



**UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA**



**Faculté des Nouvelles Technologies de L'Informations et de la Communication**

**Département de l'électronique et des télécommunications**

**Thème :**

**Commande tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire pour une application de filtrage activés basée sur les données**

**Filière : AUTOMATIQUE**

**MASTER : AUTOMATIQUE ET SYSTEMES**

**Présenté par :**

**AOUN MOHAMED RIADH**

**DEBBAKH NIZAR**

**AREZKI AZIZ**

**Membres du jury :**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Qualité</b>	<b>Etablissement</b>
<b>BOUZIDI MANSOUR</b>	<b>Président</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>SOURI SAMIRA</b>	<b>Examineur</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>KAFI MOHAMED RADOUANE</b>	<b>Encadreur/rapporteur</b>	<b>UKM Ouargla</b>
<b>BOUBAKEUR ROUBAH</b>	<b>Co-Encadreur</b>	<b>UKM Ouargla</b>

**Année universitaire 2020/2021**

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout, On remercie ALLAH le tout puissant pour nous avoir donné le courage, la santé et la patience pour réaliser ce travail.

On tient à remercier tout particulièrement notre de mémoire, Dr Radhouan kafi pour son encadrement, sa disponibilité et ses bons conseils tout le long de ce travail. On lui exprime également notre profonde reconnaissance pour son dévouement et d'avoir bien voulu de nous faire profiter pleinement de ses compétences scientifiques et de ses idées pour l'accomplissement de ce travail. On remercie les membres du jury d'examen pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Enfin, nous voudrions exprimer nos remerciements à toute personne qui a contribué de près ou de loin pour la finalisation de ce travail.

## **DEDICACE**

Ça nous fait un grand plaisir de prendre ces quelques lignes, si peu nombreuses, afin de remercier les personnes qui nous ont soutenu durant ce projet de recherche :

Avant tout, nos plus grandes reconnaissances sont adressées à Dieu, tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la santé pour achever ce travail.

A nos chers parents pour leurs soutiens, leurs patiences et Leurs encouragements durant notre parcours scolaire.

Nous tenons à remercier nos amis qui nous ont soutenu tout le long de ce projet, et toutes les personnes qui ont contribué, au bon déroulement et à l'achèvement de ce mémoire.

**MERCI!**

## **Résumé**

Le travail présenté dans ce mémoire concerne plus particulièrement l'étude d'un filtre actif basé de convertisseurs multicellulaires destinés à compenser les courants harmoniques générés par un redresseur

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la description des perturbations induites dans les réseaux de distribution par les convertisseurs statiques et à la présentation des solutions traditionnelles et moderne récentes de réduction de ces perturbations. Nous développons dans le deuxième chapitre filtre actif à base d'onduleur multicellulaire et nous étudions les principes de commande du convertisseur multicellulaire Enfin, au dernier chapitre les types des défauts dans les convertisseurs statiques et les méthodes de diagnostic utilisées

Mots clés : filtre actif, redresseur, convertisseur multicellulaire

## Table des matières

➤	Introduction générale.....	1
➤	Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique .....	2
1.1	Introduction.....	3
1.2	Problème de la qualité de l'énergie .....	3
1.3	Puissance Réactive (Facteur de puissance réduit).....	4
1.4	Les harmoniques :.....	4
1.4.1	Décomposition en série des harmoniques :.....	4
1.4.2	Mesure des harmoniques.....	5
1.4.3	Les effets de la pollution harmonique :.....	6
1.5	Filtrage d'harmoniques :.....	7
1.5.1	Filtre passif (solution traditionnelle) :.....	7
1.5.2	Filtre actif (Solutions modernes) : .....	7
1.6	Effet de l'impédance du réseau sur le filtre actif :.....	11
1.7	Convertisseurs de puissance utilisés dans les filtres actifs.....	11
1.7.1	Convertisseurs multicellulaires séries :.....	13
1.7.2	Hypothèses simplificatrices .....	14
1.7.3	Configurations possibles du convertisseur multicellulaire à trois cellules : .....	15
1.8	Modélisation aux valeurs instantanées.....	16
1.8.1	Fonctionnement hacheur abaisseur : .....	16
1.8.2	Fonctionnement en onduleur.....	17
1.9	Commande du convertisseur.....	18
1.10	Normes de qualité : .....	18
1.11	CONCLUSION :.....	19
➤	chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire .....	20
2.1	Introduction :.....	21
2.2	Description du système du filtre actif à base d'onduleur multicellulaire :.....	21
2.3	Régulation de la tension du bus continu : .....	22
2.3.1	Théorie de la puissance réactive instantanée : .....	22
2.3.2	La méthode des puissances instantanées possède les quelques caractéristiques suivantes :25	
2.4	Commande du convertisseur multicellulaire à partir du modèle aux valeurs moyennes :.....	26
2.4.1	Commande par linéarisation exacte :.....	26

2.4.2	Application de linéarisation exacte à un onduleur multicellulaire triphasé à trois cellules :	28
2.4.3	Boucle de régulation proportionnelle.....	29
2.5	Résultats de simulation .....	30
2.6	Conclusion .....	33
➤	chapitre 3. Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire .....	34
3.1	Introduction :.....	35
3.2	Différents types de défauts des convertisseurs statiques.....	35
3.2.1	Défaillances de type bas impédance .....	35
3.2.2	Défaillances de type haut impédance.....	36
3.3	Les méthodes de diagnostic utilisées .....	36
3.3.1	Diagnostic direct de la puce par capteur intégré ou indirect par capteur sur driver :.....	36
3.3.2	Diagnostic on-line ou off-line: .....	36
3.3.3	Diagnostic global du convertisseur :.....	37
3.4	les Défauts dans un filtre actif à base du convertisseur multicellulaire :.....	37
3.4.1	Défaut d'un interrupteur de puissance : .....	38
3.4.2.	Défauts dans les condensateurs.....	39
3.5	La commande tolérante aux défauts : .....	40
3.6	Conclusion .....	42
➤	Conclusion générale.....	43

## Table des figures :

Figure1:Décompositionharmonique.....	5
Figure 2 :Schéma de principe d'un filtre actif.....	8
Figure 3 : Structure générale d'un filtre actif parallèle.....	9
Figure 4 : Principe de compensation harmonique par un filtre actif série.....	10
Figure 5 : Principe de compensation harmonique par un filtre actif parallèle.....	10
Figure 6 :Filtre combiné parallèle-série (UPQC).....	11
Figure 7 :Convertisseur multicellulaire à trois cellules .....	15
Figure 8 : Onduleur multicellulaire monophasé à N cellules.....	18
Figure 9 :Filtre actif shunt à base de l'onduleur multicellulaire.....	22
Figure 10 : Filtrage de la composante de la puissance continue.....	24
Figure 11 :Diagramme de Bode d'un FPB.....	24
Figure 12 : Théorie de la puissance réactive instantanée.....	25
Figure 13 :système linéarisé.....	27
Figure 14:La linéarisation du système non linéaire.....	28
Figure 15 :Boucle de régulation avec correcteur proportionnel .....	30
Figure 16 : Boucle de régulation simplifiée.....	30
Figure 17 :Tension du bus continu et tensions des condensateurs flottants avec la commande par linéarisation exacte.....	31
Figure 18 : Courants de la charge non linéaire.....	31
Figure19 : Spectre du courant de la charge non linéaire.....	31
Figure 20 : Courants générés par le filtre actif à base de l'onduleur multicellulaire.....	32
Figure 21 Courants de la charge non linéaire.....	32
Figure 22 : Spectre du courant du réseau.....	32
Figure23 :les défauts des interrupteurs et les défauts dans les condensateurs.....	38
Figure24: Courant de charge, courant de filtre et courant de réseau lors un défaut interrupteur.....	38
Figure25 : Tension des condensateurs lors un défaut lors un défaut d'interrupteur.....	39
Figure26 : Courant de charge courant de filtre et courant de réseau lors un défaut du Condensateur.....	39
Figure27 :Tension des condensateurs lors un défaut du condensateur.....	40
Figure28 :Convertisseur proposé lors un défaut de switch ou un défaut de condensateur.....	40

Figure29 :Courant de charge, courant de filtre et courant de réseau avec la commande tolérante aux défauts.....	41
Figure 30 : Tension des condensateurs avec la commande tolérante aux défauts.....	41

## **Liste des Abréviations**

VAR: volt ampère réactive

THD: taux de la distorsion harmonique

TDD: distorsion de la demande totale

PF: facteur de puissance

GTO: Gate Turn Off

IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor

A.P.F: filtres actifs de puissance

FAS: filtre actif série

FAP: filtre actif parallèle

UPQC: Unified Power Quality Conditioner

CEI: Commission Électrotechnique Internationale

CNL: charge non linéaire

FPB: filtre Passe-bas

FFR: transformée de Fourier rapide

## **Introduction générale**

Ces dernières années, l'augmentation de l'utilisation des équipements électriques a fortement participé à la réduction de la qualité d'énergie dans les réseaux électriques. En effet, les convertisseurs statiques sont en progression tant à l'usage industriel que domestique.

Une bonne qualité d'énergie est caractérisée par une onde de courant parfaitement sinusoïdale avec une amplitude et une fréquence constante. Par contre, ces convertisseurs affectent la qualité des courants et tensions des réseaux de distribution qui deviennent non sinusoïdaux. Les charges non-linéaires et consomment des courants non sinusoïdaux, elles sont très importantes dans les systèmes électriques, mais ils produisent des signaux d'harmoniques en réseau électrique alors perturbent le système et diminuent leur rendement.

Les courants harmoniques ne peuvent pas contribuer à la puissance active, ils doivent être éliminés pour améliorer la qualité de puissance[1]. Les filtres de puissance sont conçus pour cet objectif.

Les filtres passifs sont traditionnellement installés pour absorber des courants harmoniques et pour relever le facteur de puissance. Cette solution présente toutefois un certain nombre d'inconvénients qui peuvent être intolérable dans des circonstances particulières[2].

Les inconvénients des filtres passifs peuvent être évités en utilisant un nouveau dispositif appelé "filtre actif", Le but de ce filtre est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière que le courant et la tension du réseau soient rendus sinusoïdaux et parfois avec un facteur de puissance unitaire, le filtrage actif est plus avantageux lorsqu'une réponse rapide est nécessaire en présence d'une charge dynamique [3-4]

Dans ce mémoire on utilisera un filtre actif basé de convertisseurs multicellulaires, il présente des degrés de liberté plus élevés (redondance des cellules élémentaire en série) pour la synthèse d'un niveau de tension de sortie spécifique et utilise un nombre moins des interrupteurs, de ce fait on constate que son avantage, c'est d'augmenter la fréquence de commutation des interrupteurs, Diminuer les pertes de commutation et Améliorer la forme d'onde de la tension de sortie.

**Chapitre 1 :  
Qualité de l'énergie électrique**

# Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

## 1.1 Introduction

Aujourd'hui, la situation au niveau des réseaux d'énergie électrique est devenue très préoccupante, la qualité du courant dans les installations électriques se dégrade incontestablement. Elle devient donc une préoccupation importante pour les distributeurs de cette énergie et pour leurs clients.

Cette dégradation découle directement de la prolifération des charges qui consomment un courant non sinusoïdal, appelées « charges non linéaires ». Ce type de charge est utilisé pour assurer la conversion, la variation et la régulation du courant électrique dans les installations commerciales, industrielles et résidentielles. Ensuite, Les charges non-linaire sont très importantes dans les systèmes électriques, mais elles produisent des signaux d'harmoniques en réseau électrique alors perturbe le système et diminue leur rendement. Les gestionnaires de réseau utilisent des solutions pour stabiliser le système, le filtrage actif est solutions disponibles pour éliminer les harmoniques par des dispositifs adaptés et réglable.

Dans ce chapitre, On a présenté la définition de filtres et leur type puis les normes et les effets de la pollution harmonique avec une étude du filtre actif en détail.

Enfin, On a déterminé et étudier des convertisseurs de puissance utilisés dans les filtres actifs.

## 1.2 Problème de la qualité de l'énergie

L'énergie électrique idéale que doit être fourni aux consommateurs doit posséder une forme triphasée sinusoïdale équilibrée avec une fréquence fixe et une amplitude fixe.

Cependant, plusieurs perturbations peuvent affecter le système électrique , à savoir :

- La variation de la tension.
- Le déséquilibre du courant et de tension.
- La distorsion harmonique.

La norme IEEE 141 – 1993 fournit une liste des charges qui génèrent des harmoniques sur les systèmes électriques où les convertisseurs de puissance statiques sont les plus importants

- Fours à arc électrique et soudage par résistance.
- Machines électriques statiques et tournantes.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

- Variateurs de vitesse.
- Convertisseurs de puissance.
- Onduleur du système photovoltaïque.

Ces variations sont telles que : interruptions, creux de tension (Sags), surtension (Swells), fluctuations (Flikers), déséquilibre du courant et de la tension [1].

### 1.3 Puissance Réactive (Facteur de puissance réduit)

La puissance réactive est une puissance imaginaire souvent représentée par le symbole  $Q$ . La puissance réactive ne se traduit sous aucune forme de puissance réelle (travail mécanique, température...). Elle est consommée par les machines électriques (moteur transformateur...) pour produire le champ magnétique nécessaire au fonctionnement. Elle est mesurée en unités de VAR (Volte Ampère Réactive) et résulte du déphasage entre le courant et la tension.

Leur effet est de surcharger les lignes électriques de transmission, surcharger les transformateurs de distribution parce qu'elle est considérée dans la puissance admissible des transformateurs et câbles et ne produira pas des effets exploitables.

### 1.4 Les harmoniques :

Les harmoniques présents sur le réseau de distribution électrique proviennent majoritairement des charges non linéaires qui génèrent des courants harmoniques, mais ils peuvent aussi être créés par les sources génératrices de tension.

Les charges non linéaires représentent de nombreux équipements industriels et domestiques et se répartissent dans de nombreux secteurs industriels.

#### 1.4.1 Décomposition en série des harmoniques :

Si la fréquence du fondamental est  $f_1$ , les fréquences des harmoniques sont  $kf_1$  telles que  $k$  est un nombre entier positif et appelé rang d'harmonique.

Les composantes harmoniques dont la fréquence n'est pas un multiple entier de la fréquence du fondamental sont appelées inter-harmonique. Les infra harmoniques sont des composantes sinusoïdales dont la fréquence est inférieure à la fréquence du fondamental [1].

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

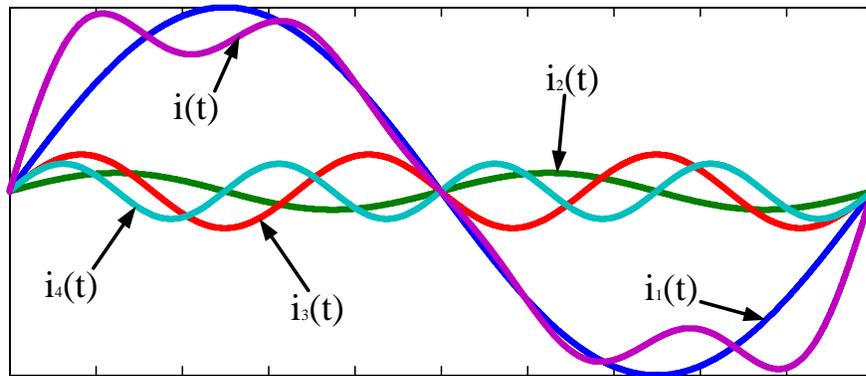


Figure.1 Décomposition harmonique.

Toute forme d'onde périodique peut être décomposée ou analysée en une onde fondamentale et un ensemble d'harmoniques (deuxième, troisième, quatrième et cinquième). Cette séparation ou analyse est dans le but d'étudier l'effet de la forme d'onde sur le système électrique est appelée analyse harmonique.

La décomposition d'une onde périodique de cette manière est appelée analyse de Fourier, d'après le mathématicien français Jean-Baptiste Fourier (1768-1830).

$$i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k * \cos (w_k * t + \varphi_k) \quad \text{I-1}$$

$I_0$  Est la composante continue de la série de Fourier, la composante fondamentale est de rang 1 ( $k = 1$ ).

Cette composante fondamentale est considérée comme étant fixe (50Hz en Europe, 60Hz aux Etats-Unis).

Les autres composantes de la série de Fourier sont appelées harmoniques de rang  $k$ . Figure 1 représente un signal périodique non sinusoïdal  $I(t)$  et sa composante fondamentale  $I_1(t)$  de fréquence 50 Hz,  $I_2(t)$ ,  $I_3(t)$  et  $I_4(t)$  sont ses composantes harmoniques.

### 1.4.2 Mesure des harmoniques

La mesure des harmoniques du courant et de tension est très importante pour connaître la qualité de l'énergie et garantir le bon fonctionnement des installations électriques ; les facteurs utilisés pour identifier et exprimer la qualité du signal en termes de contenu harmonique sont le taux de la distorsion harmonique (THD), distorsion de la demande totale (TDD), et le facteur de la puissance (PF).

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

Le THD peut être utilisé pour décrire une distorsion de tension ou de courant, il est le rapport entre la racine de la somme carré de toutes les valeurs efficaces des composantes harmoniques du signal, Ramenée à la composante fondamentale et il est calculé comme suit :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad \text{I-2}$$

Un courant à faible amplitude peut avoir un THD élevé, mais il ne représente pas un danger pour le système. Le TDD est le rapport entre la racine de la somme carrée de toutes les valeurs efficaces des composantes harmoniques du signal, ramenée à la valeur efficace du courant nominal de la charge [13].

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad \text{I-3}$$

Le facteur de puissance (PF) est un rapport entre la puissance utile nécessaire pour effectuer un travail réel (puissance active) et la puissance fournie par un service public (puissance apparente).

$$PF = \frac{P}{S} \quad \text{I-4}$$

Où  $P$  est la puissance active,  $S$  est la puissance apparente. En d'autres termes, le rapport du facteur de puissance mesure le pourcentage de la puissance réel utilisée (active) par rapport à la puissance apparente fournie. Le facteur de puissance varie de zéro à l'unité. Une charge dont le facteur de puissance est égal à 0,9 indique que la charge peut effectivement utiliser 90% de la puissance apparente fournie (voltampères) et la convertir pour effectuer un travail utile (en watts). Dans le cas sinusoïdal, il n'existe qu'un seul angle de déphasage entre la tension et le courant (seule la fréquence fondamentale étant présente). Le facteur de puissance peut être calculé en tant que cosinus de l'angle de déphasage et il est appelé le facteur du déplacement.

$$PF = \cos \varphi \quad \text{I-5}$$

Où  $\varphi$  est l'angle du déphasage entre le courant et la tension.

### 1.4.3 Les effets de la pollution harmonique :

Les effets de la pollution peuvent se classer en deux types :

## **Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique**

### **1.4.3.1 Les effets instantanés ou à court terme :**

pertes de précision dans les appareils de mesure (compteur d'énergie, instrumentation,...), vibrations dans les moteurs électriques alternatifs à cause des couples mécaniques pulsatives dus aux champs tournants harmoniques, vibrations, bruits acoustiques dans les transformateurs ou les inductances dus aux efforts électrodynamiques proportionnels aux courants harmoniques.

### **1.4.3.2 Les effets à long terme :**

vieillesse prématuré des moteurs électriques alternatifs du fait des pertes cuivre et fer supplémentaires, dû à la différence importante de la vitesse entre les champs tournants inducteurs harmoniques et le rotor, échauffements et pertes joules supplémentaires des câbles et des équipements entraînant des déclassements du matériel avec des surdimensionnements .

## **1.5 Filtrage d'harmoniques :**

### **1.5.1 Filtre passif (solution traditionnelle) :**

Le principe des filtres passifs est basé notamment sur des configurations d'éléments résistives (R), capacitifs (C) et inductifs (L) et reliés dans différentes combinaisons pour avoir la suppression désirée des harmoniques. Ils sont utilisés pour manœuvrer les courants harmoniques outre de la ligne ou pour bloquer leur écoulement entre les différentes parties du système en accordant ces éléments pour créer une résonance à une fréquence choisie. Ils fournissent également une puissance réactive au système électrique et par conséquent améliorent la qualité de puissance [9].

Cependant, ils ont l'inconvénient de l'interaction défavorable avec le système d'alimentation et les performances du filtre passif dépendent principalement sur l'impédance du système.

D'autre part, ils peuvent être employés pour éliminer une fréquence harmonique déterminée, donc le nombre de filtres passifs s'accroît avec l'augmentation du nombre des harmoniques à éliminer.

### **1.5.2 Filtre actif (Solutions modernes) :**

Les inconvénients inévitables aux filtres passifs et l'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les Transistors IGBT, ont conduit à concevoir une nouvelle structure de filtres appelée filtres actifs de puissance (A.P.F). Le but de ces filtres est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière que le courant et la tension du réseau soient rendus sinusoïdaux et parfois avec un facteur de puissance unitaire. Le

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

Le filtre actif est connecté en série, en parallèle, en combinant ces deux dernières structures ensemble ou associé avec des filtres passifs en fonction des grandeurs électriques harmoniques (courants ou tensions) à compenser.

### 1.5.2.1 Principe de fonctionnement du filtre actif :

Le principe de base des filtres actifs a été proposé dans les années 70 s. Les filtres actifs sont souvent conçus pour la compensation des courants harmoniques et de la puissance réactive.

Ces filtres sont des onduleurs mono/triphasés agissant comme source de courant ou de tension en injectant en série ou en parallèle sur le réseau électrique des composantes harmoniques en opposition de phase à ceux du réseau, par conséquent, les composantes harmoniques de la charge polluante s'éliminent et le courant de la source va acquérir une forme quasi sinusoïdale [3]. Le schéma relatif à ce principe est montré dans la figure (2).

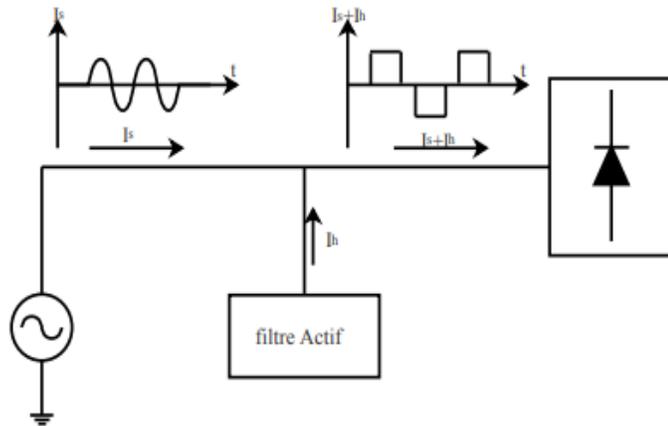


Figure 2. Schéma de principe d'un filtre actif.

La structure des filtres actifs se compose essentiellement de deux parties, soit d'une partie puissance et d'une partie commande figure (3).

La partie puissance se compose d'un onduleur, d'un filtre de couplage et d'un élément passif lui servant de source d'énergie.

La partie commande, sert au contrôle de la commutation des éléments semi-conducteurs formant l'onduleur de la partie puissance.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

Au moyen de stratégies de contrôle appropriées, il est possible de générer des signaux harmoniques à la sortie de l'onduleur servant à compenser ceux présents sur le réseau électrique.

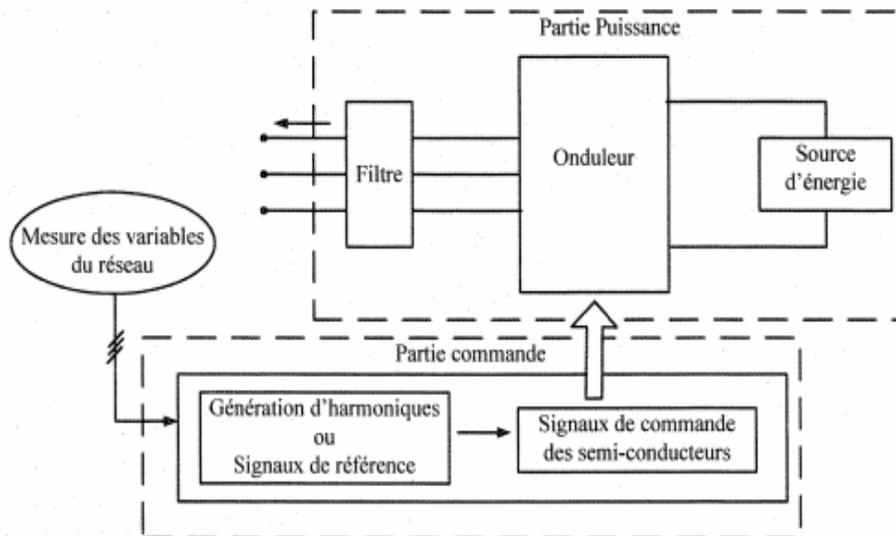


Figure 3 - Structure générale d'un filtre actif parallèle

### 1.5.2.2 Classification de filtres actifs :

Les filtres actifs peuvent être classifiés à partir du type de convertisseur qu'ils utilisent, de leur topologie ou encore de leur nombre de phases.

Nous nous limiterons ici à la classification selon leurs différentes topologies. Suivant leurs topologies, les FA peuvent être en série, en parallèle ou mixtes :

#### 1.5.2.2.1 Filtre actif série :

Le filtre actif série (FAS) est placé en série entre la source et la charge non linéaire pour forcer le courant de la source à être sinusoïdal.

Le but du filtre actif série est de créer une impédance en série avec le réseau qui sera nulle pour le fondamental et de valeur élevée pour les harmoniques.

Il est destiné à protéger les installations sensibles aux perturbations provenant du réseau telles que les harmoniques en tension, les surtensions, déséquilibres et creux de tension.

En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge. En plus, ce filtre nécessite une protection complexe contre les courts-circuits des réseaux.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

En effet, lors d'un court-circuit côté réseau, ce dernier peut être amené à supporter tout le courant de court-circuit.

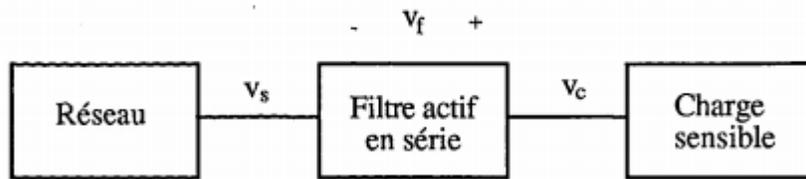


Figure 4 : Principe de compensation harmonique par un filtre actif série

### 1.5.2.2.2 Filtre actif parallèle :

Le filtre actif parallèle injecte des courants harmoniques au réseau tels que la différence entre les courants à corriger et ceux injectés soit exempte des harmoniques que l'on veut éliminer.

La figure 5 illustre ce principe.

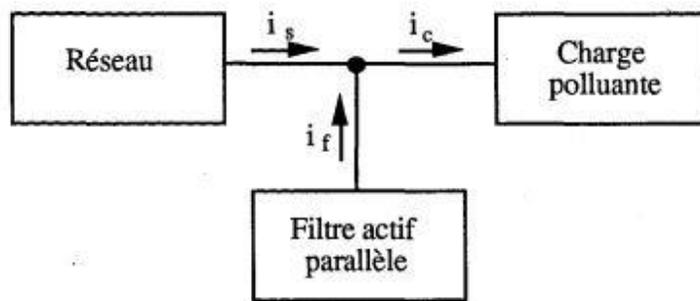


Figure 5 : Principe de compensation harmonique par un filtre actif parallèle

Théoriquement, le filtre actif parallèle peut être considéré comme un générateur de courant dont la forme d'onde du courant généré est contrôlée.

Suivant la commande utilisée.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

### 1.5.2.2.3 Filtre combiné parallèle-série (UPQC)

L'UPQC est principalement la combinaison de deux filtres actifs série et parallèle qui partagent la même capacité sur le bus continu. Ce type de dispositif est capable à la fois de régler la tension du réseau et d'éliminer les harmoniques. Il est considéré comme le plus puissant dispositif et il est capable d'effectuer efficacement toutes les tâches de

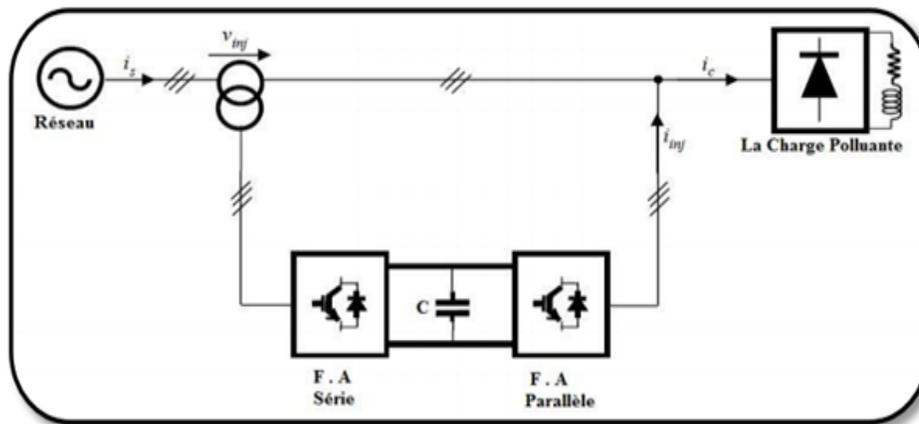


Figure 6 : Filtre combiné parallèle-série (UPQC).

conditionnement de puissance [6][7][1]. Cependant, son prix important et la complexité des commandes des nombreux interrupteurs limitent son utilisation à des applications critiques comme l'équipement médical.

### 1.6 Effet de l'impédance du réseau sur le filtre actif :

L'effet de l'impédance du réseau est moindre que dans le cas du filtre passif.

Le risque de résonance entre le filtre actif et l'impédance du réseau est inexistant. Ceci n'est pas un facteur aussi déterminant lors de la conception, mais l'efficacité de compensation d'harmoniques du filtre actif est tout de même reliée à l'impédance du réseau et aussi par le type de charges génératrices d'harmoniques [8].

### 1.7 Convertisseurs de puissance utilisés dans les filtres actifs

Les interrupteurs de puissance ou les semi-conducteurs à base de silicium sont les éléments essentiels de la conversion de l'énergie électrique, ils peuvent être classés en trois catégories :

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

**Diodes** : le courant ne circule que dans le sens anode cathode alors que le circuit de puissance qui commande l'ouverture et la fermeture.

**Thyristors** : Fermeture commandée par un signal de commande et l'ouverture lorsque la tension s'inverse à ses bornes.

Interrupteurs commandables par un signal de commande à l'ouverture et à la fermeture.

Le coût réduit de ces interrupteurs de puissance et la facilité de leurs contrôles favorisent leurs utilisations dans la conversion de l'énergie électrique, les paramètres essentiels de ces interrupteurs sont la tension à ces bornes à l'état de blocage, la puissance transmise et la fréquence de commutation.

Dans ces dernières années, nombreuses applications industrielles nécessitent des convertisseurs statiques avec une alimentation moyenne tension pour l'entraînement des machines moyenne tension à vitesse variable et couple variable, interfaçage entre un générateur de système d'énergie renouvelable et le réseau d'alimentation.

Cependant, l'utilisation des convertisseurs statique à deux niveaux dans ces applications est très difficile, car la tension de blocage d'un seul interrupteur de puissance est très élevée ce qui limite la fréquence de commutation [1]. Par conséquent, une structure de convertisseur de puissance à plusieurs niveaux a été introduite dans les applications de haute et moyenne tension dites les convertisseurs multiniveaux.

Cependant, le concept de base d'un convertisseur multiniveau pour atteindre une haute puissance et haute tension consiste à utiliser une série des interrupteurs de puissance avec plusieurs sources de tension continue réduite. Leurs avantages ne se limitent pas seulement au fait que la puissance de fonctionnement est élevée, mais aussi ont l'avantage que les énergies renouvelables (photovoltaïques ou les éoliennes) sont facilement interfacées avec ces convertisseurs multiniveaux et la tension de sortie contient plusieurs niveaux qui peuvent minimiser le contenu harmonique de la tension de sortie.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

### 1.7.1 Convertisseurs multicellulaires séries :

La structure du convertisseur multicellulaire série à capacité flottante (flying capacitor converter) a été développée au sein du laboratoire LAPLACE (ex L.E.E.I) de Toulouse au début des années 90 [1].

la structure Multicellulaire utilise les condensateurs flottants comme illustré dans la figure.7. ou trois cellules élémentaires sont connectées en série, chaque cellule Contient un condensateur et deux interrupteurs complémentaires.

La tension sur chaque condensateur diffère de celle du condensateur suivant, la différence de tension entre deux branches adjacentes du condensateur donne la contrainte en tension applique aux interrupteurs à l'état bloqué, et Donne aussi l'échelon de tension multiniveau dans la forme d'onde de sortie .

Le convertisseur multicellulaire présente des degrés de liberté plus élevés (redondance des cellules élémentaire en série) pour la synthèse d'un niveau de tension de sortie spécifique et utilise un nombre moins des interrupteurs que la topologie (NPC), la structure multicellulaire présente également l'avantage que les sources des tensions continues séparées ne sont pas nécessaire contrairement à la configuration en Pont-H. Le tableau.1.présente une liste de toutes les combinaisons de niveaux de tension de phase possibles pour le circuit à quatre niveaux illustrés à la figure.7. Contrairement à l'onduleur NPC, l'onduleur multicellulaire permet de charger ou décharger les condensateurs flottants afin d'équilibrer les tensions entre les différents niveaux [1].

La structure des convertisseurs multicellulaire a été introduite pour les avantages suivants [1]:

- Distribuer les contraintes en tension à l'état bloquée sur les interrupteurs de puissance en série et augmenter la tension continue de fonctionnement de convertisseur.
- Augmenter la puissance transmise à travers les convertisseurs de puissance.
- Augmenter la fréquence de commutation des interrupteurs.
- Diminuer les pertes de commutation.
- Améliorer la forme d'onde de la tension de sortie.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

### Remarque :

Les convertisseurs multicellulaires sont typiquement des applications pour lesquelles le rendement de la production d'énergie électrique est directement lié aux bénéfices économiques qui en découlent. Les convertisseurs multicellulaires sont très sensibles à la défaillance des semi-conducteurs de puissance. Elle diminuerait les performances du système et l'obligerait à se déconnecter du réseau. De plus, si le défaut n'est pas détecté rapidement et ensuite compensé, il peut conduire à la destruction du convertisseur. Donc pour réduire ces risques, une détection de défaut ainsi qu'une isolation et une accommodation du défaut doivent être mises en œuvre très rapidement afin que le convertisseur multicellulaire puisse continuer à fonctionner dans des conditions nominales

### 1.7.2 Hypothèses simplificatrices

Les hypothèses suivantes permettent de simplifier l'étude et la modélisation du convertisseur multicellulaire.

Les interrupteurs de puissance (semi-conducteurs) sont considérés comme parfait, c'est-à-dire la résistance de l'interrupteur de puissance est égale à zéro lorsqu'il est fermé et égale l'infini lorsqu'il est ouvert (aucun passage de courant) et le temps mort de commande des interrupteurs est nul.

La tension d'entrée  $v_{dc}$  est considérée constante.

Les deux interrupteurs de la même cellule sont toujours complémentaires, si l'un de ces interrupteurs est ouvert l'autre est fermé et vice-versa.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

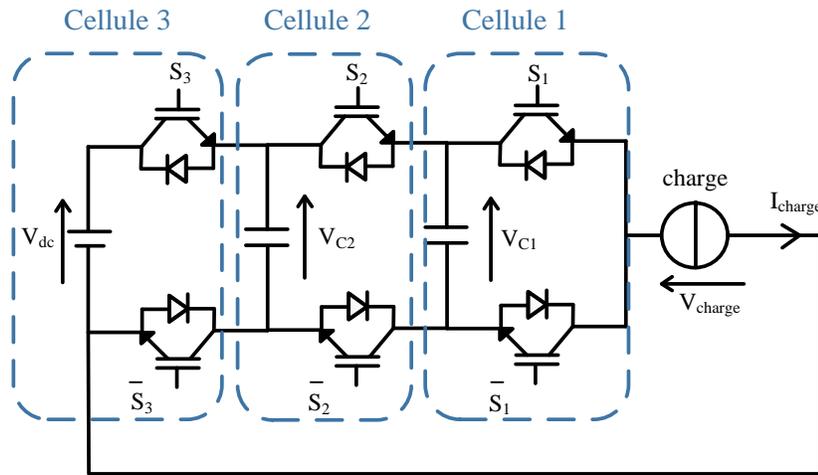


Figure 7 : Convertisseur multicellulaire à trois cellules

### 1.7.3 Configurations possibles du convertisseur multicellulaire à trois cellules :

Dans cette section un convertisseur multicellulaire à trois cellules et quatre niveaux de tensions de sorties sera utilisé, chaque cellule contient deux interrupteurs chaque interrupteur contient un IGBT en parallèle inverse avec une diode, la tension  $v_{c1} = \frac{v_{dc}}{3}$  et  $v_{c2} = 2 \frac{v_{dc}}{3}$ , alors la contrainte en tension des interrupteurs est égale  $\frac{v_{dc}}{3}$  malgré le fait que la tension d'alimentation soit  $V_{dc}$  cela montre la diminution des contraintes en tension des interrupteurs .

Configuration	$(s_1 s_2 s_3)$	$v_{charge}$
1	(0 0 0)	0
2	(0 0 1)	$\frac{v_{dc}}{3}$
3	(0 1 0)	$\frac{v_{dc}}{3}$
4	(0 1 1)	$2 \frac{v_{dc}}{3}$
5	(1 0 0)	$\frac{v_{dc}}{3}$
6	(1 0 1)	$2 \frac{v_{dc}}{3}$

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

7	(1 1 0)	$2\frac{v_{dc}}{3}$
8	(1 1 1)	$v_{dc}$

Tableau 1 les configurations possibles du convertisseur multicellulaires trois cellules

### 1.8 Modélisation aux valeurs instantanées

Dans ce type de modélisation, les commutations des interrupteurs sont prises en compte et permettent de visualiser les différentes grandeurs d'état représentant le convertisseur multicellulaire (les tensions des condensateurs flottants, le courant de charge, la tension de sortie). La topologie du convertisseur multicellulaire est représentée dans le temps selon la période de commutation ou la fréquence de découpage. Un bras du convertisseur multicellulaire à  $N$  cellules ayant chacune deux interrupteurs avec une commande complémentaire signifie que ce bras peut présenter  $2^n$  configurations possibles. Un système d'équations différentielles rassemble ces  $2^n$  configurations pour représenter l'évolution des grandeurs du convertisseur multicellulaire [1].

#### 1.8.1 Fonctionnement hacheur abaisseur :

un hacheur multicellulaire à  $N$  cellules alimentant une charge  $R - L$ , Le modèle de cette structure à  $N - 1$  condensateurs flottants contient  $N - 1$  équations différentielles pour l'évolution des tensions des condensateurs flottants et une équation pour l'évolution du courant de la Charge.

Le condensateur  $c_i$  est parcouru par le courant  $i_{ch}$  lorsque les interrupteurs en amont ( $S_{i+1}$ ) et en aval ( $S_i$ ) ont des états différents et l'évolution de la tension  $v_{ci}$  aux bornes de  $c_i$  est liée à la variation du courant  $i_{ci}$ . Le courant du condensateur est donné par l'équation (I-6) et la tension  $v_{ci}$  est donnée par l'équation (I-7) [1].

$$i_{ic} = [s_{i+1} - s_i] i_{ch} \quad \text{I-6}$$

$$\frac{d}{dt} v_{ci} = \frac{[s_{i+1} - s_i]}{c_i} i_{ch} \quad \text{I-7}$$

L'équation (I-7) est généralisable pour  $N - 1$  tensions des condensateurs flottants.

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

### 1.8.2 Fonctionnement en onduleur

Considérons un onduleur multicellulaire à  $N$  cellules avec un point milieu capacitif comme représenté dans la figure 8 La modélisation de l'onduleur est la même que celle du hacheur pour l'évolution des tensions des Condensateurs flottants. Pour la charge alternative, la tension de sortie est donnée par l'équation (I-8) et le courant de la charge alternatif est donné par l'équation (I-9) [1].

$$v_{ch} = R_{ch}i_{ch} + L_{ch} \frac{d}{dx} i_{ch} + \frac{V_{dc}}{2} \quad \text{I-8}$$

$$\frac{d}{dt} i_{ch} = \frac{v_{ch}}{l_{ch}} - \frac{R_{ch}}{L_{ch}} i_{ch} - \frac{V_{dc}}{2L_{ch}}$$

$$\frac{d}{dt} i_{ch} = \frac{[s_1 - s_2]}{L_{ch}} v_{c1} + \frac{[s_2 - s_3]}{L_{ch}} v_{c2} + \dots \frac{[s_{N-1} - s_N]}{L_{ch}} v_{cN-1}$$

$$+ \frac{s_N}{L_{ch}} V_{dc} - \frac{R_{ch}}{L_{ch}} i_{ch} - \frac{V_{dc}}{2L_{ch}} \quad \text{I-9}$$

Le système d'équation de l'onduleur multicellulaire à  $N$  cellules est donné par l'équation (I-10)

$$\frac{d}{dt} v_{c1} = \frac{[s_2 - s_1]}{C_1} i_{ch}$$

$$\frac{d}{dt} v_{c2} = \frac{[s_3 - s_2]}{C_2} i_{ch}$$

$$\frac{d}{dt} v_{ci} = \frac{[s_{i+1} - s_i]}{C_i} i_{ch}$$

$$\frac{d}{dt} v_{cN-1} = \frac{[s_N - s_{N-1}]}{C_{N-1}} i_{ch} \quad \text{I-10}$$

$$\frac{d}{dt} i_{ch} = \frac{[s_1 - s_2]}{L_{ch}} v_{c1} + \frac{[s_2 - s_3]}{L_{ch}} v_{c2} + \dots \frac{[s_{N-1} - s_N]}{L_{ch}} v_{cN-1}$$

$$+ \frac{s_N}{L_{ch}} V_{dc} - \frac{R_{ch}}{L_{ch}} i_{ch} - \frac{V_{dc}}{2L_{ch}}$$

## Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique

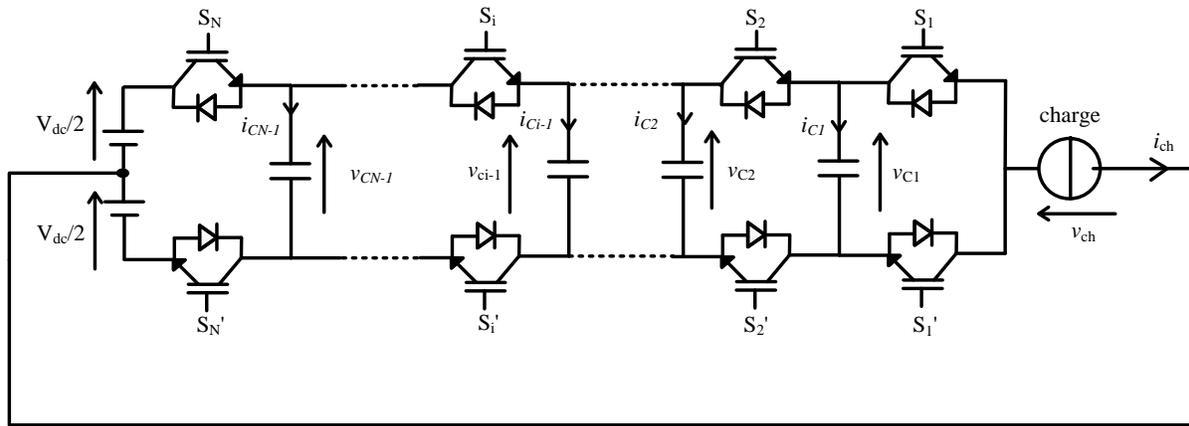


Figure 8 : Onduleur multicellulaire monophasé à N cellules.

### 1.9 Commande du convertisseur

L'objectif de la commande est de réguler simultanément chaque tension aux bornes des condensateurs et le courant circulant dans la charge à leurs valeurs de référence. Il est donc nécessaire de contrôler les tensions des capacités [11, 12]. Dans la littérature, plusieurs approches de commande ont été proposées.

Néanmoins, celles-ci utilisent soit un modèle moyen, soit un modèle instantané hybride du convertisseur

### 1.10 Normes de qualité :

Afin de limiter les effets des perturbations harmoniques sur les réseaux électriques, des normes ont été mises en place. Les deux principaux organismes qui ont établi de telles normes sont la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) et IEEE. Les normes qu'ils ont établies sont, de façon respective, la série CEI 61000 et l'IEEE Standard 519 [5]. De façon générale ces normes identifient les principales sources de pollution harmonique,

Ces recommandations concernent les exigences au point de raccordement de l'utilisateur sur le réseau électrique dans le but :

- D'épargner à l'utilisateur de l'énergie électrique, les désagréments engendrés par la présence des harmoniques.
- D'assurer la longévité et la sécurité des différents équipements constituant le réseau et ceux qui sont branchés à ce dernier.

## **Chapitre 1 : Qualité de l'énergie électrique**

### **1.11 CONCLUSION :**

Les convertisseurs statiques perturbent les réseaux électriques parce qu'ils injectent des courants harmoniques et consomment pour la plupart de la puissance réactive.

Les solutions classiques, notamment le filtrage passif et la compensation de puissance réactive par des batteries de condensateurs ne sont plus suffisantes pour la dépollution. Il faut donc rechercher des moyens plus efficaces.

Les progrès réalisés sur les semi-conducteurs de puissance rapides et la commande ont permis de concevoir des nouvelles structures, comme les filtres actifs. Ces nouvelles techniques offrent de nombreuses perspectives à la dépollution des réseaux.

Les filtres actifs peuvent fonctionner seuls ou être associés avec des filtres passifs. Ils peuvent être connectés en parallèle ou en série avec le réseau. Les modes de fonctionnement sont, soit dédiés soit adaptatifs.

Le convertisseur multicellulaire série est également présente dans ce chapitre. Sa modélisation et son fonctionnement.

**Chapitre 2 :**

**Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire**

## Chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

### 2.1 Introduction :

Les filtres actifs de puissance ont pour objectif d'agir d'une manière directe et dynamique afin de compenser les harmoniques ou atténuer leurs effets sur les réseaux d'alimentation. Pour rendre cet objectif réalisable, la méthode puissance réactive instantanée est basée sur la mesure des variables instantanées triphasées présentes sur le réseau électrique afin de considérer une bonne qualité du filtrage.

Les convertisseurs de puissance multicellulaire sont intégrés dans le système de filtrage actif pour améliorer le THD du courant du réseau et augmenter la tension d'utilisation. L'utilisation des convertisseurs multicellulaires avec leurs caractéristiques et leurs avantages (détaillés dans le chapitre 1) dans le filtrage actif présente un grand défi pour l'industrie.

Dans ce chapitre, un filtre actif shunt à base de l'onduleur multicellulaire triphasé demi-pont à trois cellules est utilisé pour réduire le  $dv/dt$ , diminuer les contraintes relatives à la tension des interrupteurs du filtre actif et pour améliorer le THD du courant du réseau.

### 2.2 Description du système du filtre actif à base d'onduleur multicellulaire :

La figure 9 présente la structure du filtre actif à base de l'onduleur multicellulaire triphasé en demi-pont à trois cellules séparées par des condensateurs flottants ( $C_{abc1}$  et  $C_{abc2}$ ).

Chaque cellule contient deux interrupteurs complémentaires. Ce filtre est connecté au réseau à travers une inductance de couplage  $L_{fabc}$  avec une résistance interne  $R_{fabc}$  pour injecter les courants nécessaires ( $i_{fa}$ ,  $i_{fb}$  et  $i_{fc}$ ) dans le réseau. Le réseau de distribution utilisé est triphasé ( $v_{sa}$ ,  $v_{sb}$  et  $v_{sc}$ ) de valeurs efficaces simple  $V_{sa} = 220V$  et fréquence 50 Hz, et des courants ( $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$  et  $i_{sc}$ ).

La charge non linéaire (CNL) est un redresseur non commandé (à six diodes) alimentant en tension continue une charge  $R - L$  et consommant un courant ( $i_{cha}$ ,  $i_{chb}$  et  $i_{chc}$ ).

La CNL génère des courants harmoniques ce qui présente des effets néfastes sur la qualité de l'énergie dans le réseau de distribution.

Le rôle du filtre actif est d'injecter des courants égaux en amplitudes et en opposés de phase aux courants harmoniques générés par la CNL.

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

Pour établir cette fonction de filtrage, deux boucles de régulation sont utilisées :

- Boucle de régulation de la tension du bus continu  $v_{dc}$  : utilisant la théorie de la puissance réactive instantanée pour réguler  $v_{dc}$  à sa valeur de référence et extraire les courants de référence du filtre.
- Boucle de régulation des courants du filtre : utilisant des commandes en boucle fermée (linéarisation exacte et mode glissant) pour que les courants du filtre suivent leurs références.

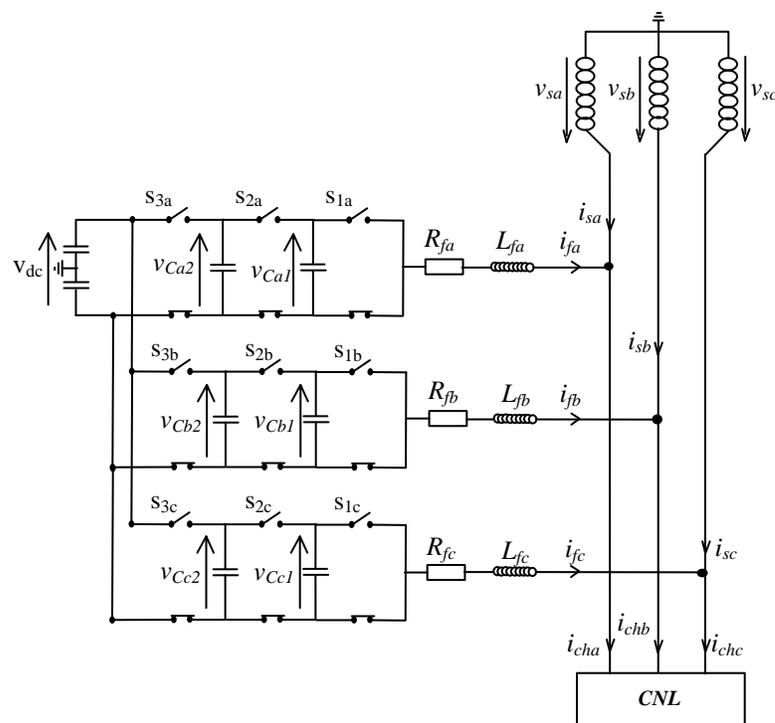


Figure 9 :Filtre actif shunt à base de l'onduleur multicellulaire.

### 2.3 Régulation de la tension du bus continu :

La régulation de la tension du bus continu et le calcul des références des courants du filtre est faite grâce à la théorie de la puissance réactive instantanée.

#### 2.3.1 Théorie de la puissance réactive instantanée :

La méthode des puissances active et réactive instantanées (fréquemment appelée méthode  $pq$ ) a été introduite par H IROFUMI Akagi [14]. Son principe est basé sur le passage des systèmes

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

triphases constitués par les tensions simples et les courants de ligne, vers un système diphasé (repère $\alpha\beta$ ) en utilisant la transformation de Concordia, afin de calculer les puissances instantanées. Ensuite, l'utilisation soit d'un filtre passe bas, soit d'un filtre passe haut afin d'éliminer la composante continue de la puissance active afin de ne garder que la composante harmonique du signal sachant que la composante fondamentale est transformée en une composante continue et les composantes harmoniques en composantes alternatives.

Les équations transformées du 1er plan triphasé au second à coordonnées biphasées de la tension du réseau  $v_{\alpha\beta}$  et du courant du filtre  $i_{f\alpha\beta}$  sont données par :

$$v_{s\alpha\beta} = [C_{32}] \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad \text{II.1}$$

$$i_{f\alpha\beta} = [C_{32}] \begin{bmatrix} i_{fa} \\ i_{fb} \\ i_{fc} \end{bmatrix} \quad \text{II.2}$$

$$[C_{32}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad \text{II.3}$$

Les puissances actives et réactives sont données par :

$$p(t) = v_{sa}i_{fa} + v_{sb}i_{f\beta} \quad \text{II.4}$$

$$q(t) = -v_{sa}i_{f\beta} + v_{sb}i_{fa} \quad \text{II.5}$$

Les puissances actives et réactives peuvent être exprimées la commande charge en composantes AC et DC telle que :

$$p(t) = \bar{P} + \tilde{P} \quad \text{Puissance réelle instantanée} \quad \text{II.6}$$

$$q(t) = \bar{q} + \tilde{q} \quad \text{Puissance réactive instantanée} \quad \text{II.7}$$

Où  $\bar{p}$  et  $\bar{q}$  sont, de façon respective, les composantes des puissances moyennes actives et réactives correspondant au courant de charge fondamentale (50 Hz), alors que  $\tilde{p}$  et  $\tilde{q}$  correspondent aux composantes alternatives liées au courant harmonique.

## Chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

En conséquence, l'élimination de la composante fondamentale dans les équations II.6 et II.7 s'effectue à l'aide de deux filtres passe-bas de Butterworth (figure 10) d'ordre deux.

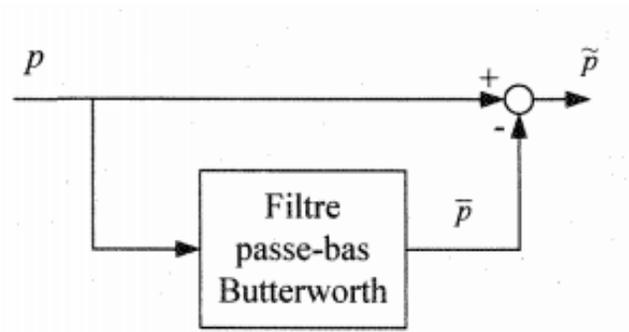


Figure 10 : Filtrage de la composante de la puissance continue

La figure (11) présente le diagramme de Bode du filtre Passe-bas utilisé dans la méthode des puissances instantanées, il est clair que ce type de filtre bloque les fréquences harmoniques inférieures à la fréquence de coupure et ne laisse passer que la fréquence fondamentale, en d'autres mots les composantes continues des puissances active et réactive dans notre cas.

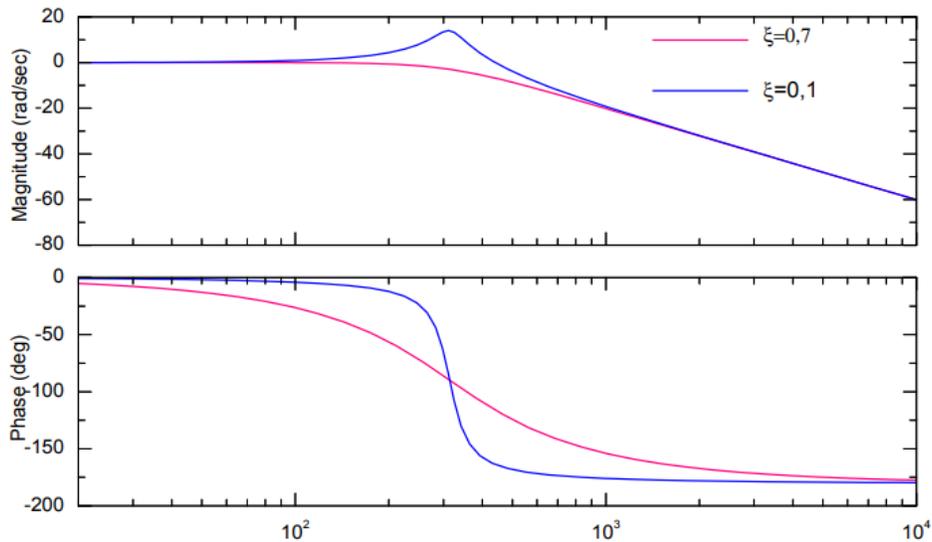


Figure 11 : Diagramme de Bode d'un FPB

L'expression des courants du filtre en fonction des puissances actives et réactives instantanées dans le plan est donnée par l'équation (II.8):

$$\begin{bmatrix} i_{ch\alpha} \\ i_{ch\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{s\alpha}^2 + v_{s\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & -v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} - \Delta P \\ \tilde{q} + \tilde{q} \end{bmatrix} \quad \text{II.8}$$

## Chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

Notre but est de compenser la puissance réactive (composantes continues et alternatives) et les courants harmoniques générés par la CNL, alors les courants de référence du filtre actif parallèle

Où  $\Delta P$  est la puissance active nécessaire pour maintenir la tension du bus continu égale à  $v_{dc}$  lorsqu'une variation brusque de la puissance de la CNL.

Alors, les courants du filtre dans le plan triphasé sont donnés par :

$$\begin{bmatrix} i_{f\alpha ref} \\ i_{f\beta ref} \\ i_{fc ref} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -1 & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{f\alpha ref} \\ i_{f\beta ref} \end{bmatrix} \quad \text{II.9}$$

La figure 12 représente le schéma global de la théorie de la puissance réactive instantanée.

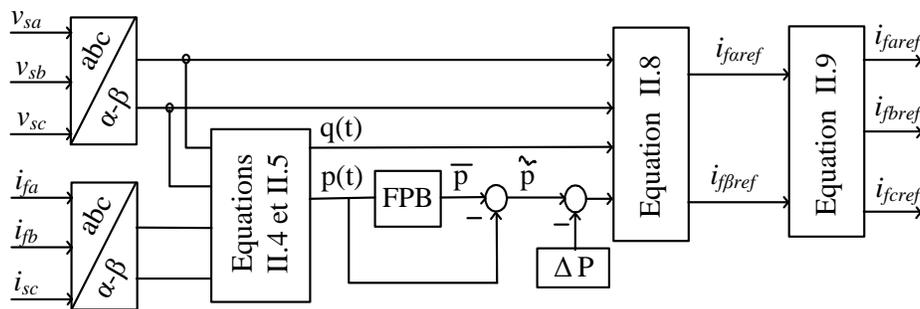


Figure 12 : Théorie de la puissance réactive instantanée.

### 2.3.2 La méthode des puissances instantanées possède les quelques caractéristiques suivantes :

- Elle est une théorie inhérente aux systèmes triphasés.
- Elle peut être appliquée à tout type de systèmes triphasés (équilibré ou déséquilibré, avec ou sans harmonique).
- Elle est basée sur des valeurs instantanées, ce qui lui donne de bons temps de réponse dynamique.
- Le nombre d'harmoniques compensé dépend de la bande passante des semi-conducteurs composant l'onduleur du filtre actif.

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

- Méthode de calcul simple (elle n'est composée que d'expression algébrique et peut être implémentée à l'aide d'un processeur standard).

### 2.4 Commande du convertisseur multicellulaire à partir du modèle aux valeurs moyennes :

#### 2.4.1 Commande par linéarisation exacte :

Commande par linéarisation exacte La linéarisation exacte est dédiée à l'utilisation des correcteurs linéaires dans un système non linéaire. L'idée principale est d'utiliser une transformation algébrique du système non linéaire pour le rendre linéaire [1]. Après cette transformation toutes les techniques de correction linéaire peuvent être utilisées. L'avantage principal de cette méthode est d'effectuer une transformation exacte sans passer par des approximations.

Après quelques rappels nécessaires, nous appliquons cette méthode à l'onduleur multicellulaire triphasé à trois cellules.

Soit le système non linéaire multi-entrées multi-sorties présenté dans l'équation (II-10) :

$$\begin{aligned}x &= f(x) + g(x)u + H \\ Y &= d(x)\end{aligned}\quad \text{II -10}$$

$[x_1, x_2, x_3, \dots, x_N]^T$  Est le vecteur d'état.

$[y_1, y_2, y_3, \dots, y_N]^T$  Est le vecteur de sortie.

$[u_1, u_2, u_3, \dots, u_N]^T$  Est le vecteur d'entrée.

$[H_1, H_2, H_3, \dots, H_N]^T$  Est la composant perturbatrice.

Et dont la représentation vectorielle est :

$$f(x) = \begin{pmatrix} f_1(x) \\ \vdots \\ f_n(x) \end{pmatrix}, g(x) = \begin{pmatrix} g_1(x) \\ \vdots \\ g_n(x) \end{pmatrix}, d(x) = \begin{pmatrix} d_1(x) \\ \vdots \\ d_n(x) \end{pmatrix}$$

Les fonctions  $f, g$  et  $d$  sont considérées comme des fonctions lisses qui sont indéfiniment dérivables par rapport à chacun de leurs arguments.

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

L'idée de la linéarisation exacte est de boucler le système par l'introduction d'une nouvelle commande  $w$  tel que  $u = R(x, w)$ .

Pour effectuer ce bouclage de linéarisation, il faut exprimer les dérivées successives des  $y_i$ . On arrête la dérivation quand les entrées commencent à intervenir dans l'expression de la dérivée.

Considérons l'équation (II-11) [1] :

$$\begin{pmatrix} y_1^{(r_1)} \\ \vdots \\ y_m^{(r_m)} \end{pmatrix} = \Delta(x)u + \Delta_0(x) + H \quad \text{II-11}$$

Où la nouvelle entrée  $w$  est donnée par l'équation (II-12) :

$$\begin{cases} y_1^{r_1} = w_1 \\ \vdots \\ y_n^{(r_n)} = w_n \end{cases} \quad \text{II-12}$$

Où  $r_i$  désigne la plus petite dérivée pour que les entrées  $u$  apparaissent dans la  $r_i^{eme}$  dérivée de la sortie  $y_i$ . Le système linéarisé est donné par :

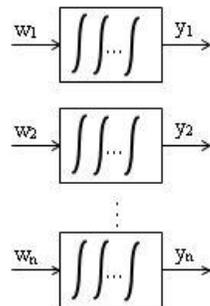


Figure13 : les systèmes linéarisés

On considère que la matrice  $\Delta(x)$  est inversible, on peut effectuer le bouclage suivant :

$$u(x) = \Delta^{-1}(x)w - \Delta^{-1}(x)\Delta_0(x) - \Delta^{-1}(x)H \quad \text{II-13}$$

$$u(x) = \Delta^{-1}(x)[w - H] - \Delta^{-1}(x)\Delta_0(x) \quad \text{II-14}$$

Où  $w$  est la nouvelle entrée pour rendre le système (II-10) linéaire.

On peut écrire l'équation (II-14) sous la forme suivante :

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

$$u(x) = \alpha(x) + \beta(x)[w - H] \quad \text{II-15}$$

Avec

$$\alpha(x) = -\Delta^{-1}(x)\Delta_0(x) \quad \text{II-16}$$

$$\beta(x) = \Delta^{-1}(x) \quad \text{II-17}$$

Le système représenté par l'équation (II-10) est linéaire et complètement découplé avec la nouvelle commande  $w$  et est facilement commandable en utilisant les techniques classiques de la commande par retour de sortie.

Le schéma global de ce système avec la commande  $w$  est donné dans la figure suivante :

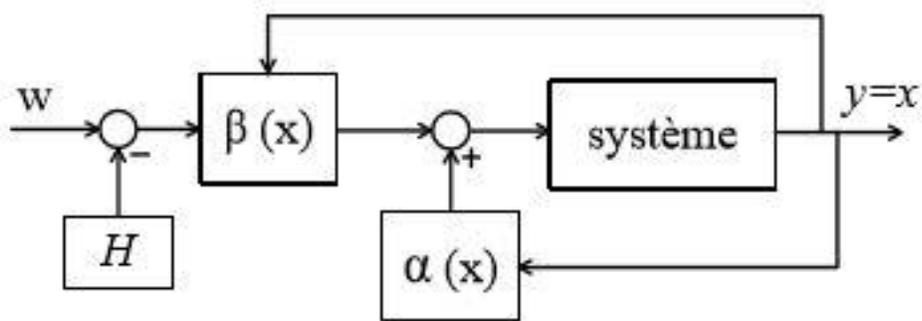


Figure 14 : La linéarisation du système non linéaire.

### 2.4.2 Application de linéarisation exacte à un onduleur multicellulaire triphasé à trois cellules :

On applique le modèle aux valeurs moyennes avec la linéarisation exacte sur un onduleur multicellulaire à trois cellules triphasé avec une charge  $R - L$ . La représentation d'état sous forme non linéaire de cet onduleur est donnée par l'équation (II-18)

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{C1} \\ \dot{V}_{C2} \\ \dot{V}_{C3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_{ch}}{L_{ch}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{C1} \\ V_{C2} \\ I_{ch} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{I_{ch}}{C} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{I_{ch}}{C} & 0 \\ \frac{V_{C1}}{L_{ch}} & \frac{V_{C2}}{L_{ch}} & \frac{V_{dc}}{L_{ch}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{v_{dc}}{2L_{ch}} \end{bmatrix} \quad \text{II-18}$$

Le vecteur d'état  $x$  du système de chaque phase est donc d'ordre trois avec deux tensions des condensateurs flottants et un courant de la charge.

## Chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

$$x_1 = V_{c1}, x_2 = V_{c2}, x_3 = I_{ch}, a = \frac{1}{c}, b_0 = \frac{R_{ch}}{L_{ch}}, b_1 = \frac{1}{R_{ch}}$$

Pour que le découplage du système (II-11) soit possible, la matrice  $\Delta(x)$  doit être inversible, alors, le delta  $\Delta(x) = a^2 b_1 v_{dc} x_3^2$  est différent de zéro

Pour que la matrice  $\Delta(x)$  soit inversible il faut que  $V_{dc} \neq 0$  et  $x_3 \neq 0$  [1].

$$\Delta_0(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -b_0 x_3 \end{pmatrix} \quad \text{II-19}$$

$$\Delta^{-1}(x) = \begin{pmatrix} \frac{x_1 - V_{dc}}{a v_{dc} x_3} & \frac{x_2 - V_{dc}}{a v_{dc} x_3} & \frac{1}{b_1 v_{dc}} \\ \frac{x_1}{a v_{dc} x_3} & \frac{x_2 - E}{a v_{dc} x_3} & \frac{1}{b_1 v_{dc}} \\ \frac{x_1}{a v_{dc} x_3} & \frac{x_2}{a v_{dc} x_3} & \frac{1}{b_1 v_{dc}} \end{pmatrix} \quad \text{II-20}$$

Le retour d'état peut donc s'exprimer par :

$$\alpha(x) = -\Delta^{-1}(x)\Delta_0(x) = \begin{pmatrix} \frac{b_0 x_3}{b_1 v_{dc}} \\ \frac{b_0 x_3}{b_1 v_{dc}} \\ \frac{b_0 x_3}{b_1 v_{dc}} \end{pmatrix} \quad \text{II-21}$$

En appliquant sur le système le retour d'état, on obtient le système linéarisé suivant :

$$\dot{y}_1 = \dot{V}_{c1} = w_1$$

$$\dot{y}_2 = \dot{V}_{c2} = w_2$$

$$\dot{y}_3 = \dot{I}_{ch} = w_3$$

### 2.4.3 Boucle de régulation proportionnelle

## Chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

La commande en boucle fermée avec un régulateur proportionnel à l'onduleur multicellulaire en utilisant la linéarisation exacte est résumée dans la figure 15

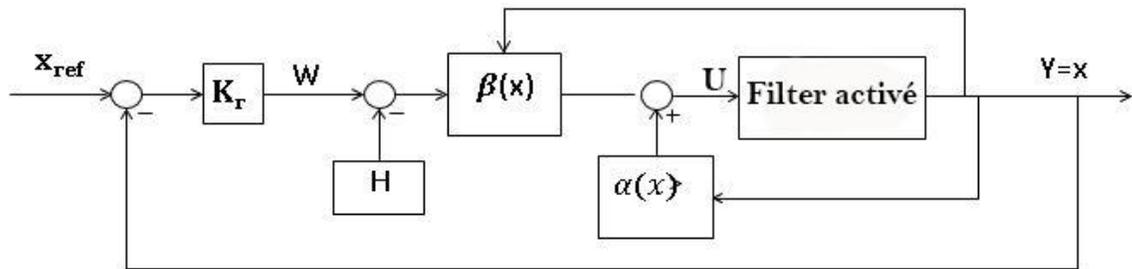


Figure 15 : Boucle de régulation avec correcteur proportionnel.

On peut représenter le système de la figure 15, par un simple intégrateur en boucle fermée comme le montre la figure. 16

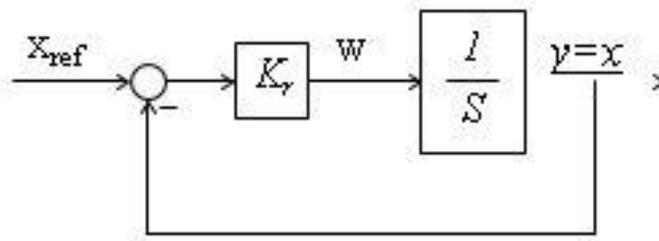


Figure 16 : Boucle de régulation simplifiée.

### 2.5 Résultats de simulation

Les paramètres de simulations sont donnés par :

Fréquence des interrupteurs	$f_{dec} = 16 \text{ kHz}$
Condensateur flottant	$C = 40 \mu\text{F}$
Tension continue de référence	$V_{dcref} = 1200 \text{ V}$
Inductance de la charge	$L_{ch} = .40 \text{ mH}$
Résistance de la charge	$R_{ch} = 8 \Omega$
Tensions de référence pour l'onduleur multicellulaire à trois cellules	$V_{C1\_ref} = \frac{1200}{3} \text{ V}, V_{C2\_ref} = \frac{1200}{3} \text{ V}$
Réseau triphasé	$V_s = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

## Chapitre 2 : Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

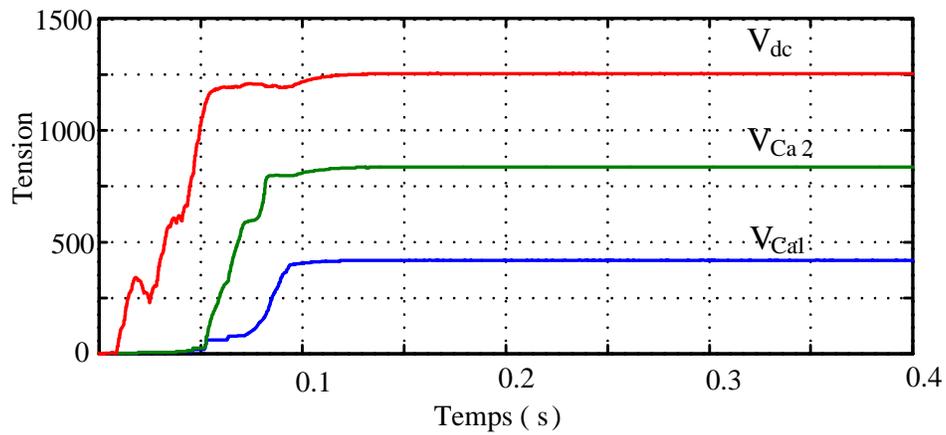


Figure 17 : Tension du bus continu et tensions des condensateurs flottants avec la commande par linéarisation exacte.

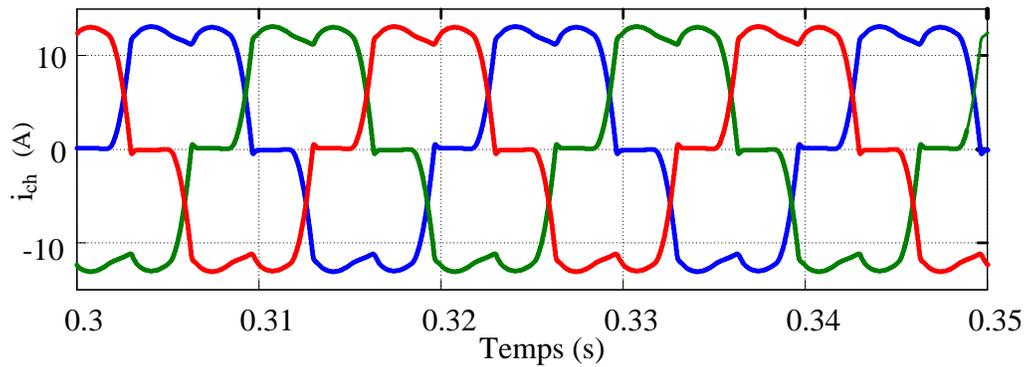


Figure 18 : Courants de la charge non linéaire.

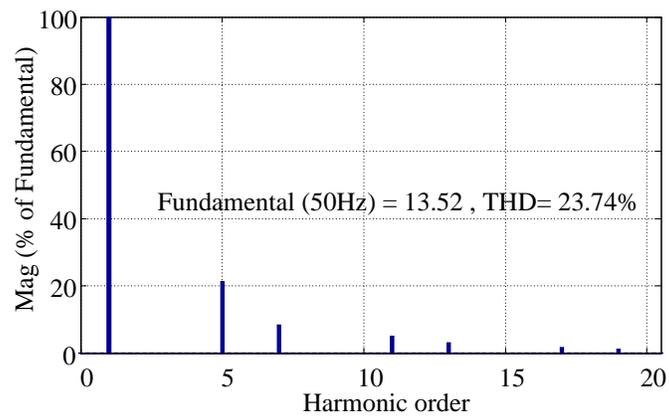


Figure 19 : Spectre du courant de la charge non linéaire.

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

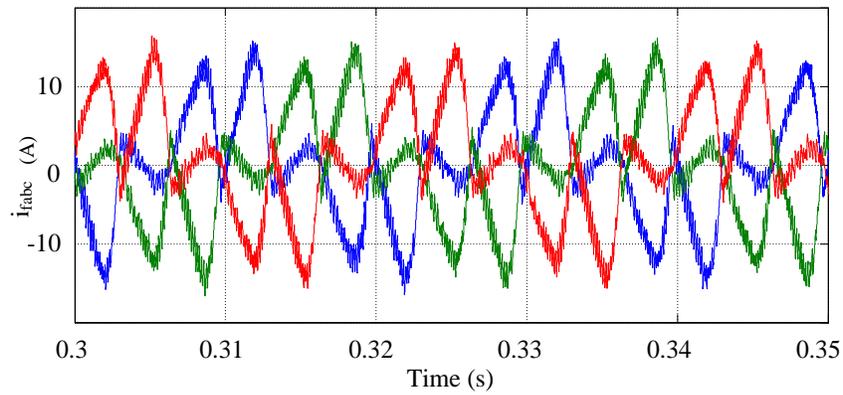


Figure 20 : Courants générés par le filtre actif à base de l'onduleur multicellulaire.

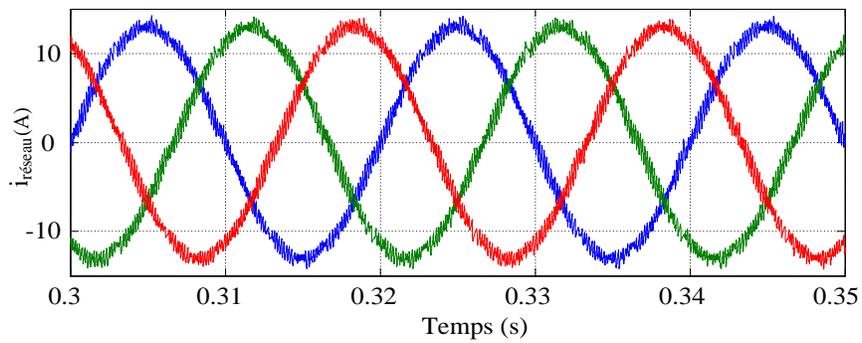


Figure 21 : Courants du réseau après la compensation des harmoniques

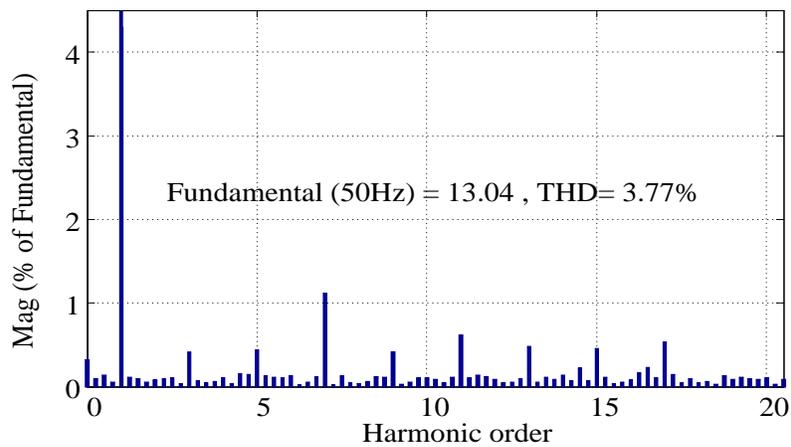


Figure 22 : Spectre du courant du réseau.

## Chapitre 2 :Modélisation et simulation du convertisseur multicellulaire

La discussion des résultats :

Les tensions des condensateurs flottants dans la phase a ( $v_{Ca1}, v_{Ca2}$ ) et la tension du bus continu  $v_{dc}$  tendent vers leurs valeurs de références ( $V_{C1\_ref}, V_{C1\_ref}$  et  $V_{dc-ref}$ ) respectivement durant un régime transitoire de 0.1 S comme le montre la figure 17.

La figure 18 donne la forme déformée (non sinusoïdale) des courants de la charge avec un THD égal à 23.74% (Figure 19).

La charge non linéaire (CNL) injecte dans le réseau un courant riche en harmonique. Le rôle de l'onduleur multicellulaire triphasé à trois cellules est d'injecter dans le point de couplage un courant égal en amplitude et opposé de phase aux courants harmoniques injectés par la CNL.

La figure 20 représente les courants du filtre actif multicellulaire. Après l'injection dans le point de couplage les courants nécessaires à la compensation. Le courant du réseau présente une forme sinusoïdale (voir Figure .21) avec un THD égal à 3.77 % (voir Figure 22).

### 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre l'intérêt d'utiliser le convertisseur multicellulaire dans le filtrage actif a été investigué et démontré. La commande par linéarisation exacte du convertisseur multicellulaire a montré son efficacité en compensation des harmoniques du courant du réseau avec une robustesse contre la variation de la charge non linéaire et la variation de la tension du bus continu.

La méthode des puissances instantanées a été présentée pour identifier les courants harmoniques de référence, elle présente des bons résultats aux conditions équilibrés contrairement aux conditions déséquilibrés

## **Chapitre-3**

# **Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire**

## **Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire**

### **3.1 Introduction :**

Dans le but d'assurer la continuité de fonctionnement des systèmes de puissance suite à la défaillance d'un ou de plusieurs IGBT, l'étape de fiabilisation des convertisseurs statiques considérés globalement comme des dispositifs ou sous-systèmes d'une chaîne globale de conversion est le diagnostic et la conception tolérante aux défauts. Le diagnostic permet de déterminer la présence (i.e. l'existence et la localisation) et le degré de gravité d'un défaut dans un système.

### **3.2 Différents types de défauts des convertisseurs statiques :**

Un défaut est caractérisé par une dégradation du fonctionnement qui peut être partielle ou globale. Au sein du convertisseur, les défauts les plus communs et les plus critiques concernent majoritairement la commande des interrupteurs de puissance. Leurs origines peuvent être internes et liées au fonctionnement même, ou externe et liées à l'environnement ou à un usage hors spécifications [15], [16].

Les défaillances d'un convertisseur peuvent être classées en trois types ; défaillances de type basse impédance (défauts de court-circuit), défaillances de haute impédance (défauts de circuit ouvert) et les défauts de mise en circuit intermittent.

#### **3.2.1 Défaillances de type bas impédance**

Il s'agit d'un défaut de court-circuit, dans ce cas, le courant dans les transistors croît jusqu'à la destruction de l'un d'entre eux, le même phénomène est appliqué sur le deuxième transistor et par conséquent, la cellule est définitivement court-circuitée.

les courants des phases deviennent fortement déséquilibrés et leurs amplitudes peuvent atteindre plusieurs fois celle des courants en fonctionnement normal, cela n'engendre pas uniquement de très fortes ondulations du couple, mais, risque également d'endommager les autres composants du convertisseur, de plus, le courant de court-circuit peut aboutir à des amplitudes importantes, Certains transistors comme les IGBTs intègrent une autolimitation des courants, Ils peuvent, ainsi, résister quelques secondes avant leur destruction.

## **Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire**

### **3.2.2 Défaillances de type haut impédance**

Il s'agit d'un défaut de circuit ouvert, ce défaut est dû à une défaillance de grille qui engendre une perte de réversibilité en courant du transistor (seule la diode de roue-libre subsiste), cette défaillance se présente par la perte d'une alternance du courant de phase, dans le cas où le transistor en haut d'un bras est ouvert, le courant de la phase connectée à ce bras ne peut plus être exigé lorsque sa référence est positive, dans ce cas, le courant devient négatif ou nul, lorsqu'il est nul, les valeurs instantanées des courants des deux autres phases deviennent élevées afin de maintenir le couple moyen et la vitesse, en présence de ce type de défaut, le démarrage de la machine ne peut pas être toujours évident parce qu'à certaines positions du rotor, le couple est proche de zéro quelles que soient les valeurs des courants des phases [17].

### **3.3 Les méthodes de diagnostic utilisées**

le diagnostic de défaut est la première étape une fois un défaut survient [18]. Une détection précise et opportune et la protection peuvent empêcher les propagations de défaut et leurs catastrophiques conséquences. Idéalement, le diagnostic permet de déterminer la présence (i.e. l'existence et la localisation) et le degré de gravité d'un défaut dans un système. Dans le domaine de la fiabilité, le diagnostic est la partie la plus évoluée vue les nombreuses études de recherches qui ont traité ce sujet. En effet, plusieurs méthodes de diagnostic ont été proposées. Ces différentes méthodes peuvent être classées selon trois approches globales :

#### **3.3.1 Diagnostic direct de la puce par capteur intégré ou indirect par capteur sur driver :**

Cette approche repose sur des circuits de détection des grandeurs tension/courant de l'IGBT ou du driver. Elle concerne essentiellement les défauts de court-circuit qui sont généralement le résultat d'un dysfonctionnement au niveau du driver ou une défaillance intrinsèque du module (sur-tension, réchauffement...)

#### **3.3.2 Diagnostic on-line ou off-line:**

Cette approche concerne généralement les défauts de circuit ouvert des IGBT. Ce type de défaut peut avoir lieu suite au détachement des fils de connexion. Il peut être aussi le résultat d'une défaillance au niveau du driver

## **Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire**

Le diagnostic on-line repose sur des algorithmes d'analyses. Parmi ces algorithmes, nous trouvons l'algorithme « ondelette-logique flou » [19]. C'est un algorithme de surveillance d'état en temps réel qui utilise des courants triphasés

Une deuxième méthode de diagnostic on-line utilise le réseau de neurones [20]. Dans cette méthode aussi, l'analyse des courants triphasés est utilisée pour la détection des défauts.

### **3.3.3 Diagnostic global du convertisseur :**

#### **3.3.3.1 Diagnostic temporel :**

Dans la technique de diagnostic proposée par [21], les modes de défaut de l'onduleur sont caractérisés par les motifs de la forme d'onde du courant dans le domaine temporel. La caractéristique du motif est définie par des paramètres, tels que la valeur de la composante continue du courant ou la polarité de la valeur moyenne du courant.

#### **3.3.3.2 Diagnostic fréquentiel :**

Les auteurs de [22] proposent une méthode de diagnostic basée sur l'analyse du spectre de courant afin de détecter les caractéristiques d'un circuit ouvert d'un transistor. Une transformée de Fourier rapide (FFR) est utilisée pour l'analyse du spectre. Cette technique nécessite un calculateur relativement puissant.

#### **3.3.3.3 Diagnostic vectoriel :**

Deux méthodes de diagnostic basées sur l'évolution du vecteur courant dans l'espace vectoriel de l'onduleur sont présentées dans [23] et [24]. La première, appelée méthode du vecteur de Park, concerne la structure de l'onduleur 2-niveaux triphasé. Dans cette technique, la détection des défauts de circuit ouvert et la localisation du transistor défaillant sont effectuées en calculant le module et l'angle du vecteur de Park dont l'expression obtenue avec la transformation de Concordia est fonction des courants moyens des trois phases de l'onduleur

### **3.4 Les Défauts dans un filtre actif à base du convertisseur multicellulaire :**

Les défauts dans le convertisseur multicellulaire sont des défauts dans les interrupteurs et dans les condensateurs [2-3] :

### Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire

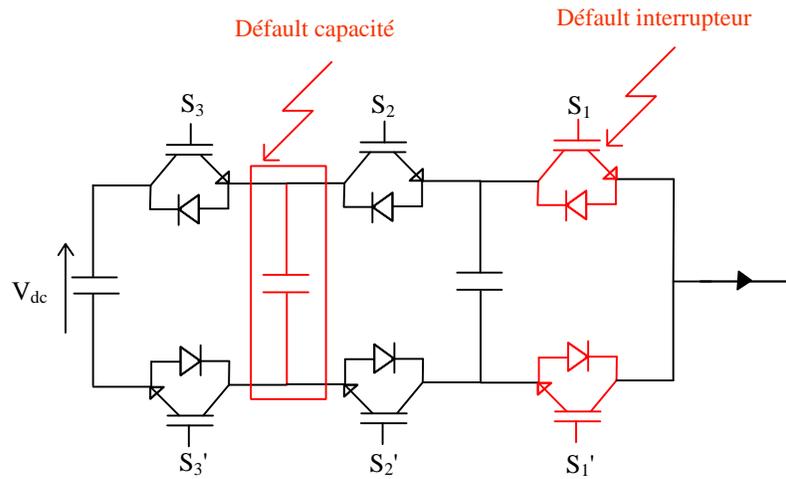


Figure23 : les défauts des interrupteurs et les défauts dans les condensateurs

#### 3.4.1 Défaut d'un interrupteur de puissance :

Résultats de simulation avec défaut interrupteur :

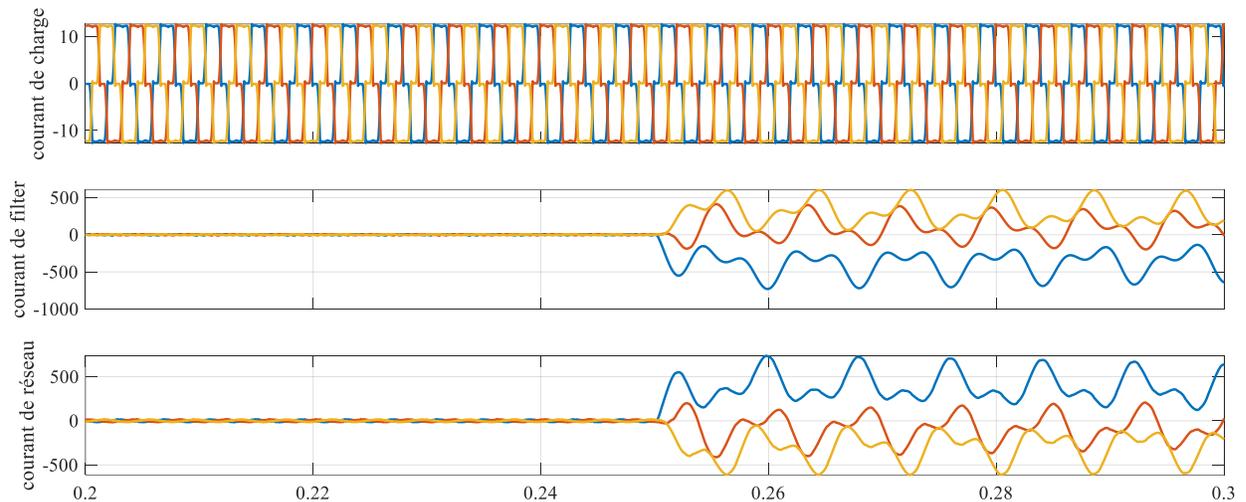


Figure24 : Courant de charge, courant de filtre et courant de réseau lors un défaut d'interrupteur

Dans le cas de défaut d'interrupteur nous remarquons d'après notre simulation une augmentation rapide sur le courant de filtre jusqu'à 500 A et plus ce qui affecte le courant réseau après ça (figure 24) et le courant de charge malgré le défaut reste toujours le même, par rapport la tension des condensateurs diminue jusqu'à 0 V après le défaut (figure 25).

### Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire

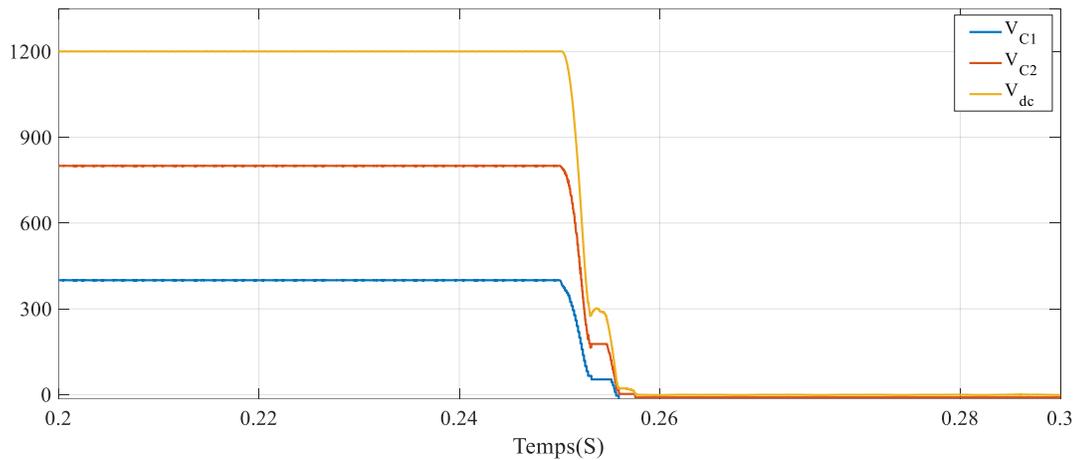


Figure25 : Tension des condensateurs lors un défaut lors un défaut d'interrupteur

#### 3.4.2. Défauts dans les condensateurs :

Résultats de simulation avec défaut dans les condensateurs

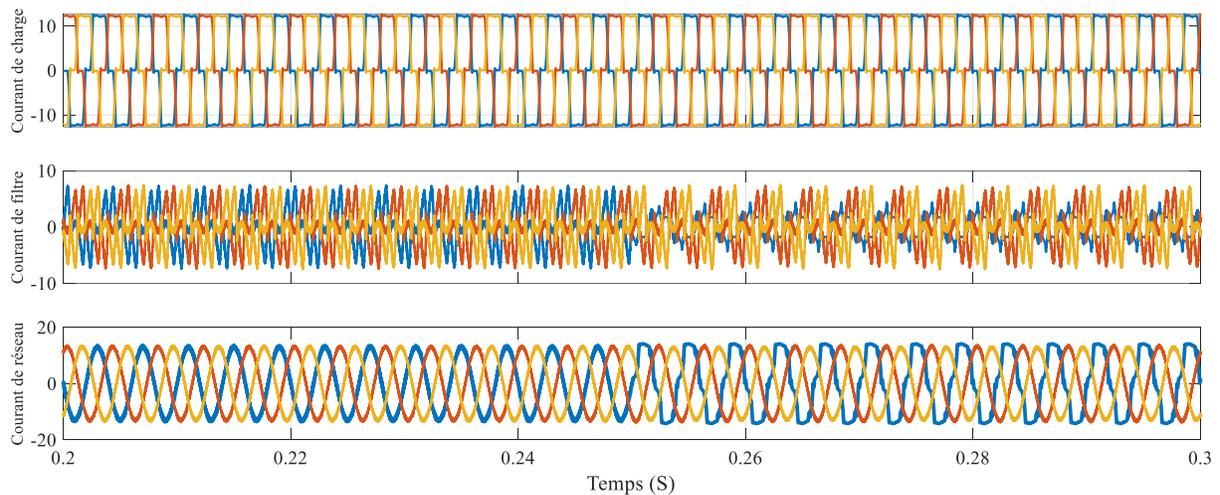


Figure26 : Courant de charge, courant de filtre et courant de réseau lors un défaut du condensateur

Dans le cas de défaut dans le condensateur ça va être des perturbations et des harmoniques sur le courant de réseau à cause de défaut qui affecte le courant de filtre qu' a injecté par le convertisseur dans le réseau (figure 26 , 0,25 s ) et la figure 27 qui montre nous la tension des condensateur après le défaut .

### Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire

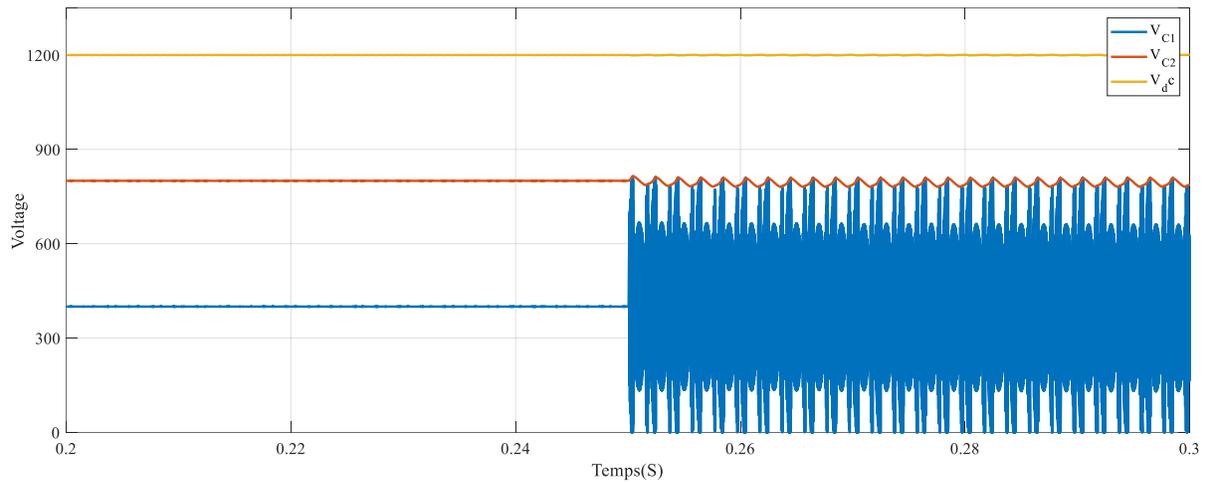


Figure27 : Tension des condensateurs lors un défaut du condensateur

#### 3.5 La commande tolérante aux défauts :

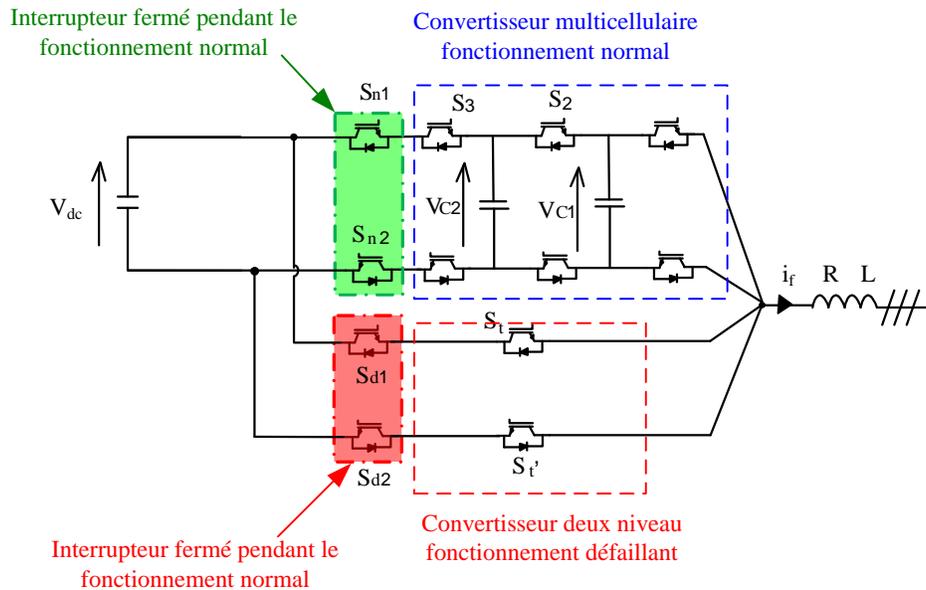


Figure28 : Convertisseur proposé lors un défaut de switch ou un défaut de condensateur

### Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire

Résultats de simulation dans le cas de défaut dans le filtre avec la commande tolérante aux défauts :

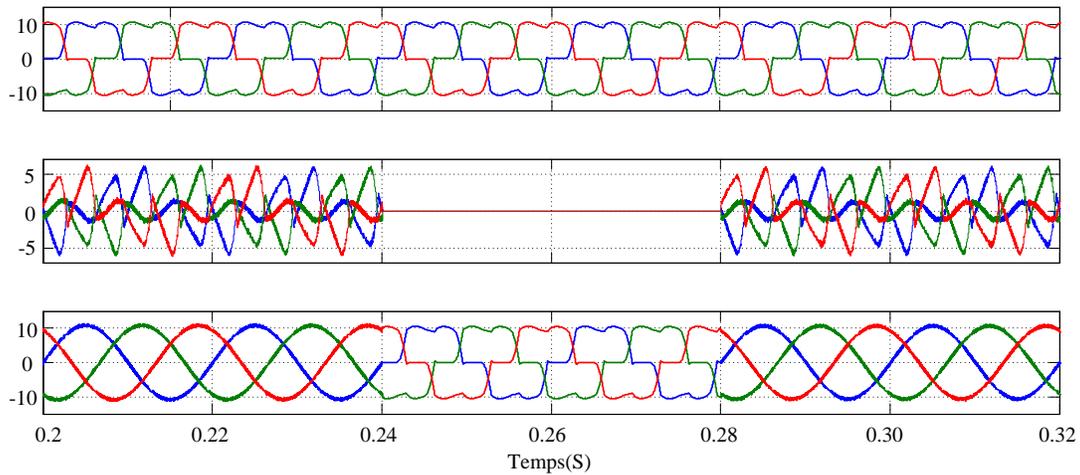


Figure29 : Courant de charge, courant de filtre et courant de réseau avec la commande tolérante aux défauts

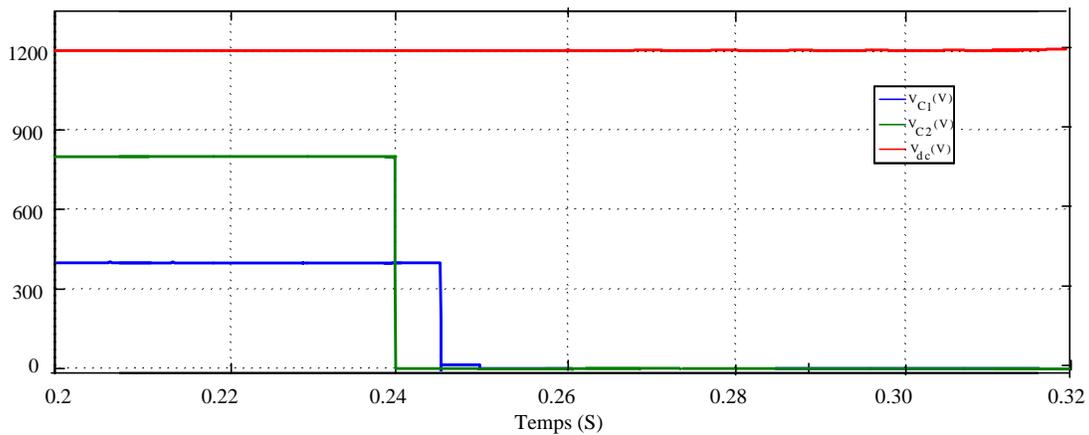


Figure 30 : Tension des condensateurs avec la commande tolérante aux défauts

La figure 28 Présente un filtre actif avec deux convertisseur un multicellulaire et un autre classique et dans le cas de défaut dans le premier convertisseur la commande tolérant fait un changement rapide de source d'injection de courant ver le classique pour ne fait pas des perturbations dans le réseau.

La figure 29 montre nous une dégradation de courant filtre vers 0 ( $I$ ) et après un retour ver leur capacité rapidement dans le moment de défaut, On explique ce retour par le changement ver

## **Chapitre 3 : Commande Tolérante aux défauts d'un convertisseur multicellulaire**

le convertisseur classique a de couse de commande et nous remarquons ces effets aussi sur courant de réseau est devenu sinusoïdal après retour de courant de filtre

### **3.6 Conclusion**

Notre simulation a montré que les semi-conducteurs sont la source principale de la défaillance des convertisseurs statiques. D'un autre côté, vu leurs caractéristiques adaptées à une large plage de niveau de puissance, les transistors IGBT sont les interrupteurs de puissance les plus sollicités dans les différents types d'applications industrielles et aussi leurs défauts faisons des très grave perturbations sur le réseau par apport les défauts de condensateur

## **Conclusion générale :**

De nos jours, la qualité de l'énergie est un domaine de la plus haute importance. À l'heure où l'économie des pays industrialisés repose sur leurs capacités à produire ou à acheter l'énergie.

Le travail effectué dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la recherche des solutions appropriées pour objectif de dépolluer les réseaux électriques à base des filtres actifs parallèles pour l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique , Le processus de filtrage emploie une méthode de contrôle appropriée pour extraire le courant de référence ainsi que la régulation de la tension du condensateur du bus continu de l'onduleur. Le filtre actif parallèle est mis en application avec un onduleur triphasé à source de tension.

Les principes de la méthode des puissances instantanées sont largement utilisés dans la littérature pour le calcul des courants harmoniques de référence et nous avons confirmé ses qualités.

La commande par linéarisation exacte du convertisseur multicellulaire a montré son efficacité en compensation des harmoniques du courant du réseau avec une robustesse contre la variation de la charge non linéaire.

Enfin d'après notre simulation les résultats du simulation ont permis de confirmer les principes de fonctionnement et de contrôle du filtre actif dans le cas normale ou dans le cas de défaut d'interpréteur ou de condensateur . Avec ce dispositif, une compensation efficace à la fois d'harmoniques et de la puissance réactive a été obtenue.

## Bibliographie

- [1] Rouabah. Boubakeur . Contribution à l'amélioration des performances d'un filtre actif parallèle de puissance par l'utilisation d'un convertisseur multicellulaire. 2021 thèse de doctorat. Université de sétif-1. <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/3803>.
- [2] ROUABAH, B., TOUBAKH, H., & SAYED-MOUCHAWEH, M. (2020). Fault tolerant control of multicellular converter used in shunt active power filter. *Electric Power Systems Research*, 188, 106533. doi:10.1016/j.epsr.2020.106533
- [3] R. Peugeot, S. Courtine and J. P. Rognon, "Fault detection and isolation on a PWM inverter by knowledgebased model," *IEEE Trans. on Indus. Applicat.*, Vol. 34, No. 6, 1998, pp. 1318-1326.
- [4] L. Benchaita, S. Saadate and A. Salem Nia, A comparison of voltage source and current source shunt active filter by simulation and experimentation, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 14, Mai 1999, pp. 642-647
- [5] H. Akagi, Y. Tsukamoto, and A. Nabae, Analysis and design of an active power filter using quad-series voltage source PWM converters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 26, No. 1, January/February 1990, pp. 93-98.
- [6] M. Aredes, J. Häfner, K. Heumann, "A combined series and shunt active power filter", *IEEE/KTH Stockholm Power Tech. Conference*, Stockholm, Sweden, Jun. 1995.
- [7] H. Fujita, H. Akagi, "The unified power quality conditioner: the integration of series- and shunt-active filters ", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 13, no. 2, pp.1312-1322, Mar. 1998.
- [8] J. Holtz, Pulse width modulation - a survey. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 39, No. 5, December 1992, pp.410-420.
- [9] S. BHATTACHARYA, D. DIVAN et B. BANERJEE, « Control and reduction of terminal voltage total harmonic distortion (thd) in a hybrid series active and parallel passive filter system », in *Power Electronics Specialists Conference*, 1993. PESC '93 Record., 24th Annual IEEE, p. 779-786, Jun 1993.
- [10] H. AKAGI, « Trends in active power line conditioners », *Power Electronics*, *IEEE Transactions on*, vol. 9, p. 263-268, May 1994.

- [11] M. Djemai, K. Busawon, K. Benmansour, and A. Marouf. Real time control via a high order sliding mode controller of a multi-cell converter. In 3rd IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems (ADHS'09), Zaragoza, 2009.
- [12] J. Van Gorp, M. Defoort, and M. Djemai. Commande binaire d'un syst`eme `a commutation - application `a un convertisseur. In Journ´ees Doctorales MACS, Marseille, 2011.
- [13] A. Chaoui, " Filtrage actif triphasé pour charges non linéaires", Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas – Sétif, Décembre 2010
- [14] H. AKAGI, Y. KANAZAWA et A. NABAE, « Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components », Industry Applications, IEEE Transactions on, vol. IA-20, p. 625–630, May 1984
- [15] H. Titah-Benbouzid and M.E.H. Benbouzid, "Marine renewable energy converters and biofouling: A review on impacts and prevention," in Proceedings of the 2015 EWTEC, Nantes (France), pp. 1-8, Paper 09P1-4-2, September 2015. [16] J. Mavier, "Convertisseurs génériques à tolérance de panne Applications pour le Domaine aéronautique", thèse de doctorat, INPT, Toulouse, mars 2007
- [17] M. Trabelsi, M. Boussak and M.E.H. Benbouzid, "Multiple criteria for high Performance online diagnosis of single and multiple open-switch faults in AC motor drives: Application to IGBT-based voltage source inverter", Elsevier Electric Power System, esearc , (EPSR), Vol. 144, pp.136–149, mars 2017.
- [18] Q.-T. An, L.-Z. Sun, K. Zhao, and L. Sun, "Switching Function Model Based Fast-Diagnostic Method of Open-Switch Faults in Inverters Without Sensors" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 26, No. 1, 2010, pp. 119–126.
- [19] M. R. Mamat, M. Rizon and M. S. Khanniche, "Fault Detection of 3- phase VSI Using Wavelet-Fuzzy Algorithm" American Journal of Applied Sciences, 2006, pp. 1642-1648.
- [20] F. Charfi, F. Sellami and K. Al-Haddad, "Fault Diagnosis in Power System Using Wavelet Transforms and Neural Networks" Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., 2006, pp. 1143-1148.
- [21] L. Zhang, I. B. Aris and L. N. Hulley, "A Knowledge-Based System for On-line Fault Diagnosis of Power Inverter Circuits for AC machines" Proc. Eur. Power Electron. Conf., 1995, pp. 334-339.

[22]B. Raison, G. Rostaing and J. P. Rognon, "Towards a Global Monitoring Scheme for Induction Motor Drives," Proc. Int. Power Electron. Conf., 2000, pp. 1183-1188.

[23]A. M. S. Mendes and A. J. Marques Cardoso, "Voltage source inverter fault diagnosis in variable speed ac drives, by the average current Park's vector approach," in Proc. IEMDC'99, 1999, pp. 704-706.

[24] Rouabah, B., Rahmani, L., Toubakh, H., & Duviella, E. (2019). Adaptive and Exact Linearization Control of Multicellular Power Converter Based on Shunt Active Power Filter. Journal of Control, Automation and Electrical Systems. doi:10.1007/s40313-019-00510-w

## Abstract :

**-The defects tolerant control of a multicellular converter for a filtering application is based on the data.**

Summary :

The work that is presented in this dissertation is related particularly to the study of an active filter based on the multicellular converts that are intended to compensate for harmonic current generated by a rectifier. This dissertation is made up of three chapters, which are as the following:

The first chapter is devoted to the description of the disturbances that are introduced into the network's distribution by static converts, and recent methods which are responsible of reducing these disturbances. We developed in the second chapter the active filter based on multicellular inverter, and also we have studied the principles of the control of the multicellular converts. The third and last chapter is about the types of defects in static converters, and the usage of diagnostic methods.

Key words : rectifier, the multicellular converts, active filter

- تحكم متسامح مع الخطأ في محول متعدد الخلايا لتطبيق مرشح منشط يعتمد على البيانات  
ملخص:

يتعلق العمل المقدم في هذه الأطروحة بشكل خاص بدراسة مرشح منشط يعتمد على محولات متعددة الخلايا تهدف إلى التعويض عن التيارات التوافقية الناتجة عن المقوم، تتكون هذه الرسالة من ثلاثة فصول:

الفصل الأول مخصص لوصف الاضطرابات التي تحدثها المحولات الساكنة في شبكات التوزيع ولعرض الحلول التقليدية والحديثة للحد من هذه الاضطرابات. في الفصل الثاني، قمنا بتطوير مرشح منشط يعتمد على عاكس متعدد الخلايا ودرسنا مبادئ التحكم في المحول متعدد الخلايا.

وأخيراً في الفصل الأخير، أنواع الأعطال في المحولات الثابتة وطرق التشخيص المستخدمة  
الكلمات الدالة: مرشح منشط، محول متعدد الخلايا، المصحح