



# Amélioration de l'efficacité et de la topologie des UPS triphasés

Liao Jen-ch'uan Kuo ch'ao-lung  
Delta Electronics, Inc.

## Résumé

Le développement du secteur taïwanais de la science et technologie de l'électronique et des semiconducteurs a pour effet d'augmenter les exigences relatives à la qualité de l'alimentation électrique pour les instruments et équipements de précision nécessaires aux procédés de fabrication, ce qui a pour effet de stimuler la demande pour des systèmes d'ASI triphasée à grande capacité. Dans le contexte de la crise énergétique et des effets de serre, trouver des moyens d'augmenter le rendement opératoire des ASI et de réduire leur consommation énergétique et coûts d'exploitation est devenu un important sujet auquel les fournisseurs d'ASI sont confrontés. C'est pourquoi le présent article, qui commence par la présentation des topologies pour systèmes d'ASI triphasée, décrit la méthode pour augmenter le rendement de l'ASI sur la base d'une comparaison à des topologies PFC et à onduleurs, l'optimisation des méthodes de contrôle, la sélection de composants et assemblages clés et le fonctionnement d'un mode ECO hautement efficace. D'autre part, le présent article présente également brièvement les réglementations internationales actuelles sur le rendement des systèmes d'ASI.

## I. Introduction

Les systèmes d'alimentation sans interruption (ASI ou, en anglais, Uninterrupted Power Supply, UPS) sont principalement utilisés pour fournir une alimentation électrique stable pour les charges critiques afin d'éviter toute perte de données importantes en raison d'une alimentation électrique médiocre. Les facteurs affectant la qualité du courant électrique comprennent les surtensions et les sous-tensions, la surintensité et le bruit, le papillotement de la tension, le déséquilibre du courant triphasé, la distorsion harmonique, les anomalies de fréquence et les coupures de courant secteur. Sur fond de crise énergétique et des effets de serre, on prévoit que l'ASI pourrait également améliorer son rendement de conversion sans affecter sa fiabilité, en plus de

fournir une alimentation électrique de sortie stable, ce qui est sa fonction principale. Outre la protection de l'environnement, une telle amélioration du rendement permettra également de réduire les coûts d'électricité et les coûts d'exploitation. Prenez par exemple une ASI de 200 kW, si l'on suppose que son rendement est augmenté de 92 % à 96 % lorsqu'elle fonctionne à pleine charge, elle peut économiser environ 80 000 kWh d'électricité en un an. Parallèlement, la réduction de la chaleur suite à l'amélioration du rendement de l'ASI peut permettre de réduire les frais d'installation de climatiseurs dans les centres de données ainsi que la consommation électrique des climatiseurs. Par conséquent, les méthodes permettant d'améliorer le rendement des ASI sont devenues un très important sujet.

Dans le présent article, la Section II discute des topologies de base des systèmes d'ASI triphasée et fait une brève introduction de la composition et des modes de fonctionnement des ASI ; la Section III est un tour d'horizon des réglementations internationales actuelles concernant le rendement des ASI ; la Section IV décrit les topologies PFC dans les ASI à double conversion, analyse leurs caractéristiques et compare leurs avantages et inconvénients ; la Section V présente des topologies de circuits à onduleurs couramment utilisées dans les ASI ainsi que leurs caractéristiques, et compare leurs avantages et inconvénients ; la Section VI discute de la relation entre les méthodes de contrôle des ASI et leur rendement ; la Section VII explore et compare les composants de commutation et magnétiques, des composants clés des ASI ; enfin, la Section VIII présente le fonctionnement en mode ECO, à rendement élevé ; et enfin, la Section IX tire des conclusions.

## II. Topologies de base des systèmes d'ASI

Pour leur topologie, les systèmes d'ASI peuvent être classifiés en les ASI à double conversion, les ASI en interaction avec le réseau et les ASI en attente passive. Lorsqu'une ASI en attente passive est utilisée, la charge reçoit directement l'électricité de l'alimentation secteur dans le cas normal et d'une batterie de l'ASI via un onduleur en cas de panne secteur. La différence principale entre une ASI en interaction avec le réseau et une ASI en attente

passive réside dans le fait que si la tension d'entrée de l'alimentation secteur est instable, elle fournira une sortie stable pour la charge via une régulation de la tension et, en cas de panne secteur ou d'anomalie de la fréquence, elle fournira du courant à partir de sa batterie. Une ASI à double conversion évite que la sortie de l'ASI ne soit affectée par la qualité de la tension d'entrée et fournit la charge de manière stable avec une alimentation électrique pure. Si l'alimentation secteur est interrompue, une ASI à double conversion fournira également de l'électricité à la charge via sa batterie. Classés selon leur rendement, la séquence des trois types de systèmes d'ASI est la suivante : ASI en attente passive > ASI en interaction avec le réseau > ASI à double conversion ; classés selon la qualité de l'électricité fournie, la séquence des types d'ASI est la suivante : ASI à double conversion > ASI en interaction avec le réseau > ASI en attente passive.

Les systèmes d'ASI triphasée actuellement disponibles sur le marché sont principalement du type à double conversion et par conséquent, les topologies de base des systèmes d'ASI triphasée à double conversion seront présentées brièvement comme suit. La topologie de base d'une ASI triphasée comprend principalement un commutateur de dérivation statique (STS de dérivation), un circuit de correction du facteur de puissance (PFC), un onduleur (INV) et un commutateur statique d'onduleur (INV STS) ainsi qu'un chargeur, comme illustré à la Fig. 1. Dans les cas normaux, une ASI génère principalement du courant en suivant le parcours alimentation secteur → circuit PFC → onduleur → charge afin de garantir la qualité de l'alimentation électrique et, en même temps, pour charger la batterie. En cas de panne du courant secteur, l'ASI fournira de l'électricité via sa batterie et l'onduleur convertira la tension CC en une tension sinusoïdale CA pure pour alimenter la charge. Si le courant secteur est rétabli, l'ASI sera à nouveau alimentée par le courant secteur. Si une anomalie quelconque est détectée dans l'onduleur, l'ASI sera alimentée par l'alimentation électrique de dérivation. Une ASI est donc une alimentation électrique stable et sans interruption pour les charges essentielles du client pouvant éviter d'énormes pertes pour le client suite à une panne de courant secteur. L'ASI fonctionne principalement comme un pont pour la conversion d'électricité entre l'alimentation secteur et la charge et pendant la conversion

de CA en CC, puis à nouveau en alimentation électrique CA, la perte de puissance et la perte d'électricité de conversion se produit naturellement. En lien avec cela, de nombreux pays ont établi des réglementations pertinentes pour standardiser le rendement de conversion de l'ASI. La section suivante présentera les réglementations internationales liées au rendement des ASI.

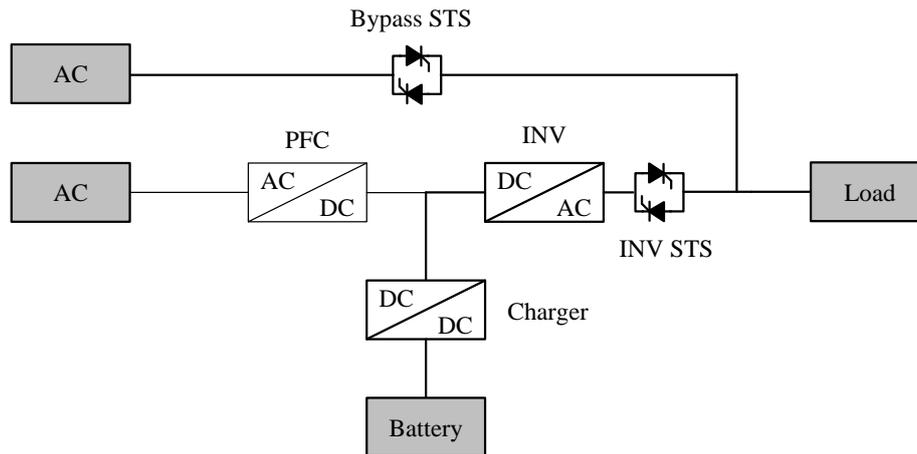


Fig. 1 Topologie de base des ASI triphasées à double conversion

### III. Réglementations internationales relatives au rendement des ASI

Cette section présente principalement les réglementations internationales relatives au rendement des ASI de la Chine, de l'Europe et d'Energy Star aux États-Unis. Fig. 2 sont les normes de rendement de l'ASI publiées par le Centre chinois de qualification de la qualité (CQC) en avril 2011. On peut voir dans le tableau que le rendement normal spécifié pour les grands systèmes d'ASI à double conversion (de plus de 100 kVA) est de 92 %.

Fig. 3 sont les normes de rendement de l'ASI édictées par l'Europe en mars 2011. On peut voir de la Fig. 3 que, outre les réglementations classifiées par niveaux de puissance, les normes européennes comprennent également celles classifiées par tailles de la charge. Par exemple, pour une ASI de 200 kVA, le rendement obligatoire est de 90 % à 25 % de charge, de 92,5 % à 50 % de charge et à 93,5 % à 75 % et 100 % de charge.

La Fig. 4 est l'ébauche des normes de rendement de l'ASI d'Energy Star aux États-Unis, qui sont similaires aux normes CQC chinoises et classées principalement en fonction du mode opératoire et de la puissance. Dans Energy Star, le type VFD (en fonction de la fréquence de tension) est équivalent à l'ASI en attente passive mentionnée ci-dessus, le type VI (indépendant de la tension) est équivalent à l'ASI en interaction avec le réseau et le type VFI (indépendant de la fréquence de tension) est équivalent à l'ASI à double conversion. Prenez par exemple une ASI à double conversion de 200 kVA. Selon la norme d'Energy Star, son rendement devrait être supérieur à  $0.0099 \times \ln(P) + 0.805$  ou 92,58 %.

Pour répondre aux exigences des réglementations internationales sur le rendement des ASI ainsi que celles d'économie d'énergie et de protection de l'environnement, l'ASI doit être conçue en optimisant la topologie PFC, la topologie INV, méthodes de contrôle d'ASI, et la sélection des semiconducteurs de puissance et des composants magnétiques. Ce n'est que de cette manière-là que les systèmes d'ASI atteignent un rendement élevé pour les clients. Cet article va maintenant analyser et comparer la topologie PFC, la topologie INV, les méthodes de contrôle de l'ASI, la sélection des semiconducteurs de puissance et les composants magnétiques, et enfin, le fonctionnement et le contrôle du mode ECO.

### China Efficiency Requirement

CQC3108-2011  
2011-04-01



分 类	微型在线式	小型在线式	中型在线式	大型在线式	ECO 状态*
技术要求	≥84%	≥88%	≥90%	≥92%	≥97%
*10kVA 及以上者必须具备 ECO 功能					

微型：额定输出容量 < 3 kVA。

小型：额定输出容量 3~10 kVA，不含 10 kVA。

中型：额定输出容量 10 kVA~100 kVA，不含 100 kVA。

大型：额定输出容量 ≥ 100 kVA。

Fig. 1 Normes de rendement de l'ASI du CQC

Mode	from 1-1-2011 to 31-12-2012			
	UPS range: • 10 – < 20 kVA	UPS range: • 20 – < 40 kVA	UPS range: • 40 – < 200 kVA	UPS range: • 200 kVA
Normal mode Minimum efficiency measured according to EN 62040-3 Annex AA				
25 % of nominal power	85,5%	85,5 %	87,8 %	89,8 %
50 % of nominal power	89,8 %	90,3 %	91,3 %	92,3 %
75 % of nominal power	91,3 %	91,8 %	92,5 %	93,3%
100 % of nominal power	91,5 %	92 %	92,5%	93,3 %
Mode	from 1-1-2013 to 31-12-2014			
	UPS range: • 10 – < 20 kVA	UPS range: • 20 – < 40 kVA	UPS range: • 40 – < 200 kVA	UPS range: • 200 kVA
Normal mode Minimum efficiency measured according to EN 62040-3 Annex AA				
25 % of nominal power	86,5%	87,5 %	89,0 %	90,0 %
50 % of nominal power	91,0 %	91,5 %	92,0 %	92,5 %
75 % of nominal power	92,0 %	92,5 %	93,0 %	93,5%
100 % of nominal power	92,0 %	92,5%	93,0%	93,5 %

Fig. 3 Normes européennes de rendement de l'ASI

Minimum Average Efficiency Requirement ( $Eff_{AVG MIN}$ ), Where: • P is the Output Power in watts (W), and • ln is the natural logarithm.				
UPS Class	Output Power	Input Dependency		
		VFD	VI	VFI
Consumer	$P \leq 1500 \text{ W}$	0.97		
Commercial	$1500 \text{ W} < P \leq 10,000 \text{ W}$	0.97	0.96	$0.0099 \times \ln(P) + 0.805$
Data Center	$P > 10,000 \text{ W}$	0.97	0.95	$0.0099 \times \ln(P) + 0.805$

Fig. 4 Normes de rendement de l'ASI d'Energy Star

#### IV. Topologie de PFC

Le circuit PFC est principalement utilisé pour fournir une alimentation électrique CC stable, réduire les ondes harmoniques à l'entrée de l'alimentation secteur et réduire les pertes de puissance réactive. Il existe différents types de topologies PFC dans les systèmes d'ASI. Chacune a ses forces et faiblesses respectives en termes de leur impact sur le rendement et par conséquent, sont adaptées à différentes applications, qui vont être détaillées comme suit.

### 1. Convertisseur élévateur triphasé à triple niveau et double commutation

Un convertisseur élévateur triphasé à triple niveau et double commutation est illustré à la Fig. 5 : le courant triphasé d'entrée est d'abord redressé en une alimentation électrique CC stable par un SCR triphasé puis par un inducteur, un IGBT et une diode, dans cet ordre. Étant donné que seuls deux IGBT sont utilisés dans cette topologie, elle présente des coûts faibles. Il n'est toutefois pas possible d'augmenter les niveaux de puissance en raison de l'utilisation de deux IGBT seulement. L'inconvénient d'une telle topologie réside dans une distorsion élevée des ondes harmoniques de son courant d'entrée. L'avantage d'une topologie à triple niveau et double commutation est que son ensemble de commutation n'est soumis qu'à la tension du bus, il est donc possible d'utiliser des commutateurs de tension faible résistance, ce qui améliore son rendement de conversion.

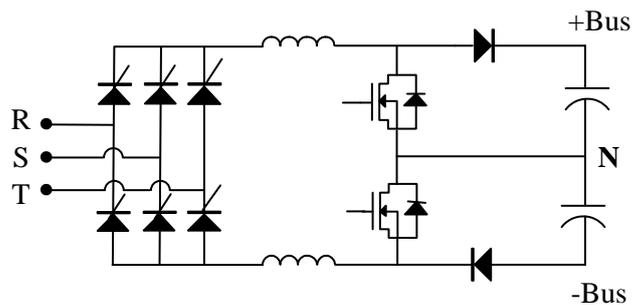


Fig. 5 Convertisseur élévateur triphasé à triple niveau et double commutation

### 2. Convertisseur élévateur triphasé à six commutateurs

Un convertisseur élévateur triphasé à six commutateurs est une topologie triphasée PFC courante et elle se compose de six commutateurs actifs et de trois inducteurs, comme illustré à la Fig. 6. Il est adapté pour des applications à niveau de puissance élevé. Le principal inconvénient d'un convertisseur élévateur triphasé à six commutateurs est que ses commutateurs doivent supporter une tension plus de deux fois supérieure à celle de la tension du bus, ce qui entraîne une grande augmentation de la perte de commutation. Par conséquent les convertisseurs élévateurs triphasés à six commutateurs ont une fréquence de commutation relativement basse afin de réduire leur perte de commutation.

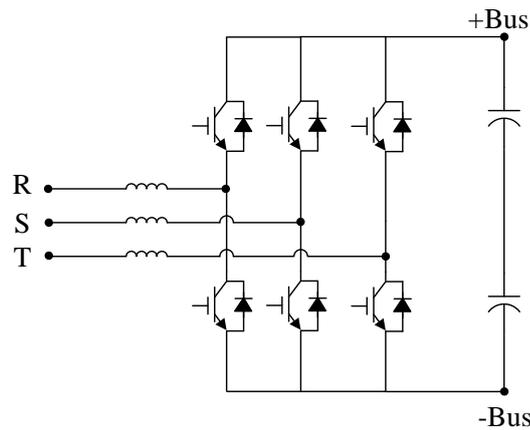


Fig. 6 Convertisseur élévateur triphasé à six commutateurs

### 3. Convertisseur élévateur à triple niveau

L'application d'un convertisseur élévateur à triple niveau est telle qu'illustrée à la Fig. 7. Elle comprend six commutateurs, six diodes rapides, six diodes lentes et trois inducteurs. L'ensemble de commutateurs du convertisseur élévateur à triple niveau n'est soumis qu'à la tension du bus, il est donc possible d'utiliser des commutateurs de tension faible résistance pour réduire efficacement la perte de commutation, ce qui améliore son rendement de conversion.

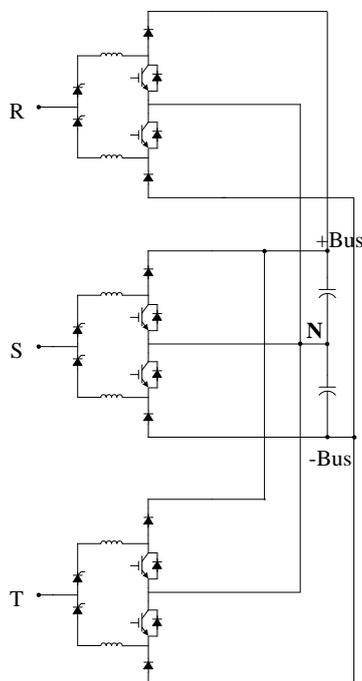


Fig. 7 Convertisseur élévateur à triple niveau

#### 4. Convertisseur élévateur triphasé à quatre commutateurs

Le principe de fonctionnement d'un convertisseur élévateur triphasé à quatre commutateurs est le même que celui d'un convertisseur élévateur à triple niveau, tel qu'illustré à la Fig. 8. Il se caractérise principalement dans un convertisseur élévateur à triple niveau qui peut avoir le même effet qu'un convertisseur à triple niveau ne disposant que d'un ensemble à quatre commutateurs. Il est donc plus adapté pour des applications à niveau de puissance élevé. Le convertisseur élévateur triphasé à quatre commutateurs est une topologie brevetée de Delta Electronics, avec lequel les produits d'ASI peuvent atteindre un rendement élevé et une densité de puissance élevée.

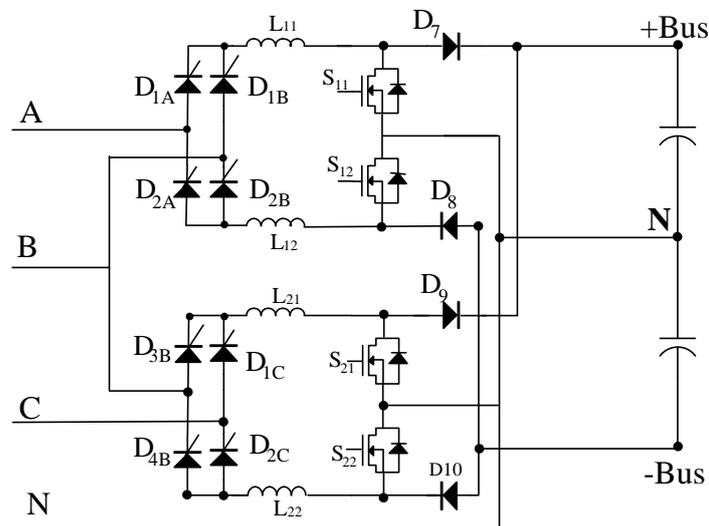


Fig. 8 Convertisseur élévateur triphasé à quatre commutateurs

Le tableau 1 compare les quatre circuits PFC susmentionnés en termes de distorsion des ondes harmoniques en courant, rendement, quantité de composants magnétiques, coût de l'ensemble de semiconducteurs et disponibilité de la capacité de courant bidirectionnel.

On peut voir dans le tableau que ces quatre topologies ont des avantages et des inconvénients et les concepteurs doivent sélectionner une topologie en fonction des applications et du positionnement des produits.

Tableau 1 Comparaison des topologies de circuit PFC

Topologie	Distorsion des ondes harmoniques en courant	Rendement	Quantité de composants magnétiques	Coûts des semiconducteurs	Courant bidirectionnel
Convertisseur élévateur triphasé à triple niveau et double commutation	Médiocre	Élevé	2	Faibles	Non
Convertisseur élévateur triphasé à six commutateurs	Bonne	Élevé	3	Moyens	Oui
Convertisseur élévateur à triple niveau	Bonne	Relativement élevé	6	Élevés	Non
Convertisseur élévateur triphasé à quatre commutateurs	Bonne	Relativement élevé	4	Moyens	Non

## V. Topologie des onduleurs

### 1. Onduleur triphasé isolé à pont complet

Un onduleur triphasé isolé à pont complet est illustré à la Fig. 9. Il possède une tension de bus relativement faible et génère principalement une élévation et un câble N via un transformateur isolé de sortie pour alimenter la charge. Comme son transformateur isolé de sortie est de grande taille et d'un poids élevé et qu'il présente également une perte de puissance très élevée, le rendement d'un onduleur triphasé isolé à pont complet est relativement faible.

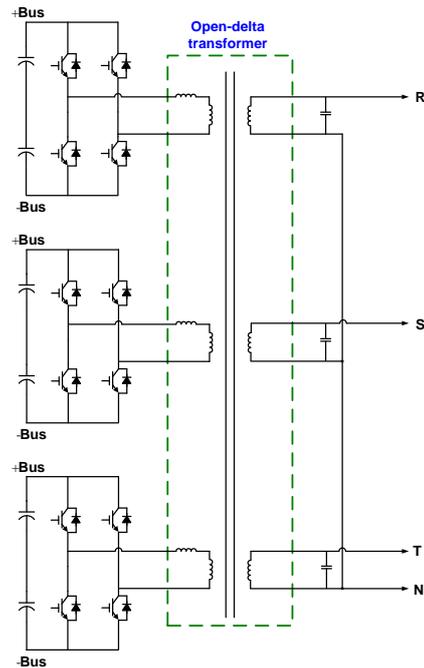


Fig. 9 Convertisseur triphasé isolé à pont complet

## 2. Onduleur triphasé à double niveau

Un onduleur triphasé à double niveau est illustré à la Fig. 10. Son principal inconvénient est que l'ensemble de commutateurs doit avoir une tension de résistance plus du double de la tension du bus, ce qui restreint sa fréquence de commutation. C'est pourquoi la façon de sélectionner une fréquence de commutation et de modifier l'algorithme de contrôle afin d'améliorer le rendement de conversion de la topologie à double niveau est devenu un important sujet pour les concepteurs.

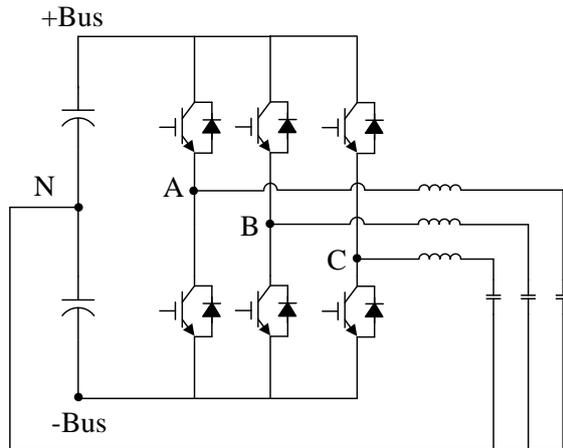


Fig. 10 Onduleur triphasé à double niveau

### 3. Onduleur triphasé à triple niveau

Un onduleur triphasé à triple niveau est illustré à la Fig. 11. Semblable à un convertisseur élévateur à triple niveau, son ensemble de commutateurs est uniquement soumis à la tension du bus, il a donc un rendement fondamentalement élevé. Bien que la topologie à onduleurs triphasés à triple niveau nécessite de nombreux ensembles de commutateurs, sa topologie à triple niveau présente les avantages d'une ondulation de courant d'inducteur faible, une faible tension transversale de l'ensemble de commutateurs et une faible perte de puissance, ce qui fait qu'on le voit souvent dans les topologies d'ASI à rendement élevé.

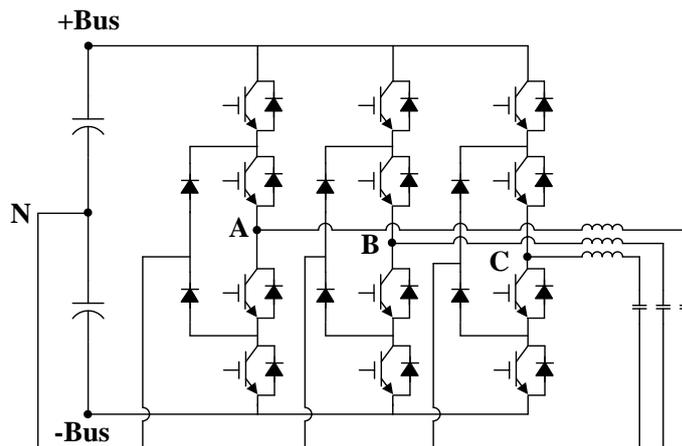


Fig. 11 Onduleur triphasé à triple niveau

Le tableau 2 compare les trois topologies d'onduleur susmentionnées en termes de distorsion des ondes harmoniques de la tension de sortie, rendement, quantité de composants magnétiques, coût de l'ensemble de semiconducteurs et disponibilité de la capacité de courant bidirectionnel. Actuellement, la tendance principale est d'utiliser une topologie sans transformateur.

Tableau 2 Comparaison des topologies d'onduleur

Topologie	Distorsion des ondes harmoniques en tension	Rendement	Quantité de composants magnétiques	Coûts des semiconducteurs	Courant bidirectionnel
Onduleur triphasé à double niveau	Bonne	Élevé	3	Faibles	Oui
Onduleur triphasé à triple niveau	Bonne	Le plus élevé	3	Élevé	Oui
Onduleur triphasé isolé à pont complet	Bonne	Médiocre	3 (grand)	Élevés	Oui

## VI. Méthodes de contrôle de l'ASI

Pour les méthodes de contrôle d'un onduleur d'ASI, la SPWM (modulation à largeur d'impulsion sinusoïdale) est généralement adoptée pour la modulation à largeur d'impulsion, comme illustré à la Fig. 12. Le signal de contrôle ( $V_{ctrl}$ ) est comparé aux ondes triangulaires pour générer un signal PWM qui commande l'ensemble de commutateurs. L'application SPWM dans

l'onduleur a un taux d'utilisation de la tension de bus de 0,866, c'est-à-dire que la tension de bus dans un système 380 VCA devrait être au moins supérieure à 620 V. Comme cette méthode de contrôle a un taux d'utilisation faible de la tension de bus, une tension de bus élevée est nécessaire, ce qui augmente la perte de commutation du composant de commutation. D'autre part, avec une tension de bus élevée, la contrainte de tension des composants de commutation augmentera en conséquence, et certains circuits d'amortissement doivent être ajoutés pour absorber toute surtension, ce qui entraîne une perte de puissance supplémentaire. C'est pourquoi, si le taux d'utilisation de la tension de bus peut être améliorée en modifiant les méthodes de contrôle, le rendement du système peut être augmenté en conséquence.

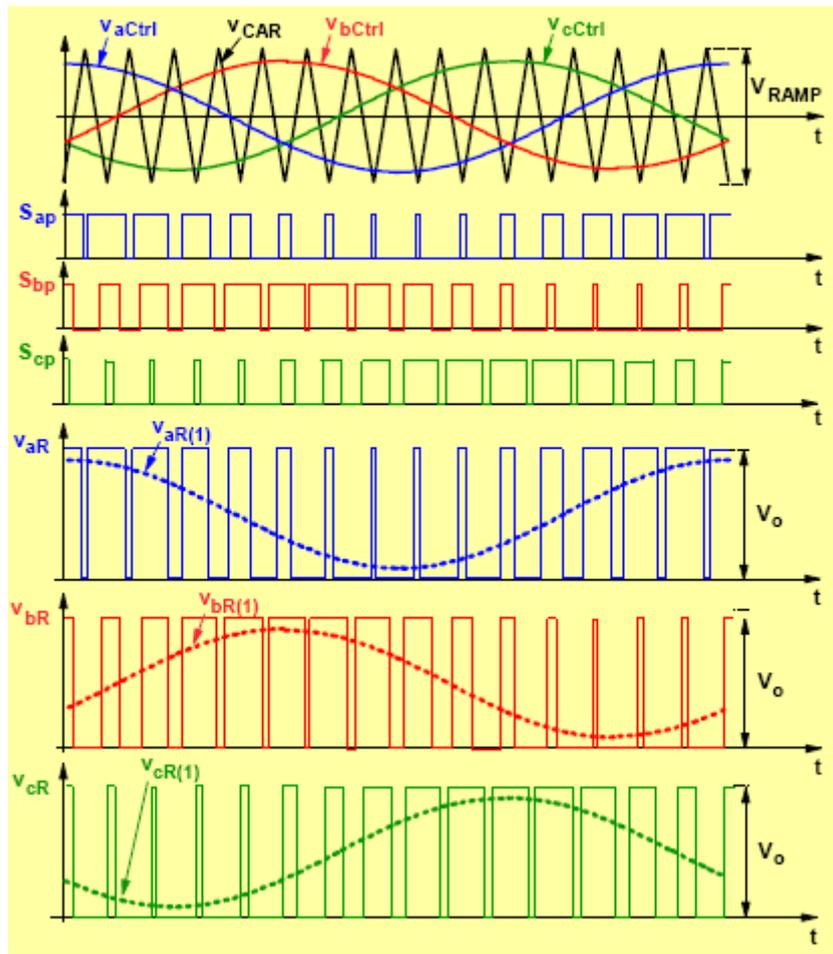


Fig. 12 Méthode de contrôle de la SWPM triphasée

Comme illustré à la Fig. 13, une troisième onde harmonique  $V_z$  est injectée dans le signal de contrôle ( $V_{ctrl}$ ) d'origine et le nouveau signal de contrôle généré est alors comparé à l'onde triangulaire pour générer un signal PWM qui commande l'ensemble de commutateurs. La méthode d'injection harmonique peut augmenter efficacement le taux d'utilisation de la tension de bus de 0,866 à 1. En d'autres termes, avec la méthode d'injection harmonique, un système nécessitant une tension de bus de 620 V ne nécessitera désormais que 540 V. Quel est l'impact sur le rendement d'une réduction de tension de bus de 620 V à 540 V ? Par exemple, pour un onduleur de 200 kW avec une fréquence de commutation de 5 kHz, la perte de commutation de l'ensemble de commutateurs dans un système à tension de bus de 540 V sera réduite de 250 W par rapport à celle d'un système de tension de bus de 620 V.

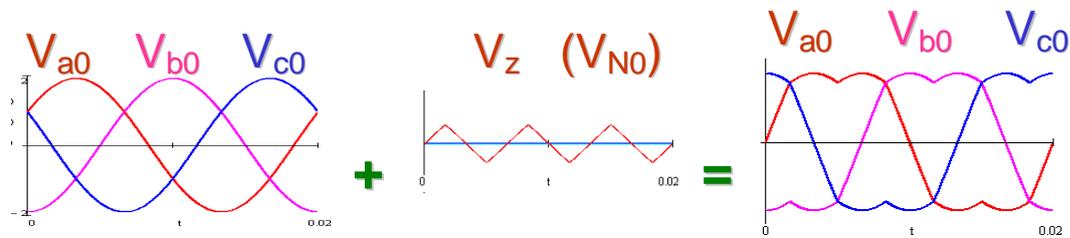


Fig. 13 Contrôle de la SWPM triphasée + Injection harmonique

On peut conclure de l'exemple ci-dessous que l'amélioration des méthodes de contrôle permettra d'augmenter le rendement de la conversion d'ASI et la fera mieux se conformer aux exigences de rendement élevé et d'économies d'énergie. Dans les topologies d'ASI générales, en plus de la sélection de topologie et des méthodes de contrôle, les facteurs clés affectant la perte de l'ensemble de l'unité comprend la sélection et la conception de composants de puissance et magnétiques, ce qui peut avoir un impact majeur sur le rendement. Ceci sera décrit en détail dans la section suivante.

## VII. Sélection des composants de commutation de puissance et magnétiques

### 1. Composants de commutation de puissance

Les transistors à effet de champ métal-oxyde semiconducteur (MOSFET) et les transistors bipolaires à porte isolée font partie des ensembles de commutateurs de puissance courants utilisés dans les systèmes d'ASI. Les applications des deux types de composants, pour simplifier, sont illustrés comme suit : les MOSFET sont principalement utilisés dans des applications où la tension de résistance et le courant de résistance sont relativement faibles alors que les IGBT sont adaptés pour des applications où la tension de résistance et le courant de résistance sont importants.

Le MOSFET principal actuel utilisé dans les ASI est le CoolMOS, étant donné que le CoolMOS possède une  $R_{ds,on}$  faible et une faible perte de conduction, ce qui lui permet de résister à un courant élevé. C'est pourquoi il est souvent utilisé dans les systèmes d'ASI à faible puissance (moins de 20 kVA). Bien que l'IGBT est inférieur au MOSFET tant au niveau de la vitesse de commutation que de la perte de commutation, il possède une capacité de traitement du courant plus élevée. C'est pourquoi l'IGBT joue un rôle très important dans les applications à haute puissance.

Prenons une ASI de 200 kW comme exemple et faisons une comparaison quant à la perte de l'IGBT. Par comparaison, le PFC adopte une topologie de transformateur élévateur triphasé à six commutateurs alors que l'INV adopte une topologie d'onduleur triphasé à double niveau. Sur cette base, nous allons comparer les pertes de l'IGBT à différentes fréquences de commutation et à différentes tensions de bus, et les pertes des modules IGBT de différents fournisseurs.

La Fig. 14 compare les pertes de l'IGBT à différentes fréquences de commutation. On peut voir dans le diagramme que plus la fréquence de commutation est élevée, plus la perte de l'IGBT est élevée. La perte de l'IGBT à une fréquence de commutation de 2 kHz est environ d'un cinquième de celle à une fréquence de commutation de 20 kHz. Bien que la perte de l'IGBT à une fréquence de commutation inférieure soit réduite, le coût correspondant est un composant magnétique de plus grande taille, ce qui entraîne des pertes plus importantes des composants magnétiques, une vitesse de réaction plus lente

et une bande passante médiocre. La sélection de la fréquence de commutation a un impact direct sur le rendement de l'ASI, mais il faut également comparer d'autres conditions pour trouver un bon point de fréquence de commutation qui soit favorable au rendement de l'unité.

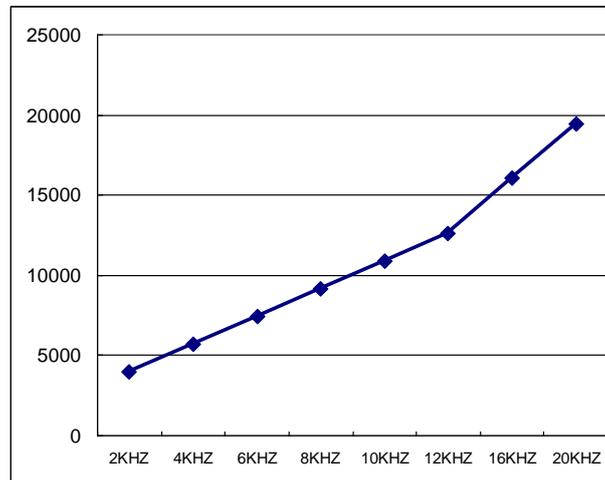


Fig. 14 Analyse des pertes de l'IGBT à différentes fréquences de commutation (200 kW ASI, tension d'entrée/de sortie : 380/220 V ; tension de bus : 800 V)

La Fig. 15 procède à une analyse des pertes de l'IGBT à différentes tensions de bus. On peut voir dans le diagramme que plus la tension de bus est élevée, plus la perte de l'IGBT est élevée. La tension du bus affecte principalement la perte de commutation de l'IGBT, mais elle a peu d'influence sur la perte de conduction. On peut conclure du diagramme que la façon de réaliser une tension de bus faible dans les systèmes d'ASI est également un indicateur important du rendement de l'ASI.

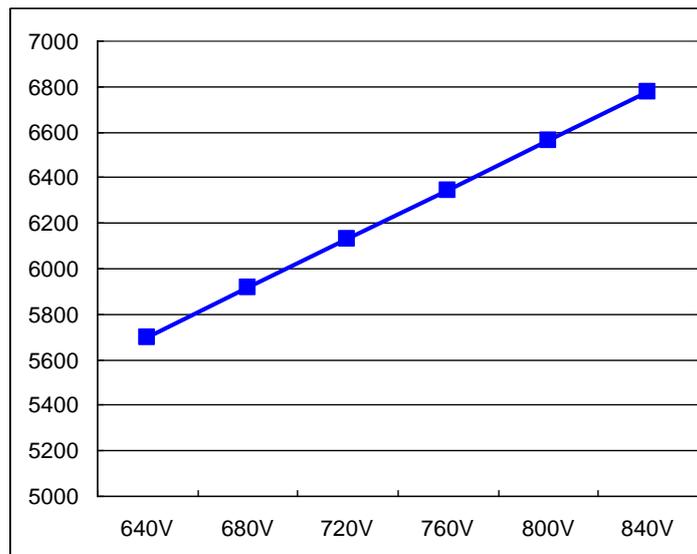


Fig. 15 Analyse des pertes de l'IGBT à différentes tensions de bus  
(200 kW ASI, tension d'entrée/de sortie : 380/220 V ; fréquence  
de commutation : 5 kHz)

Le Tableau 3 compare les pertes de différents modules IGBT dans les mêmes conditions de test. On peut voir du tableau que différents modules IGBT, même avec le même ensemble et la même taille, peuvent présenter des pertes de puissance de différentes, et cette différence peut atteindre 20 %. C'est pourquoi, pour augmenter le rendement de l'ASI, il faut particulièrement prêter attention à la différence de caractéristiques et à la sélection correcte des IGBT par les différents fournisseurs.

Tableau 3 Analyse des pertes des IGBT de différents fournisseurs  
(200 kW ASI, tension d'entrée/de sortie : 380/220 V ; fréquence  
de commutation : 5 kHz)

	A	B	C	D	E
Perte de conduction PFC	1 165	1 290	1 066	1 020	1 141
Perte de commutation PFC	2 208	2 542	2 391	2 479	1 948

Perte de conduction INV	1 087	1 105	1 017	1 022	1 165
Perte de commutation INV	2 133	2 428	2 294	2 383	1 857
Perte totale	6 593	7 365	6 768	6 904	6 111

## 2. Composant magnétique

La perte du composant magnétique représente également une proportion considérable de la perte de l'unité d'ASI. Lors de la sélection d'un composant magnétique, commuter la fréquence et la topologie sont deux éléments déterminants. La conception du composant magnétique dépend principalement du courant d'ondulation dans la commutation, qui est soumis à la topologie et à la fréquence de commutation. Par exemple, la valeur de l'inductance que nécessite un onduleur triphasé à double niveau sera supérieure à celle d'un onduleur triphasé à triple niveau. La raison principale est que la tension transversale de l'inducteur d'un onduleur triphasé à double niveau est plus importante. La fréquence de commutation affectera également directement le courant d'ondulation d'un inducteur. En général, plus la fréquence de commutation est élevée, plus faible sera la valeur d'induction nécessaire pour l'ensemble magnétique et également, plus réduite sera la perte de l'ensemble magnétique.

Outre la fréquence de commutation et la topologie, un autre facteur clé affectant la perte du composant magnétique est le matériau dans lequel il est fabriqué. Les matériaux courants pour le composant magnétique comprennent les feuilles en acier - silicone, les alliages amorphes, le cœur en poudre de fer, etc. Les cœurs en fer fabriqués dans des matériaux différents ont leurs applications respectives. C'est pourquoi, sélectionner un matériau magnétique approprié joue toujours un rôle important en termes de rendement de l'ASI. Les feuilles acier-silicone sont en général utilisées dans des applications avec une fréquence de commutation basse. Une fréquence de commutation élevée augmentera fortement la perte de fer de la feuille d'acier-silicone, ce qui

réduira fortement le rendement de l'ASI. Les alliages amorphes et les cœurs en poudre de fer sont couramment utilisés dans les systèmes d'ASI, principalement en raison de leur faible perte de fer. Il existe différents types de cœurs en poudre de fer, tels que le MPP, High Flux, Mage Flux et Sendust, et donc, sélectionner un cœur en poudre de fer adapté à votre application est également essentiel pour assurer le rendement de l'ASI.

## VIII. Fonctionnement en mode ECO à haut rendement

Le mode ECO fonctionne de la manière suivante : lorsque l'alimentation secteur est normale, la charge recevra la puissance directement de l'alimentation secteur et l'onduleur est généralement en état non chargé et, en cas d'une panne secteur, la charge recevra l'électricité de l'onduleur, comme illustré aux Fig. 16 et 17. L'avantage principal du mode ECO est l'économie d'énergie élevée. Le rendement de l'ASI en double conversion est d'environ 92 à 94 % et, lors d'un fonctionnement en mode ECO, son rendement passe à plus de 98 %. L'inconvénient principal du mode ECO est que, en cas de panne d'alimentation secteur, il nécessite un temps de commutation jusqu'à ce que le mode de dérivation passe au mode onduleur. En particulier, si la charge est inductive, comme dans le cas d'un transformateur, le déblocage de phase de l'alimentation secteur et de la tension de l'onduleur dans un tel transfert peut entraîner des risques d'échec du transfert et d'interruption d'électricité. La méthode de contrôle de transfert en mode ECO, brevetée, de Delta Electronics utilise un contrôle de blocage de phase rapide et un mécanisme de détection pour réduire fortement le temps de transfert et éliminer le risque d'un échec du transfert provoqué par le déblocage, comme illustré à la Fig. 18.

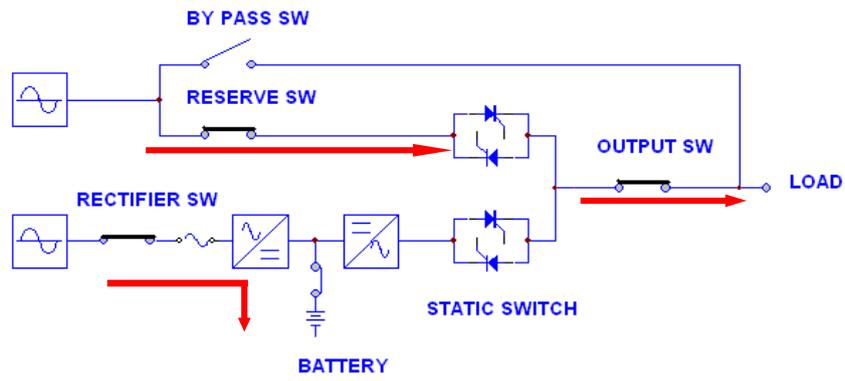


Fig. 16 Mode ECO en alimentation secteur normale

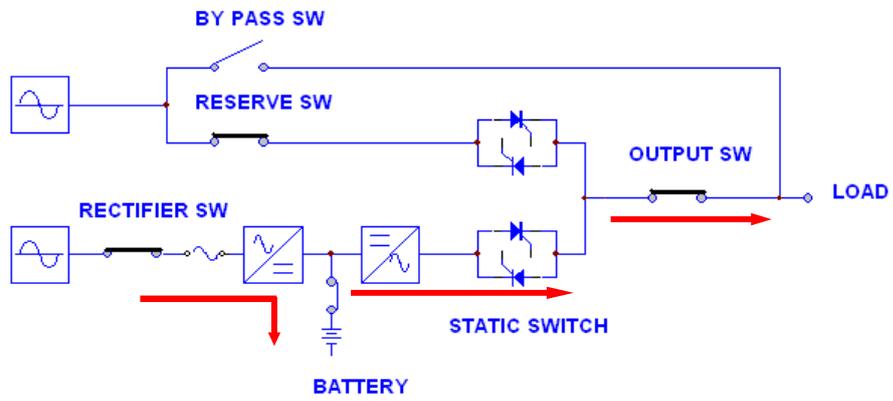


Fig. 17 Mode ECO en alimentation secteur anormale

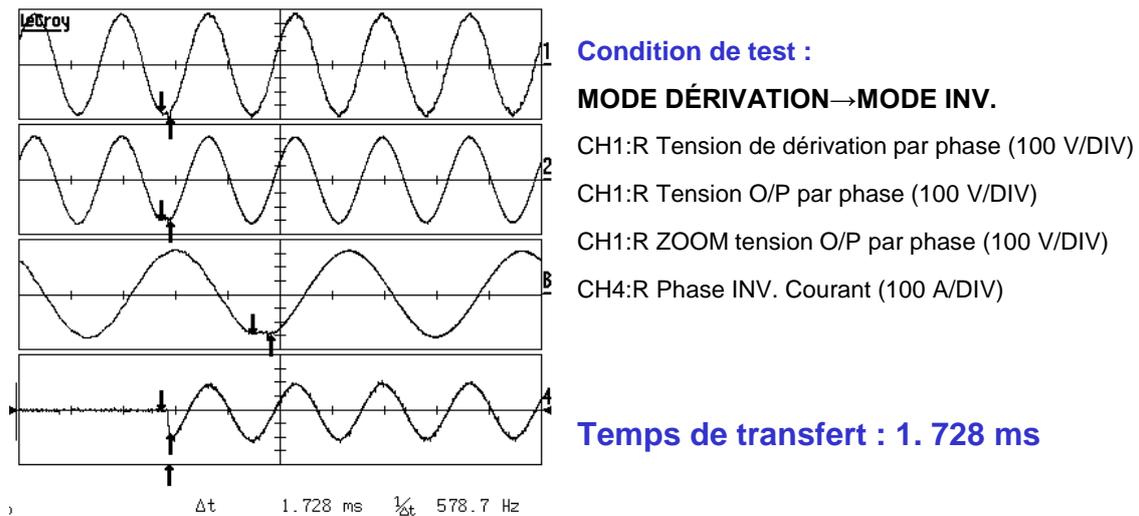


Fig. 18 Formes d'ondes du transfert en mode ECO

## IX. Conclusions

Cet article présente principalement les topologies d'ASI triphasées et discute de la façon d'améliorer le rendement de la conversion d'ASI en optimisant la topologie du circuit, les méthodes de contrôle et une combinaison de composants clés et d'ensembles. Le système d'ASI triphasée à grande puissance de Delta Electronics a rempli avec succès l'objectif de rendement élevé et a rempli les exigences de performance élevée par l'optimisation susmentionnée des topologies de circuits, les méthodes de contrôle et les composants et ensembles électriques. La Fig. 19 représente les courbes de rendement d'une ASI de 200 kVA mesurées de manière pratique par un institut de certification. Son rendement maximal peut atteindre 96,43 % en alimentation à double conversion et 99,17 % en mode d'alimentation ECO.

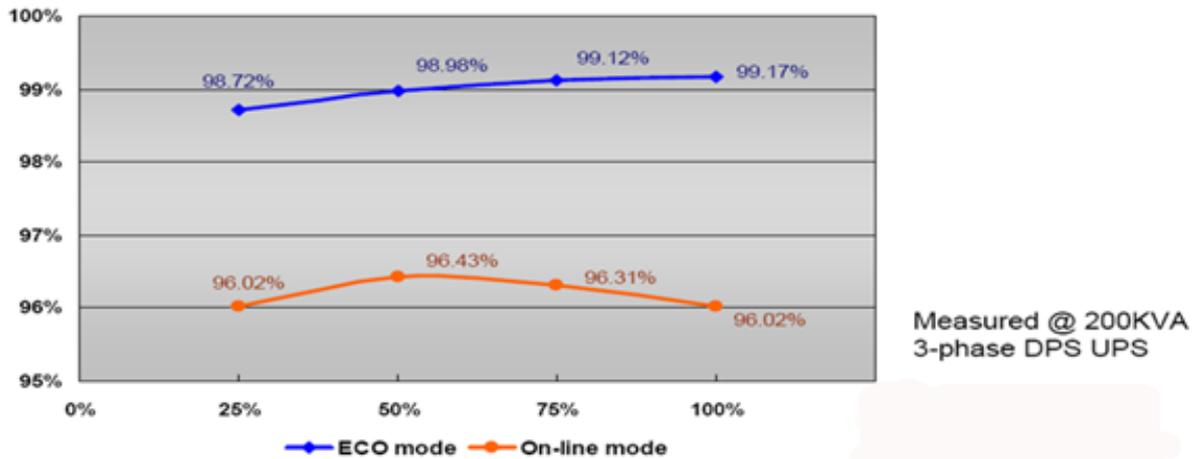


Fig. 19 Courbes de rendement de l'ASI de Delta Electronics

## X. Références

1. La relation entre la modulation des vecteurs d'espace et le PWN triphasé basé sur le fournisseur : une analyse exhaustive, transactions IEEE sur les produits électroniques industriels, VOL. 49, NO. 1<sup>er</sup> février 2002
2. Systèmes à convertisseurs d'électricité haute performance pour charge/source non linéaire, thèse, Virginia Tech, 1999
3. Analyse et comparaison des diagrammes de modulation des vecteurs d'espace pour les onduleurs source à trois pieds ou quatre pieds, Virginia Tech., thèse, 1997