République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur

Et De la Recherche Scientifique

UNIVERSITE *Dr YAHIA FARES DE MEDEA*

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention de diplôme de MASTER en réseaux électrique

Thème

Modélisation fréquentielle de la Machine asynchrone sous l'effet des harmoniques généré par un onduleur

Proposé et dirigé par:

Dr. GACEMI Abderrazek

Etudié par :

Mr. GHERNAOUT Abdelghani

Mr. BARKI Billal

Promotion (2013-2014)

Remerciements

Nous remercions en premier lieu notre dieu qui nous a donné

la santé et la patience

pour avoir terminer ce travail.

Nous remercions Dr. A.GACEMI , qui a suivi de très près ce travail, pour leur aide, leurs orientations pédagogiques dans l'élaboration de ce mémoire, et tous les conseils qu'ils nous ont prodigués pendant toute la durée de ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements aux membres du jury qui nous avons honoré pour le jugement de notre travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous exprimons nos sincères remerciements à toute l'équipe de laboratoire.

Enfin, nous ne pourrons terminer ces remerciements sans remercier nos familles pour leurs aides, compréhensions, encouragements et soutiens, qu'elles nous ont apportés tout -au -long de nos études et à tous nos amis.

Dédicace

Je m'incline devant Dieu tous qui m'ouvert port du savoir m'aidé à la franchir

Je dédie mon travail:

A ceux qui ont passé des nuits trop longues pour mon bonheur, et qui se sont fatigués pour mon repose Ma mère et Mon père

A tous mes frères

A tous mes sœurs

A tous mes familles

A tous mes cher amis de prés au de loin sans exception.

ABDELGHANI

Dédicace

Je m'incline devant Dieu tous qui m'ouvert port du savoir m'aidé à la franchir

Je dédie mon travail:

A ceux qui ont passé des nuits trop longues pour mon bonheur, et qui se sont fatigués pour mon repose Ma mère et Mon père

A tous mes frères

A tous mes sœurs

A tous mes familles

A tous mes cher amis de prés au de loin sans exception.

Billal

SOMMAIRE

Introduction générale……..3

CHAPITRE I : **Généralités sur les Harmoniques**

I.1 Les perturbations électromagnétiques……..6

I.2 Les modes de propagation des perturbations …….7

I.3 Les perturbations conduites basses fréquences……...9

I.4 Harmoniques et interharmoniques ……10

I.5Conséquences des harmoniques et des interharmoniques ……..11

I.6 Problèmes causés par les harmoniques……12

I.7. Approche théorique sur l'onduleur à cinq niveauxà structurer NPC ..13

I.7.1 Structure de l'onduleur triphasé à cinq niveaux structure NPC……13

I.7.2. Commande Triangulo-Sinusoidale a quatre porteuses…… ..14

Conclusion…… .27

CHAPITRE II : **Modélisation Fréquentielle de la machine asynchrone**

II Modélisation type circuit de la machine asynchrone…….29

II.1. Modèle sinusoïdal de la machine asynchrone……30

II.2 Modèles fréquentiels……...36

II.2.1 Modélisation d'un conducteur massif……..37

II.2.2 : Modélisation fréquentielle de la machine asynchrone ……43

II.2.2.1 Modèles d'ordre entier de la machine asynchrone……..44

II.2.2.3 Modèle basé sur le principe des circuits harmoniques……48

III Conclusion ……53

CHAPITRE III : **Identification fréquentielle du modèle de la machine asynchrone**

III.1 Modèle harmonique……55

III.2 Machine asynchrone alimentée par onduleur ……57

III.2.1 Modélisation et commande du circuit intermédiaire……59

III.2.2 Résultats de simulation……61

Conclusion ……67

Conclusion générale……..69

NOMENCLATURE

i_{resk}	Courant dans une phase k de réseau
i_{ch}	Courant de la charge
i_{red}	Courant redressé
i_{as}, i_{bs} i_{cs}	Courant simple dans une phase à la sortie de l'onduleur.
i_{di}	Courant i à l'entrée de l'onduleur
Vabc	Tensions simples aux bornes de chaque phase de la charge
V_{AM},V_{BM}, V_{CM}	Tension entre les points milieux de chaque bras de l'onduleur et le point milieu de l'alimentation continue de l'onduleur M
V_{NM}	Tension entre le point neutre N et le point milieu M
U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}	Tensions composées
U_{Ci}	Tension aux bornes du condensateur i
U_{red}	Tension redressée à la sortie de redresseur
U_p	Tension de la porteuse
E_{res}	Tension simple de réseaux
m	Indice de modulation
r	Taux de modulation ou coefficient de réglage de tension
f_p	Fréquence de la porteuse
f	Fréquence de la référence
F_{ki}	Fonction de connexion de l'interrupteur i dans le bras k
L_s, L_r	Inductances cycliques statorique et rotorique par phase
L_{ci}	Inductance i
R_s, R_r	Résistances statorique et rotorique par phase
R_i	Résistance i
C_i	Condensateur i
Ce	Couple électromagnétique
Cr	Couple résistant
j	Moment d'inertie de la partie tournante
f	Coefficient de frottement
T_s, T_r	Constante de temps statorique et rotorique
d, q	Indices correspondants au l'axe direct et quadratique
P_e	Puissance d'entrée
P_s	Puissance de sortie
α	Angle ou instant de commutation
ω_s, ω_r	Pulsations électriques statorique et rotorique
ω_g	Pulsation électrique de glissement
Ω	Vitesse mécanique du rotor
θs, θr	Angle électrique statorique et rotorique
θ	Angle mécanique de rotor.
Φr	Flux rotorique.
σ	Coefficient de dispersion
MAS	Machine Asynchrone
NPC	Neutral Point Clamped
MLI (PWM)	Modulation de Largeur l'Impulsion (Pulse Width Modulation

ملخص:

هذا العمل يتمحور اساسا حول دراسة النماذج التوافقية المتواجدة في الشبكات الكهربائية . تطرقنا في البداية لوضع مفاهيم عامة حول التوافقيات واعطاء المموج دو الخمس مستويات وذو البنية النقطية الحيادية المتراوحة كمثال لهذا الاخير.ثم دراسة وتحليل الماكنة اللمتزامنة وفي الاخير استخراج نموذج لها ودراسته عندما تكون مغذية من طرف مموج ذو خمس مستويات وذو البنية النقطية الحيادية المتراوحة

كلمات مفتاحية: ماكنة لامتزامنة ، مموج ذو الخمس مستويات و ذو البنية النقطية الحيادية المتراوحة، دارات توازن، تقنية الشعاع الفضائي المتغير.

Résumé: La présente étude se concentre essentiellement sur la modélisation fréquentlelle de la machine asynchrone dans le but de reproduire, par simulation, le courant de ligne absorbé lorsque celle-ci est alimenté par des tensions non sinusoïdales. Nous avons analysé différents types de modèles issus de la littérature, et nous avons proposé un modèle de type circuit basé sur le principe de superposition * modèle harmonique*.

Enfin, l'exploitation du modèle dans deux cas d'alimentation non sinusoïdale (onduleur) a démontrer l'intérêt du modèle harmonique pour l'étude des perturbations conduites.

Moto-oléo : maohine asynchrone, onduleur, harmoniques, interharmoniques.

Abstract: This study treats the frequential modelling of the asynchronous machine in order to simulate the line current with all its harmonic components. We have studied various frequential models existing in the literature, and we have proposed a circuit model of the machine based on the superposition principle (harmonic model). The identification of the model parameters has required the realization and the comparison of several types of frequential tests (constant voltage, constant V/f. injection of current with continuous component). The relevance of each one is then discussed. Finally, a simulation has been realized for the machine supplied by a disturbed network and a speed drive. It allowed highlighting the contribution of the harmonic model .

Keywords: induction machine, onduleur, harmonics, interharmonics.

Introduction générale

Le moteur asynchrone à cage est en effet le moteur électrique dont l'usage est le plus répandu dans l'industrie. Son principal avantage réside dans l'absence de contacts électriques glissants, qui en fait un moteur simple, robuste et facile à construire (BON 98].

Au coeur des réseaux électriques, la machine asynchrone est la machine électrique la plus couramment utilisée dans les applications industrielles, de part sa simplicité de construction, sa fiabilité et son faible prix de revient. Elle permet la réalisation d'entraînements à vitesse constante sous une alimentation réseau ou à vitesse variable à l'aide de convertisseurs statiques. Les sources d'alimentation sont généralement génératrices de perturbations harmoniques.

L'énergie alimentant la cascade onduleur- machine est généralement obtenue à partir d'un réseau électrique alternatif en utilisant un redresseur commandé en modulation de largeurs d'impulsions (MLI). La commande en MLI du redresseur permet, entre autres, d'avoir une tension continue stable à sa sortie, d'avoir un écoulement bidirectionnel de puissance entre le réseau et la machine, d'avoir un facteur de puissance unitaire et de réduire les harmoniques de courant dans le réseau électrique. Plusieurs méthodes de commande du redresseur et de la cascade redresseur onduleur multi niveaux. D'autres travaux appliquent les méthodes d'automatique pour la commande du redresseur, telles que la logique floue, les réseaux de nuerons, la technique de backstepping ou le mode de glissement [A.GH].

L'analyse et la simulation des perturbations conduites basses fréquences dans les réseaux électriques nécessitent donc une modélisation adaptée de ce type de machine et de son alimentation. Notre travail consiste à proposer un modèle fréquentiel de la machine asynchrone, de type circuit en vue d'une implantation dans un simulateur de réseau électrique. Ce modèle doit permettre la reproduction des principales composantes fréquentielles basses fréquences contenues dans le courant de ligne lorsque la machine est alimentée par des tensions non sinusoïdales.

Pour présenter les travaux réalisés dans le cadre de la modélisation Sequentielle de la-machine asynchrone, ce mémoire se décompose en trois chapitres.

Le premier est consacré à la généralité sur les harmoniques et pour avoir un bon fonctionnement de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC et suites à des études effectuées dans ce domaine, nous allons opter pour la stratégie de la commande triangulo-sinusoïdale à quatre porteuses qui va nous permettre d'avoir la forme la plus sinusoïdale possible de la tension de sortie de l'onduleur. Puis on va chapitre deux pour traite plue spécifiquement de la modélisation de la machine asynchrone à cage. Le modèle usuel de la machine est tout d'abord rappelé.

L'intérêt de la prise en considération de l'effet de la fréquence dan3 la modélisation est alors mis en exergue sur une barre rétorque seule. Puis, les principaux modèles fréquentiels de la machine asynchrone existant dans la littérature sont présentés. Enfin, un modèle fréquentiel de type circuit de la machine asynchrone, basé sur le principe de la superposition, est proposé.

Dans le troisième chapitre, en introduisant des circuits auxiliaires au filtre capacitif intermédiaire pour exploite le modèle harmonique proposé afin de prévoir le comportement fréquentiel de la machine danc le cas d'une alimentation par onduleur.

I. Introduction :

Avec la généralisation de l'alimentation des machines électriques par des convertisseurs statiques, la modélisation classique des machines asynchrones est devenue inadaptéepuisqu'elle ne prend pas en compte l'effet des harmoniques générés par desconvertisseurs ou par des réseaux perturbés (alimentation non purement sinusoïdale) surle comportement électrique des machines.

Ce chapitre, nous commençons par introduire les perturbations électromagnétiques tout en définissant les différents modes de propagation. Puis, nous présentons les perturbations conduites basses fréquences avec une attention particulière portée aux harmoniques et aux interharmoniques que nous prendrons en considération lors de la modélisation de la machine asynchrone.

I.1 Les perturbations électromagnétiques

D'après la définition [CET 61000-2-2]. la compatibilité électromagnétique (CEM) l'aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire, lui-même, des perturbation électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnent domaine est particulièrement important car les dispositifs électriques et électif sont de plus en plus nombreux, complexes et stratégiques (avion, navire, train, us donc vulnérables à la pollution électromagnétique avec des conséquences pouvant être critiques.

Le champ d'action de la CEM est vaste tant en terme de phénomènes physiques (foudre, décharges électrostatiques, rayonnements, courants conduits) qu'en terme de domaines d'application (télécommunications, équipements spatial et militaire, contrôle commande- instrumentation, électronique de puissance) ou en gamme de fréquence (de quelques Hz à quelques dizaines de GHz). Dans un but de clarté et d'uniformisation, il a été indispensable d'harmoniser les spécifications requises en matière de CEM. Pour réglementer ce domaine, les travaux de la Commission d'Electrotechnique Internationale (CEI) sur la CEM ont conduit à des normes et des recommandations de plus en plus contraignantes notamment en limitant les niveaux d'émission

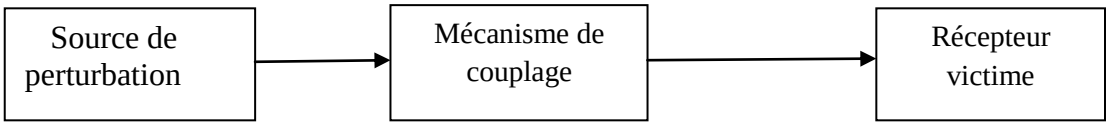
de ces perturbations. La série des normes de compatibilité électromagnétique qui définit ces limites est la CEI 61000.

Dans le but d'étudier ces perturbations, il est essentiel de les caractériser et ainsi d'identifier leurs origines et leurs modes de transmission entre les dispositifs électriques.

I.2 Les modes de propagation des perturbations :

La perturbation d'un équipement met en jeu trois éléments :

- La source de perturbation, décrite par sa puissance, sa durée, son spectre de fréquence et les champs qu'elle génère.
- Le vecteur par lequel la perturbation est transmise, c'est le mode de couplage.
- L'équipement victime de la perturbation.



FigI.1 : Schéma de propagation des perturbations.

Les sources de perturbations sont diverses et de différentes natures. Deux catégories principales se distinguent :

- Les sources naturelles (foudre....).
- Les sources technologiques constituées d'appareils dont l'activité électrique est de nature à se propager à l'environnement.

Les phénomènes générant des perturbations électromagnétiques peuvent être classifié selon leur mode de propagation ou selon leur gamme de fréquences qui est dite basse pour les fréquences inférieures à 9kHz et haute pour celles supérieures à 9kHz.

Les signaux parasites émis par une source perturbatrice sont propagés vers le récepteur victime de plusieurs façons liées à leurs environnements respectifs. Il existe deux modes de propagation [Costa]: si la source et la charge sont voisines, le couplage est dit proche et il peut être de nature capacitive, inductive ou résistive. Ces perturbations sont dites conduites [CEI61000-2-2],

[CEI61000-2-4] et elles interviennent soit en mode commun (MC), soit en mode différentiel (MD).

si la source et la charge sont éloignées et sans liaison galvanique, on parle de perturbations rayonnées. Elles sont alors propagées sous forme de champ électriqueet de champ magnétique.

Pour illustrer l'apparition des signaux de mode commun et de mode différentiel, la Fig I.2 représente une interconnexion bifilaire entre un émetteur et un récepteur. Les courants de mode commun IMC se referment à travers différents chemins (terre, masse, carcasse,...) et parcourent les liaisons (Emetteur - Récepteur) dans le même sens, tandis que les courants de mode différentiel IMD se referment par les câbles de liaisons en sens opposé.

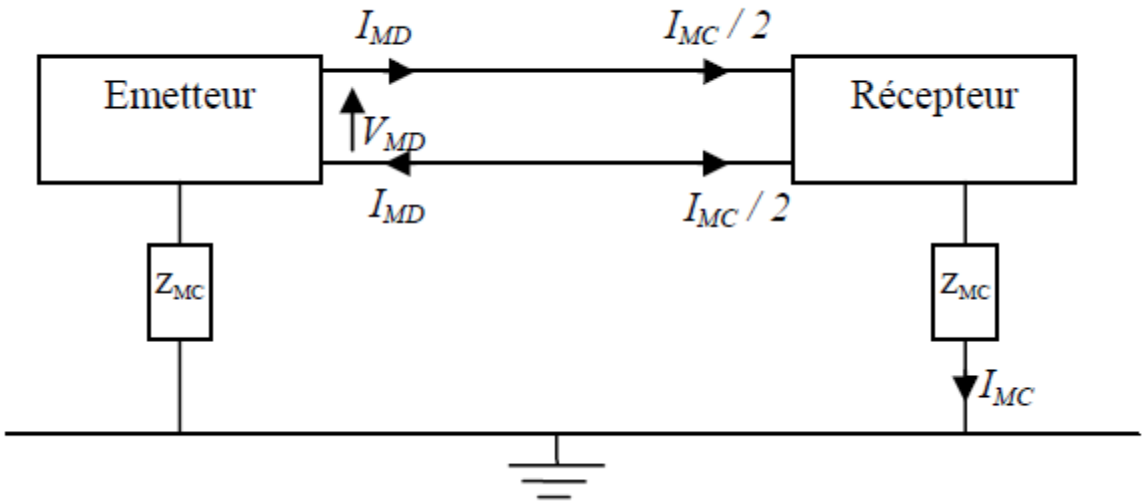


Fig I.2: Circulation des courants de mode commun et de mode différentiel.

Dans ce travail, nous nous intéressons aux perturbations électromagnétiques conduites basses fréquences, ce qui restreint le domaine de fréquences à la bande [0 : 9kHz] et le type de couplage au mode proche (conduit).

I.3 Les perturbations conduites basses fréquences

La qualité de l'énergie électrique (QEE) est devenue un sujet stratégique pour tous les acteurs intervenant dans la production et la consommation d'énergie électrique(producteurs, transporteurs, constructeurs d'équipements, consommateurs). En effet, la multiplicité des équipements sensibles aux perturbations au sein d'un même procédé exige une alimentation électrique de plus en plus performante en terme de continuité de service et de qualité. De plus, la dégradation de la QEE conduit généralement à une réduction du rendement énergétique et au vieillissement prématuré des équipements électriques avec un risque accru de pannes.

La mesure de la QEE consiste habituellement à caractériser les perturbations électromagnétiques conduites basses fréquences [CT N°199], [CEI 61000-2-2] :

- Le creux de tension : c'est une baisse brutale de la tension en un point d'un réseau d énergie électrique suivie d'un rétablissement de la tension après un court laps de temps compris entre dix millisecondes et une seconde.

- La surtension : c'est toute tension appliquée à un équipement dont la valeur de crête sort deslimites d'un gabarit défini par une norme ou une spécification [CEI61000-2-2]. [CT N°141], [CT N°151] et [CT N°179].

- Les fluctuations de tension : ce sont une suite de variations cycliques ou aléatoires de l'enveloppe de la tension (inférieure à 10 % de la tension nominale).

- Les déséquilibres : lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120°.

- Les harmoniques : toute fonction périodique peut se décomposer en une somme de sinusoïdes de fréquences multiples du fondamental f(fh=Ji.f. h : entier). Les composantes fréquentielles de rang h sont appelées des harmoniques et représentent la distorsion du signal par rapport à la forme d'onde sinusoïdale. Cette distorsion est équivalente à la superposition sur le signal "idéal" d'une ou de plusieurs composantes sinusoïdales à des fréquences "indésirables" (harmoniques). Dans les réseaux de distribution, ces fréquences indésirables sont principalement produites par les modules de conversion d'électronique de puissance inclus dans les équipements électriques.

- Les interharmoniques : ce sont des composantes sinusoïdales, qui ne sont pas à des fréquences multiples entières de la fréquence du fondamental. Elles sont donc situées entre les harmoniques.

Dans la partie suivante, nous présentons les perturbations harmoniques et interharmoniques générées par un ensemble redresseur-onduleur de tension.

I.4 Harmoniques et interharmoniques :

Dans les réseaux de distribution, les harmoniques et les interharmoniques ont diverses origines. Pour les harmoniques, ils proviennent principalement de charges non linéaires dont la caractéristique est d'absorber un courant qui n'est pas proportionnel à la tension qui les alimente. Ce courant se distingue par un spectre riche en composantes harmoniques. Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau créent des tensions harmoniques qui peuvent perturber le fonctionnement des autres utilisateurs de ce même réseau. Concernant les interharmoniques, ils ont plusieurs sources [CEI61000-2-4] :

— Les fours à arc. Les machines de soudage à Tare et le chauffage à plasma, connus depuis de nombreuses années comme la source de puissance principale d'interharmoniques sur les réseaux électriques.
— Les convertisseurs statiques connectés au réseau peuvent fonctionner à une fréquence de commutation qui généralement est une fréquence interharmonique, les commutations produisent des tensions ou des courants interharmoniques.
— L'imperfection du découplage entre des circuits pour lesquels les fréquences fondamentales sont différentes par exemple l'étage de filtrage du bus continu d'un onduleur.

— La production intentionnelle de tension interharmonique utilisée pour transmettre un signal.
— La génération des courants interharmoniques par les machines asynchrones due à un courant magnétisant irrégulier (encoches du stator et du rotor) et aussi à la saturation du fer.

I.5Conséquences des harmoniques et des interharmoniques :

Les effets des harmoniques sont liés à l'augmentation des valeurs crêtes (claquage diélectrique) , efficaces (éhauffement supplémentaire) et au spectre fréquentiel (vibrations et fatigue mécanique) des tensions et des courants. Par conséquent , ils peuvent induire la dégradation des performances des matériels (CTN°199°)(Tableau I.1)et donc engendrer des surcouts économiques .

Les interharmoniques introduisent quant à eux des perturbations qui se superposent à la forme d'onde de la tension et du courant du réseau .En conséquence, la valeur crête de la tension varie et tout usage de l'électricité, pour lequel cette valeur crête est importante, s'en trouve perturbé. Les récepteurs de télévision, par exemple peuvent être perturbés, et les dispositifs d'éclairage peuvent subir du papillotement .L'effet le plus pernicieux est la possibilité d'exciter les fréquences d'antirésonance des filtres passifs ou des bancs de condensateurs de compensation de facteurs de puissance qui sont connectés au réseau.

Lorsque l'amplitude d'une fréquence harmonique atteint une valeur significative, elle peut entraîner tant des dégâts immédiats que des effets à long terme. Les câbles et transformateurs s'échauffent plus que de coutume, les condensateurs sont endommagés, la consommation électrique s'accroît, le bon fonctionnement des appareils sensibles devient incertain et les disjoncteurs de protection peuvent se mettre à fonctionner de manière indue.

Dans ce cadre ou les sources génératrices d'harmoniques et d'interhamoniques se multiplient, il est indispensable de modéliser les machines asynchrones de sorte que ces phénomènes soient pris en considération.

Tableau I.1 : Effets des harmoniques

Matériel	Effets
Moteurs	Pertes et échauffement supplémentaires. Réduction des possibilités d'utilisation à pleine charge. Couple pulsatoire. Nuisance sonres.
Transformateur	Pertes (ohmiques-fer) et échauffement supplémentaire. Vibration mécaniques. Nuisance sonres.
Disjoncteur	Déclenchements intempestif
Electronique de puissance	Trouble liés à la forme d'onde (commutation, synchronisation)
Condensateur de puissance	Echauffement, vieillissement prématuré (claquage)à, résonance

I.6 Problèmes causés par les harmoniques

Les courants harmoniques engendrent des problèmes tant au niveau de la distribution qu'au niveau de l'installation. Les effets et les solutions sont divers et il convient de les traiter séparément.

au niveau de l'installation

_ Problèmes causés par les courants harmoniques:

_ surchauffe du neutre

_ surchauffe des transformateurs

_ Déclenchement intempestif des coupes-circuits

_ surcharge des condensateurs (cos ϕ)

_ Effet de peaux dans les conducteurs

_ Problèmes causés par les tensions harmoniques:

_ Distorsion de la tension

_ au niveau des moteurs à induction

_ de bruit lors du passage à zéro

_ Problèmes causés par les courants harmoniques au niveau de l'alimentation

I.7. Approche théorique sur l'onduleur à cinq niveauxà structurer NPC

I.7.1 Structure de l'onduleur triphasé à cinq niveaux structure NPC

NPC signifie "Neutral Point Clamped", c'est une structure particulière qui consiste à appliquer trois niveaux de commande, +signal, point neutre, -signal, au lieu des deux. Cet onduleur est dit à cinq niveaux car il délivre cinq niveaux de tension (+2Uc,+Uc,0,-Uc,-2Uc). L'onduleur triphasé à cinq niveaux est constitué de trois bras et quatre sources de tension continues, représentée par la figure(I.3).

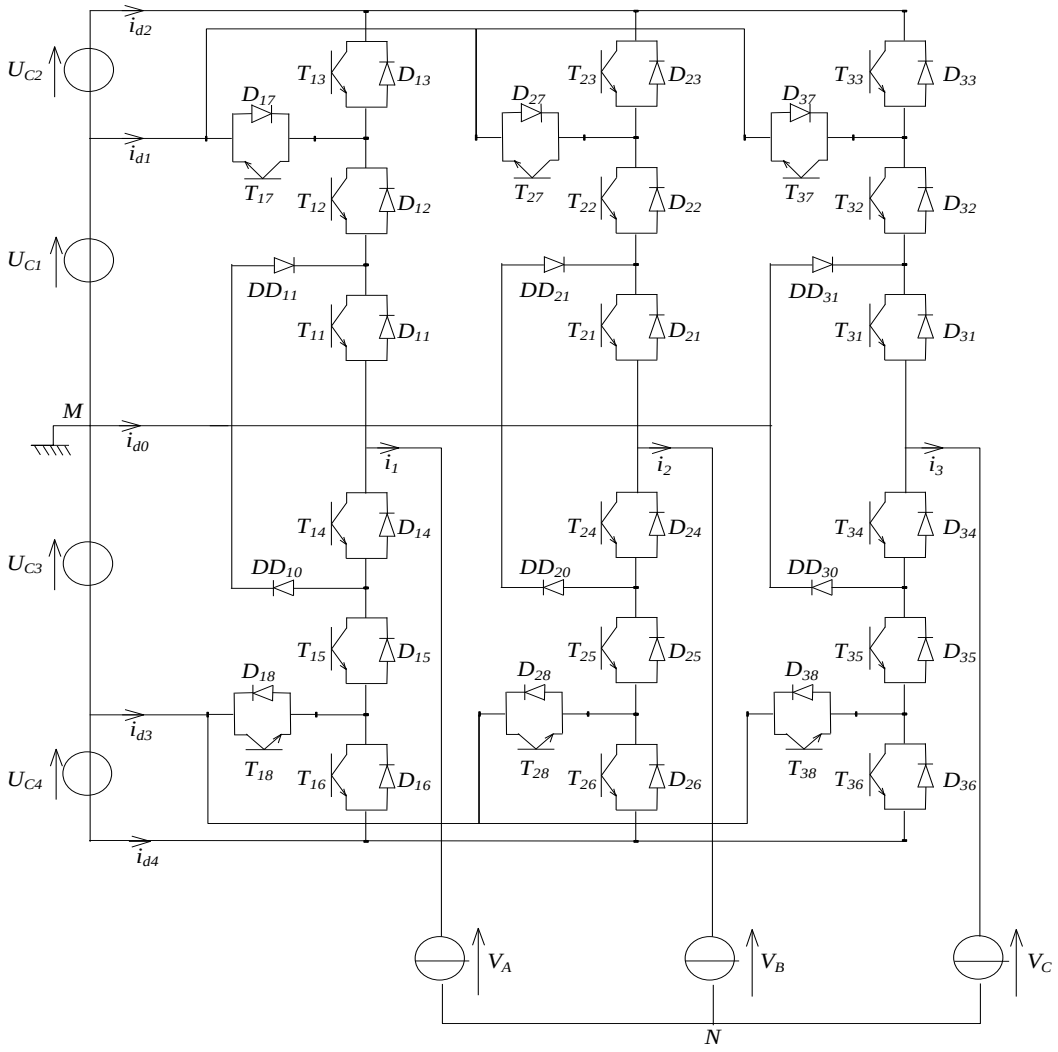


Figure I.3*:* Onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC.

La qualité de la tension de sortie d'un l'onduleur dépend de la stratégie de commande utilisée. Dans cette section nous traiteronscommande triangulo-sinusoïdale à quatre porteuses.

I.7.2. Commande Triangulo-Sinusoidale a quatre porteuses

Cette stratégie est caractérisée par l'indice de modulation ***m***, et le taux de modulation ***r***.

- L'indice de modulation, ***m*** est le rapport de la fréquence *fp*de la porteuse à la fréquence *f de* la tension de référence ***m****=fp/f,*
- Le taux de modulation ***r***, est le rapport de l'amplitude de la tension de référence *Vm* à deux fois la valeur de crête *Upm* de la porteuse ***r****=Vm/2Upm.*

  Pour cette commande on va présenter deux algorithmes

Taux de distorsion harmonique

Le signal sinusoïdal étant déformé, il est nécessaire de quantifier cette déformation en faisant appel aux formules
ci-dessous :

THD Individuel

$$\sigma_n(\%) = \frac{A_n}{A_1} \times 100$$

A_1 = Valeur efficace du fondamental

A_n = Valeur efficace du rang harmonique n

Les valeurs efficaces A_x peuvent être des tensions ou des courants

THD Global

$$THD\text{-}U(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n} U_n^2}}{U_1} \times 100 \qquad THD\text{-}I(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n} I_n^2}}{I_1} \times 100$$

I.7.2.1 Algorithme 1

Pour l'onduleur à cinq niveaux, on peut utiliser quatre porteuses identiques, déphasées d'un quart période ($1/4f_p$) l'une de l'autre, afin d'améliorer le taux d'harmoniques des tensions de sortie. Les équations de ces porteuses sont données par le système (I.22).

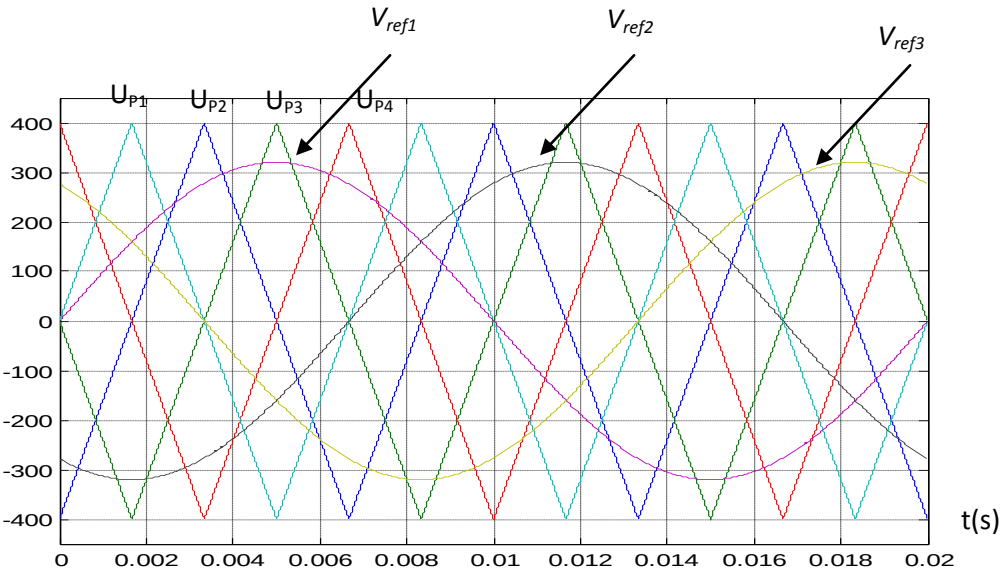


Figure I.4: Les différents signaux de la stratégie triangulo-sinusoidale à quatre porteuses Tringulaires (algorithme 1) (m=3,r=0.8)

$$
\begin{aligned}
U_{p1} &= \begin{cases} U_{pm}\left(\dfrac{4t}{T_p}-1\right), & 0 \le t < \dfrac{T_p}{2} \\ U_{pm}\left(-\dfrac{4t}{T_p}+3\right), & \dfrac{T_p}{2} \le t < T_p \end{cases} \\
U_{p2} &= \begin{cases} U_{pm}\left(-\dfrac{4t}{T_p}\right), & 0 \le t < \dfrac{T_p}{4} \\ U_{pm}\left(\dfrac{4t}{T_p}-2\right), & \dfrac{T_p}{4} < t < \dfrac{3T_p}{4} \\ U_{pm}\left(-\dfrac{4t}{T_p}+4\right), & \dfrac{3T_p}{4} \le t < T_p \end{cases} \\
U_{p3} &= -U_{p1} \\
U_{p4} &= -U_{p2}
\end{aligned}
\qquad \text{(I.1)}
$$

L'algorithme de la génération des ordres de commande des interrupteurs avec cette stratégie se résume aux deux étapes suivantes :

1er étape : détermination des tension intermédiaires (V_{k1},V_{k2},V_{k3} ,V_{k4}) :

$$
\begin{cases} V_{refk} \ge U_{p4} \Rightarrow V_{k4} = 2U_c \\ V_{refk} < U_{p4} \Rightarrow V_{k4} = U_c \end{cases}
$$

$$
\begin{cases} V_{refk} \ge U_{p3} \Rightarrow V_{k3} = U_c \\ V_{refk} < U_{p3} \Rightarrow V_{k3} = 0 \end{cases}
$$

$$
\begin{cases} V_{refk} \ge U_{p2} \Rightarrow V_{k2} = 0 \\ V_{refk} < U_{p2} \Rightarrow V_{k2} = -U_c \end{cases}
\qquad \text{(I.22)}
$$

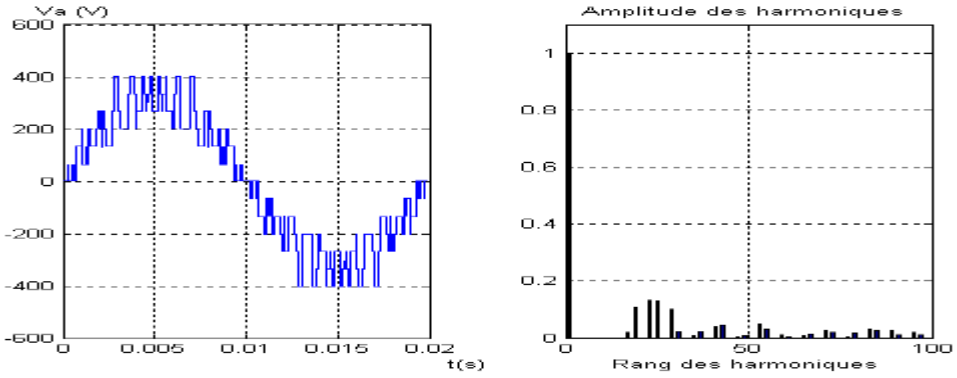
$$
\begin{cases} V_{refk} \ge U_{p1} \Rightarrow V_{k1} = -U_c \\ V_{refk} < U_{p1} \Rightarrow V_{k1} = -2U_c \end{cases}
$$

2emmétape : détermination du signal V_{km} et des ordres de commande B_{ks} des interrupteurs :

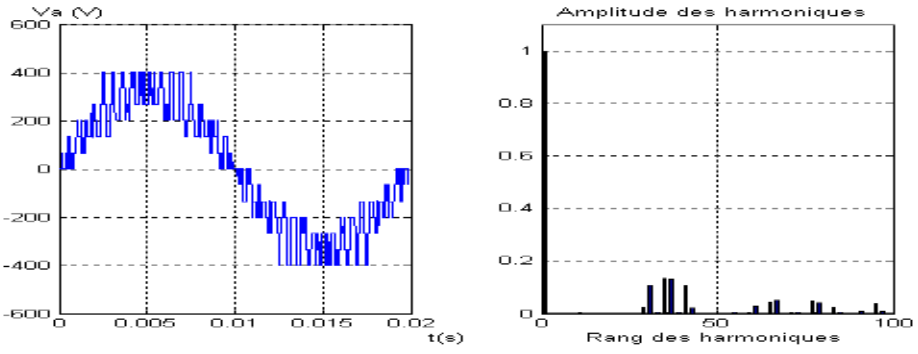
$$V_{km} = V_{k1} + V_{k2} + V_{k3} + V_{k4} \qquad (I.3)$$

$$\begin{cases} V_{km} = 2E \Rightarrow B_{k1} = 1 ; B_{k2} = 1 ; B_{k3} = 1 \\ V_{km} = E \Rightarrow B_{k1} = 1 ; B_{k2} = 1 ; B_{k3} = 0 \\ V_{km} = 0 \Rightarrow B_{k1} = 1 ; B_{k2} = 0 ; B_{k3} = 0 \end{cases} \qquad (I.25)$$

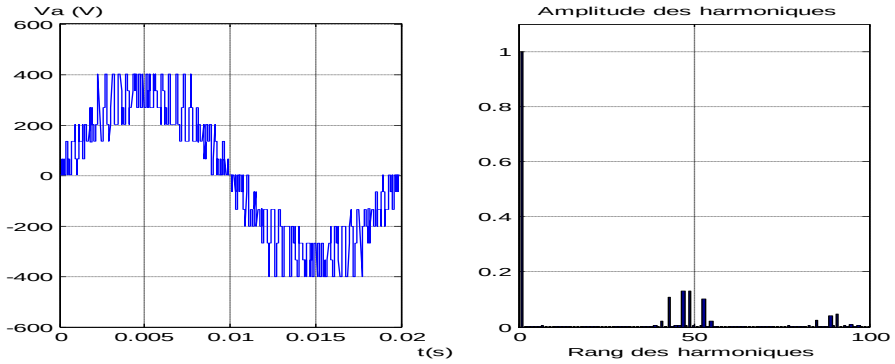
Résulta de simulation



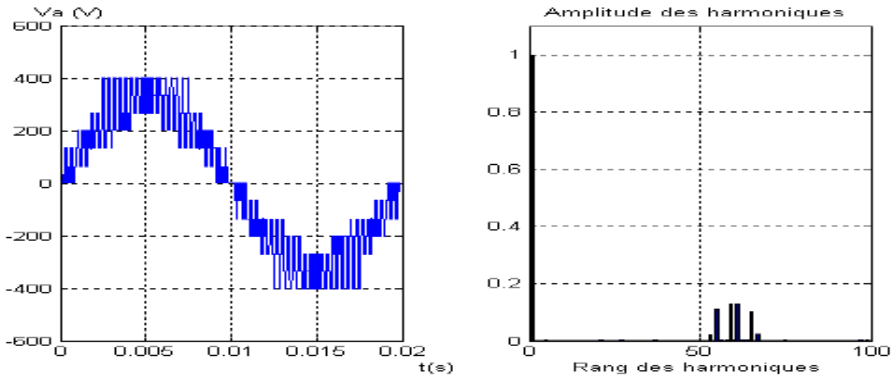
figure(I.9.a):m=6,r=0.8



figure(I.9.b):m=9,r=0.8



figure(I.9.c):m=12,r=0.8



figure(I.9.d):m=15, r =0.8

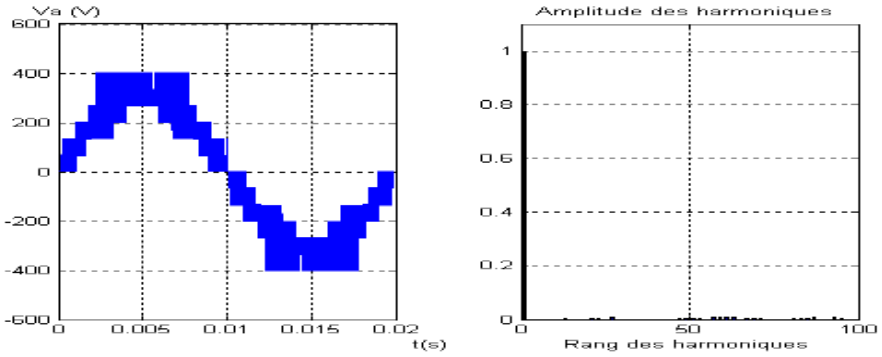


Figure (I.9.e):m=36,r=0.8

Figure I.5. : La tension simple V_a et son spectre de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo-sinusoïdale à quatre porteuses triangulaire bipolaire(algorithme1).

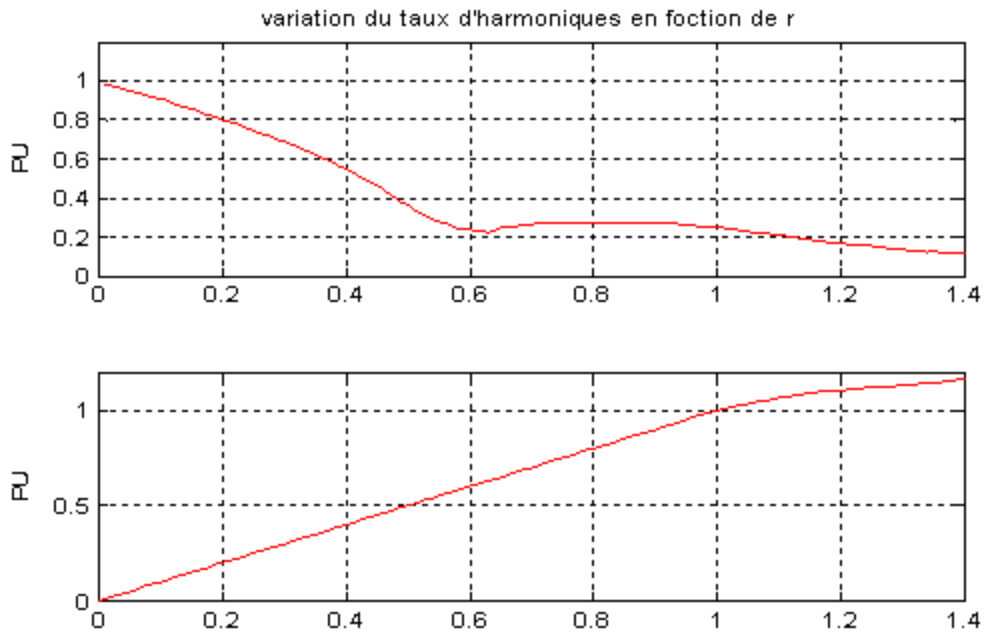
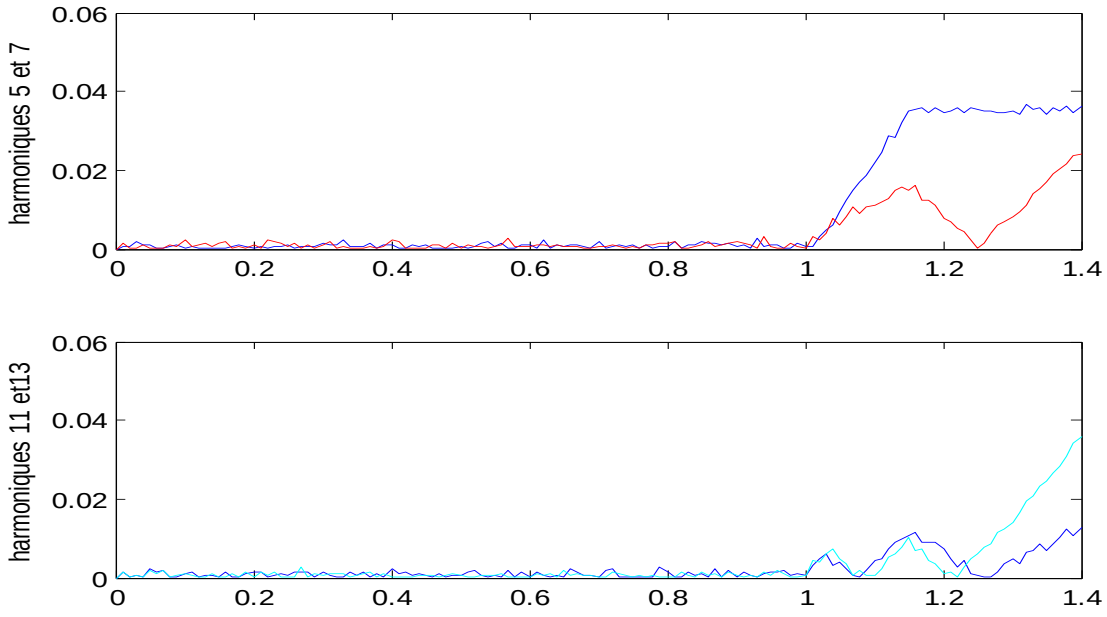


Figure I.6 : L'amplitude du fondamental et le taux d'harmoniques en fonction du taux de modulation.



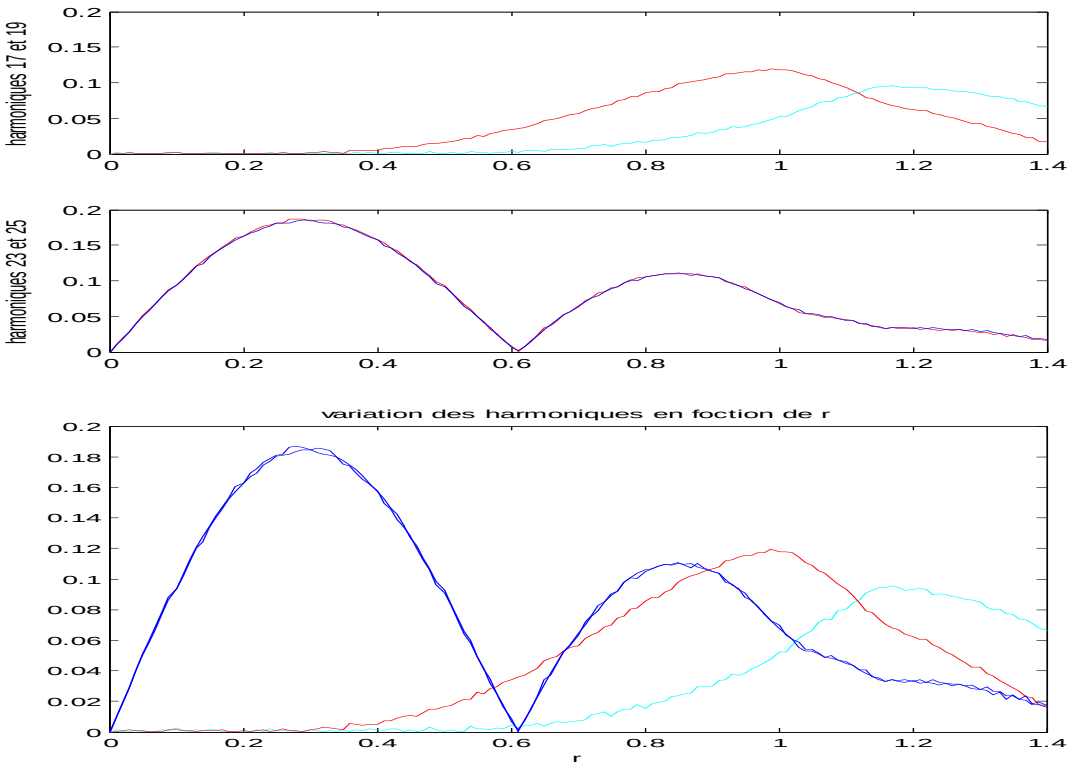


Figure I.7 : Caractéristique de la tension de sortie V_a de l'onduleur triphasé

à cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale à quatre porteuses bipolaires.(m=6)

- on remarque pour toutes les valeurs de l'indice de modulation ***m*** ,

la tension V_A ne présente que des harmoniques impaires. On remarque aussi que ces harmoniques se regroupent en familles centrées autour des fréquences multiples de *4mf*.

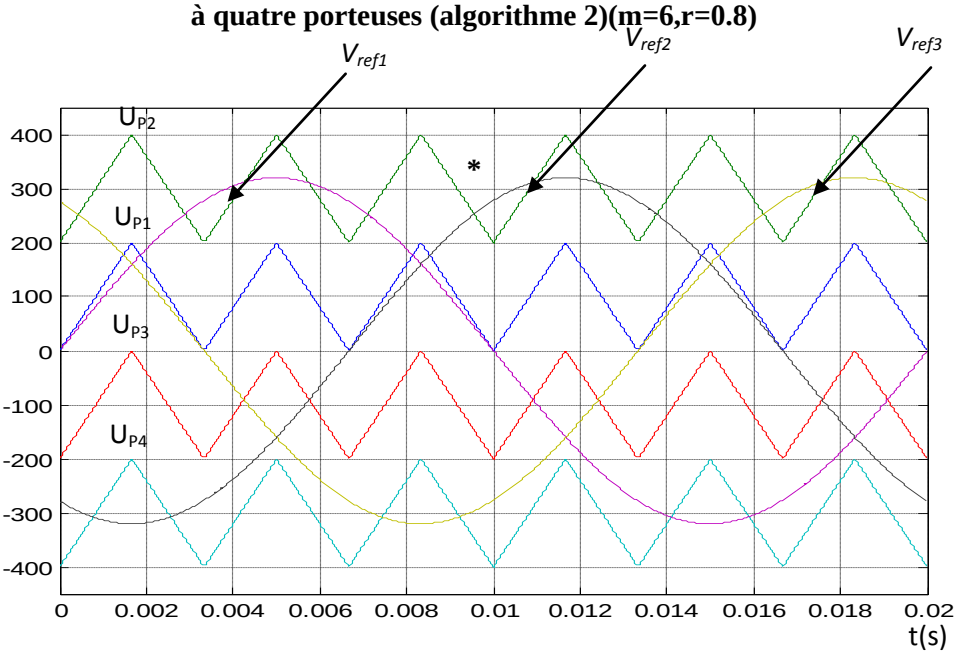
- on remarque pour la courbe de l'amplitude du fondamentale en fonction du taux de modulation qu'il est linéaire de 0 à 1.

- on remarque que les harmoniques le plus importants sont 23 et 25 pour ***r***=0.8.

I.4.1.2 Algorithme 2

Dans cette algorithme, les porteuses sont en phase avec un décalage l'une par rapport à l'autre d'un niveaux de tension U_{pm} , la figure(I.11) représente les tensions de référence et les porteuses de cette stratégie

Figure I.8.* : Les différents signaux de la stratégie triangulo-sinusoidale à quatre porteuses (algorithme 2)(m=6,r=0.8)



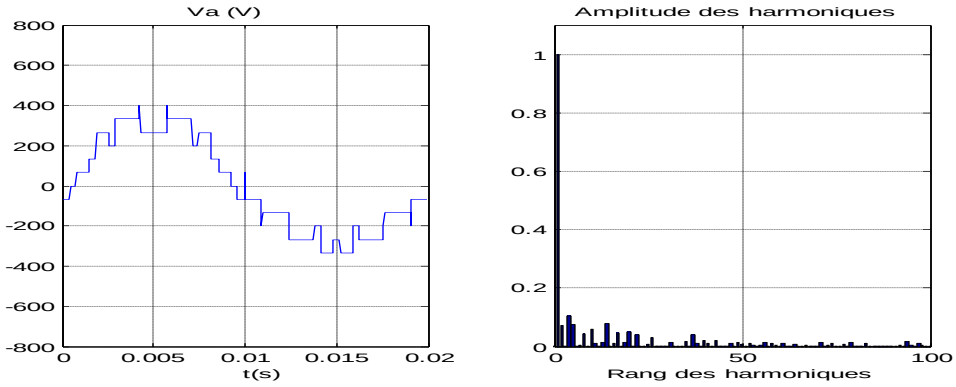
le coefficient de réglage, ou toux de modulation ***r :***égale au rapport de l'amplitude de la tension de référence V_m à deux fois la valeur crête U_{pm}de la porteuse r=Vm/2Upm.

Les équations des quatre porteuses sont les suivantes :

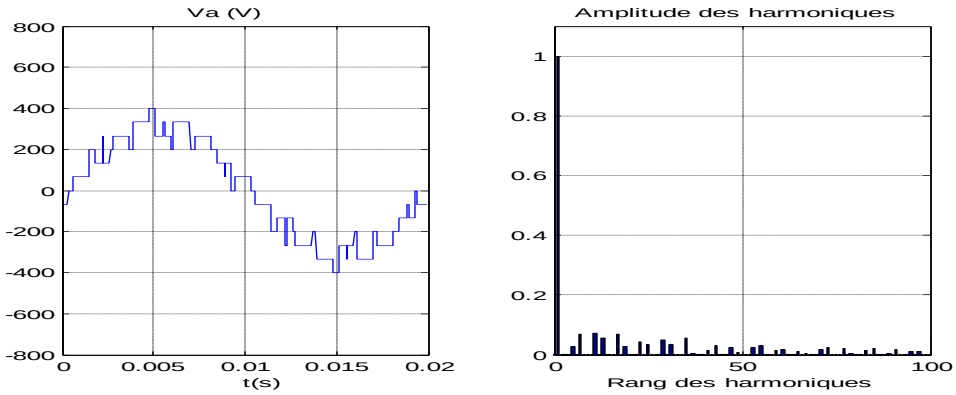
$$U_{p1}(t) = \begin{cases} \begin{cases} 2U_{pm}\dfrac{t}{T_P}; & 0 \le t \le \dfrac{T_p}{2} \\ 2U_{pm}\left[1-\dfrac{t}{T_p}\right]; & \dfrac{T_P}{2} \le t \le T_P \end{cases} \\ U_{p2}(t) = U_{p1}(t) + U_{pm} \\ U_{p3}(t) = U_{p1}(t) - U_{pm} \\ U_{p4}(t) = U_{p1}(t) - 2U_{pm} \end{cases} \quad \text{(I.4)}$$

L'algorithme de commande est le même que pour l'algorithme 1.

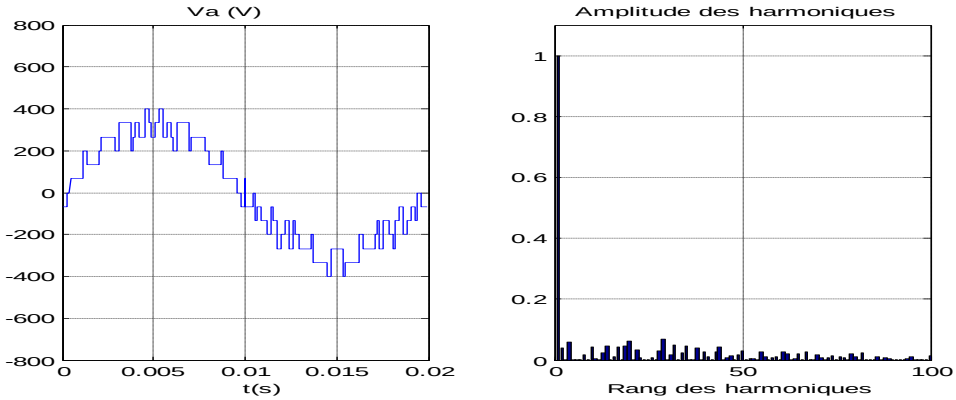
Résultats de simulation



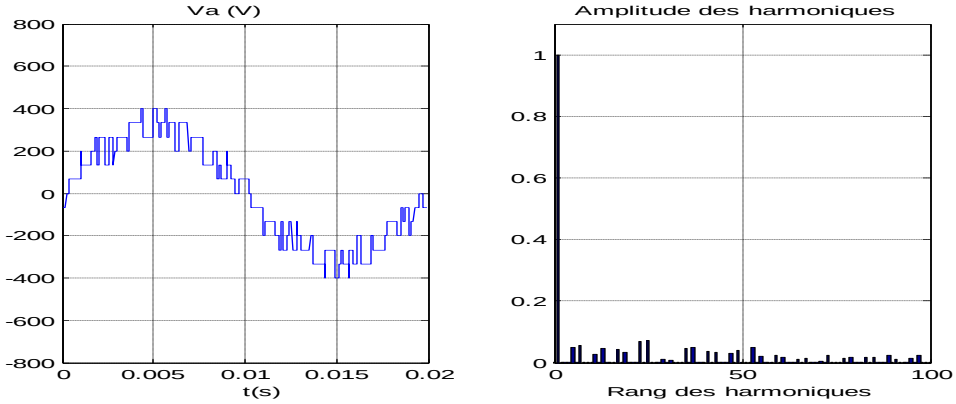
figure(I.8.a):m=6,r=0.8



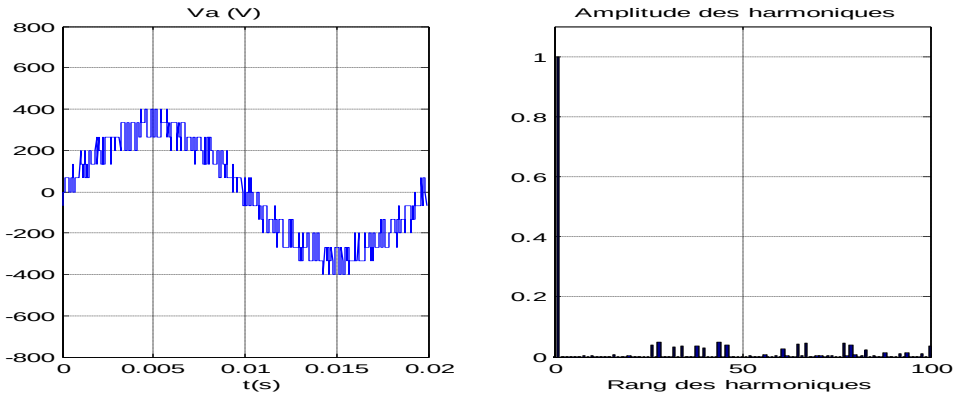
figure(I.8.b):m=9,r=0.8



figure(I.8.c):m=12,r=0.8



figure(I.8.d):m=15,r=0.8



figure(I.8.e):m=36,r=0.8

Figure I.9.* : La tension simple V_a et son spectre de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo-sinusoïdale à quatre porteuses triangulaire unipolaire (algorithme2).

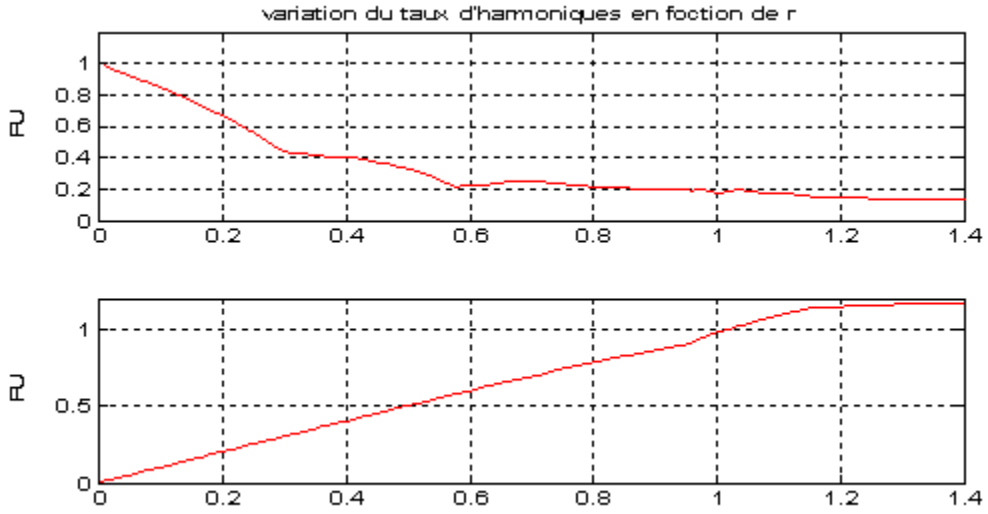
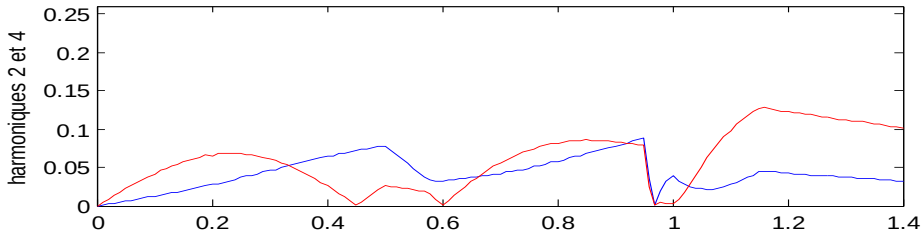
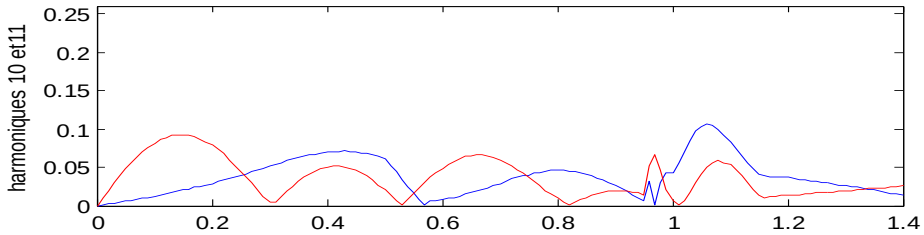
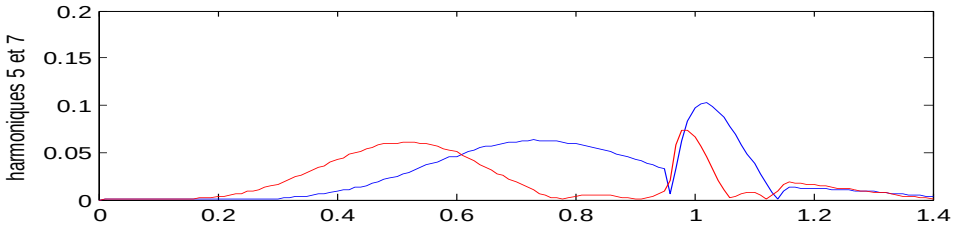
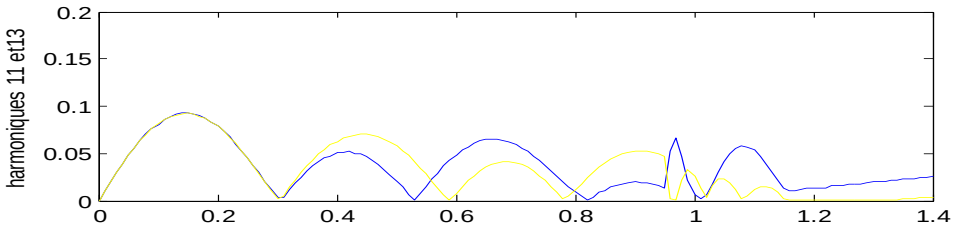


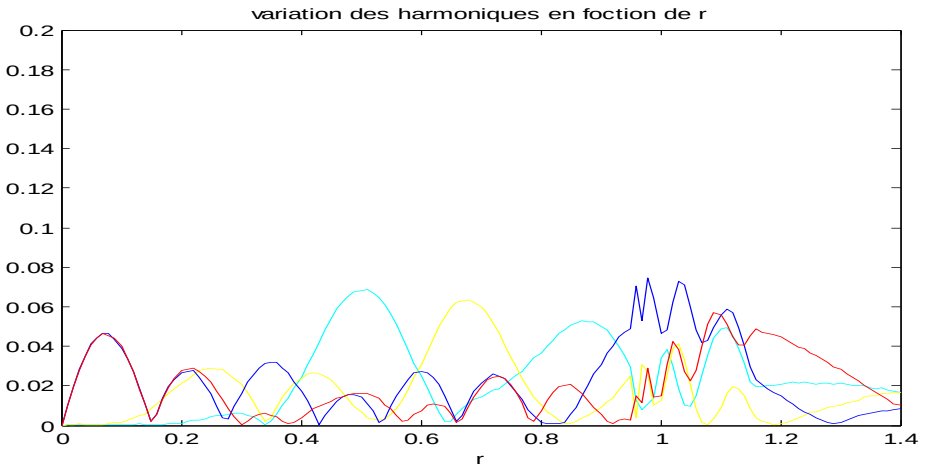
Figure.I.9 : L'amplitude du fondamental et le taux d'harmoniques en fonction du taux de modulation


harmoniques 2 et 4
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4


harmoniques 10 et11
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4


harmoniques 5 et 7
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4


harmoniques 11 et13
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4


variation des harmoniques en foction de r
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4
r

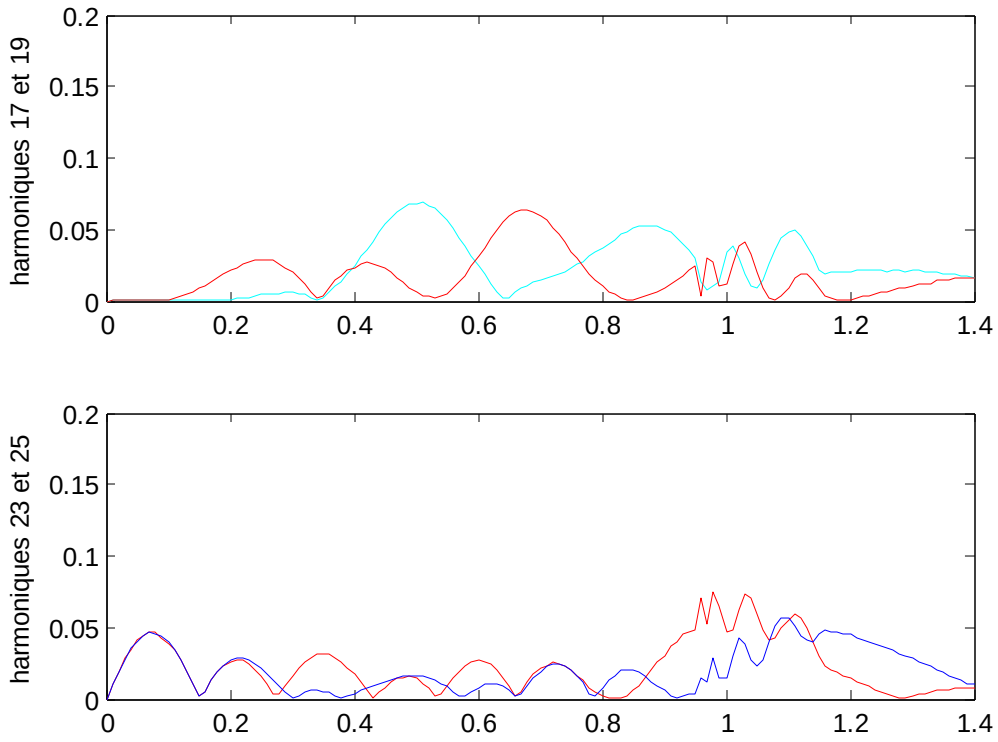


Figure I.10: Caractéristique de la tension de sortie V_a de l'onduleur triphasé

à cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale à quatre porteuses unipolaires.(m=6)

- on remarque pour les valeurs paire de l'indice de modulation ***m*** , il existe les harmoniques paire et impaire, et pour ***m*** impaire les harmoniques impaire. On remarque aussi que ces harmoniques se regroupent en familles centrées autour des fréquences multiples de *4mf*.

- on remarque pour la courbe de l'amplitude du fondamentale en fonction du taux de modulation qu'il est linéaire de 0 à 1.
- on remarque que les harmoniques le plus importants sont 2, 4, 10, 11 et14.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons situé notre travaille dans le vaste domaine de la CEM.Nous nous somme concentré sur l'onduleur à cinq niveaux à structurer NPC alimenté la machine asynchrone pour lequel nous avons décrite le mécanisme de génération d'harmoniques et interharmoniques.La meilleure stratégie de commande entre les deux algorithmes de stratégie triangulo-sinusoïdale à quatre porteuses triangulaires c'est le premier algorithme à couse de ses caractéristiques.

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 .

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.

Introduction

L'utilisation de la machine asynchrone est l'objet d'une évolution très rapide, elle est très exploitée dans de nombreuses applications en raison de sa robustesse et possibilité de lui appliquée des commandes performantes. [A.GH]

II Modélisation type circuit de la machine asynchrone

La machine asynchrone à cage (Fig II.1) est largement utilisée dans l'industrie .Sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable qui demande peu d'entretien.

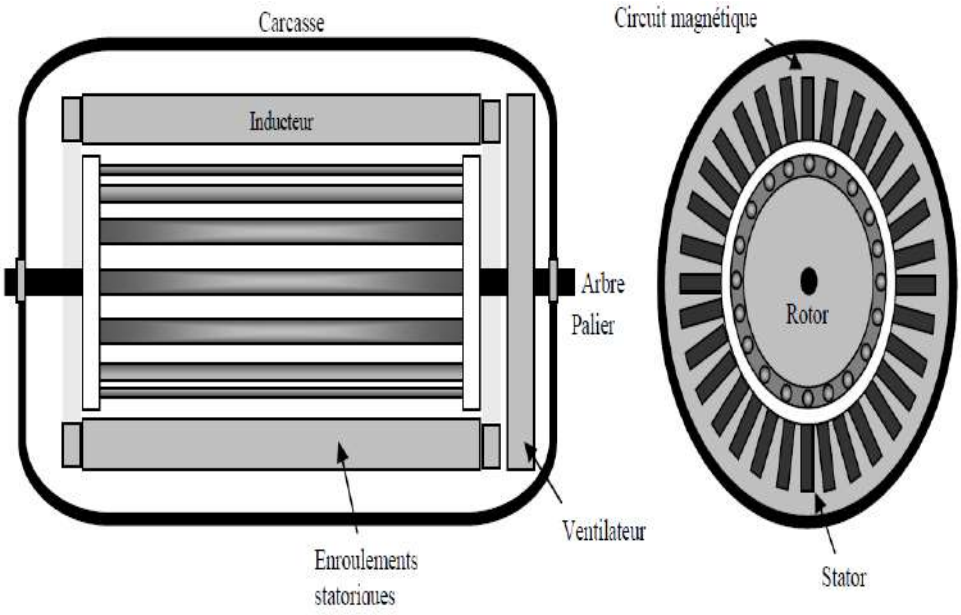


Fig II.1: Schéma simplifié d'un moteur à cage d'écureuil.

Le moteur asynchrone permet la réalisation d'entraînements à vitesse variable. Cette variation de vitesse peut être réalisée à travers l'utilisation d'un convertisseur de puissance à découpage. Or, comme nous l'avons vu précédemment, ce type de

matériel fait partie des sources génératrices d'harmoniques et d'interhamoniques. Il est donc nécessaire de prendre en considération l'effet de la fréquence pour modéliser la machine asynchrone de manière réaliste.

L'objectif de cette partie est de présenter différents modèles fréquentiels de la machine asynchrone à cage. Pour commencer, nous rappelons le modèle classique (modèle au fondamental). Puis, la caractérisation de l'effet de la fréquence sur un conducteur massif est présentée. Ensuite, des modèles de la machine basés sur l'intégration d'une impédance Z d'ordre entier ou non entier au circuit rotorique sont décrits. Enfin, nous proposons un modèle basé sur le principe de la superposition d:un modèle classique pour le fondamental et d'un second modèle représentant l'ensemble des harmoniques.

II.1. Modèle sinusoïdal de la machine asynchrone

Le modèle usuel de la machine asynchrone est basé sur les hypothèses suivantes [ChatelainS3] :

- la machine est symétrique et possède un entrefer constant. L'effet des encoches est négligé,
- la répartition spatiale des forces magnétomotrices d'entrefer est sinusoïdale,
- le circuit magnétique est non saturé,
- les pertes ferromagnétiques sont négligeables,
- l'influence de l'effet de peau et de réchauffement n'est pas prise en compte.

  Les conséquences de ces hypothèses sont :

  l'additivité des flux,

  la constance des inductances.

la loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements statoriques et rotoriques en fonction de l'angle de leurs axes magnétiques.

Sur la Fig II.2, les enroulements (Si, S2, Ss) représentent le stator de la machine et les enroulements (Ri, R2, R-s) représentent le rotor. La position relative instantanée entre les deux axes Sa et Ra est définie par l'angle électrique 0 variable en fonction du temps.

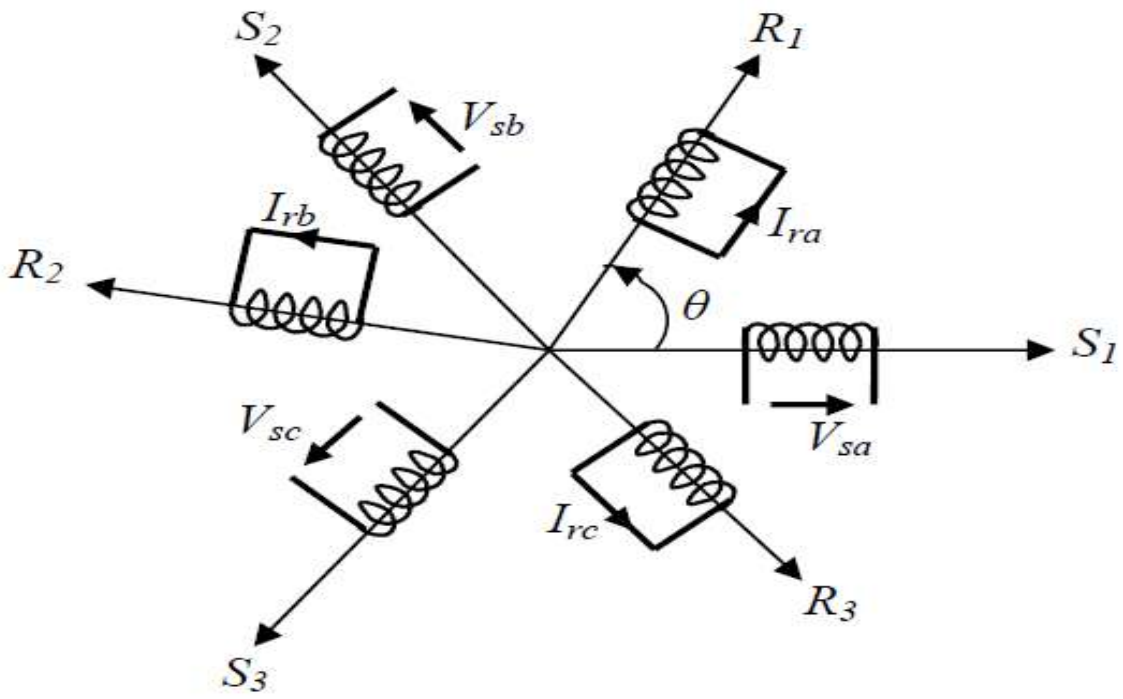


Fig II.1: Représentation des enroulements de la MAS triphasée dans l'espace électrique.

Les enroulements de la machine asynchrone sont représentés par les paramètres suivants :

- RE et L_ (Rr et Lr) sont respectivement la résistance et 1 inductance propre statoriques (rotoriques) par phase.

- Ms (Mr) est la mutuelle inductance entre deux phases du stator (rotor).

- Msr est la mutuelle inductance entre une phase statorique et une phase rotorique.

La relation entre les flux et les courants dans les enroulements présentés dans la Fig 1.11 peut être donnée dans le repère « abc » par les équations (1-15) et (1-16) :

$$\begin{bmatrix} Q_{ra} \\ Q_{rb} \\ Q_{rc} \end{bmatrix} = [L_s] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + [M_{rs}] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad \text{(II.1)}$$

ET

$$\begin{bmatrix} Q_{ra} \\ Q_{rb} \\ Q_{rc} \end{bmatrix} = [L_s] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + [M_{rs}] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad \text{(II.2)}$$

Avec

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix}, \quad [L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

ET

$$[M_{sr}] = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

Les équations électriques peuvent être déduites pour l'ensemble des phases :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} Q_{sa} \\ Q_{sb} \\ Q_{sc} \end{bmatrix}$$

ET

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = R_r \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} Q_{ra} \\ Q_{rb} \\ Q_{rc} \end{bmatrix}$$

(1-18)

Finalement, pour la phase « a ». il est possible d'écrire :

$$\underline{V_{sa}} = R_s \underline{I_s} + j\omega_s \left(L_s - M_s\right) \underline{I_s} + j\frac{3}{2}\omega_s M_{rs} \underline{I'_r}$$

(1-19)

$$\underline{V_{ra}} = R_r \underline{I_r} + j\omega_r \left(L_r - M_r\right) \underline{I_r} + j\frac{3}{2}\omega_r M_{rs} \underline{I'_s} = 0$$

Avec

I'_r : Courant fictif de valeur efficace I_r mais de fréquence f_s.

I'_s : Courant fictif de valeur efficace I_s mais de fréquence f_r.

Si les transformations suivantes sont opérées :

$L_1 = L_s - M_S$: Inductance cyclique statorique de la machine.

$L_2 = L_r - M_r$: Inductance cyclique rotorique de la machine.

$M = \frac{3}{2} M_{rs}$: Inductance mutuelle cyclique stator-rotor de la machine,

g : le glissement.

Il est possible d'établir des modèles monophasés équivalents. Soit :

$$\underline{V_{sa}} = R_s \underline{I_s} + j\omega_s L_1 \underline{I_s} + j\omega_s M \underline{I'_r} \quad (1\text{-}20)$$

$$\underline{V_{ra}} = 0 = R_r \underline{I_r} + j\omega_r L_2 \underline{I_r} + j\omega_r M \underline{I'_s}$$

Comme $\omega_r = g\omega_s$, les équations (1-20) peuvent s'écrire :

$$\underline{V_{sa}} = R_s \underline{I_s} + j\omega_s L_1 \underline{I_s} + j\omega_s M \underline{I'_r} \quad (1\text{-}21)$$

$$0 = \frac{R_r}{g} \underline{I_r} + j\omega_s L_2 \underline{I_r} + j\omega_s M \underline{I'_s}$$

Ce système d'équations de tensions (1-21) permet la construction du schéma électrique équivalent de type transformateur présenté dans la Fig. 1.12.

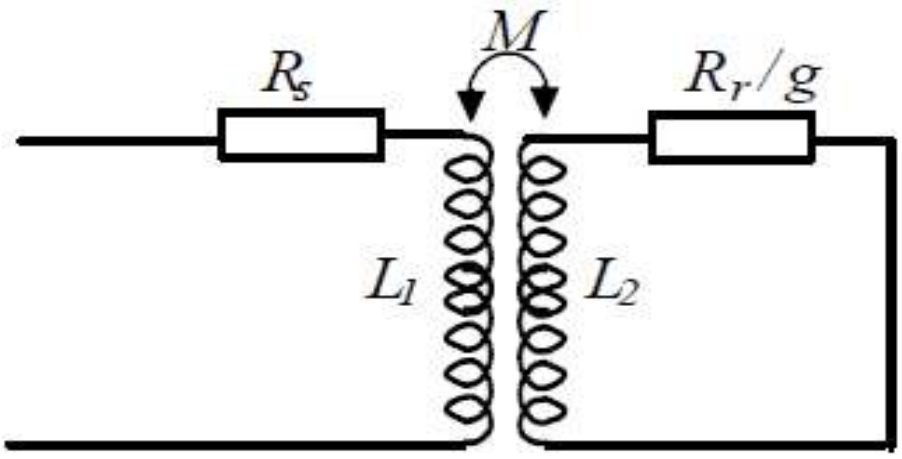


Fig.II.2: Modèle type transformateur de la machine asynchrone.

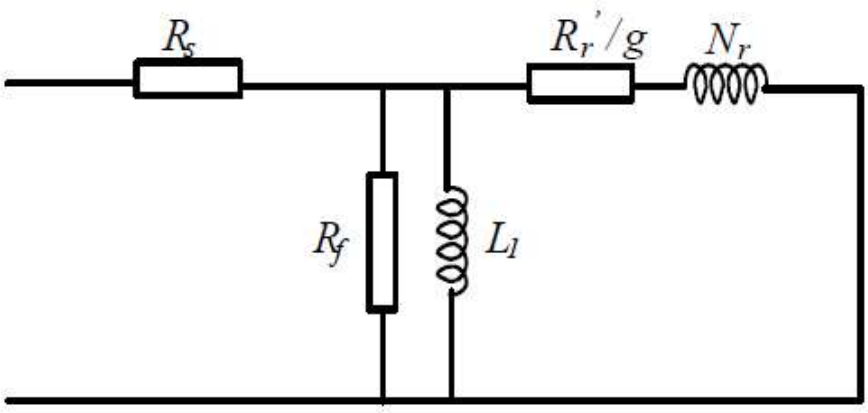


Fig.II.3: Modèle monophasé de la machine asynchrone ramené au stator.

Dans le modèle (Fig. 1.12). le circuit magnétique est considéré sans pertes, ce qui n'est pas réellement le cas. Le modèle à fuites secondaires avec l'ensemble ramené au stator est le plus fréquent dans la littérature car il comporte des éléments qui peuvent être identifiés à laide d'essais classiques. Pour rendre compte des pertes fer, on ajoute dans

ce modèle une résistance fictive R_f en parallèle avec l'inductance statorique. Le modèle devient alors celui de la Fig. 1.13 :

Avec :

$N_r = \left(\frac{L_1}{2}\right)^2 \sigma L_2$: Inductance de fuite rotorique ramenée au stator.

$R'_r = \left(\frac{L_1}{M}\right)^2 R_r$: Résistance rotorique ramenée au stator.

$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$: Coefficient de dispersion.

Le modèle classique (au sens du fondamental) que nous venons de présenter est abondamment utilisé comme modèle de référence. Néanmoins, dans les hypothèses de sa construction, l'effet de la fréquence n'est pas pris en onsidération ce qui exclut son utilisation en vue de la prévision des effets fréquentiels. Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux modèles qui prennent en compte l'effet de la fréquence.

II.2 Modèles fréquentiels

Plusieurs études ont montré que la modélisation par circuits équivalents généralisés est nécessaire pour la simulation en vue de l'étude des régimes harmoniques [Viarouge95]. [Kabbaj97], [Sudhoff02].

Les schémas équivalents prenant en compte les phénomènes fréquentiels peuvent être soit des modèles de Comportement, soit des modèles de connaissance.

- Modèle de comportement

C'est un schéma qui reproduit les phénomènes observés, peu importe la pertinence physique et l'outil utilisé (circuit. expression, fonction de transfert....)[Atarod92]. [VermaelenO3].

- Modèle de connaissance

C'est un modèle qui tient compte de la physique et de la géométrie de la machine et ceci afin d'associer tel phénomène physique à tel paramètre du schéma équivalent. Ce sont les lois régissant l'électromagnétisme qui sont utilisées pour décrire le fonctionnement des machines. Ces modèles sont divers et peuvent varier en complexité et/ou en précision selon la méthode de modélisation utilisée [Sahraoui94]. [Nabeta94]. Nous ne les citerons pas tous mais nous pouvons rappeler les plus populaires dont ceux basés sur :

-La méthode des éléments finis (résolution des équations de Maxwell).

-La méthode des réseaux de perméance.

-La méthode des circuits électriques magnétiquement couplés.

Dans notre étude, nous nous intéressons à un modèle simple et suffisamment précis qui permettrait de représenter le comportement électrique et fréquentiel de la machine asynchrone sans passer par la simulation par éléments finis connue pour être longue et coûteuse en calculs. Le type de modèle qui nous intéresse s'inscrit donc dans la catégorie de la modélisation comportementale de type circuit.

Dans un premier temps, nous présenterons les effets de la fréquence sur un conducteur massif rectangulaire lorsque celui ci est parcouru par un courant sinusoïdal. Puis, cette approche sera généralisée à la machine asynchrone à cage, en considérant son modèle usuel et l'évolution de ses paramètres selon la fréquence d'alimentation de la machine.

II.2.1 Modélisation d'un conducteur massif

Lorsqu'un conducteur massif (Fig. 1.14) est parcouru par un courant sinusoïdal, la densité du courant dans ce conducteur est non uniforme sur sa section. L'augmentation de la résistance et la diminution de l'inductance équivalente du conducteur lorsque la fréquence augmente est la conséquence directe de ce phénomène nommé effet de peau [Alger70]. [Zhu90]. [Zaninelli92].

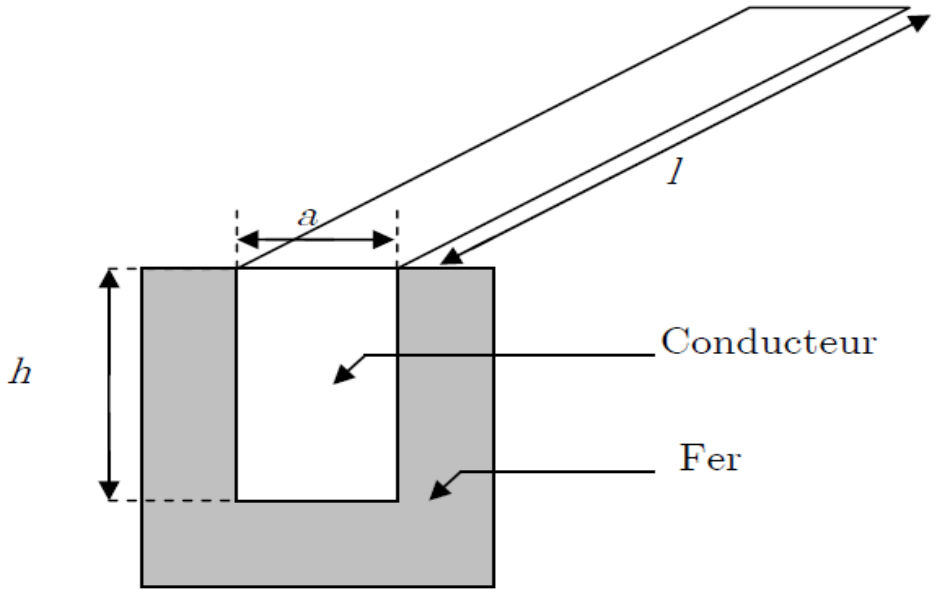


Fig II.4: Schéma d'une barre rectangulaire

h est la hauteur du conducteur massif [m]

1 est la longueur du conducteur massif [m

a est la largeur du conducteur massif [ml.

En effet, à partir des équations de Maxwell et des hypothèses simplificatrices suivantes :

-le régime est quasi stationnaire.

-les effets de bord dans les conducteurs sont négligés,

-la perméabilité du fer est considérée infinie.

Les expressions équivalentes de la résistance " R " et de l'inductance " L " d'un conducteur massif s'écrivent :

$$R = \frac{\xi}{\sigma a h} \frac{\sinh(2\xi) + \sin(2\xi)}{\cosh(2\xi) - \cos(2\xi)} \quad \text{(II.3)}$$

$$L = \frac{u_0 I h}{3a\xi} \frac{\sinh(2\xi) - \sin(2\xi)}{\cosh(2\xi) - \cos(2\xi)} \quad \text{(II.4)}$$

La grandeur $\xi \frac{h}{\delta}$ est le rapport entre la hauteur du conducteur massif et la profondeur de pénétration avec $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f u_0 \sigma}}$. Elle est appelée hauteur virtuelle conducteur [Chatelain83].

μ_0 est la perméabilité du vide ($4\pi 10^{-7}$ H/m).

σ est la conductivité du conducteur massif [S/m].

Pour une barre en aluminium dont les caractéristiques sont :

conductivité σ = 34 10^6 S/m.

longueur I=1m,

largeur a = 5mm,

hauteur h=50mm.

La Fig. 1.15 représente révolution de la résistance du conducteur massif " R " (II.3) et son approximation par la grandeur $k_1 \sqrt{f}$ pour une gamme de fréquence allant de 0 à 1kHz. Nous remarquons que les allures sont confondues. La résistance " R " a effectivement un comportement asymptotique en $\sqrt{f}$.

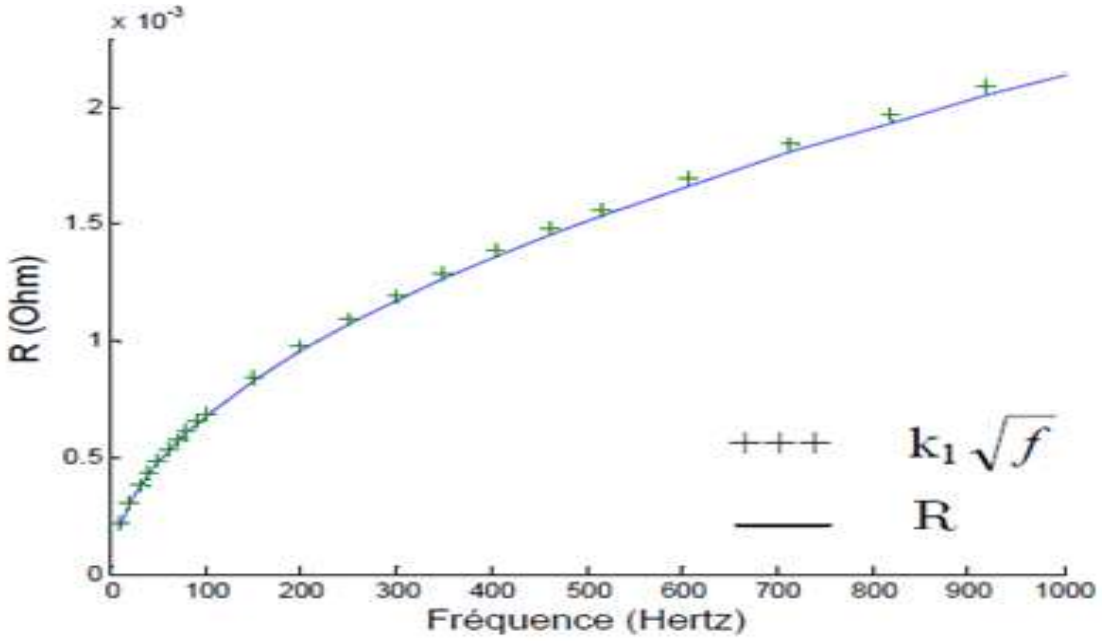


Fig II.5: Effet de la fréquence sur la résistance d:un conducteur massif.

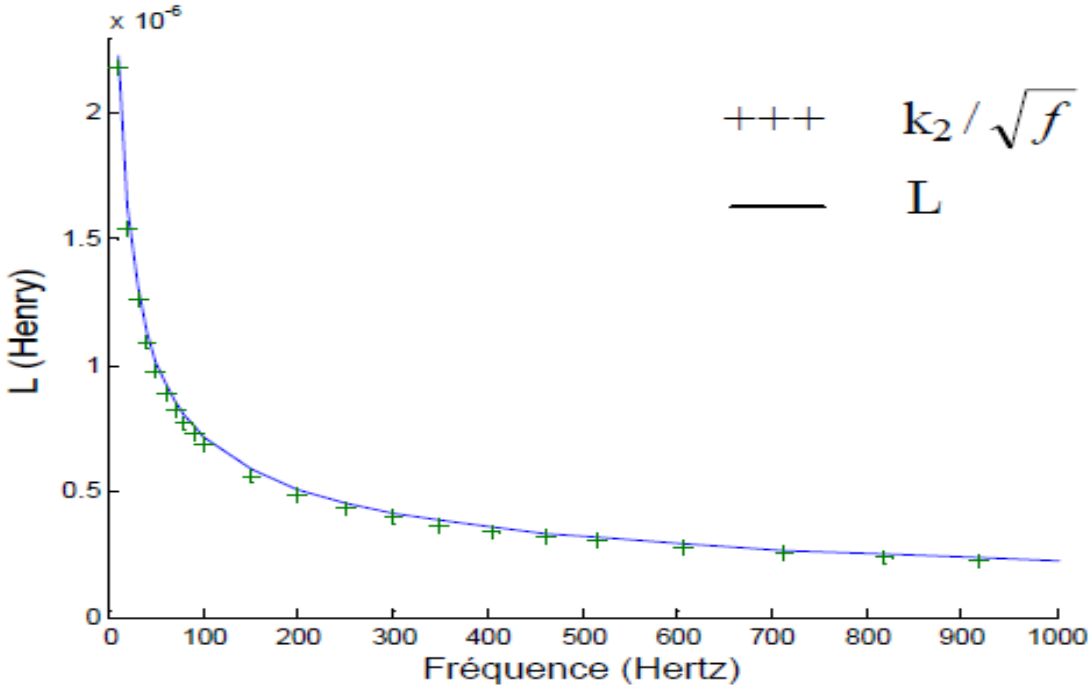


Fig II.6: Effet de la fréquence sur la résistance d:un conducteur massif.

laFig. II.6 représente révolution de l'inductance du conducteur massif " L " (II.4) et son approximation par la grandeur $k_2 / \sqrt{f}$ pour une gamme de fréquence allant de 0 à 1kHz. L inductance " L " a bien un comportement asymptotique en $l/\sqrt{f}$

Lorsque la fréquence augmente, l'expression de la résistance (II.3) et de l'inductance (1-23) peuvent être simplifiées comme en (II.5) et (II.6) :

$$R(\xi) = \xi \frac{\rho 1}{ah} \tanh(2\xi) \quad \text{(II.5)}$$

$$L(\xi) = \frac{3}{2\xi}\frac{\mu_0 1h}{3a}\tanh(2\xi) \quad \text{(II.6)}$$

Avec $\xi = h\sqrt{\pi F \mu_0 \sigma}$

L'approche de la modélisation repose alors sur la décomposition de la fonction tangente hyperbolique soit en une série de Foster soit en une fraction continue [RiuOl], [Tarasiewicz93].

Développement en série de Foster	*Développement en fraction continue*
$\tanh(x) = 2x\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{x^2 + \left[\frac{\pi(2k-1)}{2}\right]^2}$	$\tanh(x) = \cfrac{x}{1 + \cfrac{x^2}{3 + \cfrac{x^2}{5 + \ldots}}}$

Dans le cas d'une décomposition en série de Foster, la barre est modélisée par une infinité de circuits (R-L) série connectés en parallèle (Fig. II.7 (a)). Dans le cas d'une décomposition en fraction continue, la barre est modélisée par des circuits (R-L) en échelle (Fig. II.7 (b)).

Le principal problème de ces approches est le choix de Tordre du système qui dépend de la précision désirée.

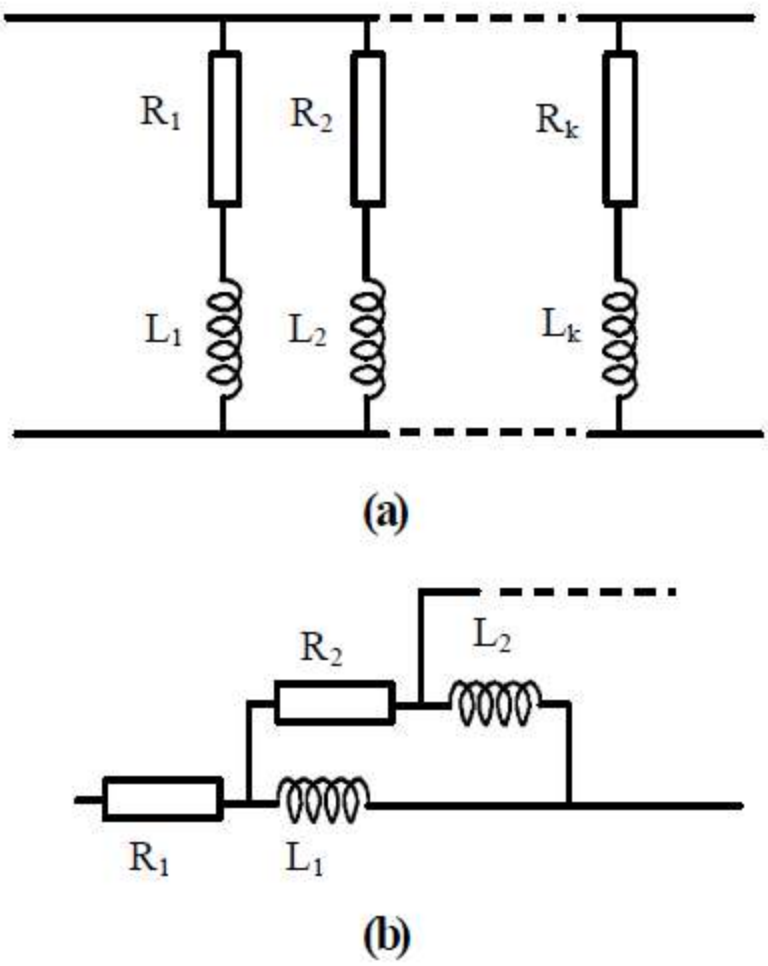


Fig. II.7: Schéma équivalent d'un conducteur massif selon la décomposition : a) en série de Foster. b) en fraction continue.

II.2.2 : Modélisation fréquentielle de la machine asynchrone

Plusieurs types de modèles permettent de prendre en considération l'effet de la fréquence dans une machine asynchrone. Nous nous proposons de présenter quelques modèles existant dans la littérature. Ces modèles sont basés sur la modélisation du conducteur massif soit par une impédance d'ordre entier (réseau de résistance et d'inductance, partie II.2.1) [Ahvash95], [Smith96]. Soit par une impédance d'ordre non entier [Kamwa94], [Canat03]. [Kabbaj97].

II.2.2.1 Modèles d'ordre entier de la machine asynchrone

Ces modèles reprennent la modélisation classique de la machine asynchrone remplaçant les conducteurs du circuit rotorique par des réseaux R_L (Fig. II.8 et F II.9) représentant le conducteur massif [Kabbaj97], [KlingshirnTO].

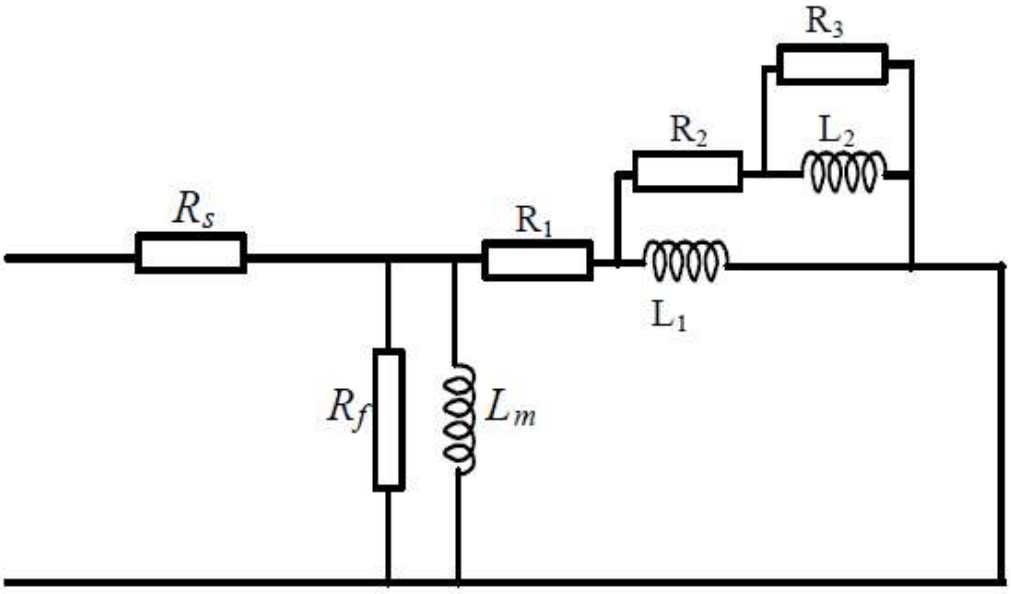


Fig.II.8: Modèle en fraction continue de la machine asynchrone.

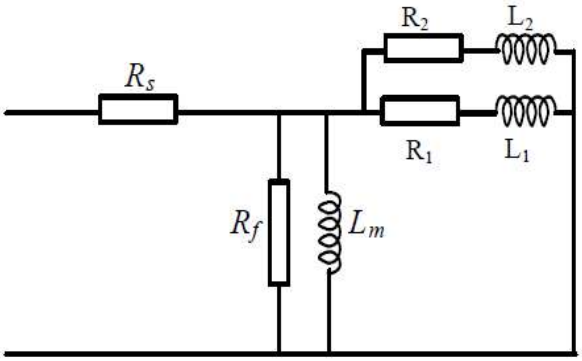
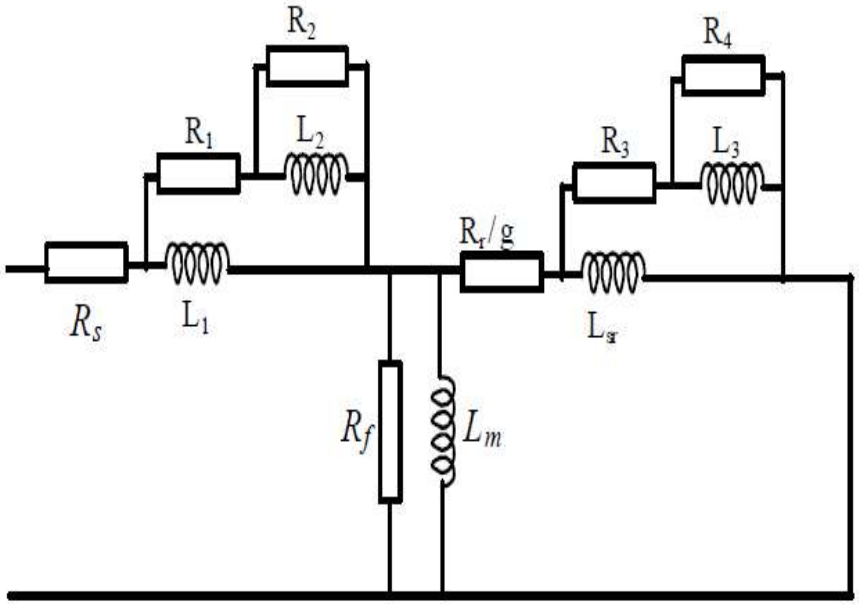


Fig.II.9: Modèle en série de Foster de la machine asynchrone.

Ces deux modèles augmentent Tordre du système afin de prendre en compte la non linéarité associée aux effets de la fréquence. La détermination des paramètres du modèle s'effectue soit à Tarde de l'information géométrique des barres soit par des essais à fréquence variable.

Dans [Vermaelen03], [Benakba0-5]. L'effet de peau est supposé présent dans le stator et dans le rotor, c'est pourquoi, il est modélisé dans les deux parties du circuit. L'impédance qui représente la magnétisation du circuit magnétique et les pertes fer est considérée par principe non sujette à l'effet de peau. Le modèle monophasé en fraction continue de la machine asynchrone devient celui de la Fig. II.10.

Dans le travail de [Vermaelen03] le domaine de fréquence étudié est plus important que celui qui nous intéresse [100Hz. 1MHz]. Or, les fréquences importantes accentuent l'effet de peau et de proximité dans les bobinages stator et ceci même pour des conducteurs de faible dimension (machine de petite puissance.



FigII.10: Modèle de la machine asynchrone avec effet de peau au stator et au rotor (Modèle en échelle).

ITT.2.2.2 Modèles d'ordre non entier de la machine asynchrone

L'application au génie électrique de la dérivation d'ordre non entier a été lancée en parallèle par les laboratoires LAIT (Poitiers). LEET (Toulouse) et LEG (Grenoble). Au LATÏ. les travaux ont été menés dans le cadre de la modélisation et de I identification des systèmes d'ordre non entier [Lin0l. [Benchellal05. La contribution de ce travail repose sur la définition d'un opérateur d'intégration d'ordre non entier à fréquence bornée.

Au LEEI. un premier travail sur une barre du rotor seule a montré que la modélisation d'ordre non entier libre permet de bien rendre compte de l'effet de la fréquence sur I impédance d'un conducteur massif [Khaorapapong0l. Dans la continuité de ce travail, une deuxième étude a été lancée sur l'élaboration d'un modèle complet de la machine asynchrone incluant une représentation d'ordre non entier du rotor [Canat05 (Fig. II.11).

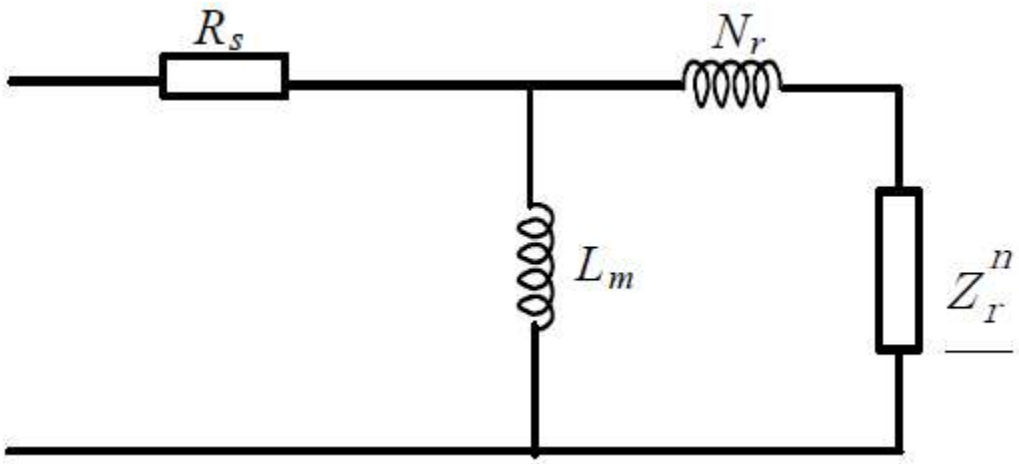


Fig. II.11: Schéma électrique avec prise en compte d'un ordre non entier.

D'après ce dernier auteur, l'impédance d'ordre fractionnaire Z-r peut être explicite ou implicite :

L'impédance explicite $\underline{Z_R}^{\underline{n}} = R_0\left(1+\left(\frac{p}{\omega_n}\right)^n\right)$

avec p= $j\omega$ L'impédance implicite $\underline{Z_R}^{\underline{n}} = R_0\left(1+\left(\frac{p}{\omega_n}\right)^n\right)$

Dana ce travail [Oanat03], une étude expérimentale fréquentielle et temporelle a été réalisée pour confirmer les apports théoriques. Cependant, la comparaison temporelle et fréquentielle des courants absorbés par la machine asynchrone n'a pas été abordée et laméthode d'identification expérimentale ainsi que le choix des paramètres de l'excitation harmonique n'ont pas été discutés.

Au LEG, la modélisation d'ordre fractionnaire des machines électriques (asynchrone et synchrone) a été entamée par [Riu0l avec la proposition d'un modèle d'ordre Vi. L'approche considère que l'impédance du conducteur massif varie comme la racine carrée de la fréquence. Cette représentation sur la machine asynchrone a abouti au schéma électrique de la Fig. II.12.

Le stator est modélisé par une résistance /?_ Le circuit magnétique étant feuilleté, l'inductance magnétisante Lm est supposée constante. La part de l'impédance du rotor non influencée par l'effet de peau est modélisée par une inductance de fuite N_r. $Z_0^{1/2}$ est l'impédance d'ordre1/2 de type résistif modélisant l'effet de peau dans les barres de la cage d'écureuil.

$$Z_0^{1/2} = R_0\sqrt{1+j}\,\frac{\omega}{\omega_0} \textbf{ avec } \omega_0 = \frac{p}{\mu h^2} \textbf{ et } R_0 = \frac{\rho \int}{ah}$$

p est la résistivité du matériau et 1 est la longueur d'une barre de la cage rotorique de largeur a et de hauteur h.

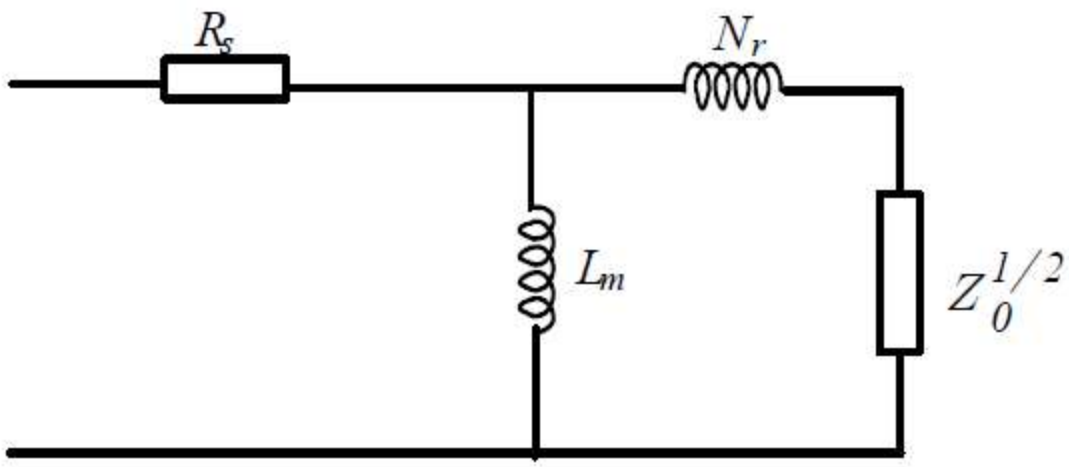


Fig. II.12: Schéma équivalent d'ordre lA de la machine asynchrone.

L'objectif du travail de [Riu0l] a été d'établir un modèle de connaissance des machines électriques sur une gamme de fréquence allant jusqu'à 1kHz avec un nombre minimal de paramètres. La comparaison temporelle du courant de ligne issu d'un modèle d'ordre Vi (Fig II.12) et d'un système d'ordre entier (modèle avec R_L en échelle) (Fig. 1.17) a montré qu'il était plus avantageux de choisir un système d'ordre entier. La comparaison des courants de ligne entre l'expérimentation et les deux modèles n'a pas été abordée pour la machine en fonctionnement.

II.2.2.3 Modèle basé sur le principe des circuits harmoniques

Le but de cette partie est de proposer un modèle fréquentiel simple de type circuit de la machine asynchrone afin de pouvoir reproduire par simulation le courant de ligne de la machine avec 1 essentiel de son contenu spectral et ceci de la manière la plus fidèle possible.

Les harmoniques du courant de ligne de la machine asynchrone ont plusieurs origines possibles :

-les harmoniques qui sont la conséquence d une alimentation non purement sinusoïdale (convertisseur statique, réseau....). Ces composantes sont appelées harmoniques de temps [Ramdani].

-les harmoniques dus à la construction de la machine (bobinage, encoche,...) appelés harmoniques d espace [Mezani04].

-Les harmoniques dus à la saturation magnétique.

Ainsi, les spectres des courants de ligne peuvent contenir des rangs harmoniques dus à la combinaison des trois sources de perturbations harmoniques.

Les travaux effectués sur la modélisation des machines en tenant compte des harmoniques d'espaces proposent un modèle composé d'un circuit équivalent par composante harmonique [Alger70], [Poloujadoff87] et [Mezani04]. Le principe de superposition est utilisé pour considérer que le champ total est la somme des champs harmoniques. Pour chaque composante harmonique, la machine peut être modélisée par un circuit linéaire à constantes localisées dont les valeurs dépendent du point fréquentiel considéré. Le courant statorique résultant est alors obtenu par sommation des différentes composantes harmoniques. Des formules analytiques approchées, relativement empiriques, sont établies par divers auteurs [Alger70]. [PoloujadoffS7] afin de déterminer les différents éléments du schéma équivalent de la Fig. 1.23.

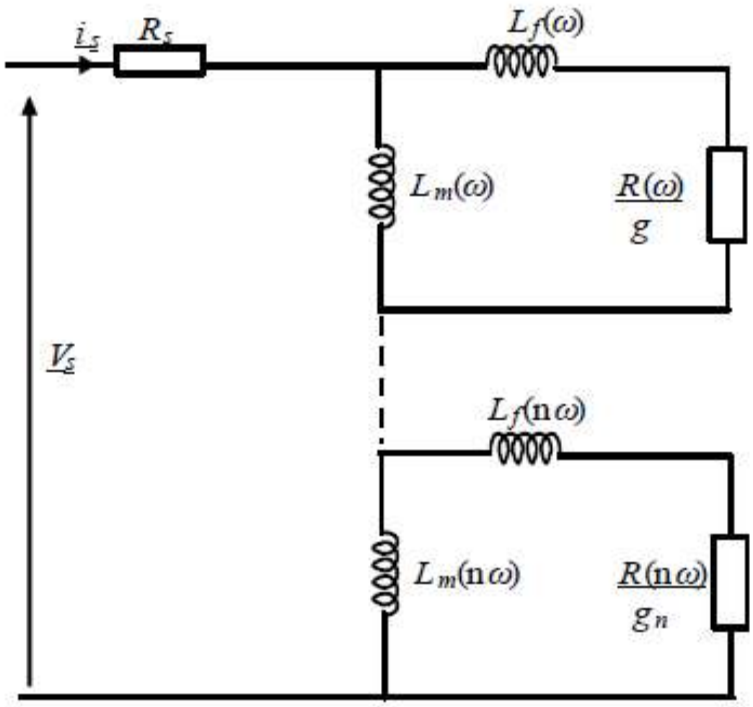


Fig I.13: Schéma équivalent par phase incluant différents harmoniques d'espace.

Sous le couvert de ce même principe de superposition, nous proposons un modèle qui prend en compte 1 "influence des différents harmoniques provenant de la source d'alimentation. Dans notre approche, nous considérons un modèle valable pour une alimentation en tension ne contenant que le fondamental et un modèle harmonique pour une source harmonique (Fig. II.14). La superposition des courants résultant représente le courant de ligne de la machine. Ce principe induit un découplage entre les régimes fondamental et harmonique. Cette séparation est bénéfique car elle permet d'éliminer l'influence du modèle harmonique sur le modèle classique lors d'un fonctionnement au régime fondamental. De plus, dans la pratique, les essais d'identification des deux régimes fondamental et harmonique se font le plus souvent de manière totalement dissociée ce qui facilite l'identification des modèles proposés. Ce type de modèle suppose que lors d'une alimentation purement sinusoïdale, le modèle harmonique n'est pas utilisé et par conséquence les harmoniques d'espace ou

ceux liés à la saturation magnétique ne sont pas pris en considération. Ce cas de figure n'est pas fréquent dans la réalité car le réseau n'est pas parfait et comporte toujours des perturbations harmoniques.



Fig. II.14: Principe de superposition des modèles.

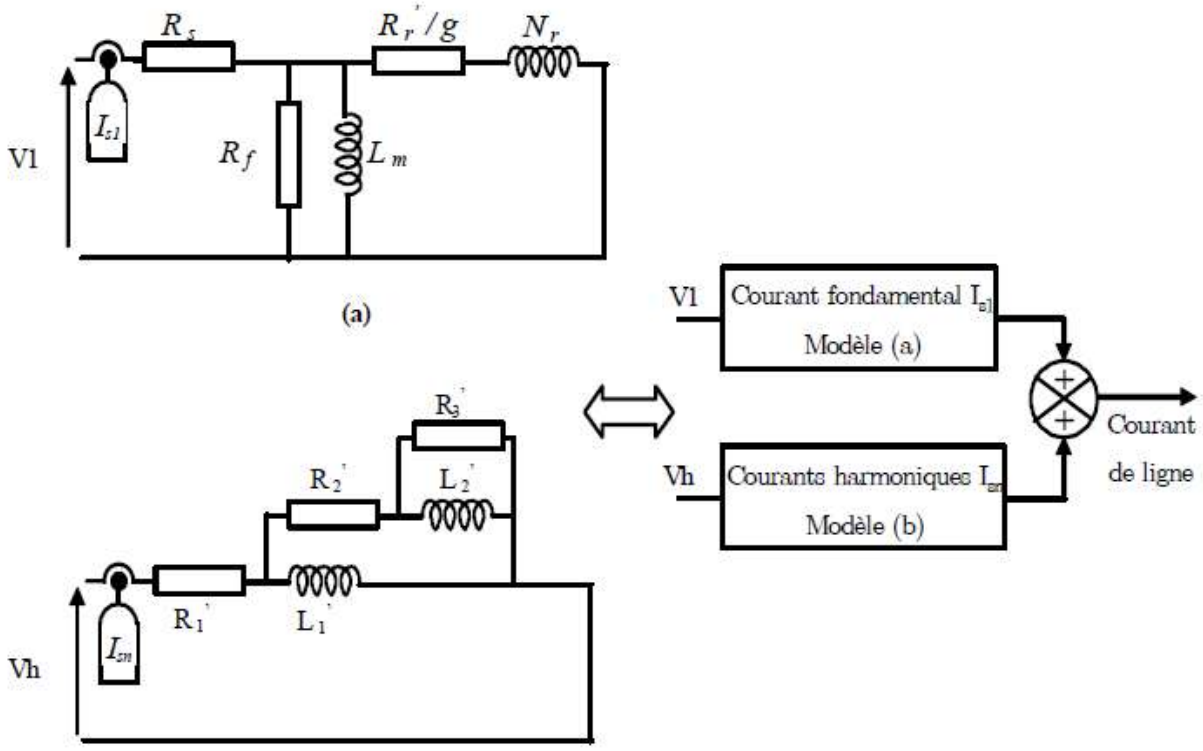


Fig II.16: Modèle au fondamental (a) et modèle harmonique (b) de la machine asynchrone.

Pour le fondamental, nous proposons le modèle classique monophasé de la machine asynchrone. Quant au modèle représentant les harmoniques, nous nous sommes basés sur la modélisation d'un conducteur massif et nous choisissons le modèle à base de cellules R_L en échelle.

Les paramètres du modèle classique peuvent être identifiés à l'aide des essais habituels (à vide et en court-circuit). Par contre, l'identification des paramètres du modèle harmonique nécessite la mise en œuvre d'essais spécifiques et suffisamment informatifs. De plus, un algorithme d'identification efficace doit être utilisée pour déduire les paramètres à partir des mesures réalisées.

III Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons situé notre travail dans le vaste domaine de la CEM. Notre étude s'intéresse à la modélisation fréquentielle de la machine asynchrone pour la reproduction des phénomènes électriques harmoniques et incerharmoniques basses fréquences. Nous avons mis en exergue les origines diverses de ces perturbations ainsi que les différentes conséquences néfastes qu'ils peuvent avoir. Pour prendre en considération de manière réaliste la propagation des perturbations conduites basses fréquences (harmoniques, inter harmoniques) dans les réseaux électriques, il nous a paru nécessaire de prendre en compte ces phénomènes dans la modélisation des machines asynchrones qui se trouvent au oçeur de oes réseaux. Dans ce cadre, nous nous sommes concentrés sur le oas d'un variateur de vitesse habituellement employé pour alimenter les machines asynchrones, pour lequel nous avons décrit le mécanisme de génération d'harmoniques et d'interharmoniques. Poux représenter le comportement de la machine, deux modèles principaux issus de la littérature ont été présentés. Le premier est le modèle d'ordre entier et le deuxième est d'ordre non entier. Nous avons également proposé un modèle basé sur le principe de superposition et inspiré des travaux réalisés sur la modélisation de la MAS avec la prise en considération des harmoniques d'espace.

L'intérêt de tous les modèles est de représenter l'effet de la fréquence sur une certaine gamme avec des avantages et des inconvénients liés à leur précision et leur facilité de mise en œuvre. Or. leur comparaison nécessite de confronter leurs performances en simulation avec les mesures expérimentales. La première étape vers la simulation consiste en l'identification des paramétres des modèles. Nous nous intéresserons donc aux méthodes de mesure en vue de l'identification dans le chapitre 3.

Introduction

Dans un premier temps, nous relevons le courant de ligne absorbé par une machine asynchrone alimentée par un onduleur.

Pour la simulation- nous alimentons les modèles de la machine par la tension d'alimentation prélevée aux bornes de la machine réelle . Cette opération permet de simuler les conditions réelles de fonctionnement de la machine et de s'affranchir d'éventuelles différences que l'on obtiendrait en utilisant un modèle d'onduleur. Par conséquent, la simulation ne tiendra pas compte des interactions entre la machine et l'onduleur.

III.1 Modèle harmonique

Pour le modèle harmonique, il est nécessaire de séparer le fondamental et les composantes harmoniques de la tension d'alimentation. A cet effet, nous avons utilisé un filtre. Le fondamental sert à alimenter le modèle classique et les harmoniques à alimenter le modèle les représentant (Fig III.1).

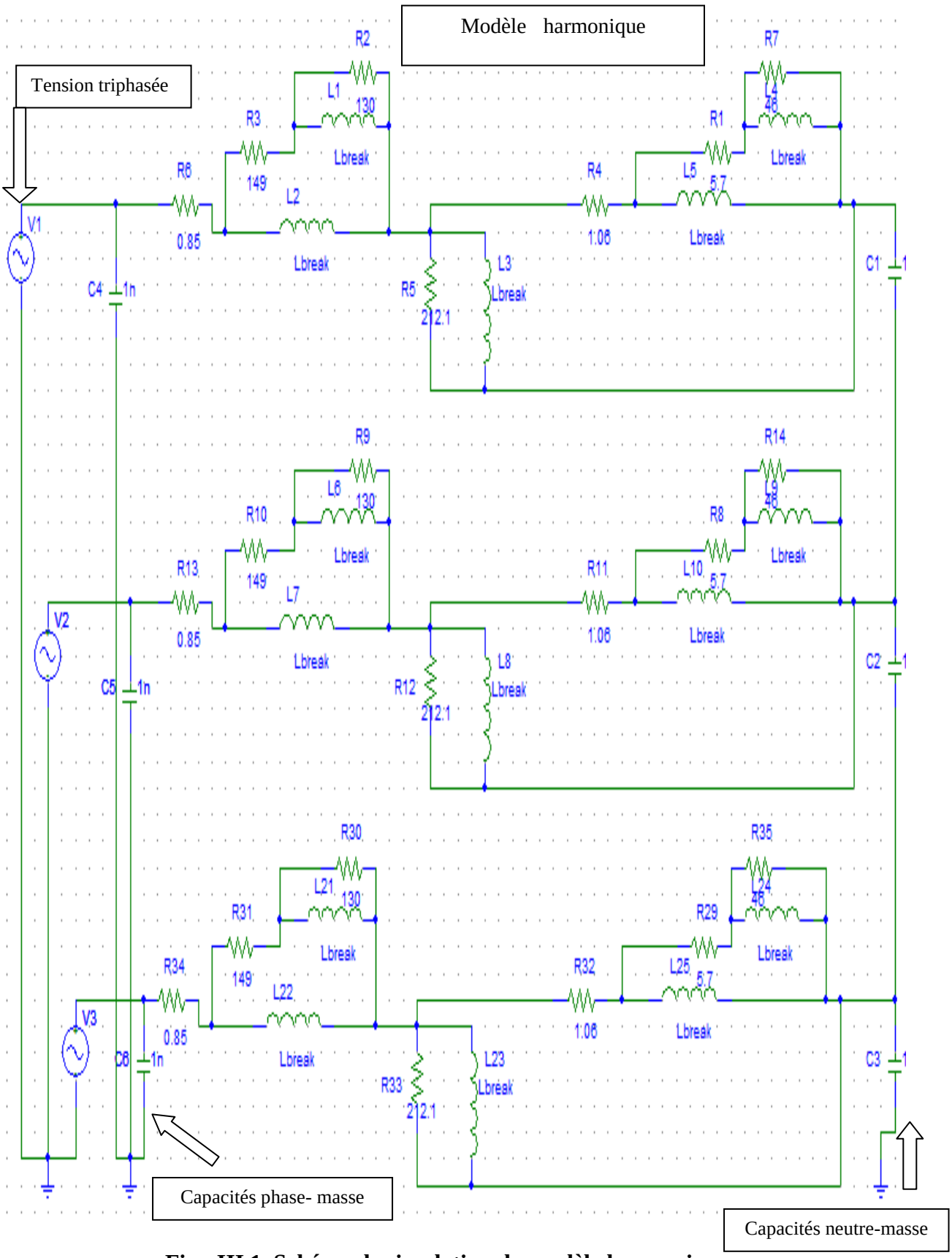


Fig. :III.1. Schéma de simulation du modèle harmonique

III.2 Machine asynchrone alimentée par onduleur :

Après l'étude des performances du modèle harmonique dans le cas dune alimentation directe de la machine par le réseau, nous désirons montrer qu'il permet également de prévoir le comportement (électrique) de la machine asynchrone lorsqu'elle est associée à un onduleur.

Le circuit intermédiaire d'équilibrage de la figure III.1 est fondé sur l'idée d'exploiter à la fois les propriétés des circuits d'équilibrage inductif et résistif. Dans ce type de circuit, la partie résistive est utilisée principalement pour dissiper momentanément l'énergie stockée dans la bobine en cas de nécessité. Le circuit envisagé permet de réduire à la fois les oscillations et les pertes par effet Joule engendrées auparavant par les circuits d'équilibrage soit purement inductifs ou purement résistifs. Evidemment, les tensions continues sont contrôlées à la fois par les cellules du circuit d'équilibrage et les boucles de régulation côtés redresseurs.

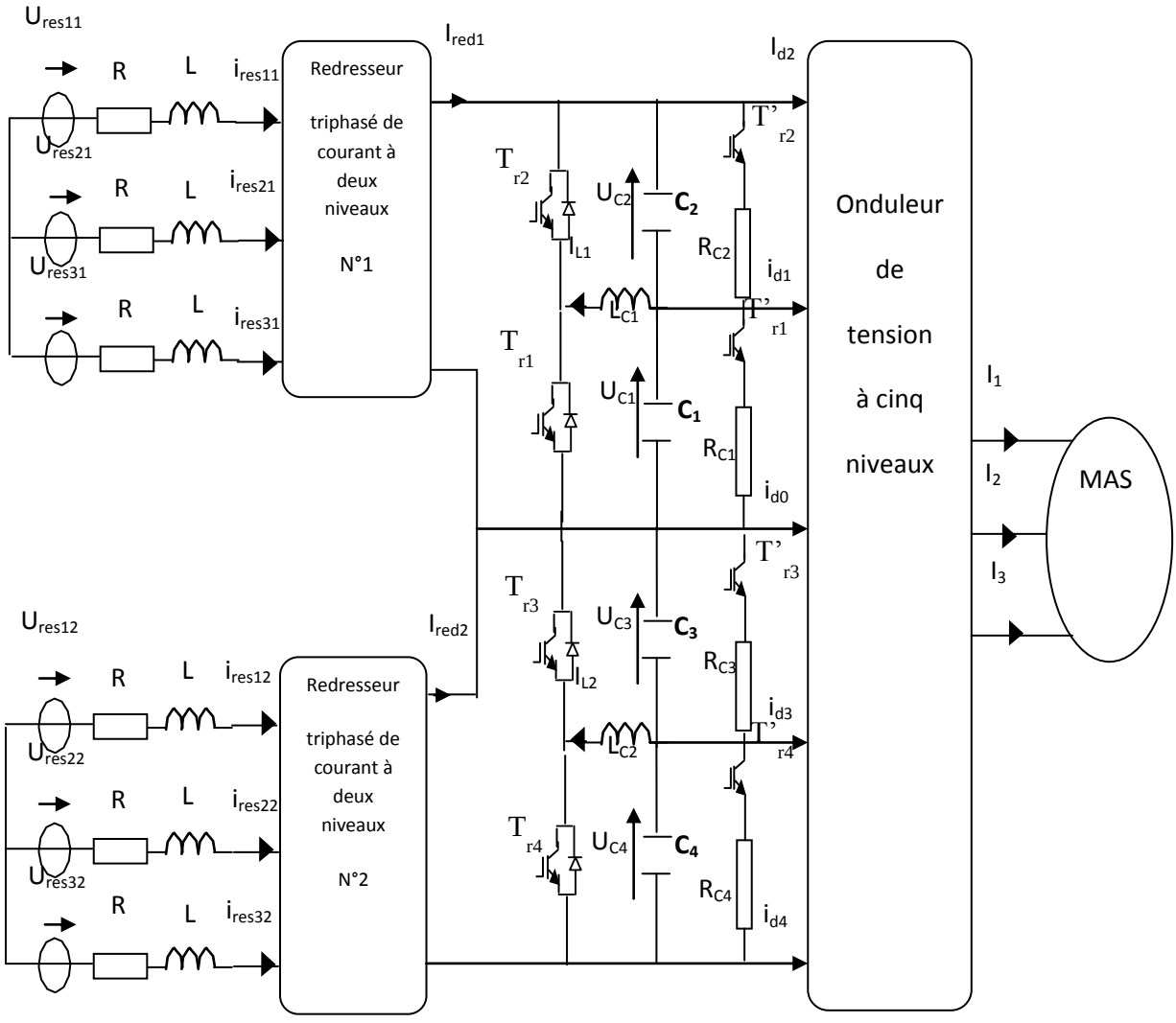


Figure III.2 : Structure de la cascade de deux redresseurs de courant à deux Niveaux – Circuit d'équilibrage Mixte – Onduleur à cinq niveaux – MAS

III.2.1 Modélisation et commande du circuit intermédiaire

Les courants traversant les bobines sont définis par :

$$L_{C1}\frac{di_{L1}}{dt} = S_1 U_{C1} - S_2 U_{C2}$$

$$L_{C2}\frac{di_{L2}}{dt} = S_4 U_{C4} - S_3 U_{C3}$$

Les tensions aux bornes des condensateurs du circuit d'équilibrage sont définies par :

$$C_2 \quad \frac{dU_{C2}}{dt} = I_{rd1} - id2 + S'_2 \quad \frac{U_{C2}}{R_{C2}} \quad + S_2 \quad i_{L1}$$

$$C_1 \quad \frac{dU_{C1}}{dt} = I_{rd1} - id1 \quad - id2 - S'_1 \quad \frac{U_{C1}}{R_{C1}} \quad - S_1 \, i_{L1}$$

$$C_3 \quad \frac{dU_{C3}}{dt} = I_{rd2} + id3 \quad + id4 - S'_3 \quad \frac{U_{C3}}{R_{C3}} \quad + S_3 \, i_{L2}$$

$$C_4 \quad \frac{dU_{C4}}{dt} = I_{rd2} + id4 - S'_4 \quad \frac{U_{C4}}{R_{C4}} \quad - S_4 \quad i_{L2}$$

Les commandes S_i et S'_i (i=1,..,4) sont données par l'algorithme suivant :

$U_{C1} > U_{C2}$ & $i_{L1} > 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 1$, $S_2 = 0$, $S'_1 = 0$ et $S'_2 = 0$

$U_{C1} > U_{C2}$ & $i_{L1} < 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 1$, $S_2 = 0$, $S'_1 = 1$ et $S'_2 = 0$

$U_{C1} < U_{C2}$ & $i_{L1} < 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 0$, $S_2 = 1$, $S'_1 = 0$ et $S'_2 = 0$

$U_{C1} < U_{C2}$ & $i_{L1} > 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 0$, $S_2 = 1$, $S'_1 = 0$ et $S'_2 = 1$

$U_{C4} > U_{C3}$ & $i_{L2} > 0$ $\Rightarrow$ $S_4 = 1$, $S_3 = 0$, $S'_4 = 0$ et $S'_3 = 0$

$U_{C4} > U_{C3}$ & $i_{L2} < 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 1$, $S_2 = 0$, $S'_4 = 1$ et $S'_3 = 0$

$U_{C4} < U_{C3}$ & $i_{L2} < 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 0$, $S_2 = 1$, $S'_1 = 0$ et $S'_2 = 0$

$U_{C4} < U_{C3}$ & $i_{L2} > 0$ $\Rightarrow$ $S_1 = 0$, $S_2 = 1$, $S'_1 = 0$ et $S'_2 = 1$

III.2.2 Résultats de simulation

Les valeurs des paramètres adoptés dans cette simulation sont : $C_1=C_2=C_3=C_4=20$ mF, $R_c=25\Omega$., $L_{c1}=L_{c1}=80$mH. Les tensions des réseaux seront multipliées par un facteur de réduction. Pour le cas de la figure III.7.d égale 0.1, et $U_{Cref\ es}$ est fixé à 200v.

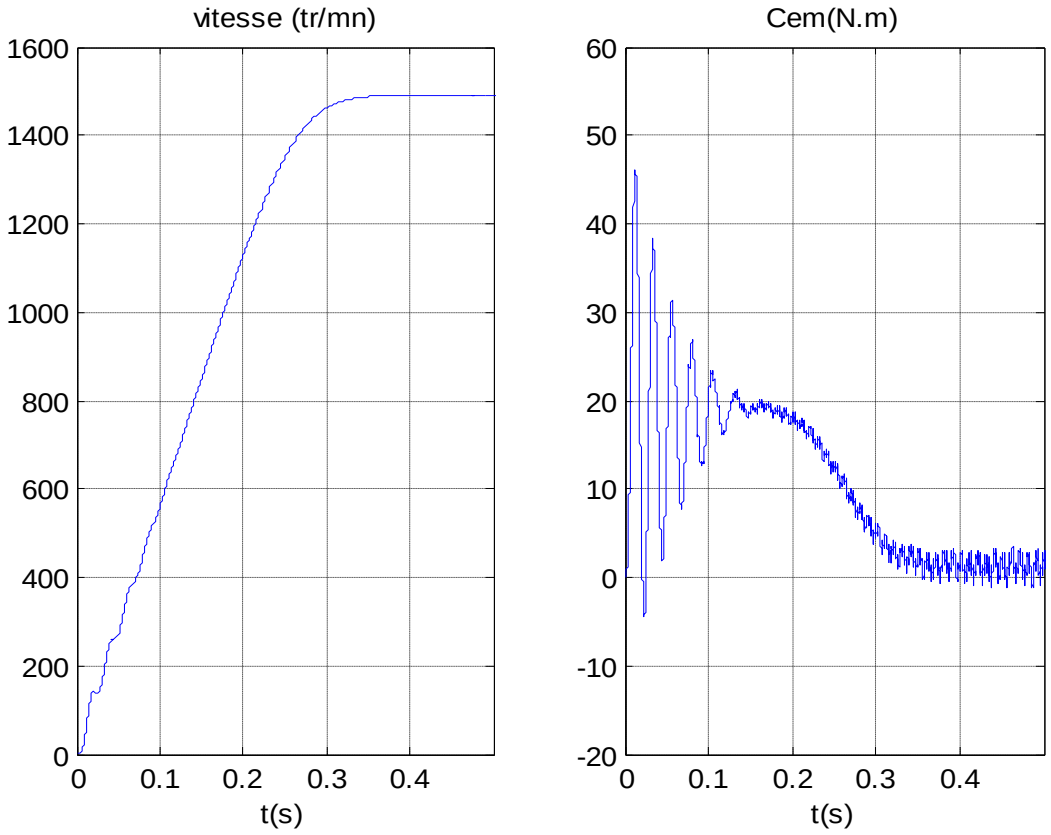


Figure III.2.a :la vitesse et le couple du la machine asynchrone

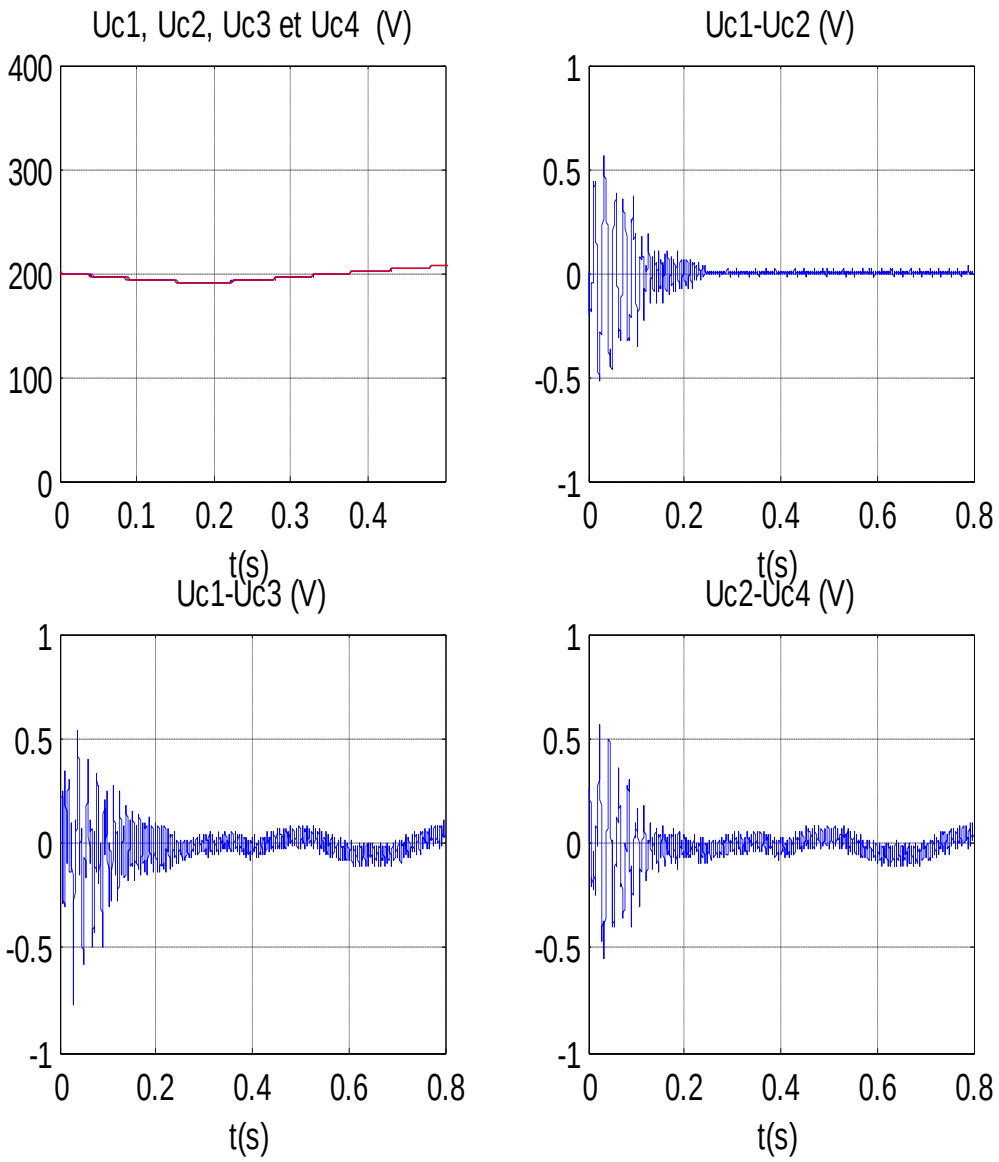
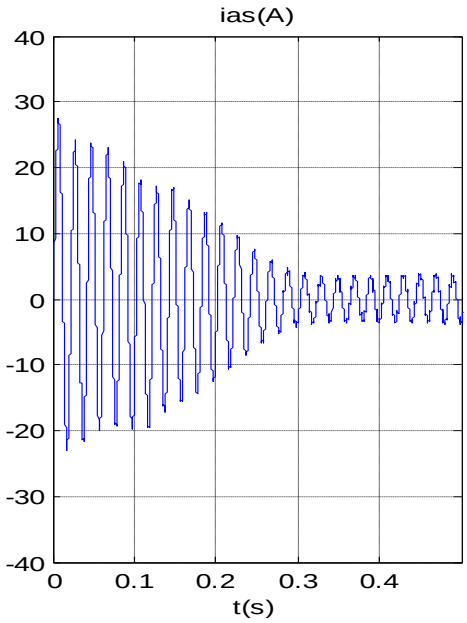
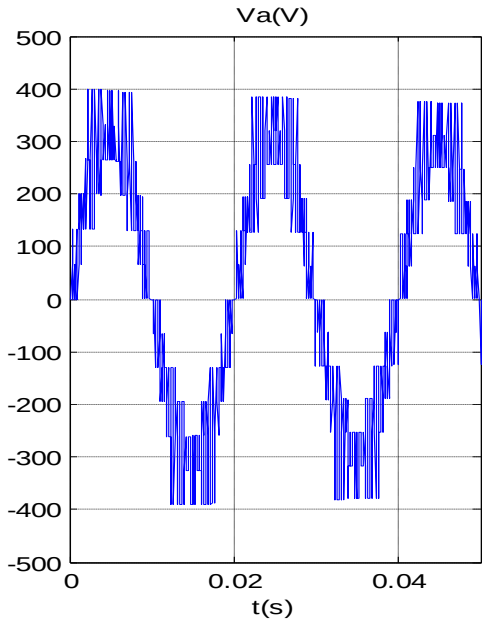
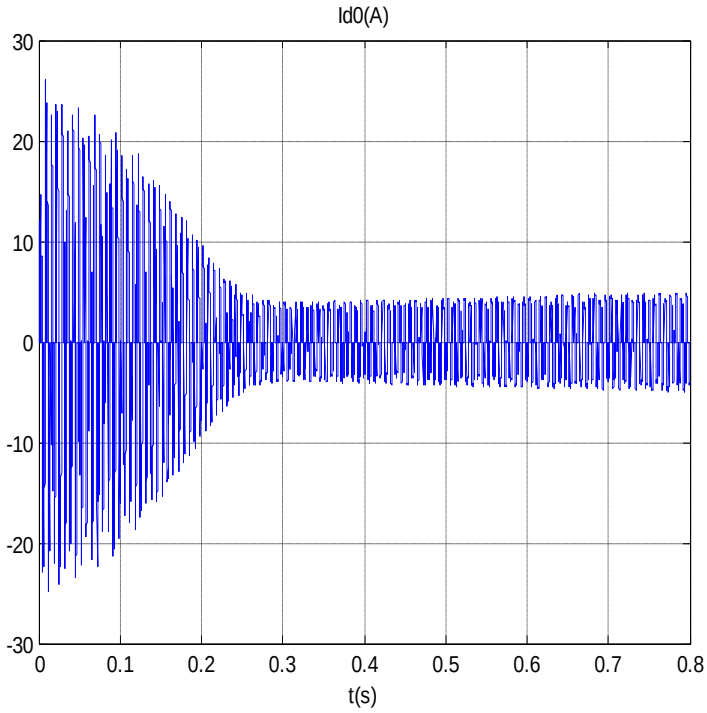


Figure III.2.b : les tensions d'entrée U_{C1}, U_{C2}, U_{C3} et U_{C4} et leurs différences U_{C1} -U_{C2} , U_{C1} - U_{C2} et U_{C2} -U_{C4} .


ias(A)
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
0
0.1
0.2
0.3
0.4
t(s)


Va(V)
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
0
0.02
0.04
t(s)


Id0(A)
30
20
10
0
-10
-20
-30
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
t(s)

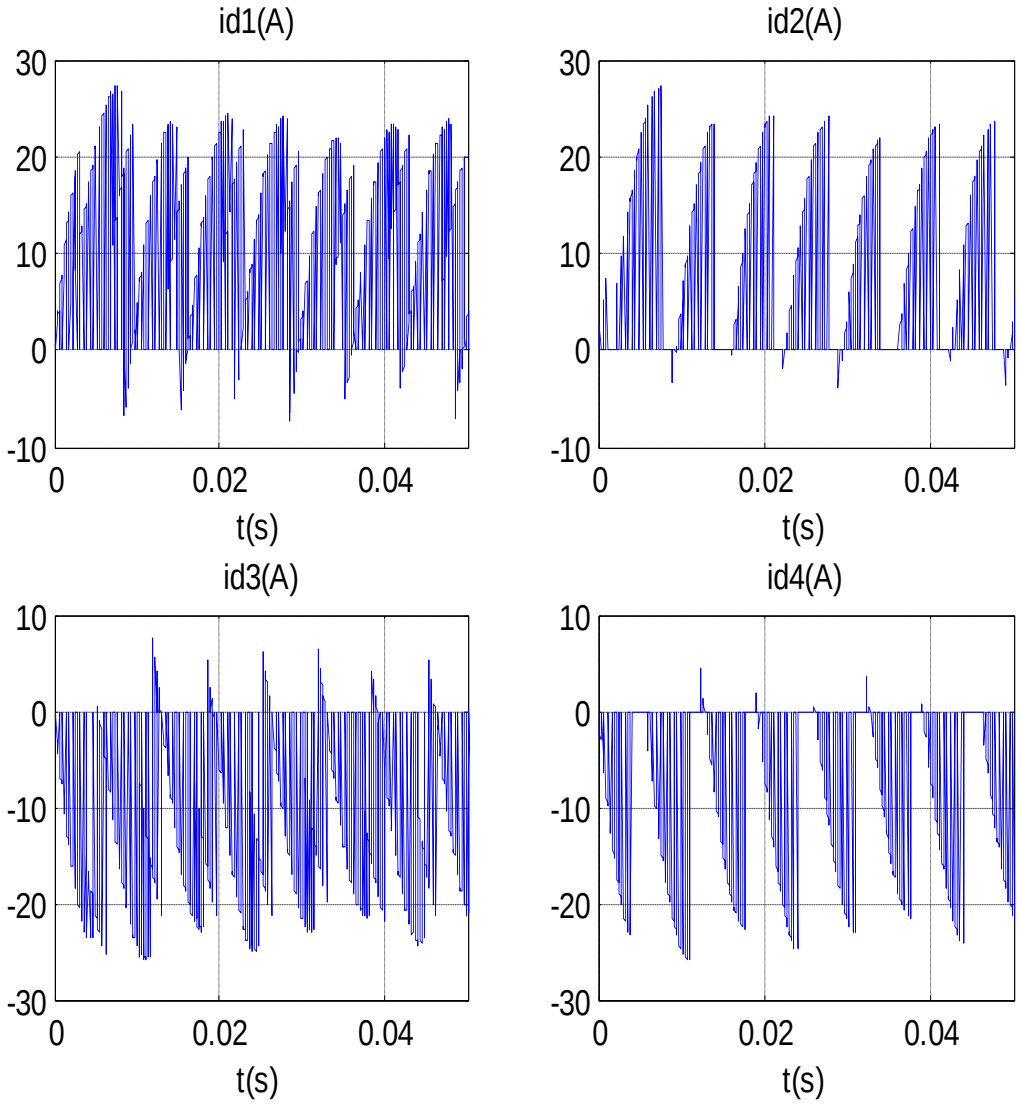


Figure III.2.c : La tension V_a et les courants I_{as} , I_{d0} , I_{d1} , I_{d2} , I_{d3} et I_{d4}.

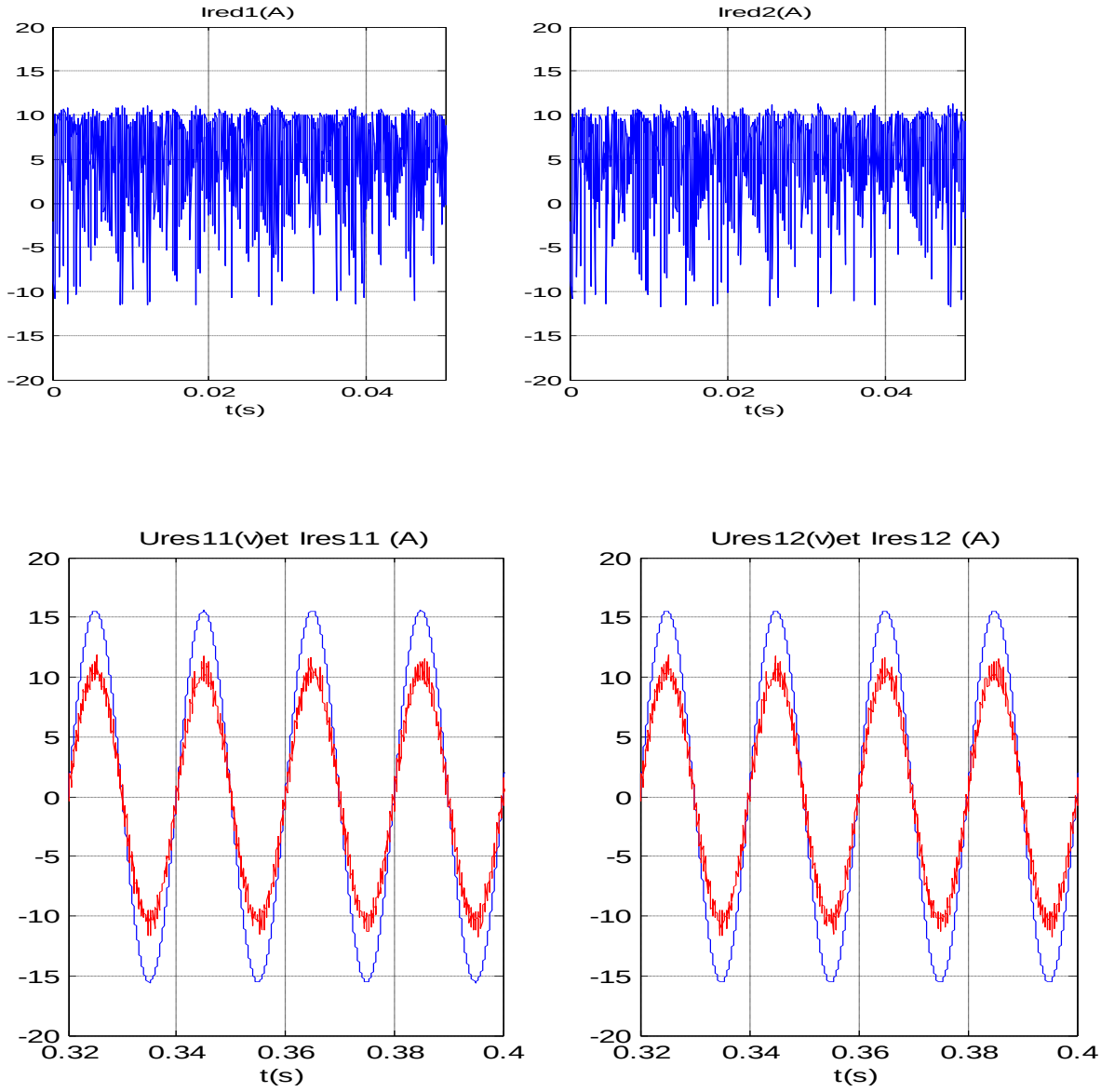


Figure III.2.d : Les tensions de réseau U_{res11} et U_{res12} et les courants de réseau I_{res11} et I_{res12}.

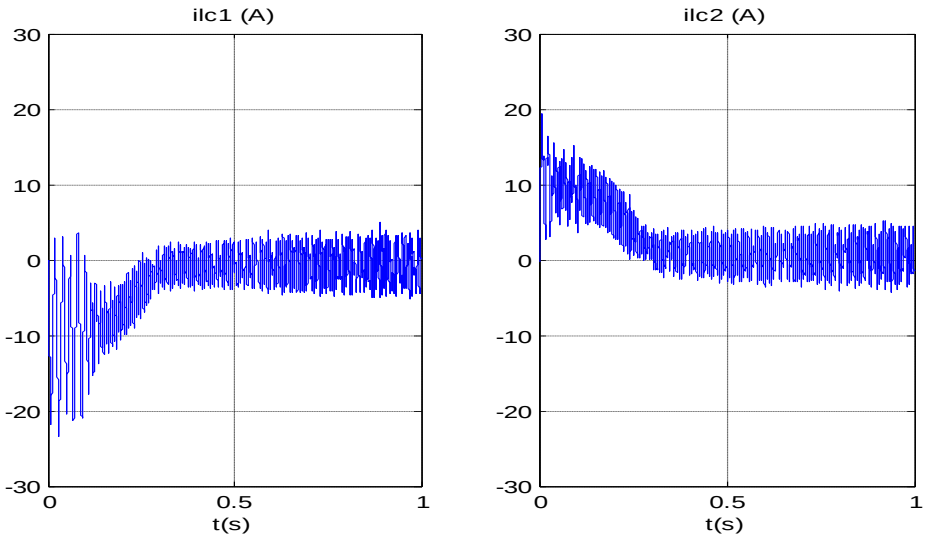


Figure III.7.e : Les courants des bobines d'équilibrage

Figure III.2.* : Performances de la cascade de deux redresseurs à deux niveaux-

Onduleur triphasé à cinq niveaux

Interprétation

La figure III.2.b montre l'efficacité de stabilité des tensions aux bornes des condensateurs

De la figure III.2.d, on constate que les facteurs de puissance des deux réseaux sont unitaires.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé l'application des circuits d'équilibrage additionnels de types mixte, pour vaincre le problème de déséquilibre des tensions d'entrée de onduleur a cinq niveau a structure NPC.

La confrontation des résultats de simulation du modèle harmonique avec In ensembles de a confirmé que l’essai avec offset permettait d'avoir In meilleurs résultats tant du point de vue de l'évolution temporelle que de la décomposition harmonique, Il serait souhaitable de réaliser un essai d'identification plus élevé pour reproduire plus fidèlement le comportement nominal de la machine.

Conclusion Générale

La diffusion croissante de l'électronique de puissance dans les équipements électriques entraîne une dégradation de la qualité de la tension des réseaux de distribution. Au cœur de ces réseaux électriques, la machine asynchrone est la machine électrique la plus couramment utilisée dans les applications industrielles.

Dans ce travail, nous avons étudié la modélisation fréquentielle fine de type circuit de la machine asynchrone afin de reproduire précisément les perturbations harmoniques et interharmoniques dans les courants de lignes. Après avoir étudié quelques modèles de la machine asynchrone, nous avons proposé un modèle dit "harmonique" .

Dans ce travail, nous avons étudié la commande de la cascade d'un redresseur à MLI à deux niveaux-onduleur cinq niveaux-machine asynchrone. Notre objectif était de fournir une tension aussi proche que possible d'une sinusoïde pour alimenter la machine.

Un calcul des pertes harmoniques au niveau de la machine a été réalisé dans le cas d'une alimentation par onduleur MLI. L'usage du modèle harmonique dans ce calcul conduit à des résultats s'approchant des pertes mesurées. Cependant, nous avons noté que ce sont les composantes fréquentielles liées à la commutation qui sont alors les plus influentes. Une amélioration de l'estimation de ces pertes nécessite donc l'identification des paramètres du modèle harmonique sur une bande de fréquence plus large.

Pour les besoins de ce mémoire, il a été nécessaire de s'investir de manière importante dans le banc d'essais expérimental. Les essais fréquentiels réalisés en vue de l'identification ont permis de constituer une base de connaissance intéressante concernant l'identification des machines. Cet investissement a permis de confronter les résultats de simulation.

Pour commencer, il serait intéressant d'intégrer le modèle que nous proposons dans un logiciel de simulation des harmoniques dans les réseaux électriques. Étudier le comportement d'un réseau composé de diverses source et charge.

Enfin, l'étude des résultats simulation dans l'ensemble onduleur cinq niveaux à structure NPC – MAS est une partie intéressante qui compléterait l'approche de la modélisation frèquentielle.

PARAMETRES DE LA MACHINE

La machine asynchrone

La plaque signalétique :

Puissance nominale :	$P_n = 1.5\,KW$
Nombre de paire de pôles :	$p = 2$
Vitesse nominale :	$N_n = 1420\,tr/mn$
Tension nominale :	$V_n = 220/380\,V$
Intensité nominale :	$I_n = 3.64/6.31\,A$
Fréquence nominale :	$F = 50$ Hz

Paramètres électriques :

Résistance d'une phase statorique :	$R_S = 4.850\Omega$
Résistance d'une phase rotorique :	$R_r = 3.805\Omega$
Inductance cyclique statorique :	$L_S = 0.274H$
Inductance cyclique rotorique :	$L_r = 0.274H$
Inductance mutuelle cyclique :	$L_m = 258H$

Les paramètres mécaniques :

Moment d'inertie :	$J = 0.031 kgm^2$
Coefficient de frottement :	$f_1 = 0.001136\ kgm^2/s$



السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

République Algérienne démocratique et populaire
Le ministère de l'Enseignement supérieur et la recherche scientifique
Faculté des sciences et de la technologie
Département : Génie électrique
Option : réseau électrique

Thème

Modélisation fréquentielle de la MAS sous l'effet des harmoniques généré par un onduleur

Présenté par :

Mr.BARKI Billal

Mr:GHERNAOUT

Encadré par :

Dr. GACEMI ABDERRAZEK

Le plan d'exposé

Introduction Générale

Chapitre I — Généralités sur les Harmoniques

Chapitre II — Modélisation Fréquentielle de la MAS

Chapitre III — Identification fréquentielle de la MAS

Conclusion Générale

Introduction générale

- La machine électrique alternative est alimentée à travers un convertisseur de puissance ,cette alimentation généralement c'est un génératrices de perturbations harmoniques.
- Notre travail consiste à proposer un modèle fréquentiel de la machine asynchrone, de type harmonique.
- Ce modèle doit permettre la reproduction principales des composantes fréquentielles basses fréquences contenues dans le courant de ligne lorsque la machine est alimentée par onduleur.

Chapitre I

Généralités sur les Harmoniques

Les perturbation électromagnétiques

- La forme de l'onde, de courant ou de tension, relevée dans les réseaux industriels s'éloigne de plus en plus souvent de la forme sinusoïdale
- . La non linéarité des récepteurs va générer un courant dit " déformé " .
- Le signal déformé peut se décomposer en une somme d'ondes sinusoïdales et d'une composante continue.
- On distingue le fondamental (composante sinusoïdale de fréquence égale à celle du signal) des harmoniques (composantes de fréquence multiple de celle du signal).

Les modes de propagation des perturbations

La perturbation d'un équipement met en jeu trois éléments :

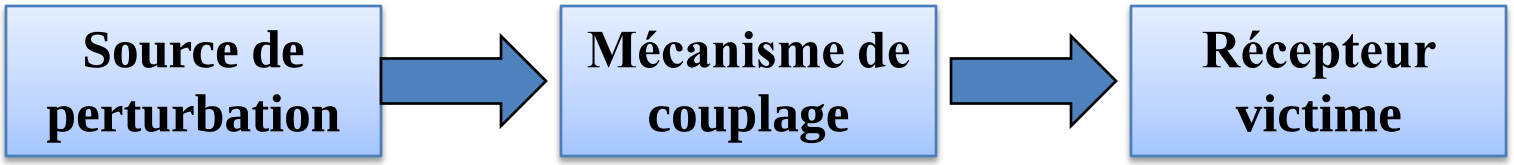


Schéma de propagation des perturbations

Les caractéristiques des perturbations

-**Le creux de tension** : c'est une baisse brutale de la tension en un point d'un réseau d énergie électrique .

-- **La surtension** : c'est toute tension appliquée à un équipement dont la valeur de crête.

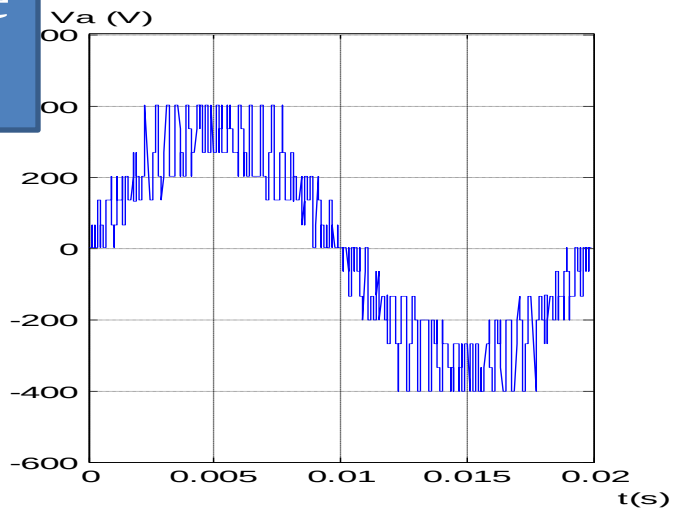
-- **Les fluctuations de tension :** ce sont une suite de variations cycliques ou aléatoires de l'enveloppe de la tension.

- - **Les déséquilibres :** lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120°.

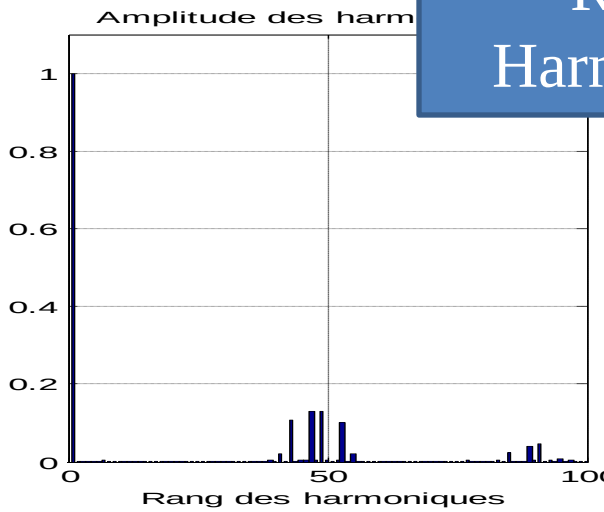
Les harmonique

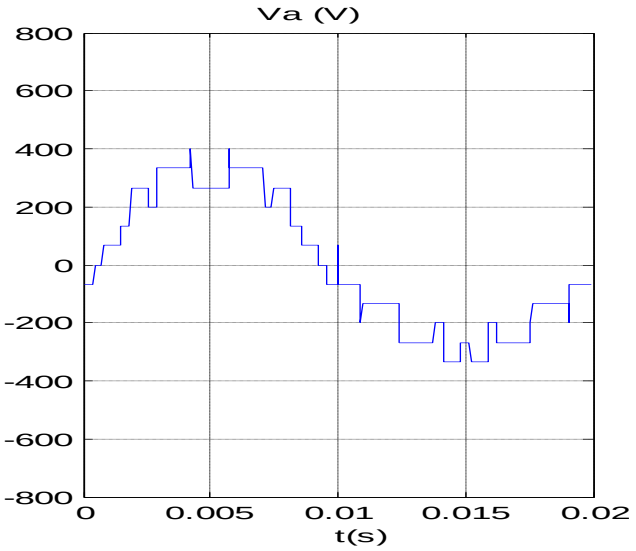
• Pour les harmoniques, ils proviennent principalement de charges non linéaires dont la caractéristique est d'absorber un courant qui n'est pas proportionnel à la tension qui alimente. Ce courant se distingue par un spectre riche en composantes harmoniques. Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau créent des tensions harmoniques qui peuvent perturber le fonctionnement des autres utilisateurs de ce même réseau.

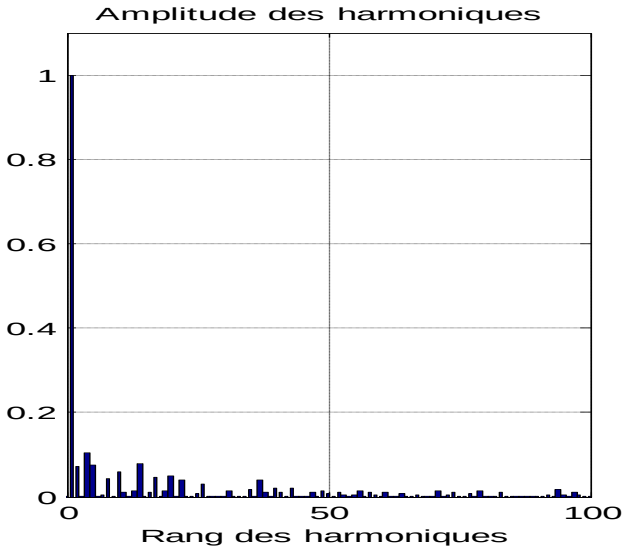
Harmonique De tension



Range Harmonique





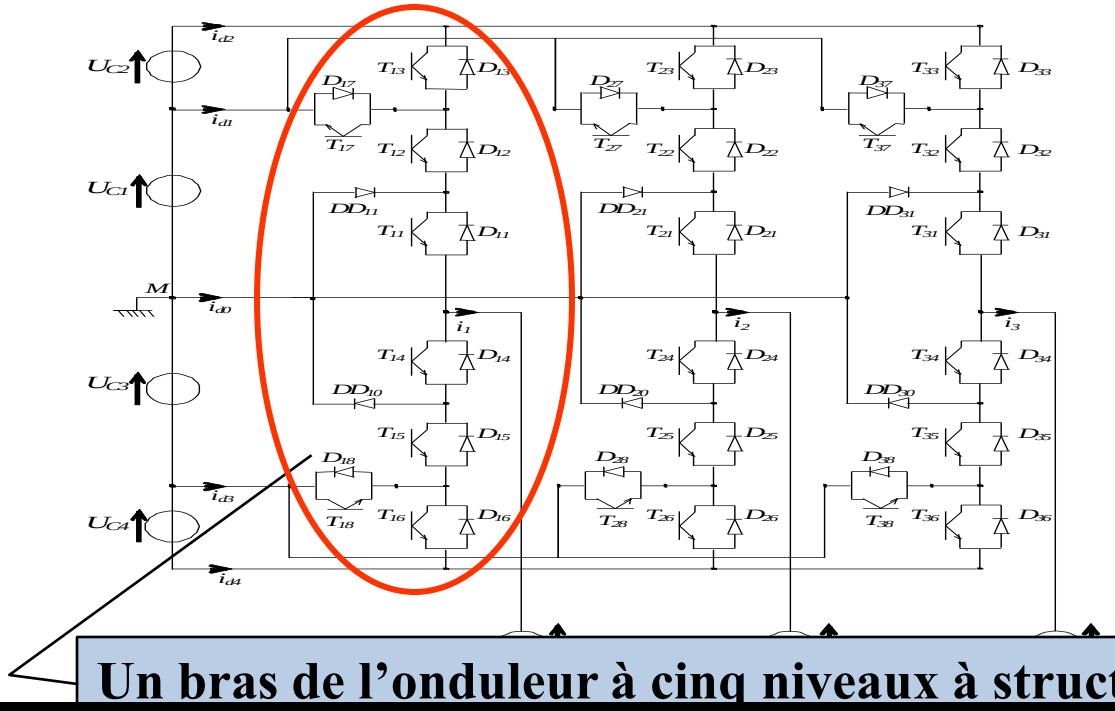


les effets harmoniques

Nature du matériel électrique	Effet de la «pollution harmonique »
Machines tournantes	**-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. -Pertes diélectriques supplémentaires.**

Modélisation de l'onduleur de tension à cinq niveaux à structure NPC

Le bon fonctionnement de l'onduleur consiste à régler les sources de tension coté continu. La substitution de ces sources par des condensateurs alimentés par des redresseurs, donne naissance à une structure plus intéressante. Donc la méthode de commande est nécessaire.

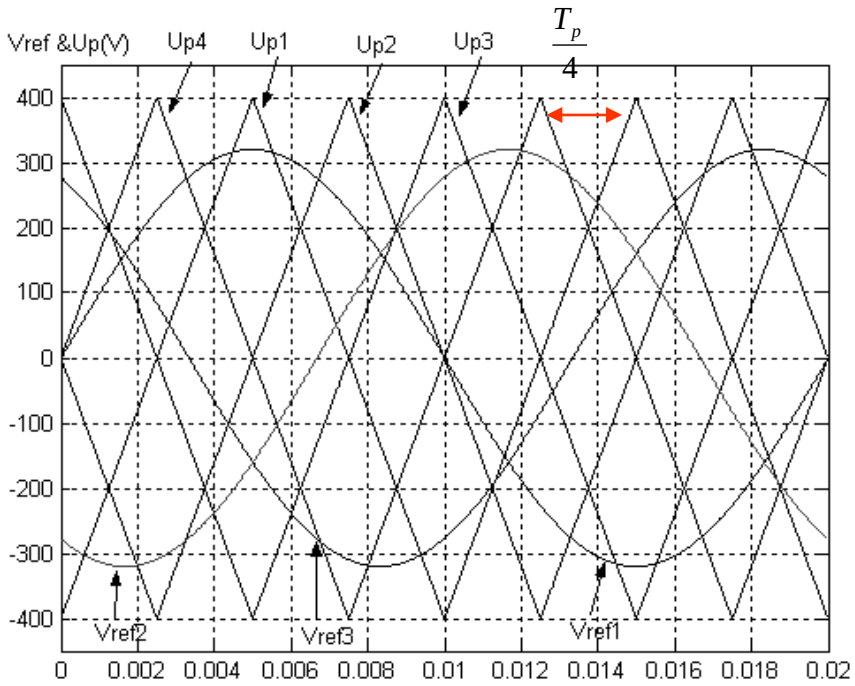


Un bras de l'onduleur à cinq niveaux à structure NPC

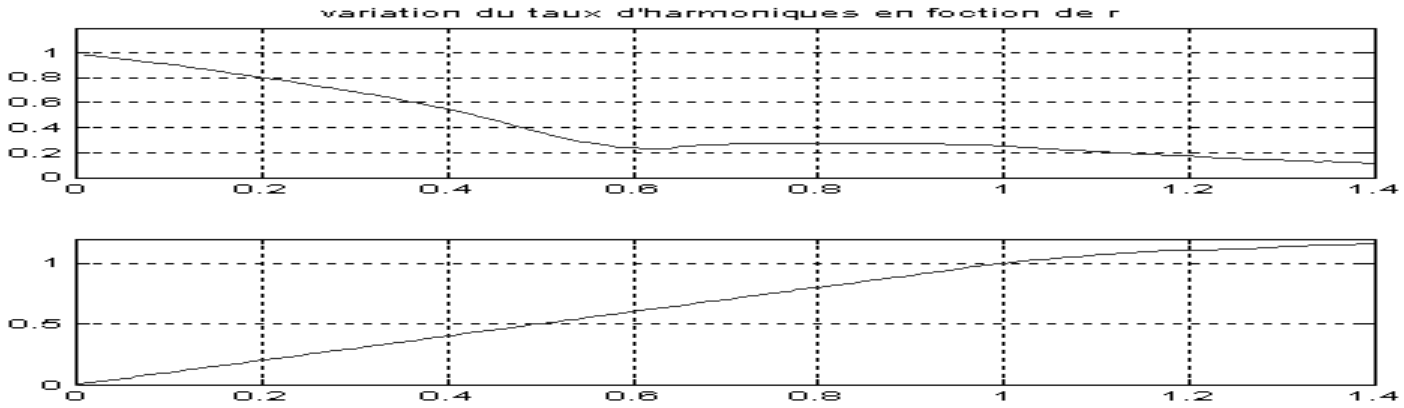
Algorithme

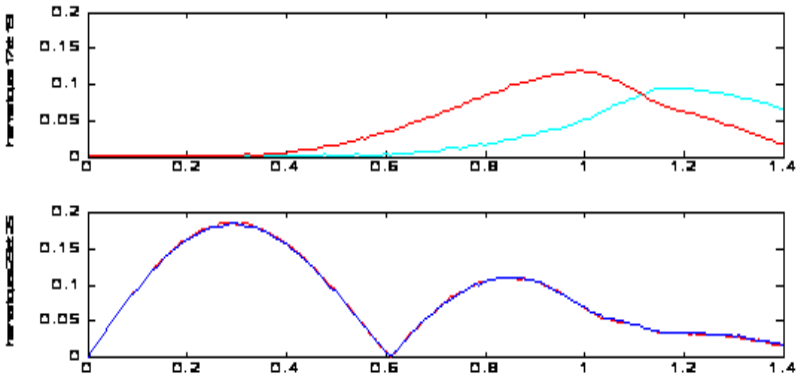
On peut utiliser quatre porteuses identiques, déphasées d'un quart période ($1/4f_p$) l'une de l'autre, afin d'améliorer le taux d'harmoniques des tensions de sortie. Les équations de ces porteuses sont données par le système .

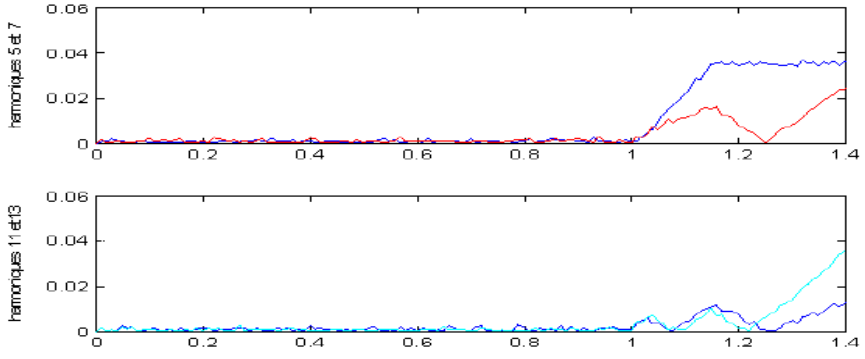
$$
\begin{cases}
U_{p1} = \begin{cases} U_{pm}\left(\dfrac{4t}{T_p} - 1\right); 0 \le t < \dfrac{T_p}{2} \\ U_{pm}\left(-\dfrac{4t}{T_p} + 3\right); \dfrac{T_p}{2} \le t < T_p \end{cases} \\
U_{p2} = \begin{cases} U_{pm}\left(-\dfrac{4t}{T_p}\right); 0 \le t < \dfrac{T_p}{4} \\ U_{pm}\left(\dfrac{4t}{T_p} - 2\right); \dfrac{T_p}{4} \le t < \dfrac{3T_p}{4} \\ U_{pm}\left(-\dfrac{4t}{T_p} + 4\right); \dfrac{3T_p}{4} \le t < T_p \end{cases} \\
U_{p3} = -U_{p1} \\
U_{p4} = -U_{p2}
\end{cases}
$$



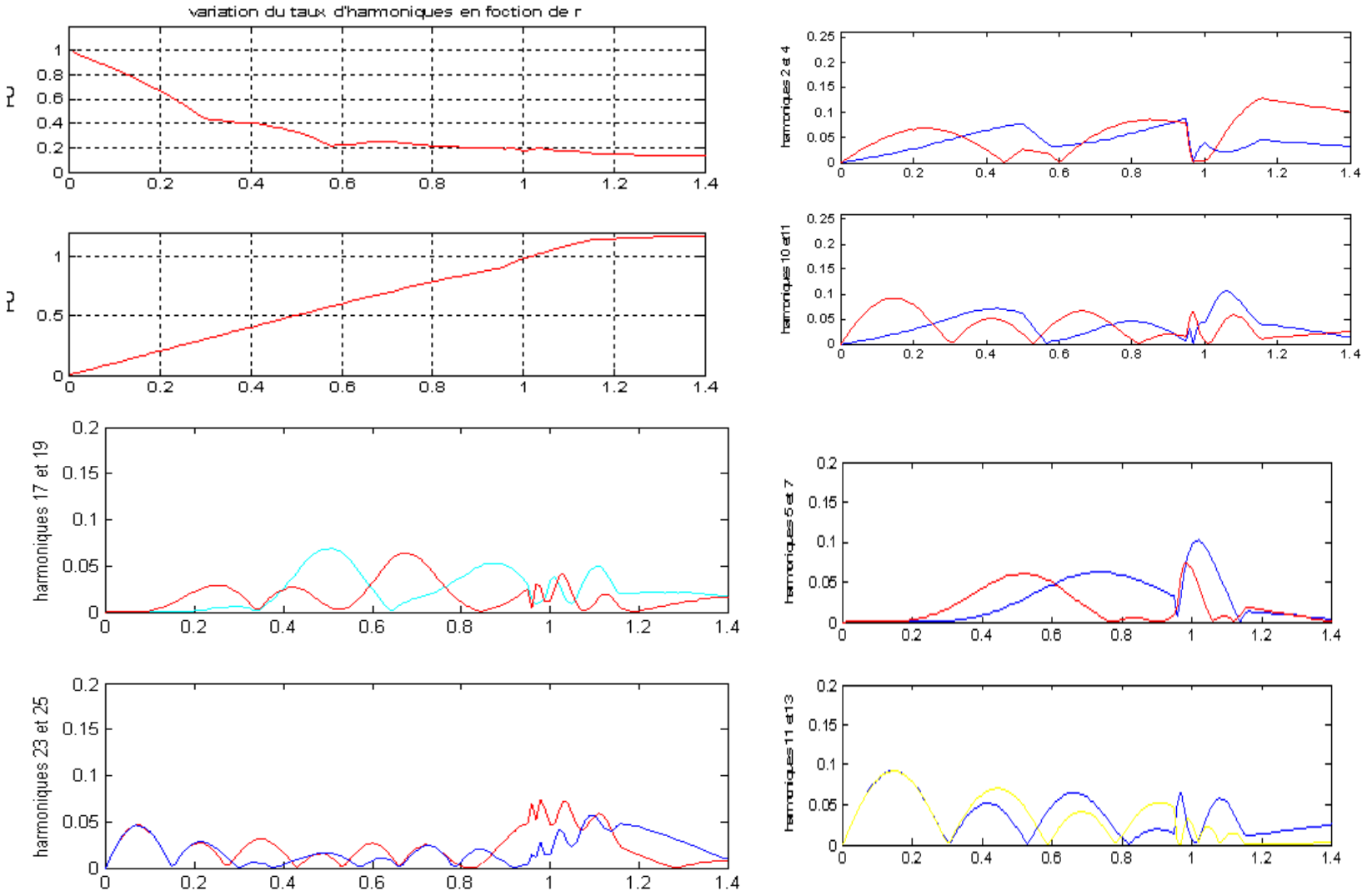
Caractéristique de la tension de sortie V_a de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale à quatre porteuses bipolaires.







à cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale à quatre porteuses unipolaire.



Chapitre II

Modélisation fréquentielle de la machine asynchrone

MODELISATION DE LA MAS

Équations électriques et mécanique

Hypothèses simplificatrices

$$
\begin{cases}
\dfrac{di_{ds}}{dt} = -\dfrac{1}{\sigma L_s}\left(R_s + R_r\dfrac{M_{sr}^2}{L_r^2}\right)i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \dfrac{M_{sr}R_r}{\sigma L_s L_r^2}\Phi_{dr} + \dfrac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r}\Phi_{qr}\omega + \dfrac{1}{\sigma L_s}v_{ds} \\
\dfrac{di_{qs}}{dt} = -\omega_s i_{ds} - \dfrac{1}{\sigma L_s}\left(R_s + R_r\dfrac{M_{sr}^2}{L_r^2}\right)i_{qs} - \dfrac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r}\Phi_{dr}\omega + \dfrac{M_{sr}R_r}{\sigma L_s L_r^2}\Phi_{qr} + \dfrac{1}{\sigma L_s}v_{qs} \\
\dfrac{d\Phi_{dr}}{dt} = \dfrac{M_{sr}R_r}{L_r}i_{ds} - \dfrac{R_r}{L_r}\Phi_{dr} + \omega_g\Phi_{qr} \\
\dfrac{d\Phi_{qr}}{dt} = \dfrac{M_{sr}R_r}{L_r}i_{qs} - \omega_g\Phi_{dr} - \dfrac{R_r}{L_r}\Phi_{qr} \\
\dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{p^2 M_{sr}}{jL_r}\Phi_{dr}i_{qs} - \dfrac{p^2 M_{sr}}{jL_r}\Phi_{qr}i_{ds} - \dfrac{f}{j}\omega - \dfrac{p}{j}C_r
\end{cases}
$$

Les matrice de Ls.Lr.Mr

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix}$$

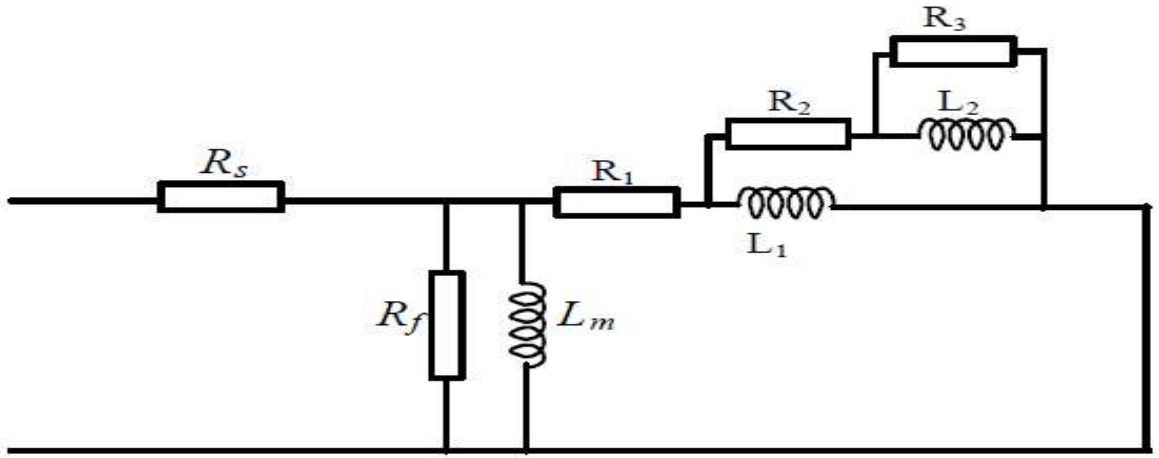
$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix}$$

$$[M_{sr}] = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

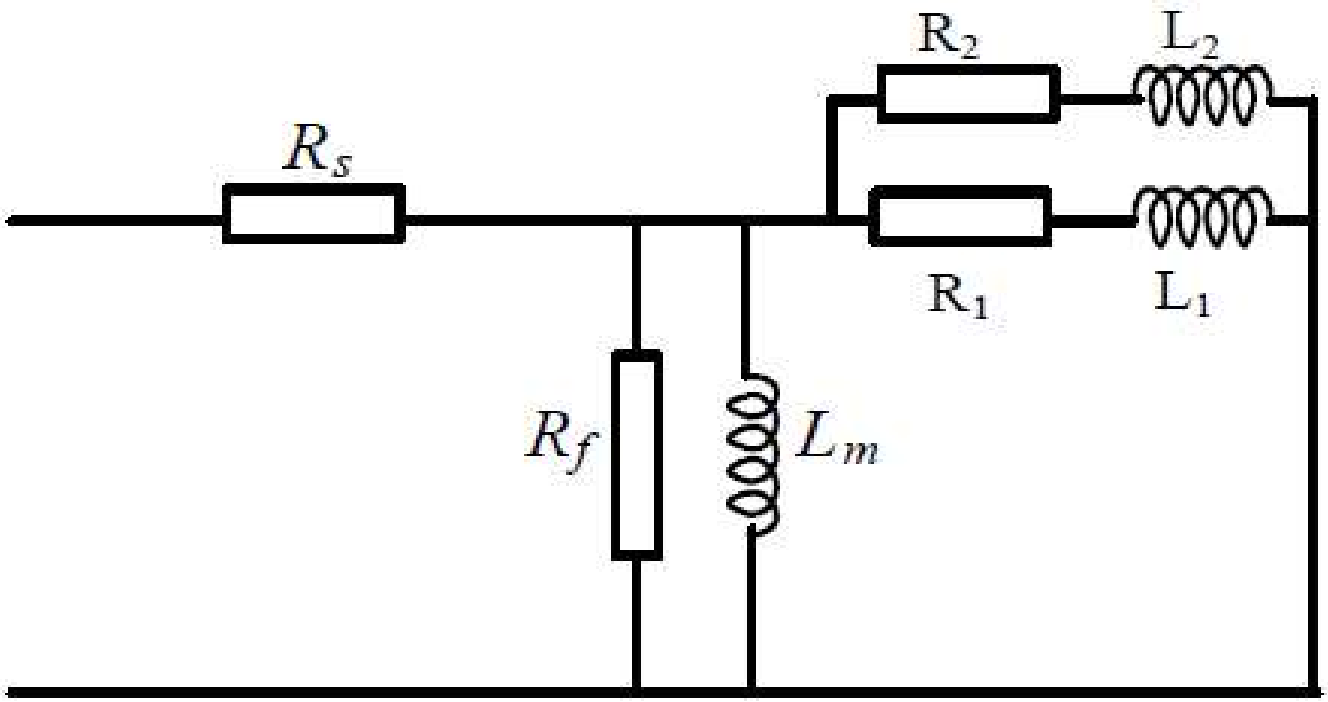
Les déférant modèle de la MAS

Plusieurs types de modèles permettent de prendre en considération l'effet de la fréquence dans une machine asynchrone. Nous nous proposons de présenter quelques modèles existant dans la littérature.

Modèles d'ordre entier de la machine asynchrone



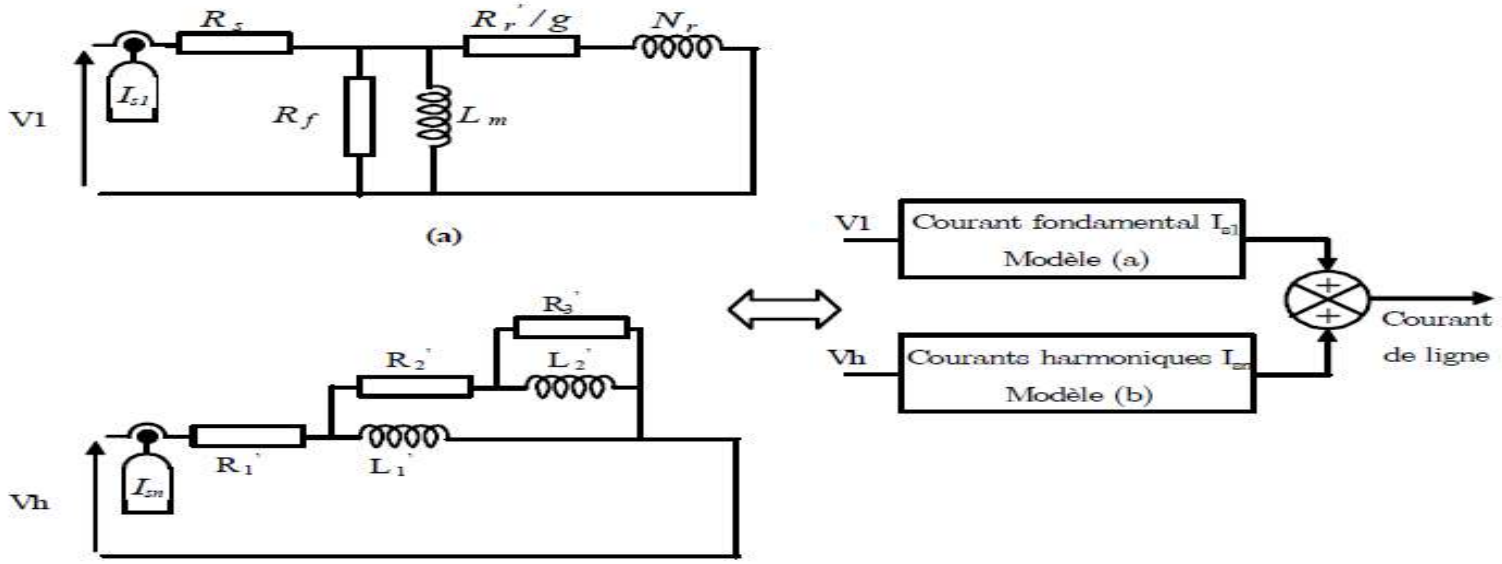
Modèle en série de Foster de la MAS.



Modèle au fondamental et le modèle harmonique

•Dans notre étude, nous nous intéressons à un modèle simple et suffisamment

•pour le fondamental, nous nous travaillés sur le modèle classique monophasé de la MAS. Quant au modèle représentant les harmoniques, nous sommes basés sur la modélisation d'un conducteur massif et nous choisissons le modèle à base de cellules R_L en échelle.



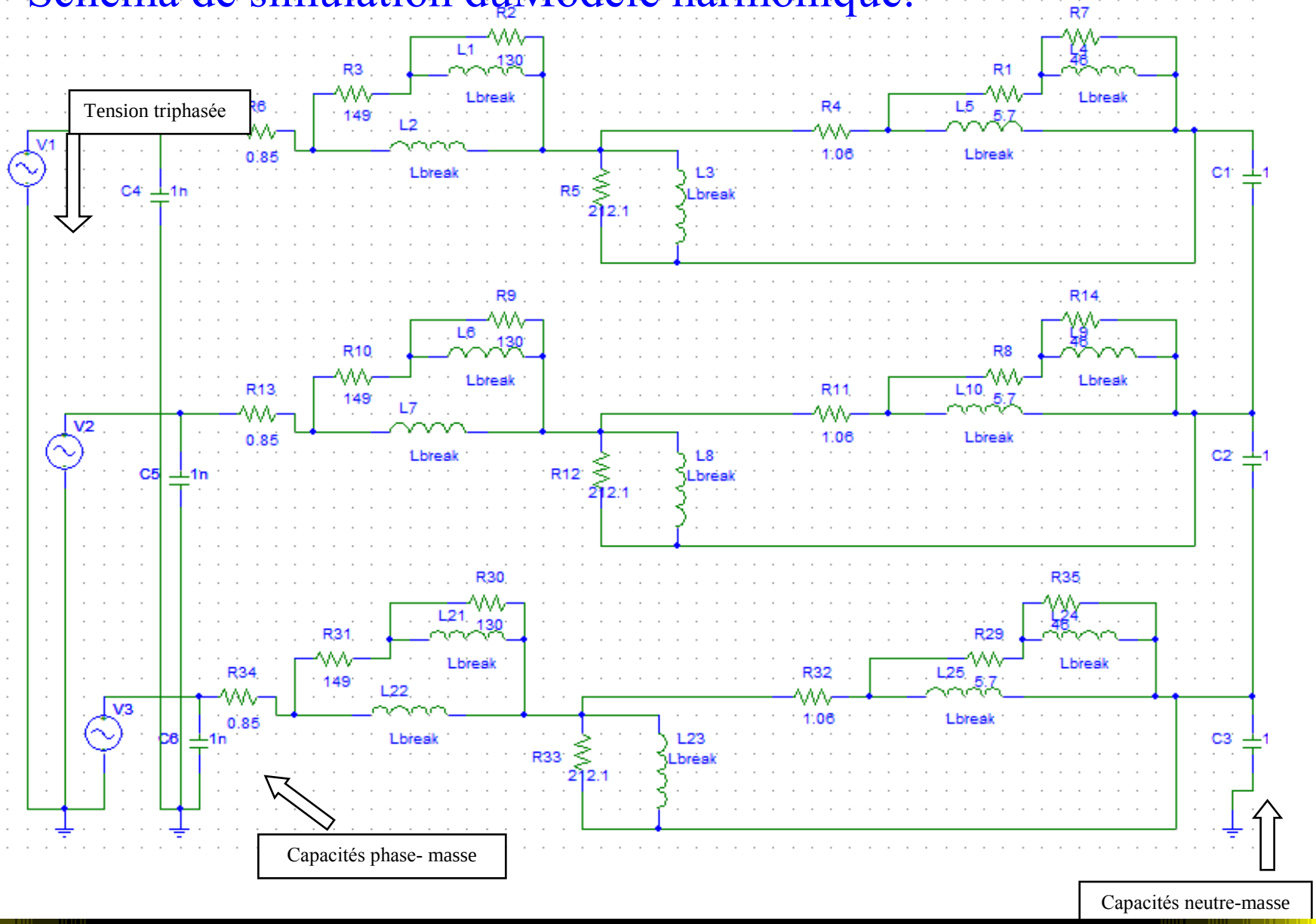
Chapitre III

Identification fréquentielle du modèle de la MAS

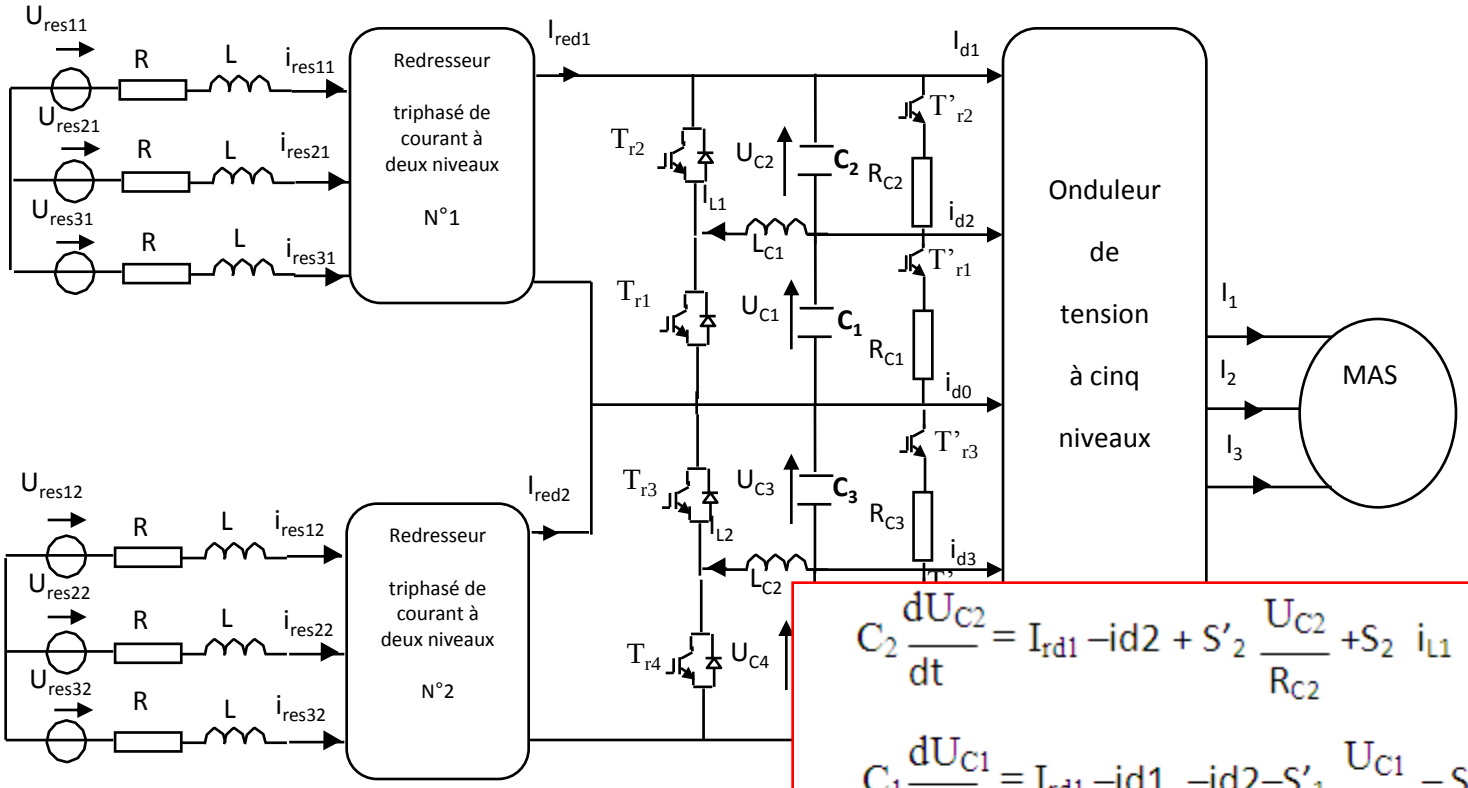
Pour la simulation- nous alimentons les modèles de la machine par la tension d'alimentation. Cette opération permet de simuler les conditions réelles de fonctionnement de la machine en utilisant un modèle d’onduleur. Par conséquent, la simulation ne tiendra pas compte des interactions entre la machine et l’onduleur.

On utilise Modèle harmonique:

Schema de simulation duModèle harmonique:



Niveaux – Circuit d'équilibrage Mixte – Onduleur à cinq niveaux – MAS



$$L_{C1}\frac{di_{L1}}{dt} = S_1 U_{C1} - S_2 U_{C2}$$

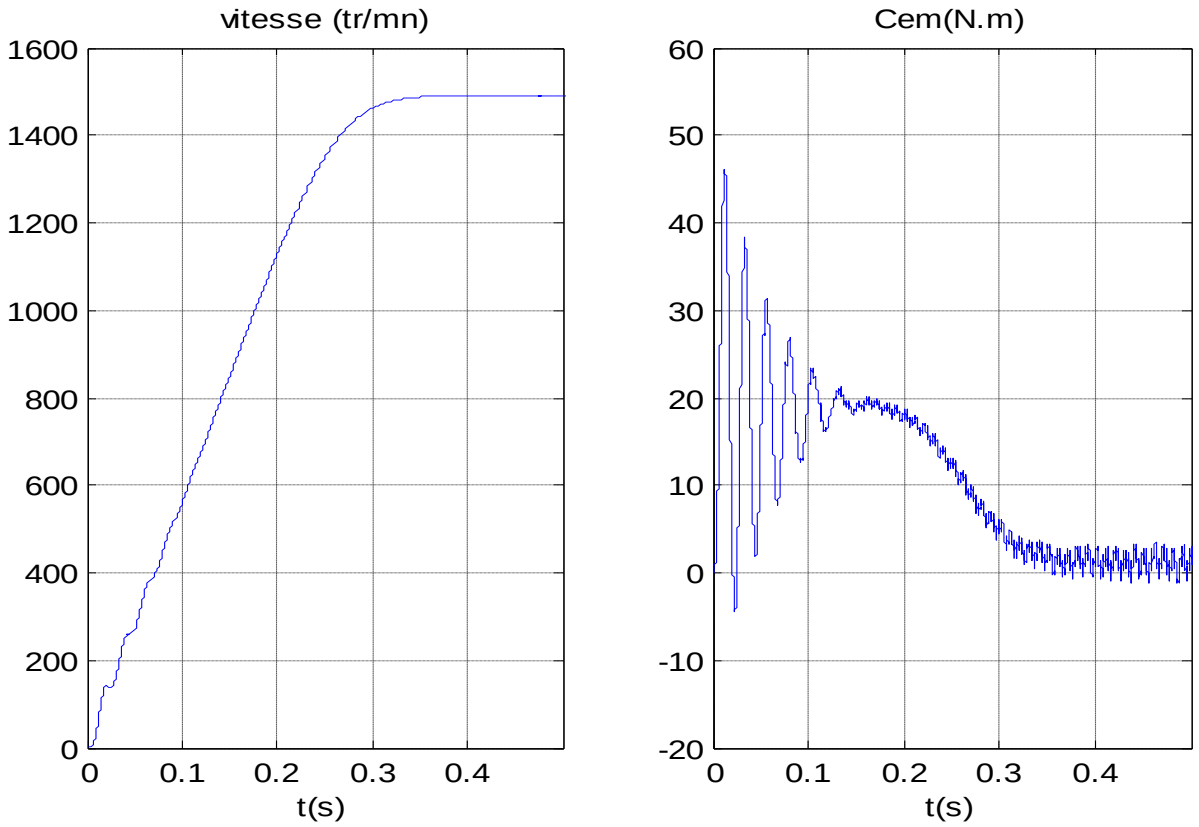
$$L_{C2}\frac{di_{L2}}{dt} = S_4 U_{C4} - S_3 U_{C3}$$

$$C_2\frac{dU_{C2}}{dt} = I_{rd1} - id2 + S'_2\frac{U_{C2}}{R_{C2}} + S_2\, i_{L1}$$

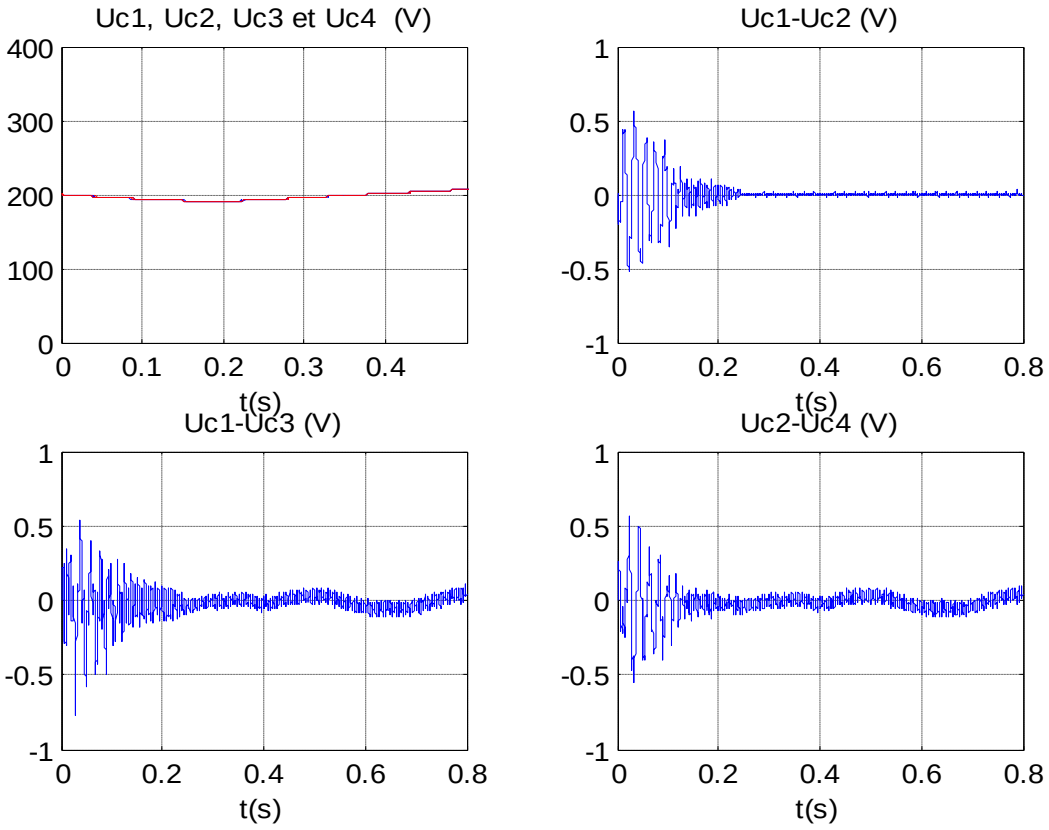
$$C_1\frac{dU_{C1}}{dt} = I_{rd1} - id1 - id2 - S'_1\frac{U_{C1}}{R_{C1}} - S_1\, i_{L1}$$

$$C_3\frac{dU_{C3}}{dt} = I_{rd2} + id3 + id4 - S'_3\frac{U_{C3}}{R_{C3}} + S_3\, i_{L2}$$

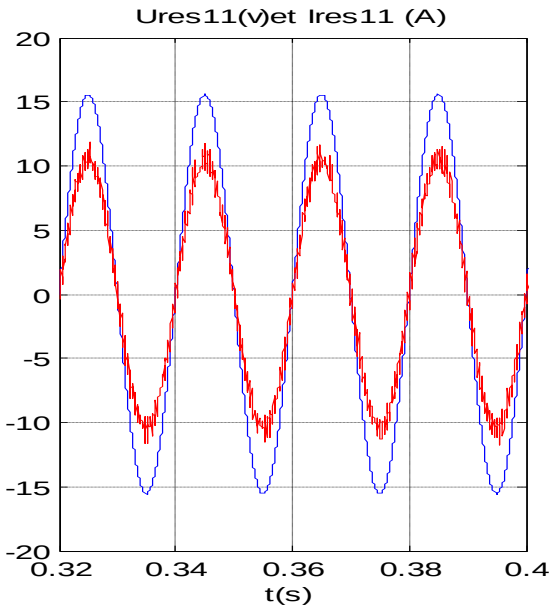
$$C_4\frac{dU_{C4}}{dt} = I_{rd2} + id4 - S'_4\frac{U_{C4}}{} - S_4\, i_{L2}$$

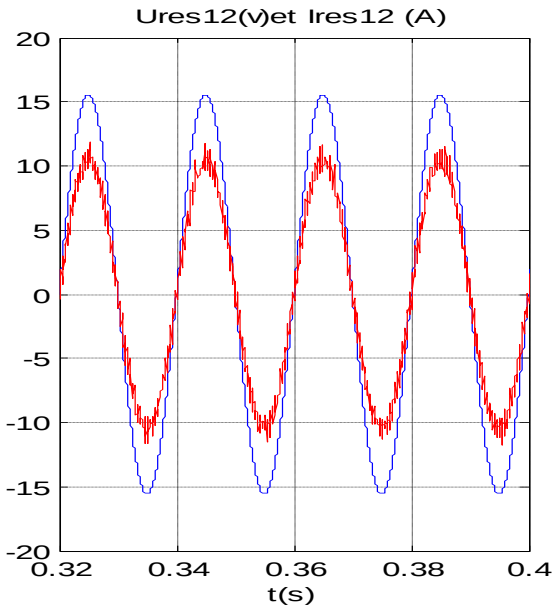


la vitesse et le couple du la machine asynchrone

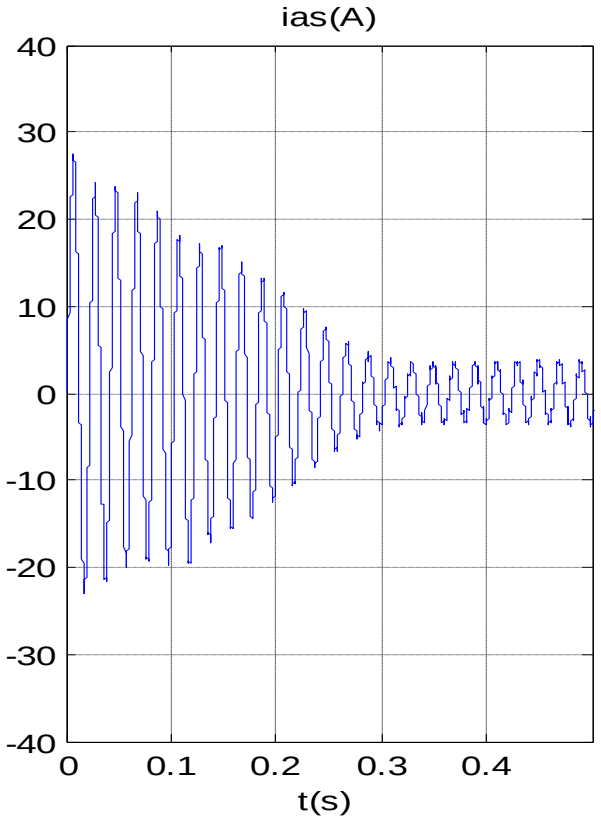


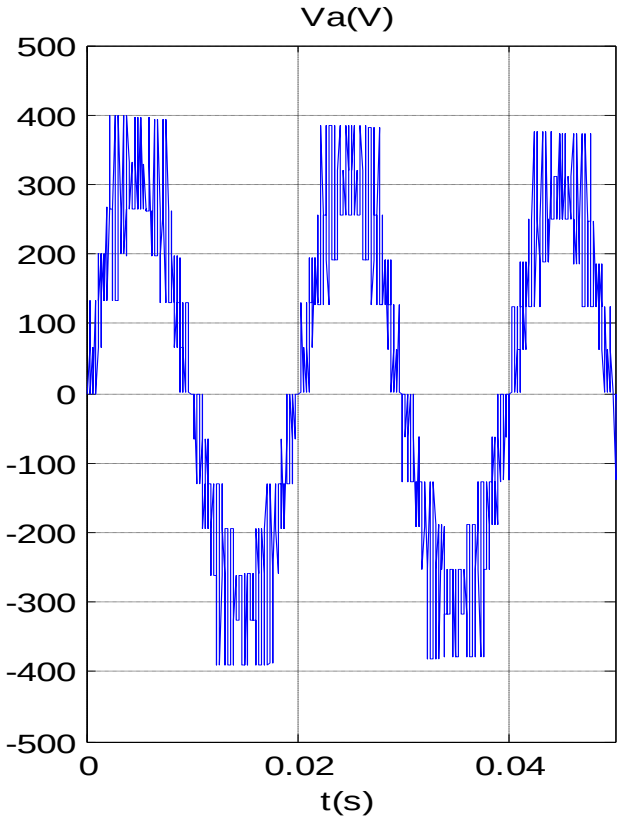
l'efficacité de stabilité des tensions aux bornes des condensateurs





l’efficacité de stabilité des tensions et de courant aux bornes des condensateurs





Courant et tension d’une phase a la sortie de l'onduleur

Conclusion Générale

- Dans ce travail, nous avons étudié la modélisation fréquentielle fine de type circuit de la machine asynchrone

•Après avoir étudié quelques modèles de la machine asynchrone, nous avons choisir un modèle dit "harmonique" fournir une tension aussi proche que possible d’une forme sinusoïdale pour alimenter la machine.

•Enfin, l'efficacité d'étude des résultats simulation dans l'ensemble onduleur cinq niveaux à structure NPC – MAS est une partie intéressante qui compléterait l'approche de la modélisation fréquentielle.


unit
Merci pour votre Attention

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[OEI61000-2-2] Normalisation CEM en électrotechnique CET 61000-2-2 (1990),"Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduits basse fréquence et la transmission de signaux sur le réseaux publics d'alimentation à basse tension".

[CEI61000-2-4] Normalisation CEM en électrotechnique CEI 61000-2-4 (1994), "Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduits basse fréquence".

[CT N°14l] Cahier technique n°141 : "Les perturbations électriques en BT", Schneider Electrique.

[CT N°15l] Cahier technique n°151 : "Surtensions et coordination de l'isolement", Schneider Electrique.

[CT N°199] Cahier technique n°199 : "La qualité de l'énergie électrique", Schneider Electrique.

[A.GH10] Réglage du bus continu d'un onduleur à structure NPC à cinq niveaux par circuit auxiliaire et la technique SVM .PFE médea Alger 2010.

[Ohatelaïn83] J. Châtelain, "Machine électrique". Tome 2, Editions Dunod. 1983.

[Viarouge95] P. Viarouge. I. Kamwa, "Modélisation par circuits équivalents généralises et identification des machines électriques sur un domaine de fréquence étendu" in Proceedings of the 1995CCECE/CCGET, pp. 1091-1095.

[Kabbaj97] H. Kabbaj, "Identification d'un modèle type circuit prenant en compte les effets de la fréquence dans une machine asynchrone à cage d'écureuil". Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 1997.

[Sudhoff02] S.D Sudhoff. D.O Aliprantis. B.T Kuhn, P.L Chapman, "induction machine model for predicting inverter machine interaction", TEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 17, n°. 2, June 2002.

[Atarod92]. Atarod, P.L. Dandeno. M.R. Iravani, "Impact of synchronous machine constant and models on the analysis of torsional dynamics". IEEE Transaction on Power Systems, Vol.7, n° 4, November 1992, pp. 1456-1463.

[Viarouge95] P. Viarouge. I. Kamwa, "Modélisation par circuits équivalents généralises et identification des machines électriques sur un domaine de fréquence étendu" in Proceedings of the 1995CCECE/CCGET, pp. 1091-1095.

[Sahraoui]"Calcul des schémas équivalents de la machine asynchrone par la méthode des éléments finis". Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble. 1994.

[Nabeta94]"Etude des régimes transitoires des machines asynchrones par la méthode des éléments finis". Thèse de doctorat de l'TNPG. 1994.

[Alger70] P. L. Alger, "Induction machines - Their behavior and uses". Gordon and Breach Science Publishers, 1970. 3rd edition, 1995, 52S p.

[Zhu90] D.S Zhu. "Modélisation des machines asynchrones alimentées par des convertisseurs statiques, Etude des performances électrique et thermique". Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. 1990.

[Z-aninell.94] D. Zaninelli, P. Zanotti, "Simplified frequency dependant model for induction machines". Electrical Machines and Power Systems, vol. 22, 1944, pp. 727-742.

[AIwash95] J. H. H. Alwash. S. H. Tkhwan, "Generalised approach to the analysis of asymmetrical three-phase induction motors". TEE Proceedings - Electrical Power Applications, Vol.142, No. 2, March 1995, pp. 87-96.

[CET60664-1] Norme CET 60664-1 (2002). "Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension - Partie 1: Principes, prescriptions et essais".

[Smith96] AC Smith. R.C Healey, S. Williamson. "A transient induction motor model including saturation and deep bar effect". IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 11, n°. 1, March 1996

[Kamwa94], P. Viarouge. "On equivalent circuit structures empirical modeling of turbine-generator", TEEE Transaction Energy Conversion, Vol.9, N°.3, September 1994, pp.579-592.

[Canat03] S. Canat, J. Faucher. "Fractional order: frequential parametric identification of the skin effect in the rotor bar of squirrel cage induction machine" in ASME Design Engineering Technical Conferences 2003YTB-4S393, vol. VIB-4S393, 2003.

[Kabbaj97] H. Kabbaj, "Identification d'un modèle type circuit prenant en compte les effets de la fréquence dans une machine asynchrone à cage d'écureuil". Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 1997.

[Klingshirn70] E.A. Klingshirn, H.E Jordan, "Simulation of polyphase induction machine with deep rotor bars". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-S9, July/August 1970. pp. 1038-1043.
[Benakba05] N. Benakba, M. Mehanoun "Caractérisation de l'effet de peau dans la machine asynchrone à cage d'écureuil". Rapport de projet de fin d'études 2004/2005, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger Département de Génie Electrique.

[KhaorapapongOl] T. Khaorapapong, "Modélisation d'ordre non entier des effets de fréquence dans les barres rotoriques d'une machine asynchrone". Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, 2001.

[D. Riu] "Modélisation des courants induits dans les machines électriques par des systèmes d'ordre Vi", Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble, 11 Décembre 2001.

[S. Mezani] "Modélisation électromagnétique et thermique des moteurs a induction en tenant compte des harmoniques d'espace". Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, 08 Juillet 2004.

[Poloujadoff87] M Poloujadoff, "The theory of three phase induction squirrel cage motors". Electic Machines and Power Systems, 13:245-264. 1987.

Annexes