

# Une topologie multiniveaux novatrice au service de l'éolien

Autor(en): **Chaudhuri, Toufann**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **101 (2010)**

Heft 10

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-856134>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Une topologie multiniveaux novatrice au service de l'éolien

## Présentation des topologies « cross connected »

Le domaine de la conversion d'énergie DC/AC fait aujourd'hui de plus en plus appel aux topologies de type multiniveaux. Développées depuis le début des années 1980, il en existe un certain nombre à ce jour. Le récent développement d'une famille de topologies inédites, dites « cross connected », ainsi que la mise en évidence des caractéristiques fondamentales de chacune des familles déjà existantes, permet de formaliser le choix d'une topologie sur des critères parfaitement objectifs.

Toufann Chaudhuri

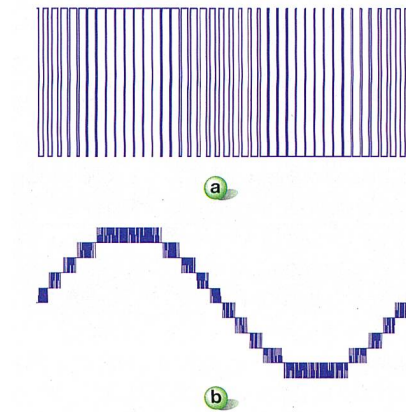
Depuis la première introduction au début des années 1980 des topologies multiniveaux dans le domaine de la conversion d'énergie DC/AC (courant continu/courant alternatif) [1], un grand nombre de solutions ont été développées. Certaines connaissent des applications industrielles [2-3], mais beaucoup sont restées au stade d'étude. Pour comprendre les raisons qui peuvent justifier l'utilisation de telle ou telle topologie, il est indispensable de bien comprendre quels sont les avantages et inconvénients liés à ces différentes structures.

Le principe de la conversion multiniveaux est de reproduire une tension

AC à l'aide non seulement de 2 niveaux, selon la méthode dite de modulation par largeur d'impulsion (figure 1a), mais en utilisant plusieurs niveaux de tensions intermédiaires, généralement produits par des capacités commutées (figure 1b). La modulation par largeur d'impulsion s'applique également dans ce dernier cas, mais de niveau à niveau.

Les avantages du multiniveaux sont multiples :

- Il permet d'augmenter la qualité du courant et de la tension de sortie, et donc de réduire les besoins de filtrage.
- Dans certains cas, il peut réduire le besoin de tenues en tension des semi-



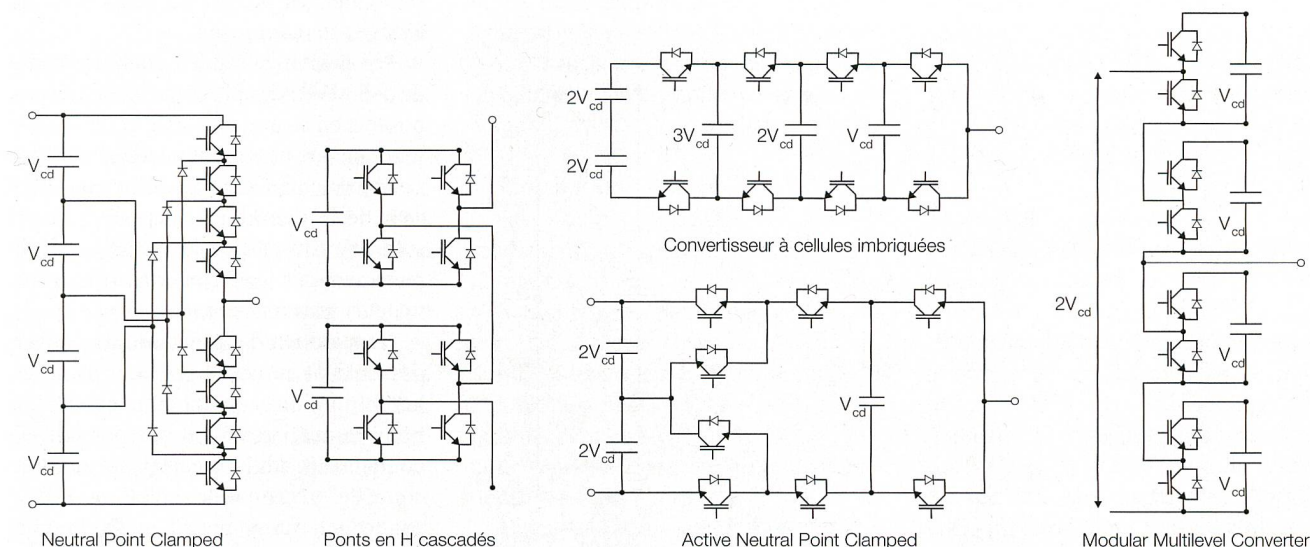
**Figure 1** (a) Un exemple de modulation à 2 niveaux. (b) Une modulation à 11 niveaux.

conducteurs, par exemple pour les applications à très haute tension continue (HVDC).

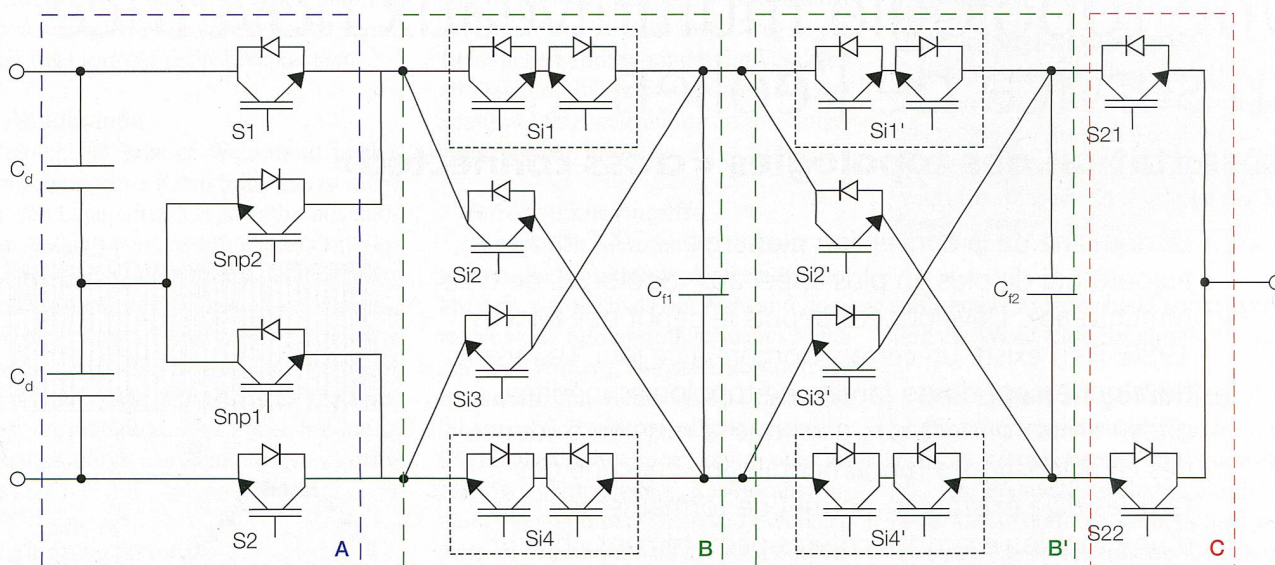
■ Ou encore, par le biais d'ajout de modules indépendants, il peut proposer des approches modulaires qui peuvent s'adapter facilement à diverses applications.

Ces avantages sont, comme souvent, contrebalancés par un certain nombre d'inconvénients, parmi lesquels :

■ L'augmentation de la complexité matérielle ou logicielle.



**Figure 2** Aperçu de quelques topologies « classiques » à 5 niveaux de sortie. De gauche à droite : le NPC [1], les « ponts en H cascades », le convertisseur à cellules imbriquées [4], l'ANPC [2] et le M<sup>2</sup>LC (Modular Multilevel Converter) [3].



**Figure 3** Forme générale du convertisseur « Cross Connected Intermediate Level VSI », ici avec 2 étages cascadés (B et B').

■ L'augmentation de la quantité d'énergie stockée dans le convertisseur (dans les capacités commutées).

■ Ou encore la diminution de la fiabilité, une conséquence directe de l'augmentation du nombre de composants.

Ce dernier aspect peut cependant dans certains cas être mitigé par une disponibilité accrue (par exemple par l'utilisation de modules redondants et/ou de modes de fonctionnement dégradés).

### Une topologie de plus, pour quoi faire?

Pour les lecteurs déjà familiers avec le milieu des convertisseurs multiniveaux, il est légitime de se demander s'il existe un

quelconque intérêt (autre qu'une démarche purement scientifique) au développement d'une topologie multiniveaux de plus.

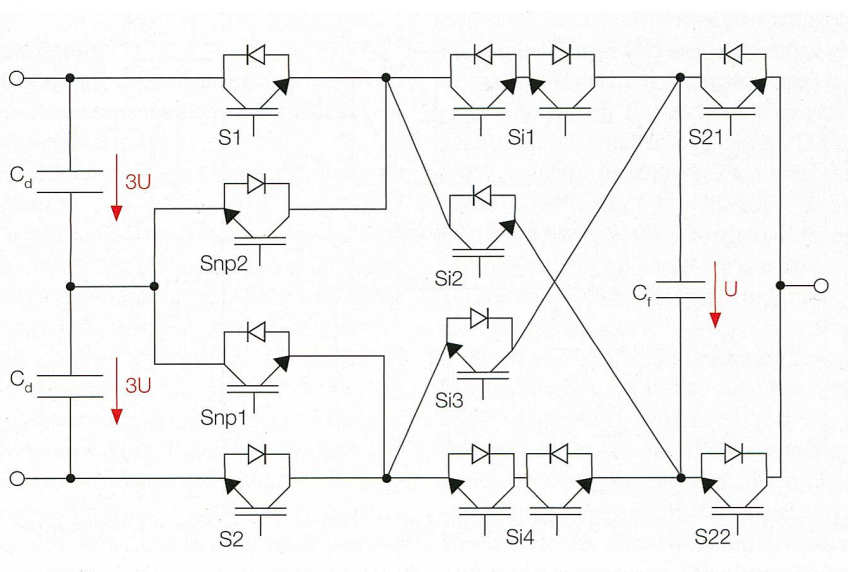
Le contexte de base du développement de la topologie « cross connected » était d'améliorer la qualité du signal d'un convertisseur de type ANPC (Active Neutral Point Clamped) à 5 niveaux (figure 2) [2] utilisé sur une éolienne, tout en limitant autant que possible le nombre de composants additionnels de manière à maintenir une fiabilité aussi élevée que possible et un coût modéré.

Il existe plusieurs cas de figures différents dans la production d'énergie éolienne. L'énergie peut être acheminée en courant continu, voire en HVDC, depuis

plusieurs éoliennes avant d'être convertie en courant alternatif et injectée sur le réseau par le biais d'un grand convertisseur DC/AC central. Il est aussi envisageable que chaque éolienne soit connectée directement au réseau par le biais d'une interface, auquel cas le convertisseur dans l'éolienne doit produire directement de l'AC. Il existe également toute une palette de solutions intermédiaires, mais qui ne sont pas le sujet du présent article. C'est le cas de figure de la connexion directe de l'éolienne sur le réseau qui était considéré au début de ce travail [5] réalisé au Centre de Recherche et Développement d'ABB à Baden (Corporate Research Center) en collaboration avec le Laboratoire d'Electronique Industrielle (LEI) de l'EPFL (Ecole polytechnique fédérale de Lausanne).

Les puissances en jeu étant de l'ordre de 5-6 MVA, des filtres de sortie très imposants en termes de masse et de volume (et donc de coûts) sont nécessaires. Pour s'en affranchir, l'idéal est que le convertisseur de l'éolienne produise un courant suffisamment propre pour être injecté directement sur le réseau (via un transformateur) sans passer par un filtre.

Le maintien de la fiabilité du convertisseur tient au développement d'une solution multiniveaux qui fasse appel à un nombre aussi restreint que possible de composants additionnels. C'est dans ce contexte précis que les solutions « cross connected » furent inventées. Par la suite, il s'est avéré que cette approche a permis le développement d'une famille de convertisseurs multiniveaux dont les propriétés



**Figure 4** Convertisseur « Cross Connected Intermediate Level VSI » à 9 niveaux non redondants.

intrinsèques diffèrent de la plupart des structures multiniveaux connues.

### Cross Connected Intermediate Level VSI

Sous la dénomination à priori opaque de Cross Connected Intermediate Level Voltage Source Inverter (CCIL VSI) se cache la première famille topologique de type « cross connected ». Elle peut être vue comme une évolution de la topologie à cellules imbriquées (aussi connue sous le nom de « Flying Capacitors ») de Foch et Meynard [4].

Le principe de base est d'ajouter 2 interrupteurs croisés en amont de la capacité commutée  $C_f$ . On obtient ainsi un convertisseur dont les étages peuvent être cascades à loisir afin d'augmenter le nombre de niveaux de sortie, comme l'illustre la **figure 3**. En choisissant de manière optimale les niveaux de tensions sur les capacités commutées, il est possible de générer des niveaux de tensions uniformes (au sens de [6]). Il est également possible d'équilibrer les tensions intermédiaires (c'est-à-dire de pouvoir s'affranchir d'une alimentation séparée) dans certains cas et/ou certains modes de fonctionnement, ce qui procure un avantage indéniable.

■ Lorsque l'on choisit des niveaux de tensions intermédiaires en fractions de 3 du demi-bus DC ( $V_{cd} = U$ ,  $V_{cf1} = U/3$ ,  $V_{cf2} = U/9$ , ...), on obtient un convertisseur élévateur à états non redondants, équilibrable avec certaines limitations sur l'index de modulation en puissance active, et en tout temps en réactif.

■ Lorsque l'on choisit des niveaux de tensions intermédiaires en fractions de 2 du demi-bus DC ( $V_{cd} = U$ ,  $V_{cf1} = U/2$ ,  $V_{cf2} = U/4$ , ...), on obtient un convertisseur non élévateur à états redondants, équilibrable pour tous les modes de fonctionnement.

■ Il est aussi possible de choisir des combinaisons hybrides de fractions de 2 et de 3 (voire même de choisir d'autres fractions ou de les faire varier dynamiquement), ce qui permet d'obtenir un très grand nombre de combinaisons différentes.

Le principal avantage de cette solution tient à la modularité de l'approche. Il suffit en principe de cascader des étages pour créer un convertisseur multiniveaux qui génère très rapidement un grand nombre de niveaux.

Le nombre de niveaux générés  $L$  par rapport au nombre  $n$  d'étages croît exponentiellement avec le nombre de niveaux selon les équations suivantes :

Pour des fractions de 3 :

$$L(n) = 3^{n+1} \quad (1)$$

Pour des fractions de 2 :

$$L(n) = 2^{n+1} + 1 \quad (2)$$

En général, les formes plus classiques (rapports de tensions simples) de convertisseurs multiniveaux produisent un nombre linéaire de niveaux additionnels en fonction du nombre d'étages cascades. L'avantage de la solution proposée réside donc dans le fait qu'il est possible d'obtenir plus de niveaux avec moins d'étages (on retrouve ainsi le même type de propriétés que dans certains convertisseurs multiniveaux hybrides, par exemple [7] ou [8]).

Cependant malgré l'apparente simplicité de la construction d'un tel convertisseur, il faut faire attention à ce que les niveaux de tension de blocage des semi-conducteurs utilisés croissent également très rapidement. Cela constitue un des inconvénients de cette topologie.

Il est également possible de montrer que la quantité d'énergie stockée est plus faible que dans la plupart des topologies. Les seules topologies à avoir moins d'énergie stockée sont celles n'utilisant qu'un seul bus DC séparé en  $N$  niveaux, par exemple le NPC (Neutral Point Clamped). Dans ce cas-là, il se pose cependant d'autres problèmes, notamment d'équilibrage des tensions des différents condensateurs qui forment le bus.

De même, le nombre de composants unitaires (sans prendre en compte les niveaux de tension de blocage requis) est également plus faible. L'objectif consistant à construire un convertisseur avec un faible nombre de composants est donc atteint.

### Modulation

La principale difficulté de la mise en œuvre de cette topologie consiste à équilibrer les tensions des capacités commutées durant le fonctionnement de l'onduleur. Lorsqu'une structure à états redondants est retenue (fraction de 2), la modulation reste relativement simple puisqu'elle consiste à choisir le bon état pour l'équilibrage parmi les états redondants possibles.

En revanche, avec des états non redondants, l'affaire se complique. Il est important de bien comprendre que l'équilibrage des tensions des capacités commutées

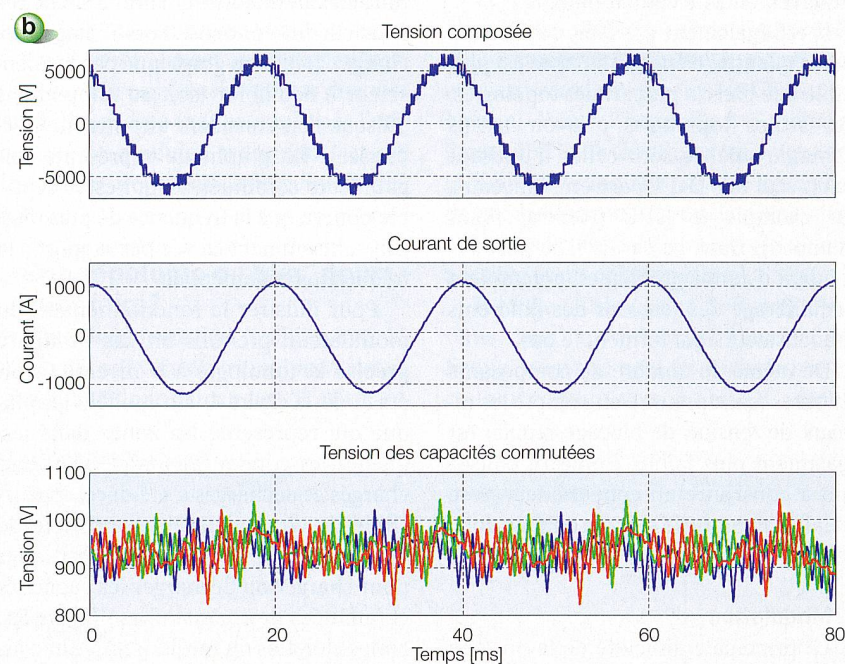
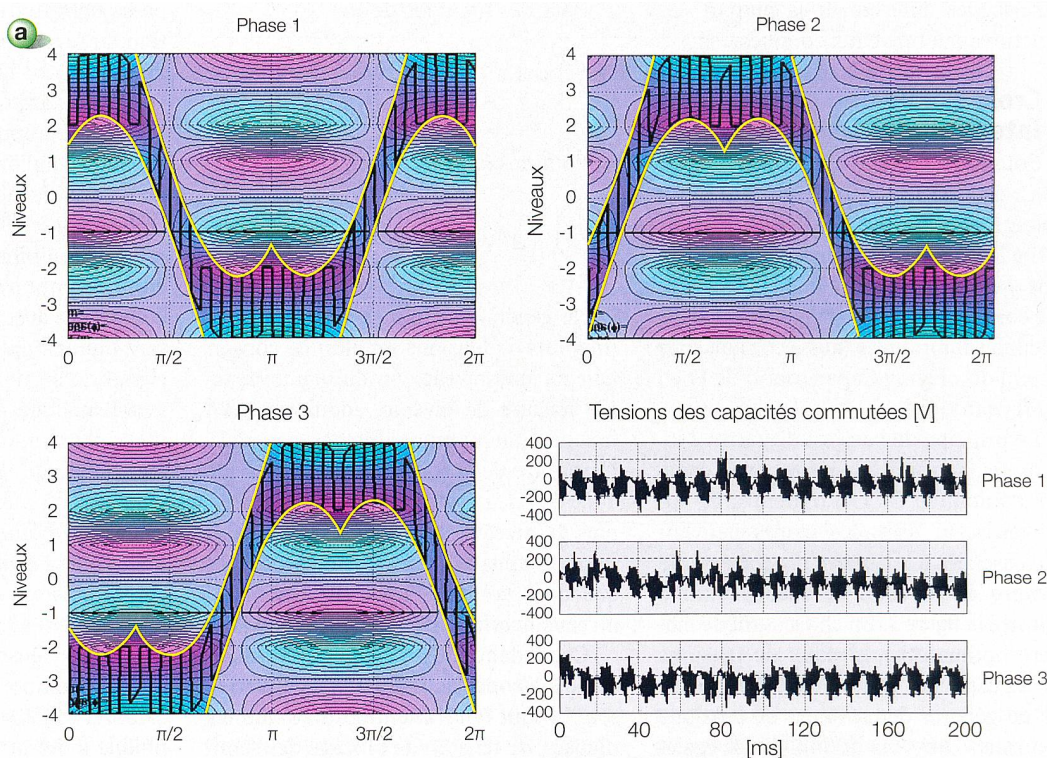
passé obligatoirement par une modification du niveau de tension de sortie. Cela implique donc qu'il y a dépendance entre signal de sortie et équilibrage. On peut également montrer qu'il n'y a pas de possibilité d'équilibrage naturel des tensions en fonctionnement « normal ».

Équilibrer ces capacités commutées, tout en minimisant l'énergie qu'elles contiennent, n'est pas nécessairement compatible avec la tension requise à l'instant  $t$  qui garantit une non-distorsion du signal de sortie. Pour répondre à cette problématique, il faut étendre le système monophasé à un système triphasé. C'est avec l'aide de la tension de mode commun qu'il est possible d'amener le convertisseur au point de fonctionnement requis. Ainsi l'équilibrage devient possible en garantissant des tensions composées parfaitement sinusoïdales.

Une modélisation mathématique précise du comportement étant difficile à élaborer et à exploiter, une approche graphique a été privilégiée. Le principe est de représenter l'évolution de la modulateur dans le temps contre les niveaux (de tension) de sortie et l'influence de ces états sur les condensateurs (charge, décharge). Il faut un graphique par condensateur à équilibrer (soit au minimum 3 puisque l'on considère une structure triphasée). Le graphique représente des grandeurs continues, ce qui est acceptable pourvu que la fréquence de pulsation soit suffisamment élevée par rapport à la fréquence fondamentale.

Pour illustrer le fonctionnement du modulateur, prenons un cas de figure précis : la topologie à 9 niveaux à un étage de la **figure 4**. Un modèle graphique qui représente les zones dans lesquelles les condensateurs peuvent être chargés et déchargés a été développé. À l'aide de ce modèle, il est possible de savoir à quels « endroits » il faut aller pour charger ou décharger les capacités commutées de chaque phase (**figure 5a** : zones violettes ou turquoises). Afin d'assurer un signal de sortie non distordu, les limites du mode commun sont déterminées (en jaune sur la **figure 5a**). Ainsi, en décalant de la même valeur à un instant donné les trois tensions de phases (donc en jouant sur les niveaux), il est possible d'amener une phase du convertisseur dans une zone favorable à l'équilibrage, tout en assurant que les tensions entre phases restent non distordues. En opérant ainsi phase par phase (avec priorité sur les capacités les plus déviées), le convertisseur est capable d'opé-

**Figure 5** (a) Modélisation graphique de l'équilibrage des condensateurs. (b) Résultat de simulation.



rer jusqu'à un index de modulation de 0,91 en puissance active (en simulation), voir **figure 5b**.

### Common Cross Connected Stage VSI

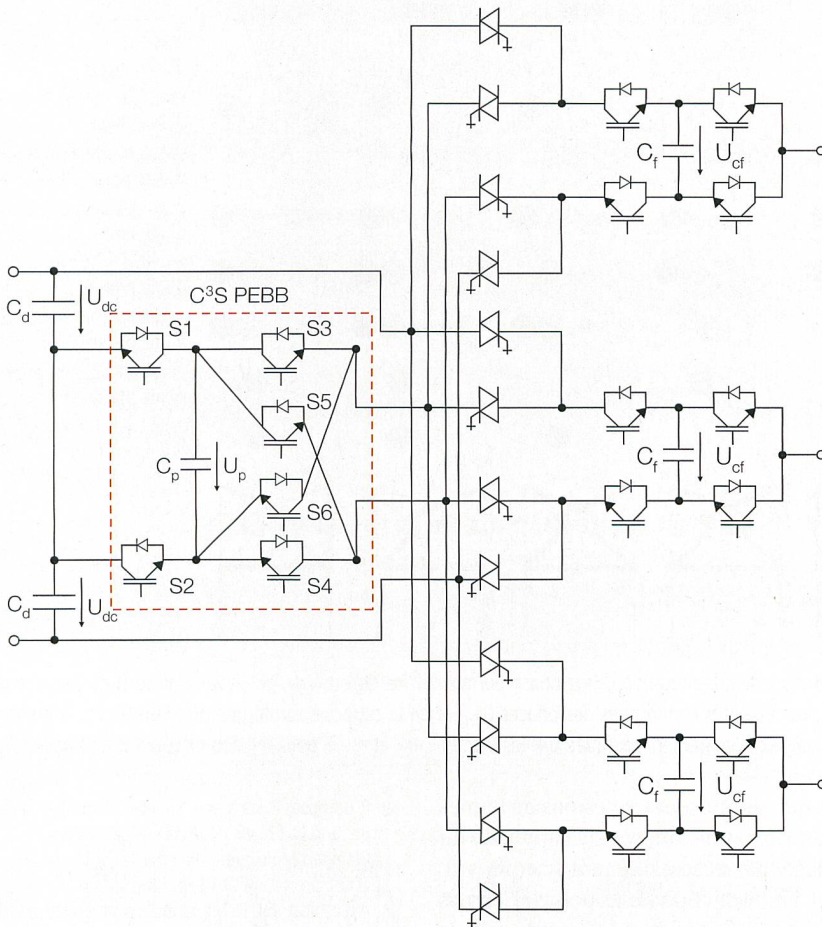
Cette seconde topologie de la famille « cross connected », le Common Cross Connected Stage Voltage Source Inverter (C3S VSI), est basée sur la même cellule

fondamentale que la topologie précédente, c'est-à-dire un étage composé d'une capacité commutée ainsi que de 6 interrupteurs dont 2 en croix. La principale différence de cette topologie provient du fait notable que la cellule « cross connected » est connectée en commun et en amont d'un convertisseur triphasé (par exemple dans ce cas un ANPC à 5 niveaux, voir **figure 6**). Cette particularité

inédite implique qu'il ne faut plus qu'une seule cellule pour presque doubler le nombre de niveaux produits par un ANPC à 5 niveaux triphasé (dans la configuration représentée on passe à 9 niveaux).

Autre propriété remarquable, on peut imaginer une structure multiniveaux imbriquée, en d'autre terme cascader plusieurs cellules « cross connected » afin d'obtenir plusieurs niveaux qui seront ensuite mis en commun avec les niveaux générés par le convertisseur principal (ou convertisseur aval, en l'occurrence ici l'ANPC à 5 niveaux).

Pour cette topologie, il existe évidemment aussi un certain nombre de limitations. Un choix judicieux des rapports de tensions sur les capacités commutées est déterminant pour la production de niveaux de sortie uniformes ainsi que pour l'équilibrage. D'autre part, avec cette topologie, il n'existe pas de combinaison permettant d'obtenir des états de commutation redondants, ce qui implique nécessairement l'utilisation d'une stratégie de modulation avancée. L'extrême simplicité topologique est contrebalancée par une logique de contrôle exigeante. Mais avec l'évolution continue des DSP (Digital Signal Processor) et des FPGA (Field-Programmable Gate Array), les puissances de calcul élevées disponibles dès les produits d'entrée de gamme sont suffisantes pour l'exécution des stratégies de modulation requises.



**Figure 6** Convertisseur « Common Cross Connected Stage VSI » à 9 niveaux. La cellule fondamentale, le « Common Cross Connected Stage Power Electrical Building Block » (C³S PEBB), se trouve en amont du convertisseur triphasé.

Une autre contrainte qui fait son apparition lorsque l'on connecte un étage « cross connected » commun, est l'augmentation de la tension de blocage requise par une partie des interrupteurs du convertisseur aval. La tendance générale qui peut en être déduite, est que la réduction du nombre de composants (interrupteurs et condensateurs) nécessaires à la production d'un nombre donné de niveaux, est contrebalancée par l'augmentation du besoin de tenue en tension. Si des composants capables de tenir les tensions requises sont disponibles, le gain en terme de fiabilité est alors clair, dans le cas contraire, une étude plus détaillée au cas par cas est nécessaire.

La formulation mathématique du nombre de niveaux produits en sortie dépend des rapports de tensions choisis ainsi que de la complexité de l'étage « cross connected » (un ou plusieurs étages cascades). Pour obtenir des niveaux de tension uniformes, on choisira des rapports de tensions linéaires ( $V_{cd} = U$ ,  $V_{cf} = 2U/3$ ,  $V_{cp} = U/3$ ) ou en fraction de 2

( $V_{cd} = U$ ,  $V_{cf} = U/2$ ,  $V_{cp} = U/4$ ) sur différents condensateurs.

Le nombre de niveaux générés  $L$  par rapport au nombre  $n$  d'étages « cross connected » croît de la manière suivante :

Pour des fractions linéaires :

$$L(n) = 5 + 2n \quad (3)$$

Pour des fractions de 2 :

$$L(n) = 5 + 2^{n+1} \quad (4)$$

Une analyse plus détaillée permet de constater que le premier nombre, ici 5, représente le nombre de niveaux produit par le convertisseur aval. Ainsi, il est possible de généraliser la formulation dans le cas d'une utilisation d'un étage « cross connected » commun sur des topologies autre que l'ANPC.

### Modulation

L'étage « cross connected » est composé de 3 cellules de commutation, ce qui lui donne 8 états de commutation possi-

bles, voir **tableau 1**. Pour l'ANPC à 5 niveaux, il existe également 8 états de commutation possibles (par phase). La combinaison des deux offre donc un total de 64 états de commutation différents possibles sur chacune des phases, soit en tout 1333 états de commutation différents possibles pour le convertisseur complet. Là encore, face à la complexité du problème, c'est l'approche graphique qui permet de comprendre et de contrôler le plus simplement le convertisseur. Une représentation par phaseurs spatiaux, sur laquelle est ajoutée l'information concernant les états de commutation de l'étage « cross connected » (aussi appelé PEBB – Power Electronic Building Block – dans les figures) et celle de la direction du courant dans les condensateurs, permet de connaître précisément quel(s) état(s) de commutation permettent d'atteindre le point requis, qui produit la bonne tension de sortie tout en équilibrant les tensions DC intermédiaires (**figure 7**).

Dès lors, la stratégie de modulation se résume à la détermination du phaseur de consigne, puis des 3 phaseurs à appliquer (modulation vectorielle), et à un grand tableau dans lequel il faut chercher les états de commutation qui permettent l'équilibrage des condensateurs et la génération des bons phaseurs.

La programmation de ce modulateur a été possible en langage VHDL. C'est-à-dire que le modulateur a pu être codé dans une FPGA (Field-Programmable Gate Array – réseau de portes programmables), ce qui garantit une bonne rapidité d'exécution et une bonne robustesse. Grâce à ce modulateur, il est possible d'atteindre un index de modulation de 0,925 en puissance active (**figure 8**).

### Conclusions

Les topologies multiniveaux « cross connected » sont très intéressantes pour plusieurs raisons. Plus que simplement attrayante par l'aspect de la nouveauté, la topologie « Common Cross Connected Stage » (C3S) ouvre de nouvelles perspectives de recherche et de développement dans le domaine du multiniveaux. La possibilité de générer des niveaux de sortie supplémentaires en s'aidant d'un étage commun pour un convertisseur triphasé offre des avantages évidents en terme de modularité et de simplicité (donc de fiabilité).

Avec une analyse plus approfondie des propriétés intrinsèques du « cross connected », il a été montré que la réduction du

	PEBB a	PEBB b	PEBB c	PEBB d	PEBB e	PEBB f	PEBB g	
Niveaux de sortie	$U_{DC}$	$U_{DC}$	$U_{DC}$	$U_{DC}$	$U_{DC}$	$U_{DC}$	$U_{DC}$	Etat 1 de commutation d'une phase
	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	$U_{DC} - U_{cf} \oplus$	Etat 2 de commutation d'une phase
	$-U_{DC}$	$-U_{DC}$	$-U_{DC}$	$-U_{DC}$	$-U_{DC}$	$-U_{DC}$	$-U_{DC}$	Etat 3 de commutation d'une phase
	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	$-U_{DC} + U_{cf} \oplus$	Etat 4 de commutation d'une phase
	$-U_{cf} \ominus$	$-U_{cf} \ominus$	$U_p - U_{cf} \ominus \oplus$	$-U_p - U_{cf} \ominus \ominus$	$-U_{cf} \ominus$	$-U_p - U_{cf} \ominus \ominus$	$U_p - U_{cf} \ominus \oplus$	Etat 5 de commutation d'une phase
	$U_{cf} \ominus$	$-U_p + U_{cf} \ominus \oplus$	$U_{cf} \ominus$	$U_{cf} \ominus$	$U_p + U_{cf} \ominus \ominus$	$-U_p + U_{cf} \ominus \oplus$	$U_p + U_{cf} \ominus \ominus$	Etat 6 de commutation d'une phase
	0	0	$U_p \ominus$	$-U_p \ominus$	0	$-U_p \ominus$	$U_p \ominus$	Etat 7 de commutation d'une phase
	0	$-U_p \ominus$	0	0	$U_p \ominus$	$-U_p \ominus$	$U_p \ominus$	Etat 8 de commutation d'une phase
Etats de commutation du PEBB								

**Tableau 1** Les 8 états de commutation du PEBB et les 8 états de commutation d'une phase permettent de déterminer les niveaux de sorties. Ces niveaux sont exprimés en fonction de la tension du bus DC ( $U_{DC}$ ), des capacités commutées des phases ( $U_{cf}$ ) et de la capacité commutée du PEBB ( $U_p$ ). L'influence de l'état de commutation sur la charge/décharge des capacités est également indiquée par les signes « + » et « - » pour tension et courant en phase.

nombre de composants (interrupteurs et condensateurs) requis pour générer un nombre donné de niveaux est possible. En revanche, la tension de blocage nécessaire augmente. La complexité du circuit peut être diminuée, par contre la complexité du contrôle augmente (pour reprendre l'exemple, la topologie à cellules imbriquées a des propriétés d'équilibrage naturel et peut se faire très simplement à l'aide des porteuses [9]).

En allant un peu plus loin dans le raisonnement, il est possible de conclure que jusqu'à présent, la plupart des topologies multiniveaux « classiques » (hormis les topologies hybrides) sont des topolo-

gies qui minimisent les besoins de tenues en tension et maximisent la simplicité du réglage (pas nécessairement sciemment). Avec l'introduction des topologies « cross connected », une nouvelle gamme de convertisseurs capables de produire beaucoup de niveaux avec peu de composants, moyennant un effort plus important sur le réglage et des tenues en tension plus élevées pour les semi-conducteurs, est disponible.

**Références**

[1] A. Nabae, I. Takahashi and H. Akagi: A New Neutral-Point Clamped PWM Inverter. IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. IA-17, pp. 518-523, Sept./Oct. 1981.

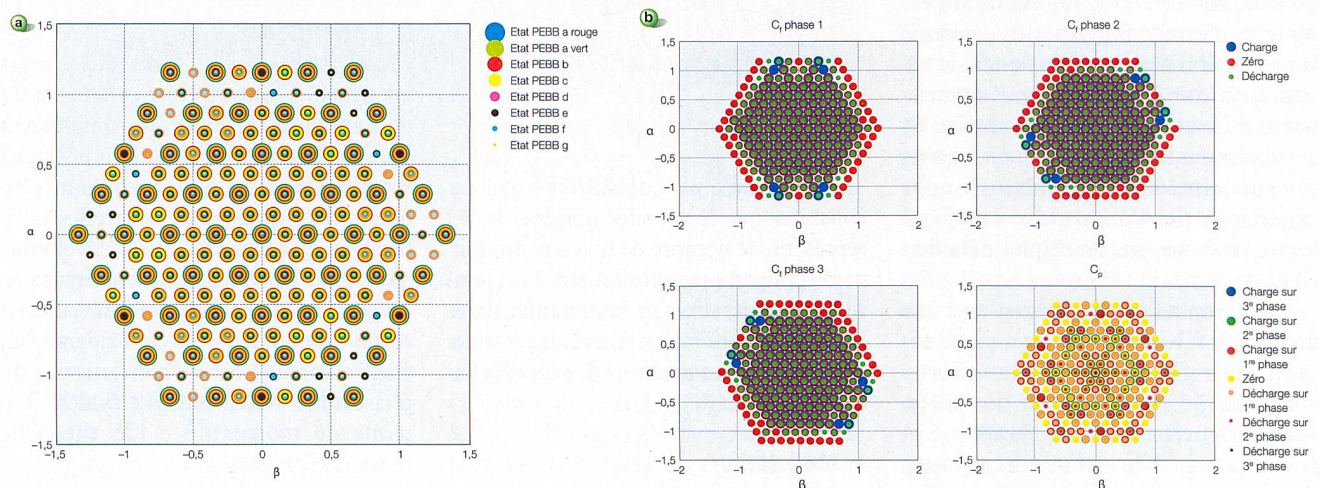
[2] P. Barbosa, P. Steimer, J. Steinke, M. Winkelkemper and N. Celanovic: Active-Neutral-Point-Clamped Multilevel Converter Technology. EPE 2005, pp. 10, 11-14 Sept. 2005.

[3] A. Lesnicar and R. Marquardt: An Innovative Modular Multilevel Converter Topology Suitable for a Wide Power Range. IEEE Power Tech Conf. Proc., Vol. 3, pp. 6, 23-26 Jun. 2003.

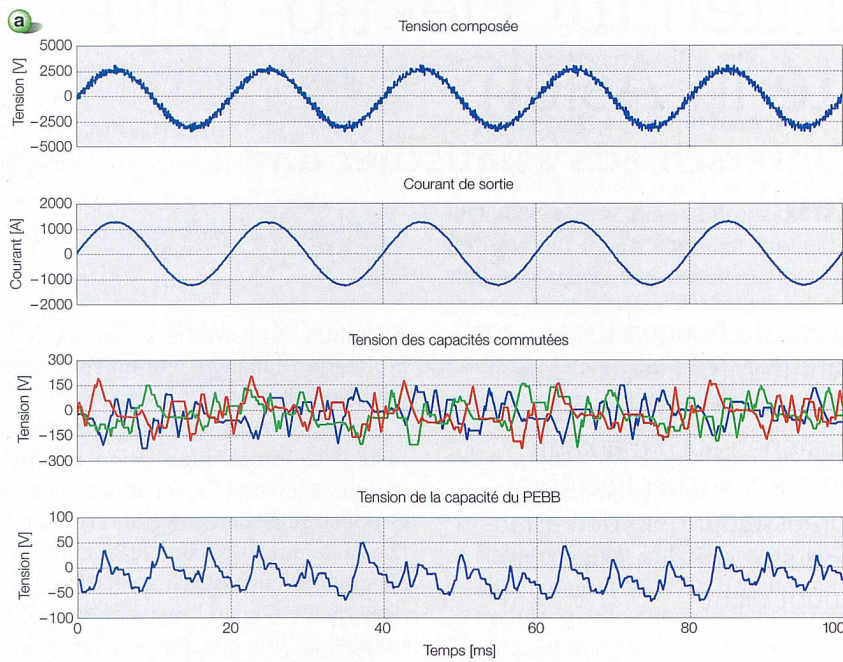
[4] T. A. Meynard and H. Foch: Multi-Level Choppers for High Voltage Applications. Eur. Power Electron. J., Vol. 2, no. 1, pp. 45-50, Mar. 1992.

[5] Toufann Chaudhuri: Cross Connected Multilevel Voltage Source Inverter Topologies for Medium Voltage Applications. PhD thesis No. 4162, Lausanne, EPFL, 2008.

[6] Jean-Sébastien Mariethoz: Etude formelle pour la Synthèse de Convertisseurs multiniveaux asymétriques: Topologie, Modulation et Commande. PhD thesis No. 3188, Lausanne, EPFL, 2005.



**Figure 7** Modèle graphique par phaseurs spatiaux. (a) Les états de commutation de la cellule « cross connected » et les phaseurs atteignables. (b) Les actions possibles sur les condensateurs en fonction des phaseurs.

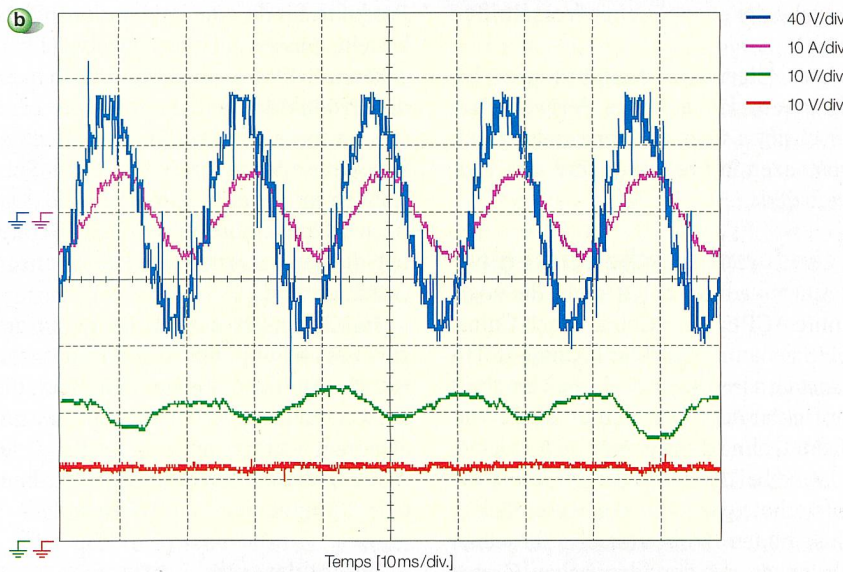


Figures: ABB/EPFL

**Zusammenfassung** Eine **innovative Multilevel-Topologie im Dienste der Windkraft**

**Präsentation der Cross-Connected-Topologien**

Der Bereich der Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom stützt sich heute immer stärker auf Multilevel-Topologien. Dank der jüngsten Entwicklung einer völlig neuartigen Familie von Topologien, den sogenannten «Cross-Connected-Topologien», konnte eine neue Reihe von Wechselrichtern entwickelt werden, die mit wenigen Komponenten viele Spannungsniveaus erzeugen können, aber eine anspruchsvollere Regelung und eine höhere Spannungsfestigkeit der Halbleiterkomponenten erfordern. Che



**Figure 8** (a) Les résultats de simulation. (b) Les résultats du prototype basse tension (bleu : tension, violet : courant, vert : tension du condensateur d'une phase, rouge : tension du condensateur du PEBB).

[7] S. Mariethoz and A. Rufer: New Configurations for the Three-phase Asymmetrical Multilevel Inverter. 39<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, Vol. 2, pp. 828–835, Oct. 2004.  
 [8] M. Manjrekar, P. Steimer and T. Lipo: Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High-Power Applications. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 36, pp. 834–841, May 2000.  
 [9] T. A. Meynard, H. Foch, L. Delmas and G. Gateau: Stacked Multicell Converter (SMC): Control and Natural Balancing. IEEE PESC 33<sup>rd</sup> Annual Meeting, Vol. 2, pp. 689–694, 23–27 Jun. 2002.

**Informations sur l'auteur**



Dr. Ing. **Toufann Chaudhuri** est ingénieur EPFL de la faculté d'énergie. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur électricien en 2004. De 2005 à 2008, il est employé au centre de recherche et développement d'ABB à Baden, période durant laquelle il prépare son doctorat qu'il recevra en 2008. Pour son travail de thèse sur le développement et l'étude topologique des convertisseurs multiniveaux de type « cross connected », il reçoit le prix Innovation 2009 d'ABB et le prix Innovation 2009 de l'ETG d'Electrosuisse. Depuis 2009, il travaille comme chef de projets en recherche et développement au sein d'ABB Sécheron à Genève.

ABB Sécheron S.A., 1217 Genève,  
 toufann.chaudhuri@ch.abb.com

Anzeige

Fehlerfreie  
Texte ...?

# KOMMAZWERG

**Korrekturbüro Kommazweg**, [www.kommazweg.ch](http://www.kommazweg.ch), [kontakt@kommazweg.ch](mailto:kontakt@kommazweg.ch)  
 Petra Winterhalter, eidg. dipl. Korrektorin, Tel. +41 76 592 31 29