

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : SYSTEME EMBARQUEE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

**Par: BEN NAKHELA Imane
BEN CHIKH Sabrine**

Intitulé

**DIAGNOSTIC DE DEFAUT D'UN FILTRE ACTIVE
UPQC PAR RNA**

Soutenu devant le jury composé de:

ATTALAH Billal	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
TABBAKH Mostefa	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
BRIK Youcef	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 / 2022

REMERCIEMENTS

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

Nous remercions **Allah**, le tout puissant de 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, **Mr. Attalh Billal, et Mr. Brik Youcef**, qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail. 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 système embarqué chacun par son nom.

Nos vifs remerciements à nos collègues du département d'électronique et plus spécialement ceux de la spécialité **Système Embarqué** de l'université de Mohamed Boudiaf de M'sila promotion **2022**.

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

Imane & Sabrine

Dédicace

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs

A toute Ma famille,

A tous Mes camarades

A tous ceux que je connais et qui me sont chers

Je dédie ce travail.

Bennakhela Imane

Dédicaces

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs

A toute Ma famille,

A tous Mes camarades

A tous ceux que je connais et qui me sont chers

Je dédie ce travail.

Ben chikh Sabrina

ملخص:

جودة الطاقة الكهربائية مهمة جدا وتلعب دورا أساسيا في الإنتاج الصناعي. تعتبر هاته الجودة حساسة وذات قابلية للتأثر بالاضطرابات الداخلية او الخارجية للشبكة الكهربائية. من أجل تصفية وتعويض النقص الناتجة عن الاضطرابات تظهر المصافي الفعالة الطاقية كأهم وسيلة لتحقيق هذا الهدف. تعتبر المصافي الفعالة الطاقية كوسيلة لا بد منها للحفاظ على جودة الطاقة الكهربائية من أجل الحصول على أنظمة فعالة وموثوقة وتنافسية. يمكن أن يخفف من التيارات التوافقية الناتجة عن الأحمال غير الخطية ويعوض الطاقة التفاعلية من جهة ومن جهة أخرى يمكن أن يكون موجه لحماية التركيبات الكهربائية الحساسة للجهود المشوشة مثل الاهتزازات التوافقية والانخفاضات الطاقية والطاقة غير المتوازنة ... إلخ. يلعب المصفي الموحد للطاقة الكهربائية، وهو المكيف الموحد لجودة الطاقة الكهربائية، دورًا رئيسيًا في التصفية الناشطة بسبب أداء التعويض الجيد.

يؤدي الجمع بين المصفاة على التوازي والمصفاة على التفرع إلى زيادة احتمالات أعطال أشباه النواقل التي تؤثر على التحكم أو الطاقة. يجب الكشف عن هذه الأخطاء بسرعة قبل التحطم الكامل لـ المصفي الموحد للطاقة الكهربائية، مما يجعل التشخيص الوقائي لهذا النظام ضروريًا. تقدم هذه الرسالة إستراتيجية تشخيصية تستند إلى خصائص الزمنية والموجية، جنبًا إلى جنب مع الشبكة العصبية، مما يسمح بتشخيص الخطأ من نوع دارة مفتوحة لأحد المصفيين المكونين لـ المصفي الموحد للطاقة الكهربائية. يؤدي اكتشاف الخطأ وتحديد موقعه ونوعه إلى إطلاق استراتيجية التحكم في تحمل الخطأ من أجل التعويض بسرعة عن الفشل الذي عانت منه الشبكة. تظهر فعالية استراتيجيات التحكم في التشخيص والتحمل المتسامح من خلال نتائج المحاكاة في بيئة SIMULINK / MATLAB. النتائج الافتراضية تبين فاعلية التقنية وامكانياتها في هذا النوع من الاعطاب.

الكلمات المفتاحية:

جودة الطاقة الكهربائية، عطب، التشخيص، التحكم المتسامح مع الخطأ، مصفاة نشيطة موحد، مصفاة نشيطة على التفرع، مصفاة نشيطة على التوازي.

RÉSUMÉ

La qualité de l'énergie électrique est très importante, elle occupe un rôle essentiel le processus de production industriel. En effet, cette qualité est fragile est influençable par des perturbations externe et interne au réseau. Afin de remédier au filtrage et à la compensation des influences des perturbations, les filtres actifs de puissance sont une des meilleur solutions. Le filtres de puissance active s'avéré une méthode non négligeable pour la protection et la sauvegarde de cette qualité et l'obtention de systèmes performants, fiables et compétitifs. Il peut atténue les courants harmoniques générés par des charges non linéaires et compense la puissance réactive d'un côté et d'un autre côté il peut être destiné à protéger les installations électriques qui sont sensibles aux tensions perturbatrices tel que les harmoniques, creux, et déséquilibrés,...etc. L'UPQC le conditionneur unifié de la qualité d'énergie électrique, joue un rôle primordial dans le filtrage actif dû ses bonnes performances de compensation.

L'association des filtres FAP et FAS, augmente les probabilités des défauts des semi-conducteurs affectant la commande ou la puissance. Ces défauts doivent être détectés rapidement avant la destruction totale de l'UPQC ce qui rend indispensable le diagnostic préventif de ce système. Cette thèse présente une stratégie de diagnostic basé sur les caractéristiques temporel et fréquentiel, combiné à un classifieur neuronal (RNA), permet de diagnostic le défaut de type circuit ouvert d'un des interrupteurs des deux onduleurs composant l'UPQC. La détection ,localisation et identification du défaut lance la stratégie de commande tolérante du défaut (FTC) afin de vite compenser la défaillance subit par le réseau. L'efficacité des stratégie de diagnostic et de commande tolérante proposées sont démontrée par des résultats de simulation sous l'environnement SIMULINK/MATLAB.

Mots clés: UPQC, FAP, FAS, Qualité d'énergie électrique, Défaut, Diagnostic, Commande tolérante aux défauts

ABSTRACT

The quality of electrical energy is very important; it plays an essential role in the industrial production process. Indeed, this quality is fragile and can be influenced by external or internal disturbances in the network. In order to remedy the filtering and compensation for interference influences, active power filters are one of the best solutions. Active power filters have proven to be a significant method for protecting and safeguarding this quality and obtaining high-performance, reliable and competitive systems. It can attenuate the harmonic currents generated by non-linear loads and compensates for the reactive power on one side and on the other side it can be intended to protect electrical installations which are sensitive to disturbing voltages such as harmonics, dips, and unbalanced,... etc. The UPQC, the unified conditioner of the quality of electrical energy, plays a key role in active filtering due to its good compensation performance. The combination of SAPF and PAPF filters increases the probabilities of semiconductor faults affecting the control or the power. These faults should be detected quickly before the total destruction of the UPQC, which makes preventive diagnosis of this system essential. This thesis presents a diagnostic strategy based on time and frequency characteristics, combined with an artificial neural network (ANN), allows diagnosis of the open circuit type fault of one of the switches of the two inverters making up the UPQC. The detection, localization and identification of the fault launches the fault tolerant control strategy (FTC) in order to quick compensate the failure affecting the network. The effectiveness of the diagnostic and tolerant control strategies proposed are demonstrated by simulation results in the SIMULINK / MATLAB environment.

Keyword: UPQC, SAPF, PAPF, Electric power quality, fault, diagnosis, Fault Tolerant Control

LISTE DES SYMBOLES

V_a, V_b et V_c	Les tensions de sources
V_{La}, V_{Lb} et V_{Lc}	Les tensions de charges
$V_{inj a}, V_{inj b}$ et $V_{inj c}$	Les tensions injectées
I_a, I_b et I_c	Les courants de sources
I_{La}, I_{Lb} et I_{Lc}	Les courants de charges
$I_{inj a}, I_{inj b}$ et $I_{inj c}$	Les courants injectés
F_{eff}	Valeur efficace d'un signal
Moy	Valeur moyenne d'un signal
S	Écart type
x_i	Les différentes valeurs d'un signal
y	variance
S_{skew}	Skewness (asymétrie)
S_{kurt}	Kurtosis (aplatissement)
ψ	Ondelette mère
VP	Vrai Positif : nombre de positifs classés positifs.
VN	Vrai Négatif : nombre de négatifs classés négatifs.
FP	Faux Positif : nombre de négatifs classés positifs.
FN	Faux négatif : nombre de positifs classés négatifs
P	la puissance active
S	la puissance apparente
Q	la puissance réactive
FP	Le facteur de puissance
X_α et X_β	Résultante de la transformé triphasé diphasé
i_{sa}^*, i_{sb}^* et i_{sc}^*	Transformé inverse de clark
V_i	Vecteur des tensions de sorties
t_{on}, t_{from} et t_{hor}	Instant pour Zones temporelles pour le calcul d'indicateurs de performance du diagnostic

Liste des tableaux

Tableau I.1 Matrice de confusion.	26
Tableau II.1 : Signification des valeurs du THD en tension ou en courant mesurées.	35
Tableau II.2 : Tableau des vecteurs tensions de sortie de l'onduleur.	43
Tableau II.3 : Valeurs de la THD tension et courant sans filtre UPQC.	45
Tableau II.4 : Valeurs des THDs de tension et de courant lors de perturbations harmoniques de la tension sans filtrage.	48
Tableau II.5 : Valeurs des THDs de tension et de courant avec intégration d'un filtre UPQC dans un réseau non pollué alimentant une charge non linéaire.	50
Tableau II.6 : Valeurs des THD de tension et de courant lors d'une perturbation harmonique de la tension d'un réseau alimentant une charge non linéaire avec présence d'un filtre UPQC.	53
Table IV.1: Paramètres de l'architecture du RNA adopté.	94
Table IV.2 : Forme vectorielle de la sortie désirée en mode sain et en mode de défaut de l'UPQC.	94
Table IV.3. Performances statistiques du modèle RNA choisipour la classification des différents cas défauts d'ouverture de transistor dans l'UPQC.	95

LISTE DES MATIERES

ملخص

RESUME

ABSTRACT

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTES DES SYMBOLES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GÉNÉRALE 01

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART : DIAGNOSTIC ET RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

I.1. INTRODUCTION 05

I.2. LE DIAGNOSTIC 05

I.2.1. La maintenance et le diagnostic 05

I.2.1.1. La maintenance Préventive 06

I.2.1.2. La maintenance Corrective 06

I.2.2. Définition du diagnostic 07

I.3. CLASSIFICATION DES METHODES DE DIAGNOSTIC 07

I.3.1. Méthodes avec modèles les plus utilisées 09

I.3.1.1. Approche à base d'observateurs 09

I.3.1.2. Approche par projection dans l'espace de parité 09

I.3.1.3. Approche par estimation paramétrique 10

I.3.2. Méthodes sans modèle les plus utilisées 10

I.3.2.1. Réseaux de neurones artificiels 11

I.3.2.2. La reconnaissance des formes (RDF) 12

I.4. CHOIX DE LA METHODE DE DIAGNOSTIC 13

I.5. CARACTERISTIQUES SOUHAITABLES D'UN SYSTEME DE DIAGNOSTIC 13

I.6. PERFORMANCE ET ROBUSTESSE D'UN DIAGNOSTIC 15

I.7. PROCEDURE DE DIAGNOSTIC INDUSTRIEL 16

I.8. DIAGNOSTIC EN UTILISANT LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS 17

I.8.1. Choix de l'architecture du RNA 18

I.8.2. Le Perceptron Multi-Couches	19
I.8.3. Architecture du PMC	20
I.8.4. Algorithme de Levenberg Marquardt	20
I.8.5. Extraction des caractéristiques (features) pour l'apprentissage et le test	21
I.8.5.1. Caractéristiques du domaine temporel	22
I.8.5.2. Caractéristiques du domaine fréquentiel	23
I.9. CRITERES D'EVALUATION POUR LE SYSTEME DE DIAGNOSTIC AUTOMATIQUE	25
I.10. CONCLUSION	26

CHAPITRE II

PERTURBATIONS ELECTRIQUE & SYSTEME UPQC

II.1. INTRODUCTION	28
II.2. LES PERTURBATIONS ELECTRIQUES	28
II.2.1. Conséquences des Perturbations harmoniques	30
II.2.1.1. Effets instantanés	31
II.2.1.2. Effets à long terme	31
II.3. LES INDICATEURS DE LA DISTORSION HARMONIQUE	32
II.3.1. Facteur de puissance	32
II.3.2. Taux de distorsion harmonique	33
II.3.2.1. Signification des valeurs du THD	34
II.4. TECHNIQUES DE DEPOLLUTION DES RESEAUX ELECTRIQUES	35
II.4.1. Les techniques traditionnelles	35
II.4.2. Les techniques modernes	37
II.5. LE FILTRE ACTIF	38
II.5.1. Le filtre actif parallèle-série actifs (UPQC)	38
II.5.1.1. Principe de fonctionnement	39
II.5.1.2. Méthode d'identification des signaux de référence (La méthode des puissances active et réactive instantanées PQ)	40
II.5.1.3. Commande des filtres actifs de puissance (Commande MLI vectorielle (SVPWM))	41
II.6. SIMULATION DE L'ENSEMBLE RESEAU ELECTRIQUE SANS L'UTILISATION DE L'UPQC	43

II.6.1. Procédure	43
II.6.2. Effet de la charge non linéaire sur le réseau	44
II.6.3. Effet des perturbations de tension sur le réseau	45
II.6.3.1. La surtension	45
II.6.3.2. Creux de tension	46
II.6.3.3. Perturbation harmonique	46
II.7. SIMULATION DE L'ENSEMBLE RESEAU ELECTRIQUE AVEC L'UTILISATION DE L'UPQC	48
II.7.1. Elimination de l'effet de la charge non linéaire sur le réseau	48
II.7.2. Elimination de l'effet des perturbations de tension sur le réseau	49
II.7.2.1. La surtension	49
II.7.2.2. Le creux de tension	50
II.7.2.3. Perturbation harmonique	51
II.8. CONCLUSION	53

CHAPITRE III

DEFAUTS ET DEFAILLANCES DES FILTRES ACTIFS

III.1. INTRODUCTION	54
III.2. LES DEFAUTS DANS UN SYSTEME	54
III.2.1. La défaillance d'un système	55
III.2.2. Les Causes de défaillance	55
III.3. LA DEFAILLANCE DU FILTRE ACTIF	56
III.3.1. Causes de destruction de modules IGBT	57
III.3.2. Défaut de type court-circuit	58
III.3.3. Défaut de type circuit ouvert	58
III.4. ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU CONVERTISSEUR UPQC EN PRESENCE DU DEFAUT DE CIRCUIT OUVERT	59
III.4.1. Etude générale de l'influence d'un défaut type circuit ouvert sur le réseau	60
III.4.1.1. Influence d'un défaut type circuit ouvert coté FAP sur le réseau électrique	60
III.4.1.2. Influence d'un défaut type circuit ouvert coté FAS sur le réseau électrique	61
III.4.2. Analyse détaillée de l'influence d'un défaut de type circuit ouvert	62

III.4.2.1. Analyse de l'influence d'un défaut de type circuit ouvert au niveau du FAP	63
III.4.2.3. Analyse de l'influence d'un défaut de type circuit ouvert au niveau du FAS	71
III.5. CONCLUSION	79

CHAPITRE IV

FILTRE ACTIF UPQC A COMMANDE TOLERANTE AUX DEFAUTS

IV.1. INTRODUCTION	80
IV.2. LA COMMANDE TOLERANTE AUX DEFAUTS	80
IV.2.1. Classification des méthodes de la commande tolérante aux défauts	81
IV.2.1.1. Approche passive	82
IV.2.1.2. Approche active	83
IV.2.2. Topologies "fault tolerant" pour les filtre actifs	85
IV.3. STRATEGIE DE DIAGNOSTIC ET DE COMMANDE TOLERANTE APPLIQUEE AU SYSTEME DE FILTRAGE ACTIF UPQC	86
IV.3.1. Partie diagnostic d'un défaut type circuit ouvert	87
IV.3.1.1. Extraction des caractéristiques pour l'apprentissage du RNA	87
IV.3.1.2. L'architecture du réseau de neurones artificiel	88
IV.3.1.3. Performances du système de diagnostic	90
IV.3.2. Partie commande tolérante du défaut	91
IV.3.2.1. Compensation d'un défaut de type circuit ouvert au niveau du FAP	92
IV.3.2.2. Détection et compensation d'un défaut de type circuit ouvert au niveau du FAS	99
IV.4. CONCLUSION	105
 CONCLUSION GENERALE	 107
BIBLIOGRAPHIE	109
ANNEXE A	120
ANNEXE B	121

INTRODUCTION GENERALE

Les centrales électriques produisent et distribuent l'énergie électrique sous forme alternatif triphasé. C'est cette forme sinusoïdale qui permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux équipements domestiques et/ou industriels, de préserver la qualité de l'énergie électrique nécessaire pour la bonne marche de ces équipements, et permet d'acheminer de fortes puissances sur de longues distances, en minimisant les pertes et la détérioration de l'énergie électrique. Les principaux responsables de la distorsion de l'onde sinusoïdale électrique sont les charges déformantes, appelées charges non linéaires. Les charges non linéaires, sont présentes au travers de l'électronique de puissance, tels que les moteurs asynchrones, les transformateurs, variateurs de vitesse et redresseurs dans le domaine industriel, ainsi que l'électronique des équipements domestiques comme les alimentations à découpage dans les ordinateurs [1, 2, 3]. Ces charges non linéaires modifient l'allure sinusoïdale de l'énergie électrique on ajoutant des signaux harmoniques au signal original. Le signal déformé se retrouve composé d'un fondamental et d'un certain nombre de sinusoïdes de fréquences et d'amplitudes différentes appelées harmoniques. Les conséquences de cette pollution harmonique conduit à la déformation de la forme sinusoïdal de la tension du réseau et ainsi génère des dysfonctionnements (l'augmentation des pertes par effet Joule, la dégradation du facteur de puissance, vieillissement prématuré des équipements, ...etc.), voir même la destruction des équipements raccordés au réseau [1, 2, 3, 4,5, 6, 7].

Plusieurs solutions de dépollution des réseaux électriques existent [1]. Ces systèmes améliorer la qualité de l'énergie électrique on diminuant ou en supprimant les harmoniques. Dans le but de minimiser l'impact des perturbations harmoniques des normes ont été proposées, des techniques dites classiques à base de filtres passifs et d'autres modernes et innovantes ont été appliquées. L'intégration peu onéreuse des techniques classiques a conduit à son utilisation quasi immédiate. Cependant, après leur implémentation, il est apparu des inconvénients intolérables dans des circonstances particulières, tels que l'encombrement de la structure du filtre, des problèmes de résonance, et un manque d'auto-adaptabilité aux variations du réseau et de la charge. Il faut ajouter à cela, que les contraintes d'efficacité et de qualité du réseau électrique ont évolué pour prendre en compte les contraintes de qualité électrique dans l'industrie [1, 6, 7].

Une des solutions modernes afin d'éviter les inconvénients des filtres passifs est de mettre en œuvre des systèmes de filtrage communément appelés filtrage actif ou Active Power Filters. Les filtres actifs sont composés d'onduleurs qui sont des convertisseurs statiques de puissance. Leur intégration dans l'industrie est due essentiellement aux progrès réalisés dans le domaine des semi-conducteurs. En effet, toutes les topologies des filtres actifs intègre un nombre important de semi-conducteurs dans leur architecture. On peut distinguer les filtres actifs selon l'intégration du filtre

par rapport à la source ; le filtre actif parallèle, le filtre actif série et la combinaison parallèle-série appelé aussi Unified Power Quality Conditioner (UPQC) [1, 2, 3, 4, 5, 8].

La première topologie est le FAP. Il consiste à connecter le filtre actif en parallèle à la source et on injectant au réseau un courant de même amplitude que celle du courant harmonique à éliminer mais en opposition de phase. Le FAP améliore le facteur de puissance dans le système d'alimentation et réduit la pollution harmonique et permet de compenser les harmoniques de courant et la puissance réactive. Le second système FAS, consiste à connecter le filtre actif en série avec la source de tension. Il a pour fonction la compensation à la fois des tensions harmoniques et des différentes autres perturbations liées à la tension. La troisième topologie est l'UPQC, c'est une topologie universelle pouvant accomplir les fonctions des deux filtres actifs série et parallèle, permettant de compenser à la fois les perturbations en courant et en tension existant sur le réseau.

Les performances du système de filtrage actif sont fortement liées à la robustesse des onduleurs, le choix de la topologie et la stratégie de contrôle. Néanmoins, ces performances peuvent être altérer par une défaillance au niveau des composants de l'onduleur. En effet, plusieurs défauts peuvent affecter le bon fonctionnement d'un onduleur tel que les défauts des interrupteurs (ouvert ou fermé), les défauts de court-circuit et les défauts de capteurs,... [2, 3, 4, 6, 9, 10]. Devant cette multitude de défauts, une altération des performances peut intervenir, voir la destruction du système industriel dans d'autre cas. Afin d'éviter ces inconvénients il est préférable de diagnostiquer la défaillance dans les plus brefs délais en utilisant l'une des méthodes de diagnostic. Identifier les sources de perturbations est très difficile et difficilement détectable. Pour résoudre ce problème, diverses méthodes de diagnostic des pannes ont été développées au cours de la dernière décennie et de nombreux chercheurs ont proposé diverses méthodes.

D. Kastha et B. K. Bose ont mis à jours les divers types de défaillance dans un système convertisseur MLI à source de tension destiné à l'entraînement de moteur à induction. Ils ont étudié les conditions de court-circuit de la diode du redresseur, l'ouverture du pilote de base du transistor inverseur et les conditions de court-circuit du transistor inverseur. Cependant, ils ne proposent pas de reconfigurer la topologie de l'onduleur [11].

C. Thybo s'intéressait au contrôle tolérant aux pannes des applications d'entraînement par moteur à induction utilisant la redondance analytique, apportant des solutions aux pannes les plus fréquentes [12].

Bin XU et al, ont décrit de nombreuses méthodes utilisées en détection et décrivent une technique de réseau neuronal avec des fonctions de base orthogonales basées sur la méthode des moindres carrés de récurrence utilisée pour transformer les signaux afin d'obtenir des caractéristiques harmoniques, pour classer le type de défaut [13].

T. Benslimane, Thameur A. présentent une méthode de diagnostic de pannes basée sur des mesures de courants classiques, comprenant une logique combinatoire permettant d'analyser et de valider des signaux d'erreur. Ils démontrent qu'un changement dans la forme d'onde du signal de filtre actif est défini comme le moment où une augmentation ou une diminution soudaine est observée dans la composante de décalage CC du signal. La détection de défaut est basée sur le calcul de composantes harmoniques nulles [14].

Mala Ratan Ubale et al, ont suggéré d'utiliser les valeurs absolues moyennes du courant pour détecter les commutateurs de phase et les commutateurs défaillants [15].

De nombreux travaux ont été réalisés sur la détection et le diagnostic des fautes et ils ont eu tendance à passer des techniques traditionnelles à l'intelligence artificielle. A. Rohan et S. Ho Kim, ont proposé d'utiliser une transformée en ondelettes discrète (DWT) sur le courant de stator transformé (-) de Clarke et d'extraire des caractéristiques des ondelettes. Un réseau neuronal artificiel (RNA) est ensuite utilisé pour la détection et l'identification de défauts de commutation simples et multiples [16].

A travers ce manuscrit, nous explorons une nouvelle technique de détection des pannes par commutateur ouvert, appliquée à un système UPQC, basée sur la stratégie de contrôle SVPWM alimentant une charge non linéaire. La nouvelle approche d'un système de diagnostic de pannes est présentée basée sur l'utilisation de l'RNA afin d'automatiser la détection et la localisation de pannes. Les caractéristiques (données d'entrée) du modèle RNA sont extraites de la variation des signaux de courant et de tension, ce qui nous permet d'extraire des informations utiles relatives aux défauts de commutation ouverte sur le système UPQC. Les données extraites dans le domaine de fréquence sont calculées par FFT et dans le domaine temporel en calculant l'asymétrie, afin que les états sains et les états défaillants développent une base de données très riche. La base de données sera utilisée pour former le modèle RNA à la détection et à la localisation de l'onduleur et du commutateur responsable des fluctuations sur la ligne de transmission.

Dans le but de présenter notre travail, nous avons divisé ce document en quatre chapitre, apportant chacun un éclaircissement sur le thème étudié. Le travail est organisé comme suit :

Le premier chapitre sera consacré à la présentation de l'état d'art sur le diagnostic et les réseaux de neurones artificiel. La première partie donnera un aperçu sur les différentes méthodes de diagnostic existant et les conditions exigées lors de diagnostic classique et intelligent. La seconde partie du chapitre met en évidence les étapes et les outils pour un diagnostic par RNA, en mettant en évidence les conditions d'utilisations comme les caractéristiques, le choix du réseau RNA et de l'algorithme d'apprentissage.

Dans le deuxième chapitre, nous étudions le filtrage et son influence sur la qualité de l'énergie électrique, les perturbations qui peuvent influencer cette qualité, pour enfin finaliser l'étude avec une simulation SIMULINK démontrant l'intérêt d'introduire l'utilisation d'un système de filtrage actif parallèle et série. En effet, la simulation mettra le doigt sur l'influence des perturbations extérieur sur la qualité de l'énergie électrique.

Le troisième chapitre, présentera différentes définitions et notions sur les défauts et les défaillances en générale, et les défauts des convertisseurs statiques en particulier, leurs causes et conséquences. Nous terminerons le chapitre par la simulation d'un défaut de type circuit ouvert et mettre en évidence son influence sur les différentes grandeurs (tension et courant) du système électrique. La partie simulation permettra de visualiser les différentes grandeurs (tension et courant) dans le système électrique ainsi que de pouvoir observé l'influence du défaut de type circuit ouvert sur le système UPQC dans sur la qualité de l'énergie électrique.

Le dernier chapitre identifiera l'architecture de RNA et des caractéristiques nécessaire pour le diagnostic automatique d'un défaut de type circuit ouvert sur le système à base du filtre UPQC. Les caractéristiques extraites à partir du domaine temporel et du domaine fréquentiel seront exploiter par le réseau de neurones choisit, qui classifera les différents états de du filtre UPQC et localisera le défaut après détection. Afin de permettre une maintenance ultérieure une commande tolérante à base de bras redondant sera étudiée. La simulation en utilisant le SIMULINK de MATLAB permettra de valider les performances du système de diagnostic et de contrôle "fault tolerant" proposé.

Ce travail se terminera avec une conclusion générale, donnons un résumé simple et précis sur l'ensemble du travail effectué et l'objectif atteint, suivie de la présentation de quelque perspectives.

CHAPITRE

I

I.1. INTRODUCTION

L'apparition d'un défaut dans un processus industriel peut engendrer des perturbations mineures voir un dysfonctionnement ou l'arrêt total du système industriel. La détection, la localisation et l'identification du défaut devient une priorité pour l'observateur (opérateur, technicien ou ingénieur, ...). Afin d'aider l'observateur dans cette tâche, les méthodes de diagnostic sont mises au point et peuvent même aider l'observateur dans sa prise de décision. Le diagnostic permet d'éviter les perturbations, le dysfonctionnement ou l'endommagement total à travers des conclusions qui dirige vers une maintenance préventive ou corrective. L'avancée technologique a permis une avancé des méthodes de diagnostic industriel et sa diversification et cela afin de remédier aux exigences industrielles. De nos jours, le diagnostic intelligent est de plus en plus utilisé. Le diagnostic avancé basé sur l'utilisation des réseaux de neurones artificiels (RNA) est l'un des plus répondu, et cela est dû aux caractéristiques universelles que présente les RNA tel que : la modélisation et l'identification de processus, le contrôle (surveillance) et la commande de processus, la prédiction et l'aide à la décision.

Dans ce chapitre nous donnons un aperçu sur les différentes méthodes de diagnostic existant et les conditions souhaités pour un bon système de diagnostic classique et intelligent. La seconde partie du chapitre illustre le fonctionnement d'un système de diagnostic par RNA, en mettant en évidence les conditions d'utilisations comme les caractéristiques, le choix du réseau RNA et de l'algorithme d'apprentissage.

I.2. DIAGNOSTIC ET LA MAINTENANCE

I.2.1. Diagnostic

La définition du diagnostic selon la norme AFNOR et CEI stipule que : « Le diagnostic est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test ». Cette définition résume les deux tâches essentielles du diagnostic [22, 23, 24, 25, 26] :

- Observer les symptômes de la défaillance.
- Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur les observations.

L'objectif d'un système de diagnostic est de prévoir l'apparition d'un défaut le plus rapidement possible et le plus précisément possible [22, 26, 27, 28, 29].

1.2.2. Maintenance

La fonction maintenance tente d'éviter ou de ralentir les phénomènes de dégradation et d'usure constatés sur les machines en fonctionnement [17]. Dans le domaine technique, la fonction « maintenance » regroupe deux grandes classes d'activités : les activités relatives à la gestion et à l'organisation de la maintenance et les activités relatives à ses aspects techniques. Cette dernière classe est souvent englobée dans la supervision. Elle se décline en trois tâches importantes : la **prévention**, le **diagnostic** et le **dépannage** [18].

Il existe deux grands types de maintenance : la maintenance préventive et la maintenance corrective. La maintenance corrective est la maintenance qui intervient après l'apparition d'une défaillance dans le système, alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système fonctionne actuellement [19, 20].

1.2.2.1. Maintenance préventive

La maintenance préventive vise à réduire les risques d'occurrence d'une défaillance. La norme [NF EN 13306] la définit comme suit : "Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien". Lorsque l'intervention de maintenance est exécutée à intervalles fixes et prédéfinis, on parle de maintenance préventive systématique. Ce type de maintenance est déclenché suivant un échéancier (heures de travail, kilomètres effectués, etc.) et se traduit par le remplacement périodique de pièces, sans contrôle préalable et quel que soit l'état de dégradation des équipements [19, 20].

1.2.2.2. Maintenance corrective

La norme [NF EN 13306] définit la maintenance corrective comme : "*Une maintenance exécutée après détection d'une panne* et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise" [20]. La maintenance corrective est généralement adoptée pour les équipements pour lesquels [19] :

- Les conséquences de la panne ne sont pas critiques,
- La réparation est facile et ne nécessite pas beaucoup de temps,
- Les coûts d'investissements sont faibles.

Deux formes de maintenance correctives peuvent être distinguées [19, 20] :

- *La maintenance palliative* : lorsque l'intervention de maintenance a un caractère provisoire.
- *La maintenance curative* : si les travaux sont définitifs.

Il est important de noter que les opérations correctives *n'interviennent qu'en cas de panne*, alors que la maintenance préventive peut être programmée en fonction de différents paramètres.

Le choix entre maintenance corrective et maintenance préventive demande la connaissance et l'examen d'un certain nombre de critères qui, selon le contexte, auront plus ou moins d'importance.

Ces critères relèvent des aspects [21] :

- Techniques : fiabilité, maintenabilité, etc. ;
- Économiques : coûts de maintenance, d'indisponibilité, etc. ;
- De sécurité : des biens et des personnes ;
- Environnementaux ;
- De qualité.

I.3. CLASSIFICATION DES METHODES DE DIAGNOSTIC

De nombreuses méthodes sont à la base des travaux en diagnostic, le choix de l'une de ces méthodes est lié à la connaissance du système, mais aussi à la complexité de ce système. Les méthodes de diagnostic industriel moderne combine diagnostic et correction des défauts afin d'améliorer la sécurité et la fiabilité des processus, de minimiser les coûts de maintenance et de protéger l'installation dans les états critiques. Le diagnostic industriel standard peut être divisé selon deux approches majeurs ; une technique matérielle et une technique analytique (figure I.1) [30, 31, 32, 33, 34].

La première approche basée sur la redondance matérielle, consiste à reconstruire un second processus redondant en utilisant les composants matériels utilisés pour le processus principal concerné par le diagnostic. La détection et l'identification des défauts peuvent être obtenues à partir

d'une comparaison continue entre les deux sorties du processus à surveiller et de son correspondant redondant. Cette approche permet une meilleure fiabilité et peut ainsi être appliquée dans des applications dont la sécurité est fortement indispensable. Cependant, les coûts économiquement élevés des composants matériels redondants limitent leurs applications, ainsi qu'à l'encombrement et aux poids supplémentaires qu'elle génère.

La deuxième approche basée sur l'analytique est divisée en deux méthodes de diagnostic, on peut distinguer [30, 31, 32, 33, 34] :

- *Méthodes avec modèle* : Les méthodes basées sur l'intelligence artificielle également appelées « méthodes sans connaissance à priori ».

- *Méthodes sans modèle* : Les méthodes basées sur une modélisation des systèmes ou sur des signaux, qualifiées de « méthodes avec connaissance à priori », qu'on appelle aussi méthodes à base de signal.

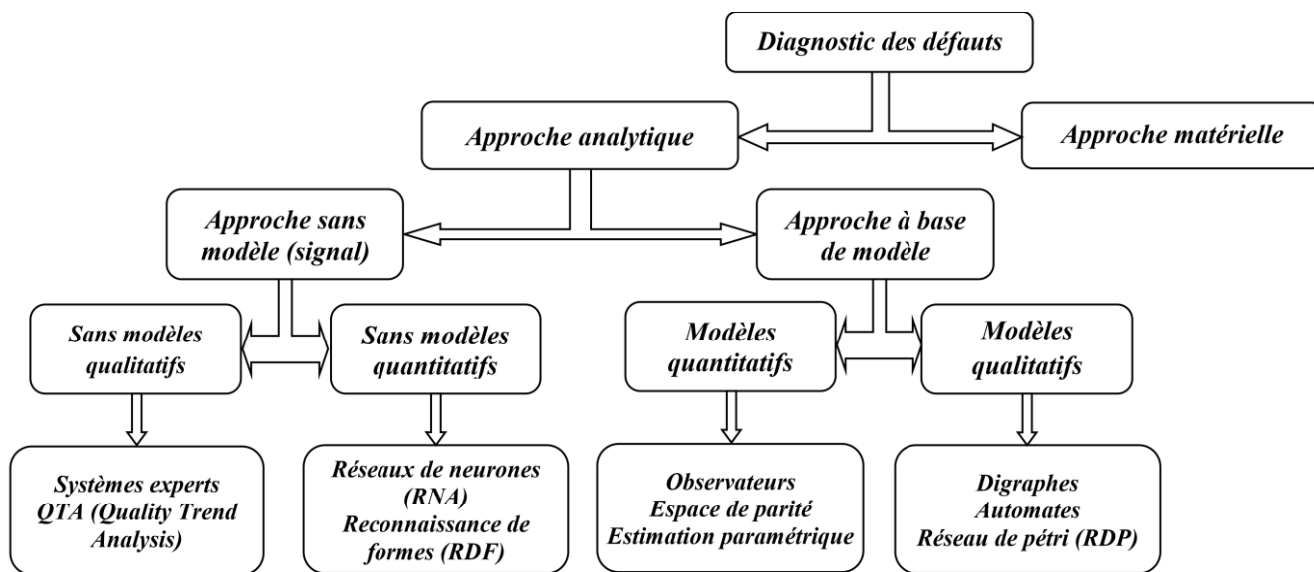


Figure I.1 Classification des méthodes de diagnostic [30, 35]

I.4. CHOIX DE LA METHODE DE DIAGNOSTIC

La sélection de la méthode de diagnostic la plus appropriée à un système industriel donné ne peut se faire qu'après un recensement des besoins et des connaissances disponibles. L'inventaire des éléments à étudier est le suivant [22, 44, 45] :

- Nature des causes de défaillances à localiser,
- connaissance des symptômes associés aux défaillances induites par les causes,
- maîtrise des moyens de mesure des symptômes,
- maîtrise des moyens de traitement des symptômes,
- connaissance des mécanismes physiques entre les causes et les effets,
- recensement des expertises disponibles,
- définition du niveau de confiance dans le diagnostic,
- identification des utilisateurs finaux du diagnostic.

I.5. CARACTERISTIQUES SOUHAITABLES D'UN SYSTEME DE DIAGNOSTIC

Afin de pouvoir comparer diverses approches de diagnostic, il est utile d'identifier un ensemble de caractéristiques souhaitables qu'un système de diagnostic devrait posséder. Bien que ces caractéristiques ne soient habituellement possédées par aucune méthode de diagnostic particulière, elles sont utiles pour évaluer diverses méthodes en termes d'information a priori qui doit être fournie, de rapidité, de robustesse, d'adaptabilité, etc. Il existe plusieurs caractéristiques permettant d'évaluer les performances d'un système de diagnostic. De manière générale, on note [25, 34, 37, 38, 46, 47] :

Rapidité et sensibilité de diagnostic : il est pertinent pour un système de diagnostic de rapidement détecter un dysfonctionnement de la chaîne de production dès son apparition. Cependant, un système rapide peut induire une grande sensibilité à la moindre perturbation (bruit, incertitudes...), induisant le système de diagnostic en erreur. L'idéal est de concevoir un système de diagnostic rapide et non sensible aux fausses alarmes.

Robustesse : Il est souhaitable que le système soit robuste aux divers bruits et incertitudes. L'intérêt de la robustesse est une dégradation lente et non abrupte des performances de la chaîne de production. De ce fait un système de diagnostic robuste ne peut pas être très sensible.

La localisation (La différenciation) : Une défaillance peut être à l'origine de plusieurs perturbations engendrant ainsi une multitude d'alarmes. La différenciation est la capacité du système de diagnostic à différencier entre différents dysfonctionnements et de mettre en évidence le défaut intervenant.

Facilité d'explication : Le système peut fournir un historique sur les changements intervenus et qui ont conduit à la situation actuelle (apparition d'un défaut). Cette caractéristique de traçabilité de la défaillance est très importante pour l'étape de prise de décision et permet ainsi de justifier les hypothèses proposées par le système avec des arguments.

Identification de nouveaux défauts : C'est l'aptitude du système à reconnaître ou à identifier un nouveau défaut, la capacité de le classer comme étant un nouveau défaut et non pas comme un défaut existant ou un état normal de la chaîne de production.

Identification des défauts multiple : C'est un critère important et très difficile à concrétiser. En effet, si plusieurs défauts interviennent au même moment dans une chaîne de production, le système de diagnostic analysera une combinaison de défauts difficilement séparable. La mise en œuvre d'un système avec identification de défauts multiple permet la séparation entre les défauts et ainsi la différenciation entre eux.

Adaptabilité : Ce terme implique la capacité d'adaptation du système de diagnostic pour répondre automatiquement aux modifications du système dues à des problèmes externes ou aux changements structurels. Un système de diagnostic adaptable se développe progressivement pour devenir un nouveau système en raison des changements des entrées externes ou des changements structurels.

Conditions de stockage et de calcul : est un critère pour la mise en œuvre d'un système de diagnostic en temps réel. Le système devrait être équilibré entre des capacités de stockage élevées et moins de calcul complexe.

I.7. PROCEDURE DE DIAGNOSTIC INDUSTRIEL

Il existe plusieurs méthodes de diagnostics connus et de nouvelles techniques sont proposées constamment dans la littérature. En générale les méthodes de diagnostics se constitue de trois étapes essentielles ; *la détection* du défaut à travers le système de surveillance, *la localisation* de l'élément défectueux et l'*identification* du type, la nature, et/ou la gravité du défaut. En respectant ces étapes principales, la mise en œuvre d'un système de diagnostic comporte de nombreuses autres étapes (Figure I.6) décrites dans ce qui suit [22, 25, 28, 35, 47, 48, 50] :

- L'extraction des informations consiste à enregistrer les variations du fonctionnement à travers les capteurs ou l'intervention humaine,
- La caractérisation des défauts est l'étude des informations extraite, et de leurs associés des caractéristiques et signatures décrivant l'état du système normal ou défaillant en vue de la détection d'un dysfonctionnement,
- La localisation se fait après l'opération de détection du défaut, c'est une procédure utilisée pour déterminer le composant ou l'élément défectueux dans le processus,
- L'objectif de l'identification est de caractériser le défaut et de la classifier. L'identification permet de déterminer la défaillance à partir de l'utilisation de connaissances antérieures sur les relations de cause à effet. Ainsi, il assurer le suivi du système et déterminer les causes qui ont engendré la défaillance constatée,
- La prise de décision est la dernière étape, elle est primordiale après avoir identifié et localiser le défaut. La prise de décision peut conduire à une simple reconfiguration du système ou voir l'arrêt immédiat du système industriel.

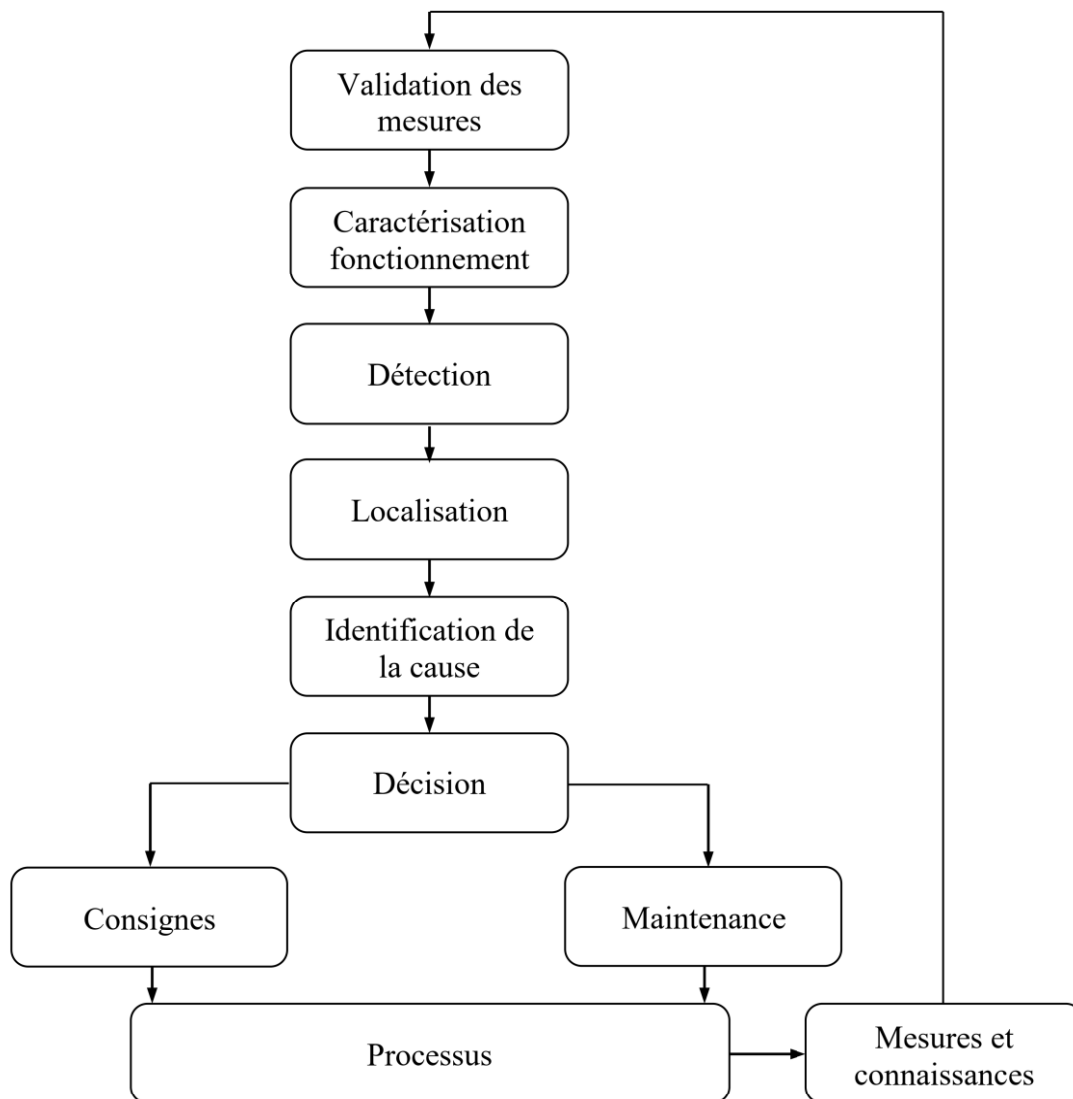


Figure. I.6 : Étapes de diagnostic industriel [22, 25]

I.8. DIAGNOSTIC EN UTILISANT LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

Les Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) constituent des outils privilégiés pour classer ou identifier des signatures (signaux) associés à un fonctionnement sain ou avec défaut d'un système. Les RNA sont des outils puissants capables d'être utilisés dans presque tous les domaines technologiques, et on peut citer : Le traitement du signal, Vision, parole, prévision, modélisation, aide à la décision, ... Ils se caractérisent par une capacité d'adaptation et la possibilité d'intégration dans des systèmes matériels sous la forme de circuit intégré, ou logiciels sous forme de programme informatique implanté dans un ordinateur [6, 43].

Les domaines d'application privilégiés, présentant les caractéristiques d'une résolution neuronale exposée ci-dessus, concernent le regroupement et la classification de données, le

traitement du signal, la modélisation et l'identification de processus, le contrôle (surveillance) et la commande de processus, la prédiction et l'aide à la décision. La diversification des domaines d'applications est due essentiellement aux avantages fondamentaux suivants [43] :

- Capacité de *représenter n'importe quelle fonction*, linéaire ou non linéaire, simple ou complexe (approximateurs universels).
- Faculté d'*apprentissage à partir d'exemples* représentatifs, L'apprentissage se fait par l'intermédiaire d'exemples qui servent de base de données.

I.8.1. Choix de l'architecture du RNA

Le RNA calcule la fonction de sortie d'une entrée donnée. Chaque neurone est connecté à d'autres neurones avec des coefficients (poids). Au cours de la formation, le résultat réel est comparé au résultat attendu (cibles). Après chaque itération, l'algorithme de propagation arrière ajuste les poids pour minimiser l'erreur. De nombreuses paires entrée / cible sont nécessaires pour former un réseau jusqu'à ce que la sortie du réseau corresponde à la cible. A la fin du processus de formation, le modèle obtenu présente les poids optimaux. Les étapes pour créer un modèle RNA consiste à choisir la structure du réseau, ce qui comprend [6, 43, 54, 55, 56, 57] :

- Extraction et sélection des caractéristiques (features),
- le nombre des neurones d'entrés est déterminé par les caractéristiques,
- le nombre de couches cachées,
- le nombre des neurones de sorties est déterminé par la sortie désiré,
- nature de la fonction d'activation spécifique à chaque couche,
- le nombre d'itérations,
- l'erreur désirée entre la sortie cible et réel à atteindre,
- L'algorithme d'apprentissage pour la mise à niveau des poids et minimisation de l'erreur.

L'étude et l'analyse de l'utilisation des RNA dans le diagnostic peuvent être regroupées selon l'organigramme suivant [6] :

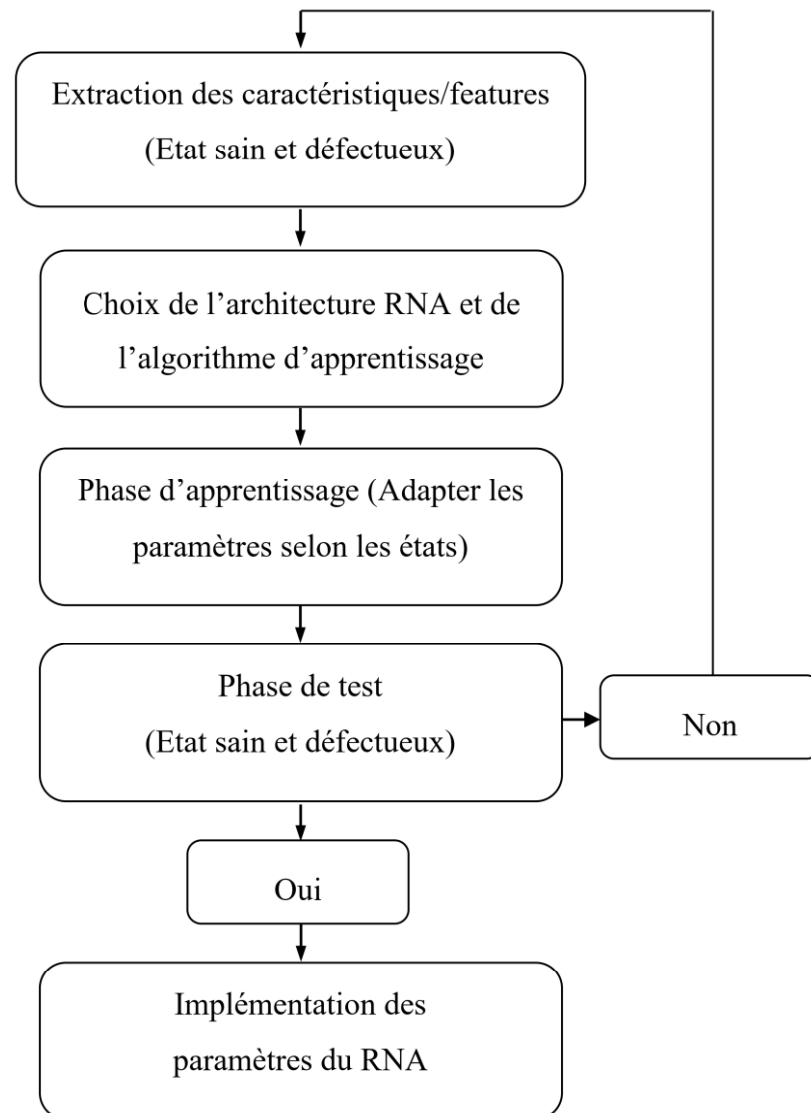


Figure I.7: Organigramme de diagnostic par RNA

I.8.2. Perceptron multicouches

En s'inspirant du perceptron monocouche, une architecture plus complexe englobant plusieurs neurones a été mise au point. Cette nouvelle architecture est le perceptron multicouche (PMC ou MLP pour Multi Layer Perceptron en anglais). L'apparition de cette architecture a permis de résoudre les problèmes de classification non linéaire du perceptron et de dépasser les limites principales de celui-ci [57, 58, 59].

I.8.3. Architecture du PMC

La sortie désirée de notre réseau est notée d_k . Le réseau possède N_0 entrée, L-1 couches cachées contenant chacune N_i neurones ($1 < i < L-1$) et une couche de sortie avec N_L neurones. Chaque neurone est caractérisé par un couple d'indice (j, k), où j désigne le nombre de couches et k le nombre de neurones, figure I.8. Le coefficient synaptique est désigné par w_{jki} où le troisième indice i indique le numéro des neurones transmetteurs. Le signal y_{jk} est la somme pondérée de toutes les entrées du neurone jk. x_{jk} est la sortie non linéaire du neurone jk et f est une fonction d'activation choisit comme suit : $f(y) = \frac{1 - \exp(-a.y)}{1 + \exp(-a.y)}$ où 'a' représente le seuil de la fonction d'activation.

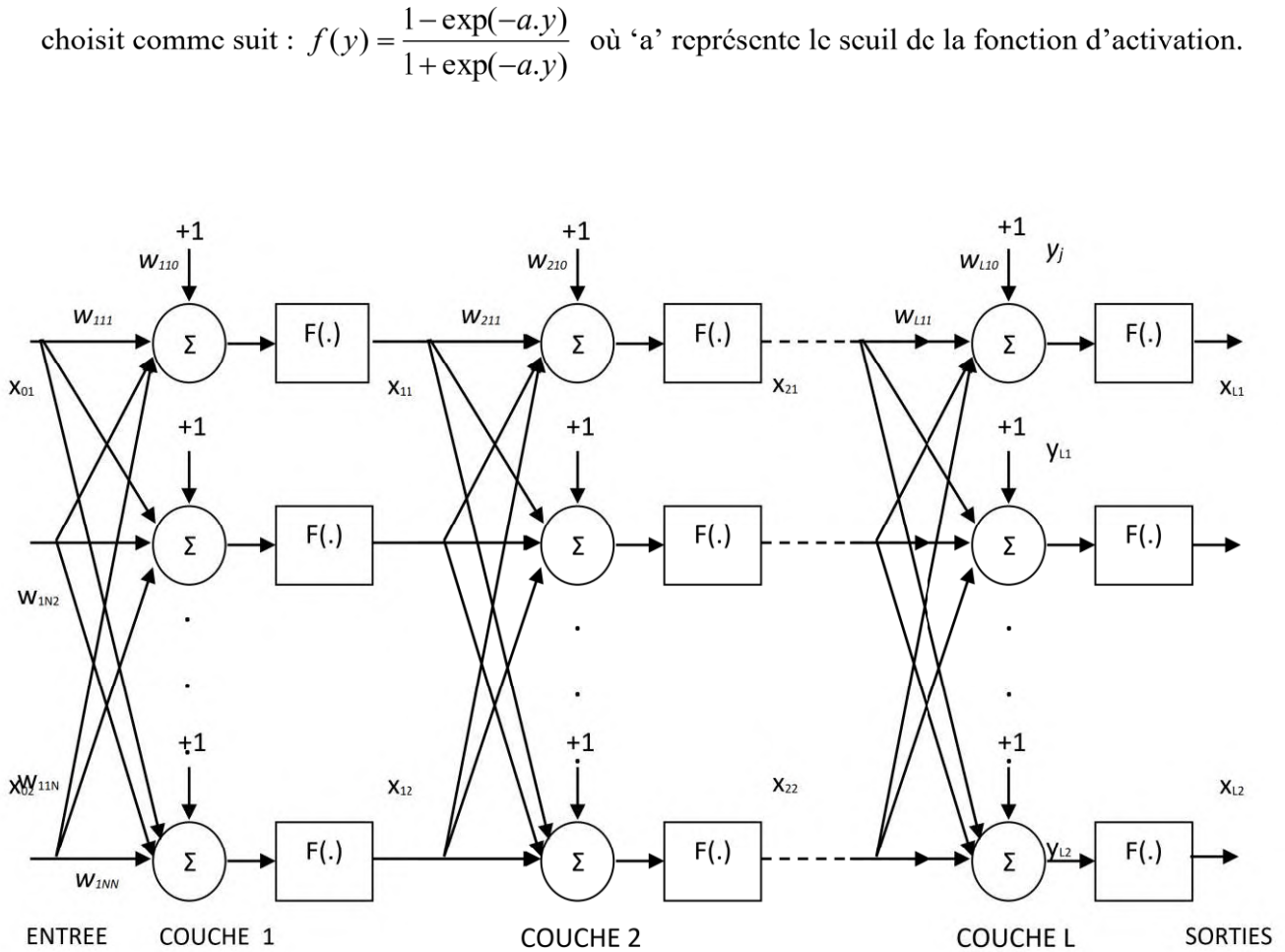


Figure I.8 : Architecture MLP

I.8.4. Algorithme de Levenberg Marquardt

La méthode de Levenberg-Marquardt (LM) consiste à modifier les paramètres selon la relation suivante :

$$\theta_k = \theta_{k-1} [H_{k-1} + \lambda_{k-1} \cdot I]^{-1} \nabla J_{k-1} \quad \text{Avec } I = \text{Matrice Identité} \quad (1)$$

Cette méthode est particulièrement astucieuse car elle s'adapte d'elle-même à la forme de la fonction de coût. Elle effectue un compromis entre la direction du gradient et la direction donnée par la méthode de Newton. En effet, si λ_{k-1} est grand, on reconnaît la méthode du gradient (dans ce cas la valeur du pas est donnée par $1/\lambda_{k-1}$) et si λ_{k-1} est petit, la modification des paramètres correspond à celle de la méthode de Newton [60].

Cette méthode permet d'éviter les inconvénients du choix du pas et du nombre d'itérations, car elle choisit automatiquement un compromis entre la direction du gradient et la direction de Newton. Nous choisissons une valeur initiale de λ_0 (Bishop propose $\lambda_0=0.1$) qui est modifiée durant l'optimisation. A chaque itération, on calcule la fonction de coût $J(\theta)$ avec la valeur de λ précédente ; si la fonction de coût diminue, on effectue la modification des paramètres et on diminue λ (par exemple, divisé par 10) ; si la fonction de coût croît, on recherche à se rapprocher du gradient et on augmente λ (multiplie par 10) jusqu'à ce que le coût diminue. Cette méthode présente un intérêt pratique car elle peut être utilisée sans avoir à choisir le pas. Partant d'une valeur initiale pour p, la méthode de Levenberg-Marquardt se résume en :

1. Calculer $f^2(p)$;
2. Fixer λ à une valeur faible, par ex. 10^{-3} ;
3. Dédire δp_j du système linéaire, puis évaluer $f^2(p + \delta p)$;
4. Si $f^2(p + \delta p) > f^2(p)$, *accroître* λ d'un ordre de grandeur, par ex. $\times 10$, et retourner au point 3 ;
5. Si $f^2(p + \delta p) < f^2(p)$, *décroître* λ d'un ordre de grandeur, par ex. $\div 10$, remplacer p par $p + \delta p$ et retourner au point 3 ;
6. Arrêter le processus si le pas δp ne modifie f^2 que d'une quantité $\ll 1$.

I.8.5. Extraction des caractéristiques (features) pour l'apprentissage et le test

L'essentiel de l'information de la plupart des signaux réside dans leurs caractéristiques (statistiques, temporelles, fréquentielles, ...). Ces caractéristiques sont représentatives du fonctionnement sain ou défectueux des éléments du procédé industriel. L'étape d'extraction des caractéristiques pour le diagnostic par RNA consiste à collecter et combiner les meilleures caractéristiques indiquant l'état sain ou défectueux du procédé. L'apparition d'un défaut perturbe

les valeurs nominales des caractéristiques, ce qui conduit à diagnostiquer un état défectueux du procédé industriel.

I.8.5.1. Caractéristiques du domaine temporel

L'analyse temporelle est basée sur l'étude des caractéristiques scalaires du défaut associé à un signal. Une caractéristique temporelle est une grandeur qui caractérise le signal, comme les grandeurs de l'amplitude ou de distribution d'amplitude. Les changements de valeurs important de ces caractéristiques dans le temps est un indicateur sur l'apparition d'un défaut. Ces indicateurs permettent de détecter la présence du défaut mais ne localisent pas le défaut. De nombreux indicateurs existent dans la littérature. Un système de diagnostic peut utiliser un seul indicateur ou une combinaison de plusieurs d'entre eux [25, 61].

Avec : $x(t)$ la fonction du signal et « t » le temps d'analyse.

La moyenne : On peut définir la moyenne M d'un vecteur de donnée x comme suit :

$$Moy = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

Variance : La variance c 'est la mesure de la dispersion d'un ensemble de points de données autour de leur valeur moyenne, elle est définie comme suit :

$$y^2 = \frac{\sum (x - \mu)^2}{n} \quad (06)$$

Skewness représente le moment statique d'ordre 3 centré sur le cube de l'écart-type. Il mesure la symétrie de la distribution, ou plus précisément le manque du signal. Il est défini comme suit :

$$S_{kew} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(\sigma)^3} \quad (07)$$

Kurtosis représente le moment statique d'ordre 4. Il mesure le degré d'écrasement de la distribution du signal vibratoire enregistré et il est défini comme étant le rapport entre le moment d'ordre quatre centré et le carré de la variance.

$$S_{kurt} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(\sigma^2)^2} \quad (08)$$

I.8.5.2. Caractéristiques du domaine fréquentiel

Le domaine temporel ne donne pas assez d'informations sur les changements qui interviennent sur le signal, tel que les différentes fréquences constituant un signal composé ou le moment exact où une perturbation apparaît et peut disparaître. Le domaine fréquentiel met en évidence le contenu spectral des différents signaux issus du procédé industriel, tels que : les courants, les puissances, le couple, la vitesse, le flux, les vibrations, ...etc.

➤ *Transformée de Fourier Rapide*

Beaucoup de méthodes d'analyse du signal ont été proposées pour le diagnostic de défauts, parmi ces méthodes on trouve la FFT (Fast Fourier Transform). L'intérêt majeur de cette technique réside dans son efficacité pour les signaux périodiques. Le principe de la transformée de Fourier repose sur le fait que toute fonction périodique peut être représentée comme la somme d'une série de sinus et de cosinus dont on fait varier d'une part les amplitudes en les multipliant par des coefficients, et d'autre part les phases en les décalant de manière à ce qu'elles s'additionnent ou se compensent [38, 39, 53, 54, 55, 70]. La FFT est simplement une Transformée de Fourier Discrète (TFD) calculée selon un algorithme permettant de réduire le nombre d'opérations et, en particulier, le nombre de multiplications à effectuer. Pour calculer une TFD, on doit calculer N valeurs X(k) :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-jn\omega k} \quad (09)$$

et ceci pour $k \in [0, N - 1]$.

I.10. CONCLUSION

Les systèmes de diagnostic dans le domaine industriel est très important, voir essentiel à l'existence du processus industriel. Un bon système de diagnostic combine diagnostic et correction des défauts afin d'améliorer la sécurité et la fiabilité des processus, de minimiser les coûts de maintenance et de protéger l'installation dans les états critiques. Le choix d'une méthode de diagnostic est en relation directe à la structure du processus industriel, à la disponibilité des informations ou des considérations pratiques.

Ce présent chapitre à était consacrer à l'étude du diagnostic industriel, une procédure cruciale dans la réussite et la productivité de l'industrie. La mise en évidence des approches de diagnostic : l'approche matérielle ou analytique. L'approche analytiques étant la plus répondu et utilisée, nous avons étudiée différentes méthodes de cette approche qui fait appel à différents concepts comme la modélisation, l'identification, le traitement du signal, des méthodes d'intelligence artificielles, etc. Par suite nous avons exposé le diagnostic par RNA. Le RNA étant un classifieur universel permet son adaptation dans les systèmes de diagnostic, pour cela, il suffit de suivre les étapes de réalisation 'une structure RNA ; l'extraction des caractéristiques, le choix de la structure et l'algorithme d'apprentissage.

De ce fait, Le prochain chapitre sera consacré à l'étude des perturbations électriques, les différentes méthodes utilisées pour corriger ces perturbations et cela pour introduire les filtres actifs parallèle, série et UPQC dans le but de les étudier dans le processus d'atténuations ou d'éliminations des perturbations électrique.

CHAPITRE

II

II.1. INTRODUCTION

La qualité de l'énergie électrique est très sensible aux perturbations harmoniques. Les sources de ces perturbations sont diverses et leurs impacts varient selon leurs degrés de gravités. Nous pouvons citer comme source de perturbations les charges non linéaires qui induisent un changement de la forme sinusoïdal du courant en introduisant des harmoniques de courant. Il existe d'autres perturbations liées à la tension tel que les creux de tension, surtension, déséquilibre, ... influencent la charge et pouvant causer des dommages irréversibles. L'impact technique et économique de ces perturbations doit être réduit à son maximum. L'avancée technologique des semi-conducteurs a permis de faire des avancé sur les techniques de filtrage. Le conditionneur unifié (The unified power quality conditioner : UPQC) présente l'avantage de la compensation simultanée des harmoniques de courant coté source et l'ensemble des perturbations liées à la tension appliquée à la charge tel que le déséquilibre, creux de tension, pic de tension, harmoniques de tension coté charge. Dans ce qui suit, nous allons donner plus de détails sur la qualité de l'énergie électrique, les perturbations qui peuvent influencer cette qualité, pour enfin finaliser ce chapitre avec une simulation SIMULINK démontrant l'intérêt de l'utilisation d'un système de filtrage à la fois en courant et en tension.

II.2. PERTURBATIONS ELECTRIQUES

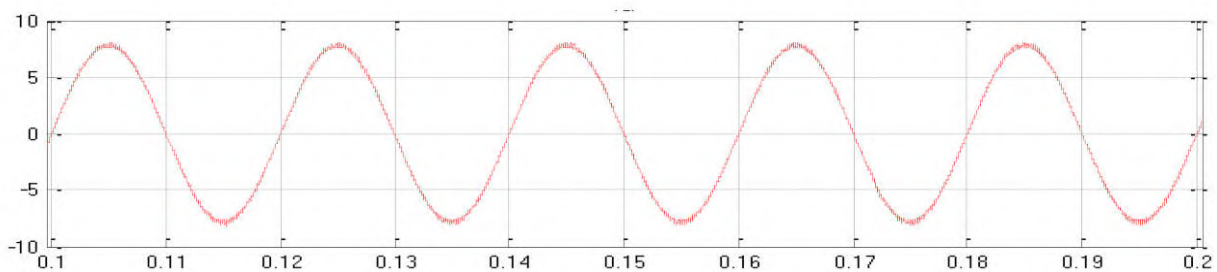
La norme EN 50160, précise les caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics basse tension. L'énergie électrique est fournie sous forme de tension de forme sinusoïdale triphasée [5, 71, 72]. L'onde de tension laquelle est caractérisée par les paramètres suivants :

- Forme d'onde sinusoïdale ;
- Amplitude des trois tensions de phase ;
- Stabilité de la fréquence;
- Symétrie et équilibre du système triphasé en amplitude et en phases.

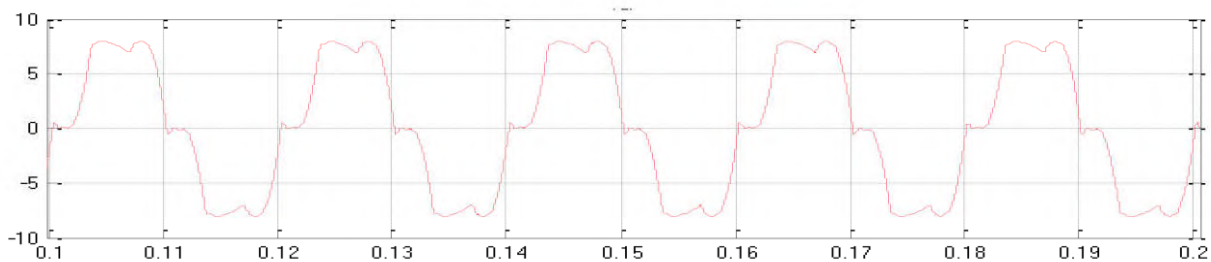
La norme IEEE 519 est une approche conjointe entre le distributeur d'énergie et le client pour limiter l'impact des charges non-linéaires. En effet, elle contient les paramètres (limites) nécessaire pour qu'un réseau électrique soit efficace et sans pollution harmonique, impliquant le distributeur et le client [71, 73].

On dit qu'une charge est non linéaire lorsque le courant qu'absorbe la charge n'a pas la même forme que la tension qui l'alimente (figure II.1) [5, 71, 72, 73]. On peut citer comme exemple de charge non linéaire :

- Les équipements industriels (machines à souder, fours à arc, fours à induction, redresseurs),
- les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones ou moteurs à courant continu,
- les appareils de bureautique (ordinateurs, photocopieurs, fax, ...),
- les appareils domestiques (TV, fours micro-onde, éclairage néon, ...),
- les onduleurs.



a- Courant d'une charge linéaire.



b- Courant d'une charge non linéaire.

Figure II.1. : Exemple de courant de charge linéaire et charge non linéaire

L'altération des paramètres de l'onde de tension suscités, ou même de courant dans le même intervalle de temps, conduit à supposer la présence d'une anomalie dans le réseau électrique. Ces anomalies sont les perturbations électriques. Ces perturbations sont définies comme l'ensemble des phénomènes internes ou externes au réseau, ayant un pouvoir de modifier d'une manière transitoire ou permanente en amplitude et/ou en forme les grandeurs électriques du réseau (courant, tension,

fréquence). Ils peuvent être classées selon deux critères : la durée de persistance (perturbations périodiques ou perturbations apériodiques) et le mode d'affectation (perturbations sur l'amplitude ou les valeurs efficaces, déséquilibre des systèmes triphasés et distorsions harmoniques) [5, 75, 76, 77]. L'évaluation de la qualité de tension consiste à étudier ces perturbations qui peuvent être comme suit :

Surtensions : C'est l'augmentation de l'amplitude des trois tensions. C'est un phénomène qui se présente sous la forme d'un changement rapide et brutale de l'amplitude dues entre autres, à des coups de foudre. Des surtensions impulsionnelles dues à des manœuvres d'appareils peuvent également se produire sur les réseaux de distribution ou sur les installations des utilisateurs. La protection contre les surtensions d'origine atmosphérique nécessite soit l'emploi de dispositifs de protection (parafoudres), soit l'adoption de dispositions constructives appropriées (distances d'isolement par exemple) [5, 75, 76, 77].

Creux de tension : Le creux de tension est un phénomène qui se prolonge dans le temps allant de 10 millisecondes jusqu'à quelques secondes avec une diminution de l'amplitude allant de 10% à 90%. Par ailleurs, quand la diminution est supérieure à 90% le creux de tension devient une coupure. Il peut être observé lors du fonctionnement d'appareils à charge fluctuante ou de la mise en service d'appareils appelant un courant élevé au démarrage (moteurs, transformateurs...etc.), à des phénomènes aléatoires, comme la foudre ou tous les courts-circuits accidentels [5, 75, 76, 77, 78].

Déséquilibre du système triphasé : on dit qu'une perturbation est du type déséquilibre du système triphasé, lorsqu'on enregistre en régime permanent, des asymétries d'amplitudes et de déphasages des tensions de phases (les trois tensions ne sont pas identiques en amplitude et/ou ne sont pas décalées d'un angle de 120° les unes par rapport aux autres). Le déséquilibre se produit lorsqu'un réseau électrique triphasé équilibré alimente un récepteur électrique triphasé non équilibré [5, 75, 76, 77, 78].

Fluctuations de la fréquence : C'est un phénomène rare dû à certains défauts exceptionnels au niveau de la ligne de production ou du transport. La valeur moyenne de la fréquence doit être dans l'intervalle 50 Hz \pm 1% [5, 75, 76, 77, 78].

II.2.1. Conséquences des perturbations harmoniques

Les harmoniques qui se propagent dans le réseau électrique détériorent la qualité de l'énergie et sont ainsi à l'origine de nombreuses nuisances. La présence d'harmoniques déforme l'allure sinusoïdale de la tension du réseau et affecte les consommateurs alimentés par ce même réseau. Les effets les plus importants sont l'échauffement, l'interférence avec les réseaux de télécommunication, les défauts de fonctionnement de certains équipements électriques et le risque d'excitation de résonance. Ajouter à cela un impact économique sur le consommateur à cause de la dégradation, des pertes énergétiques, [5, 71, 74, 75, 76, 78]. Les effets engendrés par les harmoniques peuvent être classés en deux types ; les effets instantanés et les effets à long terme. Nous citons dans ce qui suit des exemples de ces effets :

II.2.1.1. Effets instantanés

On peut citer les effets instantanés des harmoniques comme suite [5, 71, 74, 75, 76, 78] :

- Dysfonctionnements des dispositifs de commande ou de régulation (détection du passage par zéro, ...).
- Erreur de précision dans les appareils de mesure.
- Vibrations, bruits acoustiques dans les transformateurs ou les inductances dus aux efforts électrodynamiques proportionnels aux courants harmoniques.
- Déclenchement intempestif des circuits de protection.
- Effets de papillotement (flicker) au niveau des éclairages et des affichages des appareils électroniques.

II.2.1.2. Effets à long terme

Les effets à long terme des harmoniques sont récapitulés comme suite [5, 71, 74, 75, 76, 78] :

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

- Échauffements supplémentaires des condensateurs par conduction et par hystérésis dans le diélectrique qui peuvent conduire au claquage.
- Fatigue mécanique des équipements à cause des vibrations et des couples pulsatoires.
- Vieillessement des isolants.

II.3. INDICATEURS DE LA DISTORSION HARMONIQUE

La mesure des harmoniques est très importante car elle permet de caractériser les installations et de s'assurer de la bonne qualité de l'énergie distribuée. Il existe plusieurs méthodes permettant de quantifier et d'évaluer la distorsion harmonique des ondes de tension et de courant [71, 74,75, 76, 77, 78]. On peut citer :

- Le facteur de puissance.
- Le facteur de crête.
- La puissance de distorsion.
- Le spectre en fréquence.
- Le taux de distorsion harmonique.

Ces techniques sont des outils indispensables à la détermination des actions correctrices éventuelles. Le THD (Total Harmonic Distorsion) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.

II.3.1. Facteur de puissance

Le facteur de puissance (FP) permet d'évaluer le surdimensionnement à appliquer à l'alimentation d'une installation. Pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S . Les générateurs, les transformateurs, les lignes de transport et les appareils de contrôle et de mesure sont dimensionnés pour la tension et le courant nominaux [77]. Le facteur de puissance est égal au rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S .

$$PF = P/S \tag{01}$$

La puissance apparente est donnée par

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{02}$$

En présence d'harmoniques, le facteur de puissance est dégradé [5, 71, 80], une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante (D) apparaît. La puissance apparente est séparée en 3 composantes orthogonales comme le montre le diagramme de Fresnel de la figure II.2. Son expression est donnée par l'équation suivante :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \tag{03}$$

Où ; D la puissance déformante liée aux harmoniques.

$$D = 3.V. \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \tag{04}$$

Le facteur de puissance est donné par ;

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \cos\varphi. \cos\gamma \tag{06}$$

γ est le déphasage entre la puissance apparente dans le cas d'un système équilibré linéaire S et la puissance apparente S dans le cas charge non linéaire.

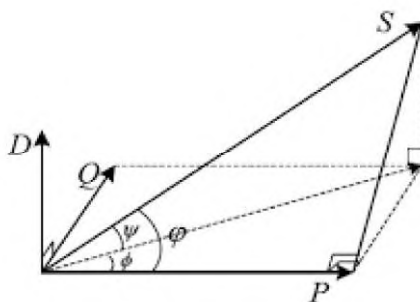


Figure II.2 : Diagramme de Fresnel des puissances.

II.3.2. Taux de distorsion harmonique

Le THD représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental (norme IEC 61000-2-2). Le taux de distorsion caractérise le niveau de pollution du réseau [5, 71, 74, 76, 78]. Il est défini par la relation :

$$THD = \frac{\text{Valeur efficace des harmoniques}}{\text{Valeur efficace du fondamental}}$$

Le taux de distorsion harmonique est habituellement exprimé en pourcentage. Ce qui revient à écrire:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{X_h^2}{X_1^2}} \cdot 100\% \quad (07)$$

Avec : X_1 la valeur efficace du fondamental,

X_h les valeurs efficaces des différentes harmoniques.

Le TDD représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur maximale du courant appelé par la charge. Il est défini par la relation :

$$TDD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{I_h^2}{I_1^2}} \cdot 100\% \quad (08)$$

En présence d'harmoniques de courant pour une tension sinusoïdale, l'expression de PF devient :

$$PF = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (09)$$

II.3.2.1. Signification des valeurs du THD

Le THD caractérise la déformation de l'onde de tension ou du courant, il traduit par une seule grandeur la déformation de l'onde en tension ou en courant. La signification de la valeur du THD mesurée et phénomènes observés dans une installation est décrite dans le tableau II.1 [71, 74].

Valeur de la THD	Signification	Action à faire
$THD_v < 5 \%$	Fonctionnement normale	Aucun dysfonctionnement n'est à craindre.
$5\% < THD_v < 8\%$	Présence de pollution harmonique.	Dysfonctionnements possible
$THD_v > 8 \%$	Une pollution harmonique importante.	Des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et la mise en place de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.
$THD_i < 10 \%$	Fonctionnement normale	Aucun dysfonctionnement n'est à craindre.
$10\% < THD_i < 50\%$	Une pollution harmonique significative	Il y a risque d'échauffements, ce qui implique le surdimensionnement des câbles et des sources.
$THD_i > 50 \%$	Révèle une pollution harmonique importante	Des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et la mise en place de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

Tableau II.1 : Signification des valeurs du THD en tension ou en courant mesurées [71, 74]

Avec : Le THD_v caractérise la déformation de l'onde de tension

Le THD_i caractérise la déformation de l'onde de courant

II.4. TECHNIQUES DE DEPOLLUTION DES RESEAUX ELECTRIQUES

Pour atténuer les effets des perturbations dans le réseau, plusieurs solutions sont possibles, certaines techniques sont plus faciles que d'autre pour être adapter et installer en particulier dans le cas d'une nouvelle installation. Les techniques utilisées pour compenser les perturbations peuvent être classé en deux groupes :

- Techniques traditionnelles qui sont les plus utilisés industriellement,
- techniques modernes qui sont conçus afin de surmonter les limitations des filtres passifs.

II.4.1. Techniques traditionnelles

Afin de dépolluer les réseaux électriques des différentes perturbations, plusieurs solutions peuvent être introduites dont le but est de limiter la propagation et l'effet des harmoniques dans les réseaux électriques. Les techniques traditionnelles apportent une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations bien localisées et utilisent des composants passifs (inductances, condensateurs, transformateurs) et/ou des branchements qui modifient le schéma de l'installation [5, 75, 76, 77, 78].

- **Compensation de la puissance réactive** : La compensation consiste à placer des batteries de condensateurs en parallèle avec le réseau. On peut les placer directement à proximité des charges qui ont un mauvais facteur de puissance (compensation locale) ou près du transformateur d'alimentation (compensation globale).
- **Agir sur la structure de l'installation** : Cette solution suggère d'isoler le système polluant et à l'alimenter séparément. Pour un système pollueur moyen il est préférable d'effectuer l'alimentation par des câbles distincts au lieu de les connecter en parallèle. Une distribution en étoile permet le découplage par les impédances naturelles et/ou additionnelles.
- **Surdimensionnement ou déclassement de l'installation électrique** : on procède généralement au surdimensionnement des équipements afin d'assurer leur tenue aux surcharges harmoniques. Cependant, cette méthode n'offre qu'une solution limitée dans le temps et cause un surcoût de production et ne tire pas profit du potentiel réel de l'installation.
- **Rééquilibrage des courants et des tensions** : Généralement, le déséquilibre dans un réseau électrique basse tension est provoqué par les charges monophasées et biphasées mal-reparties. Pour remédier à cela, il faut répartir les charges d'une manière identique sur les trois phases.
- **Augmentation de la puissance de court-circuit du réseau** : elle permet de réduire la tension créée par les harmoniques de courant, et donc de diminuer le taux de distorsion harmonique en tension au point de raccordement. En revanche, les courants harmoniques ne sont pas atténués.
- **Utilisation de convertisseurs peu polluants** qui ont pour effet de diminuer la distorsion harmonique, par exemple, le montage dodécaphasé.
- **Ajout d'une self** : Afin de limiter le contenu des courants harmoniques générés sur le réseau, une solution consiste à insérer une self de lissage après ou avant le pont de diodes. Avec une

valeur de self définie pour 3% de chute de tension pour le courant nominal du pont de diode

- **Filtres passifs** : C'est une solution de dépollution répondeur et très utilisée. Consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau. Ils sont composés par des éléments passifs comme les inductances, les condensateurs et les résistances.

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

- Manque de flexibilité d'adaptation aux modifications dans le réseau, difficulté de s'adapter aux nouveaux besoins du filtrage ;
- Équipements volumineux ;
- Un problème de résonance peut apparaître entre l'impédance du réseau et des filtres.
- Le filtrage passif peut absorber les courants harmoniques d'autres charges non linéaires et dans ce cas, le filtre passif peut être surchargé,
- Problèmes d'antirésonance, si le réseau est peu chargé.

II.4.2. Techniques modernes

Les solutions de dépollution traditionnelles ne répondent plus à l'évolution des réseaux électriques et des charges à protéger, d'autres solutions modernes ont été proposées. La première solution de dépollution consiste à fabriquer la charge la moins polluante possible, de manière à réduire le taux d'émission d'harmoniques. Les appareils à prélèvement sinusoïdal sont l'une des solutions proposées pour la compensation des harmoniques et de la puissance réactive. D'autres solutions existent pour la compensation contre les perturbations de tension, par exemple la compensation des creux de tension et les surtensions brèves se basent sur l'utilisation de dispositifs de compensation à réserve d'énergie comme les ASIs (Alimentation Sans Interruption). Ces dispositifs sont branchés en série entre le réseau polluant et les charges à protéger afin d'assurer une fourniture de l'énergie électrique même pendant les creux de tension ou les coupures brèves. Le problème est que ces dispositifs sont limités en puissance, et qui n'ont pas une grande flexibilité pour qu'ils puissent toujours s'adapter face aux perturbations de tension. D'autres solutions consistent à utiliser les filtres actifs, ces filtres varient selon la topologie et selon la cible de

compensation (courant ou tension) [75, 76, 77, 78]. En résumé parmi les techniques modernes, nous pouvons citer :

- Les alimentations sans interruption ou de secours (ou ASI, ou en anglais UPS, Uninterruptible Power Supply) ;
- Les systèmes de transmission en courant alternatif flexibles "Flexible Alternating Current Transmission Systems (FACTS)" ;
- Les convertisseurs à prélèvement sinusoïdal ;
- Les filtres actifs de puissance "Active Power Filters (APF)".

Du fait de son importance, dans cette thèse, on va traiter uniquement les Filtres actifs.

II.5. FILTRE ACTIF

Le développement récent des semi-conducteurs de puissance, les thyristors, les GTO et les IGBT d'un côté, et des techniques de traitement numérique du signal d'une autre coté, ont permis de développer un moyen moderne et efficace d'élimination des perturbations harmoniques : le filtre actif. Le rôle d'un filtre actif est de compenser en temps réel les perturbations, en tout ou en partie, présentes dans les réseaux électriques. C'est un dispositif qui satisfait la fonction de dépollution harmonique. Les filtres actifs constituent une alternative intéressante aux solutions classiques, flexibles et auto-adaptatifs, ils viennent s'ajouter à des structures déjà existantes de convertisseurs. Ils peuvent également être utilisés comme complément aux solutions traditionnelles de dépollution. Il en résulte les topologies suivantes [5, 75, 76, 77, 78] :

a. Filtre actif parallèle (FAP) : conçu pour compenser les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et la puissance réactive ;

b. Filtre actif série (FAS) : conçu pour compenser les perturbations de tension comme les harmoniques, les déséquilibres et les creux de tension ;

c. Combinaison parallèle-série actifs (UPQC) : Le conditionneur unifié est une solution universelle pour compenser les perturbations en courant et en tension ;

d. Combinaison hybride active et passive : afin de réduire le dimensionnement et le prix des filtres actifs, l'association des filtres actifs de faibles puissances à des filtres passifs peut être une solution.

II.5.1. Filtre actif *parallèle-série actifs (UPQC)*

Le conditionneur unifié est la combinaison des deux filtres FAP et FAS, il combine les caractéristiques des deux filtres pour permettre un meilleur filtrage du réseau. Le FAP permet de supprimer les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés) produits par les charges de charge non linéaire. Le FAP est connecté en parallèle avec le réseau. Il est commandé comme un générateur de courant. Son principe est d'injecter dans le réseau électrique des courants harmoniques égaux à ceux absorbés par la charge non linéaire mais en opposition de phase, de telle sorte que le courant fourni par le réseau soit sinusoïdal. Ainsi, il empêche les courants harmoniques, réactifs et déséquilibrés de circuler à travers l'impédance du réseau. Par conséquent, Il améliore le taux de distorsion harmonique en courant.

Le filtre actif série est destiné à protéger les installations électriques qui sont sensibles aux tensions perturbatrices tel que les harmoniques, creux, et déséquilibrés, ... provenant de la source et de la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Le FAS joue le rôle d'une source de tension qui fournit la tension harmonique qui s'oppose aux tensions perturbatrices venant de la source, et se comporte comme une impédance infinie aux fréquences harmoniques et comme une impédance nulle à la fréquence fondamentale dont le rôle d'isolateur qui empêche les courants harmoniques de remonter vers le réseau. Ainsi la tension aux bornes de la charge à protéger est purement sinusoïdale [1, 2, 3, 5, 8, 79].

D'après ce qui précède, ni le FAP, ni le FAS de puissance ne sont capables d'effectuer un filtrage total d'où l'utilité d'une combinaison des deux structures. La combinaison parallèle-série actifs, appelée aussi 'Unified Power Quality Conditioner (UPQC)', résulte de l'association des deux filtres actifs parallèle et série. Profitant des avantages des deux filtres, l'UPQC assure un courant et une tension sinusoïdaux du réseau électrique à partir d'un courant et d'une tension perturbés de celui-ci. L'idée de base de cette combinaison est d'isoler d'un côté l'harmonique entre la charge et la source, et d'autre côté de régulariser la tension réseau. L'UPQC permet de réaliser simultanément l'isolation harmonique, tension ou courant, entre la source et la charge et la compensation des différents types de perturbations : harmoniques de courant et de tension, creux tension, surtension et déséquilibre de tension [1, 2, 3, 5, 8, 79].

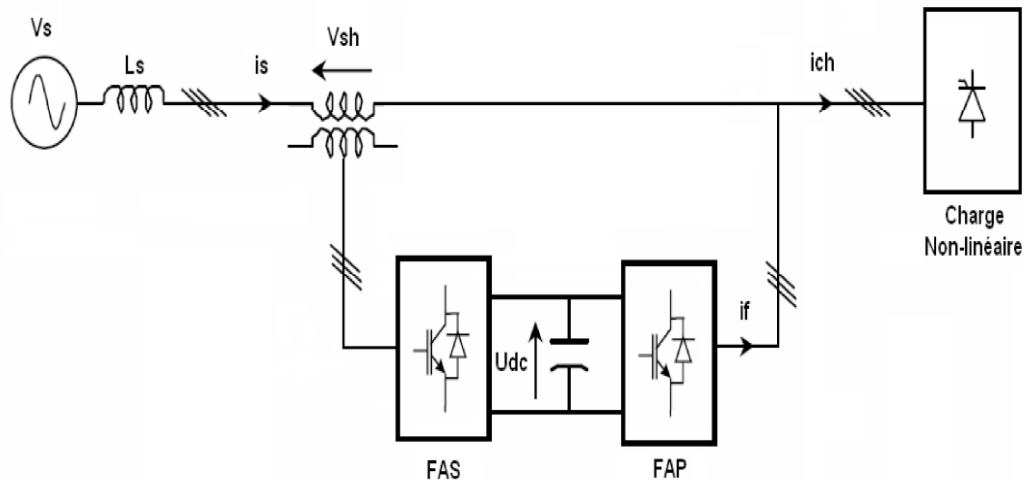


Figure II-3 : Filtre actif de puissance UPQC

II.5.1.1. Principe de fonctionnement

Un filtre actif de puissance se compose d'un onduleur commandé par exemple par la modulation de largeur d'impulsion (MLI / PWM) ou vectorielle (SVM ou SVPWM), connecté au réseau par l'intermédiaire d'un filtre passif, et d'un bus continu. Le but des filtres est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à compenser les perturbations responsables de la dégradation des performances des équipements et installations électriques [1, 2, 3, 5, 8, 75-79]. Un filtre actif de puissance est constitué principalement de deux blocs (puissance et commande) la partie commande est basée sur :

- Le choix d'une méthode d'identification des courants perturbateurs.
- La régulation de la tension appliquée aux éléments de stockage d'énergie.
- La régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.

La partie puissance est constituée par ;

- Un onduleur de tension de puissance à IGBT avec des diodes en antiparallèle.
- Un circuit de stockage d'énergie.
- Un filtre de sortie.
- Transformateur d'injection pour le FAS.

II.5.1.2. Identification des courants harmoniques par la méthode des puissances active et réactive instantanées P-Q

Les méthodes de génération des signaux de référence sont basées sur la comparaison instantanée des signaux de compensation harmonique de référence, sous forme de tension ou de courant, aux signaux harmoniques réels. Le principe est de maintenir la tension ou le courant instantané de référence proche du signal réel avec une tolérance raisonnable [1-9, 79]. Il existe plusieurs méthodes utilisées, ils sont classés en deux domaines temporel et fréquentiel. Les plus connues de ces stratégies sont, la méthode des puissances instantanées, et la méthode de référentiel synchrone d-q.

Cette méthode est basée sur la mesure des variables instantanées triphasées présentes sur le réseau électrique avec ou sans composantes homopolaires. Cette méthode est valide aussi bien en régime permanent qu'en régime transitoire. Dans cet algorithme de contrôle, les mesures des tensions et des courants exprimés sous forme triphasée (a-b-c) sont converties en système biphasé (α, β) équivalent à l'aide de la transformée de Concordia qui laisse la puissance invariante. Ainsi, les puissances sont décomposées en une composante continue, liée au fondamental, et en une composante alternative, liée aux harmoniques, qui peuvent être séparées en utilisant un filtre passe-haut [1-9]. La transformation de Concordia, permet d'exprimer les tensions et les courants par la relation suivante :

$$\begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Après la transformation, les composantes de la théorie PQ sont calculées, où P est la puissance active instantanée, et Q est la puissance réactive instantanée.

$$\begin{pmatrix} p_L \\ q_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Les courants de compensation de référence dans les coordonnées a-b-c (i_{sa}^* , i_{sb}^* , i_{sc}^*) sont déterminés en appliquant la transformation de Clarke inverse aux courants dans les coordonnées α - β -0, comme démontré dans l'expression :

$$\begin{pmatrix} i_{sa}^* \\ i_{sb}^* \\ i_{sc}^* \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} p^* \\ q^* \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Cette méthode est aussi applicable pour identifier les harmoniques de courant à condition que les tensions soient non polluées (sinusoïdales). Si ce n'est pas le cas, on peut avoir le recours à la méthode des puissances active et réactive instantanées modifiée, où on intègre un système PLL (phase locked loop) pour extraire les fondamentales des tensions polluées. On peut aussi appliquée pour extraire les harmoniques de tension.

II.5.1.3. Commande des filtres actifs de puissance par MLI vectorielle (SVPWM)

Il y a plusieurs algorithmes utilisés pour commander l'onduleur. Le but de toutes les stratégies de commande est de réduire les pertes de commutation et les harmoniques, d'assurer une commande précise, permettre la meilleure reproduction des courants perturbés de référence, à travers les ordres de commande appliqués aux drivers interrupteurs de puissance. Une grande variété d'approches comme celle de l'hystérésis, la modulation en largeur d'impulsion (MLI), la modulation vectorielle SVM (Space Vector Modulation), Commande MLI vectorielle (SVPWM), et la Commande intelligente (Réseaux de neurones, logique floue, ...), ... sont des méthodes permettant le pilotage des convertisseurs statiques [1-9, 77-79]. La méthode de contrôle SVPWM sera développée dans ce qui suit.

La SVPWM, est une modulation en temps réel. Elle utilise le fait qu'un vecteur peut représenter les trois tensions d'un système triphasé de somme nulle. Elle est conduite en synchronisme sur les trois phases. Cette technique de MLI suit les principes suivants :

- Le signal de référence est échantillonné à intervalles réguliers T (MLI régulière),
- Pour chaque phase, réalisation d'une impulsion de largeur T centrée sur la période (MLI symétrique) dont la valeur moyenne est égale à la valeur de la tension de référence à l'instant d'échantillonnage.

L'approche vectorielle considère l'ensemble des états de la tension en sortie des trois bras de pont comme un vecteur unique dans le plan (α, β) grâce à la transformation triphasée-diphasée basée sur la matrice de Clarke (ou de Concordia). Le codage des commutations possibles des interrupteurs du haut des bras de l'onduleur peut être effectué sur trois états (Ca, Cb, Cc), ce qui donne huit vecteurs possibles dont deux sont nuls (V_0 et V_7). La représentation sur le plan (α, β) de ces huit vecteurs est donnée par la figure II.4.

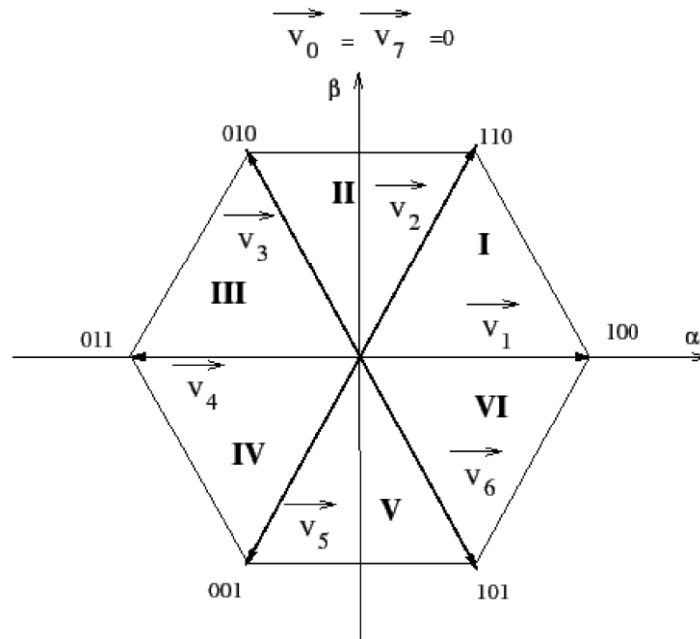


Figure II.4 : Vecteurs tensions de sortie de l'onduleur dans le repère de Concordia

Vecteur	C1	C2	C3
\vec{V}_0	0	0	0
\vec{V}_1	1	0	0
\vec{V}_2	1	1	0
\vec{V}_3	0	1	0
\vec{V}_4	0	1	1
\vec{V}_5	0	0	1
\vec{V}_6	1	0	1
\vec{V}_7	1	1	1

Tableau II.2 : Vecteurs tensions de sortie de l'onduleur

II.6. CONCLUSION

La qualité électrique dépend de la nature la charge et des différentes perturbations courant ou tension pouvant intervenir lors du fonctionnement du réseau électrique. L'objectif de ce chapitre est la mise en évidence des différentes définitions et normes régissant la qualité de l'énergie électrique et définir le filtre actif de type UPQC intégrés dans un réseau électrique pollué alimentant des charges non linéaires pour montrer ses capacités de filtrage des harmoniques de tension et de courant.

Le filtre UPQC est adopté comme technique de filtrage du réseau électrique. L'étape suivante sera consacrée à l'étude du comportement du filtre UPQC lorsqu'il est exposé à un défaut de l'un des composants d'électronique de puissance des deux onduleurs constituant l'UPQC.

CHAPITRE

III

III.1. INTRODUCTION

Le fonctionnement, la sécurité, la fiabilité, les performances, la qualité et la continuité de service constituent des préoccupations majeures dans les systèmes de production d'énergie électrique. La défaillance d'un organe peut entraîner des perturbations. Si la détection et la compensation du défaut n'est pas rapide, cela peut mettre gravement en danger le fonctionnement du système voire l'arrêt, donc une perte de temps et des pertes économiques très considérables, Nous avons vu précédemment que le diagnostic est la procédure qui consiste à détecter et localiser un composant ou un élément défectueux, et que l'objectif du diagnostic est de rechercher les causes et de localiser les organes défaillants.

Nous allons, dans ce chapitre, donner les définitions et les notions concernant les défauts et les défaillances en générale. Ensuite, on se focalise sur les défauts qui peuvent intervenir au niveau des convertisseurs statiques, leurs statistiques, leurs causes ainsi que leurs effets. Nous terminerons le chapitre par la simulation d'un des défauts les plus fréquent, qui est le défaut de type circuit ouvert du transistor, pour mettre en évidence son influence sur les différentes grandeurs (tension et courant) de l'association UPQC-réseau électrique. Le défaut de type court-circuit du transistor sera mentionné mais pas étudié, étant donné que sa présence cause le court-circuit du bus continu, où le courant dépasse la valeur tolérée, et par suite l'enclenchement immédiat du système de protection (fusible sensible ou driver de protection). Dans le cas d'un défaut de type circuit ouvert du transistor, le courant du bus continu et les courants de phase seront déformés sans dépasser les valeurs tolérées, ce qui rend la protection ou la détection de ce défaut difficile à mettre en place. Cela provoque la dégradation de la qualité de filtrage, où l'UPQC injecte des courants et des tensions de formes différentes par rapport à leurs références. Par conséquent, l'UPQC ne compense pas les harmoniques de courant de la charge non linéaire et les harmoniques de tension du réseau électrique, mais il injecte plus d'harmoniques de courant et de tension. Dans ce sens, la dernière partie de ce chapitre permettra l'étude de l'influence du défaut de type transistor en circuit ouvert sur les grandeurs électriques du système UPQC-réseau électrique. Cette étape permettra d'orienter la mise au point du système de diagnostic automatique, et par la suite, la commande tolérante aux défauts.

III.2. DEFAUTS DANS UN SYSTEME

Un défaut est caractérisé par une altération du fonctionnement partielle ou globale, temporaire ou permanente, pouvant être réparable ou corrigée tant que l'intégrité des composants n'en est pas affectée. Ce sont des événements qui apparaissent à différents endroits du système.

Lorsque l'on conçoit un système de diagnostic, la première question que l'on se pose, est de savoir ce que l'on veut détecter, c'est-à-dire de définir le type de dysfonctionnement que l'on veut diagnostiquer. Les défauts affectant un système peuvent être de différentes natures et sont généralement classés en défauts d'actionneurs, défauts de capteurs et défauts de système. Ainsi on pourra être amené à détecter des biais, des dérives et/ou des valeurs aberrantes. Selon l'influence sur les systèmes, les défauts peuvent être classés additifs et multiplicatifs. Généralement dans la littérature, les défauts sont classés en fonction de leur localisation (emplacement) [9, 14, 22, 28, 81]. Donc, il est possible de distinguer trois types de défauts, à savoir :

- **Défauts actionneurs** : modélisés en général comme des signaux additifs aux signaux d'entrée, ils agissent au niveau de la partie opérative et détériore ainsi le signal d'entrée du système.
- **Défauts systèmes** : modélisés en général comme des dynamiques additionnelles avec une matrice de distribution, ils s'identifient par la modification des caractéristiques du système.
- **Défauts capteur** : modélisés en général par des signaux additifs aux signaux de sortie, ils fournissent une mauvaise image de l'état physique du système.

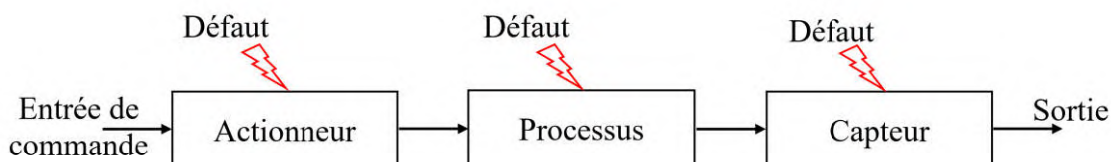


Figure III.1 : Défauts actionneurs, capteurs et système

III.2.1. Défaillance d'un système

Une défaillance du système est une altération ou l'impossibilité du système à accomplir ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques) [9, 14, 22, 28, 82, 83]. Ceci peut intervenir de quatre manières différentes :

- **Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser.
- **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.

- *Fonction dégradée* : la fonction ne se réalise pas parfaitement : altération des performances.
- *Fonction intempestive* : la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée.

III.2.2. Causes de défaillance

Les causes de la défaillance sont nombreuses et diffèrent d'un système à un autre. Elles sont fortement liées aux circonstances de la conception, la fabrication ou l'emploi du composant défaillant. L'origine des pannes provient de la conception du produit mais également des dérives de composants ou sous ensemble d'usure : pollution, oxydation, capacités, bus intermédiaire, composants de puissance. Les origines de la défaillance d'un composant électronique peuvent être classées en deux catégories externes ou internes.

Origines externes

Les origines externes sont dues aux contraintes principalement environnementales appliquées au composant durant son fonctionnement normal tel que l'humidité, les températures extrêmes, les radiations ionisantes naturelles ainsi que la poussière et la contamination, ... etc.

Origines internes

Elles peuvent être dues aux "défauts" induits dans le composant durant les différents procédés de fabrication (malformation de l'oxyde de grille, défauts de pureté du cristal de silicium, défaut de réalisation du packaging...) : ce sont des causes dites internes.

III.3. DEFAILLANCE DU FILTRE ACTIF

Comme nous l'avons mentionnée dans le chapitre précédent, les convertisseurs statiques (onduleurs) sont la composante essentielle dans un système de filtrage actif du réseau électrique. Les défauts des filtres actifs proviennent de la commande du convertisseur (défauts d'un des drivers), d'un des capteurs ou d'un des composants de puissance (condensateur, diode, IGBT) [11, 84,85]. Ces défauts lorsqu'ils surviennent conduisent à l'altération de la bonne marche du système voire son arrêt. Les défauts affectant le filtre actif sont [11, 84,85] :

- Défaut de court-circuit du bus continu ;
- Défaut d'isolement d'une phase ;
- Défaut du condensateur ;
- Défaut des diodes classiques ;

- Défaut du circuit de commande (Vieillessement de l’optocoupleur) ;
- Vieillessement ;
- Court-circuit d’un interrupteur statique ;
- Circuit ouvert d’un interrupteur statique.

La figure III.2 met en évidence les types de défauts peuvent apparaître dans les éléments constituant le convertisseur tels que les composants semi-conducteurs de puissance, les capacités du bus continu, les circuits d'alimentation, etc. La figure III.3 montre la répartition des causes de ces défauts. Il apparait clairement que les composants de puissances sont des composants sensibles aux défauts avec un pourcentage de 21%, avec les condensateurs avec un taux de 30% [86, 87, 88,89, 90]. Les autres défauts sont certes importants et peuvent entraîner une détérioration des performances du convertisseur ou même un arrêt imprévu du système, mais ne constitue pas un axe d’étude dans ce travail.

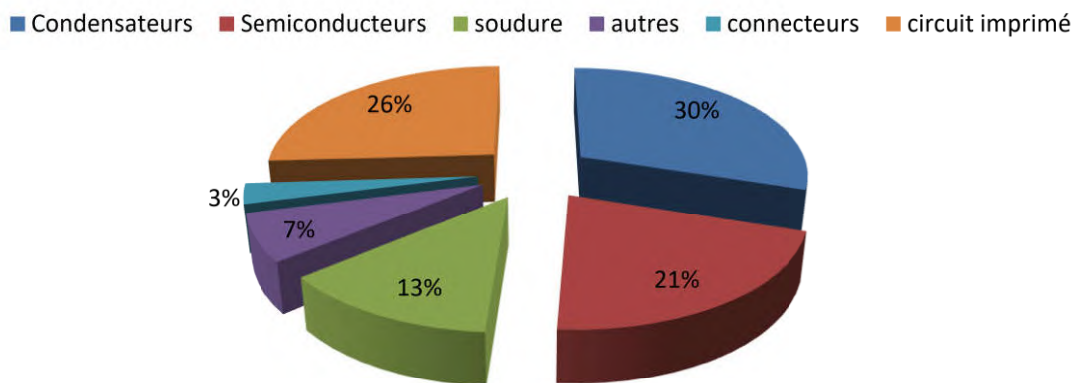


Figure III.2 : Répartition des défaillances dans les convertisseurs de puissance [86, 87, 88,89, 90].

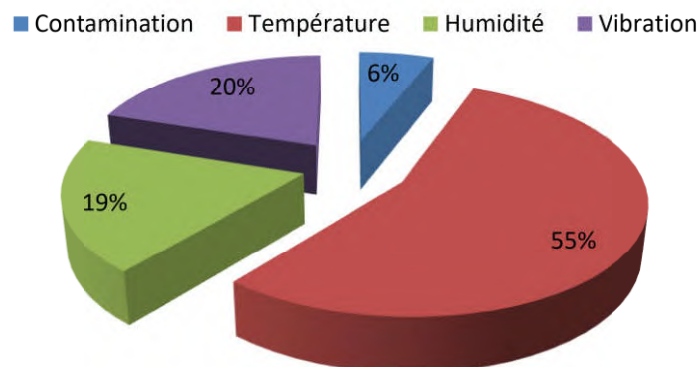


Figure III.3 : Causes des défaillances dans les convertisseurs de puissance [89, 90].

III.3.1. Causes de destruction du transistor IGBT

La figure III.3 démontre que la température de fonctionnement est un intervenant principal dans le taux de défaillance des systèmes électroniques. La surcharge thermique est la cause de défaillance la plus fréquente dans les systèmes électroniques modernes. L'élévation de température excessive du composant provoque un changement physique des puces IGBT et diodes qui entraînent un comportement irréversible du composant [9, 14, 22, 86-92]. L'élévation anormale de la température peut être provoquée de différentes manières :

- ***cyclage et fatigue thermique*** : l'augmentation des résistances thermiques des modules IGBT due au cyclage thermique engendre une augmentation anormale de la température du module IGBT en fonctionnement normal. Les brasures se fragilisent lors des cycles de température. Le contact surfacique se dégrade et le transfert thermique diminue (résistance thermique locale augmente). La température et l'excursion de température augmentent jusqu'à arriver à la destruction du module.
- ***court-circuit*** : en cas de court-circuit, la puissance dissipée par les puces IGBT est énorme. La température croît très rapidement. Sans protection, le module IGBT est détruit en un temps assez court : de quelques μs à quelques dizaines de μs .
- ***amorçage dynamique*** : la structure quatre couches de l'IGBT peut être amorcée de façon irréversible lors de forts dv/dt sur le composant. Le composant n'est plus commandable à l'ouverture par la grille et est voué à une mort rapide.
- ***avalanche*** : lors de l'ouverture des modules IGBT, une surtension est observée, elle est due à la décroissance du courant dans les inductances de câblage.

III.3.2. Défaut de type court-circuit

Le défaut de type court-circuit d'un interrupteur apparaît quand l'un des deux interrupteurs reste continuellement à l'état passant. Le court-circuit se produit lorsque le deuxième interrupteur est à son tour commandé à la fermeture. Un tel défaut peut avoir deux causes : soit la mise en court-circuit physique de la puce de silicium (IGBT ou diode) par dépassement de température critique, soit la défaillance de la commande rapprochée, problème de connectique entre la carte de commande et le driver). Dans ce cas, le courant de bras en court-circuit dépasse fortement la valeur tolérée. Ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable au convertisseur et nécessiterait la mise en œuvre de sécurité permettant de déconnecter le bras défaillant dès l'apparition de cette défaillance [9, 14, 22, 91, 92].

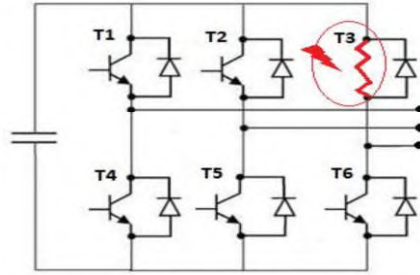


Figure III.4 : Défaillance de type court-circuit de transistor

III.3.3. Défaut de type circuit ouvert

Un défaut de type circuit-ouvert se traduit généralement par une perte totale ou partielle du fonctionnement de l'un des IGBTs constituant le convertisseur statique, il se produit pour diverses raisons, une défaillance de grille, une défaillance de la commande rapprochée, une coupure d'un fil de liaison dans le transistor, ou un courant de collecteur extrêmement élevé. Le défaut d'ouverture d'IGBT se manifeste par la perte d'une alternance positive ou négative du courant de sortie de l'onduleur en fonction de l'emplacement du composant endommagé au niveau du bras défaillant, celui-ci sera visible soit sur l'alternance positive du courant (défaut sur IGBT supérieur), soit sur l'alternance négative (défaut IGBT inférieur) sans dépasser les valeurs tolérées. En effet, le défaut de circuit ouvert conduit à l'apparition d'un déséquilibre entre les tensions des transistors d'un même bras. Les tensions et les courants portent les signatures du défaut et peuvent être donc analysées pour détecter et localiser ce défaut. Les défauts de circuit ouvert ne causent généralement pas l'arrêt du système, mais dégradent ses performances [9, 14, 22, 91, 92].

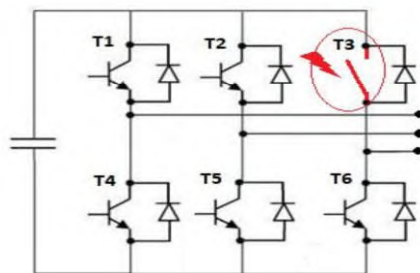


Figure III.5 : Défaillance de type circuit ouvert de transistor

En résumé, les défaillances au niveau des commutateurs doivent être détectées et compensées indépendamment de leurs natures (court-circuit ou circuit ouvert), car en plus de la dégradation des performances du système, ils peuvent se propager et engendrer d'autres défaillances dans la chaîne de conversion d'énergie.

III.4. ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU PUPQC EN PRESENCE DU DEFAUT DE TRANSISTOR EN CIRCUIT OUVERT

Dans cette section, nous allons présenter les conséquences d'un défaut "circuit-ouvert de transistor". L'opération consiste à simuler l'un des driver en circuit-ouvert. Nous effectuons la simulation sur tous les drivers du système UPQC, l'un après l'autre. La position des interrupteurs est illustrée dans la figure III.6.

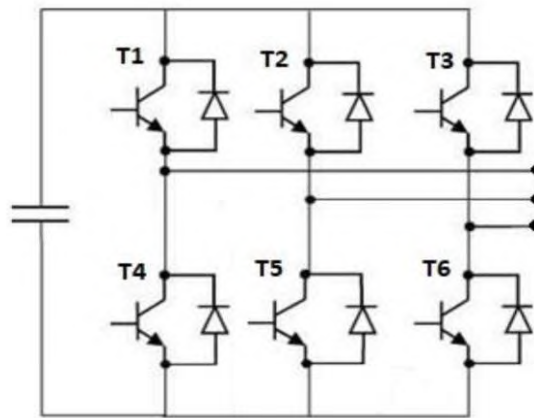
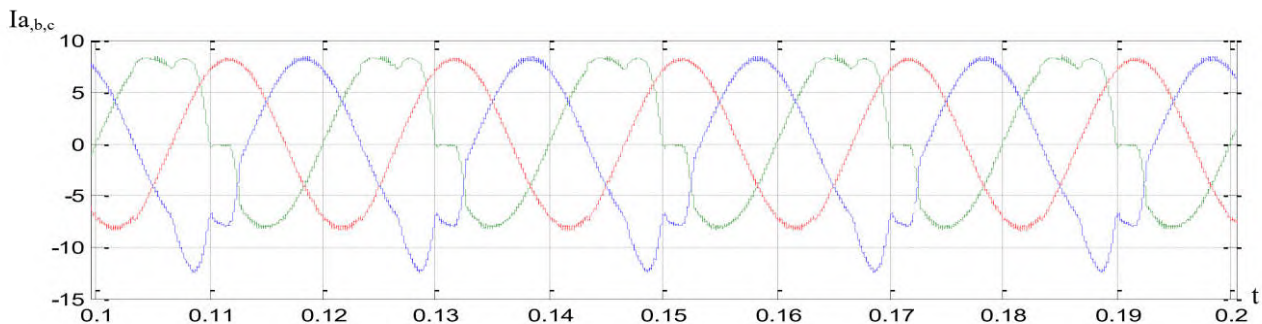


Figure III.6 : Positions des interrupteurs d'électronique de puissance dans l'onduleur du filtre UPQC.

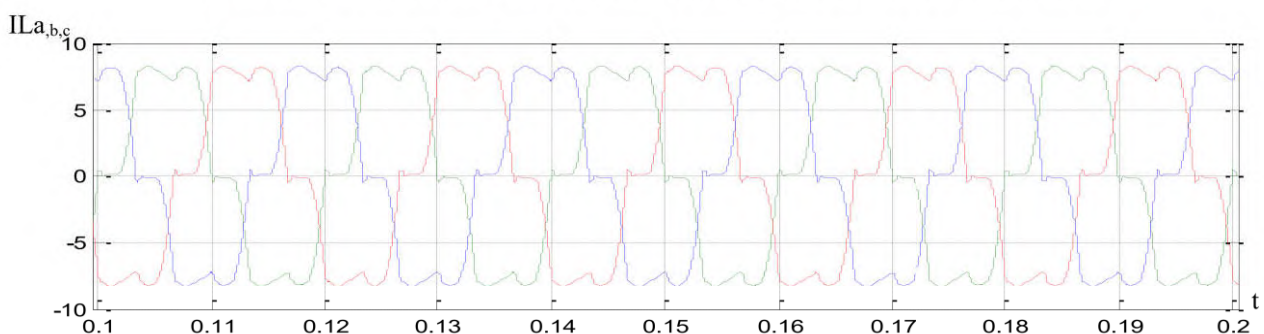
III.4.1. Etude de l'influence d'un défaut type circuit ouvert de transistor sur les grandeurs électriques du réseau

Pour extraire des indicateurs fiables de défauts, on procède à l'analyse du comportement, en mode sain et en mode dégradé du filtre actif UPQC à base d'onduleurs à deux niveaux. Une première analyse est faite pour déterminer l'influence d'un défaut de type transistor en circuit ouvert sur les différentes grandeurs du réseau électrique (tension et courant). Le défaut peut apparaître n'importe où dans les filtres constituant l'UPQC ; pour cela nous procédons en premier lieu, à appliquer le défaut sur le filtre actif parallèle (FAP), et ensuite sur le filtre actif série (FAS). L'analyse et l'études des figures qui vont suivre métrant en évidence la présence de ce défaut et son influence sur les différentes grandeurs du réseau.

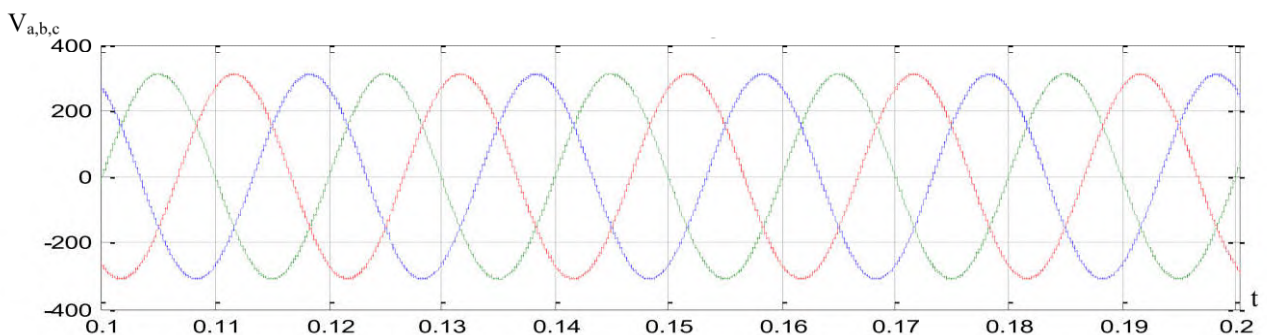
III.4.1.1. Influence d'un défaut type transistor en circuit ouvert coté FAP sur le réseau électrique



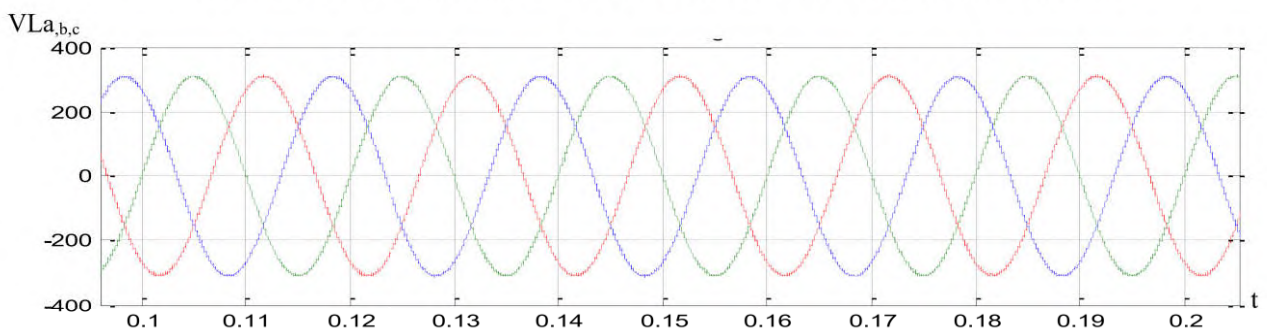
a- Influence d'un défaut C.O sur les courants de source I_a , I_b et I_c



b- Influence d'un défaut C.O sur les courants de charge IL_a , IL_b et IL_c



c- Influence d'un défaut C.O sur les tensions de sources V_a , V_b et V_c

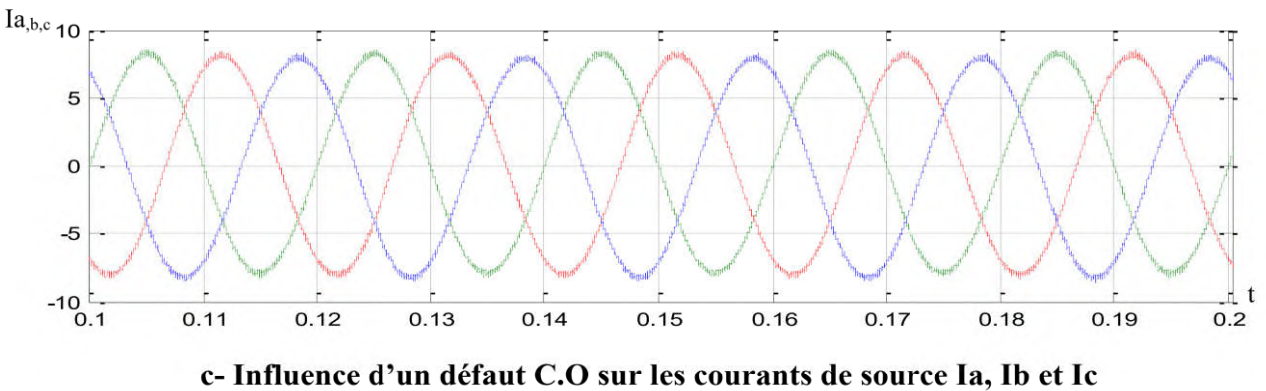
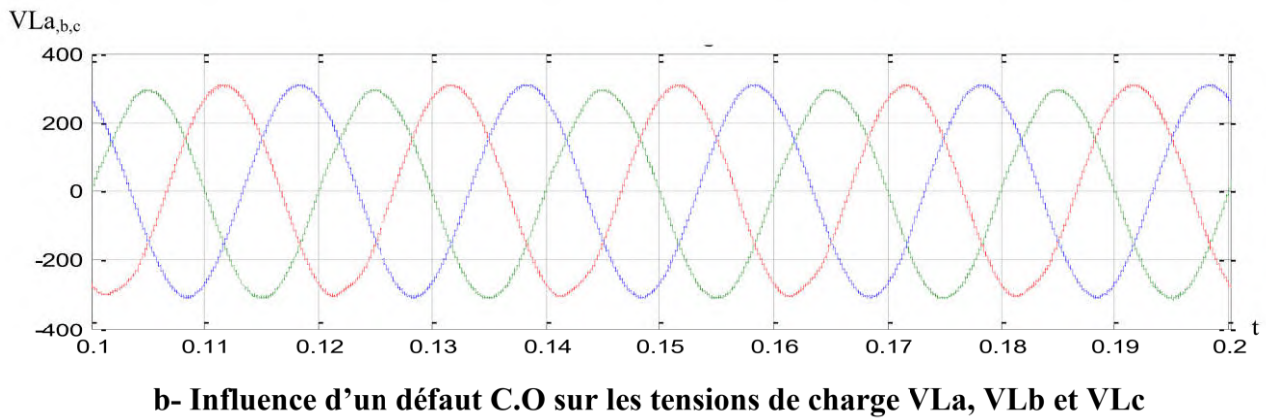
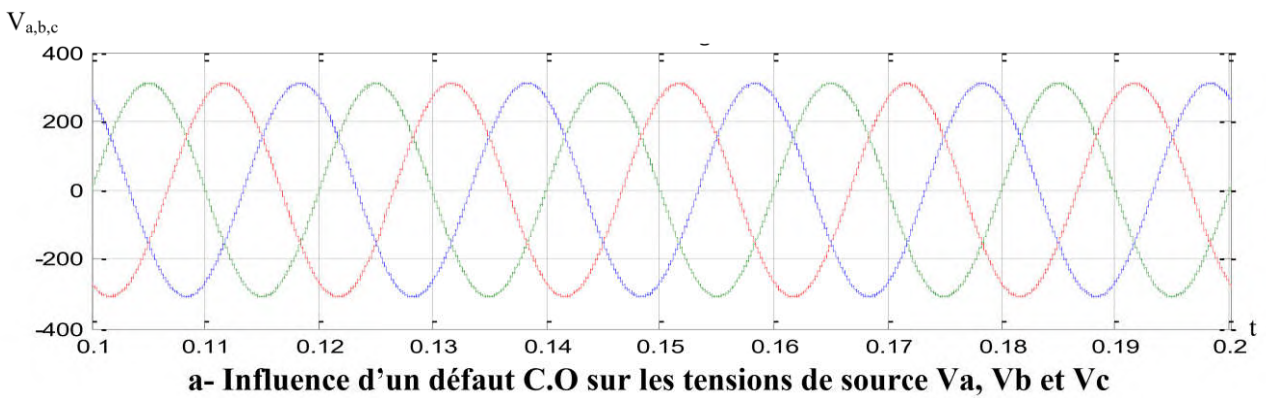


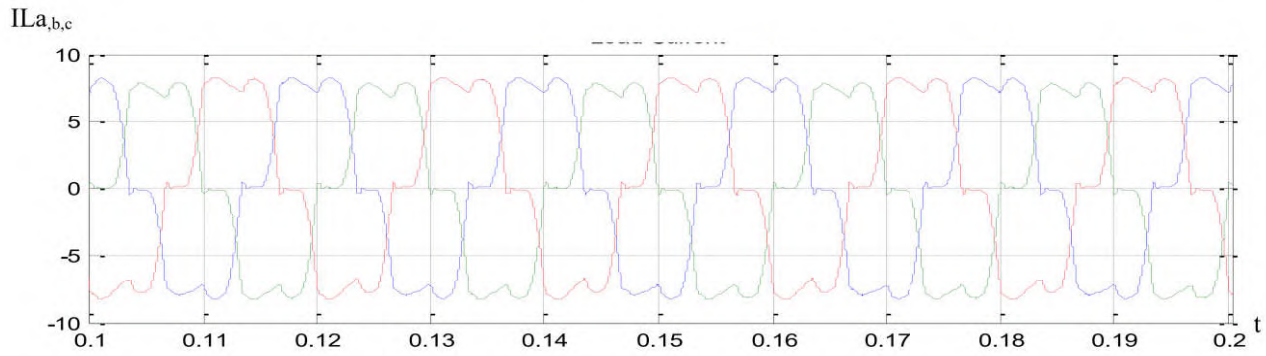
d- Influence d'un défaut C.O sur les tensions de charges VL_a , VL_b et VL_c

Figure III.7 : Représentation des courants et tensions du réseau électrique lors d'un défaut de type transistor en circuit ouvert intervenant sur le FAP

La première analyse de l'ensemble des signaux présent sur le réseau électrique (figure III.7) met en évidence la présence d'un défaut d'onduleur et l'incapacité de l'UPQC à compensé et réduire l'influence de la charge non linéaire sur le réseau électrique. Il apparait clairement une déformation de la forme sinusoïdale concernant le courant de source, le courant de charge n'étant pas soumis à l'influence du FAP (le filtre actif influence le côté source du réseau). Le THD du courant passe de 1.49% à 16.63% pour la phase où le défaut apparait. La tension quant à elle n'est pas influencée par l'apparition d'un défaut C.O au niveau du FAP.

III.4.1.2. Influence d'un défaut type circuit ouvert de transistor coté FAS sur le réseau électrique





d- Influence d'un défaut C.O sur les courants de charge I_{La} , I_{Lb} et I_{Lc}

Figure III.8 : Représentation des courants et tensions du réseau électrique lors d'un défaut de type transistor en circuit ouvert intervenant sur le FAS.

L'apparition d'un défaut C.O d'un transistor dans le filtre FAS de l'UPQC, conduit à l'apparition d'une déformation au niveau de la tension injectée par le FAS, et par la conséquent au niveau de la charge. Une hausse de la THD de 0.80% à 2.6% pour la phase où apparait le défaut. Le courant de source n'est pas influencé par ce défaut, car le FAP n'est pas influencé par un défaut apparent au FAS.

III.4.2. Analyse détaillée de l'influence d'un défaut de type circuit ouvert de transistor

Après démonstration de l'influence du défaut de type circuit ouvert de transistor dans d'un filtre UPQC sur les grandeurs électriques du réseau électrique, nous allons étudier plus en détails les différentes perturbations provoqués par ce type de défauts sur les formes d'ondes des tensions et des courants. Pour cela, cette étude se focalisera sur l'analyse des déformations intervenus sur :

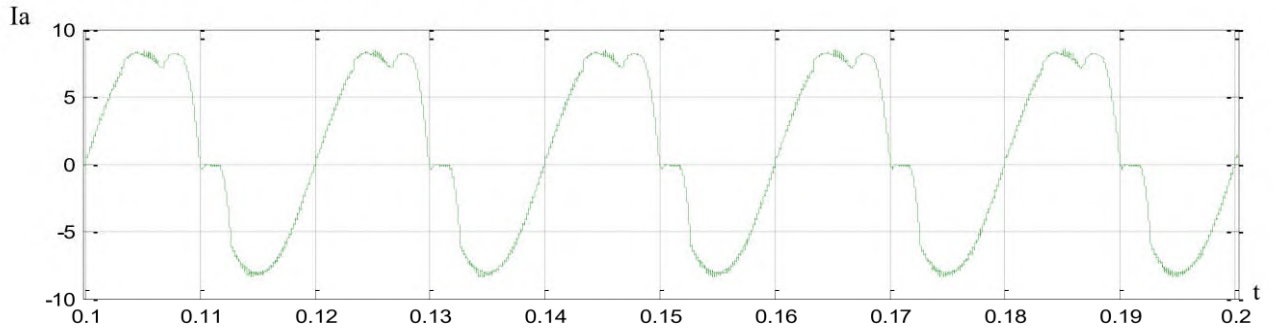
- Les courants de source et les courants injectés par le FAP,
- Les tensions de charges et les tensions injectées par le FAS,
- Analyse spectrale (Spectre harmonique) des différents signaux ainsi que les THD correspondants.

On procédera à la simulation de l'association Réseau électrique équilibré-Charge polluante, tout en maintenant ouvert à partir de l'instant $t=0.10s$, à chaque fois, un des transistors de l'onduleur, et on observe l'évolution des différentes grandeurs électriques de l'UPQC. On procède à l'étude des défauts liés au filtre actif FAP, et ensuite ceux du FAS. Lors de la simulation des défauts au niveau du FAS, nous allons étudier l'influence du défaut tous en prenant en compte les perturbations de

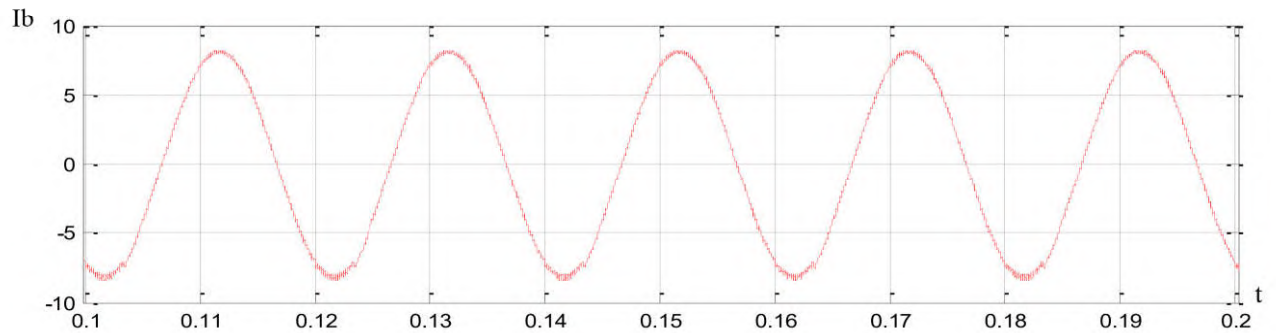
tension (creux de tension) déjà observé dans le chapitre précédent. L'étude est faite sur tous les transistors des deux filtres constituant l'UPQC, 6 cas pour chaque filtre et 12 cas dans la globalité.

III.4.2.1. Analyse de l'influence d'un défaut de type transistor en circuit ouvert au niveau du FAP

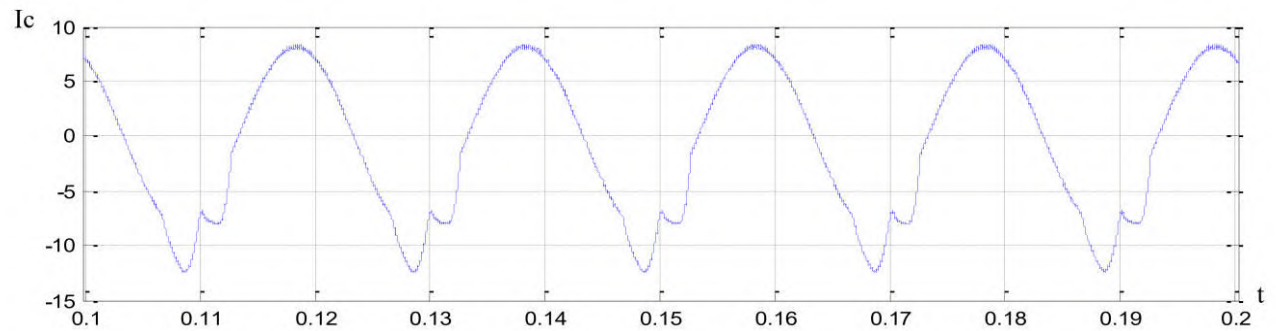
Transistor T1 (1^{er} bras haut) maintenu ouvert



a- Courant de source Ia



b- Courant de source Ib



c- Courant de source Ic

Figure III.9 : Forme des différents courants de source dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T1 du FAP

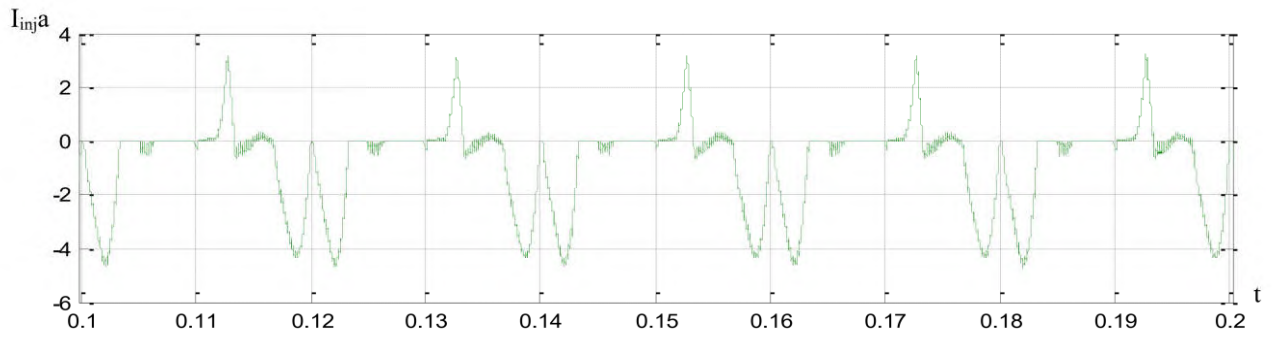
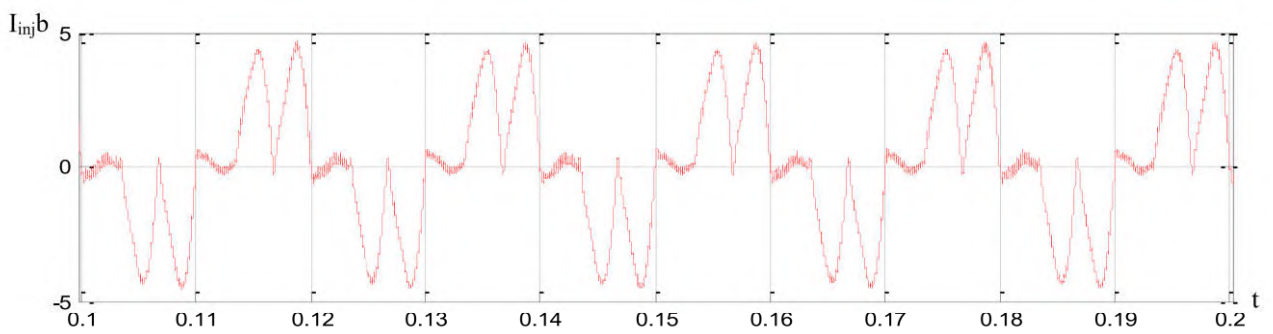
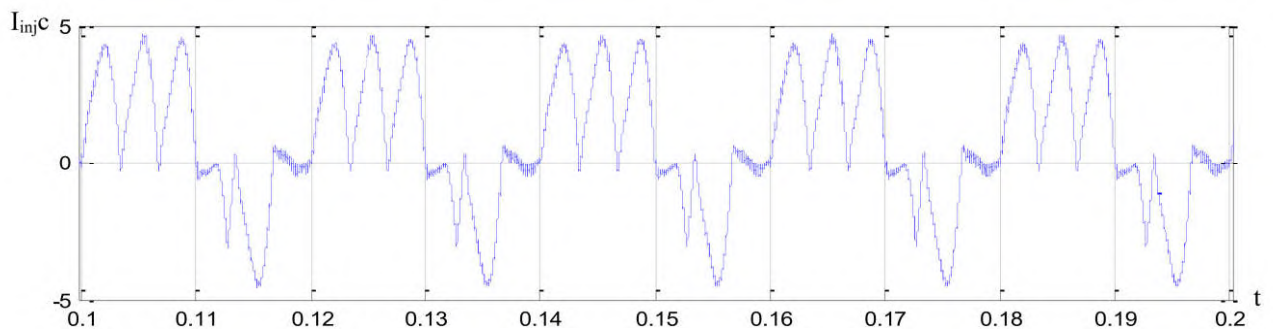
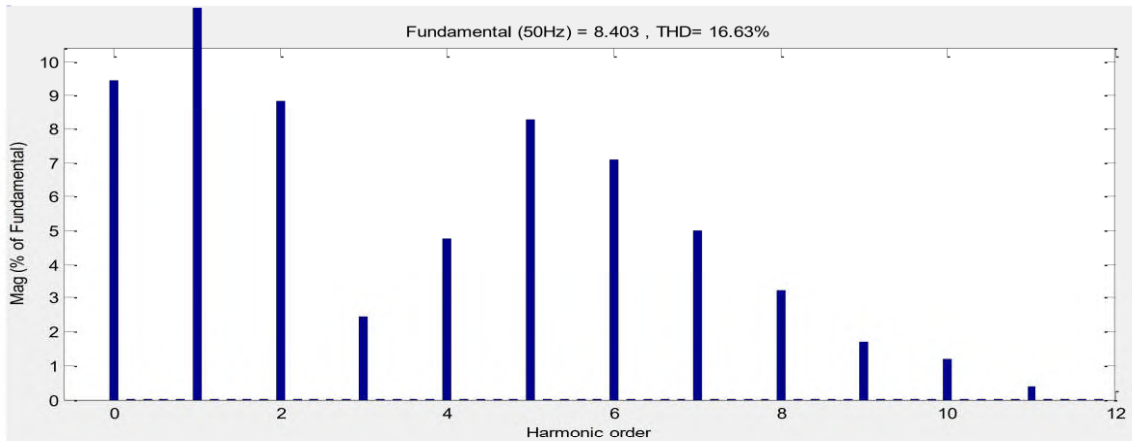
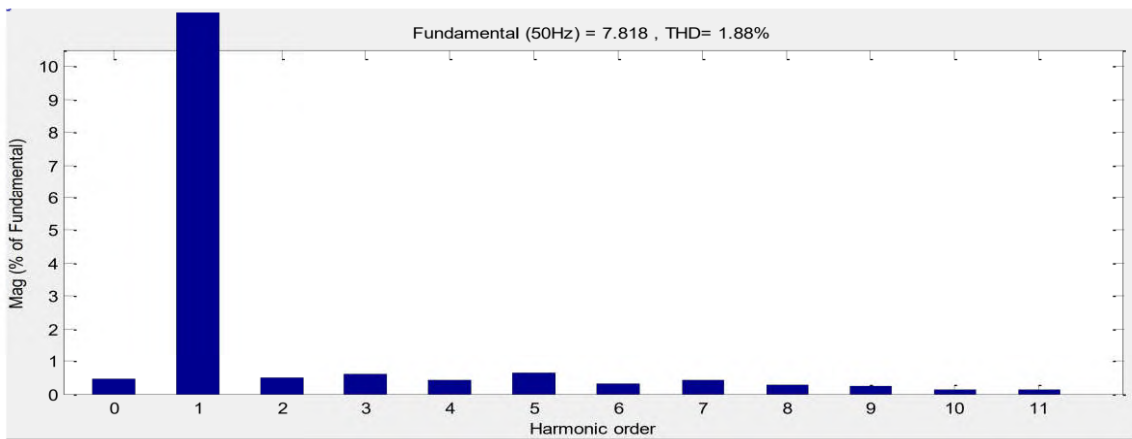
**a- Courant injecté Ia****b- Courant injecté Ib****c- Courant injecté Ic**

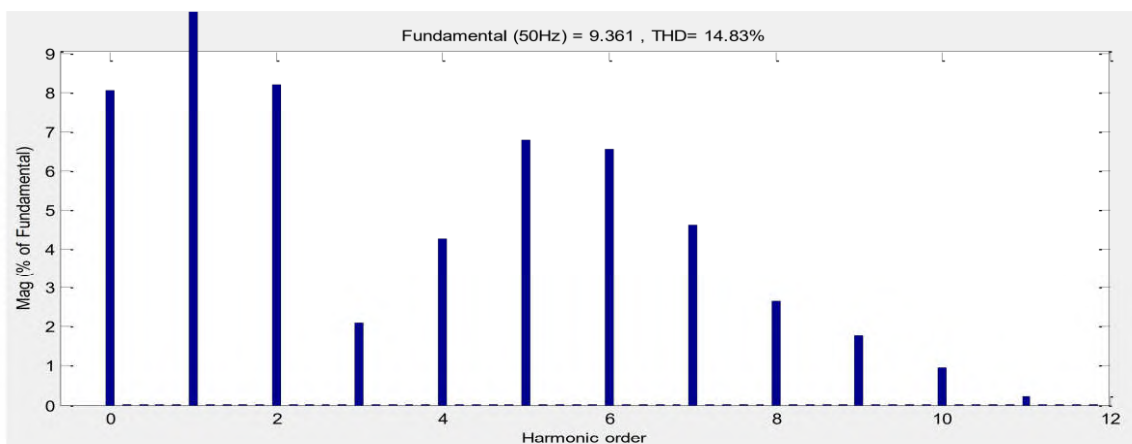
Figure III.10 : Forme des courants injectés dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T1 du FAP



a- Spectre harmonique du courant de source Ia



b- Spectre harmonique du courant de source Ib



c- Spectre harmonique du courant de source Ic

Figure III.11 : THD des courants de source dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T1 du FAP.

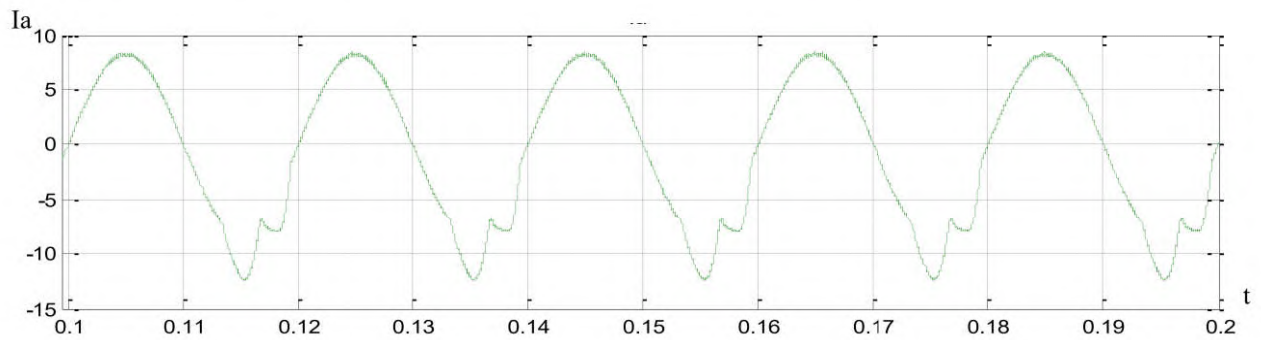
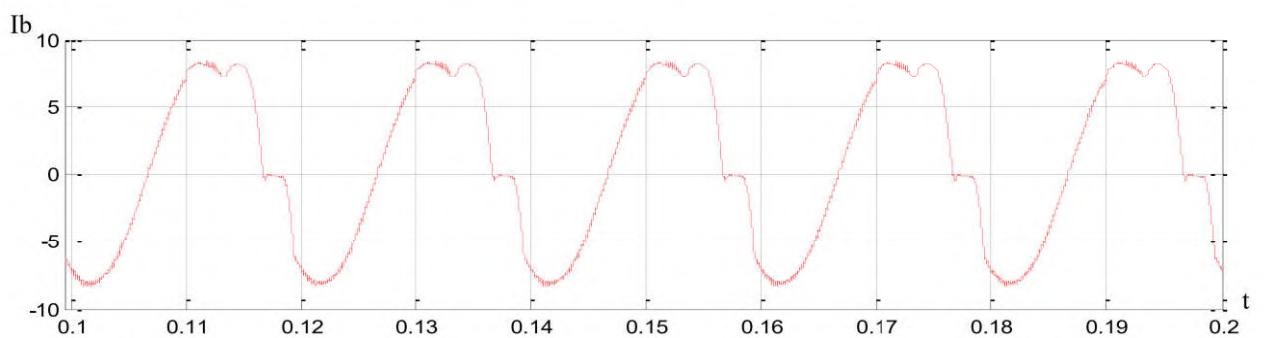
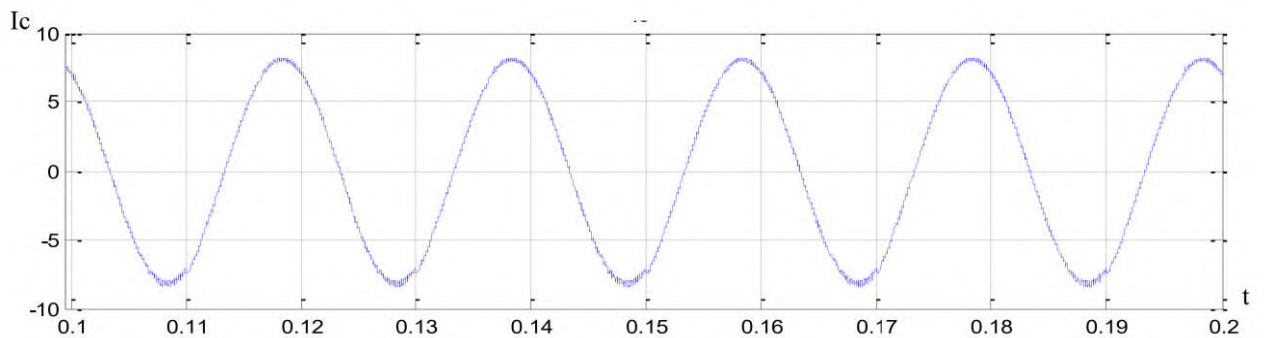
Transistor T2 (2^{ème} bras haut) maintenu ouvert**a- Courant de source Ia****b- Courant de source Ib****c- Courant de source Ic**

Figure III.12 : Forme des différents courants de source dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T2 du FAP.

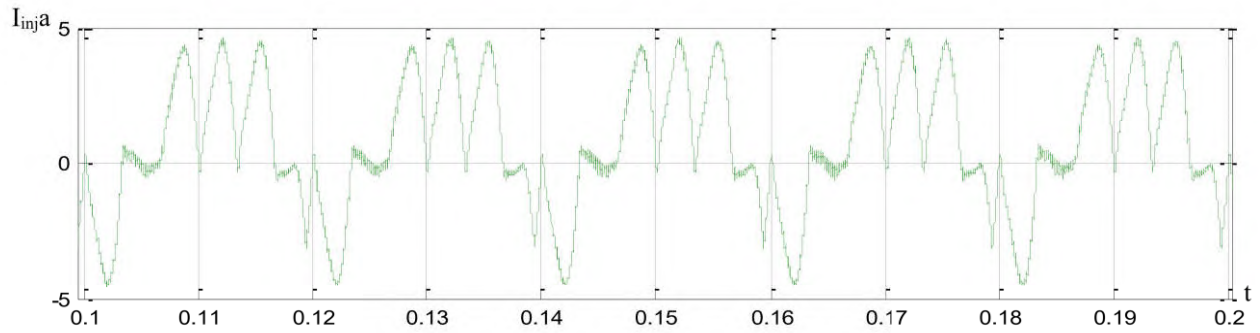
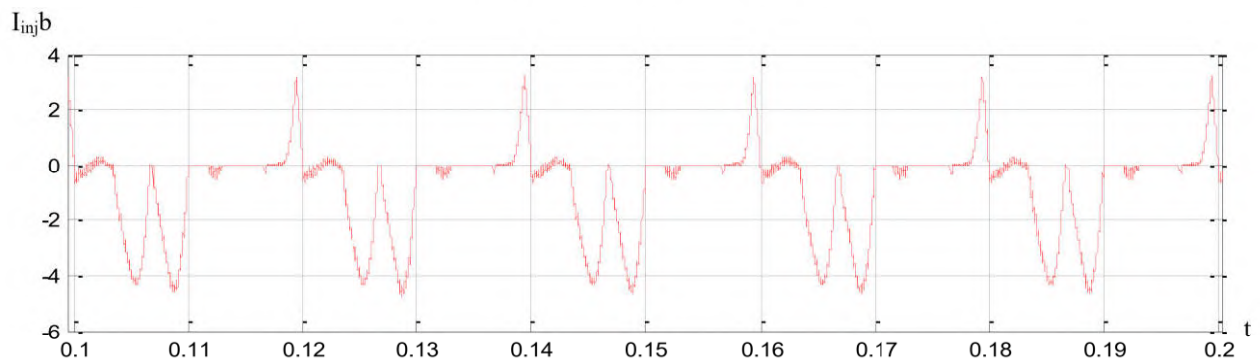
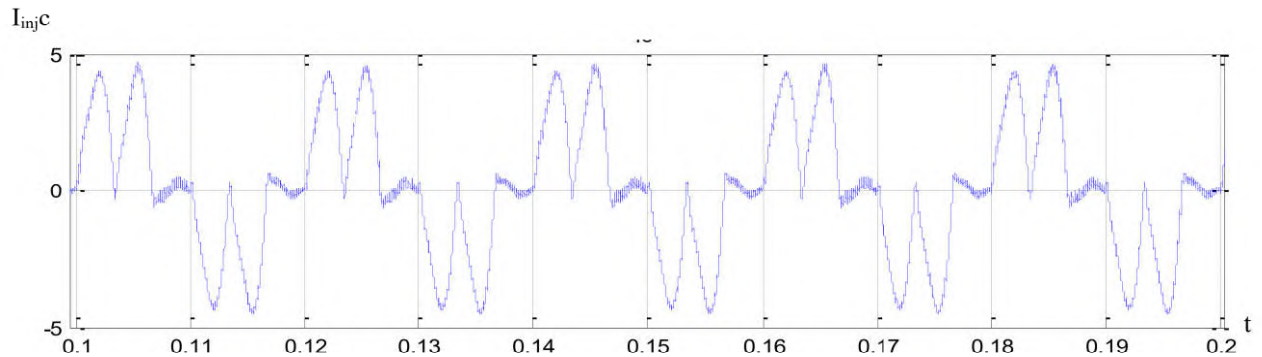
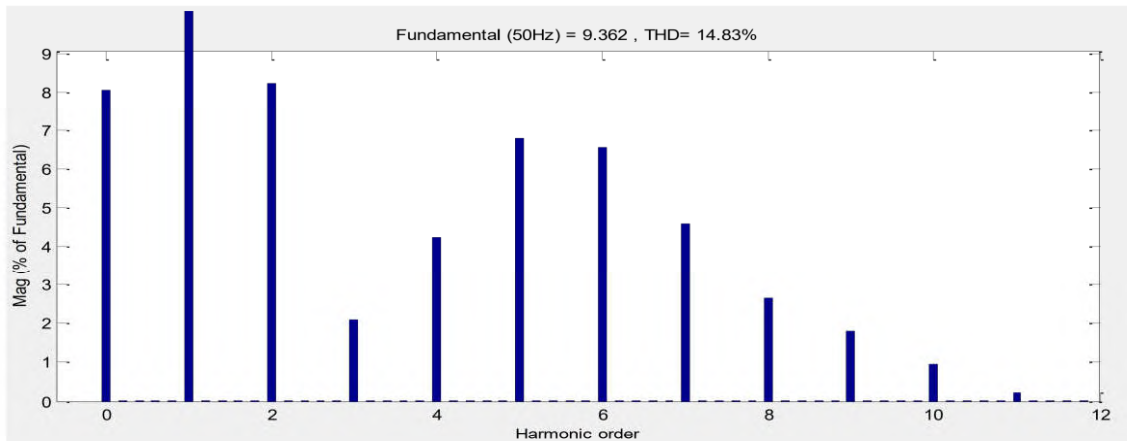
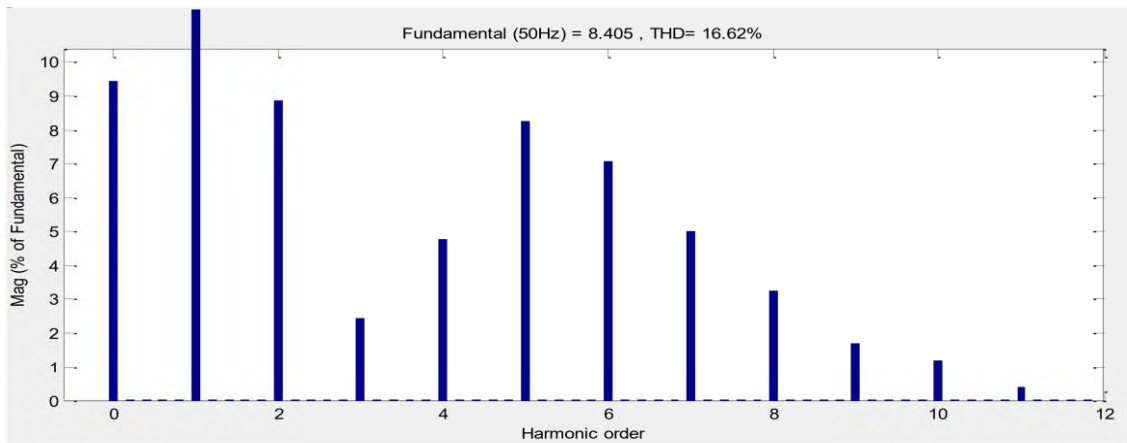
**a- Courant injecté Ia****b- Courant injecté Ib****c- Courant injecté Ic**

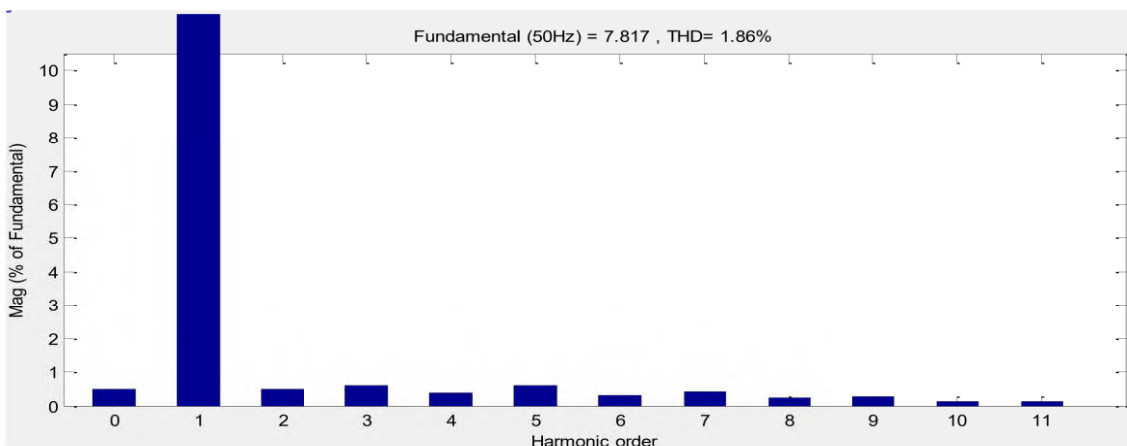
Figure III.13 : Forme des courants injectés dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T2 du FAP.



a- Spectre harmonique du courant de source Ia

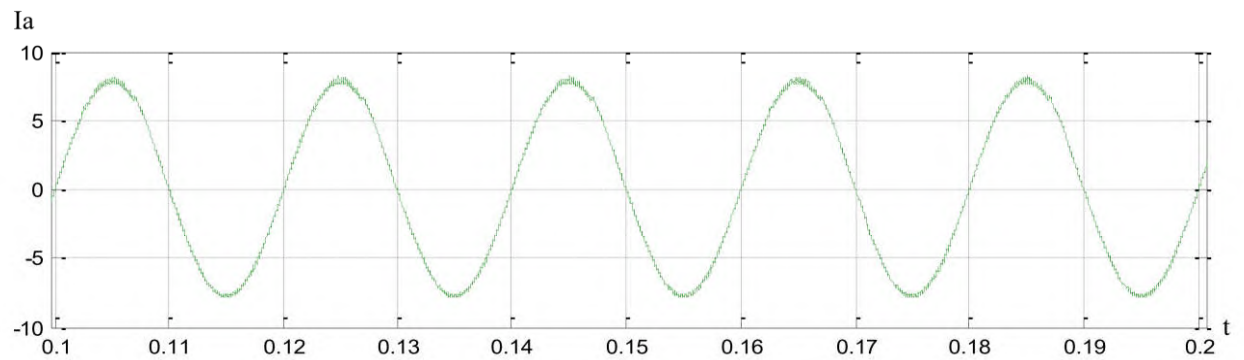
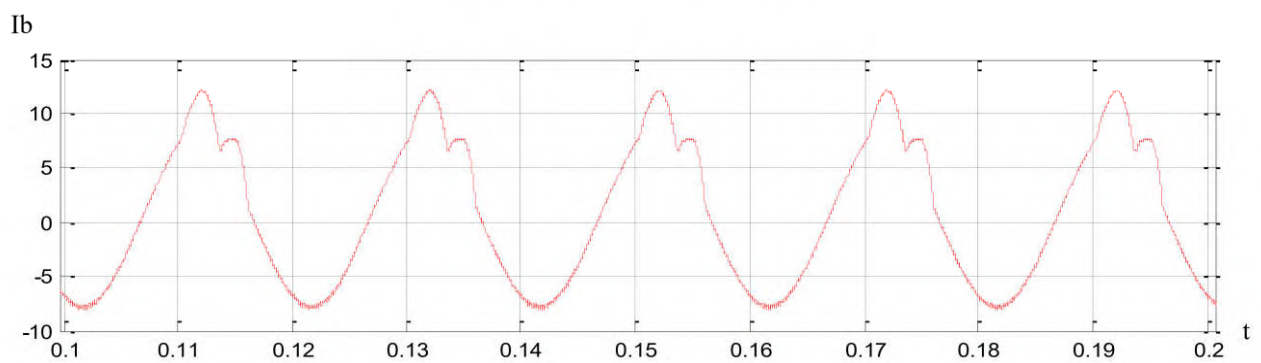
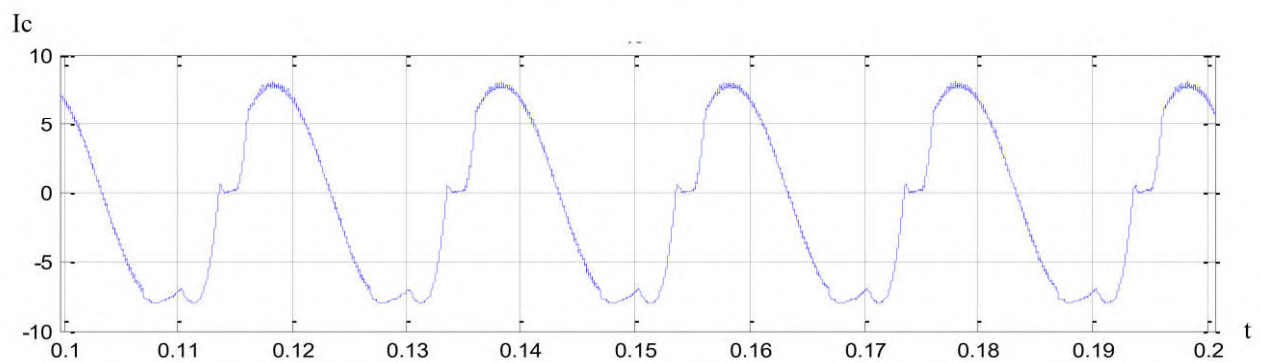


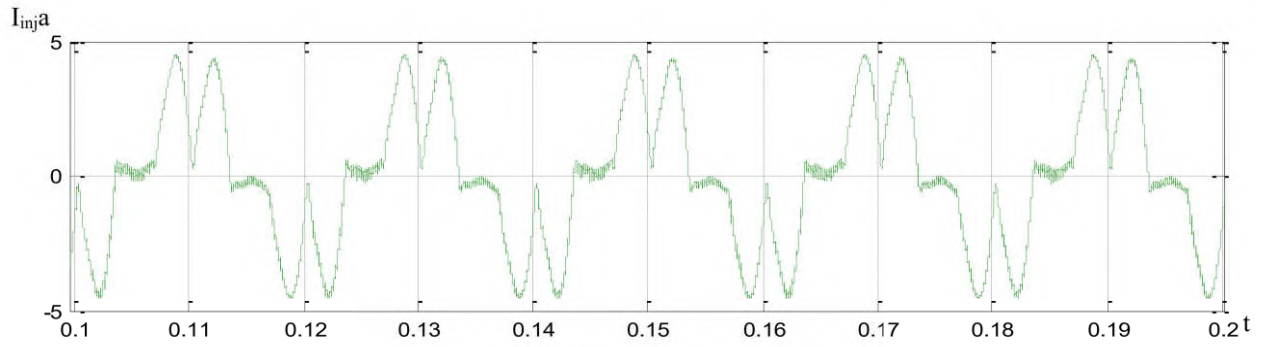
b- Spectre harmonique du courant de source Ib



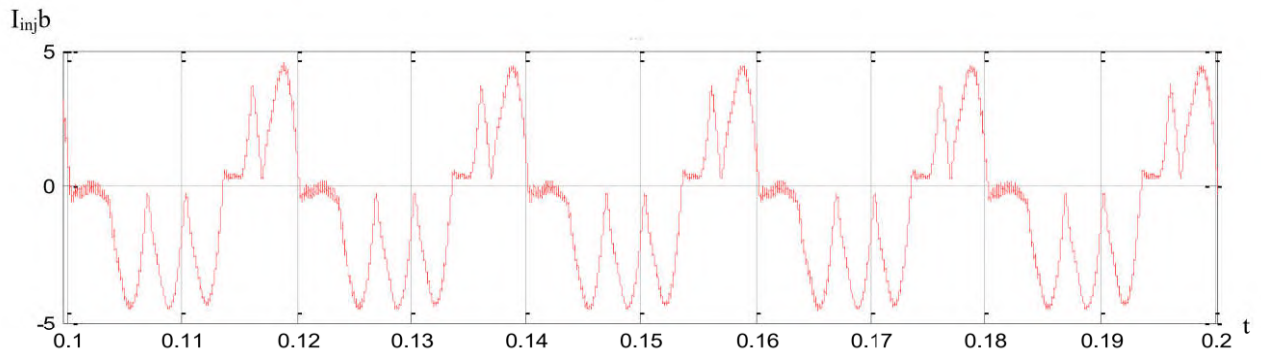
d- Spectre harmonique du courant de source Ic

Figure III.14 : THD des courants de source dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T2 du FAP.

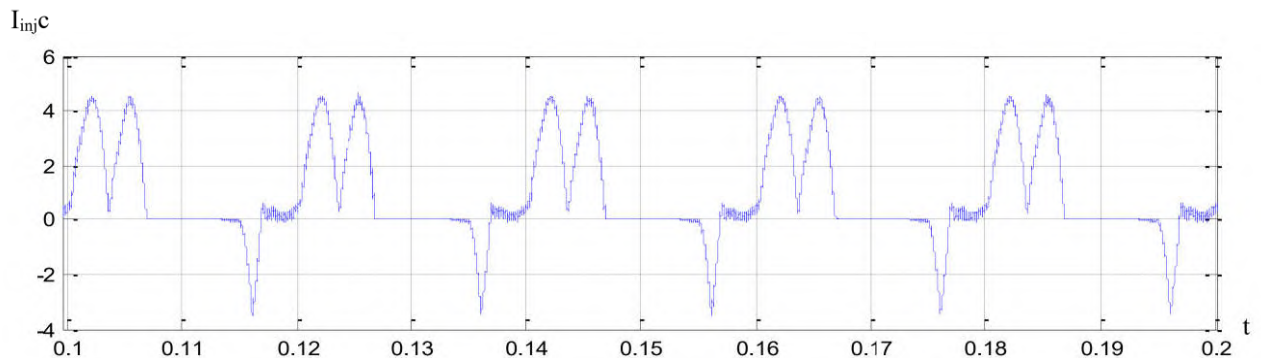
Transistor T6 (3^{ème} bras bas) maintenu ouvert**a- Courant de source Ia****b- Courant de source Ib****c- Courant de source Ic****Figure III.15 : Forme des différents courants de source dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T6 du FAP.**



a- Courant injecté Ia

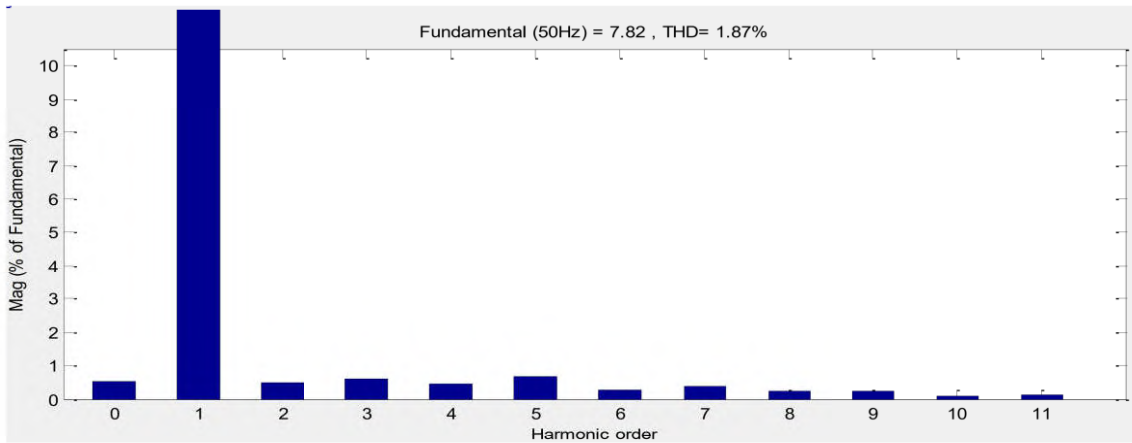


b- Courant injecté Ib

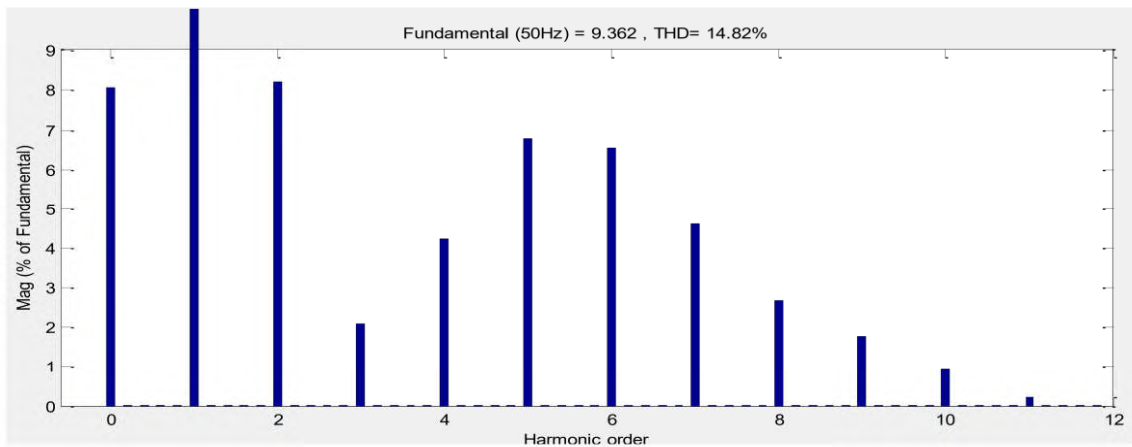


c- Courant injecté Ic

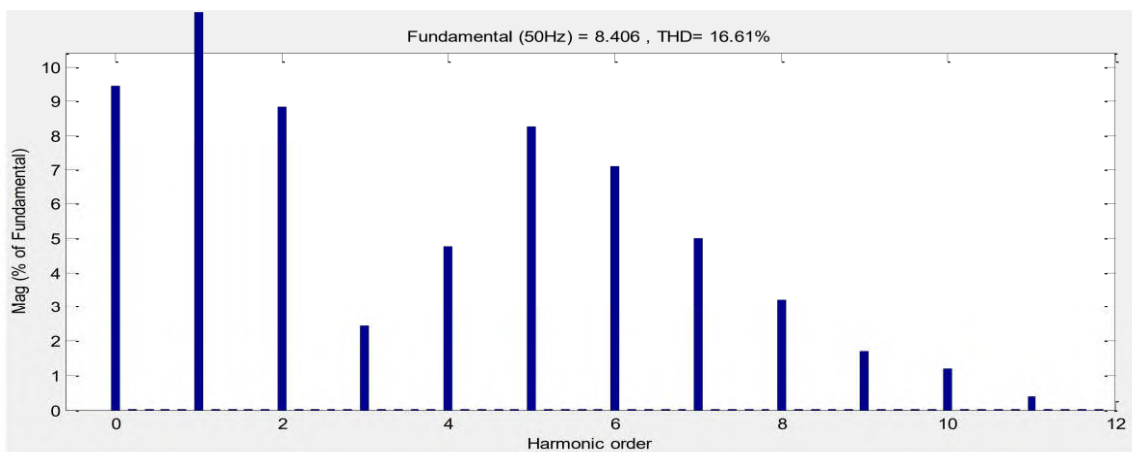
Figure III.16 : Forme des courants injectés dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T6 du FAP.



a- Spectre harmonique du courant de source Ia



b- Spectre harmonique du courant de source Ib



c- Spectre harmonique du courant de source Ic

Figure III.17 : THD des courants de source dans le cas de défaut d'un circuit ouvert du transistor T6 du FAP.

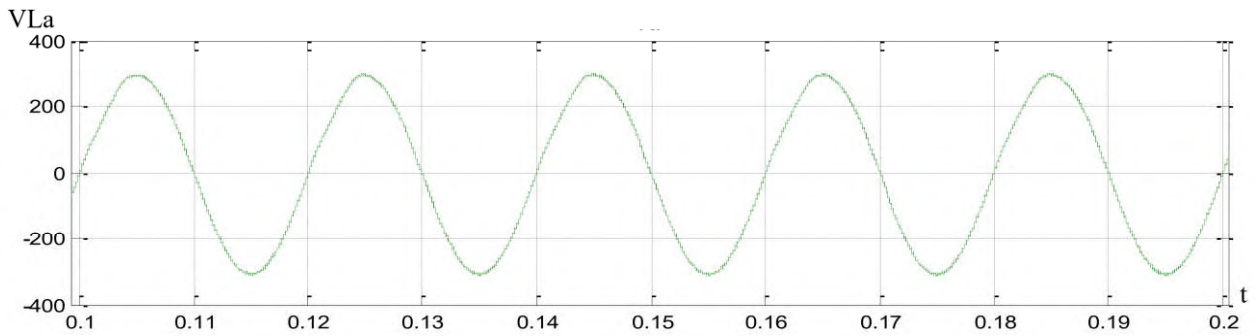
Après l'apparition du défaut sur l'un des interrupteurs de l'onduleur du FAP, celui-ci sera visiblement remarquable, soit sur l'alternance positive du courant injecté (défaut sur IGBT supérieur), soit sur l'alternance négative de ce courant (défaut IGBT inférieur).

Si le transistor maintenu ouvert est l'un des transistors du haut (T1, T2 et T3), le courant de la phase du FAP liée au bras dont le transistor est défaillant perd la quasi-totalité de la partie positive de sa forme, tout en conservant sa nature périodique et sa période.

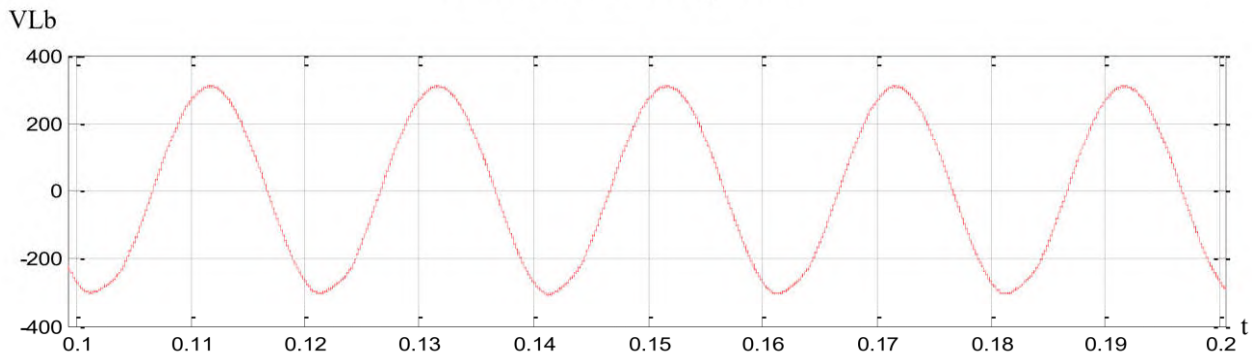
Si le transistor défaillant est l'un des transistors du bas (T4, T5 et T6), le courant de la phase du FAP liée au bras dont le transistor est défaillant perd la quasi-totalité de la partie négative de sa forme et présente une valeur moyenne positive, tout en conservant sa nature périodique et sa période.

III.4.2.3. Analyse de l'influence de défaut de type circuit ouvert de transistor au niveau du FAS

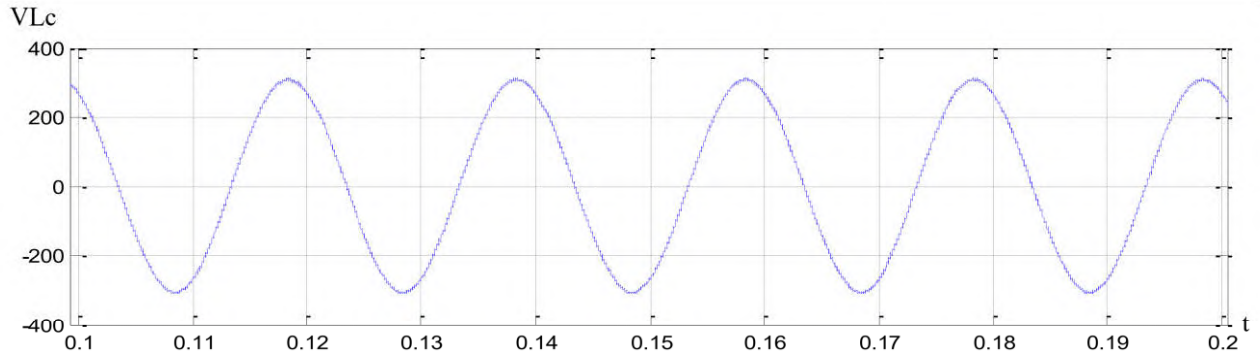
Transistor T1 (1^{er} bras haut) maintenu ouvert



a- Tension de charge VL_a

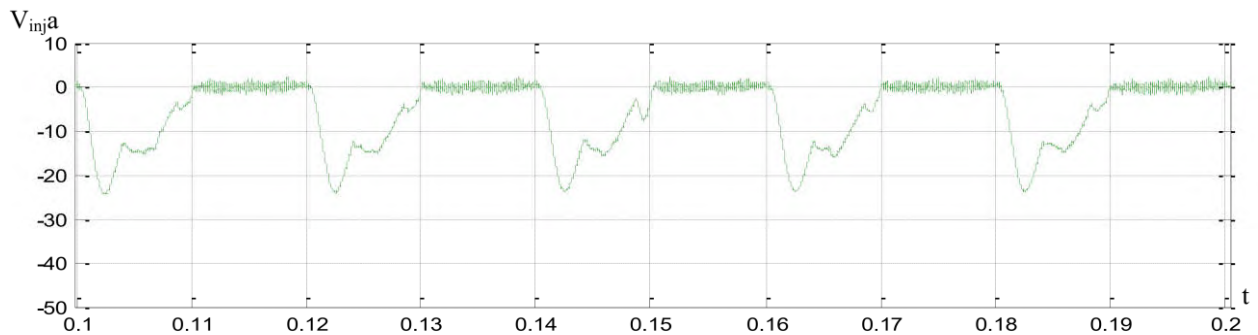


b- Tension de charge VL_b

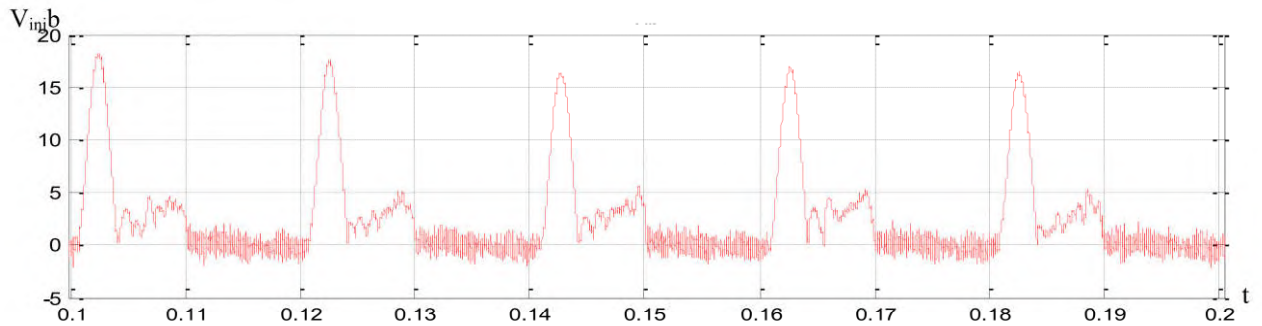


c- Tension de charge VLc

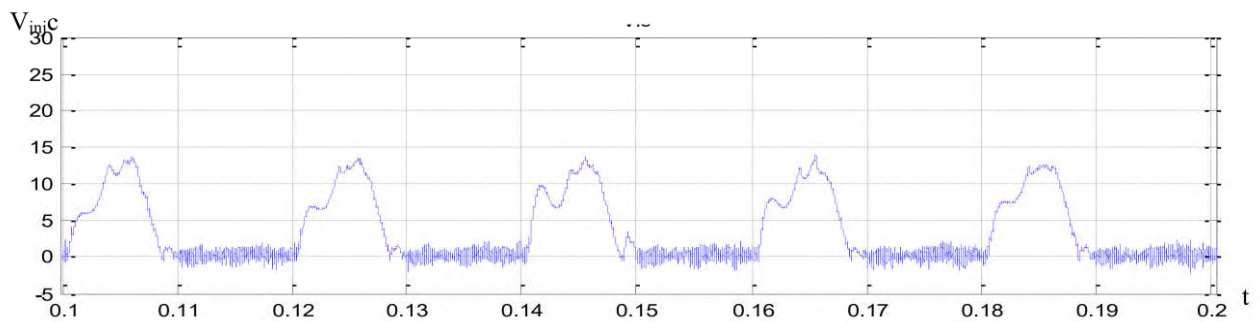
Figure III.18 : Forme des tensions de charge dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T1 du FAS.



a- Tension injecté Va

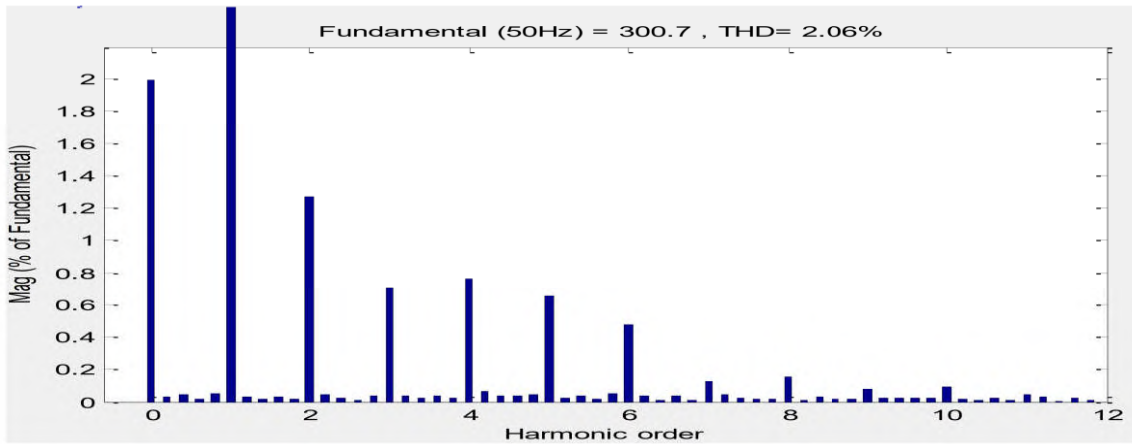


b- Tension injecté Vb

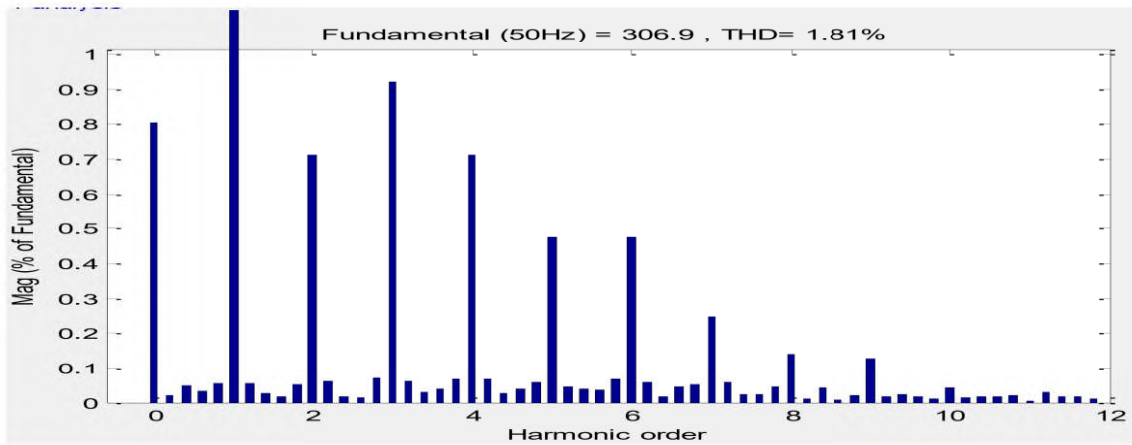


c- Tension injecté Vc

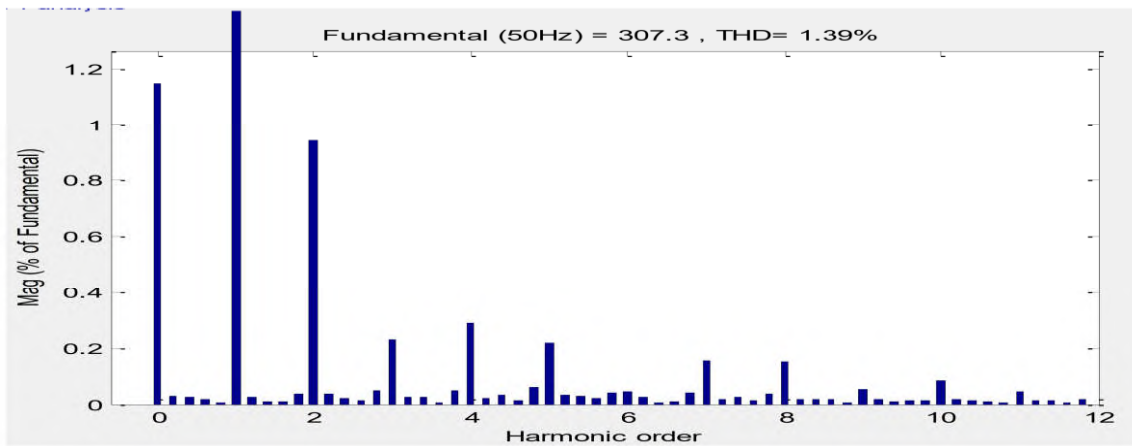
Figure III.19 : Forme des tensions injectées dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T1 du FAS.



a- Spectre harmonique de la tension de charge VL a



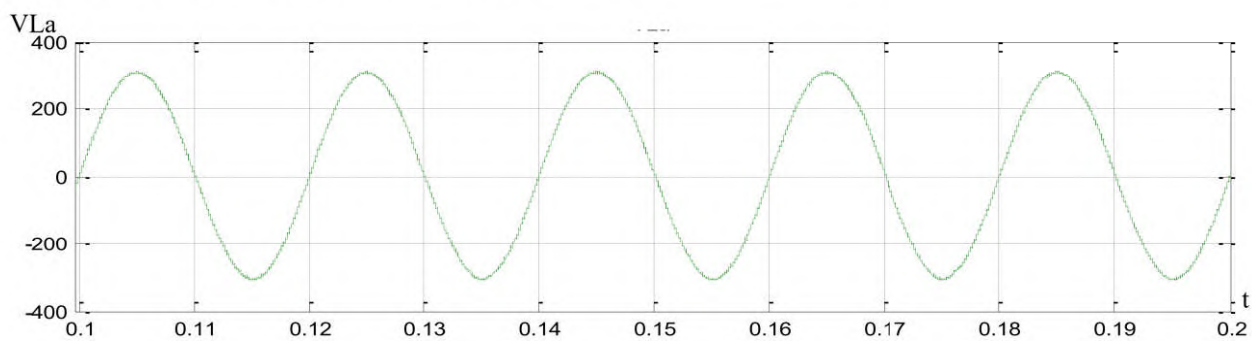
b- Spectre harmonique de la tension de charge VL b



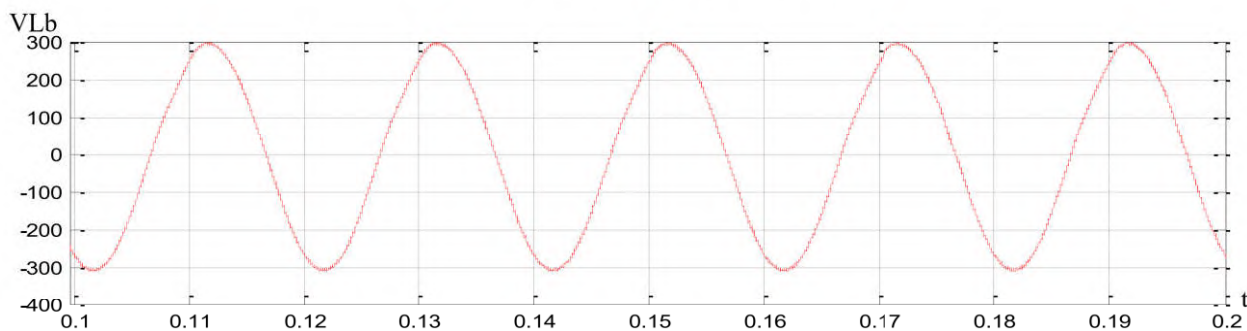
c- Spectre harmonique de la tension de charge VL c

Figure III.20 : Analyse spectrale des tensions de charge dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T1 du FAS.

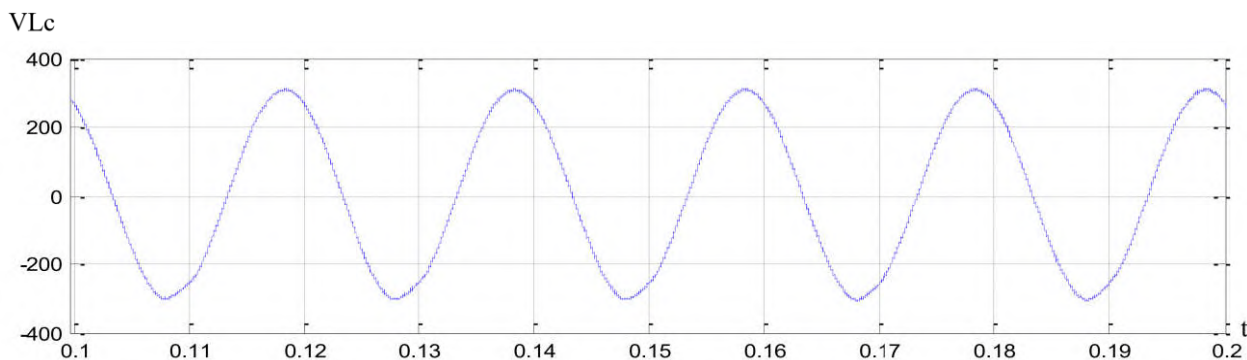
Transistor T2 (2^{ème} bras haut) maintenu ouvert



a- Tension de charge VL_a

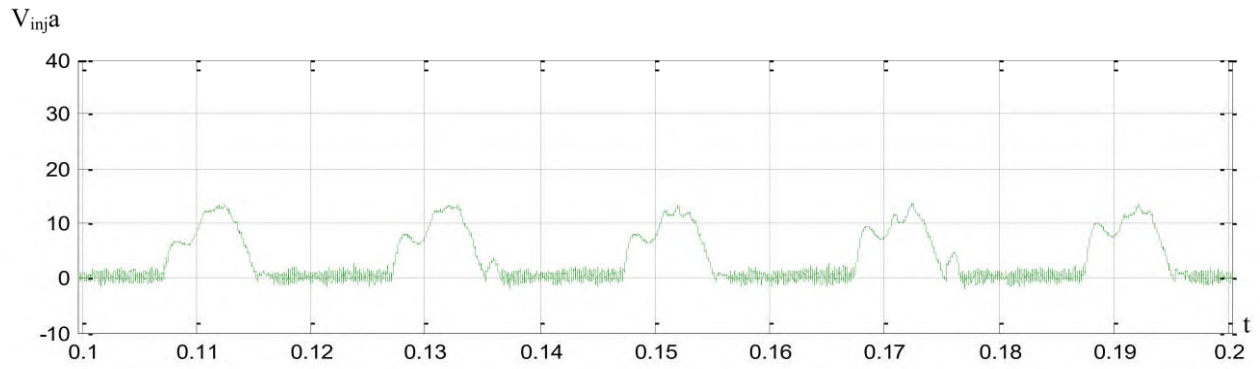


b- Tension de charge VL_b

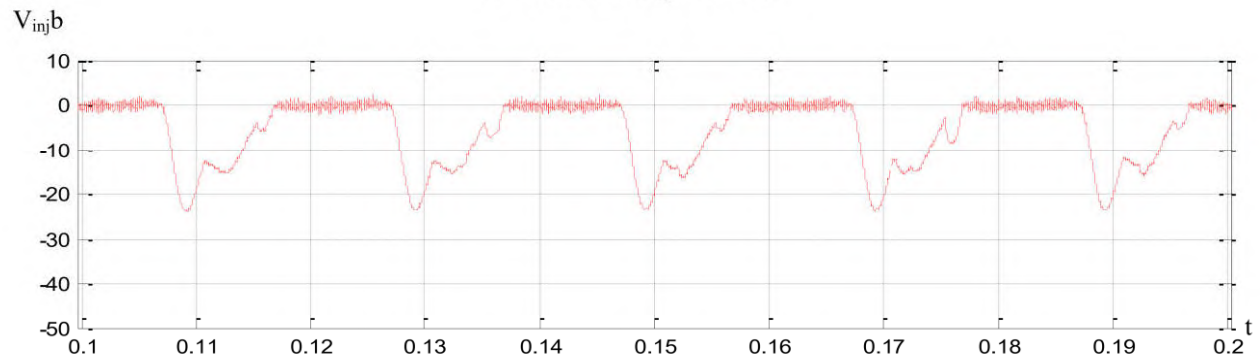


c- Tension de charge VL_c

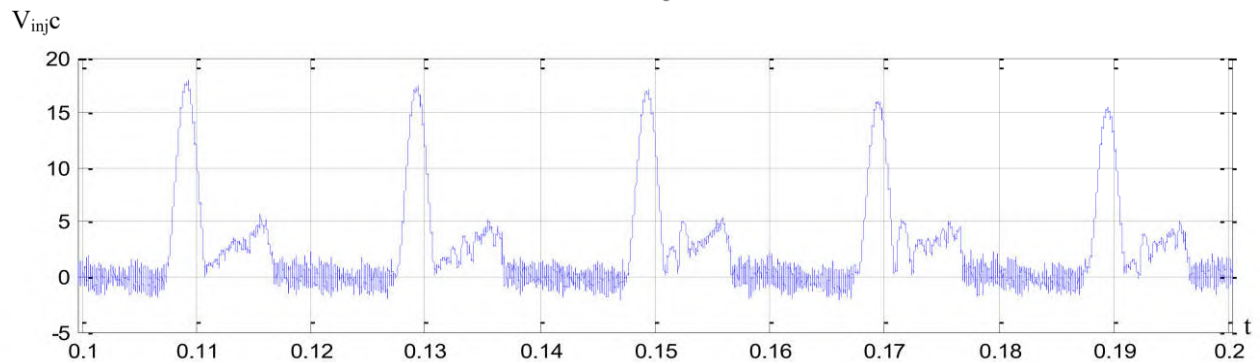
Figure III.21 : Forme des tensions de charge dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T2 du FAS.



a- Tension injecté Va

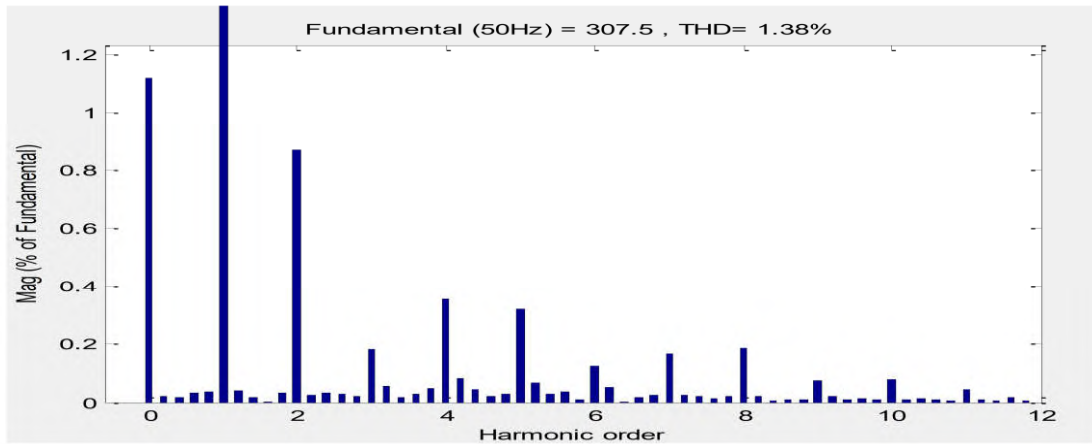


b- Tension injecté Vb

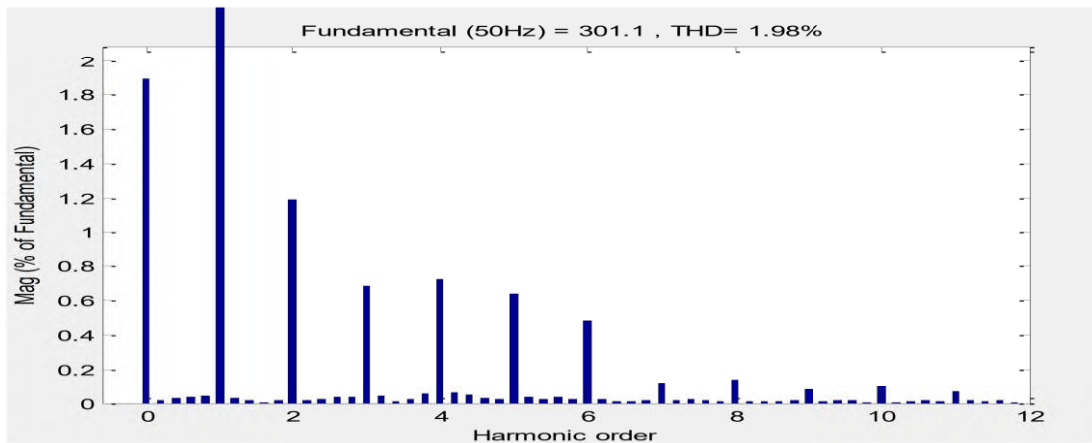


c- Tension injecté Vc

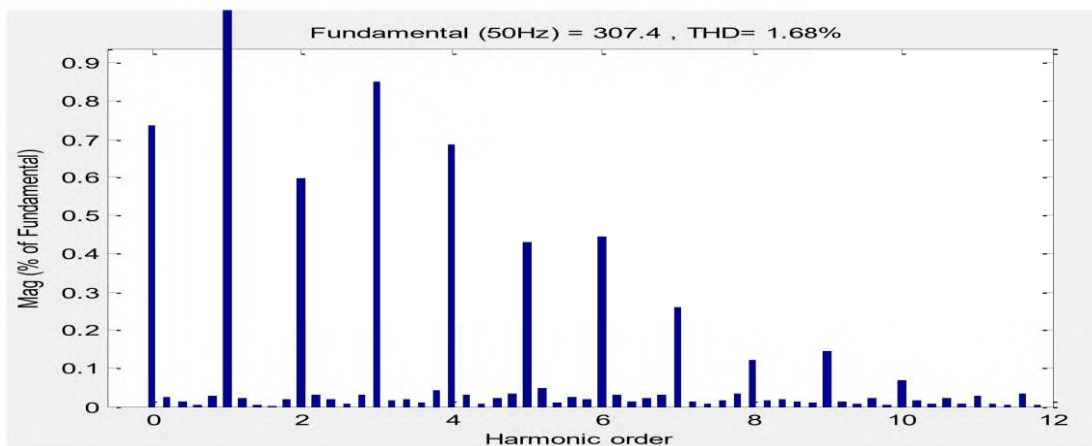
Figure III.22 : Forme de tensions injectées dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T2 du FAS.



a- Spectre harmonique de la tension de charge VL a



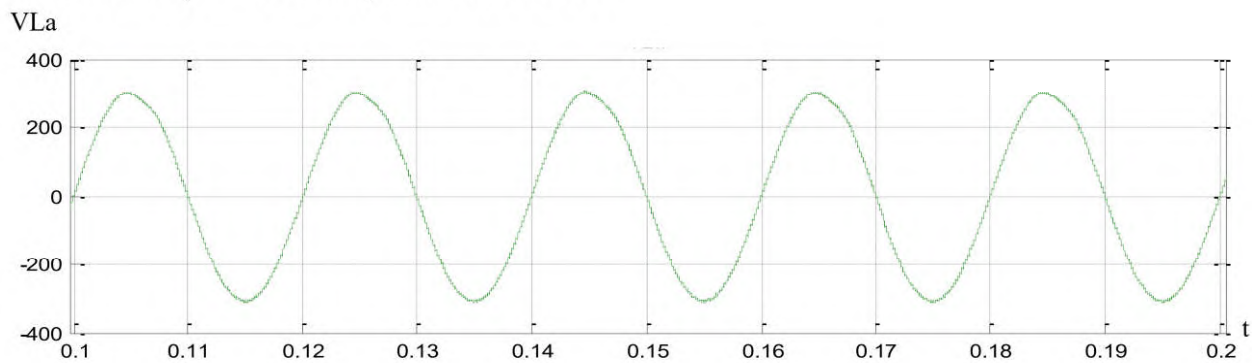
b- Spectre harmonique de la tension de charge VL b



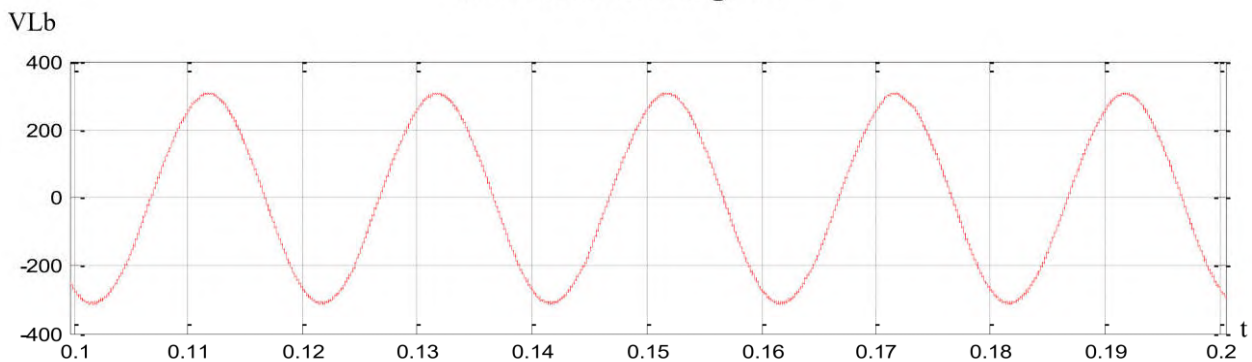
c- Spectre harmonique de la tension de charge VL c

Figure III.23 : Analyse spectrale des tensions des tensions de charge dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T2 du FAS.

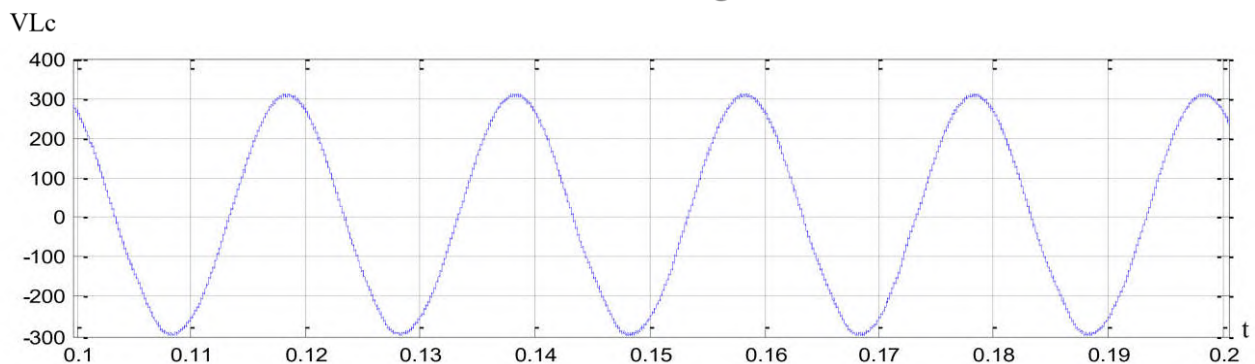
Transistor T6 (3^{ème} bras bas) maintenu ouvert



a- Tension de charge Va

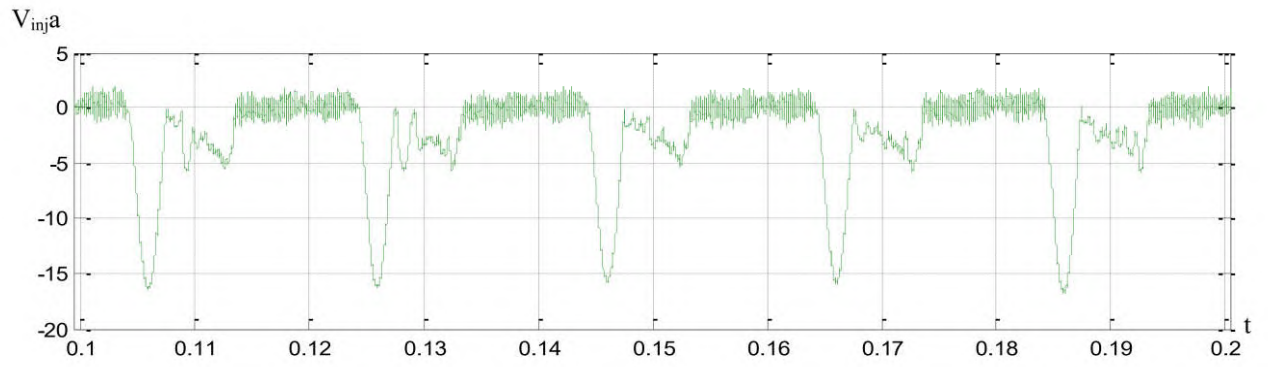


b- Tension de charge Vb

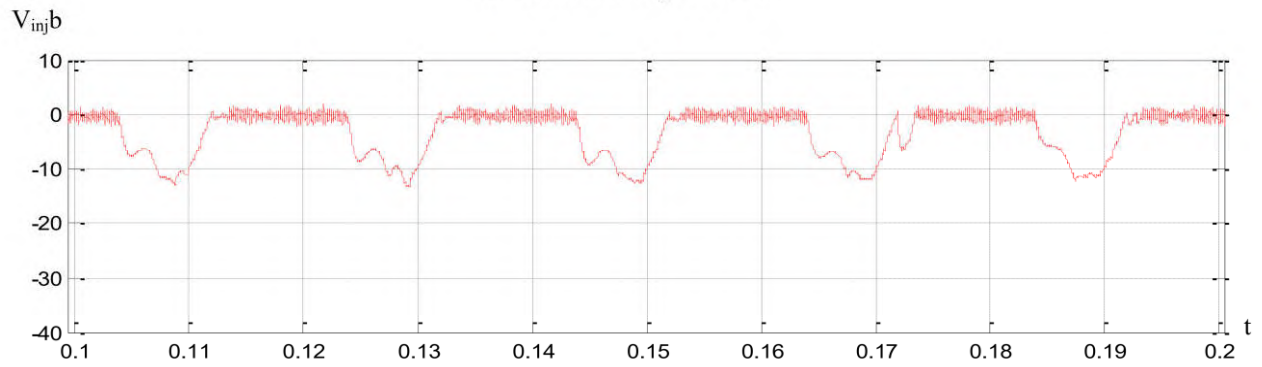


c- Tension de charge Vc

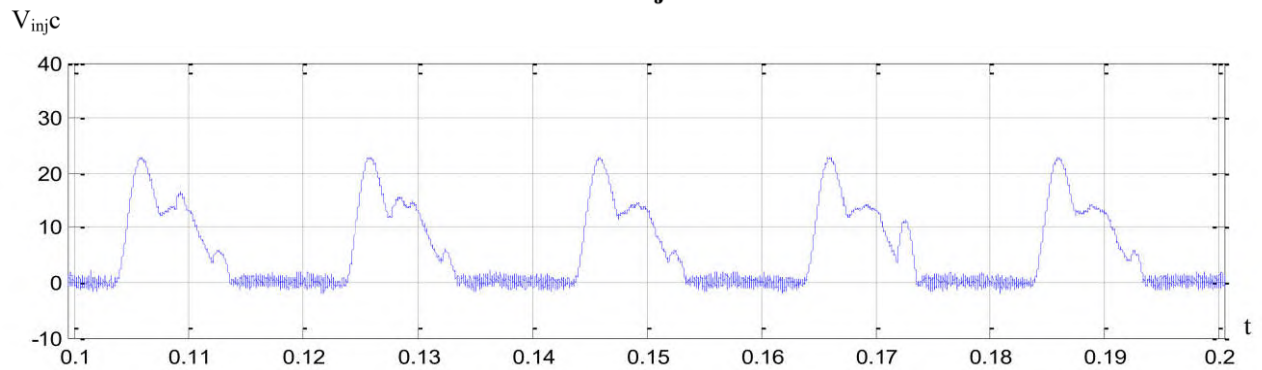
Figure III.24 : Forme des tensions de charge dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T6 du FAS.



a- Tension injecté Va

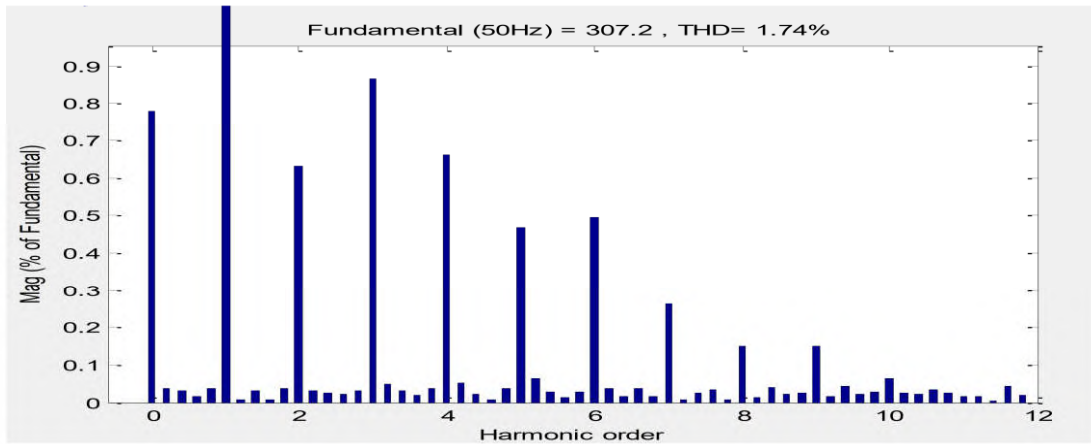


b- Tension injecté Vb

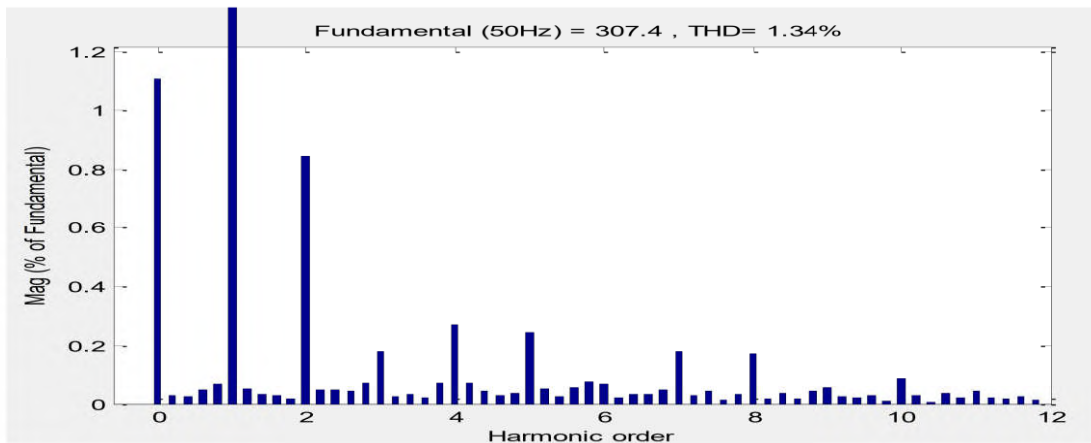


c- Tension injecté Vc

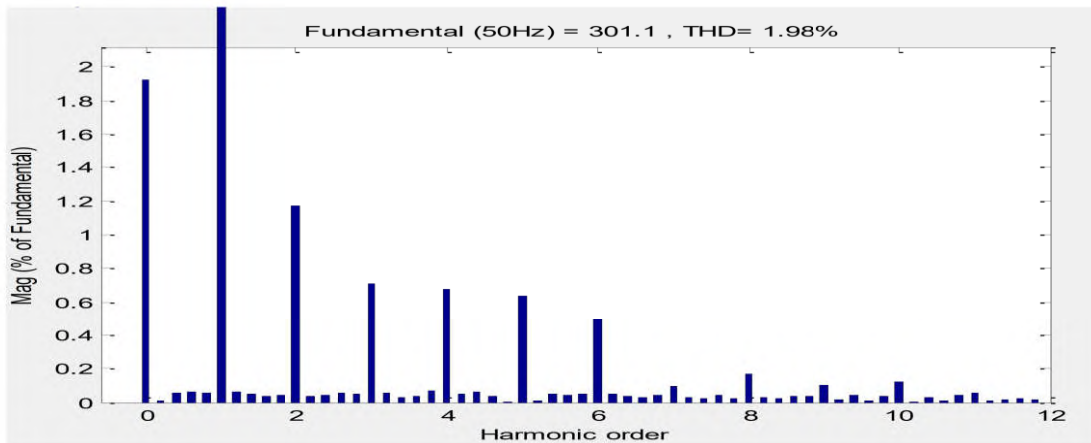
Figure III.25 : Forme des tensions injectées dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T6 du FAS.



a- Spectre harmonique de la tension de charge VLa



b- Spectre harmonique de la tension de charge VLb



c- Spectre harmonique de la tension de charge VLc

Figure III.26 : Analyse spectrale des tensions de charge dans le cas de défaut de circuit ouvert du transistor T6 du FAS.

Lors de l'étude des signaux provenant des tensions de charges pour les différentes configurations de défaut de type circuit ouvert de transistor du FAS, nous avons constaté une légère déformation de la forme du signal sinusoïdal, mais pas assez suffisante pour déterminer la présence d'un défaut ou sa localisation. Cela est dû au fait que le filtre injecte initialement une tension nulle, car dans le cas considéré, la tension du réseau électrique est sinusoïdale, et ne présente aucune harmonique, creux de tension ou surtension. En effet, la tension injectée, en mode de fonctionnement sain, a une valeur quasi nulle ; néanmoins, lorsqu'un défaut de type transistor maintenu survient, elle devient importante, mais toujours relativement faible devant la tension du réseau dans ce cas particulièrement (cas où la tension du réseau électrique est sinusoïdale, et ne présente aucune harmonique, creux de tension ou surtension). Dans ce cas particulier, si l'un des transistors du haut (T1, T2 et T3) est défaillant, la tension injectée est non nulle avec une valeur négative dans un intervalle de temps, et nulle dans le reste de la période. Les deux autres phases présentent une tension positive dans un intervalle de temps, et nulle dans le reste de la période. Contrairement au cas précédent, si le transistor défaillant est l'un des transistors du bas (T4, T5 et T6), la tension injectée de la phase du FAS liée au bras dont le transistor est défaillant, présente une valeur positive dans un intervalle de temps, et nulle dans le reste de la période. Les autres tensions injectées des autres phases présentent la même déformation mais négative.

Dans ce cas, si on se réfère à l'étude des différentes valeurs de la THD mesurée dans ce processus et à la norme concernant la THD, il apparaît que le signal d'alarme ne peut être enclenché et que le défaut de type circuit ouvert ne pourra pas être détecté et identifié. En effet, les différentes valeurs du THD des tensions de charges varient de 0.91% au mode sain, à 2.06% au mode de défauts, ce qui induit à conclure que le système est en état normal malgré la présence d'un défaut.

III.5. CONCLUSION

Les défauts quel qu'ils soient sont nuisibles dans un système de production d'énergie électrique. Ce dernier 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.

L'étude de l'influence d'un défaut de type circuit ouvert sur un système à base d'UPQC conduit à conclure que le défaut existe mais il peut être immédiatement identifiable lors de l'observation du courant de source et difficilement détectable lorsqu'on étudie la tension de charge. Le but étant de diagnostiquer le défaut de type circuit ouvert au niveau de la ligne de production électrique en présence d'un système de filtrage UPQC. Plusieurs méthodes et approches en vue le

jour auparavant, nous allons dans le chapitre qui suit, mettre en évidence les outils mentionnés dans le premier chapitre et ainsi finalisé le travail de cette thèse par une approche de diagnostic efficace et une commande tolérant aux défauts.

CHAPITRE

IV

IV.1. INTRODUCTION

L'analyse effectuée dans le chapitre précédent montre qu'un système de contrôle conventionnel du filtre UPQC ne permet pas d'assurer la continuité de service en cas de défaillance par un défaut de type transistor en circuit-ouvert. Pour assurer sa disponibilité et éviter de dégrader son fonctionnement, un système efficace et tolérant aux défauts est indispensable. La détection, l'identification et la compensation des défauts sont les trois parties importantes d'un tel système.

Dans ce chapitre, nous allons chercher à identifier les informations fournies par les différentes mesures de courants et de tensions et d'essayer de les exploiter pour détecter et localiser le défaut considéré. Ces informations sont extraites à partir du domaine temporel et du domaine fréquentiel en utilisant la magnitude de la transformée de Fourier, la valeur maximale et le Skewness. L'exploitation de ces données est faite par le réseau de neurones choisis, qui est responsable de la classification des différents états du filtre UPQC. Après détection et localisation du défaut, une commande tolérante aux défauts sera étudiée et appliquée au filtre UPQC. Une simulation en utilisant le SIMULINK de MATLAB permettra d'étudier l'influence du défaut circuit ouvert de transistor et de valider les performances des systèmes de diagnostic et de contrôle tolérant aux défauts proposés.

Nous allons, au début de ce chapitre, donner un aperçu sur la commande tolérante aux défauts et les techniques utilisées pour l'appliquer aux filtres actifs. Dans un deuxième temps, nous aborderons la partie diagnostic à base de RNA. Nous étudierons les performances de diagnostic d'un point de vue classification des états sains et défectueux du filtre UPQC. La fin du chapitre, sera consacrée à l'étude de la partie commande tolérante des deux filtres actifs constituant l'UPQC.

IV.3. STRATEGIE DE DIAGNOSTIC ET DE COMMANDE TOLERANTE APPLIQUEE AU SYSTEME DE FILTRAGE ACTIF PAR UPQC

Dans cette section, on adopte une topologie de convertisseur tolérant aux défauts à base de bras redondant pour garantir la continuité de service de l'UPQC (figure IV.6). En effet pour les trois bras du convertisseur, on associe un bras redondant ou de secours. Ce bras s'activera lors de l'apparition d'un défaut. Lorsqu'un défaut apparaît sur l'un des transistors du convertisseur, il doit être détecté et isolé le plus rapidement possible. L'isolation du composant défaillant s'effectue en éliminant sa commande et en appliquant l'ordre de commande de l'interrupteur défectueux aux

interrupteurs de secours. Après détection du défaut et remplacement du bras défaillant, le fonctionnement du convertisseur reste inchangé, car ce convertisseur garde la même topologie qu'avant l'apparition du défaut.

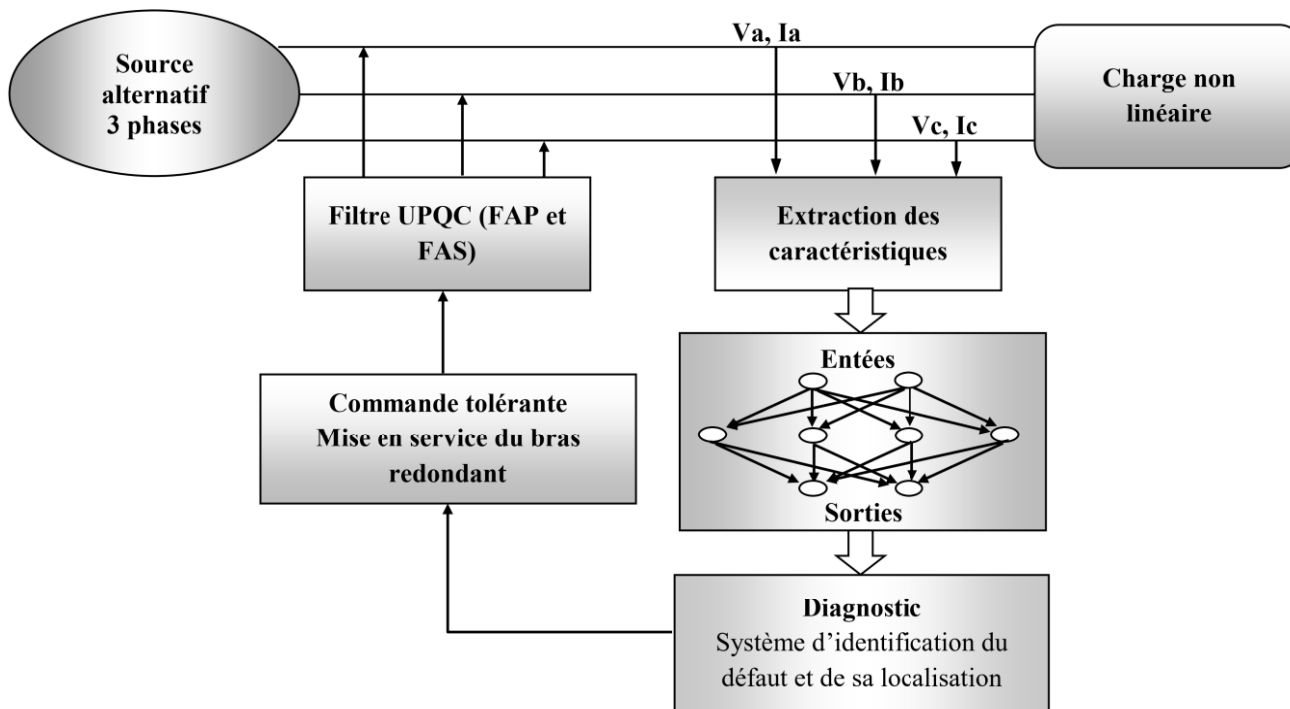


Figure IV.6 : Structure du système de diagnostic et de commande tolérante aux défauts

Les étapes pour la mise au point du système à commande tolérante pour le filtrage à base de l'UPQC est le même décrit dans le chapitre 1. Il consiste à choisir l'architecture du RNA, l'extraction des caractéristiques pour l'apprentissage et le test du RNA, qui permet la détection et la localisation du défaut. On ajoute à cela, l'étape d'isoler et de remplacer le bras défectueux.

Lors de l'apparition d'un défaut au niveau du bras numéroté k ($k = \{1, 2, 3\}$), la continuité de service de l'UPQC est réalisée selon les étapes suivantes :

- Détection de l'apparition d'un défaut ;
- Localisation du filtre défectueux ;
- Détection du bras défectueux numéroté k , ainsi que de l'interrupteur défectueux ;
- Mise à '0' des ordres de commande des deux interrupteurs du bras défectueux ;
- Commande à la fermeture de l'interrupteur bidirectionnel t_k ;
- Application des ordres de commande des interrupteurs du bras défectueux aux interrupteurs

de secours ;

- Arrêt de la fonction "détection de défaut" ;
- Lancer la procédure de remplacement (maintenance) en indiquant le bras et l'interrupteur défectueux.

IV.3.1. Diagnostic du défaut de type transistor en circuit ouvert par RNA

IV.3.1.1. Extraction des caractéristiques pour l'apprentissage du RNA

Les différentes caractéristiques qui sont utilisées pour l'apprentissage et le test du RNA, dédié au diagnostic de L'UPQC soumis au défaut d'ouverture de transistor, sont extraites des courants et des tensions de ligne du réseau électrique. La figure IV.7 donne la topologie générale du filtrage à base de l'UPQC. B1, B2 et B3 représentent les différents capteurs (de courant et/ou de tension) et leurs positions dans la ligne électrique.

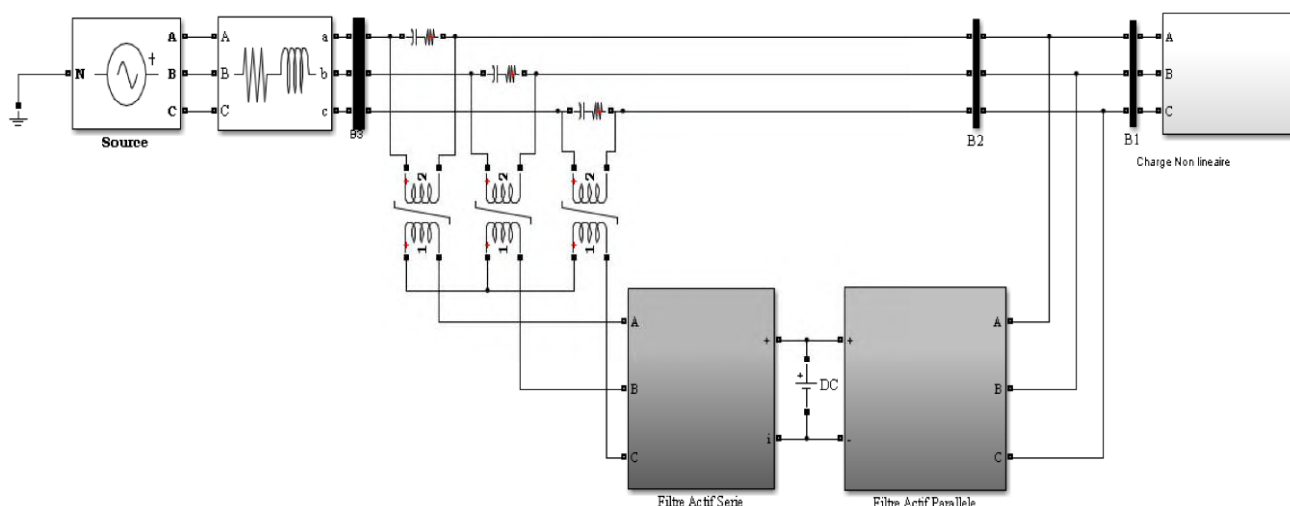


Figure IV.7 : Association réseau électrique-charge non linéaire-UPQC

➤ **Transformé de Fourier Rapide (FFT)**

Comme nous l'avons mentionné auparavant, la transformé de Fourier rapide met en évidence les propriétés cachés dans le domaine temporel et les fait apparaitre dans le domaine spectral. Afin d'extraire les différentes grandeurs caractéristiques des tensions et des courants de ligne affectés par la présence de défaut de transistor dans l'UPQC, nous allons utiliser la FFT et plus précisément la valeur maximale de la magnitude.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-jn\omega k} \quad (01)$$

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 :

$$\text{Magnitude[FFT(X)]} = \sqrt{(\text{réel[FFT(X)]}^2 + \text{imag[FFT(X)]}^2)} \quad (02)$$

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

➤ **Skewness**

Comme nous l'avons mentionné dans le premier chapitre, il existe plusieurs méthodes mathématiques utilisées pour l'extraction des caractéristiques. Nous avons aussi mentionné les méthodes statistiques très fréquemment utilisées, leur efficacité varie d'une application à une autre. Dans le but de trouver le/les meilleur(s) caractéristique(s) nous avons effectué plusieurs tests et combinaisons pour le classifieur RNA. Les résultats obtenus de l'utilisation de la méthode Skewness ont été largement supérieurs aux autres méthodes. Nous rappelons que le Skewness mesure la symétrie de la distribution, ou plus précisément le manque du signal. Il est défini comme suit :

$$S_{kew} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(\sigma)^3} \quad (07)$$

IV.3.1.2. Architecture du réseau de neurones artificiels

En prenant en compte les critères du choix de l'architecture du RNA et après des tests, on a abouti à l'architecture du réseau adopté, dont les paramètres sont indiqués sur tableau IV.1.

Nombre de neurones de la couche d'entrée	12	3 neurones pour le SKEWNESS du courant 3 neurones pour le max (magnitude (FFT(FAP))) 3 neurones pour le SKEWNESS de la tension 3 neurones pour le max (magnitude (FFT(FAS)))
Nombre des neurones de la couche de sortie	5	Sortie désirée = [X X X X X] ; X= 0 ou 1.
Nombre de couche cachée	2	
Nombres de neurones pour chaque couche cachée	Couche1 : 7 Couche2 : 4	
Nombre d'itération	10000	
Erreur quadratique moyenne	0.0001	
Algorithme d'apprentissage	LM	Algorithme de Levenberg marquadt

Table IV.1: Paramètres de l'architecture du RNA adopté

La forme vectorielle de la sortie désirée ([X X X X X] ; X= 0 ou 1) est expliquée en détail dans le tableau IV.2.

1 : État sain	0 : Désigne le FAP	0 0 1 : TR1 (bras haut)
0 : État défectueux	1 : Désigne le FAS	0 1 0 : TR3 (bras haut)
		0 1 1 : TR5 (bras haut)
		1 0 1 : TR2 (bras bas)
		1 1 0 : TR4 (bras bas)
		1 1 1 : TR6 (bras bas)

Table IV.2 : Forme vectorielle de la sortie désirée en mode sain et en mode de défaut de l'UPQC

IV.3.1.3. 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 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 de spécificité.

		Critères d'évaluation (%)		
État	Sortie désirée X= 0 or 1	Sensibilité	Spécificité	Taux de classification
État sain du FAP et FAS	1 X 0 0 1 : T1 1 X 0 1 0 : T3 1 X 0 1 1 : T5 1 X 1 0 1 : T2 1 X 1 1 0 : T4 1 X 1 1 1 : T6	96.98	97.13	97.35
Défaut du FAP	0 0 0 0 1 : T1 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	96.20	97.01	97.6
Défaut du FAS	0 1 0 0 1 : T1 0 1 0 1 0 : T3 0 1 0 1 1 : T5 0 1 1 0 1 : T2 0 1 1 1 0 : T4 0 1 1 1 1 : T6	97.36	98.95	97.4

Table IV.3. Performances statistiques du modèle RNA choisit pour la classification des différents cas défauts d'ouverture de transistor dans l'UPQC

IV.3.2. Partie commande tolérante du défaut

La simulation de la commande tolérante aux défauts proposée pour la topologie UPQC est réalisée selon la figure IV.8 pour les deux filtres actifs (FAP et FAS). En effet, chaque filtre possède son propre bras de secours, ainsi le système peut fonctionner même si un deuxième défaut intervient sur le deuxième filtre. Le scénario consiste à isoler le premier bras correspondant à la phase supposée défaillante et reconfiguré la commande et l'architecture pour assurer la continuité de service du système.

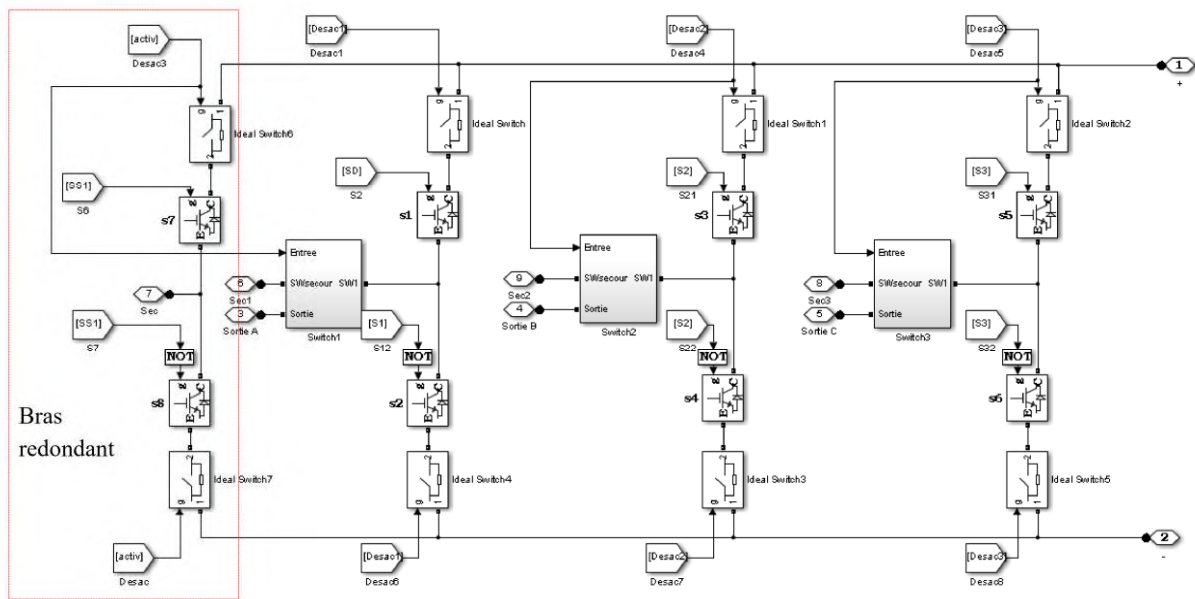


Figure IV.8 : Architecture d'un filtre actif avec bras redondant sous SIMULINK

Cette topologie du bras de secours constitue une redondance pure, son dimensionnement est le même que pour les autres bras et le fonctionnement secours reste celui d'un onduleur triphasé : aucune modification de l'algorithme de commande n'est requise et l'intégralité de la puissance nominale peut être fournie.

Les figures qui suivent présentent le cas de défaut appliqué à l'instant 0.1s après un fonctionnement normal ; ensuite à l'instant 0.14s, le déclenchement de la commande tolérante et retour à l'état sain. Il apparait clairement l'impact de défaut à l'instant 0.103 au niveau des courants de source et au niveau des courants injectés. A l'instant du déclenchement du fonctionnement de la commande tolérante (4^{ème} bars), le système bascule vers un fonctionnement sain et ceci est clairement observable sur les courants de source et les courants injectées par le filtre.

IV.3.2.1. Compensation du défaut de transistor en circuit ouvert au niveau du FAP

Avant de présenter les résultats de simulation de compensation du défaut de type de type transistor en circuit ouvert au niveau de l'UPQC, nous visualisons, tout d'abord, l'évolution des THDs des courants triphasés de la source et des THDs des tensions triphasées de la charge en mode de fonctionnement sain.

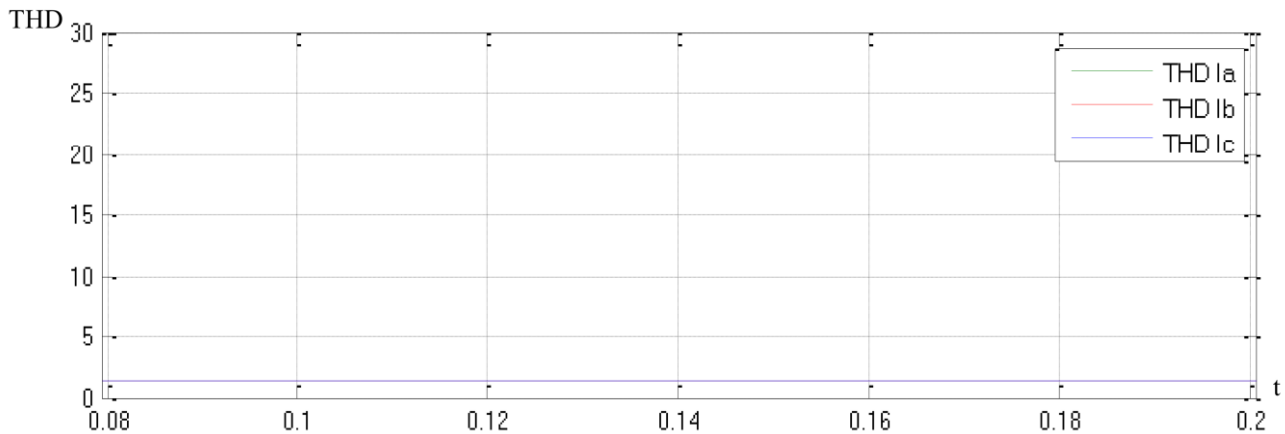


Figure IV.9 : Évolution des THDs des courants du réseau électrique sans défaut de transistor maintenu ouvert.

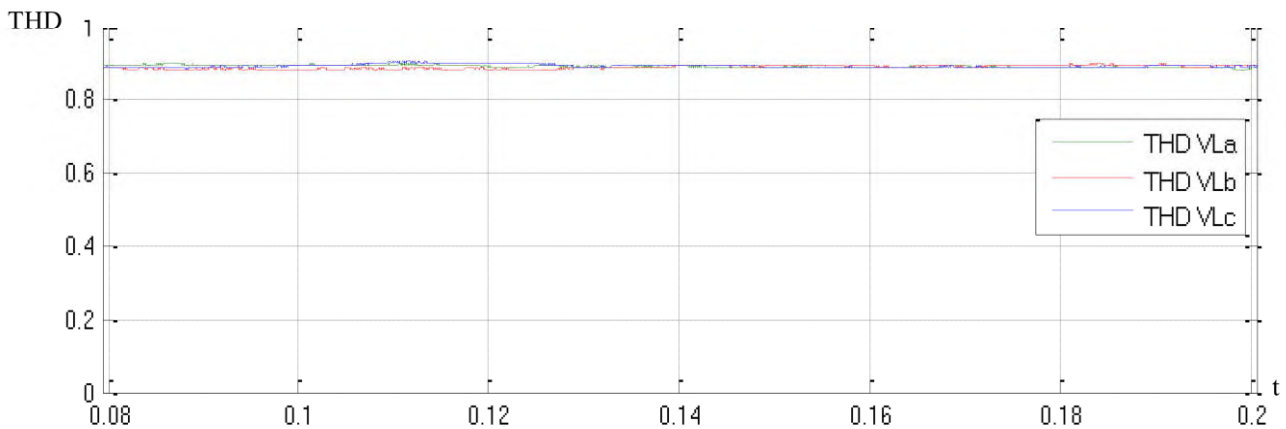
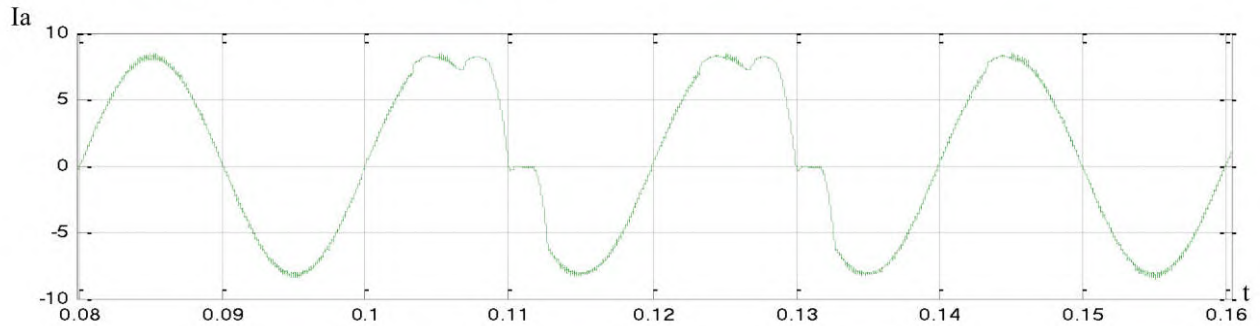


Figure IV.10 : Évolution des THDs des tensions de la charge sans défaut de transistor maintenu ouvert.

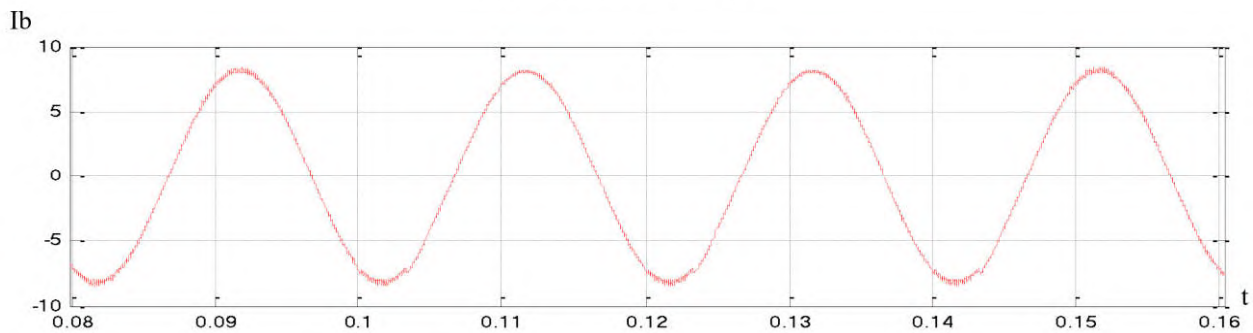
La figure IV.9 et la figure IV.10 indiquent que les THDs des courants et des tensions du réseau électrique sont de faibles valeurs avec environ 2% pour les courants et 0.9% pour les tensions, ce qui indique que l'UPQC fonctionne efficacement. Dans ce qui suit, on applique le défaut de transistor maintenu ouvert à l'instant $t=0.1s$, et on vérifie comment évoluent les valeurs des THDs du courant de

source et de la tension de charge, pour évaluer les performances de la commande tolérante aux défauts.

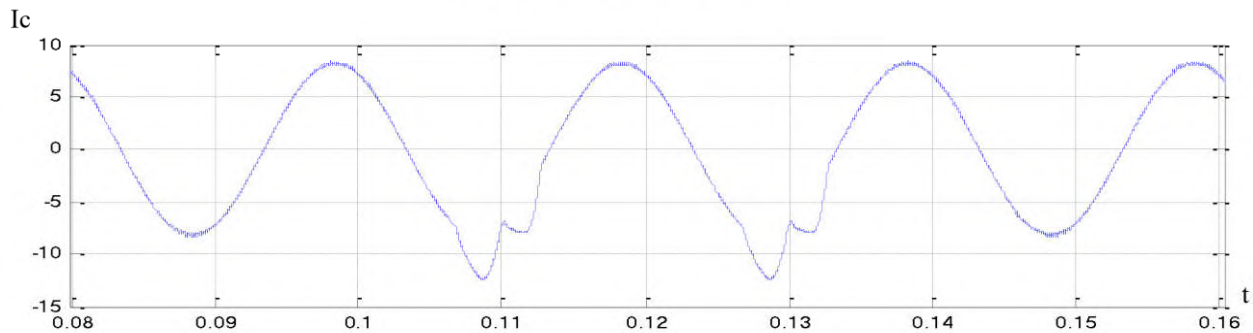
Transistor T1 (1^{er} bras haut) maintenu ouvert



a- Courant de source i_a

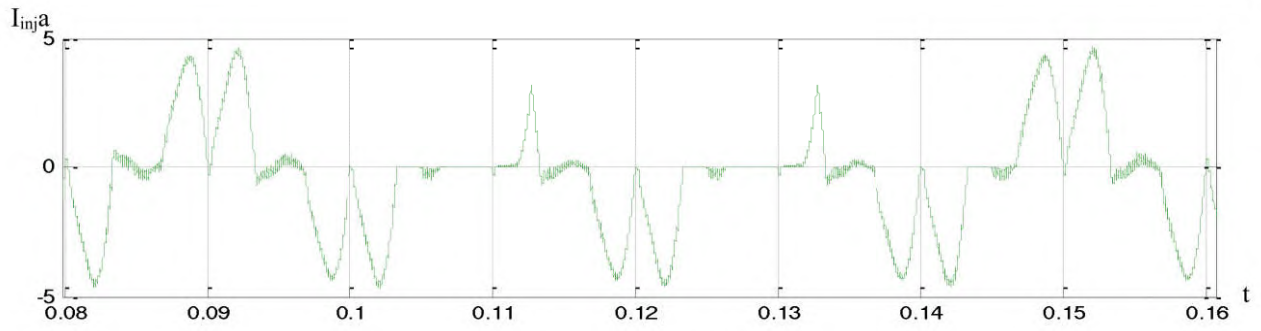


b- Courant de source i_b

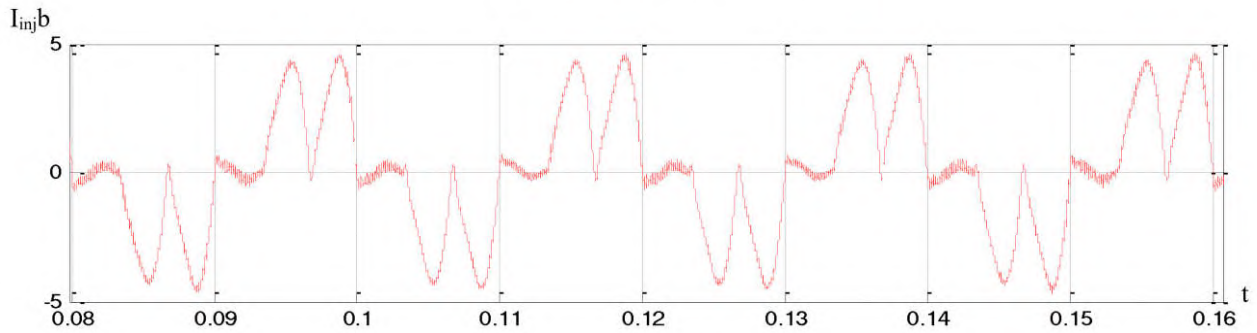


c- Courant de source i_c

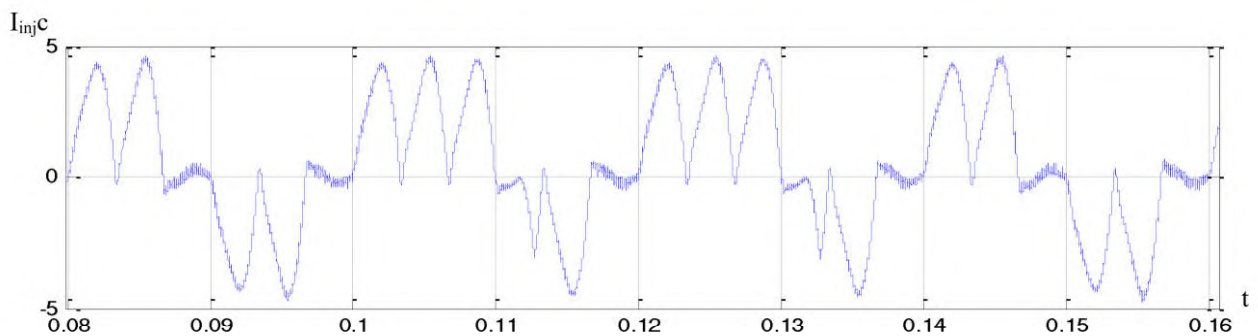
Figure IV.11 : Courants de source après compensation du défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAP



a- Courant injecté ia



b- Courant injecté ib



c- Courant injecté ic

Figure IV.12 : Courants injectés par le FAP après compensation du défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAP

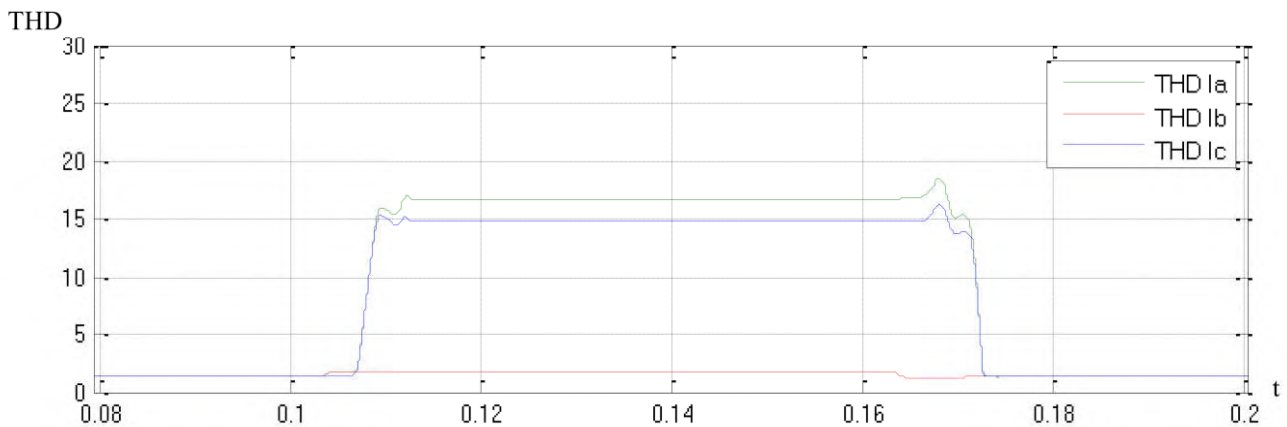
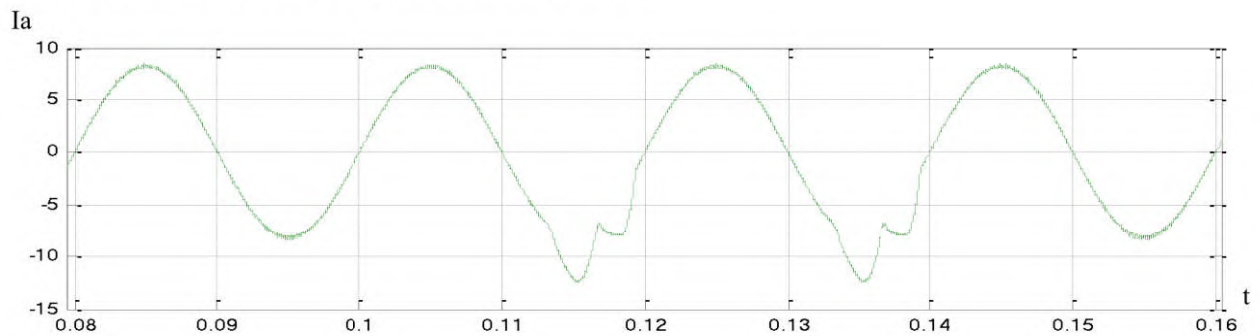


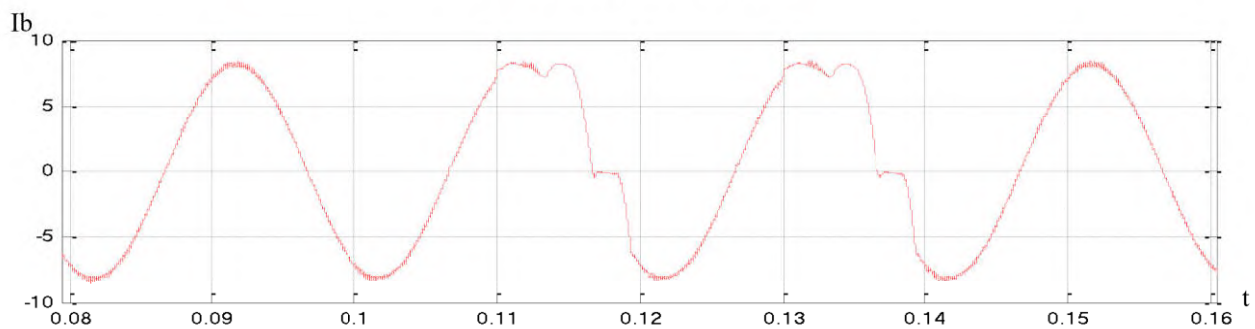
Figure IV.13 : Evolution des THDs des courants de source après compensation du défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAP.

La figure IV.13 met en évidence l'évolution des valeurs des THDs des courants de source, qui augmentent d'une manière remarquable pour les courants I_a et I_c . Ce changement brusque explique les changements et les variations des courants injectés, accompagnant le défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAP, appliqué à l'instant $t=0.1s$ (figure IV.12 (a et c)). Les valeurs des THDs redeviennent de faibles valeurs vers l'instant $t=0.17s$, ce qui indique le déclenchement du bras redondant.

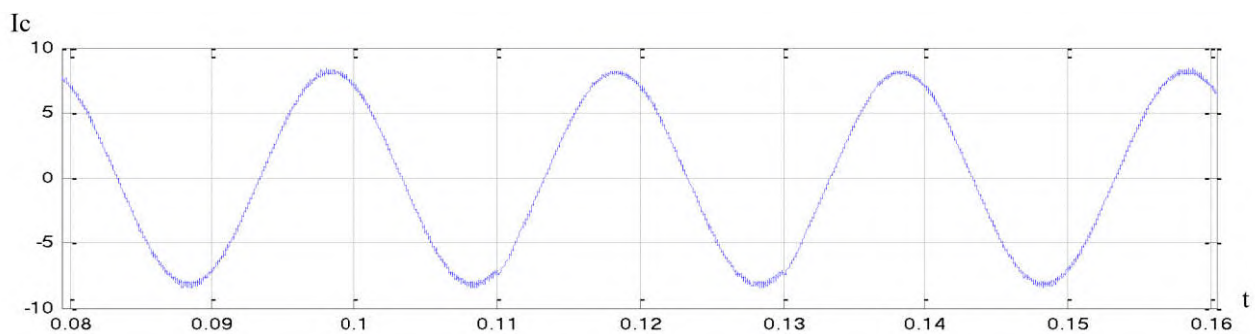
Transistor T2 (2^{ème} bras haut) maintenu ouvert



a- Courant de source i_a

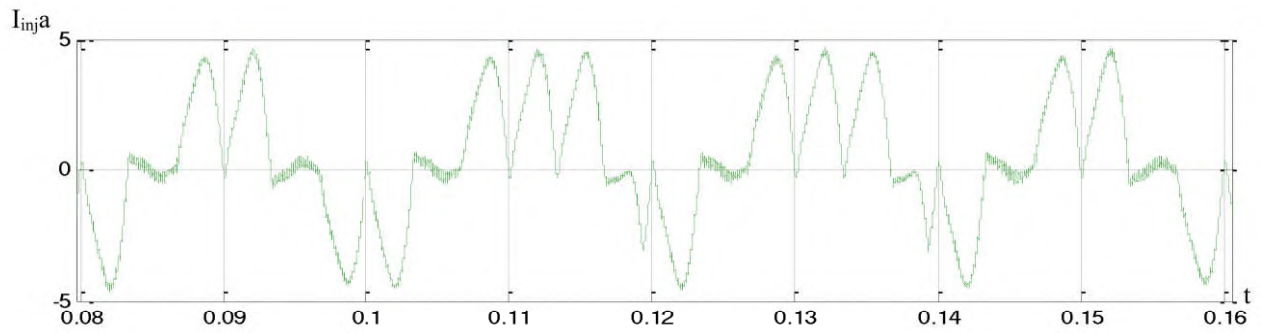


b- Courant de source i_b

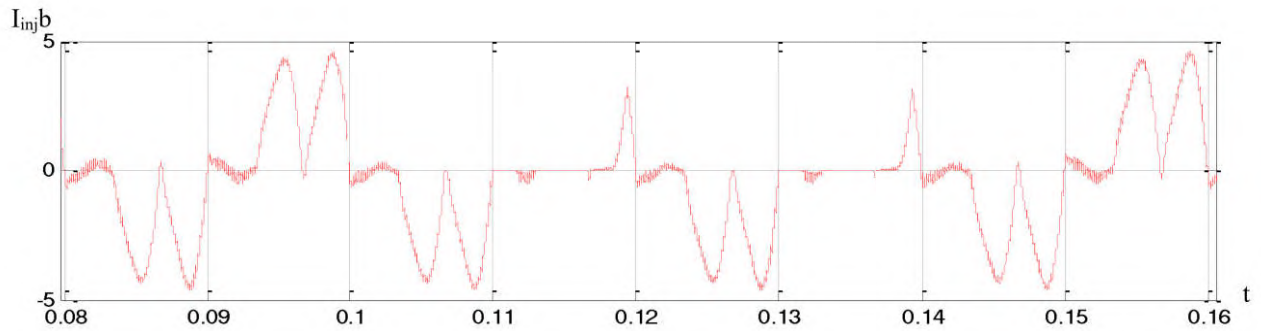


c- Courant de source i_c

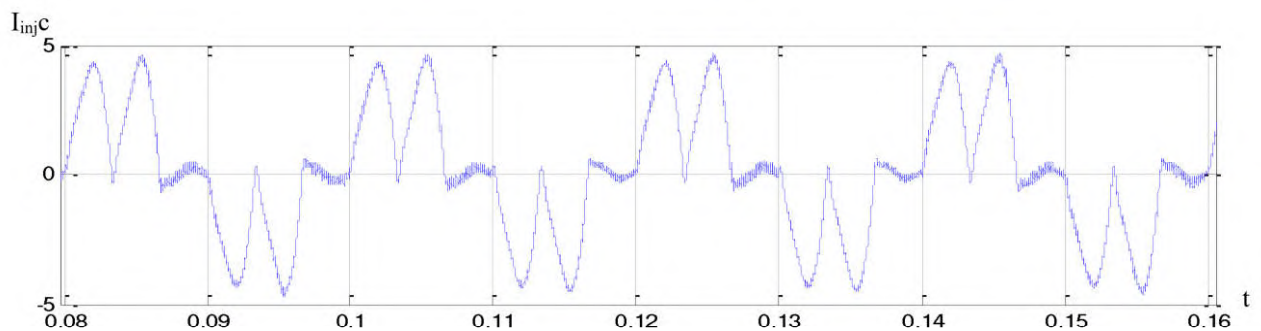
Figure IV.14 : Courants de source après compensation du défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAP



a- Courant injecté ia



b- Courant injecté ib



c- Courant injecté ic

Figure IV.15 : Courants injectés par le FAP après compensation du défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAP

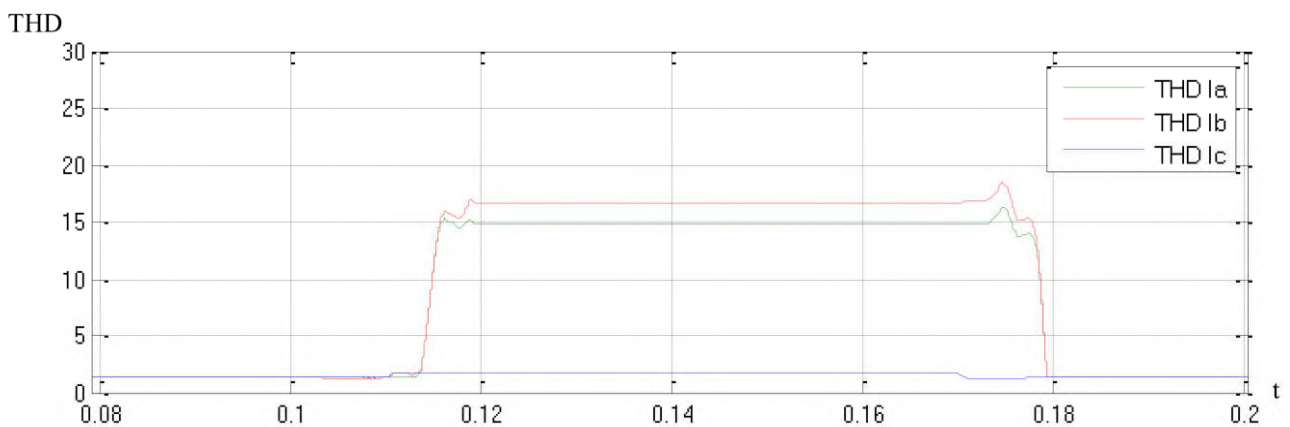


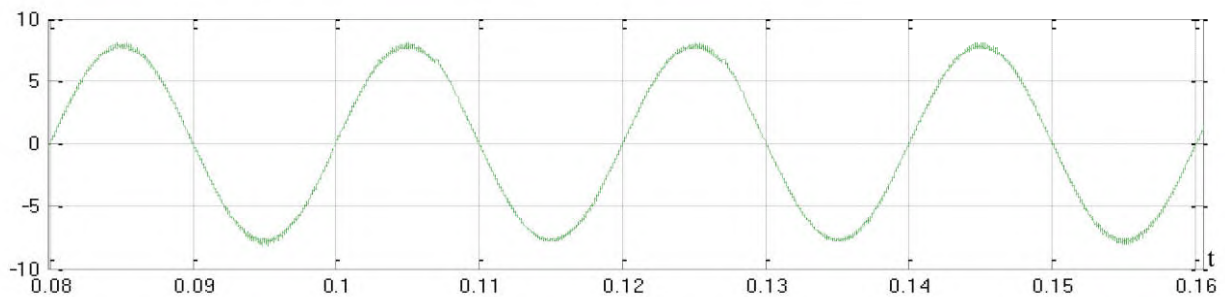
Figure IV.16 : Evolution des THDs des courants de source après compensation du défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAP.

Dans cette partie, nous simulons le défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAP. La figure IV.14 (a et c) montre une déformation de la forme sinusoïdale des courants de source I_a et I_c , après apparition du défaut à l'instant $t=0.1s$. La figure IV.15 des courants injectés ainsi que la figure IV.16 indiquent qu'un défaut est survenu après le même l'instant $t=0.1s$. L'analyse de ces figures démontre que le système de diagnostic est opérationnel et permet de localiser le défaut.

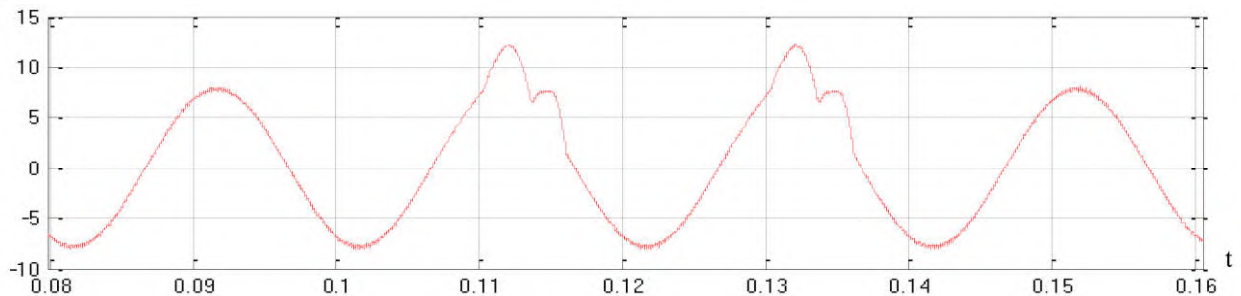
Les valeurs des THDs redeviennent de faibles valeurs vers l'instant $t=0.17s$ (figure IV.16), ce qui indique que le système de compensation de défaut (le déclenchement du bras redondant) fonctionne efficacement. Les mêmes observations peuvent être observer dans le cas du défaut du transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAP (figure IV.17, figure IV.18 et figure IV.19).

Transistor T6 (3^{ème} bras bas) maintenu ouvert

Ia



Ib



Ic

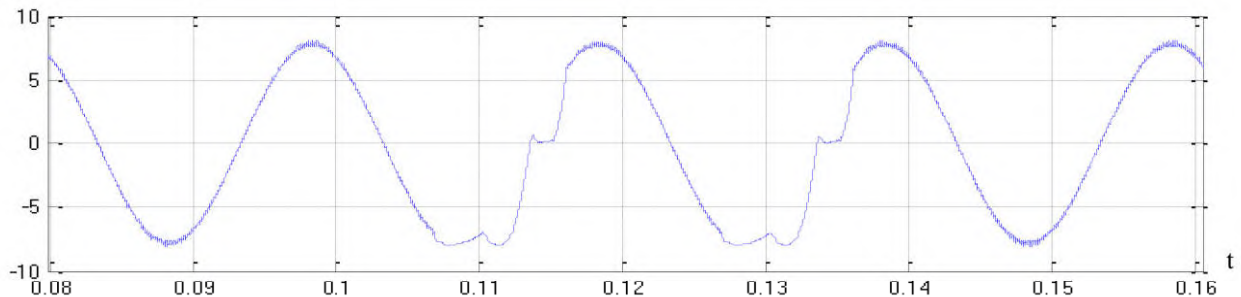
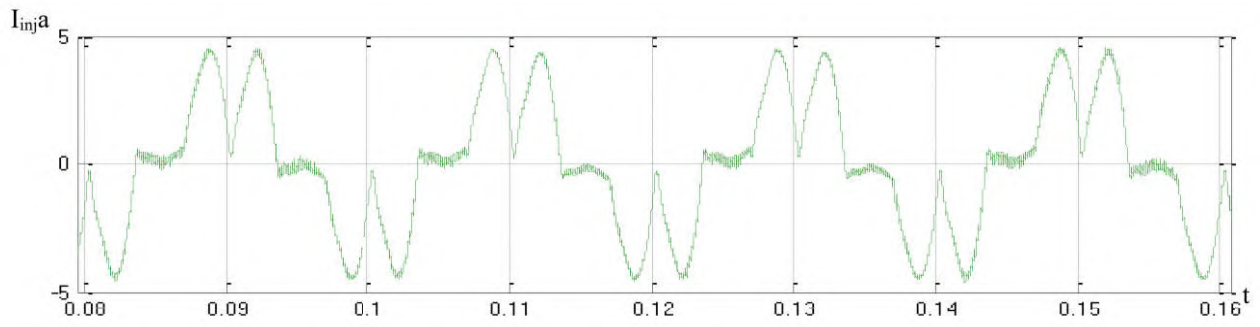
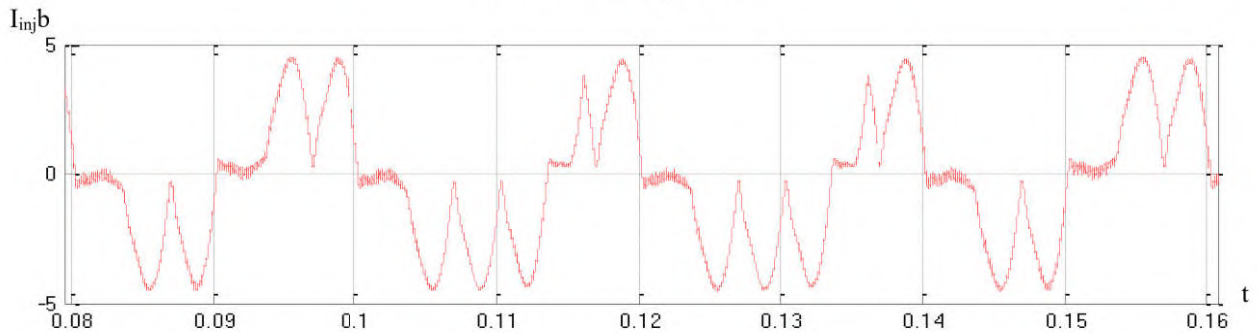


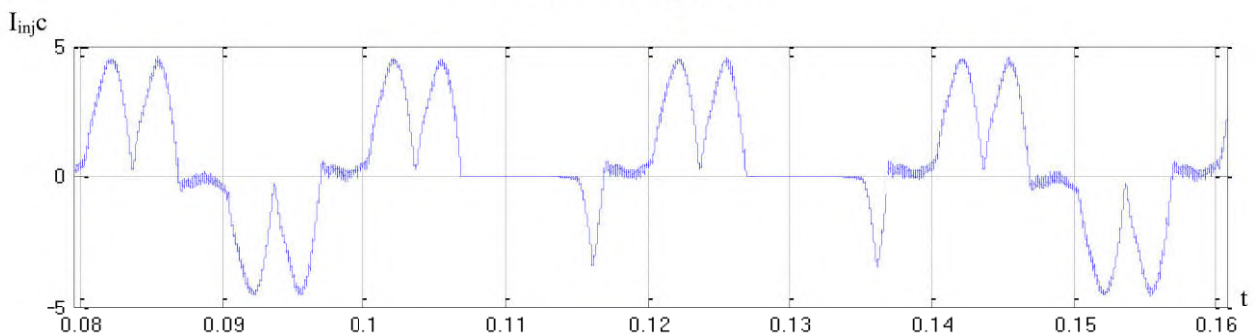
Figure IV.17 : Courants de source après compensation du défaut de transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAP



a- Courant injecté ia



b- Courant injecté ib



c- Courant injecté ic

Figure IV.18 : Courants injectés par le FAP après compensation du défaut de transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAP

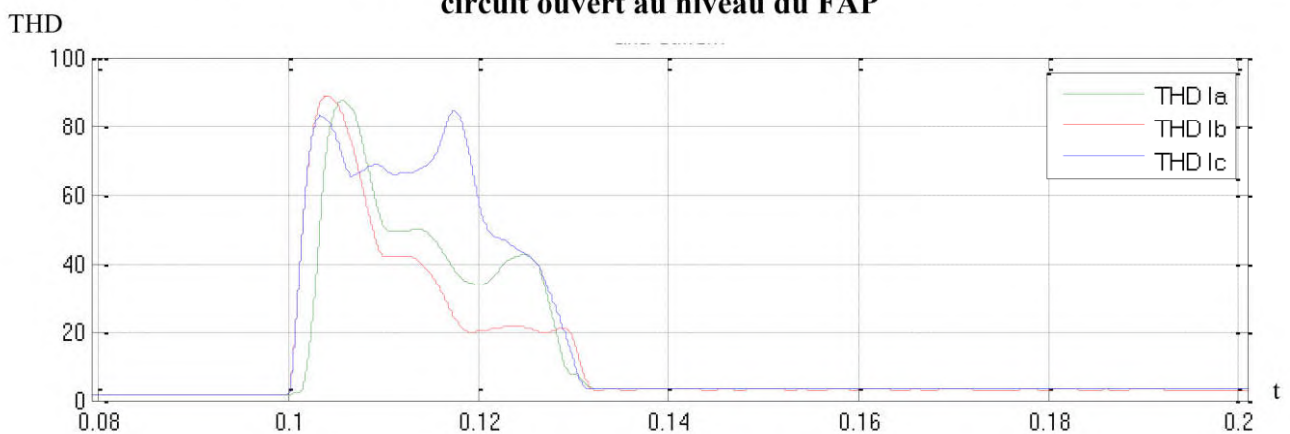
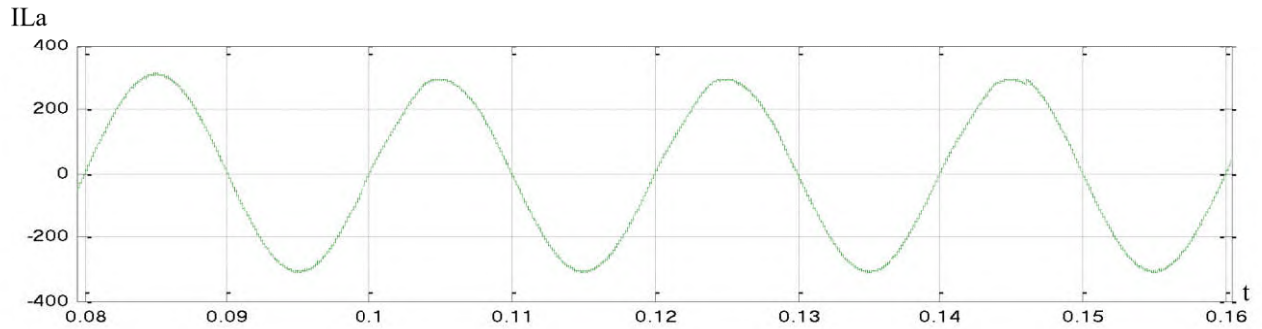


Figure IV.19 : Evolution des THDs des courants de source après compensation du défaut de transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAP

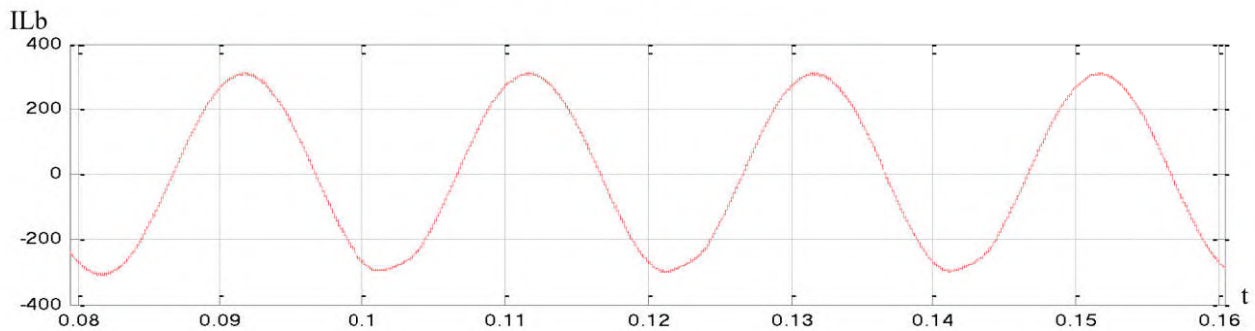
IV.3.2.2. Compensation du défaut de transistor en circuit ouvert au niveau du FAS

Dans ce qui suit, la simulation des défauts est effectuée sur les interrupteurs T1, T2 et T6 du filtre actif série du système UPC à $t=0.1s$.

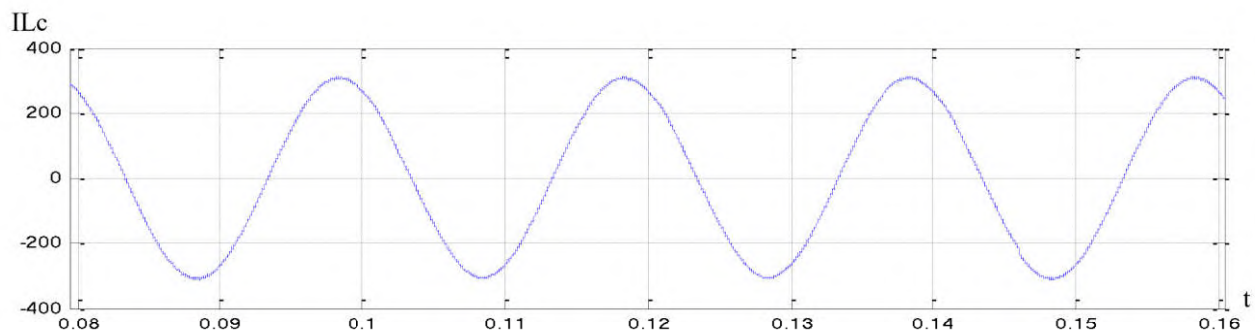
Transistor T1 (1^{er} bras haut) maintenu ouvert



a- Tension de charge VL_a

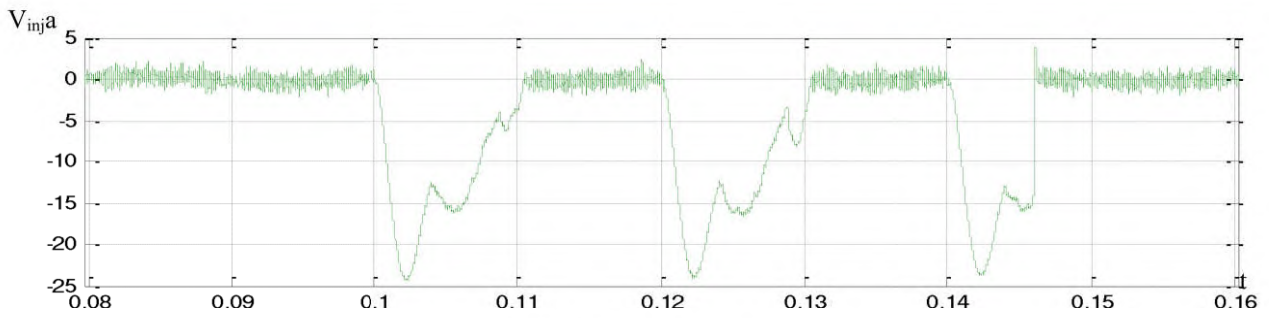


b- Tension de charge VL_b

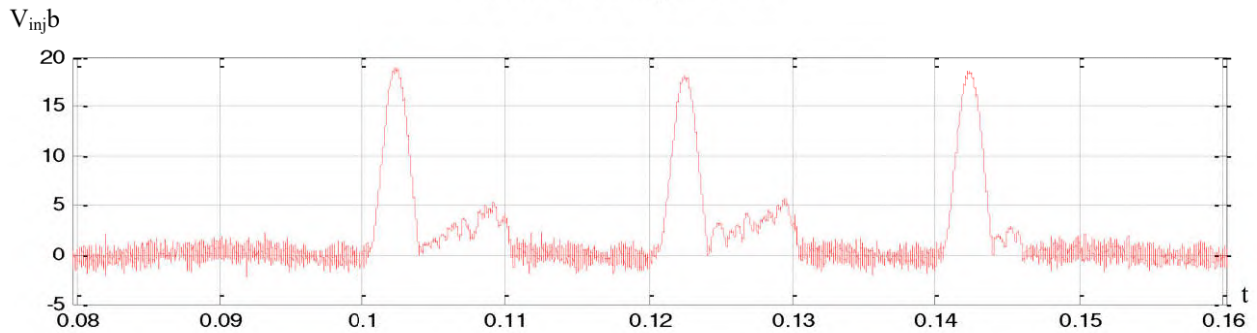


c- Tension de charge VL_c

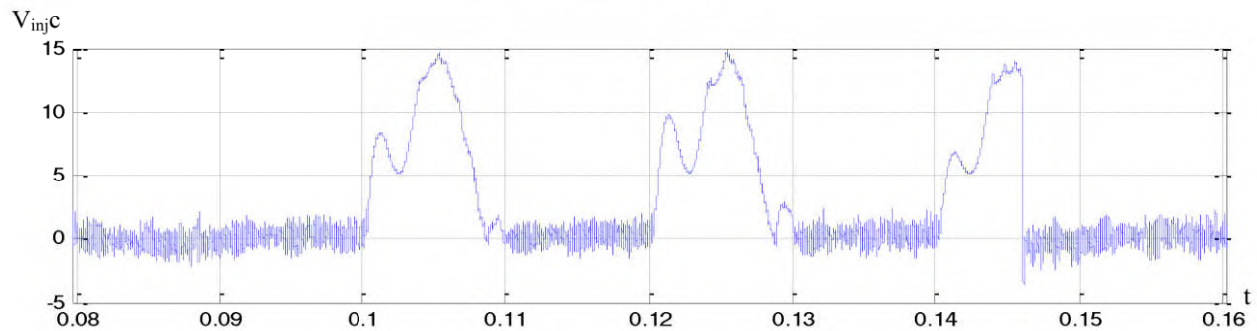
Figure IV.20 : Tensions de charge après compensation du défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAS



a- Tension injecté Va



b- Tension injecté Vb



c- Tension injecté Vc

Figure IV.21 : Tensions injectées par le FAS après compensation du défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAS

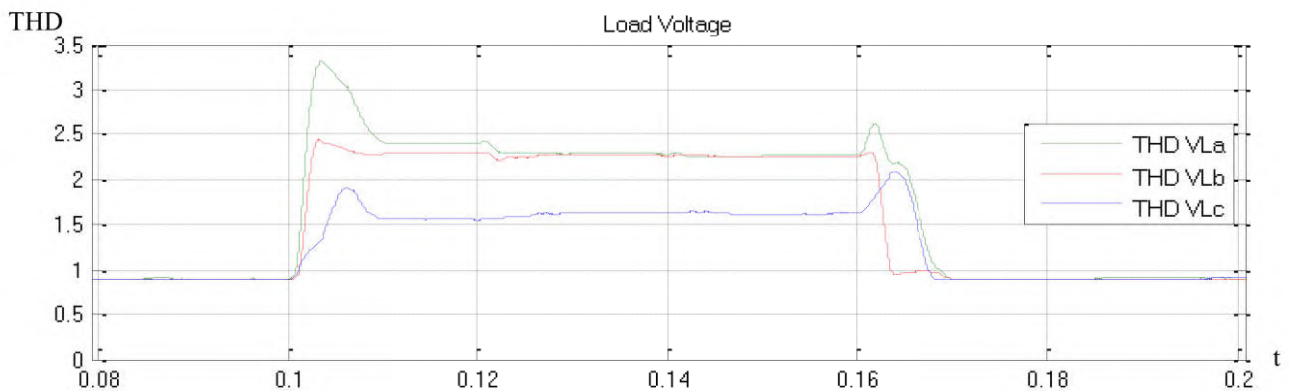
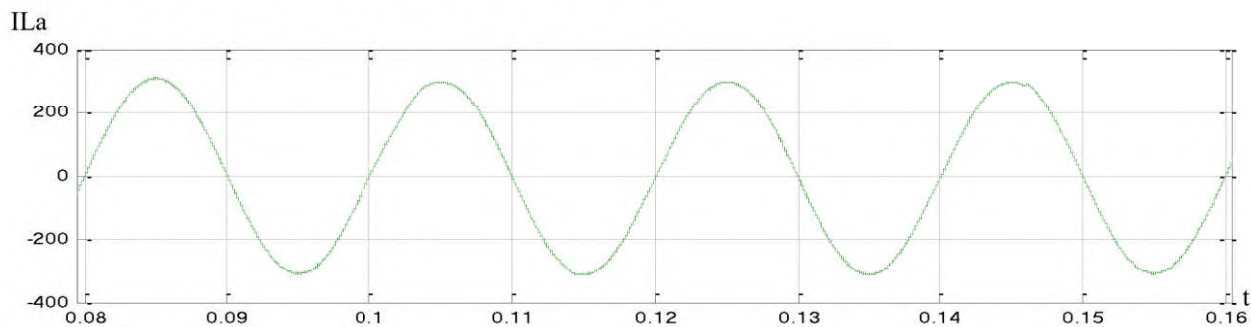


Figure IV.22 : Evolution des THDs des tensions de charge après compensation du défaut de transistor T1 en circuit ouvert au niveau du FAS

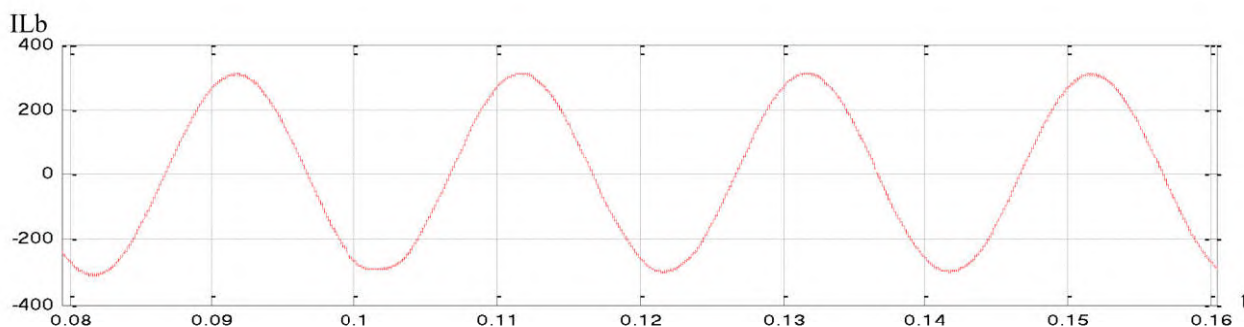
Une première analyse des figures (figure IV.20, figure IV.21 et figure IV.22) indique que la technique du diagnostic par RNA identifie et localise efficacement le bras en défaut, assurant ainsi sa compensation, en faisant intervenir le bras redondant du FAS.

Mêmes remarques sont constatées dans les figures (figure IV.23, figure IV.24 et figure IV.25) et les figures ((figure IV.26, figure IV.27 et figure IV.28).

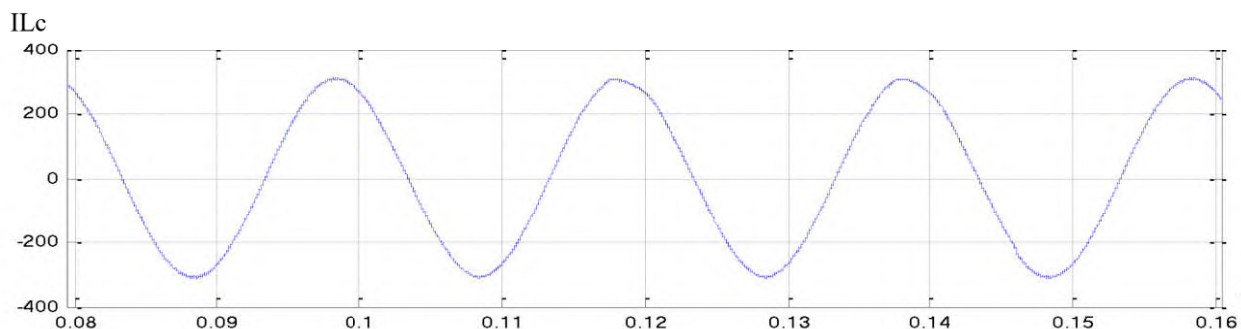
Transistor T2 (2^{ème} bras haut) maintenu ouvert



a- Tension de charge VL_a



b- Tension de charge VL_b



c- Tension de charge VL_c

Figure IV.23 : Tensions de charge après compensation du défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAS

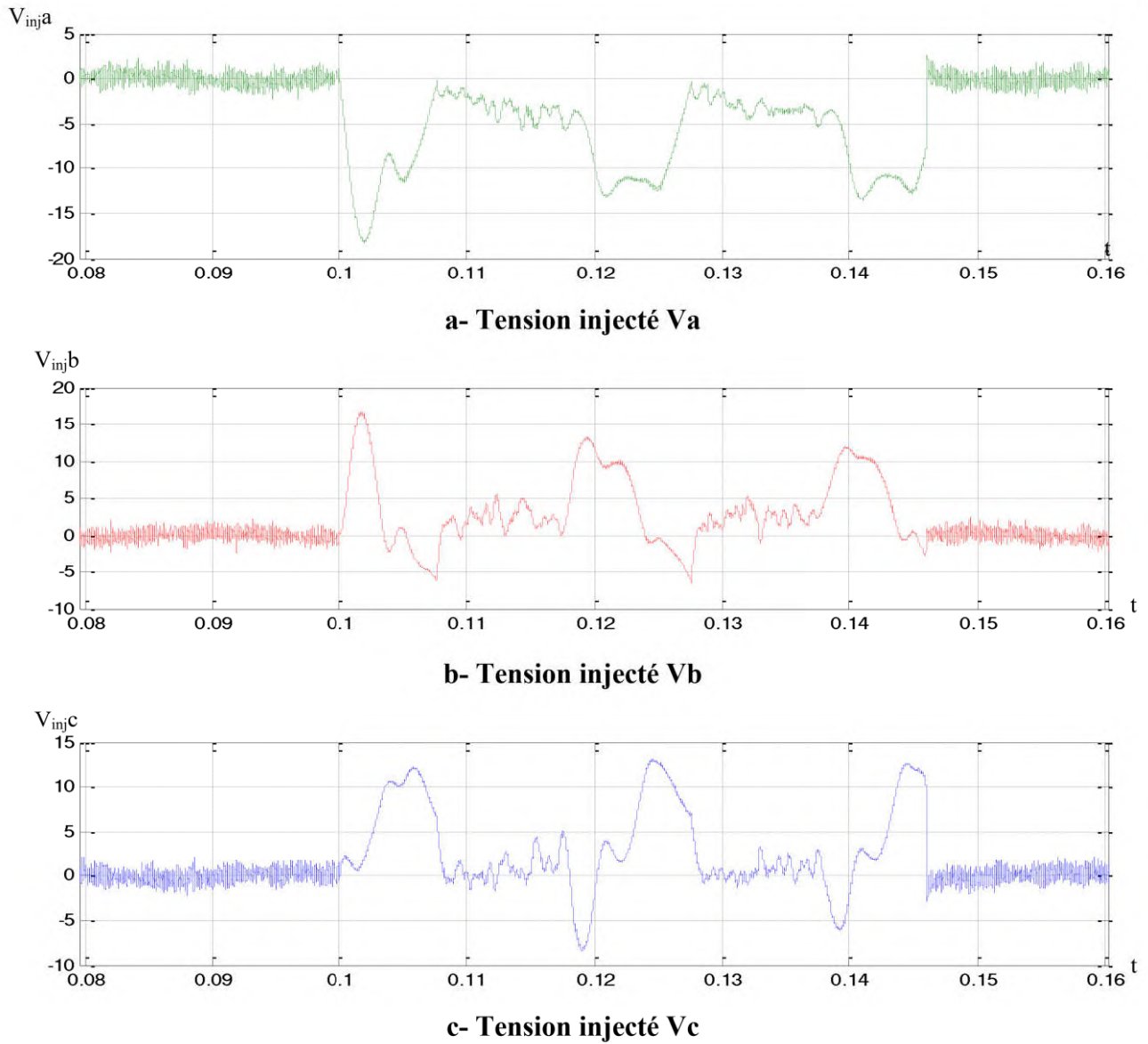


Figure IV.24 : Tensions injectées par le FAS après compensation du défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAS

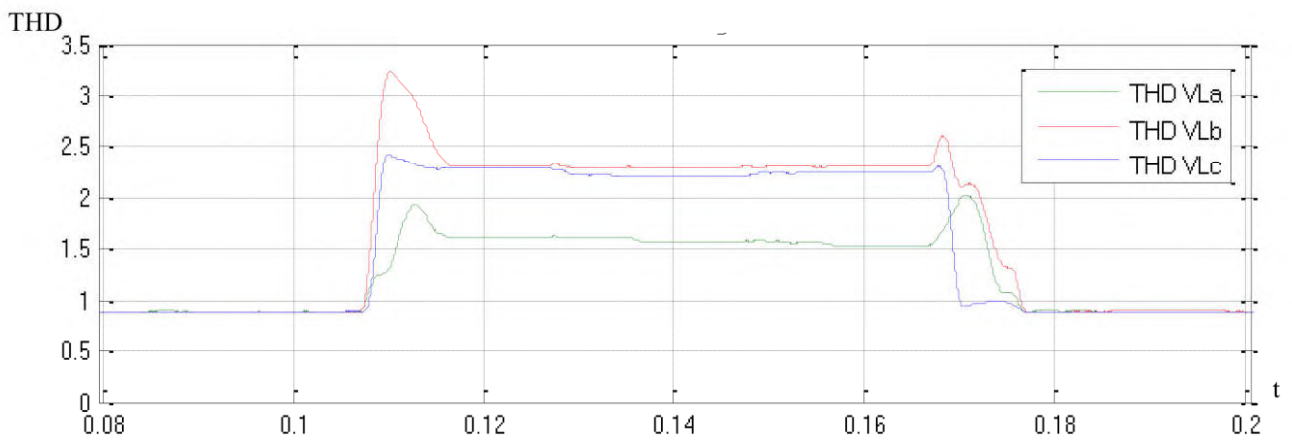
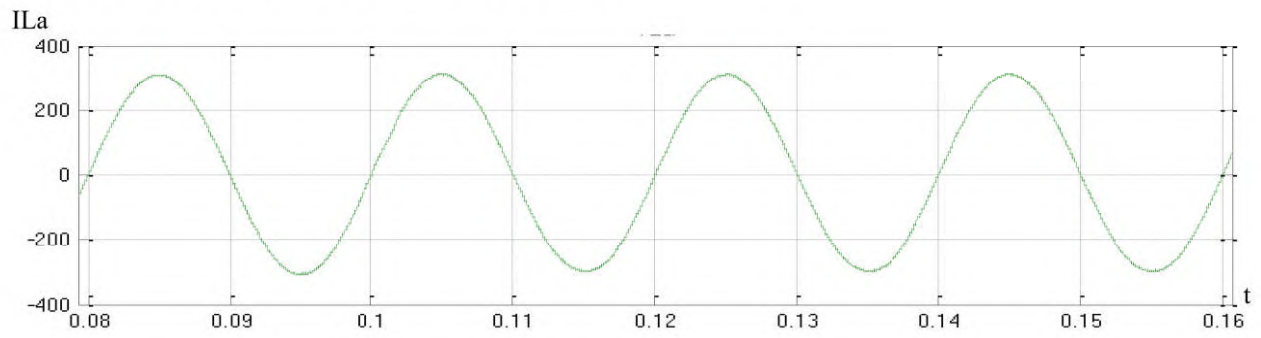
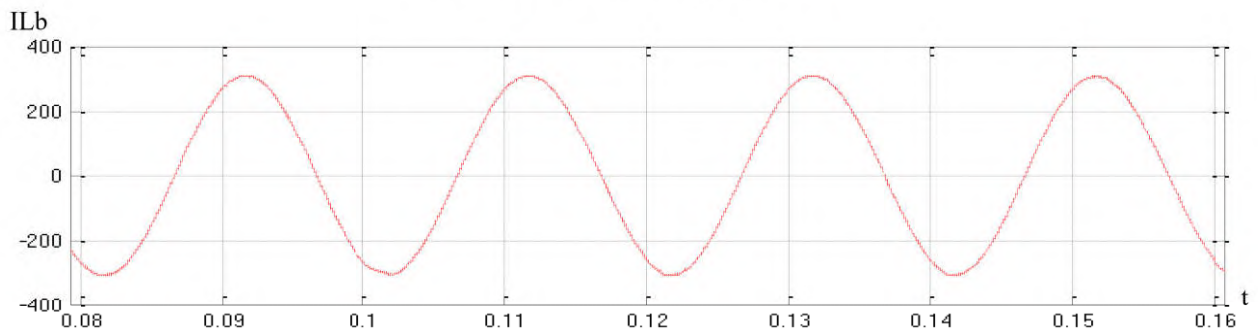


Figure IV.25 : Evolution des THDs des tensions de charge après compensation du défaut de transistor T2 en circuit ouvert au niveau du FAS.

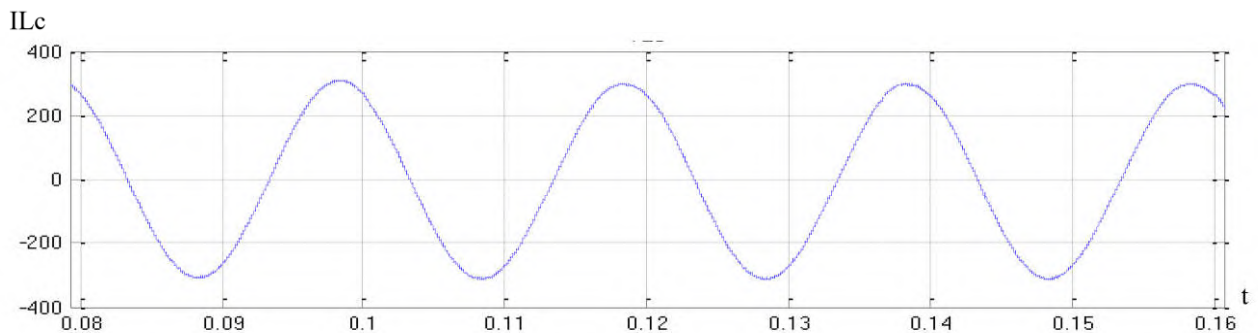
Transistor T6 (3^{ème} bras bas) maintenu ouvert



a- Tension de charge VL_a

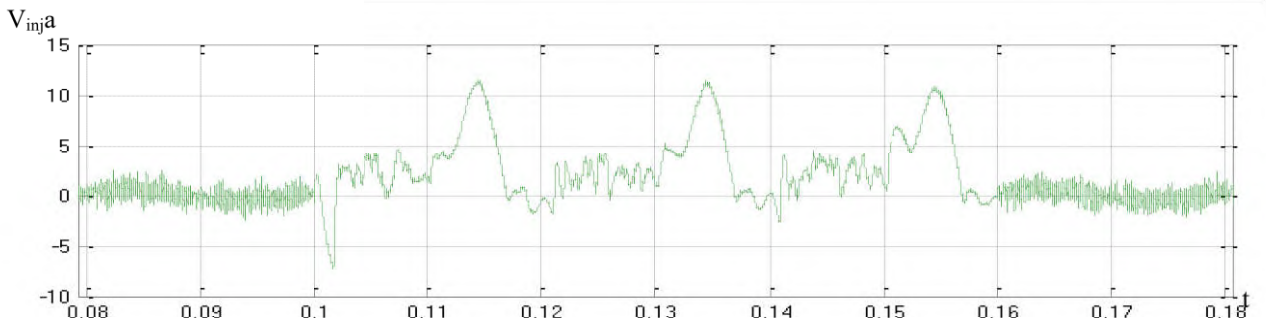


b- Tension de charge VL_b

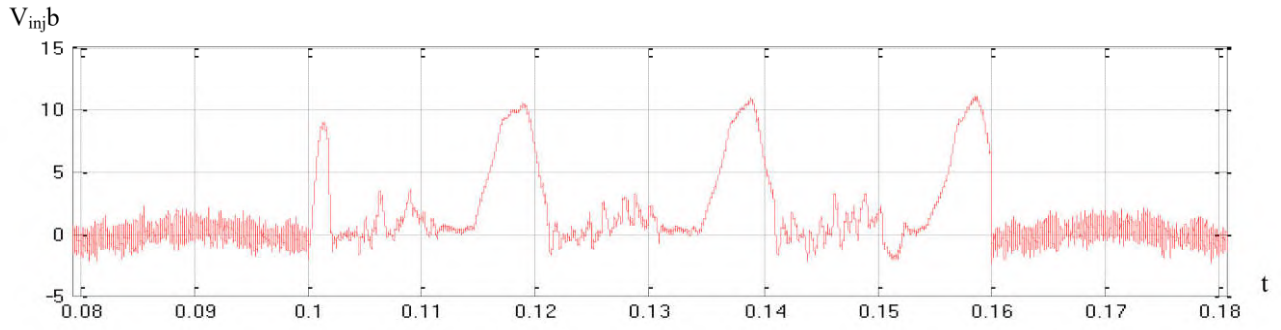


c- Tension de charge VL_c

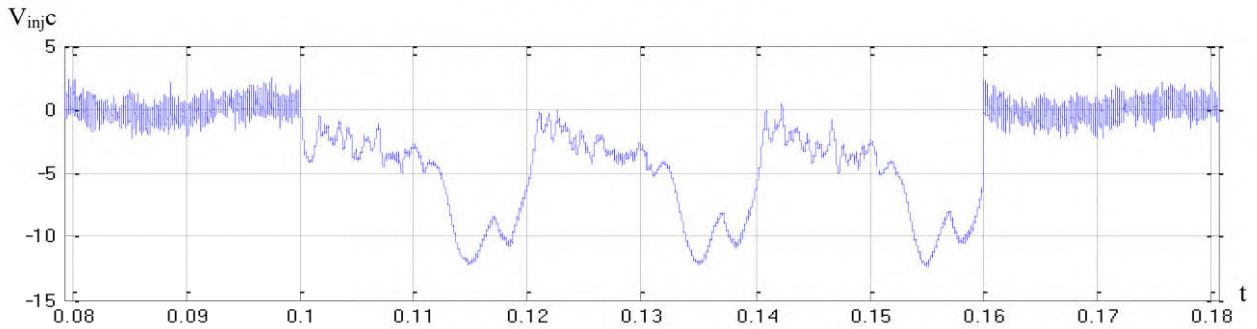
Figure IV.26 : Tensions de charge après compensation du défaut de transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAS



a- Tension injecté Va



b- Tension injecté Vb



c- Tension injecté Vc

Figure IV.27 : Tensions injectées par le FAS après compensation du défaut de transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAS

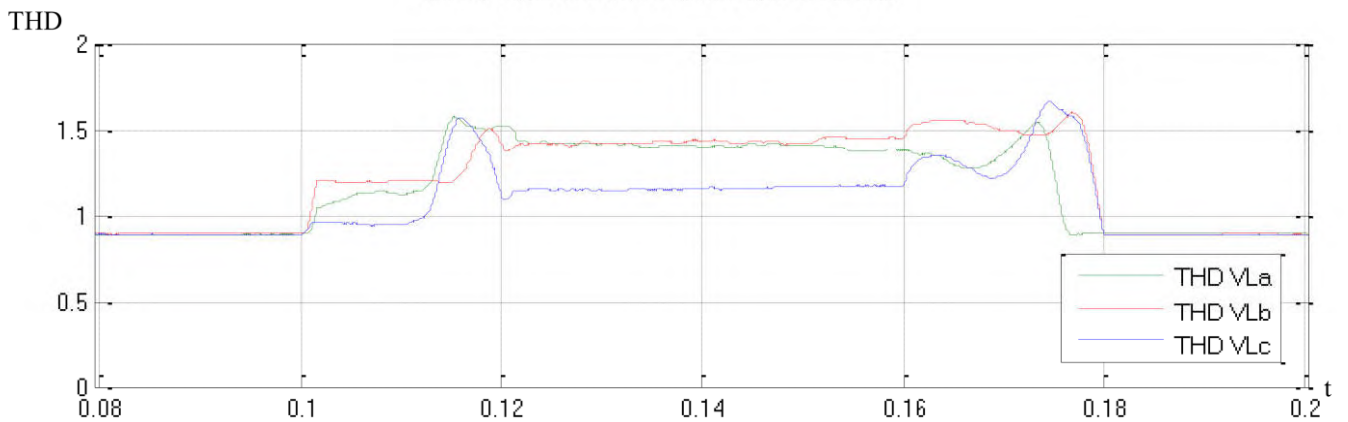


Figure IV.28 : Evolution des THDs des tensions de charge après compensation du défaut de transistor T6 en circuit ouvert au niveau du FAS.

IV.4. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré à l'étude du système de détection, localisation et de compensation du défaut de circuit ouvert d'un transistor pour les deux onduleurs constituant le filtre UPQC.

Nous avons proposé une nouvelle méthode basée sur le RNA, permettant de détecter, d'identifier automatiquement le défaut, et de le compensé, par voix de bras redondant et en gardant la même architecture. La méthode proposée détecte l'apparition du défaut concerné et identifie le composant défectueux. Ensuite, le système de compensation fait intervenir le bras redondant et met le bras défectueux hors service. L'efficacité de cette méthode réside dans le choix des caractéristiques pour l'apprentissage. En effet, la combinaison des informations fournies par la transformée de Fourier, la valeur Skewness et la valeur maximale permet de détecter et de localiser l'interrupteur défectueux. Ainsi, le RNA peut déterminer le bras défaillant et l'interrupteur défectueux. La commande tolérante aux défauts intervient sur le bras défaillant pour le mettre hors service en commandant ses transistors à l'ouverture. Les commandes désignées aux transistors du bras défectueux seront appliquées aux transistors du bras redondant. Cela est applicable pour les deux bras redondants des onduleurs de tension (FAP et FAS) de l'UPQC.

Les analyses et les résultats de simulation présentés dans ce chapitre ont montré que la méthode proposée pour le diagnostic du bras défaillant est fiable et efficace.

CONCLUSION GENERALE

La qualité de l'énergie électrique constitue un enjeu majeur dans l'industrie d'aujourd'hui. La sensibilité de l'électronique actuelle et des équipements électrique font de la qualité un élément primordial et essentiel. L'avancée technologique a vu l'évolution du filtrage allons du filtre classique (passif) vers des filtres plus évolués et plus performant. Les filtres actifs (Série, parallèle ou UPQC) sont parmi ces filtres évolués, ils présentent des avantages non négligeable et précieux d'un point du vue économique ou industriel. L'inconvénient majeur réside dans leur avancé technologique. En effet, les semi-conducteurs sont le point faible des filtres actifs. Les recherches ont démontré que ce sont eux les plus affecté par des défaillances engendrant ainsi le dysfonctionnement du filtre actif. L'apparition d'un défaut au niveau du filtre actif n'est pas toujours visible et peut ne pas être détecté rapidement, d'où l'intérêt de mettre au point des systèmes de diagnostic rapide et fiable. Permettant de détecter l'organe défectueux et si possible le localiser pour permettre une maintenance rapide et efficace.

L'axe principal de la thèse, est de mettre au point un système automatique de diagnostic permettant de détecter et de localiser l'interrupteur semi-conducteur défectueux. La difficulté du thème est de faire la différence entre les différents filtres constituant notre système. En effet, le filtre étudié est un filtre UPQC, constitué de deux filtre actif, l'un série et l'autre parallèle, le tous fonctionnant en même temps. Ce qui induit l'étude de six (06) bras et de douze (12) interrupteurs, chacun d'eux influant sur des caractéristiques différentes au niveau de la ligne de production et affectant à tous moment la qualité de l'énergie électrique fournit à la charge de la part de la source. Après détection et localisation une procédure sera lancée pour isoler le bras défectueux et le remplacer automatiquement par un bras de secours en topologie redondante. Ce qui s'inscrit sur le thème de la commande tolérante aux défauts.

Pour atteindre nos objectifs de diagnostic et de commande tolérante, notre travail c'est diviser en quatre chapitre, étudiant chacun une facette de notre thèse. Ainsi, Le premier chapitre traite le diagnostic et son importance industrielle, les réseaux de neurones artificiels et leurs concepts pour être utilisé dans le diagnostic. Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les filtres actifs série, parallèle et UPQC et l'intérêt qu'ils apportent aux filtrages de la ligne de production électrique. Nous avons pu observer par simulation l'intérêt d'utilisé les filtres actifs à travers leurs influences sur les différentes perturbations extérieurs sur la ligne de production affectant le courant ou la tension. Le troisième chapitre à permis de visualiser les différentes grandeurs (tension et courant) dans le système de transport de la ligne électrique ainsi que de pouvoir observé l'influence du défaut de type circuit ouvert sur le système UPQC dans sur la qualité

de l'énergie électrique. Pour finir cette thèse, le dernier chapitre à démontrer les performances de classification, d'identification et de localisation d'un défaut de type circuit ouvert, pour enfin déclencher le mécanisme de la commande tolérante qui assure un fonctionnement stable et efficace.

En perspectives, le travail élaboré peut être l'objet de nouveaux sujets d'étude et de réalisations. Une étude des performances sur des filtres multiniveaux serait à envisager. D'autre alternative sur la commande tolérante pourrait être explorer comme l'utilisation d'un demi bras ou le remplacement de l'interrupteur seulement lors de l'apparition du défaut. La technique de diagnostic pourrait être vérifier pour les onduleurs alimentant les moteurs.