

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Département d'Électronique

Mémoire de
Master en Electronique
Thème :

Étude des causes et des effets des harmoniques sur les installations électriques et les machines à inductance

Encadré par :

Pr : LARBES Cherif
Dr.KAHLANE Abd El Wahid
Hamza

Réalisé par :

BOUZIDI Mohamed Yacine

JUIN 2015

الملخص :

فعلنا محاكاة لتحليل وتفسير النتائج في هذا الماستر الدراسة النظرية من التوافقيات لشكل عام، ثم نحدد نحن على محركات

كلمات البحث

عرض التحويل له PWM

التشوه التوافقي الكلي: THD

نظام التحكم في الطاقة: SMPS

Résumé

Dans ce master nous avons effectué une étude théorique sur les harmoniques d'une façon générale, et sur les moteurs à induction. Nous avons ensuite élaborer une simulation pour analyser et interpréter les résultats.

Mots clés : MLI :Modulation à Largeur d'impulsion

THD : taux de distorsion harmonique

SMPS : système de contrôle de puissance

Abstract

In this master we made a theoretical study of the harmonics generally, then we specify on a induction. then we did a simulation to analyze and interpret the results.

Keywords : PWM Modulation width has impulsion.

THD : total harmonic distortion.

SMPS : power control system.

On tiens à remercier " ALLAH " de nous avoir donné la force et patience de terminer ce travail.

On remercie vivement notre Promoteur, Monsieur "LARBES", pour ses précieux conseils, son suivi, sa disponibilité et son aide. ET on remercie le co-promoteur Mr "KAHLANE" pour son suivi et son aide. Un grand remercie pour Mr "BOUJET" qui nous a beaucoup aidé dans ce travail.

On tiens à adresser nos sincères remerciements à tous les membres du Jury chargé d'examiner la soutenance de notre projet de fin d'étude.

On ne saurai oublier de remercier toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, nous a aidé dans l'élaboration de ce travail.

Et n'oublions pas à remercier nos familles pour leurs encouragements et leurs patiences.

Table des matières

Contents	ii
List of Figures	v
nomenclature	vi
Introduction générale	1
1 Généralités sur les harmoniques	2
1.1 Introduction	2
1.2 Principaux générateurs d'harmoniques	2
1.3 Effets indésirables et retombées économiques des harmoniques sur les installations	3
1.4 Problèmes causés par les courants harmoniques	3
1.4.1 Surchauffe du neutre	3
1.4.1.1 Particularités de l'harmonique 3 dans les systèmes triphasés	4
1.4.2 Effets sur les transformateurs	4
1.4.3 Déclenchement intempestif des coupes-circuits	5
1.4.4 Effet de peau	5
1.5 Problèmes causés par les tensions harmoniques	5
1.5.1 Les moteurs à induction	6
1.5.2 Bruit lors du passage à zéro	7
1.6 Conclusion	7
2 Effets des harmoniques sur les moteurs à induction	8
2.1 Introduction	8
2.2 Perturbations mécaniques	8
2.3 Influence sur les pertes	9
2.4 Augmentation de la température de fonctionnement	10
2.5 Réduction de la durée de vie	10
2.6 Conclusion	11
3 Simulations	12
3.1 Introduction	12
3.2 Simulation de la commande d'une machine asynchrone	12
3.2.1 Analyse du courant statorique i_s	13
3.2.2 Analyse du couple	14

3.2.3	Analyse de la vitesse	15
3.3	Analyse spectrale des harmoniques	16
3.3.1	Spectre avec élimination de la 3 ème, 5 ème et 7 ème harmoniques	16
3.3.2	Spectre avec élimination des 5 ème , 7 ème , 11 ème et la 13 har- monique	16
3.4	Conclusion	17
	Conclusion générale	18
	Bibliographie	19

Table des figures

1.1 Réseaux triphasés et courants de l'harmonique 3	4
1.2 Déformation de la tension due à une charge non linéaire	6
2.1 Courbes de durée de vie en fonction de la température de fonctionnement	11
3.1 Système moteur asynchrone avec sa commande	13
3.2 Courbe du courant statorique en régime permanent a la sortie du moteur simulé	13
3.3 Régime transitoire et régime permanent du couple de rotation	14
3.4 Fluctuations importante autour de la valeur moyenne du couple de rotation	14
3.5 Courbe de la vitesse	15
3.6 Spectre d'une tension de commande avec élimination des harmoniques inférieur au rang 11.	16
3.7 Spectre d'une tension de commande avec élimination des harmoniques inférieurs au rang 17.	17

Nomenclature

- A : une constante fonction de l'isolant
- E : l'énergie nécessaire à un changement de niveau
- k : la constante de Boltzmann
- θ : la température
- $\frac{\delta}{dt}$: la vitesse de réduction de la durée de vie
- SMPS : système de contrôle de puissance
- THD : taux de distorsion harmonique
- MLI : Modulation de largeur d'impulsion
- RCCB : Residual Current Circuit Breakers

Introduction générale

La problématique de la qualité de l'énergie électrique est devenue un sujet stratégique qui concerne tous les acteurs en présence, qu'ils soient gestionnaires de réseaux, utilisateurs de ces réseaux (producteurs ou consommateurs d'électricité), cette préoccupation sur la qualité de l'électricité résulte de plusieurs facteurs : Les équipements électriques devenaient moins tolérants aux perturbations de la qualité d'énergie, processus devenaient moins tolérants aux dysfonctionnements de ces équipements, et entreprises devenaient moins tolérants à l'arrêt de la production. Les équipements électriques produisent beaucoup de courants perturbateurs, tous les équipements (haute ou basse puissance) sont alimentés par des convertisseurs de l'électronique de puissance qui génèrent un large spectre de distorsion. Et La dérégulation (libéralisation, privatisation) de la fabrication de l'énergie menait à un besoin de fournir aux consommateurs des indications ou des critères sur la qualité de leurs énergies.

Nous commençons notre étude par les généralités sur les harmoniques dans le domaine d'installation électrique en générale leur causes et leurs effets. Puis on entame les harmoniques dans le domaine des machines à induction en parlant des différents inconvénients des harmoniques. Et en dernier lieu on a fait une simulation sur l'outil Simulink d'une commande d'un moteur asynchrone par une MLI sans élimination d'harmoniques performante, pour bien distinguer les effets des harmoniques sur plusieurs caractéristiques.

Chapitre 1

Généralités sur les harmoniques

1.1 Introduction

L'énergie électrique est généralement distribuée sous la forme de trois tensions constituant un système sinusoïdal triphasé. Un des paramètres de ce système est la forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde.

La correction de la forme d'onde est rendue nécessaire si la déformation dépasse certaines limites, souvent atteintes dans les réseaux possédant des sources de perturbations harmoniques tels que :

- fours à arc.
- convertisseurs statiques de puissance.

Ou encore certains types d'éclairage, etc.

Dans ce but, cet mémoire est une contribution à une meilleure connaissance des problèmes d'harmoniques, de leurs causes, et des solutions les plus couramment pratiquées[4].

1.2 Principaux générateurs d'harmoniques

- Onduleurs, hacheurs..
- Ponts redresseurs : électrolyse, machine à souder.
- Fours à arc et à induction.
- Variateurs de vitesse électroniques pour moteur à courant continu ou pour moteur asynchrone ou synchrone.
- Appareils domestiques tels que téléviseurs, lampes à décharges, lampes fluorescentes à ballast électronique.

- Alimentation à découpage informatique. Ces équipements connaissent une diffusion croissante, ils entraînent une source de pollution harmonique importante.

1.3 Effets indésirables et retombées économiques des harmoniques sur les installations

Les tensions et courants harmoniques superposés à l'onde fondamentale conjuguent leurs effets sur les appareils et équipements utilisés.

Ces grandeurs harmoniques ont des effets différents selon les récepteurs rencontrés :

- soit des effets instantanés.
- soit des effets à terme dus aux échauffements.

1.4 Problèmes causés par les courants harmoniques

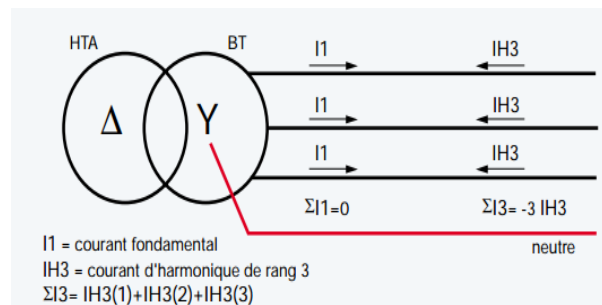
1.4.1 Surchauffe du neutre

Dans un système triphasé, la tension est déphasée de 120° si bien que lorsque les charges sont égales, le courant résultant dans le neutre est nul. Lorsque les charges ne sont pas équilibrées, seule la résultante de la somme des courants de retour se retrouve dans le neutre. Ce principe était admis et a conduit à un sous-dimensionnement du neutre. Toutefois si les courants de phases s'annulent, les courants harmoniques eux ne le font pas. Ces courants qui sont les multiples impairs de la fréquence du courant de phase s'ajoutent au neutre. Sur cette figure, les courants de phase sont introduits avec un déphasage de 120° . La troisième harmonique de chacune des phases est identique avec une fréquence triple et donc un cycle trois fois plus court. Le courant dû aux harmoniques dans le neutre est montré dans le bas du diagramme. Dans ce cas 70 de courant harmonique par phase produira 210 de courant harmonique au niveau du neutre. Des mesures dans des immeubles commerciaux donnent des valeurs de l'ordre de 150 à 210 des courants de phase dans les conducteurs neutres.

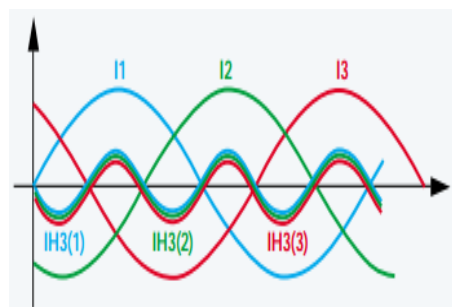
La solution simple consiste à doubler la section du neutre soit avec un conducteur soit avec deux conducteurs neutres de section égale à un demi de celle des conducteurs de phase. La situation lorsque l'on utilise des câbles à âmes multiples est plus complexe. Comme la capacité maximale du câble est définie uniquement par la quantité de chaleur qu'il peut dissiper, il s'ensuit que pour des câbles soumis à des courants harmoniques (de rang trois) il faudra réduire la charge admissible

1.4.1.1 Particularités de l'harmonique 3 dans les systèmes triphasés

Les harmoniques de rang 3 étant en phase, ils s'ajoutent algébriquement dans le neutre, il y a donc surcharge importante sur le neutre notamment en régime déséquilibré.



(a) Réseau à connexions récurrentes



(b) Réseau à connexions complètes

FIGURE 1.1: Réseaux triphasés et courants de l'harmonique 3

1.4.2 Effets sur les transformateurs

Les transformateurs sont affectés à deux niveaux. Premièrement, les pertes par courants de Foucault représentent environ 10 % de la perte totale à pleine charge et augmentent en fonction du carré du rang des harmoniques. En pratique pour un transformateur travaillant à pleine charge et alimentant des équipements informatique, les pertes totales seront deux fois plus élevées que pour l'alimentation d'une charge linéaire. Le résultat est une température beaucoup plus élevée réduisant d'autant la durée de vie du transformateur. En fait dans ces conditions extrêmes la durée de vie serait réduite de 40 ans à probablement 40 jours. Heureusement les transformateurs fonctionnant à pleine charge sont rares, mais il est important de tenir compte de cet effet lors du choix. Le deuxième effet concerne les harmoniques de rang trois. Elles se retrouvent en phase dans le bobinage d'un transformateur raccordé en triangle. Elles seront absorbées par ce bobinage et ne seront pas distribuées vers l'alimentation. Il est important de noter

que les harmoniques impaires non multiples des harmoniques de rang trois passeront vers la distribution[3].

1.4.3 Déclenchement intempestif des coupes-circuits

Les coupes-circuits contre le courant résiduel ou courant de court-circuit (RCCB- Residual Current Circuit Breakers) additionnent les courants des phases et celui du neutre et si le résultat n'est pas dans la limite fixée, ils déconnectent la charge. Un déclenchement intempestif peut survenir à cause des harmoniques pour deux raisons.

Premièrement, étant un module électromécanique, il ne peut additionner correctement les composants à haute fréquence et se déclenche donc de façon erronée.

Deuxièmement, les équipement créant des harmoniques provoquent un bruit dû à la commutation qui est filtré lors de la connexion au secteur[3].

1.4.4 Effet de peau

Le courant alternatif a tendance à circuler à l'extérieur du conducteur, c'est ce que l'on appelle l'effet de peau. Il est plus important pour les hautes fréquences. Cet effet est habituellement ignoré car il est faible pour les fréquences habituelles. Cependant aux fréquences de plus de 350 Hz soit à partir de la 7^{ème} harmonique et au-delà, l'effet de peau devient de plus en plus important et les pertes par échauffement deviennent plus importantes. En présence de courants harmoniques, les concepteurs doivent prendre cet effet en compte en diminuant la charge dans les câbles. L'utilisation de câbles à plusieurs conducteurs ou de barres omnibus contribue à résoudre ce problème. De plus les assemblages barres omnibus doivent être conçu pour éviter la résonance mécanique aux fréquences harmoniques [3].

1.5 Problèmes causés par les tensions harmoniques

En raison de l'impédance de la source, les courants harmoniques engendrent une tension harmonique qui déformera la tension de base 1.2. L'impédance de la source est constituée de deux éléments : l'impédance du câblage à partir du point de couplage commun et celui de l'alimentation (le transformateur). Le courant qui est déformé par la charge non linéaire, appliqué à l'impédance du câblage provoque une chute de tension déformée. La tension résultante est appliquée sur toutes les autres charges du circuit, les courants harmoniques y circuleront même si les autres charges sont linéaires.

La solution consiste à séparer les circuits qui alimentent des charges générant des harmoniques de ceux qui alimentent des charges sensibles aux harmoniques, comme illustré à la figure 16. Dans ce cas, des circuits séparés alimentent les charges linéaires et non linéaires à partir du point de couplage commun, si bien que la distorsion de tension causée par la charge non linéaire n'affecte pas la charge linéaire. Lorsqu'on examine l'ampleur de la distorsion de la tension harmonique, il faut se souvenir que lorsque la charge est transférée vers une alimentation ASI ou de secours lors d'une coupure de courant, l'impédance de la source et la distorsion de tension seront beaucoup plus élevées. Lors de leurs installations les transformateurs seront choisis de façon à avoir une impédance de sortie suffisamment basse et permettant l'évacuation du surplus de chaleur, en d'autres termes en sélectionnant un transformateur surdimensionné. Le choix d'un transformateur dont la capacité de refroidissement s'effectue par ventilation forcée n'est pas à recommander car des températures trop élevées persisteront au sein de l'appareil diminuant sa durée de vie. Le refroidissement forcé sera réservé aux systèmes de secours[3].

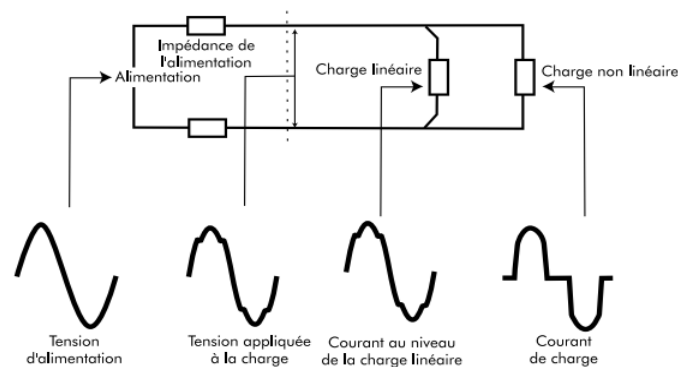


FIGURE 1.2: Déformation de la tension due à une charge non linéaire

1.5.1 Les moteurs à induction

Les tensions harmoniques entraînent dans les moteurs un accroissement des pertes par courants de Foucault comme dans le cas des transformateurs. De plus, des champs d'harmoniques sont générés au niveau du stator provoquant des pertes supplémentaires tendant à faire varier la vitesse ou même à changer le sens de rotation. Les courants à hautes fréquences induits au niveau du rotor augmentent les pertes. Lorsque des tensions harmoniques sont présentes les moteurs doivent redimensionner afin de prendre en compte les pertes additionnelles.

1.5.2 Bruit lors du passage à zéro

De nombreux appareils de mesure détectent le moment auquel la tension d'alimentation passe par zéro pour déterminer la mise en charge afin d'éviter les phénomènes transitoires lors de l'alimentation des charges inductives. Ceci réduit l'interférence électromagnétique ainsi que les contraintes au niveau des semi-conducteurs des interrupteurs. Lorsque des harmoniques ou des phénomènes transitoires sont présents au niveau de l'alimentation le nombre de passage par zéro augmente et ceci conduit à des dysfonctionnements[3].

1.6 Conclusion

Pratiquement, tous les équipements électriques et électroniques modernes possèdent des SMPS ou un système de contrôle de puissance. Il en résulte une charge non linéaire. Les charges linéaires sont relativement rares. Un autre module de ce guide décrit en détail les futures normes pour les équipements. Celles-ci ne sont cependant pas assez sévères pour obtenir un effet au niveau de la pollution harmonique causée par les équipements électroniques comme les ordinateurs. Ce sont ces équipements qui causent la plupart des problèmes rencontrés dans l'industrie et le commerce, surtout de part leur nombre et de la production d'harmonique de rang trois. Suite à l'augmentation du nombre des équipements et sans l'application de normes sévères, il est probable que la pollution harmonique continuera à augmenter. C'est un risque pour les entreprises, qui est peut être géré par des investissements appropriés dès la conception, lors de l'achat des équipements et pour la maintenance.

Chapitre 2

Effets des harmoniques sur les moteurs a induction

2.1 Introduction

Le diagnostic des machines électriques s'est largement développé dans le monde industriel car la volonté d'obtenir une chaîne de production de plus en plus sûre devient, pour certaines applications, indispensable. Les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de protection fiables car une quelconque défaillance, même la plus anodine, peut mener à un dommage matériel ou corporel inévitable. C'est pour éviter ces problèmes que la recherche, sur le plan international, s'emploie depuis plusieurs dizaines d'années à élaborer des méthodes de diagnostic . Celles-ci ont pour objectif principal de prévenir les utilisateurs d'un risque possible pouvant apparaître en un point particulier du système.

2.2 Perturbations mécaniques

La présence d'harmoniques dans l'alimentation va engendrer la création de couples harmoniques dans la machine. Ces couples harmoniques se superposent au couple fondamental et augmentent les vibrations mécaniques subies par la machine, ce qui va augmenter plus rapidement la fatigue mécanique du moteur. Des résultats de simulation montrent des oscillations importantes sur le couple de la machine, et ce, avec une tension d'alimentation ayant un THD de 6,2%. La suppression de certains rangs harmoniques, comme le rang 5 ou 7, dans le contenu harmonique permet de diminuer l'ondulation du couple de la machine . L'utilisation d'onduleurs MLI pour alimenter

les machines asynchrones crée aussi des vibrations mécaniques supplémentaires, mais on ne s'intéresse ici qu'aux moteurs alimentés directement par le réseau[1].

2.3 Influence sur les pertes

Lorsque l'alimentation de la machine est perturbée par la présence d'harmoniques, les pertes à l'intérieur de celle-ci vont augmenter. Les pertes dans une machine à induction peuvent être séparées en trois termes :

- les pertes Joule
- les pertes fer
- les pertes mécaniques

A 50Hz, nous pouvons négliger les pertes fer rotoriques car elles sont fonction de la fréquence rotorique, égale à g fois la fréquence statorique. Ces pertes, pour le régime harmonique, ne sont plus négligeables.

En présence d'harmoniques, la résistance des conducteurs du rotor va augmenter du fait de l'effet de peau. Au niveau du rotor, le glissement très fort pour les composantes harmoniques crée des phénomènes induits qui vont augmenter le courant rotorique (le courant est tout de même limité par l'inductance de fuite du rotor). L'augmentation de la résistance et du courant rotorique vont ainsi faire croître les pertes Joule rotoriques. La quantification précise des pertes supplémentaires générées par les harmoniques de tension basse fréquence a été peu étudiée. La plupart des études portent sur des associations onduleur MLI et machine où les composantes présentes dans le contenu harmoniques sont plutôt haute fréquence. L'objectif de la thèse étant de quantifier l'impact des harmoniques présents sur le réseau, nous ne nous intéresserons ici qu'aux machines alimentées directement par le réseau de distribution. Des études qui se sont penchées sur l'impact des harmoniques sur des moteurs asynchrones monophasés 1,5 kW montrent une augmentation des pertes dans ceux-ci. Lorsque l'on injecte, en plus du fondamental, un seul rang harmonique à hauteur de 10%, on remarque une augmentation des pertes qui peut aller jusqu'à 10% suivant le rang concerné. La présence d'un condensateur de démarrage sur ce type de moteur peut engendrer une résonance qui peut par conséquent augmenter les pertes dues à un rang donné.

Les harmoniques les plus contraignants sont les harmoniques de rang pair, mais ceux-ci ne sont pas fréquents sur un réseau électrique de distribution. Pour un THD en tension de 10%, l'augmentation de température est comprise entre 5 et 10% pour les rangs harmoniques impairs[6].

2.4 Augmentation de la température de fonctionnement

Nous avons vu dans la partie précédente que la présence d'harmoniques cause des pertes supplémentaires dans les machines à induction. Ces pertes vont avoir comme effet d'augmenter la température de la machine asynchrone. Des études ont été faites sur l'influence d'harmoniques de tension sur le fonctionnement des machines à induction en injectant en plus du fondamental un rang harmonique n à hauteur de 10% ($2 < h < 13$). Le moteur étudié a une puissance de $2,2\text{kW}$ et possède une classe E d'isolement. Les essais ont montré que la présence d'harmoniques entraînait une diminution de 2% du rendement du moteur. Cette diminution du rendement traduit une augmentation des pertes dans la machine et donc une augmentation de sa température. On peut voir dans ces essais que les harmoniques les plus contraignants sont les harmoniques de rang pair, mais ceux-ci ne sont pas fréquents sur un réseau électrique de distribution. Pour un THD en tension de 10% , l'augmentation de température est comprise entre 5 et 10% pour les rangs harmoniques impairs.

2.5 Réduction de la durée de vie

Cette augmentation de température dans les machines à induction va entraîner une diminution de la durée de vie des machines. Comme le définit Brancato dans [5], le vieillissement thermique des isolants dans les matériels électrotechniques est régi par la loi d'Arrhenius décrite par l'équation :

$$\frac{\delta}{dt} = A \exp\left(\frac{E}{k\theta}\right) \quad (2.1)$$

On peut, à partir de cette équation, tracer la courbe représentant la durée de vie d'une machine en fonction de sa température de fonctionnement, et ce pour les différentes classes d'isolation des moteurs figure 2.1. Dans les différentes études menées sur la durée de vie des machines alimentées par des tensions non sinusoïdales, on peut remarquer une diminution plus ou moins importante suivant les taux d'harmoniques ou le point de fonctionnement de la machine. Dans [5], on peut voir que la réduction de durée de vie peut aller jusqu'à 50% pour des taux d'harmoniques que l'on peut retrouver sur les réseaux de distribution. Cependant la présence d'un déséquilibre de 1% ne nous permet pas de quantifier, dans ce cas, l'impact réel des composantes harmoniques sur la durée de vie des machines à induction [5].

La durée de vie d'une machine à induction est une chose difficile à quantifier puisqu'elle dépend de sa constitution (type d'isolants, de refroidissement, topologie) et de

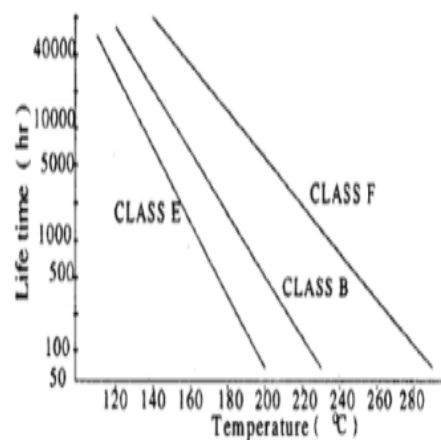


FIGURE 2.1: Courbes de durée de vie en fonction de la température de fonctionnement

l'utilisation que l'on en fait (taux de charge). On peut noter qu'une augmentation de température aura des effets plus importants si la température de fonctionnement est proche de la température maximale définie par la classe du moteur [2].

2.6 Conclusion

La présence d'harmoniques sur la tension d'alimentation des moteurs à induction peut avoir des effets visibles sur son fonctionnement. Les harmoniques vont générer un couple oscillant sur la machine, ce qui va perturber le fonctionnement des processus sensibles, comme pour l'industrie du papier. Ces couples oscillants vont aussi avoir tendance à accentuer la fatigue mécanique des machines, mais la part de la fatigue mécanique due aux harmoniques reste difficilement quantifiable. La présence d'harmoniques de tension sur l'alimentation de la machine va aussi avoir un impact direct sur les pertes de la machine. Les études portant sur l'impact des harmoniques sur les pertes dans les machines à induction ciblent des machines monophasées et montrent une augmentation pouvant aller jusqu'à 10%. Cette augmentation des pertes va augmenter de quelques degrés la température de fonctionnement, ce qui peut réduire considérablement la durée de vie des machines à induction. Si la machine fonctionne au voisinage de sa température maximale, l'augmentation de température générée par les harmoniques sera plus contraignante vis-à-vis de sa durée de vie. De ce fait, il serait judicieux de prendre en compte le taux de charge du moteur dans le calcul de la durée de vie, car l'impact d'une augmentation de température sur la durée de vie ne sera pas le même suivant que l'on est à 20% ou 90% de la charge nominale.

Chapitre 3

Simulations

3.1 Introduction

Pour bien visualiser les effets des harmoniques sur les paramètres d'une machine asynchrone nous avons simulé à l'aide de l'outil Simulink de Matlab une commande MLI sans éliminations d'harmoniques, dont on peut tirer à partir de notre moteur différentes caractéristiques en sortie. On va analyser ces caractéristiques par rapport aux caractéristiques des cas d'élimination optimale d'harmoniques pour voir clairement les effets de ces derniers.

En plus, nous allons faire une analyse spectrale et voir le spectre.

3.2 Simulation de la commande d'une machine asynchrone

On présente là une capture de notre système de commande d'onduleur triphasé chargé par un moteur asynchrone, voir figure 3.1. Comme on peut le voir sur ce schéma, nous avons plusieurs sorties à partir du moteur asynchrone, mais on va analyser que les paramètres essentiels dans le fonctionnement des moteurs asynchrones, ceux qui montrent clairement l'effet des harmoniques, on va prendre :

- Le courant statorique i_s .
- La vitesse.
- Le couple.

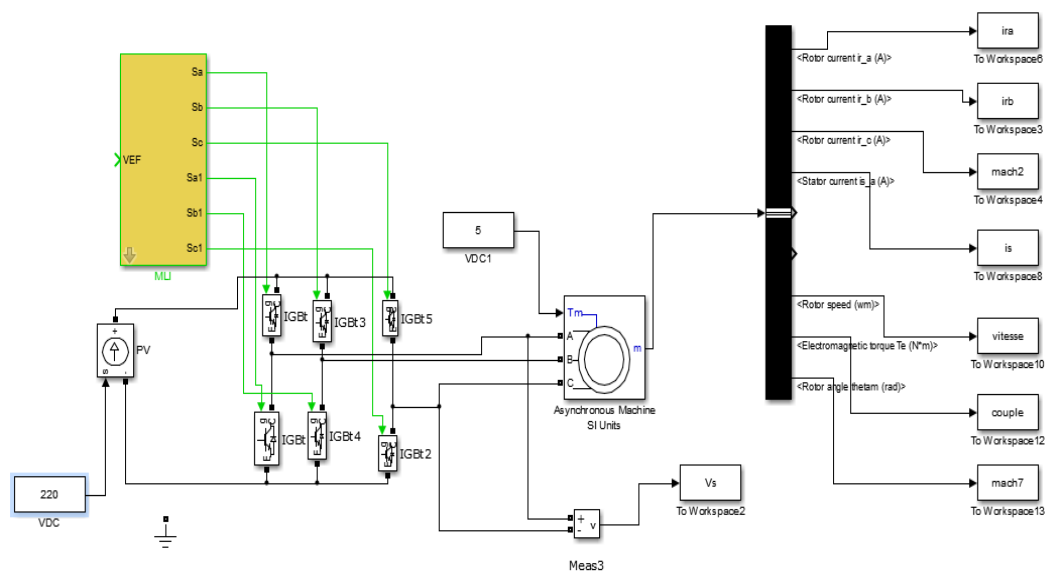


FIGURE 3.1: Système moteur asynchrone avec sa commande

3.2.1 Analyse du courant statorique i_s

Pour le courant statorique de la machine asynchrone, il doit avoir une allure sinusoïdale la plus lisse possible, la figure 3.2 nous donne le courant statorique i_s à la sortie du moteur simulé précédemment. On observe l'allure de ce courant, on remarque rapidement l'importance des fluctuations qui empêche le courant d'avoir une forme sinusoïdale meilleur, et ca c'est l'effet des harmoniques.

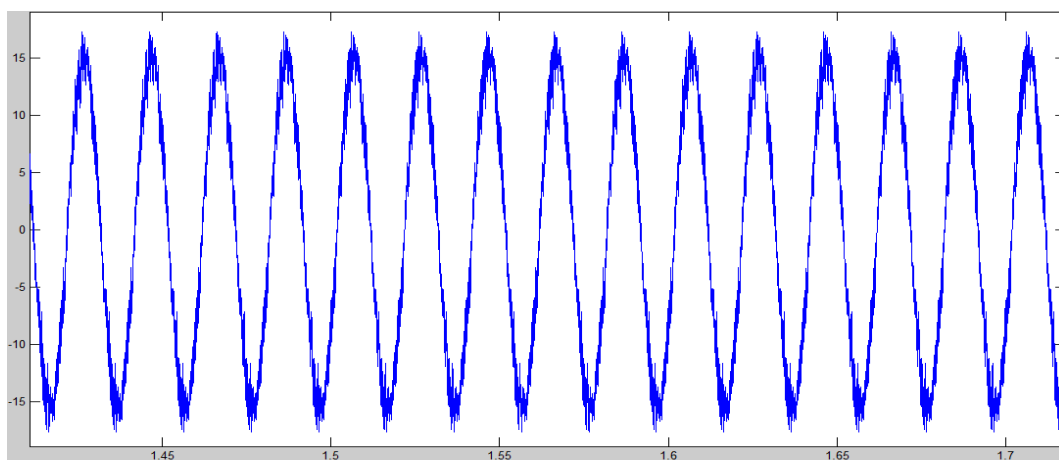


FIGURE 3.2: Courbe du courant statorique en régime permanent a la sortie du moteur simulé

3.2.2 Analyse du couple

Comme le courant statorique, le couple électromagnétique s'affecte par les harmoniques, la figure 3.4 montre que le couple doit avoir une valeur constante qui est 8.5 (la moyenne) sur l'écran de l'oscilloscope. Or l'importance des fluctuations empêche qu'il garde sa valeur. la figure 3.3, montre les régimes transitoire et permanent du couple.

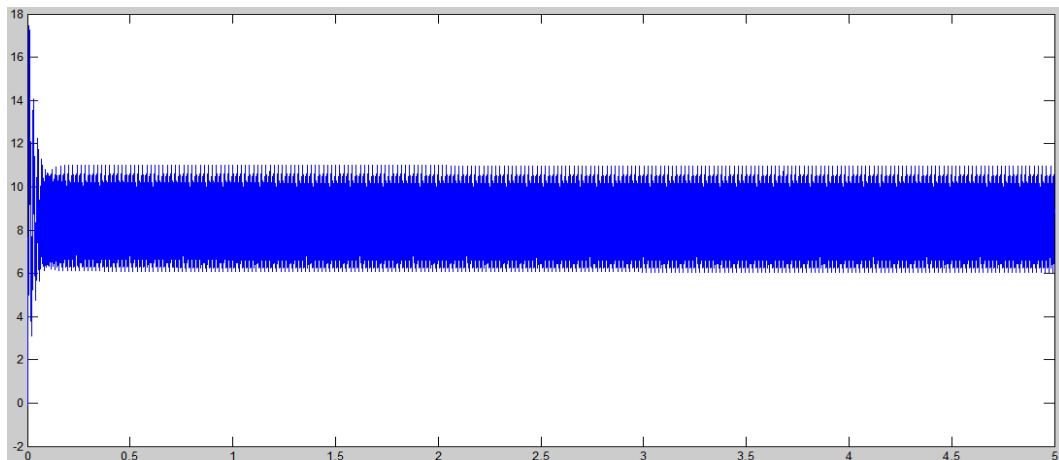


FIGURE 3.3: Régime transitoire et régime permanent du couple de rotation

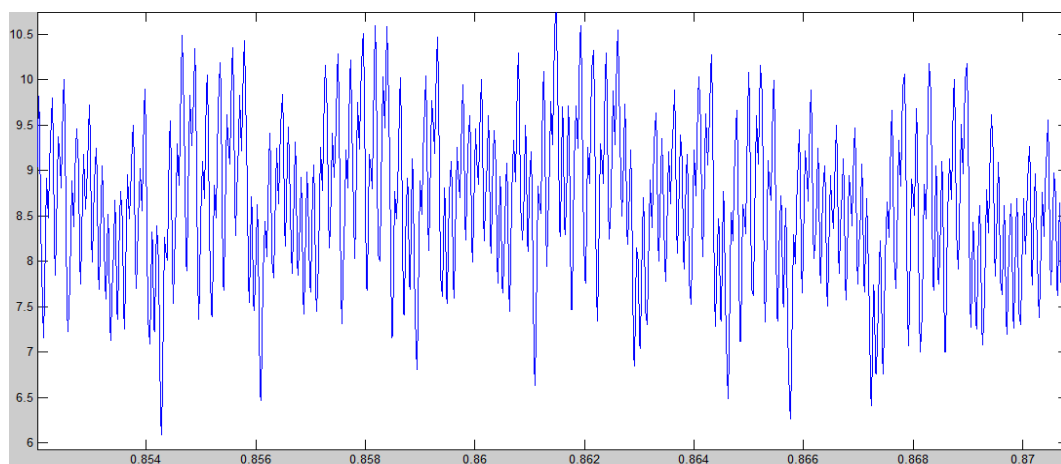


FIGURE 3.4: Fluctuations importante autour de la valeur moyenne du couple de rotation

3.2.3 Analyse de la vitesse

La vitesse est généralement représenté par son régime transitoire, ce qu'on remarque on observant notre simulation de la vitesse, est que les harmoniques n'ont pas d'effet sur l'allure de la vitesse. voir figure 3.5.

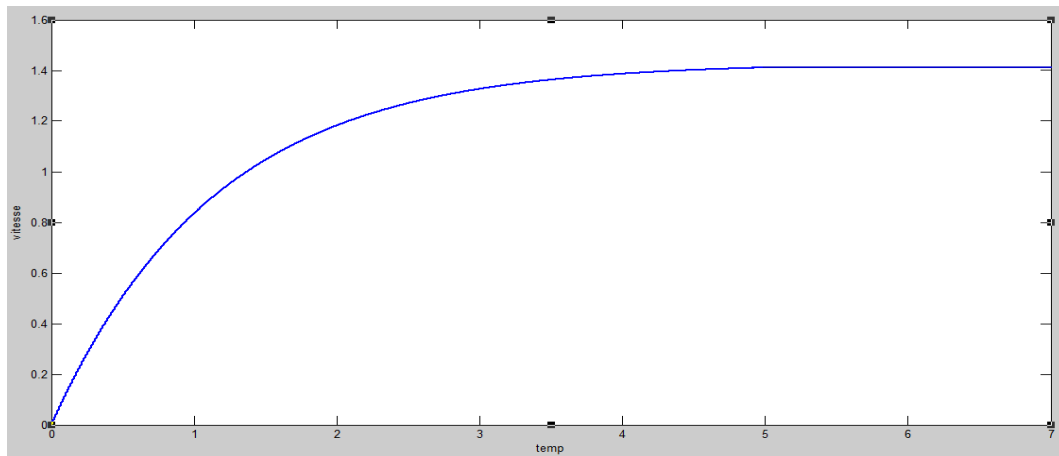


FIGURE 3.5: Courbe de la vitesse

3.3 Analyse spectrale des harmoniques

On va montrer des spectres d'un signal de commande MLI avec élimination d'harmoniques, les résultats expriment différentes opérations d'élimination des harmoniques suivant l'application désiré.

3.3.1 Spectre avec élimination de la 3^{ème}, 5^{ème} et 7^{ème} harmoniques

Dans ce cas la commande a éliminer les harmoniques paires et les harmoniques impaires du rang 3, 5 et 7. Comme le système est triphasé les harmonique multiple de trois seront éliminés par un filtre passe bas. Dans ce cas d'applications on peut utilisé facilement des filtres pour éliminé le reste des harmoniques comme la 11^{ème} et la 13^{ème} harmonique, et ceux de rang supérieur. voir figure 3.6

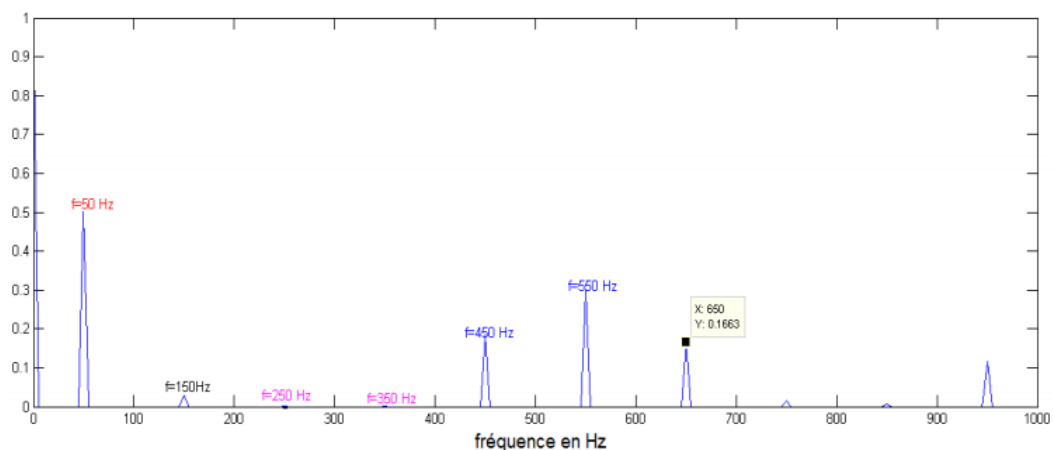


FIGURE 3.6: Spectre d'une tension de commande avec élimination des harmoniques inférieurs au rang 11.

3.3.2 Spectre avec élimination des 5^{ème}, 7^{ème}, 11^{ème} et la 13^{ème} harmonique

Pareil pour le premier cas, c'est suivant l'application qu'on décide du nombre d'harmoniques à éliminer.

Dans ce spectre (voir figure 3.7) il ya élimination des 5^{ème}, 7^{ème}, 11^{ème} et la 13^{ème} harmoniques. En laissant les harmoniques de rang 3 et leurs multiples, ce qui implique que dans ce cas y'aura pas d'harmoniques jusqu'au 17^{ème} harmonique.

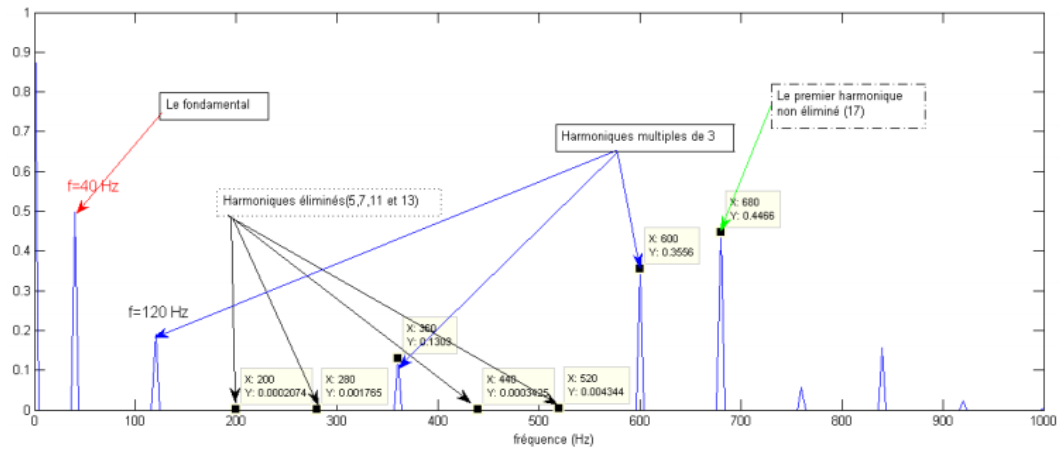


FIGURE 3.7: Spectre d'une tension de commande avec élimination des harmoniques inférieurs au rang 17.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu des simulations afin de pouvoir distinguer les effets d'harmoniques sur les systèmes électriques d'une façon plus pratique. Nous avons pris le modèle du moteur asynchrone simulé sur l'outil Simulink de Matlab, pour lui injectant une commande MLI non sélective au harmoniques, et on a simulé les signaux de sortie de courant statorique, la vitesse et le couple de rotation. Ce qui nous a permis de voir l'effet direct des harmoniques sur ces signaux.

Conclusion générale

La présence d'harmoniques sur les réseaux de distribution va impacter les matériels de réseau et ceux qui sont connectés sur celui-ci. Les systèmes de protection présents sur les réseaux électriques ainsi que les compteurs d'énergie semblent relativement bien immunisés contre les harmoniques de tension et de courant. Les différents problèmes sur les bancs de capacités relevés en présence d'harmoniques semblent être dus, dans la grande majorité, des cas à des phénomènes de résonance plutôt qu'à un vieillissement prématuré causé par les harmoniques. Que ce soit pour les moteurs, les câbles ou les transformateurs, on retrouve les mêmes problématiques en présence d'harmoniques : Une augmentation des pertes dans ces matériels qui entraîne une augmentation de la température de fonctionnement pouvant à long terme diminuer la durée de vie. Les différentes études menées sur les câbles électriques ont été effectuées sur des conducteurs de trop petites sections, avec des taux de distorsion trop grands. L'objectif de cet mémoire est d'étudier l'impact des harmoniques sur les matériels connectés aux réseaux de distribution. Dans cette optique nous avons choisi de porter nos études sur les transformateurs, les câbles de distribution avec conducteur de neutre et les machines à induction de petites puissances.

Bibliographie

- [1] S.Tadsuan V. Kinnares et S. Bunjongjit C. Thammarat, B.Suechoey. "an analysis of temperature of oil-immersed transformer under non linear load, international conference on power system technology powercon 2004". Master's thesis, November 2004.
- [2] Ricardo Carvalho. " *Dynamic performance of induction motor under non sinusoidal conditions, 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power* ". PhD thesis, Proceedings, 2002.
- [3] David Chapman. 'harmoniques causes et effets'. *Copper Development Association*, 2002.
- [4] Jacques SCHONEK Christian COLLOMBET, Jean-Marc LUPIN. "perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement". Master's thesis, Schneider Electric, 2009.
- [5] Jocélio S. de Sa et Claudio C. Prado J.Policarpo G. Abreu. "*Harmonic torques in three-Phase induction motors supplied by non-sinusoidal voltages, 11th International Conference on Harmonics and Quality of power*",*Notes de cours*. 12-15 Sept. 2004.
- [6] D. Heath M.T. Bishop, J.F. Baranowski and S.J. Benna. "evaluating harmonic induced transformer heating". Master's thesis, IEEE Transactions on power delivery, 1996.