

République Algérienne Démocratique et Populaire



**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Techniques

Spécialité : Génie Electrique

Option : Réseau Electrique

Thème

**Filtrage actif des harmoniques sur
le réseau électrique (Filtrage parallèle)**

Soutenu le juin 2010

Présenté par :

DIFALLAH Amer
SALHI Soufiane

Rédigé par :

Mr: ZELLOUMA Laid

2009-2010

الإهداء

إلى أعذب وأرق ما في الوجود أمل حياتي ، علمتي أن الحياة حب وصبر وصدق
وكانت شمسا ساطعة.....أمي الحبيبة
إلى من كان وراء هذا النور جعلني أخطي عنبات الحياة وغرس في مروحي
الطموح وذاق الحلو والمر من أجل نجاحي وسعادتي.....أبي العزيز
إلى من أقاسمهم الحياة حلوها ومرها وأخوتي وأخواتي
إلى من أكن لهم أسمى معاني الحب والاحترام والتقدير إلى كل أفراد
عائلة: ضيف الله، صالحى كبيرهم وصغيرهم
إلى كل من تجمعني بهم صلة المحبة والإخلاص أعز أصدقائي
إلى حاملي مشعل العلم والأمل وساروا بنا على هذا النهج من معلم الأول
إلى كل طلبة السنة الثالثة هندسة كهربائية تخصص شبكات كهربائية
لهدي ثمرة جهدنا

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين "خلق الإنسان علمه البيان" لك الحمد يا ارحم الراحمين
ويا أحكم الحاكمين ويا قائما بالحق فوق الخلق أجمعين أحمداً بالمنطق واليقين
وأصلي وأسلم على صفوتك من العالمين محمد طيب القلوب ودواؤها ونور البصائر
وشفائها صلى الله عليه وسلم وعلى أصحابه الأبرار الطيبين ومن تبعهم بإحسان إلى
يوم الدين .

نحمد الله على ما أولى من نعم وما وفقنا فيه من عمل ، نحمده ولا
نحصى عليه ثناء كما أحصى على نفسه توكلنا واليه أنبنا وعلى الرغم من كل
الصعوبات التي واجهتنا إلا أن ثمرة جهدنا قد خرجت إلى النور بتوفيق من الله
ورعايته فله عظيم الحمد وجزيل الشكر .

نتقدم بالشكر لكل من ساعدنا من قريب أو بعيد على انجاز هذه المذكرة وخاصة

الأستاذ المشرف : " زلومة العيد "

كم نتوجه بجزيل الشكر لكل طلبة قسم السنة الثالثة علوم وتقنيات مسار شبكات كهربائية
كما نتقدم بالشكر إلى كل أساتذة ومديري المركز الجامعي بالوادي وخاصة عهد العلوم
والتكنولوجيا .

ملخص

الحمولات الغير خطية تمتص تيارات غير جيبيه وتستهلك عموما استطاعة معوقة،هاتان الظاهرتان الجديدتان أديا إلى عدد من الإضطرابات من الخلل في سير الأجهزة إلى إتلاف جزئي أو كلي للأجهزة المتصلة بالشبكة .

بسبب التطور في الإلكترونيك الطاقة وخاصة التطورات الأخيرة المنجزة في مجال أنصاف النواقل الطاقوية ذات التحكم في الفتح والغلق وذات الأشغال بتوترات عالية جدا، أجهزة ترشيح متطورة التوفيقات ذات توافق ذاتي والمسماة ترشيح فعال.

وفي هذا العمل عالجنا التوفيقات المتولدة عن جسر مقوم ثلاثي الطور غير متحكم فيه(في حالة حمولة م ذ و م س) بواسطة مرشح فعال على التوازي .

الصورة الرقمية بواسطة البرنامج SIMULINK MATLAB للعناصر (شبكة – مرشح فعال-حمولة)من أجل استعمال تقنيتي التحكم، هستيرزيس وتشكيل عرض النبضة و الطريقة الإستطاعات اللحظية الفعالة والغير فعالة تستعمل من اجل حساب تيار التوفيقات .

ABSTRACT

The nonlinear loads absorb nonsinusoidal currents and generally consume reactive power. These two phenomena generate some disturbances of the dysfunction of equipment until the deterioration of a part or totality of the equipment connected on the network.

Due to the evolution of power electronics of and especially with the recent progress made in the field of the power semiconductors functioning at very high frequencies, modern means of filtering of the self-adapting harmonics, called active power filter could be conceived.

In this work an active power filter is used to eliminate harmonics generated by a nonlinear load (uncontrolled three phase bridge rectifier) with RL and RC load.

A simulation by MATLAB SIMILINK of power supply, active power filter and a nonlinear load using two types of control strategies (hysteresis and PWM technique).

The instantaneous power method (p-q theory) is applied to calculate and identify harmonic current.

RESUME

Les charges non linéaires absorbent des courants non sinusoïdaux et consomment généralement de la puissance réactive. Ces deux phénomènes engendrent un certain nombre de perturbations allant du dysfonctionnement d'un équipement jusqu'à la détérioration d'une partie ou de la totalité des équipements suivie sur réseau.

Grâce à l'évolution de l'électronique de puissance et surtout aux récents progrès réalisés dans le domaine des semi conducteurs de puissance commandables à l'ouverture et à la fermeture fonctionnent à des fréquences très élevées des dispositifs de filtrage modernes des harmoniques auto-adaptables appelés filtrage actifs ont pu être conçus.

Dans ce travail, on traite l'élimination par filtre actif parallèle des harmoniques générées par un pont redresseur triphasé non commandé, dans deux cas de charge RL et RC.

Une simulation par MATLAB SIMULINK de l'ensemble réseau, filtre actif, et charge, pour deux stratégies de commande, hystérésis et MLI à échantillonnage naturel est effectuée. La méthode de la puissance instantanée (p-q theory) est utilisée pour calculer et identifier le courant harmonique.

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau (I-1)	L'ensemble des matériels électriques perturbés par la pollution harmonique.	8
Tableau(III-1)	Les valeur des élément construisant la structure étudiée.	24

Liste des Figures

Figures	Titre	Page
Figure (I-1)	Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier.	4
Figure (II-1)	Schéma de principe d'un filtre actif parallèle.	10
Figure (I-2)	Structure générale d'un filtre actif parallèle.	11
Figure (II-3)	Structure tension.	12
Figure (II-4)	Structure courant.	13
Figure (II-5)	Structure d'un onduleur de tension triphasé.	14
Figure (II-6)	Principe de la commande des courants par hystérésis.	15
Figure (II-7)	Principe de l'MLI Sinus-Triangle.	15
Figure (II-8)	La création des signaux des impulsions et des tensions.	16
Figure (III-1)	schéma synoptique de l'association filtre actif -réseau- charge polluante.	20
Figure (III-2)	schéma synoptique d'un réseau triphasé.	21
Figure (III-3)	Schéma synoptique d'un pont redresseur.	22
Figure (III-4)	Présentation schématique d'un onduleur triphasé.	22
Figure (III-5)	Résultats de simulation avec charge RL.	25
Figure (III-6)	Résultats de simulation avec charge RC.	26

Liste des symboles

Symbole	Désignation
THD	Taux de distorsion harmonique
P	Puissance active
S	Puissance apparente
Q	Puissance réactive
D	Puissance déformante
e_{1,2,3}	Tension de f.e.m.s triphasé du réseau
F	Fréquences
FP	Facteur de puissance
f_p	Fréquences de la porteuse
H₅,H₇	Harmonique de range 5et7
I_{ch}	Le courant de charge
I_{ch-h}	Composante harmonique du courant créé par la charge
I_d	La courant continu du redresseur
i_{Fa},i_{Fb},i_{Fc}	Courants fournis par le filtre actif
I_h	Courant harmonique
K	Régulateur proportionnel
m	L'indice de modulation
r	Le coefficient de réglage
R_d,L_d	L'impédance du redresseur
U_d	La tension continue du redresseur
V_{ch}	La tension de charge
V_{dc}	Tension de référence aux bornes de la source flottante
V_p	L'amplitude de porteuse
V_{s1,s2,s3}	Les tension aux point de raccordement
W	Pulsation du réseau

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I Naissance des harmoniques.....	2
I-1 Introduction.....	3
I-2 Définition.....	3
I-3 Décomposition d'un signal.....	4
I-4 Notion des charges.....	4
I-5 Origines et sources des harmoniques du courant.....	5
I-5-1 Le redresseur triphasé à thyristors.....	5
I-5-2 Les charges non linéaires passives.....	5
I-6 Effets des harmoniques	6
I-7 Différents types d'effets.....	6
I-7-1 Les effets instantanés	6
I-7-2 Les effets différés.....	7
I-7-2-1 Effets à court terme.....	7
I-7-2-2 Effets à moyen et long terme.....	7
I-8 Conclusion	8

Chapitre II Le filtre actif parallèle.....	9
II-1 Introduction.....	10
II-2 Principe du filtre actif parallèle	10
II-3 Structure d'un filtre actif parallèle	11
II-3-1 Structure tension	12
II-3-1 Structure courant	12
II-4 Généralité sur les onduleurs	13
II-4-1 Onduleur de tension triphasé	13
II-4-2 La commande de l'onduleur.....	14
II-4-2-1 Commande par hystérésis	14
II-4-2-2 Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).....	15
II-5 Conclusion	17
Chapitre III Modélisation et simulation numérique.....	18
III-1 Introduction.....	19
III-2 Schéma synoptique de l'association filtre actif- réseau-charge polluante.....	19
III-3 Modélisation de l'association réseau –filtre actif – charge polluante.....	21
III-3-1 Modélisation du réseau	21
III-3-2 Modélisation de la charge polluante (Redresseur triphasé).....	21
III-3-3 Modélisation du filtre actif.....	22
III-3-3-1 Fonction de connections	23
III-3-3-2 Fonctions de conversions composées	23
III-3-3-3 Fonctions de conversions simples.....	24
III-4 Description globale de la simulation.....	24
III-5 Conclusion	27
Conclusion générale	28
Bibliographie	

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, l'utilisation des convertisseurs statiques dans les systèmes de conversion d'énergie électrique a considérablement contribué aux progrès réalisés aux niveaux des performances et de l'efficacité de ces systèmes.

Les convertisseurs statiques absorbent des courants non sinusoïdaux même s'ils sont alimentés par des tension sinusoïdales. Ils se comportent alors comme des générateurs de courant harmoniques et consomment généralement de l'énergie réactive. Le réseau quant à lui est parfaitement adapté à des courants sinusoïdaux. Ces deux phénomènes nouveaux sur le réseau ont engendré un certain nombre de perturbations allant du dysfonctionnement d'un équipement jusqu'à la destruction d'une partie des équipements connectés .

Le travail présenté dans ce mémoire concerne particulièrement l'étude par simulation d'un filtre actif parallèle à structure tension destiné à compenser les courants harmoniques générés par une charge non- linéaire dans un premier temps un triphasé trois fils.

La conception et la mise en marche du filtre actif dépendent de quatre facteurs:

- Le circuit de puissance du filtre actif.
- La loi de commande MLI et hystérésis
- Schéma de régulation pour le filtre s'adapte aux variations de la charge.

Au premier chapitre nous analyserons les naissances des harmoniques .

Le second chapitre nous avons traite le filtre actif parallèle à base d'onduleur de tension de commande par MLI.

Au dernier chapitre, la modélisation de l'ensemble, réseau- charge polluante -filtre actif , est d'abord présenté, puis les résultats de simulation obtenus à partir des deux programmes sous l'environnement MATLAB SIMULINK (power system).

CHAPITRE I

NAISSANCE DES HARMONIQUES

I-1 Introduction

L'un des phénomènes les plus influents sur la qualité de l'énergie électrique distribuée au consommateur est le phénomène des harmoniques. Idéalement, l'électricité serait distribuée sous une forme de tension sinusoïdale parfaite d'amplitude et de fréquence constante. En pratique, l'opération du système électrique d'alimentation et l'utilisation de l'énergie électrique par les consommateurs provoquent différentes dérivations qui fait que le signal de courant obtenu est différent du signal sinusoïdal idéal que l'on appelle fondamental.

Lorsque l'on connecte sur le réseau des convertisseurs tels que les redresseurs et les cyclo-convertisseurs, on est confronté à différents problèmes.

Ces charges non linéaires, sont génératrices de courant harmonique qui est caractérisé par un facteur de puissance mauvais.

I-2 Définition

Un harmonique est défini comme étant une composante sinusoïdale d'un signal périodique, ayant une fréquence multiple de l'onde fondamentale. Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 Hz et 2000 Hz (entre les harmoniques de rangs $h=2$ et $h=40$). Il peut exister dans la tension des réseaux des sous harmoniques [1].

L'amplitude de rang 1 est appelée la composante fondamentale du signal électrique périodique; dans notre cas c'est la (50 Hz ou 60 Hz). L'harmonique d'ordre zéro correspond à la composante directe du signal, l'amplitude de chaque harmonique est inversement proportionnelle à son ordre.

Les premiers rangs harmoniques tel que (5,7) ont des amplitudes élevées, d'où l'importance des courants injectés, raison pour laquelle il faut limiter ces harmoniques dans les normes [1].

L'amplitude de l'harmonique de rang (h) du côté de la source est donnée par :

$$I_h = I_1 / h \quad (\text{I-1})$$

h : harmonique d'ordre h

I_1 : amplitude du courant fondamentale

I_h : amplitude de l'harmonique de rang (h)

I-3 Décomposition d'un signal

L'analyse de Fourier permet de quantifier la distorsion harmonique d'un signal. Un signal périodique (tension ou courant) de forme quelconque et de fréquence f_0 se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux dont chacun a une fréquence, dite harmonique, qui est un multiple entier de la fréquence fondamentale f_0 .

Ce multiple est appelé rang harmonique. Un exemple de cette décomposition est donné sur la Figure (I-1). L'amplitude d'une composante harmonique est généralement exprimée en pourcentage de la grandeur fondamentale correspondante, c'est le taux d'harmoniques [2].

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (I-2)$$

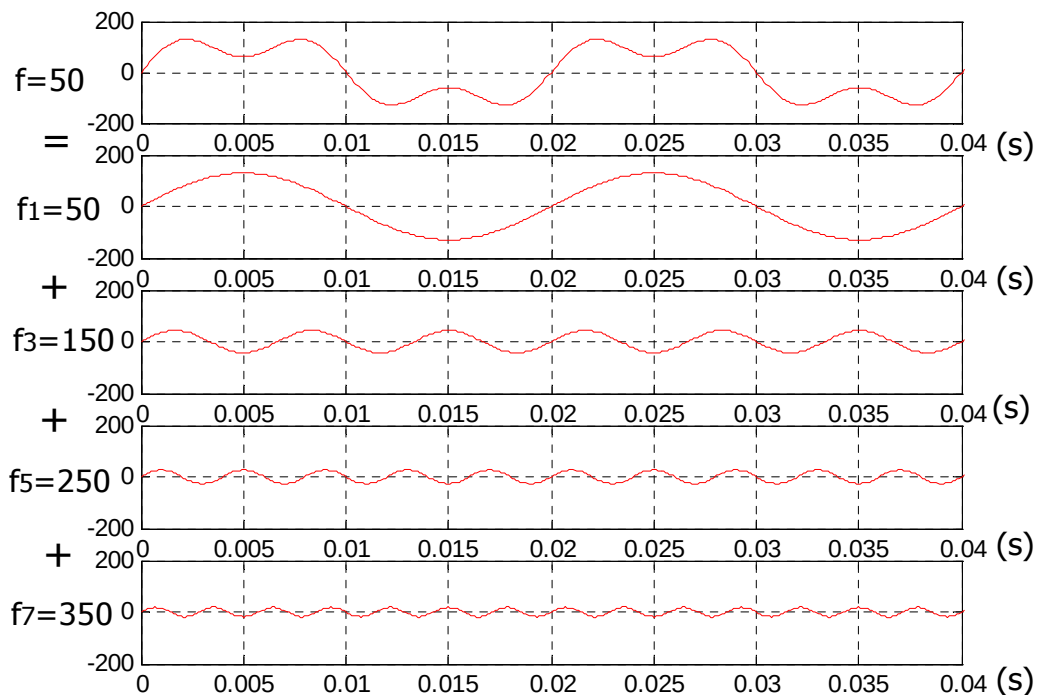


Figure (I-1): Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier.

I-4 Notion des charges

Les récepteurs peuvent être classés en deux familles principales :

- ↳ les récepteur linéaires (ou charges linéaires).
- ↳ les récepteur non-linéaires (ou charges non-linéaires).

Une charge est dite linéaire si, alimentée par une tension sinusoïdale, elle consomme un courant sinusoïdal. Cependant, le courant et la tension peuvent être déphasés. Les charges linéaires couramment utilisées sont constituées de résistances, de capacités et d'inductances.

Une charge est dite non-linéaire lorsque la relation entre la tension et le courant n'est plus linéaire. Un tel récepteur alimenté par une tension sinusoïdale, consomme un courant non-sinusoïdal. Par la suite, nous nous restreindrons aux charges non-linéaires triphasées, qui consomment un courant périodique, de même période que celle de la tension [3].

Cette classe de charges englobe les convertisseurs statiques (gradateurs, redresseurs), les circuits magnétiques saturés, les lampes, ...

I-5 Origines et sources des harmoniques du courant

Les charges non linéaires consomment un courant qui n'est pas sinusoïdale. Elles représentent les principales sources d'émission en courants harmoniques sur les réseaux [1].

On peut distinguer 7 différents types de « charges perturbatrices élémentaires » chez l'utilisateur, dont 4 constitués de montages électroniques :

- le redresseur monophasé à filtre capacitif, le gradateur monophasé, le redresseur triphasé à thyristors, le redresseur triphasé à diodes et filtre capacitif, et 3 autres ne comportant pas d'électronique, que l'on nomme charges passives.
- les moteurs asynchrones, les lampes, les appareils à arc électrique.

I-5-1 Le redresseur triphasé à thyristors

Le redresseur triphasé à thyristors, ou pont de graetz, constitue l'un des montages de l'électronique de puissance les plus répandus dans le secteur industriel. Il représente 55% de la puissance des matériels électroniques de puissance. Dans le domaine de la vitesse variable, les redresseurs triphasés à thyristors sont la principale source de pollution harmonique dans le secteur industriel.

I-5-2 Les charges non linéaires passives

On distingue trois types de charges passives non linéaires. Ce sont, d'une part, les lampes et les petits moteurs dans les secteurs tertiaire, domestique et industriel et, d'autre part, les fours à arc dans le secteur industriel.

❖ Les lampes

Deux types de lampes produisent des courants harmoniques :

Les lampes fluorescentes et les lampes à vapeur haute pression. Elles représentent les deux tiers de la puissance consommée par l'éclairage. La génération d'harmoniques dans ces lampes est liée à la nature fortement non linéaire du phénomène entraînant l'illumination, ainsi qu'à la présence d'un ballast.

❖ Les appareils à arc électrique

Les appareils à arc électrique regroupent les fours à arc à courant alternatif, dont la puissance peut atteindre plusieurs dizaines de MW, et les machines de soudure à l'arc, à courant alternatif ou continu [1].

I-6 Effets des harmoniques

Les effets des harmoniques les plus connus et les plus spectaculaire sont la destruction de condensateurs ou de disjoncteurs sous l'effet de forts courants harmoniques amplifiés par des résonances. Ce phénomène est généralement observable sur des réseaux internes d'usines alimentant des convertisseurs statiques et en présence de condensateurs installés sans précautions.

Un autre phénomène, de plus en plus rencontre, est l'échauffement des transformateurs et des conducteurs de neutre sous l'effet des courants harmoniques de rang 3.

Les installations industrielles, soumises à des tensions harmoniques inférieures à 5% de la tension fondamentale ne produisent pas d'effets notables. Entre 5% et 7%, on commence à observer des effets, de 7% à 10%, ces effets sont fréquents, et pour plus de 10%. Les effets sont quasi certains [2].

I-7 Différents types d'effets

On distingue deux grands types d'effets.

I-7-1 Les effets instantanés

Les effets instantanés concernent les appareils produisant une image électronique (écrans d'ordinateurs, télévisions), les appareils produisant un son censé être de bonne qualité (chaîne HI-FI, téléphonique) ou la précision des appareils de mesure. En présence d'harmoniques, on peut observer une altération des caractéristiques du signal de sortie de l'appareil exposé. Il faut noter que ce phénomène apparaît essentiellement pour des forts niveaux de tension harmonique ou pour des rangs élevés.

I-7-2 Les effets différés

Les effets différés sont souvent liés à un suréchauffement plus ou moins important. Ces effets sont dus essentiellement à deux phénomènes :

- L'échauffement des conducteurs ou des composants traversés par les courants harmoniques.
- Le vieillissement des isolants. Il peut être dû soit à une contrainte en tension consécutive à la présence de tensions harmoniques, et donc à une augmentation locale des courants de fuite, soit à l'échauffement exagéré provoqué par l'échauffement des conducteurs.

Les effets différés peuvent être classés en fonction du délai avant détérioration on distingue les effets :

I-7-2-1 Effets à court terme

Ils concernent essentiellement deux types de matériels :

- Les composantes à faible constante de temps thermique comme les étages d'alimentation des appareils électroniques.
- Les éléments susceptibles d'entrer en résonance ou situés sur le trajet d'un courant amplifié par une résonance, comme les condensateurs, les disjoncteurs ou les petits transformateurs.

I-7-2-2 Effets à moyen et long terme

Pour les effets à moyen ou long terme, on trouve les câbles qui peuvent être le siège de suréchauffement du neutre, les organes de sectionnement, les matériels bobinés comme les transformateurs ou les moteurs.

Pour les effets à moyen terme, il y a en général des niveaux de tension harmoniques significatifs sur le réseau qui permettent un diagnostic relativement aisé.

Les effets à long terme concernent tous les types de matériels et sont liés à la présence de niveaux harmoniques moins importants. Ils se traduisent par un vieillissement prématuré des moteurs, des transformateurs, des câbles, des parasurtenseurs [1-3].

Tableau(I-1): L'ensemble des matériels électriques perturbés par la pollution harmonique.

Nature du matériel électrique	Effet de la «pollution harmonique »
Machines tournantes Moteurs triphasés, alternateurs	Echauffements supplémentaires (effet Joule) dans les enroulements statoriques. Couples oscillatoires. Augmentation du bruit
Transformateurs	Pertes supplémentaires dans le fer (par courants de Foucault) et dans les enroulements (par effet Joule). Risque de saturation en présence d'harmoniques pairs.
Câbles	Augmentation des pertes surtout dans le câble de neutre où s'ajoutent les harmoniques de rang 3 et multiples de 3. Pertes diélectriques supplémentaires.
Electronique de puissance (ponts redresseurs à thyristor, transistors,...etc).	Troubles fonctionnels liés la forme d'onde (commutation, synchronisation).
Condensateurs de puissance	Pertes diélectriques supplémentaires aboutissants à un vieillissement prématuré des condensateurs
Ordinateur	Dysfonctionnement lié aux couples pulsatoires des moteurs d'entraînement des supports magnétiques
Dispositifs de protection (Fusibles. Disjoncteurs magnétothermiques...)	Fonctionnement intempestif
Compteur d'énergie	Erreurs de mesure
Téléviseurs	Déformation d'IMAGE
Lampes à décharge	Risque de vacillement sous l'effet de l'harmonique de rang 2

I-8 Conclusion

La pollution harmonique inquiète au plus haut point les producteurs, les distributeurs ainsi que les grands utilisateurs de l'énergie électrique, surtout avec la croissance extraordinaire de l'utilisation de convertisseurs générateurs d'harmoniques qui rentrent dans plusieurs applications. Si cet état de fait persiste, sans qu'un plan de dépollution ne soit envisagé, les niveaux de compatibilité seront dépassés d'une manière certaine. Aussi une réglementation de prévention et de répression (économique) doit être élaborée afin de «contraindre» les grands utilisateurs et les fabricants de convertisseurs à respecter les limites d'injection harmoniques sur les réseaux électriques, cela permettra d'assurer un niveau de compatibilité en tout point du réseau.

CHAPITRE II

LE FILTRE ACTIF PARALLELE

II-1 Introduction

Pour réduire les harmoniques au niveau de la source nous proposons dans ce travail le filtrage actif parallèle, vu ses avantages, tel que l'adaptation aux variations de la charge.

Le filtre actif est un onduleur de tension à MLI qui traite l'élimination des harmoniques. Il doit donc, absorber des courants éliminant les harmoniques créés par le pont redresseur. Cette structure a pour vocation d'éliminer de façon active tout ou une partie des harmoniques de courant, l'utilisation des onduleurs pour filtrage actif, suppose l'emploi des fréquences de découpages très supérieures aux fréquences harmoniques que l'on veut éliminer.

II-2 Principe du filtre actif parallèle

Le principe du filtre actif parallèle consiste à générer des harmoniques en opposition de phase à ceux existant sur le réseau. Ceci peut être schématisé sur la figure (II-1).

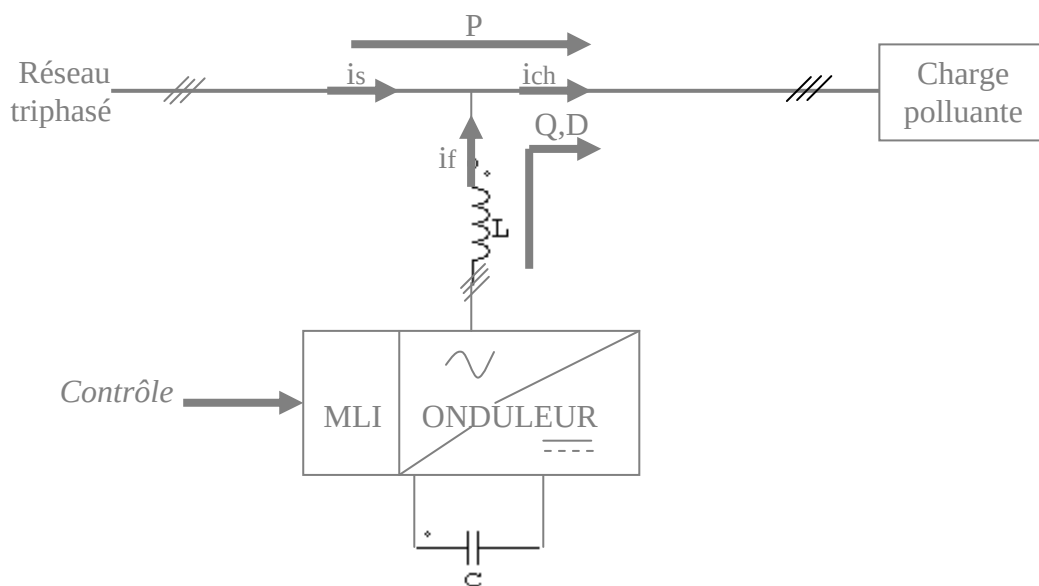


Figure (II-1) : Schéma de principe d'un filtre actif parallèle.

Pour cela, le circuit de contrôle, en agissant sur la commande MLI, doit imposer la valeur instantanée du courant débité par l'onduleur de telle sorte que le courant fourni par le réseau soit sinusoïdal et en phase avec la tension simple correspondante [4].

II-3 Structure d'un filtre actif parallèle

La structure générale du filtre actif parallèle, est présentée dans la figure (II-3) sous la forme de deux blocs: la partie puissance et la partie contrôle-commande.

♦ **La partie puissance est constituée**

- D'un onduleur à base d'interrupteurs de puissance, commandables à l'amorçage et au blocage (GTO, IGBT, etc....) avec des diodes en antiparallèle.
- D'un circuit de stockage d'énergie.
- D'un filtre de sortie.

♦ **La partie contrôle-commande est constituée**

- La méthode d'identification des courants perturbés.
- La régulation de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie.
- La régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.
- La commande de l'onduleur de tension [4].

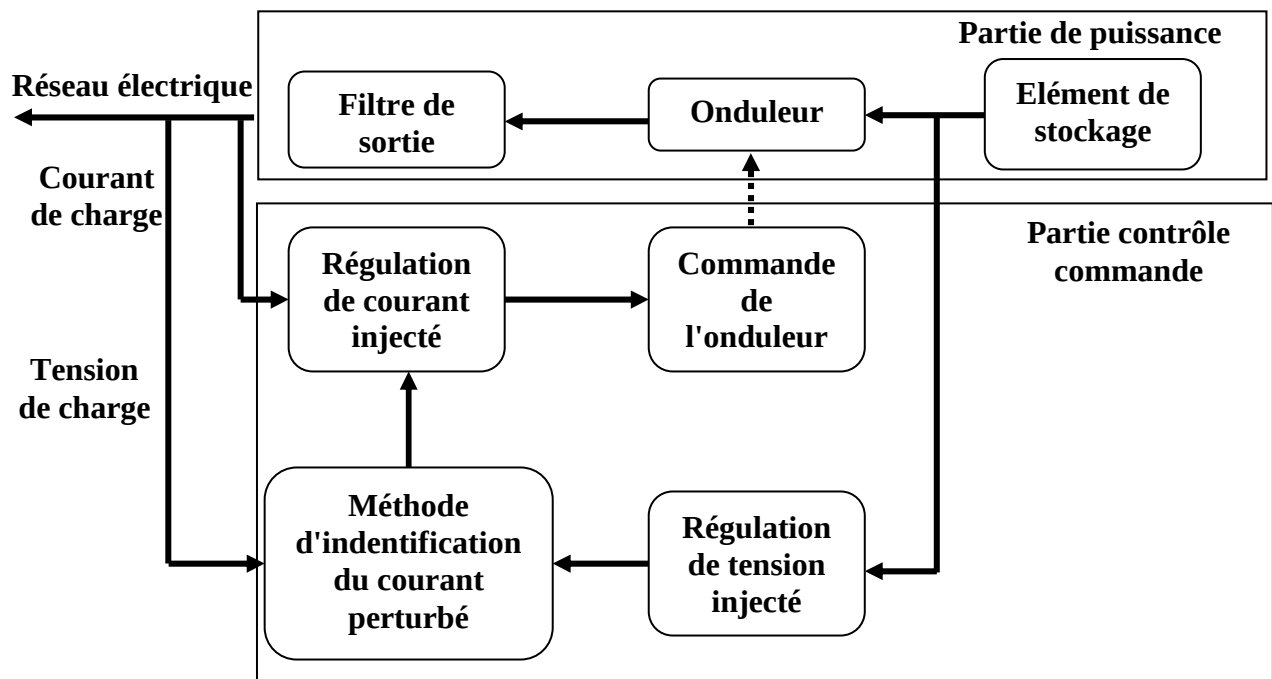


Figure (II-2): Structure générale d'un filtre actif parallèle.

II-3-1 Structure tension

L'onduleur de tension connecté en parallèle au réseau est illustré par la figure (II-3). Le condensateur C_{dc} joue le rôle d'une source de tension continue. La tension à ses bornes V_{dc} doit être positive et maintenue quasiment constante. Ses fluctuations doivent être faibles d'une part pour ne pas dépasser la limite en tension des semi-conducteurs constituant les interrupteurs, d'autre part pour ne pas dégrader les performances du filtre actif.

L'onduleur de tension est relié au réseau par l'intermédiaire d'un filtre. Deux rôles sont dévolus à ce filtre: d'une part transformer les variations de tension V_f en variations de courant, d'autre part filtrer les fréquences de commutation des bras d'onduleur. Les interrupteurs de l'onduleur sont réversibles en courant. Ils sont constitués de semi-conducteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture en anti-parallèle avec une diode [5].

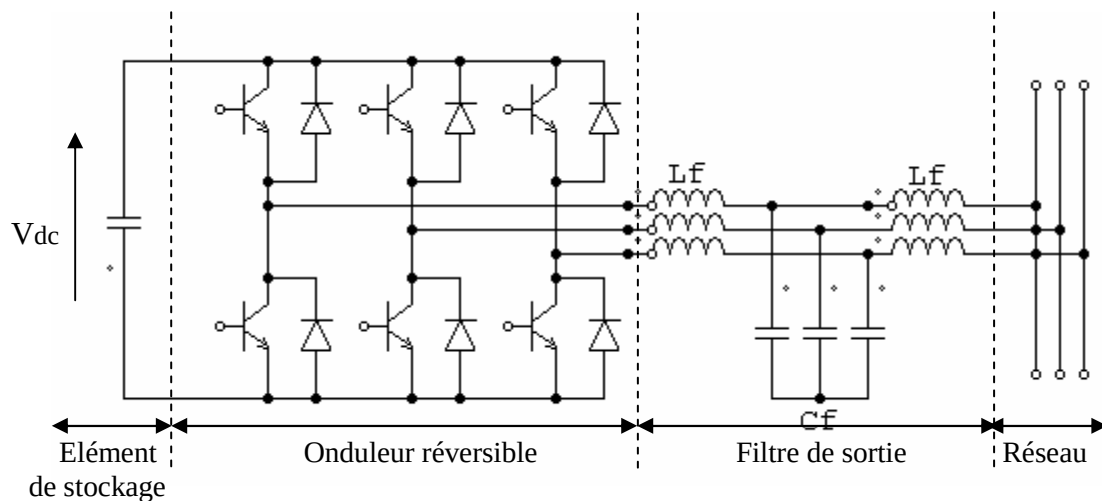


Figure (II.3): Structure tension.

II-3-2 Structure courant

La figure (III-4) représente le schéma de principe d'un onduleur de courant. L'inductance joue le rôle d'une source de courant continu. Le courant i_L traversant cette inductance est maintenu quasiment constant pour ne pas dégrader les performances du filtre actif.

L'onduleur de courant est relié au réseau par l'intermédiaire d'un filtre passe-bas du second ordre constitué d'une inductance L_f et d'une capacité C_f .

Les interrupteurs sont unidirectionnels. Ils sont formés par des transistors commandés à l'ouverture et à la fermeture. Ceux-ci ne pouvant supporter de tension inverse, ils nécessitent une diode en série [6].

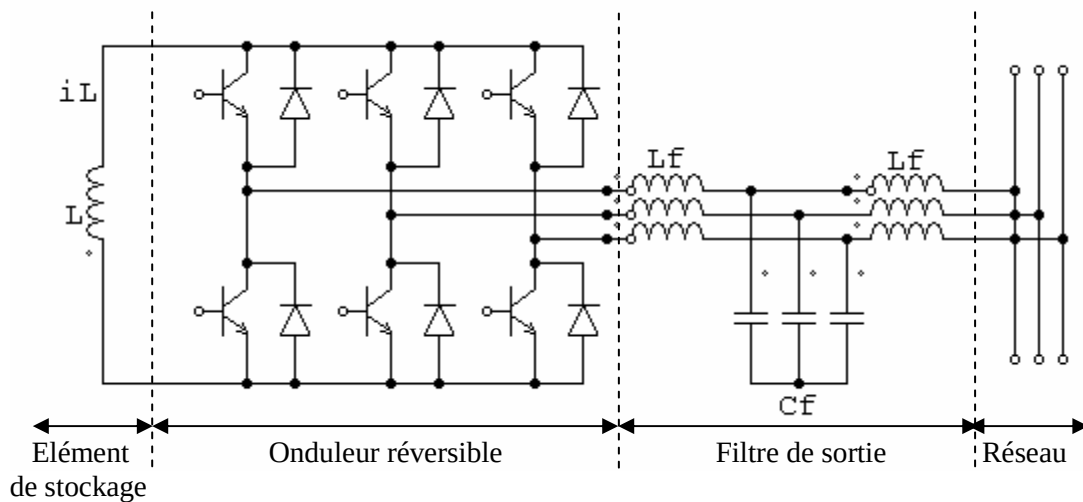


Figure (II.4): Structure courant.

II-4 Généralité sur les onduleurs

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continu-alternative à partir d'une source de tension continu, grâce à des semi-conducteurs. En reliant chacune des bornes du récepteur tantôt à l'une, tantôt à l'autre borne d'entrée, on peut obtenir entre les bornes du récepteur une tension positive, ou négative.

Par une séquence adéquate de commande de semi-conducteur, il est donc possible de produire à la sortie du convertisseur une tension alternative de valeur moyenne nulle. Cette tension peut comporter un ou plusieurs créneaux par alternance suivant qu'il s'agit d'une commande à un créneau par alternance, ou d'une commande de modulation de largeur d'impulsions.

L'onduleur est dit autonome quand il détermine lui même la fréquence et la forme d'onde de la tension alternative fournie au récepteur. Par contre, pour l'onduleur non autonome, c'est le réseau qui lui impose la forme d'onde de la tension délivrée ainsi que la fréquence [7-8].

II-4-1 Onduleur de tension triphasé

On appelle onduleur de tension, un onduleur alimenté par une source de tension continue, c'est à dire par une source d'impédance interne négligeable; sa tension U n'est pas affectée par la variation du courant i qui la traverse. La source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie.

On peut obtenir la tension triphasée en groupant trois demis ponts monophasés, la figure (II-5) représente un onduleur triphasé de tension. Il se compose de trois bras à interrupteurs réversible en courant, commandés à la fermeture et à l'ouverture, réalisés à partir d'un (thyristor, transistor) et d'une diode en antiparallèle [7-8].

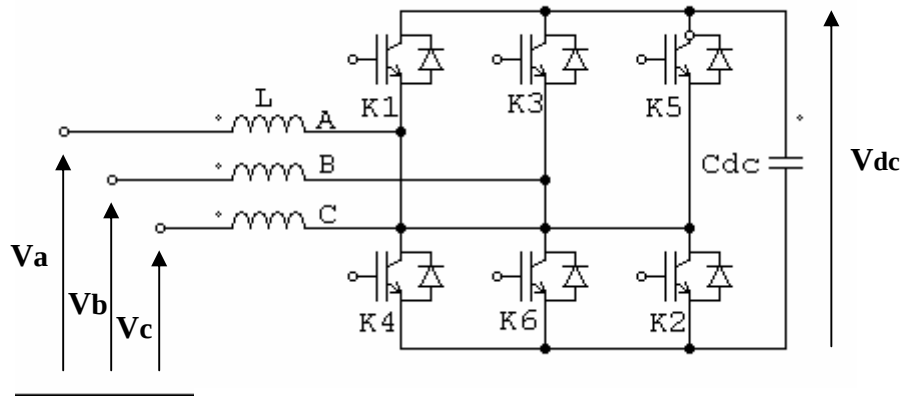


Figure (II-5): Structure d'un onduleur de tension triphasé.

II-4-2 La commande de l'onduleur

Le but de la commande de l'onduleur est de permettre la meilleure reproduction des courants de référence, à travers les ordres de commande appliqués aux interrupteurs de puissance. Les deux principales familles de commande des convertisseurs statiques sont :

la commande par hystérésis et la commande par modulation de largeur d'impulsion MLI.

II-4-2-1 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 le courant de référence et le courant produit par l'onduleur, cette erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis.

L'approche la plus simple utilisée pour cette fin, est la stratégie de contrôle qui réalise la comparaison entre le courant de phase mesuré et le courant de référence, à l'aide d'un comparateur à hystérésis. Celui-ci, produit des impulsions d'amorçage et de blocage des interrupteurs de l'onduleur, de façon à limiter le courant de phase dans une bande d'hystérésis autour du courant de référence (Figure (II-6)) [9].

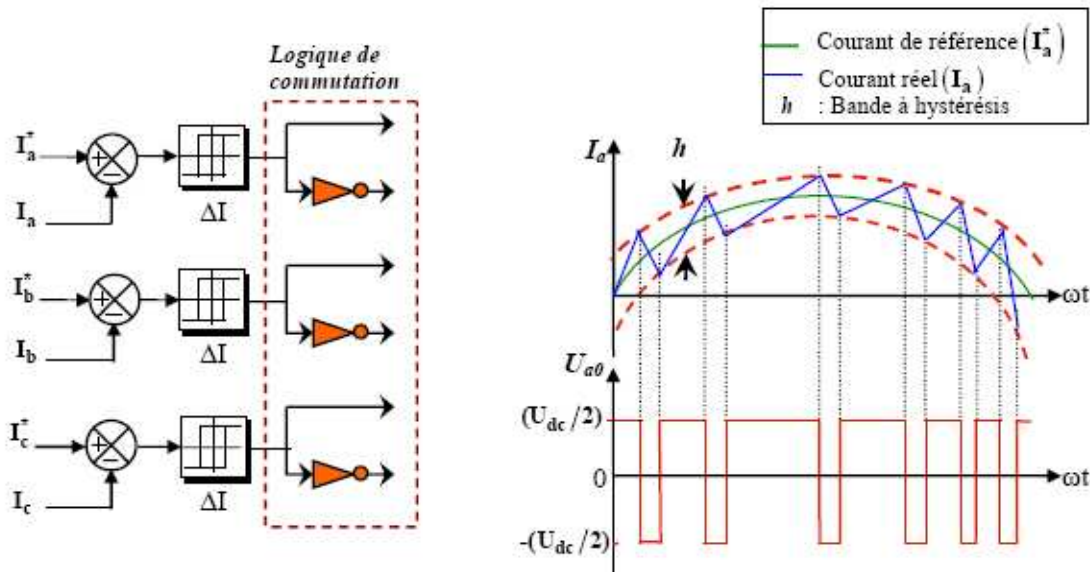


Figure (II-6): Principe de la commande des courants par hystérésis.

II-4-2-2 Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)

La modulation de largeur d'impulsion est réalisée par la comparaison d'une onde modulée basse fréquence (tension de référence) avec une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersections entre la porteuse et la modulante, la fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse [10].

En triphasé, trois références sinusoïdales déphasés de $2\pi/3$ à la même fréquence f .

Comme à la sortie de l'onduleur, la tension n'est pas purement sinusoïdale, donc elle comporte des harmoniques, seules responsables des parasites ce qui engendre des pertes supplémentaires. Cette **MLI** sert à remédier ces problèmes et elle a les avantages suivantes :

1. Variation de la fréquence de la tension de sortie.
2. Elimination de certaines harmoniques de tension.

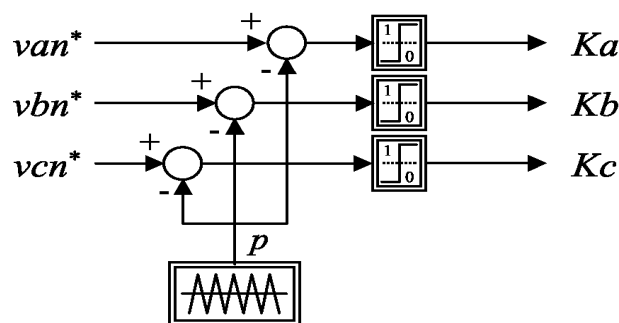


Figure (II-7): Principe de l'MLI Sinus-Triangle

Le principe de cette stratégie peut être résumé par l'algorithme suivant :

$$U_r \geq U_p \Rightarrow S(t) = 1 \text{ si non } S(t) = 0$$

Avec :

U_r : Tension de référence.

U_p : Tension de porteuse.

$S(t)$: est le signal MLI résultant.

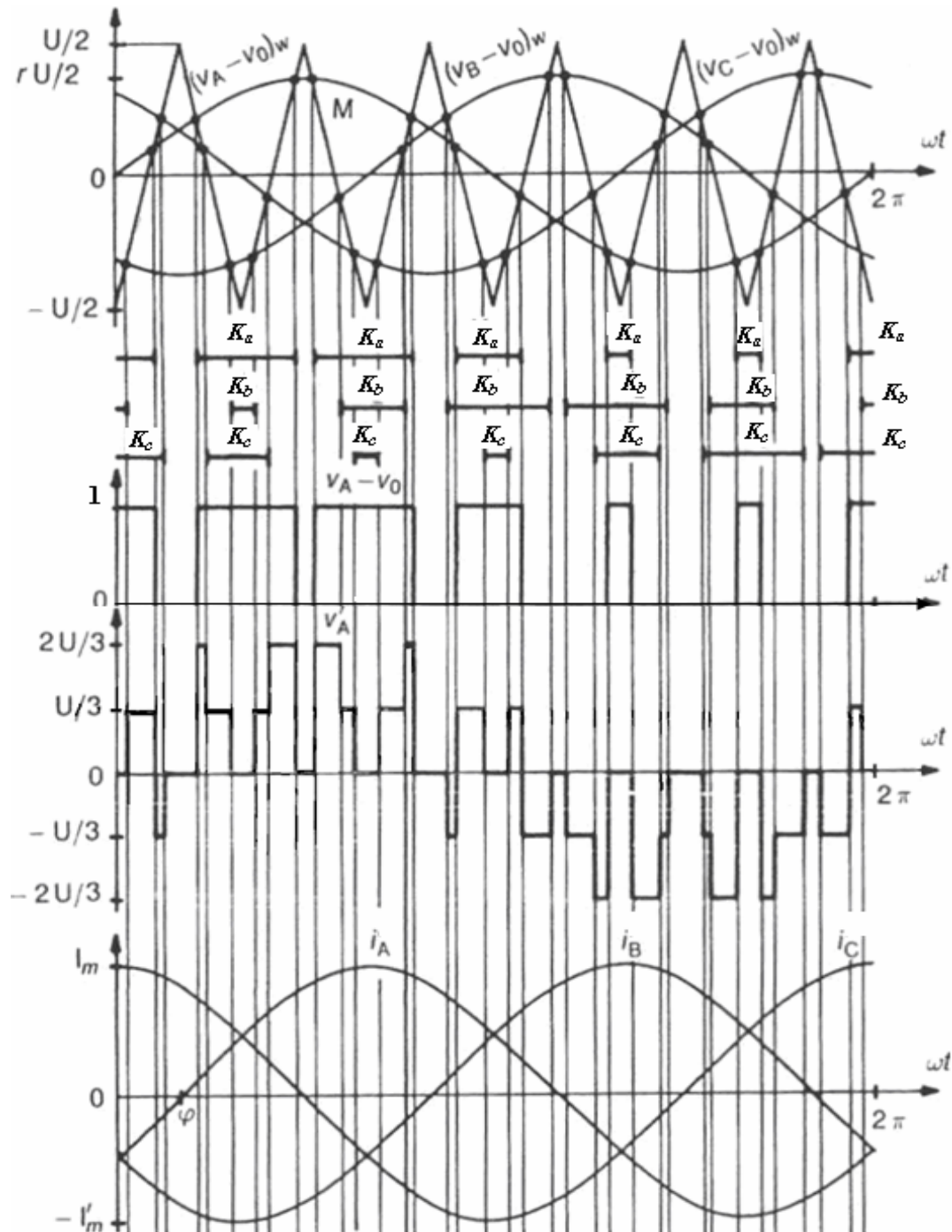


Figure (II-8): La création des signaux des impulsions et des tensions.

Si la référence est sinusoïdale, on utilise deux paramètres caractérisant la MLI :

- L'indice de modulation « m » qui est l'image du rapport de fréquence de la porteuse f_p sur la fréquence de référence $f_{réf}$.

$$m = \frac{f_p}{f_{réf}}$$

- Le taux de modulation (le coefficient de réglage) « r » qui est l'image du rapport des amplitudes de tension de la référence $V_{mréf}$ sur la tension de la porteuse V_{mp} .

$$r = \frac{V_{mréf}}{V_{mp}}$$

II-5 Conclusion

Nous avons présenté et défini, dans ce chapitre, la plupart des éléments constituant la structure du filtre actif parallèle. Cette structure a été partagée en deux parties à savoir la partie puissance et la partie contrôle-commande..

Nous avons présenté aussi les deux stratégies de commande de l'onduleur, hystérésis et MLI, couramment utilisées dans les applications des filtres actifs. La commande hystérésis est très simple et très rapide tandis que sa fréquence instantanée des commutations n'est pas contrôlable.

CHAPITRE III

MODELISATION ET SIMULATION NUMERIQUE

III-1 Introduction

Un système d'électronique de puissance est un ensemble de conversion d'énergie qui contient les organes suivants:

- ❖ Source d'énergie.
- ❖ Convertisseur statique.
- ❖ Charge réceptrice.
- ❖ Dispositif de commande du convertisseur.

Il est caractérisé par la non linéarité des semi-conducteurs constituant le convertisseur et par la présence de sous-ensembles à la fois hétérogènes et fortement interdépendants.

L'étude analytique de ce système est difficile et ne peut être menée, pour un point de fonctionnement donné, qu'avec des hypothèses simplificatrices importantes. C'est pour cette raison que la simulation numérique est devenue l'outil indispensable de l'étude de ces systèmes.

Dans ce chapitre on se propose d'étudier la simulation de l'ensemble réseau, redresseur, filtre actif sous l'environnement **Matlab Simulink** avec lequel on met au point deux programmes de simulation. On donne ensuite les résultats de simulations obtenus. Finalement, pour compléter cette simulation, un cas particulier de charge polluante sera également traité [11].

III-2 schéma synoptique de l'association filtre actif- réseau-charge polluante

Le filtre actif parallèle n'est rien d'autre qu'un onduleur de tension commandé en courant, qui, possède une source continue et qui est connecté au réseau perturbé par un filtre inductif.

La figure (III-1) donne le schéma synoptique de l'association filtre actif -réseau-charge polluante [12].

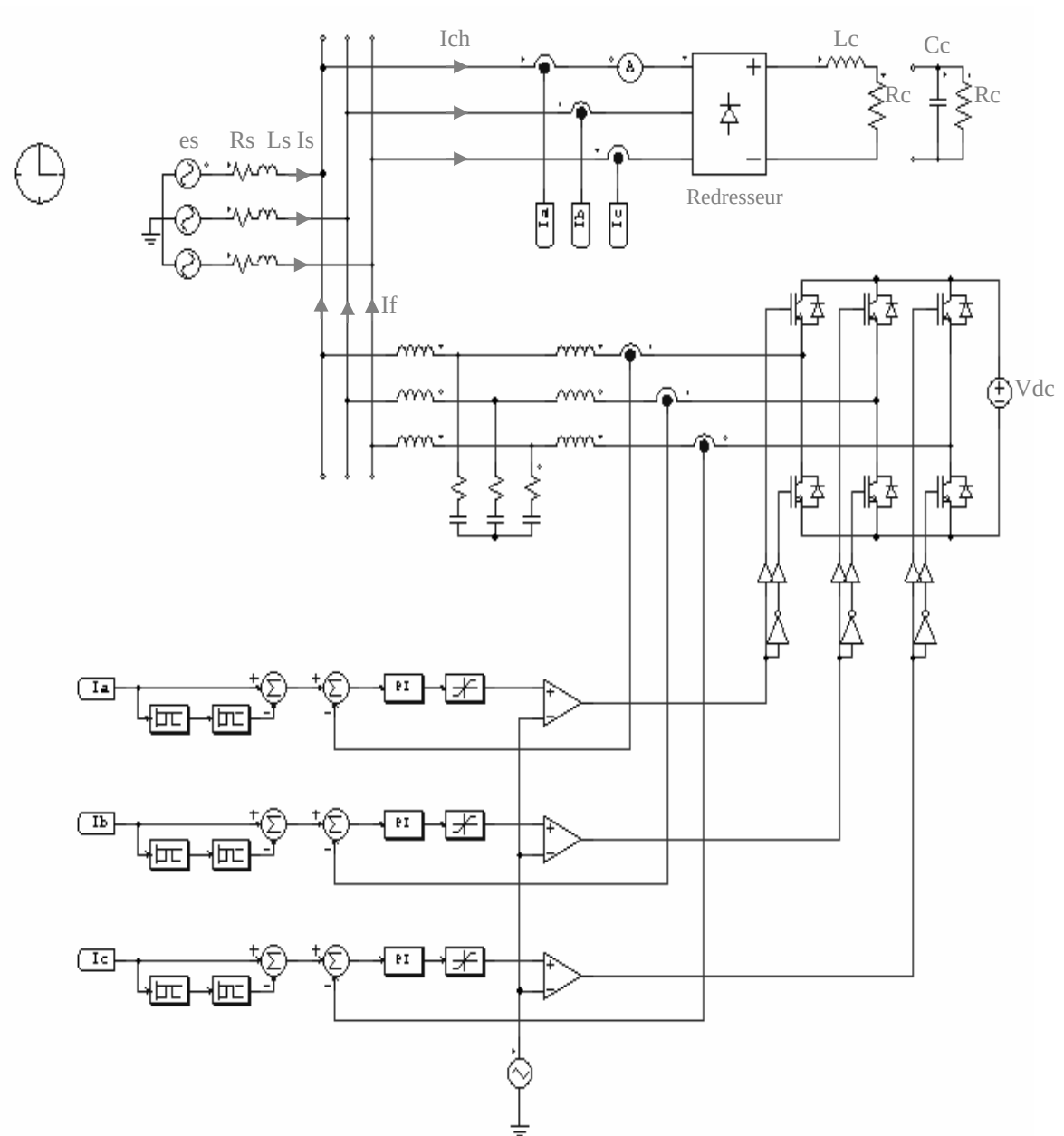


Figure (III-1): schéma synoptique de l'association filtre actif -réseau- charge polluante.

III-3 Modélisation de l'association réseau – filtre actif – charge polluante

La modélisation d'un système revient à trouver les équations mathématiques qui décrivent son fonctionnement [12].

III-3-1 Modélisation du réseau

Le réseau est assimilable à une source de tension sinusoïdale en série avec une impédance, dite de court circuit, d'où la représentation du réseau par un système de F.E.M triphasées équilibrées en série avec une impédance (figure (III-2)) [11-12].

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \end{bmatrix} = \sqrt{2}.E. \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (\text{III-1})$$

$$Zs = Rs + jLs\omega \quad (\text{III-4})$$

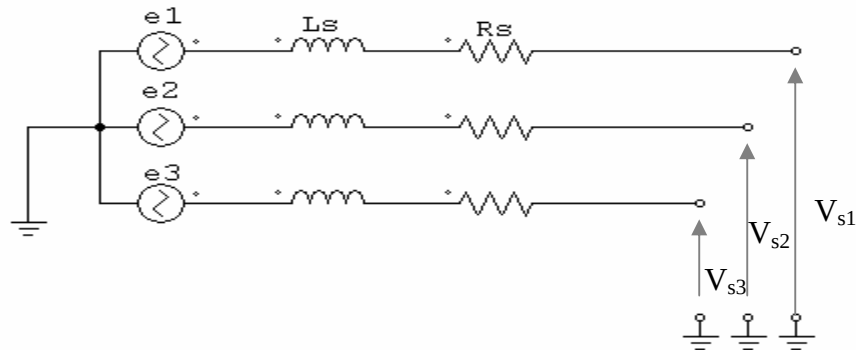


Figure (III-2): schéma synoptique d'un réseau triphasé.

III-3-2 Modélisation de la charge polluante (Redresseur triphasé)

Pour tester le filtre actif on a opté pour une charge polluante qui est un pont redresseur triphasé, représenté sur la figure (III-3), ce dernier génère des harmoniques de courants de l'ordre $6k \pm 1$. Cette charge est modélisée comme étant des sources de courants parfaites (les semi-conducteurs sont considérés parfaits) [11-12].

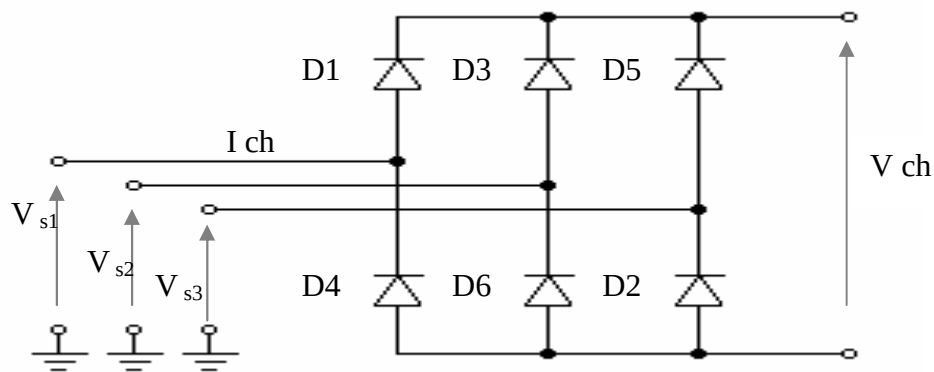


Figure (III-3): Schéma synoptique d'un pont redresseur.

III-3-3 Modélisation du filtre actif

Dans notre étude, on choisit un onduleur de tension commandé en courant. Ce dernier est constitué de trois bras dont chacun est constitué de deux cellules, contenant chacune un interrupteur bicommandable (IGBT), aux bornes duquel est montée une diode en antiparallèle, la cellule ainsi définie forme un interrupteur bidirectionnel (figure (III-4)) [11].

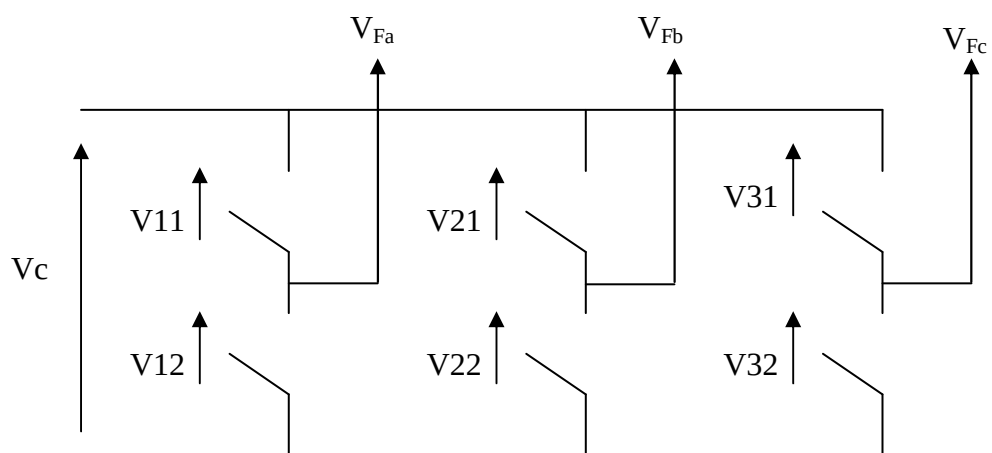


Figure (III-4): Présentation schématique d'un onduleur triphasé.

III-3-3-1 Fonction de connexions

Soit $i = 1, 2, 3$

$J = 1, 2$

On associe à chaque interrupteur une fonction F_{ij} dite de connexion, tel que:

$$F_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'interrupteur est fermé} \\ 0 & \text{si l'interrupteur est ouvert} \end{cases}$$

D'où

$$\begin{cases} i_{ij} = F_{ij} i_c \\ V_{ij} = (1 - F_{ij}) V_c \end{cases} \quad (\text{III-3})$$

Tel que i_{ij} représente le courant qui traverse l'interrupteur k_{ij} et V_{ij} la tension aux bornes de ce dernier [12].

III-3-3-2 Fonctions de conversions composées

Soit V_{Fab} , V_{Fbc} , V_{Fca} les tension composées délivrées par l'onduleur .

$$\begin{cases} V_{Fab} = V_{21} - V_{11} \\ V_{Fbc} = V_{31} - V_{21} \\ V_{Fca} = V_{11} - V_{31} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_{Fab} = (F_{11} - F_{21}) V_c \\ V_{Fbc} = (F_{21} - F_{31}) V_c \\ V_{Fca} = (F_{31} - F_{11}) V_c \end{cases} \quad (\text{III-4})$$

D'où

$$\begin{bmatrix} V_{Fab} \\ V_{Fbc} \\ V_{Fca} \end{bmatrix} = V_c \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \\ F_{31} \end{bmatrix} = V_c \cdot \begin{bmatrix} F_{ab} \\ F_{bc} \\ F_{ca} \end{bmatrix} \quad (\text{III-5})$$

Les fonctions de conversions composées sont :

$$\begin{cases} F_{ab} = F_{11} - F_{21} \\ F_{bc} = F_{21} - F_{31} \\ F_{ca} = F_{31} - F_{11} \end{cases} \quad (\text{III-6})$$

III-3-3 Fonctions de conversions simples

Dans l'hypothèse que les tensions simples V_{Fa} , V_{Fb} , V_{Fc} forment un système triphasé équilibré nous avons:

$$\begin{bmatrix} V_{Fa} \\ V_{Fb} \\ V_{Fc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Fab} \\ V_{Fbc} \\ V_{Fca} \end{bmatrix} \quad (\text{III-7})$$

D'où

$$\begin{bmatrix} V_{Fa} \\ V_{Fb} \\ V_{Fc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} V_c \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \\ F_{31} \end{bmatrix} = V_c \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \end{bmatrix} \quad (\text{III-8})$$

Les fonctions de conversion simples s'écrivent alors :

$$\begin{cases} F_a = \frac{1}{3} \cdot (2F_{11} - F_{21} - F_{31}) \\ F_b = \frac{1}{3} \cdot (-F_{11} + 2F_{21} - F_{31}) \\ F_c = \frac{1}{3} \cdot (-F_{11} - F_{21} + 2F_{31}) \end{cases} \quad (\text{III-9})$$

III-4 Description globale de la simulation

Les programmes de simulation développés, permettent de visualiser sur un intervalle de temps donné l'évolution des courants et des tensions dans les différentes branches du circuit de la figure (III-1).

Les valeurs des éléments caractérisant l'ensemble réseau- filtre actif et charge polluante sont regroupées dans le tableau (III-1).

Réseau électrique	$V_s=220$, $f=50$ Hz , ($R_s=0.5\Omega$, $L_s=15$ mH)
Charge polluante	$R_c=3\Omega$, $L_c=0.3$ mH , $C_c= 4.7$ mH
Filtre parallèle	$V_d= 600$ v , $L_f=0.5$ mH
Commande MLI	$F_p=10$ KHz , $r =0.86$

Tableau(III-1) : Les valeur des élément construisant la structure étudiée.

La figure (III-5), montre les résultats obtenus par la commande MLI dans le cas où le pont à thyristors alimente une charge de type RL. La fréquence de commutation a été fixée à une valeur de $f = 10\text{KHz}$.

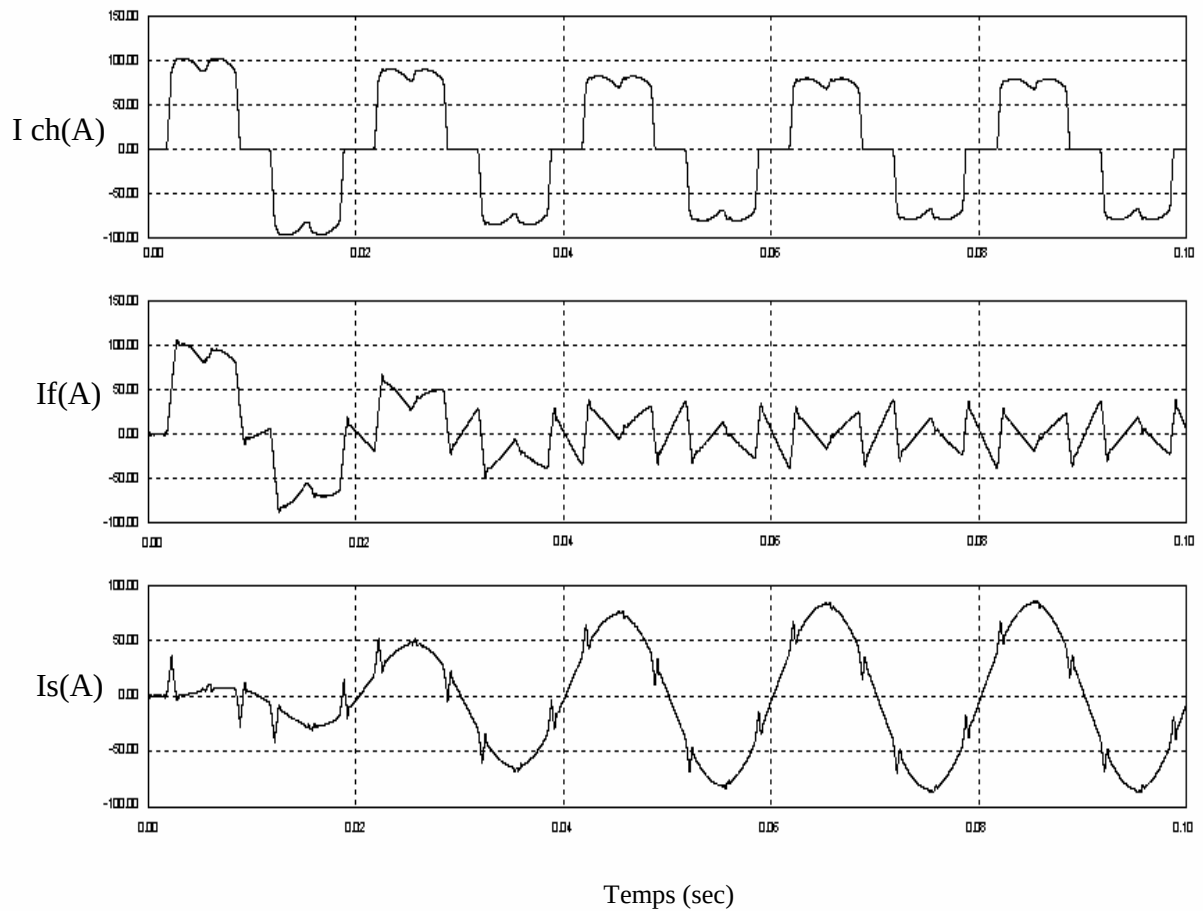


Figure (III-5): Résultats de simulation avec charge RL.

La figure (III-6), montre les résultats obtenus par la commande MLI dans le cas où le pont à thyristors alimente une charge de type RC. La fréquence de commutation a été fixée à une valeur de $f = 10\text{KHz}$.

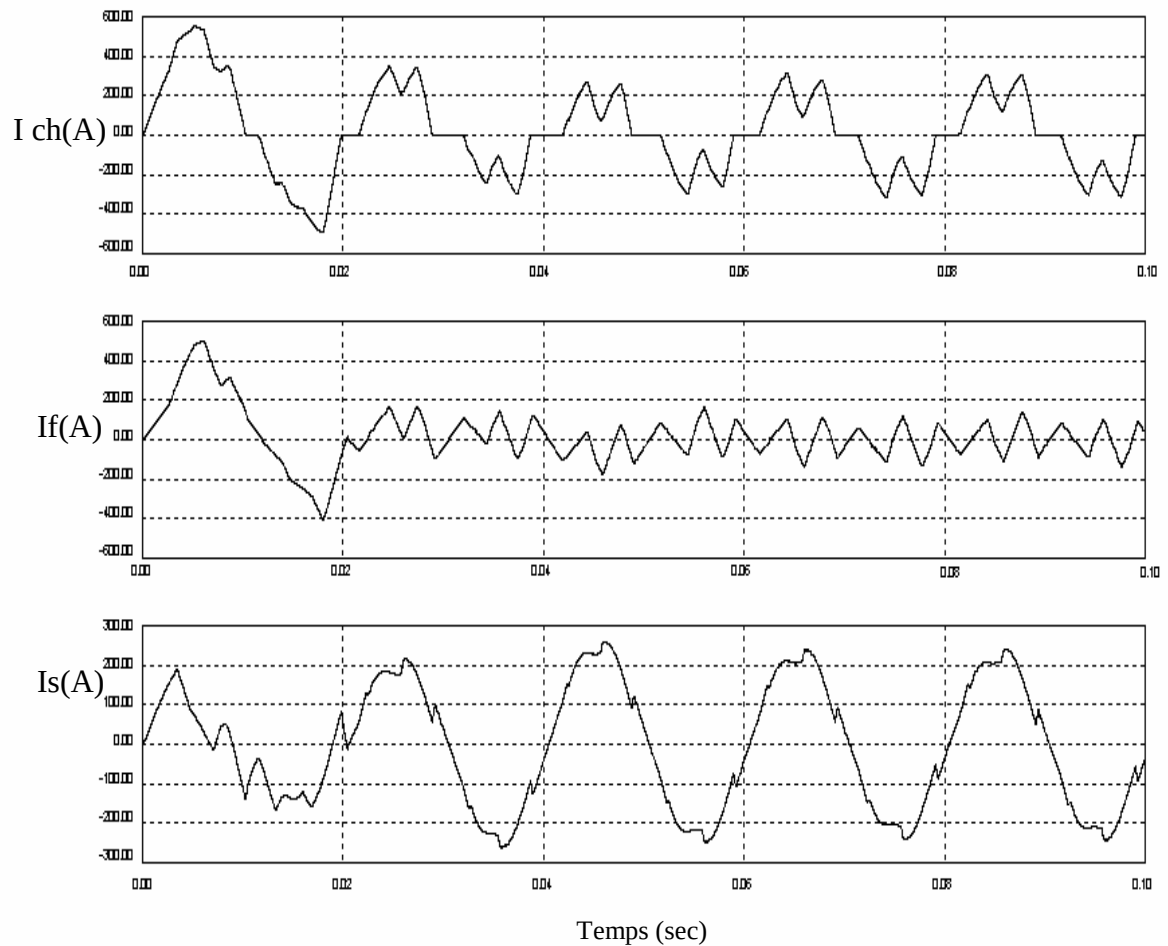


Figure (III-6): Résultats de simulation avec charge RC .

III-5 Conclusion

Dans un temps on a présenté le principe de simulation en électronique de puissance. On s'est plus particulièrement intéressé au développement des programmes de simulation des montages donnés.

Dans un second temps, on a mis au point deux programmes de simulation, facilité par le logiciel Matlab Simulink. Les résultats obtenus ont permis de confirmer le principe de commande du filtre actif.

Le courant I_s est quasi sinusoïdal. Néanmoins des pics apparaissant pendant les commutations dans le redresseur.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire on s'est intéressé à l'étude des différentes possibilités de filtrage actif des harmoniques des réseaux électriques.

Dans un premier temps, après l'analyse des perturbations harmoniques et leurs effets sur le réseau électrique, la filtration active est une nouvelle solution pour la dépollution harmonique.

Un filtre actif peut être connecté sur le réseau en parallèle et avoir deux structures électrotechniques différentes : tension ou courant.

Dans ce travail on choisit comme une charge polluante un redresseur triphasé, qui représente une source de pollution harmonique en courant.

Pour réduire les harmoniques du courant, en utilisant le filtre actif parallèle.

Pour identifier les courants harmoniques, on a choisi la méthode des puissances réelles et imaginaires instantanées qui donne de bons résultats en statique et dynamique.

Pour la commande du filtre on utilise la commande MLI.

Les résultats des simulations montrent l'efficacité de cette méthode.

Bibliographie

- [1] **Thierry Deflandre et philippe Maurs,**
<Les harmoniques sur les réseaux électrique>,
Direction des Etude et Recherche en France-Edition EYROLLES-1998.
- [2] **C.Lott, O. Lapierre, H. pouliquen et S. Saadate,**
<Filtrage actif des harmoniques en courant et en tension des réseaux électriques:
Modélisation, simulation numérique et expérimentation>, DEC1997, PP.2433-2457.
- [3] **L.Moller,**
< Problèmes techniques posés par le raccordement convertisseur de grande
Puissance >, Revue EDF, N°2,1985.
- [4] **H. Akagi,**
< New trends in active filter>, EPE,95,vol.0,1995,PP.17-26
- [5] **H. Akagi,**
< Control strategy and site selection of a shunt active filter for damping of harmonic
propagation in power distribution systems>, IEEE Trans. On power delivery, vol.12,
N°1.1997 ,PP .354-363.
- [6] **Mohammad Alaa Eddin Alali,**
<Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension>
Thèse de Doctorat de l'Université de Louis pasteur – Strasbourg, 12 septembre 2002.
- [7] **Thierry Gouraud,**
< Identification et rejet de perturbation harmoniques dans des réseaux de distribuions
électrique >, Thèse de Doctorat de l'Ecole centrale de Nates,7 janvier1997.
- [8] **Zellouma Laid,**
< Filtrage actif parallèle des harmoniques du courant générés par un pont redresseur
triphase non commandé > Thèse de Magister de l'Université de Annaba 2006.

[9] Boutraa Laila,

< Filtrage actif des harmoniques de réseaux électrique > Thèse de Magister de l'Université de Batna, 2005.

[10] Ould-Ouali samy Hassani,

< Filtrage actif parallèle des harmoniques du courant générés par un pont redresseur triphasé non commandé > Thèse de Magister de Ecole Militaire Polytechnique, 2002.

[11] Bouzit Ali,

< Filtrage hybride des harmoniques générés par un pont redresseur triphasé non commandé > Thèse de Magister de l'Université de Annaba 2001.

[12] Chouaf Fathi,

< L'adaptation du Filtre actif parallèle des harmoniques aux variations de la charge > Thèse de Magister de l'Université de Annaba 2004.

[13] Serge Bernard, Gérard Trochain,

< Compensation des courants harmoniques générés par les ordinateurs grâce à un compensateur actif d'harmoniques révolutionnaire > Cahier technique n°128.