interrupteur le plus rapide risque la destruction. Pour faire face à ces difficultés, d'autres solutions ont été proposées, basées sur l'entrelacement des commandes des interrupteurs. Ces solutions permettent de proposer plusieurs niveaux de tension en vue de reconstituer les formes d'onde.

- 25 Une deuxième solution apparue est la topologie dite NPC (pour "Neutral Point Clamped"). Cette topologie apporte des améliorations significatives au problème d'équilibrage des tensions subies par les interrupteurs et permet de générer des formes d'ondes satisfaisantes. Cette topologie présente cependant des limites dans son utilisation et des inconvénients liés notamment à l'équilibrage de la tension des
30 condensateurs de bus. Cette topologie de type NPC a donc fait l'objet d'une amélioration en remplaçant les diodes par des interrupteurs commandés. La topologie améliorée se nomme ANPC (pour "Active Neutral Point Clamped") et a déjà été mise en œuvre dans certains produits (ACS 2000 de la société ABB).. Une alternative à la

topologie NPC, dénommée NPP (pour "Neutral Point Piloted") a par exemple été décrite dans le brevet US6930899.

Une troisième solution est apparue, utilisant des cellules imbriquées. Le convertisseur à cellules imbriquées permet de relier une source de tension à une source de courant en associant un nombre quelconque d'interrupteurs en série, quel que soit le type de conversion souhaité. Chaque cellule élémentaire comporte deux interrupteurs de commutation et un condensateur. Cependant, cette solution présente également des inconvénients liés à la présence des condensateurs flottants dans chaque cellule, leur nombre engendrant un surcoût et une quantité d'énergie stockée importante.

Afin de réduire la taille des condensateurs et l'énergie stockée dans le convertisseur, une quatrième solution a été proposée. Cette solution est désignée convertisseur multicellulaires superposées (SMC pour "Stacked Multicell Converter"). Cette solution, décrite dans le brevet EP1287609, consiste à associer plusieurs convertisseurs à cellules imbriquées.

Enfin, une dernière solution a été décrite dans le brevet US5625545. Cette solution consiste à associer la sortie des cellules en série et à alimenter chaque cellule par une source indépendante. Chaque cellule comporte un redresseur et un onduleur. Les sorties des cellules sont associées en série pour générer le niveau de tension souhaité sur la charge. Un décalage temporel des commandes des onduleurs est employé pour obtenir une tension multi-niveaux.

Des solutions ont par ailleurs été décrites dans les documents suivants :

- FANG ZHENG : "A Generalized Multilevel Inverter Topology with Self Voltage Balancing" – 01/03/2001, XP011022945
- ZHIGUO PAN ET AL : "A diode-clamped multilevel converter with reduced number of clamping diodes" – 22/02/2004, XP010703326
- ALIAN CHEN ET AL : "A novel type of combined multilevel converter topologies" – 02/11/2004, XP010799316
- ALIAN CHEN ET AL : "A multilevel converter topology with fault tolerant ability" – 22/02/2004, XP010703838
- BARBOSA P ET AL : "Active-Neutral-point-Clamped (ANPC) Multilevel Converter Technology", XP010933291
- US2007/025126A1

Les solutions décrites dans ces documents proposent de mettre en cascade des convertisseurs, tous de topologie identique.

- Le but de l'invention est de proposer une solution alternative à toutes les solutions antérieures, permettant d'associer un grand nombre de composants afin de pouvoir travailler à des niveaux de tension élevés, sans employer de transformateur et en limitant au maximum le nombre de composants passifs.

Exposé de l'invention

- Ce but est atteint par un convertisseur de puissance multi-niveaux comprenant :
- n étages d'entrée, n étant au moins égal 1, chaque étage d'entrée comportant n+1 convertisseurs d'entrée identiques connectés entre eux, chaque convertisseur étant alimenté par une tension d'entrée et commandé pour appliquer un potentiel électrique sur une sortie à partir de ladite tension d'entrée,
 - si n est supérieur ou égal à 2, chaque convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang n-1 étant alimenté par la tension résultante des potentiels électriques appliqués sur deux sorties par deux convertisseurs de rang n,
 - un étage de sortie connecté à l'étage d'entrée de rang 1 et comportant un convertisseur de sortie alimenté par une tension différentielle résultant d'un premier potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un premier convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1 et d'un deuxième potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un deuxième convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1, ledit convertisseur de sortie étant commandé pour appliquer un potentiel électrique sur une sortie,
 - les convertisseurs d'entrée présentant une topologie identique, choisie parmi les architectures de type NPC, ANPC, NPP et SMC,
 - le convertisseur de sortie présentant une topologie différente de la topologie choisie pour les convertisseurs d'entrée, ladite topologie du convertisseur de sortie étant choisie parmi une architecture à condensateur flottant, SMC, NPC, NPP et ANPC.

Selon une variante de réalisation, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie de type NPP et le convertisseur de sortie présente une topologie à condensateur flottant.

5 Selon une autre variante de réalisation, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie de type NPC et le convertisseur de sortie présente une topologie à condensateur flottant.

Selon une autre variante de réalisation, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie de type ANPC et le convertisseur de sortie présente une topologie à condensateur flottant.

10 Selon une autre variante de réalisation, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie de type NPP et le convertisseur de sortie présente une topologie de type SMC.

Selon une autre variante de réalisation, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie de type NPC et le convertisseur de sortie présente une
15 topologie de type SMC.

Selon une autre variante de réalisation, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie de type ANPC et le convertisseur de sortie présente une topologie de type SMC.

20

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages vont apparaître dans la description détaillée qui suit faite en regard des dessins annexés listés ci-dessous :

- 25 - la figure 1 représente de manière schématique, le convertisseur de puissance multi-niveaux de l'invention,
- la figure 2 représente le convertisseur multi-niveaux de l'invention comprenant un seul étage d'entrée et un étage de sortie,
- la figure 3 représente le convertisseur multi-niveaux de l'invention, ayant un étage d'entrée à topologie NPP et un étage de sortie à topologie à condensateur flottant,
30
- la figure 4 représente le convertisseur multi-niveaux de l'invention, ayant un étage d'entrée à topologie NPC et un étage de sortie à topologie à condensateur flottant,

- la figure 5 représente le convertisseur multi-niveaux de l'invention, ayant un étage d'entrée à topologie ANPC et un étage de sortie à topologie à condensateur flottant en sortie,
- les figures 6A à 6L illustrent les différentes séquences de passage du courant dans un convertisseur multi-niveaux de l'invention, ayant un étage d'entrée à topologie NPP et un étage de sortie à topologie à condensateur flottant.
- la figure 7 représente le convertisseur multi-niveaux de l'invention, ayant un étage d'entrée à topologie NPP et un étage de sortie à topologie SMC,

Description détaillée d'au moins un mode de réalisation

L'invention concerne un convertisseur de puissance multi-niveaux permettant de travailler à des tensions élevées, plus précisément dans le domaine de la moyenne tension allant de 2.3kV à 13.8kV. Il repose sur le fait d'associer des structures élémentaires en cascade, chaque structure élémentaire étant basée sur l'association en série de composants en quantité limitée.

En référence à la figure 1, le convertisseur multi-niveaux de l'invention comporte ainsi :

- n étages d'entrée E_{in_n} , n étant au moins égal 1, chaque étage d'entrée E_{in_n} comportant n+1 convertisseurs d'entrée $CONV_{x_En}$ (x allant de 1 à n+1) identiques connectés entre eux, chaque convertisseur $CONV_{x_En}$ étant alimenté par une tension d'entrée V_{x_En} et commandé pour appliquer un potentiel électrique sur une sortie S_{y_En} (y allant de 1 à n) à partir de ladite tension d'entrée,
- si n est supérieur ou égal à 2, chaque convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang n-1 étant alimenté par la tension résultante des potentiels électriques appliqués sur deux sorties par deux convertisseurs de rang n,
- un étage de sortie E_{out} connecté à l'étage d'entrée de rang 1 et comportant un convertisseur de sortie $CONV_S$ alimenté par une tension

différentielle V_{float} résultant d'un premier potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un premier convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1 et d'un deuxième potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un deuxième convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1. Le convertisseur de sortie est commandé pour appliquer un potentiel électrique sur sa sortie S_{1_S} .

Selon l'invention, les convertisseurs d'entrée présentent une topologie identique. Celle-ci est choisie parmi les architectures de type NPC ("Neutral Point Clamped"), ANPC ("Active Neutral Point Clamped"), NPP ("Neutral Point Piloted") et SMC ("Stacked Multicell Converter").

Selon l'invention, le convertisseur de sortie présente une topologie différente de la topologie choisie pour les convertisseurs d'entrée et est choisie parmi une architecture à condensateur flottant (FC pour "Flying Capacitor"), SMC, NPC, NPP et ANPC.

Dans la suite de la description, pour des raisons de simplification, nous nous intéresserons à une architecture de base répondant aux critères définis ci-dessus et comportant un seule étage d'entrée E_{in_1} et un étage de sortie E_{out} . Cette architecture de base comporte ainsi :

- Un premier convertisseur d'entrée $CONV_{1_E1}$ alimenté en entrée par une première tension V_{1_E1} et commandé pour appliquer un premier potentiel électrique sur une première sortie S_{1_E1} ,
- Un deuxième convertisseur d'entrée $CONV_{2_E1}$ alimenté en entrée par une deuxième tension V_{2_E1} et commandé pour appliquer un deuxième potentiel électrique sur une deuxième sortie S_{2_E1} ,
- Un convertisseur de sortie $CONV_S$ connecté à la première sortie S_{1_E1} et à la deuxième sortie S_{2_E1} en vue d'être alimenté par une tension différentielle V_{float} résultant du premier potentiel électrique et du deuxième potentiel électrique et commandé pour appliquer un potentiel électrique sur une sortie S_{1_S} .

En référence aux figures 3 à 5, une première proposition est décrite ci-dessous.

Dans l'étage d'entrée E_{in_1} , les convertisseurs d'entrée $CONV_{1_E1}$,
5 $CONV_{2_E1}$ sont par exemple réalisés selon des topologies simples, associant en série deux interrupteurs. Dans ces solutions, la tension différentielle V_{float} est égale à la tension V ($=V_{1_E1}=V_{2_E1}$), soit à la moitié de la tension d'entrée totale ($V_{1_E1} + V_{2_E1}$). Chacun des interrupteurs d'entrée doit donc supporter la moitié de la tension d'entrée.

Dans l'étage de sortie, le convertisseur est choisi de manière à employer les
10 mêmes interrupteurs que ceux de l'étage d'entrée et de manière à limiter le nombre d'interrupteurs à cet étage.

Différentes architectures répondant à ces critères sont représentées sur les figures 3 à 8.

15 La figure 3 représente ainsi un convertisseur multi-niveaux du type de l'invention comprenant des convertisseurs d'entrée $CONV_{1_E1}$, $CONV_{2_E1}$ ayant une topologie NPP et un convertisseur de sortie $CONV_S$ ayant une topologie de type à condensateur flottant.

La figure 4 représente ainsi un convertisseur multi-niveaux du type de
20 l'invention comprenant des convertisseurs d'entrée $CONV_{1_E1}$, $CONV_{2_E1}$ ayant une topologie NPC et un convertisseur de sortie $CONV_S$ ayant une topologie de type à condensateur flottant.

La figure 5 représente ainsi un convertisseur multi-niveaux du type de l'invention comprenant des convertisseurs d'entrée $CONV_{1_E1}$, $CONV_{2_E1}$ ayant une
25 topologie ANPC et un convertisseur de sortie $CONV_S$ ayant une topologie de type à condensateur flottant.

Les figures 6A à 6L illustrent plus particulièrement les séquences de fonctionnement de l'architecture ayant une topologie NPP pour les convertisseurs d'entrée et une topologie à condensateur flottant pour le convertisseur de sortie.

Pour l'étage de sortie, certaines règles doivent être respectées :

- 5 - Les transistors T1 et T2 ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- Les transistors T3 et T4 ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.

10 Pour maintenir constante la tension moyenne aux bornes du condensateur flottant C_{float} , les commandes des transistors T1 et T3, respectivement T2 et T4, sont identiques à un déphasage près, ce qui va permettre au courant de charge de traverser transitoirement ledit condensateur.

15 La commande des interrupteurs de l'étage de sortie est par exemple basée sur une modulation intersective avec N porteuses triangulaires, temporellement décalées (idéalement de $2\pi/n$), à la fréquence de découpage correspondant aux n cellules (ici N est donc égal à 2) de cet étage et une modulante sinusoïdale à la fréquence du signal de sortie pour déterminer les instants de commutation des interrupteurs.

20 Pour l'étage d'entrée, certaines règles doivent être respectées :

- Les transistors (T5a, T5b), (T7a, T7b), (T9a, T9b), (T11a, T11b) sont associés deux par deux de telle sorte que leurs commutations soient simultanées.
- 25 - La commande simultanée de T5 et T6 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- La commande simultanée de T5 et T7 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- La commande simultanée de T7 et T11 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- 30 - La commande simultanée de T7 et T8 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- La commande simultanée de T9 et T10 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- La commande simultanée de T11 et T12 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.
- 35 - La commande simultanée de T11 et T12 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.

- La commande simultanée de T9 et T11 est interdite. Ces interrupteurs ont un fonctionnement complémentaire au temps mort près.

Des signaux complémentaires sont employés pour commander les interrupteurs T7 et T9, ces signaux étant eux-mêmes complémentaires des signaux de commande des interrupteurs T8 et T10. Ces signaux sont fonction du signe de la tension de consigne.

La commande des interrupteurs T5, T6, T11 et T12 emploie par exemple deux porteuses triangulaires décalées en amplitude et déphasées par rapport aux porteuses employées pour la commande des interrupteurs de l'étage de sortie, ceci afin de limiter le contenu harmonique de la tension de sortie.

En respectant les règles définies ci-dessus, les différentes séquences de fonctionnement sont illustrées sur les figures 6A à 6L. Chaque figure montre un trajet différent pour le courant à travers l'étage d'entrée et l'étage de sortie.

15

Ces règles de fonctionnement sont parfaitement adaptées lorsque les tensions aux bornes des condensateurs sont équilibrées. Cependant, si un équilibrage de ces tensions est nécessaire, celui-ci doit être réalisé. Un exemple de contrôle est ainsi décrit ci-dessous.

En liaison avec la topologie présentée en figure 4, nous décrivons ci-dessous un principe d'équilibrage des tensions aux bornes des condensateurs d'un convertisseur multi-niveaux de l'invention.

Sur la figure 4, le convertisseur multi-niveaux de l'invention comporte plusieurs cellules de commutation. Chaque cellule de commutation est formée de deux interrupteurs (T1, T1' – T2, T2' – T3U, T3'U – T3L, T3'L – T4U, T4'U – T4L, T4'L) dont le fonctionnement est complémentaire, c'est-à-dire que lorsque l'un est conducteur, l'autre est bloqué.

Une fonction de commutation f_k est employée pour décrire le fonctionnement de chaque cellule.

Si $f_k=1$, cela signifie que l'interrupteur Tk est fermé et que l'interrupteur T'k est ouvert.

Si $f_k=0$, cela signifie que l'interrupteur Tk de la cellule est ouvert et que l'interrupteur T'k est fermé.

Dans une topologie telle que celle d'un convertisseur multi-niveaux ayant la topologie de la figure 4, la tension d'entrée doit être équitablement répartie entre les condensateurs d'entrée C1, C2, C3, C4, et, pour assurer une bonne répartition des

tensions entre les interrupteurs, la tension du condensateur C_f doit être égale au quart de la tension d'entrée.

Le contrôle des cellules de commutation est réalisé pour répondre aux trois
5 objectifs suivants :

- Obtention de la tension de sortie souhaitée,
- Equilibrage de la tension V_{Cf} aux bornes du condensateur flottant C_f ,
- Equilibrage de la tension V_{dc} du bus continu formé par les condensateurs C_1 , C_2 , C_3 et C_4 .

10

Equilibrage de la tension V_{Cf}

La tension V_{Cf} aux bornes du condensateur flottant C_f est modifiée par le passage d'un courant dans celui-ci. Le tableau ci-dessous montre, selon les états des interrupteurs, la valeur du courant de sortie traversant le condensateur flottant :

15

Etat	$f4U$ $f4L$	$f3U$ $f3L$	$f2$	$f1$	Tension Phase	C_f
V1	0	0	0	1	$-V_{dc}/4$	$-I_s$
V2	0	0	1	0	$-V_{dc}/4$	I_s
V5	0	1	0	1	0	$-I_s$
V6	0	1	1	0	0	I_s
V9	1	1	0	1	$V_{dc}/4$	$-I_s$
V10	1	1	1	0	$V_{dc}/4$	I_s

Dans les autres états pris par les interrupteurs, le condensateur flottant C_f n'est parcouru par aucun courant, sa tension ne peut donc pas évoluer et l'équilibrage
20 n'est alors pas nécessaire, ni possible.

En résumé, si une tension d'une valeur de $-V_{dc}/4$ est demandée en sortie, l'unité de commande des interrupteurs choisit entre les états V1 ou V2, en tenant compte de l'évolution de la tension V_{Cf} aux bornes du condensateur flottant.

25 Pour obtenir une tension en sortie nulle, l'unité de commande doit choisir entre les états V5 et V6 du tableau ci-dessus selon l'état de la tension V_{Cf} aux bornes du condensateur flottant.

Pour obtenir une tension de sortie de $V_{dc}/4$, l'unité de commande doit choisir entre les états V9 et V10 du tableau ci-dessus selon l'état de la tension V_{Cf} aux bornes du condensateur flottant.

5

Equilibrage de la tension Vdc du bus continu

En ce qui concerne l'équilibrage de la tension Vdc du bus continu, il est connu
10 que le point milieu O présente un potentiel flottant fixe en valeur moyenne mais que ce potentiel fluctue autour de cette valeur moyenne selon l'évolution des conditions de charge ou de la commande des interrupteurs. Cette fluctuation doit être maîtrisée pour rester dans une plage de fonctionnement acceptable.

La topologie de la figure 4 comporte trois points intermédiaires O_+ , O, O_- sur
15 les convertisseurs d'entrée. Au niveau de ces trois points, trois courants I_{O+} , I_O et I_{O-} sont susceptibles de circuler.

En traitant l'impact de chacun de ces trois courants, on obtient les résultats
suivants :

20

- Avec un courant I_{O+} non nul et les courants I_O et I_{O-} supposés nuls :

$$\Delta V_{C1} = \frac{1}{4} I_{O+} * \frac{Ts}{C}$$

$$\Delta V_{C2} = \Delta V_{C3} = \Delta V_{C4} = -\frac{1}{4} I_{O+} * \frac{Ts}{C}$$

25

Avec :

TS qui représente la période de découpage,

C qui représente la capacité des condensateurs C1, C2, C3 et C4,

ΔV_{Ci} représente l'évolution de la tension aux bornes du condensateur Ci (i =1, 2, 3 ou 4) sur la période de découpage.

30

- Avec un courant I_O non nul et les courants I_{O+} et I_{O-} supposés nuls :

$$\Delta V_{C1} = \Delta V_{C2} = \frac{1}{2} I_O * \frac{Ts}{C}$$

$$\Delta V_{C3} = \Delta V_{C4} = -\frac{1}{2} I_O * \frac{Ts}{C}$$

- Avec un courant I_{O-} non nul et les courants I_{O+} et I_O supposés nuls :

$$\Delta V_{C1} = \Delta V_{C2} = \Delta V_{C3} = \frac{1}{4} I_{O-} * \frac{Ts}{C}$$

$$\Delta V_{C4} = -\frac{3}{4} I_{O-} * \frac{Ts}{C}$$

5

En utilisant le principe de superposition, l'évolution globale des tensions aux bornes des condensateurs est obtenue en effectuant la somme des évolutions obtenues dans chacune des configurations possibles :

10

$$\Delta V_{C1} = \left[\frac{1}{4} I_{O+} + \frac{1}{2} I_O + \frac{1}{4} I_{O-} \right] * \frac{Ts}{C}$$

$$\Delta V_{C2} = \left[-\frac{1}{4} I_{O+} + \frac{1}{2} I_O + \frac{1}{4} I_{O-} \right] * \frac{Ts}{C}$$

$$\Delta V_{C3} = \left[-\frac{1}{4} I_{O+} - \frac{1}{2} I_O + \frac{1}{4} I_{O-} \right] * \frac{Ts}{C}$$

$$\Delta V_{C4} = \left[-\frac{1}{4} I_{O+} - \frac{1}{2} I_O - \frac{3}{4} I_{O-} \right] * \frac{Ts}{C}$$

15

Afin de découpler les grandeurs, nous pouvons remarquer que :

- L'équilibre du point $O+$ est lié à la relation :

$$\Delta V_{O+} = \Delta V_{C1} - \Delta V_{C2} = \frac{1}{2} I_{O+} * \frac{Ts}{C}$$

- L'équilibre du point $O-$ est lié à la relation :

20

$$\Delta V_{O-} = \Delta V_{C3} - \Delta V_{C4} = I_{O-} * \frac{Ts}{C}$$

- L'équilibre du point O est lié à la relation :

$$\Delta V_O = (\Delta V_{C1} + \Delta V_{C2}) - (\Delta V_{C3} + \Delta V_{C4})$$

Soit :

25

$$\Delta V_O = \left[\frac{I_{O+}}{2} + 2 * I_O + I_{O-} \right] * \frac{Ts}{C} = \Delta V_{O+} + \Delta V_{O-} + 2 * I_O * \frac{Ts}{C}$$

Le tableau suivant reprend les états des interrupteurs qui provoque la présence des courants I_{O+} , I_O , I_{O-} et qui engendre donc une évolution des tensions V_{C1} , V_{C2} , V_{C3} , V_{C4} aux bornes des condensateurs.

Etat	$f4U$ $f4L$	$f3U$ $f3L$	$f2$	$f1$	Tension de phase	I_{O+}	I_O	I_{O-}
V1	0	0	0	1	$-V_{dc}/4$			
V2	0	0	1	0	$-V_{dc}/4$		I_S	
V4	0	1	0	0	$-V_{dc}/4$			I_S
V3	0	0	1	1	0		I_S	
V5	0	1	0	1	0			I_S
V6	0	1	1	0	0	I_S		
V8	1	1	0	0	0		I_S	
V7	0	1	1	1	$V_{dc}/4$	I_S		
V9	1	1	0	1	$V_{dc}/4$		I_S	
V10	1	1	1	0	$V_{dc}/4$			

5

Pour assurer une tension de sortie d'une valeur de $-V_{dc}/4$, l'unité de commande choisit, selon l'état de charge des condensateurs du bus, l'un des états V1, V2 ou V4 définis dans le tableau ci-dessus de manière à obtenir le courant I_O ou I_{O-} .

10

Pour assurer une tension de sortie nulle, l'unité de commande choisit, selon l'état de charge des condensateurs du bus, l'un des états V3, V5, V6 ou V7 définis dans le tableau ci-dessus de manière à obtenir le courant I_O , I_{O-} ou I_{O+} .

15

Pour assurer une tension de sortie d'une valeur de $V_{dc}/4$, l'unité de commande choisit, selon l'état de charge des condensateurs du bus, l'un des états V7, V9 ou V10 définis dans le tableau ci-dessus de manière à obtenir le courant I_O ou I_{O+} .

20

Pour cette première proposition, toutes les configurations possibles ne sont pas représentées sur les dessins. En partant des figures 3 à 5, ces autres configurations consistent à remplacer le convertisseur de sortie $CONV_S$ à condensateur flottant par un convertisseur de sortie ayant une topologie NPC, NPP ou ANPC.

En référence à la figure 7, une deuxième proposition est décrite ci-dessous.

Cette deuxième proposition consiste à associer un étage d'entrée E_{in_1} dont les convertisseurs d'entrée $CONV_{1_E1}$, $CONV_{2_E1}$ emploient une topologie simple et
5 un étage de sortie E_{out} dont le convertisseur de sortie $CONV_S$ présente une topologie plus complexe, ayant un nombre élevé d'interrupteurs en série.

En entrée, comme dans la première proposition, les convertisseurs $CONV_{1_E1}$, $CONV_{2_E1}$ sont réalisés suivant une topologie de type NPC, NPP ou ANPC.

10 En sortie, le convertisseur $CONV_S$ est réalisé suivant une topologie de type SMC qui permet d'associer un nombre quelconque d'interrupteurs en série en limitant la taille des condensateurs flottants employés.

La figure 7 représente ainsi un convertisseur multi-niveaux présentant un étage d'entrée E_{in_1} dont les convertisseurs d'entrée $CONV_{1_E1}$, $CONV_{2_E1}$ sont à
15 topologie NPP et un étage de sortie E_{out} dont le convertisseur de sortie $CONV_S$ est à topologie SMC.

Les autres configurations possibles pour cette deuxième proposition, c'est-à-dire NPC+SMC et ANPC+SMC, ne sont pas représentés mais il faut comprendre qu'elles font partie de l'invention.

20

L'invention vise donc à associer en cascade des modules de base connus afin de pouvoir mettre en série un nombre adapté d'interrupteurs. Les différentes architectures proposées permettent de s'adapter aux différentes tensions de fonctionnement, pouvant aller de 2.3kV à 13.8kV.

25 La première proposition décrite ci-dessus présente l'avantage de ne nécessiter qu'une faible quantité d'interrupteurs.

La deuxième proposition permet pour sa part d'augmenter le nombre d'interrupteurs en série, mais également de mixer le type des interrupteurs. Les interrupteurs employés pour les étages d'entrée seront préférentiellement de type
30 différent des interrupteurs employés pour l'étage de sortie. Pour respecter le niveau de tension nécessaire pour chacun des composants, la tension différentielle appliquée en

entrée du convertisseur de sortie est de $E/2$. Pour l'étage d'entrée, deux interrupteurs doit pouvoir supporter $E/2$ tandis que les six interrupteurs du convertisseur de sortie doivent supporter $E/2$.

- Dans les deux propositions ci-dessus, un contrôle tel que décrit ci-dessus
- 5 pourra être nécessaire pour assurer un équilibrage des tensions aux bornes des condensateurs. Les principes d'équilibrage s'appliquent de manière identique à toutes les topologies décrites dans la présente demande.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur de puissance multi-niveaux comprenant :
- n étages d'entrée (E_{in_n}), n étant au moins égal 1, chaque étage d'entrée comportant n+1 convertisseurs d'entrée ($CONV_{x_En}$) identiques connectés entre eux, chaque convertisseur étant alimenté par une tension d'entrée (V_{x_En}) et commandé pour appliquer un potentiel électrique sur une sortie (S_{y_En}) à partir de ladite tension d'entrée,
 - si n est supérieur ou égal à 2, chaque convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang n-1 étant alimenté par la tension résultante des potentiels électriques appliqués sur deux sorties par deux convertisseurs de rang n,
 - un étage de sortie (E_{out}) connecté à l'étage d'entrée de rang 1 et comportant un convertisseur de sortie ($CONV_s$) alimenté par une tension différentielle (V_{float}) résultant d'un premier potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un premier convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1 et d'un deuxième potentiel électrique appliqué sur la sortie d'un deuxième convertisseur d'entrée de l'étage d'entrée de rang 1, ledit convertisseur de sortie étant commandé pour appliquer un potentiel électrique sur une sortie (S_{1_s}),
caractérisé en ce que :
 - les convertisseurs d'entrée ($CONV_{x_En}$) présentent une topologie identique, choisie parmi les architectures de type NPC, ANPC, NPP et SMC,
 - le convertisseur de sortie ($CONV_s$) présente une topologie différente de la topologie choisie pour les convertisseurs d'entrée, ladite topologie du convertisseur de sortie étant choisie parmi une architecture à condensateur flottant (FC), SMC, NPC, NPP et ANPC.
2. Convertisseur de puissance selon la revendication 1, caractérisé en ce que les convertisseurs d'entrée ($CONV_{x_En}$) présentent une topologie de type NPP et en ce que le convertisseur de sortie ($CONV_s$) présente une topologie à condensateur flottant.

3. Convertisseur de puissance selon la revendication 1, caractérisé en ce que les convertisseurs d'entrée (CONV_{x_En}) présentent une topologie de type NPC et en ce que le convertisseur de sortie (CONV_S) présente une topologie à condensateur flottant.

4. Convertisseur de puissance selon la revendication 1, caractérisé en ce que les convertisseurs d'entrée (CONV_{x_En}) présentent une topologie de type ANPC et en ce que le convertisseur de sortie (CONV_S) présente une topologie à condensateur flottant.

5. Convertisseur de puissance selon la revendication 1, caractérisé en ce que les convertisseurs d'entrée (CONV_{x_En}) présentent une topologie de type NPP et en ce que le convertisseur de sortie (CONV_S) présente une topologie de type SMC.

6. Convertisseur de puissance selon la revendication 1, caractérisé en ce que les convertisseurs d'entrée (CONV_{x_En}) présentent une topologie de type NPC et en ce que le convertisseur de sortie (CONV_S) présente une topologie de type SMC.

7. Convertisseur de puissance selon la revendication 1, caractérisé en ce que les convertisseurs d'entrée (CONV_{x_En}) présentent une topologie de type ANPC et en ce que le convertisseur de sortie (CONV_S) présente une topologie de type SMC.

30

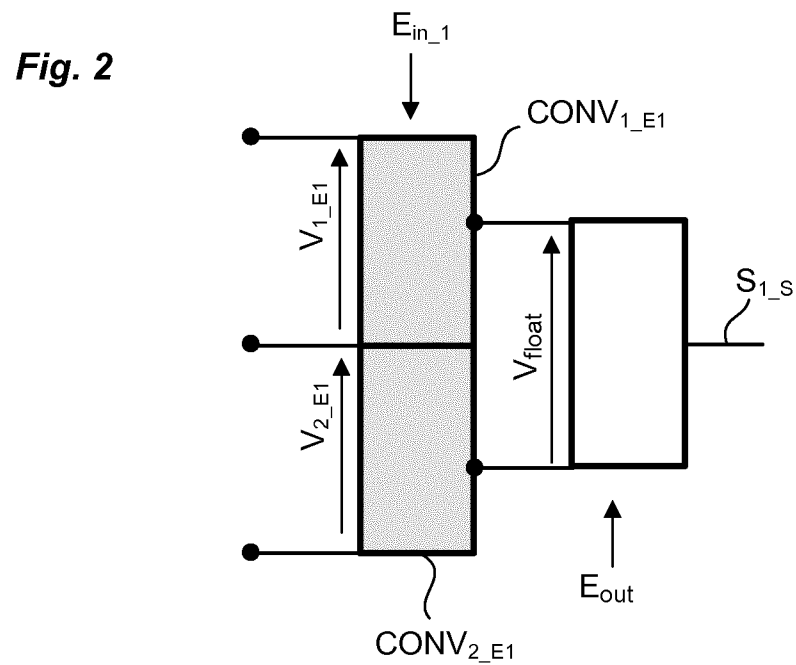
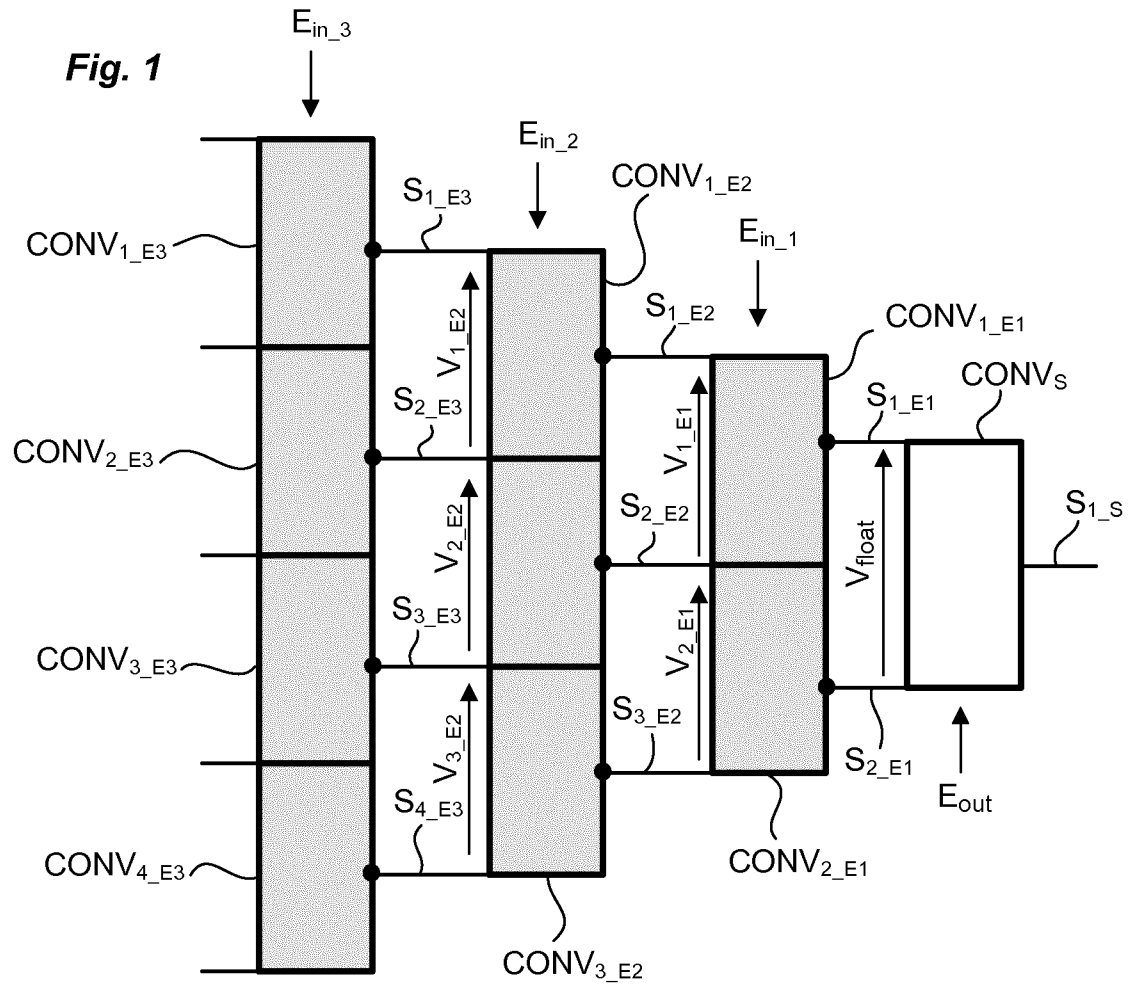


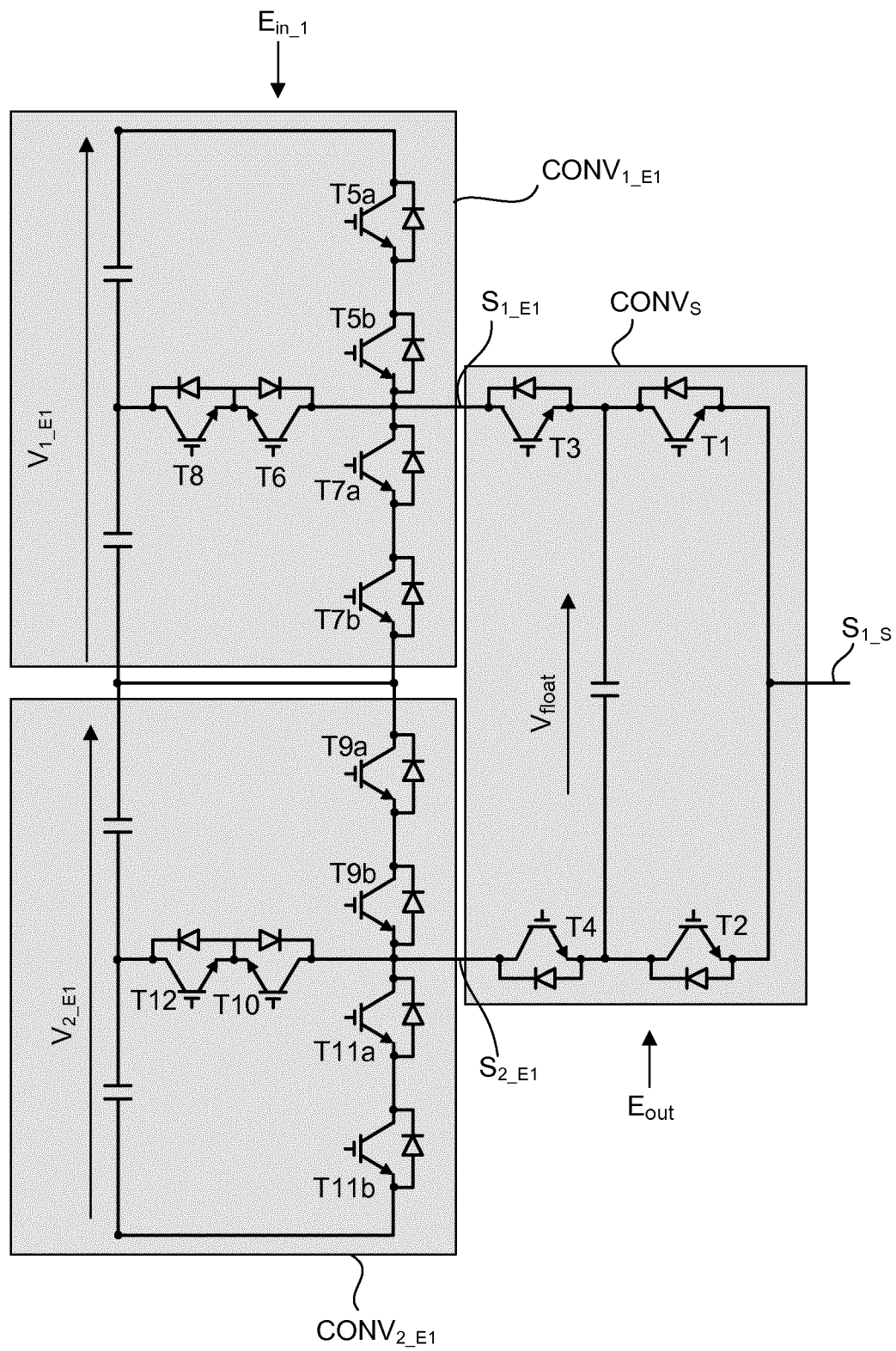
Fig. 3

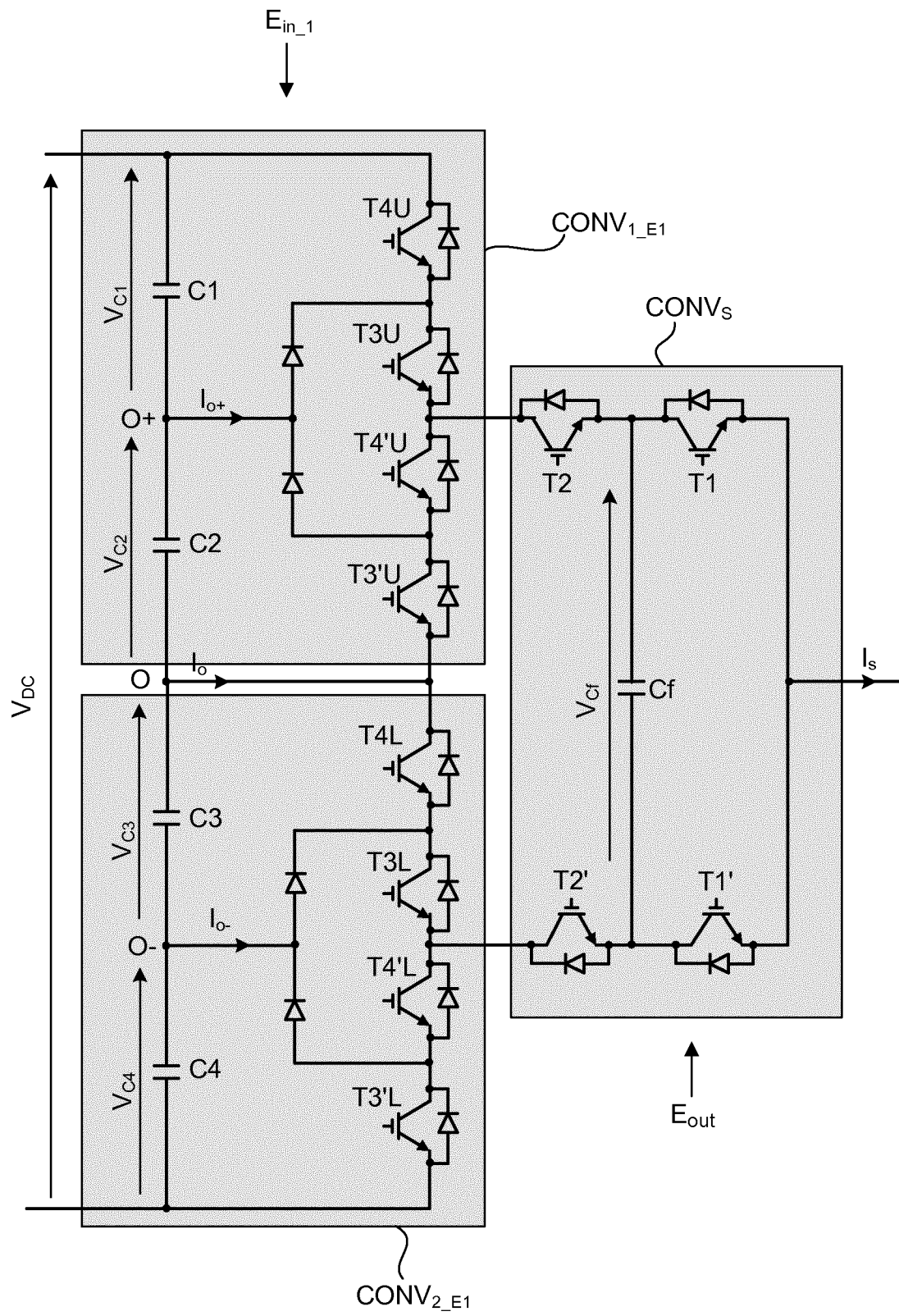
Fig. 4

Fig. 5

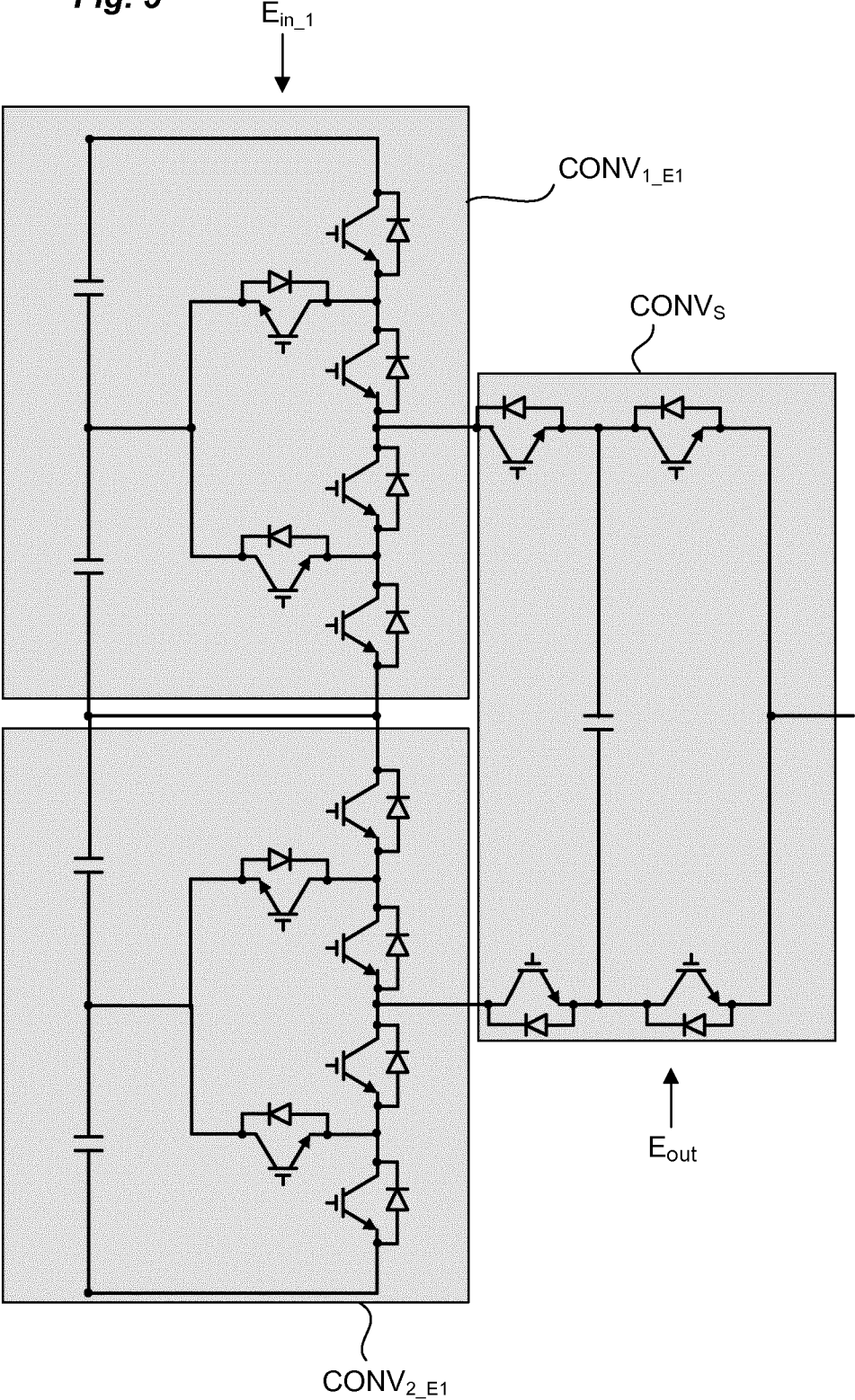


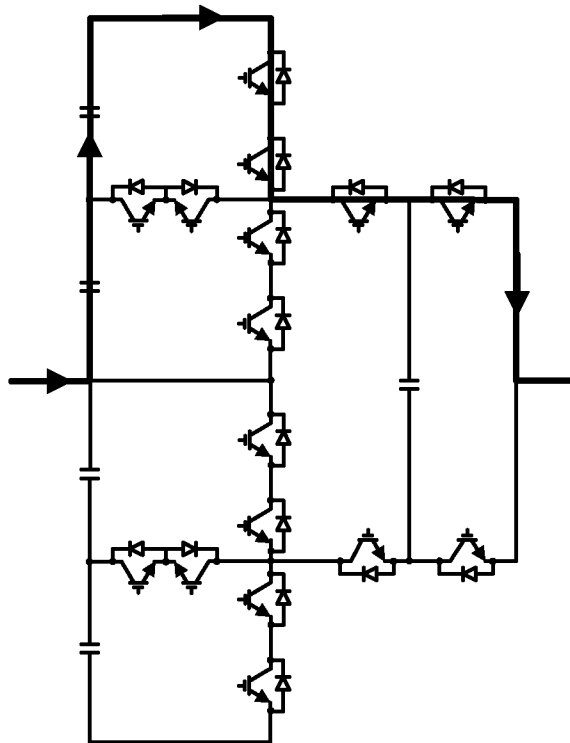
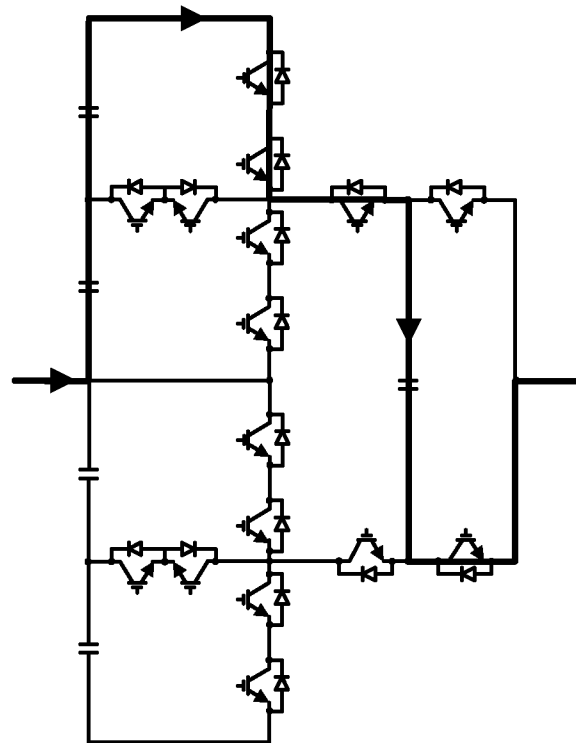
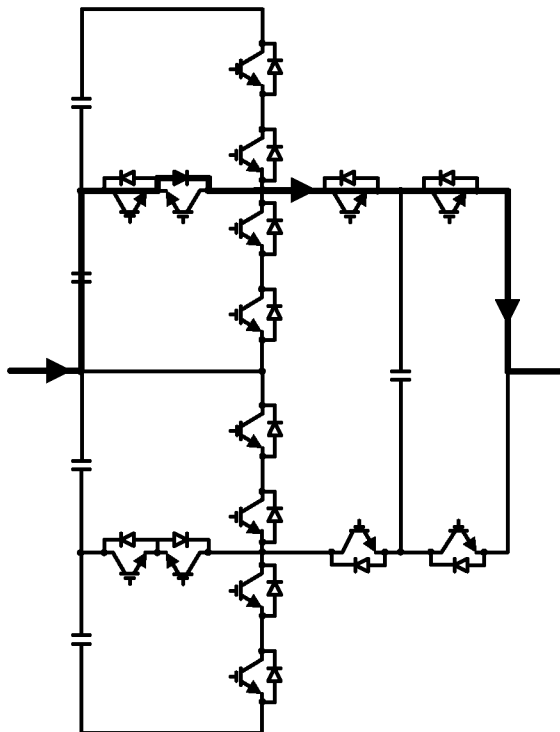
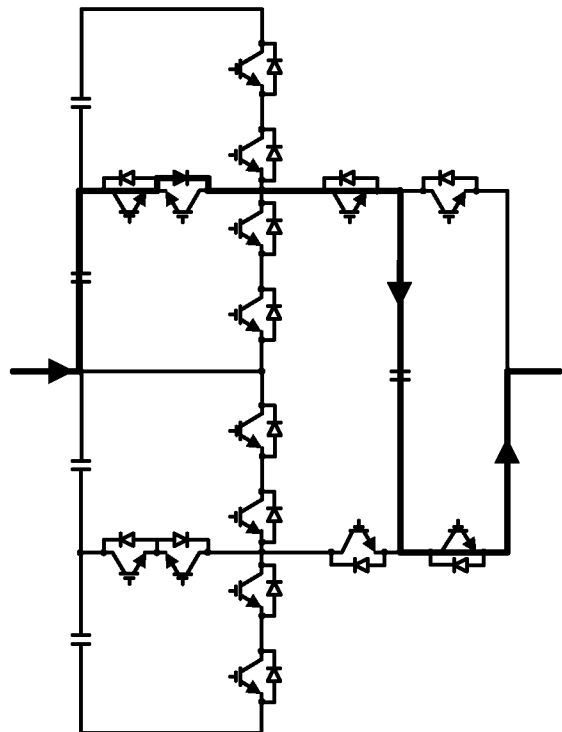
Fig. 6A*Fig. 6B**Fig. 6C**Fig. 6D*

Fig. 6E

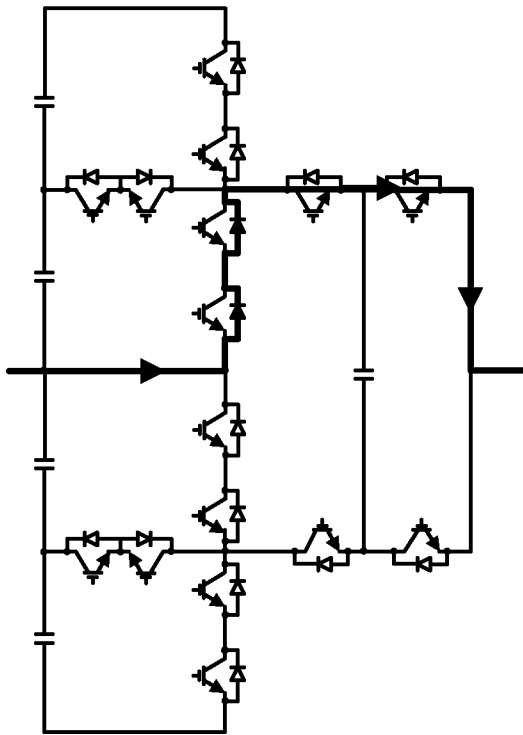


Fig. 6F

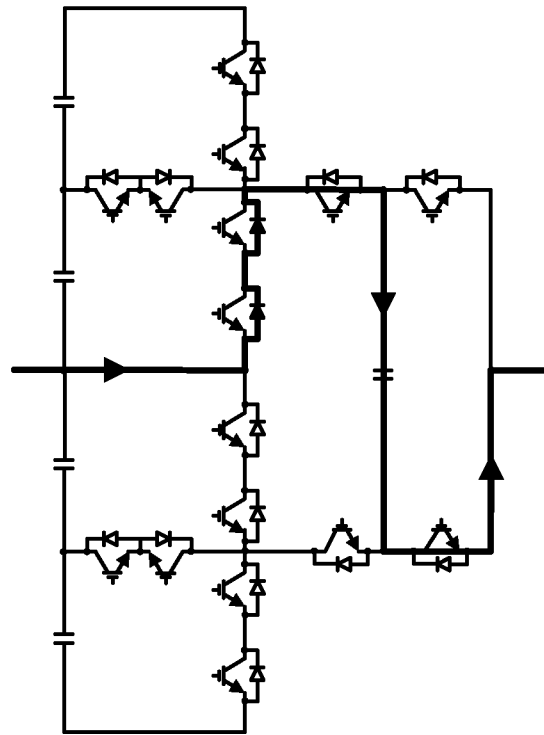


Fig. 6G

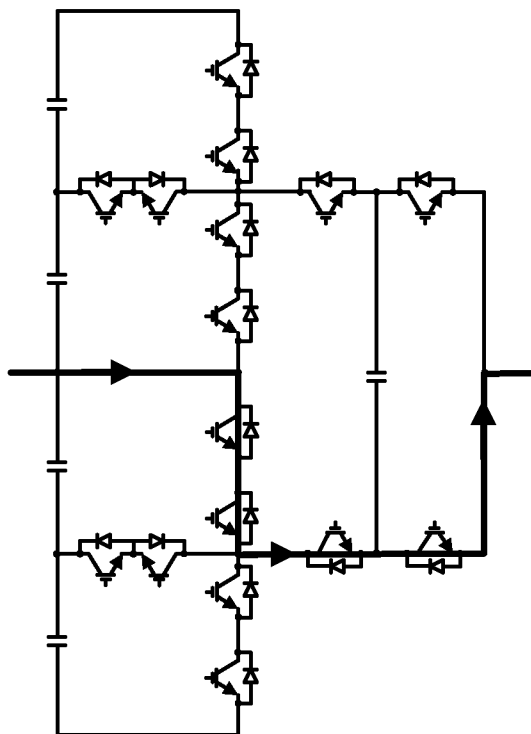


Fig. 6H

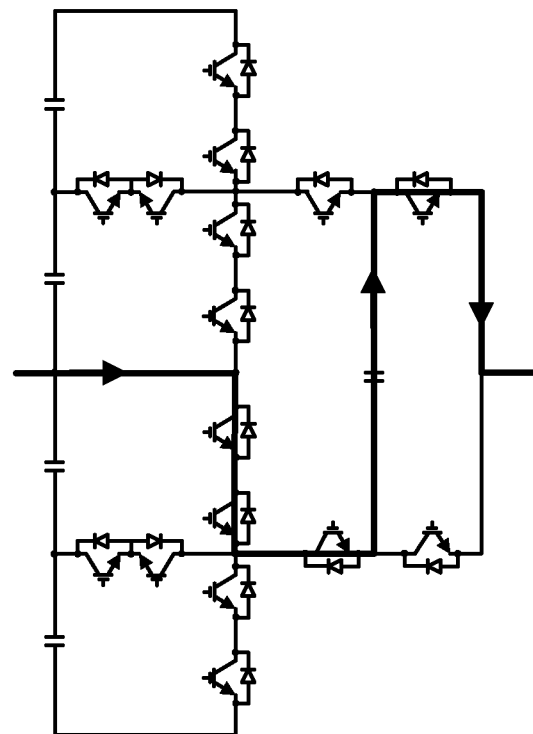


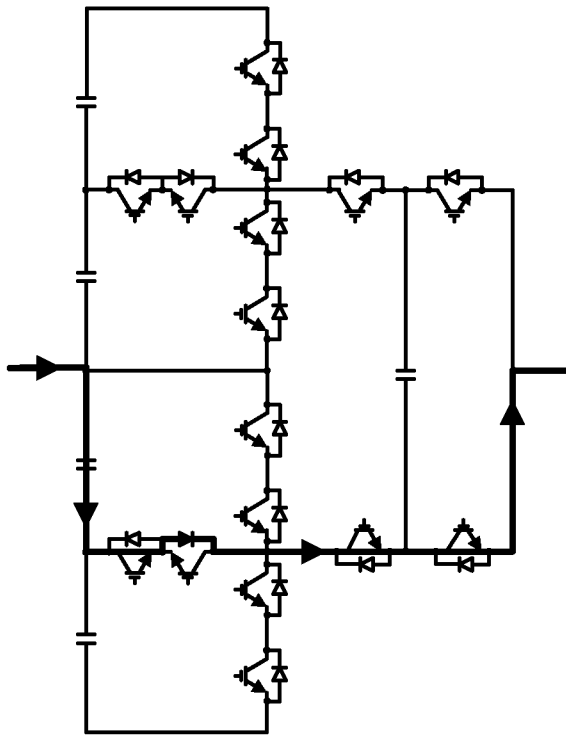
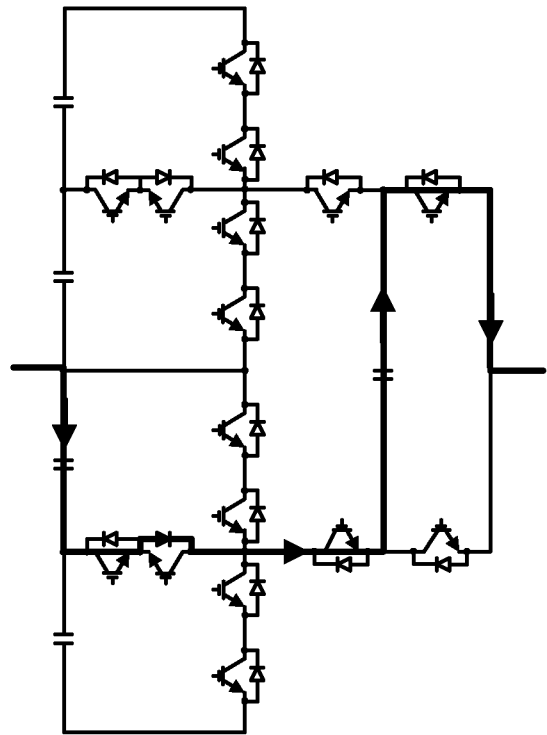
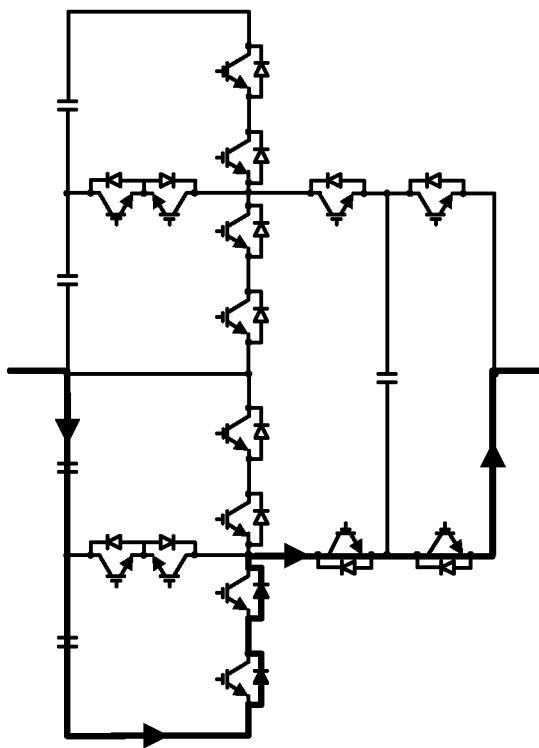
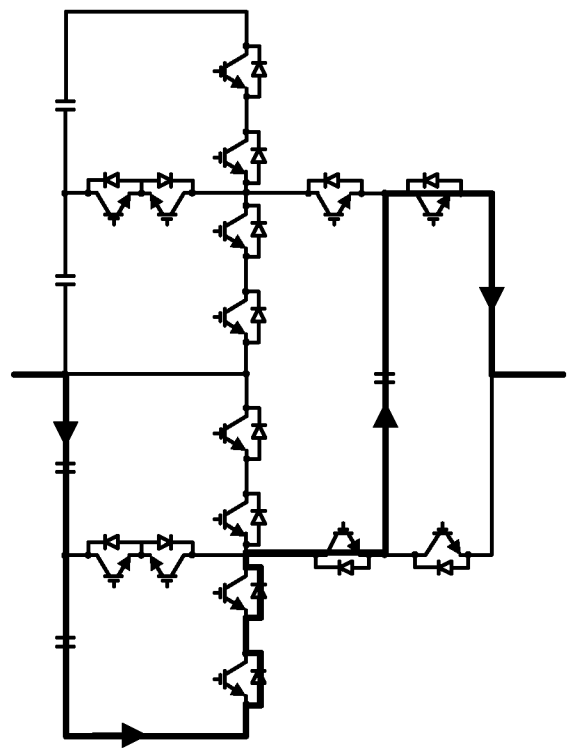
Fig. 6I*Fig. 6J**Fig. 6K**Fig. 6L*

Fig. 7

