



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : Technologie

DEPARTEMENT : Electrotechnique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Hocine.fetita/ Abdellah.Hidani

DOMAINE : Science et Technologie

FILIERE : Électrotechnique

OPTION : Machines électriques

Thème

*Etude d'un variateur de vitesse pour moteur
asynchrone triphasé*

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Tahar SEGHIER	Professeur	Président
Boubakeur ZEGNINI	Professeur	Encadreur
Ahmed BELKHEIRI	MC	Examineur

Promotion : 2020

Remerciements

Nous remercions ALLAH Tout-Puissant qui nous a permis de mener cette recherche scientifique, louange à ALLAH. Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude au Professeur Boubakeur ZEGNINI et à le remercier pour toutes les précieuses instructions et informations qu'il nous a fournies, qui ont contribué à enrichir nos recherches dans tous les aspects. Nous remercions également les membres du jury Professeur Tahar SEGHER et Dr Ahmed BELKHEIRI d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre modeste travail.

Nos vifs remerciements sont adressés à l'ensemble des enseignants du département d'électrotechnique de l'université Amar Telidji Laghouat pour la formation qu'ils nous ont assuré tout le long de notre cursus universitaire. Nous remercions tous ceux qui n'ont pas été cités qui ont participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

D'abord et avant tout à ma mère

Ce que j'ai fait tant de sacrifices pour moi-même j'ai permis

J'atteins mes objectifs qu'elle est

J'ai trouvé toute ma reconnaissance et ma gratitude.

À mes frères et sœurs

A tous mes camarades et amis

A toute ma famille, surtout ma grand-mère

A tous mes professeurs

*Nous remercions tous ceux qui ne sont pas cités et ceux qui ne sont pas
mentionnés*

Il a participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail

Hocine.fetita

Dédicaces

Je dédie ce travail à tous les membres de ma famille et à tous ceux qui m'ont encouragé et aidé tout au long de ma carrière universitaire, une dédicace spéciale au professeur **Dr. Djamel TAIBI** de l'Université de Ouargla.

Abdellah .Hidani

ملخص

الهدف هو تحليل تشغيل عاكس الجهد المتحكم فيه PWM (تعديل عرض النبضة)، تتم دراسة مبدأ التحكم في PWM على هيكل بسيط (عاكس نصف جسر أحادي الطور)، ثم على عاكس ثلاثي الطور. ننتهي بمحاكاة هيكل الطاقة الكامل لمحرك السرعة

المتغيرة لمحرك غير متزامن ثلاثي الطور (مقوم + عاكس).

تتم دراسة مبدأ التحكم في PWM على ذراع العاكس (عاكس نصف جسر أحادي الطور)، مع حمل سلبي PWM، و سلسلة R,L ثم على العاكس ثلاثي الطور. هذه هي البنية الأساسية تجعل من الممكن فهم عمل عاكس PWM وتأثير المتغيرات التي تم التلاعب بها.

الكلمات المفتاحية: العاكس ، المعدل ، المحرك غير متزامن ، التحكم في PWM ، المفاتيح من النوع IGBT ، هيكل الطاقة ، محرك السرعة المتغيرة.

Abstract

The aim of this paper is to analyze the operation of a PWM (pulse width modulation) controlled voltage inverter. The principle of a PWM control has been studied on a simple structure (single-phase half-bridge inverter), then on a three-phase inverter. Then a simulation of the complete power structure of an inverter for a three-phase asynchronous motor (rectifier + inverter) was made with the software PSIM and Matlab /simulink. The principle of a PWM control is carried out on an inverter arm (half-bridge single-phase inverter), with a passive load R, L series and then on a three-phase inverter. This basic structure makes it possible to understand the operation of a LIM inverter and the influence of the speed control variables. Finally, the results obtained are interpreted and discussed.

Key words: inverter, rectifier, asynchronous motor, PWM control, IGBT type switches, power structure, variable speed drive

Résumé

L'objectif de ce mémoire est d'analyser le fonctionnement d'un onduleur de tension à commande MLI (modulation de largeur d'impulsions). Le principe d'une commande MLI a été étudié sur une structure simple (onduleur monophasé demi pont), puis sur un onduleur triphasé. Ensuite une simulation de la structure de puissance complète d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé (redresseur + onduleur) a été faite avec le logiciel PSIM et Matlab /simulink. Le principe d'une commande MLI est effectué sur un bras d'onduleur (onduleur monophasé demi-pont), avec une charge passive R, L série puis sur un onduleur triphasé. Cette structure de base permet de comprendre le fonctionnement d'un onduleur MLI et l'influence des grandeurs de régulation de vitesse. Enfin Les résultats obtenus sont interprétés et discutés.

Mots clés : onduleur, redresseur, moteur asynchrone, commande MLI, interrupteurs de type IGBT, structure de puissance, variateur de vitesse.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Bilan de puissance.....	8
Tableau I.2 : les commandes scalaires et les commandes.....	13

Liste des figures

Figure I.1 : Machine asynchrone triphasé.....	3
Figure I.2 : Constitution de la machine asynchrone.....	4
Figure I.3 : Stator de machine asynchrone.....	5
Figure I.4 : Rotor cage d'un moteur asynchrone.....	5
Figure I.5 : Le rotor bobiné d'un moteur asynchrone.....	6
Figure I.6 : Champ tournant de la MAS.....	6
Figure I.7 : Caractéristique du moteur asynchrone.....	9
Figure I.8 : Branchement étoile ou triangle.....	9
Figure I.9 : Démarrage de résistances rotoriques.....	11
Figure I.10 : Techniques de freinage.....	12
Figure I.11 : Déplacement de la caractéristique Couple-glissement en fonction de la fréquence d'alimentation.....	13
Figure I.12 : Déplacement de la caractéristique Couple-vitesse en fonction de la fréquence d'alimentation.....	14
Figure I.13 : Contrôle scalaire de la tension.....	14
Figure I.14 : Contrôle scalaire du courant.....	15
Figure I.15 : Principe du contrôle vectoriel.....	16
Figure II.1 : Variateurs de vitesse.....	19
Figure II.2 : Schéma du variateur de vitesse.....	20
Figure II.3 : La chaîne de conversion alternative – continue.....	21
Figure II.4 : Montage simple alternance (P3).....	21

Figure II.5 : Montage double alternance (PD3).....	22
Figure II.6 : Montage avec une source en polygone.....	22
Figure II.7 : Redresseur non commandé à diode (PD3).....	23
Figure II.8 : les courbes de redresseur non commandé à diode (PD3).....	24
Figure II.9 : Redresseur commandé à thyristor (PD3).....	25
Figure II.10 : les courbes de Redresseur commandé à thyristor (PD3).....	26
Figure II.11 : Le circuit intermédiaire.....	26
Figure II.12 : Circuit intermédiaire à tension variable.....	27
Figure II.13 : Montage pratique d'un onduleur en demi-pont.....	28
Figure II.14 : Structure d'un onduleur de tension monophasé (en pont).....	29
Figure II.15 : structure d'un onduleur triphasé.....	29
Figure II.16 : Transistor IGBT.....	30
Figure II.17 : Schéma de position de MLI sur la chaine de régulation du moteur.....	32
Figure II.18 : fonctionnement de la MLI.....	32
Figure II.19 : Quadrant de fonctionnement de la machine asynchrone.....	35
Figure III.1 : Schéma d'un onduleur monophasé 1/2 pont.....	39
Figure III.2 : signal de modulation (V_m) et de porteuse (V_p) pour un onduleur monophasé 1/2 pont.....	40
Figure III.3 : signal de commande de K1 pour un onduleur monophasé 1/2 pont.....	40
Figure III.4 : signal de modulation (V_m) et de porteuse (V_p) par un zoom.....	41
Figure III.5 : signal la commande de K1 par un zoom.....	41
Figure III.6 : signal de la tension de sortie.....	42
Figure III.7 : signal de courant de sortie.....	42
Figure III.8 : spectre de la tension.....	43
Figure III.9 : spectre de courant.....	43
Figure III.10 : signal de tension de sortie.....	44
Figure III.11 : signal de courant de sortie.....	44

Figure III.12 : signal de tension de sortie.....	45
Figure III.13 : signal de courant de sortie.....	45
Figure III.14 : Spectre de la tension.....	46
Figure III.15 : Schéma d'un onduleur triphasé.....	47
Figure III.16 : signal de tension de sortie entre phases.....	48
Figure III.17 : signal des trois courants de sortie.....	48
Figure III.18 : Spectre de la tension entre phases.....	49
Figure III.19 : Schéma structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone Triphasé.....	50
Figure III.20 : signal des courants dans la charge.....	51
Figure III.21 : signal de courant dans une phase à l'entrée du redresseur.....	51
Figure III.22 : schéma simulink pour variateur de vitesse avec moteur MAS.....	52
Figure III.23 : Schéma bloc Onduleur triphasé M.L.I.....	53
Figure III.24 : Schéma bloc de la commande M.L.I.....	54
Figure III.25 : courbe vitesse de rotation pour $f = 50\text{Hz}$	54
Figure III.26 : Courant statorique pour $f=50\text{H}$	55
Figure III.27 : Couple électromagnétique pour $f=50\text{Hz}$	55
Figure III.28 : courbe vitesse de rotation pour $f=30\text{Hz}$	56
Figure III.29 : Courant statorique pour $f=30\text{Hz}$	56
Figure III.30 : Couple électromagnétique pour $f = 30\text{Hz}$	57

sommaire

Introduction générales.....page 01

Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones triphasées

I.1 Introductionpage 03

I.2 Définition d'un machine asynchronepage 03

I.3 Constitution du moteur asynchrone triphasé.....page 04

I.3.1 le statorpage 05

I.3.2 le rotorpage 05

I.3.2.1 Le rotor à cage d'écureuil.....page 05

I.3.2.2 Le rotor bobiné (rotor à bagues)page 06

I.4 Principe de fonctionnementpage 06

I.5 Définition glissement et couplepage 07

I.5.1 glissementpage 07

I.5.2 Couplepage 07

I.6 Bilan de puissancepage 08

I.7 Caractéristique du moteur asynchronepage 08

I.8 Branchement étoile ou trianglepage 09

I.9 Démarrage des moteurs asynchronespage 10

I.9.1 Démarrage directpage 10

I.9.2 Démarrage sous tension réduitepage 10

I.9.3 Démarrage étoile-trianglepage 10

I.9.4 Démarrage par auto-transformateurpage 10

I.9.5 Démarrage résistifpage 11

I.9.6 Démarrage par élimination de résistances rotoriques.....page 11

I.10 Freinage des moteurs asynchronespage 12

I.10.1 Freinage par injection d'un courant continu.....page 12

I.10.2 Freinage par contre-courantpage 12

I.10.3 Freinage mécanique par électro-freinpage 12

I.11 Commande de la machine asynchrone	page 13
I.11.1 Commande scalaire.....	page 13
I.11.1.1 Contrôle en V/f de la machine asynchrone	page 13
I.11.1.2 Contrôle scalaire du courant.....	page 15
I.11.2 Commande vectorielle	page 15
I.12 Régulation de fréquence	page 17
I.13 Conclusion	page 17

Chapitre II : variateur de vitesse

II.1 Introduction.....	page 19
II.2 Variateurs de vitesse	page 19
II.3 Principe de base du variateur de vitesse	page 20
II.3.1 Le Redresseur.....	page 20
II.3.1.1 Les trois types de montages redresseurs	page 21
II.3.1.2 L'indice de commutation et l'indice pulsation	page 22
II.3.1.3 Principe d'étude d'un montage redresseur.....	page 23
II.3.1.4 Redressement non commande (diodes)	page 23
II.3.1.5 Redressement commandé (tous thyristors)	page 25
II.3.2 Le circuit intermédiaire	page 26
II.3.2.1 Le circuit intermédiaire à tension variable	page 27
II.3.2.2. Filtrage	page 27
II.3.2.2.1 Filtres passifs	page 27
II.3.3 L'onduleur	page 27
II.3.3.1 Onduleur de courant	page 28
II.3.3.2 Onduleur de tension.....	page 28
II.3.3.3 Classification des onduleurs	page 28
II.3.3.4 Onduleurs monophasés	page 28
II.3.3.5 L'onduleur de tension triphasé	page 29
II.3.3.5.1 Transistor IGBT	page 30
II.3.3.6 Modélisation de l'onduleur triphasé	page 31
II.3.3.7 Techniques de commande de l'onduleur triphasé	page 32

II.3.3.7.1 Commande de MLI	page 32
II.3.3.7.2 modulation de largeur d'impulsion (MLI)	page 32
II.3.3.7.3 Le circuit de commande	page 33
II.4 Les fonctions du variateur de vitesse	page 33
II.5 Avantages et inconvénients du variateur de vitesse	page 34
II.5.1 Avantages.....	page 34
II.5.2 Inconvénients.....	page 34
II.6 Quadrants de fonctionnement des variateurs	page 35
II.7 Conclusion	page 36

Chapitre III : Simulation et Interprétations des résultats

III.1. Introduction	page 38
III.2. Présentation du logiciel PSIM.....	page 38
III.3. Simulation du réseau d'alimentation du variateur de vitesse.....	page 38
III .4 Objectifs de l'activité	page 38
III.5 Etude d'un onduleur monophasé 1/2 pont	page 38
III.5.1 Etude de la commande des interrupteurs K1, K2	page 39
III.5.2 Etude de la tension et du courant de sortie	page 42
III.5.3 : Etude des paramètres de la MLI.....	page 44
III.5.3.1: Influence de la fréquence de découpage fp.....	page 44
III.5.3.2 Influence de l'amplitude du signal de modulation	page 45
III.5.4 Interprétations des résultats de simulation	page 46
III.6 Etude d'un onduleur triphasé.....	page 47
III.6.1 Interprétations des résultats de simulation	page 49
III.7 Structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone triphasé.....	page 49
III.7.1 Interprétations des résultats de simulation.....	page 52
III.8 Simulation d'un variateur de vitesse pour un MAS triphasé Simulink/Matlab.....	page 52
III.8.1 Interprétations des résultats de simulation	page 55
III.8.2 Interprétations des résultats de simulation	page 57
III.9 CONCLUSION.....	page 57

Introduction générale

Les moteurs électriques sont devenus très populaires dans l'industrie. OÙ sa fonction est de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique, ce qui la rend d'une grande importance pour le fonctionnement des processus industriels et aide ainsi à l'accomplissement de diverses tâches.

Le moteur asynchrone triphasé est le plus utilisé et le plus répandu grâce aux nombreux avantages qu'il offre, en plus de sa facilité d'adaptation aux équipements de contrôle tels que les contacteurs et transformateurs électroniques. Ce qui contribue à la différence de sa vitesse.

L'utilisation du variateur de vitesse est répandue dans des nombreux domaines industriels, soit pour régler le processus, soit pour fixer le point de fonctionnement.

Un variateur de vitesse est un appareil électronique permettant la régulation ou la commande de la vitesse des Il converti en grandeur variable, la tension, le courant, la fréquence du réseau. La structure, les principes physiques, la technologie mise en jeu dans le variateur de pendent essentiellement du moteur utilisé.

Pour chaque principe physique, il existe de nombreuses options technologiques possibles, cela nous donne une variété de moteurs électriques, et nous étudierons la vitesse variable avec un moteur asynchrone triphasé..

Notre mission est d'étudier un variateur de vitesse pour un moteur asynchrone triphasé et pour atteindre notre objectif, nous avons divisé le travail en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous fournissons des informations générales sur les machines asynchrones triphasées. Nous nous concentrerons sur les différentes définitions des pièces qui composent cet équipement, le principe de fonctionnement et types de commande

Le deuxième chapitre sera consacré à étude d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé, et nous découvrirons ses composants que nous utiliserons et expliquerons.

Dans le troisième chapitre, nous simulerons un variateur de vitesse pour un moteur asynchrone triphasé à l'aide des logiciels **Matlab /Simulink , PSIM**

Chapitre I :

Généralités sur les machines asynchrones triphasées

I.1. Introduction

Une machine électrique est un dispositif électromécanique fondé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou énergie mécanique. Ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité.

Il existe de nombreux types de moteurs électriques qui ont les mêmes caractéristiques que nous avons mentionnées précédemment et nous avons choisi le moteur asynchrone comme le moteur le plus utilisé chez beaucoup d'entre nous grâce aux caractéristiques et ses avantages.

Dans ce présent chapitre nous essayerons d'en parler sur les différents paramètres qui régissent cette machine. Ainsi, on commencera par une définition de cette dernière, un aperçu sur les différents éléments la constituant et son principe de fonctionnement. Puis on citera les différents régimes de fonctionnement ainsi que le bilan de puissances de cette machine on étalera également, les procédés de démarrage et comment le contrôler et on terminera par une conclusion.

I.2. Définition d'une machine asynchrone :

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault [1].

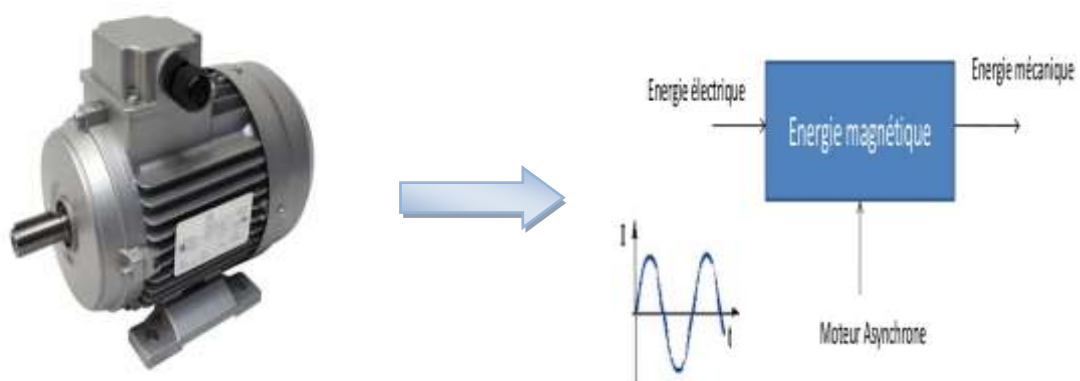


Figure I.1 : Machine asynchrone triphasé

I.3. Constitution du moteur asynchrone triphasé

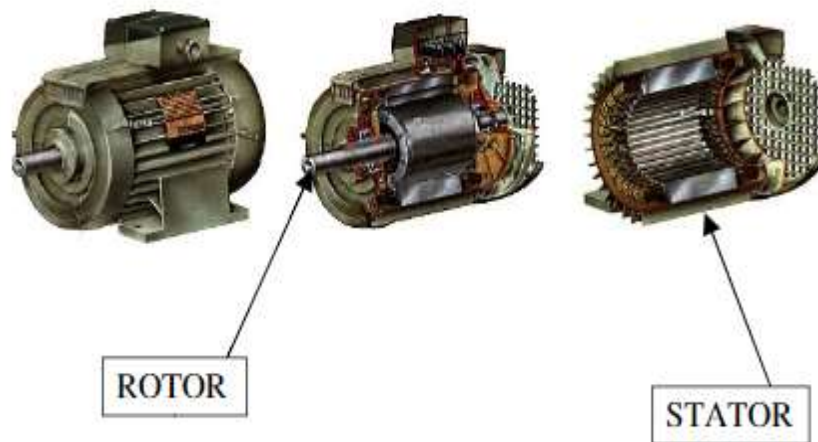


Figure I.2 : Constitution de la machine asynchrone

Ce type de machine est comportant deux armatures coaxiales l'une est fixée appelée stator et l'autre est mobile appelée rotor ; entre les 2 armatures il y a l'entrefer.

On classe les différentes pièces rencontrées dans toute machine tournante selon les trois grandes fonctions réalisées [2]

ORGANES ELECTRIQUES

- Enroulements statoriques
- Conducteurs rotoriques

ORGANES MAGNETIQUES

- Circuit magnétique fixe
- Circuit magnétique mobile

ORGANES MECANIQUES

- Carcasse avec fixation ou stator Ventilateur
- Rotor avec l'arbre capot de ventilateur
- Tiges de montage plaque à bornes
- Roulements à billes flasques

I.3.1. Le stator :

C'est la partie fixe du moteur. Il est constitué d'une carcasse sur laquelle est fixée une couronne de tôles d'acier de qualité spéciale munies d'encoches. Des bobinages de section appropriée sont répartis dans ces dernières et forment un ensemble d'enroulements qui comporte autant de circuits qu'il y a de phases sur le réseau d'alimentation [3].



Figure I.3 : Stator de machine asynchrone

I.3.2. Le rotor :

C'est la partie mobile du moteur ; il est placé à l'intérieur du stator, et constitué d'un empilage de tôles d'acier formant un cylindre claveté sur l'arbre du moteur. Il existe deux types de rotor : rotor à cage d'écureuil et rotor bobiné :

I.3.2.1 Le rotor à cage d'écureuil:

L'enroulement à cage d'écureuil est constitué de barres de cuivre nues introduites dans les encoches. Ces barres sont soudées à chaque extrémité à deux anneaux qui les court-circuitent, l'ensemble ressemble à une cage d'écureuil. Dans les moteurs de petites et moyennes puissances, les barres et les anneaux sont formés d'un seul bloc d'aluminium coulé.



Figure I.4 : Rotor cage d'un moteur asynchrone

I.3.2.2. Le rotor bobiné (rotor à bagues)

Le rotor bobiné comprend un bobinage triphasé semblable à celui du stator placé dans les encoches. Il est composé de trois enroulements raccordés en étoile, l'extrémité libre de chaque enroulement est reliée à une bague tournant avec l'arbre. Ces bagues permettent, par l'intermédiaire de trois balais d'insérer une résistance extérieure en série avec chacun des trois enroulements lors du démarrage du moteur. En fonctionnement normal, les balais sont court-circuités.

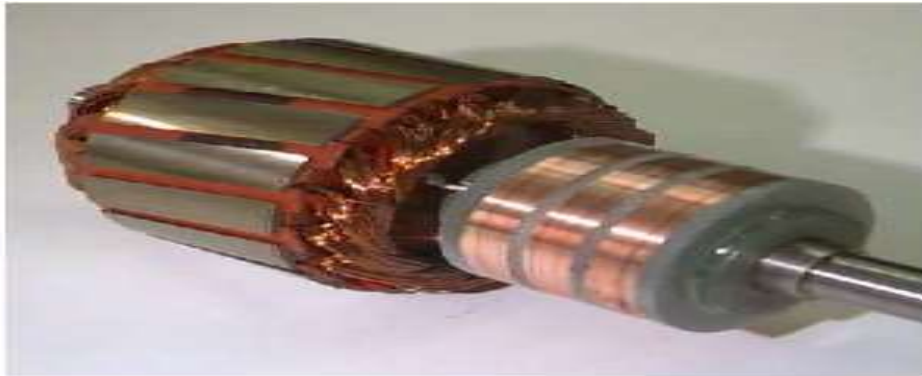


Figure I.5 : Le rotor bobiné d'un moteur asynchrone

I.4. Principe de fonctionnement :

Ce qui permet au rotor de tourner c'est le principe des champs magnétiques tournant produit par des tensions alternatives. Trois enroulements sont disposés dans le stator à 120° les uns des autres, une fois alimentés trois champs magnétiques indépendants sont créés. Ces champs magnétiques sont déphasés dans le temps de par la nature même du courant triphasé la vitesse du champ magnétique sera toujours supérieure à celle du rotor, les deux vitesses ne peuvent être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone. La vitesse d'un moteur en tours par secondes dépend de la fréquence du réseau qui alimente le stator en Hz (50Hz pour l'Europe) et du nombre de pôle du moteur, donc pour faire varier la vitesse d'un moteur il suffit de modifier la fréquence ou le nombre de pôle [4].

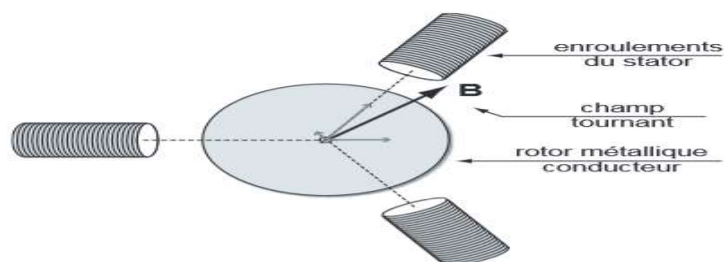


Figure I.6: Champ tournant de la MAS.

I.5. Définition glissement et couple

I.5.1. glissement :

Comme on l'a vu au niveau du principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone, la vitesse de rotation de l'arbre du moteur est différente de la vitesse de synchronisme (vitesse du champ tournant) [5].

Le glissement représente la différence de vitesse de rotation entre l'arbre du moteur et le champ tournant du stator; il s'exprime par la relation suivante :

$$s = n_0 - n_n \quad (1.1)$$

Avec,

- n_0 = vitesse du champ tournant.
- n_n = vitesse de rotation de l'arbre.

Le glissement est généralement exprimé en pourcentage de la vitesse de synchronisme n_0 .

$$s = (n_0 - n_n) / n_0 [\%] \quad (1.2)$$

La vitesse de synchronisme, quant à elle, est fonction de la fréquence du réseau et du nombre de paires de pôles. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$n_0 = (f \times 60) / p \quad (1.3)$$

Avec,

- n_0 = vitesse du champ tournant.
- f = la fréquence du réseau (en général 50 Hz)
- p = le nombre de paires de pôles.

I.5.2. Couple :

Le couple C d'un moteur asynchrone est fonction de la puissance P et de la vitesse de rotation n du moteur. Il s'exprime par la relation suivante :

$$C = (P \times 9\,550) / n \quad (1.4)$$

Avec,

- P = Puissance du moteur [W].
- n = la vitesse de rotation du moteur [tr/min].

I.6. Bilan de puissance :

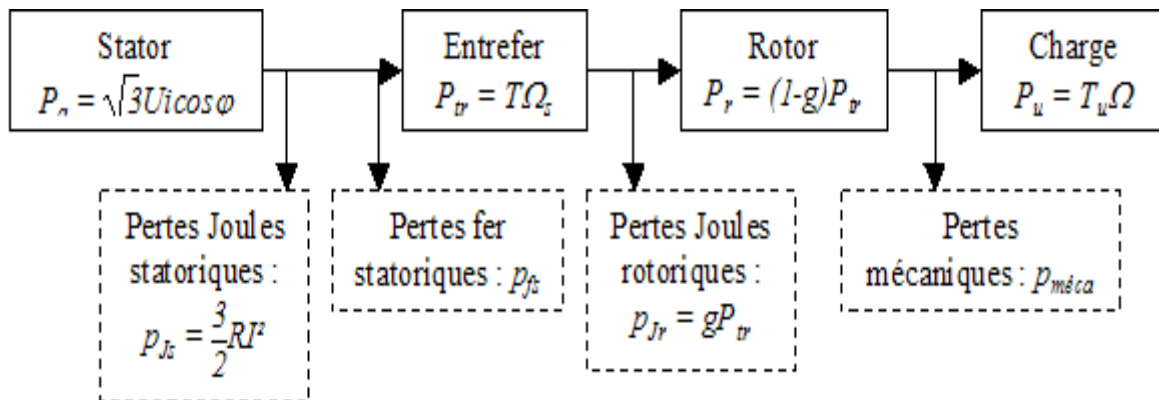


Tableau I.1 : Bilan de puissance [6]

Formules à retenir :

- Puissance absorbée : $P_a = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$ (1.5)
- Puissance utile : $P_u = T_u \times \Omega$ (1.6)
- Rendement : $\eta = P_u / P_a$ (1.7)
- Vitesse de synchronisme : $n = f / p$ (en tr/sec) (1.8)
 f : fréquence en Hz, p : nombre de paires de pôles
- $\Omega = 2 \times \pi \times N / 60$ (en rad/sec) (1.9)
- $\Omega' = 2 \times \pi \times N' / 60$ (en rad/sec)
- Glissement : $g = (\Omega - \Omega') / \Omega = (n - n') / n$ (1.10)
 (Ω : vitesse de synchronisme, Ω' : vitesse du rotor).

I.7. Caractéristique du moteur asynchrone

Le couple (N.m) varie avec la fréquence de rotation (tr/min) du moteur accouplé à la charge entraînée (supposée fixe). Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques. D'une manière générale, le point de fonctionnement en moteur doit être choisi pour $N < N_s$ et doit être placé dans la partie verticale de la courbe, au plus près de la vitesse de rotation nominale N_r (appelée aussi N_n) [1].

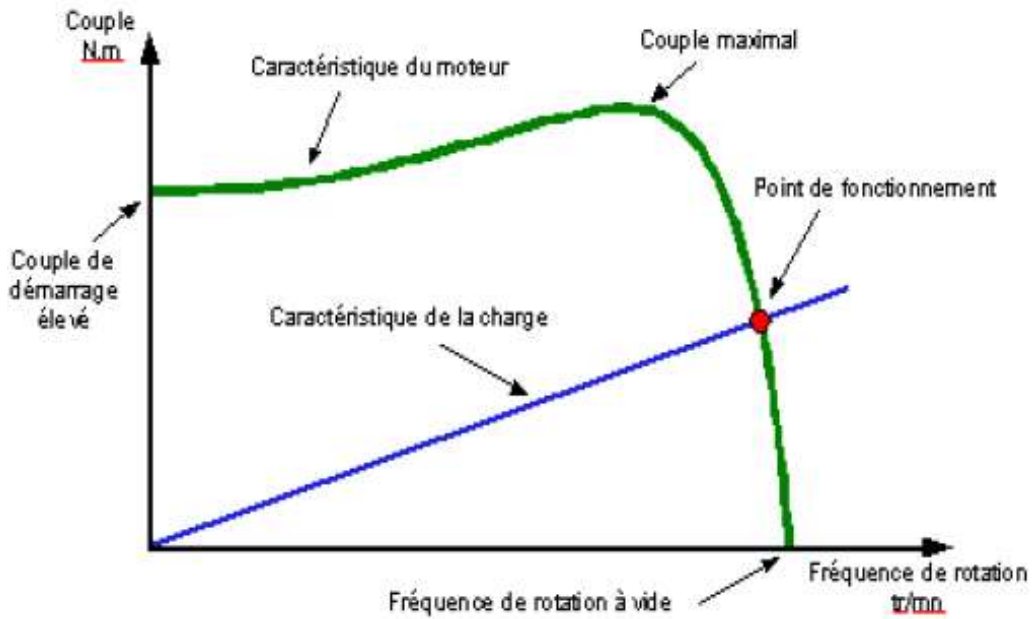


Figure I.8 : Caractéristique du moteur asynchrone

I.8. Branchement étoile ou triangle :

Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé. Le montage en étoile et le montage en triangle. Avec un branchement en étoile, la tension aux bornes de chacune des bobines est d'environ 230 V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée avec la tension nominale du réseau (400 V). On utilise le montage étoile si un moteur de 230V doit être relié sur un réseau 400 V ou pour démarrer un moteur à puissance réduite dans le cas d'une charge avec une forte inertie mécanique [1].

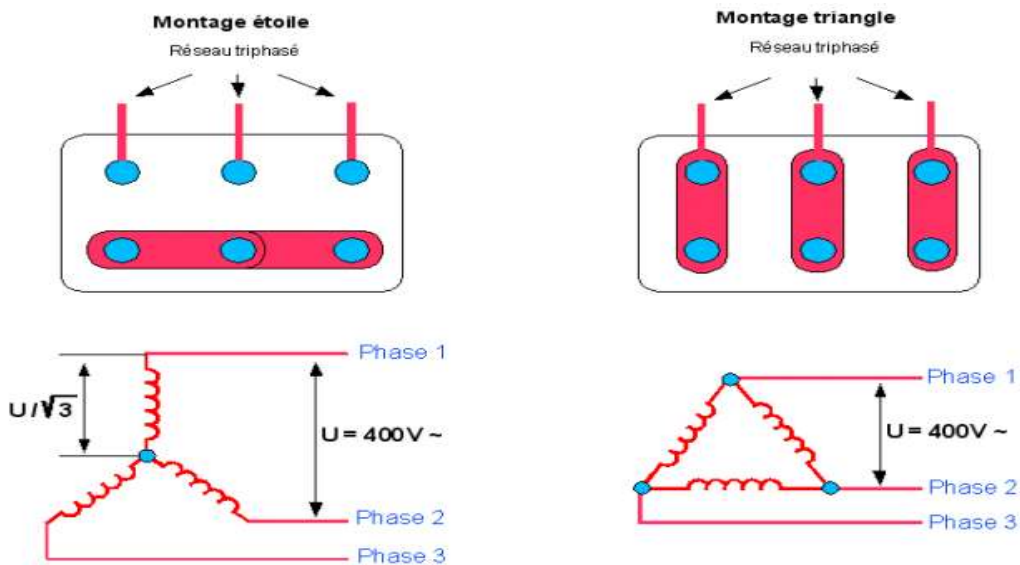


Figure I.9 : Branchement étoile ou triangle.

I.9. Démarrage des moteurs asynchrones :

I.9.1 Démarrage direct

C'est un procédé de démarrage simple obtenu en un seul temps ; le stator du moteur est couplé directement sur le réseau. Le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles avec une forte pointe d'intensité qui va provoquer une chute de tension. La norme impose pour cette chute de tension une limite de

- $\pm 5\%$ sur le réseau public.
- $\pm 10\%$ sur un réseau privé.

Ce procédé est idéal dans la mesure où la pointe d'intensité est acceptable et si le couple initial de démarrage du moteur (fixé par le type de construction de son rotor et en général voisin de $1,5 C_n$) convient à la mise en route de la machine [7].

I.9.2. Démarrage sous tension réduite :

Plusieurs dispositifs permettent de réduire la tension aux bornes des enroulements du stator pendant la durée du démarrage de la machine ce qui est un moyen de limiter l'intensité du courant de démarrage. L'inconvénient est que le couple moteur est également diminué et que cela augmente la durée avant laquelle la machine atteint le régime permanent [8].

I.9.3. Démarrage étoile-triangle :

Lors d'un démarrage étoile-triangle, la machine est d'abord connectée au réseau avec un couplage étoile, puis une fois démarrée, on passe sur couplage triangle. Le fait de démarrer avec un couplage étoile permet de diviser par $\sqrt{3}$ la tension appliquée. Ainsi, le courant maximal absorbé est trois fois plus faible que lors d'un démarrage directement avec un couplage triangle. Le couple de démarrage est lui aussi trois fois plus faible que lors d'un démarrage en triangle. La surintensité lors du passage étoile-triangle est inférieure au courant d'appel d'un démarrage effectué directement en triangle.

I.9.4. Démarrage par autotransformateur :

Dans ce mode de démarrage, le stator de la machine asynchrone est relié à un autotransformateur qui permet d'effectuer un démarrage sous tension variable. La tension est progressivement augmentée, l'intensité du courant ne dépassant pas la valeur maximale désirée. Dans les versions industrielles les plus simples et aussi les plus courantes, on démarre avec une tension réduite fixe en sortie de l'autotransformateur (par exemple 70% de la tension nominale), et une fois atteinte la pleine vitesse du moteur, on passe directement le secondaire sur la tension nominale.

I.9.5 .Démarrage résistif :

Lors d'un démarrage résistif, on insère des résistances en série avec les enroulements statoriques ce qui a pour effet de limiter la tension à leurs bornes. Une fois le démarrage effectué, on court-circuite ces résistances. Cette opération peut être effectuée progressivement par un opérateur à l'aide de rhéostats de démarrage.

I.9.6 .Démarrage par élimination de résistances rotoriques:

Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à rotor bobiné dont les enroulements sont couplés en Y, et les trois sorties sont soudés à des bagues fixées sur l'arbre du moteur auxquels on peut insérer des résistances à l'aide de balais frotteurs. Ce démarrage consiste à alimenter le stator du moteur par la tension nominale et éliminer les résistances rotoriques en plusieurs temps (3 temps au minimum).

1 er temps : On insère la totalité des résistances dans les enroulements du rotor.

2 ème temps : On diminue la résistance du circuit rotor en éliminant une partie des résistances insérées

3 ème temps : On élimine toutes les résistances rotoriques en court-circuitant les enroulements du rotor.

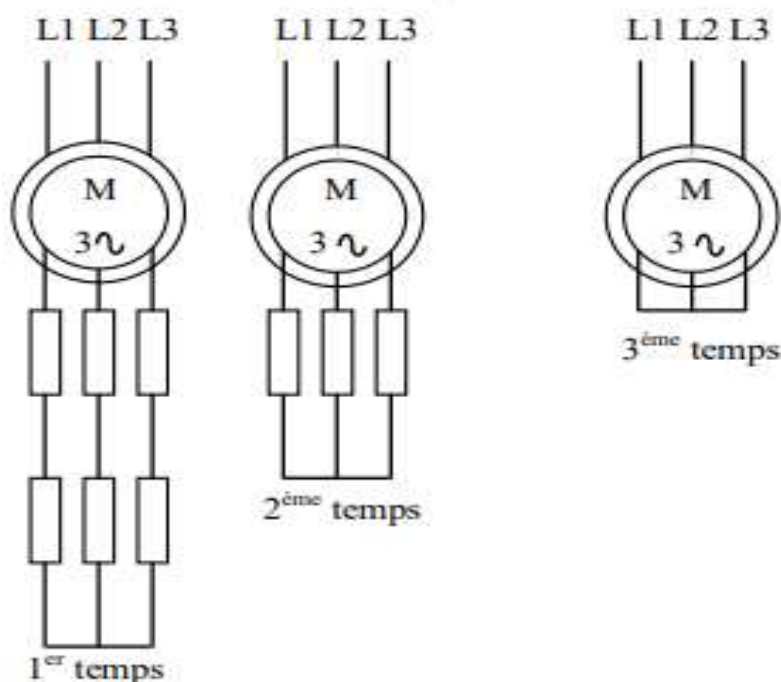


Figure I.10:Démarrage de résistances rotoriques.

I.10. Freinage des moteurs asynchrones :

I.10.1 Freinage par injection d'un courant continu:

Cette technique repose sur l'excitation du stator par un courant continu, un champ non variable qui va s'opposer au mouvement et créer ainsi le frein. Cette technique nous oblige à déconnecter la machine de l'alimentation lorsqu'on l'effectue.

I.10.2 Freinage par contre-courant :

Le principe consiste à inverser deux phases pendant un court instant. Ceci est donc équivalent à un freinage hyper synchrone à fréquence fixe et mal géré. Le couple résistant est faible et le courant appelé est également très important (de l'ordre de 10 à 12 fois l'intensité nominale). La conséquence en est que les enroulements de la machine risquent un sur-échauffement : il est conseillé de prévoir des résistances supplémentaires afin de diminuer l'intensité. Enfin, avec cette méthode, le couple décélérateur reste négatif pendant toute la phase de freinage, il faut donc prévoir de couper l'alimentation au passage par zéro de la vitesse (temporisation, contact centrifuge), sinon la rotation s'inverse [8].

I.10.3. Freinage mécanique par électro-frein :

Ce système est constitué d'un frein à disque solidaire de l'arbre de la machine asynchrone et dont les mâchoires initialement serrées hors tension sont commandées par un électroaimant. Après alimentation de l'électroaimant, les mâchoires se desserrent laissant la rotation libre. La coupure de l'alimentation provoque le freinage. Ce dispositif aussi appelé « frein à manque de courant » est souvent prévu comme dispositif d'arrêt d'urgence.

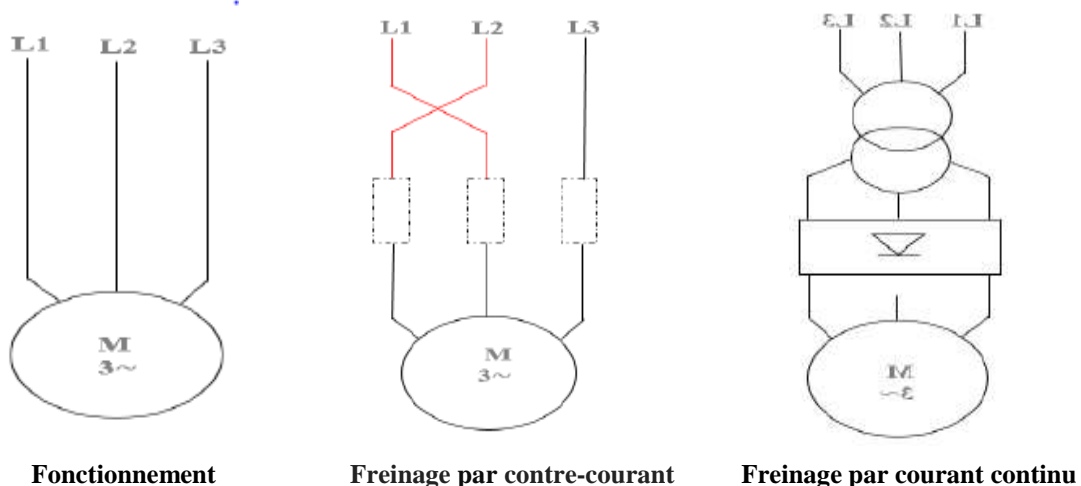


Figure I.11 : Techniques de freinage.

I.11. Commande de la machine asynchrone :

On distingue deux types de commandes ; les commandes scalaires et les commandes vectorielles [9]

Commande scalaire	Commande vectorielle
<ul style="list-style-type: none"> • Basée sur le modèle régime permanent + Simple à implanter - Dynamique lente 	<ul style="list-style-type: none"> • Basée sur le modèle transitoire + Précise et rapide + Contrôle du couple à l'arrêt - Chère (encodeur incrémental ou estimateur de vitesse, DSP...)
Contrôle des grandeurs en amplitude	Contrôle des grandeurs en amplitude et en phase

Tableau I.2 : les commandes scalaires et les commandes

I.11.1 Commande scalaire:

Plusieurs commandes scalaires existent selon que l'on agit sur le courant ou sur la tension. Elles dépendent surtout de la topologie de l'actionneur utilisé (onduleur de tension ou de courant). L'onduleur de tension étant maintenant le plus utilisé en petite et moyenne puissance, c'est la commande en V/f (V sur f) qui est la plus utilisée.

I.11.1.1 Contrôle en V/f de la machine asynchrone :

Son principe est de maintenir V/f=Constant ce qui signifie garder le flux constant. Le contrôle du couple se fait par l'action sur le glissement. En effet, d'après le modèle établi en régime permanent, le couple maximum s'écrit :

$$C_{max} = \frac{3P}{2N_r} \left(\frac{V_s}{\omega_s} \right)^2 \quad (1.11)$$

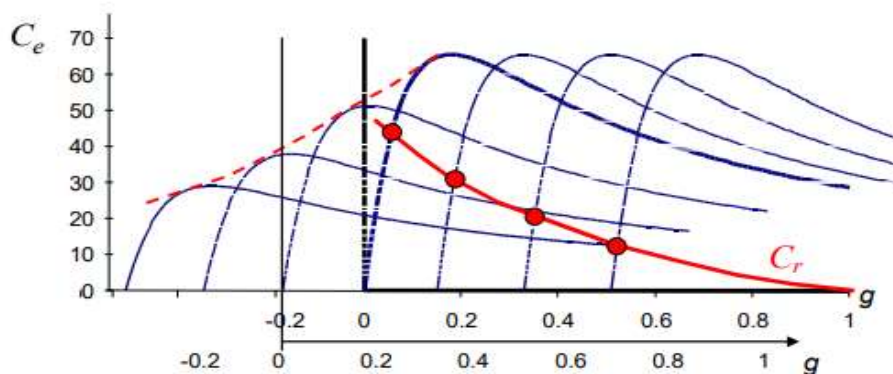


Figure I.12 : Déplacement de la caractéristique Couple-glissement en fonction de la fréquence d'alimentation

Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones triphasées

On voit bien que le couple est directement proportionnel au carré du rapport de la tension sur la fréquence statorique. En maintenant ce rapport constant et en jouant sur la fréquence statorique, on déplace la courbe du couple électromagnétique (en régime quasi-statique) de la machine asynchrone.

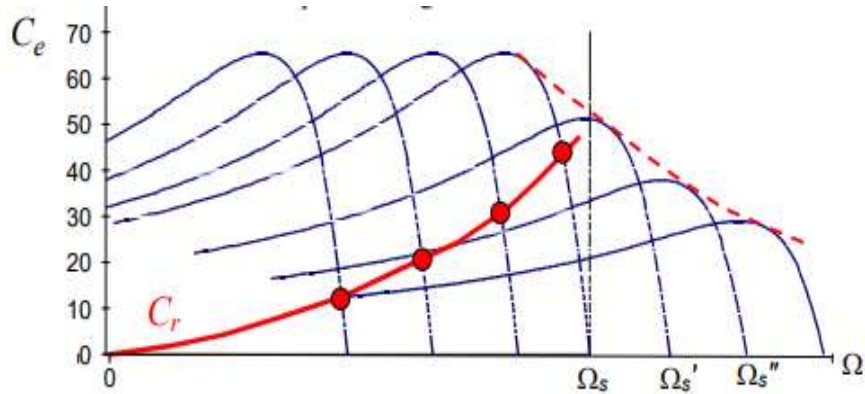


Figure I.13 : Déplacement de la caractéristique Couple-vitesse en fonction de la fréquence d'alimentation

En fait, garder le rapport constant revient à garder le flux constant. Quand la tension atteint sa valeur maximale, on commence alors à décroître ce rapport ce qui provoque une diminution du couple que peut produire la machine. On est en régime de "défluxage". Ce régime permet de dépasser la vitesse nominale de la machine, on l'appelle donc aussi régime de survitesse (partie $\Omega > \Omega_s$)

A basse vitesse, la chute de tension ohmique ne peut pas être négligée. On compense alors en ajoutant un terme de tension V_0

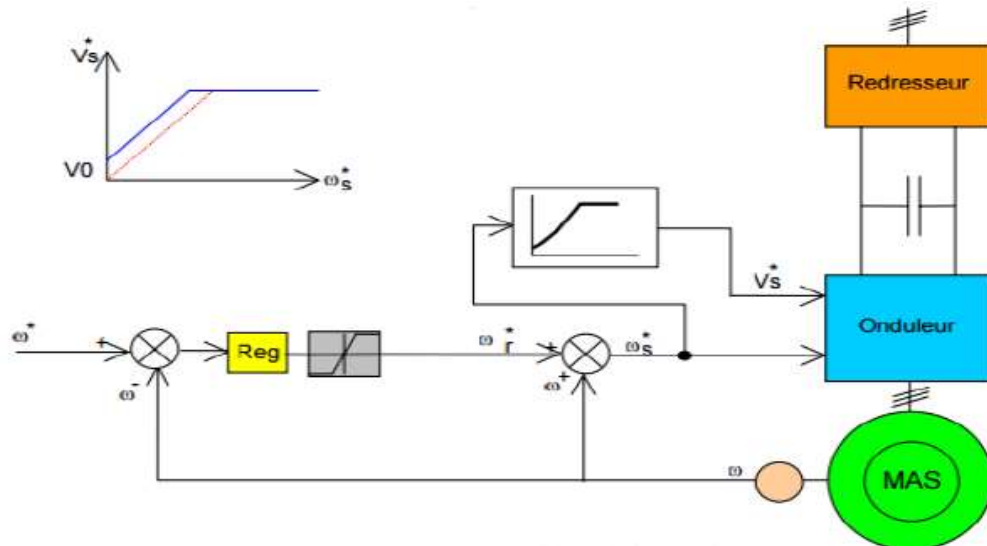


Figure I.14 : Contrôle scalaire de la tension

Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones triphasées

Le schéma de commande ci-dessus (Figure 9) présente la manière de réguler la vitesse de la machine en reconstituant la pulsation statorique à partir de la vitesse et de la pulsation rotorique. Cette dernière, qui est l'image du couple de la machine est issue du régulateur de vitesse. Si la machine est chargée, la vitesse a tendance à baisser, le régulateur va fournir plus de couple (donc plus de glissement) afin d'assurer cet équilibre. La pulsation statorique est donc modifiée pour garder cet équilibre. La tension est calculée de manière à garantir le mode de contrôle en V/f de la machine.

I.11.1.2. Contrôle scalaire du courant

La différence avec la commande précédente, c'est que c'est un onduleur (commutateur) de courant qui est utilisé. On impose directement des courants dans les phases de la machine. La fréquence du fondamental est calculée de la même manière. La valeur du courant de plateau I_d (courant continu) est égale à une constante près à la valeur efficace du courant imposé I_s . Elle est imposée par régulation à l'aide d'un pont redresseur contrôlé. Le dispositif est plus complexe qu'un contrôle scalaire de la tension.

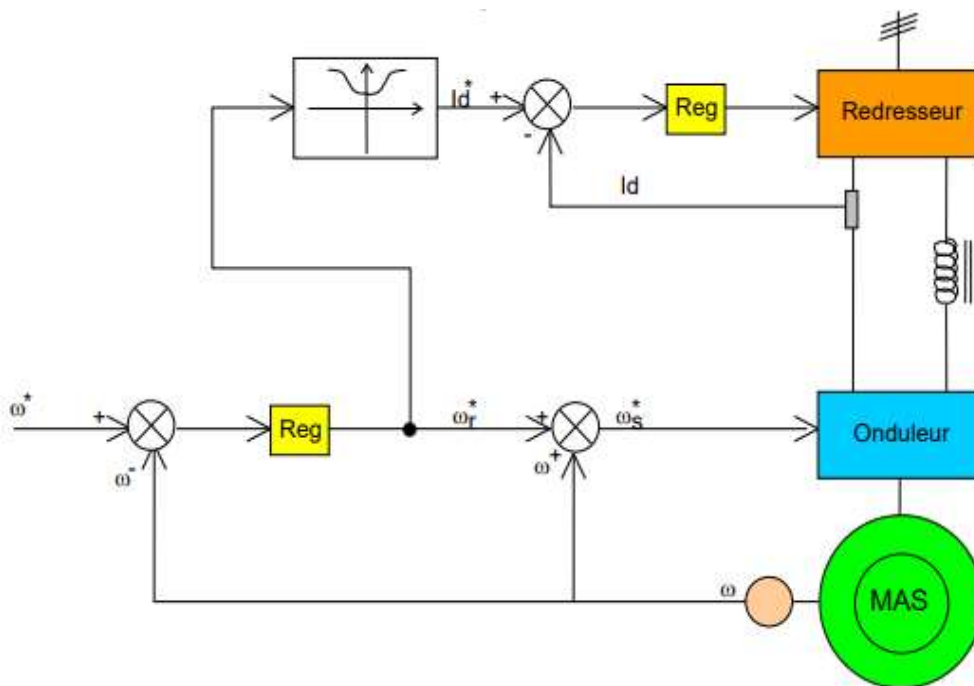


Figure I.15: Contrôle scalaire du courant

I.11.2 Commande vectorielle :

La commande vectorielle a été introduite il y a longtemps. Cependant, elle n'a pu être implantée et utilisée réellement qu'avec les avancées en micro-électronique. En effet, elle nécessite des calculs de transformé de Park, évaluation de fonctions trigonométriques, des intégrations, des régulations... ce qui ne pouvait pas se faire en pure analogique.

Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones triphasées

Le contrôle de la machine asynchrone requiert le contrôle du couple, de la vitesse ou même de la position. Le contrôle le plus primaire est celui des courants et donc du couple, puisque l'on a vu que le couple pouvait s'écrire directement en fonction des courants :

$$C_e = pM(i_{qs}i_{dr} - i_{ds}i_{qr}). \quad (1.12)$$

Une fois que l'on maîtrise la régulation du couple, on peut ajouter une boucle de régulation externe pour contrôler la vitesse. On parle alors de régulation en cascade ; les boucles sont imbriquées l'une dans l'autre. Il est évident que pour augmenter la vitesse, il faut imposer un couple positif, pour la diminuer il faut un couple négatif. Il apparaît alors clairement que la sortie du régulateur de vitesse doit être la consigne de couple. Ce couple de référence doit à son tour être imposé par l'application des courants ; c'est le rôle des régulateurs de courants.

Nous avons vu que le couple en régime transitoire (quelconque) s'exprime dans le repère dq comme un produit croisé de courants ou de flux. Si nous reprenons l'écriture :

$$C_e = p.M/L_r (\varphi_{dr}i_{qs} - \varphi_{qr}i_{ds}) \quad (1.13)$$

On s'aperçoit que si l'on élimine le deuxième produit ($\varphi_{qr}i_{ds}$), alors le couple ressemblerait fort à celui d'une MCC. Il suffit, pour ce faire, d'orienter le repère dq de manière à annuler la composante de flux en quadrature. C'est-à-dire, de choisir convenablement l'angle de rotation de Park de sorte que le flux rotorique soit entièrement porté sur l'axe direct (d) et donc d'avoir $\varphi_{qr} = 0$ Ainsi $\varphi_r = \varphi_{dr}$ uniquement.

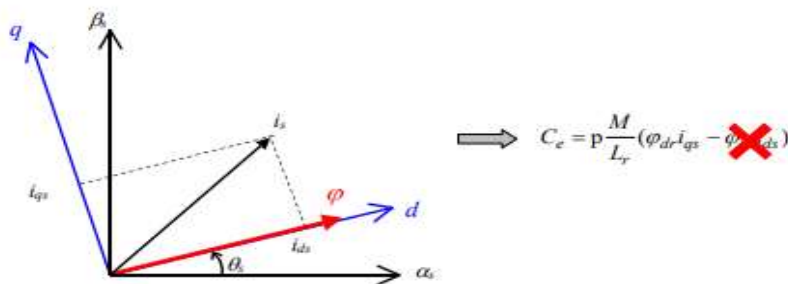


Figure I.16 : Principe du contrôle vectoriel

Il convient de régler le flux en agissant sur la composante i_{ds} du courant statorique et on régule le couple en agissant sur la composante i_{qs} .

On a alors deux variables d'action comme dans le cas d'une MCC. Une stratégie consiste à laisser la composante i_{ds} constante. C'est-à-dire de fixer sa référence de manière à imposer un flux nominal dans la machine. Le régulateur du courant i_{ds} s'occupe de maintenir le courant i_{ds} constant et égal à la référence i_{ds}^* ($i_{ds}^* = i_{ds\text{Référence}}$).

Le flux étant constant dans la machine on peut imposer des variations de couple en agissant sur le courant i_{qs} .

Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones triphasées

Si l'on veut accélérer la machine, donc augmenter sa vitesse, on impose une référence courant \dot{i}_{qs}^* positive. Le régulateur du courant \dot{i}_{qs} va imposer ce courant de référence à la machine. D'où un couple positif.

On peut également automatiser le pilotage de cette référence de courant \dot{i}_{qs}^* en la connectant à la sortie d'un régulateur de vitesse. C'est ce dernier qui pilotera le couple de référence (et donc \dot{i}_{qs}^*) puisqu'il agira au mieux de manière à asservir la vitesse à une vitesse de consigne Ω^* .

I.12. Régulation de fréquence :

À l'heure actuelle, le pilotage de la vitesse des moteurs asynchrones se fait électroniquement grâce à des variateurs de vitesse. Pour cette raison, on ne parlera ici que du contrôle de la fréquence qui de loin la plus courante [5].

Sans perte de puissance, on peut piloter la vitesse de rotation du moteur en faisant varier la fréquence car la vitesse de rotation du champ tournant au niveau du stator change. Pour conserver le couple moteur ; il faut que la tension du moteur se modifie avec la fréquence dans un rapport constant. En effet, le couple est lié à la fréquence, la tension et le courant par la formule suivante.

On a :

$$C \sim (U/f) \times I \quad (1.14)$$

Avec

C = couple moteur [Nm].

U = tension du réseau [V].

I = courant absorbé par le moteur.

Si le rapport entre la tension et la fréquence reste constant, le couple le reste aussi.

I.13. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons fourni un aperçu sur une machine asynchrone triphasé avec une explication de toutes les parties d'un composé, ainsi que le principe de fonctionnement et de contrôle.

Nous allons être une explication complète sur la variation de la vitesse en utilisant les variables. Il s'agit d'un groupe de différents convertisseurs (redresseurs, onduleurs). Ces convertisseurs feront l'objet d'une étude dans le prochain chapitre.

Chapitre II :

Variateur de vitesse

II.1. Introduction

Le variateur de vitesse joue un rôle important dans le champ électrique car elle est considérée comme un moyen principal d'améliorer les performances des moteurs électriques et de mieux contrôler la vitesse. Dans ce chapitre, nous étudierons les différentes parties du variateur de vitesse utilisées pendant, le processus de changement de la vitesse des machines asynchrones, c'est-à-dire système redresseur-onduleur.

Nous allons donc présenter les structures avec explication de principe de leurs fonctionnements.

II.2. Variateurs de vitesse :

Le variateur de vitesse également appelé variateur de fréquence cet appareillage électrique est souvent utilisé en électricité industrielle et dans les ateliers.

Le variateur de puissance se raccorde directement sur le moteur, sa source d'entrée peut être monophasée ou triphasée il peut donc être alimenté soit en 220 V soit en 380 V. La sortie de ce variateur de vitesse moteur possède une tension de 380V lorsque l'entrée est en triphasée ou une tension de 3x220 V si l'entrée est en monophasée.

Le variateur électronique de vitesse monophasé contient un redresseur, un filtre ainsi qu'un onduleur. Ces éléments permettent de créer une forme d'onde de type MLI qui permettra de simuler une alimentation triphasée. La fréquence étant variable, on peut ainsi contrôler la vitesse du moteur. Pour piloter le variateur moteur, un potentiomètre est généralement prévu pour régler finement la consigne de vitesse [10].



Figure II.1 : Variateur de vitesse

II.3. Principe de base du variateur de vitesse :

Les variateurs de vitesses des MAS ont généralement la structure suivante :

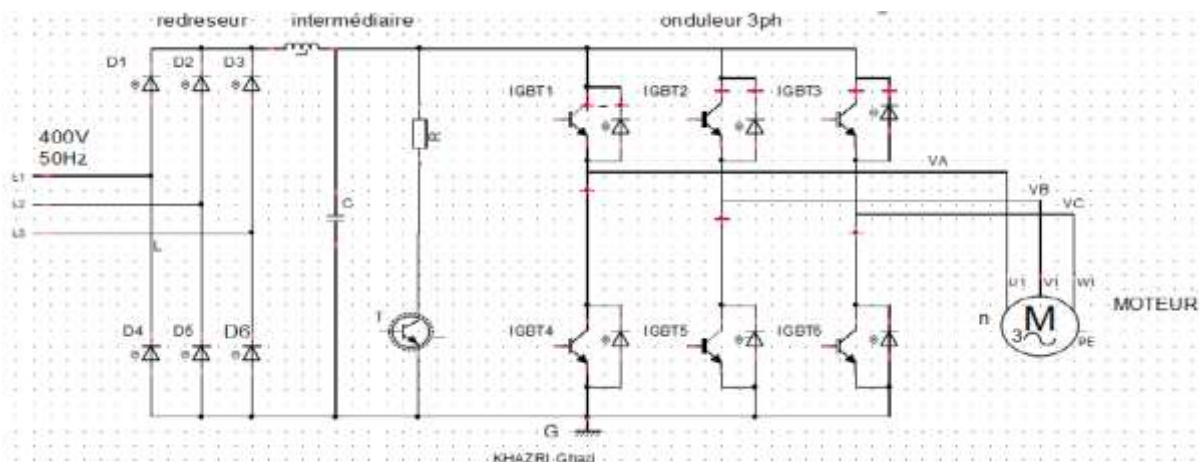


Figure II.2 : Schéma du variateur de vitesse

Les variateurs de vitesse standards, traditionnellement utilisés dans l'industrie, sont composés de deux convertisseurs connectés par un étage intermédiaire continu (Bus DC), constitué de condensateurs. Cette topologie permet d'assurer une conversion indirecte de type AC/DC/AC. Le premier convertisseur est un redresseur à diodes, non commandable, très robuste et peu coûteux. Il génère une tension continue aux bornes du bus DC, à partir d'un réseau d'entre monophasé (pour les faibles puissances) ou triphasé (pour les plus fortes puissances). Cet étage intermédiaire continu est connecté à un onduleur de tension monophasé ou triphasé, commande en Modulation de Largeur d'Impulsions (MLI), permettant ainsi de faire varier l'amplitude et la fréquence du fondamental des tensions qui seront appliquées au moteur à l'aide d'un cyclo-convertisseur à commutation naturelle piloté lui aussi en fréquence en courant ou vectoriellement.

I.3.1. Le Redresseur:

Un redresseur, également appelé convertisseur alternatif/continu, est un convertisseur destiné à alimenter une charge qui nécessite de l'être par une tension ou un courant continu à partir d'une source alternative. L'alimentation est, la plupart du temps, un générateur de tension. Quant à son utilisation à l'intérieur du variateur de vitesse, sa fonction est de convertir la tension alternative triphasée en une tension continue monophasée [11].

Cela se fait par:

- Soit d'un pont de diodes, le redresseur est "non-commandé" ;
- Soit d'un pont de thyristors, alors le redresseur est commandé.

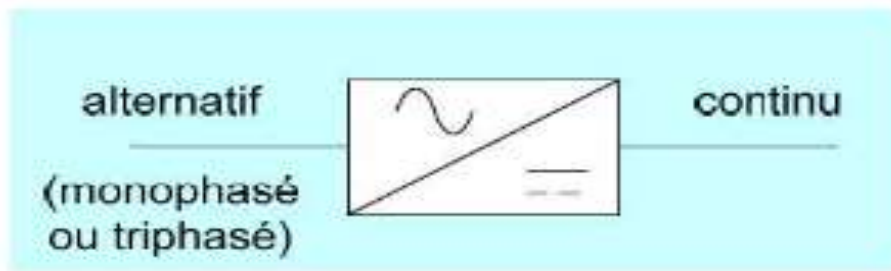


Figure II.3 : La chaîne de conversion alternative – continue. [25]

II.3.1.1. Les trois types de montages redresseurs :

Pour obtenir une tension continue, on redresse un ensemble de q tensions alternatives, d'ordinaire supposées sinusoïdales et formant un système polyphasé équilibré (nombre de phases q). Ces tensions peuvent être les tensions aux bornes d'un alternateur. Généralement, elles sont fournies par le réseau monophasé ou, plus souvent, par le réseau triphasé, d'ordinaire par l'intermédiaire d'un transformateur. On distingue trois types de montages :

- Pq : montages avec source en étoile et un seul commutateur ou redresseur "simple alternance" ;
- PDq : montages avec source en étoile et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source étoilée ;
- Sq : montages avec source en polygone et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source polygonale.

La figure suivante donne le schéma électrique des montages $P3$, $PD3$ et $S3$. Ces trois montages sont le plus communément utilisés pour le redressement de tensions triphasées [12].

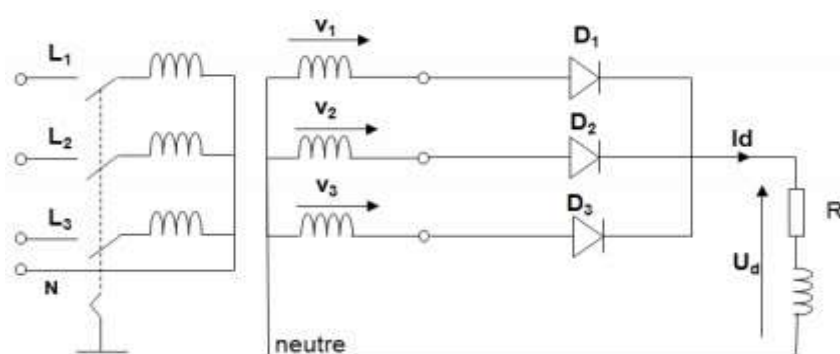


Figure II.4: Montage simple alternance ($P3$)

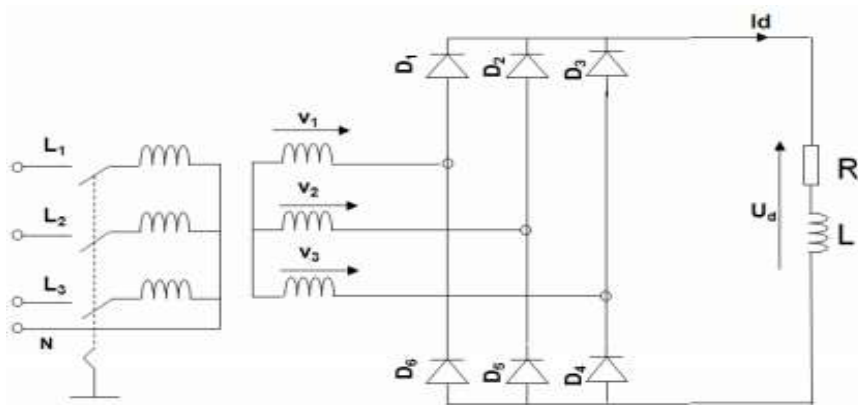


Figure II.5 : Montage double alternance (PD3)

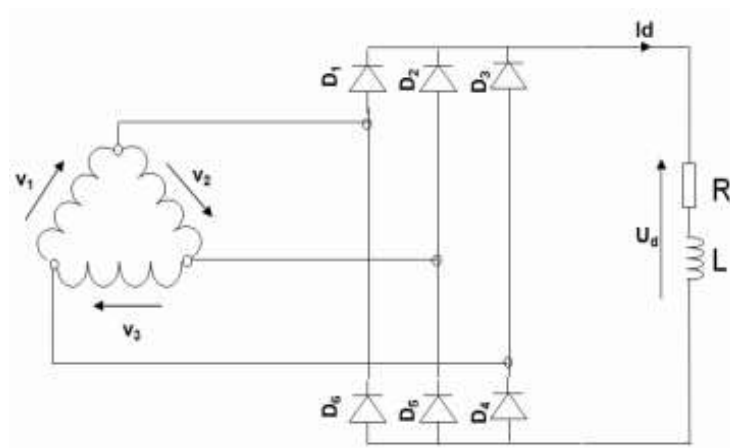


Figure II.6 : Montage avec une source en polygone

II.3.1.2 . L'indice de commutation et l'indice pulsation :

- **Indice de commutation q du montage:**

L'indice de commutation est donné par la durée de conduction de chaque diode et correspond au nombre de phases du réseau de distribution. Par exemple, pour les montages P3 et PD3, l'indice de commutation est égal à 3 (chaque diode conduit pendant un tiers de période ou T/q).

- **Indice de pulsation p de la tension redressée:**

L'indice de pulsation p donne le nombre de portions de sinusoïde par période de la tension redressée. Par exemple, pour le montage PD3, nous verrons que l'indice de pulsation est égal à 6 (la tension redressée se compose de six portions par période).

- **Facteur de forme:**

La valeur du facteur de forme caractérise la tension redressée. Plus cette valeur est proche de l'unité, plus la tension obtenue est voisine d'une grandeur continue. Ce coefficient sert à comparer des montages redresseurs différents entre eux. Par définition, on nomme facteur de forme le rapport : [12]

$$F = \frac{u_{eff}}{u_0} \quad (2.1)$$

U_{eff} : Valeur efficace de la tension redressée.

U_0 : Valeur moyenne de la tension redressée.

II.3.1.3. Principe d'étude d'un montage redresseur:

L'étude d'un montage doit servir, pour le concepteur, à déterminer les caractéristiques de chaque élément constitutif (transformateur, diodes, thyristors,...).

On procède en général en trois étapes [12] :

- **Etude des tensions :**

(de l'entrée vers la sortie). En partant des tensions alternatives à l'entrée, on calcule la tension redressée à vide et la tension maximale aux bornes des semi-conducteurs. Pour cette étude on suppose négligeables les impédances de la source et des éléments du montage, ce qui est réaliste compte tenu des faibles chutes de tension qu'elles occasionnent.

- **Etude des courants :**

(de la sortie vers l'entrée). A partir du courant débité supposé continu, on calcule la valeur du courant dans les semi-conducteurs ainsi que dans les enroulements secondaires et primaires du transformateur. Les chutes de tension dues aux impédances citées précédemment sont négligées.

- **Etude des chutes de tension :**

A l'aide des courants ainsi déterminés, on peut maintenant calculer les diminutions de la tension redressée dues aux résistances, aux inductances et à la chute de tension interne des semi-conducteurs.

II.3.1.4 Redressement non commande (diodes) :

❖ Montage PD3

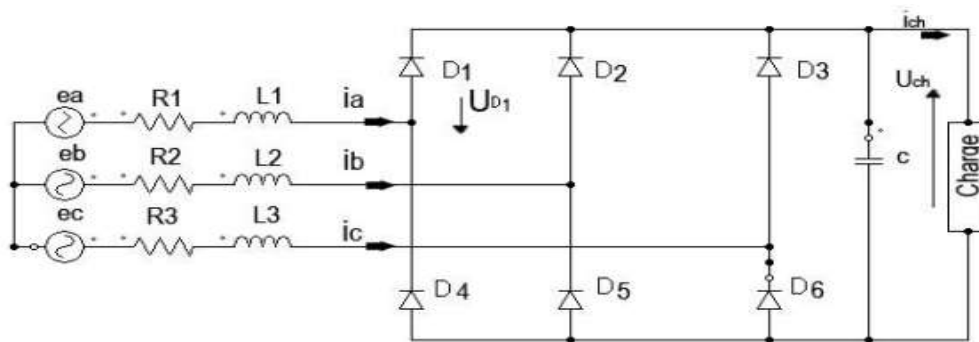


Figure II.7 : Redresseur non commandé à diode (PD3).

Les trois diodes D1, D2, D3 forment un commutateur plus positif, qui laisse passer à tout instant la plus positive des tensions, et les diodes D4, D5, D6 forment un commutateur plus négatif, qui laisse passer la plus négative des tensions.[13]

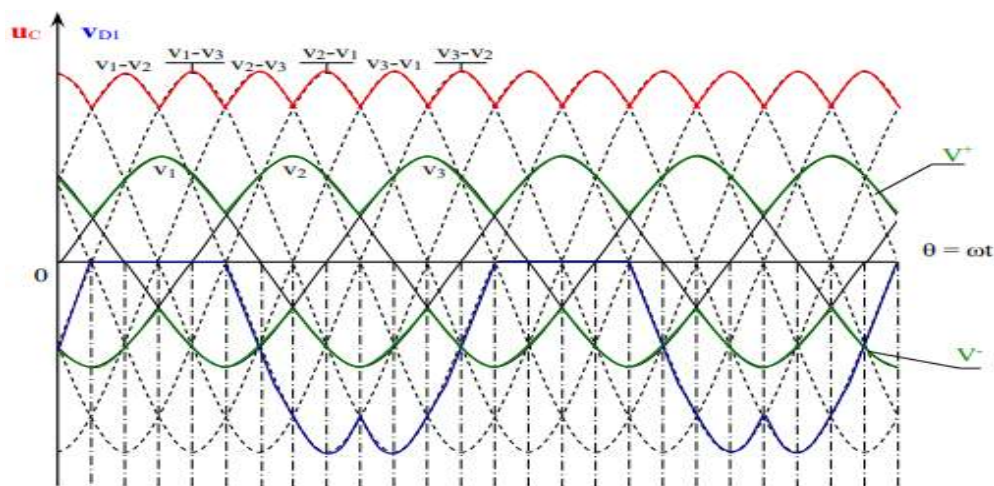


Figure II.8 : Les courbes de redresseur non commandé à diode (PD3)

Valeur moyenne de la tension redressée :

Calculer la valeur moyenne de la tension Uc :

$$U_{cmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T U_c(t) dt = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} V_m [\sin(\omega t) - \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})] d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \quad (2.2)$$

Courants dans les diodes (exemple : diode D1) :

$$i_{D1max} = I_c$$

$$i_{D1max} = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} I_c d(\omega t) = \frac{I_c}{2\pi} [\omega t \int_{\pi/6}^{\pi/2} \Rightarrow i_{D1MOY} = \frac{I_c}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

$$\Rightarrow I_{D1\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (i_1)^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c^2 d(\omega t)} = \frac{I_c}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_{D1\text{eff}} = \frac{I_c}{\sqrt{3}} \quad (2.4)$$

Courant et facteur de puissance secondaire :

- Courant secondaire efficace $I_{1\text{eff}}$:

$$I_{1\text{eff}} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (i_1)^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c^2 d(\omega t)} = I_c \sqrt{\frac{2}{3}} \Rightarrow I_{1\text{eff}} = I_c \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (2.5)$$

$$\text{Puissance de la charge : } P_c = U_{c\text{moy}} I_c = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} I_c \quad (2.6)$$

$$\text{Puissance apparente secondaire : } S = 3V_{I1} = 3 \frac{V_m}{\sqrt{2}} I_c \sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{3}{\sqrt{3}} V_m I_c = \sqrt{3} V_m I_c \quad (2.7)$$

$$\text{Facteur de puissance : } f_s = \frac{P_c}{S} = \frac{\frac{3\sqrt{3}V_m I_c}{\pi}}{\sqrt{3} V_m I_c} = \frac{3}{\pi} \quad (2.8)$$

Tension inverse maximale aux bornes des diodes bloquées :

$$\frac{\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{6}, V_{D\text{MAX}} = V_{D2} \left\{ \omega t = \frac{\pi}{3} \right\} = -\sqrt{3} V_m \quad (2.9)$$

II.3.1.5 Redressement commandé (tous thyristors) :

❖ **Montage PD3**

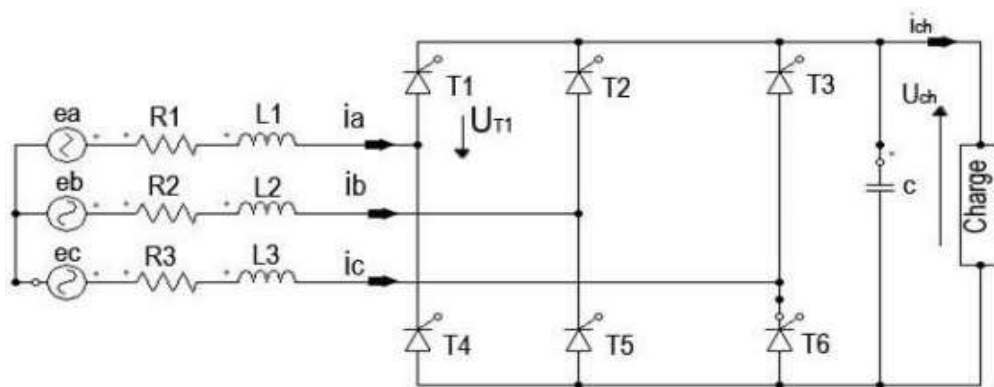


Figure II.9 : Redresseur commandé à thyristor (PD3)

Ce pont est composé de 6 thyristors. Les thyristors T1, T2 et T3 sont amorcés pendant l’alternance positive des tensions ea, eb et ec. Les thyristors T4, T5 et T6 sont amorcés pendant l’alternance négative.

La référence des angles d'amorçage est toujours l'angle d'amorçage naturel. Tel que e_a, e_b, e_c les tensions d'entrée et elles sont égales à [13]:

$$\begin{cases} e_a = V_m \sin(\theta) \\ e_b = V_m \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ e_c = V_m \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (2.10)$$

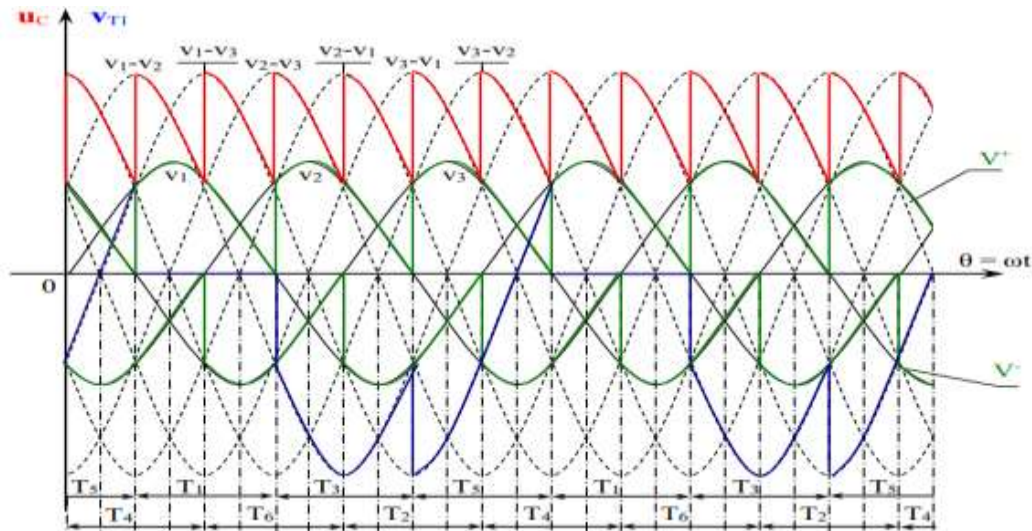


Figure II.10 : les courbes de Redresseur commandé à thyristor (PD3).

II.3.2. Le circuit intermédiaire :

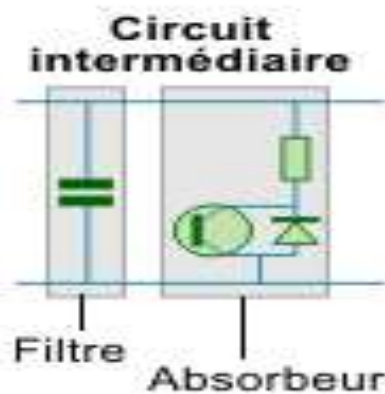


Figure II.10 : Le circuit intermédiaire

Ce circuit a de nombreux rôles en fonction des choix opérés sur le type de moteur dont notamment le lissage du courant ou de la tension du signal de sortie taux et le contrôle du niveau de tension ou du courant du moteur inverseur.

Il peut également être utilisé pour:

- découpler le redresseur de l'onduleur ;
- réduire les harmoniques ;
- stocker l'énergie due aux pointes intermittentes de charge ;
- Permettant de réduire l'ondulation résiduelle.

On différencie le circuit intermédiaire à :

- À courant continu variable lorsque le redresseur est commandé (variation de la tension de sortie du redresseur).
- À tension continue variable ou constante lorsque le redresseur est respectivement commandé ou pas.
- À tension variable lorsque le redresseur est non-commandé.

II.3.2.1. Le circuit intermédiaire à tension variable :

À l'entrée du filtre est ajouté un hacheur composé d'un transistor et d'une diode "roue libre". Dans ce cas, le circuit intermédiaire transforme la tension continue de sortie du redresseur à ondulation résiduelle en une tension carrée lissée par le filtre. Il en résulte la création d'une tension variable suivant que le pilote du hacheur rende le transistor "passant" ou pas.

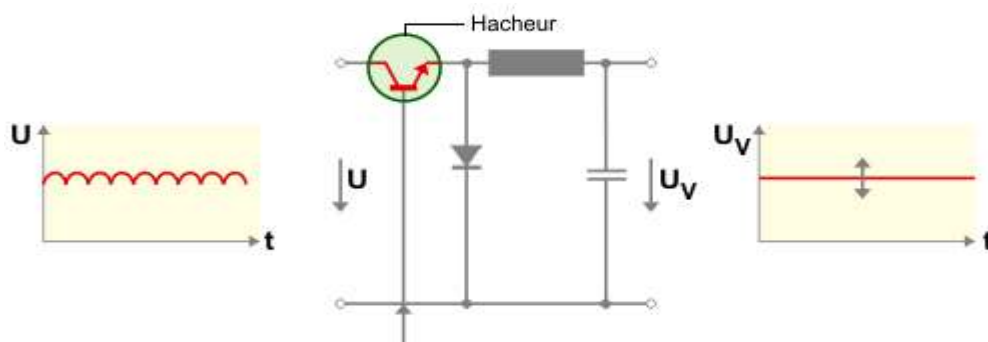


Figure II.11 : Circuit intermédiaire à tension variable

Pour améliorer le taux d'ondulation, on peut "filtrer" la tension de sortie [14].

II.3.2.2. Filtrage :

Il atténue ou élimine les phénomènes d'ondulation de la tension en sortie du redresseur

II.3.2.2.1 Filtres passifs :

Un filtre passif se caractérise par l'usage exclusif de **composants passifs** (résistances, condensateurs, bobines). Par conséquent, leur gain (rapport de puissance entre la sortie et l'entrée) ne peut excéder 1. Autrement dit, ils ne peuvent qu'atténuer en partie des signaux, mais pas les amplifier [22].

Les réalisations les plus simples sont basées sur des circuits RC, RL, LC ou Circuit RLC. Mais il est bien sûr permis d'augmenter la complexité du filtre (et le nombre de composants). Les filtres passifs sont rarement sujet à des phénomènes de saturation, d'où par exemple leur usage dans les enceintes de haut-parleurs. De plus ils peuvent exister dans toutes les gammes de fréquences (d'où leur usage dans certains circuits haute fréquence comme en radio par exemple). Toutefois, un même circuit peut difficilement couvrir à lui seul une très large gamme de fréquences car le choix d'un type de bobine ou de condensateur dépend de la fréquence. C'est faisable mais plus complexe [15].

II.3.3.L'onduleur :

L'onduleur constitue la dernière partie du variateur de vitesse. Il s'agit d'un convertisseur statique continu-alternatif (DC/AC), permettant de fabriquer une source de trois tensions alternatives à partir d'une source de tension continue. L'onduleur est très utilisé en commande à MLI pour l'alimentation des récepteurs triphasés équilibrés à tension et fréquence variables.

Des commutateurs à semi-conducteurs sont utilisés pour créer la sortie ; différents types sont disponibles, le plus courant étant le transistor bipolaire à grille isolée (IGBT). [16]

II.3.3.1. Onduleur de courant :

Lorsqu'il fonctionne en source de courant, le hacheur fournit un courant constant à l'onduleur. L'inductance de lissage permet de maintenir le courant constant.

II.3.3.2. Onduleur de tension :

Lorsqu'il fonctionne en source de tension, le hacheur fournit une tension constante à l'onduleur. La présence d'un condensateur dans le circuit de liaison permet de maintenir une tension constante à l'entrée de l'onduleur.

Le fonctionnement de l'onduleur de tension est fort affecté par les imperfections de la source continue, peu par celle de la charge. Pour l'onduleur de courant, c'est l'inverse [17].

II.3.3.3 .Classification des onduleurs :

Les structures des onduleurs sont très nombreuses en fonction de leurs applications, et leurs commandes. Nous pouvons classer les onduleurs selon les critères suivants :

- Nombre de phase.
- Nature de la source d'entrée.
- Nature des interrupteurs.

- Nombre des niveaux de tension de sortie.

II.3.3.4 Onduleurs monophasés :

❖ Onduleur en demi-pont :

pour réaliser un onduleur monophasé de tension avec deux interrupteurs est de placer en parallèle de la tension d'entrée un diviseur capacitif formé de deux condensateurs C_1 et C_2 de même capacité. La figure II.12 représente le montage pratique d'un onduleur en demi-pont.

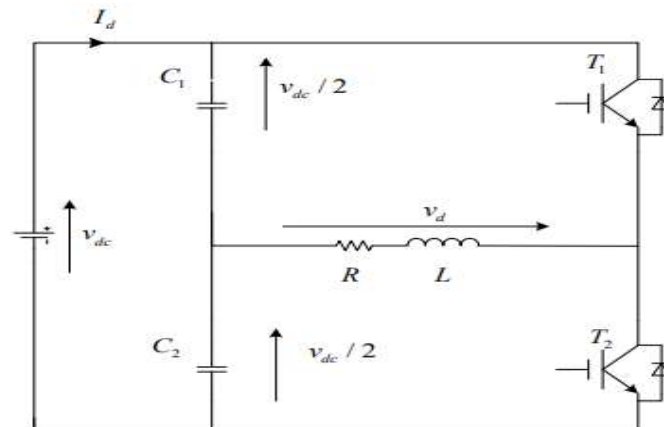


Figure II.12 : Montage pratique d'un onduleur en demi-pont

❖ Onduleur en pont complet :

On utilise quatre interrupteurs pour supprimer la nécessité du point milieu du diviseur capacitif [18].

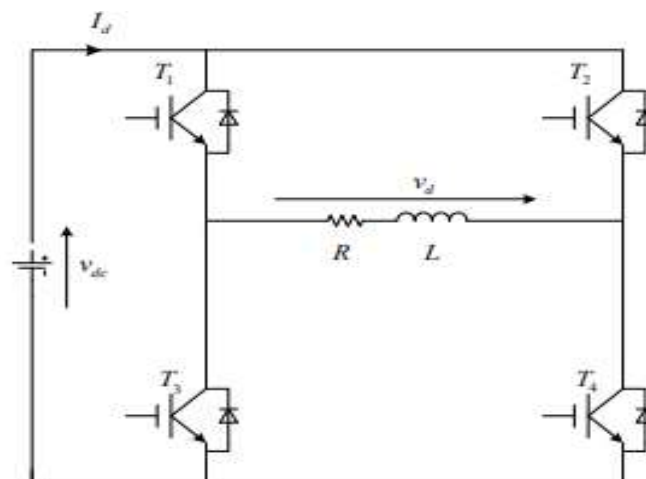


Figure II.13 : Structure d'un onduleur de tension monophasé (en pont complet)

II.3.3.5. L'onduleur de tension triphasé :

L'onduleur se compose de trois bras indépendants, comprenant chacun deux interrupteurs. Chaque interrupteur comprend un transistor de puissance (IGBT ou MOSFET (Métal Oxide Semi-conducteur Field Effect Transistor)) et une diode montée en antiparallèle [19].

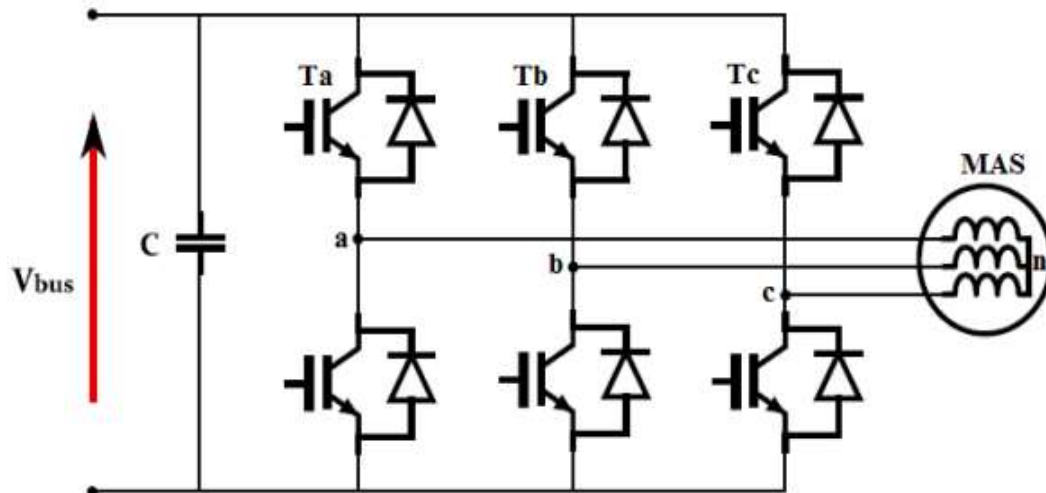


Figure II.14 : structure d'un onduleur triphasé

II.3.3.5.1. Transistor IGBT :

IGBT est la forme courte du transistor bipolaire à grille isolée. Il s'agit d'un dispositif de commutation à semi-conducteurs à trois bornes qui peut être utilisé pour une commutation rapide à haut rendement dans de nombreux types d'appareils électroniques. Ces dispositifs sont principalement utilisés dans les amplificateurs pour commuter / traiter des modèles d'ondes complexes avec modulation de largeur d'impulsion (PWM). Le symbole typique de l'IGBT avec son image est montré ci-dessous.

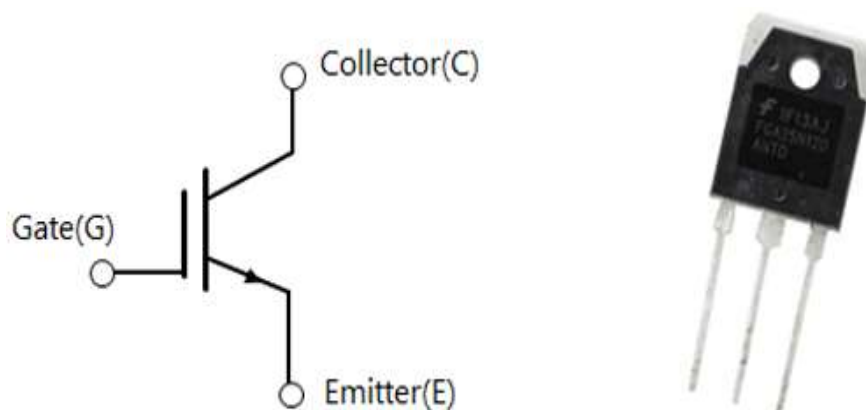


Figure 15 : Transistor IGBT

Comme mentionné précédemment, un IGBT est une fusion entre un BJT et un MOSFET. Le symbole de l'IGBT représente également la même chose, comme vous pouvez le voir, le côté entrée représente un MOSFET avec un terminal Gâte et le côté sortie représente un BJT avec collecteur et émetteur. le collecteur et l'émetteur sont les bornes de conduction et la porte est la borne de commande avec laquelle l'opération de commutation est commandée [20].

II.3.3.6. Modélisation de l'onduleur triphasé :

Dans le circuit de puissance de l'onduleur triphasé, les IGBT sont commandés pendant une durée correspondant à un tiers de période [16].

V_{an}, V_{bn}, V_{cn} : les tensions composées.

V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} : les tensions simples.

❖ Tensions composées :

Les tensions V_{AN}, V_{BN}, V_{CN} mesurées entre les points A, B, C et le point milieu sont alors les tensions délivrées par les onduleurs monophasés. On peut alors déterminer l'allure des tensions composées en tenant compte des relations suivantes :

$$u_{AB} = V_{AN} - V_{BN} \quad (2.11)$$

$$u_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \quad (2.12)$$

$$u_{CA} = V_{CN} - V_{an} \quad (2.13)$$

❖ Tensions simples :

Au niveau de la charge on peut déduire les relations donnant les expressions des tensions simples :

$$u_{AB} = V_a - V_b \quad (2.14)$$

$$u_{BC} = V_b - V_c \quad (2.15)$$

$$u_{CA} = V_c - V_a \quad (2.16)$$

En effectuant la différence membre à membre entre la première et la troisième relation :

$$u_{AB} - u_{CA} = V_a - V_b - (V_c - V_a) \quad (2.17)$$

$$u_{AB} - u_{CA} = 2V_a - (V_b - V_c) \quad (2.18)$$

$$u_{AB} - u_{CA} = 3V_a \quad (2.19)$$

D'où l'expression de la premier tension simple :

$$V_a = \frac{1}{3} (u_{AB} - u_{CA}) \quad (2.20)$$

En effectuant une permutation circulaire des indices A, B, C, on établit les expressions des deux autres tensions simples :

$$V_b = \frac{1}{3} (u_{BC} - u_{AB}) \quad (2.21)$$

$$V_c = \frac{1}{3} (u_{CA} - u_{BC}) \quad (2.22)$$

II.3.3.7. Techniques de commande de l'onduleur triphasé :

L'étude de la régulation et la commande d'une machine alimentée via un dispositif d'électronique de puissance qui représente le variateur de vitesse passe par deux blocs ou étages distincts qui sont [21] :

Etage de commande : Pour contenir un algorithme complexe de commande.

Etage de modulation: Pour contenir la technique de modulation.

II.3.3.7.1 Commande de MLI :

La technique MLI est l'essor et le fruit du développement de l'électronique de puissance à la fin du dernier siècle. Elle est le cœur du contrôle des convertisseurs statiques. Le choix de la technique MLI pour contrôler l'onduleur de tension est en vue d'avoir une réponse rapide et des performances élevées. Le choix de la technique dépend du type de la machine à commander, du type des semi-conducteurs d'onduleur, de la puissance mise en jeux et la simplicité ou la complexité d'algorithmes de commandes. Alors, ces spécifications désirées augmentent grossièrement le coût d'implantation.

La commande MLI est composée d'impulsions dont la largeur dépend des choix effectués pour la stratégie de modulation. [17]

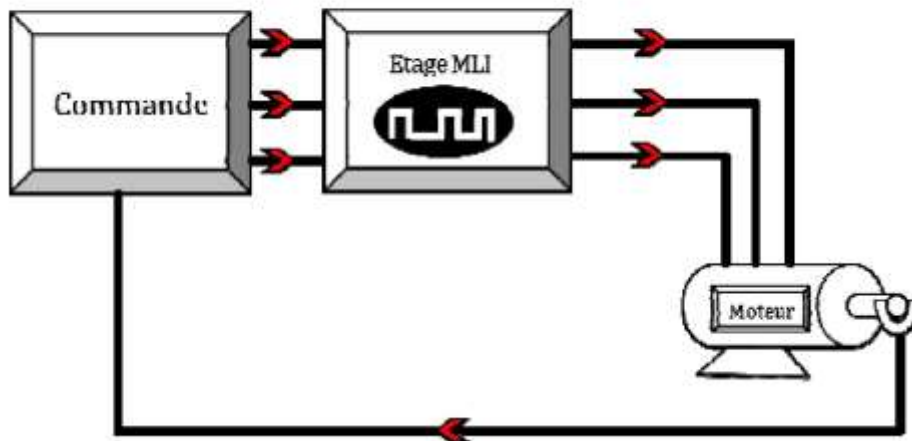


Figure II.16 : Schéma de position de MLI sur la chaîne de régulation du moteur

II.3.3.7.2. modulation de largeur d'impulsion (MLI) :

Il s'agit d'un procédé électronique qui consiste à découper une tension continue en signaux rectangulaires de largeurs différentes pour obtenir un signal quasi sinusoïdal. Cette méthode permet de régler l'amplitude et la fréquence du signal d'alimentation du moteur tout en limitant les parasites néfastes au bon fonctionnement du moteur.

La commande en M.L.I. est utilisée pour l'onduleur car elle permet d'obtenir un courant dont la forme est très proche d'une sinusoïde [22].

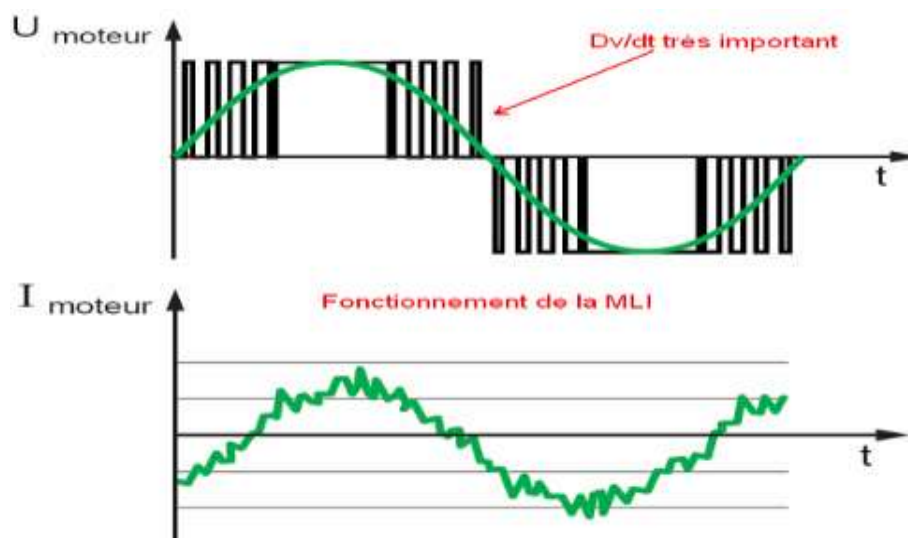


Figure II.17 : Fonctionnement de la MLI. [23]

II.3.3.7.3 Le circuit de commande :

Le circuit de commande ne fait pas partie du circuit puissance du variateur de vitesse. Ce circuit doit garantir quatre fonctions essentielles :

- La commande des semi-conducteurs du variateur de vitesse.
- L'échange d'informations de commande, de régulation et d'analyse avec les périphériques.
- Le contrôle des défauts (interprétation et affichage).
- La protection du variateur de vitesse et du moteur.

Le circuit de commande est donc en mesure de déterminer le schéma optimum d'impulsions des semi-conducteurs pour chaque état de fonctionnement du moteur par rapport à la charge, au réseau, aux consignes de commande [14].

II.4. Les fonctions du variateur de vitesse :

Les variateurs de vitesses sont des systèmes qui convertissent les caractéristiques d'une alimentation en fonction d'une consigne donnée. Ils ont plusieurs fonctions parmi lesquelles :

Démarrage : le moteur passe de la vitesse nulle jusqu'à sa vitesse établie en un temps prédéfini et en évitant les points d'intensité.

- a) La variation de vitesse :** modification de la fréquence de rotation du moteur par accélération ou décélération en un temps donné.
- b) La régulation :** la fréquence de rotation du moteur est maintenue constante quelles que soient les fluctuations de la charge (dans certaines limites).
- c) Le freinage :** le moteur passe d'une vitesse établie à une vitesse inférieure (ralentissement) ou à la vitesse nulle (arrêt) avec maintien en position possible.
- d) L'inversion du sens de marche (c'est à dire sens de rotation) :** permet de faire fonctionner la machine asynchrone dans les deux sens de rotation.
- e) La récupération d'énergie :** permet lors d'un ralentissement ou d'un freinage des systèmes de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique [22].

II.5. Avantages et inconvénients du variateur de vitesse :**II.5.1 Avantages:**

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages :

- démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau et limitant les courants de démarrage ;
- amélioration du facteur de puissance ;
- précision accrue de la régulation de vitesse ;
- prolongement de la durée de service du matériel entraîné ;
- diminution de la consommation d'électricité.

II.5.2. Inconvénients:

- Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, IGBT, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde (chute ou perturbation de la tension) dans le réseau électrique. Le coût
- Cette dégradation de l'onde peut perturber tant les équipements électriques du client que ceux du réseau électrique si aucune mesure d'immunité n'est prise (perturbation réseau (harmoniques))
- Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries de condensateurs.
- Les effets néfastes peuvent se manifester par la défaillance prématurée des équipements électriques (surchauffe des moteurs, des câbles et des transformateurs), par la dégradation de l'isolation des moteurs commandés ou par l'interruption des procédés (fusibles brûlés) [24].

II.6. Quadrants de fonctionnement des variateurs :

Deux paramètres définissent le fonctionnement des systèmes donc des moteurs. Ces deux paramètres sont le couple et la vitesse.

Le couple dépend de la charge qui peut être entraînée ou entraînée. Le signe de la vitesse dépend du sens de rotation du moteur.

4 quadrants définissent les zones de fonctionnement [22] :

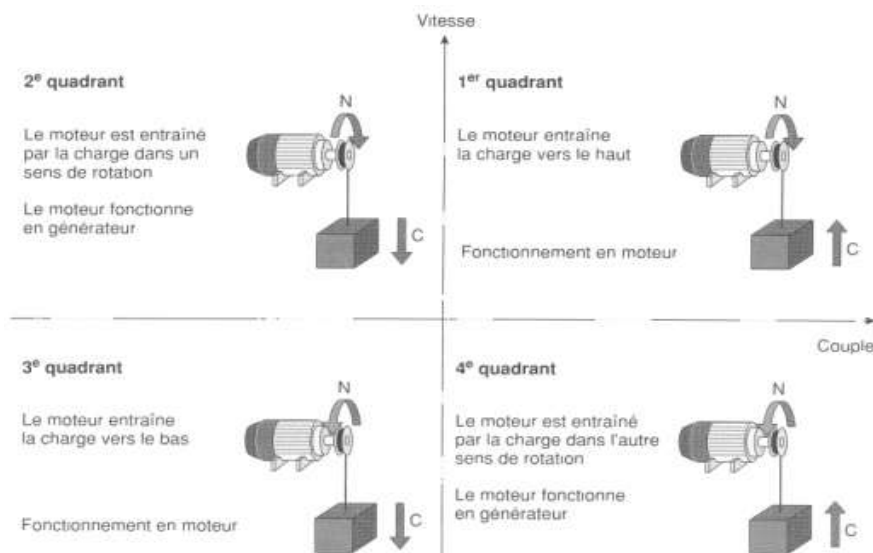


Figure II.18 : Quadrant de fonctionnement de la machine asynchrone

Le quadrant 1:

- le moteur entrainé la charge vers le haut.
- fonctionnement en moteur.

Le quadrant 2 :

- le moteur est entrainé par la charge dans un sens rotation.
- le moteur fonctionne en générateur.

Le quadrant 3 :

- le moteur entrainé la charge vers le bas.
- fonctionnement en moteur.

Le quadrant 4 :

- le moteur est entrainé par la charge dans l'autre sens rotation.
- le moteur fonctionne en générateur.

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous présentons une étude des différentes parties le variateur de vitesse utilisée lors du processus de changement de vitesse des machines asynchrones, qui sont les convertisseurs d'énergie du redresseur ainsi que de l'onduleur, car cette étude nous a conduit à déterminer ses fonctions ainsi qu'à fournir le modèle de conduite et le principe de fonctionnement et les avantages et inconvénients et les quadrants de fonctionnement.

Le prochain chapitre sera consacré à la simulation du variateur de vitesse sur les logiciels PSIM et Simulink / Matlab

Chapitre III :

Simulation et Interprétations des Résultats

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons simuler les différents étages de notre variateur L'alimentation, redresseur, l'onduleur, et la commande MLI, sur le logiciel PSIM Puis la simulation sur l'environnement Matlab /Simulink ou nous allons commander notre moteur en jouant sur la fréquence. D'une part On a utilisé le logiciel PSIM pour sa simplicité de manipulation et de réalisation des schémas de l'électronique pour cela nous allons l'utiliser pour voir les réponses et les allures des tensions D'autre part pour atteindre l'objectif de notre travail nous allons utiliser l'environnement Matlab / Similink car on peut visualiser les sorties du moteur (vitesse, couple ...)

III.2. Présentation du logiciel PSIM

PSIM est un logiciel de simulation pour l'électrotechnique et l'électronique de puissance. Ce logiciel permet de dessiner le schéma du montage à partir des éléments de la bibliothèque (Machines, transformateurs, interrupteurs électroniques, éléments de commande et de contrôle). Les appareils de mesure disposés sur le schéma de montage définissent les courbes représentatives des grandeurs électriques et mécaniques que l'on peut obtenir après simulation. Il est constitué de trois programmes :

- SIMCAD : saisie du schéma
- PSIM : simulation
- SIMVIEW : tracé des courbes

SIMCAD est incorporé dans PSIM, SIMVIEW est par défaut lancé automatiquement par PSIM [8].

III.3. Simulation du réseau d'alimentation du variateur de vitesse

Le variateur de vitesse est alimenté par un système de tension triphasé équilibré. Ce système à une amplitude égal à $230 \times \sqrt{2}$ et une fréquence égal à 50 Hz.

III .4. Objectifs de l'activité :

On utilise le logiciel PSIM pour analyser le fonctionnement d'un onduleur de tension à commande MLI (modulation de largeur d'impulsions). Le principe d'une commande MLI est étudié sur une structure simple (onduleur monophasé 1/2 pont), puis sur un onduleur triphasé. On termine par la simulation de la structure de puissance complète d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé (redresseur + onduleur).

III.5. Etude d'un onduleur monophasé 1/2 pont :

L'onduleur monophasé $\frac{1}{2}$ pont, avec une charge passive R, L série. Cette structure de base permet de comprendre le fonctionnement d'un onduleur MLI et l'influence des grandeurs réglantes.

Le schéma de simulation est donné ci-dessous :

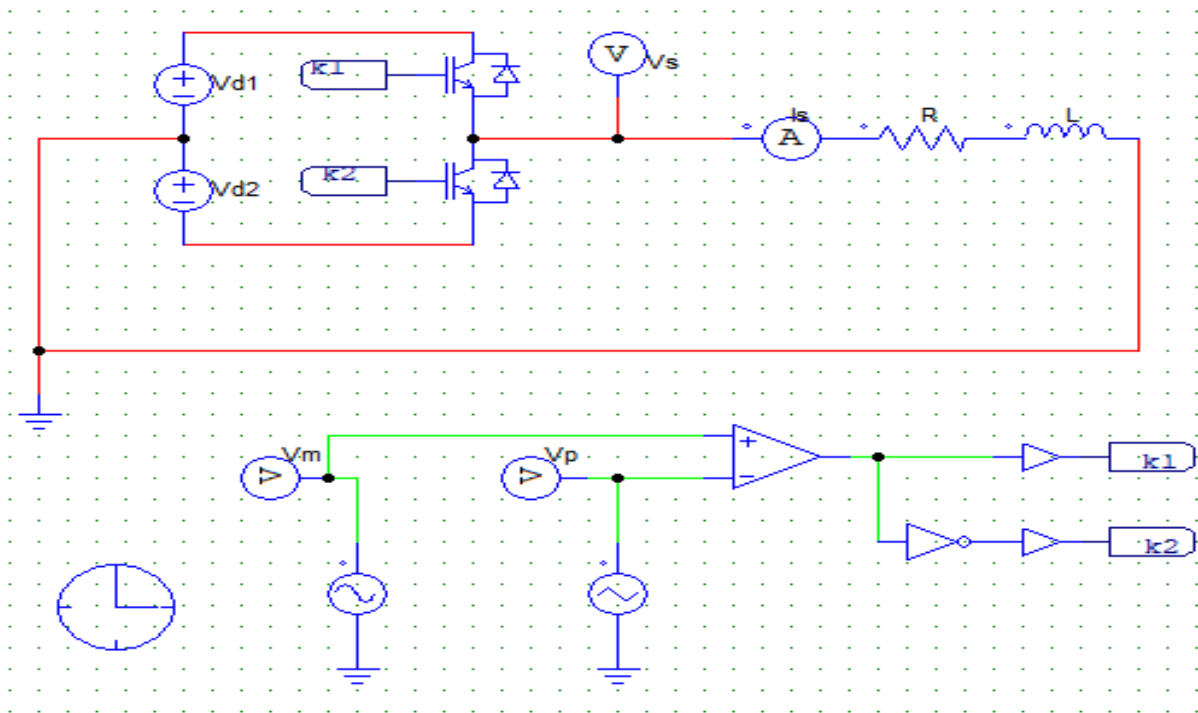


Figure III.1 : Schéma d'un onduleur monophasé 1/2 pont.

Paramètres de simulation:

$V_{d1} = V_{d2} = 100 \text{ V}$;

$R = 10 \Omega$; $L = 10 \text{ mH}$;

V_m : amplitude $V_{m\max} = 4,5 \text{ V}$, fréquence $f_m = 50 \text{ Hz}$;

V_p : valeur crête à crête = 10 V , offset = -5 V , fréquence $f_p = 2000 \text{ Hz}$.

III.5.1. Etude de la commande des interrupteurs K1, K2 :

V_m : signal de modulation – V_p : porteuse – K1 : commande de K1

En faisant rentrer les paramètres de simulation afin de visualiser le signal de commande de K1 :

- période d'échantillonnage : $1 \cdot 10^{-5} \text{ s}$,
- durée de simulation : **40 ms** ,
- visualisation : à partir de **20 ms**.

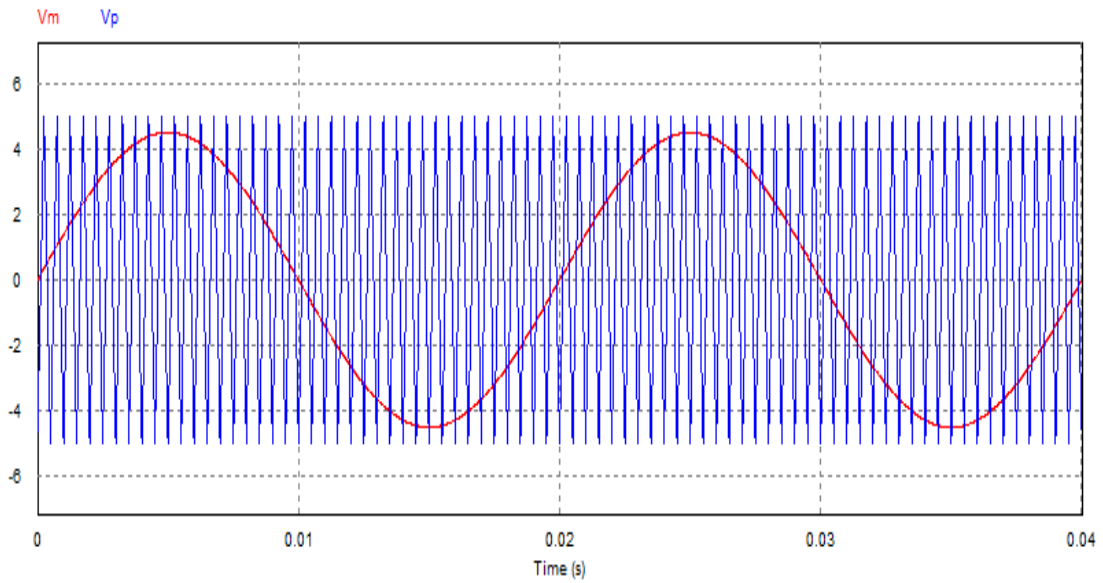


Figure III.2 : Signal de modulation (V_m) et de porteuse (V_p) pour un onduleur monophasé 1/2 pont

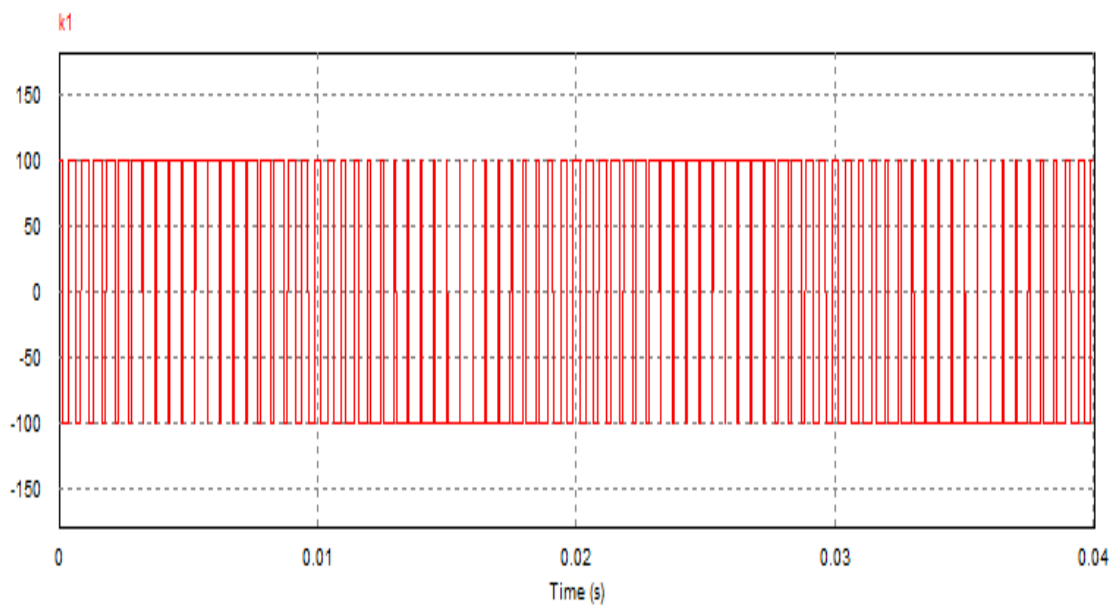


Figure III.3 : Signal de la commande de K1 pour un onduleur monophasé 1/2 pont

- On fait un zoom sur quelques périodes de découpage pour expliquer la génération du signal de commande K1 et l'état des transistors.

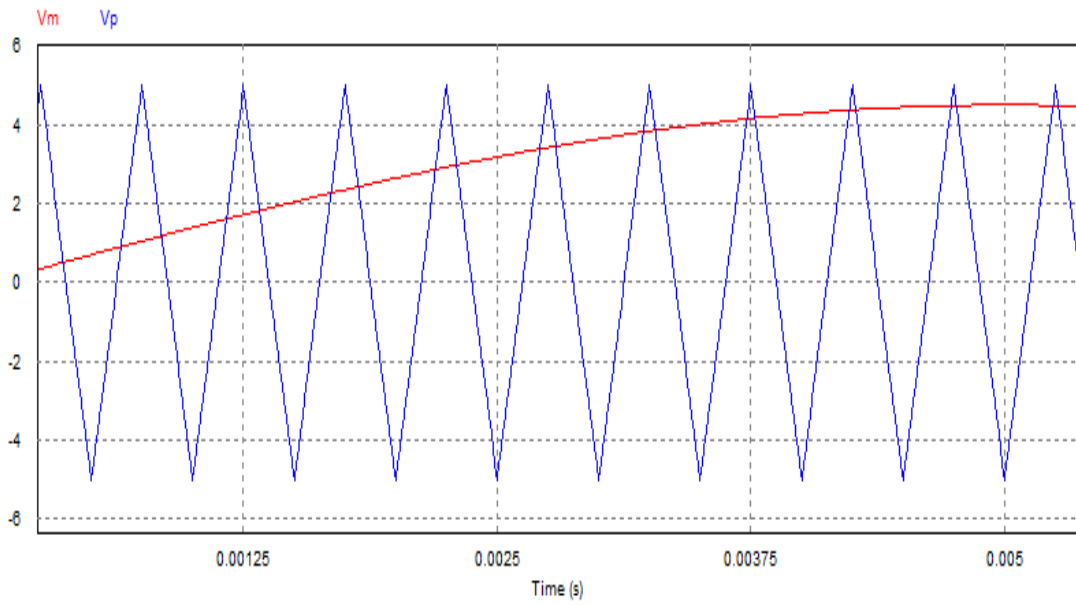


Figure III.4 : Signal de modulation (V_m) et de porteuse (V_p) par un zoom

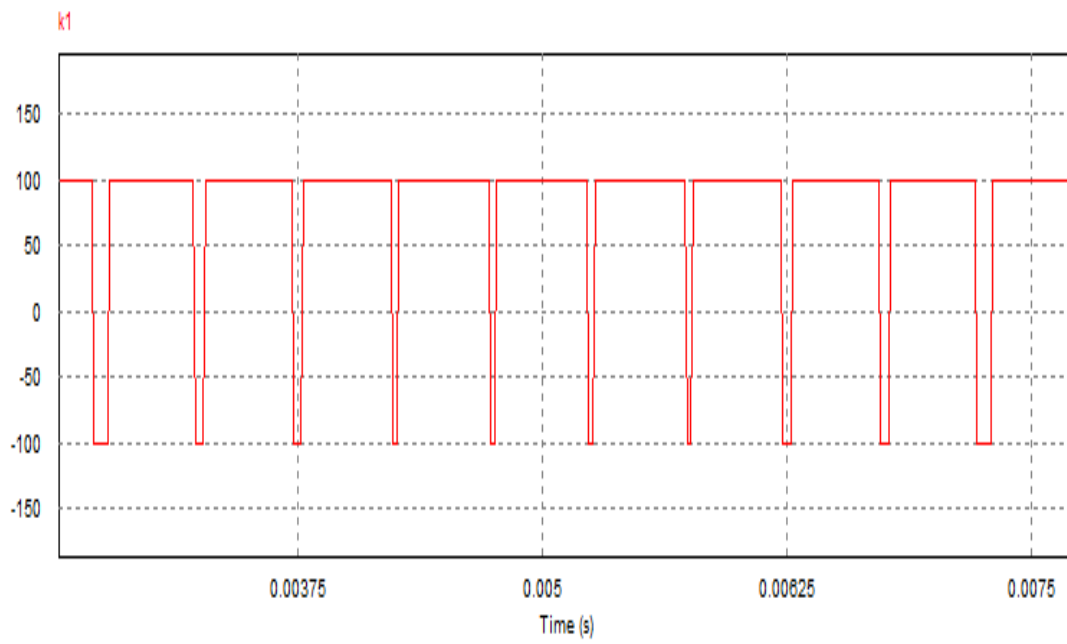


Figure III.5 : signal la commande de K1 par un zoom

III.5.2. Etude de la tension et du courant de sortie :

- Graphes de la tension V_s et du courant I_s , de sortie

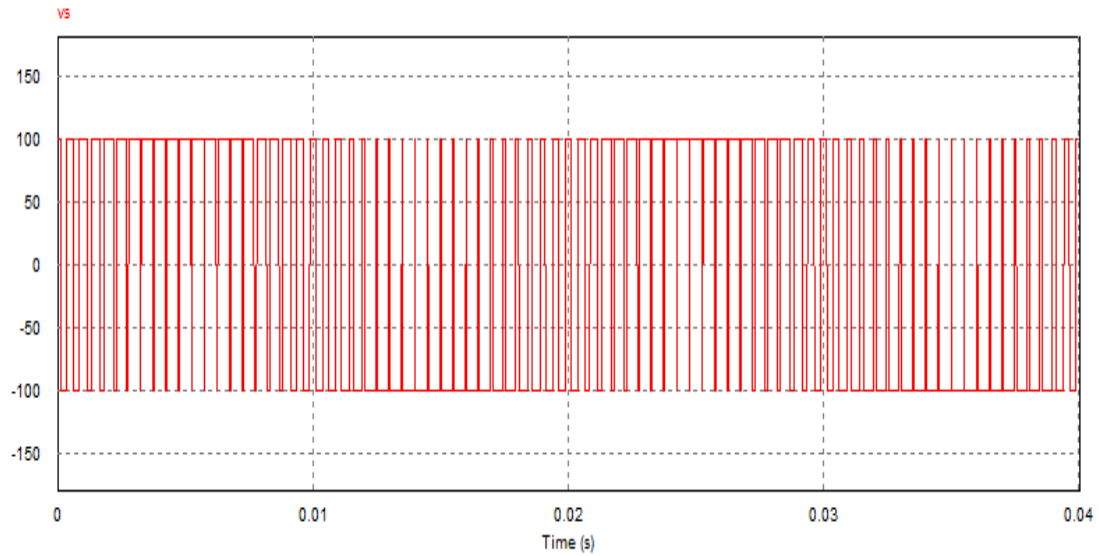


Figure III.6 : signal de la tension de sortie

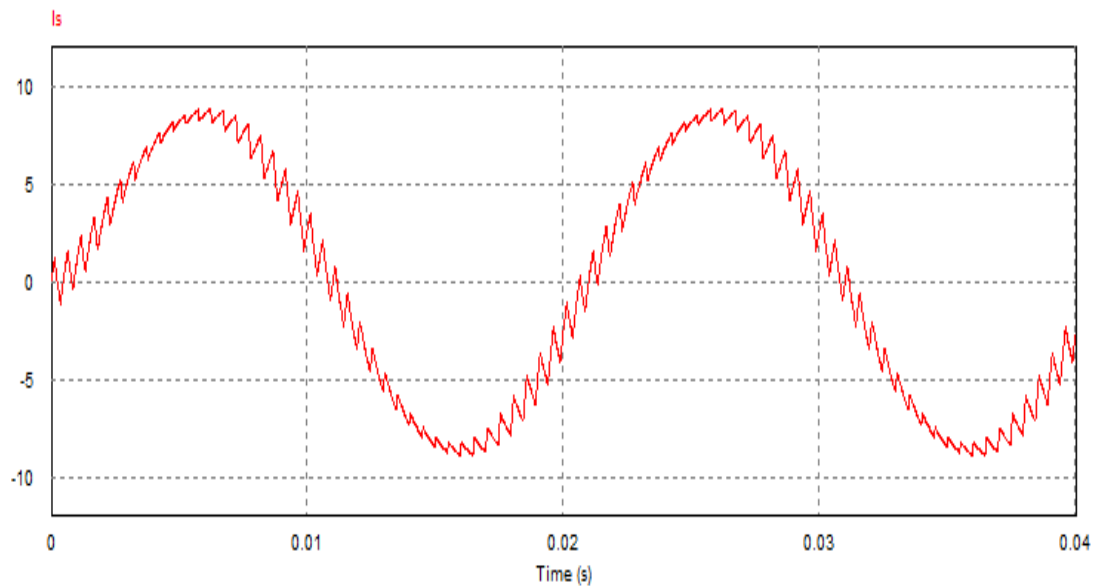


Figure III.7 : Signal de courant de sortie

Valeur efficace de $I_s \rightarrow I_s = 6 \text{ A}$

- **Spectre de la tension et de courant**

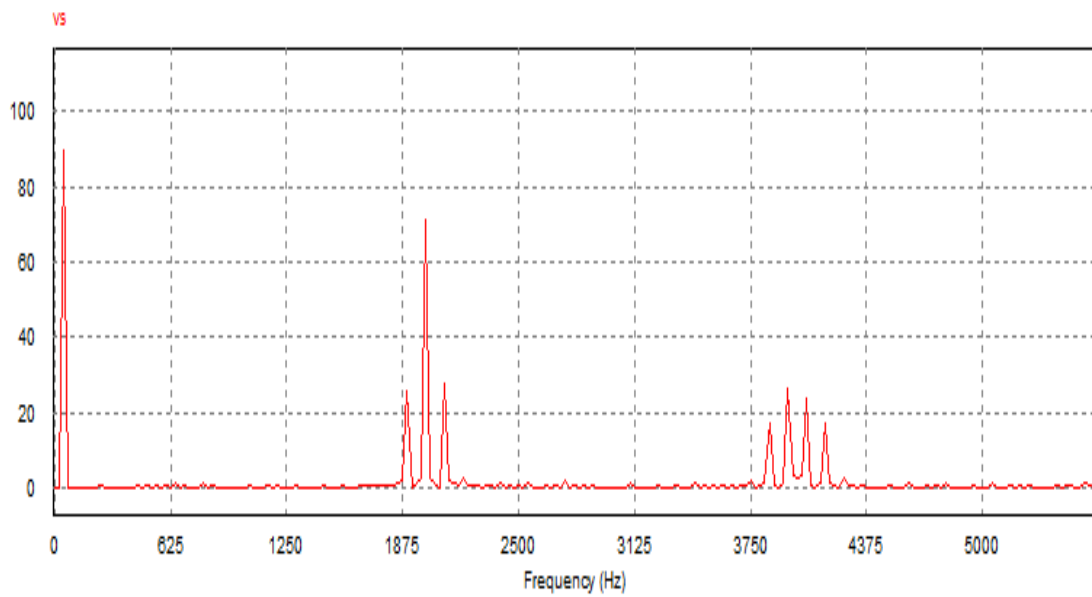


Figure III.8 : Spectre de la tension

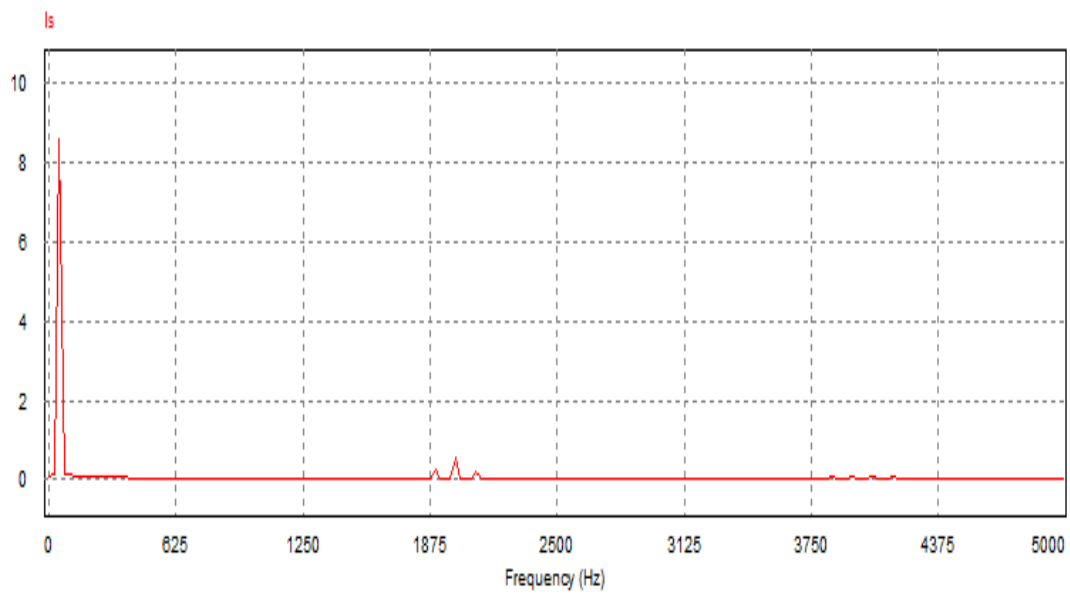


Figure III.9 : Spectre de courant

III.5.3. Etude des paramètres de la MLI :

III.5.3.1: Influence de la fréquence de découpage f_p

- On a Modifié la fréquence de la porteuse : $f_p = 6000$ Hz.

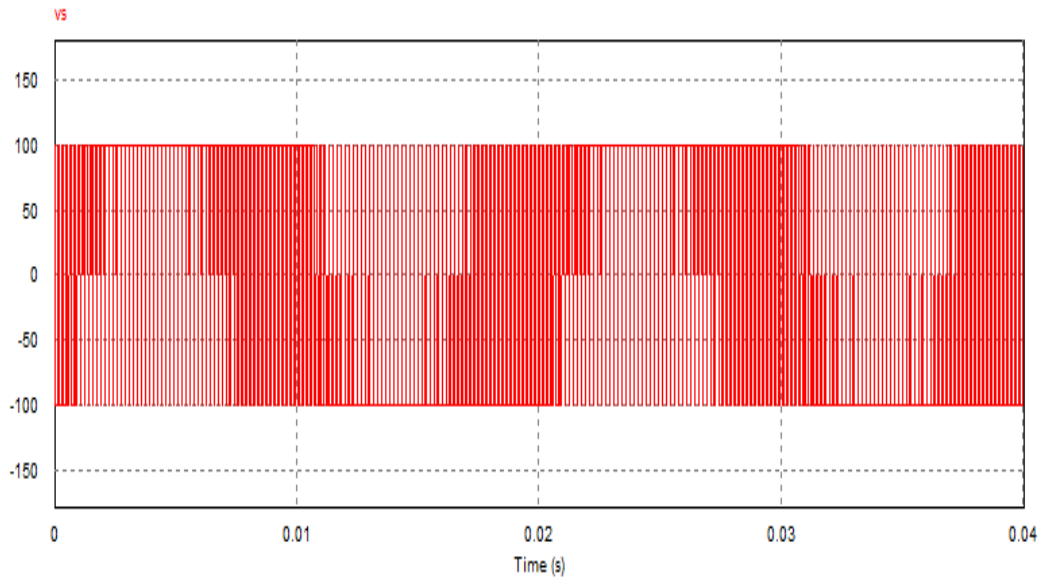


Figure III.10 : La tension de sortie

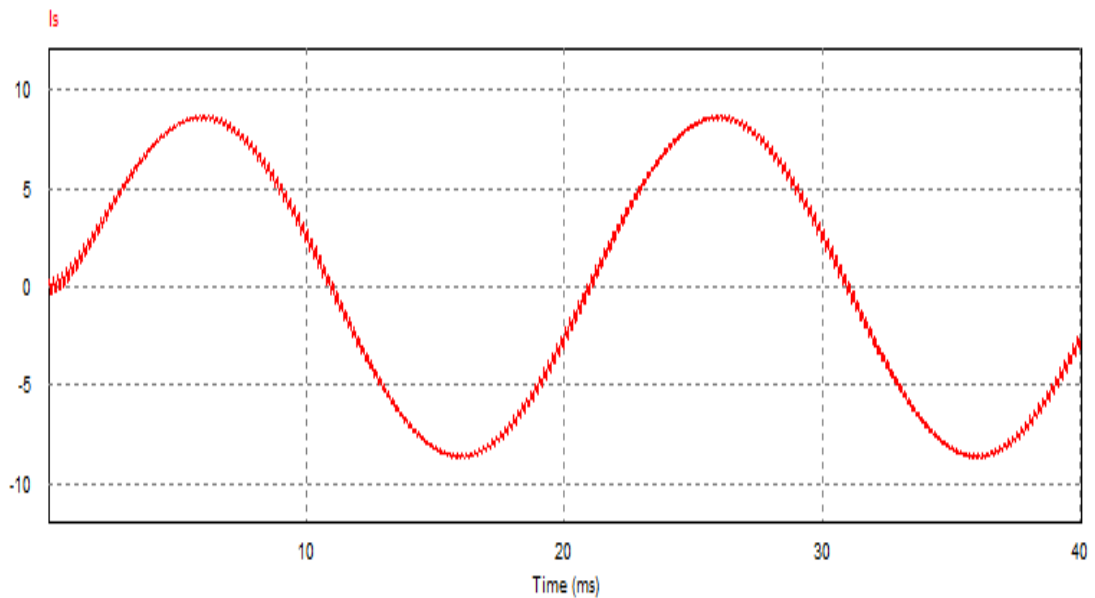


Figure III.11 : Le courant de sortie.

Sur la figure III.11 on constate que nous avons éliminé les ondulations du signal de courant de sortie.

III.5.3.2 Influence de l'amplitude du signal de modulation :

- L'amplitude du signal de modulation est passée de 4,5 V à 3 V et $f_p = 2000$ Hz.
- Graphes de la tension V_s et du courant I_s , de sortie

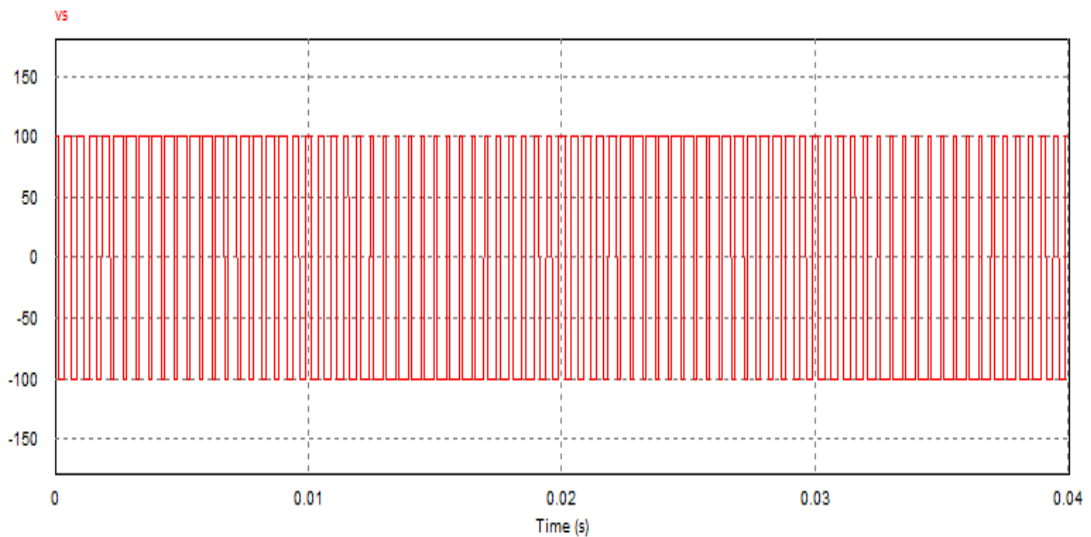


Figure III.12 : Signal de la tension de sortie

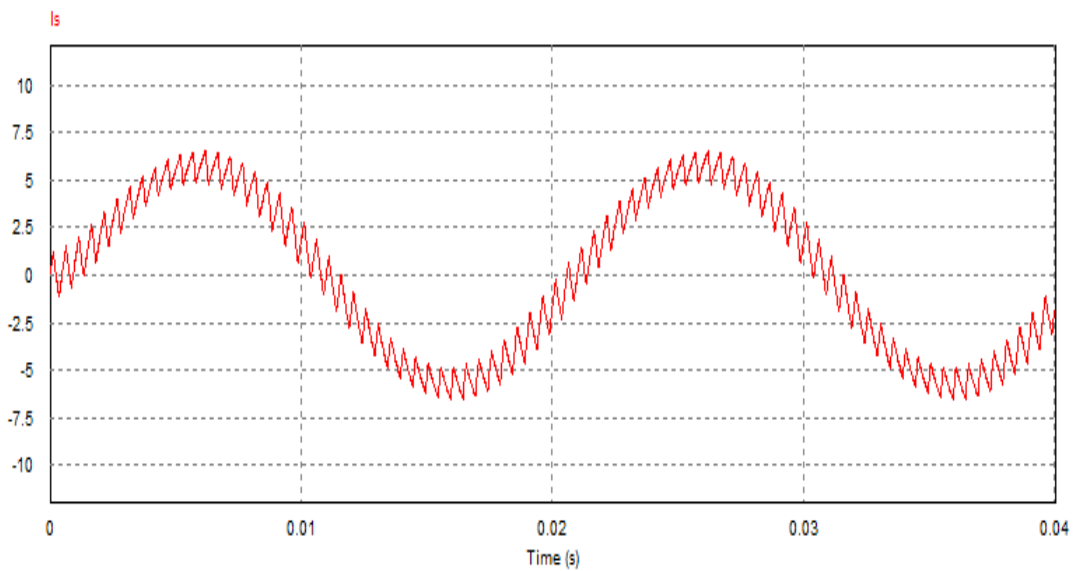


Figure III.13 : Signal de courant de sortie

Sur la figure III.13 le signal de courant de sortie présente des créneaux à la fréquence $f_p = 2000$ Hz.

- **Spectre de V_s**

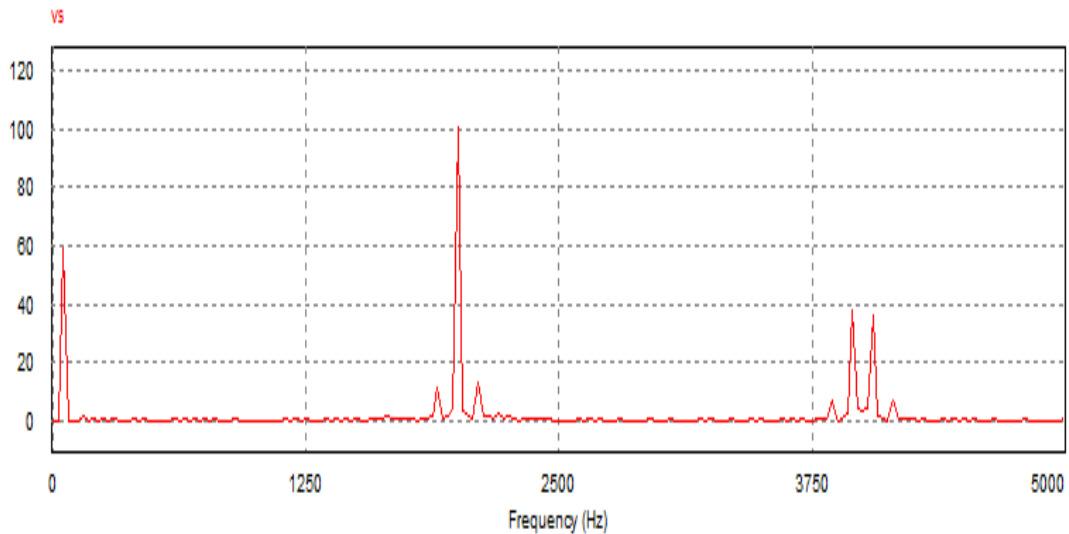


Figure III.14 : Spectre de la tension

III.5.4. Interprétations des résultats de simulation :

Le principe de MLI sinus-triangle sur une seule période est illustré dans les figures III.2 et III.3. Les intersections entre la tension de référence et la porteuse donnent les instants d'ouverture et de fermeture des interrupteurs. Il s'agit de comparer la référence (en rouge) à la porteuse triangulaire (en bleu).

- quand l'amplitude de V_m est supérieure à celle de V_p : $K1 = 1$ → le transistor K1 est commandé à l'amorçage : K1 passant, K2 bloqué ;
- quand l'amplitude de V_m est inférieure à celle de V_p : $K1 = 0$ → le transistor K1 est commandé au blocage : K1 bloqué, K2 passant.

Le rapport cyclique de découpage varie sinusoidalement sur la période de modulation.

De la figure III.6 et figure III.7 La tension est découpée à la fréquence de la porteuse.

Elle comporte 2 niveaux : + 100V / - 100V (+Vd/-Vd).

Le courant est quasi sinusoidal. Il comporte une ondulation à la fréquence de la porteuse (2kHz). En tant que tel on remarque des allures sous forme de créneaux de tension de forme alternative. On peut estimer l'ondulation crête à crête à : $\Delta i_{c-c} = 1$ A

De la figure III.10 et figure III.11, nous constatons que le signal de tension est périodique, sa décomposition en séries de Fourier donne un fondamental sinusoidal ainsi que l'ondulation sur le courant est très faible, comme nous le notons à partir de la figure III.12 et figure III.13 une augmentation de l'amplitude du signal de modulation pour la tension et le courant lors de la valeur de tension est de 4,5 V à 3 V.

III.6 Etude d'un onduleur triphasé

Un onduleur triphasé est constitué de 3 cellules identiques à celle étudiée dans la partie 1, les signaux de modulation générant la commande de chaque cellule étant décalés de $2\pi/3$. La porteuse triangulaire est commune aux 3 cellules.

- Schéma de l'onduleur triphasé

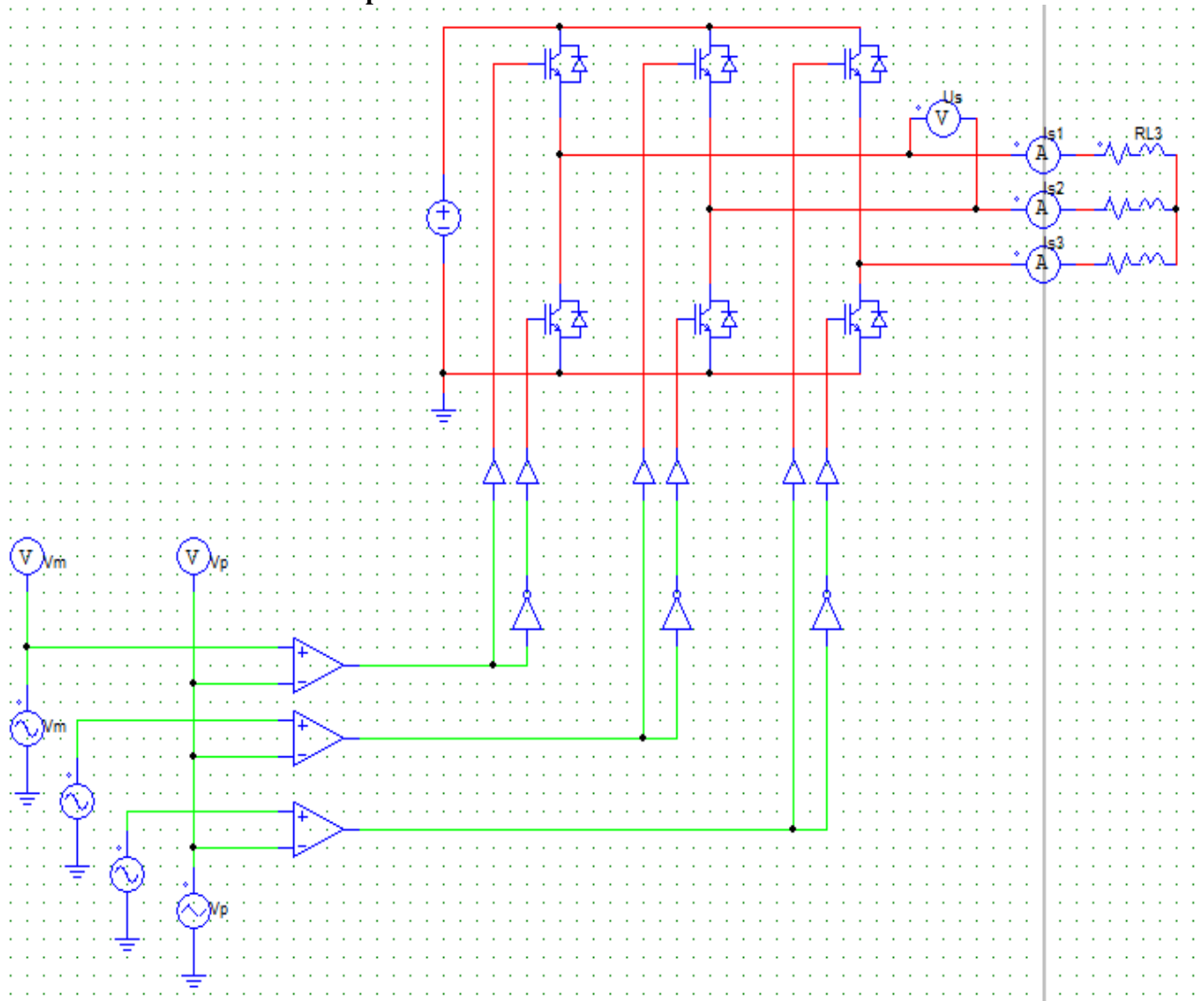


Figure III.15 : Schéma d'un onduleur triphasé.

Paramètres de simulation :

$V_c = 450 \text{ V}$; $R = 5 \Omega$; $L = 20 \text{ mH}$;

V_m : amplitude $V_{m\max} = 4,5 \text{ V}$, fréquence $f_m = 50 \text{ Hz}$;

Phase de V_m : phase1 = 0 , phase2 = - 120° , phase3 = - 240°.

V_p : valeur crête à crête = 10 V , offset = - 5 V , fréquence $f_p = 2000 \text{ Hz}$.

Résultats de simulation :

- **Graphes d'une tension entre phases U_s et des courants de sortie**

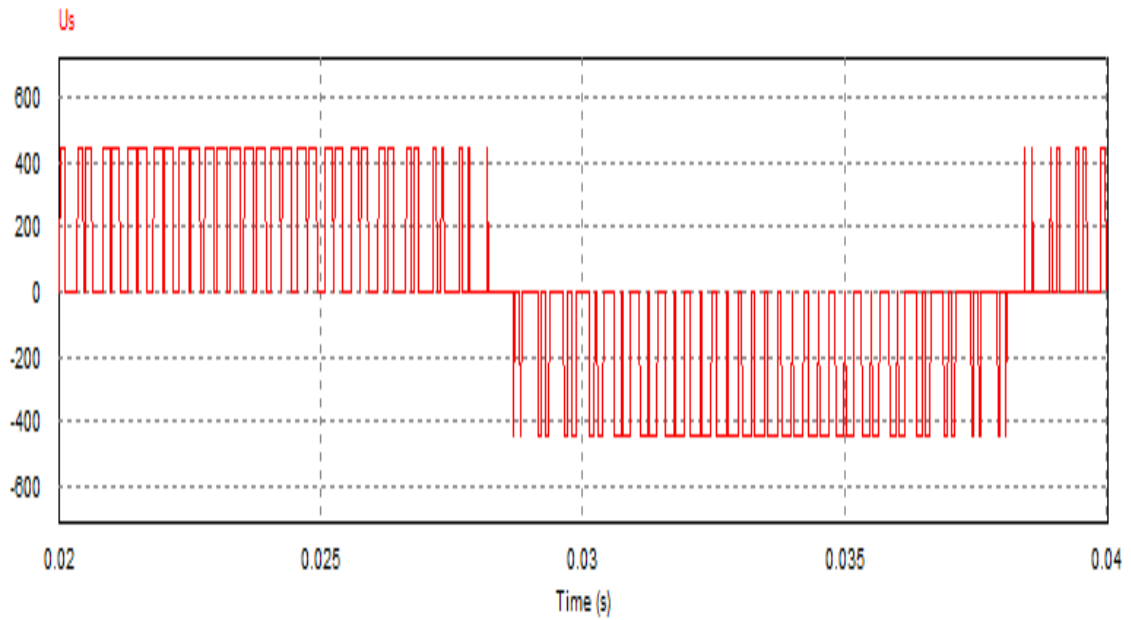


Figure III.16 : signal de la tension de sortie entre phases

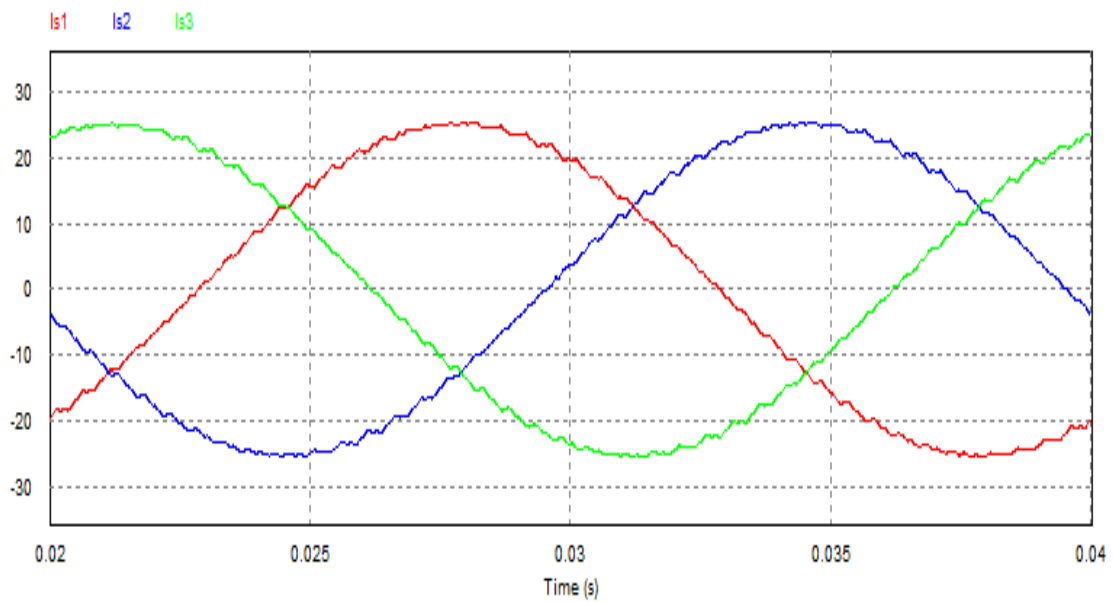


Figure III.17 : signal des trois courants de sortie

- **Spectre de U_s**

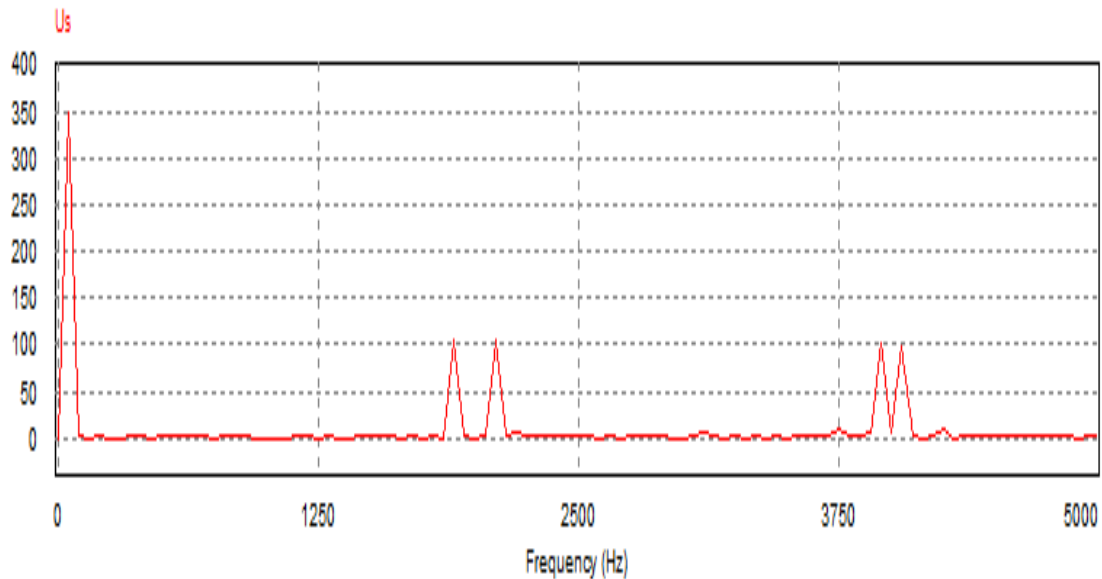


Figure III.18 : Spectre de la tension entre phases

III.6.1 Interprétations des résultats de simulation :

La figure III.16 et figure III.17, On remarque qu'il ya une similitude du signal tension de sortie et que ces tensions sont formées de 3 niveaux de tension à savoir (+ U_c , 0, - U_c)..

Certaines raies du spectre de la tension de bras (voir onduleur $\frac{1}{2}$ pont) n'apparaissent pas dans celui de la tension composée, en particulier, la composante dont l'amplitude est la plus élevée, de fréquence f_p . De ce fait, l'ondulation des courants est très faible.

III.7 Structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone triphasé :

La structure de puissance d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé comporte :

- un redresseur à diodes à l'entrée ;
- un condensateur de filtrage sur le bus continu ;
- un onduleur triphasé à commande MLI .

Pour simplifier la simulation, la charge est passive : R, L triphasé.

Les formes d'ondes obtenues sont pratiquement identiques à celles que l'on aurait avec un moteur asynchrone triphasé, en régime permanent.

Schéma de simulation :

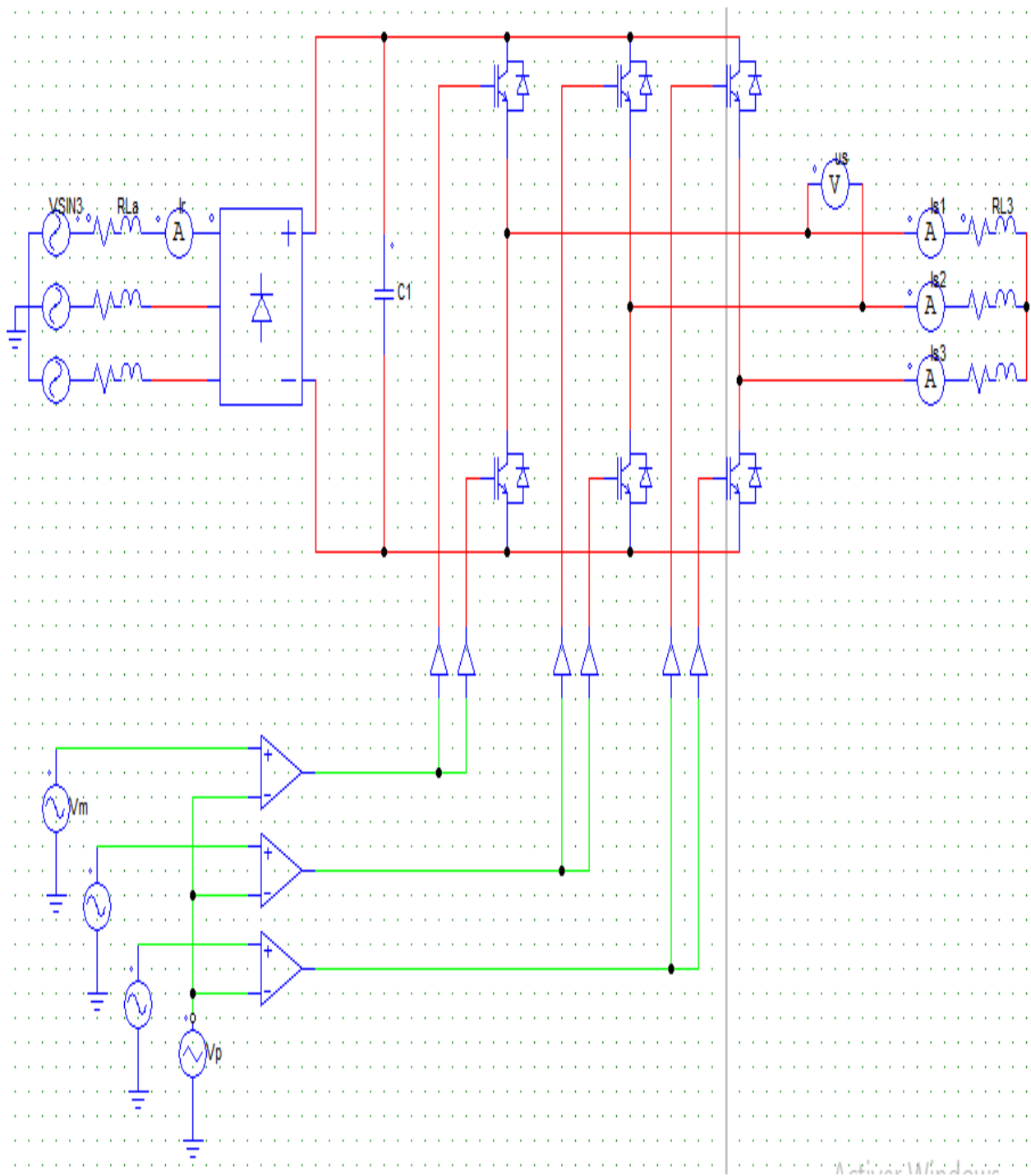


Figure III.19 : Schéma structure de puissance d'un variateur pour moteur asynchrone triphasé.

Données de la simulation :

- Tension d'alimentation : $U_a = 400 \text{ V}$;
- Impédance du réseau : $R_a = 40 \text{ m}\Omega$; $L_a = 0,2 \text{ mH}$;
- Condensateur de filtrage : $C = 2 \text{ mF}$;
- Charge : $R = 5 \Omega$; $L = 20 \text{ mH}$;
- V_m et V_p : mêmes valeurs qu'en 2.

On règle l'horloge de simulation pour pouvoir visualiser 2 périodes en régime permanent établi, en suite on visualiser sur 2 graphes séparés :

- I_r : courant dans la phase 1 du réseau d'alimentation ;
- I_{s1} , I_{s2} , I_{s3} : courants dans chaque phase de la charge.

Résultats de simulation :

- Graphes des courants dans la charge et du courant dans une phase à l'entrée du redresseur

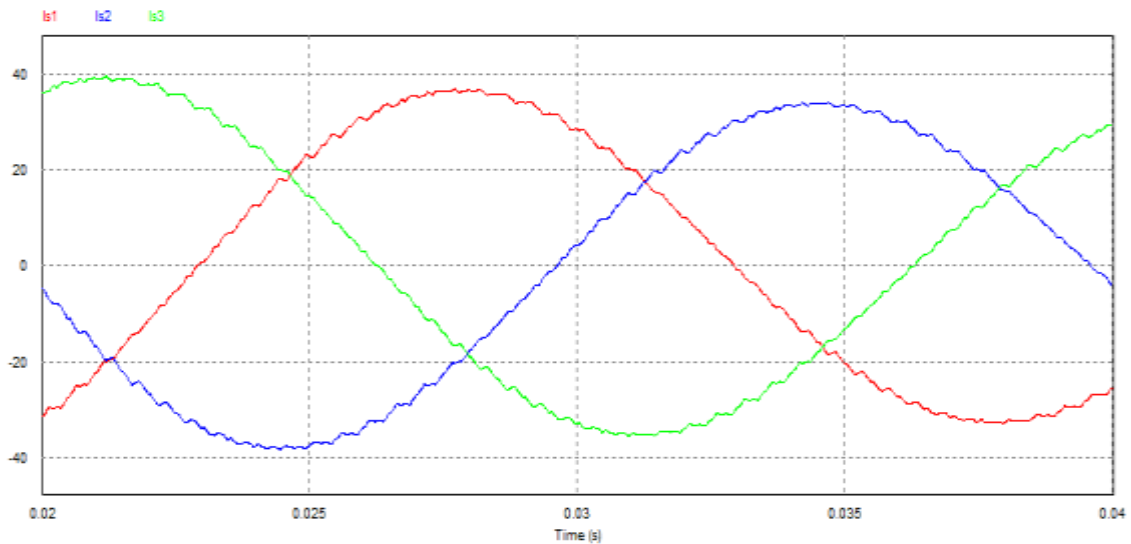


Figure III.20 : signal des courants dans la charge

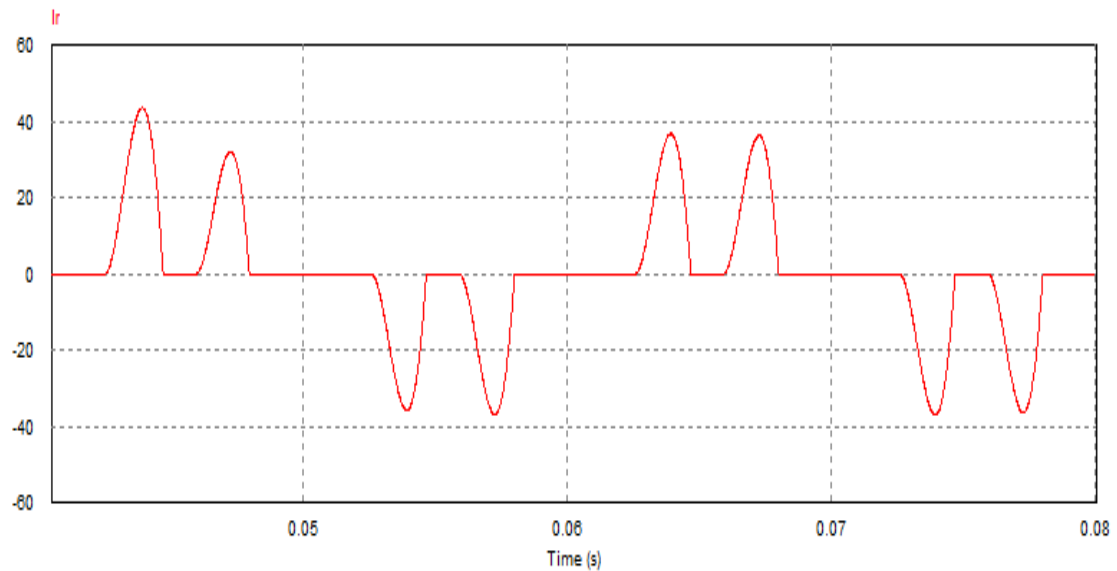


Figure III.21 : Signal de courant dans une phase à l'entrée du redresseur

III.7.1 Interprétations des résultats de simulation:

La figure III.20 et figure III.21 montrent le signal des courants dans la charge le courant de phase à l'entrée a la forme typique celui observé en amont d'un redresseur triphasé en présence d'un condensateur sur le bus continu. Il comporte les harmoniques de rang 5, 7, 11, 13, ont une amplitude élevée qui nous a donné l'intensité du courant déformé.

III.8 Simulation d'un variateur de vitesse pour un moteur asynchrone triphasé Simulink/Matlab

Le modèle proposé de simulation qui est composé d'une source de tension, d'un pont redresseur à diodes, d'une capacité de filtre et d'un onduleur IGBT contrôlé par PWM de fréquence variable en implanté sur Simulink / MATLAB.

Dans la figure III.22 on présente les blocks de la commande M.L.I. pour MAS en boucle ouvert. Il contient un bloc de commande de l'onduleur et un bloc PWM qui est présenté à la Figure III.23 l'onduleur triphasé

Le but de cette simulation est d'étudier la différence de la valeur de fréquence sur la vitesse et le courant ainsi que le couple électromagnétique et de les comparer après chaque fréquence, et c'est ce que montrent les figures suivantes.

- Simulation pour différent valeur de la fréquence :

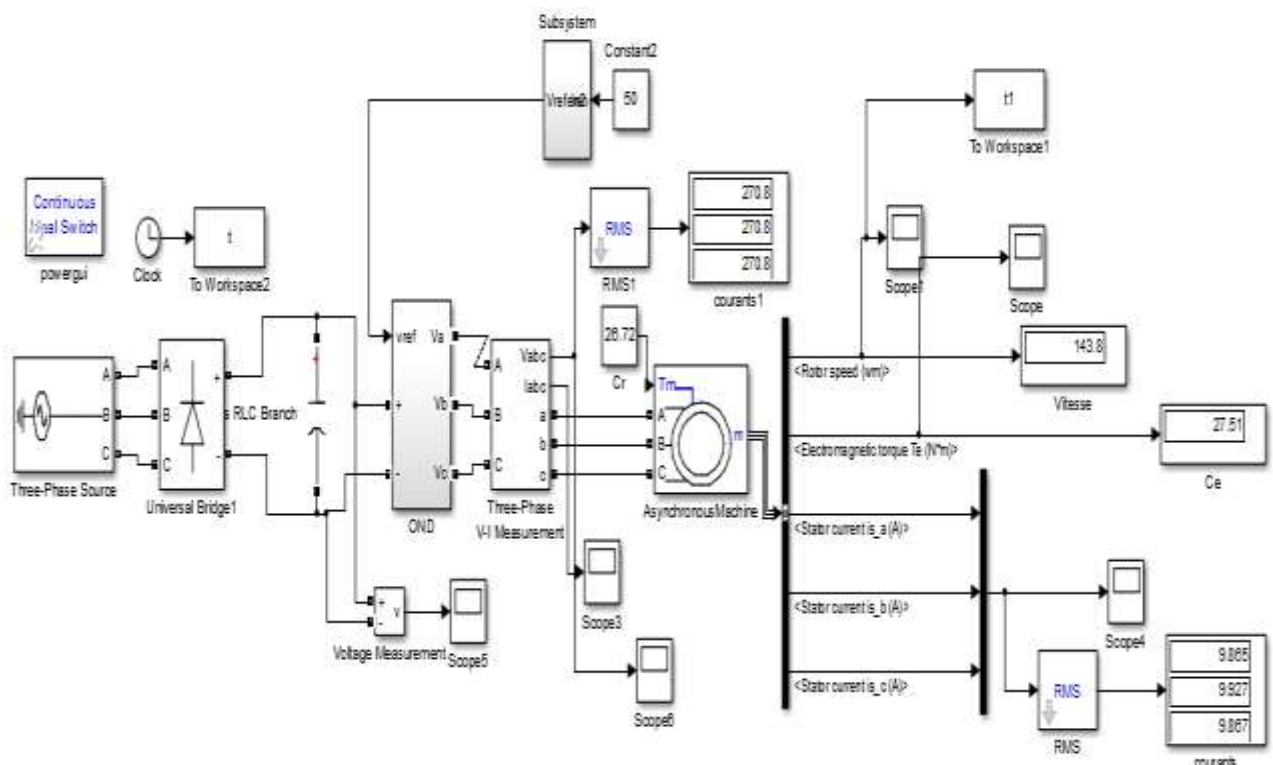


Figure III.22 : schéma Simulink pour variateur de vitesse avec moteur MAS.

Paramètres du moteur :

La puissance du moteur est de $P_u = 4\text{kW}$, facteur de puissance $\cos(\varphi) = 0.87$, $P_a = \sqrt{3} V I_n \cos(\varphi) = 4200\text{W}$

donc $I_n = 7\text{A}$, Vitesse de rotation $N = 1430\text{tr/min}$ a une fréquence de 50Hz , $N_s = 1500\text{tr/min}$ donc $p = 2$

le couple $T_r = 26.72\text{ N.m}$

- **Le Schéma bloc Onduleur triphasé M.L.I :**

Le montage de puissance utilisé est un onduleur de tension triphasé à interrupteurs de type IGBT (Insulated Gate Bipolaire Transistor). Notons que ce type d'interrupteur est très utilisé dans les applications industrielles pour une grande gamme de puissance. C'est des composants très robustes qui présentent une haute impédance.

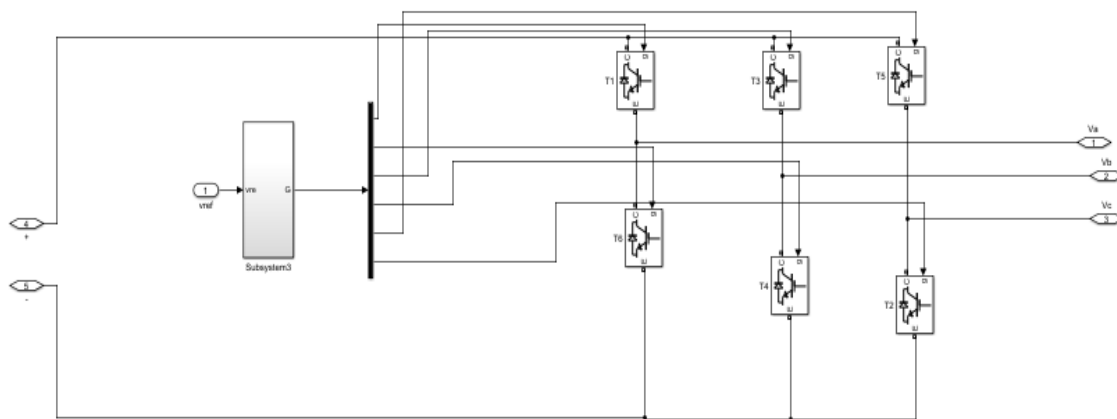


Figure III.23 : Schéma bloc Onduleur triphasé M.L.I

- **La commande M.L.I :**

La figure III.24 schéma de la commande M.L.I illustre le principe de la méthode M.L.I sur l'échantillonnage d'un signal contenant les informations à transmettre, appelé signal de modulation, qui devient ainsi une série d'impulsions de largeur spécifiée en fonction de l'amplitude du signal de modulation aux instants d'échantillonnage.

Indice d'ajustement $M = 0,8$.

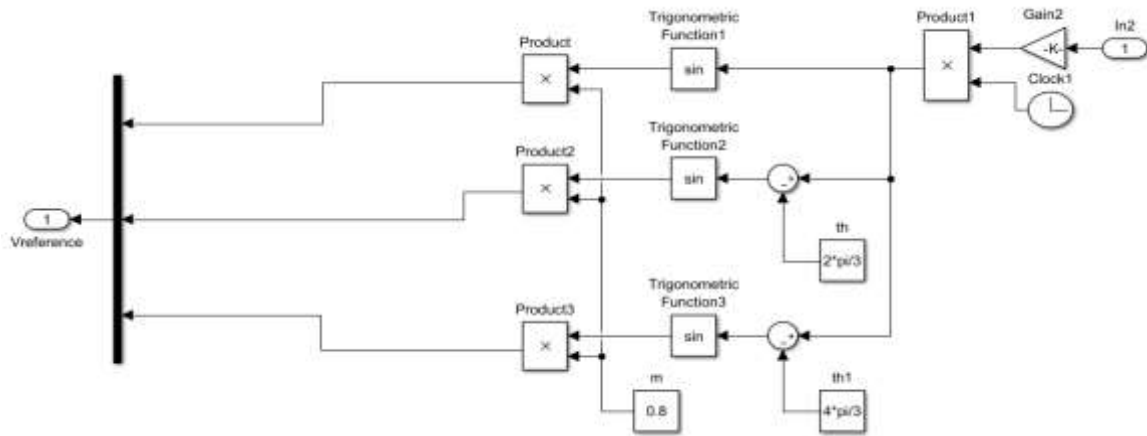


Figure III.24 : Schéma bloc de la commande M.L.I

- Simulation pour valeur de la fréquence 50 Hz

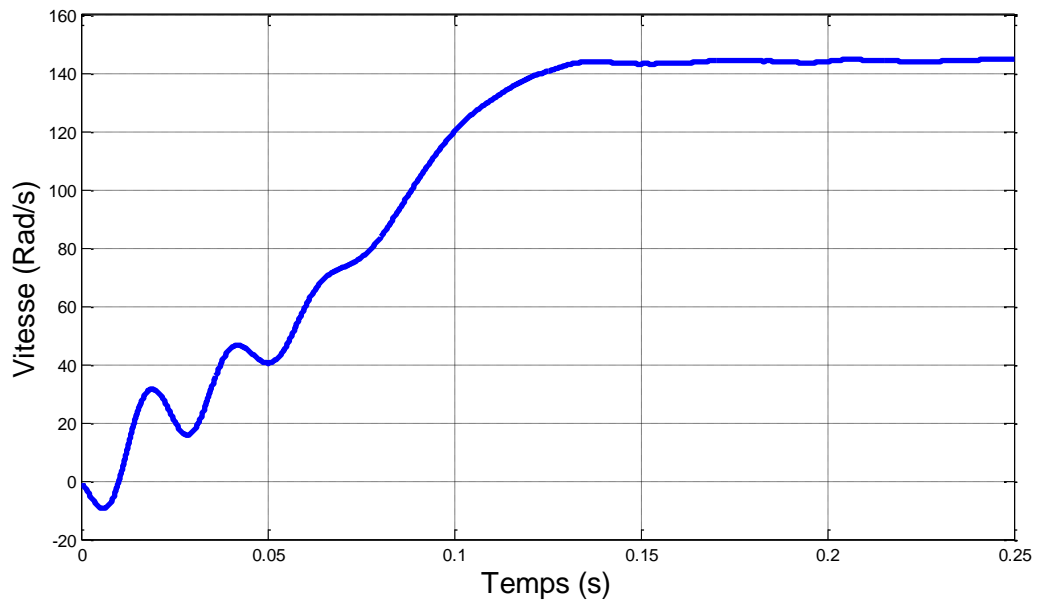


Figure III.25 : courbe vitesse de rotation pour = 50Hz

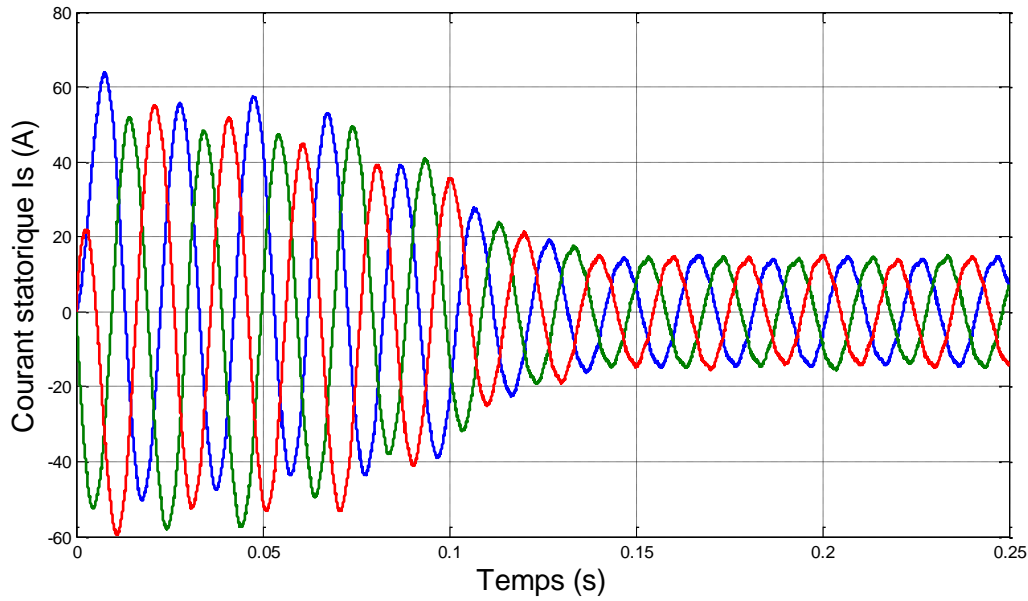


Figure III.26 : Courant statorique pour $f=50\text{Hz}$

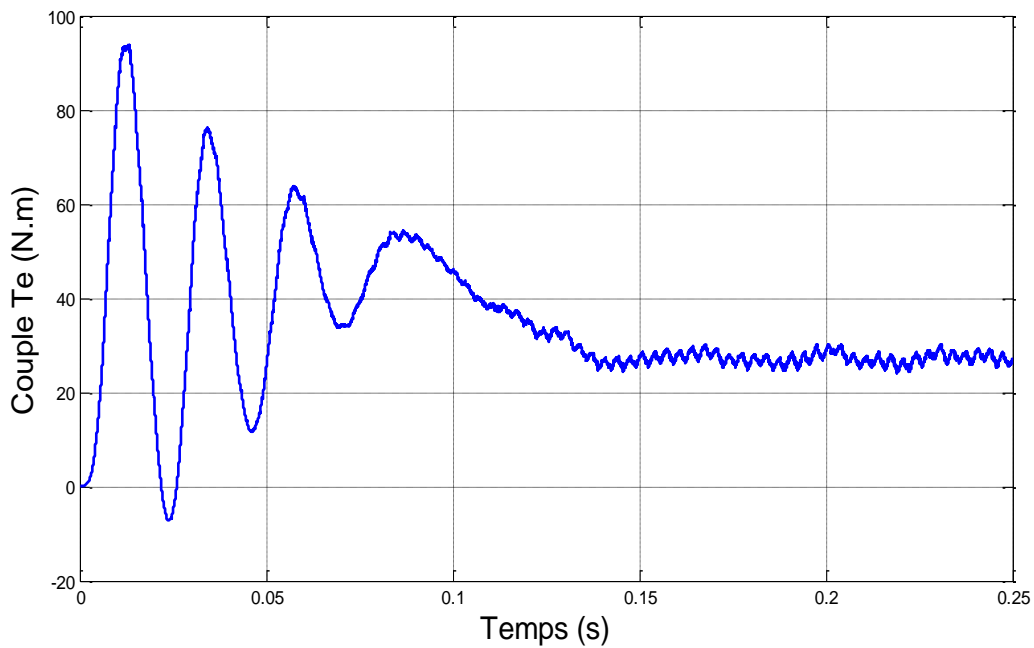


Figure III.27 : Couple électromagnétique pour $f=50\text{Hz}$.

III.8.1 Interprétations des résultats de simulation :

Lors de la simulation d'une machine asynchrone à la fréquence 50Hz, la courbe de la vitesse présente des petites oscillations dans le premier instant de démarrage avec un accroissement presque linéaire, après un temps d'environ [0.13s]. Une fois la vitesse de rotation s'établit à une valeur proche de la vitesse de synchronisme [143.8 rad/s], Quant au courant statorique en plus du couple électromagnétique on observe un fort appel du courant

apparaît nécessaire pour développer le couple qui arrive à une valeur qui s'installe après plusieurs vibrations au alentour de la valeur [25 N.m].

Maintenant, on va modifier la fréquence, les résultats de cette simulation sont présentés par les figures III.28, III.29 et III.30.

- **Simulation pour valeur de la fréquence 30 Hz**

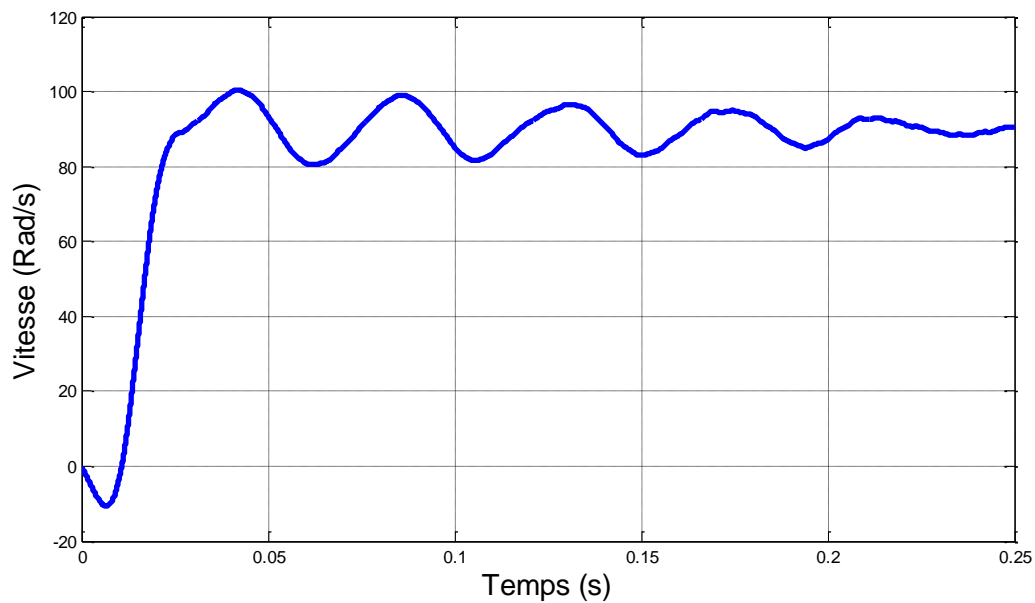


Figure III.28 : courbe vitesse de rotation pour $f=30\text{Hz}$

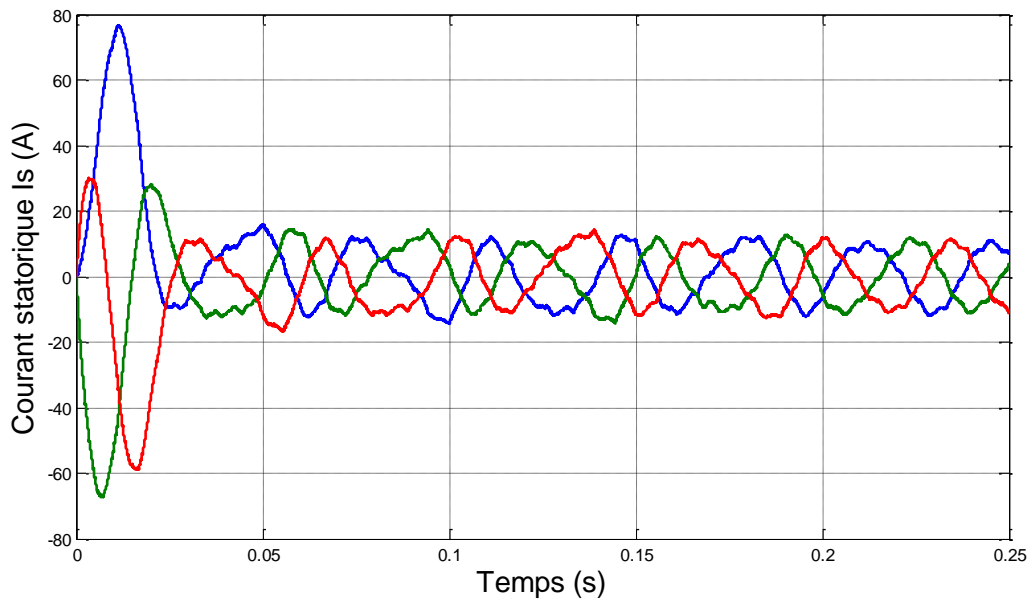


Figure III.29 : Courant statorique pour $f=30\text{Hz}$

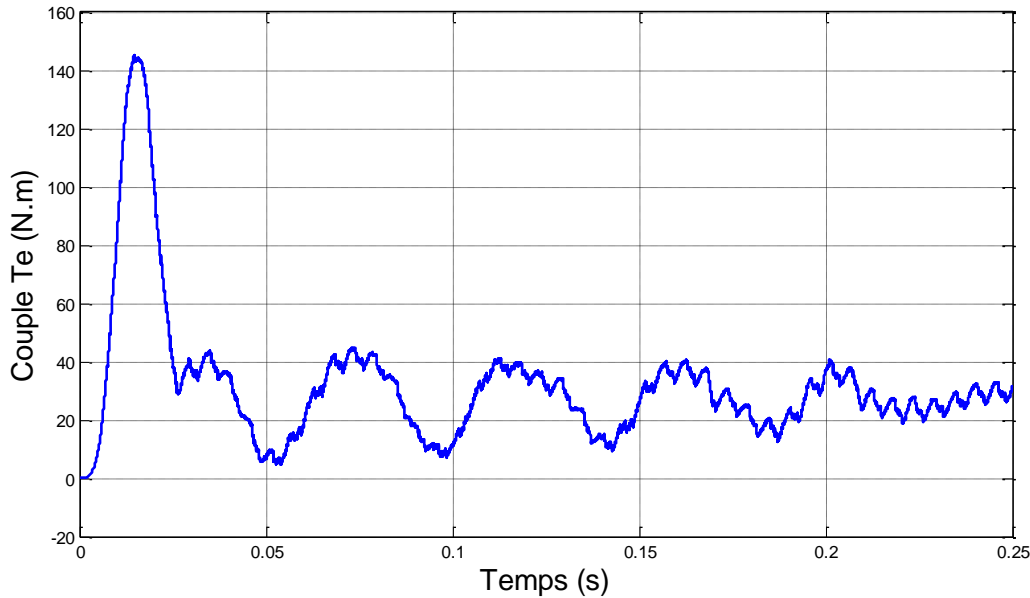


Figure III.30 : Couple électromagnétique pour $f = 30\text{Hz}$.

III.8.2 Interprétations des résultats de simulation :

Lors de la simulation d'une machine asynchrone à la fréquence 30 Hz, la courbe de la vitesse présente stabilité avec l'augmentation continue des premiers débuts jusqu'à ce qu'elle se stabilise à la valeur de 0,03 seconde et puis prouver avec le passage du temps, où nous observons des ondulations instables sont apparues quand le courant statorique où le courant semble faible stable à la valeur zéro.

Ainsi que le couple électromagnétique atteint une valeur élevée puis se stabilise après des vibrations moyennes avec une constante à la valeur est de [30 N.m]

III.9. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous utilisons d'abord le logiciel PSIM pour analyser le fonctionnement d'un onduleur de tension à commande MLI (modulation de largeur d'impulsions). Le principe d'une commande MLI est étudié sur une structure simple (onduleur monophasé 1/2 pont), puis sur un onduleur triphasé. Ensuite cette simulation est étendue à une structure de puissance complète d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé (redresseur + onduleur). La simulation a été faite sur deux périodes en régime permanent établi afin de visualiser le courant de phase à l'entrée qui a la forme typique "en oreilles de lapin" de celui observé en amont d'un redresseur triphasé en présence d'un condensateur sur le bus continu. Il comporte les harmoniques de rang 5, 7, 11, 13, ... Enfin une autre simulation utilisant SIMULINK / MATLAB vise à simuler la vitesse variable d'un moteur triphasé dans le but d'analyser le fonctionnement du variateur commandé en tension MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) du moteur asynchrone triphasé (redresseur + onduleur) pour fournir à l'entrée du moteur une tension à fréquence variable ce qui permet de varier la vitesse. Les résultats de la simulation sont très satisfaisants.

Conclusion générale

Le contenu de ce travail comprend des recherches de base sur la vitesse variable des moteurs asynchrones triphasés, technologie considérée comme le moteur triphasé le plus utilisé de l'industrie car elle offre une grande flexibilité opérationnelle (contrôle précis de la vitesse, démarrage et contrôle progressif), et possède une incroyable adaptabilité naturelle. Performances dynamiques.

Dans ce rapport, nous nous concentrons sur les éléments du moteur, son principe de fonctionnement et comment le contrôler. Nous avons également étudié les variateurs de vitesse pour les redresseurs de filtre et les onduleurs.

Le but de ce travail est d'améliorer les performances du contrôle. Nous avons utilisé les applications PSIM et Matlab / Simulink pour commander la vitesse du moteur asynchrone triphasé en agissant sur la fréquence à partir d'une source de tension, un pont redresseur à diode une capacité de filtrage et un onduleur à IGBT commandé en PWM de fréquence variable. Nous avons Les résultats de cette simulation ont été présentés et discutés.

Toute simulation, qu'il soit simple ou complexe, précise, etc., n'est valable que s'il est en accord avec les mesures expérimentales. En tenant compte de cela dans l'esprit, les travaux futurs devraient être axés sur la validation de cette simulation par des mesures.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'une étude à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie qui pourra faire l'objet d'une autre mémoire de master.

Références

1. Alain.charbonnel@ac-caen.fr. pdf Le Moteur Asynchrone Triphasé.mis à jour 27.10.2010
2. <http://users.skynet.be/blanchart/etudiants/2.htm>
3. **Ammar Kamal Mellal Makhlof.** « Dimensionnement d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil ». Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en Electrotechnique. Promotion 2012/2013.
4. <https://www.abcclim.net/moteur-asynchrone-triphase.html>. ABC- CLIM
5. www.energieplus-lesite.be Moteur asynchrone - Energie Plus Le Site . 25 septembre, 2007,
6. www.electrotechniquemaroc.blogspot.com / Ce que je dois retenir sur les moteurs... – Electrotechnique
7. <http://bts.crsa.rascol.free.fr/> Moteur Asynchrone triphasé- Cours et sujets BTS MAI BTS
8. Article : machine asynchrone. logiciel PSIM /Wikipédia.
9. <http://www.baghli.com/> cours_cmde_Mas modélisation et commande de la Machine Asynchrone
10. <https://www.bis-electric.com/> variateur de vitesse
11. <http://for-ge.blogspot.com/> les-redresseurs .2015/08
12. Document : « elearn.univ-ouargla.dz » .Électronique de puissance Chapitre 2: Les Redresseurs
13. Documents : Support de cours D'électronique de puissance Les convertisseurs AC-DC et AC-AC. www.isetn.rnu.tn
14. www.energieplus-lesite.be/ Variateur de vitesse 25 septembre, 2007,
15. www.elektronique.fr/ Filtres Électronique- Cours d'électronique –Electronique
16. **Ghazi Khazri** : «Variateur de vitesse d'un moteur asynchrone triphasé ». Rapport de stage de fin de parcours Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul. Année Universitaire 2017 / 2018

17. **Baadji Ismahane** « Optimisation de la commande d'un variateur de vitesse à base d'une pile PEMFC », mémoire magister en électronique, Université Mohamed Boudiaf-M'sila, Algérie ; 2014
18. **Abdelaziz Saad** « Commande et implémentation d'un Onduleur De tension triphasé », Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Année universitaire : 2018/2019.
19. **Hacen Khouf.** « Optimisation des stratégies de contrôle-commande d'un ensemble convertisseur en pont H-machine électrique à l'aide d'un système de prototypage rapide dSPACE pour application de véhicule électrique ». Sciences de l'ingénieur [physics]. 2013.hal-01860195.
20. Articles : A Brief Overview of IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor , 6 April 2020 , www.components101.com
21. **Z. A. Ouali**, « Application des FPGA à la commande d'un moteur asynchrone », Mémoire de Magister, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2011
22. www.lyc-rostand-mantes.ac-versailles.fr , 05032201 la variation de vitesse.doc .
23. Articles : « Quelles sont les précautions à respecter pour alimenter un moteur ancien ou récupéré par un variateur de vitesse altivar ? », **Date de publication** : 15 mai 2020
<https://www.se.com/fr/fr/faqs/FA28545/>
24. Articles : « Variateur de vitesse , Génie électrique », date : 2015/04
<http://for-ge.blogspot.com/>
25. Document : Cours Electronique de Puissance | Redresseur ... - Scribd
<https://fr.scribd.com/>