

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DEL'ENSEIGNEMENTS SUPERIEUR ET DELA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE DE

PARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N°:...../INST/ 2024



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE: ELECTRONIQUE

OPTION: INSTRUMENTATION

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par:

Allaoui Hayat

Tadjine Nouara

Intitulé

Détection et localisation d'un défaut  
Circuit Ouvert d'un filtre actif  
parallèle

Diplôme de Master dans le cadre du décret ministériel 1275

Soutenu devant le jury composé de:

Hadjab Moufdi	Président	Université de M'sila
Tebbakh Mostefa	Rapporteur	Université de M'sila
Khennouf Saleh	Examineur	Université de M'sila
Bakheti Yamena	Représentant de l'incubateur	Université de M'sila

Année universitaire: 2023/ 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## إهداء

الحمد لله حبا و شكرا و امتنانا على البدء و الختام و اخر دعواهم {ان الحمد لله رب العالمين } بعد تعب و مشقة دامت 4 سنوات في سبيل حلم والدتي . واصبح عنائي اليوم للعين قرّة , انا اليوم اقف على عتبة تخرجني اقطف ثمار تعبتي و ارفع قبعتي بكل فخر . فاللهم لك الحمد قبل ان ترضى و لك الحمد اذا رضيت و لك الحمد بعد الرضا لأنك وفققتني على إتمام هذا النجاح ....

و بكل حب اهدي ثمرة نجاحي و تخرجني الى الذي زين اسمي بأجمل الألقاب من دعمني بلا حدود و أعطاني بلا مقابل الى من علمني ان الدنيا كفاح و سلاحها العلم والمعرفة من انتظرتني تحت اشعة الشمس حتى اكمل دروسي و يأخذني الى البيت في شهر رمضان المعظم داعمي الأول في مسيرتي و سندي و قوتي و ملاذي بعد الله فخري و اعترازي

( أبي حبيبي )

الى من جعل الجنة تحت اقدامها . و احتضنتني قلبها قبل يديها و سهلت علي الشدائد بدعائها . الى من شجعتني على اكمال مسيرتي الجامعية . سر قوتي و نجاحي جنتي .

(أمي الغالية )

الى من سانداني بكل حب عند ضعفي و ازاحا عن طريقي المتاعب ممهدان لي الطريق الى توأم روحي ونصفي الثاني .

(اخوأي)

الى ملائكة رزقني الله بهن لأعرف من خلالهن طعم الحياة . تلك الملائكة التي غيرن مفاهيم الحب والصدقة والسند في حياتي .

(اخواتي )

الى امي الثانية . كبيرة العائلة من حمّنتي ب دعائها الى ما كان حضانها راحة ل قلبي اطال الله في عمرها غاليتي .

(جدتي الحبيبة)

الى من اويتها في منزلي و اوتني في قلبها صديقة روحي . الى قطتي الحنونة

(تينا)

الى زميلتي في انجاز المشروع . لقد أحدث الدعم والتعاون الذي ساهمت به فرقا حقيقيا.

(نواره )

الى مشرفي الأستاذ مصطفى طباح شكرا جزيلاً لك على دعمك الثابت خلال الأوقات الصعبة. لقد كان تشجيعك وإيجابيتك دافعا مناسباً . وأخيراً شكراً لجميع من ساهم في مساعدتي من قريب و من بعيد . اهدي هذا العمل المتواضع لكلتا عائلتي علاوي و هدلة

علاوي حياة



*Au nom de dieu clément et miséricordieux*



*Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu, et l'unique qui m'offre le courage et la  
volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie,*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ceux qui sont les plus chers du monde, Mon père, et ma mère, à qui je n'arriverai  
jamais à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance, pour ses amours ses soutiens  
tout au long de mes études.*

*A mes frères et mes soeurs.*

*A toute ma famille Tadjine.*

*Enfin, je remercie mon binôme, Hayat, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

*A mes amis et mes collègues de la promotion 2024 «instrumentation»*

*Nouara*

## REMERCIEMENTS

« *Au nom d'Allah le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux* »

Nous remercions *Allah*, le tout puissant de nous avoir Pour nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce mémoire. Symbole de notre accomplissement scientifique.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur *Tabbakh Mostefa*, notre encadreur, pour ses conseils et ses recommandations tous le long de la rédaction et des recherches de ce manuscrit.

Nous sommes très reconnaissantes aux membres du jury, le Dr. *Hadjab Moufdi*, et Dr. *Khennouf Saleh*, qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail du point de vue technique et scientifique. Nous remercions les membres du jury assigné pour examiner notre projet dans le cadre du décret 1275, le Représentant de l'incubateur le Dr. Bakheti Yamena Nous les remercions pour le temps et l'attention qu'ils ont consacrée à la lecture de notre manuscrit et pour les nombreuses améliorations qu'ils y ont apportées.

Nous plus sincères remerciements à tous nos enseignants de la spécialité Electronique des Instrumentation chacun par son nom.

Nos vifs remerciements à nos collègues du département d'électronique et plus spécialement ceux de la spécialité *INST* de l'université de Mohamed Boudiaf de M'sila promotion **2024**.

Pour finir, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

*Nouara, & Hayat*

## **Résumé**

Ce travail aborde le problème de la dégradation du courant dans les installations électriques, qui découle directement de la prolifération des charges non linéaires. Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé un onduleur à deux niveaux comme filtre actif parallèle, injectant des courants harmoniques au point de connexion à l'aide de la méthode de compensation indirecte du courant (ICC). La deuxième partie de ce travail traite des problèmes de détection et de localisation de certaines défaillances dans un onduleur de tension utilisé comme filtre actif parallèle visant à filtrer les courants harmoniques tout en compensant l'énergie réactive à l'aide de la méthode d'utilisation (RNA). Pour ce faire, une série de tests de simulation des différentes défaillances considérées doit être effectuée afin d'extraire les diverses informations contenues dans les signaux électriques de l'onduleur.

**Mots clés :** charges non linéaires, Harmonique, Méthode ICC, Méthode (RNA).

## **Abstract**

This work addresses the issue of current degradation in electrical installations, which directly stems from the proliferation of nonlinear loads. To tackle this problem, we employed a two-level inverter as a parallel active filter, injecting harmonic currents at the connection point using the Indirect Current Compensation (ICC) method. The second part of this work deals with the detection and localization of certain faults in a voltage inverter used as a parallel active filter aimed at filtering harmonic currents while compensating reactive power using the Real-Time Network Analyzer (RNA) method. To achieve this, a series of simulation tests of the various considered faults must be conducted to extract the diverse information contained within the electrical signals of the inverter.

## ملخص

هذا العمل يتناول مشكلة تدهور التيار في المنشآت الكهربائية، التي تتبع مباشرة من انتشار التحميل غير الخطي. لحل هذه المشكلة، استخدمنا محول ثنائي المستوى كمرشح نشط متوازي، حيث يتم حقن تيارات هارمونية في نقطة التوصيل باستخدام طريقة التعويض غير المباشر للتيار (ICC). الجزء الثاني من هذا العمل يتناول مشاكل الكشف والتحديد لبعض الأعطال في محول الجهد المستخدم كمرشح نشط متوازي بهدف تصفية التيارات التوافقية وفي نفس الوقت تعويض الطاقة الردفة باستخدام طريقة الاستخدام (RNA). ولتحقيق ذلك، يجب إجراء سلسلة من اختبارات المحاكاة للأعطال المختلفة المعتبرة لاستخراج المعلومات المتنوعة المحتواة في الإشارات الكهربائية للمحول.

**الكلمات المفتاح:** الاحمال غير خطية، طريقة التعويض الغير مباشرة (ICC) , التوفيقات، طريقة (RNA).

## **TABLE DES MATIERES**

<b><u>Dédicace</u></b> .....	iii
<b><u>Remerciements</u></b> .....	iv
<b><u>Résumé</u></b> .....	v
<b><u>Liste des figures</u></b> .....	vii
<b><u>Liste des tableaux</u></b> .....	ix
<b><u>Liste des symboles et abréviations</u></b> .....	x
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1

### **CHAPITRE I : PERTURBATIONS HARMONIQUES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES**

I.1.INTRODUCTION.....	2
I.2. PERTURBATIONS ELECTRIQUES.....	2
I.2.1. Creux et coupure de tension.....	2
I.2.2. Variation des fréquences .....	3
I.2.3. Fluctuations de tension.....	4
I. 2.4. Déséquilibres du Systems triphasé.....	5
I.2.5. Harmoniques et inter-harmoniques .....	5
I.2.5.1. Harmoniques .....	6
I.2.5.2. Inter-harmoniques .....	6
I.3. CARACTERISTIQUE DE LA POLLUTION HARMONIQUE .....	6
I.3.1. taux harmonique de rang h .....	6
I.3.2. taux de distorsion harmonique.....	7
I.3.3. Normes Imposées Sur Le THD .....	7
I.3.4. Facteur de puissance.....	7
I.4. SOLUTIONS DE DEPOLLUTION DES RESEAUX ELECTRIQUES.....	9
I.4.1. Solutions traditionnelles de dépollution.....	9
I.4.1.1. Filtrage passif.....	9
I.4.2. Solutions modernes de dépollution.....	11
I.4.2.1. Filtre actif série (F.A.S) .....	12
I.4.2.2. Filtre combiné parallèle-série (UPQC) .....	12
I.4.2.3. Filtre actif hybride.....	13
I.4.2.4. Filtre parallèle (F.A.P) .....	14
I.5.CONCLUSION.....	14

### **CHAPITRE II : FILTRE ACTIF PARALLELE, PRINCIPE, STRATEGIE DE COMMANDE ET DIMENSIONNEMENT**

II.1.INTRODUCTION.....	15
II.2. PRINCIPE DE FILTRAGE ACTIF PARALLELE.....	15
II.3.STRUCTURE GÉNÉRALE D'UN FILTRE ACTIF PARALLÈLE.....	17
II.4. FILTRE ACTIF PARALLÈLE À STRUCTURE TENSION.....	18

## **Table des matières**

II.4.1.Principe de fonctionnement d'un Filtre Actif Parallèle à structure Tension.....	18
II.4.2.Structure de l'onduleur à deux niveaux.....	19
II.4.3.Modélisation de l'onduleur de tension à deux niveaux.....	21
II.5. STRATÉGIES DE CONTRÔLE DU FILTRE ACTIF PARALLÈLE À STRUCTUR TENSION.....	22
II.5.1. Identification des courants harmoniques.....	22
II.5.1.1.Méthodes du domaine fréquentiel.....	23
II.5.1.2.Méthode du domaine temporel.....	23
II.5.2.Stratégie de l'identification .....	24
II.5.3.Méthode des puissances active et réactive instantanées.....	25
II.5.4.Algorithme d'identification.....	27
II.6. COMMANDE DE L'ONDULEUR.....	28
II.6.1.Commande des courants par hystérésis.....	28
II.6.2 Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).....	28
II.7. LA DEFAILLANCE DU FILTRE ACTIF.....	29
II.7.1. Causes de destruction de modules IGBT.....	30
II.7.1.1.Défaut de type court-circuit.....	31
II.7.1.2.Défaut de type circuit ouvert.....	32
II.8. DIAGNOSTIC DE DÉFAUT DE L'ONDULEUR NPC.....	33
II.8.1.Structure du système de diagnostic de défaut.....	33
II.9.CONCLUSION .....	33
<b>CHAPITRE III : DEFAUTS ET DEFAILLANCES DES FILTRES ACTIFS</b>	
III.1.INTRODUCTION.....	35
III.2. LE DIAGNOSTIC DE DÉFAUT CO DANS UN RÉSEAU FILTRÉ.....	35
III.2.1.L'extraction des caractéristiques de défaut.....	36
III.2.2.Classification par réseau neurones artificiel.....	38
III.3.PARTIE SIMULATION.....	39
III.3.1.Simulation d'un réseau filtre par FAP.....	39
III.4. ETUDE DU RÉSEAU FILTRÉ À L'ÉTAT SAIN.....	41
III.5. ETUDE DU RÉSEAU AVEC UN DÉFAUT CIRCUIT OUVERT .....	43
III.5.1.Acquisition des données.....	46
III.5.2. Résultats de l'identification et de la localisation.....	49
III.6. CONCLUSION.....	51
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>55</b>

**LISTE DES FIGURES**

<b>Figure (I.1):</b> Creux et coupures de tension.....	<b>3</b>
<b>Figure (I.2):</b> variation de fréquence .....	<b>4</b>
<b>Figure (I.3):</b> la fluctuation de la tension.....	<b>4</b>
<b>Figure (I.4) :</b> Système triphasés déséquilibré.....	<b>5</b>
<b>Figure (I.5) :</b> Décomposition d'un signal périodique.....	<b>5</b>
<b>Figure(I.6):</b> Représentation des harmoniques, inter-harmonique et infra-harmonique.....	<b>8</b>
<b>Figure(I.7):</b> diagramme vectorielle du facteur de puissance.....	<b>8</b>
<b>Figure(I.8):</b> Filtrage Passif.....	<b>10</b>
<b>Figure(I.9) :</b> Filtre passif résonant.....	<b>11</b>
<b>Figure (I.10) :</b> Filtre passif amorti.....	<b>11</b>
<b>Figure (I.11) :</b> Filtre actif série.....	<b>12</b>
<b>Figure (I.12) :</b> Filtre combiné parallèle - série (UPQC).....	<b>13</b>
<b>Figure(I.13) :</b> Filtre actif hybride.....	<b>13</b>
<b>Figure(I.14):</b> Filtre actif Parallèle (FAP).....	<b>14</b>
<b>Figure (II.1):</b> schéma de principe du filtre actif parallèle .....	<b>15</b>
<b>Figure (II.2):</b> Schéma de principe de l'ensemble réseau électrique, charge polluante et filtre actif et formes d'ondes des courants respectifs .....	<b>16</b>
<b>Figure (II.3):</b> Structure générale d'un filtre actif parallèle .....	<b>17</b>
<b>Figure (II.4):</b> Structure de l'onduleur de tension à deux niveaux.....	<b>20</b>
<b>Figure(II.5):</b> Représentation vectorielle des tensions délivrées par le convertisseur Deux niveaux à trois a bras .....	<b>22</b>
<b>Figure(II.6):</b> Méthode d'identification des puissances active et réactive instantanées	<b>25</b>
<b>Figure(II.7) :</b> Algorithme d'identification des courants harmoniques basé sur le calcul des puissances réelles et imaginaires instantanées .....	<b>27</b>
<b>Figure (II.8) :</b> Principe de la commande des courants par hystérésis .....	<b>28</b>
<b>Figure (II.9) :</b> Principe de commande des courants par MLI.....	<b>29</b>
<b>Figure (II.10) :</b> Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur .....	<b>29</b>
<b>Figure (II .11):</b> Défaillance de type court-circuit.....	<b>31</b>
<b>Figure (II.12) :</b> Défaillance de type circuit ouvert.....	<b>32</b>
<b>Figure (II.13) :</b> Structure du système de diagnostic de défaut.....	<b>33</b>

## **Liste des figure**

<b>Figure (III.1):</b> Organigramme de diagnostic par RNA.....	<b>35</b>
<b>Figure (III.2):</b> schéma du filtre actif parallèle réaliser sous MATLAB/simulink .....	<b>35</b>
<b>Figure (III.3) :</b> Représentation des différents signaux (courant/tension) du réseau filtré sans défaut.....	<b>42</b>
<b>Figure (III.4) :</b> Forme d'onde des courant de source de l'interrupteur $S_{a1}$ .....	<b>44</b>
<b>Figure (III.5) :</b> Forme d'onde des courant de source de l'interrupteur $S_{b3}$ .....	<b>45</b>
<b>Figure(III.6):</b> Forme d'onde des courant de source de l'interrupteur $S_{c6}$ .....	<b>46</b>
<b>Figure(III.7):</b> Les résultats opérationnels des réseaux neuronau.....	<b>50</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau(II.1):</b> Tensions de sortie du filtre actif à base d'un Modélisation de l'ondule de tension à deux niveaux.....	<b>21</b>
<b>Tableau (II.2) :</b> Comparaison entre les méthodes d'identification des harmoniques	<b>24</b>
<b>Tableau (III .1) :</b> les valeurs de THD des différents controle du filtre actif Parallèl...	<b>41</b>
<b>Tableau (III.2) :</b> Valeurs des caractéristiques (Etat sain et défectueux).....	<b>48</b>
<b>Tableau(III.3):</b> Codage et classifications des différents cas de défaut circuit-ouvert d'un IGBT.....	<b>49</b>
<b>Tableau(III.4):</b> Architecture propose pour le RNA .....	<b>49</b>
<b>Tableau (III.5) :</b> Performances statistiques du modèle RNA choisit.....	<b>51</b>

**Liste des symboles et abréviations**

**ABREVIATIONS**

NEO : Neurones

THD: (Total harmonic distortion) Le taux de distorsion harmonique

Flicker : Papillotement de la tension

FAP : Filtre Actif Parallèle

FAS: Filtre Actif Série

UPQC: Unified power quality conditioner

IGBT: (Insulated Gate Bipolar Transistor), transistors bipolaires à grille

GTO: Gate Turn Off thyristor.

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion

FFT: La transformé de Fourier Rapide

RNA : Réseau de neurones artificiel

## Liste des symboles et abréviations

### SYMBOLES

$I_f$  : Courant efficace du filtre actif.

$I_{ch}$  : Courant efficace de la charge non linéaire.

$I_d$  : Courant continu fournit par le redresseur.

$I_s$  : Courant efficace de la source .

$V_{dc}$  : Tension aux bornes du condensateur.

$C_{dc}$  : Capacité du condensateur.

$p$  : Puissance active.

$q$  : Puissance réactive.

$D$  : Puissance déformante.

$S$  : Puissance apparente.

$(\alpha, \beta)$  : Le plan diphasé de la transformation de Concordia.

$\tilde{P}$  et  $\tilde{Q}$  : Puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices.

$V_\alpha, V_\beta$  : la tension biphasée l'axe  $\alpha\beta$ .

$\bar{p}$  : Une puissance continue liée à la composantefondamentale active du courant et de la tension.

$\bar{q}$  : Une puissance continue liée à la composantefondamentaleréactive du courant et de la tension.

$i_\alpha, i_\beta$  : Courants perturbateurs calculés dans le repère  $\alpha\beta$  .

### **Introduction Générale**

Le filtre actif parallèle est un outil essentiel dans le domaine de la régulation de l'énergie, de la correction des facteurs mineurs et de la purification du courant. Ce type de filtre est utilisé dans de nombreuses applications industrielles et commerciales, telles que l'amélioration de la qualité de l'énergie dans les systèmes de contrôle industriels et l'amélioration de l'efficacité des systèmes de conversion de puissance.

Cependant, ces filtres peuvent parfois faire face à des problèmes et des dysfonctionnements qui nécessitent un diagnostic minutieux pour identifier et réparer efficacement les sources de défaut. Le diagnostic des dysfonctionnements d'un filtre actif parallèle (diagnostic des défauts dans les filtres parallèles actifs) est important pour assurer la continuité du système et éviter les dommages ou les interruptions imprévus.

Dans le cadre du diagnostic de dysfonctionnement, les technologies d'IA et en particulier les réseaux NEO apparaissent comme des outils puissants pour l'analyse de données complexes et la prise de décision. Les réseaux neuronaux sont inspirés par le fonctionnement du cerveau humain, constitué d'un ensemble d'unités de calcul connectées les unes aux autres qui fonctionnent de manière similaire aux neurones du cerveau.

Les neurones sont capables de s'auto-apprendre et de s'adapter à leur environnement en analysant les données, en extrayant des modèles et en prédisant le comportement futur. Ces réseaux sont utilisés dans un large éventail d'applications, y compris le diagnostic de panne, l'analyse prédictive et le contrôle intelligent.

Ainsi, les concepts de réseau neuronal peuvent être combinés avec des diagnostics de défaut de filtre d'énergie active pour améliorer la précision du diagnostic et augmenter l'efficacité des processus de maintenance et de réparation de défaut.



***CHAPITER I :***  
***Perturbations harmoniques dans les***  
***réseaux électriques***

## **I.1. INTRODUCTION**

Le consommateur (client) est alimenté par le réseau électrique avec une tension et une fréquence conformes aux normes. Malheureusement, ces mesures font souvent l'objet de perturbations : les courants harmoniques, le déséquilibre des courants et les courants réactifs, qui circulent dans le réseau, perturbent la tension. En outre, des troubles sont provoqués par les tensions harmoniques, le déséquilibre des tensions et les fluctuations de tension [1].

Toutefois, ces perturbations sont souvent provoquées par la connexion au réseau de charges non linéaires (onduleurs, ponts redresseurs, fours à arc et à induction, variateurs de vitesse des machines électriques, appareils domestiques comme les téléviseurs et les lampes fluorescentes) qui entraînent une distorsion des courants et de la tension. Ces appareils, fabriqués à partir de composants semi-conducteurs, génèrent des harmoniques pouvant avoir des effets néfastes sur le fonctionnement du réseau électrique. Il est donc pertinent de compenser ces harmoniques afin de réduire leurs effets et d'améliorer ainsi la qualité de l'énergie électrique. [2].

Dans cette optique, ce chapitre expose les perturbations majeures de la tension et du courant, ainsi que leurs origines et leurs répercussions. De plus, les solutions classiques (filtrage passif) et contemporaines (filtrage actif) sont prises en compte afin de résoudre les problèmes liés aux perturbations harmoniques.

## **I.2. PERTURBATIONS ELECTRIQUES**

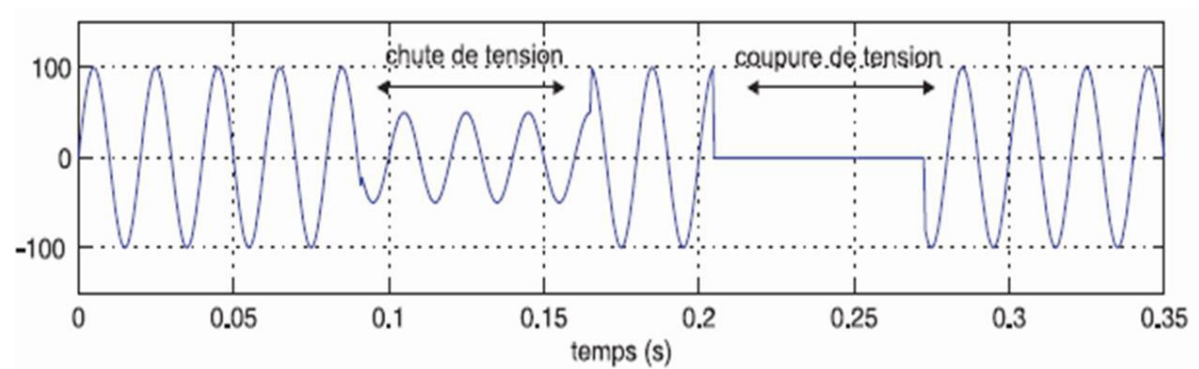
On produit de l'énergie électrique sous forme de tension, qui se distingue par sa fréquence, son amplitude et sa forme d'onde, laquelle doit être sinusoïdale. Les perturbations aléatoires et accidentelles peuvent avoir un impact sur la qualité de la tension, qu'elles soient présentes en permanence ou pendant des périodes spécifiques. On peut classer ces perturbations comme suit [3]:

### **I.2.1. Creux et coupures de tension**

Le creux de tension se produit lorsque l'ampleur de la tension diminue (de 10 % à 90 % de la tension nominale) pendant une période de 10 millisecondes à quelques

secondes. En règle générale, les pannes de courant sont causées par des problèmes dans les réseaux publics ou ceux des utilisateurs. Elles se manifestent également lors des manœuvres de démarrage impliquant des courants de grande intensité (moteurs, transformateurs, etc.).

En revanche, une interruption de tension se produit lorsque la tension diminue brusquement à une valeur inférieure à 10 % de la tension nominale. La disparition totale survient pendant une durée comprise entre 10 millisecondes et une minute pour les interruptions brèves, et plus d'une minute pour les interruptions longues. La majorité des dispositifs électriques tolèrent une interruption complète de l'alimentation d'une durée inférieure à 10 millisecondes. [3]. La figure(I.1) montre un exemple de creux et de coupure de tension.



**Figure(I.1) :** Creux et de coupure de tension [4].

• **Conséquences :**

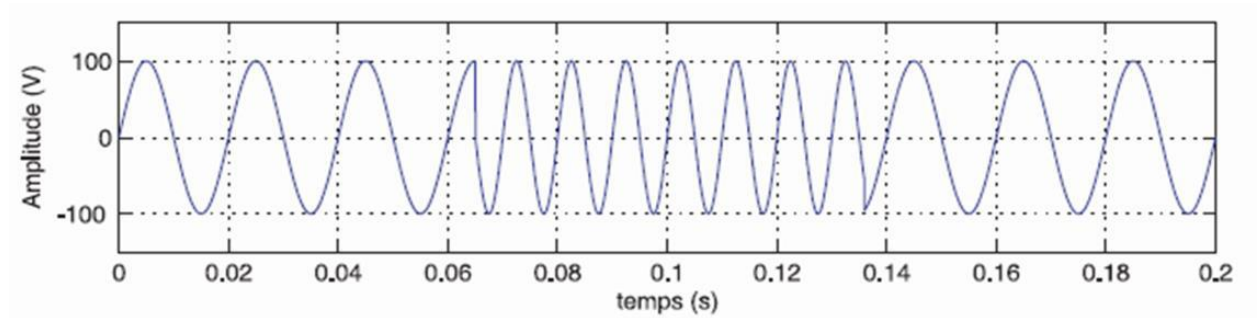
Le fonctionnement de certaines installations industrielles et tertiaires peut être perturbé par les creux de tension. En effet, ce genre de perturbation peut entraîner des dysfonctionnements des équipements électriques, voire leur destruction complète [5].

**I.2.2. Variation des fréquences**

Les réseaux des utilisateurs qui ne sont pas interconnectés ou qui sont alimentés par une source thermique autonome peuvent présenter une variation significative de la fréquence du réseau. (Voir la figure I.2).

En ce qui concerne les réseaux de distribution ou de transport, il est extrêmement rare que cette variation de fréquence se produise, sauf dans des

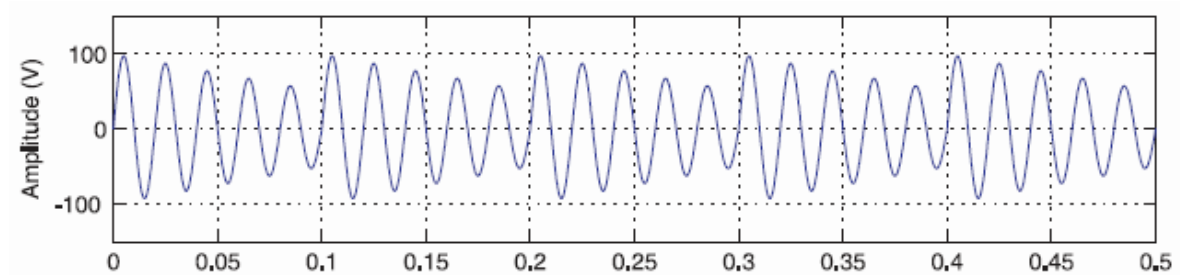
situations exceptionnelles, telles que certains défauts graves sur le réseau. Dans des situations d'utilisation normales, il est recommandé que la fréquence fondamentale soit maintenue dans l'intervalle de 50 Hz  $\pm$ 1 % [3] [6].



**Figure (I.2) :** Variation de fréquence [7].

### I.2.3. Fluctuations de tension

Les variations de tension désignent des changements réguliers ou rapides de l'amplitude de la tension. Des changements brusques de l'amplitude de la tension dans une plage de 10 % se produisent sur un laps de temps de quelques centièmes de seconde. Elles sont spécifiquement causées par la propagation du courant d'appel important sur les lignes du réseau. Ce courant provient principalement de l'utilisation d'appareils dont la puissance absorbée fluctue rapidement, tels que les fours à arc et les machines à souder. Ces variations se manifestent par des changements d'intensité perceptibles dans l'éclairage, ce qui entraîne une gêne visuelle pour une variation de 1 % de la tension. Ce phénomène de papillotement est nommé flicker. On peut observer une variation de tension dans la figure (I.3) [6].



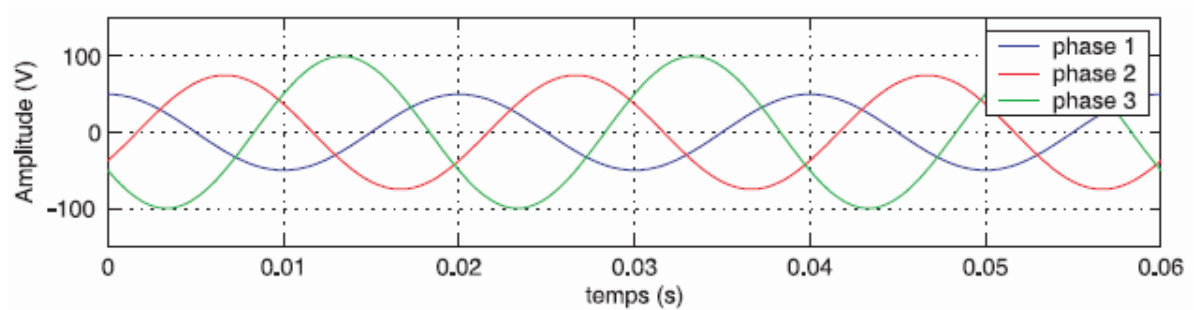
**Figure (I.3) :** Fluctuation de la tension [5].

**Conséquences :** Fluctuation de la luminosité des lampes (papillotement ou Flicker).

### I.2.4. Déséquilibre du système triphasé

Le déséquilibre de tension se produit lorsque les trois tensions du système triphasé diffèrent en termes d'amplitude et/ou ne sont pas décalées de  $120^\circ$  les unes par rapport aux autres.

La principale raison de ce déséquilibre réside dans la répartition inégale des charges monophasées sur les trois phases du réseau, un phénomène particulièrement observé dans les réseaux basse tension [8].



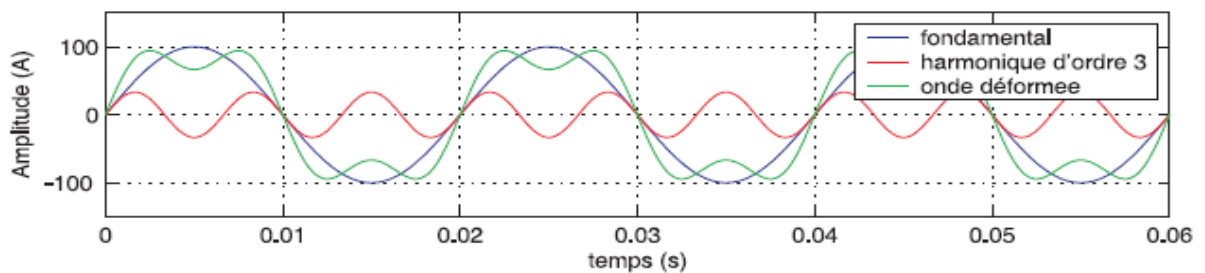
**Figure(I.4):** Déséquilibre de système triphasé.

### I.2.5. Harmoniques et inter-harmoniques

Toute fonction périodique (de fréquence  $f$ ) peut se décomposer en une somme de sinusoides de fréquence  $h \times f$  ( $h$  : entier).

$h$  est appelé rang harmonique ( $h > 1$ ).

La composante de rang 1 est la composante fondamentale comme le montre la figure I.5.



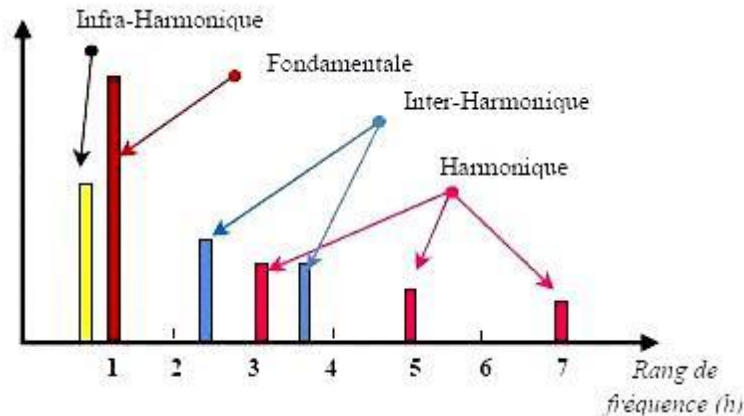
**Figure(I.5) :** Décomposition d'un signal périodique [5].

**I.2.5.1. Harmoniques**

Les fréquences harmoniques, qui sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, sont souvent utilisées pour exprimer la distorsion de la forme d'onde de la tension et du courant [9]. Quand elles sont associées à la tension ou au courant sinusoïdal fondamental, les harmoniques changent la forme d'onde de la tension ou du courant, comme illustré dans la figure(I.6).

**I.2.5.2. Inter-harmoniques**

Ce sont des composantes sinusoïdales d'une grandeur qui n'est pas une fréquence multiple entière de celle du fondamental [9].



**Figure(I.6):** Représentation des harmoniques, inter-harmonique et infra-harmonique [5].

**I. 3. CARACTERISTIQUE DE LA POLLUTION HARMONIQUE**

Différents critères sont définis pour quantifier ces perturbations. Parmi ces critères, nous citerons les plus utilisés [10] .

**I.3.1. Taux harmonique de rang h**

On caractérise la déformation sur un rang particulier par le taux harmonique de rang h, Exprimé par rapport à la composante fondamentale, soit :

$$S_h = C_h / C_1 \quad (I.1)$$

Ou  $C_h$  représente la composante harmonique de rang  $h$  et  $C_1$  représente la composante fondamentale.

### **I.3.2. Taux de distorsion harmonique**

Le rapport des valeurs efficaces entre la fréquence fondamentale et les autres fréquences est connu sous le nom de taux de distorsion harmonique. La distorsion harmonique d'un système fluctue en fonction du niveau et de la fréquence du signal d'expérimentation. Il est nécessaire de préciser ces paramètres de mesure dans les procédures et les comptes rendus, comme illustré par l'équation suivante [11] :

$$THD = \sqrt{\sum_2^{\infty} \frac{C_h^2}{C_1^2}} \quad (1.2)$$

### **I.3.3. Normes imposé sur le THD**

Dans le but d'assurer une qualité de l'énergie adéquate en réduisant les conséquences des perturbations harmoniques, les distributeurs d'énergie et les utilisateurs doivent se conformer aux normes et aux recommandations qui établissent les règles de compatibilité électromagnétique (CEM) [12] :

- au niveau international par la CEI,
- au niveau européen par le CENELEC,
- au niveau français, par l'UTE et le CEF,

Effectivement, ces normes ont été élaborées par des équipes d'experts internationaux, comprenant les fabricants, les utilisateurs de l'équipement, ainsi que des représentants de laboratoires d'essais, des consultants et des universitaires spécialistes du domaine en question.

### **I.3.4. Facteur de puissance**

Le facteur de puissance d'un signal sinusoïdal est calculé en fonction de la relation entre la puissance active  $P$  et la puissance apparente  $S$ . En général, les

équipements électriques sont conçus en fonction de la tension et du courant nominaux. On observe une mauvaise utilisation de ces équipements en raison d'un faible facteur de puissance [13].

$$F.P = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad (I.3)$$

Où  $Q$  représente la puissance réactive.

Dans le cas où il y a des harmoniques, une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante ( $D$ ), donnée par la relation (I. 4), apparaît comme le montre le diagramme de Fresnel de la figure I.7.

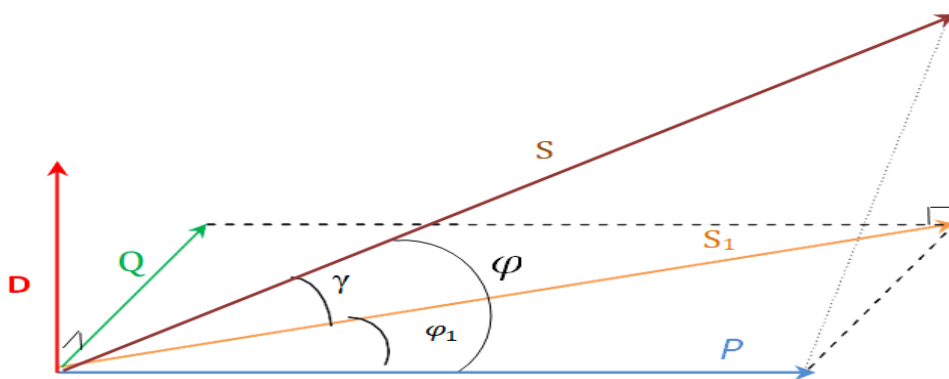
$$D = 3 \cdot V_1 \sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2} \quad (I.4)$$

Où,  $v$  représente la valeur efficace de la tension du réseau électrique.

Le facteur de puissance ( $F.P$ ) devient :

$$F.P = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2+D^2}} = \cos\varphi_1 \cdot \cos\gamma \quad (I.5)$$

On voit bien que les harmoniques affectent aussi le facteur de puissance.



**Figure (I.7) :** diagramme vectorielle du facteur de puissance [3].

$\varphi_1$ : Le déphasage entre la puissance active et la puissance apparente.

$\gamma$ : Le déphasage entre la puissance apparente dans le cas d'un système équilibré

linéaire  $S_1$  et la puissance apparente dans le cas déséquilibré non linéaire  $S$ .

: Le déphasage entre la puissance active et la puissance apparente  $S$

#### **I.4.SOLUTIONS DE DEPOLLUTION DES RESEAUX ELECTRIQUES**

Afin de compenser les perturbations, deux groupes de solution de dépollution, traditionnelle et moderne sont présentés [16].

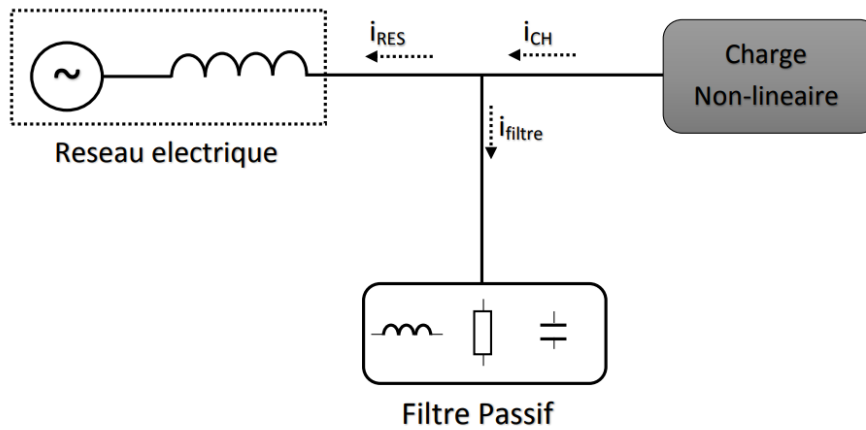
##### **I.4.1.Solutions traditionnelles de dépollution**

Pour purifier les réseaux électriques, diverses approches ont été suggérées dans le but de restreindre la propagation et l'impact des harmoniques dans ces derniers :

- La diminution de la distorsion harmonique est attribuée à l'augmentation de la puissance de court-circuit du réseau et à l'utilisation de convertisseurs peu polluants.
- Le filtrage est utilisé pour réduire la propagation des harmoniques engendrées par les charges non linéaires [14].

##### **I.4.1.1 Filtrage Passif :**

Les éléments passifs d'un filtre passif comprennent des inductances, des condensateurs et des résistances, qui créent une impédance fluctuant en fonction de la fréquence. Le filtre passif est ensuite connecté en parallèle avec le réseau afin d'absorber un harmonique de courant spécifique [15]. Le filtre passif est illustré dans la figure I.6.



**Figure (I.8) :** Filtrage Passif [3].

Le filtre passif résonnant est un dispositif de filtrage couramment utilisé, tandis que le filtre passif amorti ou passe-haut est également souvent utilisé [3].

**a- Filtre passif résonant**

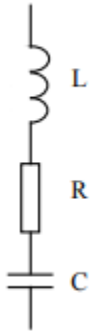
C'est un filtre sélectif constitué d'une résistance, d'un condensateur et d'une bobine en série, comme décrit sur la figure I.7 son impédance équivalente est:

$$Z_{eq}(\omega) = \frac{1-LC\omega^2 + jRC\omega}{jC\omega} \quad (I.6)$$

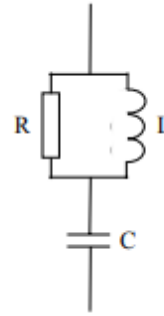
**b- Filtre passif amorti**

C'est un filtre passe haut constituer d'une inductance en parallèle avec une résistance, le tout en série avec un condensateur comme décrit sur la Figure I .8 Son impédance équivalente est:

$$Z_{eq} (\omega) = \frac{1 - LC\omega^2 + j \frac{L}{R} \omega}{- \frac{L}{R} C\omega^2 + jC\omega} \quad (I.7)$$



**Figure(I.9):** Filtre passif résonant.[3].



**Figure(I.10):** Filtre passif amorti.

Ces dispositifs sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive.

Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénients :

- Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- Equipements volumineux.
- Problème de résonance avec l'impédance du réseau [14].

#### **I.4.2. Solutions modernes de dépollution**

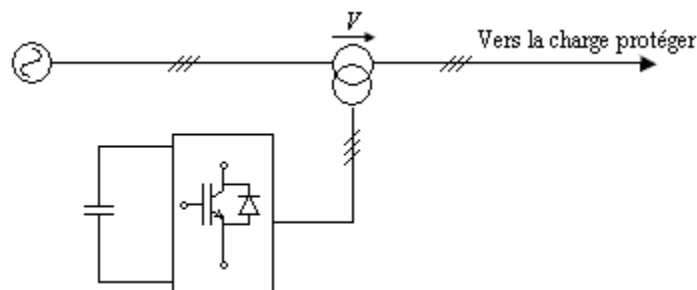
Ces solutions sont proposées comme des solutions efficaces de dépollution des réseaux électriques afin de traiter les inconvénients inhérents aux solutions traditionnelles telles que les filtres passifs (qui ne s'adaptent pas aux variations de la charge et du réseau, et qui peuvent provoquer des phénomènes de résonance). Parmi toutes les solutions modernes, on trouve deux types de structures classiquement utilisées :

- Le filtre actif (série, parallèle ou bien encore associant les deux)
- Le filtre actif hybride (série, parallèle).

Le but de ces filtres actifs est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant ou la tension redevienne sinusoïdal. Le filtre actif est connecté au réseau soit en série (FAS) soit en parallèle (FAP), suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques, soit associé à des filtres passifs. Les filtres actifs sont proposés comme des solutions de dépollution des réseaux électriques, visant à fournir aux consommateurs une énergie électrique de qualité, même dans des conditions de fonctionnement perturbées [16] différentes topologies de filtres actifs usuels sont présentées.

#### **I.4.2.1. Filtre actif Série (FAS)**

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, les déséquilibres et les creux de tension. En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge non linéaire [17].

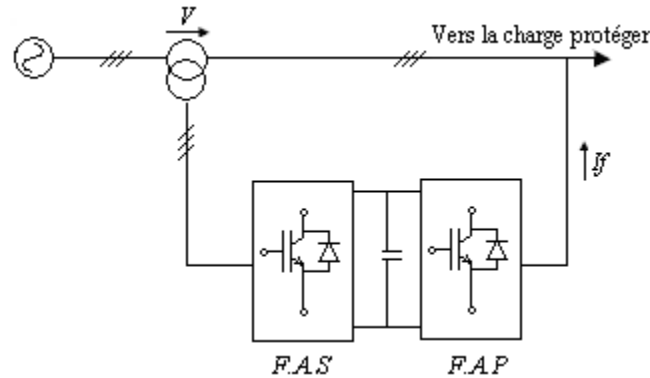


**Figure (I.11) : Filtre actif Série (FAS) [16].**

#### **I.4.2.2. Filtre combiné parallèle-série (UPQC)**

L'UPQC (figure I.12) 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 conditionnement de puissance.

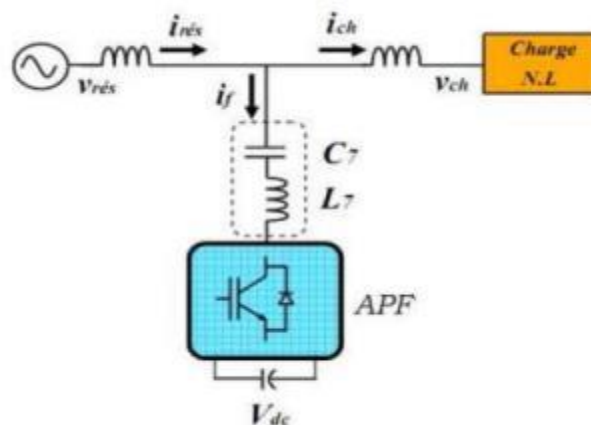
Cependant, son prix élevé et la complexité des commandes des nombreux interrupteurs limitent son utilisation à des applications critiques telles que l'équipement médical [18].



**Figure(I.12):** Filtre combiné parallèle - série (UPQC) [16].

#### I.4.2.3. Filtre actif hybride

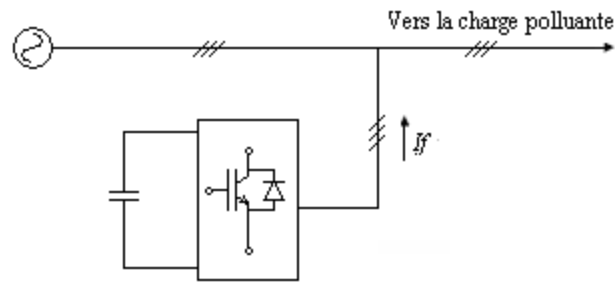
Le filtre actif hybride (Figure I.13), qu'il soit connecté avec ou sans transformateurs au réseau, est composé d'un filtre passif qui est connecté directement en série avec le filtre actif. Cela entraîne une réduction de la tension du bus continu par rapport à celle d'un filtre actif pur, et une diminution du dimensionnement du filtre hybride. De plus, l'utilisation du filtre passif permet d'éviter les oscillations causées par la commutation, car il a une impédance élevée à cette fréquence [18].



**Figure (I.13):** Filtre actif hybride [18].

**I.4.2.4. Filtre actif Parallèle (FAP)**

Le FAP est connecté simultanément au réseau. Un onduleur de tension et un filtre inductif en sortie composent le filtre actif. De cette manière, l'inductance à la sortie de l'onduleur définit la nature de la source de courant pour le filtre actif. Si plusieurs charges polluantes alimentent le réseau, il est recommandé d'utiliser un seul filtre actif pour toutes les charges [19].



**Figure(I.14):** Filtre actif Parallèle (FAP) [13].

**I. 5. CONCLUSION**

Ce chapitre a examiné les diverses perturbations qui affectent les réseaux électriques, en mettant particulièrement l'accent sur les effets néfastes des harmoniques sur les équipements électriques. Des solutions de dépollution traditionnelles et modernes ont été étudiées, mettant en évidence les limitations des filtres passifs et les avantages des filtres actifs. Alors que les filtres passifs peuvent souffrir de problèmes d'encombrement, de résonance et d'adaptabilité aux charges polluantes, les filtres actifs offrent une solution plus flexible et adaptable. Leur capacité à s'ajuster aux changements du réseau et à éliminer efficacement diverses perturbations en fait des outils précieux pour assurer la qualité de l'énergie électrique. En conclusion, pour garantir un fonctionnement optimal des équipements électriques et assurer la stabilité du réseau, il est essentiel d'adopter des approches modernes telles que les filtres actifs pour la dépollution des réseaux électriques.



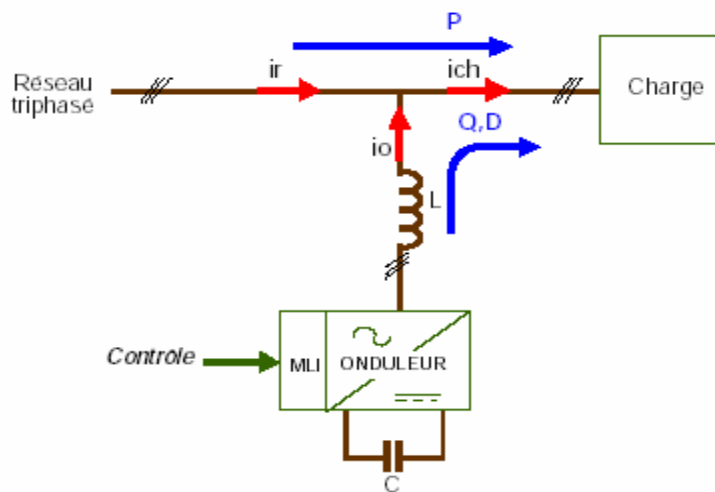
***CHAPITER II :***  
***Filtre actif parallèle, principe,***  
***stratégie de commande et***  
***dimensionnement***

## **II.1.INTRODUCTION**

Ce chapitre se concentre sur l'étude approfondie de la structure et du fonctionnement du filtre actif parallèle (FAP), un élément essentiel dans l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique. La structure du FAP se compose de deux éléments principaux : la partie de puissance et la partie de contrôle-commande, comme décrit par [12]. Nous examinerons en détail ces deux composants et leur interaction pour comprendre pleinement le fonctionnement du FAP. De plus, nous explorerons les différentes méthodes de contrôle utilisées pour ces filtres actifs de puissance triphasée, qui permettent notamment d'identifier les courants harmoniques de référence. En combinant une analyse détaillée de la structure et du fonctionnement du FAP avec une étude approfondie des stratégies de contrôle, ce chapitre vise à fournir une compréhension complète de ce dispositif crucial dans la gestion des perturbations électriques.

## **II.2.PRINCIPE DE FILTRAGE ACTIF PARALLELE**

Le schéma de principe d'un filtre actif parallèle est représenté sur la figure, et son objectif est de fournir à la fois une puissance de distorsion et une puissance réactive. Cela signifie que le réseau ne fournit que de la puissance active, tandis que le filtre actif parallèle compense les autres composantes de puissance nécessaires pour améliorer la qualité de l'énergie électrique.



**Figure (II.1) :** schéma de principe du filtre actif parallèle [20].

## Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement

Pour cela, le circuit de contrôle, en agissant sur la commande de la télécommande, doit imposer une valeur instantanée du courant fourni par l'onduleur pour que le courant fourni par le réseau soit sinusoïdal et en phase avec la tension simple correspondante.

Dans le cas général, le courant absorbé par la charge comporte une composante active ( $i_{cha}$ ), une composante réactive ( $i_{chr}$ ) et une composante harmonique ( $\sum_{n=1}^{\infty} i_{chn}$ ).

$$I_{ch} = i_{cha} + i_{chr} + \sum_{n=1}^{\infty} i_{chn} \quad (II.1)$$

Le compensateur actif ne peut absorber ou fournir de la puissance active puisqu'il ne comporte pas de source active.

D'après la première loi de Kirchhoff, le courant fourni par la source est égale à :

$$I_s = i_{ch} - i_f \quad (II.2)$$

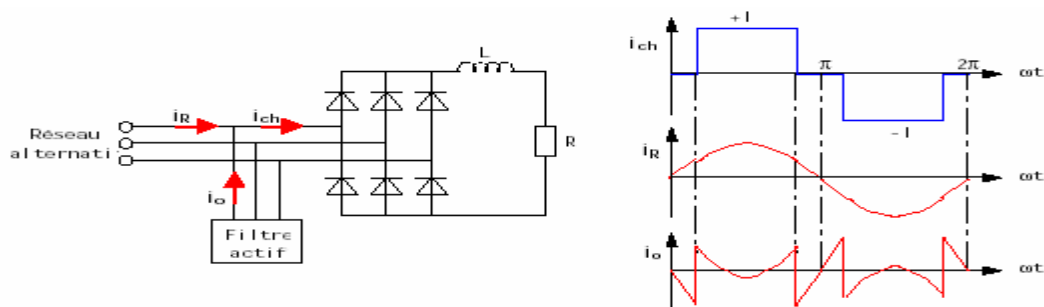
La source fournit la puissance active absorbée par la charge :

$$I_s = i_{cha} \quad (II.3)$$

Le filtre actif parallèle fournit la puissance réactive et déformante :

$$I_f = i_{chr} + \sum_{n=1}^{\infty} i_{chn} \quad (II.4)$$

Pour illustrer le principe de filtrage actif, considérons l'ensemble réseau électrique, charge polluante et filtre actif (figure II.2). La charge polluante est constituée d'un pont triphasé à diodes débitant sur un circuit RL.



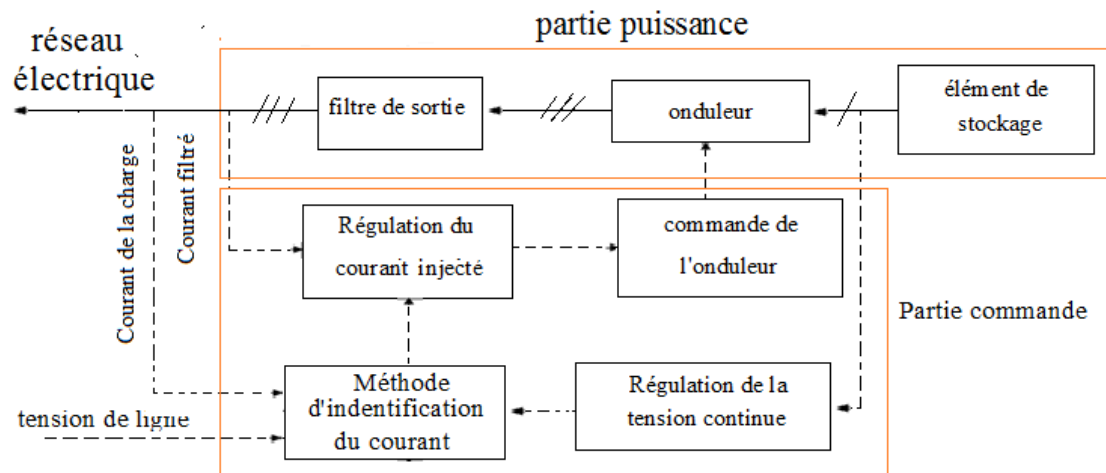
**figure(II.2)** :Schéma de principe de l'ensemble réseau électrique, charge polluante et filtre actif et formes d'ondes des courants respectifs [20] .

## **Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement**

Le courant consommé par la charge polluante n'est pas sinusoïdal, mais le filtre actif injecte du courant de telle sorte que le courant consommé par le réseau soit sinusoïdal [20].

### **II.3.STRUCTURE GÉNÉRALE D'UN FILTRE ACTIF PARALLÈLE**

La figure (II.3) montre la structure d'un filtre actif composé en deux parties



**Figure (II. 3) :**Structure générale d'un filtre actif parallèle [21] .

La partie puissance du filtre actif parallèle est composée de plusieurs éléments essentiels :

- Un onduleur de tension équipé d'interrupteurs de puissance, tels que des GTO (Gated Turn-Off Thyristors) ou des IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors), avec des diodes en antiparallèle pour assurer la commutation efficace du courant.
- Un circuit de stockage d'énergie, généralement capacitif, qui permet de compenser les variations de la charge en fournissant ou absorbant de l'énergie selon les besoins.
- Un filtre de sortie, qui assure que le courant fourni au réseau est propre et conforme aux normes de qualité de l'énergie.

La partie commande du filtre actif parallèle est tout aussi importante, et elle comprend :

- Un circuit de détection des courants perturbateurs, qui identifie les composantes indésirables du courant absorbé par la charge.
- Un système de contrôle de l'onduleur de tension, qui ajuste la commande des interrupteurs de puissance pour générer le courant compensateur nécessaire.
- Un contrôle de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie, qui régule la charge et la décharge du circuit de stockage pour maintenir une performance optimale du filtre actif parallèle.
- De la régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension. [21]

## **II.4.FILTRE ACTIF PARALLÈLE À STRUCTURE TENSION**

Le filtre actif parallèle à structure tension repose sur l'utilisation essentielle de l'onduleur de tension, une composante clé de l'électronique de puissance. Parmi les applications les plus courantes des onduleurs de tension, on trouve les alimentations de secours et les convertisseurs de fréquence, qui sont essentiels dans de nombreux systèmes électriques.[22]

Les progrès significatifs dans le domaine des onduleurs de tension ont été rendus possibles grâce au développement de composants semi-conducteurs contrôlables, puissants, robustes et rapides, ainsi que l'utilisation de techniques de modulation d'impulsions généralisées. Pour les applications à haute puissance, une structure d'onduleur à trois étages est souvent préférée à une structure à deux étages, car elle permet d'obtenir des taux de distorsion harmonique plus faibles tant pour la tension que pour le courant de sortie [23]. Ces avancées contribuent à rendre les filtres actifs parallèles à structure tension plus efficaces et plus performants dans la dépollution des réseaux électriques.

### **II.4.1.Principe de fonctionnement d'un Filtre Actif Parallèle à structure Tension**

Les perturbations de courant et de tension dans les réseaux de distribution sont souvent générées par les charges non linéaires connectées au réseau, telles que les convertisseurs statiques, les équipements informatiques, les systèmes de climatisation et les systèmes d'éclairage à base de tubes fluorescents. Ces charges absorbent des courants non sinusoïdaux, entraînant une pollution harmonique dans le réseau

## **Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement**

électrique. Les courants harmoniques ainsi produits peuvent perturber le fonctionnement des équipements électriques et même causer leur destruction [08], [24].

Pour remédier à ces problèmes, les filtres actifs parallèles (FAP) sont couramment utilisés, que ce soit dans des environnements industriels ou domestiques, sans nécessiter de modifications majeures de l'installation électrique côté puissance ou charge [25], [14], [24]. Un FAP se compose principalement d'un convertisseur statique basé sur des semi-conducteurs de puissance, contrôlé par un système de commande approprié. En injectant du courant en antiphasé avec la perturbation harmonique identifiée au point de connexion, le FAP compense les courants harmoniques en temps réel.

Il existe deux types de structures pour les FAP : la structure de tension, où l'élément de stockage est un condensateur, et la structure de courant, où l'élément de stockage est une inductance. Les FAP à structure de tension sont plus couramment utilisés dans les applications industrielles en raison de leur facilité de contrôle, de leur coût limité et de leur encombrement réduit [26], [27].

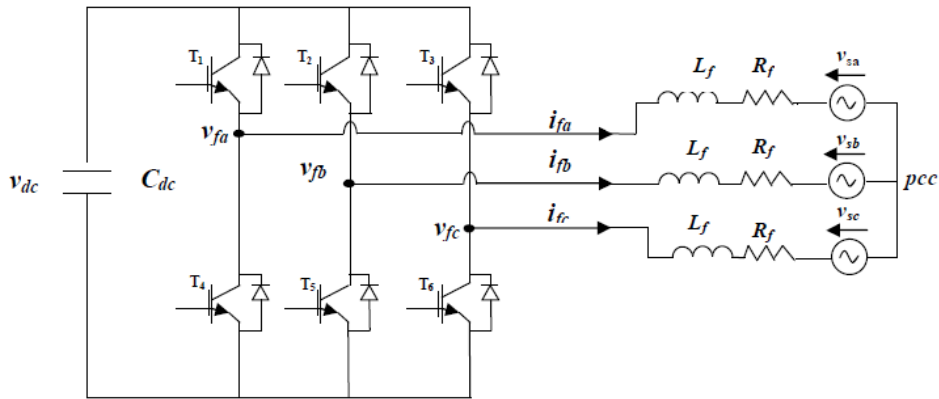
### **II. 4.2. Structure de l'onduleur à deux niveaux**

La figure (II.4) présente un onduleur à structure de tension triphasée, composé de trois bras avec un interrupteur de courant réversible. Chaque bras est équipé d'un interrupteur contrôlable (tel qu'un GTO ou un IGBT) et de diodes anti-parallèles assurant la libre circulation du courant de roue.

L'énergie est stockée du côté continu à travers le condensateur  $C_{dc}$  avec une tension  $V_{dc}$ , et la tension aux bornes de ce condensateur reste approximativement constante. Cette variation de tension doit être maintenue faible, d'une part pour éviter de dépasser les limites de tension des semi-conducteurs, et d'autre part pour préserver les performances du filtre actif.

Les filtres de sortie sont généralement des filtres passifs de premier ordre ( $L_f$ ,  $R_f$ ), utilisés pour connecter les onduleurs de tension au réseau électrique. Dans ce cas, le pont onduleur devient une interface entre deux sources : une source de courant

du côté alternatif et une source de tension du côté continu [23].



**Figure (II.4) :** Structure de l'onduleur de tension à deux niveaux [28].

### II.4.3.Modélisation de l'onduleur de tension à deux niveaux

Le schéma de l'onduleur présenté à la figure (II.4) représente un onduleur à deux niveaux, où la sortie est divisée en deux niveaux de tension (+Vdc, -Vdc) en fonction de la tension d'alimentation DC. Le contrôle de cet onduleur est réalisé par des impulsions de commande de commutation. En pratique, il contrôle deux semi-conducteurs dans un même bras de manière complémentaire : la conduction dans l'un entraîne la déconnexion de l'autre.

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur inverseur de la figure (II.4) dépendent de l'état du signal de commande (Sa, Sb, Sc) selon la logique suivante [29]:

$$S_a = \begin{cases} 1 & T1 \text{ fermé et } T4 \text{ ouvert} \\ 0 & T1 \text{ ouvert et } T4 \text{ fermé} \end{cases}$$

$$S_b = \begin{cases} 1 & T2 \text{ fermé et } T5 \text{ ouvert} \\ 0 & T2 \text{ ouvert et } T5 \text{ fermé} \end{cases}$$

$$S_c = \begin{cases} 1 & T3 \text{ fermé et } T6 \text{ ouvert} \\ 0 & T3 \text{ ouvert et } T6 \text{ fermé} \end{cases}$$

Et en fonction des tensions simples de l'onduleur :

**Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement**

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{an} - V_{bn} \\ V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} \\ V_{ca} = V_{cn} - V_{an} \end{cases} \quad (II.5)$$

On peut trouver les tensions simples de l'onduleur en fonction de celles composées :

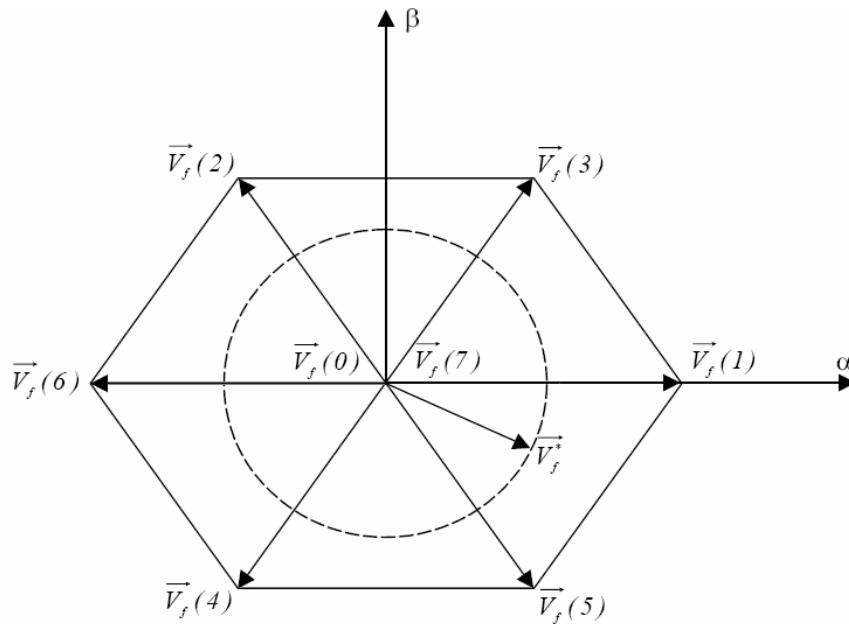
$$\begin{aligned} V_{an} &= \frac{V_{ab} - V_{ca}}{3} \\ V_{bn} &= \frac{V_{bc} - V_{ab}}{3} \\ V_{cn} &= \frac{V_{ca} - V_{bc}}{3} \end{aligned} \quad (II.6)$$

Ainsi, on pourra exprimer huit cas possibles de tension de sortie du filtre actif  $V_f$  (référéés au neutre N de la source), comme le montre le Tab II-1 [30], [31], [32].

N	S <sub>a</sub>	S <sub>b</sub>	S <sub>c</sub>	V <sub>f1</sub>	V <sub>f2</sub>	V <sub>f3</sub>
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	2U <sub>dc</sub> /3	-U <sub>dc</sub> /3	-U <sub>dc</sub> /3
3	0	1	0	-U <sub>dc</sub> /3	2U <sub>dc</sub> /3	-U <sub>dc</sub> /3
4	0	1	1	U <sub>dc</sub> /3	U <sub>dc</sub> /3	-2U <sub>dc</sub> /3
5	1	0	0	-U <sub>dc</sub> /3	-U <sub>dc</sub> /3	2U <sub>dc</sub> /3
6	1	0	1	U <sub>dc</sub> /3	-2U <sub>dc</sub> /3	U <sub>dc</sub> /3
7	1	1	0	-2U <sub>dc</sub> /3	U <sub>dc</sub> /3	U <sub>dc</sub> /3
8	1	1	1	0	0	0

**Tableau(II.1):** Tensions de sortie du filtre actif à base d'un Modélisation de l'onduleur de tension à deux niveaux

Dans le plan biphasé ( $\alpha \beta$ ), en considérant  $\vec{V}_f$  le vecteur correspondant aux tensions du convertisseur, les huit cas possibles du vecteur  $\vec{V}_f$  sont donnés par la Figure (II.5).



**Figure (II.5) :** Représentation vectorielle des tensions délivrées par le convertisseur deux niveaux à trois bras [33].

$\vec{V}_f^*$  Représente la tension de référence que le convertisseur doit générer pour produire le courant de bruit spécifié .Dans ce cas, le convertisseur n'est capable de fournir une tension égale à la tension de référence que si le vecteur généré par le convertisseur reste à l'intérieur de l'hexagone comme le montre la figure(II.5). [34], [30].

## **II.5.STRATÉGIES DE CONTRÔLE DU FILTRE ACTIF PARALLÈLE À STRUCTURE TENSION**

### **II.5.1. Identification des courants harmoniques**

La qualité de la compensation des harmoniques de courant dépend largement des performances de la méthode d'identification choisie. En effet, même un système de contrôle très performant ne peut pas garantir un filtrage satisfaisant si les courants harmoniques ne sont pas correctement identifiés. Pour cette raison, de nombreuses méthodes d'identification ont été développées dans la littérature, et elles peuvent être regroupées selon deux approches : [35], [36], [37].

### **II.5.1.1.Méthodes du domaine fréquentiel**

Les méthodes d'identification des courants harmoniques dans le domaine

quantité de distorsion (courant ou tension) pour extraire un signal de compensation. En utilisant la transformée de Fourier, les composantes de compensation harmonique sont d'abord séparées des signaux harmoniques interférents, puis combinées pour former le point de consigne. Pour assurer une compensation efficace, la fréquence de commutation des semi-conducteurs dans les filtres actifs est généralement maintenue supérieure à deux fois la fréquence harmonique la plus élevée [37], [36]. Ces méthodes sont adaptées aux charges dont le contenu harmonique varie lentement. De plus, un avantage supplémentaire est que les harmoniques peuvent être identifiées individuellement, permettant ainsi une compensation sélective.

### **II.5.1.2.Méthode du domaine temporel**

- Les méthodes temporelles sont généralement plus rapides et nécessitent moins d'opérations que les méthodes fréquentielles. Leur principe repose sur la séparation des harmoniques fondamentales ou de certaines harmoniques du reste des harmoniques par filtrage. Parmi les principales méthodes temporelles, on peut citer : [38]
  - La théorie P-Q de la puissance instantanée,
  - Algorithme du Repère de Référence Synchronisé (SRF),
  - Algorithme de la détection synchronisée (SDA),
  - L'algorithme Fryze-Bucholz-Depenbanck (FBD),
  - La méthode sinusoïdale Généralisée de Fryze (SGF),
  - La méthode basée sur le courant actif,
  - La méthode tri-monophasée,
  - La méthode basée sur la régulation de la tension continue.

***Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement***

<b>méthodes</b>	<b>Analogique</b>	<b>Numérique</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénient</b>
Théorie P-Q	Oui	Oui	Simple	Bonne pour des tensions sinusoïdales uniquement.
SRF	Non	Oui	Utilisé pour une source déséquilibrée avec/sans distorsion	Exige un circuit PLL.
SDA	Oui	Oui	Utilisé pour une source déséquilibré.	Suppose que les courants dans les phases sont équilibrés.
SGF	Non	Oui	Utilisé pour une source déséquilibrée avec/sans distorsion	Exige un circuit PLL.

**Tableau (II. 2) :** Comparaison entre les méthodes d'identification des harmoniques.

**II.5.2.Stratégie de l'identification**

La stratégie de contrôle est basée sur la détection de courants parasites dans le domaine temporel.

Il existe trois manières de déterminer les courants parasites.

- Identification à partir de la détection du courant de la charge polluante.
- Identification à partir de la détection du courant de la source.
- Identification à partir de la détection de la tension de la source.

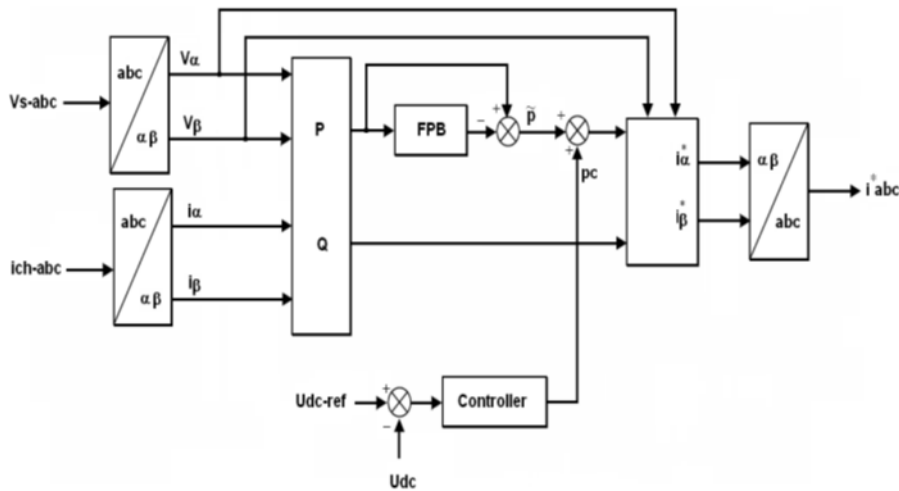
La première méthode est la plus couramment utilisée pour les filtres actifs parallèles afin de compenser les courants parasites causés par la contamination de la charge [39]. Cette méthode de détection est utilisée dans cette étude.

**II.5.3.Méthode des puissances active et réactive instantanées**

En présence d'harmoniques, la puissance apparente se compose de trois parties : puissance active (P), puissance réactive (Q) et distorsion (D), comme indiqué dans la relation (II. 7) [40].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (II.7)$$

Dans la méthode classique des puissances instantanées [41], [42], [43] on utilise généralement, soit un filtre passe-haut, soit un filtre passe-bas afin de ne garder que la composante harmonique du signal. Le schéma bloc relatif à cette méthode est représenté par la Figure(II.6).



**Figure(II.6) : Méthode d'identification des puissances active et réactive instantanées [33].**

Désignons la tension d'alimentation simple et le courant de charge pour un système triphasé symétrique par  $(v_{sa}, v_{sb}, v_{sc})$  et  $(i_{cha}, i_{chb}, i_{chc})$ , respectivement.

La transformation Concordia permet de réduire ce système triphasé équilibré à un système diphasé avec les axes en quadrature. Cette transformation appliquée à la tension ligne et au courant ligne donne les équations suivantes : [44], [25], [45], [43] :

**Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement**

$$\begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

$$\begin{bmatrix} i_{ch\alpha} \\ i_{ch\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{cha} \\ i_{chb} \\ i_{chc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

La puissance active instantanée  $p$  et la puissance réactive instantanée  $q$  sont définies par :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{ch\alpha} \\ i_{ch\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

Les puissances active et réactive instantanées peuvent s'écrire comme la somme d'une composante continue et d'une composante harmonique :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} & + & \tilde{p} \\ \bar{q} & + & \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

Avec  $p$  et  $q$  les composantes continues de  $\bar{p}$  et  $\bar{q}$  et  $\tilde{p}$  et  $\tilde{q}$  les composantes harmoniques de  $p$  et  $q$ .

A partir de l'équation (II.10), nous pouvons déduire les expressions des composantes du courant de charge selon les axes  $\alpha \beta$ :

$$\begin{bmatrix} i_{ch\alpha} \\ i_{ch\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (\text{II.12})$$

Le remplacement de (II.11) dans (II.12) donne les expressions des courants  $i_{\alpha}$  et  $i_{\beta}$  selon les axes  $\alpha \beta$  par :

$$\begin{bmatrix} i_{ch\alpha} \\ i_{ch\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{q} \end{bmatrix} + \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (\text{II.13})$$

Puisque nous nous intéressons à la compensation simultanée des harmoniques de courant et de l'énergie réactive, dans ce cas nous utilisons un simple FPB pour supprimer la composante continue de  $p$  et ajouter à la composante harmonique la puissance active  $p_c$  nécessaire pour ajuster la tension continue  $U_{dc}$  à la composante harmonique de la puissance active instantanée. Les courants perturbateurs de

référence, notés  $i_{\alpha-ref}$  et  $i_{\beta-ref}$ , sont exprimés selon l'axe  $\alpha$ - $\beta$  comme suit :

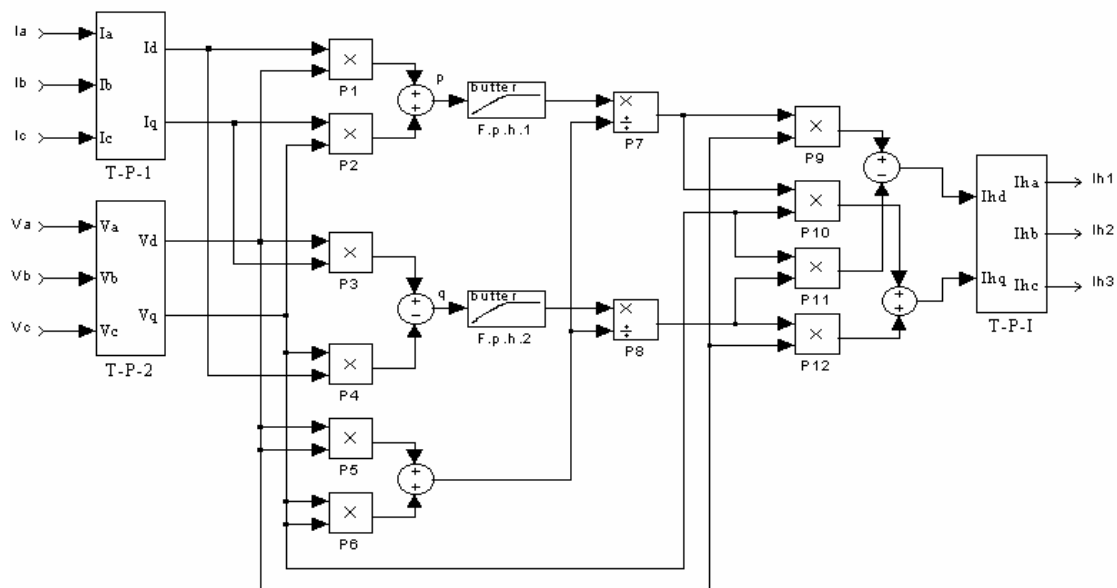
$$\begin{bmatrix} i_{\alpha-ref} \\ i_{\beta-ref} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} + p_c \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (II.14)$$

Les courants perturbateurs de référence selon les axes (abc) peuvent être déterminés en utilisant la transformation inverse de Concordia :

$$\begin{bmatrix} i_{a-ref} \\ i_{b-ref} \\ i_{c-ref} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha-ref} \\ i_{\beta-ref} \end{bmatrix} \quad (II.15)$$

### II.5.4. Algorithme d'identification

La figure (II.7) illustre les différentes étapes de calcul permettant l'obtention des composantes harmoniques du courant d'une charge non- linéaire.



**Figure(II.7):** Algorithme d'identification des courants harmoniques basé sur le calcul des puissances réelles et imaginaires instantanées [20].

Cette figure représente le schéma de l'algorithme d'identification des courants harmoniques. Ce dernier est constitué essentiellement, par des blocs de la matrice de transformation ( $\alpha$ - $\beta$ ), des filtres passe haut, permettant d'extraire les composantes continues des puissances, et les différents blocs de calcul des courants harmoniques

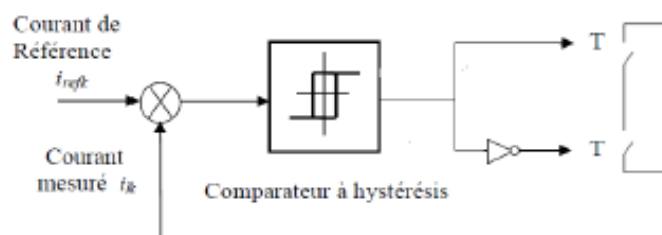
[39].

## II.6.COMMANDE DE L'ONDULEUR

La commande de l'onduleur vise à contrôler les courants à la sortie du filtre afin qu'ils suivent leurs références. Ce principe repose sur la comparaison entre les courants à la sortie du filtre actif et leurs références, qui sont calculées à partir des différentes méthodes d'extraction et de régulation des courants harmoniques, ainsi que de la tension du condensateur de stockage d'énergie [33].

### II.6.1.Commande des courants par hystérésis

Cette commande est particulièrement adaptée aux dispositifs à deux positions, comme c'est le cas ici avec les IGBT, qui peuvent être soit ouverts, soit bloqués. Son principe consiste à ajuster la modulation de largeur d'impulsion de l'onduleur pour maintenir le courant dans une bande centrée autour de la référence. La dimension de cette bande est déterminée en fixant sa largeur, souvent choisie à 5% du courant nominal. Cependant, cette approche ne garantit pas toujours le respect de la fréquence de commutation maximale des semi-conducteurs [40].



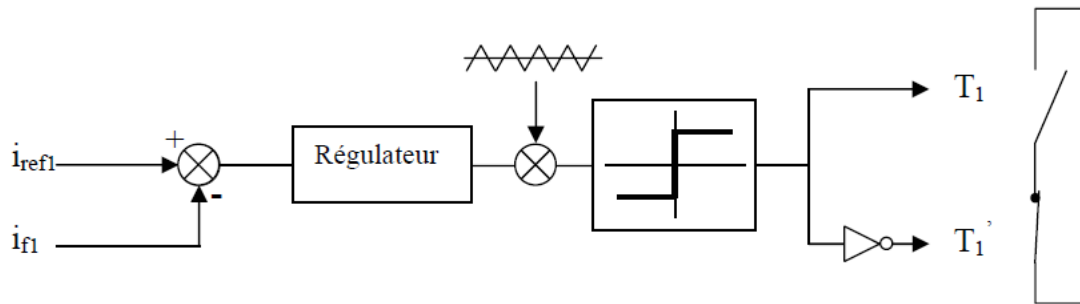
**Figure (II.8):** Principe de la commande des courants par hystérésis [20].

### II.6.2 Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Pour corriger l'erreur entre le courant de référence et le courant fourni par l'onduleur, il est possible d'utiliser une boucle externe de régulation dans ce type de contrôleur de courant. Dans ce cas, un régulateur détermine, à partir de la différence

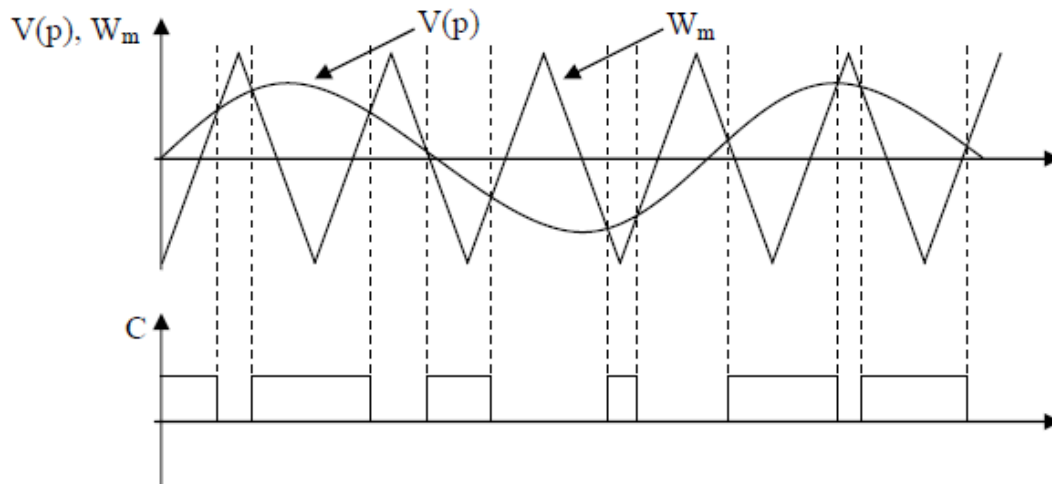
## Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement

entre le courant réel et sa référence, la modulation de la pression de référence de l'onduleur. Ensuite, cette modulation est comparée à la porteuse, et la sortie du comparateur établit les ordres de commutation des interrupteurs de l'onduleur (voir figure II.9) [40].



**Figure (II.9) :** Principe de commande des courants par MLI [20].

Les signaux logiques C qui en résultent donnent l'ordre de commutation des interrupteurs du filtre (Figure II.10)



**Figure (II.10) :** Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur [20].

### II.7. LA DEFAILLANCE DU FILTRE ACTIF

Dans le chapitre précédent, nous avons souligné l'importance cruciale des convertisseurs statiques, notamment des onduleurs, dans les systèmes de filtrage du réseau électrique. Cependant, il est essentiel de reconnaître que les filtres actifs ne sont pas à l'abri de dysfonctionnements, qui peuvent être causés par divers facteurs. Parmi ces facteurs, on peut citer les problèmes de commande du convertisseur, tels

que les dysfonctionnements d'un des pilotes, les défaillances des capteurs, ou encore les défaillances des composants de puissance tels que le condensateur, la diode ou le transistor IGBT [46, 47, 48]. Lorsque de tels dysfonctionnements surviennent, ils peuvent perturber le fonctionnement normal du système voire entraîner son arrêt complet. Les types de défauts qui peuvent affecter le filtre actif comprennent [46, 47, 48]:

- Court-circuit du bus continu ;
- Isolement défaillant d'une phase ;
- Défaillance du condensateur ;
- Dysfonctionnement des diodes classiques ;
- Problèmes dans le circuit de commande (comme le vieillissement de l'optocoupleur) ;
- Vieillessement ;
- Court-circuit d'un interrupteur statique ;
- Circuit ouvert d'un interrupteur statique.

### **II.7.1. Causes de destruction de modules IGBT**

La température de fonctionnement est un facteur crucial dans la fiabilité des systèmes électroniques, et la surchauffe thermique représente la principale cause de défaillance dans les systèmes électroniques modernes. Lorsqu'un composant électronique atteint des températures excessives, cela peut provoquer des altérations physiques dans les puces IGBT et les diodes, entraînant des défaillances irréversibles [49, 50, 51, 52, 53]. Cette surchauffe peut être due à diverses causes :

- Cyclage thermique et fatigue : Les résistances thermiques des modules IGBT augmentent en raison du cyclage thermique, entraînant une élévation anormale de la température. Les brasures deviennent fragiles, le contact thermique se dégrade et le transfert thermique diminue, pouvant conduire à la destruction du module.

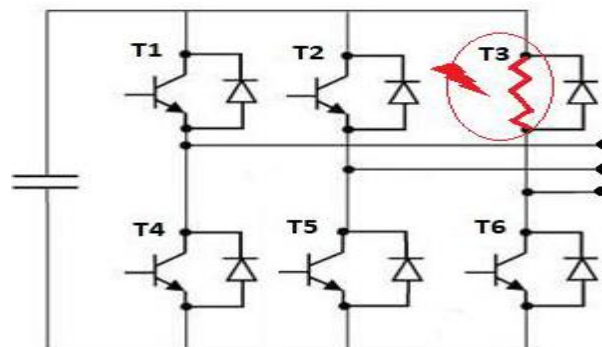
## **Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement**

- Court-circuit : En cas de court-circuit, la puissance dissipée par les puces IGBT augmente rapidement, entraînant une élévation rapide de la température. Sans protection, le module IGBT peut être détruit en très peu de temps.
- Amorçage dynamique : Les IGBT peuvent amorcer de manière irréversible en raison de fortes variations du  $dv/dt$ , les rendant non-commandables par la grille et les vouant à une défaillance rapide.
- Phénomène d'avalanche : Lors de l'ouverture des modules IGBT, une surtension peut se produire en raison de la décroissance du courant dans les inductances de câblage.

Il est crucial de prendre en compte ces facteurs lors de la conception et de l'exploitation des systèmes électroniques pour assurer leur fiabilité et leur durabilité.

### **II.7.1.1.Défaut de type court-circuit**

Le défaut de court-circuit d'un interrupteur se produit lorsqu'un des deux interrupteurs reste en position conductrice en permanence. Ce court-circuit devient évident lorsque le deuxième interrupteur est activé pour passer à l'état fermé. Ce type de défaut peut avoir deux origines principales : soit une mise en court-circuit physique de la puce de silicium (IGBT ou diode) due à une surchauffe critique, soit une défaillance du contrôle de proximité, souvent causée par un problème de connexion entre la carte de commande et le dispositif de commande. Dans ce scénario, les courants de phase subissent des altérations significatives. Une telle défaillance peut avoir des conséquences graves sur le convertisseur, nécessitant la mise en place de dispositifs de sécurité pour isoler le bras défectueux dès la détection de ce type de défaillance [49, 50, 51, 54, 53].

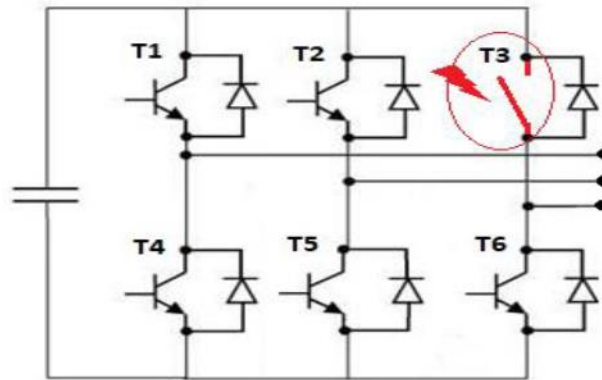


**Figure (II.11) : Défaillance de type court-circuit [55].**

### **II.7.1.2.Défaut de type circuit ouvert**

Un défaut de type circuit-ouvert se manifeste généralement par une perte totale ou partielle du fonctionnement d'un des IGBTs constituant le convertisseur statique. Ce type de défaut peut survenir pour diverses raisons, telles qu'une défaillance de la grille, une défaillance du contrôle de proximité, une rupture d'un fil de liaison dans le transistor, ou un courant de collecteur extrêmement élevé.

Lorsqu'un IGBT présente un défaut d'ouverture, cela se traduit par la perte d'une alternance positive ou négative du courant de sortie de l'onduleur, en fonction de l'emplacement du composant endommagé dans le bras défectueux. Ce défaut est soit visible sur l'alternance positive du courant (défaut sur l'IGBT supérieur), soit sur l'alternance négative (défaut sur l'IGBT inférieur). En effet, un défaut de circuit-ouvert entraîne un déséquilibre entre les tensions des transistors d'un même bras. Les tensions et les courants portent les signatures du défaut et peuvent donc être analysés pour détecter et localiser ce dernier.



**Figure (II.12) :** Défaillance de type circuit ouvert [55].

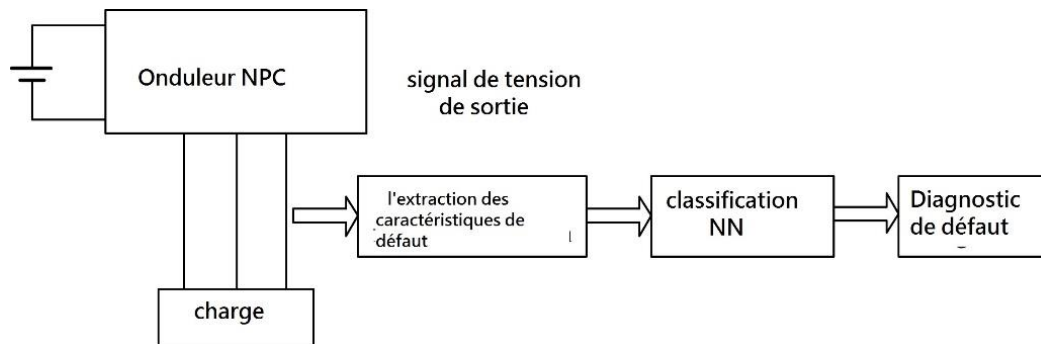
En effet, il est crucial de détecter et de compenser les défaillances au niveau des commutateurs, qu'elles soient de nature court-circuit ou circuit-ouvert. Outre la dégradation des performances du système, ces défaillances peuvent se propager et entraîner d'autres dysfonctionnements dans la chaîne de conversion d'énergie. Ainsi, une surveillance et une réaction rapides aux problèmes des commutateurs sont

essentielles pour assurer le bon fonctionnement et la fiabilité du système dans son ensemble.

## **II.8.DIAGNOSTIC DE DÉFAUT DE L'ONDULEUR NPC**

### **II.8.1.Structure du système de diagnostic de défaut**

Le système de diagnostic de défaut se compose de trois parties principales : (1) l'extraction des caractéristiques de défaut, (2) la classification par réseau neuronal (RN), et (3) le diagnostic de défaut. L'extraction des caractéristiques de défaut réduit la dimension des vecteurs d'entrée pour la classification RN en utilisant l'algorithme ICA (Analyse en Composantes Indépendantes). Les caractéristiques extraites sont ensuite transmises à la classification RN. Le classificateur est entraîné avec des données de caractéristiques normales ainsi que des données de caractéristiques de défaut et un code de type de défaut associé. Le code binaire du type de défaut est généré en sortie de la classification RN, ce qui permet de localiser l'IGBT défaillant en cas de défaut de circuit-ouvert (OC). La structure complète du système de diagnostic de défaut est illustrée dans la figure (III.3)[56].



**Figure (II .13):** Structure du système de diagnostic de défaut[56].

## **II.9.CONCLUSION**

En conclusion, ce chapitre a permis d'approfondir notre compréhension du fonctionnement du filtre actif parallèle de puissance. Nous avons examiné en détail la structure générale du FAP ainsi que les différentes stratégies de commande utilisées pour l'onduleur de tension. En combinant ces éléments, nous avons pu entrevoir

## ***Chapitre II filtre actif parallèle , principe ,stratégie de commande et dimensionnement***

l'importance de la commande précise de l'onduleur pour maintenir les courants harmoniques à des niveaux acceptables et assurer un fonctionnement optimal du système. Ces connaissances sont essentielles pour la conception et la mise en œuvre efficaces de systèmes de filtrage actif parallèle dans diverses applications industrielles et domestiques.



***CHAPITER III :***  
***Défaut et défaillances des filtres***  
***actifs parallèles***

### **III.1.INTRODUCTION**

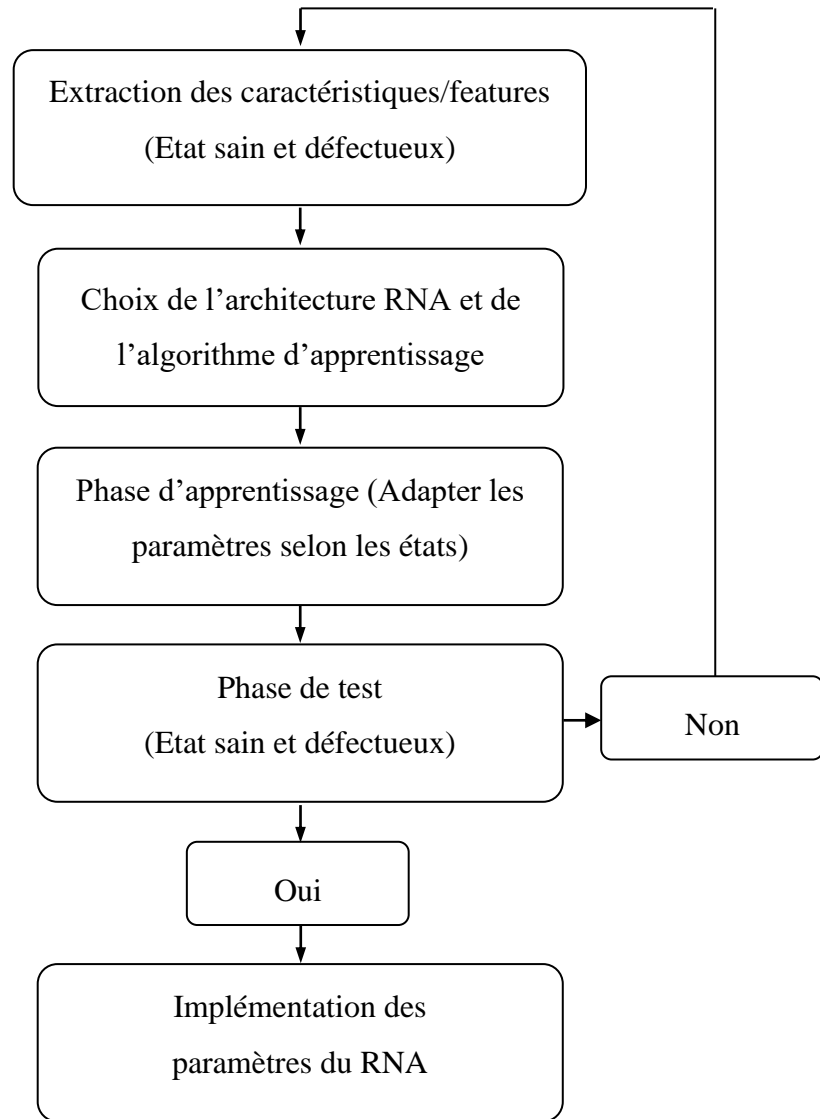
Dans ce chapitre, nous nous attelons à une étude de simulations, visant à mettre en œuvre un filtre actif parallèle pour éliminer les courants perturbateurs, notamment les harmoniques et les réactifs, générés par les charges non linéaires. Ensuite, nous nous concentrons sur la simulation et l'analyse des défauts de circuit ouvert dans les interrupteurs des filtres actifs parallèles, nous utilisons le logiciel MATLAB/Simulink pour simuler différents scénarios de défauts et enregistrer les réponses du système.

En intégrant un RNA dans notre système d'identification et de localisation, nous visons à améliorer la précision et la rapidité de la détection et de la localisation des défauts.

### **III.2.LE DIAGNOSTIC DE DÉFAUT CO DANS UN RÉSEAU FILTRÉ**

L'idée principale du diagnostic de défaut est d'identifier le type et l'emplacement et le moment de détection du défaut en se basant sur les mesures disponibles du système. En utilisant des techniques avancées telles que les réseaux neuronaux, l'analyse de données et les algorithmes de traitement du signal, il est possible de détecter et de caractériser les défauts avec une précision accrue. En comprenant pleinement la nature des défauts et en les identifiant rapidement, il devient possible de prendre des mesures correctives appropriées pour garantir la fiabilité et la stabilité du système électrique [57]. Pour cela nous devons passer par l'étude qui suit.

L'étude et l'analyse de l'utilisation des RNA dans le diagnostic peuvent être regroupées selon l'organigramme suivant :



**Figure (III.1):** Organigramme de diagnostic par RNA [57].

### III.2.1.L'extraction des caractéristiques de défaut

Pour intégrer l'incertitude de la classification, il est essentiel d'incorporer des fonctions mathématiques qui décrivent les différences entre les différentes classes. La construction d'un tel modèle mathématique dépend souvent du contexte spécifique de l'application et des caractéristiques des données. Dans notre cas, les fonctions utilisées par l'extracteur de caractéristiques dans le système d'extraction sont les suivantes :

***Le coefficient de variation***

Le coefficient de variation (CV) est une mesure statistique utilisée pour évaluer la dispersion relative des données par rapport à leur moyenne. Il est défini comme le rapport de l'écart-type à la moyenne de l'échantillon, exprimé en pourcentage. Un coefficient de variation élevé indique une dispersion importante des données par rapport à leur moyenne, tandis qu'un coefficient de variation faible indique une dispersion moins importante.

Le coefficient de variation est défini comme le rapport entre l'écart-type  $\sigma$  et la moyenne :

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (\text{III.1})$$

***La skewness***

La skewness, ou asymétrie en français, est une mesure de l'asymétrie de la distribution des valeurs d'un échantillon autour de sa moyenne. Elle permet de déterminer si la distribution des données est symétrique ou non. Une skewness positive indique que la queue de la distribution est plus étendue du côté des valeurs élevées, tandis qu'une skewness négative indique que la queue de la distribution est plus étendue du côté des valeurs faibles. Une skewness nulle indique une distribution parfaitement symétrique.

Étant donné une variable aléatoire réelle X de moyenne  $\mu$  et d'écart type  $\sigma$ , on définit son coefficient d'asymétrie comme le moment d'ordre trois de la variable centrée réduite :

$$\gamma_1 = E\left[\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^3\right] \quad (\text{III.2})$$

Lorsque cette espérance existe. On a donc :

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} = \frac{\kappa_3}{\kappa_2^{3/2}} \quad (\text{III.3})$$

avec  $\mu_i$  les moments centrés d'ordre i et  $\kappa_i$  les cumulants d'ordre i.

*Le maximum des amplitudes en fonction des fréquence (150, 250 et 350) obtenu par FFT.*

Le maximum des amplitudes en fonction des fréquences, obtenues par la transformée de Fourier (FFT), représente les valeurs maximales des composantes fréquentielles présentes dans un signal. En effectuant la FFT sur un signal temporel, on obtient son spectre en fréquence, qui montre la distribution des différentes fréquences et de leurs amplitudes dans le signal. Pour cela on suit les étapes suivantes :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n). e^{-jn\omega_k}. \quad \text{(III.4)}$$

Avec

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N}, \quad \text{Fréquence d'ordre } k \text{ de la sinusoïde.}$$

L'équation de la magnitude est donnée comme suit :

$$\text{Magnitude[FFT(X)]} = \sqrt{(\text{réel[FFT(X)]}^2 + \text{imag[FFT(X)]}^2)} \quad \text{(III.5)}$$

On calcule la valeur maximum

$$\text{maxi(Magnitude[FFT(X)]} = \sqrt{(\text{réel[FFT(X)]}^2 + \text{imag[FFT(X)]}^2)} \quad \text{(III.6)}$$

C'est cette dernière équation qui sera prise en considération lors de l'élaboration de la base de données.

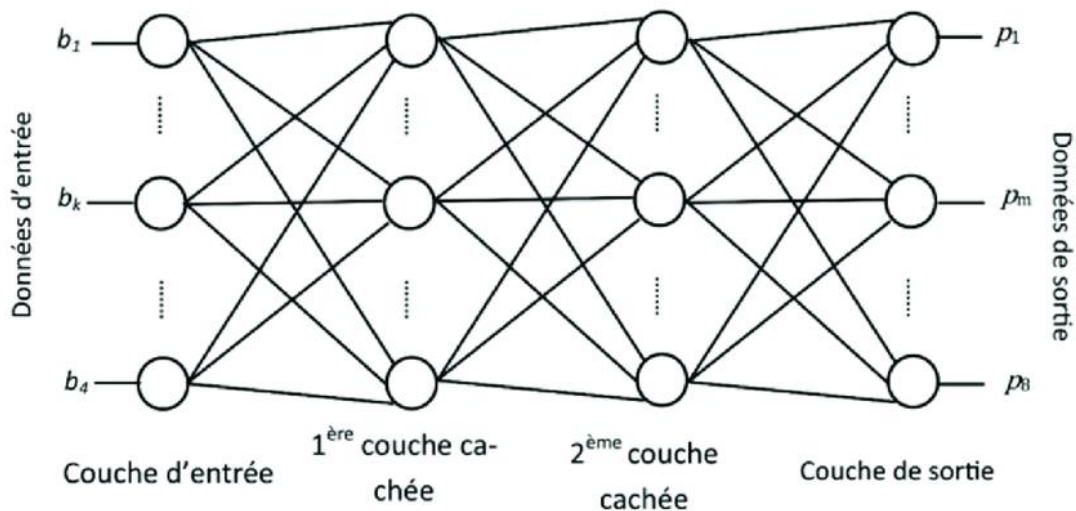
### **III.2.2. Classification par réseau neurones artificiel**

L'architecture du réseau neuronal de diagnostic de défaut proposée dans notre étude repose sur des réseaux à propagation avant multicouches, également appelés perceptrons multicouches (MLP). Cette architecture est choisie en raison de la nature des données d'entrée, qui contiennent des caractéristiques continues du courant de source affecté par des défauts en circuit ouvert. Chaque réseau comprend deux couches cachées, avec 15 nœuds d'entrée correspondant aux caractéristiques extraites

du courant de source, telles que le coefficient de variation, la skewness, et les amplitudes maximales obtenues par la transformée de Fourier (FFT).

La fonction d'activation sigmoïde est utilisée pour les nœuds cachés ainsi que pour le nœud de sortie. La sortie cible du réseau est un vecteur binaire indiquant l'état des interrupteurs du filtre actif parallèle. Chaque nœud de sortie peut prendre l'une des deux valeurs suivantes : 0, indiquant que la branche est saine ; 1, indiquant que l'interrupteur est défectueux ; ajouter à cela une combinaison binaire de trois neurones qui indique que soit l'interrupteur inférieur est défectueux ou le supérieur de la branche.

Cette configuration permet de détecter et de localiser les défauts au sein du système avec précision et fiabilité, améliorant ainsi la maintenance et la performance des réseaux électriques filtrés [58].



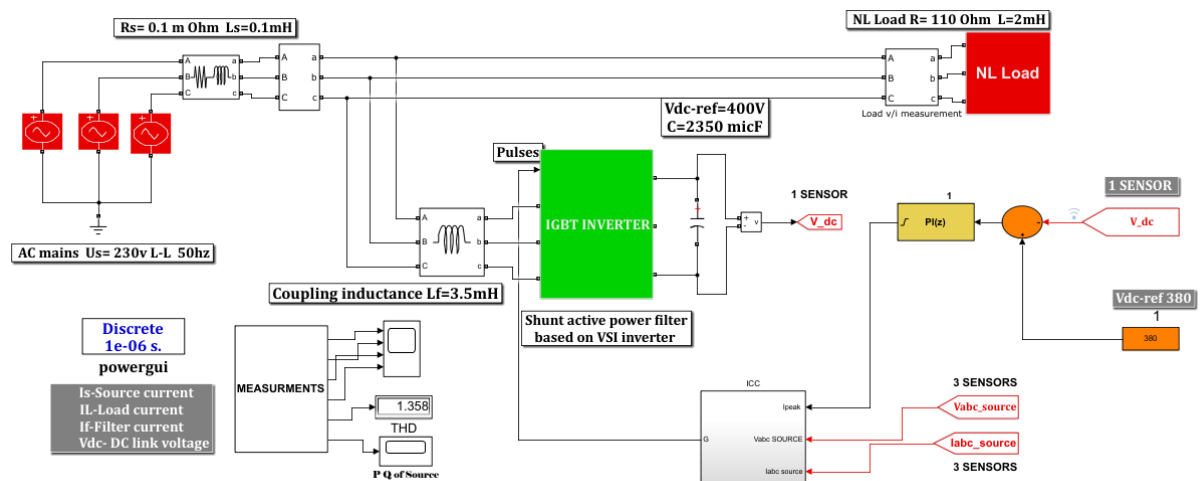
### III.3.PARTIE SIMULATION

#### III.3.1.Simulation d'un réseau filtre par FAP

Avant d'explorer en profondeur la détection et la localisation des défauts d'interrupteurs en circuit ouvert dans les filtres actifs parallèles, une phase préliminaire cruciale consiste à obtenir une simulation optimale de ces systèmes. Cette simulation, réalisée à l'aide du logiciel MATLAB/Simulink, constitue une étape fondamentale pour évaluer et valider les performances des différents contrôleurs et méthodes de filtrage envisagés. Nous exprimons notre gratitude envers le Dr Ahmed

Bouhouta de l'université de Medea pour avoir mis à disposition des chercheurs des simulations efficaces et variées, offrant ainsi un environnement propice à l'exploration et à l'optimisation des systèmes de filtrage actif. Une fois cette simulation établie et validée, nous pourrions alors procéder à la phase suivante, qui consiste à créer des défauts artificiels et à développer des techniques d'identification et de localisation à l'aide de réseaux de neurones artificiels[59].

La figure III.2 présente le schéma du filtre actif parallèle réalisé sous MATLAB/simulink.



**Figure (III.2) :** schéma du filtre actif parallèle réalisé sous MATLAB/simulink [59].

Le tableau **Tableau (III .1)** présente les résultats de simulation sous Matlab/Simulink pour différentes méthodes de contrôle du filtre actif parallèle. Chaque méthode de contrôle est répertoriée, accompagnée de son acronyme correspondant. Les mesures de Total Harmonic Distortion (THD), exprimées en pourcentage, sont fournies pour chaque méthode de contrôle.

Les valeurs de THD indiquées dans le tableau sont les résultats des simulations pour évaluer l'efficacité de chaque méthode de contrôle dans la réduction des harmoniques dans le système. Une THD plus faible indique une meilleure performance du système en termes de réduction des distorsions harmoniques.

Méthode	CONTROL PQ	CONTROL DCC	CONTROL DPC	CONTROL SFR	CONTROL ICC
<b>THD</b>	THD=1.875%	THD=1.358%	THD=2.138%	THD=2.096%	THD=1.358%

**Tableau (III .1) :** les valeurs de THD des différents contrôles du filtre actif Parallèle .

Les résultats du tableau montrent les valeurs du Total Harmonic Distortion (THD) obtenues pour différentes méthodes de contrôle du filtre actif parallèle. Le THD représente le pourcentage de distorsion harmonique totale dans le courant ou la tension par rapport à la composante fondamentale.

En analysant les valeurs de THD pour chaque méthode de contrôle, on peut observer que la méthode DCC et la méthode ICC ont les THD les plus faibles, avec des valeurs respectives de 1.358% et 1.358%. Cela suggère que ces deux méthodes peuvent être plus efficaces pour réduire la distorsion harmonique dans le système électrique par rapport aux autres méthodes testées.

Avec un THD de seulement 1.358%, cette méthode offre une réduction significative de la distorsion harmonique, ce qui est crucial pour maintenir la qualité de l'énergie électrique dans le système. De plus, la méthode ICC offre plusieurs avantages, notamment une gestion efficace des courants perturbateurs, une réponse rapide aux variations de charge et une mise en œuvre relativement simple. Cette méthode se base sur la correction en temps réel des courants harmoniques grâce à un contrôle intelligent et adaptatif, ce qui la rend particulièrement adaptée pour les systèmes électriques soumis à des charges non linéaires et variables.

En choisissant la méthode ICC, nous visons à garantir une qualité d'énergie optimale tout en assurant la stabilité et la fiabilité du système. Cette décision repose sur une analyse approfondie des performances des différentes méthodes de contrôle et de leurs implications pour notre application spécifique.

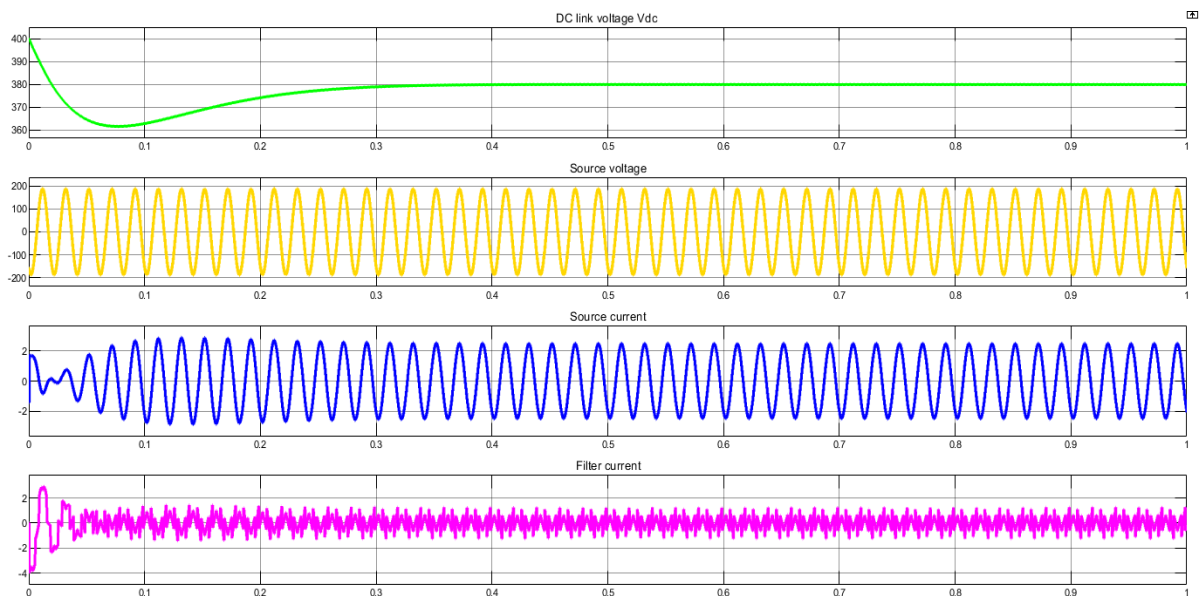
#### **III.4.ETUDE DU RÉSEAU FILTRÉ À L'ÉTAT SAIN**

Avant de simuler l'apparition d'un défaut de circuit ouvert, nous avons entrepris une analyse approfondie des différents signaux du réseau. Cette étape

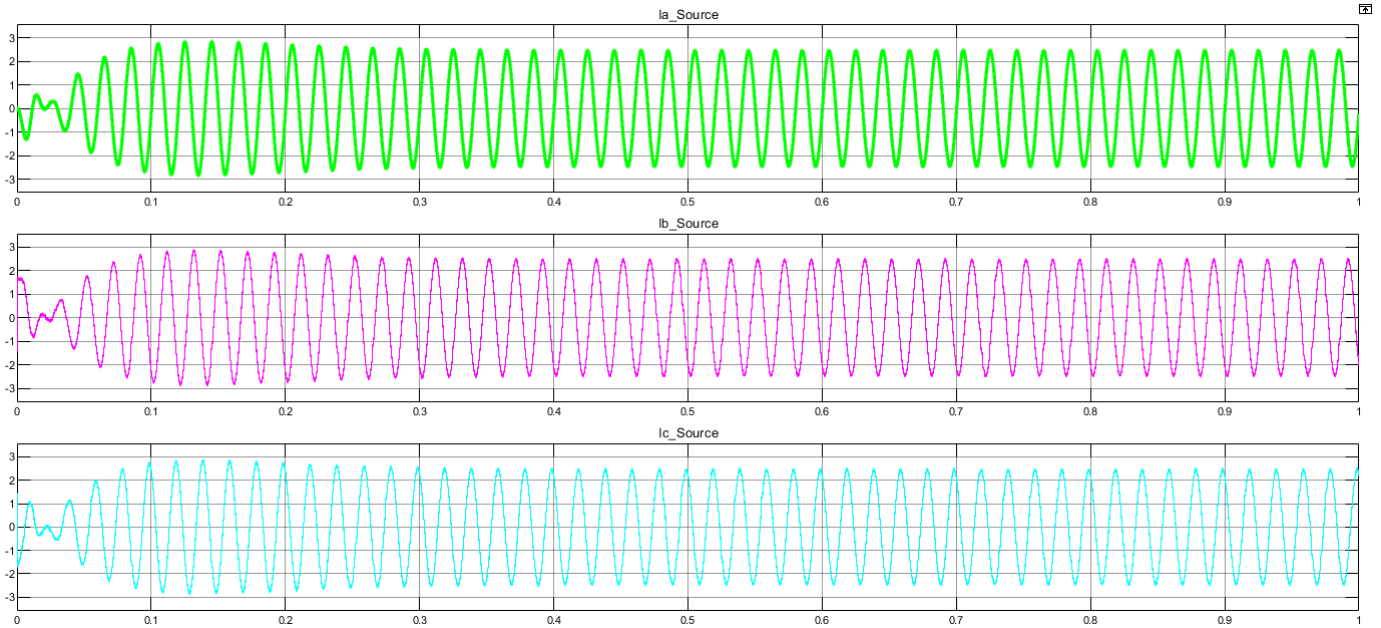
préliminaire nous permet de comprendre le comportement normal du système et d'identifier les signaux les plus pertinents pour détecter les anomalies.

Nous avons examiné plusieurs signaux, notamment le courant de charge, le courant de source, les tensions aux bornes des composants clés tels que les condensateurs et les inductances, ainsi que d'autres paramètres électriques essentiels. Cette analyse nous a permis de comprendre comment ces signaux interagissent entre eux et comment ils évoluent dans des conditions normales de fonctionnement du système.

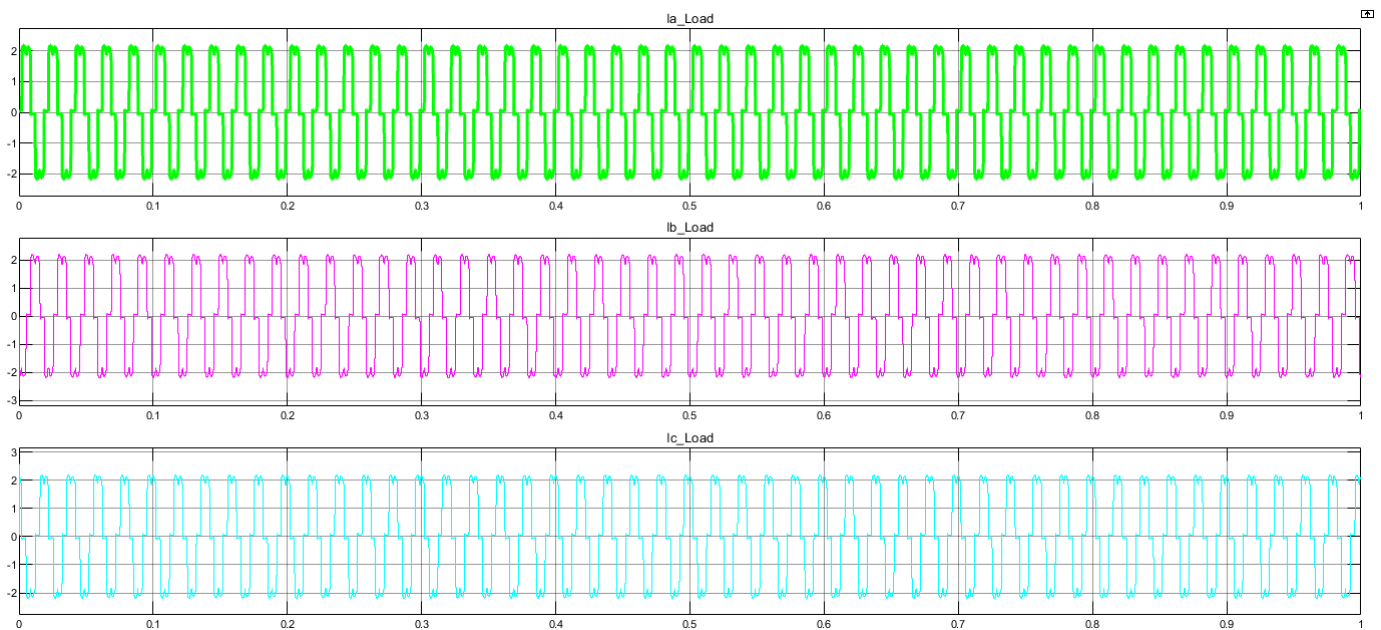
Nous pouvons voir sur le figure III.3, différentes représentations des différents signaux du réseau électrique à savoir la tension de source, le courant de source, et le courant injecté par le filtre



**Figure (III.3) :** Représentation des différents signaux (courant/tension) du réseau filtré sans défauts



Les différents courants de source du réseau filtré sans défaut



Les différents courants de charge du réseau filtré sans défaut

### III.5. ETUDE DU RÉSEAU AVEC UN DÉFAUT CIRCUIT OUVERT

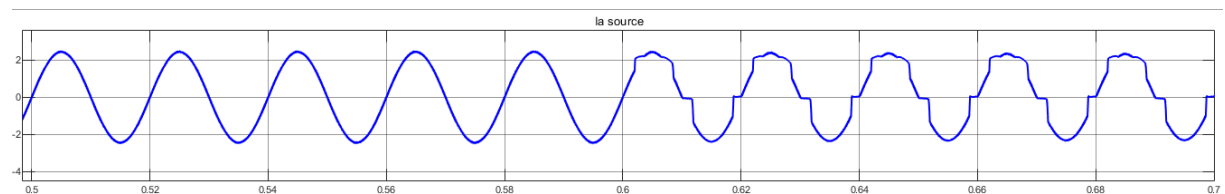
Nous avons observé que le courant de source est le plus affecté par l'apparition d'un défaut de circuit ouvert, ce qui nous a amenés à approfondir notre analyse sur ce

signal spécifique. En simulant les défauts de circuit ouvert sur les différents interrupteurs du filtre actif parallèle, nous cherchons à comprendre comment ces incidents influent sur les signaux de courant et de tension dans le système. En enregistrant ces signaux, notre objectif est de déterminer quelles caractéristiques sont les plus pertinentes pour identifier et localiser les défauts en utilisant un réseau de neurones artificiel.

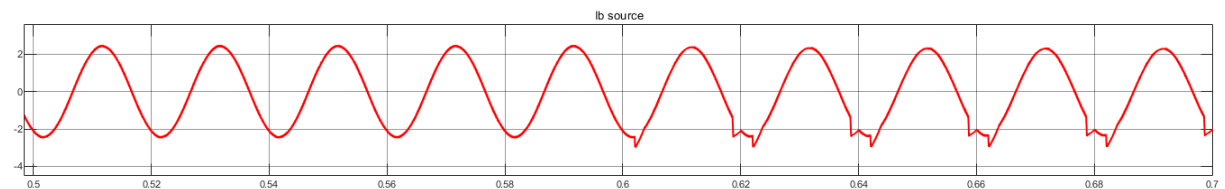
À l'instant  $t=0.6s$ , nous introduirons des défauts de circuit ouvert sur différents interrupteurs du filtre actif parallèle. Cette démarche nous permettra d'observer instantanément l'impact de ces défauts sur les signaux électriques du système. En enregistrant ces signaux postérieurement à l'introduction des défauts, nous analyserons comment chaque type de défaut affecte les caractéristiques électriques du système.

Nous mettons en évidence trois interrupteurs subissant un défaut de circuit ouvert à l'instant  $t=0.6s$ . le choix des interrupteurs est aléatoire mais englobant des interrupteurs dans la partie supérieur et inférieur du filtre.

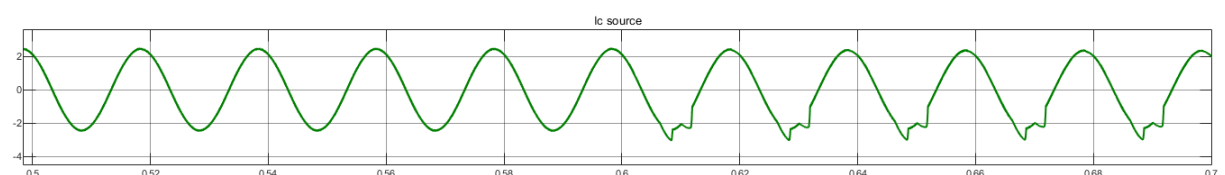
- **Défaut de circuit ouvert sur l'interrupteur  $S_{a1}$ :**



**a- Courant de source ia**



**b- Courant de source ib**

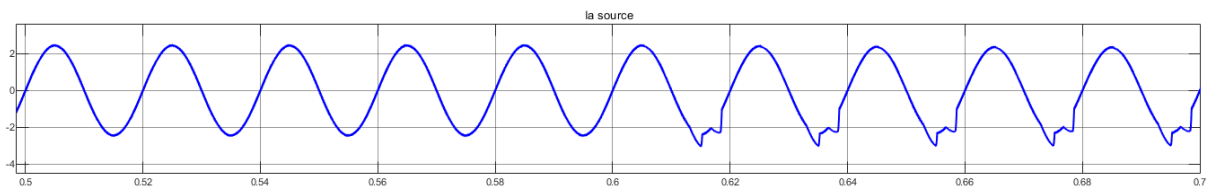


**c- Courant de source  $i_c$**

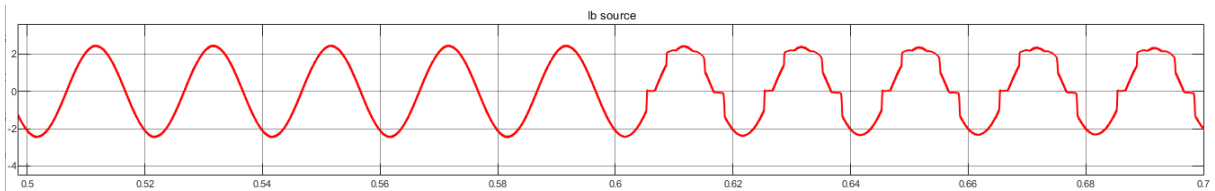
**Figure (III.4):** Forme d'onde des courant de source de l'interrupteur  $S_{a1}$

La figure III.4 présente la forme du courant de source dans l'état initial sain et après l'apparition du défaut à l'instant 0.6s. Nous pouvons observer un taux de distorsion harmonique (THD) de 15.53% suite à l'introduction du défaut. De plus, cette illustration met en évidence la simulation d'un défaut de circuit ouvert au niveau de l'interrupteur  $S_{a1}$ .

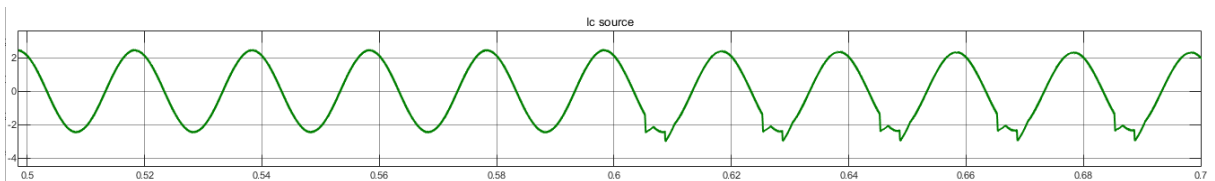
- **Défaut de circuit ouvert sur l'interrupteur  $S_{b3}$ :**



**a- Courant de source  $i_a$**



**b- Courant de source  $i_b$**



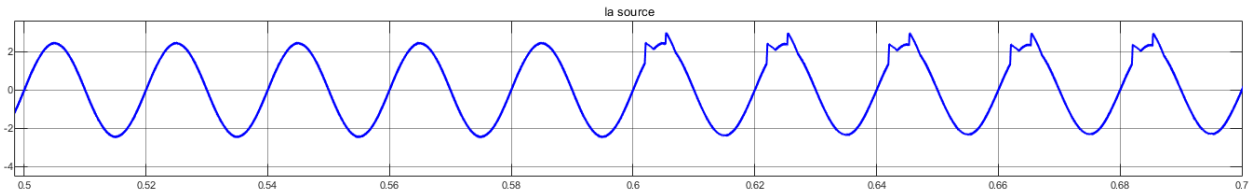
**c- Courant de source  $i_c$**

**Figure(III.5):** Forme d'onde des courant de source de l'interrupteur  $S_{b3}$

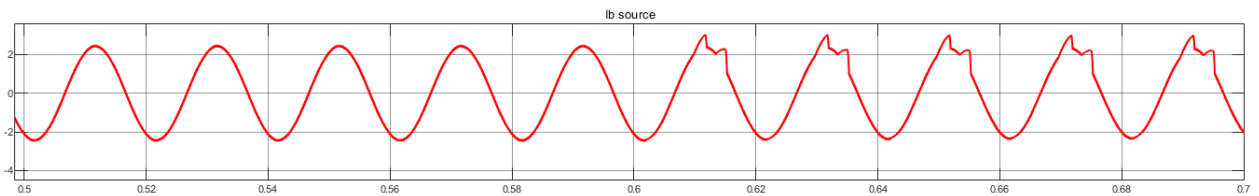
La figure III.5 présente la forme du courant de source dans l'état initial sain et après l'apparition du défaut à l'instant 0.6s. Nous observons un taux de distorsion harmonique (THD) de 15.54% suite à l'introduction du défaut. De plus, cette

illustration met en évidence la simulation d'un défaut de circuit ouvert au niveau de l'interrupteur Sa3

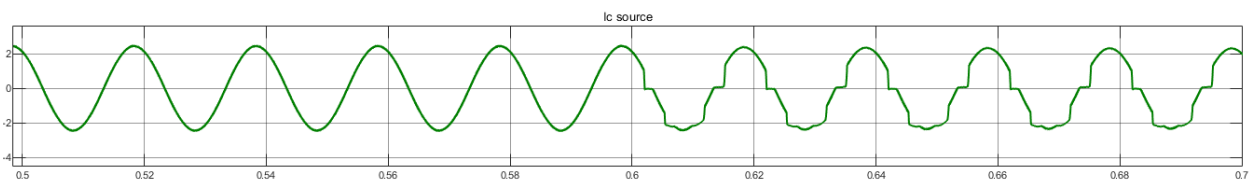
- **Défaut de circuit ouvert sur l'interrupteur S<sub>c6</sub>:**



**a- Courant de source  $i_a$**



**b- Courant de source  $i_b$**



**c- Courant de source  $i_c$**

**Figure(III.6):** Forme d'onde des courant de source de l'interrupteur S<sub>c6</sub>

La figure III.6 présente la forme du courant de source dans l'état initial sain, ainsi que l'évolution après l'apparition du défaut à l'instant 0.6s. Nous observons un taux de distorsion harmonique (THD) de 9.146% suite à l'introduction du défaut. De plus, cette illustration met en évidence la simulation d'un défaut de circuit ouvert au niveau de l'interrupteur Sa6.

### III.5.1.Acquisition des données

Avant de construire le système de blocs RNA, il est essentiel d'accéder aux données d'apprentissage. Ces données peuvent être structurées sous forme de tableau ou de matrice, où chaque vecteur représente la couche d'entrée du RNA, comprenant

trois paramètres distincts.

Pour garantir une base de données complète et précise sur les différents scénarios de défauts en circuit ouvert, nous avons suivi plusieurs étapes méthodiques :

1. Simulation de l'onduleur en conditions normales de fonctionnement (état sain) pour établir une référence.
2. Simulation de l'onduleur en présence de défauts en circuit ouvert (S1, S2, S3, S4, S5 et S6) pour représenter différentes situations anormales.
3. Collecte des données dans chaque scénario, y compris l'état sain, afin de construire une base de données exhaustive reflétant les diverses conditions de fonctionnement de l'onduleur.
4. Sélection du type de réseau de neurones adapté pour l'identification et la localisation des défauts.
5. Choix du type d'apprentissage adapté au réseau de neurones artificiel sélectionné.
6. Identification des caractéristiques les plus pertinentes pour représenter le signal à analyser. (Tableau III.2)
7. Détermination du nombre de sorties en fonction du codage nécessaire pour identifier et localiser l'interrupteur défectueux. (Tableau III.3)

Nous avons choisi d'analyser le courant de source en raison de sa forte réactivité aux défauts de circuit ouvert. En enregistrant les courants de sources (a, b et c) dans sept états distincts - l'état sain et les états de défaut des interrupteurs S1 à S6 - nous avons constitué une base de données riche et diversifiée.

Pour notre étude, nous avons opté pour le réseau de neurones MLP en raison de sa capacité de classification avancée avec un apprentissage supervisé. La méthode de rétro propagation de Levenberg-Marquardt a été choisie pour entraîner efficacement le réseau.

### **Les caractéristiques d'apprentissage (Entrées du réseau de neurones artificiel)**

Le tableau III.2 fournit un exemple des valeurs calculées pour le courant de source dans l'état sain et avec un défaut, mettant en évidence les caractéristiques sélectionnées. En ce qui concerne le nombre de neurones en entrée, nous avons

analysé plusieurs techniques temporelles et fréquentielles pour déterminer les caractéristiques les plus informatives. Parmi celles-ci figurent le coefficient de variation, la skewness, ainsi que les amplitudes maximales aux fréquences 150, 250, 350 et 450 Hz obtenues par la transformée de Fourier.

Caractéristiques	inputS1	inputS2	InputS3	inputS4	inputS5	inputS6	inputS7
CoefS1a	10.160	-10.209	- 19.01184	18.97601	-23.2397	23.18439	-1783.3766
CoefS1b	-23.298	23.647	10.188	-10.128	-18.999	19.155	-8077.316
CoefS1c	-18.939	18.872811	-23.3153	23.0563	10.171	-10.203	1461.281
skewS1a	-0.117	0.117	-0.077	0.0767	-0.072	0.0735	0.00082592
skewS1b	-0.074	0.074	-0.117	0.117	-0.077	0.078	0.001
skewS1c	-0.078	0.077	-0.073	0.072	-0.117	0.116	-0.000
mx1a(2,:)	690.415	685.086	395.065	394.831	325.244	313.427	1.547
mx1b(2,:)	185.101	187.348	121.713	123.914	63.899	63.265	7.593
mx1c(2,:)	444.212	447.453	468.674	465.721	330.363	328.933	1.683
mx1a(3,:)	317.282	321.547	685.157	689.497	389.322	397.841	4.350
mx1b(3,:)	64.007	65.934	185.172	185.475	124.264	124.76	5.379
mx1c(3,:)	330.725	331.318	445.85	444.235	465.794	467.485	5.379
mx1a(4,:)	396.989	391.636	317.634	318.860	689.779	687.391	5.777
mx1b(4,:)	124.442	124.7	67.433	64.182	186.3	186.08	3.865
mx1c(4,:)	467.996	472.971	328.066	329.569	443.481	443.914	2.612

**Tableau (III.2) : Valeurs des caractéristiques (Etat sain et défectueux).**

Avec :

*Coef: Le coefficient de variation*

*Skew : La skewness*

*Mxa : maximum des amplitudes en fonction des fréquence (150, 250 et 350) obtenu par FFT.*

**Identification et localisation du défaut (La sortie du réseau RNA)**

Pour la sortie du réseau, l'utilisation de la notation 0/1 pour indiquer l'état sain ou défectueux, ainsi que la notation XYZ pour localiser le défaut (X, Y et Z prenant les valeurs 0 ou 1), permettra une identification et une localisation précises des défauts. Pour représenter la sortie du réseau, nous avons opté pour une notation claire et précise : 0 pour un état sain et 1 pour un état défectueux. De plus, nous utilisons

une notation XYZ pour localiser le défaut, où chaque lettre peut prendre les valeurs 0 ou 1, fournissant ainsi une identification et une localisation détaillées des défauts.

Catégorie	Type de défaut	Codage de la sortie			
1	État Sain	1	0	0	0
2	Défaut circuit-ouvert K1	0	0	0	1
3	Défaut circuit-ouvert K2	0	0	1	0
4	Défaut circuit-ouvert K3	0	0	1	1
5	Défaut circuit-ouvert K4	0	1	0	0
6	Défaut circuit-ouvert K5	0	1	0	1
7	Défaut circuit-ouvert K6	0	1	1	0

**Tableau(III.3):** Codage et classifications des différents cas de défaut circuit-ouvert d'un IGBT.

### III.5.2. Résultats de l'identification et de la localisation

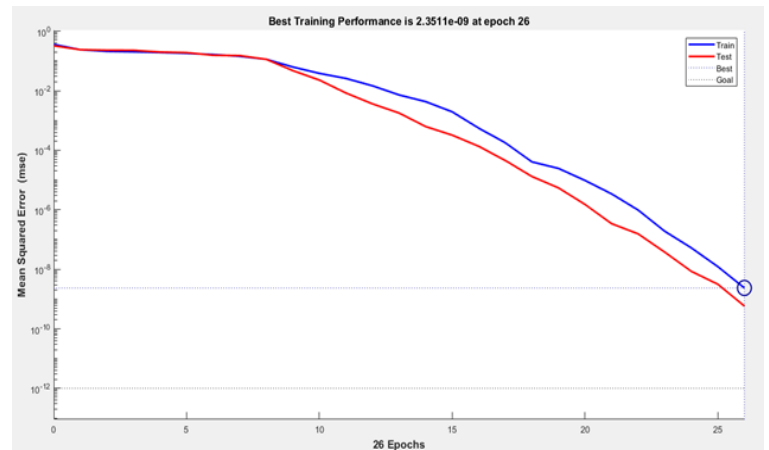
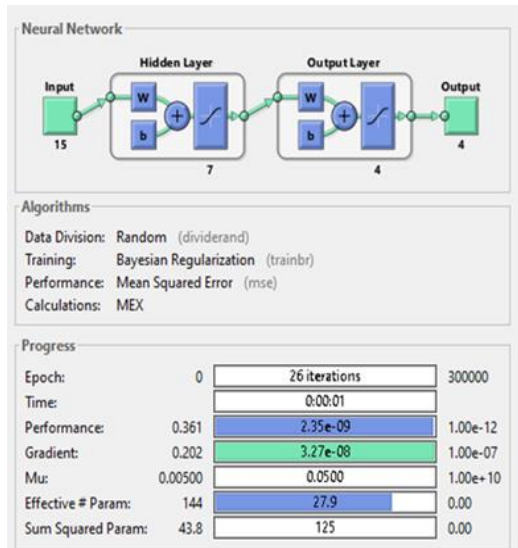
#### L'architecture du réseau de neurones artificiel

En prenant en compte les critères pour choisir une architecture du RNA et après des tests, le tableau III.4 donne des détails sur l'architecture du réseau choisit.

Nombre de neurones de la couche d'entrée	15 (3 + 3 + 9)	01 neurones pour le coefficient de variation (pour la phase a, phase b et phase c) 01 neurones pour le skewness du courant (pour la phase a, phase b et phase c) 03 neurones pour le max FFT pour la fréquence 150, 250 et 350 (pour la phase a, phase b et phase c)
Nombre des neurones de la couche de sortie	4	Sortie désirée = [X XXX]; X= 0 ou 1.
Nombre de couche cachée	2	
Nombres de neurones pour chaque couche cachée	Couche 1: 7 Couche 2: 4	
Nombre d'itération	10000	
Erreur quadratique moyenne	0.0000001	
Algorithme d'apprentissage	LM	Algorithme de Levenberg marquadt

**Tableau(III.4):**Architecture propose pour le RNA.

La figure (III.7) illustre le résultat opérationnel du réseau de neurones, atteignant un indice de performance après 26 cycles d'itération. Après l'apprentissage à travers le réseau, la valeur de la propriété du gradient est mesurée à  $3.27 \cdot 10^{-8}$ .



(a) Vue d'ensemble de l'RNA avec Configuration (15-7-4-4). d'apprentissage.

(b) Evaluation de l'erreur quadratique en fonction du nombre d'itérations

**Figure (III.7):** Les résultats opérationnels des réseaux neuronaux.

La figure (b) présente les performances d'entraînement du réseau de neurones, spécifiquement un réseau de configuration 15-7-4, indiquant le nombre de neurones dans chaque couche : 15 dans la couche d'entrée, 7 dans la 1<sup>er</sup> couche cachée et 4 dans la 2<sup>ème</sup> couche cachée et pour la couche de sortie nous utilisant 04 neurones (comme expliquer auparavant). Les performances d'apprentissage sont évaluées en termes d'erreur quadratique moyenne (MSE) pour les deux étapes d'apprentissage : l'entraînement et le test.

On observe une diminution progressive de l'erreur quadratique moyenne au cours du processus d'apprentissage, ce qui indique que le réseau de neurones apprend progressivement à mieux ajuster ses poids et ses biais pour minimiser l'erreur entre les sorties prédites et les sorties attendues. Après un certain nombre d'itérations, l'erreur quadratique moyenne converge vers une valeur minimale.

Dans ce cas précis, la meilleure performance du MSE pour l'étape de validation est de  $2.3511 \cdot 10^{-9}$  après 26 itérations. Cela signifie que le réseau de neurones a réussi à atteindre une très faible erreur de prédiction, ce qui indique une très bonne capacité à généraliser et à fournir des prédictions précises sur de nouvelles données.

**Performances du système de diagnostic**

À cette étape, les caractéristiques calculées à partir des informations mesurées des différents capteurs sont rassemblés dans une base de données. Pour garantir une estimation non biaisée des résultats de classement, le jeu de données a préalablement été scindé en deux ensembles (ensemble d'apprentissage et l'ensemble de test) par un tirage aléatoire. Les performances du système de classification ont été évaluées en termes de taux de classification, de sensibilité et spécificité

		Critères d'évaluation(%)
Etat	Sortie désiré X= 0 or 1	Taux de classification
<b>Défaut du FAP</b>	0 0 0 0 1: T1	99.1%
	0 0 0 1 0: T3	
	0 0 0 1 1: T5	
	0 0 1 0 1: T2	
	0 0 1 1 0: T4	
	0 0 1 1 1: T6	

**Tableau (III.5) :** Performances statistiques du modèle RNA choisit.

**III .6. CONCLUSION**

La conclusion de l'apprentissage du réseau de neurones indique un résultat très prometteur. Avec un taux d'erreur aussi faible que  $10^{-8}$  et un taux de classification aussi élevé que 99.1%, il est clair que le modèle a bien appris à identifier et à classer les différents états du système, qu'ils soient sains ou présentant des défauts. Cette

performance témoigne de l'efficacité de l'approche basée sur les réseaux de neurones pour la détection et la localisation des défauts dans le filtre actif parallèle.

Ces résultats encourageants ouvrent la voie à des applications pratiques de ce modèle dans des systèmes réels. En utilisant ce modèle entraîné, il est possible de surveiller en temps réel l'état du filtre actif parallèle et d'identifier rapidement toute anomalie ou défaut potentiel. Cela permettrait de prendre des mesures correctives proactives pour assurer la fiabilité et la stabilité du système électrique.

### 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, l'utilisation adéquate et sans perte inutile est capitale. Ce projet, bien que ne touchant qu'un de ces domaines de la qualité de l'énergie pourtant si vaste, a permis de faire un bref survol de la problématique liée à la perturbation et la pollution harmonique sur les réseaux électrique ainsi que des différents moyens de mitigation utilisés. Une bonne compréhension de la problématique des harmoniques, de leurs influences sur le réseau électrique, ainsi que des moyens de mitigation existant pour les minimiser est maintenant devenue essentielle pour tout ingénieur travaillant dans le domaine de l'électrotechnique

Le travail effectué dans ce mémoire se concentre sur l'étude, le développement et la proposition d'une technique de détection et de localisation des défauts de circuit-ouvert dans un onduleur de tension triphasé à deux niveaux. Le travail aborde et évalue la performance de cette technique de détection.

Dans le premier chapitre nous avons présenté des différents types de perturbations affectant l'onde de tension du réseau électrique comme nous avons pu le constater ensemble des phénomènes perturbations come les harmonique et les déséquilibres.... ont des effets néfastes sur les équipements électriques. Nous avons constaté l'importance de déférentes solutions du filtrage qui est solution traditionnelle comme les filtres passifs et Les solutions modernes les filtres actifs.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié le contrôle du filtre actif à deux niveaux en parallèle. L'efficacité du filtre actif dépend largement de la méthode de détermination des courants de référence. La méthode choisie pour déterminer les courants harmoniques est la détermination des composantes actives et imaginaires instantanées. Cette méthode nécessite des efforts de réseau électrique sains pour

détecter correctement les perturbations. Parmi les travaux futurs possibles, nous recommandons le développement de nouvelles méthodes de contrôle et leur comparaison pour trouver les structures de filtres actifs les plus performantes, afin d'obtenir de meilleurs résultats.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté Les défauts quel qu'ils soient sont nuisible dans un système de production. La production d'une énergie électrique ne fait pas exception en face à ces nuisances. Les causes et les conséquences sont différentes et multiples comme nous avons pu observer en parcourant ce chapitre et Une analyse théorique complète de l'influence d'un défaut de type circuit ouvert sur un système à base de FAP conduit à conclure que le défaut existe mais il peut être immédiatement identifiable lors de l'observation du courant de source. Et Au nous avons proposé une nouvelle méthode basé sur le RNA, permettant de détecter, d'identifier automatiquement le défaut, la méthode basée sur les réseau de neurone artificiel (RNA) où plusieurs tests de RNA sont effectués sur l'onduleur pour le cas sain et le cas défaillant. Le RNA permet de développer une base de données riche pour les deux cas, ce qui permet d'automatiser le système de diagnostic.

Les résultats de simulation obtenus pour l'application confirment les performances des méthodes proposées.

## **Références bibliographiques**

- [1] BELHAOUCHET Nouri «Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées» Application : Amélioration de la Qualité de l'Energie, Thèse de Doctorat en Sciences Option : Machines Electriques et leurs Commandes Université ferhat abbas – setif, 2011.
- [2] NEKKAR Djamel, «Contribution à l Etude des Stratégies de Commande des Filtrés Actifs Triphasés», Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras, 2014.
- [3] Yahia Abdelkader, Ben moussa Omar, « Commande AW-FOPID appliquée à une source d'énergie renouvelable interconnectée à un filtre actif de puissance», Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2021.
- [4] Amroune Mourad, «Commande et diagnostic d'un filtre actif parallèle», Mémoire de Master, Université de Mohamed Boudiaf -M'sila, 2016.
- [5] BISSAR Mourad, «Commande tolérante aux défauts d'un onduleur dans le filtrage actif», Mémoire de Master, Université de Mohamed Boudiaf -M'sila, 2020.
- [6] Kias Samiha , «Etude et simulation de filtre actif parallèle de puissance» , Mémoire de Master, Université Mohamed Khider - Biskra, 2019 .
- [7] Kouka Ahlam , Djerba Ouissal , « Commande direct de puissance d'un filtre actif parallèle» , Mémoire de Magister , Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued ,2022.
- [8] D. OULD ABDESLAM, « Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques: Application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension», Thèse de doctorat, Université de Haute-Alsace, 2005.
- [9] J. Arrillaga , B. C Smith, N. R Watson, A. R Wood Power system harmonic analysis, John Wiley & Sons November 2000.
- [10] A. Chaoui, «Filtrage actif triphasé pour charges non linéaires», Thèse de doctorat, Université de Ferhat Abbas de Sétif, 2010.

- [11] A. Thameur, «Application du multi-niveau au filtrage actif des réseaux», Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2010.
- [12] Ab. Hamadi, S. Rahman « A New Hybrid Series Active Filter Configuration to Compensate Voltage Sag, Swell, Voltage and Current Harmonics and Reactive Power » IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009) Seoul Olympic Parktel, Seoul,
- [13] Kamil Mohammed et Nouri Salih, « Commandes non linéaires d'un filtre actif parallèle», Mémoire d'Ingéniorat, Université de M'sila, 2010.
- [14] Amaia Lopez deHeredia Bermeo, « Commande avancées des systèmes dédiés à l'amélioration de la qualité de l'énergie : de la basse tension à la moyenne tension», Thèse de Doctorat en génie électrique, Institut National Polytechnique de Grenoble, (France) 2006.
- [15] Hideaki Fujita and H.Akagi Nagaoka « A practical approach to harmonic compensation in power systems series connection of passive and active filters», Université de Technologie Nagaoka- Japon.
- [16] Ghadbane Ismail, «Commande d'un Filtre Actif Triphasé Parallèle Par Différents Régulateurs», Magister en Electrotechnique, Université Mohamed Kheider – Biskra, 2011.
- [17] Sahli Abdeslem , « FILTRAGE ACTIF ET CONTROLE DE PUISSANCES : APPLICATION AUX SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES INTERCONNECTES AU RESEAU», Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2012.
- [18] Bennaidja Tarek, «Filtrage actif pour les réseaux déséquilibrés et distordus», Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas–Sétif-1- FAS (ALGERIE) ,2014.
- [19] kenouche Arezki, korichi Ilyas , «étude d'un filtre actif parallèle», Mémoire de Master , Université Abderrahmane Mira- Béjaia ,2020 .
- [20] Omeiri Amar, «Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant», Thèse de doctorat, Université de Badji Mokhtar- Annaba, 2007.

- [21] Yettou Miloud, Debla nacer , « Eddine Commande d'un Filtre Actif Parallèle À trois niveaux (NPC) Par différentes stratégies de commande», Mémoire de Master , Université Mohamed Boudiaf - M'sila ,2018 .
- [22] Ab. Hamadi, , S. Rahmani « A New Hybrid Series Active Filter Configuration to Compensate Voltage Sag, Swell, Voltage and Current Harmonics and Reactive Power »,IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009) Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea July 5-8, 2009.
- [23] I. ETXEBERRIA, « Actionneurs réseaux dédiés à la qualité d'énergie », Thèse de Doctorat de l'INPG, Grenoble, France, (2003).
- [24] Abdusalem Mohamed Muftah, « Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales», Thèse de Doctorat en génie électrique, Université Henri Poincaré-France ,2008.
- [25] Alali Mohamed Alaa Edin, «Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques», Thèse de Doctorat en génie électrique, Université Louis Pasteur ULP-France, 2002.
- [26] H. Akagi, « Modern active filter and traditional passive filter », Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 54, No. 3, 2006.
- [27] M. Routimo, M. Salo, H. Tuusa , « Comparison of voltage- source and current source shunt active power filtre», IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 22, No.2, pp. 636-643, March 2007.
- [28] CHENNAI Salim Etude, «Modélisation & Commande des Filtres Actifs : Apport des Techniques de l'Intelligence Artificielle», Thèse de Doctorat en Génie Electrique, Université Mohamed Khider – Biskra , 2013.
- [29] Wei-Feng Zhang and Yue- Hui Yu, «Comparison of Three SVPWM Strategies», Journal of Electronic Science and Technology of China, Vol. 5, No. 3, 2007, pp. 283-287.
- [30] Jian Hong Xu, «Filtrage actif parallèle des harmoniques des réseaux de distribution d'électricité», Thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine,

Nancy, (France) 1994.

[31] Khor Shafiee Mohsen, «Amélioration de la qualité de l'énergie à l'aide de compensateurs actifs : série, parallèle ou conditionneurs unifiés de réseaux électriques », Thèse de Doctorat en génie électrique, Université de Nantes, (France) 2006.

[32] Chennai Salim, Benchouia M-T, Goléa.A, Zouzou S.E «Application des réseaux de neurones dans la commande d'un filtre actif parallèle en utilisant Matlab-Simulink », 6th International Conference on Electrical Engineering'2010, Batna, Algeria, 11-13 October 2010.

[33] Ghadbane Ismail «Etude Et Réalisation D'un Filtre Actif Parallèle En Utilisant Différentes Stratégies De Contrôle», Thèse de Doctorat de l'Université Mohamed Khider – Biskra, 2016.

[34] H. Akagi, Y. Tsukamoto, A. Nabae, «Analysis and design of an active power filter using quad-series voltage source PWM converters», IEEE Trans. on Industry applications, Vol. 26, No. 1, pp. 93-98, 1990.

[35] Karimi Shahram , «Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage FPGA in the loop: application au filtre actif parallèle», Thèse de Doctorat en génie électrique, Université de Nancy-France , 2009.

[36] Djeghloud Hind, «filtrage actif de puissance», Thèse de Doctorat en électrotechnique, Université de Constantine, (Algérie) 2007.

[37] B. Singh, K. Al-Haddad, & A. Chandra, «A review of active filters for power quality improvement», IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 46, No. 6, pp. 960-971, Oct. 1999.

[38] Abdelatif Med Elhadi, « Étude comparative de différentes méthodes de compensation active d'énergie électrique », Mémoire de Master. Université de M'sila, 2013.

[39] Badache Zohir & Saci Abdeslam, « Etude par simulation d'un filtre actif parallèle », Mémoire de Master, Université de Msila, 2006.

- [40] Mohamed Alaa Eddin Alali, « Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension (Automatisation des systèmes de puissance électrique) », Thèse de Doctorat de l'université Louis Pasteur-Strasbourg, 2002.
- [41 ] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, « Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits», Proceeding International Power Electronics Conference. Tokyo, Japan, pp. 1375-1386, 1983.
- [42] Alfredo Nava-Segura, Miguel Carmona-Hernandez, «A Detailed Instantaneous Harmonic and Reactive Compensation Analysis of Three-phase ACDC Converters, in abc and  $\alpha\beta$  Coordinates», IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, July 1999, pp. 1039-1045, 1999.
- [43] Karimi Shahram, «Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage FPGA in the loop: application au filtre actif parallèle», Thèse de Doctorat en génie électrique, Université de Nancy-France, 2009.
- [44] Gaillard Arnaud, «Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service», Thèse de Doctorat en génie électrique, Université Henri Poincaré –France, 2010.
- [45] Mekri Fatiha, «Commande robuste des conditionneurs actifs de puissance», Thèse de Doctorat en génie électrique, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes-France, 2007.
- [46] Kastha D., Bose B. K. (1994). Investigation of fault modes of voltage-fed inverter system for induction motor drive. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No. 4, pp.1028-1038. <http://dx.doi.org/10.1109/28.297920>
- [47] N. Madhuri<sup>1</sup>, S.R.Doradla<sup>2</sup>, M.Suryakalavathi, Survey of Fault Tolerant Strategies for Shunt Active Power filters, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, PP 25-30, 2014.
- [48] F Khater, MIA El-Sebah, M Osama, Fault diagnostics in an inverter feeding an induction motor using fuzzy logic, Journal of Electrical Systems and Information Technology 4 (1), 10-17, 2017.

- [49] Jérôme Mavier, «Convertisseurs génériques à tolérance de panne Applications pour le domaine aéronautique», Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, 2007.
- [50] Benslimane T., Thameur A. (2009). Open switch faults detection and localization algorithm for three phase shunt active power filter based on two level voltage source inverter in main power supply constant and variable frequency conditions. Istanbul University, Journal of Electrical & Electronics Engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 841-851. <http://dlibrary.univboumerdes.dz:8080/jspui/handle/123456789/499>
- [51] Benyettou loutfi, « Contribution au diagnostic des convertisseurs statiques DC-AC (onduleurs de tension) : application au filtre actif parallèle », Thèse de Doctorat, Université Tahri Mohamed -Bechar, 2016 .
- [52] Szczesniak, Pawel. (2019). Challenges and Design Requirements for Industrial Applications of AC/AC Power Converters without DC-Link. Energies. 12. 1581. 10.3390/en 12081581.
- [53] Benyettou, Loutfi &Tebbakh, M. (2018). Three-level (NPC) shunt active power filter topology for harmonic reduction using different control strategies. Modelling, Measurement and Control A. 91. 175-185. 10.18280/mmc\_a.910403.
- [54] Benyettou Loutfi &Tebbakh Mustapha. (2018). Shunt active filter Using fuzzy logic based on three-level (NPC) inverter to compensate current harmonics. Advances in Modelling and Analysis B. 61. 198-206. 10.18280/ ama\_ b.610404.
- [55] Mostefa Tabbakh , «Commande tolérante aux défauts d'un onduleur dans le filtrage actif " ,Mémoire de Master ,Université Mohamed Boudiaf -M'sila , 2020.
- [56] Hailin Hua,b, Fu Fengb, Tao Wangb, «Open-circuit fault diagnosis of NPC inverter IGBT based on independent component analysis and neural networkI»,nternational Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2020), 26–29 September 2020, Fukuoka, Japan.
- [57] Alexandros Mouzakitis, «Classification of Fault Diagnosis Methods for Control Systems», The Institute of Measurement and Control 2013.

[58] Johary, Fidelys & Rakotondraompiana, Solofo & Ravonjimalala, Hibrahim Rijaso & Rakotoniaina, Solofoarisoa, « Détection Des Changements D'occupation du Sol Avec La méthode IR-MAD», Application À La Forêt Sèche Des Mikea (S.-O. DE MADAGASCAR), (2018).

[59] Ahmed Bouhouta, «Active Power Filter Using Several Identification Techniques», (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/132138-active-power-filter-using-several-identification-techniques>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved May 17, 2024.

