

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة جيلالي بونعامة - خميس مليانة - عين الدفلى

Université Djilali Bounaama –Khemis Miliana – Ain Defla

Faculté des sciences et de la technologie

Département de génie électrique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER ACADIMIQUE

En : Electrotechnique industrielle

Thème

Étude et simulation d'un filtre actif série

Par : -Zineddine Abdellah Otsmane

-Hasna Kardjadja

Dirigé par : Mr.Abelkader Yousfi

- Président : Mr. Kaci.Meziane
- Examineur : Mr. Benyoucef.Abousoufiane

Année universitaire : 2020-2021

Dédicaces

On dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de nos chers parents qui ne cessent de nous donner avec amour le nécessaire pour que nous puisse arriver à ce que nous somme aujourd'hui. Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à nos portée pour que nous puisse vous combler de bonheur.

On dédie aussi ce travail à :

Nous frère

Les familles Kardjadja et Abdellah Otsmane

Tous les amis, les collègues et tous ceux qui nous estiment

Remerciements

Nous rendons nos profondes gratitudees à Dieu le tout

Puissant qui nous a aidés à réaliser ce travail.

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs
remerciements*

à notre encadreur Mr : Yousfi. Pour avoir d'abord

*Proposé ce thème, pour leur suivi continuuel tout au long
de*

la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous

Donner leurs conseils.

*Nous remercions tous les membres du jurée qui acceptent
de*

*Juger notre travail et pour l'intérêt qu'ils l'ont
porté.*

*Un grand merci à tous les enseignants qui ont contribué
à notre formation sans exception.*

Nomenclature

C_{fs} : Capacité de filtre de sortie.

D : la puissance de déformante.

d-q : le repère de Park

F.P : le facteur de puissance.

FAP : Filtre Actif Parallèle.

FAS : Filtre Actif Série.

f_c: Fréquence de coupeur.

FFT : Fast Fourier transformé

flicker : un anglicisme pour le papillotement, une variation de la tension électrique.

FPB : filtre passe bas.

FPH : filtre passe haut.

GTO : Gate Turn-Off Thyristor (thyristor à extinction par la gâchette

ich: Courant de la charge.

if: Courant injecté par le filtre actif parallèle.

IGBT : Isolated Gate Bipolar Transformer (transistor bipolaire à grille isolée).

is: Courant de la source.

is1, is2, is3 : Courants de source.

I_α, I_β: Courant dans le repère.

L : Inductance

L_c : filtrer les harmoniques de commutation de l'onduleur.

L_{fs}: Inductance de filtre de sortie.

L_s: Inductance de source.

mosfet : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor(transistor à effet de champ à grille isolée).

P : puissance active.

p : Puissance instantanée active.

\bar{p}, \bar{q} : Puissance continue liée à la composante fondamentale active et réactive du courant.

\tilde{p}, \tilde{q} :Puissance alternative liées à la somme des composantes harmonique du courant.

P_c : puissance active consommée par la charge.

P_f : puissance instantanée injectée par le compensateur.

PI : Régulateur proportionnel intégral

PLL : phase lacked loop (boucle à verrouillage de phase).

P_s : puissance active délivrée par la source.

q : Puissance instantanée réactive.

Q : puissance réactive.

R : Résistance.

R_s: Résistance de source.

S : puissance apparente.

THD : Taux de Distorsion Harmonique.

UPQC : unified power quality condioner.

V_{ref} : Tension de référence.

V_s:Tension de la source.

vs1, vs2, vs3 : Tensions de source.

V_{sh}: Tension injecter par le filtre actif série.

V_α, V_β : Tension dans le repère.

X_h : Valeur efficace des différentes harmoniques de tension (courant).

X₁ : Valeur efficace de tension (courant).

δd: la composante fondamentale directe de tension.

α-β-0: Les repères homopolaires du système triphasé de courant ou de tension

La table des matières

❖ Introduction générale

❖ CHAPITRE I : Qualité de l'énergie, les perturbations et les solutions de dépollutions des réseaux électriques

I.1- Introduction	page 1
I.2- La qualité de l'énergie électrique.....	page 2
I.3- Les perturbations électriques	page 3
I.3.1- Creux de tension.....	page 3
I.3.1.a- Source des creux de tension.....	page 4
I.3.1.b- Effets des creux de tension.....	page 4
I.3.2- coupure de tension	page 5
I.3.2.a- origines des coupures de tension.....	page 6
I.3.3- Fluctuation de tension (flickler)	page 6
I.3.4- surtension temporaires ou transitoires.....	page 7
I.3.4 .a-sources des surtensions.....	page 8
I.3.4 .a.1- surtension par décharges électrique atmosphériques.....	page 8
I.3.4 .a.2- surtensions de commutation.....	page 8
I.3.4 .b- conséquences et effets de la surtension.....	page 8
I.3.5- Déséquilibre du système triphasé (courant et tension).....	page 9
I.3.5.a- sources du déséquilibre	page 10
I.3.5.b- effets du déséquilibre.....	page 10
I.3.6- Variation de fréquence.....	page 11
I.3.7- Harmonique et inter harmonique.....	page 11
I.3.7.1- caractéristique des perturbations harmonique.....	page 12
I.3.7.1.a-taux de distorsion harmoniques(THD)	page 12
I.3.7.1.b- le facteur de puissance	page 13
I.3.7.2-Sources des harmoniques.....	page 14

I.3.7.3- Conséquences des harmoniques	page 14
I.4- Solution de dépollution des réseaux électriques.....	page 15
I.4.1- Solutions traditionnelles	page 15
I.4.1.a- surdimensionnement de l'installation électrique	page 16
I.4.1.b-rééquilibrage des courants et des tensions du réseau	page 16
I.4.1.c- compensation des creux et des interruptions.....	page 16
I.4.1.d- compensation de la puissance réactive.....	page 16
I.4.1.e-compensation des courants harmoniques.....	page 17
I.4.2- Solutions modernes	page 18
I.4.2.1- filtrage actif	page 18
I.4.2.1.a- rôle du filtre actif	page 19
I.4.2.1.b- Principe de fonctionnement du filtre actif	page 19
I.4.2.a- Principe de fonctionnement des filtres actif série	page 19
I.4.2. b- Principe de fonctionnement d'un filtre actif parallèle	page 20
I.4.2.c- Combinaison parallèle-série de filtres actifs « UPQC, Unified Power Quality Conditioner ».....	page 21
I.4.2.d- Filtre hybride	page 22
I.4.2.d.1- Filtre actif série en parallèle avec un Filtre passif parallèle.....	page 23
I.4.2.d.2- Filtre actif série en série avec un Filtre passif parallèle	page 23
I.4.2.d.3- Filtre actif parallèle avec un Filtre passif parallèle	page 24
I.5- Comparaison des différents filtrages	page 24
I.6- choix de la structure.....	page 25
I.7- domaines d'application des filtres actifs	page 26
I.8- Conclusion	page 27

❖ **CHAPITRE II** : Filtrage actif série de puissance, principe et stratégie de commande

II.1- Introduction	page 28
II.2- Description d'un F.A.S	page 28
II.3- Principe de fonctionnement d'un filtre actif série(F.A.S).....	page 29
II.4- Structure général du filtrage actif série(F.A.S).....	page 30
II.4.1- Partie puissance du filtrage actif série(F.A.S)	page 31
II.4.1.1- Onduleur de tension	page 31
II.4.1.2- Filtre de sortie L f s, C f s.....	page 31
II.4.1.3- Transformateurs d'injection et protection du F.A.S	page 32
II.4.1.4- Système de stockage de l'énergie	page 32
II.4.2- Circuit de commande d'un filtre actif série	page 32
II.4.2.1- La commande par hystérésis	page 33
II.5- l'identification des tensions perturbatrices	page 34
II.5.1- la méthode des puissances instantanées	page 34
II.5.2- l'identification des tensions perturbatrices basée sur la PLL (phase locked loop).....	page 38
II.5.2.a- structure général du système PLL (phase locked loop).....	page 38
II.5.2.b- Algorithme d'identification des tensions perturbatrices basée sur le PLL ...	page 39
II.6- Conclusion	page 40

❖ **CHAPITRE III** : simulation d'un filtre actif série

III.1-Introduction.....	page 41
III.2-description de système à simuler.....	page 41
III.3- Perturbation type « creux de tension.....	page 43
III.3.a- Le modèle de montage avant le filtrage.....	page 43
III.3.b-Le modèle de montage après le filtrage.....	page 43

III.3.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink.....	page 44
• Sans FAS (Avant le filtrage).....	page 45
• Avec FAS (Après le filtrage).....	page 46
III.3.2- L'interprétation.....	Page 47
III.3.3 –comparaison.....	page 47
III.4- Perturbation type « déséquilibre de tension.....	page 48
III.4.a- Le modèle de montage avant le filtrage.....	page 48
III.4.b-Le modèle de montage après le filtrage.....	page 48
III.4.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink.....	page 49
• Sans FAS (Avant le filtrage).....	page 50
• Avec FAS (Après filtrage).....	page 51
III.4.2- L'interprétation.....	Page 52
III.4.3- Comparaison.....	page 52
III.5- Perturbation type « harmoniques de tension.....	page 53
III.5.a- Le modèle de montage avant le filtrage.....	page 53
III.5.b- Le modèle de montage après le filtrage.....	page 53
III.5.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink.....	page 54
• Sans FAS (Avant le filtrage).....	page 55
• Avec FAS (Après filtrage).....	page 56
III.5.2- L'interprétation.....	page 57
III.5.3- comparaison.....	Page 57
III.6-Perturbation type « surtension et chute de tension.....	page 58
III.6.a-Le modèle de montage avant le filtrage.....	page 58
III.6.b-Le modèle de montage après le filtrage.....	page 58

III.6.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink.....	page 59
• Sans FAS (Avant le filtrage).....	page 60
• Avec FAS (Après le filtrage).....	page 61
III.6.2- L'interprétation	page 62
III.6.3-Comparaison.....	page 62
III.7-Perturbation type « creux de tension avec déséquilibre de tension.....	page 63
III.7.a-Le modèle de montage avant le filtrage.....	page 63
III.7.b-Le modèle de montage après le filtrage.....	page 63
III.7.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink.....	page 64
• Sans FAS (Avant le filtrage).....	page 65
• Avec FAS (Après le filtrage).....	page 66
III.7.2- L'interprétation.....	page 67
III.7.3-comparaison.....	page 67
III.8- Conclusion.....	page 68

❖ **Conclusion générale**

❖ **Bibliographie**

Liste des figures :

❖ Chapitre I : Qualité de l'énergie, les perturbations et les solutions de dépollutions des réseaux électriques

- Figure I.1**.....Creux de tension.
- Figure I.2**.....coupure de tension.
- Figure I.3**.....Fluctuations de tension.
- Figure I.4**.....surtensions transitoires.
- Figure I.5**.....Le déséquilibre en amplitude et en phase d'un système triphasé.
- Figure I.6**.....Variation de fréquence.
- Figure I.7**.....Fondamental et intr-harmonique.
- Figure I.8**.....diagramme vectorielle du facteur de puissance.
- Figure I.9**.....Filtre passif résonant.
- Figure I.10**.....Filtre passif amorti.
- Figure I.11**.....Filtre actif série.
- Figure I.12**.....Filtre actif parallèle.
- Figure I.13**.....Combinaison parallèle-série actifs(UPQC).
- Figure I.14**.....Filtre actif série en parallèle avec un Filtre passif parallèle.
- Figure I.15**.....Filtre actif série en série avec un Filtre passif parallèle.
- Figure I.16**.....Filtre actif parallèle avec un Filtre passif parallèle.

❖ Chapitre II : filtrage actif série de puissance, principe et stratégie de commande

Figure II.1.....Principe du filtrage actif série.

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

Figure II.3.....Structure générale du filtre actif série.

Figure II.4.....control par hystérésis.(1) ;principe de contrôle.(2) :commande des interrupteurs

Figure II.5.....Structure d'un filtre passe bas.

Figure II.6.....Structure d'un filtre passe haut.

Figure II.7.....schéma global du système à base de PLL

Figure II.8.....méthode d'identification basée sur l'emploi d'un système à base de PLL

❖ Chapitre III : Simulation d'un filtre actif série

Figure III.1..... La structure générale à étudier.

Figure III.2 Le filtre actif série détaillé.

Figure III.3..... Le modèle de montage avant le filtrage d'un creux de tension.

Figure III.4 Le modèle de montage après le filtrage d'un creux de tension.

Figure III.5Analyse temporelle de la compensation d'un creux de tension.

Figure III.6 Le FFT avant le filtrage d'un creux de tension.

Figure III.7 Le THD avant le filtrage d'un creux de tension.

Figure III.8 Le FFT après le filtrage d'un creux de tension.

Figure III.9..... Le THD après le filtrage d'un creux de tension.

Figure III.10 Le modèle de montage avant le filtrage d'un déséquilibre de tension

Figure III.11Le modèle de montage après le filtrage d'un déséquilibre de tension.

Figure III.12..... Analyse temporelle de la compensation d'un déséquilibre de tension

Figure III.13 Le FFT avant le filtrage d'un déséquilibre de tension.

Figure III.14Le THD avant le filtrage d'un déséquilibre de tension.

Figure III.15Le FFT après le filtrage d'un déséquilibre de tension.

Figure III.16 Le THD après le filtrage d'un déséquilibre de tension.

Figure III.17..... Le modèle de montage avant le filtrage des harmoniques de tension.

Figure III.18 Le modèle de montage après le filtrage des harmoniques de tension.

Figure III.19..... Analyse temporelle de la compensation des harmoniques de tension.

Figure III.20 Le FFT avant le filtrage des harmoniques de tension.

Figure III.21..... Le THD avant le filtrage des harmoniques de tension.

Figure III.22..... Le FFT après le filtrage des harmoniques de tension.

Figure III.23..... Le THD après le filtrage des harmoniques de tension.

Figure III.24..... Le modèle de montage avant le filtrage de surtension et chute de tension

Figure III.25..... Le modèle de montage après le filtrage de surtension et chute de tension

Figure III.26 Analyse temporelle de la compensation d'une surtension et chute de tension.

Figure III.27Le FFT avant le filtrage de surtension et chute de tension

Figure III.28.....Le THD avant le filtrage de surtension et chute de tension

Figure III.29..... Le FFT après le filtrage de surtension et chute de tension.

Figure III.30Le THD après le filtrage de surtension et chute de tension.

Figure III.31.....Le modèle de montage avant le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension

Figure III.32.....Le modèle de montage après le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

Figure III.33.....Analyse temporelle de la compensation de creux de tension avec déséquilibre de tension

Figure III.34.....Le FFT avant le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

Figure III.35..... THD avant le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

Figure III.36..... FFT après le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

Figure III.37..... THD après le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Qualité de l'énergie, les perturbations et les solutions de dépollutions des réseaux électriques

Tableau I.1.....Conséquences des creux de tension sur quelques équipements électriques sensibles

Tableau I.2.....Les quatre types de surtension présente sur les réseaux électriques

Tableau I.3.....Comparaison des différents types de filtrage

CHAPITRE III : Simulation d'un filtre actif série

Tableau III.1..... comparaison de THD d'un creux de tension avant et après le filtrage

Tableau III.2.....comparaison de THD d'un déséquilibre de tension avant et après le filtrage

Tableau III.3..... comparaison de THD des harmoniques de tension avant et après le filtrage

Tableau III.4..... comparaison de THD d'une surtension et chute de tension avant et après le filtrage

Tableau III.5.....comparaison de THD de creux de tension avec déséquilibre de tension avant et après le filtrage

Actuellement, la demande en énergie électrique a augmenté en raison du développement technologique, industriel et socio-économique des pays. Les industries utilisent des dispositifs statiques de conversion d'énergie. L'inconvénient de ces dispositifs c'est qu'ils se comportent comme des charges non linéaires à base de l'électronique de puissance a entraîné de plus en plus de problèmes liés aux perturbations ou distorsions harmoniques des réseaux électriques.

Ces systèmes provoquent de plus en plus des problèmes de perturbations au niveau des réseaux électriques, tels que les distorsions harmoniques, les déséquilibres, le papillotement, les coupures brèves, les creux de tension et les surtensions temporaires et transitoires...

En outre, ces perturbations peuvent générer des nuisances, pannes ou des incidents graves par l'affectation d'un ou plusieurs paramètres de la tension du réseau électrique, tels que la fréquence, l'amplitude, la symétrie des tensions triphasées et la forme de l'onde.

Pour diminuer ou supprimer ces perturbations et ainsi améliorer la qualité de l'énergie distribuée, Un certain nombre de techniques classiques de dépollutions ont été déjà mises au point pour réduire les harmoniques et améliorer la qualité de l'énergie. Il s'agit notamment des filtres passifs, qui sont des techniques qui apportent une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations. Cependant, ces dispositifs ont montré leurs limites et inconvénients comme : manque d'adaptabilité lors de variations de l'impédance du réseau, de la charge et résonance possible avec l'impédance du réseau et dans certains cas défavorables où cette résonance est excitée, celle-ci peut entraîner une tension harmonique élevée et un courant harmonique important dans la capacité du filtre et dans le réseau.

Une autre solution plus performante et plus efficace consiste à mettre en œuvre un filtrage actif afin d'éviter les inconvénients des filtres passifs. Cette technique est basée sur l'apparition des nouvelles technologies à base de semi-conducteurs comme les MOSFET et les IGBT. Ces filtres injectent au réseau les harmoniques présents mais en opposition de phase. Il y a plusieurs types de filtres actifs de puissance telle que le filtre actif parallèle, le filtre actif série et la combinaison des deux filtres actifs série-parallèle appelée conditionneur de puissance UPQC

Dans ce mémoire, nous visons à présenter une étude détaillée du concept de filtrage actif série, et à démontrer ses contributions dans l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique. Pour ce faire, on a réparti le manuscrit en trois chapitres:

Le premier chapitre est consacré à la description des différentes perturbations induites sur les réseaux de distribution, leurs origines et leurs conséquences. Les normes standards pour chaque perturbation. Ensuite, nous présentons également les solutions classiques et modernes de dépollution.

Le deuxième chapitre porte sur l'étude du filtre actif série (FAS), son principe et stratégie de commande. Nous présentons dans un premier temps les principaux éléments qui constituent notre système ou structure électrotechnique et leurs caractéristiques. La deuxième partie traite les stratégies d'identification des tensions de références pour la commande de l'onduleur. En travaillant principalement avec la méthode des puissances instantanées et la PLL (Phase Locked Loop).

Dans le troisième chapitre, on traite l'étude à l'aide du logiciel Matlab-Simulink la simulation d'un filtre actif série soumis à Cinq types de perturbation de type tension

Chapitre I

Qualité de l'énergie et les perturbations des réseaux électriques

I.1- Introduction

La demande quantitative d'électricité a connu ces dernières années un accroissement considérable. L'augmentation des usagers de l'électricité dans la vie quotidienne et l'exigence d'un plus grand confort sont les causes principales. Parallèlement, dans les domaines tertiaires et industriels, l'apparition des matériels de plus en plus sophistiquée utilisant l'électronique de puissance et l'informatique, a provoqué l'émergence d'une exigence plus qualitative : le kWh électrique ne doit plus seulement être immédiatement disponible et en quantité suffisante, mais doit aussi être de qualité, c'est à dire propre et fiable. C'est un besoin nouveau dont la satisfaction constitue pour les distributeurs d'énergie électrique un réel défi technique. Les récents développements dans l'industrie de l'électronique de puissance ont conduit à une considérable croissance de la puissance pouvant être manipulée par les dispositifs semi-conducteurs. Cependant, la tension maximale supportée par ces dispositifs demeure le major obstacle dans les applications hautes et moyennes tensions [1].

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'ils maintiennent à leurs bornes [2]. Il est évident que la qualité de cette énergie est devenue un sujet stratégique pour les raisons suivantes :

- Nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises.
- Réduction des coûts liés à la perte de continuité et à la non-qualité.
- Coût des perturbations (coupure, harmonique,...) est élevé [1].

Donc, le but est de fournir aux clients une forme de tension idéale (onde sinusoïdale) qui a par définition les caractéristiques suivantes :

- Amplitude constante au niveau exigé.
- Fréquence constante et équilibrée en cas du triphasé.

Naturellement, ce n'est pas toujours possible, à cause des variations du système en raison des incidents inévitables qui peuvent temporairement affecter l'opération, ex : court-circuit [3] et les charges non linéaires provoquant des courants harmoniques qui causent la

déformation de la forme sinusoïdale de la tension par l'intermédiaire de l'impédance du réseau. Dans ce chapitre, nous étudierons la qualité d'énergie électrique et perturbations.

I.2- Qualité de l'énergie électrique

La qualité de l'énergie est une notion assez large qui recouvre à la fois la qualité de la fourniture électrique, la qualité de l'onde de tension et la qualité des courants. Lorsque la tension est présente, les principaux phénomènes pouvant l'affecter sont d'une part les variations lentes : creux de tension, sursensions, coupures, déséquilibres et d'autre part des variations rapides : sursensions transitoires, flicker ainsi que les harmoniques. La qualité des courants reflète par contre la possibilité des charges à fonctionner sans perturber ni réduire l'efficacité du système de puissance. C'est pourquoi certains considèrent que la qualité de l'électricité se réduit à la qualité de la tension [4]. La qualité de l'alimentation électrique ou qualité de l'onde fait référence à la mesure du degré de conformité d'une source d'alimentation électrique par rapport à un certain nombre de critères ou de normes à caractère quantitatif et absolu. L'énergie électrique est délivrée sous forme d'un système triphasé de tensions sinusoïdales. Les paramètres caractéristiques de ce système sont les suivants :

- La fréquence ;
- L'amplitude ;
- La forme d'onde qui doit être sinusoïdale ;
- La symétrie du système triphasé, caractérisée par l'égalité des modules des trois tensions et de leurs déphasages relatifs.

Tout phénomène physique affectant une ou plusieurs de ces caractéristiques peut être considéré comme perturbation. En pratique, ces perturbations sont classées selon la durée du phénomène. Ainsi, il est possible de distinguer :

- Les altérations de l'onde de tension (harmoniques, déséquilibre, flicker). Ces phénomènes sont permanents ou durent au minimum plusieurs minutes ;
- Les creux de tension et coupures brèves d'une durée de l'ordre d'une à quelques secondes ;
- Les sursensions transitoires, de durée inférieure à une période

I.3- Perturbations électriques

Les perturbations sont tous les 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 électrique du réseau (courant, tension, fréquence). Ces perturbations peuvent être classées selon deux critères ; selon la durée de persistance ou selon le mode d'affectation c'est-à-dire leurs conséquences sur les grandeurs électriques [4].

-Selon la première classification, on a deux catégories essentielles:

- **Perturbations périodiques:** (qui durent dans le temps), comme le cas des distorsions harmoniques, chutes de tension dues aux flux de puissance réactive dans le réseau, et les déséquilibres,
- **Perturbation aperiodiques:** ou l'en a principalement l'ensemble des phénomènes fugitifs souvent très difficiles à prévoir comme les creux de tension ou surtension transitoires.

-Selon leur mode d'affectation, on distingue trois familles principales:

- Perturbation sur l'amplitude ou la valeur efficace,
- Déséquilibre des systèmes triphasés,
- Distorsions harmonique.

-On présente :

I.3.1-Un creux de tension

Un creux de tension est une diminution brutale de tension de 10% à 90% de la valeur nominale pour une durée de 10ms jusqu'à 1min [5].

Les creux de tension sont caractérisés par leur amplitude et par leur durée. Ils sont monophasés, biphasés ou triphasés suivant le nombre de phases concernées

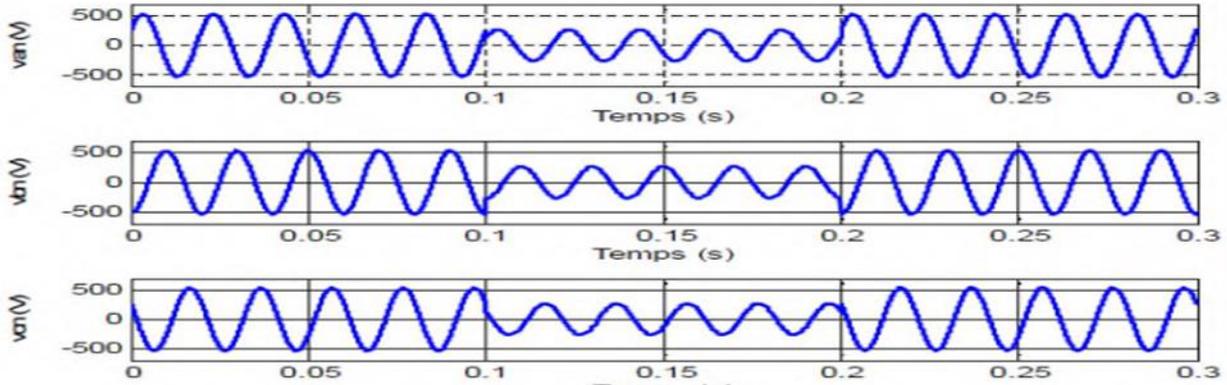


Figure I.1 : creux de tension

I.3.1.a- Sources des creux de tension

Le creux de tension ont pour principale origine les courts-circuits affectant le réseau électrique ou les installations raccordées, et le démarrage de moteurs de forte puissance (asynchrones essentiellement). En général, le courant des moteurs atteint au moment de leur démarrage 5 à 6 fois le courant nominal et diminue progressivement lorsque la machine se rapproche de sa vitesse nominale. Cette surintensité produit une chute de tension qui décroît avec la diminution du courant. Les creux de tensions engendrés par le démarrage des moteurs de forte puissance durent entre quelques secondes et quelques dizaines de seconde et se caractérisent par des chutes de tension sur les trois phases [5].

Enfin, les creux de tension peuvent également être engendrés par la saturation des transformateurs ou des modifications dans la structure du réseau. Cependant, ces perturbations provoquent rarement des chutes de tension importantes.

I.3.1.b- Effets des creux de tension

En effet, ce type de perturbation peut causer des dégradations de fonctionnement des équipements électriques qui peuvent aller jusqu'à la destruction totale de ces équipements. Il a aussi comme effets des perturbations sur les couples pour les machines tournantes, perturbation d'appareillage électronique, pannes brusques, ... [6] [7]

Le **Tableau I.1** résume les conséquences néfastes causées par les creux de tension sur quelques matériels industriels et tertiaires sensibles.

Types d'appareils	Conséquences néfastes
Eclairage	Moins de luminosité, extinction et ré-allumage (lampes à arc)
Systèmes à base d'électronique de puissance	Arrêt du dispositif
Dispositifs de protection	Ouverture des contacteurs
Moteurs asynchrones	Ralentissements, blocage, surintensité au retour de la tension
Moteurs synchrones	Perte de synchronisme, décrochage et arrêt du moteur
Variateurs de vitesse pour un moteur à courant continu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En mode onduleur : destruction des protections ▪ En mode redresseur : ralentissement de la machine
Variateurs de vitesse pour un moteur asynchrone	Ralentissement, blocage, surintensité au retour de la tension, destruction éventuelle de matériel au niveau du convertisseur

Tableau I-1 Conséquences des creux de tension sur quelques équipements électriques sensibles.

I.3.2- Coupures de tension

Une coupure de tension est due à une diminution de l'amplitude de cette tension. Généralement, pour des coupures brèves, il y a lieu d'une diminution supérieure à 90% de U_n pour un temps $10 \text{ ms} < t < 1 \text{ min}$

En revanche, pour les coupures longues, le temps de coupure brève est supérieur à 1 min. Ces deux types de perturbation peuvent être dus à divers dysfonctionnement dans les réseaux électriques, notamment, des défauts engendrés par les équipements connectés et des courants d'appel. [8]

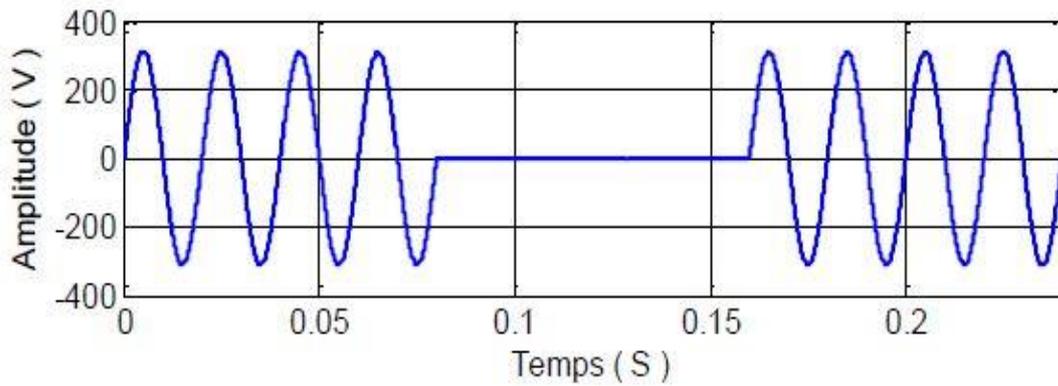


Figure I.2 : Coupure de tension

I.3.2.a- Origines des coupures de tension

Les coupures de tension sont liées aux phénomènes aléatoires, comme la foudre ou tout le court-circuit accidentel sur les réseaux de distribution, ou les réseaux internes des clients (défaut d'isolation, blessure de câble, projection de branches sur les lignes aériennes).

I.3.3- Fluctuations de tension

Les variations de tension sont des variations de la valeur efficace ou de la valeur crête d'amplitude inférieure à 10 % de la tension nominale et les fluctuations de tension sont une suite de variations de tension ou des variations cycliques ou aléatoires de l'enveloppe d'une tension dont les caractéristiques sont la fréquence de la variation et l'amplitude. [9]

- Causes : Variations importantes de charges (machines à souder, fours à arc...).
- Conséquences : Fluctuation de la luminosité des lampes (papillotement ou flicker).

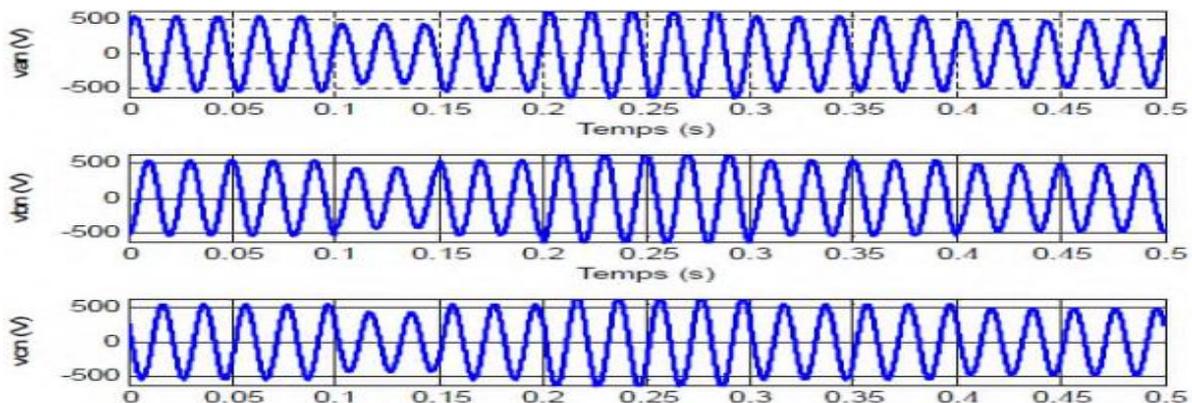


Figure I.3 : fluctuations de tension

I.3.4- Surtensions temporaires ou transitoires

Toute tension appliquée à un équipement dont la valeur de crête sort des limites d'un gabarit défini par une norme ou une spécification est une surtension [10]. Les surtensions sont de quatre natures : Temporaires (à la fréquence industrielle 50 Hz); De manœuvre; Par décharge électrostatique; D'origine atmosphérique (foudre).

Elles peuvent apparaître selon deux modes : mode différentiel (entre conducteurs actifs, phase-phase ou phase-neutre) et mode commun (entre conducteurs actifs et la masse ou la Terre). Leurs principales caractéristiques sont décrites dans le **Tableau I-2**

Surtension	Durée	Raideur du front de montée, ou fréquence	Amortissement en fonction de la distance
Atmosphérique	Très courte (μS)	Très élevée (1000kV/ μS)	Fort
Décharge électrostatique	Très courte (nS)	Elevée (≈ 10 Mhz)	Très fort
Manœuvre	Courte (mS)	Moyenne (1 à 200 kHz)	Moyen
Temporaire	Long (S), voire très longues (h)	Fréquence du réseau	Nul

Tableau I.2 Les quatre types de surtension présente sur les réseaux électriques

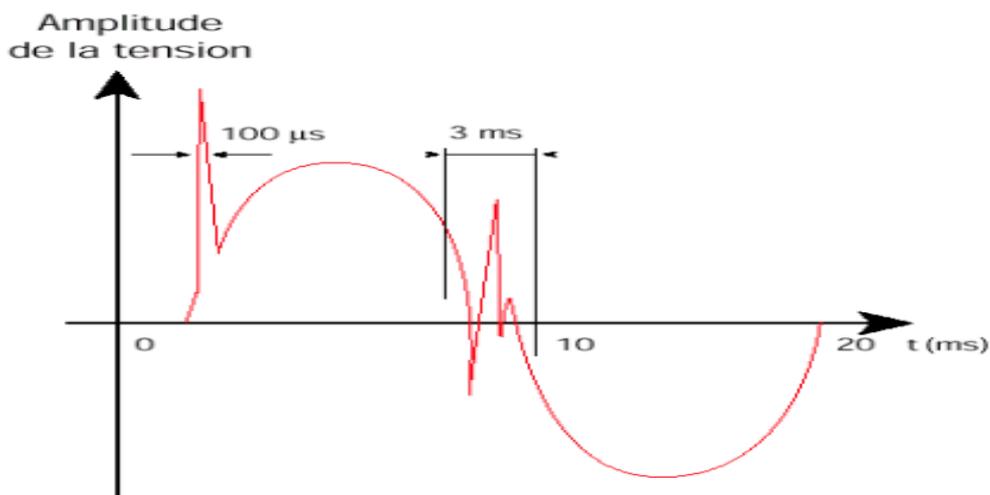


Figure I.4 : Surtensions transitoires [11]

I.3.4.a- Sources des surtensions :

Par la nature même de leur origine, il existe deux façons de classer les surtensions [12]:

1-Surtensions par décharges électriques atmosphériques:

Les orages sont des événements très habituels, et aussi très dangereux. Au moment de l'impact, la foudre provoque une impulsion de courant qui arrive à atteindre des dizaines de milliers d'ampères. Cette décharge génère une surtension dans le système électrique qui peut provoquer des incendies, la destruction de machines et y compris la mort de personnes.

2-Surtensions de commutation

Ces surtensions sont générées dans les lignes électriques, principalement en raison des deux motifs suivants:

- Commutations de machines de grande puissance: Les moteurs électriques sont des charges très inductives dont la connexion et le débranchement provoque des surtensions.

Il existe de même d'autres processus capables de les produire, comme par exemple l'allumage et l'extinction de la soudure à l'arc.

- Manœuvres et/ou failles dans l'approvisionnement électrique: En cas de court-circuit dans un certain point du réseau, les protections de la compagnie électrique y répondent en ouvrant le circuit, suivies par les tentatives de ré-enclenchement au cas où il s'agisse d'une faille transitoire, ce qui produit les surtensions typiques de connexion de charges inductives.

I.3.4.b- Conséquences et effets de la surtension

Les installations subissent périodiquement un certain nombre de surtensions non négligeables. Les conséquences de la surtension sont très diverses selon le temps d'application, la répétitivité, l'amplitude, le mode (commun ou différentiel), la raideur du front de montée et la fréquence. En fait, les risques se situent essentiellement au niveau des dysfonctionnements, de la destruction de matériels sensibles et notamment des composants

électroniques et, en conséquence, de la non-continuité de service. Ces effets peuvent apparaître sur les installations des distributeurs d'énergie ou sur les installations des utilisateurs [13].

- Les perturbations peuvent conduire à:

- Claquage du diélectrique, cause de destruction de matériel sensible (composants électroniques ...).
- Dégradation de matériel par vieillissement (surtensions non destructives, mais répétées).
- Des interruptions courtes (ré-enclenchements automatiques sur les réseaux de distribution publique MT par lignes aériennes).
- Coupure longue entraînée par la destruction de matériel (intervention pour changement d'isolants détruits, voire remplacement de matériel, perte de facturation pour les distributeurs et pertes de production pour les industriels)
- Perturbations des circuits de contrôle et de communication à courant faible.
- Contraintes électrodynamiques et thermiques (incendie) causées par la foudre essentiellement.

I.3.5- Déséquilibre du système triphasé courant et de tension

L'outil principal pour étudier les déséquilibres sont les composantes symétriques. Cette théorie a été développée par Charles L. Fortescue à la fin de 1913 [14]. La principale propriété des composantes symétriques réside dans le fait que n'importe quel système triphasé déséquilibré peut être décomposé en trois composantes équilibrées : la composante directe, la composante inverse et la composante homopolaire. Cette décomposition est applicable à n'importe quel système triphasé. Dans le cas particulier du réseau électrique, on l'applique à la tension et au courant.

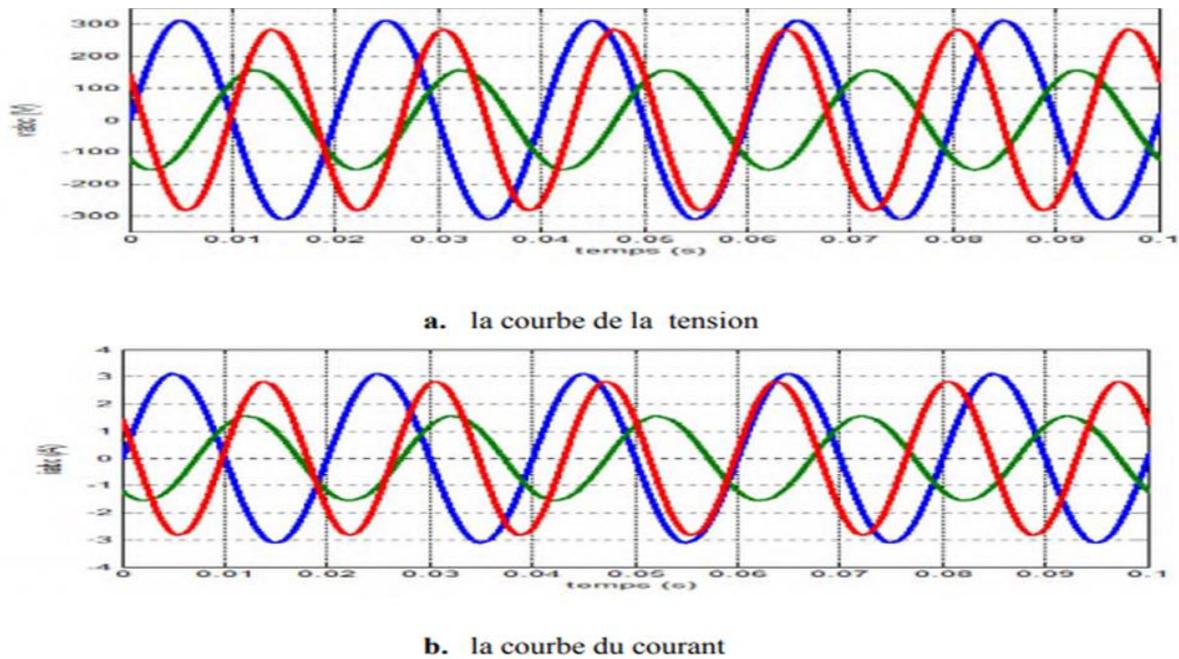


Figure I.5 : le déséquilibre en amplitude et en phase d'un système triphasé

I.3.5.a- Sources du déséquilibre [2] [15] [16] :

On dit qu'il y a déséquilibre dans un réseau, lorsqu'on enregistre en régime permanent, des asymétries d'amplitudes et/ou de déphasages des tensions de phases. Ce type de perturbation est causé essentiellement par :

- les asymétries d'impédances des lignes du réseau ou des charges, et aussi lors des courts-circuits monophasés ou biphasés.
- Des perturbations dans les machines tournantes (des échauffements).
- La circulation de courants non équilibrés dans les impédances du réseau.

I.3.5.b- Effets du déséquilibre

Le déséquilibre d'une installation triphasée peut entraîner un dysfonctionnement des appareils basses tensions connectés :

- Mauvais fonctionnement d'un appareil monophasé alimenté par une tension très faible.
- Destruction d'un appareil monophasé alimenté par une tension trop élevée, il peut être détruit (claquage par surtension). [2]

I.3.6- Variation de fréquence

Les réseaux de distributions ou de transport ont une fréquence constante, sa variation est très rare sauf dans des circonstances exceptionnelles, comme dans le cas de certains défauts graves sur le réseau. Dans les conditions normales d'exploitations, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale doit être comprise dans l'intervalle de 50 Hz \pm 1%. La figure(I.4) montre un exemple sur la variation de fréquence d'un réseau électrique.

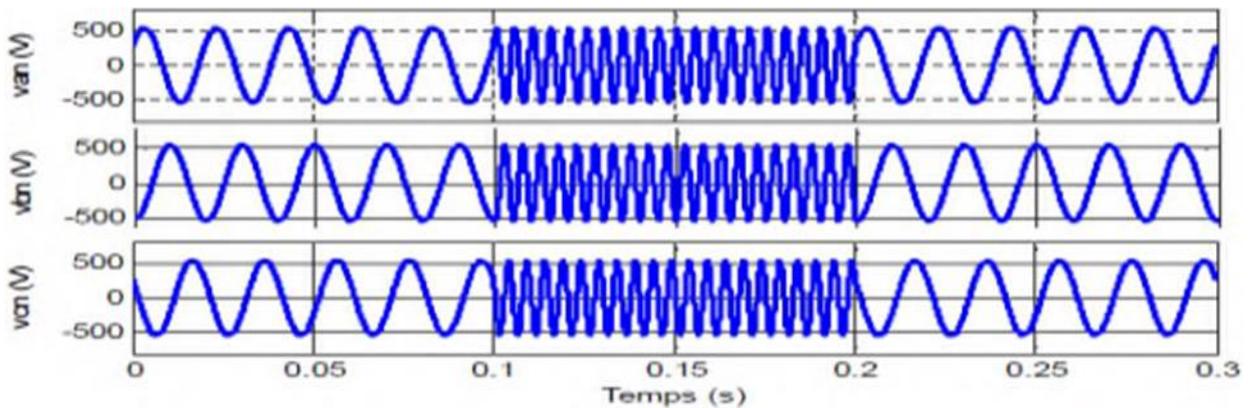


Figure I.6 : variation de fréquence

I.3.7-Harmonique et inter harmonique

Les harmoniques sont une superposition à l'onde fondamentale (**50Hz**) des ondes sinusoïdales mais de fréquences multiples entier du fondamental. La principale source de la présence des harmoniques dans les réseaux électriques est l'utilisation intensive des convertisseurs statiques.

Les inter harmoniques sont superposés à l'onde fondamentale mais ne sont pas des multiples entiers de la fréquence des réseaux. Comme montre la **Figure I.7**

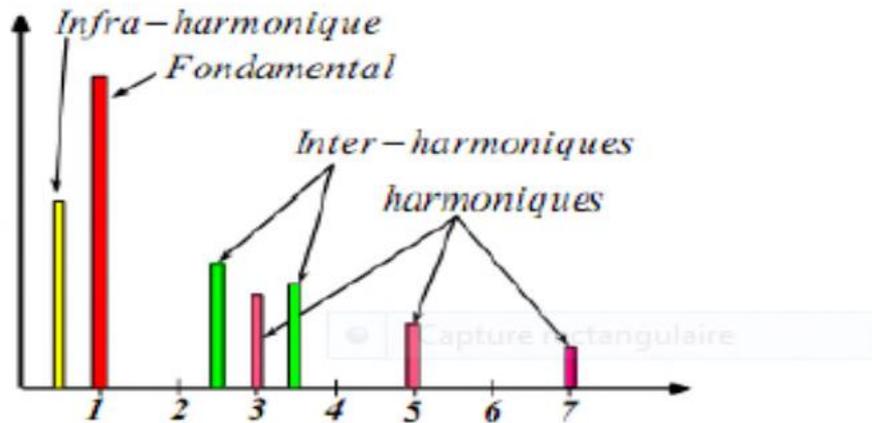


Figure. 1.7 : Fondamental et inter-harmoniques. . [17]

I.3.7.1- Caractéristique des perturbations harmoniques

Différentes grandeurs sont définies pour caractériser la distorsion en régime déformé. Le taux global de distorsion harmonique (TDH) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.

I.3.7.1.a- Taux de distorsion harmoniques (TDH)

Le THD représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental. Il est défini par la relation :

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} X_h^2}{X_1^2}} \quad (\text{I.1})$$

Avec :

X_1 la valeur efficace du courant/tension fondamental

X_h les valeurs efficaces des différentes harmoniques du courant/tension.

En général, les harmoniques pris en compte dans un réseau électrique sont inférieurs à 2500Hz, ce qui correspond au domaine des perturbations basses fréquences au sens de la normalisation. Les harmoniques de fréquence plus élevée sont fortement atténués par la présence des inductances de lignes. [15]

I.3.7.1.b- Le facteur de puissance

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. Une faible valeur du facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation de ces équipements.

Dans le cas où il y a des harmoniques, une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante (D), donnée par la relation(I.2), apparaît comme le montre le diagramme de Fresnel de la **Figure I.6**

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

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

$$F.P = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \cos \varphi_1 \cdot \cos \gamma \quad (\text{I.3})$$

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

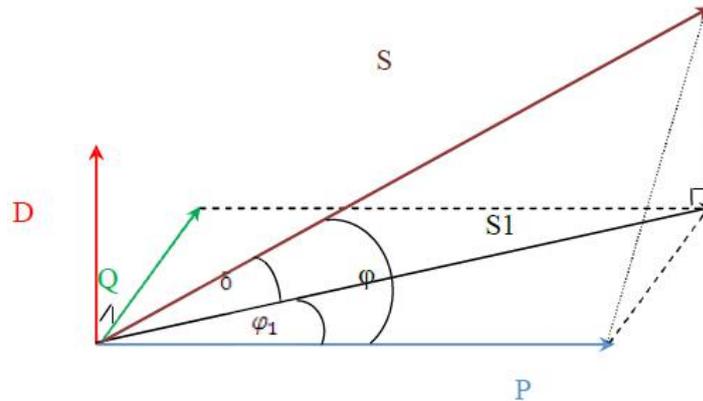


Figure I.8: diagramme vectorielle du facteur de puissance

φ_1 : Le déphasage entre la puissance active et la puissance apparente.

γ : Le déphasage entre la puissance apparente dans le cas d' un système équilibré linéaire S_1 et la puissance apparente dans le cas déséquilibré non linéaire S .

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

I.3.7.2- Sources des harmoniques

L' utilisation des équipements électriques comportant des convertisseurs statiques dans les installations de conversion d' énergie électrique a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique. Ils ont contribué à la détérioration de la qualité du courant et de la tension des réseaux de distribution.

Les principales sources à l'origine des harmoniques sont les appareils d'éclairage fluorescent, les appareillages informatiques, les appareils domestiques (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre), les arcs électriques et tous les convertisseurs statiques raccordés aux réseaux tels que les redresseurs et les onduleurs. Tous ces systèmes contribuent à la pollution harmonique du réseau auquel ils sont connectés.

En effet, ces systèmes absorbent des courants non sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers ou non entiers de la fréquence fondamentale.

I.3.7.3- Conséquences des harmoniques

On distingue deux types d'effets d'harmoniques (aussi des inters et infra harmoniques), à définir : les effets instantanés et les effets à terme

a) Effets instantanés

- Phénomène de résonance entre l'impédance du réseau et les condensateurs de compensation : Le plus spectaculaire de ce type d'effet est la destruction d'équipement.
- Interférence avec les réseaux de télécommunication : Le couplage électromagnétique entre les réseaux électriques et de télécommunication peut induire dans ces derniers des bruits importants.
- Troubles fonctionnels liés à la déformation de l'onde de tension tels que : couples pulsatiles sur les moteurs d'entraînement, vibrations, erreurs des systèmes de mesures, perte de la détection du passage au zéro de tension pour les dispositifs de régulation.

- Vibrations et bruits : Les courants harmoniques génèrent également des vibrations et des bruits acoustiques, principalement dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances et machines tournantes).

b) Effets à terme

Les effets à terme se traduisent par une fatigue mécanique prématurée (due aux vibrations) des matériaux et des lignes. Principalement, l'effet à terme, c'est l'échauffement.

- Echauffement des câbles et des équipements : Ces effets peuvent être à moyen terme (de quelques secondes à quelques heures) ou à long terme (de quelques heures à quelques années) et concernent les câbles qui peuvent être le siège du sur échauffement comme le neutre et les matériels bobinés (transformateurs ou moteurs).
- Echauffement des condensateurs : L'échauffement est causé par les pertes dans le diélectrique. Les condensateurs sont sensibles à la présence d'harmoniques. Ces échauffements peuvent conduire au claquage.

I.4- Solutions de dépollution des réseaux électriques

Deux types de solutions sont envisageables. La première consiste à utiliser des convertisseurs statiques moins ou peu polluants, tandis que la seconde consiste en la mise en œuvre d'un filtrage des composantes harmoniques [18].

Deux groupes de solutions de dépollution pour compenser toutes les perturbations peuvent être distingués : les solutions traditionnelles et les solutions modernes.

I.4.1- Solutions traditionnelles

Ce sont des techniques qui 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.

-On a plusieurs solutions de dépollution traditionnelles des réseaux électriques :

I.4.1.a- Surdimensionnement de l'installation électrique

Dans ce cas, les harmoniques ne subissent aucune action curative de la part de l'utilisateur. Les effets néfastes de la pollution harmonique sont à éviter pendant une durée limitée. Pour les installations nouvelles, on procède au surdimensionnement des équipements afin d'assurer leur tenue aux surcharges harmoniques. Dans le cas d'installations existantes, on décline les équipements de distribution électrique soumis aux harmoniques (câbles du neutre, transformateur). Cette méthode ne permet pas de tirer profit du potentiel réel de l'installation. Il en résulte un accroissement important du coût de l'installation [19].

I.4.1.b- Rééquilibrage des courants et des tensions du réseau

C'est une solution qui permet de répartir les charges d'une manière identique sur les trois phases (la répartition égale des charges sur les trois phases). En effet, les charges monophasées et biphasées mal réparties engendrent des courants déséquilibrés dans un réseau électrique basse tension [2] [20].

I.4.1.c- Compensation des creux et des interruptions

Les creux de tension deviennent un souci majeur en matière de la qualité de l'onde. En conséquence, les investigations des techniques de mitigation des creux reçoivent de plus en plus d'importance. Des dispositifs conventionnels tels que les sources d'alimentation sans interruption, les transformateurs à ferro-résonance et les groupes moteur-générateur, sont susceptibles de mitiger le problème à un certain point [21]. Mais cette méthode a des inconvénients et limites en matière de coût, performance et puissance maximale.

I.4.1.d- Compensation de la puissance réactive

La puissance réactive est majoritairement consommée par les moteurs asynchrones et plus récemment par des dispositifs à base d'électronique de puissance. Différentes méthodes de compensation sont utilisées pour relever le facteur de puissance. La plus simple 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). L'inconvénient de

Cette méthode réside dans le fait que la puissance réactive fournie par les condensateurs est constante non réglable et qu'elle ne s'adapte pas à l'évolution du besoin [2].

Pour augmenter la performance dynamique, on peut utiliser un compensateur statique (ex : SVC). Les batteries de condensateur fournissent une quantité fixe de puissance réactive tandis que le gradateur associé aux inductances permet de consommer une partie de cette puissance qui s'adapte aux fluctuations de puissance réactive des utilisateurs. Ces dispositifs sont très encombrants et sont eux-mêmes générateurs d'harmoniques.

I.4.1.e- Compensation des courants harmoniques

Plusieurs solutions existent pour limiter la propagation et l'effet des harmoniques dans les réseaux électriques, les plus importants sont :

- **Augmentation de la puissance de court-circuit** : En l'absence de tout phénomène de résonance, la puissance harmonique globale augmente lorsque la puissance de court-circuit diminue. On s'efforcera alors d'alimenter les équipements perturbateurs à partir du point du réseau où la puissance de court-circuit disponible est la plus élevée. Les courants harmoniques des charges non linéaires étaient modélisés par des sources de courant indépendantes du réseau. Dans la réalité, ce modèle est très approximatif [19].
- **Transformateur à couplage spécial** : Il s'agit de limiter la circulation des courants harmoniques à une partie aussi petite que possible de l'installation à l'aide de transformateurs à couplage approprié. L'utilisation d'un transformateur d'isolement, de rapport 1/1 à couplage triangle-étoile ou triangle zigzag, empêche la propagation des courants harmoniques de rang 3 et leurs multiples circulant dans le neutre, ce procédé n'a aucun effet sur les autres rangs harmoniques [6].
- **Ajout d'une inductance (self) série** : Afin de limiter le contenu des courants harmoniques générés sur le réseau, une première solution consiste à insérer une inductance de lissage 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.

- **Utilisation de filtre passif** : Le filtrage consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau. Le filtre passif a pour objet, dans le cas des harmoniques, de diminuer l'impédance du réseau à une fréquence donnée. Cette solution est la plus simple et la moins chère mais sans doute, elle n'est pas la plus efficace [22].

Parmi les filtres passifs les plus répandus :

- **Filtre passif résonant** : qui est constitué d'un circuit LC série avec résistance utilisée généralement pour éliminer les harmoniques de rang 5 et 7.
- **Filtre passif amorti** : qui est constitué d'un circuit LC et une résistance R. la résistance est en parallèle avec l'inductance. Ce type de filtre est utilisé pour éliminer les harmoniques.

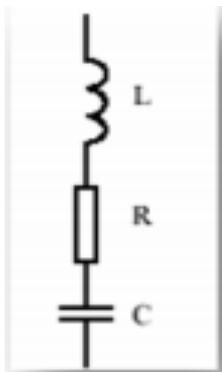


Figure I.9 : filtre passif résonant

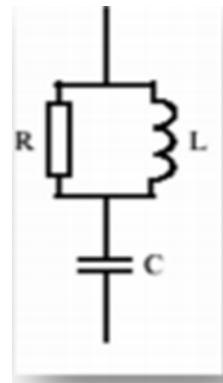


Figure I.10: filtre passif amorti

I.4.2- Solutions modernes

I.4.2.1-Filtrage actif

Ces solutions sont proposées comme des solutions efficaces de dépollution des réseaux électriques afin de traiter les inconvénients inhérents aux solutions traditionnelles que présentent les filtres passifs (non adaptabilité aux variations de la charge et du réseau, apparition des résonances). Le but de ces filtres actifs est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant ou la tension redevienne sinusoïdal. Le

filtre actif est connecté au réseau soit en parallèle (FAP), soit en série (FAS) suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les courants ou les tensions harmoniques, soit associé à des filtres passifs pour constituer ce qu'on appelle les filtres hybrides [23], [2], [24].

Les avantages des filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants [25] :

- Le volume physique du filtre est plus réduit ;
- La capacité de filtrage est supérieure ;
- La flexibilité et adaptabilité sont très supérieures.

Ils présentent, par ailleurs, quelques inconvénients :

- Leur coût élevé a limité leur implantation dans l'industrie ;
- Les pertes sont plus élevées.

I.4.2.1.a- Rôle du filtre actif

En principe le rôle du filtre actif est d'éliminer les composantes harmoniques qui se prolifèrent dans les réseaux et cela en injectant des courants d'amplitude similaire mais de phase opposée au courant harmonique crée par la charge afin que le courant dans la ligne garde une allure sinusoïdale. [26]

I.4.2.1.b- Principe de fonctionnement du filtre actif

Les filtres actifs sont composés d'onduleurs qui sont des convertisseurs statiques de puissance alimenté par une source de courant ou de tension continue, l'onduleur peut délivrer un courant ou une tension dont le contenu harmonique dépend uniquement de la loi de commande de commutation des interrupteurs [27]. Les filtres actifs agissent donc comme des sources de tension ou de courant harmoniques en opposition de phase avec ceux du réseau afin de rétablir un courant de source quasi sinusoïdal [28].

-Il existe trois types de topologies de filtres actifs

I.4.2.a- Principe de fonctionnement des filtres actif série:

Le filtre actif série se comportent dans ce cas, comme une source de tension qui s'oppose aux tensions perturbatrices (creux, déséquilibre, harmonique) venant de la source et également

à celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Ainsi la tension aux bornes de la charge à protéger est purement sinusoïdale

Le filtre actif Série (F.A.S) est une solution adaptée à la compensation des tensions perturbatrices, harmoniques, déséquilibrées et des creux de tension. Ces perturbations trouvent généralement leurs origines dans le réseau lui-même mais peuvent parfois être provoquées par les charges elles-mêmes. [2] [15]

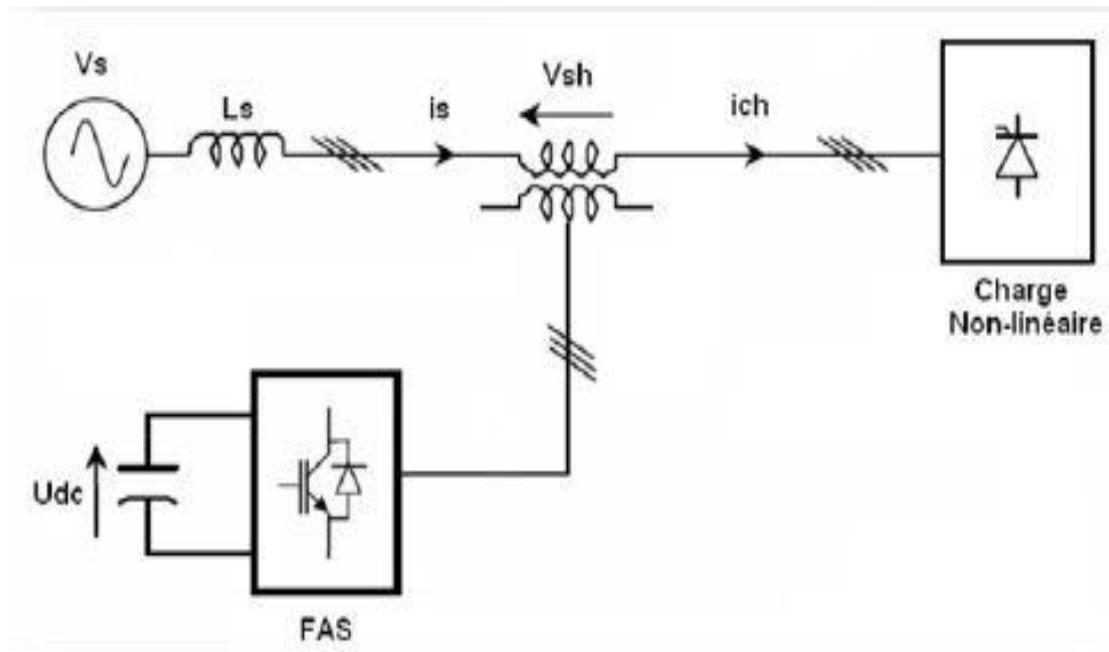


Figure I.11 : Filtre actif série [15]

I.4.2.b- Principe de fonctionnement d'un filtre actif parallèle :

Le filtre actif parallèle peut être considéré comme un compensateur de courants harmoniques pour le réseau dans lequel il est branché. En effet, il empêche la circulation des harmoniques des courants pollués générés par les charges non linéaires du réseau en fournissant les mêmes types de courants harmoniques perturbateurs, mais en opposition de phase ; de sorte que le courant côté réseau reste équilibré et sinusoïdal. [27]

Ainsi l'objectif du filtre actif parallèle (F.A.P) consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés), produits par des charges polluantes, de

circuler à travers l'impédance du réseau, située en amont du point de connexion du filtre actif.
[2] [15]

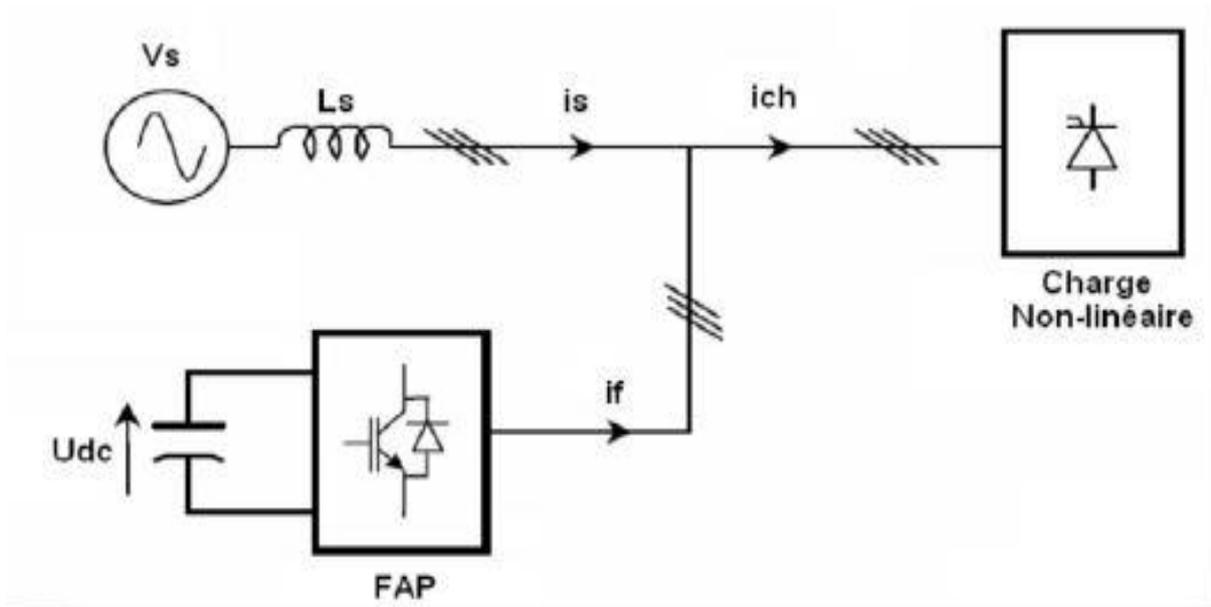


Figure I.12 : Filtre actif parallèle [15]

I.4.2.c- Combinaison parallèle-série de filtres actifs « UPQC, Unified Power Quality Conditioner » :

C'est une solution de compensation universelle basée sur le fonctionnement simultané des filtres actifs parallèle et série. L'UPQC possède les avantages cumulés de ses deux filtres actifs. [2] [15] [16]

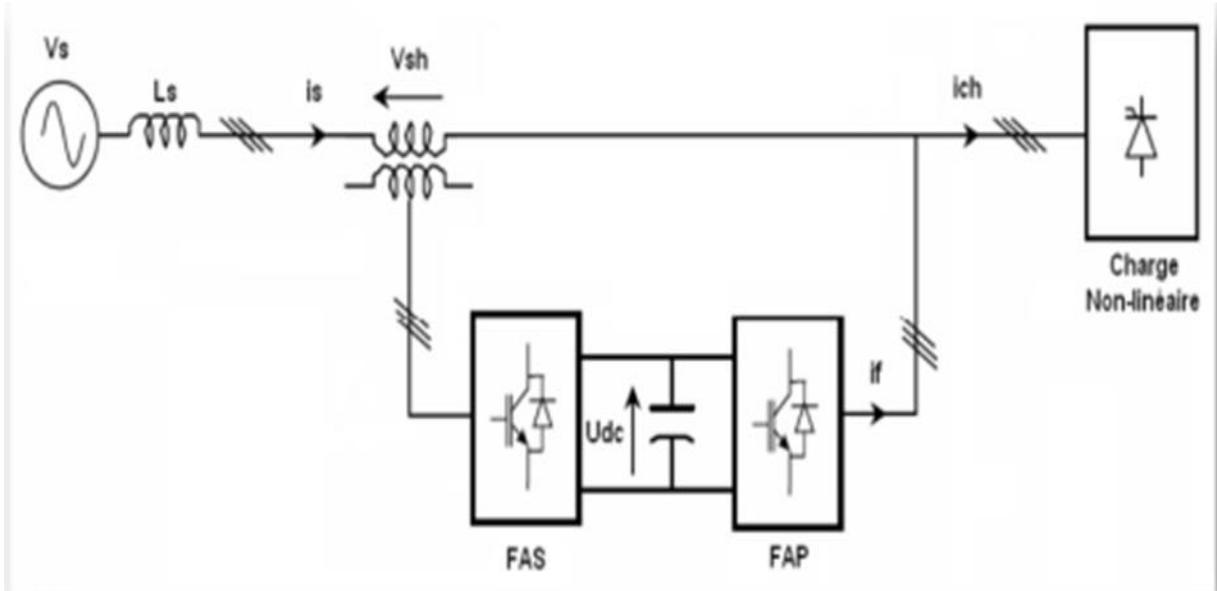


Figure I.13 : Combinaison parallèle-série actifs (UPQC) [15]

I.4.2.d. Filtre hybride :

Le filtre hybride est une topologie qui combine les filtres passifs et actifs. Pour cette raison, il est considéré comme l'une des meilleures solutions pour filtrer les harmoniques de courant des réseaux de distribution.

Une des principales raisons de l'utilisation du filtre actif hybride est liée au développement des semi-conducteurs de puissance tels que les transistors de puissance de types MOSFET ou IGBT.

De plus, du point de vue économique, le filtre hybride présente un atout majeur:

Il permet de réduire le coût du filtre actif, actuellement l'obstacle majeur à l'utilisation de filtres actifs. [23]

Plusieurs configurations existent dans la bibliographie :

- Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles.
- Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.
- Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.

I.4.2.d.1 Filtre actif série en parallèle avec un Filtre passif parallèle :

Une solution traditionnelle à l'atténuation des problèmes d'harmoniques est l'utilisation de filtres passifs. **La figure I.6** montre une charge non linéaire et un filtre passif parallèle connecté au réseau, l'objectif de ce filtre passif parallèle est d'éliminer certains ordres harmoniques de courants générés par la charge non linéaire. [2] [15] [25]

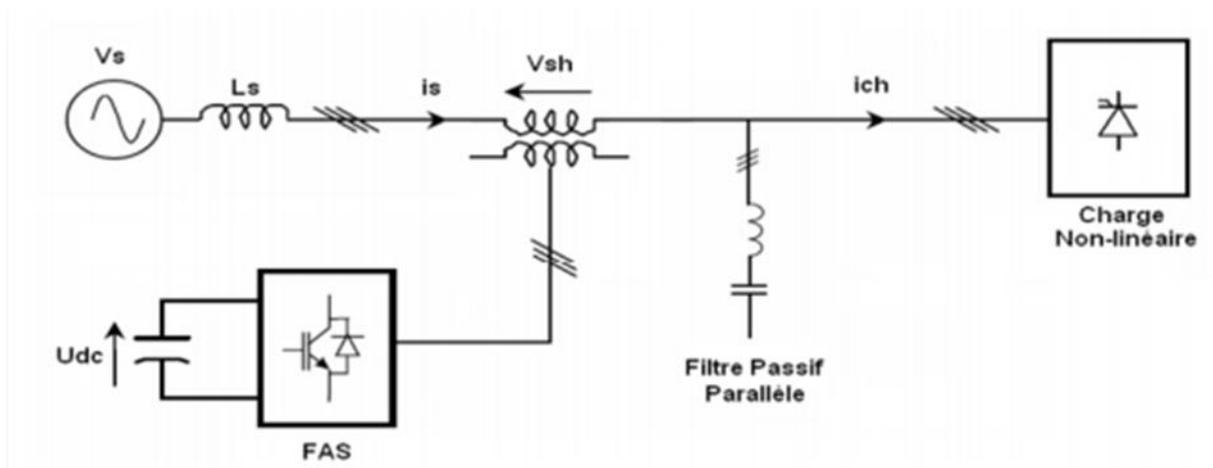


Figure I.14 : Filtre actif série en parallèle avec un filtre passif parallèle [15]

I.4.2.d.2- Filtre actif série en série avec un Filtre passif parallèle :

Ce paragraphe présente un système combiné d'un filtre passif et un filtre actif série, qui sont connectés en série l'un avec l'autre. Le filtre passif supprime certain ordre des courants harmoniques produits par la charge. Par conséquent, le filtre actif est de dimensionnements plus réduit par rapport au filtre actif classique.

Le schéma de principe de cette configuration est représenté par la **Figure I.15**, c'est pratiquement la même configuration que la précédente avec l'avantage de réduire encore le dimensionnement du filtre actif série car le courant qui le traverse est plus faible. De plus, le filtre actif série est à l'abri d'un éventuel court-circuit de la charge. [28] [15].

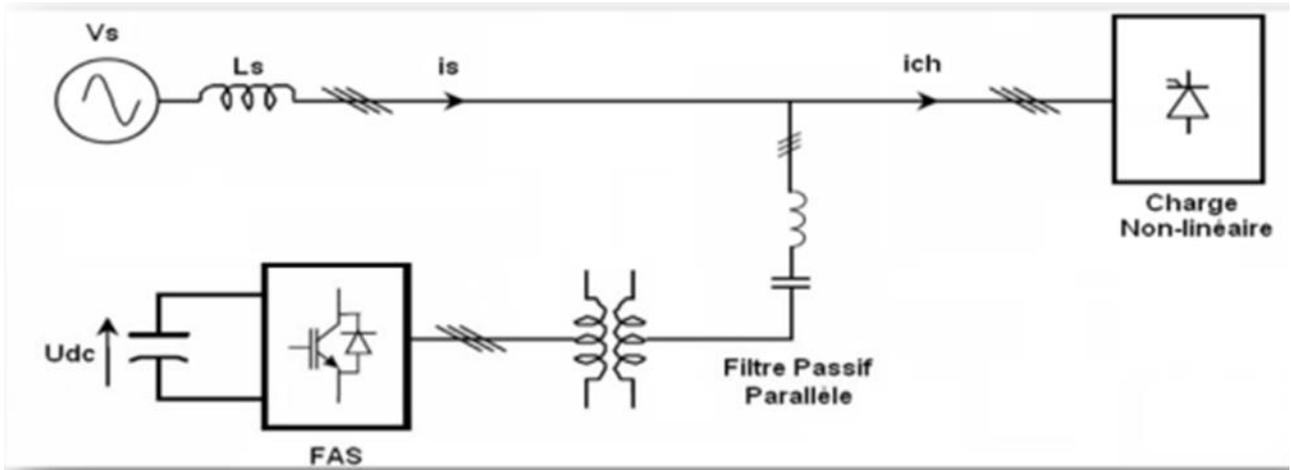


Figure I.15 : Filtre actif série en série avec un Filtre passif parallèle [15]

I.4.2.d.3 Filtre actif parallèle avec un Filtre passif parallèle :

Dans ce type de combinaison, le filtre actif est connecté en parallèle avec le filtre passif. Tous deux sont également en parallèle avec la charge. Le filtre actif parallèle sert à compenser les courants harmoniques émis par la charge polluante alors que le filtre passif compense ceux accordé sur une fréquence harmonique spécifique ce qui permet de compenser les harmoniques aux hautes fréquences. [15] [23]

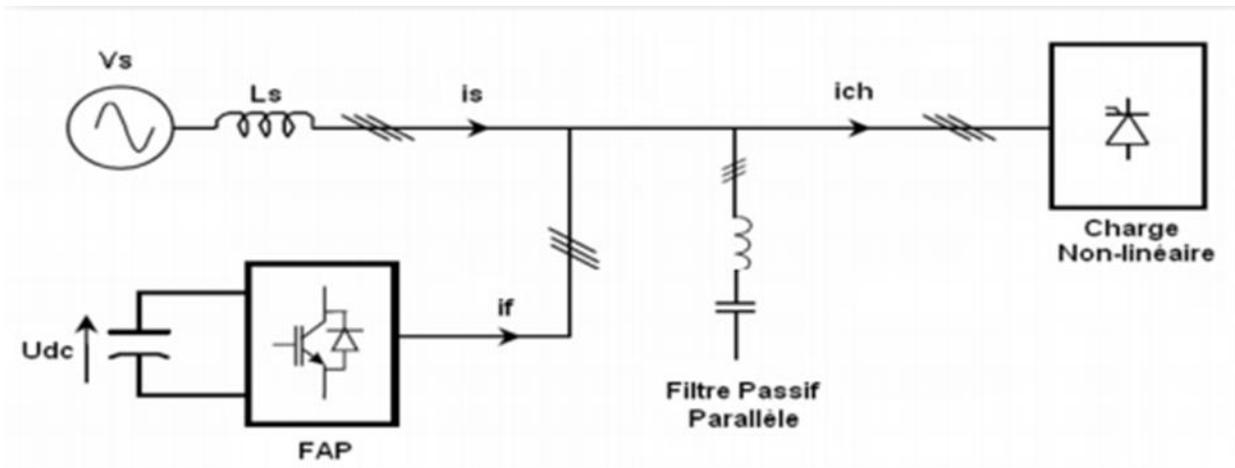


Figure I.16 : Filtre actif parallèle avec un Filtre passif parallèle [15]

I.5- Comparaison des différents filtrages

Le **tableau I.3** montre un récapitulatif des avantages et inconvénients du filtrage passif, filtrage actif série, filtrage parallèle et du filtrage actif parallèle-série [29].

Principe	Avantages	Inconvénients
Filtrage passif	Amélioration de la forme du courant	Risque de résonance, pas d'adaptabilité, encombrant
Filtrage actif parallèle	Amélioration de la forme du courant, adaptabilité aux variations de la charge et du réseau.	Amélioration de la forme de la tension pas toujours évidant.
Filtrage actif série	Amélioration de la forme de la tension, adaptabilité aux variations de la charge et du réseau.	Pas d'amélioration de la forme de tension.
La combinaison parallèle-série actifs	Amélioration de la forme du courant, amélioration de la forme de la tension adaptabilité aux variations de charge et du réseau	Réalisation difficile.

Le tableau I.3 Comparaison des différents types de filtrage.

I.6- Choix de la structure

Afin de choisir une structure de filtre actif adaptée à nos besoins, il est nécessaire d'étudier le filtre actif dans son environnement : réseau et charge. Ainsi une étude conjointe du filtre actif et de la charge non linéaire permet d'optimiser le dimensionnement du filtre actif et donc d'améliorer la dynamique. Si on souhaite dépolluer le réseau pour alimenter une charge sensible, on choisira de mettre un filtre actif en série. Si en revanche on s'intéresse à l'atténuation des perturbations générées par la charge non linéaire, on optera pour un filtre actif en parallèle. Les objectifs peuvent alors être différents selon le type de la charge connectée :

- Compensation des courants harmoniques seule. Cette compensation peut être globale ou sélective.
- Compensation de l'énergie réactive seule.

- Compensation de tout ou d'une partie de la puissance réactive et des courants harmoniques.

I.7- Domaines d'application des filtres actifs

L'utilisation du filtrage actif est particulièrement bien adaptée à la dépollution des réseaux basse tension, c'est-à-dire pour compenser l'ensemble ou une partie des harmoniques générés par les différentes charges polluantes, soumis à des fluctuations de fréquence significatives où les fréquences de certains harmoniques sont fonction de la vitesse donc variables. Le filtrage actif est également utilisé dans le transport par ligne continue haute tension. Il peut également assister d'autres dispositifs comme par exemple les systèmes de compensation d'énergie réactive shunt ou encore les systèmes contenant des redresseurs de courant de puissance.

I.8- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la qualité de l'énergie dans un réseau électrique et différents types de perturbations qui influencent sur l'onde de tension du réseau électrique ainsi que les différents sources de ces perturbations et leur effets qui peuvent aller du simple échauffement, de la dégradation du fonctionnement jusqu'à la destruction totale de ces équipements.

Plusieurs solutions traditionnelles et modernes de dépollution ont été présentées qu'elles soient de types parallèles ou série ainsi que leur combinaison, sont étudiées pour la compensation de tous les types de perturbation possible dans un réseau électrique.

Le filtre actif parallèle est dédié pour la compensation de toutes les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et la puissance réactive. Par contre, le filtre actif série est destiné à compenser toutes les perturbations de types tension comme les harmoniques, les déséquilibres et les creux de tension.

La combinaison parallèle-série actifs est une solution universelle pour compenser toutes les perturbations en courant et tension.

D'autres solutions de dépollution consistent à associer des filtres actifs et passifs aux filtres actifs, ce sont les filtres hybrides qui permettent de trouver un compromis entre l'efficacité de la compensation et le coût.

A la fin nous avons comparé entre les différents filtrages et on a cité leur avantages et Inconvénients ainsi le choix de la structure et leurs domaines d'application.

On se propose pour le deuxième chapitre de le consacré à la modélisation de filtre actif série.

II.1- Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la structure général d'un filtre actif série « **FAS** » ainsi que sa commande adapté à l'objectif souhaité. En vue de dépolluer les réseaux électriques de toutes perturbations de type tension.

Dans un premier temps, on présentera les composants d'un filtre actif série connecté avec le réseau électrique, ainsi que la description de son principe de fonctionnement. Il s'en suivra, par la description de la partie puissance et commande.

La présentation de la partie puissance comprendra quatre éléments principaux à savoir : l'onduleur de tension, le filtre de sortie, transformateur triphasé monophasé, qui seront détaillé et l'élément de stockage, et pour la partie commande on utilisera la commande de l'identification des tensions de références pour la commande de l'onduleur en travaillant principalement avec la méthode des puissances instantanées et la **PLL((Phase Locked Loop))**.

II.2- Description d'un F.A.S

Le filtre actif série, est une source de tension contrôlée placée en série entre le réseau et la charge sensible à protéger. Cette source de tension correspond à un onduleur triphasé avec un filtre LC de sortie (qui sert à filtrer les harmoniques de commutation de l'onduleur) connectés au réseau au travers de trois transformateurs monophasés d'injection de tension.

Du côté continu de l'onduleur on dispose d'un système de stockage d'énergie sous forme de source de tension continue, qui fournit l'énergie nécessaire pour compenser les perturbations de la tension du réseau. [2] [30]

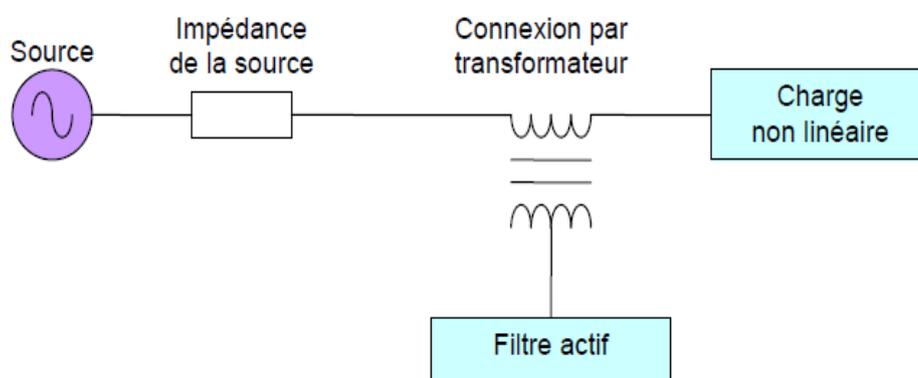


Figure II.1 : Principe du filtrage actif série [30]

Chapitre II

Modélisation d'un filtre actif série

II. 3- Principe de fonctionnement d'un Filtre Actif Série(F.A.S)

Le filtre actif série est une solution pour protéger des charges sensibles contre les perturbations de tension du réseau électrique. Il s'insère entre le réseau perturbé et la charge à protéger par l'intermédiaire d'un transformateur d'injection de tension. Le schéma du circuit de puissance est donné par la **Figure (II.2)**, Le filtre actif se compose de deux parties distinctes: la partie puissance et la partie commande.

La partie puissance est constituée le plus souvent d'un convertisseur de tension triphasé deux niveaux, d'un système d'alimentation en tension continue, d'un filtre de sortie et de transformateurs monophasés d'injection de tension.

Pour la partie commande, on a le bloc d'identification ou de calcul des tensions de références, et le contrôle des tensions injectées au réseau [31].

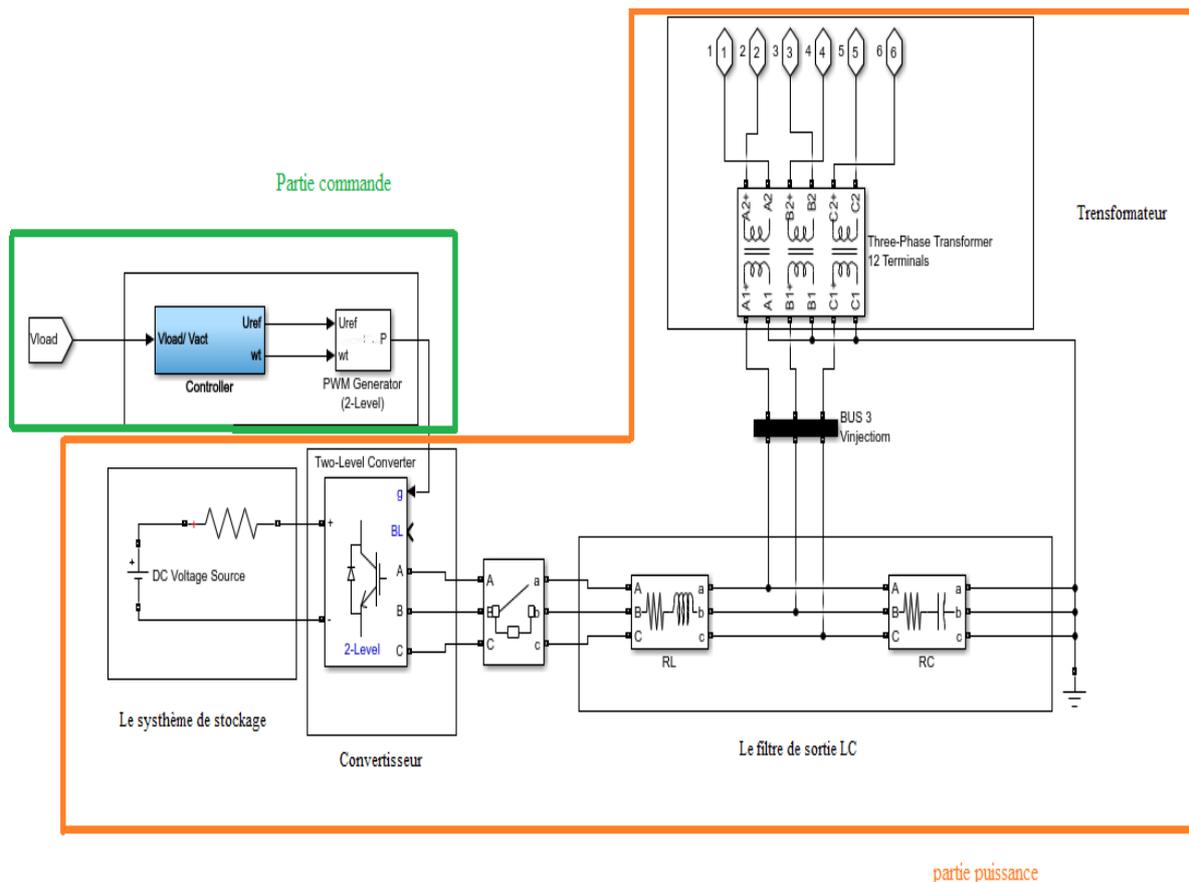


Figure II.2 : Schéma de principe d'un filtre actif série

II. 4- Structure générale du filtre actif série (F.A.S)

Les deux circuits que ce soit celui de la commande ou de puissance sont définis comme suit :

- **Circuit de puissance :**

- Onduleur de tension à base d'interrupteurs de puissance, commandé à l'ouverture et à la fermeture (**IGBT, GTO, ...etc.**) ;
- Élément de stockage d'énergie avec un système d'alimentation **DC** ;
- Filtre de sortie **L f s, C f s** ;
- Trois transformateurs monophasés d'injection de tension.

- **Circuit de Commande :**

- Identification des tensions perturbées ;
- Commande de l'onduleur de tension ;
- Régulation de la tension injectée dans le réseau à partir de l'onduleur de tension.

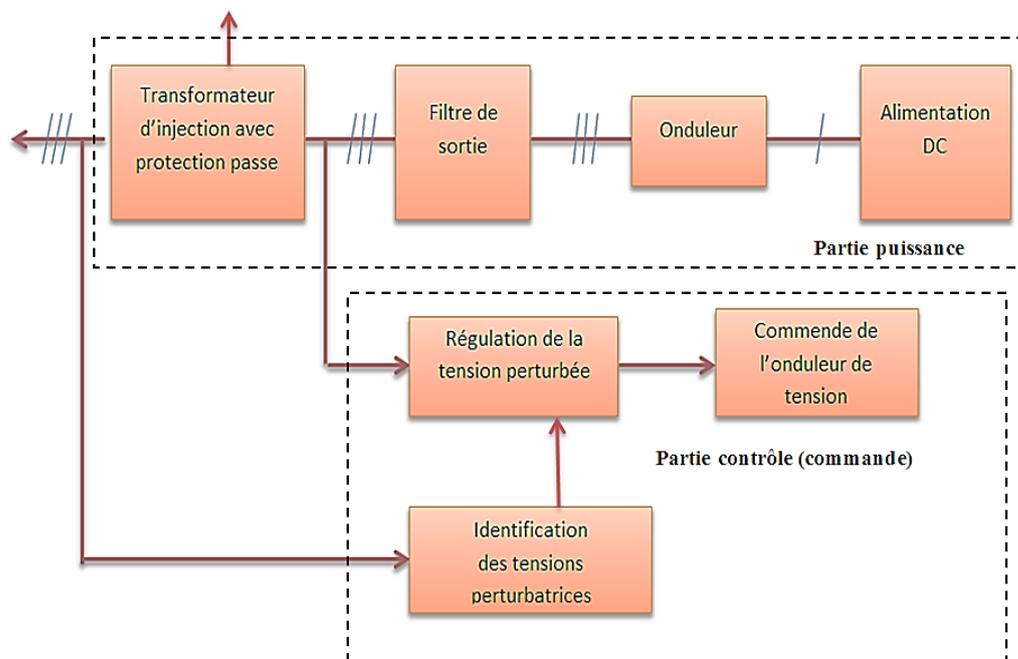


Figure II.3 : Structure générale du filtre actif série [1]

II.4.1- Partie puissance du filtrage actif série (F.A.S)

II.4.1.1- Onduleur de tension

L'onduleur de tension fait l'interface entre deux types de source : une source de courant côté alternatif et une source de tension côté continu. La présence de ces deux sources implique de respecter, certaines règles de fonctionnement :

- la source de tension aux bornes de l'onduleur ne doit jamais être court-circuitée, les deux interrupteurs d'un même bras doivent donc avoir deux commandes complémentaires.
- la source de courant côté alternatif ne doit jamais être en circuit ouvert, le courant circulant doit toujours trouver un chemin libre d'où la mise en antiparallèle de diodes avec les interrupteurs. [2]

II.4.1.2- Filtre de sortie L_f , C_f

Le filtre de sortie d'un filtre actif série est généralement un filtre passif du deuxième ordre (L_f , C_f), l'ensemble onduleur/filtre de sortie se comportant comme une source de tension, il est placé à la sortie du convertisseur afin d'atténuer les ondulations à hautes fréquences à cause de la commutation et à l'obtention d'une tension de compensation de meilleure qualité, et d'autre part à connecter le filtre actif au réseau électrique. [2] [15]

Ce filtre peut être raccordé de part et d'autre du transformateur de couplage, soit du côté convertisseur ou bien du côté ligne. [32] La relation liant la valeur d'inductance et de la capacité à la fréquence de coupure est donnée par :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_f C_f}} \quad (\text{II-1})$$

II.4.1.3- Transformateurs d'injection et protection du F.A.S

Les transformateurs d'injection de tension permettent d'injecter en série avec le réseau électrique et avec le taux de transformation souhaité la tension produite par l'onduleur.

Ces transformateurs, considérés comme des transformateurs de courants, permettent de réduire, par leurs taux de transformation, le courant de la charge traversant l'onduleur de tension. [2] [33]

Les désavantages de l'emploi de ces transformateurs sont leurs coûts élevés et la chute de tension occasionnée par leurs inductances de fuite (**L**, **R**) pour les systèmes de grande puissance.

Le choix d'un filtre actif série sans transformateur d'injection nécessite l'emploi de trois onduleurs de tension monophasés avec trois sources continues indépendantes, cette solution augmentant l'énergie nécessaire pour compenser les mêmes creux de tension. [15]

II.4.1.4- Système de stockage de l'énergie :

Le stockage de l'énergie est réalisé côté continu à l'aide d'un système de stockage, représenté par un générateur jouant le rôle d'une source de tension continue. [34]

Le choix des paramètres du système de stockage a une influence directe sur la dynamique du filtre actif série et sur ses performances de compensation. D'une part, une tension **V** élevée améliore la dynamique du filtre actif série. . La valeur élevée réduit les ondulations de **V** mais augmente le coût et la taille du filtre actif série. [35]

II.4.2- Circuit de Commande

On se propose d'étudier les éléments qui constituent la partie commande de filtre actif série.

L'objectif de la commande de l'onduleur est de déterminer les instants d'ouverture et de fermeture des interrupteurs qui le composent de façon à obtenir une tension de sortie synthétisant les perturbations mais en opposition de phase. [30] [36]

II.4.2.1- La commande par hystérésis

La commande par hystérésis, appelée aussi commande en tout ou rien, est une commande non linéaire qui utilise l'erreur existante entre la tension de référence et la tension produit par l'onduleur. L'erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis. Dès que l'erreur atteint la bande inférieure ou supérieure, un ordre de commande est envoyé de manière à rester à l'intérieur de la bande.

La simplicité de la mise en œuvre, comme Le montre la **Figure II.4**, est le principal avantage de cette technique. D'autre part, les commutations évoluant librement à l'intérieur de bande d'hystérésis, on ne peut maîtriser correctement le spectre haut fréquence dû aux fréquences de commutations. [23] [30] [37]

Finalement, la rapidité du contrôle par hystérésis donne de meilleures performances dynamiques et statiques.

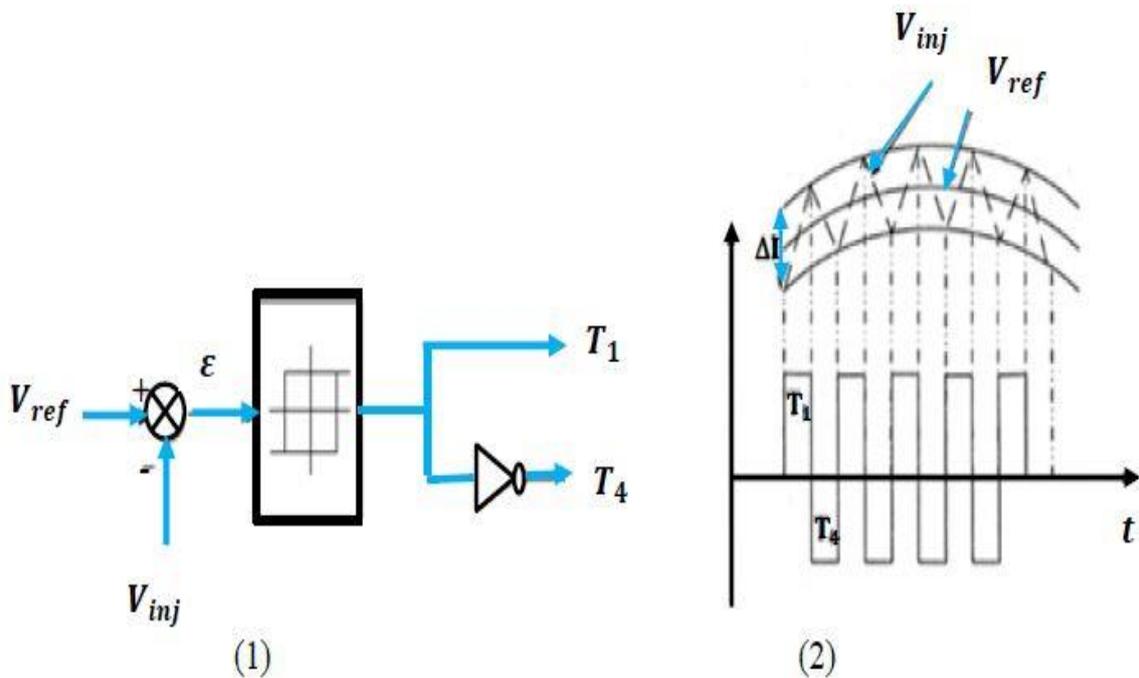


Figure II.4 : contrôle par hystérésis. (1) ; Principe de contrôle. (2) : Commande des interrupteurs.

II.5- Identification des tensions perturbatrices

La méthode d'identification sert à calculer les tensions perturbatrices qui seront injectées ensuite par l'onduleur, en opposition de phase, pour dépolluer la tension aux bornes de la charge à protéger. Plusieurs méthodes d'identification existent mais la plupart des méthodes sont basées sur le calcul des composantes symétriques dans le repère de Park (\mathbf{d}, \mathbf{q}) [38], [39], [13].

Toutefois, ces méthodes ne sont pas réalisées directement sur l'entrée, mais sur une grandeur transformée qui permet de décaler le fondamental des harmoniques (par exemple à travers de la puissance ou bien sur une projection dans un repère tournant) et cela nécessite une bonne connaissance du réseau électrique en présence d'harmoniques de tension.

En général, les différentes méthodes d'identification peuvent être regroupées en deux approches. La première approche est basée sur le calcul des puissances instantanées dans le domaine temporel alors que la deuxième est basée sur l'emploi des systèmes à base de **PLL**.

II.5.1- La méthode des puissances instantanée

L'algorithme de la théorie de puissances instantanées active et réactive pour le filtre actif série est d'utiliser les valeurs instantanées des tensions et courants mesurés.

La méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées basée essentiellement sur le principe de la puissance active $\mathbf{p}(\mathbf{t})$ et réactive $\mathbf{q}(\mathbf{t})$ instantanées a pour but de détermination de la tension fondamentale et de la tension harmonique d'une tension du réseau perturbé. [11]

On note respectivement :

- (**vs1, vs2, vs3**): Les tensions de la source perturbée;
- (**ich1, ich2, ich3**): Les courants de charge de notre système triphasé.

$$\mathbf{V}_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} V_{S\alpha} \\ V_{S\beta} \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S1} \\ V_{S2} \\ V_{S3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2})$$

$$\mathbf{i}_{L\alpha\beta} = \begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ i_{L3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

A partir des vecteurs $[\mathbf{v}_{s\alpha, \beta}]$ et $[\mathbf{i}_{c\alpha, \beta}]$ décrivant le système des tensions et le système des courants dans le repère $(\alpha\text{-}\beta)$. On introduit une décomposition de puissances instantanées dans le plan $(\alpha\text{-}\beta)$. Les puissances réelle et imaginaire instantanées, notées respectivement \mathbf{p} et \mathbf{q} , sont définies par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} \mathbf{p} \\ \mathbf{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{S\alpha} \\ V_{S\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

Ou bien :

$$\mathbf{p} = i_{L\alpha} \cdot V_{S\alpha} + i_{L\beta} \cdot V_{S\beta} \quad (\text{II.5})$$

$$\mathbf{q} = i_{L\beta} \cdot V_{S\alpha} - i_{L\alpha} \cdot V_{S\beta} \quad (\text{II.6})$$

D'autre part, les puissances réelles et imaginaires peuvent être représentées comme suit :

$$\begin{cases} \mathbf{p} = \tilde{\mathbf{P}} + \bar{\mathbf{P}} \\ \mathbf{q} = \tilde{\mathbf{q}} + \bar{\mathbf{q}} \end{cases} \quad (\text{II.7})$$

$\bar{\mathbf{P}}$: est une puissance continue liée à la composante fondamentale active de la tension de source.

$\bar{\mathbf{q}}$: est une puissance continue liée à la composante fondamentale réactive de la tension de source.

$\tilde{\mathbf{P}}$ et $\tilde{\mathbf{q}}$: sont des puissances alternatives liées à la somme des composantes harmoniques de la tension.

La compensation d'harmoniques par le compensateur actif série se fait par la génération de ces dernières [11] :

$$\begin{cases} \mathbf{P}^* = \tilde{\mathbf{P}} \\ \mathbf{q}^* = \tilde{\mathbf{q}} \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

De la relation (II-7) donnant les puissances réelle et imaginaire instantanées découle l'expression suivante pour les courants :

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha}^* \\ V_{\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P^* \\ Q^* \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

Avec : $\frac{1}{\Delta} = i_{L\alpha}^2 + i_{L\beta}^2$

On sépare les tensions de charge dans le repère (α - β) en trois composantes active et réactive à la fréquence fondamentale et la somme des harmoniques. Ceci conduit à :

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha}^* \\ V_{\beta}^* \end{bmatrix} = \left[\frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{P} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \right] + \left[\frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \tilde{Q} \end{bmatrix} \right] + \left[\frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{P} \\ \tilde{Q} \end{bmatrix} \right] \quad (\text{II.10})$$

$$\frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{P} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} : \text{Tension active}$$

$$\frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \tilde{Q} \end{bmatrix} : \text{Tension réactive}$$

$$\frac{1}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{P} \\ \tilde{Q} \end{bmatrix} : \text{Tension harmonique}$$

Cette expression montre donc que l'identification des différentes composantes de la tension dans le repère (α - β) revient à séparer les termes continus et les termes alternatifs des puissances réelle et imaginaire instantanées pour obtenir la relation (II-8), donc on utilise des filtres passe-bas **Figure(II.5)** ou passe-haut **Figure (II.6)** dont la fréquence de coupure nous permettra de négliger les ondulations à sa sortie.

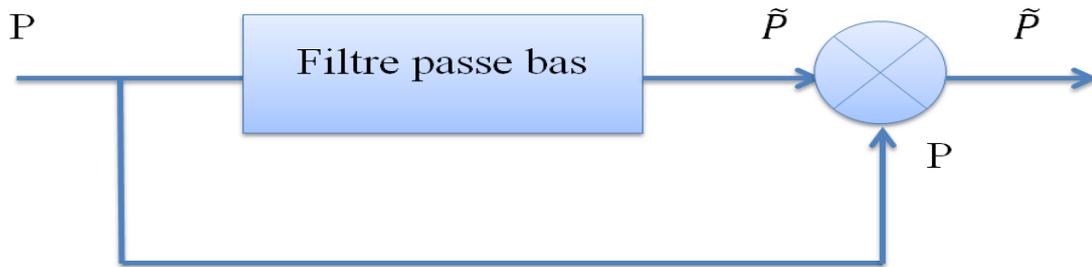


Figure II.5 : structure d'un filtre passe bas.

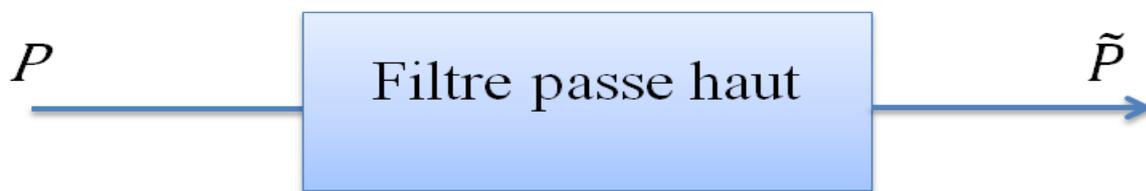


Figure II.6 : structure d'un filtre passe haut.

Pour choisir le filtre le plus adapté pour séparer la composante continue de la composante harmonique de puissance active, nous montrons la différence résiduelle entre un filtre passe bas et un filtre passe haut, et nous remarquons que le résidu harmonique du filtre passe bas est plus faible que celui du filtre passe haut.

Donc nous avons choisi pour l'extraction des composants continue un filtre passe bas du second ordre car moins complexe que les filtres d'ordres élevés avec une fréquence de coupure qui nous permettra de négliger les ondulations à sa sortie.

- La relation (II-11) permet l'extraction des tensions de référence $\mathbf{V}^*_{1,2,3}$:

$$\begin{bmatrix} V_1^* \\ V_2^* \\ V_3^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_\alpha^* \\ V_\beta^* \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

II.5.2- Identification des tensions perturbatrices basée sur la PLL (phase locked loop)

Dans le paragraphe suivant, nous présentons une méthode d'identification des tensions perturbatrices basées sur l'utilisation du système à base d'une boucle à verrouillage de phase où en anglais : **Phase Locked Loop (PLL)**. En effet, cette technique est née en 1932 afin d'améliorer la réception des signaux radio électriques en modulation d'amplitude. Aujourd'hui, les applications de la **PLL** sont nombreuses et variées (transmission en modulation de fréquence, radars, asservissement de la vitesse de moteurs à courant continu, etc.).

II.5.2.a- Structure générale du système PLL (phase locked loop)

La **Figure II.7**, illustre la structure du système à base de **PLL**. Elle est utilisée pour extraire la phase (δ_d) de la composante fondamentale directe de tension et de calculer l'amplitude de la composante directe (V_d) en utilisant un filtre passe-bas [41].

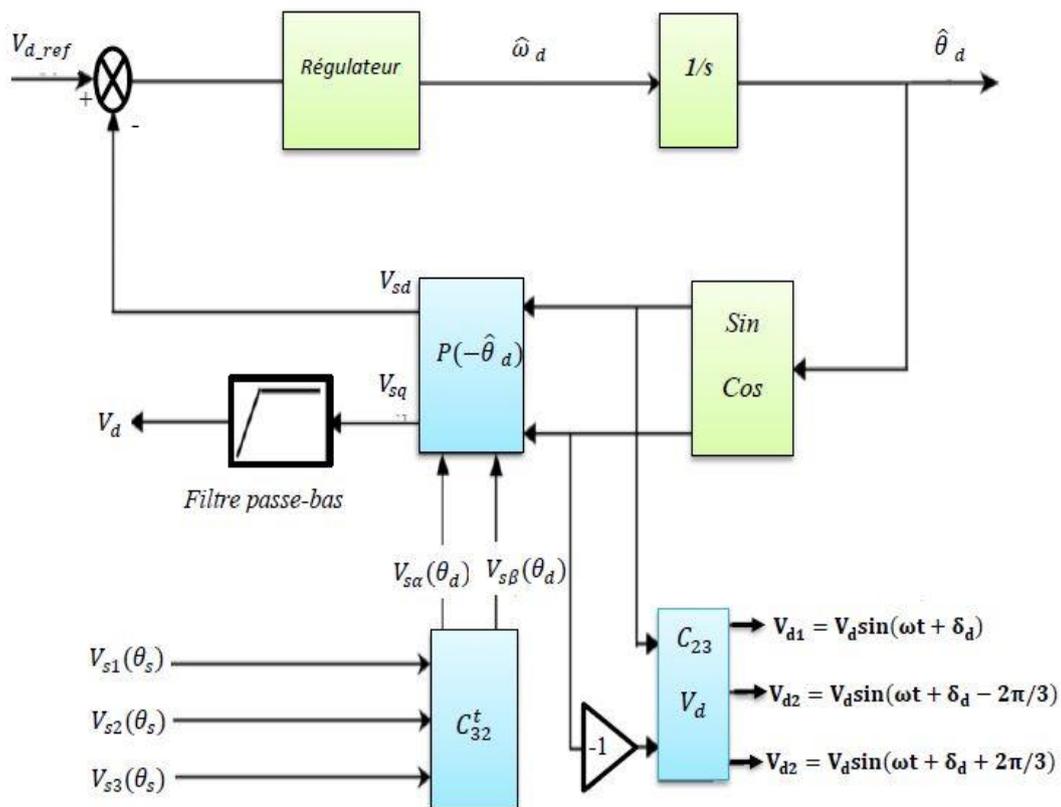


Figure II.7: schéma global du système à base de PLL

II.5.2.b- Algorithme d'identification des tensions perturbatrices basée sur le PLL (phase locked loop)

Pour le filtre actif série, le système à base de **PLL**, **Figure(II.8)** est employé pour extraire l'amplitude et la phase (V_d, δ_d) de la composante directe de la tension à la fréquence fondamentale ($V_{d1,2,3}$).

Cette composante est soustraite de la tension perturbée du réseau ($V_{s1, 2,3}$) pour déterminer les composantes perturbatrices inverse et homopolaire de la tension ($V_{dif1, 2,3}$). Afin de réguler la tension de la charge, la différence entre la composante continue de la tension désirée ($V_{d-des} = 220\sqrt{2}$) et la composante continue fournie par la **PLL** (V_d) est introduite dans un bloc de transformation inverse de Park ayant un angle de rotation δ_d .

Les tensions de sortie de ce bloc ($V_{r1, 2,3}$) sont ajoutées aux composantes perturbatrices ($V_{dif1, 2,3}$) pour former les références de la tension ($V_{ref1, 2,3}$) [42], [43].

Cette méthode diminue considérablement le nombre de calculs par rapport aux méthodes classiques et ne nécessite pas une connaissance très précise du réseau perturbé. A cela s'ajoute une optimisation de la puissance apparente du filtre actif série grâce à la conservation de l'angle de la composante directe de tension [42]. **Figure II.8** illustre le schéma global du système à base de **PLL** que nous avons utilisé pour notre circuit de commande

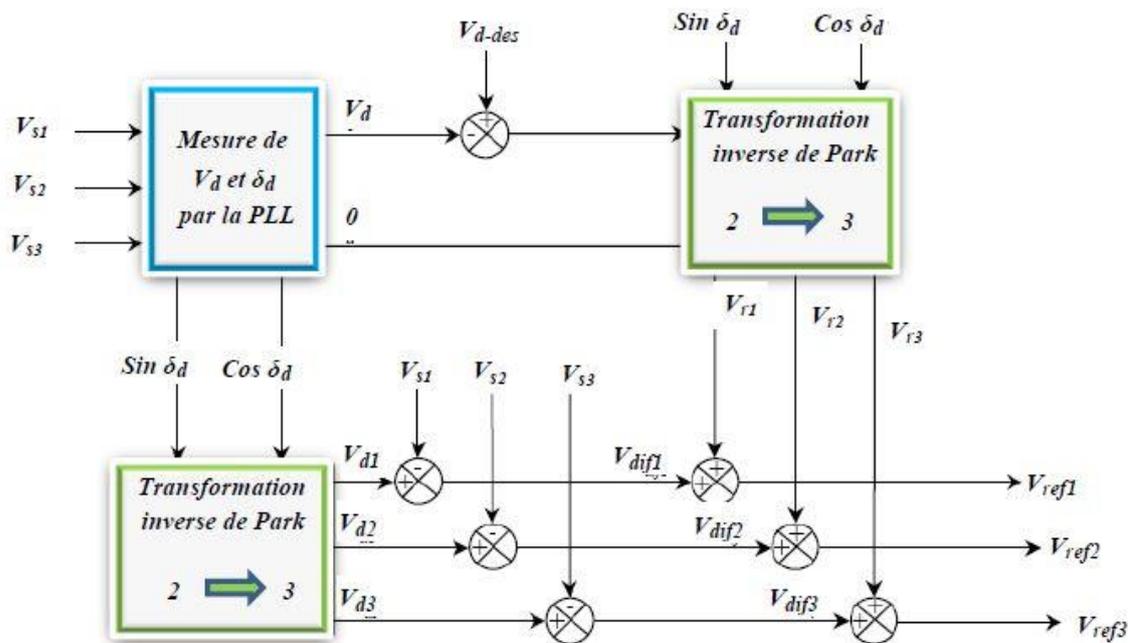


Figure II.8 : Méthode d'identification basée sur l'emploi d'un système à base de PLL

II.6- Conclusion

Nous avons présenté et défini dans ce chapitre la description d'un FAS. Puis le principe de ça fonctionnement et la plupart des éléments constituant la structure du filtre actif série, sont structure a été partagée en deux parties à savoir la partie puissance et la partie contrôle-commande, donnant plus de détail sur chaque élément constituant la partie puissance : convertisseur de tension, transformateur d'injection de tension, système de stockage, et le filtre de sortie.

Après on a présenté la technique hystérésis pour générer les signaux de gâchette a un onduleur, on a présenté les différentes méthodes pour calculée les tensions de référence. De cette étude, nous avons choisi d'employé dans notre commande, la méthode de puissance instantanée et la méthode à base d'une boucle à verrouillage de phase où en anglais : **Phase Locked Loop (PLL)**.

Chapitre III

Simulation d'un filtre actif série

III.1-Introduction

La dégradation de la qualité de l'énergie électrique peut être causée par différentes perturbations tel que les creux de tension, surtensions, déséquilibres et les harmoniques courant et/ou tension, etc.

Pour améliorer la qualité de l'énergie électrique, plusieurs solutions ont été proposées dans la littérature pour la compensation de ces perturbations : le filtre actif série, filtre actif parallèle, la combinaison des deux et les filtres hybride.

Le filtre actif série est connecté en série avec le réseau de distribution et permet de protéger les charges sensibles et de compenser les perturbations de type tensions.

Dans ce chapitre nous avons étudié le fonctionnement d'un filtre actif série (**FAS**) sous la condition de perturbation

Nous nous proposons d'utilisée un filtre actif de puissance série afin de pouvoir compensé les perturbations de type tension. Et est-ce que elle va changer ?

III.2-description de système à simuler

La structure étudiée, est composé d'une source de tension triphasée (trois fils) associer en série avec une branche RL développée et construite pour simuler tous les type de perturbations en tension , une charge inductive représentée par l'élément RL et connectée au système et enfin le filtre actif série constitué, une partie puissance comprenant le transformateur série, l'onduleur de tension, le filtre de sortie .et une partie commande comprenant le générateur de référence et le contrôleur. Les caractéristiques de réseau sont :

La fréquence= 50Hz La charge= 1500w La source=11 kV La tension de la ligne = 0,4 kV

La source de tension continue DC= 200 v Rs=1 ohm Ls=0,016 H

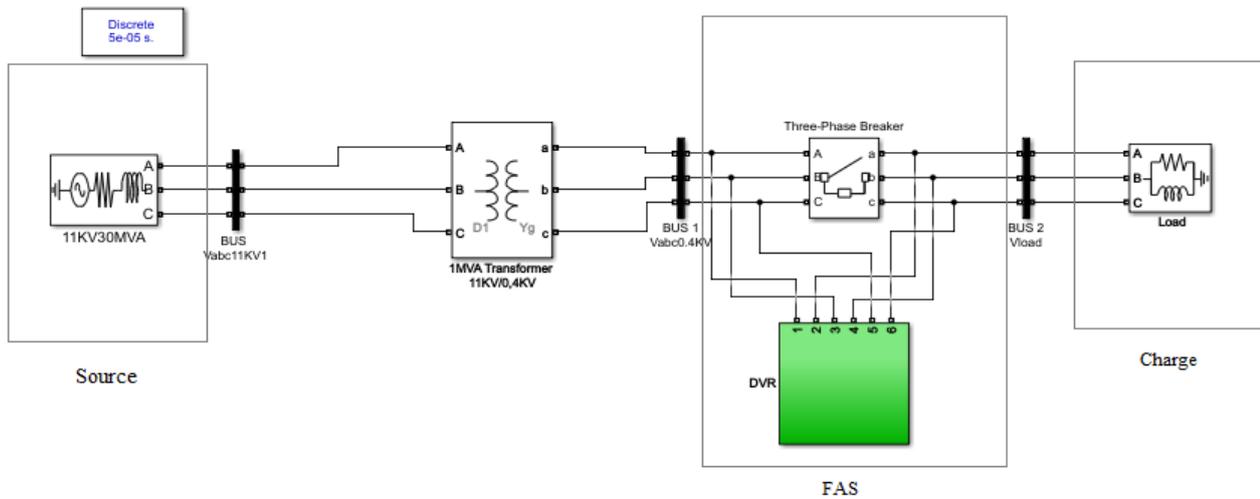


Figure III.1 : La structure générale à étudier

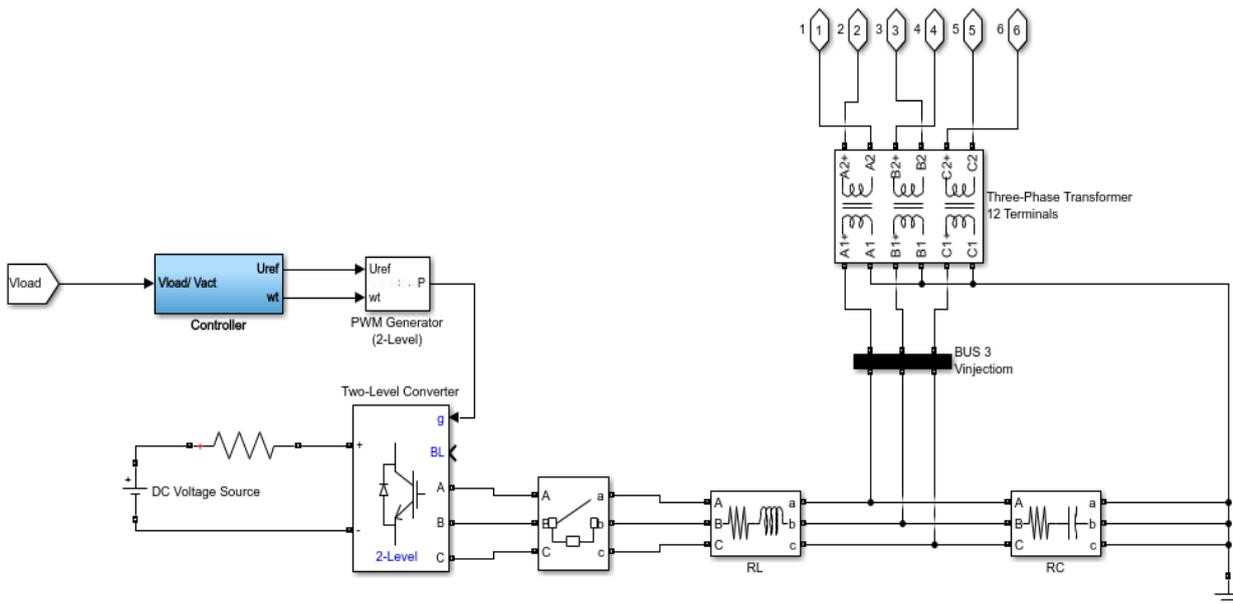


Figure III.2 : Le filtre actif série détaillé

Après avoir travaillé sur l'installation de la forme de base de réseau électrique, nous avons touché à une réalisation des blocs chacun d'eux créés une perturbation au niveau de réseau sont (**creux de tension, déséquilibre de tension, harmoniques de tension, surtension et chute de tension**) après on va améliorer l'étude en combinant deux perturbations en même temps au réseau. Ensuite nous allons l'installer pour étudier l'efficacité de **FAS**.

III.3- Perturbation type « creux de tension »

III.3.a- Le modèle de montage avant le filtrage

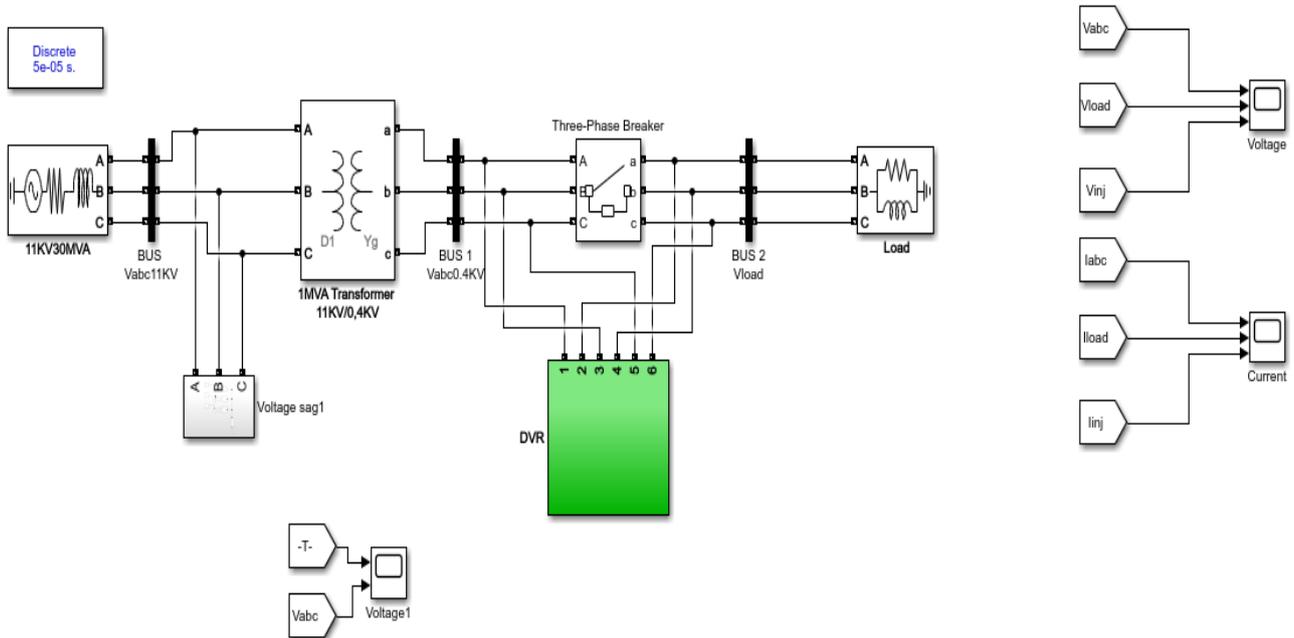


Figure III.3 : Le modèle de montage avant le filtrage d'un creux de tension.

III.3.b- Le modèle de montage après le filtrage

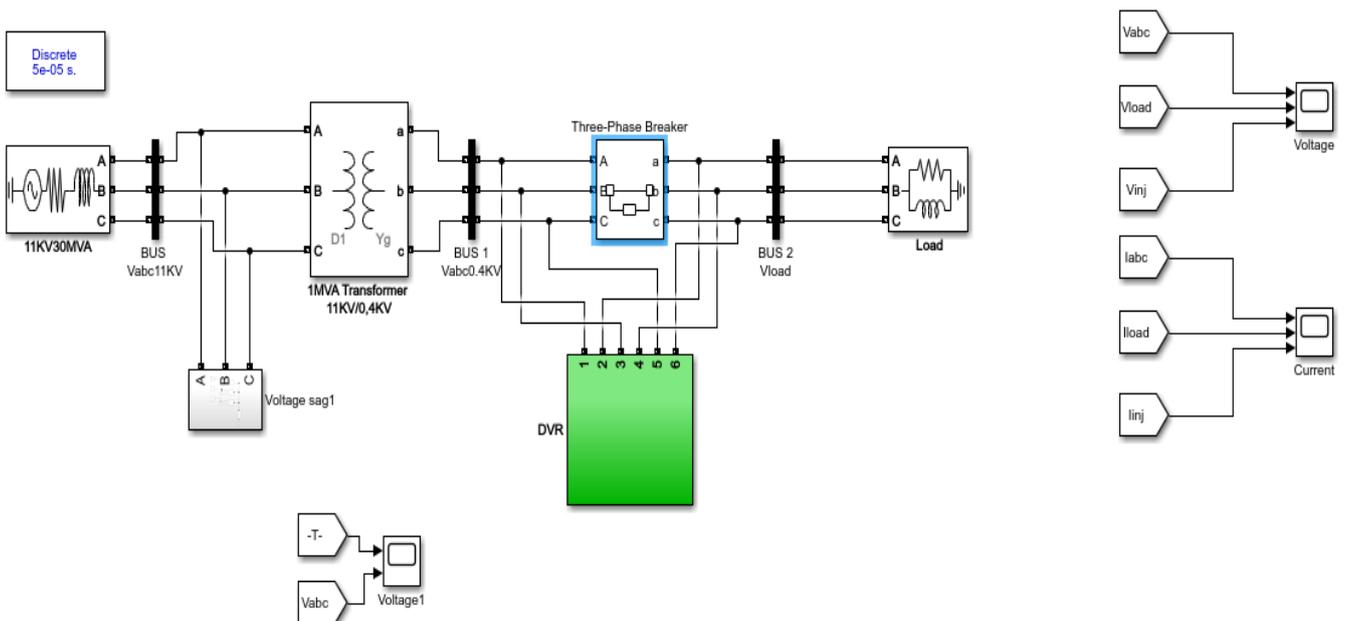
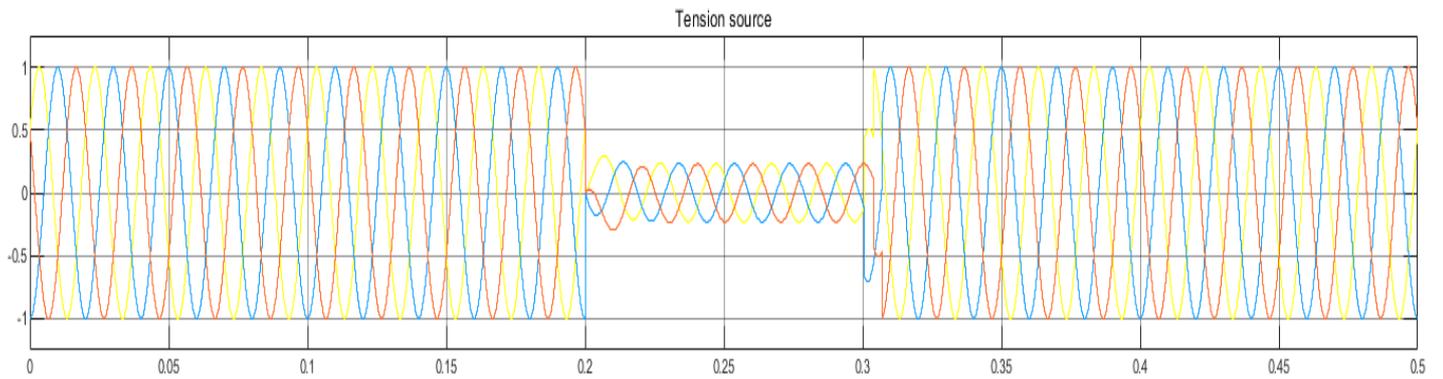
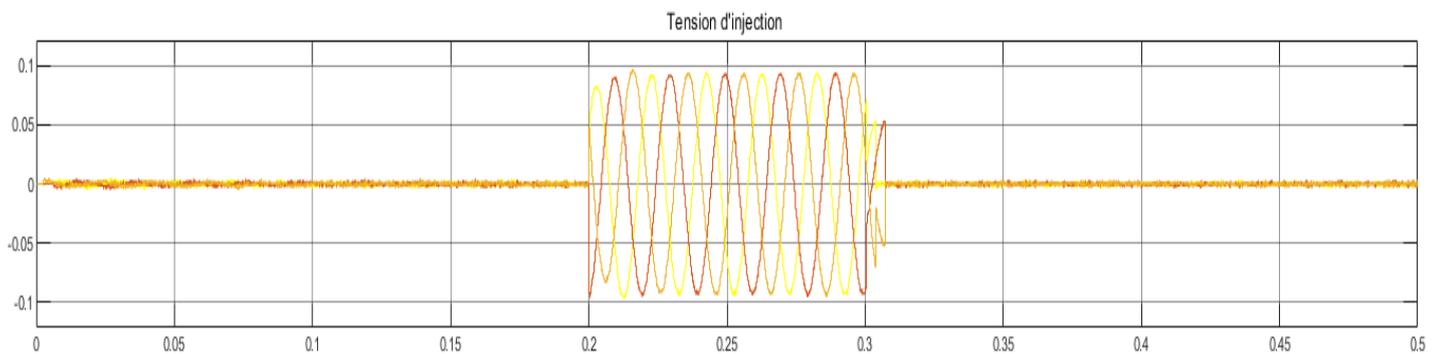


Figure III.4 : Le modèle de montage après le filtrage d'un creux de tension.

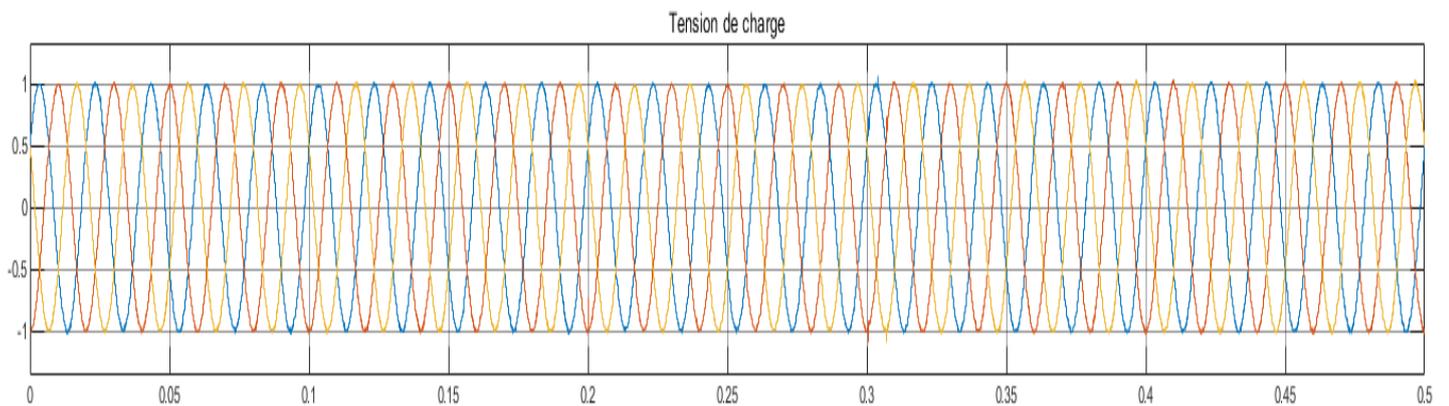
III.3.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink



Tension de source



Tension de d'injection



Tension de charge

Figure III.5 : Analyse temporelle de la compensation d'un creux de tension.

- **Sans FAS (Avant le filtrage)**

- **FFT**

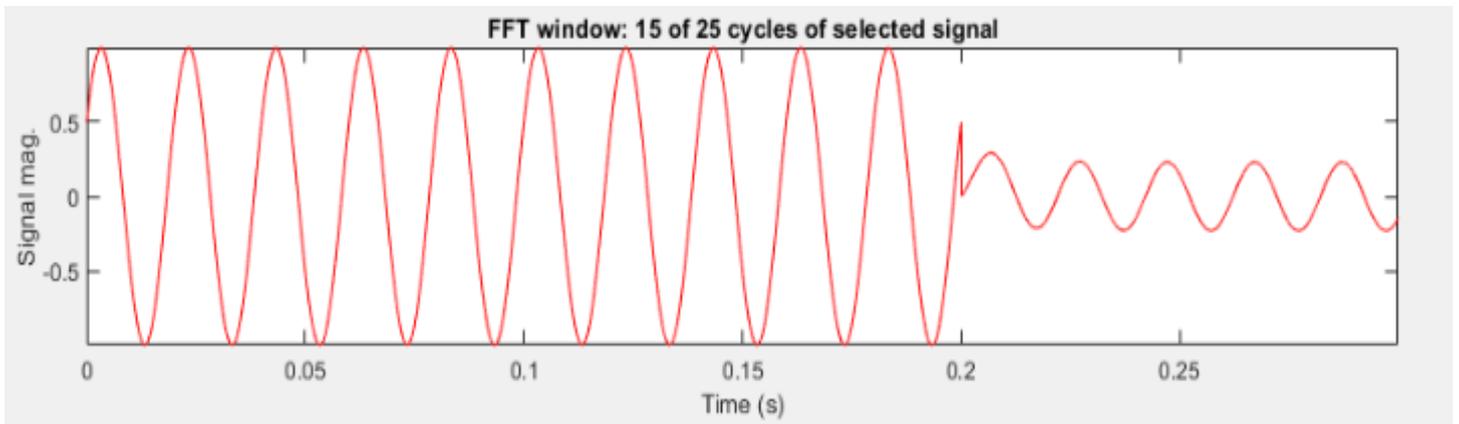
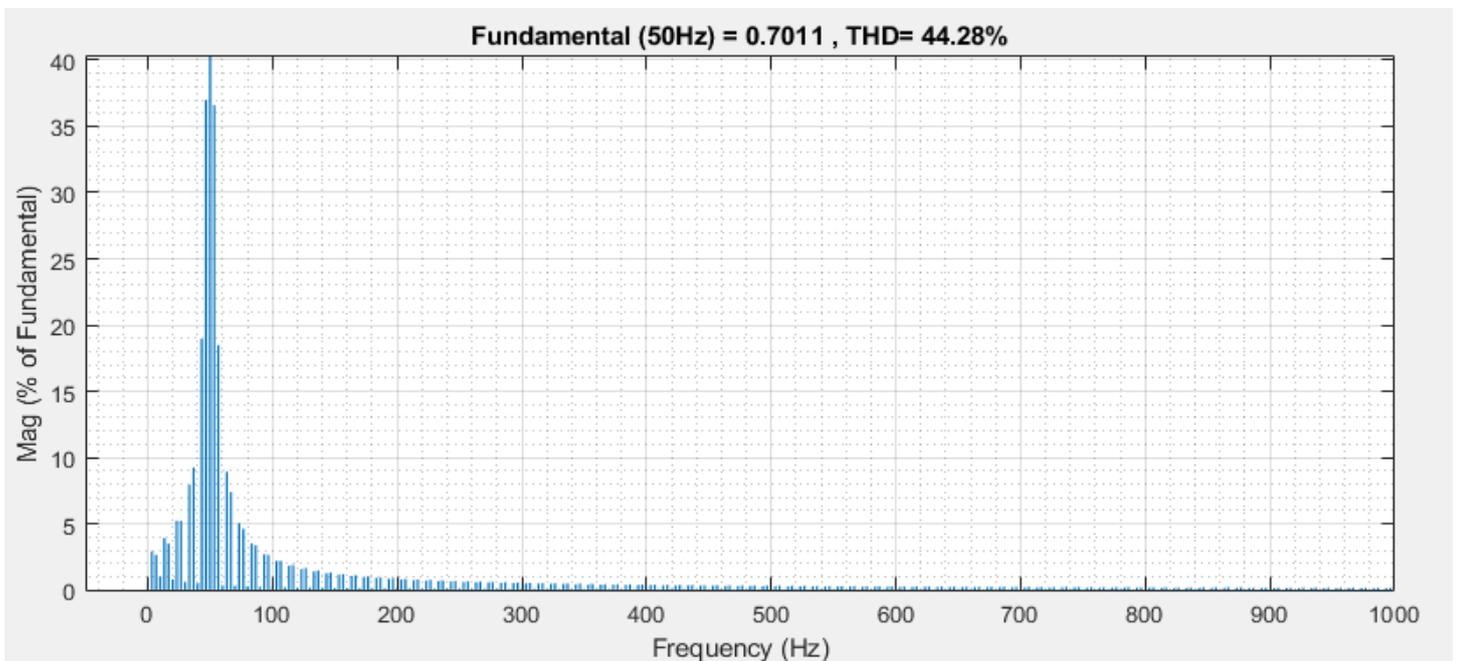


Figure III.6 : Le FFT avant le filtrage d'un creux de tension.

- **THD**



Fondamental (50HZ)=0,7011 ; THD=44,28%

Figure III.7 : Le THD avant le filtrage d'un creux de tension.

- Avec FAS (Après le filtrage)

- FFT

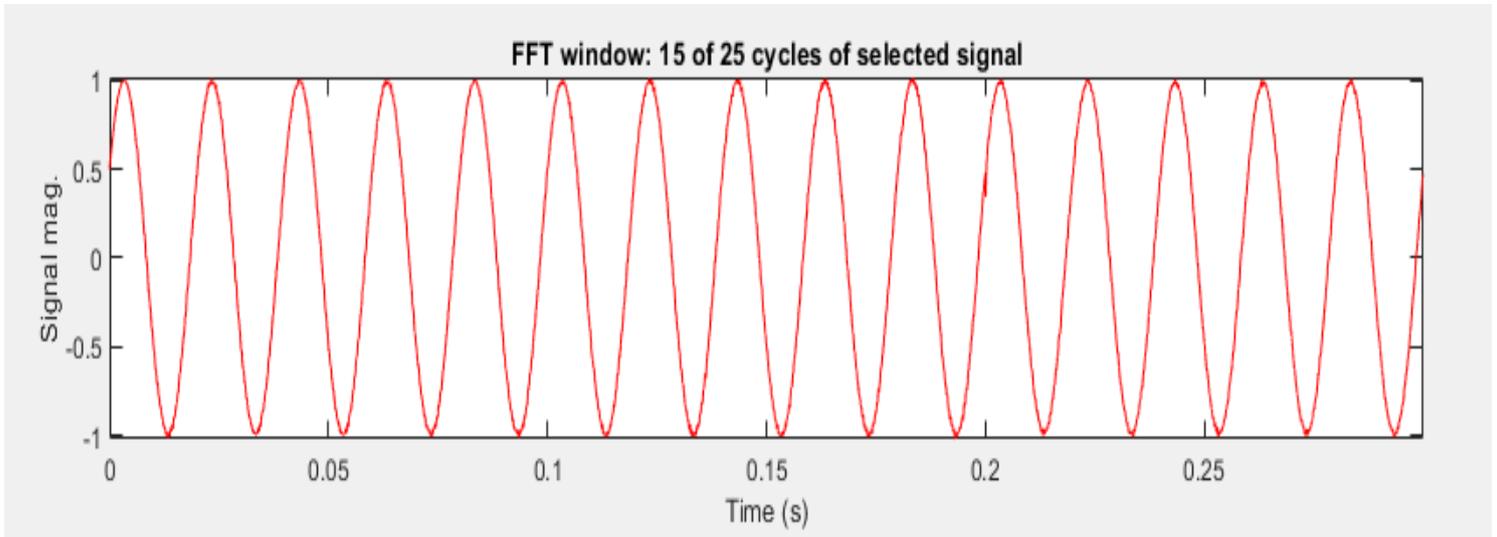
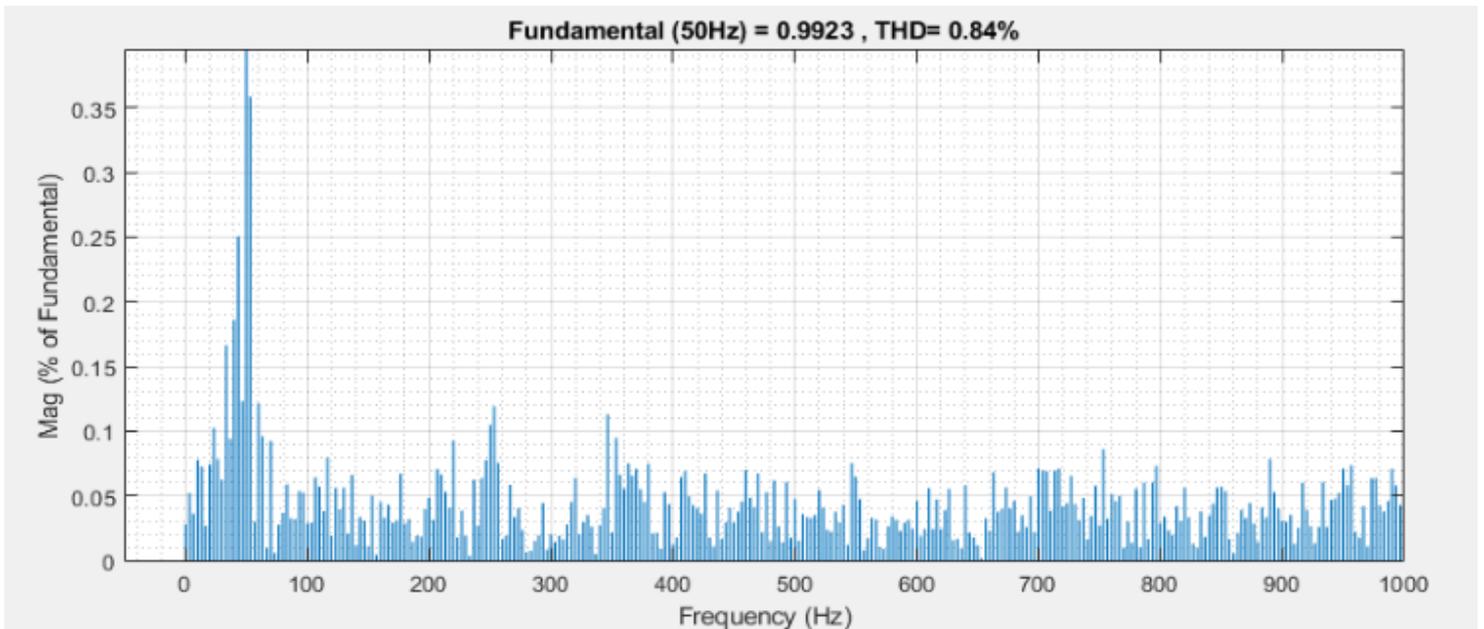


Figure III.8 : Le FFT après le filtrage d'un creux de tension.

- THD



Fondamental (50HZ)=0,9923 ; THD=0,84%

Figure III.9: Le THD Apres le filtrage d'un creux de tension.

III.4.2- L'interprétation

Dans cette partie de simulation, on a testé l'utilité du **FAS** contre un creux de tension (**25% de la tension nominale**). Introduit volontairement entre l'instant $t_1 = 0.2$ sec et $t_2 = 0.3$ sec.

Comme il est illustré sur la **Figure (III-5)**, on a bien vécu qu'à l'instant $t=0.2$ sec l'amplitude de la tension de source est réduite de **25%** par rapport à la tension fondamentale alors que la tension de charge a gardée toujours sa même valeur. Ceci est à cause de **FAS** qui injecte la tension manquante.

III.4.3 -comparaison

Le tableau (III.5) Résume les résultats de simulation du **FAS** proposé en présence d'un creux de tension avant et après l'utilisation ou en a prouvé le bon fonctionnement et l'efficacité de filtre qui parfaitement amélioré la qualité de réseau et démunie la valeur de **THD** de **44,28%** à **0,84%**.

	Avant le filtrage	Après le filtrage
THD	44,28%	0.84%

Tableau III.1 : comparaison de THD d'un creux de tension avant et après le filtrage

III.5- Perturbation type « déséquilibre de tension »

III.5.a- Le modèle de montage avant le filtrage

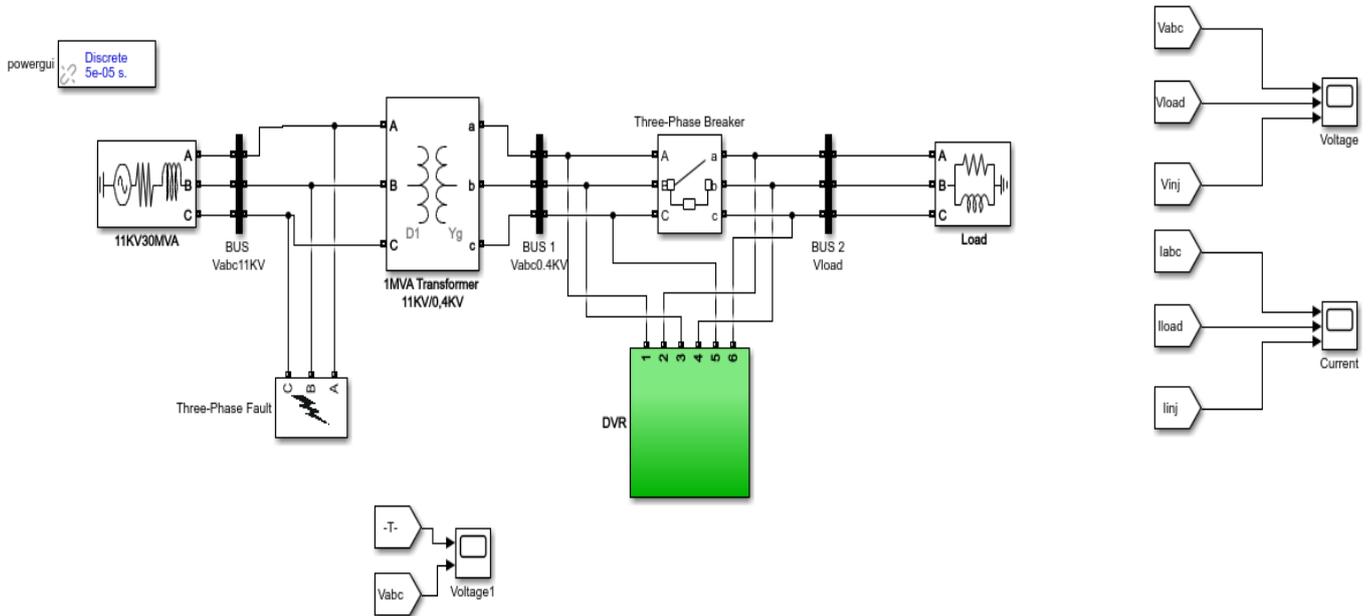


Figure III.10 : Le modèle de montage avant le filtrage d'un déséquilibre de tension

III.5.b- Le modèle de montage après le filtrage

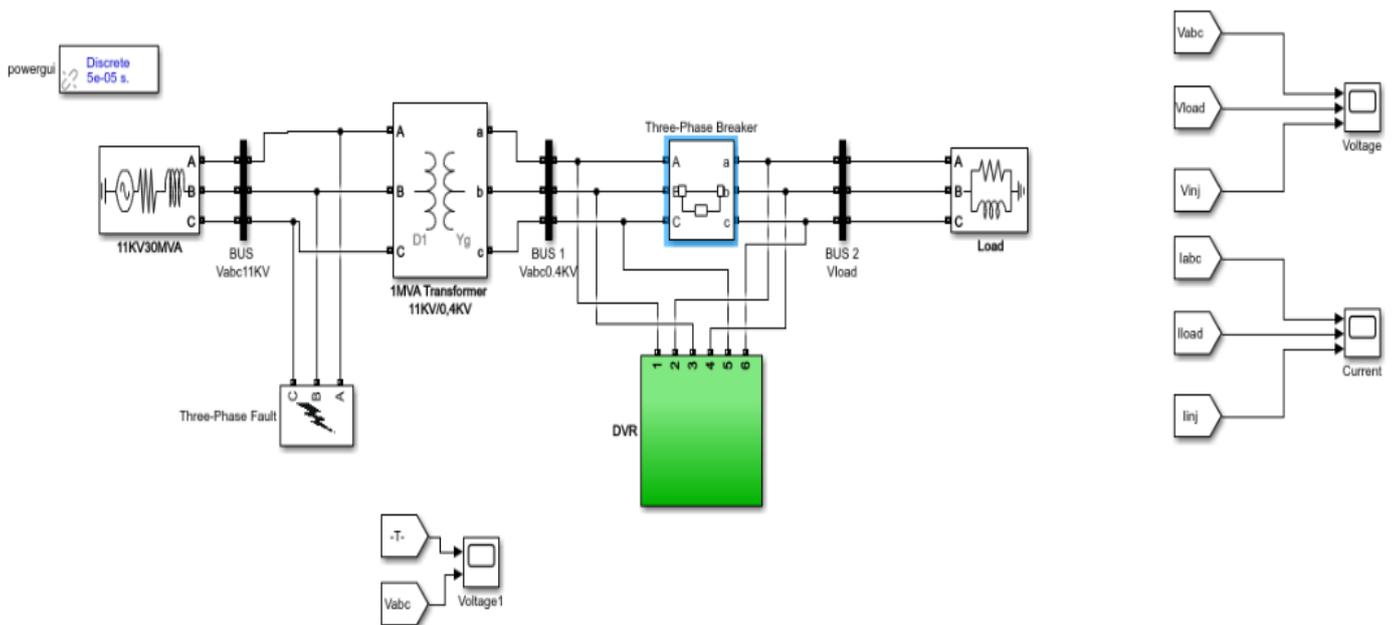
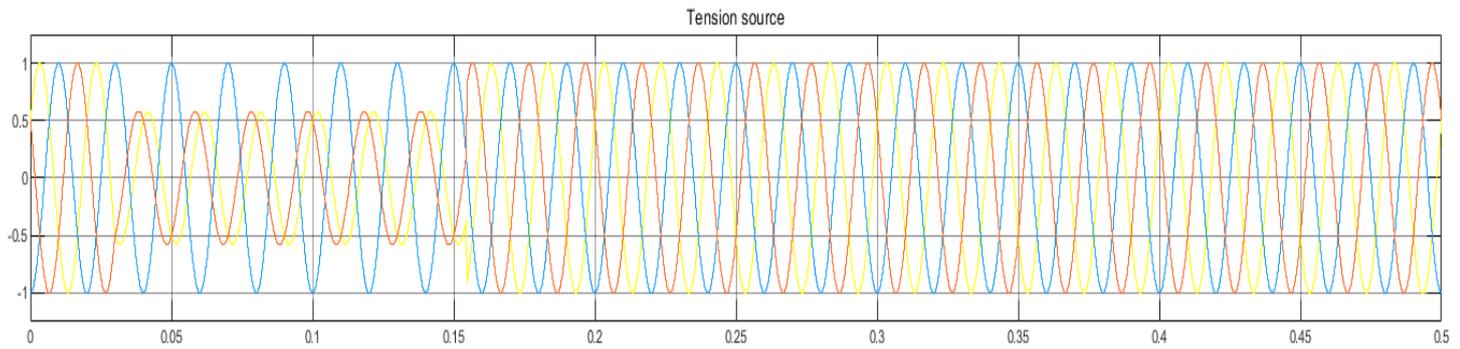
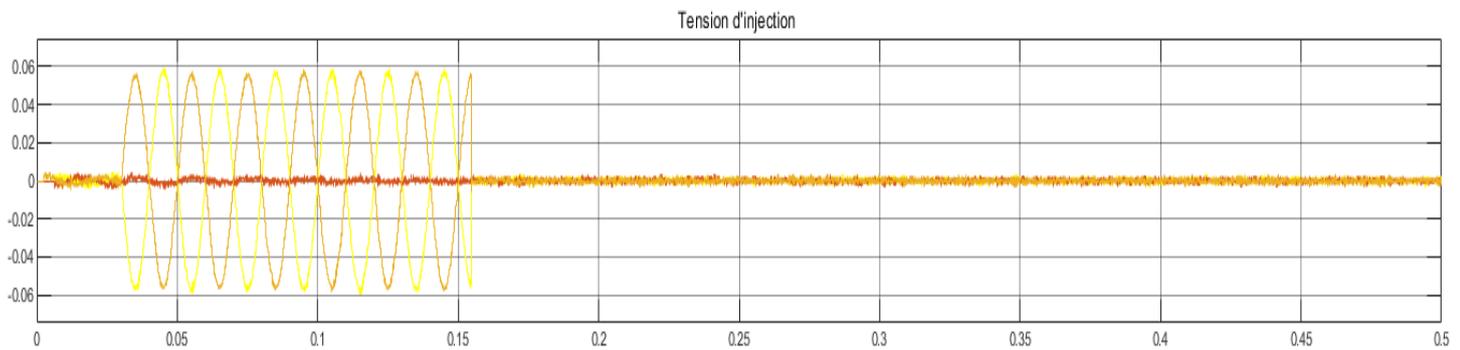


Figure III.11 : Le modèle de montage après le filtrage d'un déséquilibre de tension.

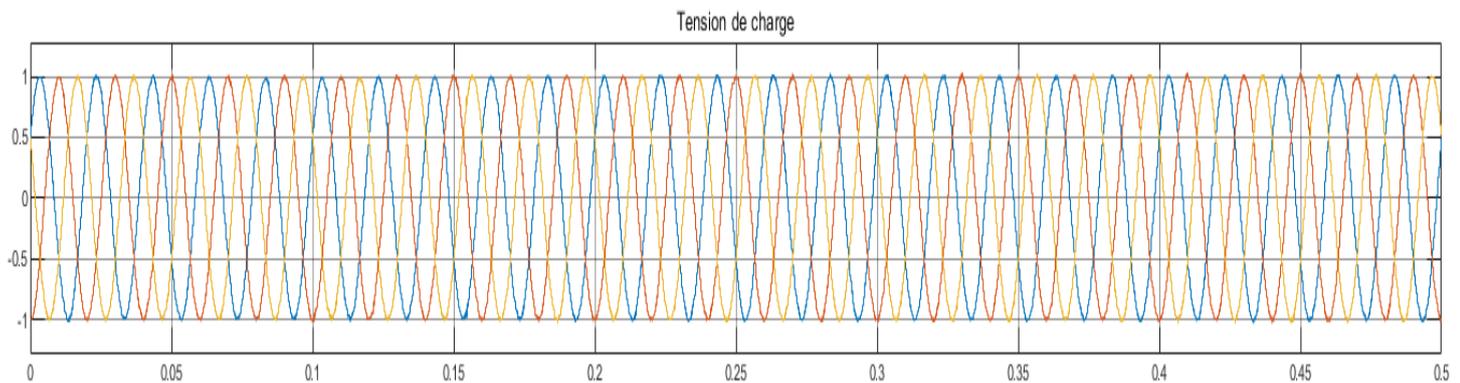
III.5.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink



Tension de source



Tension d'injection



Tension de charge

Figure III.12 : Analyse temporelle de la compensation d'un déséquilibre de tension

- **Sans FAS (Avant le filtrage)**

- **FFT**

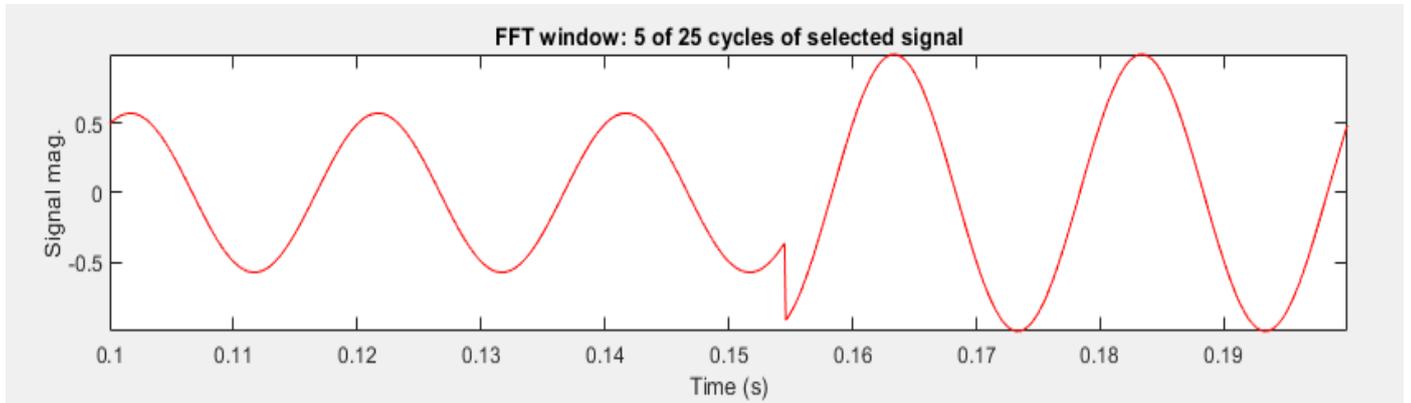
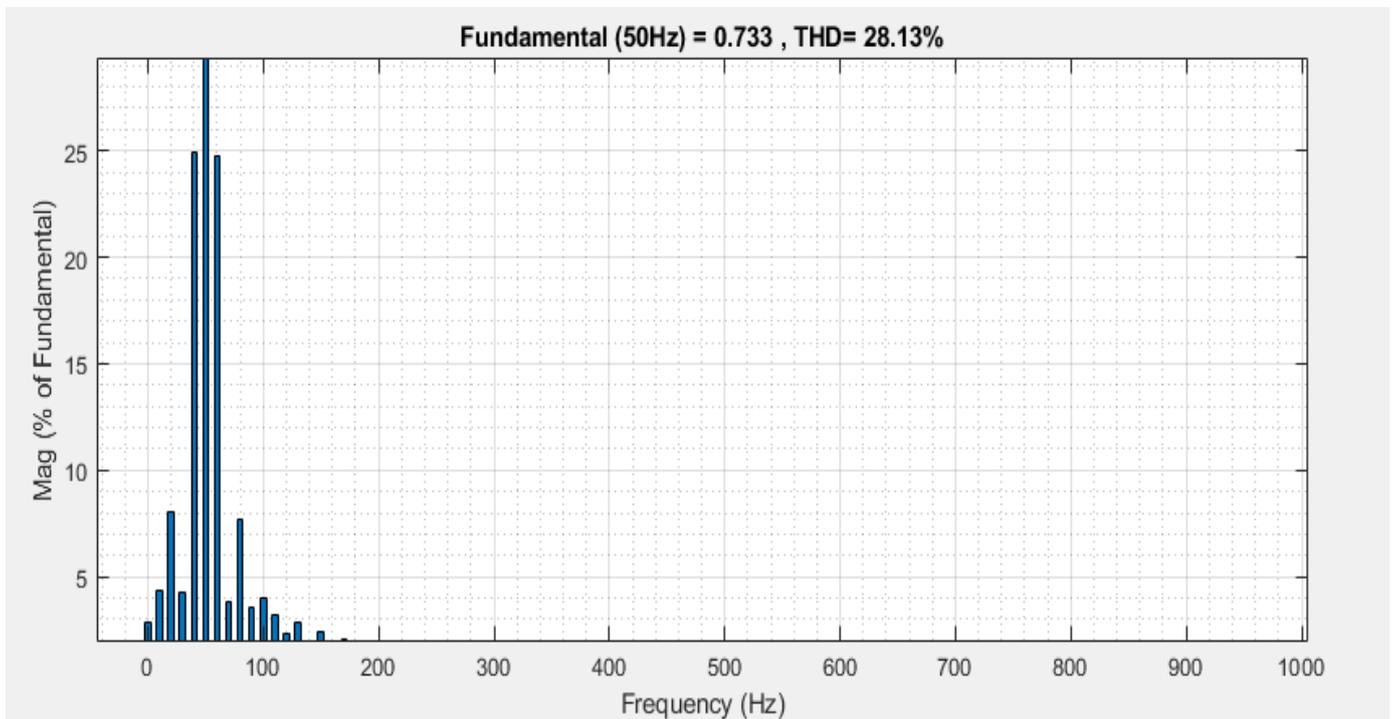


Figure III.13 : Le FFT avant le filtrage d'un déséquilibre de tension.

- **THD**



Fondamental (50HZ)=0,733 ; THD=28,13%

Figure III.14 : Le THD avant le filtrage d'un déséquilibre de tension

- Avec FAS (Après filtrage)

- FFT

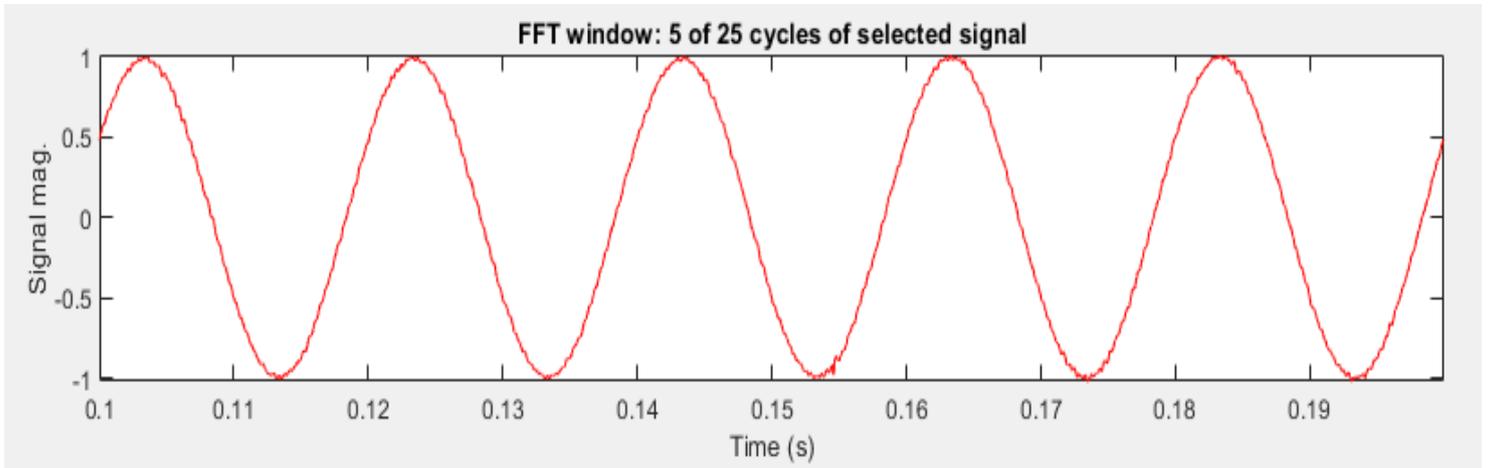
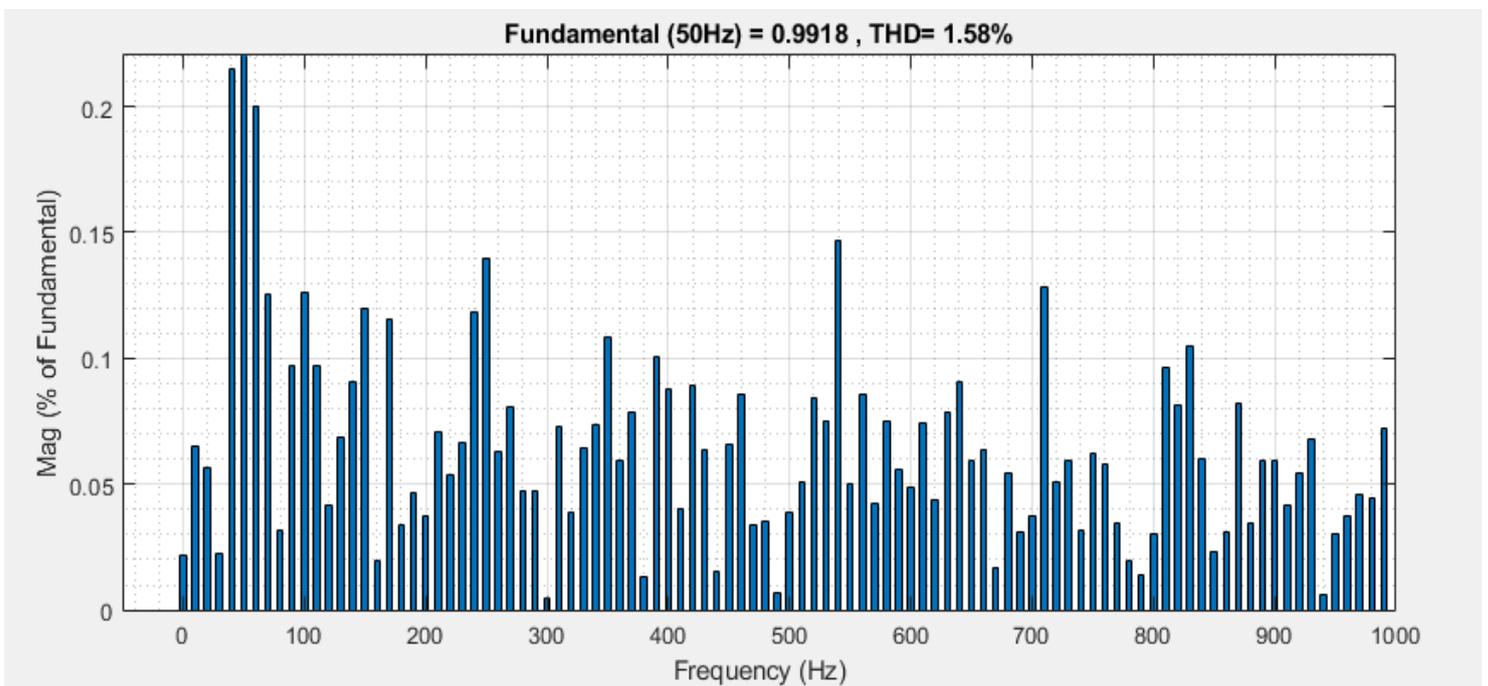


Figure III.15 : Le FFT après le filtrage d'un déséquilibre de tension.

- THD



Fondamental (50HZ)=0,9918 ; THD= 1,58%

Figure III.16: Le THD après le filtrage d'un déséquilibre de tension.

III.5.2- L'interprétation

Dans ce cas, les deux phases de tensions de sources sont déséquilibrées. La **Figure (III.12)** représente dans le premier graphe: la tension source des phases déséquilibrées entre **t=0,05sec** et **t=0,15sec**, dans le deuxième graphe : la tension injectée par le compensateur. Et dans le troisième graphe: la tension du réseau après compensation.

On peut constater que notre **FAS** est mis en marche et que la tension est devenue pratiquement équilibrée.

III.5.3- Comparaison

D'après le tableau(III.2), nous constatons que les performances obtenus avec le **FAS** sont plus meilleurs ou il travail a amélioré la qualité de phases déséquilibrées et compensé le manque par l'injection et minimisé le **THD** de **28,13%** à **1,58%** qui est pratiquement parfait pour le réseau.

	Avant le filtrage	Après le filtrage
THD	28,13%	1,58%

Tableau III.2 : comparaison de THD d'un déséquilibre de tension avant et après le filtrage

III.6- Perturbation type « harmoniques de tension »

III.6.a- Le modèle de montage avant le filtrage

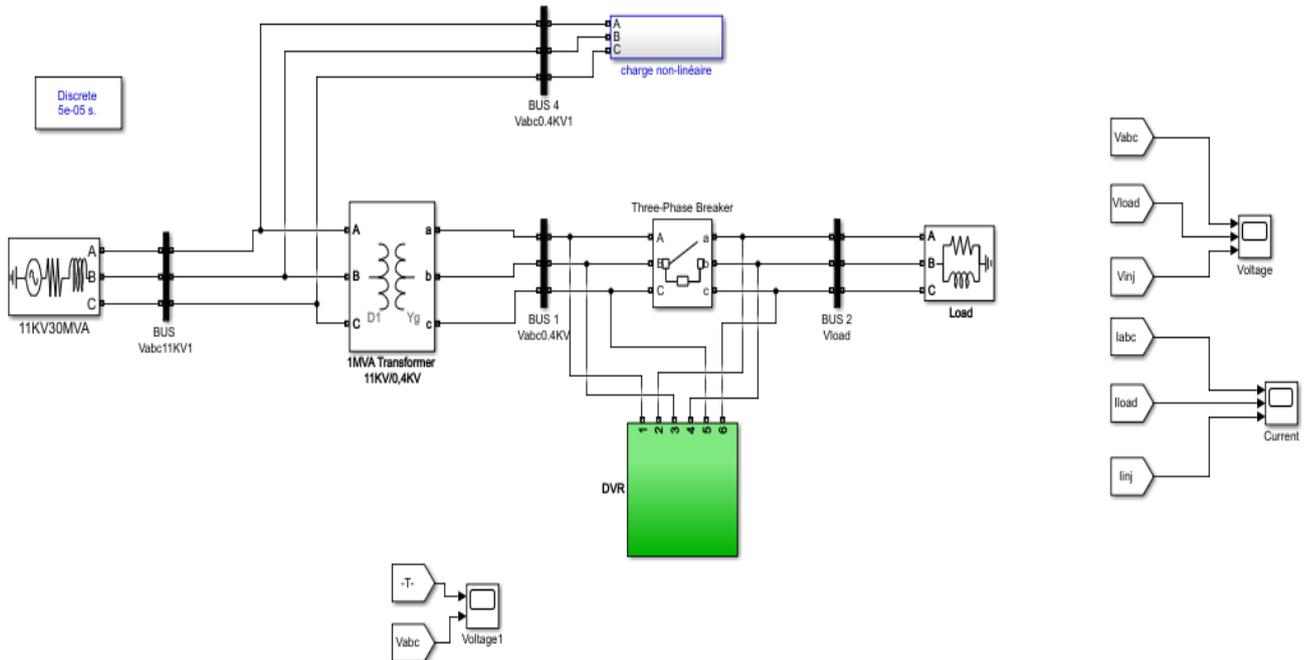


Figure III.17 : Le modèle de montage avant le filtrage des harmoniques de tension.

III.6.b- Le modèle de montage après le filtrage

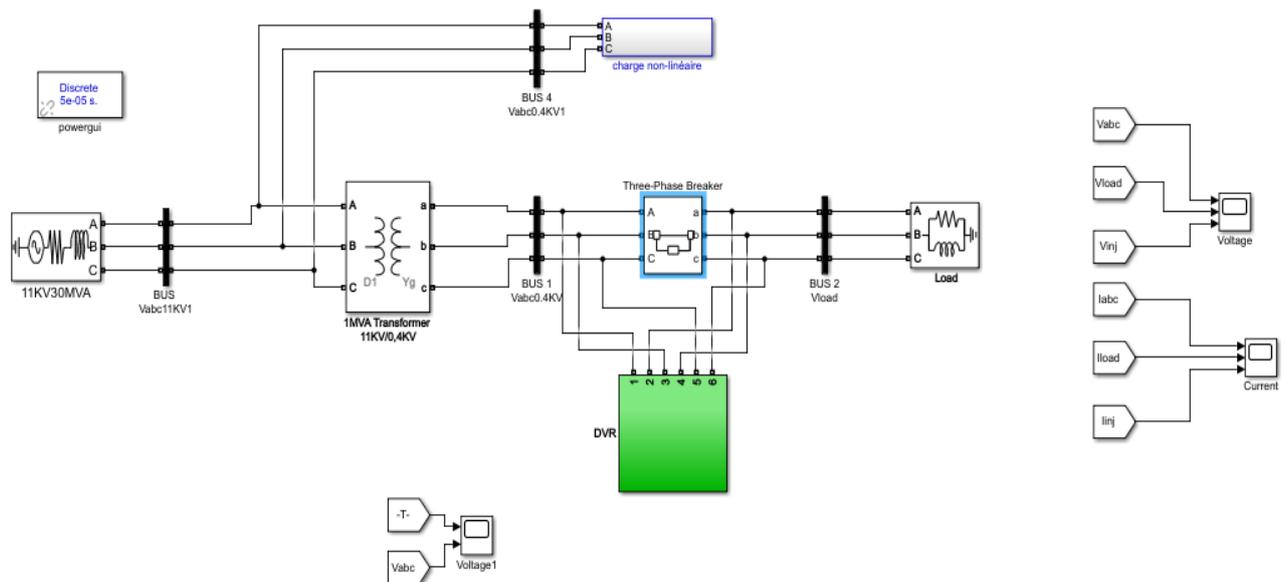
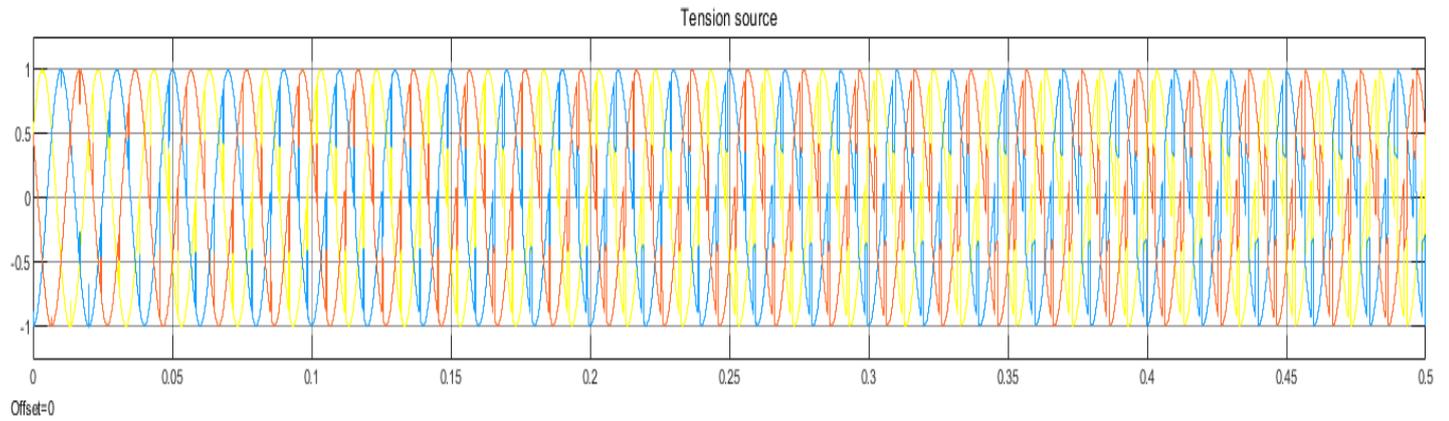
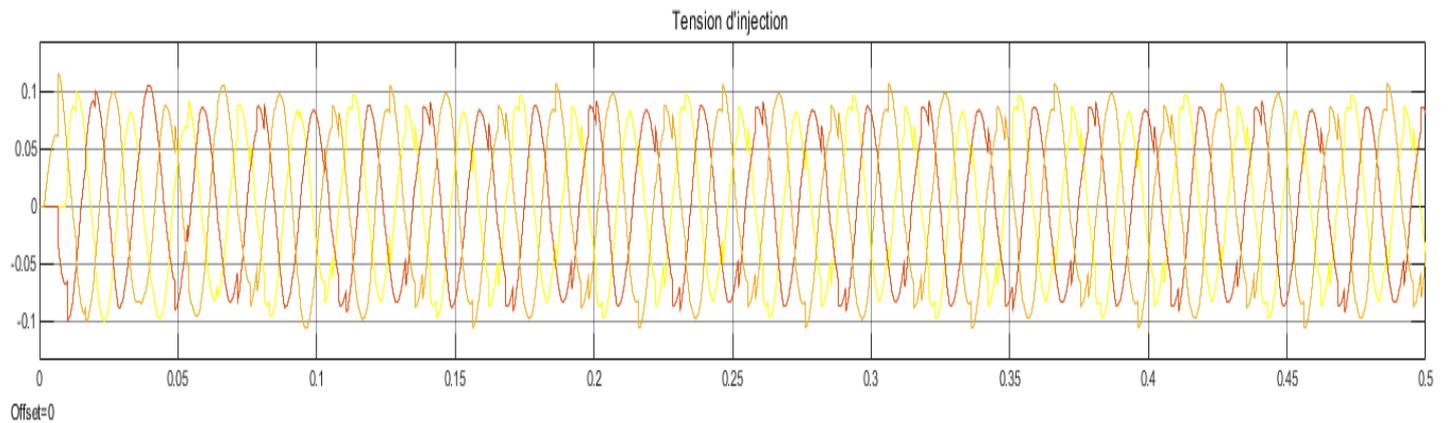


Figure III.18 : Le modèle de montage après le filtrage des harmoniques de tension.

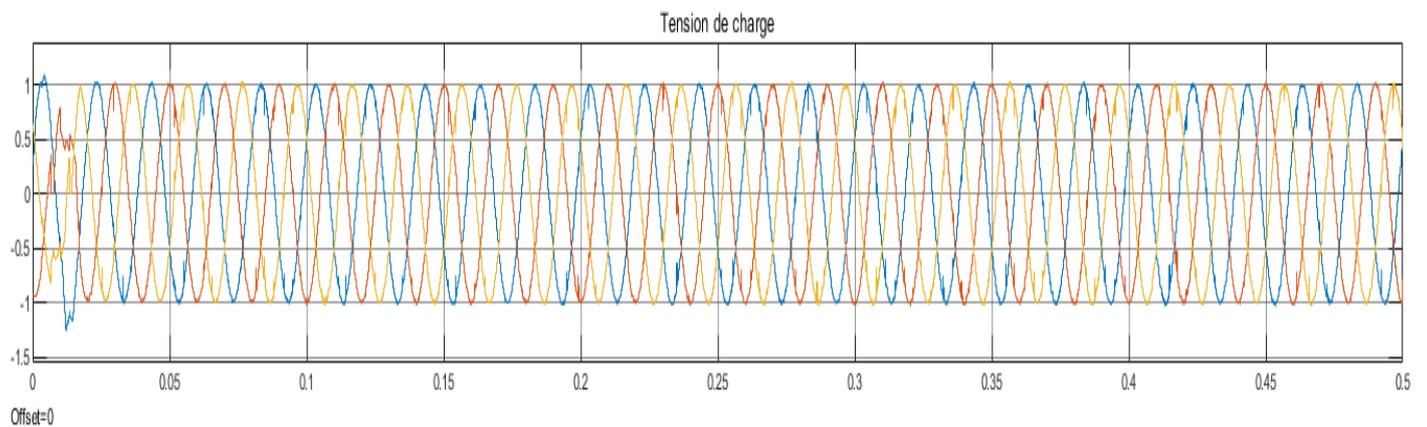
III.6.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink



Tension source



Tension d'injection



Tension de charge

Figure III.19 : Analyse temporelle de la compensation des harmoniques de tension.

- **Sans FAS (Avant le filtrage)**

- **FFT**

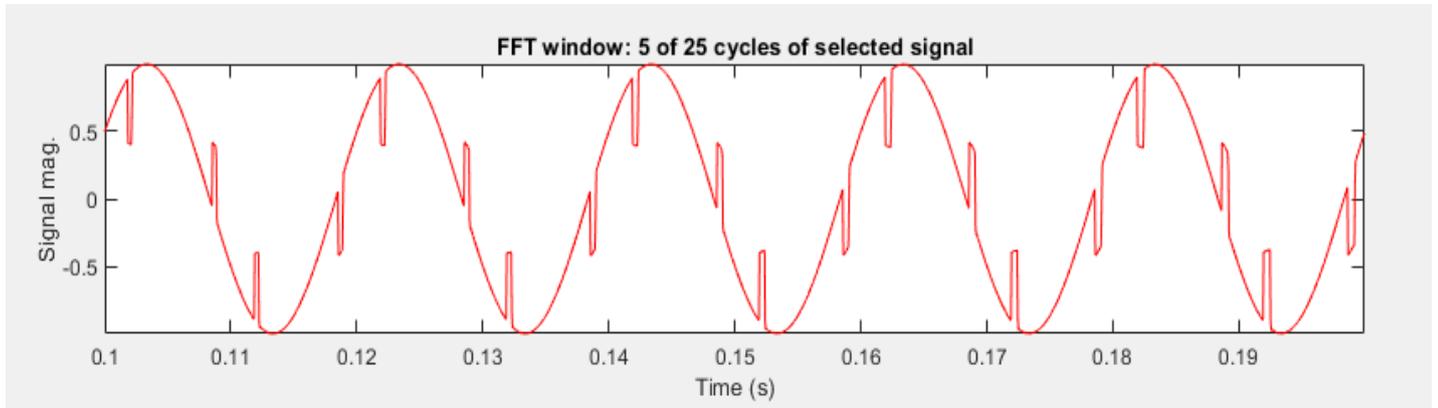
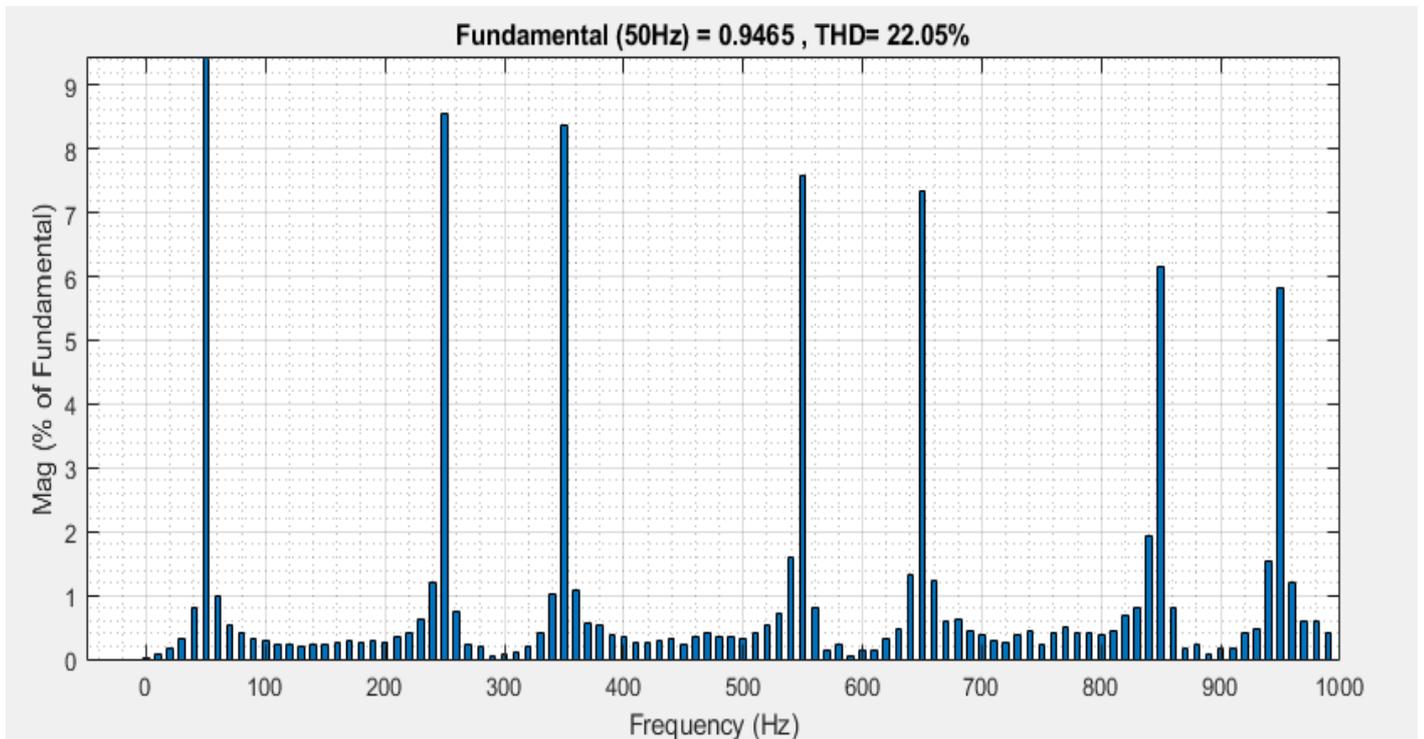


Figure III.20 : Le FFT avant le filtrage des harmoniques de tension.

- **THD**



Fondamental (50HZ)=0,9465 ; THD=22,05%

Figure III.21 : Le THD avant le filtrage des harmoniques de tension.

- Avec FAS (Après filtrage)

- FFT

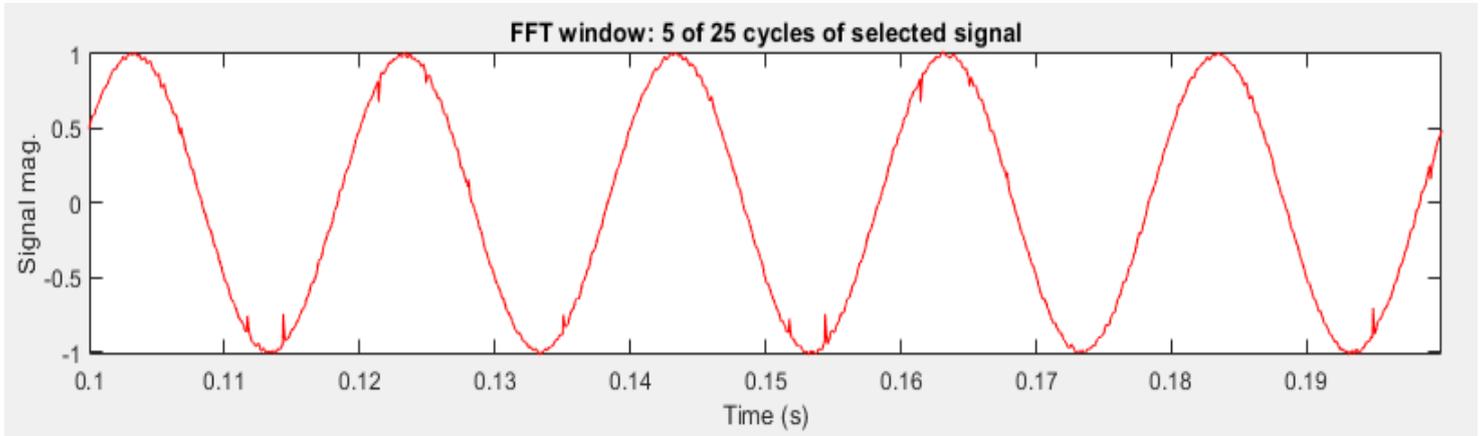
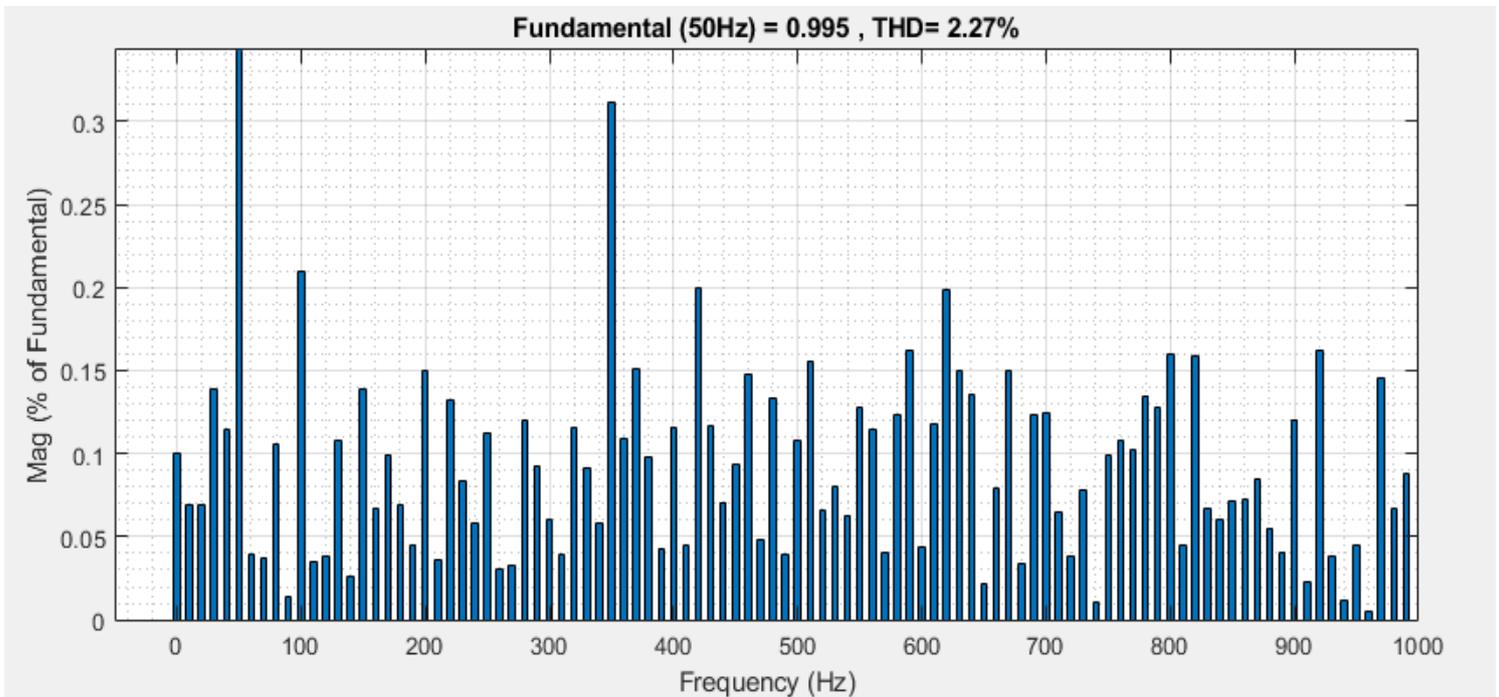


Figure III.22: Le FFT après le filtrage des harmoniques de tension.

- THD



Fondamental (50HZ)=0,995 ; THD= 2,27%

Figure III.23: Le THD après le filtrage des harmoniques de tension.

III.6.2- L'interprétation

Les résultats de simulation obtenus montrent la détection instantanée des perturbations harmoniques de tension. Le **FAS** injecte convenablement les tensions de compensation dès **t=0 sec** ou la tension de réseau à corriger et rendre parfaitement sinusoïdale ce qu'on observe à la figure (III.19).

III.6.3- comparaison

Le tableau (III.3) Résume les résultats de simulation du **FAS** proposé en présence des harmoniques de tension ou on assure l'efficacité de FAS qui nettement amélioré le **THD** est réduira la perturbation de **22.05%** à **2.27 %**

	Avant le filtrage	Après le filtrage
THD	22,05%	2,27%

Tableau III. 3 : comparaison de THD des harmoniques de tension avant et après le filtrage.

III.7-Perturbation type « surtension et chute de tension »

III.7.a-Le modèle de montage avant le filtrage

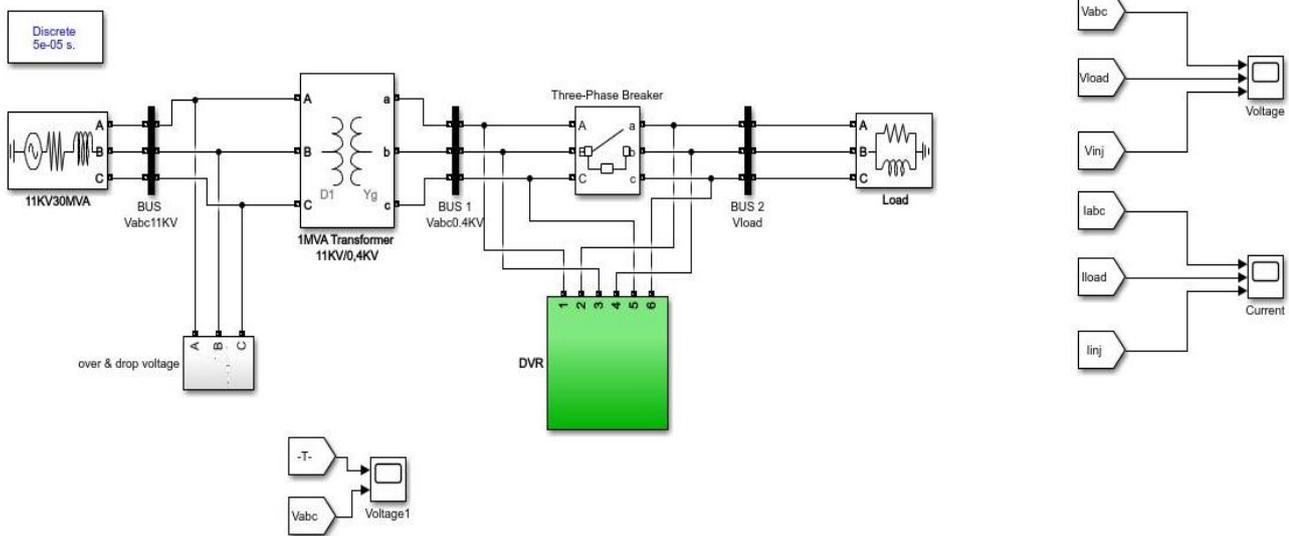


Figure III.24 : Le modèle de montage avant le filtrage d'une surtension et chute de tension.

III.7.b-Le modèle de montage après le filtrage

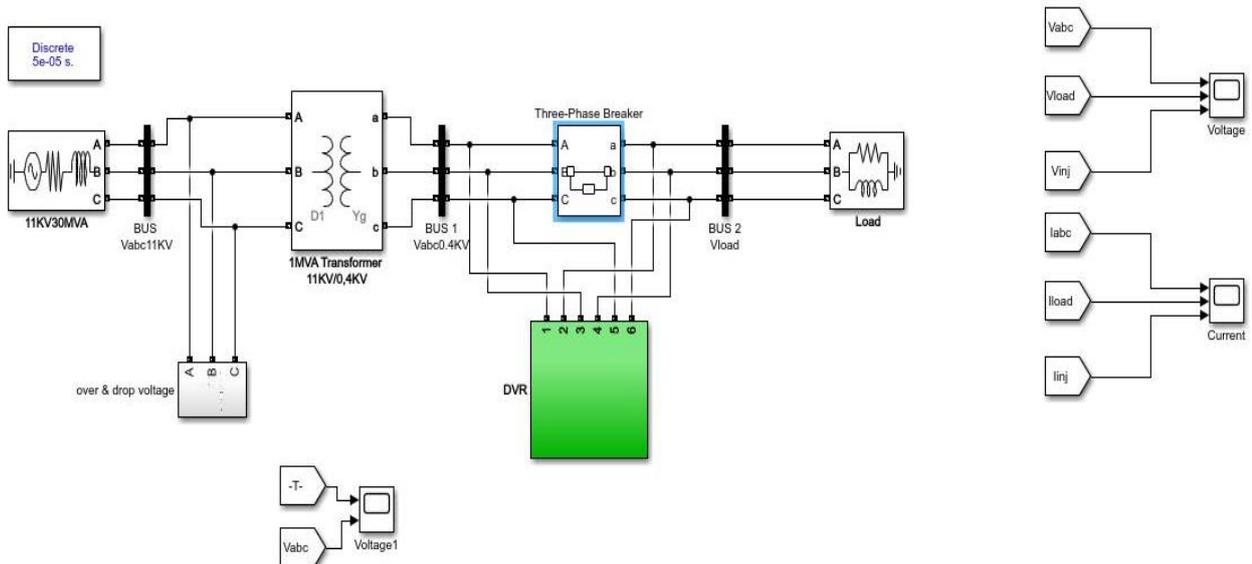
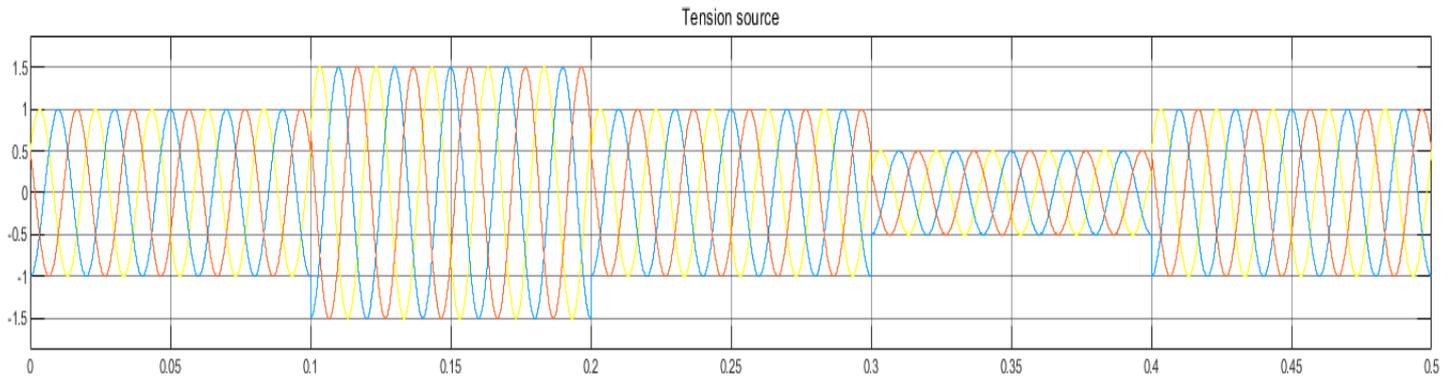
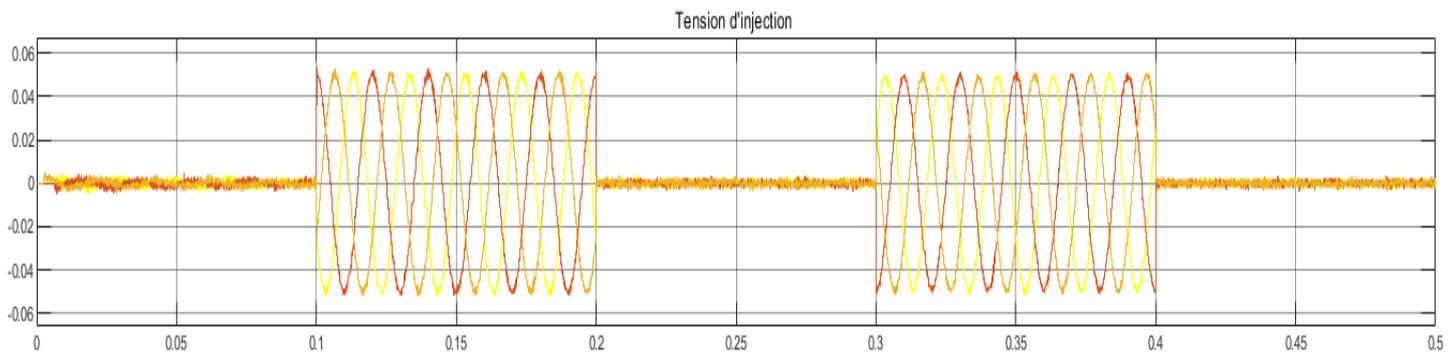


Figure III.25 : Le modèle de montage après le filtrage d'une surtension et chute de tension.

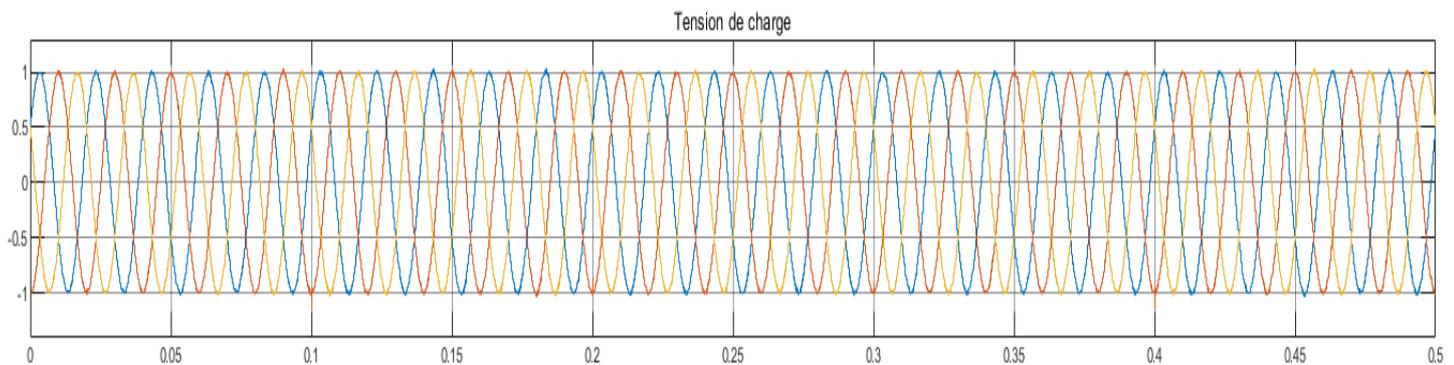
III.7.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink



Tensions de source



Tensions injecté



Tensions de charge

Figure III.26 : Analyse temporelle de la compensation d'une surtension et chute de tension.

- **Sans FAS (Avant le filtrage)**

- **FFT**

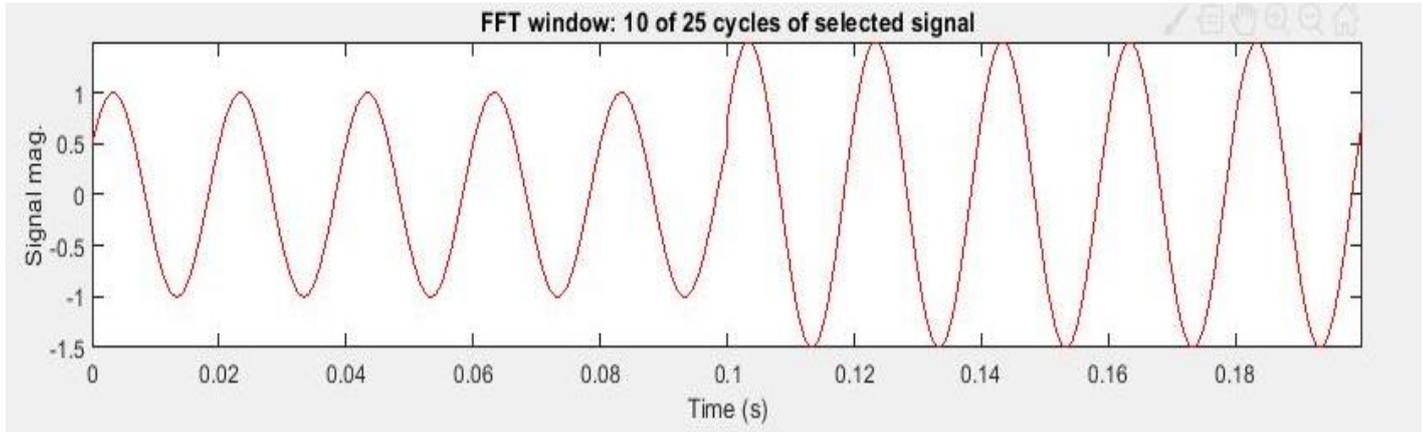
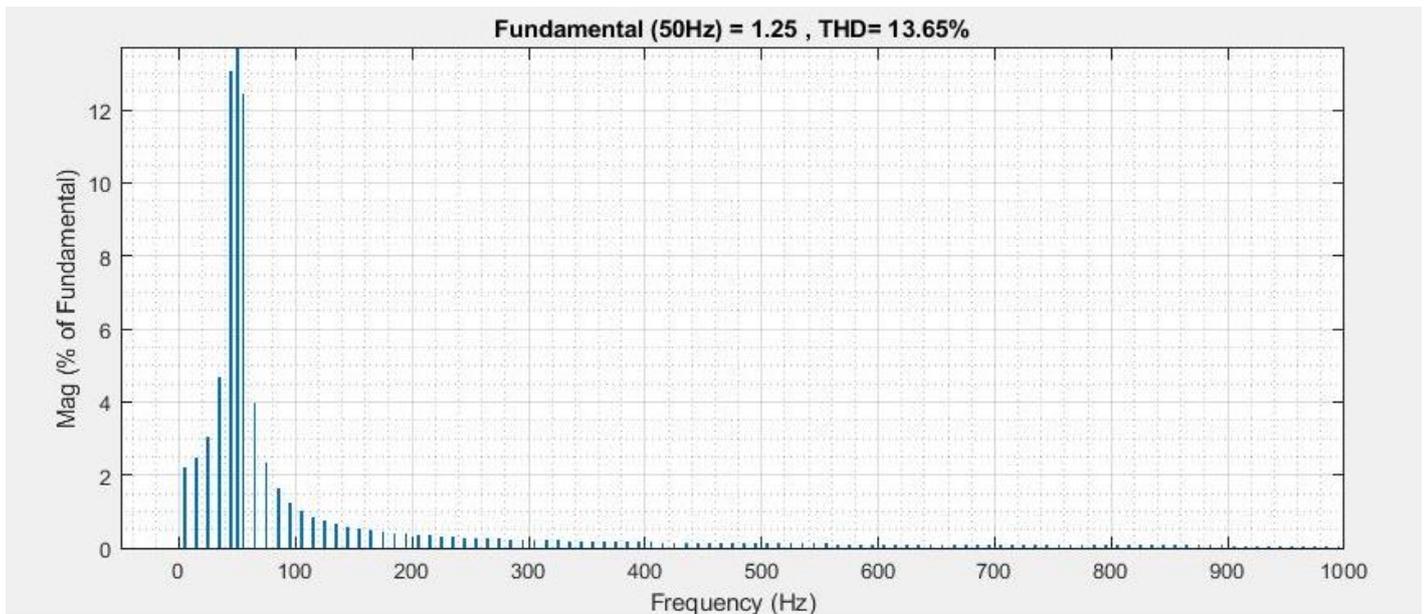


Figure III.27 : Le FFT avant le filtrage d'une surtension et chute de tension.

- **THD**



Fondamentale (50Hz)=1,25 ; THD=13,65%

Figure III.28 : Le THD avant le filtrage d'une surtension et chute de tension.

- Avec FAS (Après le filtrage)

- FFT

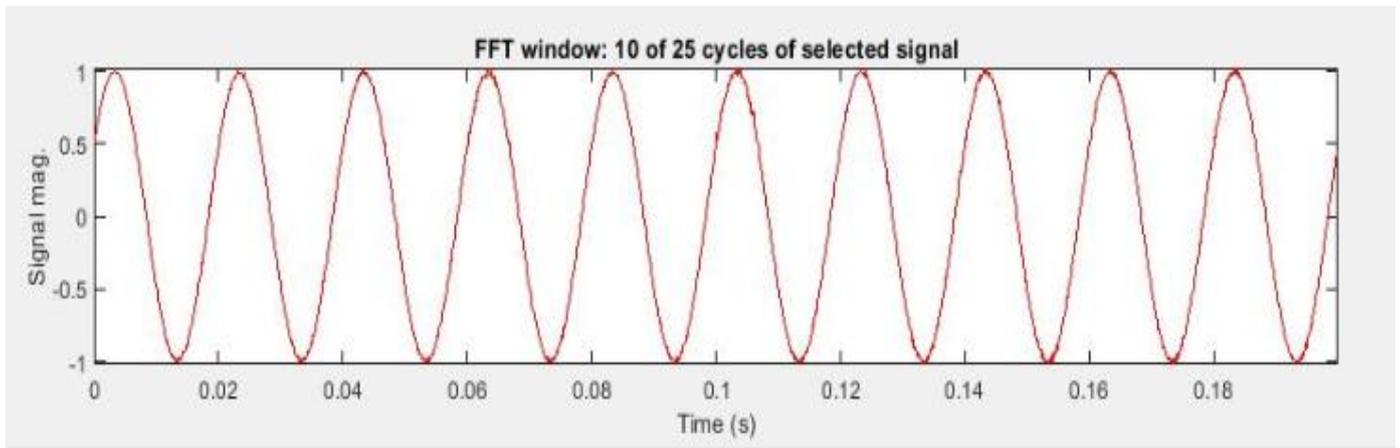
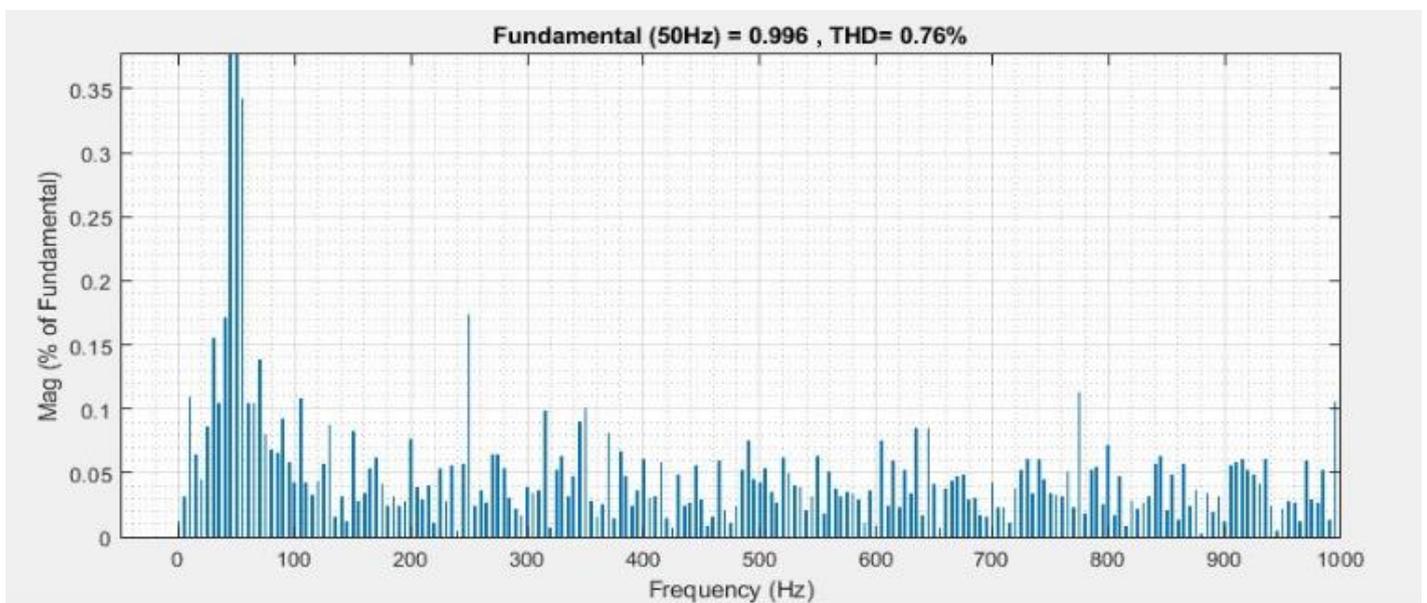


Figure III.29 : Le FFT après le filtrage d'une surtension et chute de tension.

- THD



Fondamentale (50Hz)=0,966 ; THD=0,76%

Figure III.30: Le THD après le filtrage d'une surtension et chute de tension.

III.7.2- L'interprétation

Dans cette partie, on à analyser la fiabilité de FAS contre une surtension. Introduit volontairement entre l'instant $t_1= 0.1 \text{ sec}$ et $t_2= 0.2 \text{ sec}$ et une chute de tension de $t_3= 0.3 \text{ sec}$ et $t_4= 0.4 \text{ sec}$.

En observant la **Figure (III-26)**, nous constatons que dès l'instant $t=0.1\text{sec}$ le filtre actif série 'FAS' commence à compenser et corriger parfaitement la surtension et aussi dès l'instant $t=0.3 \text{ sec}$ il commence à corriger la chute de tension, en injectant à travers le transformateur série des tensions compensatrices qui sont bien synchronisées avec la tension de source.

III.7.3-Comparaison

D'après le tableau(III.4), nous constatons que les performances obtenus avec le **FAS** sont plus meilleurs en matière ou il travail a compensé deux perturbation à la fois (**une surtension et chute de tension**) et rendre le **THD** devenu parfait presque inexistant après le filtrage ou inséré à partir de la valeur de **13,65%** à **0,76%**.

	Avant le filtrage	Après le filtrage
THD	13,65%	0,76%

Tableau III.4 : comparaison de THD d'une surtension et chute de tension avant et après le filtrage

III.8-Perturbation type « creux de tension avec déséquilibre de tension »

III.8.a-Le modèle de montage avant le filtrage

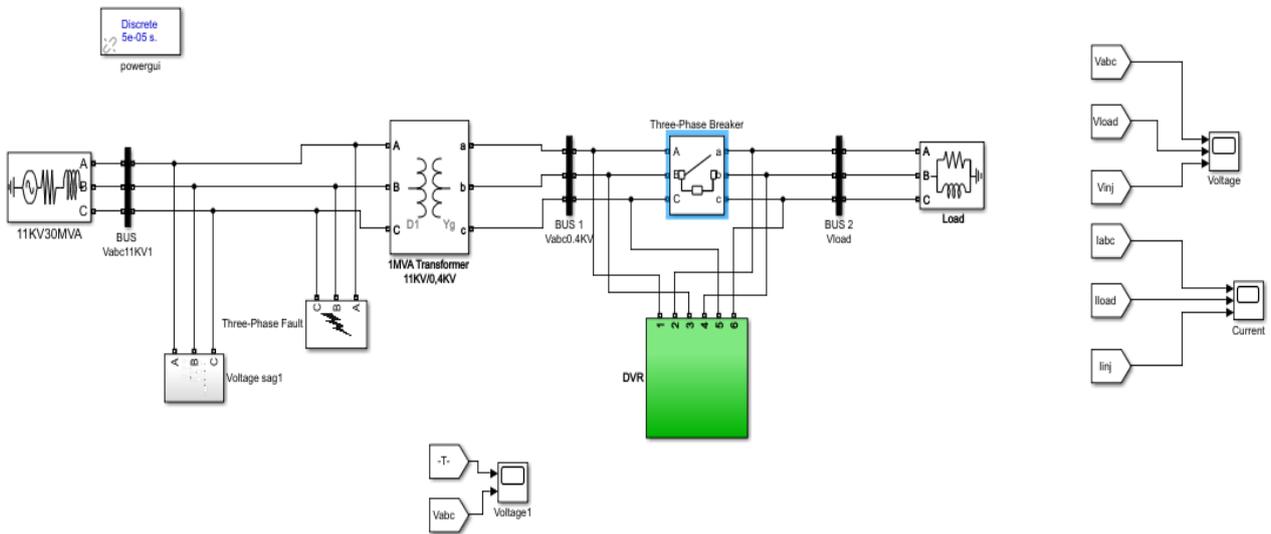


Figure III.31 : Le modèle de montage avant le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

III.8.b-Le modèle de montage après le filtrage

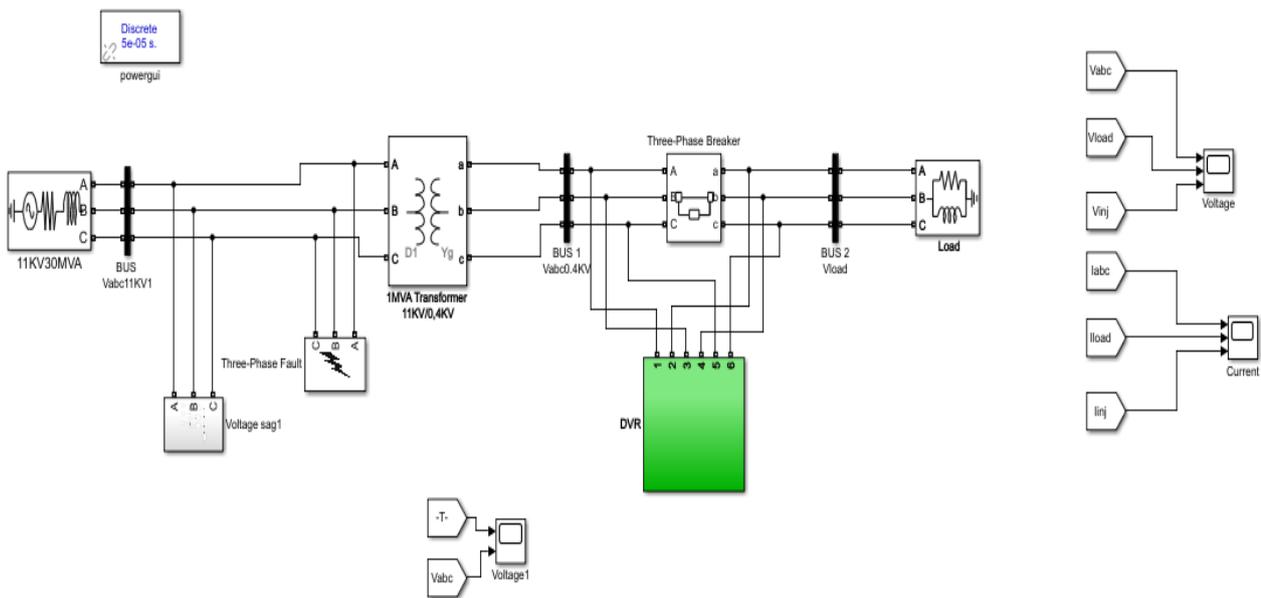
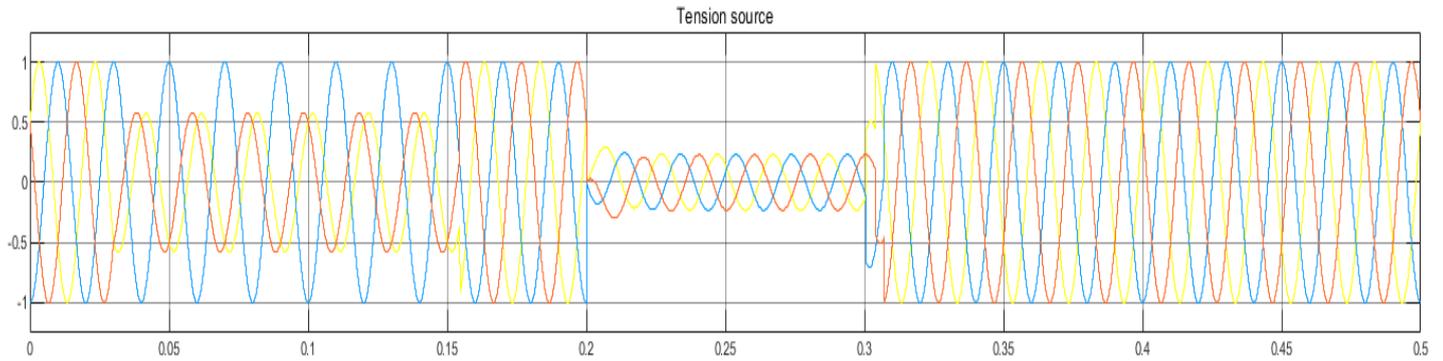
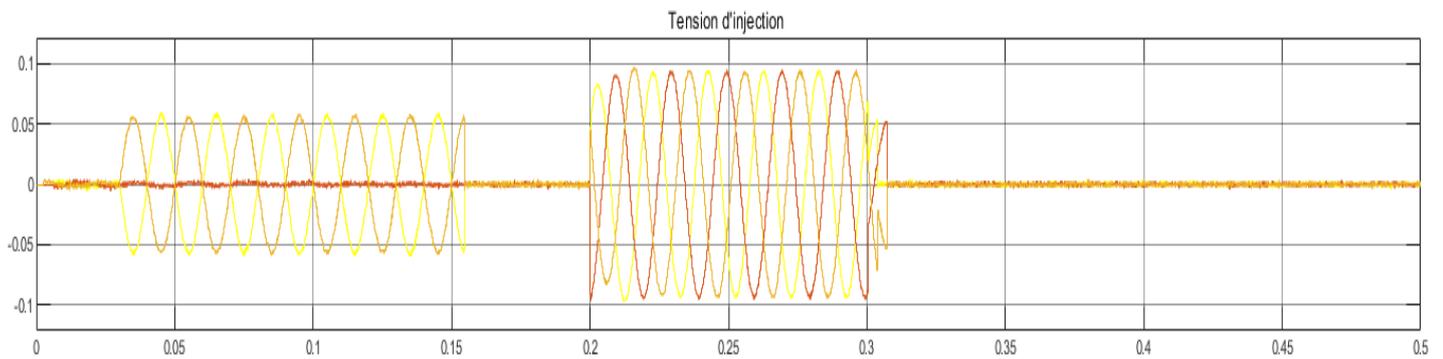


Figure III.32 : Le modèle de montage après le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

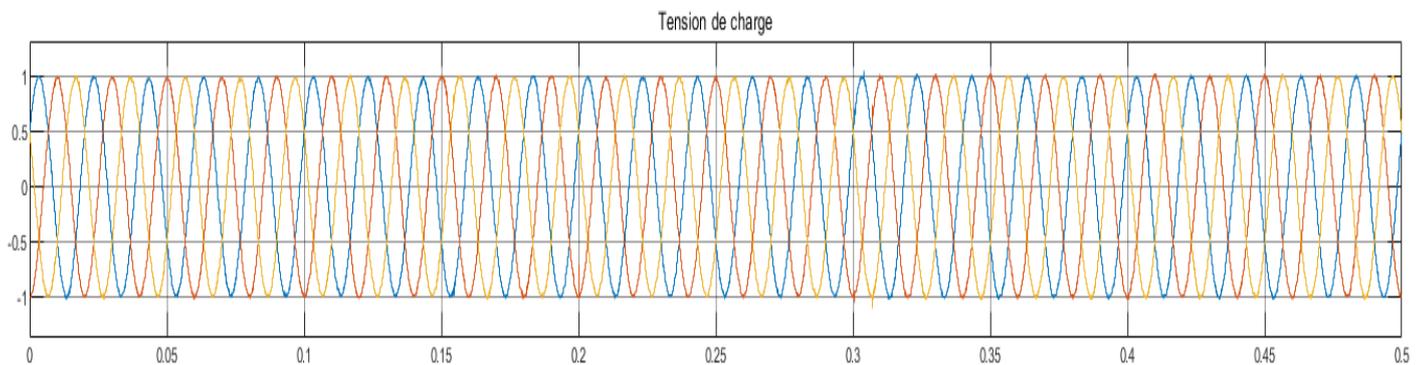
III.8.1-Résultats de simulation sous Matlab-Simulink



Tension de source



Tension d'injection



Tension de charge

Figure III.33 : Analyse temporelle de la compensation de creux de tension avec déséquilibre de tension

- **Sans FAS (Avant le filtrage)**

- **FFT**

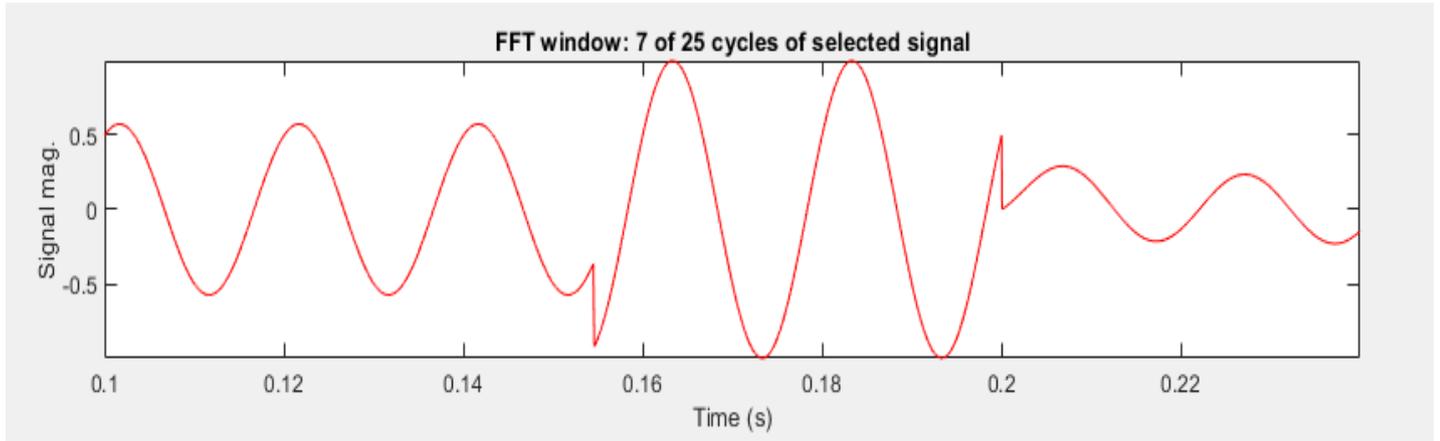
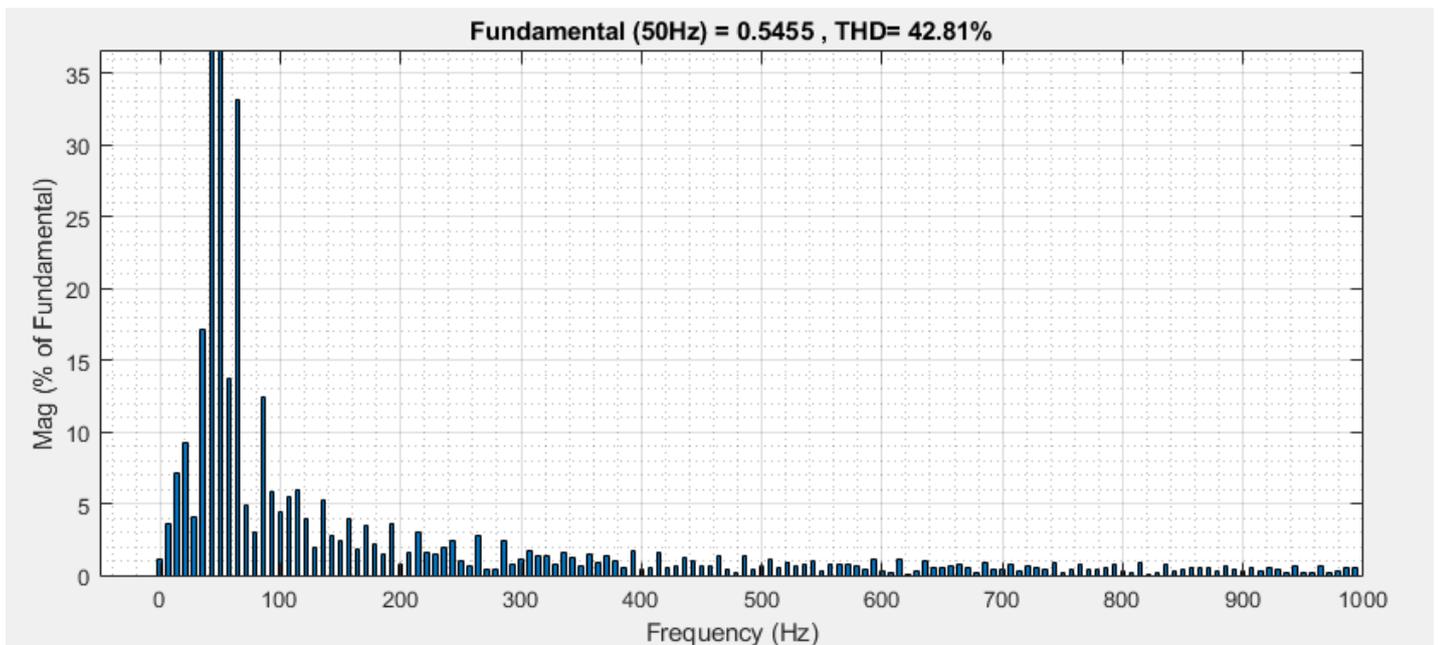


Figure III.34 : FFT avant le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension

- **THD**



Fondamental (50HZ)=0,5455 ; THD= 42,81%

Figure III.35 : THD avant le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension

- Avec FAS (Après le filtrage)

- FFT

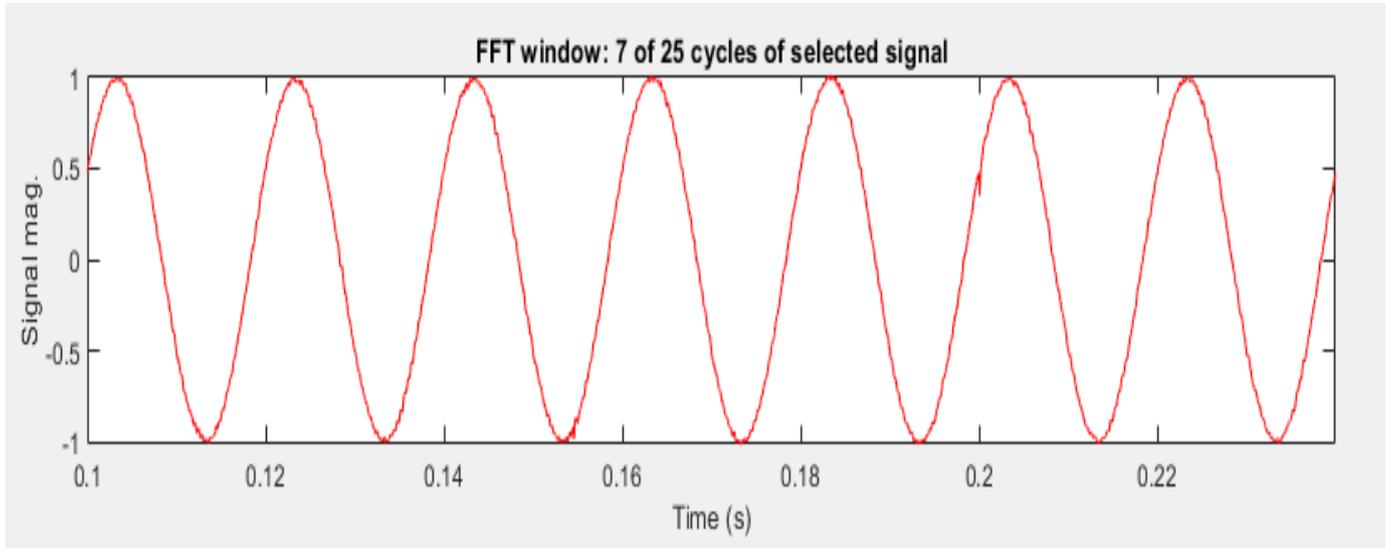
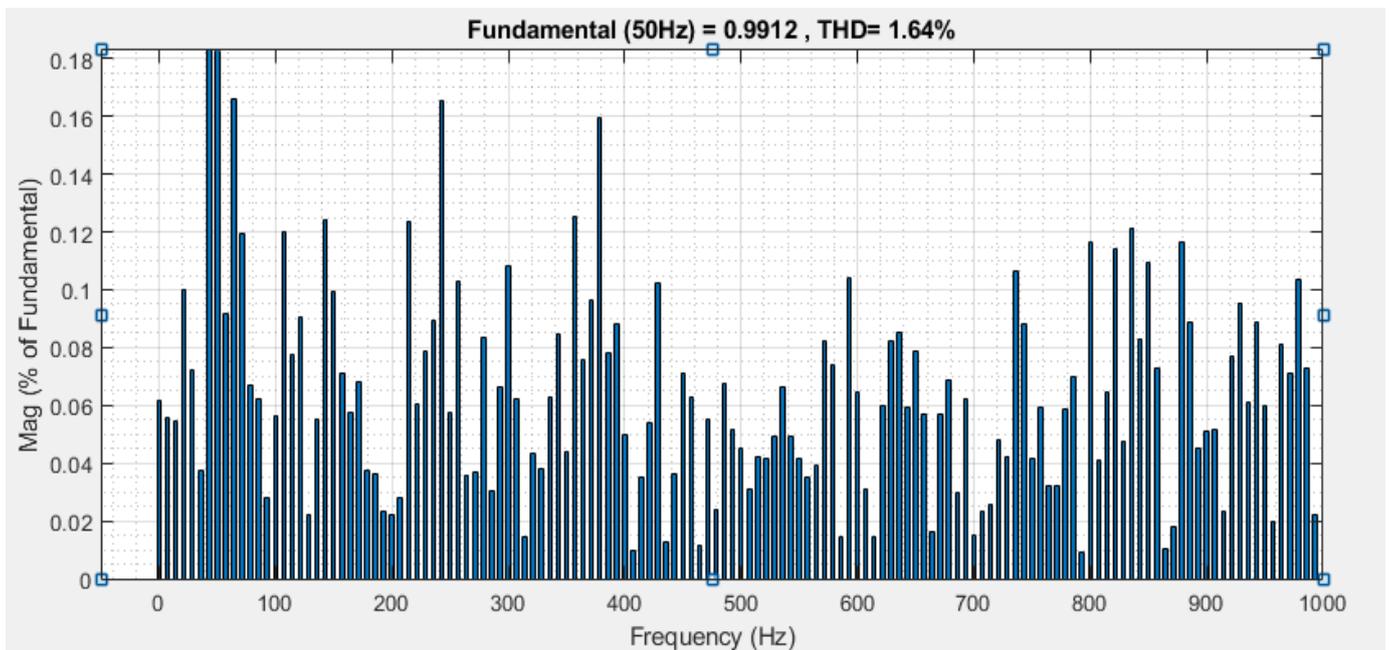


Figure III.36 : FFT après le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

- THD



Fondamental (50HZ)=0,9912 ; THD= 1,64%

Figure III.37 : THD après le filtrage de creux de tension avec déséquilibre de tension.

III.8.2- L'interprétation

Dans cette partie on a essayé d'introduit volontairement deux perturbations creux de tension avec déséquilibre de tension au même temps et voir la capacité de **FAS** de les compensé simultanément.

On a observé et constaté que le **FAS** peut compenser plusieurs perturbations au même temps et protéger nos charges sensibles et notre réseau électrique comme le montre la **Figure(III.33)**.

III.8.3-comparaison

Le tableau (III.5) Résume les résultats de simulation du **FAS** proposé en présence des deux perturbations **creux de tension avec déséquilibre de tension**, Nous constatons que les performances obtenues sont nettement plus meilleurs en matière de réduction de **THD** ou sa valeur décroît de **42,81%** à **1,64%** après la compensation.

	Avant le filtrage	Après le filtrage
THD	42,81%	1,64%

Tableau III.5 : comparaison de THD de creux de tension avec déséquilibre de tension avant et après le filtrage.

III.9- Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons présenté l'efficacité de filtre actif série 'FAS'. Comme nous avons pu le constater, ce filtre actif est utilisé pour la compensation de toutes les perturbations en tension qui peuvent exister dans le réseau électrique et causer des effets néfastes.

Les résultats de simulation nous ont montré que notre filtre actif de puissance série compense correctement le cas d'étude. A travers les perturbations distincte : le **creux de tension, déséquilibre de tension, harmoniques de tension, surtension et chute de tension** après on a amélioré l'étude par combiner deux perturbations en même temps (**surtension avec chute de tension**), (**creux de tension avec déséquilibre de tension**)

De plus, la qualité du filtrage a été évalué en fonction des THD en nous donnons des résultats inférieur après l'intégration du filtre FAS et des FFT différents (avant le filtrage et après le filtrage)

Ce travail présenté dans ce mémoire consiste globalement à l'étude de nouvelles stratégies de dépollution de réseau de distribution électrique pour l'amélioration de la qualité de l'énergie. Pour contribuer au développement d'un dispositif de dépollution des réseaux appelés "filtres actifs". Notre travail s'est porté plus particulièrement sur l'étude d'un filtre actif de puissance. Celui-ci a été placé dans un milieu constitué d'un réseau triphasé, pollué par des perturbations de type tension tel que : harmoniques, chute de tension, déséquilibre de tension.....

En Première, nous avons effectué une étude théorique sur la problématique des perturbations harmoniques, leurs origines et leurs effets sur le réseau électrique. Puis, nous avons abordés les différentes solutions comme le filtrage passif, et particulièrement le filtre actif de puissance.

Le deuxième chapitre a été consacré à l'étude des différents éléments de notre système, donnant plus de détail sur chaque élément constituant la partie puissance : convertisseur de tension, transformateur d'injection de tension, système de stockage, et le filtre de sortie. et pour la partie commande on utilisera la commande de l'identification des tensions de références pour la commande de l'onduleur en travaillant principalement avec la méthode des puissances instantanées et la **PLL((Phase Locked Loop))**.

Au niveau du chapitre trois nous avons illustré les performances d'un filtre actif de puissance série lors de perturbations de types tensions Pour chaque configuration de FAS un modèle de simulation numérique est élaboré en utilisant le logiciel MATLAB Simulink.

A travers nos Cinq simulations correspondant à Cinq types de perturbation distincte, à savoir : harmonique, déséquilibre, creux de tension et la combinaison de surtension et chute de tension, déséquilibre et creux de tension. Les résultats de simulations nous ont montré que notre filtre actif de puissance série compense correctement les différents cas d'étude. De plus, la qualité du filtrage a été évaluée en fonction des THD en nous donnant des résultats inférieurs après l'intégration au réseau électrique .

Bibliographie

[1] **HANENE KOUARA** « Application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'un réseau basse tension » Mémoire de magister, université de Batna 28/02/2006.

[2] **MOHAMAD ALAA EDDIN ALALI** «Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension (Automatisation des systèmes de puissance électriques» Thèse de Doctorat, Strasbourg 12 Septembre 2002.

[3] **HAIMOUR RACHIDA** «Contrôle des puissances réactive et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique» Mémoire de magister en électrotechnique, Oran 2008-2009.

[4] **Farid Hamoudi** « commande robuste d'un filtre actif shunt à quatre fils »Thèse de magistère en Electrotechnique université el hadj LAKHDAR Batna ,01/06/2008.

[5] **V.IGONATOVA** « Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique, application aux creux de tension et à la pollution harmonique ». Thèse de doctorat de l'université Technique de Sofia, (2006).

[6] **L.ZALOUMA**, “Contribution à l'étude du filtrage des harmoniques des réseaux de distribution à l'aide du filtre actif”, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 2010, Annaba.

[7] **S.R. DZONDE NAOUSSI**, « Implantation de réseaux neuromimétiques sur cible FPGAapplication à l'intégration d'un système de filtrage actif ». Thèse de doctorat de l'université de Strasbourg, (2011).

[8] **Véronique Beauvois** : « Qualité de la tension, qualité de l'électricité », cours Université de Liege, Novembre 2008.

[9] **Dr .DIB. A** : «Qualité de l'énergie électrique et norme IEEE-519» Université Larbi Ben M'hidi - Oum El-Bouaghi.

[10] Cahiers Techniques n°141, 151 et 179) Edition octobre 2001

[11] **Djaffar Ould Abdeslam** : «Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension», mémoire de doctorat, Université de Haute- Alsace U.F.R. des Sciences et Techniques, décembre 2005.

[12] **A. CHAOUI** « Filtrage actif triphasé pour charges non linéaires ». Thèse de docteur de L'université de Ferhat Abbas de Sétif, (2010).

[13] **H. SAKKOU**, « Conception d'une compensatrice active multifonction corrigent toutes les perturbations en tension générées par les charges non linéaires et les fours à arc ». Mémoire de Magistère, Université du Québec,(2007).

[14] **I. Etxeberria-Otadui** : « Sur les systèmes de l'électronique de puissance dédiés à la distribution électrique – application à la qualité de l'énergie » Thèse de Institut National Polytechnique De Grenoble, 26 septembre 2003.

[15] **Chenni Salim** « Etude, modélisation et commande des filtres actifs : apport des techniques de l'intelligent artificielle »Thèse de doctorat en génie électrique, université mohamed Khider Biskra.

[16] **M.Habab, M.Haidas, C.Benaichib, O.Abdekhalek, A.Benoudjafer** « Etude comparative de la commande d'un UPQC PI classique/intelligente logique floue » quatrième conférence sur le génie électrique, le 03-04 novembre 2010, université de Bechar, Algérie.

[17] **Sahli Abdeslem** « Filtrage actif et contrôle de puissances : application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau. », Mémoire de Magister en génie électrique. université ferhat abbas – setif UFAS (algerie)

[18] **T. GOURAUD** « Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique ». Thèse, Nantes, France, (1997).

[19] **Chelli Zoubir** : « Amélioration de la qualité de l'énergie électrique par un filtre actif d'harmonique », Thèse de Doctorat, université badji mokhtar-annaba- ,2015

[20] **A.Omeiri** : « Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant ». Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2007.

[21] **C. Fitzer, M.Barnes, P. Green** : « Voltage sag detection technique for a dynamic voltage restorer », IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 40, No. 1, Jan./Feb. 2004, Page(s) :203 -212.

[22] **Ghennam Tarek** : «Etude et réalisation d'un compensateur actif de puissance commandé par DSP » Mémoire de magister. Ecole militaire polytechnique, 2004.

[23] **Abdusalem Mohamed Muftah**, « Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales», Thèse de Doctorat en génie électrique, Université Henri Poincaré, (France) 2008.

[24] **Yue MA, Zhu Ling**, « An analysis and simulation of shunt hybrid active power filter » Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Systems 2007, Oct. 8-11, Seoul Korea, pp. 90-93, 2007.

[25] **Akagi. H**, « Active Harmonic Filters» , Proceedings IEEE, Vol. 93, N° 12, pp. 2128-2141, Décembre 2005.

[26] **STEEVE BEAULIEU** << étude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique>> mémoire université du quebec a chicoutiml, 2007

[27] **Marcel Daniel Epanya** « application du filtrage actif pour une mise en oeuvre de méthode de prédiction et de contrôle d'harmoniques dans un réseau de distribution électrique » mémoire présenté à l'université du Quebec à trois – rivières en génie électriques septembre 2010.

[28] **Hideaki Fujita and H.Akagi Nagaoka** « A practical approach to harmonic compensation in power systemes series connection of passive and actives filters » Université de Technologie Nagaoka, Japon.

[29]**S.KEBIRI** « Modélisation et simulation d'un filtre actif multi niveaux. » Mémoire de magistère, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2009.

[30] **Brahim Berbaoui, Samira Dib, Brahim Ferdi** « Amélioration de la qualité d'énergie basée sur la performance d'un filtre actif série commandé à base DE système « PLL » Volume 54, 3-4, 2013 pages : 184 – 188.

[31] **F. MEKRI** « Commande robuste des conditionneurs actifs de puissances » Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie d'Oran, 2007

[32] **R. Tounsi** « Développement d'un contrôle commande pour un compensateur série de creux de tension. Validation par simulation du fonctionnement avec des charges industrielles » Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse (France) 1999.

[33] **L.A. Moran, I. Pastorini, J. Dixon, R. Wallace** « A fault protection scema for séries active power filters » IEEE Transactions on power electronics, vol.14, N°5, Septembre 1999, pages : 928-938.

[34] **Shahram Karimi** « Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage "FPGA in the loop ": application au filtre actif parallèle » Thèse de doctorat En génie électrique l'université Henri Poincaré, Nancy-I 26 Janvier 2009.

[35] **B. Singh, K. Al-Haddad, A. Chandra** « A review of active filters for power quality imporovment » IEEE Transactions on Industrial electronics, vol. 46, no. 5, pages : 960-971, Octobre 1999.

[36] **B. Singh, V. Verma**, « A new control scheme of séries active filter for varying rectifier loads » IEEE Power electronics and drive Systems, PEDS 2003, The FIFTH International conference, Vol. 1, 17-20 Nov 2003, Page(s): 554 - 559.

[37] **Murat Kale, Engin Ozdemir** « An adaptive hysteresis band current controller for shunt active power filter » Electric Power Systems Researcher 73 (2005) pages : 113–119.

[38] **Fan Ng, Man-Chung Wong, Ying-Duo Han** « Analysis and control of UPQC and its DClink power by use of p-q-r instantaneous power theory ». IEEE Power Electronics Systems and Applications, Proceedings First International Conference, 9-11, Page(s): 43- 53, Nov 2004.

[39] **S. Bhattacharya, D. Divan** « Synchronous Frame Based Controller Implementation for a Hybrid Series Active Filter System». IEEE Ind. Appl. Conference, Thirtieth IAS Annual Meeting, Vol. 3, 8-12, Page(s):2531- 2540, Oct. 1995.

[40] **A. Morsali, A.Tlemcani, N.Ould Cherchali et M. S. Boucherit** « Commande d'un Filtre Actif Série de Puissance à Cinq Niveaux pour Améliorer la Qualité de la Tension Electrique » Laboratoire d'Electrotechnique et Automatique « LEA », UYFM, Médéa, Algérie. Laboratoire des Processus de Control « LPC », Ecole Nationale Polytechnique-ENP, Alger, Algérie.

[41] **V. Kaura, V. Blasko** : « Operation of phase locked loop system under distored utility conditions », IEEE Trans. On industry applications, vol. 33, NO.1, pp: 55 63, January/februry1997.

[42] **N.Bruyant** : «Etude et commande généralisées de filtres actifs parallèles: compensation globale ou sélective des harmoniques en régime équilibré ou déséquilibré »Thèse de doctorat de l'université de Nantes, Saint-Nazaire, 25 Novembre 1998.

[43] **M.A.E. Alali, S. Saadate, M.Machmoum, N.Bruyant** : « Stratégies de dépollution active des réseaux électriques, parti II : Compensateur actif série d'harmoniques, de déséquilibre et de creux de tension des réseaux électriques », revue internationale de génie électrique, vol : 4, -n°3-4/2001, PP. 317-332, 2001.

ملخص

يمكن أن تحدث اضطرابات في شبكات الكهرباء التي هي من الأنواع تيار أو التوتر و التي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على الأجهزة الموصولة . وقد اقترحت عدة حلول لمكافحة تلوث الشبكة الكهربائية ، و لمواجهة هذه والهدف من خلال مذكرتنا هو : دراسة مرشح سلسلة نشطة "FAS". الاضطرابات من نوع التوتر يوجد والطرق المختلفة لتحديد إشارة الفولتية عن طريق أسلوب الطاقة اللحظية و حلقة الطور المقفلة.

Abstract

The disturbing phenomena can occur in electrical networks what are types currents or voltages can greatly affect the connected equipment. Several electrical network pollution control solutions have been proposed in the literature, they are meeting these tension-type problems is the «Active Filter Series». The objective is through our memory: the study of a series active filter and the different methods of identifying reference voltages either by the method of instantaneous power and the PLL

Résumé

Les phénomènes perturbateurs pouvant apparaître au niveau des réseaux électrique qu'ils soient de types courants ou tensions peuvent affecter fortement des appareillages connectés. Plusieurs solutions de dépollution des réseaux électriques ont été proposées dans la littérature, c'elles qui répondent à ces perturbations de type tension est le FAS.

L'objectif visé à travers notre mémoire est : l'étude d'un filtre actif série et les différentes méthodes d'identification des tensions de référence que ce soit par la méthode des puissances instantanée et la PLL