

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.MIRA Bejaïa  
Faculté de technologie  
Département de Génie Electrique



## *Mémoire de fin d'études*

*En vue de l'obtention du Diplôme de Master en électrotechnique*

*Option : Commandes Electriques*

## *Thème*

**Identification, modélisation et simulation d'un variateur de vitesse pour une machine asynchrone**

Présenté par :

*M<sup>r</sup> : KHEFFACHE Sami*

*M<sup>elle</sup> : KHEMILA Souad*

Encadré par :

*M<sup>r</sup> : REKIOUA.T (promoteur)*

*M<sup>r</sup> : MEBARKI.N (co-promoteur)*

Année universitaire  
2018/2019

## **Remerciements**

*Le travail de ce mémoire à été réalisé au laboratoire LTII de l'université de Bejaïa.*

*Nous tenons à remercier nos promoteurs Mr T.RIKIOUA et Mr N. MIBARKI pour leurs conseils, leur suivi attentif et la confiance qui nous a été très précieuse. De plus nous tenons à les remercier pour nous avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire afin de bien élaborer ce mémoire.*

*Nous tenons aussi à remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail. Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Merci*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes très chers parents.*

*Pour leurs soutiens, leurs encouragements, et leurs sacrifices.*

*Que Dieu leurs accorde longue vie.*

*A mes frères : Salim, Ali*

*A ma sœur : Nassima*

*A mon bien aimé : Nounou*

*A mon binôme : Sami*

*A mes copines de chambre : Kamilia, Yasmina, Hassiba, Cylia, Kenza, Sissa*

*A toute ma famille.*

*A mes amis.*

*Et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

***Souad***

*Je dédie ce mémoire*

*A mes très chers parents.*

*Pour leurs soutiens, leurs encouragements, et leurs sacrifices.*

*Que Dieu leurs accorde longue vie.*

*A mes frères.*

*A mes sœurs.*

*A une personne très chère: Houda*

*A mon binôme : Souad*

*A mes copains de chambre : mounir, tako, salim.*

*A mon chère ami : Amirouche*

*A toute ma famille.*

*A mes amis.*

*Et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

***Sami***





# Liste des figures

## Chapitre I : Généralité sur les variateurs de vitesse

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure I.1.</b> Variation de la vitesse du moteur asynchrone par réglage de la tension d'alimentation.....  | 5  |
| <b>Figure I.2.</b> Caractéristiques couple-vitesse d'une machine asynchrone pour différentes valeurs de la tension statorique ( $V_1 > V_2 > V_3 > V_4 > V_5$ )..... | 5  |
| <b>Figure I.3.</b> Courbe caractéristique de $V/f_s$ constant .....  | 6  |
| <b>Figure I.4.</b> Allure de la variation de vitesse .....   | 7  |
| <b>Figure I.5.</b> Schéma d'un variateur de vitesse .....  | 8  |
| <b>Figure I.6.</b> Montage d'un redresseur triphasé non commandé (pont PD3) .....  | 8  |
| <b>Figure I.7.</b> Allure de la tension à la sortie du redresseur .....  | 9  |
| <b>Figure I.8.</b> Montage Redresseur non commandé relié à un filtre passif .....  | 10 |
| <b>Figure I.9.</b> Allure de la tension à la sortie du redresseur après filtrage .....   | 10 |
| <b>Figure I.10.</b> Circuit intermédiaire à courant continu variable .....   | 11 |
| <b>Figure I.11.</b> Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable.....  | 12 |
| <b>Figure I.12.</b> Circuit intermédiaire à tension variable .....   | 12 |
| <b>Figure I.13.</b> Schéma explicatif d'un convertisseur DC/AC (Onduleur).....   | 13 |
| <b>Figure I.14.</b> Structure d'un onduleur triphasé.....  | 14 |
| <br><b>Chapitre II : Identification de la machine asynchrone</b>   |    |
| <b>Figure II.1.</b> Machine asynchrone de 8kw.....   | 16 |
| <b>Figure II.2.</b> Stator de la machine asynchrone.....   | 16 |
| <b>Figure II.3.</b> Rotor à cage d'écureuil.....   | 17 |
| <b>Figure II.4.</b> Rotor bobiné.....  | 17 |
| <b>Figure II.5.</b> Rotor massif.....  | 18 |
| <b>Figure II.6.</b> Schéma équivalent par phase en régime permanent.....   | 19 |
| <b>Figure II.7.</b> Montage et schéma de l'essai à vide.....   | 19 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure II.8.</b> Montage et schéma de l'essai à vide.....         | 20 |
| <b>Figure II.9.</b> Montage et schéma de l'essai à rotor bloqué..... | 22 |
| <b>Figure II.10.</b> Méthode de séparation des pertes.....           | 22 |
| <b>Figure II.11.</b> Courbe de séparation des pertes.....            | 23 |
| <b>Figure II.12.</b> Essai de ralentissement.....                    | 24 |

### **Chapitre III : modélisation de la machine asynchrone**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III.1.</b> Représentation des enroulements statorique dans le repère (abc) .....       | 28 |
| <b>Figure III.2.</b> Modèle d'une phase avec force électromotrice.....                           | 28 |
| <b>Figure III.3.</b> Représentation des axes statorique et rotorique dans le repère (d, q) ..... | 32 |
| <b>Figure III.4.</b> Représentation schématique d'une machine asynchrone biphasée.....           | 34 |
| <b>Figure III.5.</b> Schéma d'un onduleur de tension connecté à la machine asynchrone.....       | 35 |
| <b>Figure III.6.</b> Schéma synoptique de la MLI.....  | 37 |
| <b>Figure III.7.</b> Bloc de simulation de l'ensemble Machine-convertisseur.....                 | 37 |
| <b>Figure III.8.</b> Allure de la modulatrice plus porteuse.....                                 | 38 |
| <b>Figure III.9.</b> Courbe du couple électromagnétique.....                                     | 38 |
| <b>Figure III.10.</b> Courbe de la vitesse.....  | 39 |
| <b>Figure III.11.</b> Allure des tensions à la sortie de l'onduleur.....                         | 39 |
| <b>Figure III.12.</b> Courbe des courant rotorique.....  | 40 |

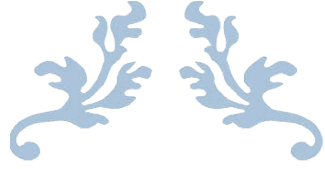
### **Chapitre IV : Validation expérimentale du système étudié**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure IV.1.</b> Schéma de Principe d'un convertisseur de fréquence.....                    | 42 |
| <b>Figure IV.2.</b> Schéma électrique du variateur .....                                       | 44 |
| <b>Figure IV.3.</b> Image de l'ALTIVAR 18.....   | 45 |
| <b>Figure IV.4.</b> . Le banc d'essai.....   | 48 |
| <b>Figure IV.5.</b> Circuit de puissance de l'alimentation +15 -15V.....                       | 49 |
| <b>Figure IV.6.</b> Circuit des capteurs de courant et de tension.....                         | 49 |
| <b>Figure IV.7.</b> Représentation de la maquette (Altivar 18+alimentation+ les capteurs)..... | 50 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure IV.8.</b> Allure des courants à la sortie de l'onduleur.....                 | 50 |
| <b>Figure IV.9.</b> La tension à la sortie de l'onduleur $f = 50\text{Hz}$ à vide..... | 50 |
| <b>Figure IV.10.</b> Tension de sortie de variateur $f = 25\text{Hz}$ .....            | 51 |
| <b>Figure IV.11.</b> Tension de sortie de variateur $f = 30\text{Hz}$ .....            | 51 |
| <b>Figure IV.12.</b> Tension de sortie de variateur $f = 40\text{Hz}$ .....            | 52 |
| <b>Figure IV.13.</b> Tension de sortie de variateur $f = 50\text{Hz}$ .....            | 52 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau I.1.</b> Les mesures à vide.....                                       | 23 |
| <b>Tableau I.2.</b> Résultats de l'essai en continu.....                          | 24 |
| <b>Tableau I.3.</b> Résultats de l'essai à vide.....                              | 25 |
| <b>Tableau I.4.</b> Résultats de l'essai à rotor bloqué.....                      | 25 |
| <b>Tableau IV.1.</b> Choix du variateur.....                                      | 43 |
| <b>Tableau IV.2.</b> Réglage des paramètres du variateur niveau 1 .....           | 46 |
| <b>Tableau IV.3.</b> Suite des réglages des paramètres du variateur niveau 1..... | 47 |



---

# *Table Des Matières*

---



## ***Table Des Matières***

|   |    |
|---|----|
| <b>Introduction générale</b> .....  | 1  |
| <b>Chapitre I : Généralité sur les variateurs de vitesse</b>                        |    |
| <b>Introduction</b> .....   | 3  |
| <b>I.1. Procédés de variation de vitesse des MAS</b> .....                          | 3  |
| I.1.1. Action sur le nombre de paires de pôles .....                                | 4  |
| I.1.2. Action sur le glissement .....   | 4  |
| I.1.3. Entraînement à tension variable et fréquence fixe.....                       | 4  |
| I.1.4. Entraînement à tension et fréquence variable .....                           | 6  |
| I.1.4.1. Intérêt de l'action sur la fréquence $f_s$ .....                           | 6  |
| <b>I.2. Les variateurs de vitesse</b> .....   | 7  |
| I.2.1. Principe de fonctionnement d'un variateur de vitesse .....                   | 7  |
| I.2.2. Fonction des variateurs de vitesse .....                                     | 7  |
| I.2.3 Constitution d'un variateur de vitesse .....                                  | 7  |
| I.2.3.1. Le Redresseur .....  | 8  |
| I.2.3.2. Le circuit intermédiaire .....   | 9  |
| I.2.3.3. L'onduleur .....   | 12 |
| <b>I.3.Conclusion</b> .....   | 14 |
| <b>Chapitre II : Identification de la machine asynchrone</b>                        |    |
| <b>Introduction</b> .....   | 15 |
| <b>II.1. Généralité sur la machine asynchrone</b> .....                             | 15 |
| II.1.1. Définition .....  | 15 |
| II.1.2. Constitution .....  | 16 |
| II.1.2.1. Un stator .....   | 16 |
| II.1.2.2. Un rotor .....  | 17 |
| II.1.3. Principe de fonctionnement .....  | 18 |
| <b>II.2.Méthodes d'identification des paramètres de la machine asynchrone</b> ..... | 18 |
| II.2.1. Essai voltampère-métrique en courant continu .....                          | 19 |
| II.2.2. Essai à vide (essai au synchronisme) .....                                  | 19 |
| II.2.3. essai à rotor bloqué .....  | 21 |
| II.2.4. Identification des pertes mécanique .....                                   | 22 |

|  |    |
|--|----|
| II.2.5. paramètres de la machines asynchrone ..... | 24 |
| <b>II.3.Conclusion</b> .....                       | 26 |

### **Chapitre III : Modélisation de système étudié**

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction</b> .....  | 27 |
| <b>III.1. Modélisation de la machine asynchrone</b> .....                                    | 27 |
| III.1.2. Mise en équation du modèle de la machine asynchrone dans le repère <b>abc</b> ..... | 28 |
| III.1.2.1. Equations électriques .....   | 28 |
| III.1.2.2. Equations magnétiques .....   | 29 |
| III.1.3. Transformation de Park .....  | 30 |
| III.1.4. Choix du système d'axe .....  | 32 |
| III.1.5.Modélisation de la MAS dans le plan biphasé <b>dq</b> .....                          | 32 |
| III.1.5.1. Equation électrique .....   | 33 |
| III.1.5.2. Equation magnétique.....  | 33 |
| III.1.5.3. équation mécanique.....   | 34 |
| <b>III.2.Modélisation de l'onduleur de tension à MLI</b> .....                               | 34 |
| III.2.1.Modulation de largeur d'impulsion (MLI) .....  | 36 |
| III.2.2 Principe de base de MLI .....  | 36 |
| <b>III.3. Simulation sous Matlab Simulink</b> .....  | 37 |
| <b>III.4. Résultats de simulation</b> .....  | 38 |
| <b>III.5.Conclusion</b> .....  | 41 |

### **Chapitre IV : validation expérimentale du système étudié**

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction</b> .....  | 42 |
| <b>IV.1. Généralités sur les variateurs de fréquence</b> .....                     | 42 |
| IV.1.1.Objectif .....  | 42 |
| VI.1.2. Principe .....   | 42 |
| <b>IV.2. Présentation de l'Altivar 18</b> .....                                    | 43 |
| IV.2.1. Description et application.....  | 43 |
| VI.2.2. Choix du variateur .....   | 43 |
| VI.2.3. Le schéma électrique général du variateur.....                             | 44 |
| VI.2.4. Principe de fonctionnement .....   | 45 |
| VI.2.5. Mise en Service et Réglage des paramètres de l'Altivar 18 ATV-18U72N4..... | 46 |
| VI.2.5.1. Réglage du variateur (paramétré de niveau 1) .....                       | 46 |
| <b>VI.3. Description du banc d'essai</b> .....                                     | 48 |



|   |    |
|---|----|
| <b>IV.4. Réalisation des capteurs</b> .....   | 48 |
| <b>IV.5. La mise en marche des capteurs</b> .....   | 50 |
| <b>IV.6. Résultats obtenus</b> .....  | 50 |
| IV.6 .1. Le signal de tension de sortie se L'Altivar 18 à vide pour différentes fréquences..... | 51 |
| IV.6.2. la valeur de la vitesse pour les différentes de fréquence .....                         | 53 |
| <b>IV.7. Conclusion</b> .....   | 53 |
| <b>Conclusion générale</b> .....  | 54 |
| <b>Références bibliographiques</b> .....  | 55 |

## Nomenclature

$MW$  : Méga watts.

MAS: Machine Asynchrone

MLI : Modulation de largeur d'impulsion

$KW$  : Kilo watts.

$\Omega_s$  : La vitesse de synchronisme ( $rad/s$ ).

$\omega_s$  : Pulsation statorique ( $rad/s$ ).

$P$  : Nombre de paire de pôles de la machine asynchrone.

$N_s$  : vitesse de synchronisme ( $tr/min$ ).

$f.e.m$ : Force électromotrice (volt).

$\Omega_r$  : La vitesse de rotation du rotor ( $rad/s$ ).

$g$  : Glissement.

$\Omega$  : Ohm.

$R_s$  : Résistance statorique ( $\Omega$ ).

$R_r$  : Résistance rotorique ( $\Omega$ ).

$L_s$  : L'inductance cyclique statorique de fuite ( $H$ ).

$L_r$  : L'inductance cyclique rotorique de fuite ( $H$ ).

$I_{s0}$  : Le courant efficace.

$R_F$  : Résistance de fictive (prise en compte des pertes fer) ( $\Omega$ ).

$\omega$  : La vitesse angulaire de rotation de la machine asynchrone.

$R_r^*$  : Résistance rotorique ramenée au stator, Responsable des pertes joule au rotor.

$\mathcal{N}_r$  : Impédance ramené au stator de l'inductance de fuite au rotor.

$M$  : L'inductance mutuelle cyclique entre le stator et le rotor ( $H$ ).

$J$  : Moment d'inertie ( $kg/m^2$ ).

$f$  : Coefficient de frottements visqueux.

$V$  : Tension d'alimentation ( $V$ ).

$i$  : Courant absorbé ( $A$ ).

$e$  : Force magnétomotrice ( $\Omega$ ).

$\varphi$  : Flux magnétique total ( $Wb$ ).

$l_s$  : L'inductance propre par phase statorique ( $H$ ).

$l_r$  : L'inductance propre par phase rotorique ( $H$ ).

$V_s$  : Tension aux bornes d'un enroulement statorique ( $V$ ).

$I_s$  : Le courant d'une phase statorique ( $A$ ).

$m_s$  : Inductance mutuelle entre deux phase statorique ( $H$ ).

$m_r$  : Inductance mutuelle entre deux phase rotorique ( $H$ ).

$M_{sr}$  : Inductance mutuelle entre stator et rotor( $H$ ).

$\varphi_s$  : Le flux statorique ( $Wb$ ).

$\varphi_r$  : Le flux rotorique ( $Wb$ ).

$\theta$  : L'angle électrique entre la phase rotorique ( $Ra$ ) et la phase statorique ( $Sa$ ).

$\theta_s$  : Angle entre le stator et la phase  $d$ .

$\theta_r$  : Angle entre le rotor et la phase  $d$ .

$d, q$  : Indices des axes direct et en quadrature du référentiel lié au champ tournant.

$\alpha, \beta$  : Indice des axes liés au stator.

$s, r$  : Indices respectifs du stator et du rotor.

$S_a, S_b, S_c$  : Indices des phases statorique.

$R_a, R_b, R_c$  : Indice des phases rotorique.

$i_{s_{a,b,c}}$  : Courant statorique ( $A$ ).

$i_{r_{a,b,c}}$  : Courant rotorique ( $A$ ).

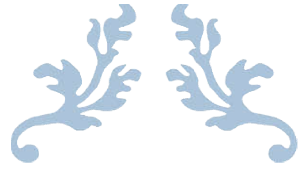
$V_{s_{a,b,c}}$  : Tension d'alimentation statorique ( $V$ ).

$i_{ds}, i_{qs}$  : Composant biphasées du courant statorique.

$[P]$  : La matrice de transformation direct de Park.

$[P]^{-1}$  : La matrice de transformation inverse de Park.





---

# **Introduction Générale**

---



## **Introduction générale**

Parmi plusieurs types de moteurs électriques, les machines asynchrones triphasées occupent une place prépondérante. Effectivement, Au moins 90% des systèmes de commande industrielle utilisent des moteurs asynchrones, qui ont graduellement pris la place des machines à courant continu en raison de leurs nombreuses vertus dont nous citons la robustesse, la simplicité de structure, le poids, la taille, mais surtout la maintenance quasi inexistante. Ajoutons à cela le fait que la machine asynchrone ai pu tirer profit de l'essor plus que considérable qu'a connu le domaine de l'entraînement électrique à vitesse variable ces dernières années ; ceci grâce à l'évolution technologique de l'électronique de puissance et de la micro-informatique [1].

Les entraînements à vitesse variable représentent un domaine multidisciplinaire en génie électrique, qui regroupe les connaissances dans plusieurs secteurs : machines électriques, électronique de puissance, théorie de commande, microcontrôleurs et microprocesseurs, etc. Les récents développements dans ces disciplines poussent l'entraînement à vitesse variable à un niveau de développement sans précédent, où l'on peut avoir des systèmes de commande de haute performance avec plus de fiabilité et à moindre coût [2].

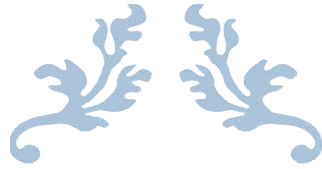
Depuis la venue de la technologie des semi-conducteurs, les variateurs de vitesse des moteurs électriques ont pris le dessus sur les anciens systèmes, cette technologie est devenue fiable.

Les variateurs de vitesse sont de type de redresseur contrôlés pour alimenter les moteurs à courant continu, ceux destinés aux moteurs à courant alternatif sont des convertisseurs de fréquence [3].

Le mémoire est structuré en quatre chapitres comme suit :

- Le premier chapitre, est consacré aux méthodes de variation de la vitesse des MAS, nous allons présenter les différents types des variateurs de vitesse ainsi leurs principes de fonctionnement et domaines d'utilisation.
- Le deuxième chapitre est opté pour la présentation de la machine asynchrone tel que sa constitution et son principe de fonctionnement, en suite on va identifier les paramètres de la MAS par la méthode des essais classiques basé sur un schéma équivalent. On va effectuer trois essais : essai en continu, essai à vide, essai à rotor bloqué.

- Le troisième chapitre, traite la modélisation de la machine asynchrone à cage, par l'utilisation de la transformation de Park, ainsi que la modélisation de l'onduleur de tension en vue de la simulation sous l'environnement Matlab-Simulink de l'ensemble machine-convertisseur en adoptant la commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).
- Le dernier chapitre concerne la partie pratique qui est la réalisation d'un banc d'essai, basé sur un variateur de fréquence Altivar 18 associé à une machine asynchrone.
- Finalement, on clôture notre travail par une conclusion générale, exposant les différents résultats obtenus et dégageant les perspectives à envisager.



## Chapitre I

---

# *Généralités sur les variateurs de vitesse*

---





## Introduction

Les progrès récemment réalisés dans les domaines de l'électronique de puissance et de la commande numérique ont permis, depuis peu, l'essor des variateurs de vitesse. Aujourd'hui, les machines asynchrones vont se placer au rang de pionniers dans la plupart des entraînements à vitesse variable dans de nombreux secteurs industriels. Il faut donc s'attendre à la disparition progressive des entraînements utilisant la machine à courant continu.

Un variateur de vitesse est un équipement électrotechnique alimentant un moteur électrique, de façon à pouvoir faire varier sa vitesse en continu, de l'arrêt jusqu'à sa vitesse nominale. La vitesse peut être proportionnelle à une valeur analogique fournie par un potentiomètre, ou par une commande externe: un signal de commande analogique ou numérique, issue d'une unité de contrôle [4].

### I.1. Procédés de variation de vitesse des MAS

La technologie électronique ; variateurs de vitesse ; présente de nombreux avantages comme: diminution des pertes mécaniques, diminution des surintensités et réglage précis et modification facile de la valeur de la vitesse [4].

$$n = n_s(1 - g) = \frac{f^*(1-g)}{p} \quad (\text{I.1})$$

Avec :

$n$  : vitesse de rotation [rad/s]

$n_s$  : vitesse du champ tournant [rad/s]

$g$ : Glissement

$f$ : Fréquence

$p$  : Nombre de Paire de pôles

D'après l'équation (I.1), la variation de la vitesse d'une MAS, peut se faire à partir de :  
Action sur la vitesse de synchronisme (vitesse du champ tournant), action sur le glissement, action sur le nombre de paire de pôles et action sur la fréquence. Dans un moteur à courant alternatif, la vitesse mécanique du rotor est liée à la fréquence des courants au stator. Ce lien mathématique rend possible une commande de la vitesse du rotor par la commande de la fréquence du courant au stator [5].

Le glissement compare la vitesse rotorique à celle de synchronisme par rapport à cette dernière en utilisant la relation suivante :

$$g = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (I.2)$$

$$\omega_r = \frac{2\pi * f}{p} (1 - g) \quad (I.3)$$

L'équation (I.3) vient donc confirmer ce qui a été dit au paravent.

### I.1.1. Action sur le nombre de paires de pôles

La vitesse d'une machine asynchrone est fonction de son nombre de paire de pôle et de la fréquence du réseau.

$$N_s = \frac{60 * f}{p} [\text{tr}/\text{min}] \quad (I.4)$$

- Une paire de pôle  $\Rightarrow N_s = 3000 \text{ tr}/\text{min}$  ;
- Deux paires de pôle  $\Rightarrow N_s = 1500 \text{ tr}/\text{min}$ .

Nous modifions le nombre de paires de pôle par commutateurs sans modifier l'implantation des bobinages du stator. Par construction, nous obtenons un stator qui prend plusieurs polarités, et par simple modification du couplage de ces bobines statoriques nous varions la vitesse [6].

### I.1.2. Action sur le glissement

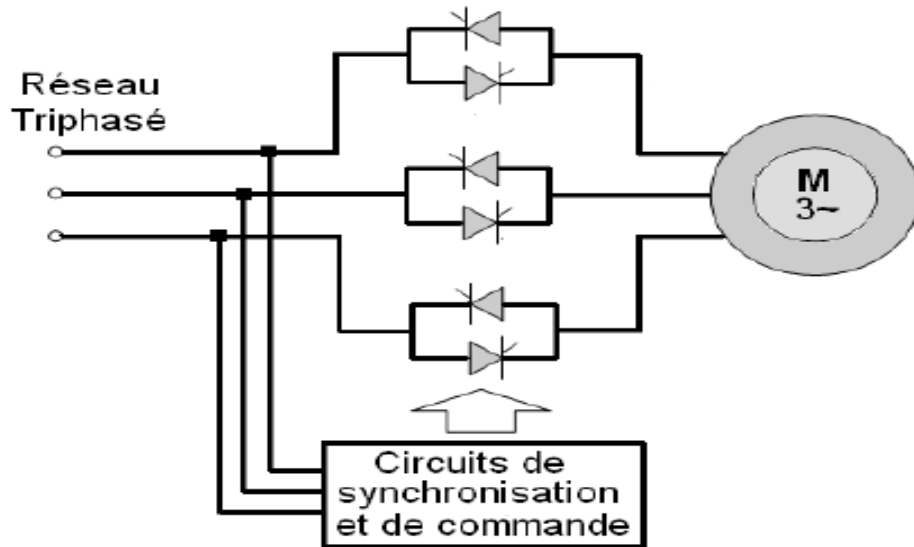
L'action sur le glissement se fait par :

- Action sur la tension d'alimentation statorique (autotransformateur, gradateur).
- Rhéostat de glissement au rotor dans le cas d'une machine à rotor bobiné.

Si la charge (machine entraînée) appliquée au moteur augmente, le rotor va ralentir, et le glissement augmente [4].

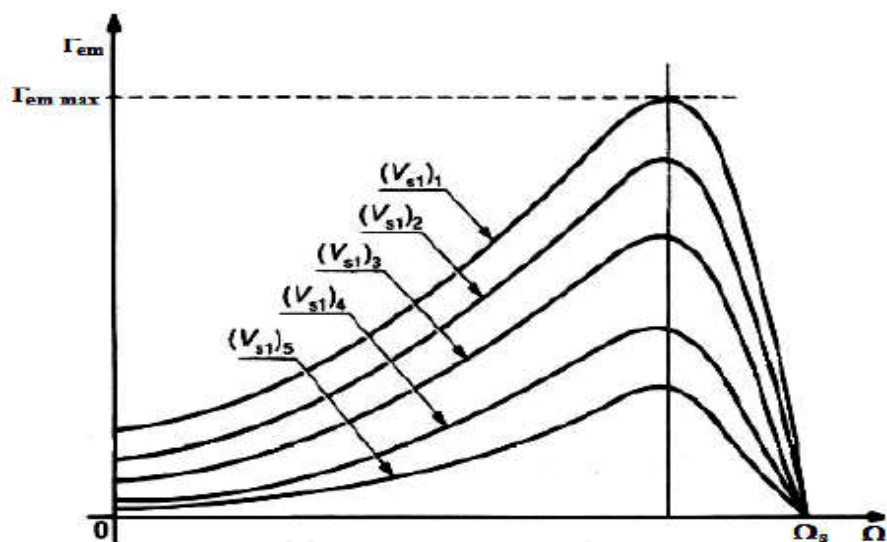
### I.1.3. Entraînement à tension variable et fréquence fixe

Cette méthode est très simple et économique pour la commande de vitesse des moteurs asynchrones, elle se base sur la variation de la tension d'alimentation du moteur à une fréquence fixe. Pour faire varier l'amplitude de la tension statorique, on insère entre le réseau et le stator un gradateur à thyristors, constitué par trois ensembles de deux thyristors montés tête-bêche, comme est indiqué sur la figure (I.1). Le réglage de la tension d'alimentation du moteur, se fait par action sur l'angle de retard à l'amorçage  $\alpha$  des thyristors [ 9].



**Figure I.1 :** Variation de la vitesse du moteur asynchrone par réglage de la tension d'alimentation [9].

Dans cette méthode de contrôle, le couple développé varie inversement au carré de la valeur efficace de tension d'alimentation du moteur, comme indiqué sur la figure (I.2). Cela rend un tel entraînement approprié pour les charges de type ventilateur pour laquelle la demande du couple augmente plus rapidement avec la vitesse. Pour les autres types de charges, la plage de vitesse appropriée est très limitée [9].



**Figure I.2 :** Caractéristiques couple-vitesse d'une machine asynchrone pour différentes valeurs de la tension statorique ( $V_1 > V_2 > V_3 > V_4 > V_5$ ) [9].

### I.1.4. Entraînement à tension et fréquence variable

La vitesse de synchronisme  $\omega_s$  dépend de la fréquence  $f_s$  des courants statoriques. Et comme la vitesse de rotation est en fonction de la vitesse de synchronisme, la variation de la vitesse du moteur dépend au fait, de la variation de la fréquence  $f_s$ .

Le convertisseur statique, de type onduleur, permet un fonctionnement du moteur avec un couple maximal, par action simultanée sur la fréquence et sur l'amplitude des tensions statoriques, tout en conservant le caractère constant du rapport  $V/f_s$ . Si nous augmentons la vitesse il faut augmenter la fréquence et la tension d'alimentation dans les limites du bon fonctionnement de la machine. Sur le plan technique, cela permet un très bon réglage de la vitesse. Une machine asynchrone peut fonctionner sous 220V / 50Hz [7].

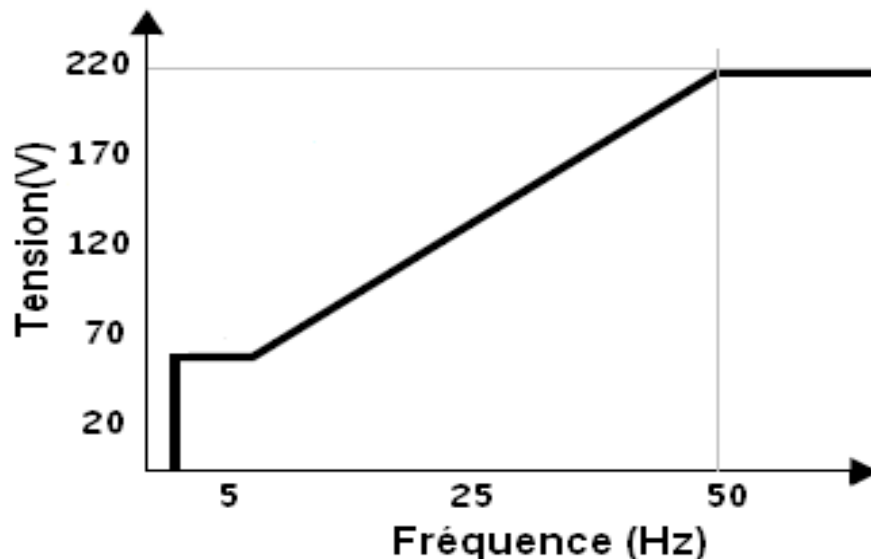


Figure I.3. Courbe caractéristique de  $V/f_s$  constant

La commande en  $V/f_s$  constant ne fonctionne qu'à la condition que ; les pertes par effet Joule au stator, fuite magnétique,... etc. soient négligeables, ce qui est faux à basse vitesse et en régime transitoire: au démarrage, cette commande n'est utilisable qu'à partir d'un certain seuil [8].

#### I.1.4.1. Intérêt de l'action sur la fréquence $f_s$

L'action sur la fréquence  $f_s$  tout en conservant le rapport  $V/f_s$  constant, permet :

- De maintenir la valeur du couple à sa valeur maximale.

Elle permet donc, la modification de la vitesse de rotation en charge de la machine tout en plaçant le point de fonctionnement là où le couple d'entraînement est le plus satisfaisant pour mouvoir la charge [4].

## I.2 Les variateurs de vitesse

### I.2.1. Principe de fonctionnement d'un variateur de vitesse

Un variateur de vitesse permet de faire varier la vitesse des moteurs asynchrones qui ont une conception de la vitesse de rotation constante. La variation de vitesse est obtenue en faisant varier la fréquence de la tension d'alimentation du moteur.

### I.2.2. Fonction des variateurs de vitesse

Parmi les multitudes de fonctions qu'offrent les variateurs de vitesse actuels, on citera [10].

- l'accélération contrôlée
- La décélération contrôlée
- la variation et la régulation de vitesse
- L'inversion du sens de rotation
- Le freinage d'arrêt

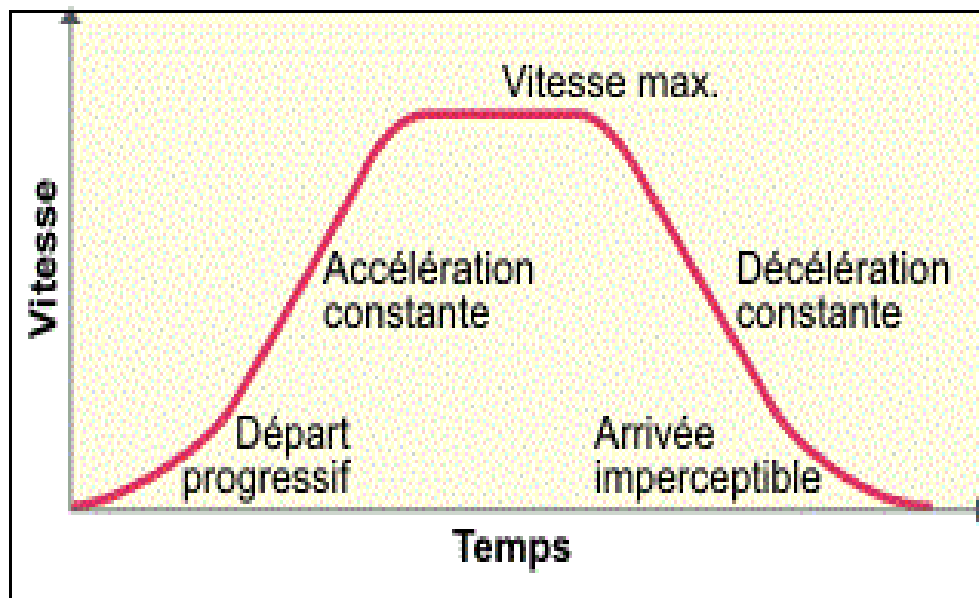


Figure. I.4. Allure de la variation de vitesse

### I.2.3 Constitution d'un variateur de vitesse

Les variateurs de vitesse sont composés essentiellement d'un redresseur, un circuit intermédiaire et un onduleur comme illustré dans la figure (I.5) [11].

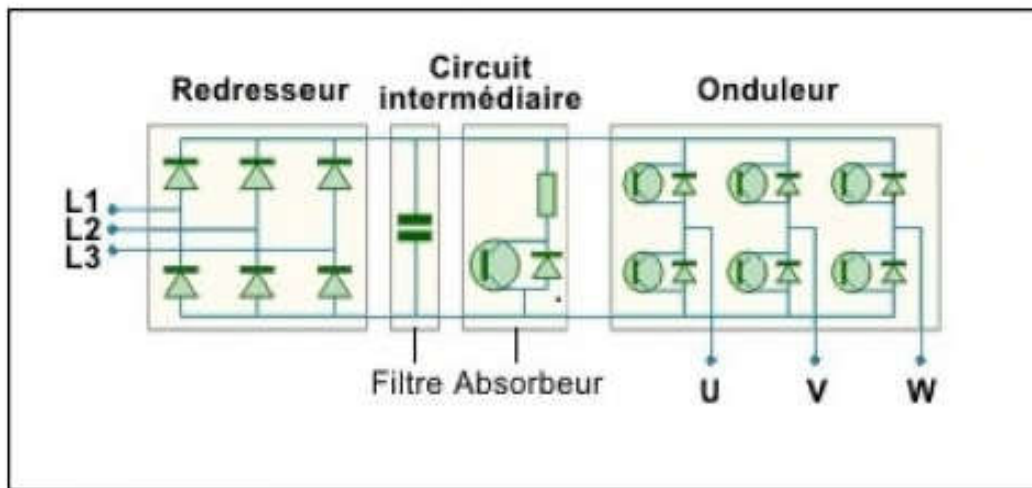


Figure. I.5 Schéma d'un variateur de vitesse

### I.2.3.1. Le Redresseur

La fonction du redresseur est de transformer la tension alternative triphasée du réseau en tension continue. En pratique, il est difficile d'obtenir une tension de sortie parfaitement continue, ce qui donne en général une tension continue comportant une ondulation résiduelle. Suivant le type de technologie utilisée, il est possible de concevoir un circuit redresseur non commandé ou commandé [12].

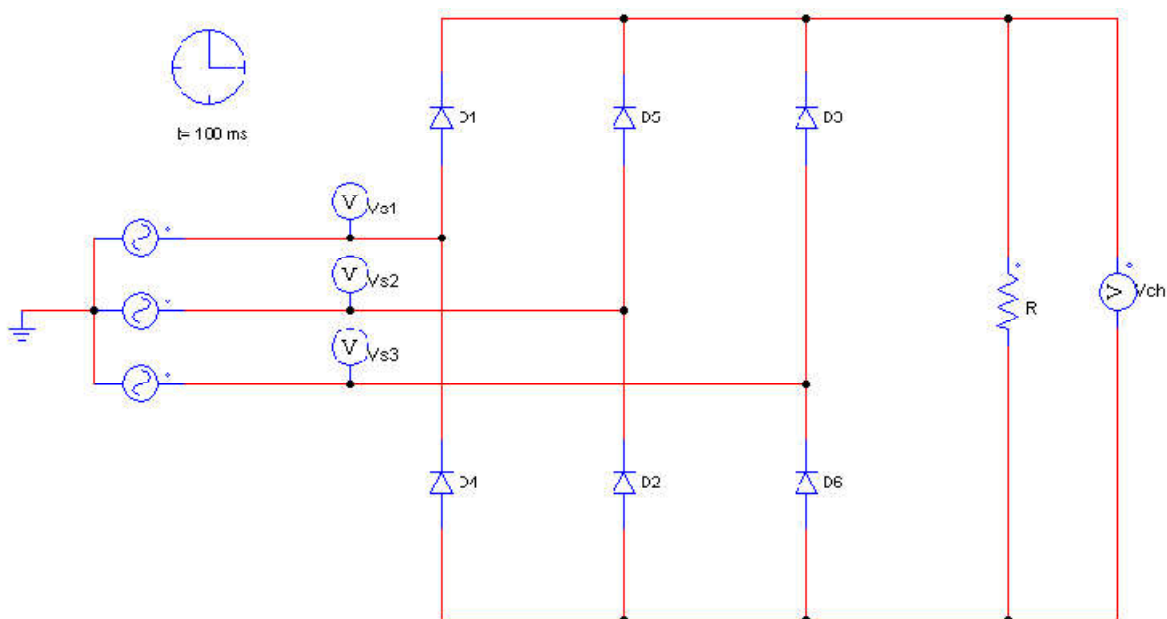
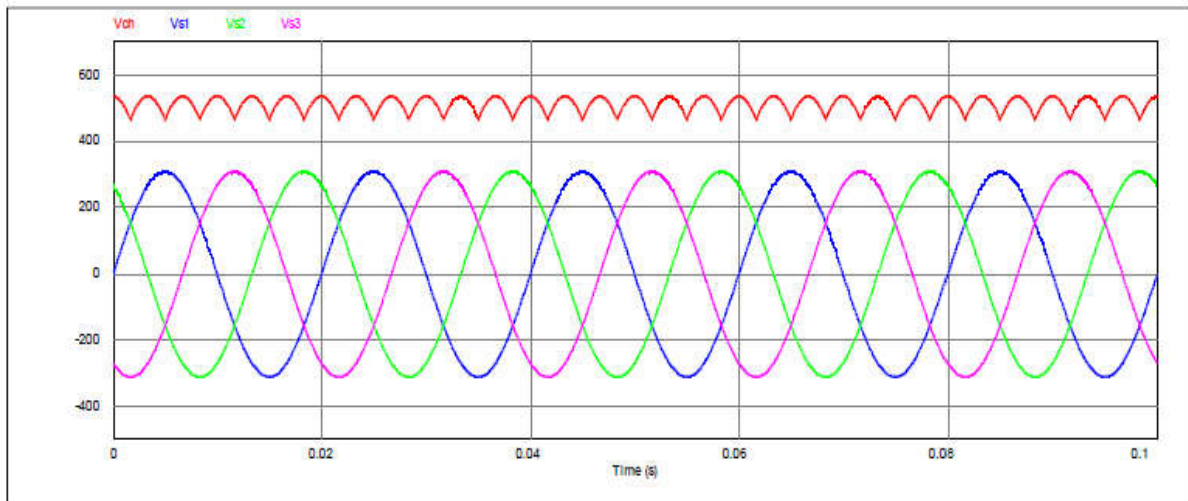


Figure I.6. Montage d'un redresseur triphasé non commandé (pont PD3)

Avec :  $V_{eff} = 220 \text{ volt}$  ;  $R = 20 \Omega$

Dans un redresseur triphasé non-commandé, le pont de diodes permet, comme le montre la figure ci-dessus, de générer une tension continue en redressant l'alternance négative de chaque une des trois tensions composées. La tension de sortie n'est pas tout à fait continue et comporte une ondulation résiduelle.



**Figure I.7.** Allure de la tension à la sortie du redresseur

Chaque diode conduit ainsi pendant un tiers de période (donc l'indice de commutation de ce montage est  $q = 3$ ) tandis que la tension redressée se compose de six portions de sinusoïdes par période  $T$  (donc l'indice de pulsation est  $p = 6$ ) ; ces deux indices avaient des valeurs égales dans le cas des montages parallèles simples.

Valeur moyenne de la tension à la sortie du redresseur;

$$V_{dmoy} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \quad (\text{I. 5})$$

Ce résultat montre clairement que la tension obtenue est continue mais elle présente des ondulations, reste à lisser cette tension en introduisant un étage de filtrage composé principalement d'une capacité.

Le redresseur fournit au circuit intermédiaire (circuit de filtrage) la tension continue présente à sa sortie.

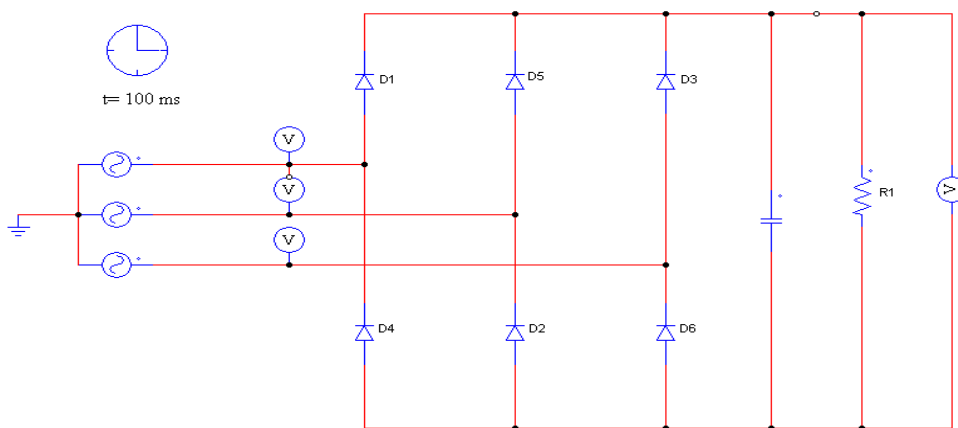
### I.2.3.2. Le circuit intermédiaire [10]

Ce circuit joue plusieurs rôles suivant les options prises sur le type de variateur dont principalement le lissage en courant ou en tension du signal de sortie du redresseur et le contrôle du niveau de tension ou de courant d'attaque de l'onduleur. Il peut aussi servir à :

- Découpler le redresseur de l'onduleur.
- Réduire les harmoniques.
- Stocker l'énergie due aux pointes intermittentes de charge.

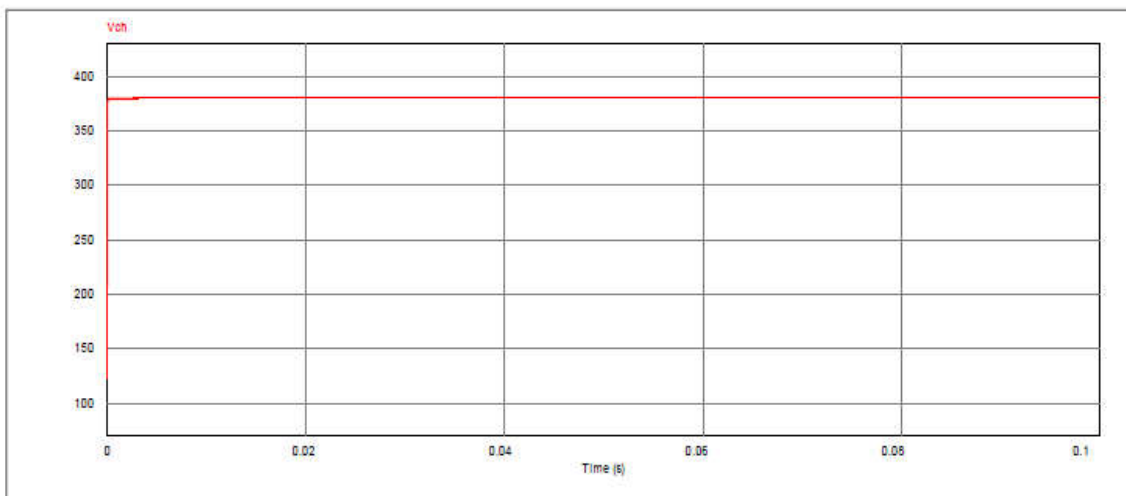
On différencie le circuit intermédiaire à :

- 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.



**Figure I.8.** Montage Redresseur non commandé relié à un filtre passif

Avec,  $V_{eff} = 220v$  ;  $C = 1 \mu F$  ;  $R = 20\Omega$



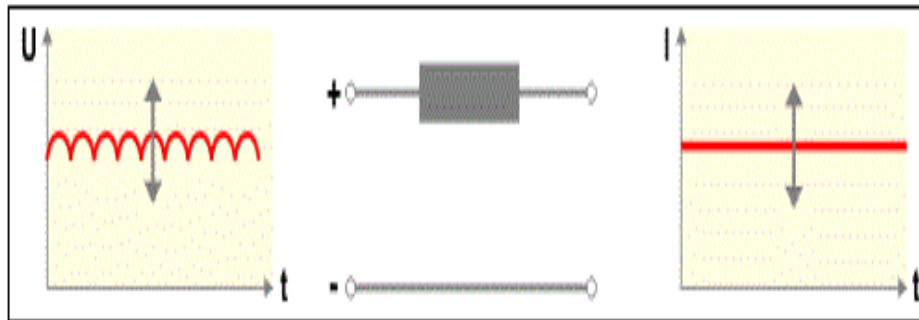
**Figure I.9.** Allure de la tension à la sortie du redresseur après filtrage



Après l'insertion d'un filtre à la sortie du redresseur, on obtient une tension de sortie presque parfaitement continue (Lissage de la tension).

➤ **Circuit intermédiaire à courant continu variable**

Ce type de circuit intermédiaire caractérise les variateurs à source de courant. Il est composé d'une bobine (ou self) de lissage « passe bas » (filtrage de basses fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle. En d'autres termes la bobine transforme la tension de sortie du redresseur à ondulation résiduelle en un courant continu.



**Figure. I.10.** Circuit intermédiaire à courant continu variable

➤ **Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable**

Ce type de circuit intermédiaire caractérise les valeurs à source de tension. Il est composé d'une bobine de lissage « passe bas » (filtrage des basses fréquences) et d'un condensateur « passe haut » (filtrage des hautes fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle.

Pour un redresseur commandé, le circuit intermédiaire transforme la tension de sortie à ondulation résiduelle du redresseur en tension continue d'amplitude variable.

Pour un redresseur non-commandé, la tension à l'entrée de l'onduleur est une tension continue dont l'amplitude est constante.

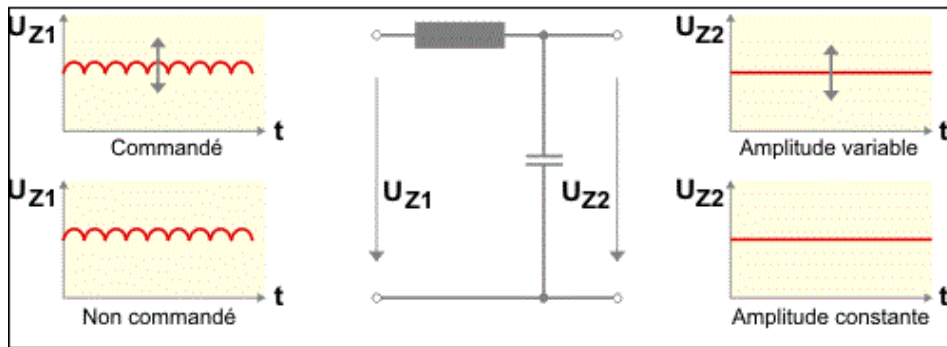


Figure. I.11. Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable

➤ **Circuit intermédiaire à tension variable**

A l'entrée du filtre est ajouté un hacheur composé d'un transistor et 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.

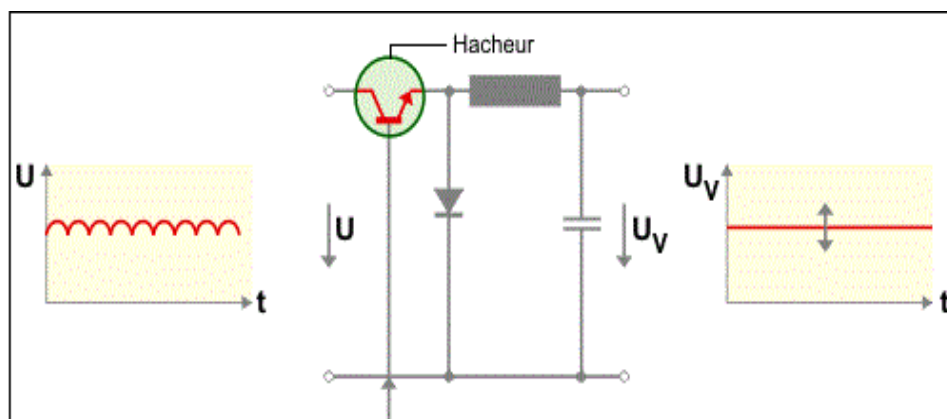


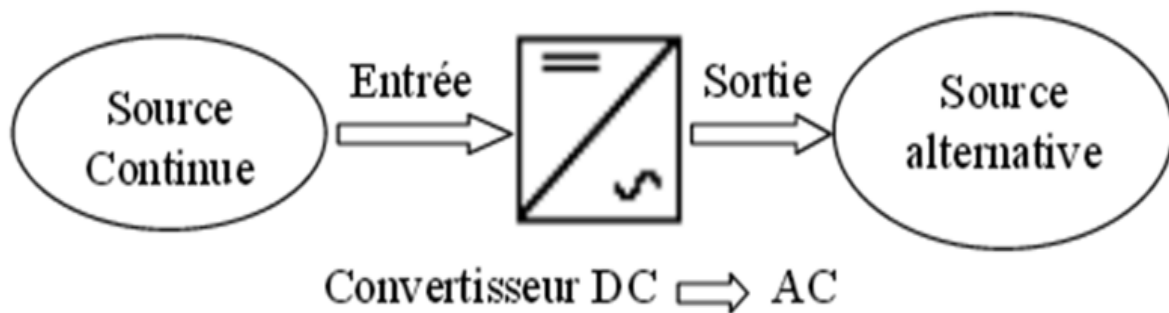
Figure. I.12. Circuit intermédiaire à tension variable

### I.2.3.3. L'onduleur

➤ **Définition de l'onduleur**

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de délivrer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique continue.

C'est la fonction inverse d'un redresseur (Pour  $\alpha > 90^\circ$ , le redresseur fonctionne en onduleur assisté). L'onduleur est un convertisseur de type continu/alternatif [13].



**Figure I.13.** Schéma explicatif d'un convertisseur DC/AC (Onduleur)

#### ➤ Classification des onduleurs

Il existe plusieurs centaines de schémas d'onduleurs, chacun correspondant à un type d'application déterminé ou permettant des performances recherchées. Les onduleurs sont en général classés selon les modes de commutation de leurs interrupteurs [14].

#### ➤ Onduleur autonome

C'est un système qui nécessite des composants commandés à la fois à la fermeture et à l'ouverture, de fréquence variable, dont les instants de commutations sont imposés par des circuits externes. La charge est quelconque, cet onduleur n'est pas réversible.

#### ➤ Onduleur non autonome

Dans ce cas, les composants utilisés peuvent être de simples thyristors commandés uniquement à la fermeture et la commutation est « naturelle » contrairement à l'onduleur autonome. L'application principale de ce type d'onduleur se trouve dans les variateurs pour moteurs synchrones de très forte puissance où les thyristors sont souvent les seuls composants utilisables.

#### ➤ Structure de l'onduleur

L'onduleur est composé de six transistors avec une diode antiparallèle pour chacun. Les transistors T1 et T1' comme T2 et T2' et T3 et T3' sont complémentaires en théorie c'est-à-dire que lorsque l'un d'eux est ouvert l'autre est fermé et inversement. Dans la théorie seulement car les commutations réelles des interrupteurs de puissance ne sont pas instantanées. La configuration la plus dangereuse est celle où les deux transistors sont fermés, car la tension de bus (de l'ordre de plusieurs centaines de volts) est mise en court circuit. Un courant très important se déverse alors dans les transistors entraînant leur destruction. C'est donc cette configuration que l'on va éviter. On ouvrira donc l'un des transistors avant de fermer l'autre. Le temps de sécurité entre l'ouverture de l'un et la fermeture de l'autre est appelé « temps mort ». Il doit être parfaitement calibré pour un fonctionnement optimal de

l'onduleur. Le moteur étant un circuit inductif qui n'apprécie pas les discontinuités de courants, c'est pour cela que chaque transistor possède une diode en anti parallèle. Pour laisser passer le courant pendant les phases où les deux transistors sont ouverts [12].

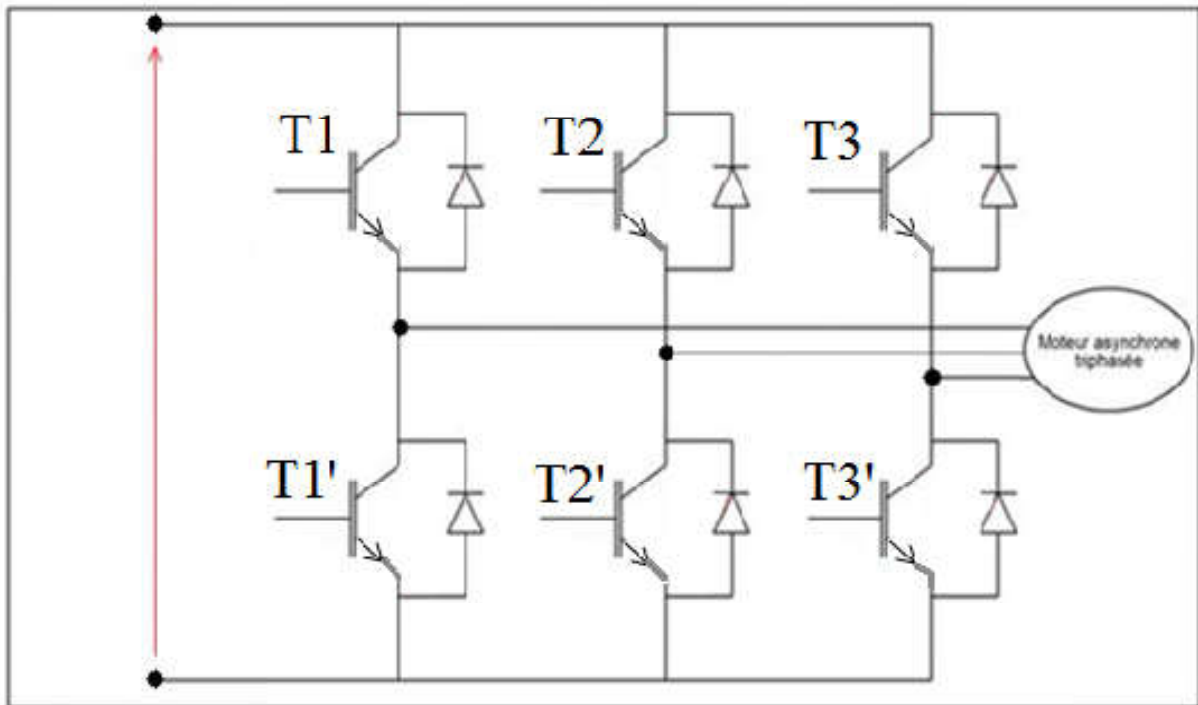


Figure I.14. Structure d'un onduleur triphasé

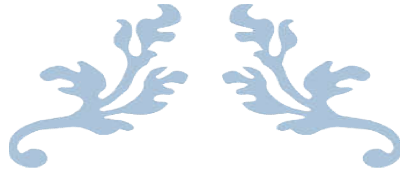
### I.3.Conclusion

Le principe de base des variateurs de vitesse est relativement simple. Cependant derrière ce principe simple se cache une technologie poussée faisant intervenir des composants électroniques de puissance ainsi que des circuits de commande de plus en plus complexes.

C'est pourquoi la configuration d'une installation équipée d'un variateur de vitesse n'est pas une opération simple. Il est important de bien s'informer et d'étudier soigneusement l'installation.

Le choix du variateur, lui-même, demande une grande attention. Il dépendra notamment de l'application à commander. Il faudra définir les fonctionnalités de commande souhaitées et être attentif à limiter les effets néfastes des variateurs sur le réseau électrique.

Dans le prochain chapitre, nous allons identifier les paramètres de la machine asynchrone de notre système étudié.



## **Chapitre II**

---

# **Identification de la machine asynchrone**

---



## Introduction

Les machines asynchrones sont très utilisées (on estime que 80% des moteurs de la planète sont des moteurs asynchrones) car leur coût est inférieur à celui des autres machines, de plus ces machines sont robustes. Comme les autres machines, la machine asynchrone est réversible [15].

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les paramètres de la machine asynchrone.

Les méthodes d'identification paramétriques utilisées et appliquées pour le moteur asynchrone sont [16]:

- Méthode des essais classiques.
- Méthode des moindres carrés.
- Méthode plaque.
- Méthode du diagramme HG.
- Méthode géométrique.

Parmi les méthodes de détermination des paramètres de la machine asynchrone à cage nous citons la méthode des essais classiques, autrement dit, les essais à vide et les essais à rotor bloqué que nous exposons dans ce chapitre.

## II.1. Généralité sur la machine asynchrone

### II.1.1. Définition

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant ne sont pas égales. Le rotor est toujours en retard par rapport à la vitesse du champ statorique.

La machine asynchrone est dite machine à induction car l'énergie transférée du stator au rotor se fait par induction électromagnétique.

On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), dans l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager [17].



**Figure II.1 :** machine asynchrone de 8KW [18]

### II.1.2. Constitution

La machine asynchrone est formée :

#### II.1.2.1. Un stator

Anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé semblable à celui d'un alternateur. Cet enroulement est presque toujours relié à la source et constitue le primaire.

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique [17].



**Figure II.2.** Stator de la machine asynchrone

### II.1.2.2. Un rotor

Anneau de tôles rainuré à l'extérieur, concentrique à la première et séparé de lui par un entrefer étroit d'épaisseur constante. Le rotor porte un enroulement polyphasé mis en court-circuit constituant le secondaire.

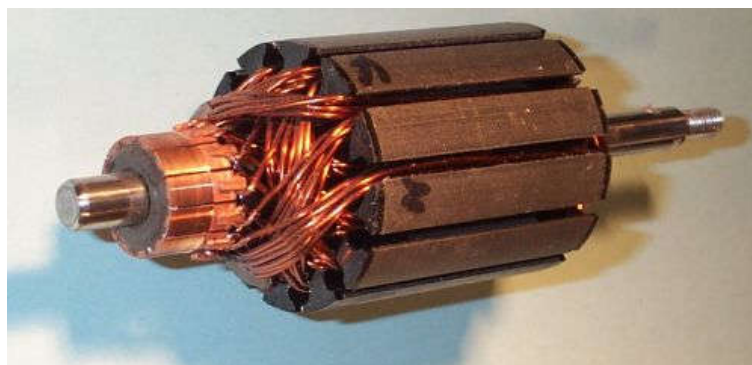
On distingue principalement trois types de structures de rotors:

- Rotor à cage (d'écureuil) : Les encoches de ce type de rotor comportent des barres en cuivre ou en aluminium réunies (court-circuitées) entre elles par des anneaux. Dans le cas des moteurs de faible et de moyenne puissance, les cages sont en aluminium coulé sous vide partiel et pression. Ce procédé permet d'éviter la présence néfaste de bulles d'air dans les barres et d'obtenir en une seule opération les barres, les anneaux de chaque extrémité et parfois même les ailettes de ventilation [17].



**Figure II.3.**Rotor à cage d'écureuil [18]

- Rotor bobiné : Il comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disque en tôles, empilés sur l'arbre de la machine [19].



**Figure II.4.** Rotor bobiné



- Rotor massif : Le rotor cylindrique massif est formé d'un noyau cylindrique en matériau ferromagnétique dont la présence est très intéressante et les performances du moteur sont optimales lorsque le diamètre de ce noyau vaut environ 80 à 90% de celui du rotor. Ces moteurs sont principalement utilisés pour l'entraînement de compresseurs et de pompes [20].



**Figure II.5.** Rotor massif

### II.1.3. Principe de fonctionnement

Toutes les machines à courant alternatif reposent sur le principe du champ tournant. Les courants triphasés parcourant l'ensemble des trois bobinages statoriques induisent un champ tournant statorique de vitesse de rotation en tours par minutes  $N_s = \frac{60f}{p}$ , lorsque ce champ tournant balaye le rotor (les conducteurs de la cage d'écureuil) il induit des courants qui entrent en interaction avec ce champ et permettent de créer un couple, en conséquence le rotor se met à tourner et se stabilise à une vitesse toujours légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme [21].

### II.2. Méthodes d'identification des paramètres de la machine asynchrone

L'identification des paramètres de la MAS basée sur l'utilisation d'un circuit équivalent (schéma équivalent par phase en régime permanent).

Les paramètres de schéma équivalent sont identifiés par les essais ci-dessous :

1. Essai voltampère-métrique en courant continu (mesure de résistance d'une phase statorique)
2. Essai à vide (essai au synchronisme)
3. Essai à rotor bloqué (essai en court-circuit)
4. Essai de ralentissement (identification des paramètres mécaniques) [22].

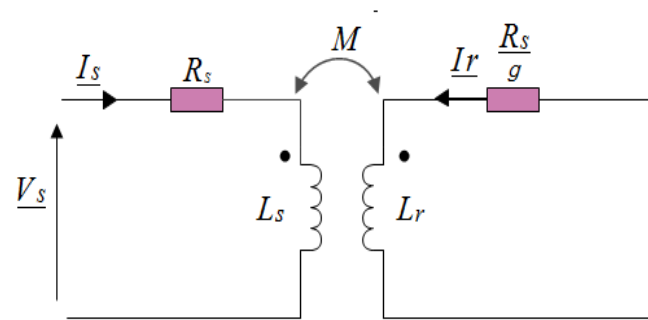


Figure II.6. Schéma équivalent par phase en régime permanent [18]

### II.2.1. Essai voltampère-métrique en courant continu

L'identification de la résistance statorique de la MAS à cage est réalisée à chaud par une méthode voltampère-métrique, en continu, et on mesure la tension  $V_s$  et le courant  $I_s$ . Nous avons réalisé cet essai sur une phase comme illustré dans la figure (II.7) [23] :

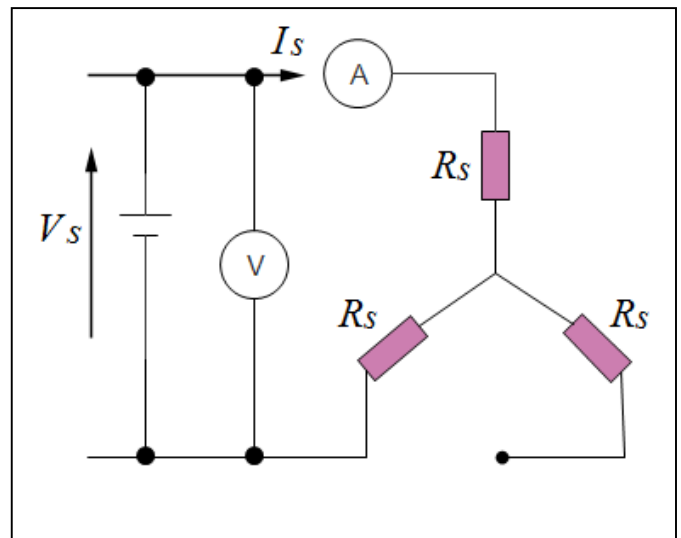
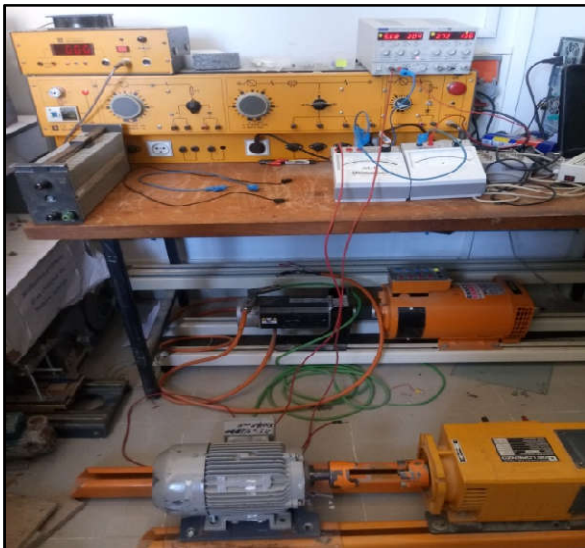


Figure II.7. Montage et schéma de l'essai en continu

Donc nous avons :

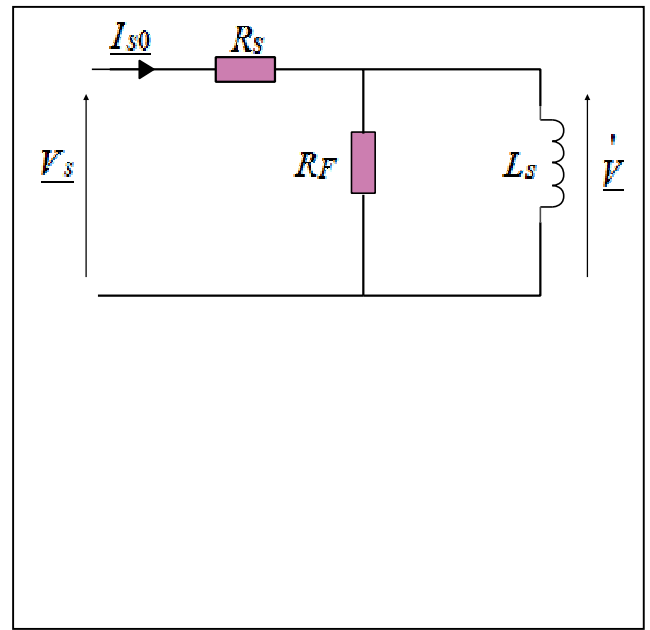
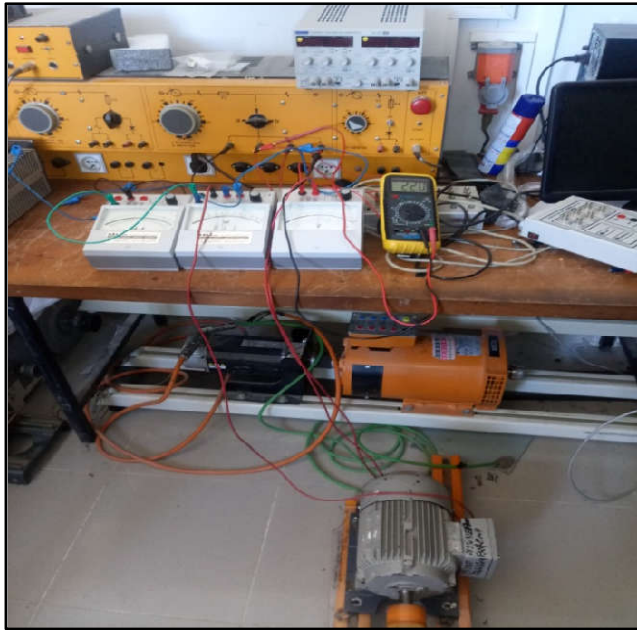
$$V_s = 2 \cdot R_s \cdot I_s \quad (\text{II.1})$$

Ce qui donne :

$$R_s = \frac{V_s}{2I_s} \quad (\text{II.2})$$

### II.2.2. Essai à vide (essai au synchronisme)

Lors d'un essai au synchronisme, le champ tournant et le rotor tournent à la même vitesse. Le glissement  $g$  est nul. Cet essai est illustré dans la figure (II.8) :



**Figure II.8.** Montage et schéma de l'essai à vide

À l'aide d'un wattmètre, d'un ampèremètre et d'un voltmètre, on mesure la puissance active  $P_0$ , la puissance réactive  $Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2}$ , le courant efficace  $I_{s0}$  et la tension efficace  $V_{s0}$ ,  $R_s$  étant connue. On obtient les trois équations :

$$P_0 = R_s I_s^2 + \frac{V'^2}{R_s} \quad (\text{II.3})$$

$$Q_0 = \frac{V'^2}{L_s \omega} \quad (\text{II.4})$$

$$V' = V_{s0} \frac{R_F L_s \omega}{\sqrt{(R_s R_F)^2 + (\omega L_s (R_F + R_s))^2}} \quad (\text{II.5})$$

Le courant  $I_{s0}$  est très faible dans cet essai, on peut généralement négliger la chute de tension due à la résistance statorique devant la tension  $V_{s0}$ . Les équations (II.3) et (II.4) deviennent alors [18] :

$$P_0 = \frac{V_{s0}^2}{R_F} \quad (\text{II.6})$$

$$Q_0 = \frac{V_{s0}^2}{L_s \omega} \quad (\text{II.7})$$

On calcule alors directement  $R_F$  et  $L_s$  :

$$R_F = \frac{V_{s0}^2}{P_0} \quad (\text{II.8})$$

$$L_s = \frac{V_{s0}^2}{Q_0 \omega} \quad (\text{II.9})$$

### II.2.3. essai à rotor bloqué

Dans cet essai, le rotor est bloqué. La vitesse de rotation étant nulle, ce qui impliquera que le glissement est à sa valeur maximale  $g = 1$ . Cette essai est réaliser sous tension réduite afin de limiter l'intensité du courant à une valeur acceptable. Cet essai est illustré dans la figure (II.9).

À laide d'un wattmètre, d'un ampèremètre et d'un voltmètre, on mesure la puissance active  $P_1$ , la puissance réactive  $Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2}$ , le courant efficace  $I_{s1}$  et la tension efficace  $V_{s1}$ . On obtient les trois équations :

$$P_1 = R_s I_{s1}^2 + V'^2 \left( \frac{1}{R_F} + \frac{R_r^*}{(\mathcal{N}_r \omega)^2 + R_r^{*2}} \right) \quad (\text{II.10})$$

$$Q_1 = V'^2 \left( \frac{1}{L_s \omega} + \frac{\mathcal{N}_r \omega}{(\mathcal{N}_r \omega)^2 + R_r^{*2}} \right) \quad (\text{II.11})$$

$$V' = \bar{V}_{s1} - R_s \cdot \bar{I}_{s1} \quad (\text{II.12})$$

Comme la tension  $V_{s1}$  est faible, il est possible de négliger les courants circulants dans  $R_F$  et  $L_s$  Devant  $I_{s1}$  et les équations (II.9) et (II.10) deviennent :

$$P_1 = (R_s + R_r^*) \cdot I_{s1}^2 \quad (\text{II.13})$$

$$Q_1 = \mathcal{N}_r \cdot \omega \cdot I_{s1}^2 \quad (\text{II.14})$$

Et à partir de ces équations, nous détermineront les derniers paramètres de la machine [21] :

$$R_r^* = \frac{P_1}{I_{s1}^2} - R_s \quad (\text{II.15})$$

$$\mathcal{N}_r = \frac{Q_1}{\omega I_{s1}^2} \quad (\text{II.16})$$

$$M = \sqrt{\frac{L_s^2}{\mathcal{N}_r + 1}} \quad (\text{II.17})$$

$$R_r = \frac{M^2 R_r^*}{L_s^2} \quad (\text{II.18})$$

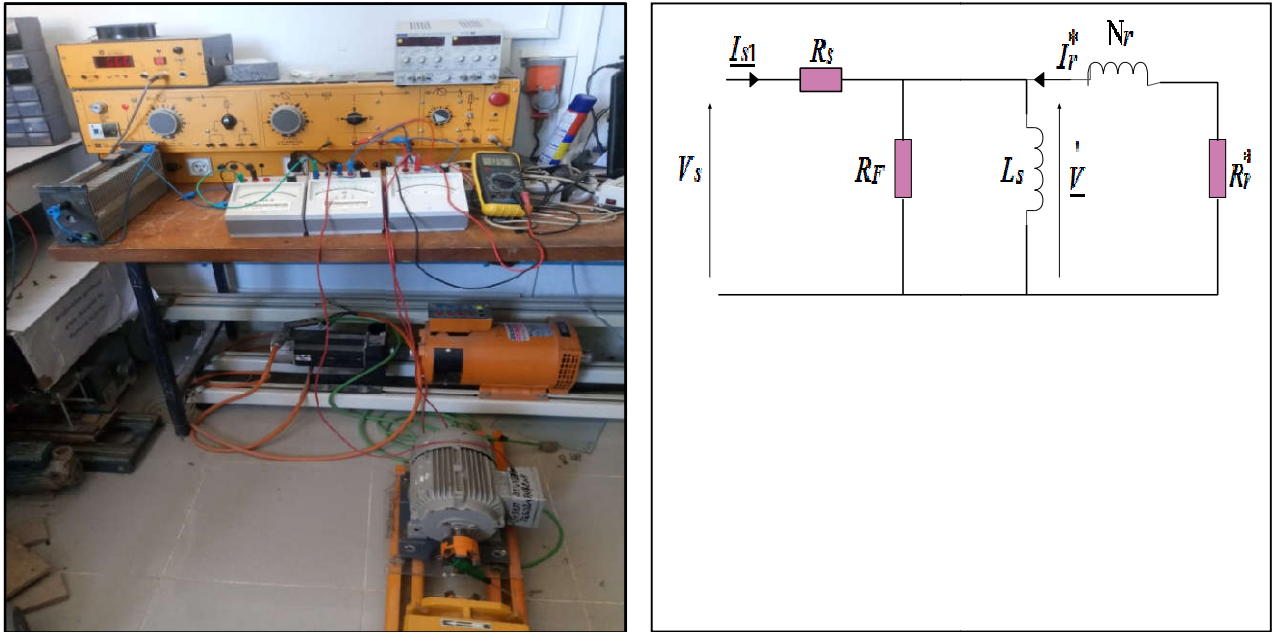


Figure II.9. Montage et schéma de l'essai à rotor bloqué

### II.2.4. Identification des pertes mécanique

Cette méthode consiste à alimenter la génératrice sous tension variable et mesurer le courant, la tension et la puissance. On fait varier la tension sur une plage où la vitesse doit demeurer constante afin de conserver la constance des pertes mécaniques qui sont tributaires de la vitesse. Les pertes fer varient proportionnellement au carré de la tension d'alimentation.

L'identification des paramètres mécanique  $J$  et  $f$  (respectivement moment d'inertie et coefficient des frottements visqueux) est basée sur la mesure des pertes mécaniques [23].

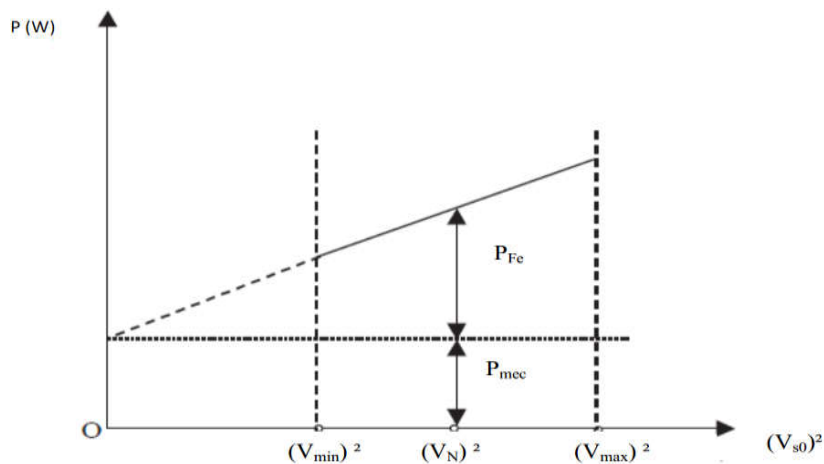


Figure II.10. Méthode de séparation des pertes

|                  |      |       |       |      |       |
|------------------|------|-------|-------|------|-------|
| Tension (v)      | 40   | 50.7  | 62.8  | 69.2 | 73.8  |
| Courant(A)       | 0.62 | 0.6   | 0.6   | 0.62 | 0.65  |
| La puissance (w) | 24,8 | 30.42 | 37.68 | 42.9 | 47.97 |

Tableau II.1. Les mesures à vide

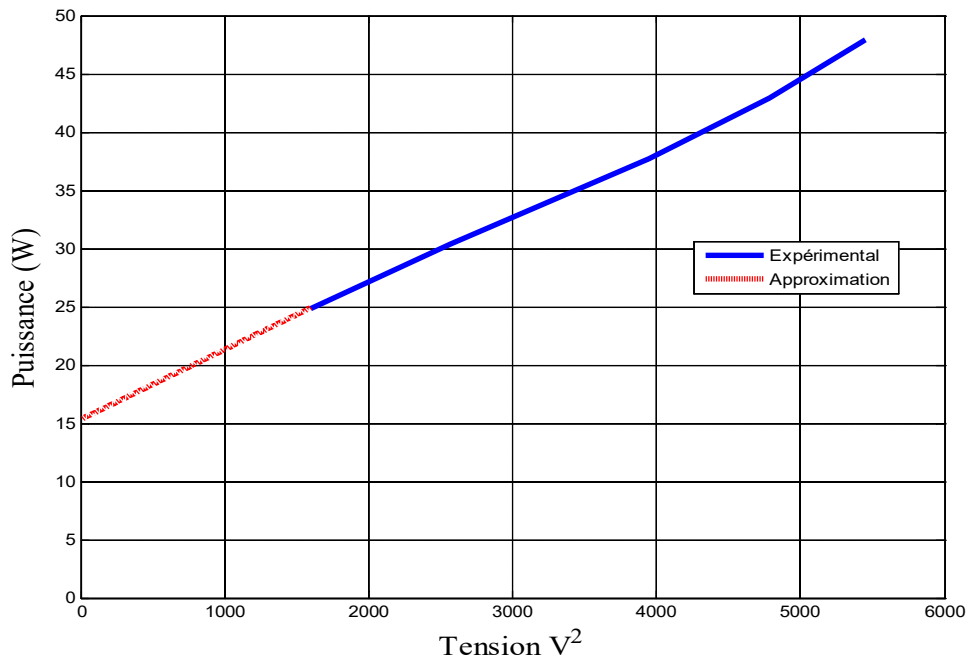


Figure II.11. Courbe de séparation des pertes

$$P_{mec} = 15,29 \text{ watt} \quad P_{Fe} = 32,68 \text{ watt}$$

$$f = \frac{\Delta P}{\Omega^2} \tag{II.19}$$

Donc :

$$f = \frac{47,97 - 15,29}{\left(\frac{1000}{9,55}\right)^2} = 0,0029 \text{ Nm. rad}^{-1}$$

Le moment d'inertie  $J$  est calculé par un essai de ralentissement

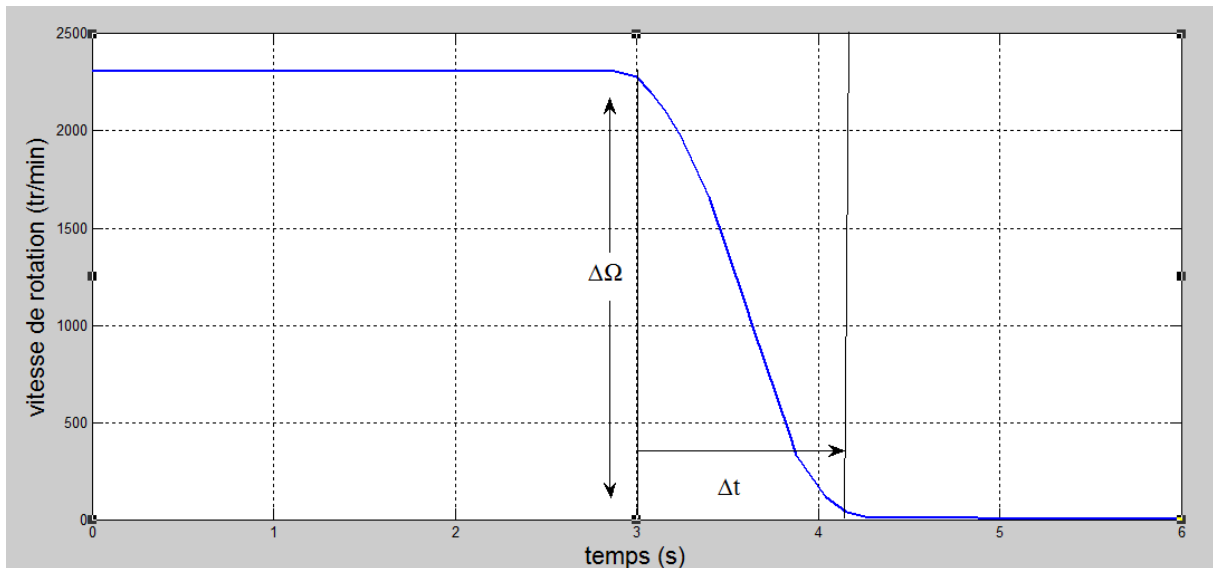


Figure II.12. Essai de ralentissement

$$\Delta\Omega = 2310 \text{ tr/min} \quad \Delta t = 3.2 \text{ s}$$

$$J = \frac{\Delta t}{\Delta\Omega} = \frac{3,2}{2310} = 0.0013 \text{ kg/m}^2$$

### II.3.5. paramètres de la machines asynchrone

Après avoir effectué les différentes étapes pour identifier les paramètres de la machine asynchrone, nous résultats sont données dans les tableaux suivant :

➤ **Essai en continu**

|                                  |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| La tension $V_s$ (V)             | 1.01  | 2     | 3.34  | 4.31  |
| Le courant $I_s$ (A)             | 0.038 | 0.076 | 0.128 | 0.165 |
| La Résistance $R_s$ ( $\Omega$ ) | 13.28 | 13.15 | 13.04 | 13.03 |

$$\Rightarrow R_s = 13.125 \Omega$$

Tableau II.2. Résultats de l'essai en continu

Avec :  $R_s = \frac{V_s}{2I_s}$

## ➤ Essai à vide

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Le courant $I_{s0}$ (A)           | 0.673 |
| La tension $V_{s0}$ (V)           | 220   |
| La puissance apparente $S_0$ (VA) | 148   |
| La puissance active $P_0$ (W)     | 21    |
| La puissance réactive $Q_0$ (VAR) | 146.5 |



$$\begin{cases} R_F = 2304.76 \Omega \\ L_S = L_r = 1.05 H \end{cases}$$

Tableau II.3. Résultats de l'essai à vide

$$R_F = \frac{V_{s0}^2}{P_0} = \frac{220^2}{21} = 2304,7 \Omega$$

$$L_S = \frac{V_{s0}^2}{Q_0 \omega} = \frac{220^2}{146,5 * 314} = 1,05 H$$

## ➤ Essai à rotor bloqué

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| Le courant $I_{s1}$ (A)           | 1.715  |
| La tension $V_{s1}$ (V)           | 55     |
| La puissance apparente $S_1$ (VA) | 94.325 |
| La puissance active $P_1$ (W)     | 46     |
| La puissance réactive $Q_1$ (VAR) | 82.34  |



$$\begin{cases} R_r^* = 2.5 \Omega \\ \mathcal{N}_r = 0.089 H \\ M = 1.008 H \\ R_r = 2.304 \Omega \end{cases}$$

Tableau II.4. Résultats de l'essai à rotor bloqué

$$R_r^* = \frac{P_1}{I_{s1}^2} - R_s = \frac{46}{1,715^2} - 13,125 = 2.5 \Omega$$

$$\mathcal{N}_r = \frac{Q_1}{\omega I_{s1}^2} = \frac{82,34}{1,715^2 * 314} = 0.089 H$$

$$M = \sqrt{\frac{L_s^2}{\frac{\mathcal{N}_r}{L_s} + 1}} = \sqrt{\frac{1,05^2}{\frac{0,089}{1,05} + 1}} = 1.008 H$$

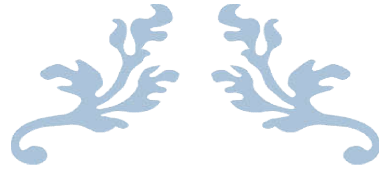
$$R_r = \frac{M^2 R_r^*}{L_s^2} = \frac{2,5 * 1,008^2}{1,05^2} = 2.304 \Omega$$



**II.4. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons fait un survol sur la machine asynchrone en générale et les domaines d'utilisation et le principe de fonctionnement, on a vu aussi les différents types de la machine asynchrone tels que le stator et le rotor. Et une méthode d'identification basée sur un schéma équivalent par phase en régime permanent.

Après avoir identifié les paramètres de la machine asynchrone, le chapitre suivant sera consacré à la modélisation systèmes étudié.



## **Chapitre III**

---

# **Modélisation du système étudié**

---



## Introduction

La modélisation de la machine asynchrone est une phase primordiale pour simuler le fonctionnement de la machine, ou encore, pour étudier sa commande en régime transitoire ou en régime permanent [24].

La modélisation de la machine asynchrone triphasée, dans un premier lieu, on donnera de manière explicite le modèle mathématique de la machine asynchrone (Équations électriques et mécanique) dans son référentiel triphasé. Puis on réduira l'ordre du système par une transformation dite de Park. Cette transformation modélise la MAS dans un nouveau référentiel biphasé [25].

Dans ce chapitre nous nous intéressant à la modélisation de la machine asynchrone par :

- La mise en équation de la machine asynchrone à partir d'hypothèses simplificatrices.
- La simplification de ces équations par l'introduction de la transformation de Park.

### III.1. Modélisation de la machine asynchrone

Soit une machine asynchrone triphasée au stator et au rotor représentée schématiquement par la figure (III.1). Elle comporte un stator fixe et un rotor mobile autour de l'axe de symétrie de la machine.

Dans des encoches régulièrement réparties sur la face internes du stator sont longé trois enroulements identiques, à  $P$  paire de pôles ; leurs axes sont décalés de  $120^\circ$ .

L'étude de cette machine est basée sur de nombreuses hypothèses simplificatrices,

- Entrefer constant
- Effet des encoches négligé
- Distribution spatiale sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer,
- Circuit magnétique non saturé et à perméabilité constantes
- Pertes ferromagnétique négligeables
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte.

Parmi les conséquences importantes de ces hypothèses, on peut citer :

- L'additivité des flux
- La constante des inductances propres
- La loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements statorique et rotorique en fonction de l'angle électrique de leur axes magnétique [26].

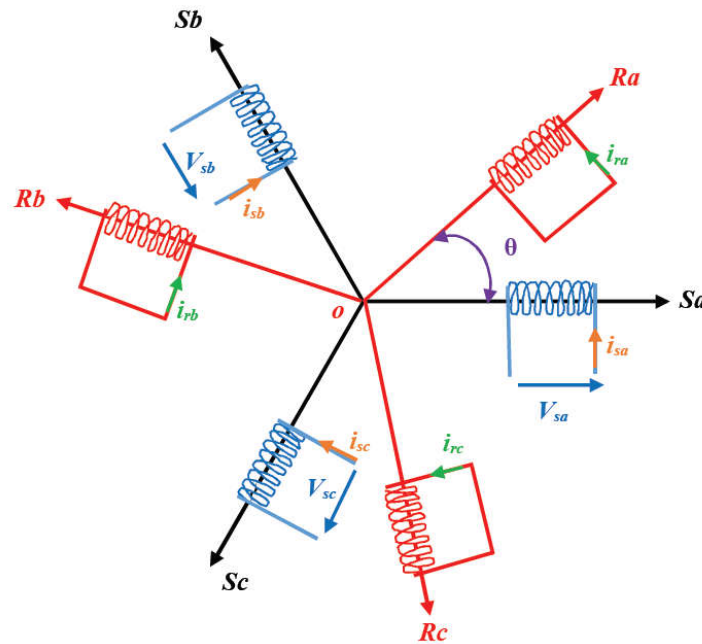


Figure III.1. Représentation des enroulements statorique et rotorique de la MAS [27]

### III.1.2. Mise en équation du modèle de la machine asynchrone dans le repère abc

Les trois phases statorique et rotorique sont représentées dans la figure (III.1) ou les trois bobines rotorique sont court-circuit sur elle-même.  $\theta$  Est l'angle électrique entre la phase  $a$  du stator et le rotor. L'un de ses six enroulements statorique ou rotorique est représenté à la figure ci-dessous :

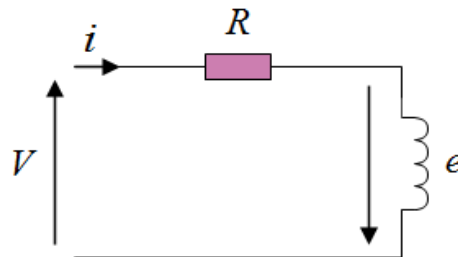


Figure III.2. Modèle d'une phase avec force électromotrice [17].

#### III.1.2.1. Equations électriques

En appliquant la loi d'Ohm et la loi de Faraday aux enroulements du stator et du rotor. La loi des milles pour le premier enroulement s'exprime par la relation : [28]

$$V = R i + \frac{d\varphi}{dt} \tag{III.1}$$

Avec :  $e = -\frac{d\varphi}{dt}$

On déduit pour l'ensemble des phases Statorique :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

Ou sous l'écriture matricielle condensée :

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{sabc}] \quad (\text{III.3})$$

Et rotorique :

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.4})$$

Ou sous l'écriture matricielle condensée :

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{rabc}] = [0] \quad (\text{III.5})$$

### III.1.2.2. Equations magnétiques

En régime linéaire de fonctionnement de la machine chaque flux au stator et au rotor comporte une interaction avec les courants de toutes les phases y compris la sienne (notion de flux / inductance propre) [29].

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \\ \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s & \vdots & M_1 & M_3 & M_2 \\ M_s & l_s & M_s & \vdots & M_2 & M_1 & M_3 \\ M_s & M_s & l_s & \vdots & M_3 & M_2 & M_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_1 & M_2 & M_3 & \vdots & l_r & M_r & M_r \\ M_3 & M_1 & M_2 & \vdots & M_r & l_r & M_r \\ M_2 & M_3 & M_1 & \vdots & M_r & M_r & l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \\ i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{III.6})$$

La matrice des flux réel fait apparaitre quatre sous-matrices d'inductances :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sabc} \\ \varphi_{rabc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [l_s] & [M_{sr}] \\ [M_{rs}] & [l_r] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sabc} \\ i_{rabc} \end{bmatrix} \quad (\text{III.7})$$

Avec :

$$[l_s] = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

$$[l_r] = \begin{bmatrix} l_r & M_r & M_r \\ M_r & l_r & M_r \\ M_r & M_r & l_r \end{bmatrix} \quad (\text{III.9})$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} M_1 = M_{sr} \cos(\theta) \\ M_2 = M_{sr} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ M_3 = M_{sr} \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (\text{III.10})$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = [M_{sr}] \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{III.11})$$

Finalemment :

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + (d/dt)\{[L_s][i_{sabc}] + [M_{sr}][i_{rabc}]\} \quad (\text{III.12})$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + (d/dt)\{[L_r][i_{rabc}] + [M_{sr}]^T[i_{rabc}]\} \quad (\text{III.13})$$

### III.1.3. Transformation de Park

La transformation de Park est une transformation du repère triphasé fixe par rapport au stator dans un repère biphasé [30].

Cette conversion est appelée souvent transformation des axes, constitue actuellement un outil puissant et pratique pour la modélisation des machines électriques en vue de leur identification paramétrique et leur commande. Le passage du système triphasé (à 3 axes) dit réel au système biphasé (à 2 axes) s'effectue par l'intermédiaire d'une matrice de transformation dite matrice de Passage [7] :

$$[P(\theta_i)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & \cos\left(\theta_i - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_i + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_i) & -\sin\left(\theta_i - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_i + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.14})$$

Le changement de variable de 3 vers 2 correspond aux courant, tension et flux sont définis par la transformation tel que :

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_0 \end{bmatrix} = [P(\theta_i)] \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.15})$$

La transformer inverse se fait par:

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = [P(\theta_i)]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.16})$$

Avec :

$$[P(\theta_i)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta_i - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_i - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta_i + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_i + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.17})$$

$\theta_i$  Angle de rotation du repère  $(d, q)$

Lorsque la valeur zéro est attribuée à l'angle  $\theta_i$  (c'est-à-dire le système d'axes triphasé est immobile par rapport au système d'axes biphasé), il existe principalement deux transformation Clark et Concordia.

La transformation de Concordia  $[T]$  conserve la puissance mais pas les amplitudes. Et les axes sont habituellement  $(\alpha, \beta)$  [23].

Les matrices de passage direct et indirect sont respectivement :

$$[T] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad [T]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.18})$$

La transformation de Clarke  $[C]$  conserve l'amplitude des grandeurs mais pas la puissance ni le couple (on doit multiplier par un coefficient 3/2).

Les matrices de passage direct et indirect sont respectivement :

$$[C] = \frac{3}{2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad [C]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.19})$$

Les composantes homopolaires étant nul dans le cas d'un système triphasé équilibré, une forme simplifiée de la transformée dans ce cas les équations (III.18) et (III.19) devient :

$$[T] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad [T]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{III.20})$$

$$[C] = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad [C]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{III.21})$$

### III.1.4. Choix du système d'axe

Il existe trois choix importants concernant l'orientation du repère d'axe qui dépend de l'objectif de l'application [7].

- Référentiel lié au stator ( $\theta_s = 0$ ), ou système d'axe lié ( $\alpha, \beta$ )

Ce référentiel est immobile par rapport au stator, utilisé pour l'étude de démarrage et du freinage des machines à courant alternatif avec branchement des résistances.

- Référentiel lié au rotor ( $\theta_r = 0$ ), ou système d'axe ( $x, y$ )

Ce référentiel est immobile par rapport au rotor, utilisé pour l'étude des régimes transitoires dans les machines synchrones et asynchrone.

- Référentiel lié au champ tournant ( $\theta_s = \int_0^t \omega_s dt$ ), ou système d'axe ( $d, q$ )

Utilisé pour réaliser le contrôle vectoriel du fait que les grandeurs de réglage deviennent continues.

### III.1.5. Modélisation de la MAS dans le plan biphasé dq

La transformation de Park suivie d'une rotation, permet de passer du repère ( $abc$ ) vers le repère mobile ( $d, q$ ). On applique cette transformation pour chaque ensemble des grandeurs (statoriques et rotoriques), pour simplifier les équations [28].

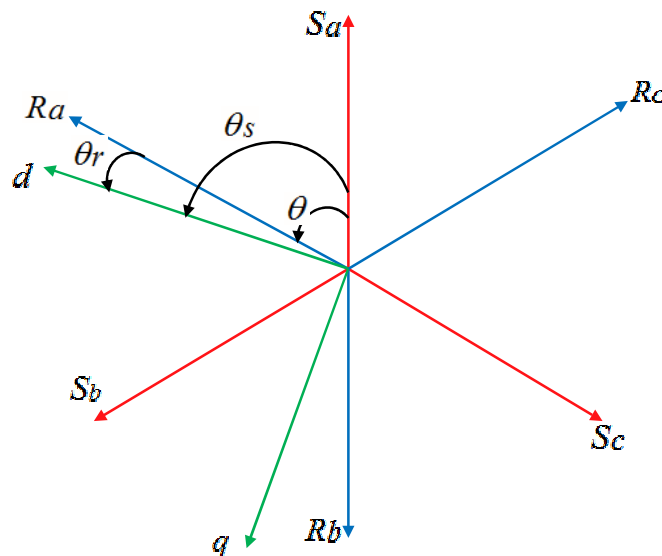


Figure III.3. Représentation des axes statoriques et rotoriques dans le repère ( $d, q$ )



### III.1.5.1. Equation électrique

A partir des systèmes d'équations (III.3) et (III.5) et de la matrice de transformation de Park (I.15) permet d'obtenir les équations suivantes [3]:

- Au stator :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} \quad (III.22)$$

$$\text{Ou} \quad \begin{cases} V_{sd} = R_s I_{sd} - \omega_s \varphi_{sq} + \frac{d}{dt} \varphi_{sd} \\ V_{sq} = R_s I_{sq} + \omega_s \varphi_{sd} + \frac{d}{dt} \varphi_{sq} \end{cases} \quad (III.23)$$

- Au rotor :

$$\begin{bmatrix} V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_r \\ \omega_r & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (III.24)$$

$$\text{Ou} \quad \begin{cases} V_{rd} = R_r I_{rd} - \omega_r \varphi_{rq} + \frac{d}{dt} \varphi_{rd} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + \omega_r \varphi_{rd} + \frac{d}{dt} \varphi_{rq} \end{cases} \quad (III.25)$$

### III.1.5.2. Equation magnétique

En appliquant la transformation de Park à l'équation (III.7) et en posant :

$$[L_s] = l_s - M_s ; [L_r] = l_r - M_r ; M = \frac{3}{2} M_{sr}$$

L'écriture des équations des flux devient :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (III.26)$$

$$\text{Ou} \quad \begin{cases} \varphi_{sd} = L_s i_{sd} + M i_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s i_{sq} + M i_{rq} \\ \varphi_{rd} = M i_{sd} + L_r i_{rd} \\ \varphi_{rq} = M i_{sq} + L_r i_{rq} \end{cases} \quad (III.27)$$

Donc on peut représenter la machine asynchrone biphasée

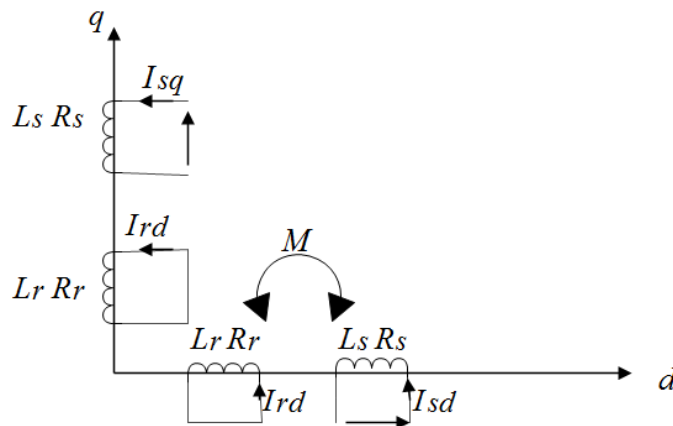


Figure III.4. Représentation schématique d'une machine asynchrone biphasée

Les relations (III.23), (III.25), (III.27) permettent d'écrire les équations électriques de la machine asynchrone comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_s + L_s p) & -\omega_s L_s & Mp & -\omega_s M \\ \omega_s L_s & (R_s + L_s p) & \omega_s M & MP \\ MP & -M(\omega_a - \omega) & (R_r + L_r p) & -L_r(\omega_a - \omega) \\ -M(\omega_a - \omega) & Mp & L_r(\omega_a - \omega) & (R_r + L_r p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (III.28)$$

On désigne par  $p$  l'opérateur  $\frac{d}{dt}$

### III.1.5.3. équation mécanique [7]

$$C_{em} - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (III.29)$$

Avec :  $\Omega = \frac{\omega_r}{p}$  et  $\omega_r = \frac{d\theta}{dt}$

## III.2. Modélisation de l'onduleur de tension à MLI

L'onduleur de tension à MLI est toujours habituellement choisi pour sa réponse rapide et ses performances élevées. Il permet d'imposer à la machine des ondes de tension à amplitudes et fréquence variables à partir d'un réseau standard 220/380-50Hz. Après redressement, la tension filtrée  $E$  (étage continu) est appliquée à l'onduleur figure (III.5) [6].

Le fonctionnement de l'onduleur obéit à un séquencement de  $180^\circ$  de conduction par interrupteur d'un même bras. Les diodes de roue libres assurent la continuité du courant dans la MAS une fois que les interrupteurs sont ouverts. Il est à noter qu'un temps de retard doit pratiquement exister entre les interrupteurs haut et bas d'un même bras afin d'éviter le court-circuit de source continue [3].

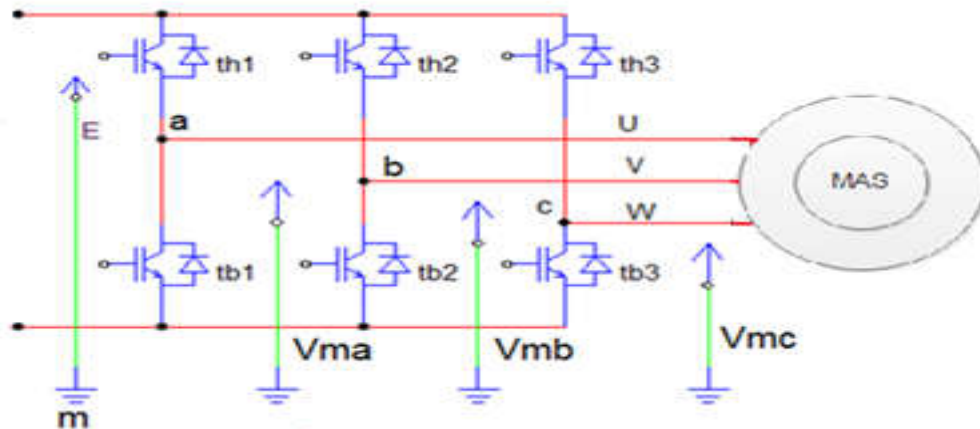


Figure III.5. Schéma d'un onduleur de tension connecté à la machine asynchrone

L'état des interrupteurs, supposés parfaits peuvent être définis par trois grandeurs booléennes de commande :  $S_i (i=a,b,c)$  :

- $S_i = 1$  le cas où l'interrupteur de haut est fermé et celui d'en bas ouvert.
- $S_i = 0$  le cas où l'interrupteur de haut est ouvert et celui d'en bas fermé.

Dans ces conditions on peut écrire les tensions de phases  $u_{ima,b,c}$  en fonction des signaux de commande  $S_i$  :

$$u_{ima,b,c} = S_i \cdot E \tag{III.30}$$

Les trois tensions composées  $v_{ab}$   $v_{bc}$   $v_{ca}$  sont définies par les relations suivantes en tenant compte du point fictif "m" figure (III.5) [3].

$$\begin{cases} v_{ab} = v_{am} + v_{mb} = v_{am} - v_{bm} \\ v_{bc} = v_{bm} + v_{mc} = v_{bm} - v_{cm} \\ v_{ca} = v_{cm} + v_{ma} = v_{cm} - v_{am} \end{cases} \tag{III.31}$$

Soit "n" le point neutre de côté alternatif (MAS), alors on a :

$$\begin{cases} v_{ma} = v_{an} + v_{nm} \\ v_{mb} = v_{bn} + v_{nm} \\ v_{mc} = v_{cn} + v_{nm} \end{cases} \tag{III.32}$$

La charge est considérée équilibrée, il l'en résulte :

$$v_{an} + v_{bn} + v_{cn} = 0 \tag{III.33}$$

La substitution de (III.32) dans (III.31) nous donne :

$$v_{nm} = \frac{1}{3}(v_{ma} + v_{mb} + v_{mc}) \quad (\text{III.34})$$

En remplaçant (III.32) dans (III.34), on obtient :

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{an} = \frac{2}{3} v_{ma} - \frac{1}{3} v_{mb} - \frac{1}{3} v_{mc} \\ v_{bn} = -\frac{1}{3} v_{ma} + \frac{2}{3} v_{mb} - \frac{1}{3} v_{mc} \\ v_{cn} = -\frac{1}{3} v_{ma} - \frac{1}{3} v_{mb} + \frac{2}{3} v_{mc} \end{array} \right. \quad (\text{III.35})$$

Les différentes combinaisons des trois grandeurs ( $S_a, S_b, S_c$ ) permettent de générer huit vecteurs tensions dont deux correspondent au vecteur nul comme le montre la figure (III.5).

L'utilisation de l'expression (III.30) permet d'établir les équations instantanées des tensions simples en fonction des grandeurs de commande : deviennent

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (\text{III.36})$$

Avec :  $v_{ma}, v_{mb}, v_{mc}$  comme des tensions imposées aux bornes de chaque bras, et si

$v_{ma}, v_{mb}, v_{mc}$  sont les tensions de sortie de cet onduleur, par conséquent l'onduleur est modélisé par la matrice de connexion T donnée par :

$$T = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.37})$$

### III.2.1. Modulation de largeur d'impulsion (MLI) :

La modulation de largeur d'impulsion consiste à adapter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie et à former chaque alternance d'une tension de sortie d'une succession de créneaux de largeurs convenables. Cette technique peut être considérée comme une extension du principe de la commande par découpage ou la durée des impulsions n'est plus régulière mais choisie de façon à supprimer le maximum d'harmoniques de rangs faibles difficiles à filtrer [30].

### III.2.2 Principe de base de MLI

Le principe de base de la modulation de largeur d'impulsion est sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi la tension de sortie de l'onduleur est formée par une succession de créneaux d'amplitude égale à la tension d'alimentation (continue) et de largeur variable. La technique la plus répandue pour la reproduction d'un signal MLI est de comparer



### III.4. Résultats de la simulation

Le modèle est testé sur un cycle de 5 secondes pendant le fonctionnement à des valeurs différentes du couple selon un profil.

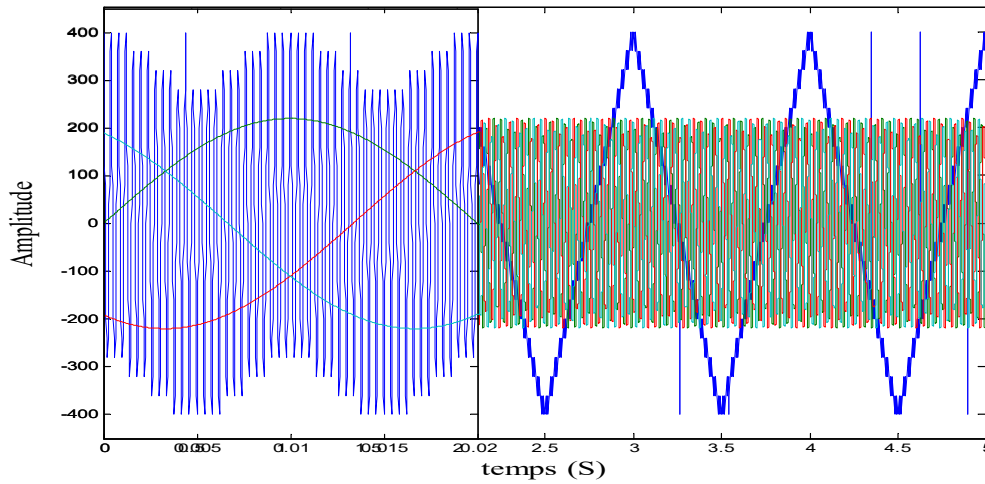


Figure III.8. Allure de la modulatrice et la porteuse

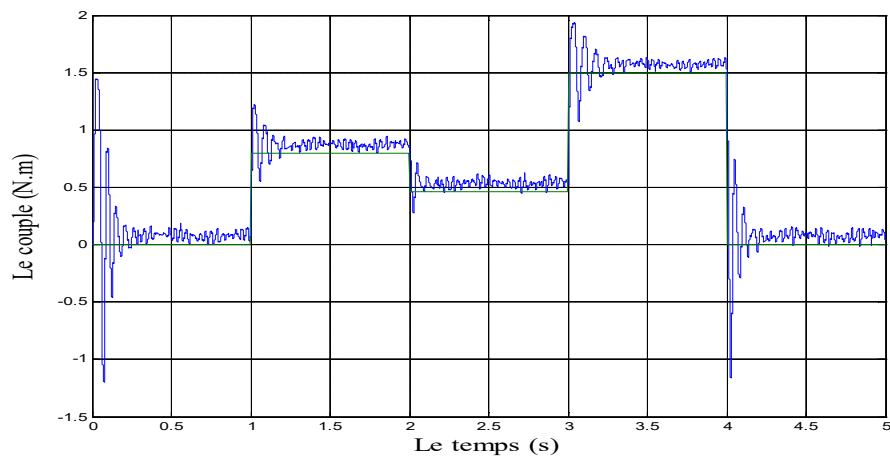


Figure III.9. Courbe du couple électromagnétique

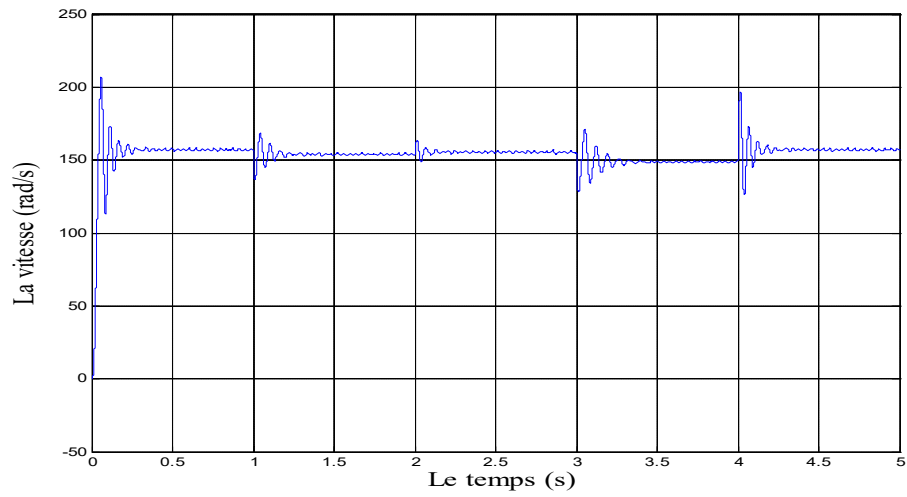


Figure III.10. Courbe de la vitesse

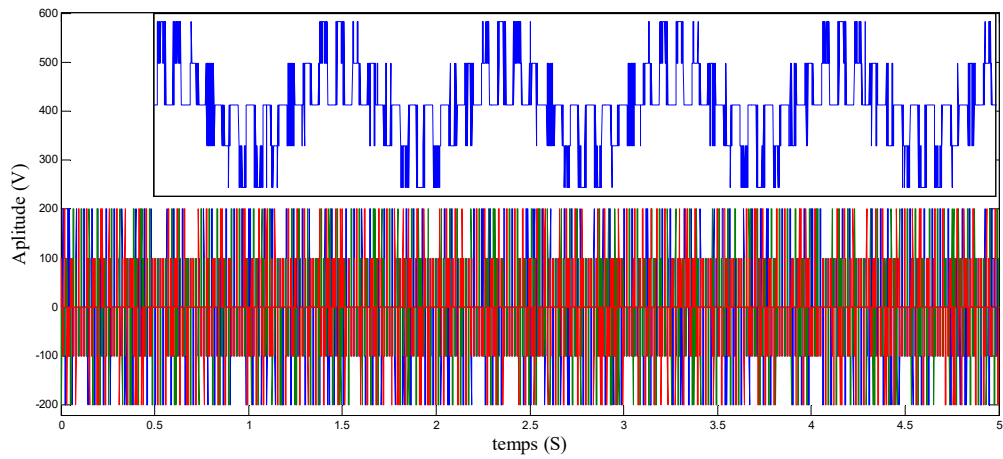
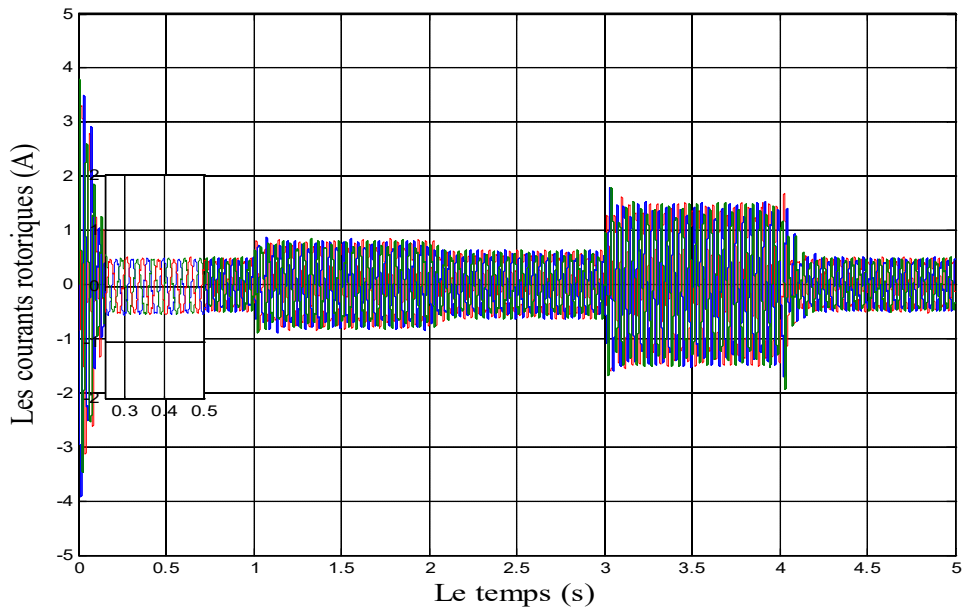


Figure III.11. Allure des tensions à la sortie de l'onduleur



**Figure III.12.** Allure des courants rotoriques.

La figure III.8 montre la comparaison des signaux de référence (la modulatrice), d'amplitude  $V_{\max}$  et de fréquence  $f$ , avec un signal appelé porteuse d'amplitude supérieure à  $V_{\max}$  et de fréquence très élevée. Ce rapport contrôle l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur de tension.

La figure III.9 représente l'allure du couple de la machine qui suit sa référence.

La vitesse de la machine variée en fonction du couple appliqué à cette dernière comme ci montré dans la figure III.10.

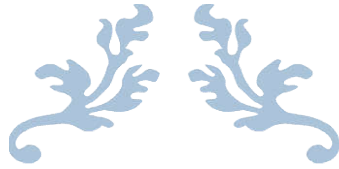
La figure III.12 montre l'allure des courants rotoriques de la machine qui varient (augmentation d'amplitude) en fonction du couple de charge appliqué.



**III.5. Conclusion**

La modélisation joue un rôle important dans le processus de simulation d'un système. En effet, grâce à sa précision, il est possible de déterminer le degré de rapprochement du système réel avant l'implémentation de chaque technique de commande. Ce chapitre est consacré à la modélisation de la machine asynchrone l'onduleur de tension à MLI ainsi que sa simulation en utilisant le module Simulink du logiciel Matlab.

Une validation expérimentale sera faite dans le prochain chapitre pour comparer les résultats de simulation avec celle de la partie pratique.



## **Chapitre IV**

---

# **Validation du système étudié**

---



## Introduction

Un variateur de vitesse est un équipement permettant de faire varier la vitesse d'un moteur, en effet, la plupart des moteurs tournent à vitesse constante. Pour moduler la vitesse des équipements de procédé, on a longtemps eu recours à divers dispositifs mécaniques. Aujourd'hui, on fait surtout appel à des variateurs de vitesse électroniques.

Depuis, l'électronique de puissance a fait des progrès considérables et on installe de plus en plus des variateurs de vitesse à fréquence variable avec des moteurs à courant alternatif. Ces variateurs de vitesse exploitent le plus souvent la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT).

### IV.1. Généralités sur les variateurs de fréquence [33]

#### IV.1.1. Objectif

L'objectif des variateurs de vitesse de type « convertisseurs de fréquence » est d'alimenter les moteurs asynchrones triphasés de manière à obtenir des caractéristiques de fonctionnement radicalement différentes de leur utilisation normale (moteurs alimentés en direct par le réseau), à amplitude et fréquence constantes.

#### VI.1.2. Principe

Il consiste à fournir au moteur une onde de tension à amplitude et fréquence variables, en maintenant le rapport tension / fréquence sensiblement constant.

La génération de cette onde de tension est réalisée par un dispositif électronique de puissance dont la (figure IV.1) représente le schéma de principe.

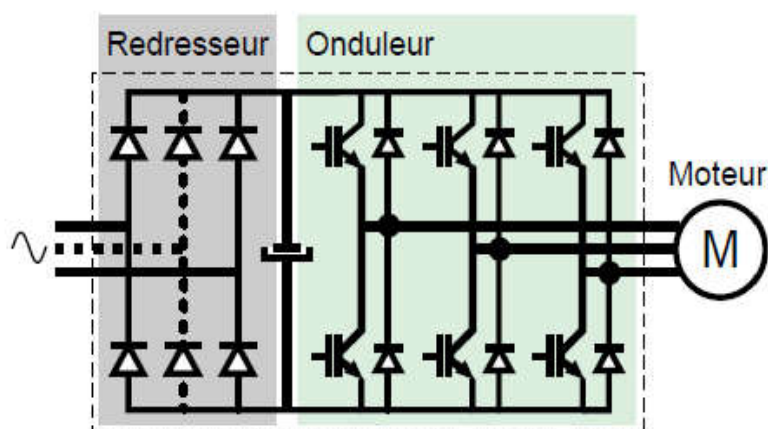


Figure IV.1. Schéma de Principe d'un convertisseur de fréquence

## IV.2. Présentation de l'Altivar 18

### IV.2.1. Description et application

L'Altivar 18 est convertisseur de fréquence pour moteurs asynchrone triphasé à cage. Il est robuste, facile à utiliser et conforme aux normes internationales.

La gamme de variateur de vitesse l'Altivar 18 couvre les puissances moteurs triphasées comprises entre 0,35kW et 15 kW avec trois types d'Alimentation :

- 200V à 240V monophasé
- 200V à 230 V triphasé
- 380 V à 460 V triphasé

Il intègre des fonctions qui sont appropriés pour les applications les plus courantes y compris :

- Pompes et compresseurs
- Ventilation et climatisation
- Emballage et conditionnement
- Manutention horizontale
- Machines spéciales (à bois et textiles) [3].

### VI.2.2. Choix du variateur

| Réseau                              |                                |      | Moteur                           | Altivar 18                  |                              |                                      |             |       |
|-------------------------------------|--------------------------------|------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------|
| Tension D'alimentation              | Courant de linge (1) à U1 à U2 |      | Puissance indiquée sur la plaque | Courant de sortie permanent | Courant transitoire maxi (2) | Pertes dissipée à la charge nominale | référence   | Masse |
| V                                   | A                              | A    | kW                               | A                           | A                            | W                                    |             | Kg    |
| 380 /460<br>50/60<br>Hz<br>triphasé | 2,9                            | 2,7  | 0,75                             | 2,1                         | 3,2                          | 24                                   | ATV-18U18N4 | 2     |
|                                     | 5,1                            | 4,8  | 1,5                              | 3,7                         | 5,6                          | 34                                   | ATV-18U29N4 | 2,1   |
|                                     | 6,8                            | 6,3  | 2,2                              | 5,3                         | 8                            | 49                                   | ATV-18U41N4 | 3,1   |
|                                     | 9,8                            | 8,4  | 3                                | 7,1                         | 10,7                         | 69                                   | ATV-18U54N4 | 3,3   |
|                                     | 12,5                           | 10,9 | 4                                | 9,2                         | 13,8                         | 94                                   | ATV-18U72N4 | 3,3   |
|                                     | 16,9                           | 15,3 | 5,5                              | 11,8                        | 17,7                         | 135                                  | ATV-18U90N4 | 8     |
|                                     | 21,5                           | 19,4 | 7,5                              | 16                          | 24                           | 175                                  | ATV-18D12N4 | 8     |
|                                     | 31,8                           | 28,7 | 11                               | 22                          | 33                           | 261                                  | ATV-18D16N4 | 12    |
|                                     | 42,9                           | 38,6 | 15                               | 29,3                        | 44                           | 342                                  | ATV-18D23N4 | 12    |

**Tableau IV.1.** Choix du variateur

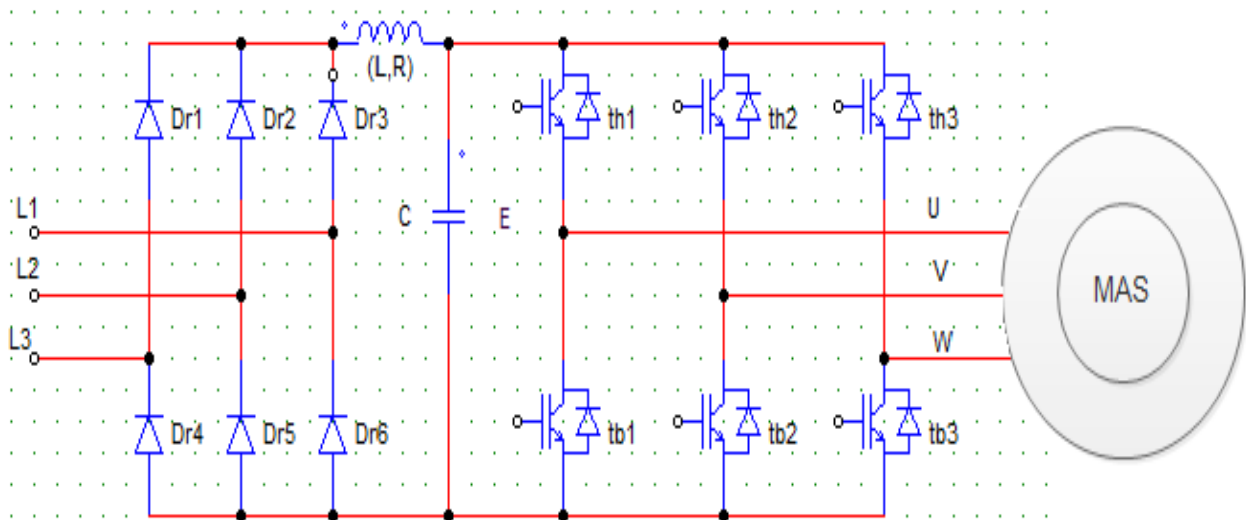
(1) Valeur typique sans inductance additionnelle.

(2) Pendant 60 secondes.

L'Altivar 18 a été conçu pour alimenter les moteurs d'une puissance adaptée à chacun de ses calibres.

Dans ce chapitre, on s'intéressera à l'Altivar 18 de référence ATV-18U72N4, qui est disponible au département.

### VI.2.3. Le schéma électrique général du variateur



**Figure IV.2.** Schéma électrique du variateur

Le convertisseur comprend [31]:

- un pont redresseur triphasé à diodes associé à un condensateur formant une source de tension continue (Bus à tension continue ou Bus DC)
- un pont onduleur généralement à IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), alimenté par la tension continue et générant une onde de tension alternative à amplitude et fréquence variables par la technique de « Modulation de Largeur d'Impulsions » ou MLI
- une unité de commande fournissant les ordres de conduction aux IGBT en fonction des consignes fournies par l'opérateur (ordre de marche, sens de marche, consigne de vitesse...) et de la mesure des grandeurs électriques (tension réseau, courant moteur)

#### VI.2.4. Principe de fonctionnement

La vitesse de synchronisme d'un moteur asynchrone à cage est fonctionne de son nombre de paires de pôles et de la fréquence de son alimentation. Ces grandeurs sont liées par l'expression :  $N = 60 f / P$

Ainsi, changer la fréquence revient à changer la vitesse de synchronisme d'un moteur donné.

Cependant, changer la fréquence sans changer la tension d'alimentation fait varier la densité du flux magnétique dans le moteur, aussi le variateur ATV-18U72N4 fait varier simultanément la tension et la fréquence de sortie. Ceci permet d'optimiser la courbe de couple du moteur asynchrone et d'éviter son échauffement de sortie. L'Altivar ATV-18U72N4 alimente le moteur par une tension générée à partir d'une tension interne et fixe.

La tension est produite en modulation de largeur d'impulsions (MLI). Il délivre au moteur un courant proche d'une sinusoïde avec peu d'harmonique [3].



Figure VI.3. Image de l'ALTIVAR 18

## VI.2.5. Mise en Service et Réglage des paramètres de l'Altivar 18 ATV-18U72N4

## VI.2.5.1. Réglage du variateur (paramétré de niveau 1)

| Code  | Fonction   | Préréglage usine      | Valeur maxi                | Valeur mini               | Unité | Résolution (incrément mini)                                     | Type          |    |     |           |
|-------|--|-----------------------|----------------------------|---------------------------|-------|---|---------------|----|-----|-----------|
| r d y | Variateur prêt   |                       |                            |                           |       |   | Affichage     |    |     |           |
| F r H | Consigne en fréquence  | F r H                 |                            |                           | Hz    | 0.1   | Affichage     |    |     |           |
| L C r | Courant moteur   |                       |                            |                           |       |   |               | A  | 0.1 | Affichage |
| r F r | Fréquence de rotation  |                       |                            |                           |       |   |               | Hz | 0.1 | Affichage |
| U L n | Tension réseau   |                       |                            |                           |       |   |               | V  | 1   | Affichage |
| b F r | Fréquence de base. Choisir la même fréquence que celle du réseau.<br>La valeur de b F r prérègle la fréquence et la tension nominales moteur aux valeurs suivantes :<br>ATV18...M2 : - b F r = 50 : 230 V/50 Hz<br>- b F r = 60 : 230 V/60 Hz<br>ATV18...N4 : - b F r = 50 : 400 V/50 Hz<br>- b F r = 60 : 460 V/60 Hz<br>Ces préréglages sont modifiables dans les paramètres de niveau 2.                      | 50                    | 60                         | 50                        | Hz    |   | Configuration |    |     |           |
| A C C | Rampe d'accélération linéaire  | 30                    | 3600                       | 0,1                       | s     | 0.1 ou 1<br>0.1 ou 1<br>(0,1 à<br>999,9 puis<br>1000 à<br>3600) | Réglage       |    |     |           |
| d E C | Rampe de décélération linéaire<br>Les rampes sont définies pour la fréquence de base.<br>Exemple : rampe 10 s : - si b F r = 50 Hz, il faut 5 s pour varier de 25 Hz,<br>- si b F r = 60 Hz, il faut 5 s pour varier de 30 Hz.   | 30                    | 3600                       | 0,1                       | s     |   | Réglage       |    |     |           |
| L S P | Petite vitesse   | 0                     | = H S P                    | 0                         | Hz    | 0.1   | Réglage       |    |     |           |
| H S P | Grande vitesse : s'assurer que ce réglage convient au moteur et à l'application.   | 50                    | = b F r<br>(2)             | = L S P                   | Hz    | 0.1   | Réglage       |    |     |           |
| F L G | Gain de la boucle fréquence<br>Lié à l'inertie et au couple résistant de la mécanique entraînée :<br>- machines à fort couple résistant ou forte inertie : réduire progressivement dans la zone 33 à 0,<br>- machines à cycles rapides, à faible couple résistant et faible inertie : augmenter progressivement le gain dans la zone 33 à 100. Un excès de gain peut entraîner une instabilité de fonctionnement | 33                    | 100                        | 0                         |       | 1   | Réglage       |    |     |           |
| I E H | Protection thermique moteur (4).<br>Régler I E H à l'intensité nominale lue sur la plaque signalétique du moteur. Pour inhiber la protection thermique, augmenter la valeur jusqu'à la valeur maximale.  | I <sub>N</sub><br>(3) | 1,15 I <sub>N</sub><br>(3) | 0,5 I <sub>N</sub><br>(3) | A     | 0.1   | Réglage       |    |     |           |

Tableau VI.2. Réglage des paramètres du variateur niveau 1

(1) Lcr, rFr, ULn ne sont pas mémorisables par (ent), mais visualisable momentanément, jusqu'à l'arrêt ou passage au paramètre suivant.



(2)  $t_{Fr}$  est un paramètre de niveau 2 réglable de 40 à 320 Hz. Pour  $HSP > 60$  Hz, modifier préalablement le réglage de  $t_{Fr}$  (niveau2).

(3)  $I_N$  = courant de sortie permanent du variateur.

(4) Attention : - en cas deux moteurs en parallèles sur un même variateur, mettre un relais thermique par départ moteur pour pallier le risque de non répartition de la charge.

- En cas de mise hors tension du variateur, le calcul  $I^2 t$  repasse à zéro.


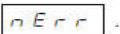





| Code  | Fonction   | Préréglage usine | Valeur maxi | Valeur mini   | Unité | Résolution (incrément mini) | Type          |
|-------|--|------------------|-------------|---------------|-------|-----------------------------|---------------|
| J P F | Suppression de la vitesse critique qui entraîne une résonnance mécanique : il est possible d'interdire le fonctionnement prolongé sur une plage de fréquence de 2 Hz, réglable sur la gamme d'utilisation.<br>Le pré-réglage usine à 0 rend la fonction inactive.  | 0                | HSP         | 0             | Hz    | 0.1                         | Réglage       |
| I d c | Courant de freinage par injection de courant continu automatique à l'arrêt   | 0,7 $I_N$ (1)    | $I_N$ (1)   | 0,25 $I_{LH}$ | A     | 0.1                         | Réglage       |
| t d c | Temps de freinage par injection automatique à l'arrêt.<br>Le réglage à 0 supprime l'injection à l'arrêt, le réglage à 25,5 le rend permanent (2).  | 0,5              | 25,5        | 0             | s     | 0.1                         | Réglage       |
| U F r | Paramètre permettant d'optimiser le couple à très basse vitesse  | 20               | 100         | 0             |       | 1                           | Réglage       |
| S P 3 | 3ème vitesse présélectionnée   | 5                | HSP         | LSP           | Hz    | 0.1                         | Réglage       |
| S P 4 | 4ème vitesse présélectionnée   | 25               | HSP         | LSP           | Hz    | 0.1                         | Réglage       |
| J O O | Consigne en marche "pas à pas"   | 10               | 10          | 0             | Hz    | 0.1                         | Réglage       |
| F d t | Seuil de fréquence associé à la fonction "seuil de fréquence atteint" de la sortie L O. Ce seuil comporte un hystérésis anti-battement de 0,2 Hz.  | 0                | HSP         | LSP           | Hz    | 0.1                         | Réglage       |
| r P G | Gain proportionnel de la fonction régulateur PI  | 1                | 100,0       | 0,0 1         |       | 0,0 1                       | Réglage       |
| r I G | Gain intégral de la fonction régulateur PI   | 1                | 100,0       | 0,0 1         | 1/s   | 0,0 1                       | Réglage       |
| F b 5 | Coefficient multiplicateur du retour de la fonction régulateur PI, associé à l'entrée analogique AIC ou AI2.   | 1                | 100,0       | 0,1           |       | 0,1                         | Réglage       |
| F L t | Affichage du dernier défaut survenu, par action sur la touche : <br>Lorsqu'il n'y a pas eu de défaut, l'affichage est :    |                  |             |               |       |                             | Affichage     |
| L 2 A | Accès aux paramètres de niveau 2.<br>non :  → l'affichage suivant sera  (affichage initial) si <br>oui :  → l'affichage suivant sera le premier paramètre de niveau 2 si  | no               | Y E 5       | no            |       |                             | Configuration |

Tableau VI.3. Suite de réglages des paramètres du variateur niveau 1

(1)  $I_N$  = courant de sortie permanent du variateur.

(2) Attention, pendant le freinage, les paramètres de configuration ne sont pas modifiables.

Régler 25,5 s en dernière opération si le freinage permanent est nécessaire.



Ces paramètres n'apparaissent que si les fonctions associées sont sélectionnées.

Exemple : SP3 et SP4 apparaissent seuls en préréglage usine.

### VI.3. Description du banc d'essai

Le banc d'essai élaboré lors de notre projet de fin de cycle comprend un variateur de fréquence, une machine asynchrone de 1.5 kW avec sa génératrice.

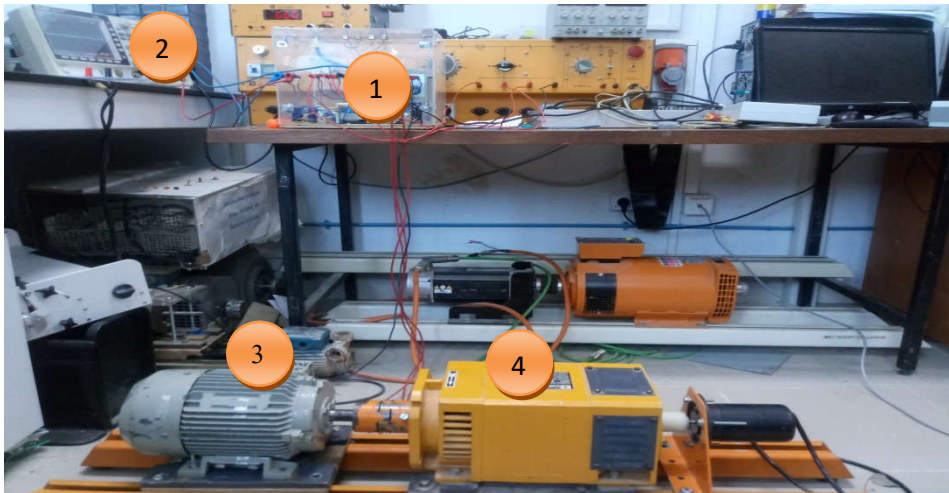


Figure IV.4. Le banc d'essai

1 : Variateur de fréquence « Altivar18 » avec les capteurs de courant et de tension

2 : Oscilloscope.

3 : Machine asynchrone de 1.5 kW.

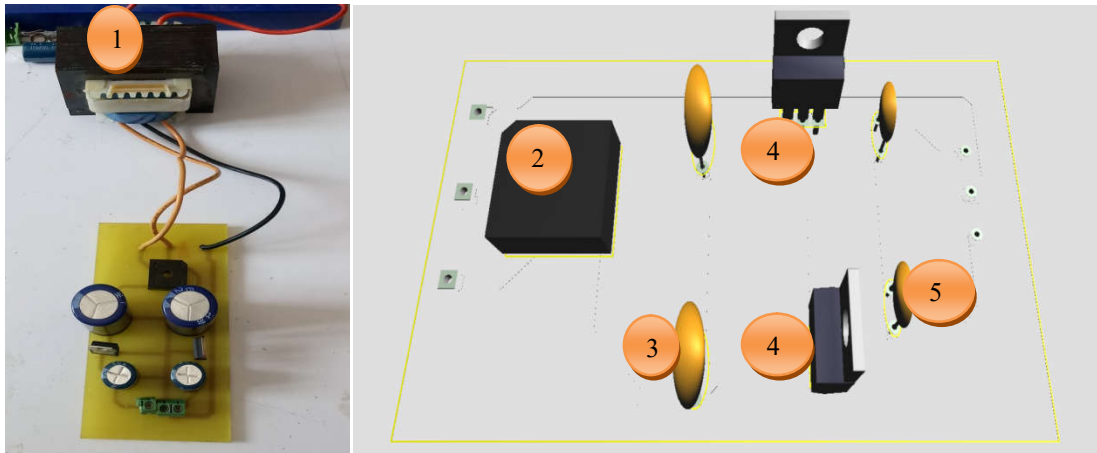
4 : Génératrice a courant continue.

### IV.4. Réalisation des capteurs

#### ➤ Alimentation +15 -15V

Les éléments constituent l'alimentation des capteurs :

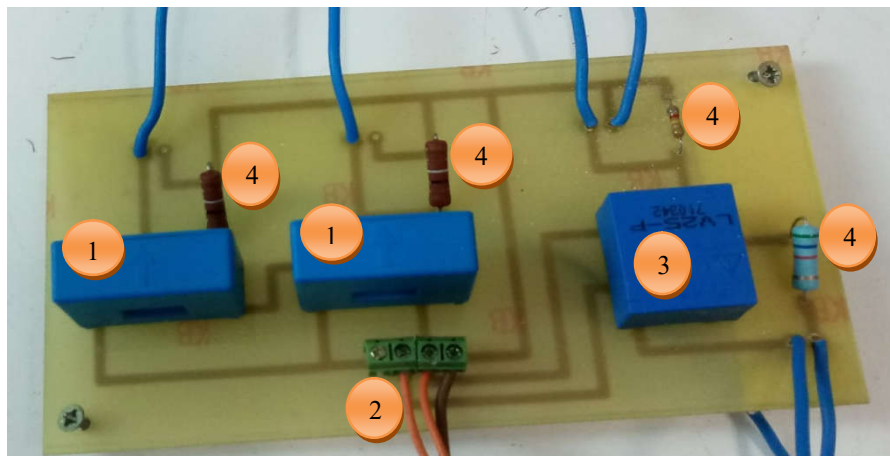
- 1) un transformateur point milieu 2\*12 V
- 2) un pont de diode (redresseur)
- 3) deux condensateurs de 63V/ 2200  $\mu$ F à la sortie de pont de diode pour filtrage
- 4) deux régulateur de tension « MC7815C » et « MC7915C »
- 5) deux Condensateurs 50V/ 470  $\mu$ F à la sortie de régulateur pour filtrage



**Figure IV.5.** Circuit de puissance de l'alimentation +15 -15V

➤ description des capteurs de courant et de tension

- 1) deux capteurs de courant à effet hall « LA 55-P » pour capter les courants des deux phases.
- 2) alimentation -15 +15V des capteurs
- 3) capteur de tension « LV 25-P » pour capter la tension à la sortie de l'onduleur
- 4) des résistances pour la protection



**Figure VI.6.** Circuit des capteurs de courant et de tension

IV.5. La mise en marche des capteurs

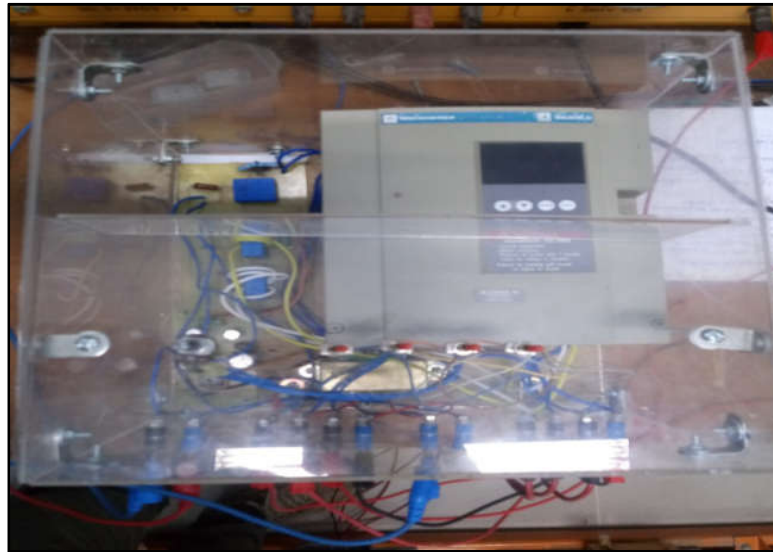


Figure IV.7. Représentation de la maquette (Altivar 18+alimentation+ les capteurs)

IV.6. Résultats obtenus

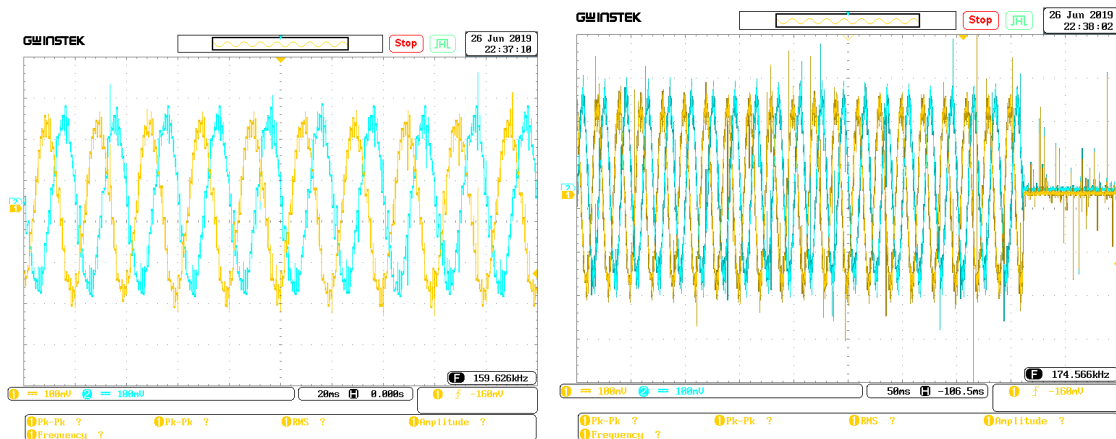


Figure IV.8. Allure des courants à la sortie de l'onduleur  $f = 50$  Hz

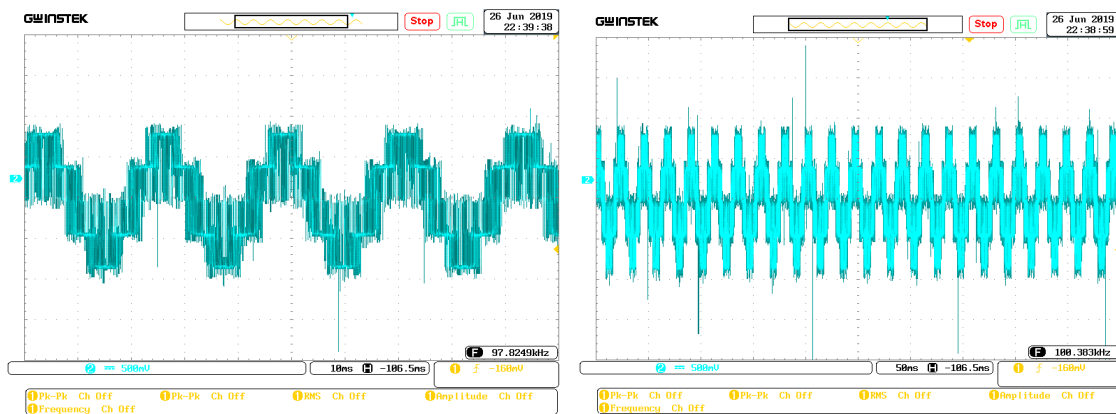


Figure IV.9. La tension à la sortie de l'onduleur  $f = 50$  Hz à vide

- Commentaire :

Après avoir effectué des essais pratique on remarque que les allures de courant et de tension de la simulation sous Matlab Simulink sont les mêmes.

La tension à la sortie du tachymètre égale a 88V, tel que 1V équivalent à 0.06 *tr/min* donc la vitesse égale à 1466 *tr/min*.

#### IV.6 .1. Le signal de tension de sortie se L'Altivar 18 à vide pour déferentes fréquences

- Pour une fréquence de  $f = 25\text{Hz}$

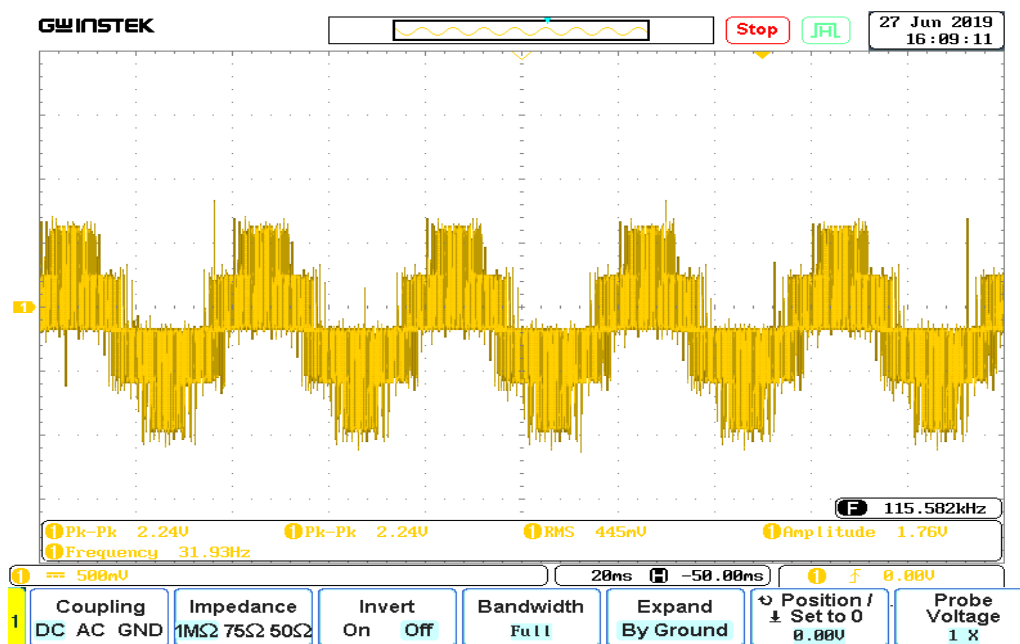


Figure IV.10. Tension de sortie de variateur  $f = 25\text{Hz}$

- Pour une fréquence de  $f = 30\text{Hz}$

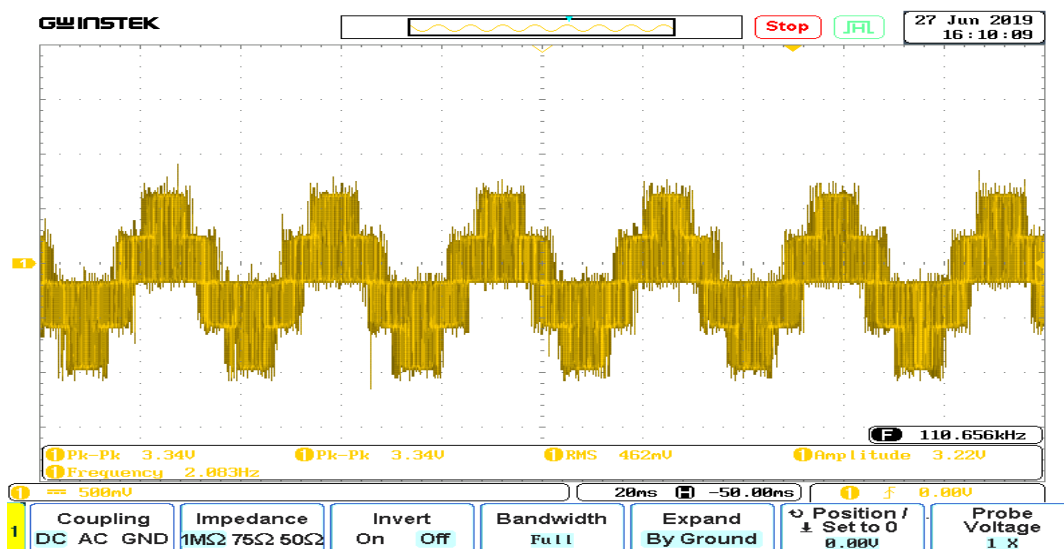


Figure IV.11. Tension de sortie de variateur  $f = 30\text{Hz}$

- Pour une fréquence de  $f = 40\text{Hz}$

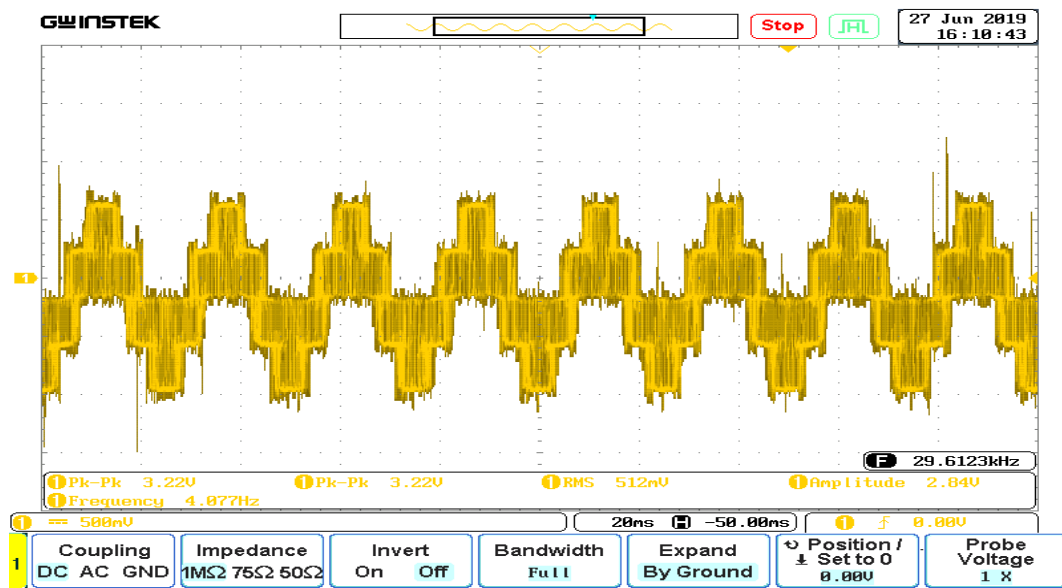


Figure IV.12. Tension de sortie de variateur  $f = 40\text{Hz}$

- Pour une fréquence de  $f = 50\text{Hz}$

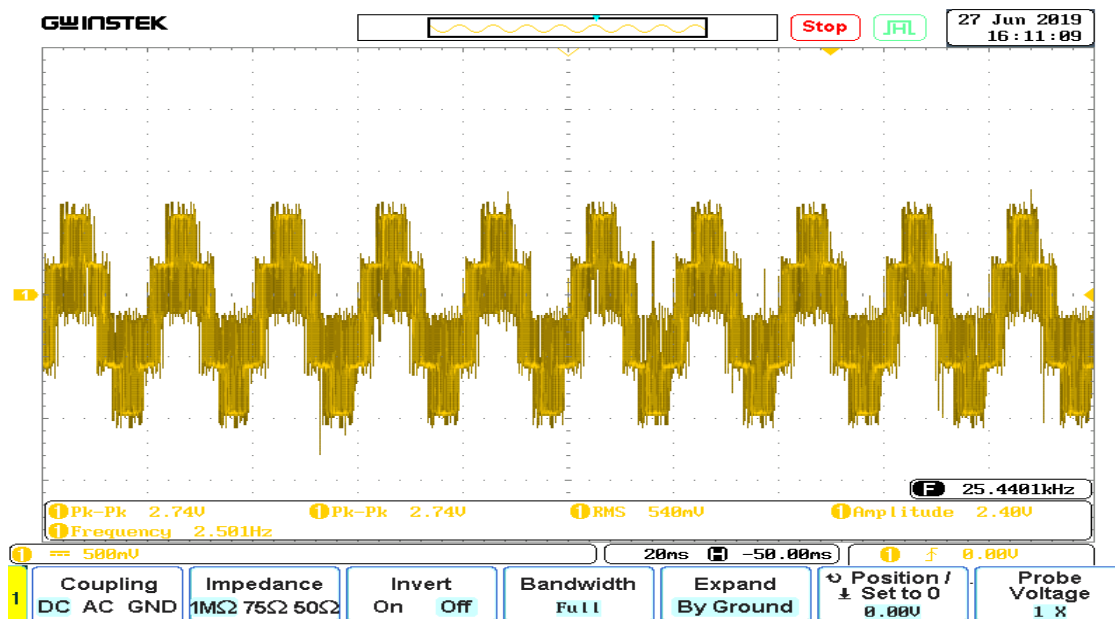


Figure IV.13. Tension de sortie de variateur  $f = 50\text{Hz}$

**IV.6.2. la valeur de la vitesse pour les déferente de fréquence**

- Pour une fréquence de  $f = 25\text{Hz}$

La vitesse est de  $735 \text{ tr/min}$

- Pour une fréquence de  $f = 30\text{Hz}$

La vitesse est de  $901.66 \text{ tr/min}$

- Pour une fréquence de  $f = 40\text{Hz}$

La vitesse est de  $1176.66 \text{ tr/min}$

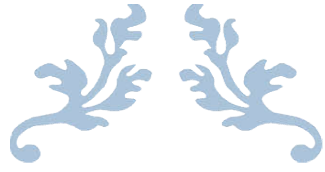
- Pour une fréquence de  $f = 50\text{Hz}$

La vitesse est de  $1466 \text{ tr/min}$

**IV.7. Conclusion**

Le choix du variateur de fréquence étant lié à la nature de la charge entraînée et aux performances visées, selon les caractéristique de la machine (tension d'alimentation, la puissance, courant nominale, la fréquence).

Dans ce chapitre, nous avons donnée l'objectif et le principe de fonctionnement des variateurs de fréquence Altivar18, puis la présentation du banc d'essai réaliser au sein de laboratoires de recherche L.T.I.I de l'université de Bejaïa.



---

## **Conclusion générale et perspectives**

---



### **Conclusion Générale**

Ce travail de mémoire de Master s'inscrit dans la thématique « Identification, Modélisation et simulation d'un variateur de vitesse pour une machine asynchrone ». Il a pour objectif l'étude d'un variateur de fréquence Alitvar18 en alimentant une machine asynchrone à cage.

En premier lieu nous avons présenté les variateurs de vitesse en générale inclus les différents procédés de la variation de vitesse pour les machine asynchrone, les types des convertisseurs statiques qui ont peut trouver dans l'industrie et leurs principe de fonctionnement et domaine d'application.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté la structure de la machine asynchrone et son principe de fonctionnement, puis on a identifiée ces paramètres avec des essais pratiques, essai en continue, essai à vide et essai à rotor bloqué (en court-circuit).

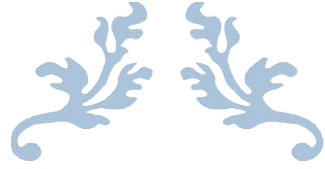
Le troisième chapitre présente la modélisation du système étudié, compris la MAS on utilisant des hypothèses simplificatrices concernant cette dernière, et l'onduleur MLI.

L'objet du dernier chapitre, pour valider les résultats de simulation par un banc d'essai, compris un variateur de fréquence Altivar18, une machine asynchrone de 1,5 KW et sa génératrice, capteurs de courant et de tension.

Finalement, on peut envisager à la lumière de ce travail les perspectives suivantes :

- ✓ Ajouter un autre capteur de tension pour capté la tension composé a la sortie de variateur
- ✓ Ajouter un capteur de puissance a la sortie du variateur





---

## *Références Bibliographiques*

---

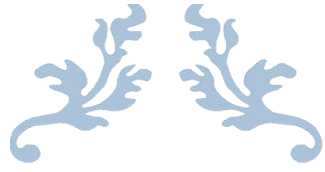


## Bibliographie

- [1] D. ZIANE « **Optimisation de la Commande de la Machine Asynchrone Double Etoile en Fonctionnement normal et dégradé** », Thèse de doctorat en Electrotechnique, Université de Bejaïa, 2015.
- [2] F. TAZRART, « **Etude, Commande et Optimisation des Pertes d'Energie d'une Machine à Induction Alimentée par Convertisseur Matriciel** », Thèse de doctorat en Electrotechnique, Université de Bejaïa, 2016.
- [3] N. IDOUGHI et A. BENDRI, « **Conception d'un Banc D'essai à Base d'un Variateur de Fréquence ALTIVAR** », Mémoire de fin d'étude, Université Abderrahmane MIRA Bejaïa, 27 juillet 2007.
- [4] M.BENAOUICHA et Y.GUERROUT, « **Réalisation d'un Onduleur de Tension Commandé par la Carte Dspace1104** », Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaïa, 2014/2015.
- [5] <https://sites.google.com/site/1stigetone/varv>.
- [6] P. LE BRUN, « **Variation de Vitesse des Machine Asynchrone** », Travail personnel sur l'Etude des Solutions de Variation de Vitesse pour une Machine Asynchrone de Puissance Inferieur à 1MW.
- [7] L. BAGHLI, « **Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone** », Cours personnel, IUFM de Lorraine-UHP, France, 2005.
- [8] C. DIVOUX, « **Moteur Asynchrone Triphasé** », 1999.
- [9] B. METIDJI, « **Commande Robuste des Moteur à Courant Alternatif Alimentés par un Convertisseur Matriciel** », thèse de doctorat en Electrotechnique, Université de Bejaïa, 2019.
- [10] F. BOUABIDA, A. BENKHALIFA, « **Migration D'un Variateur de Vitesse (SEW) de L'ancienne version Vers la Nouvelle** », mémoire de Master, Université de Bejaïa, 2016.
- [11] « Les variateurs de vitesse » (ascenseur technique)  
<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11535>
- [12] HENRI FOCH, François FOREST et Thierry MEYNARD, « **Onduleurs de tension - Structures. Principes. Applications** », technique de l'ingénieur d3176 (article), 1998.

- [13] BOUKAROURA Abdelkader, « **Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond-Graph** », Magister en électrotechnique 2009, Université Ferhat Abbas de Sétif.
- [14] Mme A. MERHOUM, Mr ALLALI. A, « **Optimisation des techniques de MLI pour les équipements FACTS à base d'onduleur** », Diplôme magister, université d'Oran, 2013
- [15] C. CHEVASSU, « **Machines électriques** », cours et problèmes, école nationale supérieure maritime, 20 Juillet 2012.
- [16] B. BERREHAIL, « **Identification des Paramètres d'un Moteur Asynchrone à Cage** », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.
- [17] O.REFRAFI, « **Modélisation et Simulation de la Machine Asynchrone à Cage En Vu de sa Commande** », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2018
- [18] [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com), « **Machine Asynchrone** », 19 Janvier 2012.
- [19] M. MARTY, D. DIXNEUF, D.G. GILBERT, « **Principe D'Electrotechnique** », Paris, 2005, DUNOD.
- [20] N. ARKOUBI et B. BODE DERE SALÉ, « **Amélioration des Performances du Démarrage d'un Moteur Asynchrone à Cage d'écoreuil avec Insertion des Pièces Ferromagnétiques dans les Encoches Rotorique** », Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaïa, 2017.
- [21] L. LASNE, « **Electrotechnique, Cours et Exercices Corrigé** », livre Editions Dunod, 2008.
- [22] L. RABIA, « **Modélisation, Identification Expérimentale et Commande Vectorielle d'un Moteur Asynchrone Triphasé à Cage** », Mémoire de Master, Université Kasdi Marbah Ouargla, 2015.
- [23] K. BENABDALLAH, « **Conception de la Commande d'une Machine Asynchrone** », Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2015.
- [24] O. BOUAKAZ, « **Contribution à L'analyse des Onduleurs** », multi niveaux, thèse de master, Université de Batna, 2012.
- [25] Y. DIAF, D. BEN ANTER, « **Modélisation et Commande D'un Onduleur Triphasé Pilote Par MLI a Structure Multi-niveaux** », Université Kasdi Marbah Ouargla, 2011-2012
- [26] J.-P. CARON, J.-P. HAUTIER, « **Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone** », livre Edition TECHNIP, France, 1995.

- [27] L. BAGHELI, «**Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone** », IUFM de lorraine-UHP, 2003-2004.
- [28] M. MEBARKI, « **Commande de la Machine Asynchrone (étude et comparaison** », Mémoire de Master, Université Abderrahmane MIRA Bejaïa, 2017.
- [29] A. TIDJANI et B. AL HAMOUDI, « **Identification Paramétrique d'un Moteur Asynchrone à Cage d'écureuil par la technique d'optimisation d'essaim de particule** », Mémoire de Master, Université Kasdi Marbah Ouargla, 2016.
- [30] N. ADJIMI et W. BELAIDI, « **Modélisation et Commande d'un Onduleur MLI** », Mémoire de Master, Université Larbi ben M'hidi Oum EL-Boughi, 2009.
- [31] J. SCHONEK, Y. NEBON, « protection BT et Variateurs de vitesse (convertisseur de fréquence) », cahier technique N° 204, édition mai 2012.



---

# **Annexe**

---



Annexe

## **La plaque signalétique de la machine asynchrone**

IP 54 Cl. Isol

Puissance Nominale : 1.5 KW

Fréquence Nominale : 50 Hz

Tension Nominale : 220/380

Vitesse Nominale : 1405 *tr/min*

Courant Nominale : 3.7 A

Facteur de puissance :  $\cos \varphi = 0.82$

Nombre de paire de pôles :  $P = 2$

**La plaque signalétique de la génératrice**

Puissance Nominale : 1.1 KW

Tension Nominale : 220 V

Vitesse Nominale : 3000 *tr/min*

Courant Nominale : 6.3 A

Courant d'excitation : 0.65 A

Classe d'isolement : E



**La plaque signalétique de la.....**

REo 444 N1



$V/tr/min = 0.06$

$n_{max} = 10000 \text{ tr/min}$

$I_{max} = 0.18 \text{ A}$



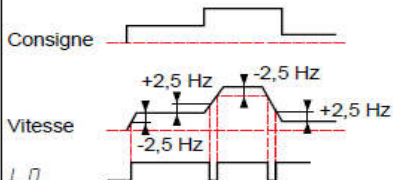
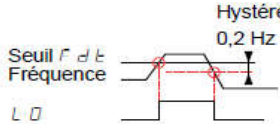
## Extensions de fonctionnalités de L'ALTIVAR 18 (paramètre niveau 2)

| Code       | Fonction   | Préréglage usine | Valeur maxi | Valeur mini | Unité | Résolution (incrément mini) | Type          |
|------------|--|------------------|-------------|-------------|-------|-----------------------------|---------------|
| <i>EL5</i> | Limitation du temps de marche à petite vitesse (consigne nulle et ordre de marche présent).<br><i>EL5</i> = 0 : fonction inactive.<br>Le redémarrage s'effectue automatiquement sur rampe lorsque la référence réapparaît ou sur coupure et rétablissement de l'ordre de marche.   | 0                | 25,5        | 0           | s     | 0,1                         | Réglage       |
| <i>L12</i> | Réaffectation de l'entrée logique LI2<br> S'assurer préalablement que les entrées logiques sont hors tension.<br>- Si une fonction est déjà affectée à une autre entrée, elle apparaît néanmoins, mais sa mémorisation par  ne sera pas active.<br>- Si les fonctions <i>PS2</i> et <i>PS4</i> sont toutes deux affectées, un changement de l'affectation de l'entrée liée à la fonction <i>PS2</i> ne peut être effectif qu'après changement de l'affectation de l'entrée liée à la fonction <i>PS4</i> . |                  |             |             |       |                             |               |
|            | Quand AIC est affectée en sommatrice de AI1 et qu'une des entrées logiques est affectée à <i>PS2</i> (1) :<br>- <i>FFF</i> : non affectée<br>- <i>rr5</i> : sens de rotation "inverse" (2 sens de marche)<br>- <i>dC1</i> : freinage par injection de courant continu fixe (In variateur pendant 5 s, puis 0,5 lth)<br>- <i>FSL</i> : arrêt rapide. Cette fonction est active lorsque l'entrée est hors tension<br>- <i>JOG</i> : Marche pas à pas (2)<br>- <i>PS2</i> : 2 vitesses présélectionnées<br>- <i>PS4</i> : 4 vitesses présélectionnées (2)   | <i>rr5</i>       | <i>PS4</i>  | <i>FFF</i>  |       |                             | Configuration |
|            | Quand AIC est affectée en retour du régulateur PI :<br>- <i>FFF</i><br>- <i>rr5</i><br>- <i>dC1</i><br>- <i>FSL</i> } Voir fonctions et remarques ci-dessus  | <i>rr5</i>       | <i>PSL</i>  | <i>FFF</i>  |       |                             | Configuration |
|            | Quand aucune entrée logique n'est affectée à <i>PS2</i> :<br>- <i>FFF</i><br>- <i>rr5</i><br>- <i>dC1</i><br>- <i>JOG</i><br>- <i>PS2</i> } Voir fonctions et remarques ci-dessus  | <i>rr5</i>       | <i>PS2</i>  | <i>FFF</i>  |       |                             | Configuration |

(1) C'est le cas en préréglage usine.


(2) Ces fonctions font apparaître les réglages correspondants dans les paramètres de niveau 1. Régler ces paramètres (JOG, SP2, SP4).

## Extensions de fonctionnalités de L'ALTIVAR 18 (paramètre niveau 2)

| Code  | Fonction  | Préréglage usine | Valeur maxi | Valeur mini | Unité | Résolution (incrément mini) | Type          |
|-------|---|------------------|-------------|-------------|-------|-----------------------------|---------------|
| L 13  | Réaffectation de l'entrée logique LI3 : idem LI2  | P 5 2            | "           | "           |       |                             | Configuration |
| L 14  | Réaffectation de l'entrée logique LI4 : idem LI2  | P 5 4            | "           | "           |       |                             | Configuration |
| L D   | Affectation de la sortie logique<br>1) S r A : consigne vitesse atteinte par le moteur, avec un seuil de $\pm 2,5$ Hz<br><br><br>2) F d E : seuil de fréquence franchi (F d E)<br><br><br><b>Nota</b> : Si la consigne est inférieure à 0,5 Hz, la sortie L D repasse à 0.<br><br>L' affectation F d E fait apparaître le réglage F d E dans les paramètres de niveau 1. Régler ce paramètre   | S r A            | S r A       | F d E       |       |                             | Configuration |
| A I C | Affectation de l'entrée analogique AIC/AI2.<br><br>Si les entrées logiques ne sont pas affectées aux vitesses présélectionnées (P 5 2 - P 5 4) ou à la marche pas à pas (J D D) :<br>- S R 1 : Sommatrice avec AI1<br>- P 1 F : Retour du régulateur PI.<br>Cette configuration affecte automatiquement l'entrée AI1 en référence du régulateur et fait apparaître dans les paramètres de niveau 1 les réglages à effectuer : r P D, r I D, F b S.<br><b>Nota</b> : Cette configuration n'est possible que si on a préalablement procédé aux configurations suivantes, dans l'ordre :<br>1) L 14 = OFF ou F S E<br>2) L 13 = OFF ou d C 1<br>3) L 12 = OFF ou r r 5 | S R 1            | P 1 F       | S R 1       |       |                             | Configuration |
|       | Si une entrée logique est affectée aux vitesses présélectionnées (P 5 2 - P 5 4) ou à la marche pas à pas (J D D) :<br>- S R 1 : Sommatrice avec AI1  | S R 1            | S R 1       | S R 1       |       |                             | Configuration |
| C r L | Configuration de l'entrée AIC/AI2 :<br><br>- 0,0 : AIC : 0 - 20 mA / AI2 : 0 + 10 V<br>- 4,0 : AIC : 4 - 20 mA / AI2 : 2 + 10 V   | 0,0              | 4,0         | 0,0         | mA    |                             | Configuration |



## Extensions de fonctionnalités de L'ALTIVAR 18 (paramètre niveau 2)

| Code         | Fonction  | Préréglage usine | Valeur maxi  | Valeur mini | Unité | Résolution (incrément mini) | Type          |
|--------------|---|------------------|--------------|-------------|-------|-----------------------------|---------------|
| <i>S P r</i> | Rattrapage automatique avec recherche de vitesse. Après une coupure brève de réseau, le moteur redémarre sur rampe depuis sa vitesse effective. Le temps de recherche de vitesse peut atteindre 3,2 s. La consigne de vitesse et le sens de marche doivent rester maintenus à la remise sous tension.<br>- <i>n o</i> : Fonction inactive<br>- <i>Y E S</i> : Fonction active   | <i>n o</i>       | <i>Y E S</i> | <i>n o</i>  |       |                             | Configuration |
| <i>S F r</i> | Fréquence de découpage<br>La fréquence de découpage est réglable pour réduire le bruit généré par le moteur.<br>Au-delà de 4 kHz, un déclassement doit être appliqué au courant de sortie du variateur, selon le modèle :<br>- ATV-18U09M2, U18M2, U29M2, U41M2, U54M2 : pas de déclassement,<br>- autres références :<br>. jusqu'à 8 kHz : déclassement de 5 %,<br>. au-delà de 8 kHz : déclassement de 10 %.  | <i>4,0</i>       | <i>12,0</i>  | <i>2,2</i>  | kHz   | <i>0,1</i>                  | Réglage       |
| <i>S b P</i> | Arrêt contrôlé sur coupure réseau :<br>Contrôle de l'arrêt du moteur lors d'une coupure de réseau, suivant une rampe auto adaptée en fonction de l'énergie cinétique restituée.<br>- <i>n o</i> : Fonction inactive<br>- <i>Y E S</i> : Fonction active   | <i>n o</i>       | <i>Y E S</i> | <i>n o</i>  |       |                             | Configuration |
| <i>R b r</i> | Redémarrage automatique, après verrouillage sur défaut, si celui-ci a disparu et que les autres conditions de fonctionnement le permettent.<br>Le redémarrage s'effectue par une série de tentatives automatiques séparées par des temps d'attente croissants : 1 s, 5 s, 10 s, puis 1 mn pour les suivants.<br>Si le démarrage ne s'est pas effectué au bout de 6 mn, la procédure est abandonnée et le variateur reste verrouillé jusqu'à la mise hors puis sous tension.<br>Les défauts qui autorisent cette fonction sont : <i>D H F</i> , <i>D L F</i> , <i>U S F</i> , <i>D b F</i> , <i>D S F</i> .<br>Le relais de sécurité du variateur reste alors enclenché si la fonction est active. La consigne de vitesse et le sens de marche doivent rester maintenus.<br> S'assurer que le redémarrage intempestif ne présente pas de danger humain ou matériel.<br>- <i>n o</i> : Fonction inactive<br>- <i>Y E S</i> : Fonction active | <i>n o</i>       | <i>Y E S</i> | <i>n o</i>  |       |                             | Configuration |
| <i>F C S</i> | Retour au préréglage usine<br><i>n o</i> : non<br><i>Y E S</i> : oui, l'affichage suivant sera <i>r d Y</i>   | <i>n o</i>       | <i>Y E S</i> | <i>n o</i>  |       |                             | Configuration |
| <i>C P U</i> | Version logicielle (information)<br>Affichage de la version logicielle  |                  |              |             |       |                             | Affichage     |