

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie électrique et Electronique

Spécialité : Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques

Thème

**Etude et commande des
convertisseurs AC/DC/AC
alimentant une machine à induction**

Proposé et dirigé par :

❖ Mr: MESBAHI Nadhir

Réalisé par :

❖ GOAR MOHAMED abd alfattah

❖ GUEDDA ahtmane

❖ ZINE mahmoud

Dédicaces

A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir,

A ceux qui leur amour m'a donné la volonté d'aller toujours de l'avant,

A mes très chers parents, qu'Allah les protège

A mes frères et sœurs

A toute ma famille et tous mes amis

Je dédie ce travail

Sommaire

LISTE DES FIGURES

NOTATIONS SYMBOLIQUES

LISTE DES ABREVIATIONS

Introduction Générale 1

Chapitre I

Modélisation et étude de la régulation cascade d'un redresseur triphasé à MLI

I.1 Introduction	2
I. 2 Modélisation du redresseur AC/DC triphasé	2
I.2.1 bloc source	3
I.2.2 blocs convertisseur	4
I.2.3 bloc charge	5
I.2.3.1 Mise en équation de l'association redresseur triphasé- charge	5
I.3 Modélisation des éléments de la boucle cascade	6
I.3.1 Introduction	6
I.3.2 Partie puissance	6
I.3.3 Partie commande	7
I.3.3.1 Modélisation de la boucle interne	8
I.3.3.2 Modélisation de la boucle externe	9
I.4 Stratégie de commande dans la référence d-q	10
I.5 Calcul des régulateurs	11
I.5.1 Régulateur en courant de boucle interne	11
I.5.2 Régulateur en tension de la boucle externe	12
I.6 CONCLUSION	14

Chapitre II

Modélisation de l'onduleur de tension-MAS

II.1 Introduction	15
II.2. Modélisation de l'onduleur de tension	15
II.3 Contrôle des tensions par MLI	17
II.4. Modélisation de la machine asynchrone triphasée a cage	18
II.4.1 Introduction	18
II.4.2 Equations magnétiques	19
II.4.3 Choix du repère de référence	19
II.4.4 Couple électromagnétique	19
II.5 Simulation de l'association moteur à induction-onduleur à MLI dans le référentiel($\alpha-\beta$)	20
II.6. Conclusion	21

Chapitre III

simulation de Convertisseur AC/DC /AC-MAS

III.1 Introduction	22
III.2 Résultats de simulation	22
III.3 Interpretations des résultats	25
III.4 Conclusion	26
Conclusion générale	27
Annexes	29
Bibliographie	30

Chapitre I

<i>Figure(I.1). Schéma du système simulé</i>	2
<i>Figure (I.2). Schéma du coté réseau</i>	3
<i>Figure (I.3). Schéma du convertisseur AC/DC triphasé</i>	4
<i>Figure (I.4). Schéma de la charge continue</i>	5
<i>Figure(I. 5). Schéma à MLI en boucle ouverte</i>	6
<i>Figure(I.6). Schéma bloc de principe de la régulation cascade d'un redresseur triphasé à MLI</i>	7
<i>Figure (I.7). Modélisation d'une phase du réseau</i>	8
<i>Figure (I. 8). Boucle interne sur la phase3</i>	9
<i>Figure (I. 9). Modélisation de la partie continue du redresseur à MLI</i>	9
<i>Figure (I. 10) Schéma-bloc de la boucle externe</i>	10
<i>Figure (I.11) régulation du courant réseau dans le référentiel d, q</i>	11
<i>Figure(I.12)schémas de la boucle externe</i>	12
<i>Figure (I.13) Tension redressée vdc et sa référence (V)</i>	13
<i>Figure (I.14) les Courant des lignes</i>	13
<i>Figure (I.15) Spectre harmonique du courant de ligne</i>	14
<i>Figure (I.16) Zoom (Courant de ligne ia *10 (A) et la tension de phase)</i>	14

Chapitre II

<i>Figure(II.1). Schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux</i>	16
<i>Figure(II.2). Schéma de principe de la technique triangulo-sinusoidale</i>	18

Chapitre III

<i>Figure (III-1) Convertisseur AC/DC /AC-MAS</i>	22
<i>Figure (III-2) vitesse mécanique de rotation</i>	23
<i>Figure (III-3) Tension continue Uc</i>	23
<i>Figure (III-4) les Courant des lignes</i>	24
<i>Figure (III.5) : Spectre harmonique de ir</i>	24
<i>Figure(III.6) : les Courants statorique de la machine</i>	

figure (III.7) : Courant redressé (i_s)	24
<i>Figure (III.8) : Courant de charge (i_d)</i>	25
<i>Figure (9) tensions simples de sorté du onduleur</i>	25

NOTATIONS SYMBOLIQUES ET ABREVIATIONS

Symbole	Signification	Unité
C	Condensateur de filtrage	F
θ	Angle d'amorçage	rd
E	F.C.E.M.d'une charge active	V
Gaf , Gboc , Gboi	Fonctions de transfert en boucle ouverte	
ic	Courant traversant le condensateur	A
id	Courant dans la charge	A
ir	Courant à l'entrée du redresseur monophasé	A
i_{ri} (i=1,2,3)	Courant réseau sur les phases 1,2,3	A
I	Amplitude du courant réseau	A
i_{ri} (i=1mes,2mes,3mes)	courant réseau mesurés sur les phases 1,2,3	A
i_{ri} (i = 1ref,2ref, 3ref)	courant réseau de référence sur 1,2,3	A
is	Courant à la sortie du convertisseur	A
j	Moment d'énergie de la MAS	
ki , kp	Coefficients des correcteurs proportionnel et intégral	
kref	Coefficients pour le calcul des références en courant	
Ld , Rd	Inductance et résistance d'une charge passive	H
Lr , Rr	Inductance et résistance équivalente du réseau et de l'autotransformateur ramenée au secondaire à l'entrée de redresseur	H
Lm	Inductance de la MAS	H
m,r	Inductance de modulation et rapport cyclique associés au redresseur	
p	Puissance active	W
Q	Puissance reactive	VAR
Qref	Puissance reactive de reference	VAR
R1 , R2 , R3 , Rd , Rq	Corecteurs	Ω
Tr	Constance de temyas conté réseau	S
U1	Fonction logique associée au convertisseur	

NOTATIONS SYMBOLIQUES ET ABREVIATIONS

V	Amplitude de la tension réseau	V
V_c	tension aux bornes de condensateur	V
V_{cmes}	Tension de capacité mesurée	V
V_{cref}	Tension de capacité de référence	V
V_p, V_m	L'onde porteuse et modulante associée au redresseur	
V_{r1}, V_{r2}, V_{r3}	Tension réseau sur les phase 1,2,3	V
(V_{r3})	Vecteur triphasé des tension réseau	V
V_{reff}	Valeur efficace de V_r	
a,b,c	Trois phase de rotor	

LISTE DES ABREVIATIONS

Acronym	Signification
MAS	Machine Asynchrone
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
AC	Courant Alternatif
DC	Courant continu
Park	Transformation de Park

REMERCIEME

Je remercie avant tout Allah le tout puissant pour m'avoir donné la foi, la volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

nous exprimons nos profondes gratitudee à nos parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.

nous remercions nos encadreurs pour les efforts qu'ils ont déployés, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger.

nous remercions aussi tout le corps enseignant et administratif qui ont contribué à notre formation universitaire.

En fin, je remercie ma famille, mes amis et mes collègues de Centre Universitaire D'El-oued.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE LICENCE LMD EN ELECTROTECHNIQUE**

OPTION : COTROLE ET DIAGNOSTIC DE SYSTEME ELECTRIQUE

Proposé et dirigé par :

Mr: MESBAHI Nadhir

Etude par:

- 1- GOAR MOHAMED ABD ALFATTAH
- 2-GUEDDA AHTMANE
- 3- ZINE MAHMOUD

Thème:

**Etude et command des un convertisseur AC/DC/AC pour l'alimentation
une machine a induction**

Résumé:

Le but de ce mémoire est analyse et simulation le convertisseur AC/DC/AC
Pour l'alimentation de la machine asynchrone, nous avons présenté la modélisation du
fonctionnement du redresseur MLI, onduleur MLI, et la Machine asynchrone dans la
répare (alph-beta).

Les stratégies de commande application est, MLI triangulo-sinusoïdale nous avons utilisé
le moteur asynchrone comme un charge.

La modélisation de ce dernier a été donnée au troisième chapitre. En utilisant
MATLAB/Similink.

En fin des résultats de simulation est satisfaisant de cette association convertisseur
AC/DC/AC-MAS

Mots clés :

l'alimentation une machine a induction, Etude et command des un convertisseur
AC/DC/AC

INTRODUCTION GENERALE

Avec le développement industriel, il est devenu une nécessité d'utiliser des machines électriques de puissance de plus en plus forte afin de développer les couples exigés par les différentes applications. Ces machines exigent une forte tension d'alimentation. Les machines électriques étant actuellement alimentées à travers des convertisseurs de puissance, ces derniers doivent être dimensionnés et commandés de manière à supporter des tensions d'alimentation élevées, de qualité convenable. 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.

A la lumière de ces réflexions préliminaires, nous pouvons maintenant résumer l'objectif ainsi que le contenu de ce travail.

L'objectif de notre travail est d'étudier les convertisseurs AC/DC/AC alimentant une machine à induction. Ce mémoire a été structuré comme suit :

- ❖ Dans le premier chapitre, nous présentons modélisation et étude de la régulation cascade d'un redresseur triphasé à MLI.
- ❖ Le deuxième chapitre, sera consacré à la modélisation de l'ensemble onduleur-machine asynchrone.
- ❖ Le troisième chapitre est réservé à la simulation et l'interprétation des résultats des de l'ensemble convertisseur AC/DC/AC-MAS.

Une conclusion générale de ce travail ainsi que des perspectives clôturent ce mémoire.

1.1 Introduction

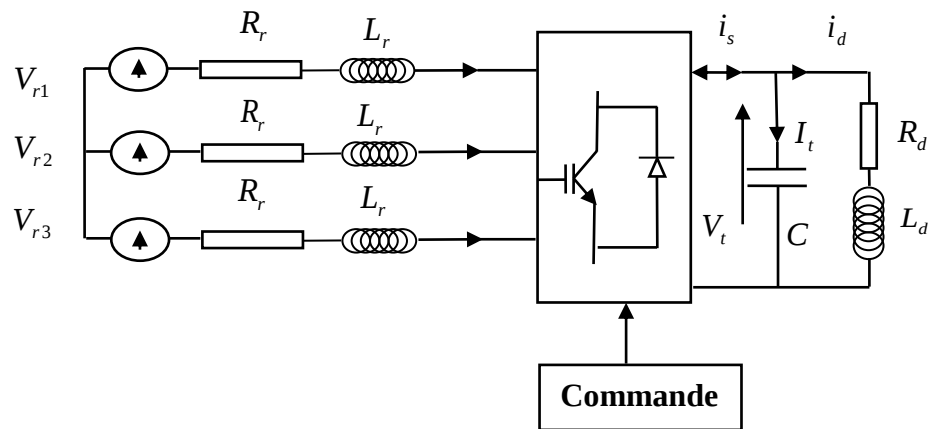
L'objet de ce chapitre est de modéliser le redresseur à Modulation de Largeur d'Impulsion et présenter quelques stratégies de sa commande. On distinguera la commande rapprochée du convertisseur où les méthodes dites "MLI en valeur moyenne", et la commande algorithmique dont le but est de régler les courants de phase et la tension continue du convertisseur.

Pour cette objective nous élaboré le schéma fonctionnel complet du redresseur à MLI commandé par la régulation PI , en utilisant d'abord les notations du repère d-q .

I. 2 Modélisation du redresseur AC/DC triphasé

Nous sous intéressons dans un premier à la simulation numérique de l'ensemble source –convertisseur- charge représenté par la figure (I.1)

La source est Modélisée par une FEM triphasé sinusoïdale en série avec inductance L_r et résistance R_r représentant l'impédance totale de la ligne (réseau) et de fuites de transformateurs ramenées au secondaire de celui-ci.



Figure(I.1). Schéma du système simulé

La structure de la figure (I.1) est des décomposée en quatre blocs :

- .bloc de source
- .bloc de convertisseur
- .bloc de charge
- .bloc de commande

1.2.1 Bloc de source

Le bloc source est composé d'une FEM triphasé purement sinusoïdale en série avec une résistance R_d et l'inductance L_r sur chaque phase (figure I.2). Le réseau est supposé parfaitement équilibré et les impédances des trois phases sont identique.

On a :

$$\begin{aligned} V_{r1} &= V_{r \max} \sin(\varphi) \\ V_{r2} &= V_{r \max} \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_{r3} &= V_{r \max} \sin\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad (I-1)$$

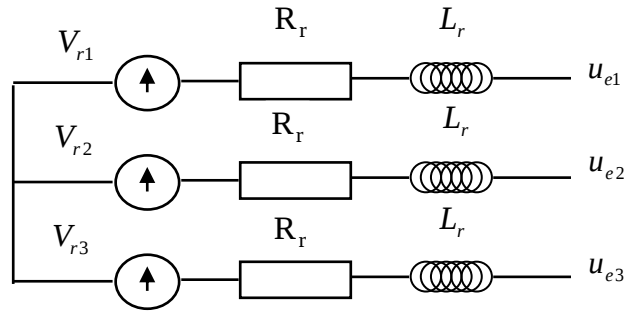


Figure (I.2). Schéma du côté réseau

On note par u_{ei} les tensions (par rapport au neutre de la source) aux bornes de chaque phase. On déduit du schéma ci-dessus (figure I.2) le système d'équations différentielles donnant le courant i_{ri} dans chaque phase.

On a [1-4]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ i_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_r}{L_r} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_r}{L_r} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_r}{L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ i_{r3} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_r} \begin{bmatrix} V_{r1} - u_{e1} \\ V_{r2} - u_{e2} \\ V_{r3} - u_{e3} \end{bmatrix} \quad (I-2)$$

1.2.2 Bloc de convertisseur

Il est représenté par le schéma de la Figure I.3. Les IGBT et les diodes constituant le pont sont supposés idéaux. C'est-à-dire que l'on néglige les phénomènes de commutation ainsi que les pertes par conduction.

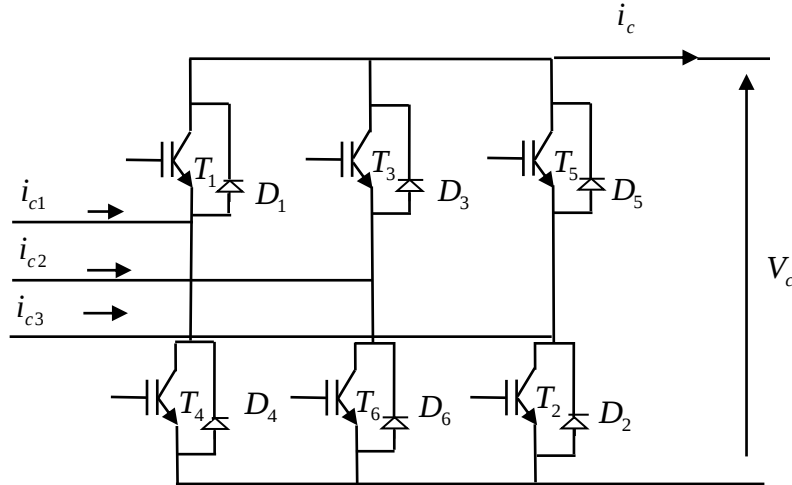


Figure (I.3). Schéma du convertisseur AC/DC triphasé

Connaissant l'état de chaque interrupteur, on peut définir la matrice de confection du pont. On en déduit alors l'expression des grandeurs d'entrée en fonction des grandeurs de sortie. On a la tension u_{ei} aux bornes alternatives du pont en fonction de la tension continue V_C dans le cas où les trois phases conduisent [2]:

$$\begin{bmatrix} u_{r1} \\ u_{r2} \\ u_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 & S_4 \\ S_2 & S_5 \\ S_3 & S_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_C \\ 0 \end{bmatrix} \quad (I-3)$$

: tension par rapport au neutre de en fonction des courants d'entrée. i_s De même on peut u_C exprimer le courant continu .

$$i_s = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \end{bmatrix} \quad (I-4)$$

1.2.3 Bloc de charge:

Ce bloc est composé d'une capacité C en parallèle sur une résistance R_d et inductance L_d modélisant la charge continue (figure I.4).

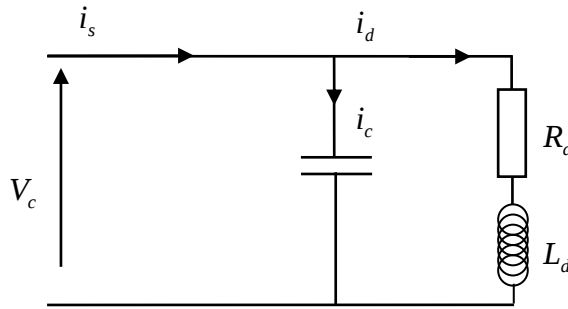


Figure (I.4). Schéma de la charge continue

La tension V_C aux bornes la charge est donnée par l'équation suivante:

1.2.3.1 Mise en équation de l'association redresseur triphasé- charge

Les équations donnant le courant d'entrée et la tension de sortie du convertisseur sont les suivantes [5]:

$$\begin{aligned} \frac{di_{r1}}{dt} &= \frac{V_{r1} - R_r i_{r1} - u_{e1}}{L_r} \\ \frac{di_{r2}}{dt} &= \frac{V_{r2} - R_r i_{r2} - u_{e2}}{L_r} \\ \frac{di_{r3}}{dt} &= \frac{V_{r3} - R_r i_{r3} - u_{e3}}{L_r} \\ \frac{dV_C}{dt} &= \frac{i_s - i_d}{C} \end{aligned} \quad (I-5)$$

i_d est le courant absorbé par charge, son équation dépend de la nature de celle-ci:

➤ A vide

$$i_d = 0$$

(I-6)

- Pour une charge résistive R_d :

$$i_d = \frac{V_C}{R_d} \quad (I-7)$$

- Pour une charge inductive active (L_d, R_d) :

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{V_C - R_d i_d}{L_d} \quad (I-8)$$

- Pour une charge inductive active (L_d, R_d, E) :

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{V_C - R_d i_d - E}{L_d} \quad (I-9)$$

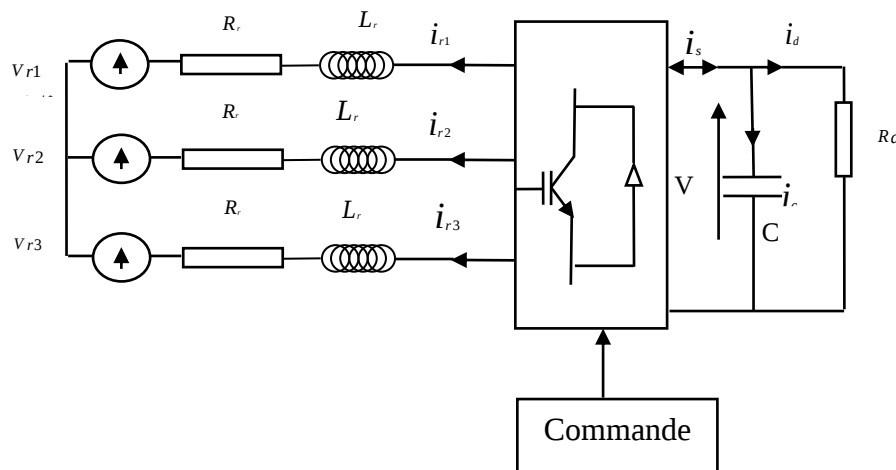
I.3 Modélisation des éléments de la boucle cascade

I.3.1 Introduction

L'objet de cette partie est de présenter les méthodes de commande du redresseur à modulation de largeur d'impulsion.

Tout au long de cette partie seront abordés les différents éléments intervenants lors de la conception de la commande d'un redresseur triphasé : la modélisation des boucles de la régulation cascade, le calcul des consignes, les calculs des correcteurs. Le type de commande qui sera approfondie est la commande dans le repère abc.

I.3.2 Partie puissance



Figure(I. 5). Schéma à MLI en boucle ouverte

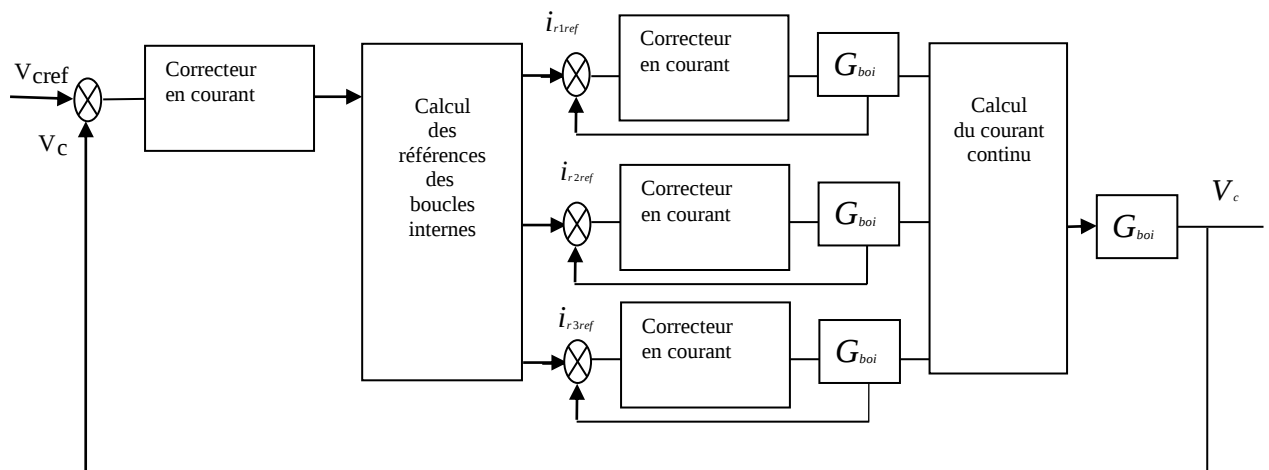
Le schéma du circuit étudié apparaît sur la figure (I.5). On note les tensions V_{r1}, V_{r2}, V_{r3} et les courants du réseau i_{r1}, i_{r2}, i_{r3} . Le redresseur à MLI est constitué de trois (03) bras, Les

interrupteurs formés de transistors IGBT avec une diode en inverse remplaçant les diodes pour les thyristors de montage en pont de Graëtz.

Le réseau, modélisé par une source de tension en série avec une impédance, l'ensemble de la tension réseau et du filtre en série avec l'inductance, représente, une source de courant, du côté continu, une capacité sert de source de tension et autorise l'utilisation de ce montage en fonctionnement redresseur ou onduleur, la charge du côté continu est représenté par une résistance

I.3.3 Partie commande

La régulation du redresseur à MLI peut se décrire sous la forme d'une régulation cascade. Des boucles internes régulent les courants de phases. Une boucle externe régule la tension de capacité (figure I. 7).



Figure(I.6). Schéma bloc de principe de la régulation cascade d'un redresseur triphasé à MLI

Le schéma de la figure (I-6) représente un schéma bloc illustre le principe de la régulation cascade. L'erreur en tension est issue de la différence des valeurs de V_{cref} tension continue de référence, et de V_c , tension continue mesurée. La sortie du correcteur fournie, après calcul, les valeurs de référence des courants de phase, i_{r1ref} i_{r2ref} i_{r3ref} , Les fonctions de transfert en boucle ouverte des boucles internes, G_{boi} et de la boucle externe, G_{boc}

,correspondant aux modèles des boucles interne et externe sont définies dans les chapitres suivant.

I.3.3.1 Modélisation de la boucle interne

Pour la mise en œuvre d'une régulation, il est nécessaire de décrire le système physique au moyen d'un modèle. L'objectif des boucles interne est de réguler les courants de réseau afin de minimiser leur contenus harmoniques et d'échanger avec le réseau une certaine puissance active P_{ref} et réactive Q_{ref} . Ces boucles peuvent être à 2 ou 3 boucles de régulations suivant le choix du repère de commande: une commande dans le repère déphasé dq ou une commande dans le repère triphasé abc.

On se limite dans ce paragraphe à l'étude d'une seule boucle de régulation, répétée deux ou trois fois suivant le choix du référentiel dq ou abc. La boucle de régulation interne s'applique au modèle d'une phase de réseau présenté figure (I.7).

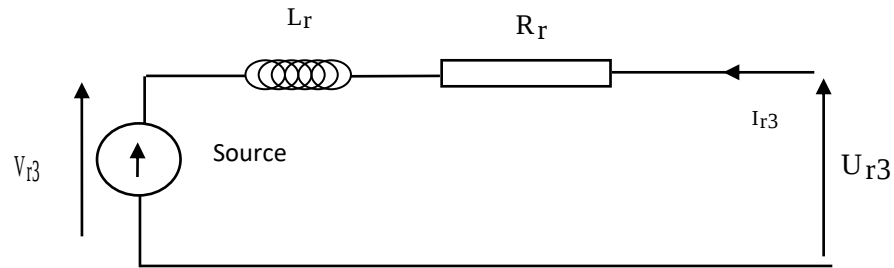


Figure (I .7). Modélisation d'une phase du réseau

La modélisation se limite à la tension du réseau V_r en série avec une impédance, constituée d'une inductance L_r , et d'une résistance R_r . la tension V_r est fournie par le convertisseur .La fonction de transfert en boucle ouverte peut -ainsi être modélisée par un premier ordre ,ayant pour variable de d'entrée la tension aux bornes de l'impédance ($V_{r3} - u_{e3}$), et pour variable de sortie le courant .La transformée de Laplace de la fonction de transfert en boucle ouverte de la régulation en courant s'écrit donc :

$$T_n = \frac{L_r}{R_r} \text{ avec } G_{boi}(p) = \frac{i_{r3}}{V_{r3} - u_{e3}} = \frac{1}{R_{r3}(1 + T_n \cdot p)} \quad (I-10)$$

La résistance du réseau étant généralement faible, la fonction de transfert en boucle ouverte se comporte pratiquement comme un intégrateur

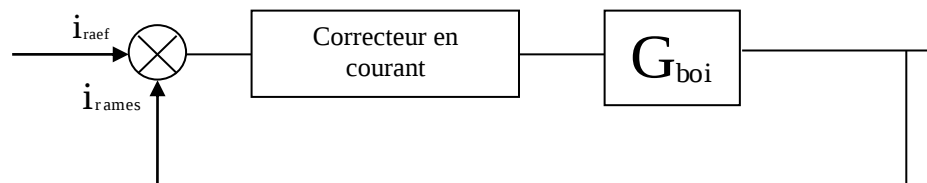


Figure (I. 8). Boucle interne sur la phase3

I.3.3.2 Modélisation de la boucle externe

Deux approches sont possibles le choix du modèle de la boucle externe En effet dans un premier choix la régulation sur V_C^2 . Au moyen de l'équation de puissance comme présenté dans la référence [6].

Dans un second choix, on considère le courant continu et charge coté continu et la régulation s'effectue sur V_C . dans le premier cas, la non-linéarité apparaît lors de passage de la boucle interne à la boucle externe (Calcul des puissances active et réactive de régulation). Le choix s'est porté sur une indépendance des deux boucles de régulations et sur régulation et sur une régulation de V_C valeur mesurée directement.

La boucle de régulation externe de la boucle cascade maintient la tension de capacité V_C à une tension de référence V_{cref} . La capacité C est en parallèle avec une charge assimilée à une résistance R_d . L'impédance ainsi constituée est chargée par le courant i_s issue du redresseur à modulation de largeur d'impulsion, La fonction de transfert considérée a donc pour grandeur de courant continu issue de redresseur est comme gradeur de sortie, la tension

Au bornes de la charge V_C Le schéma correspondant apparaît sur la figure I.9.

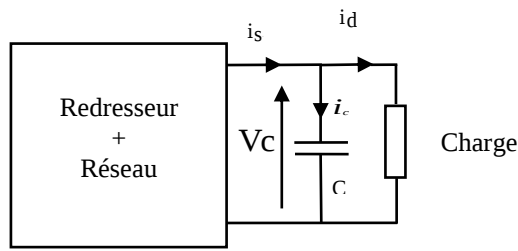


Figure (I. 9). Modélisation de la partie continue du redresseur à MLI

Le calcul de la fonction de transfert donne un modèle de premier, dont la transformée de Laplace est:

$$\frac{V_e(p)}{i_s(p)} = \frac{R_d}{(1 + T_C \cdot p)} \text{ avec } T_C = R_d \cdot C \quad (\text{I-11})$$

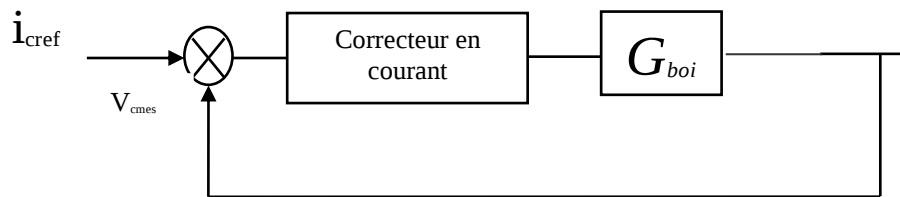


Figure (I. 10) Schéma-bloc de la boucle externe

La dynamique de la boucle interne est plus rapide que la boucle externe. Ceci permet de considérer les deux boucles indépendantes et d'assimiler à un bloc de gain 1 la boucle interne régulée.

On peut donc considérer la fonction de transfert de ayant pour variable de sortie la tensions des capacités et pour variable d'entée le courant issue du redresseur à modulation de largeur d'impulsion.

La commande abc présente l'avantage d'être facilement programmable. de part le principe de pour suite, la commande se déduit sur chaque phase avec la tension réseau. mais le désavantage provient du déphasage responsable d'erreurs statiques toutefois, il peut être compensé par une commande dans un repère d, q cette dernière présente un précieux avantage à savoir que dans ce cas, les grandeurs régulées sont des grandeurs continues.

I.4 Stratégie de commande dans la référence d-q

En appliquons la transformation de Park, Le modèle de redresseuse dans la répare d-q donné par [7] :

$$\begin{cases} V_{dr} = R.i_d + .L_p \frac{di_d}{dt} - \omega_s L i_{qr} + V_{dn} \\ V_{qr} = R.i_q + .L_p \frac{di_q}{dt} + \omega_s L i_{dr} + V_{qn} \end{cases} \quad (I-12)$$

Le principe consiste à orienter le tension suivant l'axe q, on a donc :

$$; P = V_q i_q ; Q = V_q i_d . V_d = 0, V_q = V$$

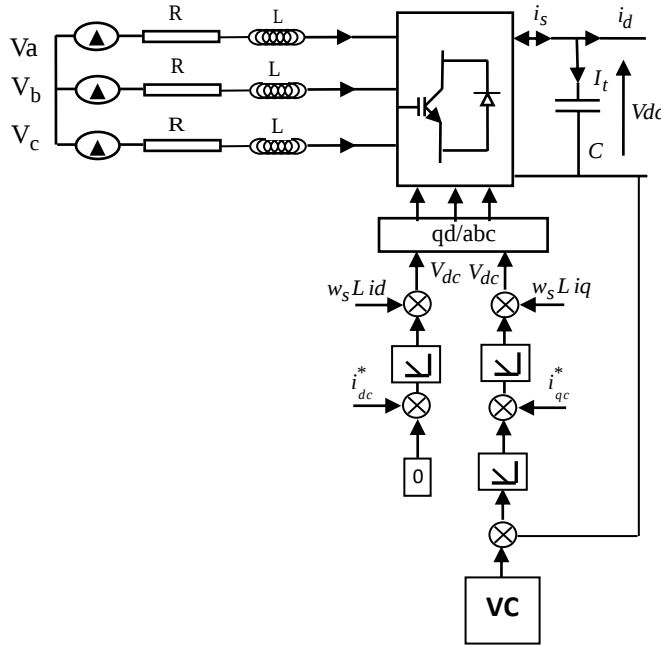


Figure (I.11) régulation du courant réseau dans le référentiel d, q

I.5 Calcul des régulateurs

Cette section présente le calcul d'un type de régulateur qui peut être utilisé pour régaler le boucle internes ou externes qui peut être utilise pour réguler les boucles internes, deux types de correcteurs sont possibles :

- Correcteurs PI.
- Correcteurs IP.

Mais dans notre étude on a choisi le régulateur PI.

I.5.1 Régulateur en courant de boucle interne

La connaissance de la fonction de transfert en boucle ouverte et la recherche d'un second ordre pour la fonction de transfert en boucle fermée permet de calculer la forme du régulateur.

La fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle interne étant un premier ordre, un régulateur proportionnel intégral permet d'obtenir une erreur statique nulle en régime permanent. La fonction de transformée du régulateur PI et de la fonction de transfert en boucle ouverte sont [5]:

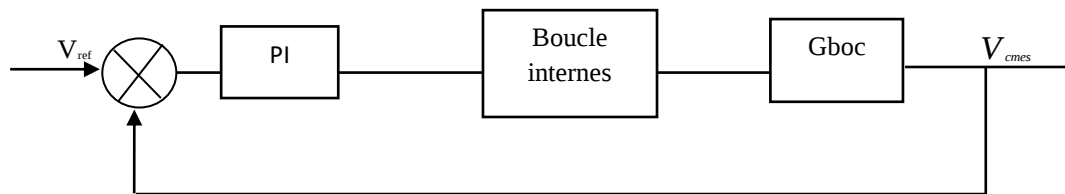
$$F_{regi} = K_{pi} + \frac{K_{ii}}{p} \text{ et } G_{boi} = \frac{1}{R_r(1 + T_{np})} \quad (I-13)$$

La fonction de transfert en boucle fermée de la interne calculée en en transformée de la place donne le résultat suivant:

$$G_{bfi}(p) = \frac{\frac{K_{pi}}{K_{ii}} p + 1}{\frac{R_r T_n}{K_{ii}} p^2 + \frac{K_{pi} + R_r}{K_{ii}} p + 1} \quad (I-14)$$

I.5.2 Régulateur en tension de la boucle externe

Pour la boucle externe différentes options peuvent le type de charge, courant constant, puissance constante, charge résistive. Le cas de la charge résistive a été pris lors de la modélisation, chacun des types de correcteurs présentés pour la boucle interne peut être installé sur la boucle externe, en effet, la fonction du transfert en boucle ouverte est un premier ordre, le principe reste le même. La dynamique de la boucle interne ayant été choisie d'une constante le temps plus faible dans la boucle cascade lorsque l'on se place dans le cas d'une charge résistive, un correcteur PI donne de bons résultats pour la boucle externe [5].



Figure(I.12)schémas de la boucle externe

La boucle interne est assimilée à un bloc de gain, un calcul simple, identique à celui précédemment effectué.

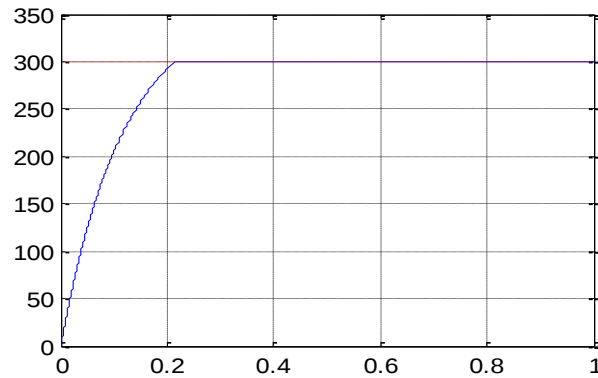


Figure (I.13) Tension redressée vdc et sa référence (V)

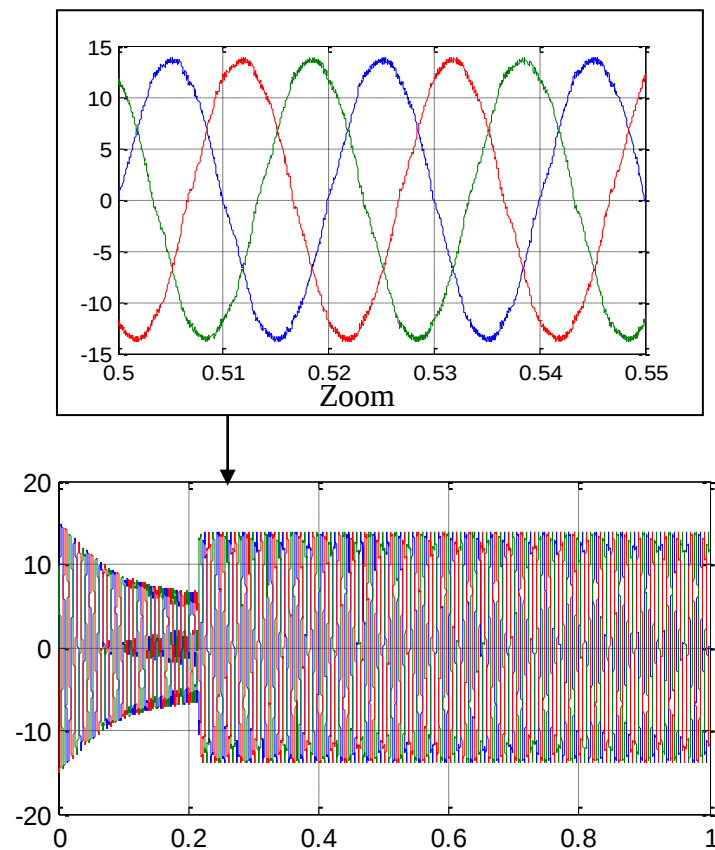


Figure (I.14) les Courant des lignes

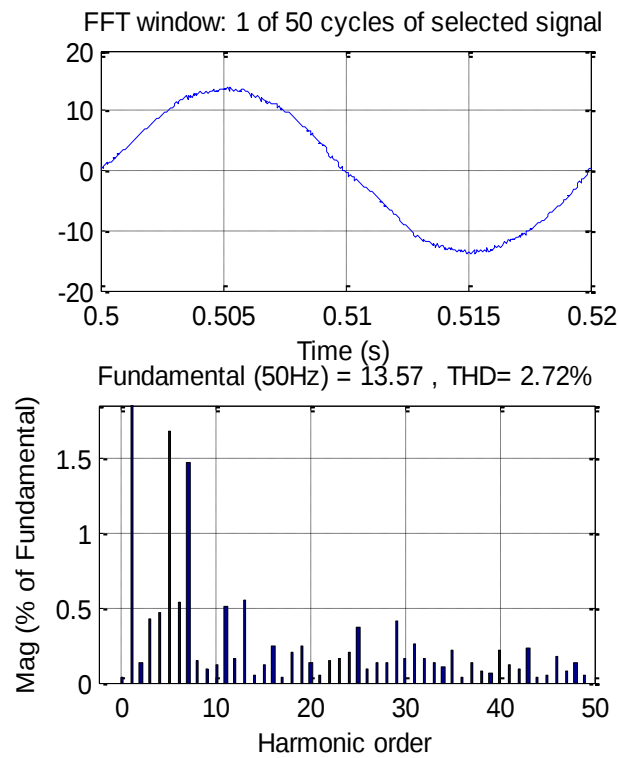


Figure (I.15) Spectre harmonique du courant de ligne

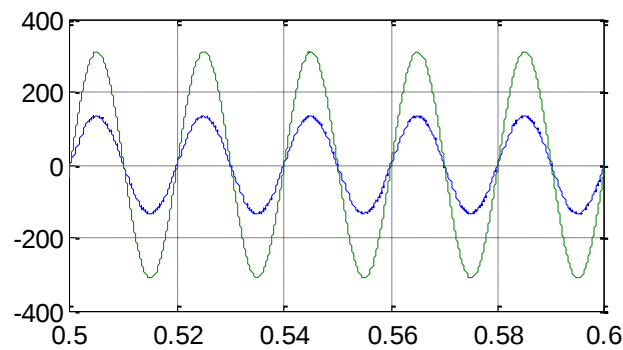


Figure (I.16) Zoom (Courant de ligne $i_a \cdot 10$ (A) et la tension de phase)

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre une modélisation du redresseur triphasé a été faite, le schéma fonctionnel du redresseur a été constitué puis le principe de commande dans le repère d-q a été envisagé et le calcul des correcteurs ont été abordés.

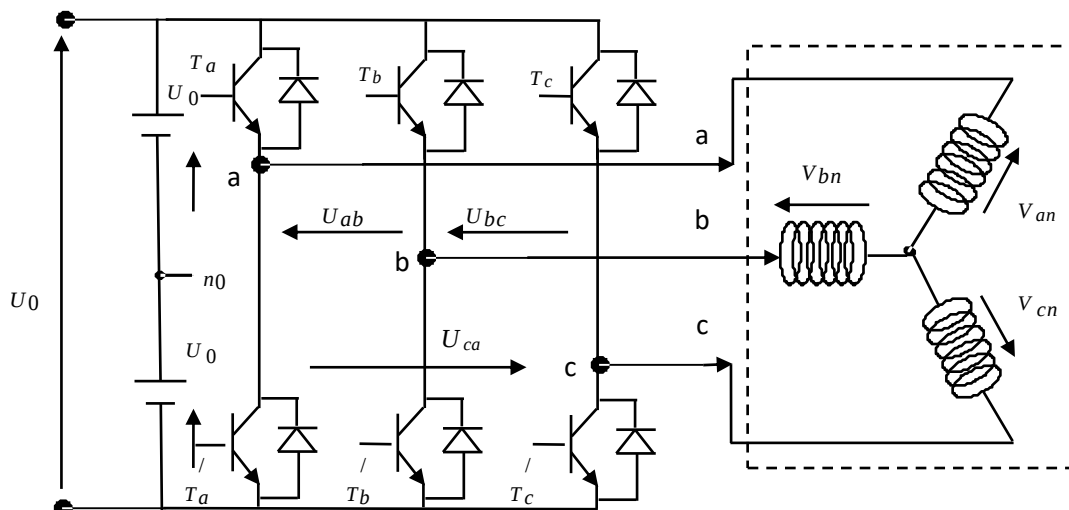
II.1. Introduction

Le convertisseur statique est un système qui permet d'imposer à la machine asynchrone des tensions de phase, dont les fréquences et les amplitudes variables, à partir d'un réseau triphasé de fréquence et amplitude fixes. Il est composé généralement d'un redresseur à et d'un onduleur de tension. La figure (II.1) montre la structure du convertisseur statique, la machine à induction (asynchrone) est alimentée généralement par un onduleur qui assure la conversion continue/alternatif pour produire une tension à valeur moyenne nulle dont l'amplitude et la fréquence sont commandable.

II.2. Modélisation de l'onduleur de tension

Un onduleur est un convertisseur statique capable de transformer l'énergie d'une source à tension continue en une énergie à tension alternative. Il existe plusieurs structures d'onduleurs ; dont chacun correspond à un type d'application déterminé ou permettant des performances recherchées .L'apparition de nouveaux composants d'électronique de puissance a permis de développer de nouvelles structures d'une grande performance par rapport aux structures classiques, en l'occurrence, l'onduleur triphasé à trois niveaux à structure N.P.C .

Pour modéliser l'onduleur de tension, Fig. II.1, on considère son alimentation comme une source parfaite, supposée 'être constituée de deux générateurs de f.é.m égale à $U_0 / 2$ connectés entre eux par un point noté n_0 [5].



Figure(II.1). Schéma de l'onduleur triphasé à deux niveaux

La machine a été modélisée à partir des tensions simples que nous notons V_{an} , V_{bn} et

V_{cn} L'onduleur est commandé à partir des grandeurs logiques S_i . On appelle T_i et T_i'

Les transistors (supposés être des interrupteurs idéaux):

si $S_i = 1$, alors T_i est passant et T_i' est ouvert, Les tensions composées sont obtenues à partir des sorties de l'onduleur:

Les tensions simples des phases de la charge issues des tensions composées ont une somme nulle, donc:

$$\begin{cases} U_{ab} = V_{an0} - V_{bn0} \\ U_{bc} = V_{bn0} - V_{cn0} \\ U_{ca} = V_{cn0} - V_{an0} \end{cases} \quad (II-1)$$

$$\begin{cases} V_{ab} = (1/3)[U_{ab} - U_{ca}] \\ V_{bc} = (1/3)[U_{bc} - U_{ab}] \\ V_{ca} = (1/3)[U_{ca} - U_{bc}] \end{cases} \quad (II-2)$$

Elles peuvent s'écrire à partir des tensions de sorties de l'onduleur en introduisant la tension du neutre de la charge par rapport au point de référence n_0 .

$$\begin{cases} V_{an} + V_{nn0} = V_{an0} \\ V_{bn} + V_{nn0} = V_{bn0} \\ V_{cn} + V_{nn0} = V_{cn0} \end{cases} \quad (II-3)$$

Donc, on peut déduire que :

$$V_{nn0} = \frac{1}{3}[V_{an0} + V_{bn0} + V_{cn0}]$$

L'état des interrupteurs supposés parfaits $\Leftrightarrow$ Si ($i=a, b, c$) on a:

On a donc:

$$\begin{cases} V_{an0} = (S_a - 0.5)U_o \\ V_{bn0} = (S_b - 0.5)U_o \\ V_{cn0} = (S_c - 0.5)U_o \end{cases} \quad (II-4)$$

On obtient:

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{2}{3} V_{an0} - \frac{1}{3} V_{bn0} - \frac{1}{3} V_{cn0} \\ V_{bn} = -\frac{1}{3} V_{an0} + \frac{2}{3} V_{bn0} - \frac{1}{3} V_{cn0} \\ V_{cn} = \frac{1}{3} V_{an0} - \frac{1}{3} V_{bn0} + \frac{2}{3} V_{cn0} \end{cases} \quad (II-5)$$

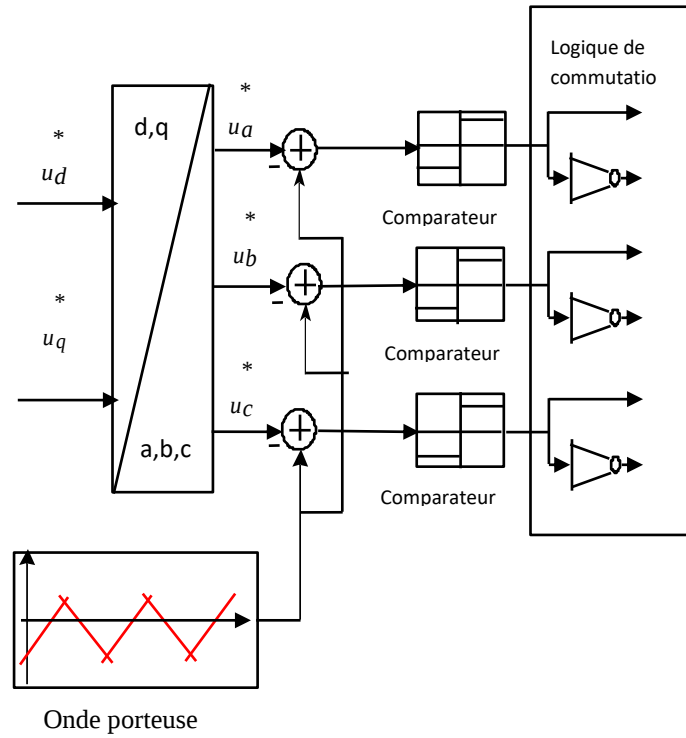
Finalement, on obtient:

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot U_0 \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (II-6)$$

Il suffit d'appliquer la transformation de Concordia pour passer d'un système triphasé au système biphasé.

II.3 Contrôle des tensions par MLI

Pour déterminer les instants de fermeture et d'ouverture (instants de commutation) des interrupteurs, on utilise la technique MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion), qui consiste à comparer le signal de référence onde (modulante) de forme sinusoïdale à faible fréquence, à un signal triangulaire onde (porteuse) de fréquence élevée. Le signal modulé est au niveau haut lorsque la modulante est supérieure à la porteuse et est au niveau bas lorsque la modulante est inférieure à la porteuse. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersection entre la porteuse et la modulante (Figure II.2)[7-8].



Figure(II.2). Schéma de principe de la technique triangulo-sinusoidale

II.4. Modélisation de la machine asynchrone triphasée a cage

II.4.1 Introduction

Le moteur asynchrone est de loin, le moteur le plus utilisé dans toutes les applications industrielles ou domestiques, du fait de sa facilité d'installation, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Il existe plusieurs types de moteurs asynchrones : monophasé, triphasé à cage, triphasé à rotor bobiné

On peut exprimer le mode de la machine a induction comme suit [9-11] :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d}{dt} \Phi_{sd} - \omega_a \Phi_{sq} \\ V_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d}{dt} \Phi_{sq} + \omega_a \Phi_{sd} \\ V_{rd} = 0 = R_r i_{rd} + \frac{d}{dt} \Phi_{rd} - (\omega_a - \omega_r) \Phi_{rq} \\ V_{rq} = 0 = R_r i_{rq} + \frac{d}{dt} \Phi_{rq} + (\omega_a - \omega_r) \Phi_{rd} \end{cases} \quad (II-7)$$

II.4.2 Equations magnétiques

$$\begin{cases} \Phi_{sd} = L_s i_{sd} + M i_{rd} \\ \Phi_{sq} = L_s i_{sq} + M i_{sd} \\ \Phi_{rd} = L_r i_{rd} + M i_{sd} \\ \Phi_{rq} = L_r i_{rq} + M i_{sq} \end{cases} \quad (II-8)$$

Avec :

L_s : inductance cyclique propre du stator,

L_r : inductance cyclique propre du rotor,

M : inductance cyclique mutuelle entre l'armature du stator et l'armature du rotor,

II.4.3 Choix du repère de référence

Il existe plusieurs possibilités choix de direction du repère de référence selon les objectifs de l'application :

On peut se placer dans différents référentiels correspondants à des axes fixes, liés au stator

($\omega_a = 0$), ou à des axes liés au rotor

II.4.4 Couple électromagnétique

$$C_{em} = P \cdot \frac{M_{sr}}{L_r} \cdot (\Phi_{rd} \cdot I_{sq} - \Phi_{rq} \cdot I_{sd}) \quad (II-9)$$

On peut écrit aussi :

$$C_{em} = PM(I_{rd} \cdot I_{sq} - I_{rq} \cdot I_{sd}) \quad (II-10)$$

On constate que le couple électromagnétique résulte de l'interaction d'un terme de flux et d'un terme de courant. [5]

Ou des axes liés au champ tournant ($\omega_a = \omega_s$).

II.5 Simulation de l'association moteur -onduleur à MLI dans le référentiel ($\alpha-\beta$)

Les figures. II.3 et figure. III.4 représentent les réponses de simulation dans le cas d'un démarrage à vide avec une fréquence de commutation de l'ordre de 2 kHz. On constate que le

système répond sans dépassement avec pratiquement le même temps de réponse que le système sans convertisseur. Les composantes et le couple électromagnétique sont le siège des pulsations créées par des harmoniques à haute fréquence [5].

En résumé la MLI permet une nette réduction des harmoniques des courants, en augmentant la fréquence de découpage. Elle permet aussi de repousser vers des fréquences plus élevées les harmoniques de la tension ce qui facilite le filtrage ; comme elle permet aussi de faire varier le fondamental de la tension désirée.

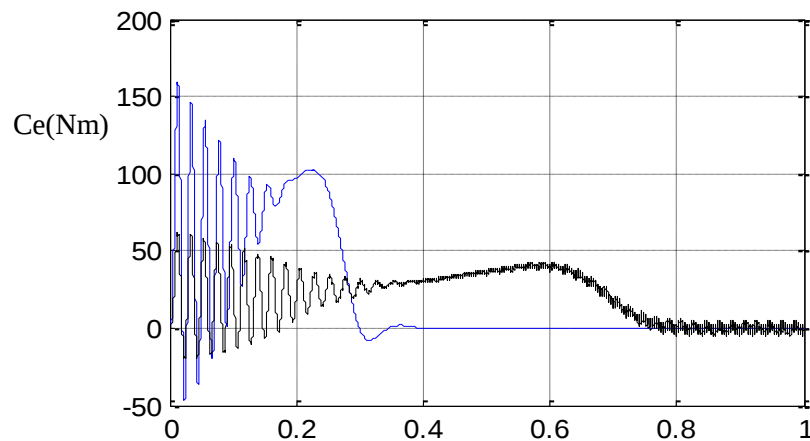


Figure (II.3).le couple électromagnétique de MAS

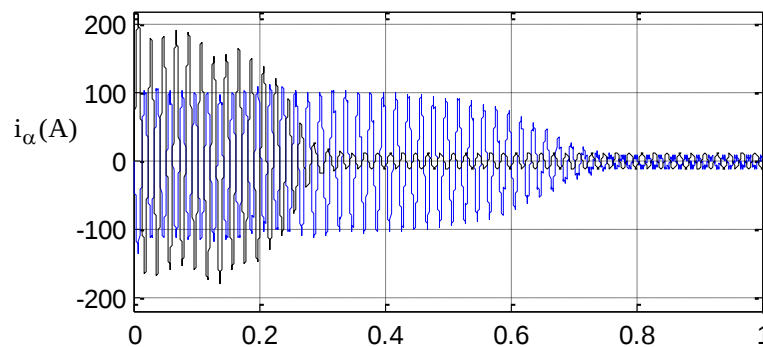


Figure (II.4).le courant de MAS

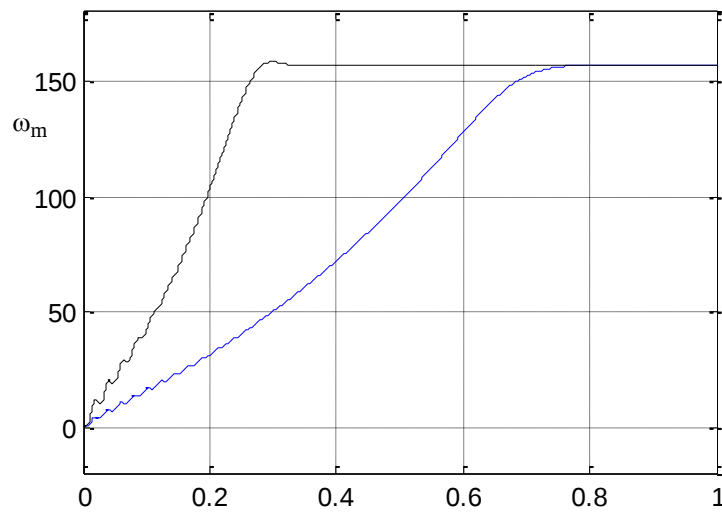


Figure (11.5).la vitesse de MAS

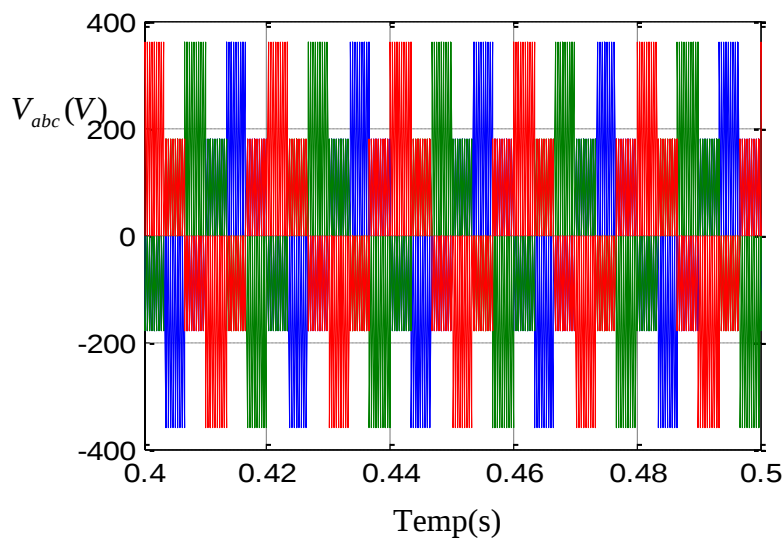


Figure (11.6).les tensions triphasé de MAS

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté l'alimentation, qu'est constituée d'une source de tension triphasé que alimente un redresseur de tension , et un onduleur de tension, et les différentes stratégies de commande de l'onduleur. Qui nous a permis de contrôler la machine, c-à-d ouvrir et fermer les interrupteurs statiques à partir des ordres de commande, la génération des ordres est différente entre une stratégie de commande et une autre, la technique d'hystérésis nous a permis de garder l'erreur statique dans une bande déterminée.

III.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on a effectué une étude théorique approfondie de la commande d'un redresseur à MLI de courant.

Ce chapitre est consacré à la modélisation et la simulation d'un redresseur à MLI, la figure (III.I) montre la configuration de base de l'Application du redresseur à MLI leur à trois niveaux ce alimente une machine asynchrone. L'objectif principal des essais effectués est de garder le courant réseau en phase avec la tension réseau ainsi que dans le coté onduleur-machine asynchrone en peut faire varier la vitesse du moteur en agissant sur la fréquence de référence f_r tout en maintenant [12].

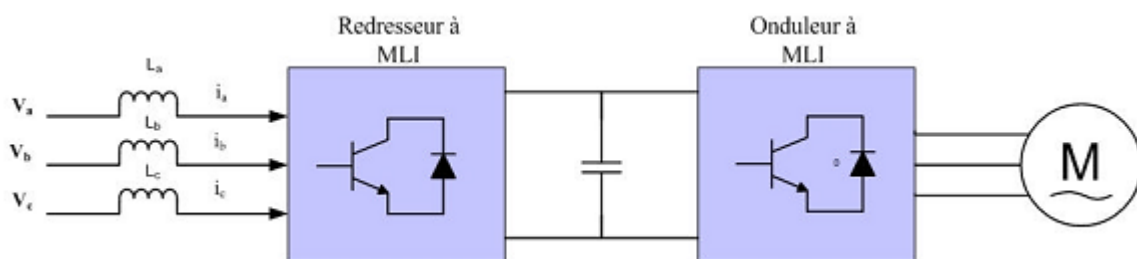


Figure (III-1) Convertisseur AC/DC /AC-MAS

III.2 Résultats de simulation

Nous allons simuler le comportement association redresseur –onduleur –MAS, les paramètre de system elle dons dans la annexe.

Le schéma de système de simulation sous MATLAB/SIMILIK

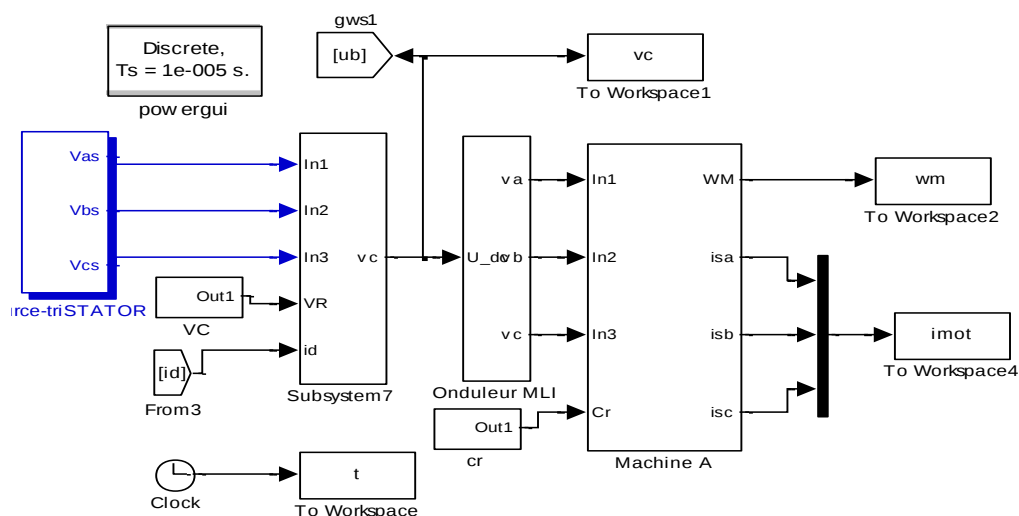
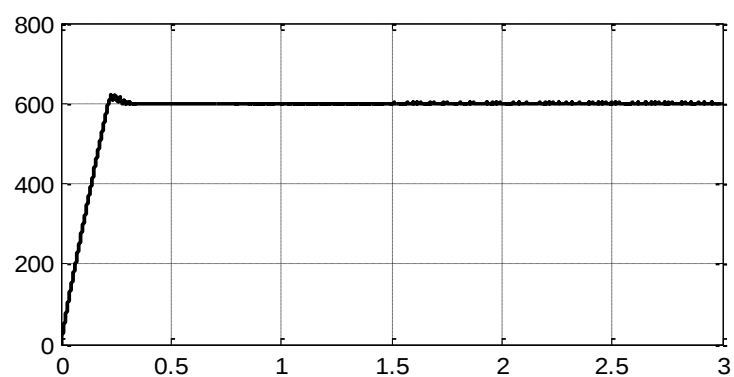
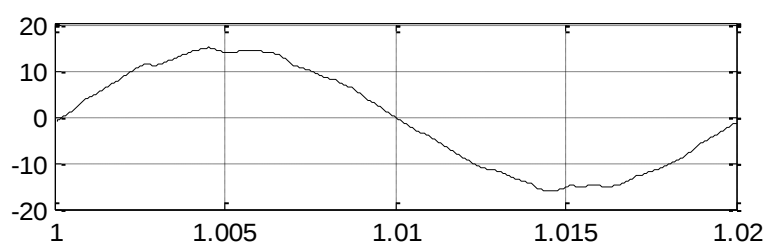


Figure (III-2).le schéma de système de simulation sous MATLAB/SIMILINK

Figure (III-3) Tension continue U_c 

Fundamental (50Hz) = 15.19 , THD= 3.92%

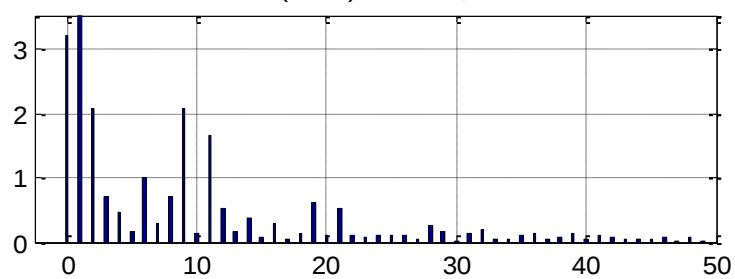
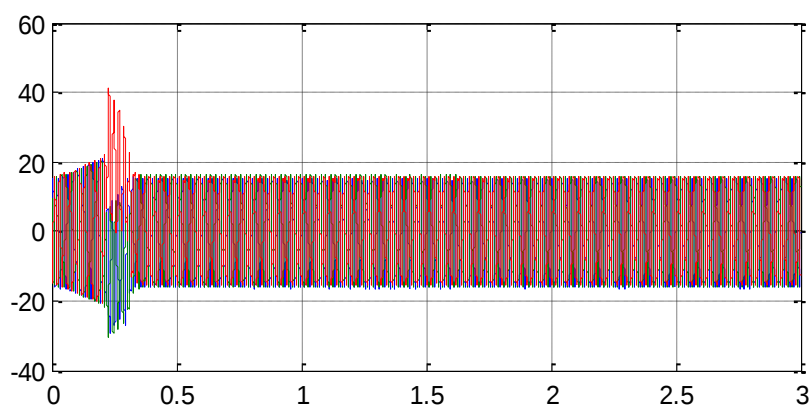
Figure (III.4) : Spectre harmonique de i_r 

Figure (III-5) les Courant des lignes

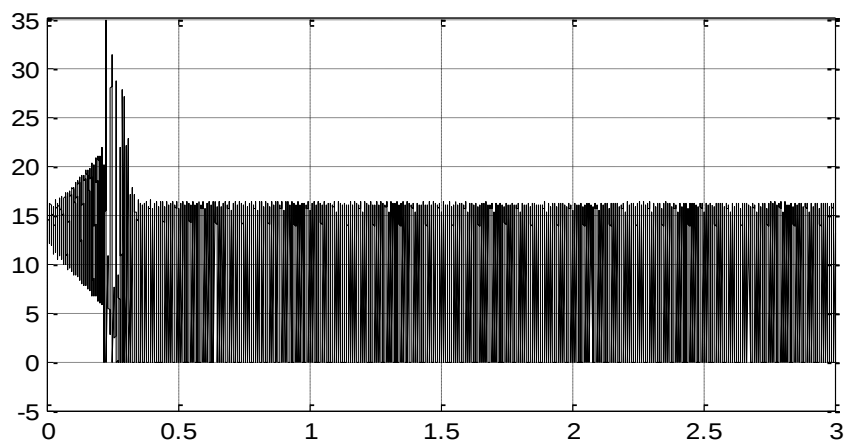


figure (III.6) : Courant redressé (i_s)

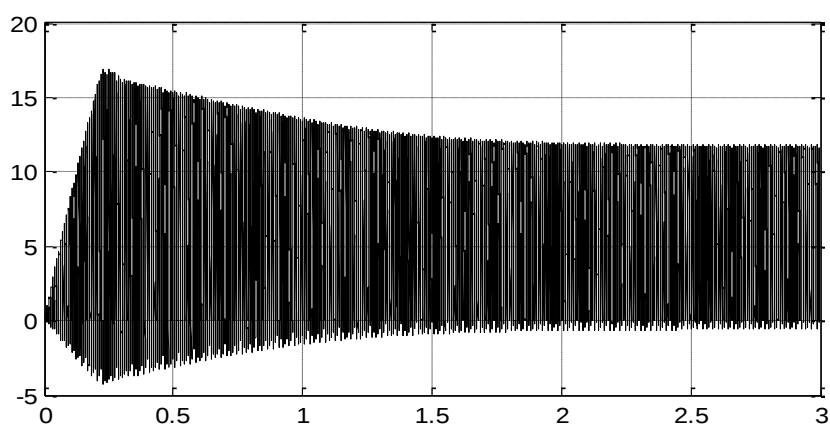
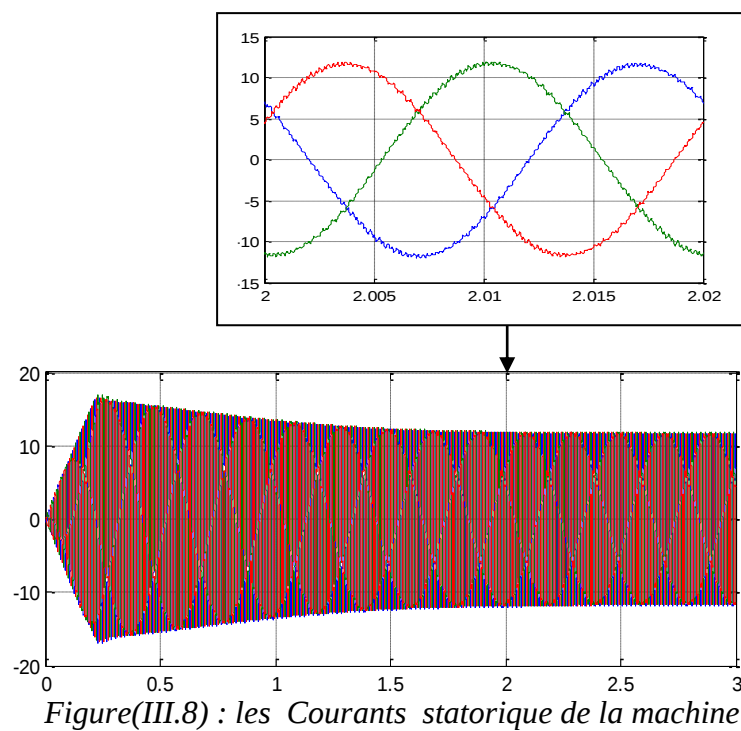


Figure (III.7) : Courant de charge (i_d)



Figure(III.8) : les Courants statorique de la machine

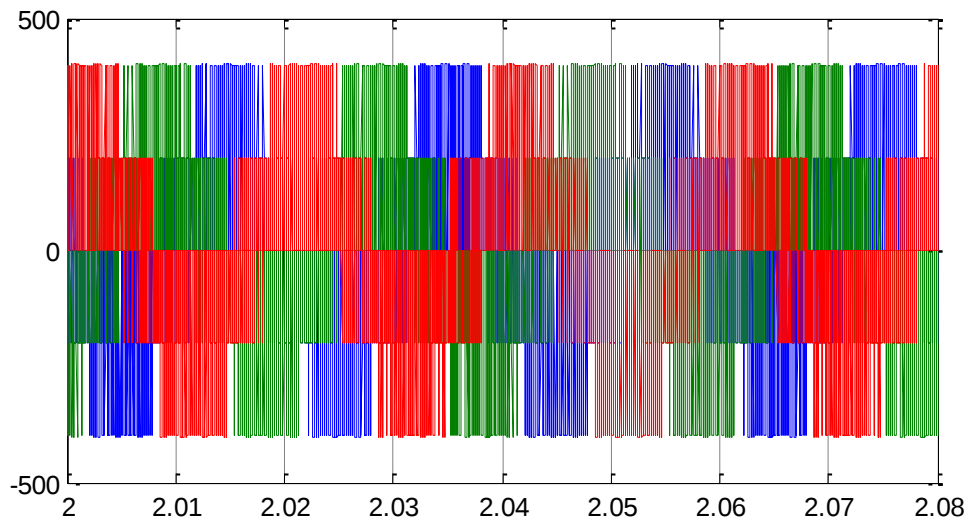


Figure (III.9) tensions simples en sortie de l'onduleur

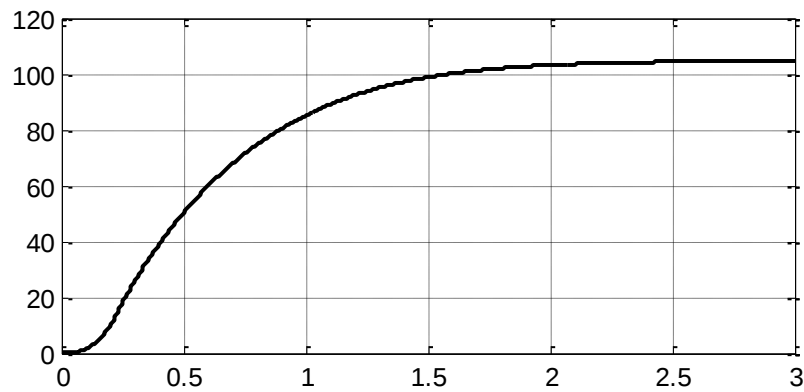


Figure (III-10) vitesse mécanique de rotation

III.3 Interprétations des résultats

Lors de l'association du redresseur à MLI -onduleur - machine asynchrone on observe que l'onde de courant garde toujours la forme sinusoïdale, avec un facteur de puissance unitaire et une tension de sortie constante, mais le problème de déséquilibre dans le point milieu du filtre capacitif placer entre les deux convertisseurs.

III.4. Conclusion

Ce chapitre traité l'ensemble des résultats relevé lors de l'élaboration de la commande par régulation cascade d'un redresseur- onduleur-MAS. La régulation cascade présente l'avantage de pouvoir décomposer le système en deux boucles, l'une interne pour régler les courants réseau, l'autre externe pour maintenir la tension continue. L'application de la utilise la technique MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion), présente l'avantage d'être facilement programmable et dons bon résulta sur quotté simulation.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette mémoire, nous avons étudié la commande de la cascade d'un redresseur à MLI à deux niveaux- onduleur - machine asynchrone. Ce convertisseur permet une absorption sinusoïdale et un facteur de puissance unitaire coté réseau.

Nous avons montré que le redresseur triphasé lié d'un coté au réseau triphasé, et de l'autre coté a un onduleur, peut être modélisé par un système d'équations d'état non linéaires.

Des résultats de simulation d'un système de convertisseur-charge qui a été judicieusement dimensionné, ont été présentés et discutés, ce qui a montré la faisabilité de la solution apportée.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons les idées suivantes :

- ❖ Simulation de la commande vectorielle de la machine asynchrone alimentée par cette cascade ;
- ❖ Etude d'autres lois de réglage du redresseur à MLI ;
- ❖ Extrapolation de cette étude aux redresseurs multi niveaux.

ANNEXE

Paramètres de la machine utilisée

Résistance du stator : $R_s = 4.85\Omega$.

Résistance du rotor : $R_r = 3.805\Omega$.

Inductance du stator : $L_s = 0.274$ H.

Inductance du rotor : $L_r = 0.274$ H.

Mutuelle inductance : $M = 0.258$ H.

Mo m e n t d' i n e r t i e $J = 0.031$ k g m²

Coefficient de frottement : $f = 0.08$.

Nombre de paire de pole : $P = 2$.

Bibliographies

- [1] BENMESSAOUD.S, FELLOUH.S “Command par DPC d’un convertisseur AC/DC par DSP basée sur le flux fictive” Mémoire d’ingénieur, EMP ALGER, 2006.
- [2] MITT.A, AISSANI.M “ Commande directe de puissance d’un convertisseur AC/DC PAR DSP” Mémoire d’ingénieur, EMP ALGER 2005.
- [3] BOUFASSA Rabah, MEKARNIA Omar “Modélisation et commande d’un UPFC utilise en filtrage des courants harmoniques d’un réseau électrique” Mémoire d’ingénieur, ENP ALGER, Juin 2007
- [4] ALLOUI.H, BOUALLAYA.S “Etude et réalisation d'un convertisseur AC/DC à MLI vectorielle commande par DSP” Mémoire d’ingénieur ALGER, 2004.
- [5] H.DENOUN. “Contribution à l'étude des redresseur à MLI à facteur de puissance unitaire application à la conduite de la machine asynchrone. Mémoire de magister, EMP, ALGER, 2001.
- [6] BOULAHIA.A “Etude des convertisseurs statiques destinés à la qualité de l'énergie électrique” Mémoire de Magister Université de Constantine ,2009.
- [7] D. Kairous, B. Belmadani, M. Benghanem “Control and stability analysis of doubly fed induction during voltage sags”
- [8] BOUMARAF. F “ Commande intelligente d’une association convertisseur statique machine asynchrone à double alimentation” Mémoire de Magister, Université de Batna ,2009.
- [9] DISSA. A “ Contrôle direct du couple du moteur à induction sans capteur de vitesse associée à un observateur non linéaire,” Mémoire de Magister, 2010.
- [10] R.Abdessmed et M.Kadjoudj, "Modélisation des machines électriques", Presse de l'université de Batna. 1997.
- [11] BENALIA.L “Commande en tension des moteurs à induction double alimentés” Thèse de Doctorat, université Batna ,2010.
- [12] BOUAFIA. A “Techniques de commande prédictive et floue pour les systèmes d'électronique de puissance: application aux redresseurs à MLI” Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas – Setif, 2010.