



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Filière : Electrotechnique

Option : Machine Electrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

FODIL Farouk

MABEDI Mohamed Fares

Le :

Estimation de la vitesse d'un MAS par l'analyse du courant statorique

Jury :

Pr.	CHRIET Ahmed	Pr	Université de biskra	President
Pr.	SAHRAOUI Mohamed	Pr	Université de biskra	Encadreur
Pr.	YAHIA Khaled	Pr	Université de biskra	Examineur

Année universitaire : 2021-2022



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Filière : Electrotechnique

Option : Machine Electrique

Réf. :

Estimation de la vitesse d'un MAS par l'analyse du courant statorique

Présenté par :

FODIL Farouk

MABEDI Mohamed FARES

Le :

Avis favorable de l'encadreur :

Pr. SAHRAOUI Mohamed

Signature Avis favorable du Président du Jury

Pr. CHRIET Ahmed

Cachet et signature



تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

(ملحق القرارالقرار 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020)

أنا الممضي أدناه:.....

الصفة: طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم:..... الصادرة بتاريخ:.....

المسجل بكلية:..... قسم:.....

والمكلف بإنجاز:مذكرة ماستر

تحت عنوان:.....

.....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث وفق ما ينصه القرار رقم 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020 المحدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها.

التاريخ:.....

إمضاء المعني بالأمر

REMERCIEMENTS

Au début du hadith, nous remercions Dieu Tout-Puissant pour celui qui nous a inspiré avec patience et force et nous a permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrant, le Professeur Sahraoui Mohamed, pour son aide, ses encouragements et ses conseils dans la conduite de nos travaux de recherche.

Nous adressons nos sincères remerciements à :

- Tous les membres du jury qui nous ont honorés en jugeant notre travail.*
- Tous les professeurs qui ont contribué à notre enseignement durant nos années académiques.*



Dédicace

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à me faire atteindre ce que je suis aujourd'hui, je le dédie donc à :

Ma chère mère est ma source de force qui m'a toujours encouragé à aller de l'avant

Je le dédie aussi à mes sœurs, frères et tous les membres de ma famille, ma famille et mes amis

Tous mes professeurs depuis le premier jour d'école jusqu'à aujourd'hui

Et à tous ceux qui ont une bonne impression dans mon cœur en signe d'amour et de respect.

LISTE DES FIGURES

- Fig. I.1.** constitution de la machine asynchrone.
- Fig. I.2** schéma présente l'enroulement du stator.
- Fig. I.3.** Vue d'un rotor à cage.
- Fig. I.4.** Vue d'un rotor bobiné.
- Fig. I.5.** Schéma désignant les éléments constituant une machine asynchrone.
- Fig. I.6.** Proportion des défauts.
- Fig. I.7.** Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances.
- Fig. I.8.** Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances.
- Fig. I.9** capteur de la vitesse.
- Fig. I .10** Structure générale de MRAS pour l'estimation de la vitesse.
- Fig. I .11** analyse spectral de courant statorique pour l'estimation de la vitesse.
- Fig.I.12.** Estimation de la PSH.
- Fig.I.13.** Estimation de l'EFH.
- Fig. I.14.** Estimation de la RBFH.
- Fig. II.1.** Algorithme d'estimation de la vitesse.
- Fig. II.2.** Estimation de la fréquence d'alimentation.
- Fig. II.3.** . Principe de la méthode basée sur une fenêtre glissante.
- Fig. II.4.** Estimation de l'harmonique PSH.
- Fig. II.5.** vitesse estimée pour 100% de la charge
- Fig. II.6.** vitesse estimée pour 60% de la charge
- Fig. II.7.** vitesse estimée pour 20% de la charge
- Fig. II.8.** vitesse estimée pour 0% de la charge
- Fig. II.9.** vitesse estimée pour 100% - 60%- 20%- 100% de la charge.
- Fi g. II.10.** Erreur de vitesse estimée pour 100% - 60%- 20%- 100% de la charge.
- Fi g. II.11.** vitesse estimée pour 100% - 60% de la charge.
- Fi g. II.12.** Erreur de vitesse estimée pour 100% à 60% de la charge.
- Fig. II.13** vitesse estimée pour 20% - 100%de la charge.
- Fig. II.14.** Erreur de vitesse estimée pour 20% - 100% de la charge.

Fig. II.15. L'allure temporelle du courant statorique obtenu pour différentes fréquences d'alimentation.40Hz a 20Hz

Fig. II.16. fréquence d'alimentation estimée pour une variation brusque de 40Hz a 20Hz.

Fig. II.17. Estimation de la vitesse pour des fréquence 40Hz a 20Hz.

Fig. II.18. L'allure temporelle du courant statorique obtenu pour différentes fréquences d'alimentation.30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz

Fig. II.19. la fréquence de vitesse estimer pour une variation de fréquence (30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz)

Fig. II.20. Estimation de vitesse estimer pour une variation de fréquence (30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz)

LISTE DES TABLEAUX

Tab. I.1. Les harmoniques du courant statorique.

Tab. II.1: Les Caractéristiques de la machine utilisée.

Tab II.2 Effet de la charge a les harmoniques

Tab II .3 Effet nombre d'échantillonnage à la vitesse estime

LISTE DES ABREVIATIONS

$s = g$: le glissement dû au fondamental.

N_b : Nombre de barres rotoriques de moteur asynchrone à cage.

f_e : La fréquence d'échantillonnage.

T_a : Le temps d'acquisition.

N_e : Le nombre des échantillons.

Δf : La résolution fréquentielle.

f_{TH} : La fréquence des harmoniques du temps.

f_{RSH} : La fréquence des harmoniques d'encoches rotoriques (RSH).

f_{EFH} : La fréquence des Eccentricity Fault Harmonics (EFH).

f_{RBFH} : La fréquence de Rotor Bar Fault Harmonics (RBFH).

ν : L'ordre du temps harmonique.

f_s : La fréquence fondamentale.

f_r : La vitesse mécanique du rotor exprimée en Hertz.

p : Nombre de paires de pôles.

n_r : est la vitesse mécanique du rotor exprimée en (tr/min).

f_{PSH} : L'harmonique principal d'encoches rotoriques (PSH).

- ملخص:

تعد الآلة غير المتزامنة الأكثر استخدامًا في القطاع الصناعي مقارنة بباقي الماكينات ، وبالتالي فإن حمايتها وصيانتها وكذلك تقدير سرعتها الدورانية من أهم محاور البحث العلمي ، ولهذا فإن هذا العمل يوضح إمكانية تقدير ومراقبة سرعة الدوران الميكانيكي باستخدام تيار الجزء الثابت وهو كمية كهربائية. تم ذلك عن طريق استغلال التوافقيات RSH عبر التحليل الطيفي.

أجريت دراسة تجريبية على محرك غير متزامن على شكل قفص سنجاب ثلاثي الأطوار يعمل بمصدر تردد متغير تحت أحمال مختلفة. النتائج التي تم الحصول عليها تثبت فعالية هذه الطريقة المقترحة.

-Résumé-

La machine asynchrone, est la plus utilisée dans le secteur industriel par rapport au reste des machines, donc la protéger et l'entretenir, ainsi que l'estimation de sa vitesse de rotation est l'une des axes de recherches scientifiques les plus importants, et pour cela, ce travail montre la possibilité d'estimer et de suivre la vitesse de rotation mécanique en utilisant le courant statorique qui est une grandeur électrique. Ceci a été effectué en exploitant les harmoniques RSH via une analyse spectrale.

Une étude expérimentale a été effectuée sur un moteur asynchrone triphasé à cage alimenté par une source de fréquence variable sous différentes charges. Les résultats obtenus prouvent l'efficacité de cette méthode proposée.

- Abstract –

The asynchronous machine, it is the most used in the field compared to the rest of the machine, so for protecting and maintaining it, as well as estimation its rotation speed is one of the most important scientific researches, and for that we show you today a method of estimating the speed.

This work is devoted to the experimental study and the simulation of rotor speed estimation in the three-phase asynchronous machine using the technical of spectral analysis of the stator current, the speed estimation simulation in the asynchronous machine aims to verify this method and the ways to use it on this machine.

Liste des figures	I
Liste des Tableaux.....	III
Liste des abréviations	IV
Résumé.....	V
Introduction générale	VI

CHPITRE I : ETAT DE L'ART

I.1.INTRODUCTION	1
I.2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE.....	1
I.2.1. Moteur Asynchrone (MAS).....	2
I.2.2.Le stator	2
I.2.3. Le rotor à cage	3
I.2.4. Les organes mécaniques	4
I.3. PRESENTATION DES DIFFERENTES DEFAILLANCES DES MOTEURS ASYNCHRONES A CAGE D'ECUREUIL.....	5
I.4. DIFFERENTES APPROCHES D'ESTIMATION DE LA VITESSE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE.....	7
I.4.1.Estimation de la vitesse à base des capteurs	7
I.4.2. Estimation de la vitesse à base des modèles.....	8
I.4.3. Estimation de la vitesse à base du traitement de signal.....	8
I.5.ANALYSESPECTRALEDUCOURANTSTATORIQUE PAR.FFT.....	9
I.5.1. La Transformée de Fourier Rapide.....	9
I.5.2. Applications de la FFT sur les courants statoriques.....	10
I.6. RELATION ENTRE LES (RSH, EFH, RBFH) ET LA VITESSE DE ROTATION.....	12
I.7. CONCLUSION.....	13

CHPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALES D'ESTIMATION DE LA VITESSE D'UN MACHINE ASYNCHRONE

II.1. INTRODUCTION.....	14
II.2. ALGORITHME D'ESTIMATION DELA VITESSE	14
II.2.1 .Description De Banc D'essai.....	14

II.2.2.Acquisition	15
II.2.3. Calcul de la FFT	15
II.2.4. Estimation de la fréquence d'alimentation.....	16
II.2.5. Estimation de l'harmonique PSH	17
II.3. EFFET DU NOMBRE DES ECHANTILLONNAGE.....	17
II.4. ESTIMATION DE LA VITESSE EN UTILISENT UNE FENETRE GLISSANTE.....	18
II.5. APPLICATIONS ET TESTS SUR DES SIGNAUX STATIONNAIRES.....	19
II.6. APPLICATIONS ET TESTS SUR DES SIGNAUX NON STATIONNAIRES.....	21
II.6.1. Cas de variation brusque de la charge.....	21
II.6.2. Cas variation brusque de la fréquence.....	25
II.7. CONCLUSION.....	27
Conclusion générale.....	IX
Bibliographie	X

Introduction Générale

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

La machine asynchrone joue un rôle primordial dans l'industrie. Cela est dû à sa robustesse, sa fiabilité, ses performances et à sa simplicité de construction et à son coût de fabrication réduit. D'autre part, avec le récent développement du domaine de l'électronique de puissance, l'alimentation de ce moteur par un onduleur à fréquence variable permet son utilisation dans des applications industrielles qui nécessitent une large gamme de variation de sa vitesse de rotation.

L'estimation de la vitesse du rotor il est très important pour faire le diagnostic des roulements, des excentricités d'entrefer ou autre défaut. Dans cette mémoire, une technique d'estimation de la vitesse du rotor en utilisant une méthode de FFT.

Une transformée de Fourier rapide (FFT) est un algorithme qui calcule la transformée de Fourier discrète (DFT) d'une séquence, ou son inverse (IDFT). L'analyse de Fourier convertit un signal de son domaine d'origine (souvent temporel ou spatial) en une représentation dans le domaine fréquentiel et vice versa. La DFT est obtenue en décomposant une séquence de valeurs en composantes de fréquences différentes.

Le premier chapitre présent des généralités sur le moteur asynchrone et on à présent les défauts de la machine asynchrone, et nous présentant défèrent méthode pour estimer la vitesse après nous choisissons la méthode que base a traitement de signal et analyse spectrale pour estimer la vitesse.

Le deuxième chapitre présente une étude expérimentale sur la machine asynchrone et on a utilisé FFT fenêtre glissants pour estimer la vitesse et on à faire application sur les déférents signaux stationnaires et non stationnaires.

Chapitre I

Etat de l'art

Chapitre I : Etat de l'art

I.1 INTRODUCTION :

Le moteur asynchrone, ou moteur à induction, est le moteur le plus utilisé dans la plupart des entraînements électrique. Son principal avantage réside dans l'absence de contacts électriques glissants, ce qui conduit à une structure simple, robuste mécanique et facile à construire, leur stator est relié directement au réseau industriel à tension et fréquence constante, il tourne à vitesse peu différente de la vitesse de synchronisme; c'est lui qui est utilisé pour la réalisation de la quasi-totalité des entraînements à vitesse constante. Il permet aussi la réalisation d'entraînements à vitesse variable et la place qu'il occupe dans ce domaine ne cesse de croître.[1]

Ce chapitre, débute par un rappel sur la constitution de la machine asynchrone ainsi que le principe de fonctionnement, et finalisé par un rappel sur La FFT (Fast Fourier Transformation).

I.2 CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE :

La machine asynchrone est composée d'une partie fixe appelée stator et d'une partie tournante appelée rotor (figure I.1). Contrairement aux machines synchrones et à courant continu, seuls les enroulements statoriques sont couplés à un réseau d'alimentation dont les tensions (amplitude et fréquence) définissent l'état magnétique de l'entrefer. Les enroulements du rotor sont raccordés sur eux-mêmes. Le moteur asynchrone ne possède donc ni enroulement d'excitation ni aimants permanents. Pour ce qui est du flux rotorique nécessaire pour la formation du couple électromagnétique, il est produit à partir de l'induction. La figure (I.1) représente la machine asynchrone. Du point de vue mécanique, la machine asynchrone est subdivisée en trois parties distinctes [2] :

- ❖ Le stator : partie immobile est la partie où est connectée l'alimentation électrique
- ❖ Le rotor : partie tournante, elle permet de mettre en rotation la charge magnétique
- ❖ Les paliers : organes de support, ces derniers constituent la partie mécanique permettant ainsi la mise en rotation de l'arbre moteur. [3]
- ❖ L'entrefer : Cette partie est amagnétique (c'est le vide entre le rotor et le stator)

Chapitre I : Etat de l'art

I.2.1. Moteur Asynchrone (MAS) :

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieure ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écurueil. Toutefois, nous admettons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous intéressent à la machine asynchrone à cage d'écurueil. [28]

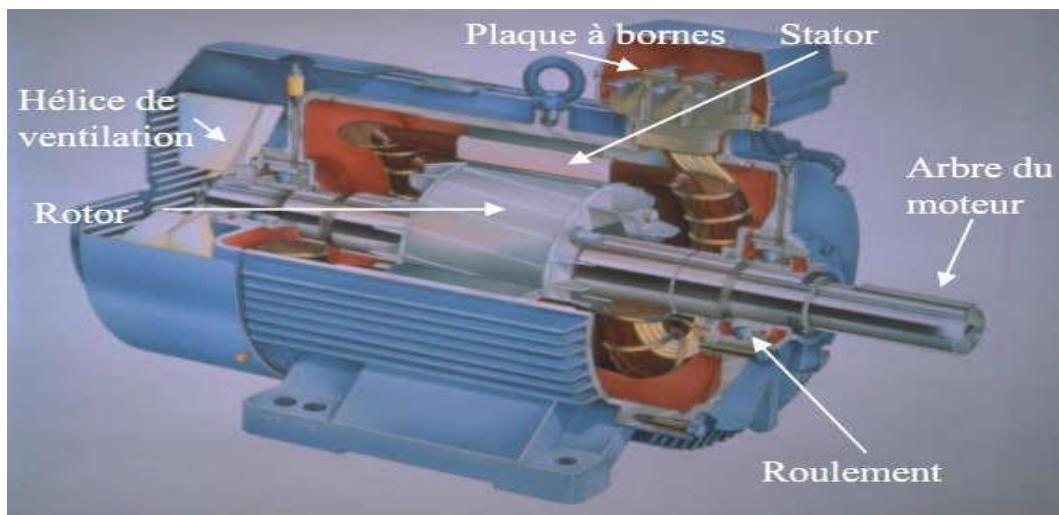


Figure I.1 : constitution de la machine asynchrone. [3]

I.2.2Le stator :

C'est la partie fixe du moteur. Une carcasse en fonte ou en alliage léger renferme une couronne de tôles minces (de l'ordre de 0,5 mm d'épaisseur) en acier au silicium. Les tôles sont isolées entre elles par oxydation ou par un vernis isolant. Le « feuilletage » du circuit magnétique réduit les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Les tôles sont munies d'encoches dans les quelles prennent place les enroulements statoriques destinés à produire le champ tournant (trois enroulements dans le cas moteur triphasé). Chaque enroulement est constitué de plusieurs bobines. Le mode de couplage de ces bobines entre elles définit le nombre de paires de pôles du moteur, donc la vitesse de rotation. [4]



Figure I.2 : schéma présente l'enroulement du stator. [4]

I.2.3 Le rotor :

C'est l'élément mobile du moteur. Il est constitué d'un empilage de tôles minces isolées entre elles et formant un cylindre claveté sur l'arbre du moteur. Cet élément, de par sa technologie, permet de distinguer deux familles de moteurs asynchrone : ceux dont le rotor est dit « à cage », et ceux dont le rotor bobiné est dit « à bagues ». [4]



Figure I.3 : Vue d'un rotor à cage. [4]



Figure I.4 : Vue d'un rotor bobiné. [4]

I.2.4 Les organes mécaniques :

La carcasse sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces derniers soutiennent le rotor et assurent la libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre.

Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements. [3]

Pour les machines de petite et moyenne puissance. Dans La plupart du temps on trouve aussi un ventilateur de refroidissement. [3]

Chapitre I : Etat de l'art

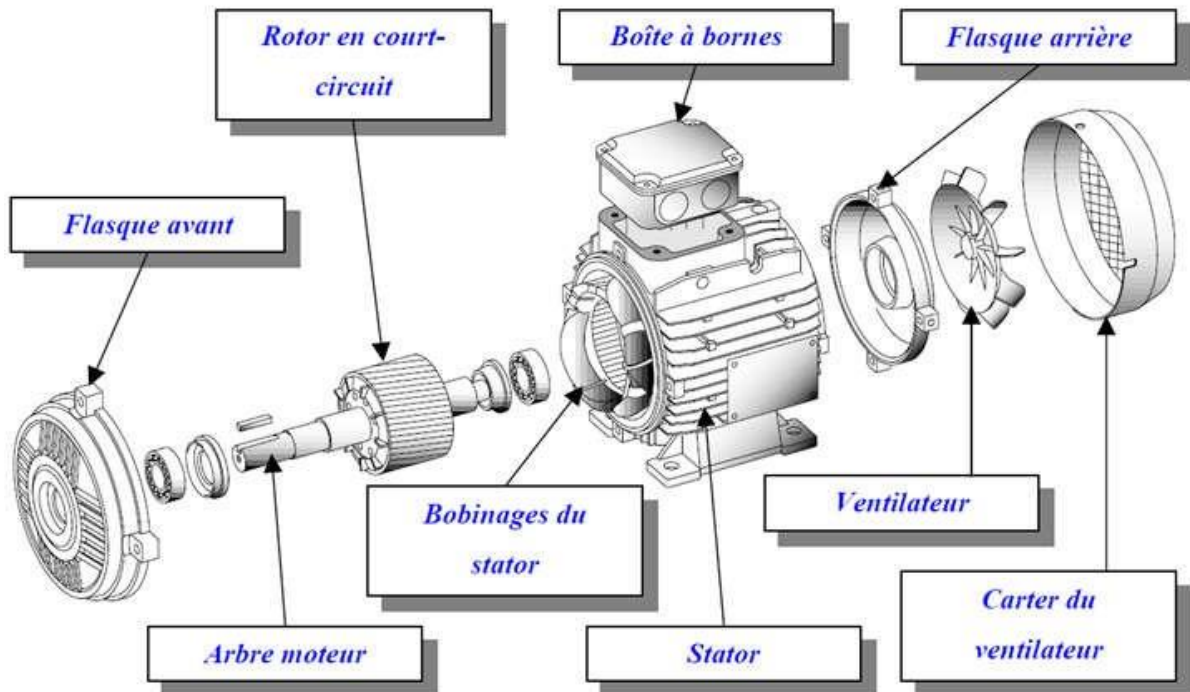


Figure I.5 : Schéma désignant les éléments constituant une machine asynchrone. [3]

I.3.PRESENTATION DES DIFFERENTES DEFAILLANCES DANS LES MOTEURS ASYNCHRONES A CAGE D'ECUREUIL :

Les défaillances peuvent être d'origines diverses : Electriques, mécaniques, thermiques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes[5]:

- Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : Surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations,... etc.
- Les amplificateurs de défauts : Surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement,... etc.
- Les vices ou défauts de fabrication et les erreurs humaines : Défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, ...etc.

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 [kW] à 200[kW]) a donné les résultats suivant [6] - [7]

Chapitre I : Etat de l'art

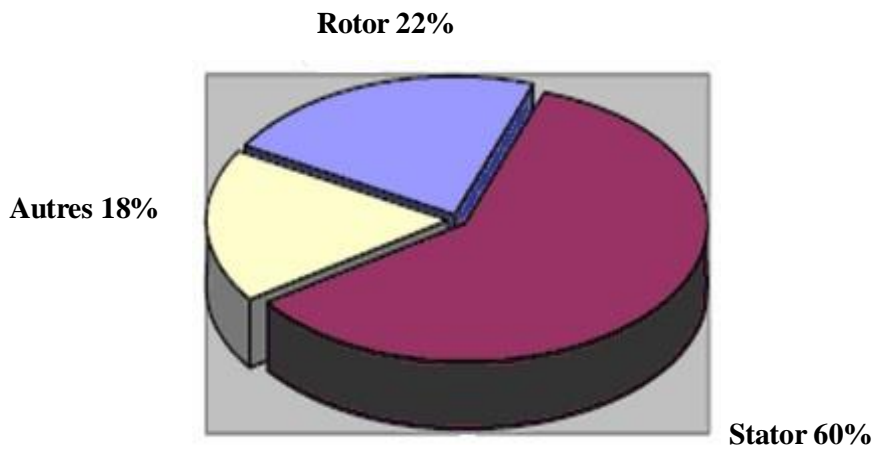


Figure. I.6. Proportion des défauts [7]

La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est présentée sur la figure 1.6.

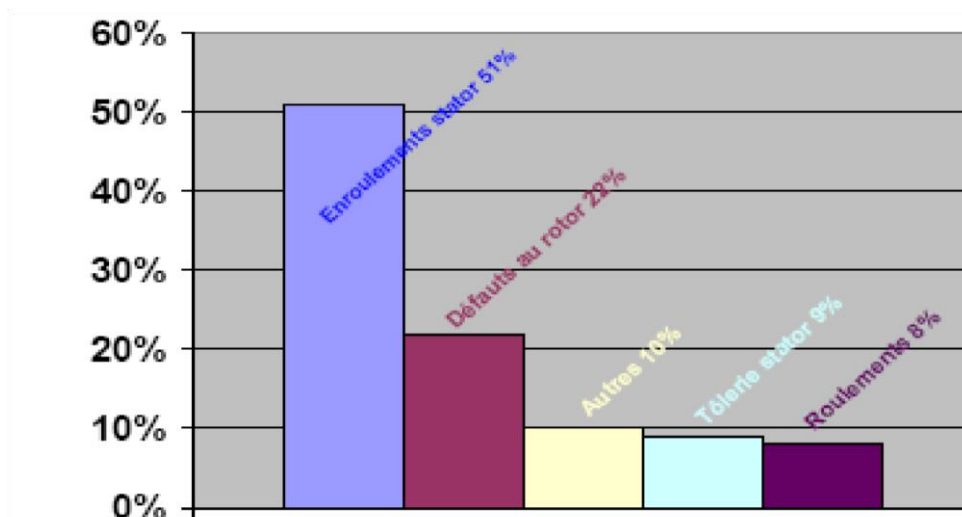


Fig. I.7. Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances [7]

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100 [KW] à 1 [MW]) donne des résultats qui sont présentés sur la figure I.8 [8].

Chapitre I : Etat de l'art

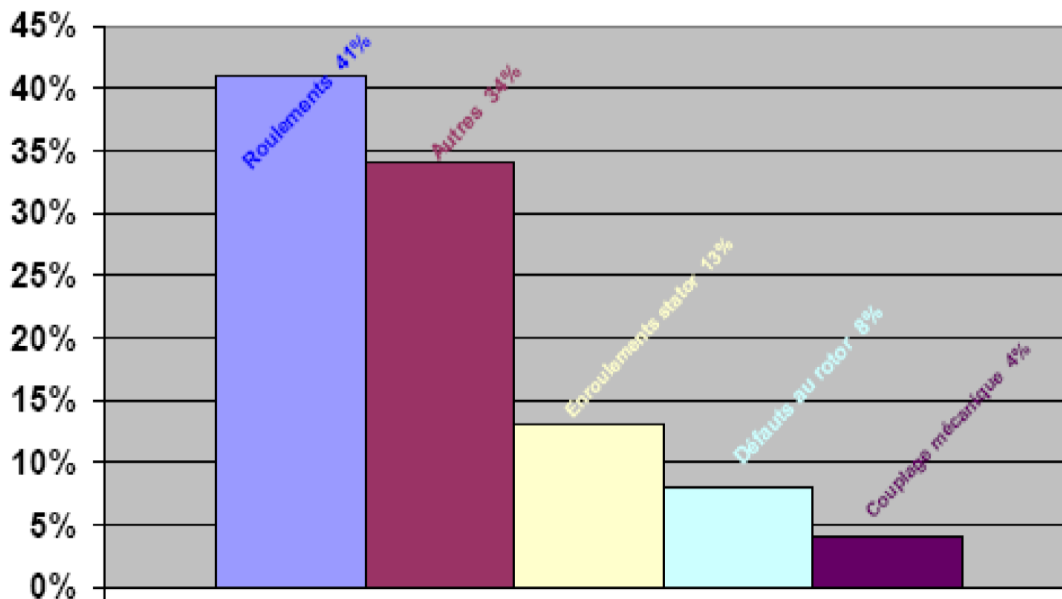


Fig. I.8. Répartition des pannes sur les machines de fortes puissances [7].

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces sorts de machines. Ceci explique le taux élevé des pannes dues aux roulements. Ce qui exige une protection mécanique accrue. [9]

I.4 DIFFERENTES APPROCHES D'ESTIMATION DE LA VITESSE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE :

Pour estimer la vitesse d'un MAS, on peut utiliser les approches suivantes :

I.4.1 Estimation de la vitesse à base des capteurs

Ces méthodes utilisent des capteurs que traduisent les quantités physiques (vitesse) en signaux numérique ou analogique. Ils doivent être très développés pour répondre aux exigences des applications.

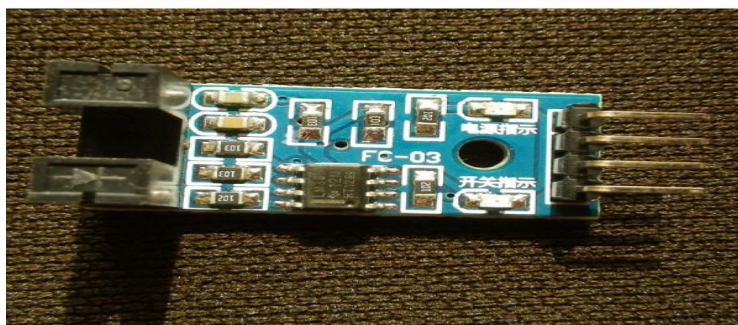


Fig. I.9 capteur de la vitesse[10]

Chapitre I : Etat de l'art

I.4.2 Estimation de la vitesse à base des modèles :

La méthode du MRAS (Model Reference Adaptive System), introduit par (LANDAU), est basée sur la comparaison des sorties de deux estimateurs. Le premier, ne doit pas dépendre de la grandeur à estimer la vitesse, est appelé «modèle de référence» et le deuxième est «le modèle ajustable (adaptatif)» en dépend explicitement. Un mécanisme d'adaptation, fait tendre le comportement du modèle adaptatif vers le comportement du modèle de référence. L'erreur entre les sorties (flux, f.é.m., puissance réactive) des deux estimateurs pilote un mécanisme d'adaptation qui génère la vitesse estimée [11][12][13][14][15][16][17][18][19]

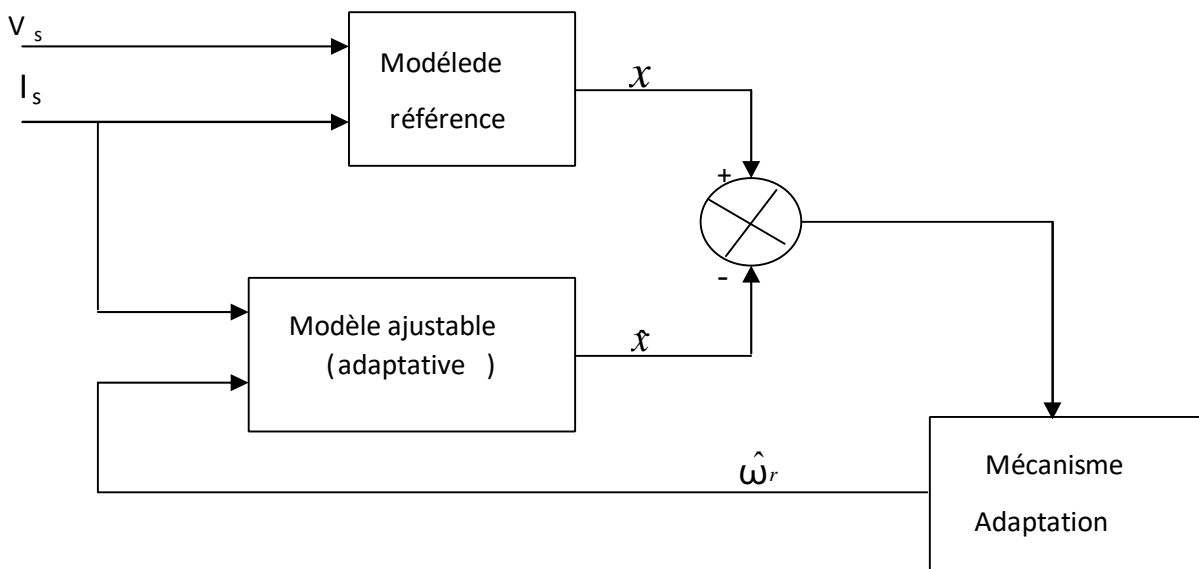


Fig. I.10 Structure générale de MRAS pour l'estimation de la vitesse. [21]

I.4.3 Estimation de la vitesse a base du traitement de signal

La troisième approche pour l'estimation de la vitesse du rotor utilise le traitement de signal pour exploiter les saillances naturelles de la machines. En ce qui concerne les moteurs à induction à cage d'écureuil, les saillances existent en raison des encoches rotoriques. Les harmoniques d'encoches rotoriques (RSH) sont généralement utilisés pour la détection de défauts dans les moteurs à induction. En revanche, certains travaux ont utilisés les RSH pour l'estimation de la vitesse [13], [14] car leurs fréquences sont liées à la vitesse du moteur. Les performances de ces méthodes dépendent fortement du type de la technique d'analyse spectrale appliquée (FFT, Prony, Ondelette,...). L'attention principale doit être axée sur l'efficacité de la méthode pour les signaux non-stationnaires. Dans ce contexte, différentes techniques ont été présentées dans la littérature. [28]

Chapitre I : Etat de l'art

I.5. ANALYSE SPECTRALE DU COURANT STATORIQUE PAR FFT :

Une analyse spectrale du courant statorique (à l'aide de la transformée de Fourier rapide 'FFT') a permis de mettre en évidence, la présence d'harmoniques caractérisant les défauts de la MAS

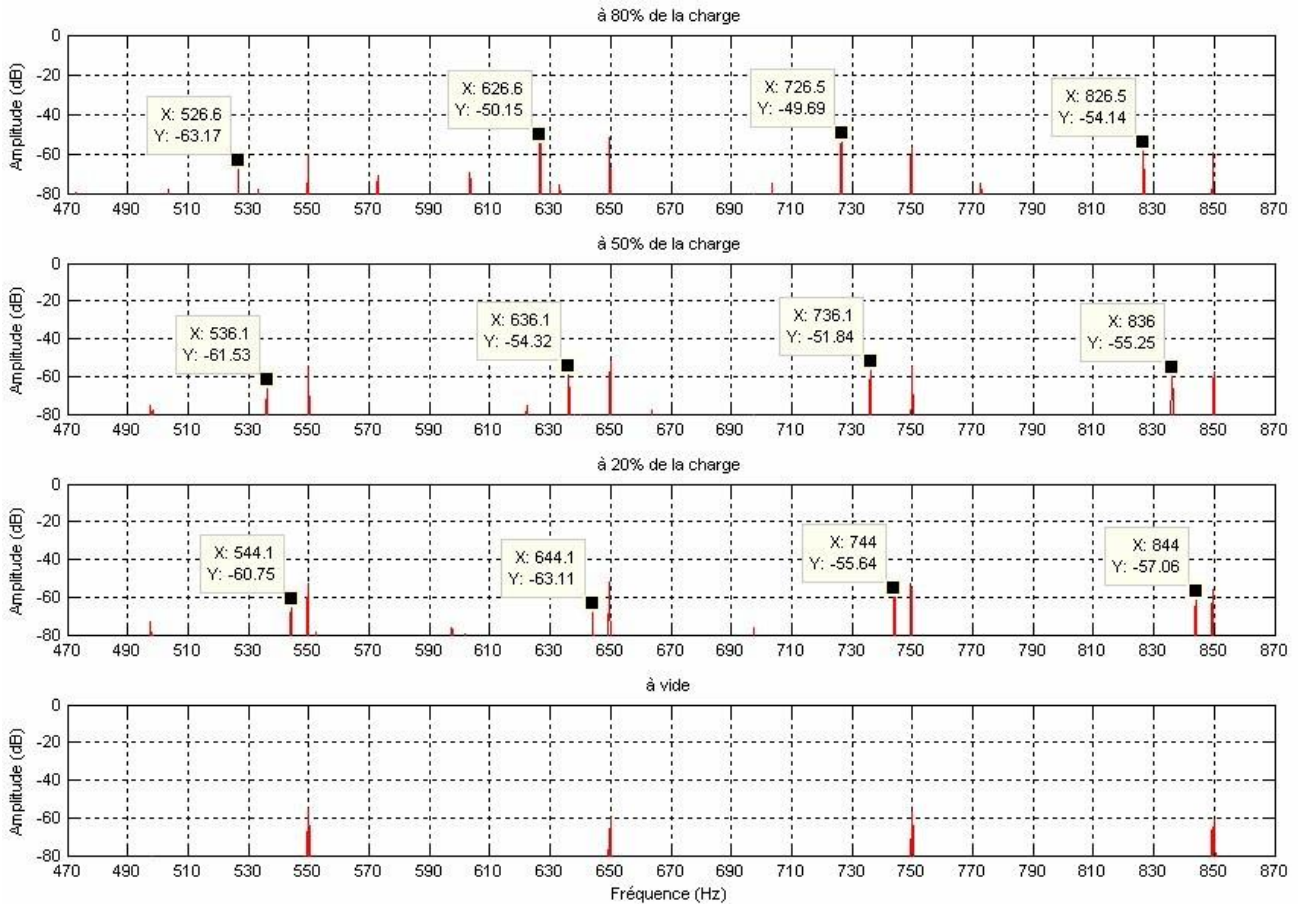


Fig. I.11 spectre du courant statorique pour différentes charges. [29]

I.5.1 La transformée de Fourier rapide

La FFT est un moyen efficace qui réduit le nombre d'opérations arithmétiques nécessaire à la transformée discrète, son importance augmente aussi avec l'évolution du traitement numérique des signaux, de même avec la possibilité de pouvoir l'utiliser pour des signaux analogiques ou plus généralement pour des fonctions continues dans des nombreux domaines scientifiques.

L'utilisation de cette méthode est très simple car elle ne nécessite pas l'introduction d'appareillage de mesure à l'intérieur de la machine électrique, mais consiste à analyser le courant statorique du moteur. [22] [23] [24]

Chapitre I : Etat de l'art

I.5.2 Applications de la FFT sur les courants statoriques :

Dans un premier temps et afin d'explorer le contenu spectral des courants statoriques d'un moteur asynchrone, nous allons appliquer la FFT sur des signaux expérimentaux, Les résultats obtenus mettent en évidence la richesse en harmoniques du courant statorique [30]

Les différents harmoniques	Les formules globales	Les causes principales
Les harmoniques du temps (TH)	$TH = v \cdot f_s$	Ce type d'harmonique est imposé par la source.
Les harmoniques d'encoches rotoriques (RSH)	$RSH = (v \cdot f_s \pm k \cdot N_b \cdot f_r)$	De la structure naturelle de la machine asynchrone à cage (la distribution discrète des encoches rotoriques).
Excentricité Faut Harmonics (EFH)	$EFH = (v \cdot f_s \pm k \cdot f_r)$	Excentricité mixte.
Rotor Bar Fault Harmonics (RBFH)	$RBFH = (v \pm 2 \cdot k \cdot s) f_s$	L'asymétrie résiduelle du moteur au niveau du rotor.

Tab. I.1. Les harmoniques du courant statorique.

Dans le **Tab. I.1.** le spectre du courant statorique pour un fonctionnement à 100% de la charge nominale avec la représentation les quatre familles des harmoniques (a. TH, b. RSH, c. EFH et d. RBFH).

L'harmonique PSH :

Pour $k=1$ et $v=1$ ont défini ce qui sont appelés harmoniques PSH

PSH c'est l'harmonique principal d'encoches rotoriques pour $k=1$ et $v=1$

Chapitre I : Etat de l'art

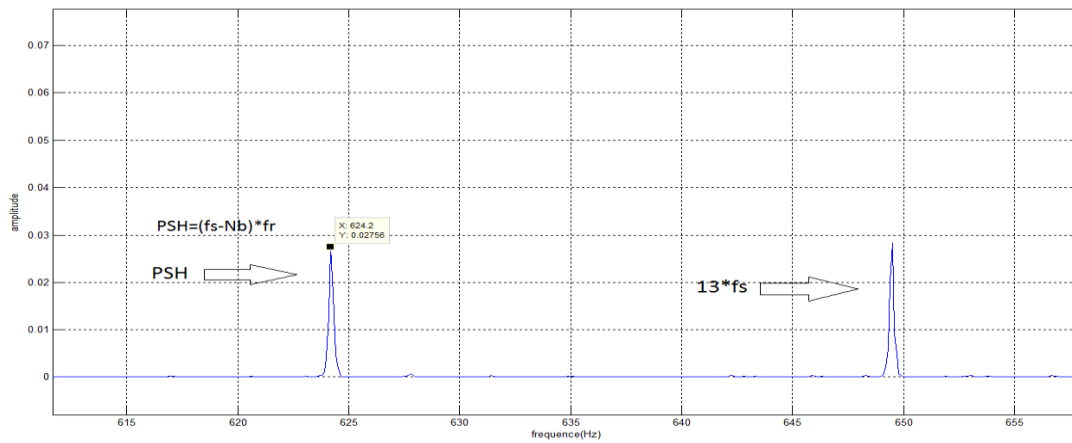


Fig.I.12. spectre du courant statorique représentant l'harmonique PSH.

- **L'harmonique EFH :**

L'excentricité du rotor, encore appelée excentricité de l'entrefer, non uniformité de l'entrefer ou bien désalignement Cette harmonique apparait dans le cas où il existe un défaut d'excentricité dans le moteur asynchrone. [25]

$$EFH = (v.f \pm k.fr)$$

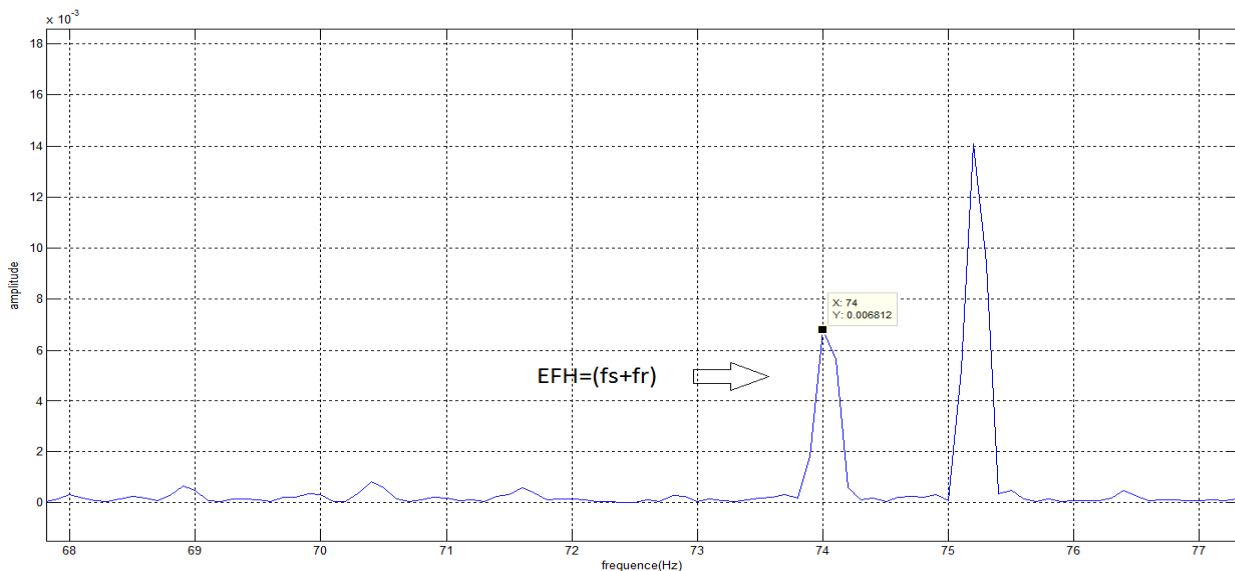


Fig.I.13. spectre du courant statorique représentant l'harmonique EFH.

Chapitre I : Etat de l'art

- **L'harmonique RBFH :**

Un défaut dans le rotor va engendrer une sorte d'asymétrie qui, dans le cas d'une Alimentation par un système de tensions triphasé symétrique, va être à l'origine d'un champ magnétique tournant inverse de fréquence ($-gf$) dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence : $f_{RBFH} = (1-2g)fs$. Cette fréquence provoque une modulation du courant, ce qui provoque des oscillations du couple donnant des fluctuations de la vitesse. Alors une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence :

$$f_{RBFH} = (1+2g) fs.$$

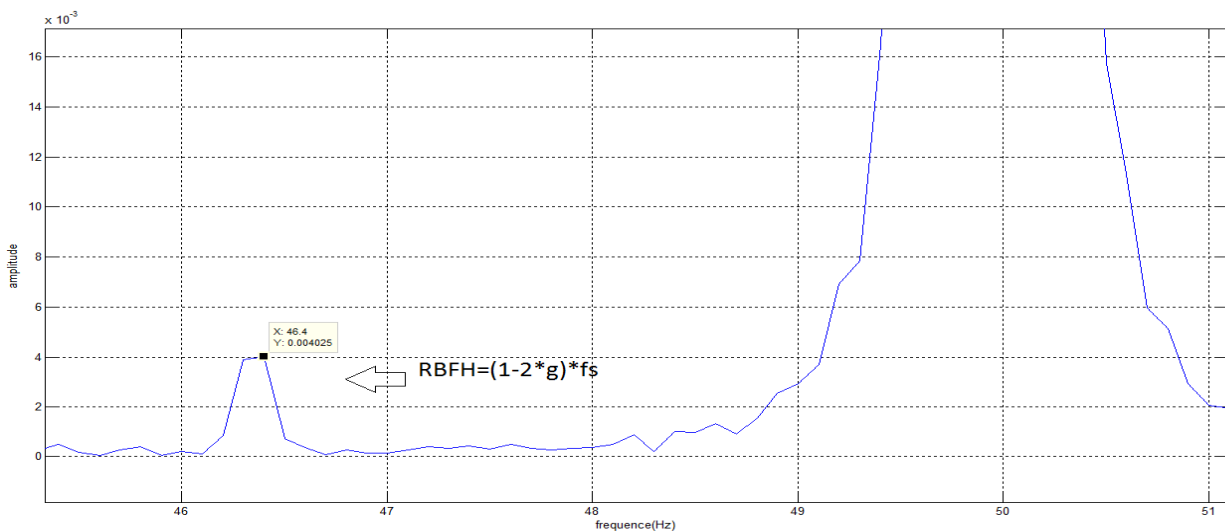


Fig. I.14 spectre du courant statorique représentant l'harmonique RBFH.

I.6 RELATION ENTRE LES (PSH EFH RBFH) ET LA VITESSE DE ROTATION :

$$f_{PSH} = (v \cdot f_s \pm K \cdot N_b \cdot f_r) \Rightarrow f_r = \frac{|f_{PSH} \pm v \cdot f_s|}{N_b K} \quad (I.1)$$

$$f_{EFH} = (v \cdot f_s \pm K \cdot f_r) \Rightarrow f_r = \frac{|f_{EFH} \pm v \cdot f_s|}{K} \quad (I.2)$$

Les harmoniques (PSH EFH RBFH) ont une relation direct avec le glissement et via le glissement.

Chapitre I : Etat de l'art

I.7 CONCLUSION :

Dans ce chapitre on a présenté quelques généralités sur la machine asynchrone ses différents constituants et faste fourrier transformation et leur calcule. Ensuite, nous avons exploré les différents techniques et approche d'estimation de la vitesse d'une machine asynchrone et les différentes familles de l'harmonique, comme nous expliquions la relation entre les (RSH, EFH, RBFH) et la vitesse de rotation.

Chapitre II

**Etudes expérimentales d'estimation
de la vitesse d'un MAS**

II.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on a utilisé la transforme de Fourier rapide (FFT) pour estimer la vitesse d'un machine asynchrone par analyse spectral de contenu de courant statorique (PSH, EFH, RBFH).

II.2 ALGORITHME D'ESTIMATION DE LA VITESSE :

Dans cet algorithme on ajoute l'entée IA et Nb et le programme fait l'acquisition et estimée FS et PSH pour nous obtient la vitesse

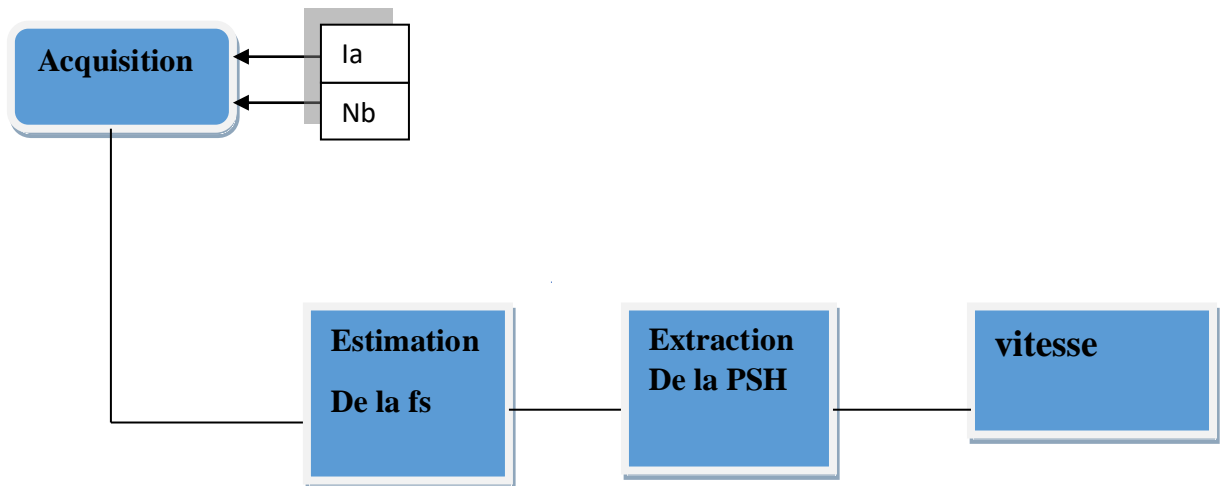


Fig. II.1.Algorithme d'estimation de la vitesse.

ii.2.1 .Description De Banc D'essai

Les essais expérimentaux ont été effectués au sein du Laboratoire de modélisation du système énergétique (LMSE). Le moteur asynchrone triphasé à cage utilisé dans nos expérimentations est un moteur tétra polaire de 3 kW. Le stator est constitué de 48 encoches alors que le rotor se compose de 28 barres en Aluminium.

Les caractéristiques de moteur sont présentées sur le Tableau II.1

Caractéristiques	Moteur asynchrone triphasés
La puissance	3 KW
La vitesse nominale	1430 tr/min
La tension nominale	380 V
Le courant nominal	6. 10A
Nombre de barres rotoriques	28

Tab. II.1: Les Caractéristiques de la machine utilisée.

II.2.2 Acquisition :

L'étude porte sur un moteur asynchrone triphasé a cage d'écureuil de puissance de 3kw et vitesse nominale de 1446 tr/min et une carte d'acquisition.

Nombre de barre : 28

Fréquence d'échantillonnage : $F_e=10000$ Hz

Le temps d'acquisition : $T_a= 10$ sec

La résolution fréquentielle : $\Delta f = 1 / T_a = 1 / 10 = 0.1$ Hz.

Le nombre d'échantillonnage : $N_e = T_a / t_e = F_e * T_a = 10000$ échantillons.

II.2.3 calcul de la FFT :

La transformée de Fourier discrète (TFD) est la transformation qui permet de calculer le spectre d'un signal discret, obtenu par échantillonnage d'un signal continu. Considérons un échantillonnage de la fonction u sur l'intervalle $[0, T]$.

L'analyse par FFT est utilisée principalement pour décrire un signal temporel dans le domaine fréquentiel avec une résolution fréquentielle constante sur une échelle linéaire de fréquence. Dans cette étape, on utilise les échantillons disponibles pour calculer la transformé de Fourier rapide. Ceci permet d'obtenir un vecteur contenant les amplitudes de tous les et un autre vecteur contenant les fréquences de ces harmoniques.

Différentcharge Différent harmoniques	0%	20%	60%	100%
PSH err%	0.1147%	0.3470%	0.1171%	0.1186%
EFH err%	3.61%	2.83%	1.63%	4.56%
RBFH err%	3.16%	2.8%	1.63%	0.41%

Tab II.2. Effet de la charge sur les harmoniques

Remarque :

On remarque a partir le tableau l'harmonique de PSH et le meilleur choix pour estimer la vitesse, donc nous travaillons avec eux dans ce projet.

II.2. 4 Estimation de la fréquence d'alimentation :

Pour estimer la fréquence d'alimentation nous fais un algorithme qui calcule la fréquence estimer est de 10Hz a 60Hz par faire la comparaison de la grande amplitude dans le spectre comme nous le savons, l'amplitude de la fréquence fondamentale est la plus grande, donc il peut le trouver facilement les figures suivant montre comment l'algorithme estimer la fréquence

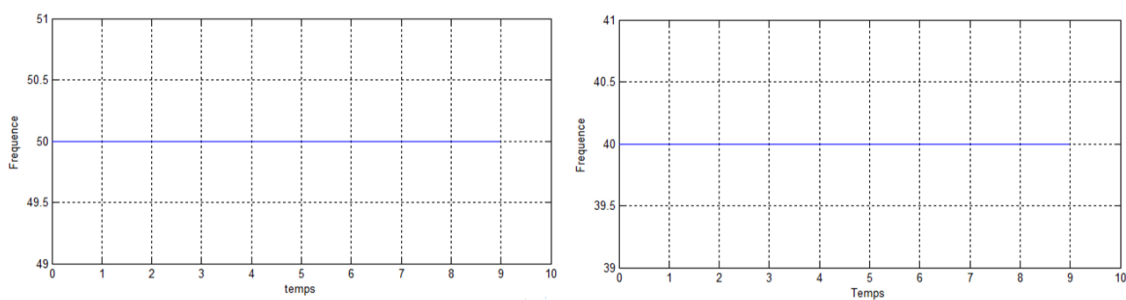


Fig. II.2. Estimation de la fréquence d'alimentation

Interprétation les résultats :

Partir la figure II.2 on a voir que l'algorithme estimer très bien la fréquence d'alimentation pour $f_s=40\text{Hz}$ et pour $f_s=50\text{ Hz}$ donc cet algorithme est efficace dans tout les cas.

II.2. 5. Estimation de l'harmonique PSH :

Pour estimer l'harmonique PSH nous avons développé un algorithme qui calcule la amplitude de PSH, est de le PSH se déplace dans l'intervalle [624 Hz... à ...647 Hz], qui correspond respectivement au régime pleine charge et au fonctionnement à vide, l'amplitude de la PSH est la plus grande, donc il peut le trouver facilement les figures suivant montre comment l'algorithme estimer l'harmonique PSH

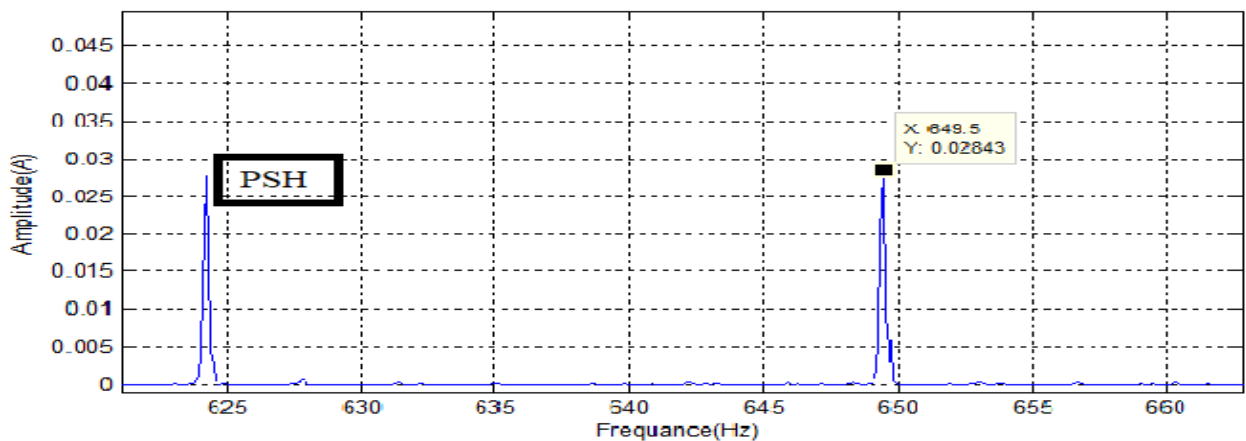


Fig. II.4. Estimation de l'harmonique PSH.

II.3. EFFET DU NOMBRE DE DES ECHANTILLONS:

Intuitivement, on peut se rendre compte que, si la fréquence d'échantillonnage est particulièrement faible, Les acquisitions seront particulièrement espacées et, par conséquent si le signal original comporte des détails entre deux positions de capture, ils ne seront pas enregistrés. C'est pour cela que la fréquence d'échantillonnage doit être bien choisie, suffisamment grande pour restituer correctement la totalité des informations transportées par le signal analogique, au moins les informations utiles, sans être excessive, ce qui gaspillerait de l'espace de stockage. Le théorème de Shannon affirme que l'ensemble des fréquences du signal inférieur à la moitié de la fréquence d'échantillonnage sera correctement restitué. En pratique on constate que les fréquences harmoniques de la fréquence d'échantillonnage sont privilégiées et qu'il y a de nombreuses pertes. [26]

T d'acquisition	N des points	Vitesse estimée	Vitesse référence	Erreur %
10s	100000	1444.7	1446	0.0889
5s	50000	1444.5	1446	0.0889
2.5s	25000	1445.3	1446	0.059
2s	20000	1445	1446	0.045
1s	10000	1444	1446	0.118
0.5s	5000	1443	1446	0.120

Tab II .3 Effet du nombre des échantillons sur la vitesse estimée

A partir le tabII.2 on a remarqué que le nombre des points ont un effet sur la vitesse estime quand le nombre des points élevé l'erreur est faible donc le meilleur nombre des points pour faire l'acquisition c'est N= 10000 points.

II.4. ESTIMATION DE LA VITESSE EN UTILISENT UNE FENETRE GLISSANTE :

Pour pallier aux limites de la T.F, on doit utiliser la FFT à fenêtre glissante [2]. La technique consiste à découper le signal en tranches successives de telles sorte que le signal puisse, dans la durée de chaque tranche, être considère comme stationnaire, chaque tranche de durée T et obtenue en multipliant le signal par une fenêtre temporelle de largeur finie, elle est considère comme stationnaire. On peut alors appliquer la T.F, non pas au signal globale, mais à chacune des tranches du ce signal. [27]

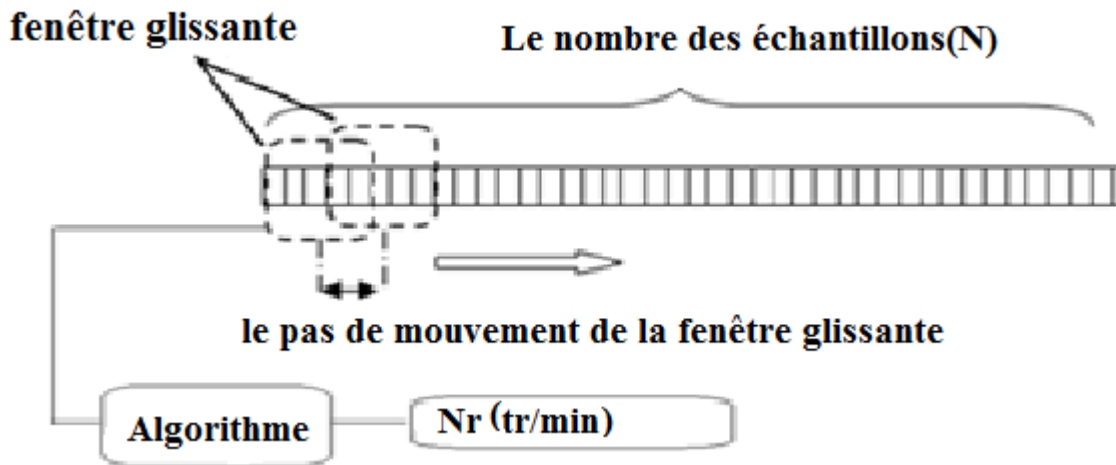


Fig. II.3.Principe de la méthode basée sur une fenêtre glissante[28].

II.5.APPLICATION ET TESTS SUR DES SIGNAUX STATIONNAIRES :

Pour 100% de la charge

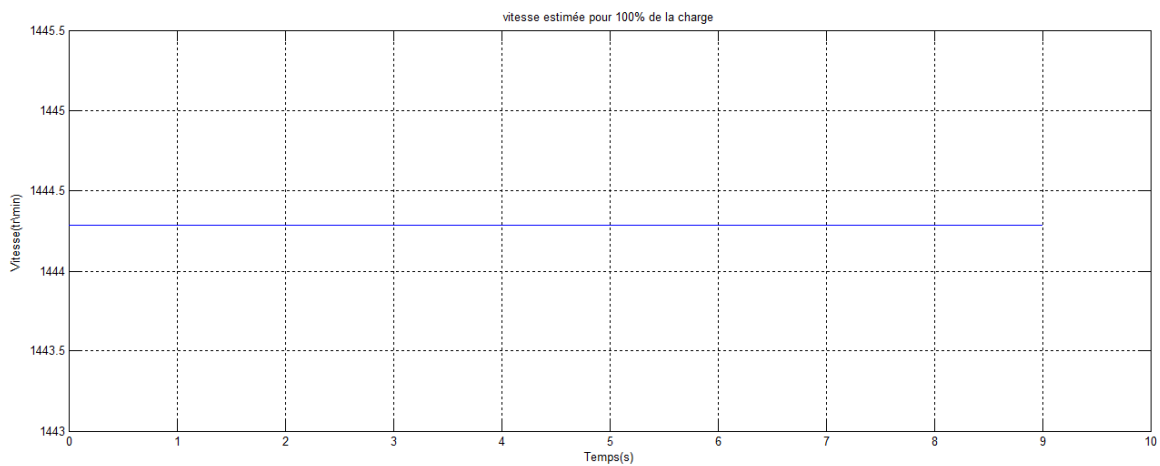


Fig. II.5.vitesse estimée pour 100% charge.

Pour 60% de la charge

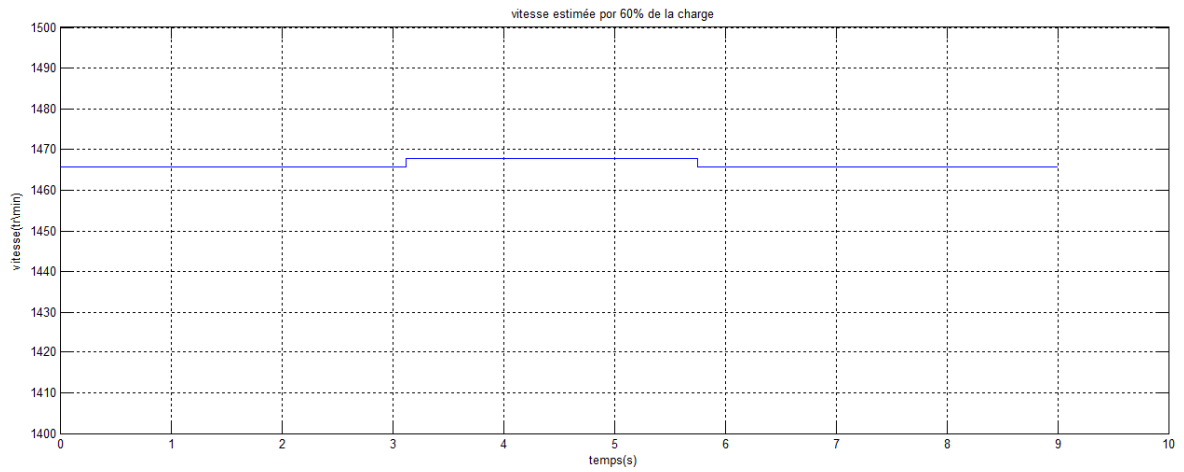


Fig. II.6. vitesse estimée pour 60% charge.

Pour 20% de la charge

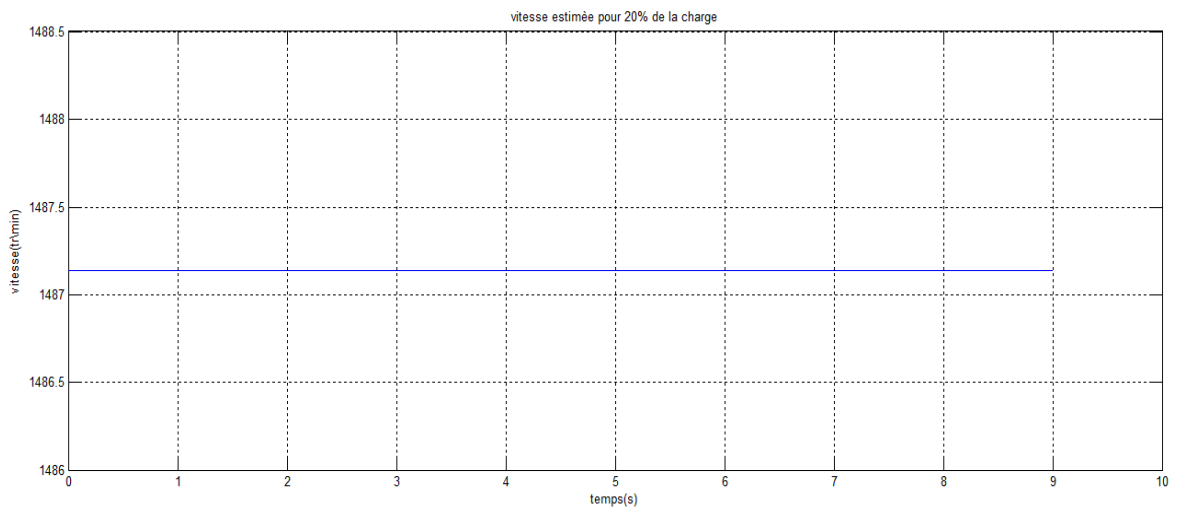


Fig. II.7. vitesse estimée pour 20% charge..

Pour 0% de la charge

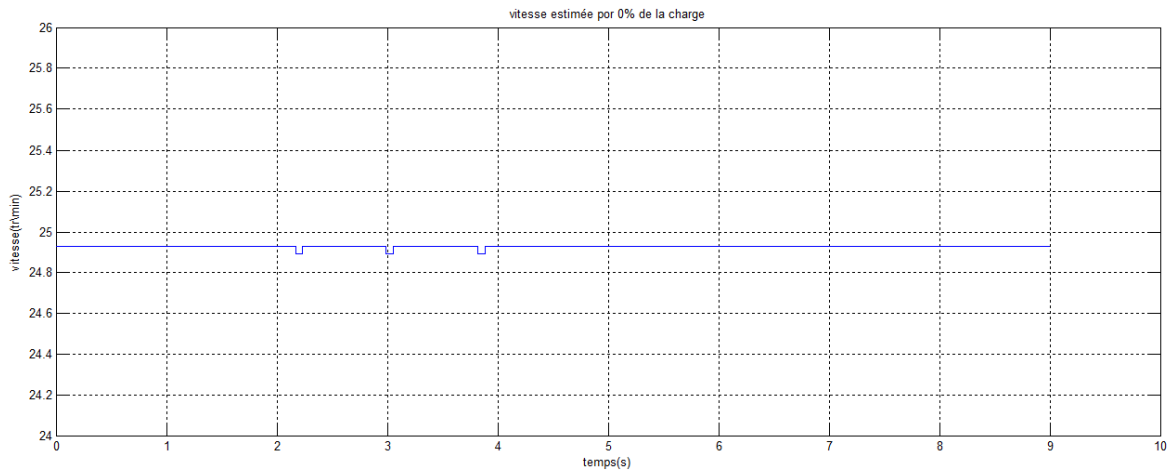


Fig. II.8. vitesse estimée pour 0% charge..

Les figures (II.5.), (II.6.), (II.7.) et (II.8.) montrent que l'algorithme proposé à l'aptitude d'estimer et de suivre la valeur de la vitesse de rotation.

II.6. APPLICATION ET TESTS SUR DES SIGNAUX NON STATIONNAIRES :

II.6.1 Cas de variation brusque de la charge

Pour 100% 60% 20% 100% de la charge

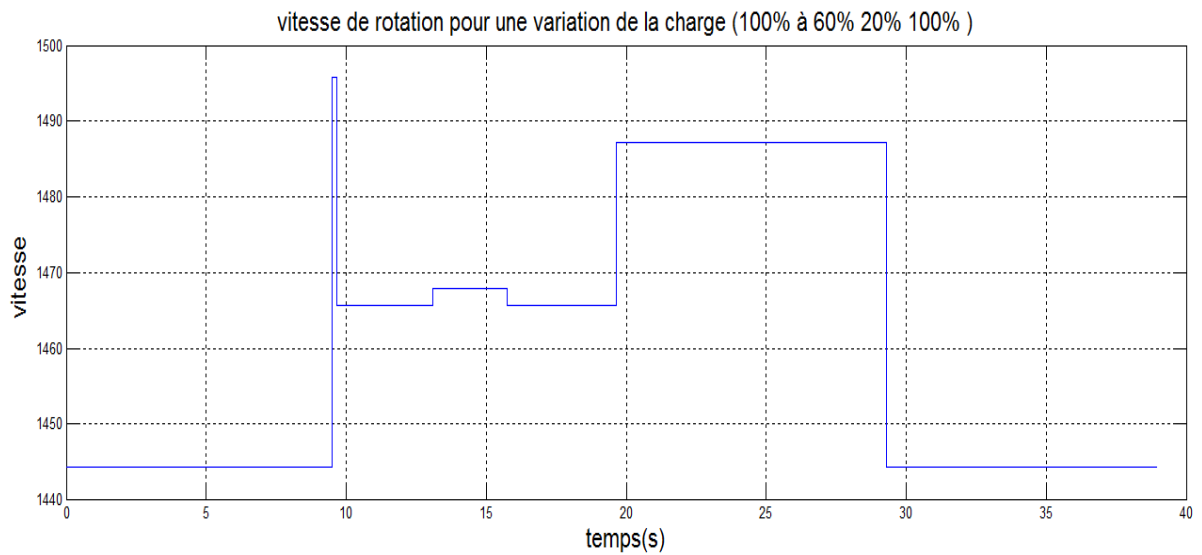


Fig. II.9. vitesse estimée pour 100% - 60%- 20%- 100% de la charge

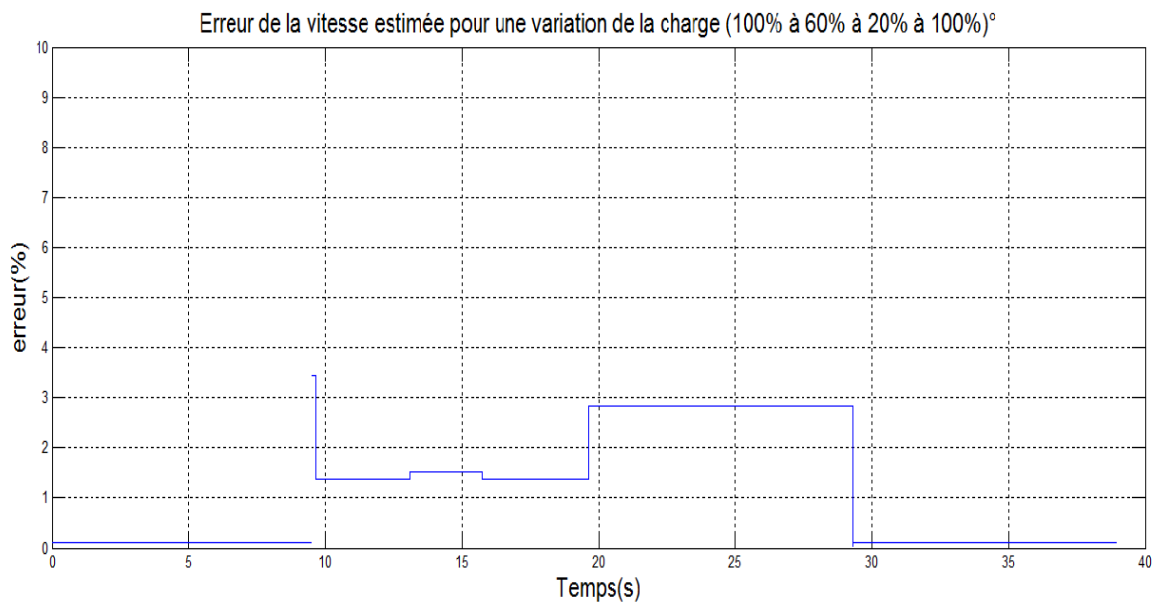


Fig. II.10. Erreur de vitesse estimée pour 100% - 60%- 20%- 100% de la charge.

Les figures (II.9.), (II.10.) montrent que l'algorithme proposé a l'aptitude d'estimer et de suivre la valeur de la vitesse de rotation. On remarque que l'erreur d'estimation est de très petites valeurs.

Pour 100% 60% de la charge :

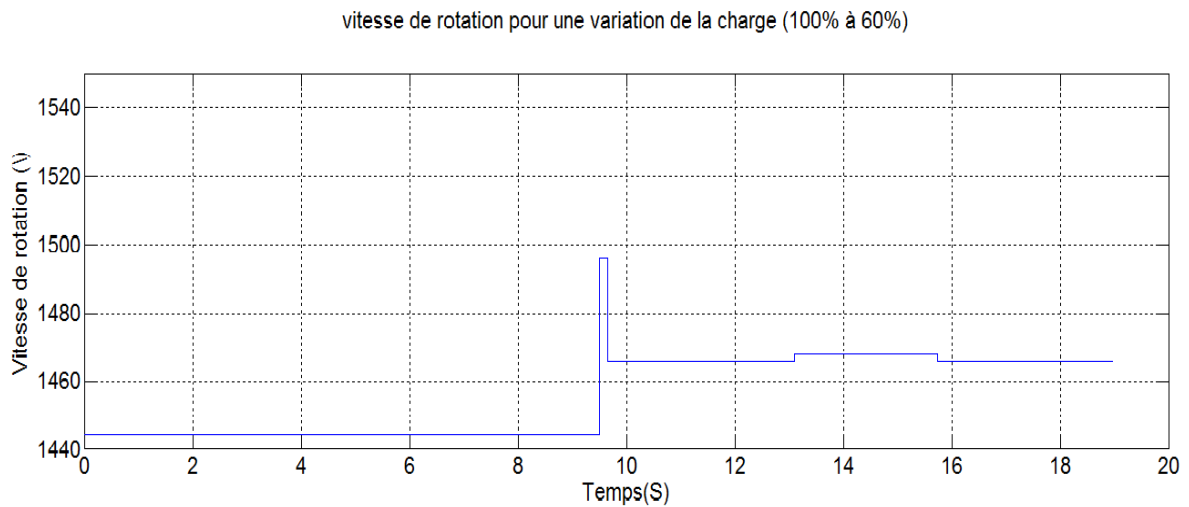


Fig. II.11. vitesse estimée pour 100% - 60% de la charge

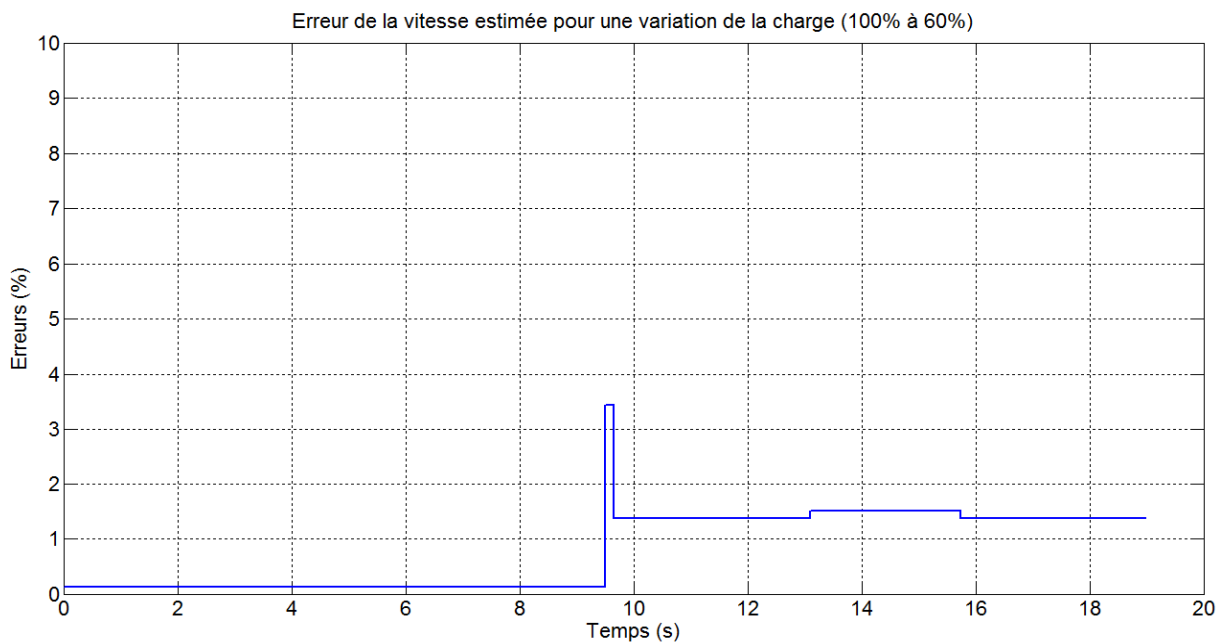


Fig. II.12. Erreur de vitesse estimée pour 100% à 60% de la charge

Les figures (II.11.), (II.12.) montrent que l'algorithme proposé a l'aptitude d'estimer et de suivre la valeur de la vitesse de rotation. On remarque que l'erreur d'estimation est de très petites valeurs.

Pour 100% 20% de la charge :

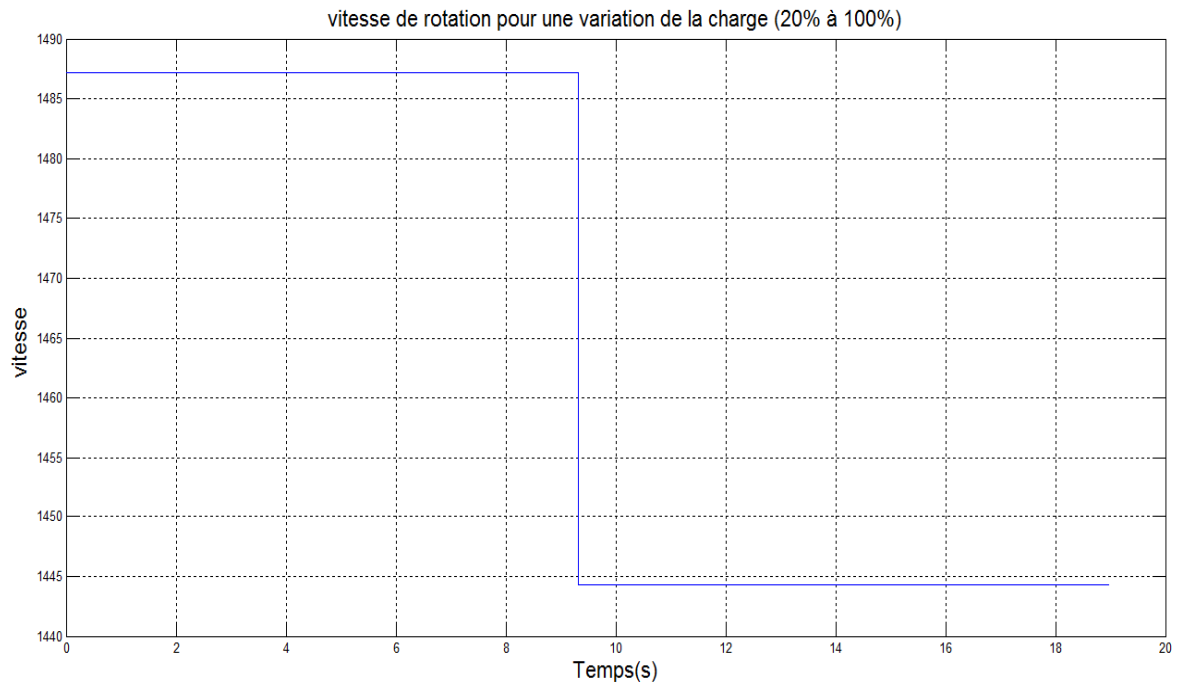


Fig. II.13. vitesse estimée pour 20% - 100% de la charge

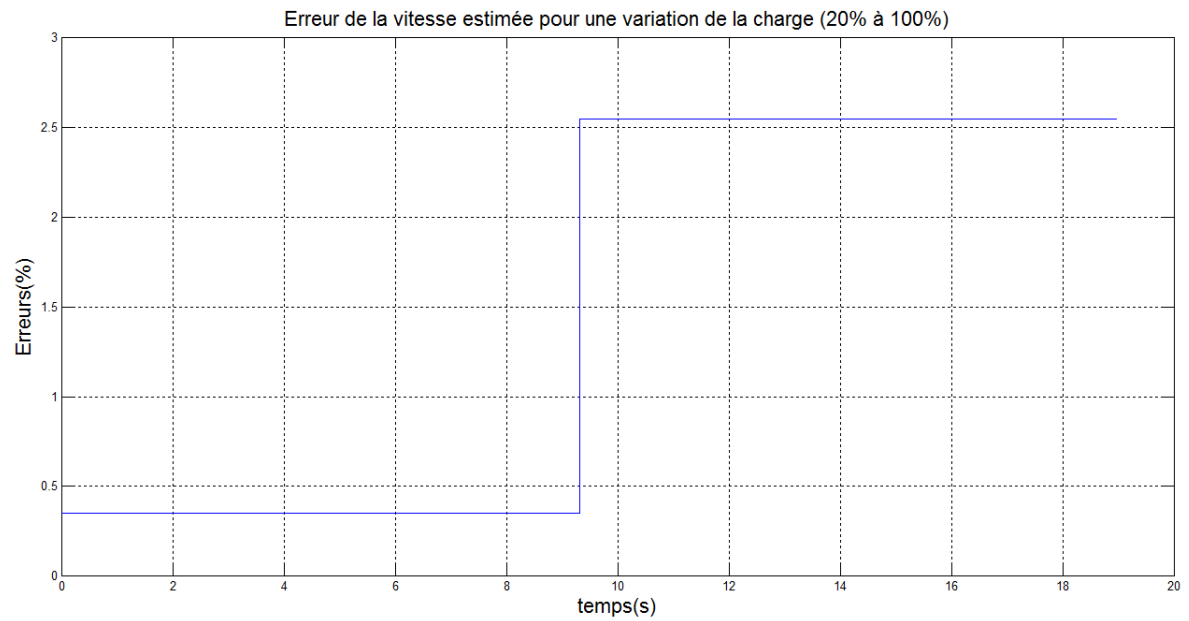


Fig. II.14. Erreur de vitesse estimée pour 20% - 100% de la charge

Les figures (II.13.), (II.14.) montrent que l'algorithme proposé a l'aptitude d'estimer et de suivre la valeur de la vitesse de rotation. On remarque que l'erreur d'estimation est de très petites valeurs

II.6.2. Cas de variation brusque de la fréquence :

Pour fréquence 40Hz a 20Hz

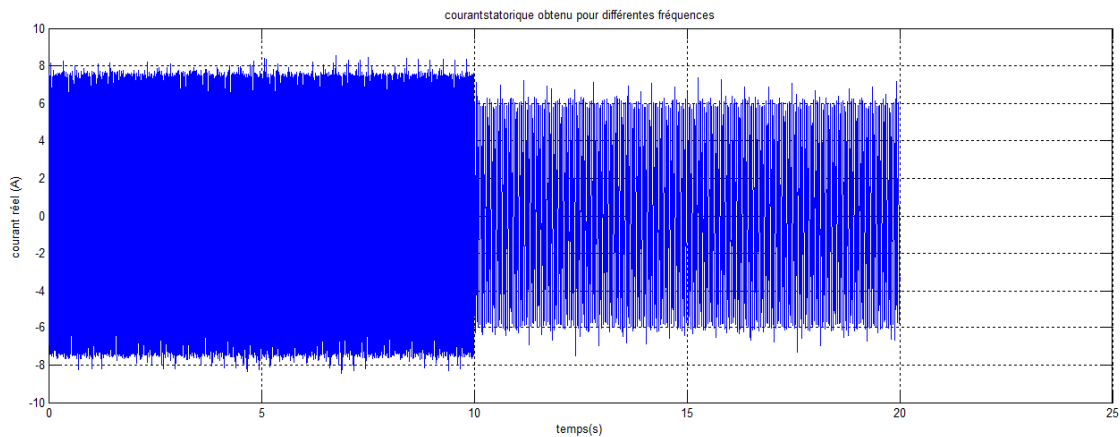


Fig. II.15. L'allure temporelle du courantstatorique obtenu pour différentes fréquences d'alimentation.40Hz a 20Hz

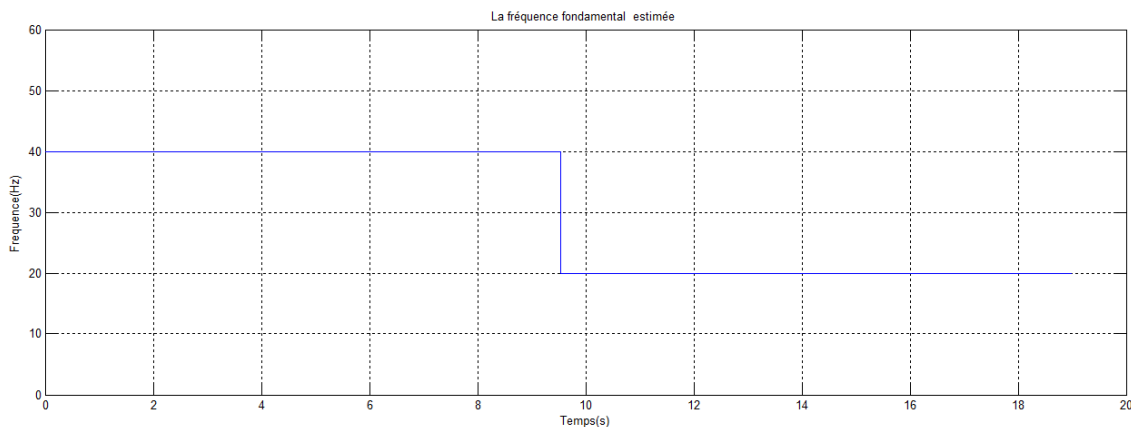


Fig. II.16. fréquence d'alimentation estimée pour une variation brusque de 40Hz a 20Hz

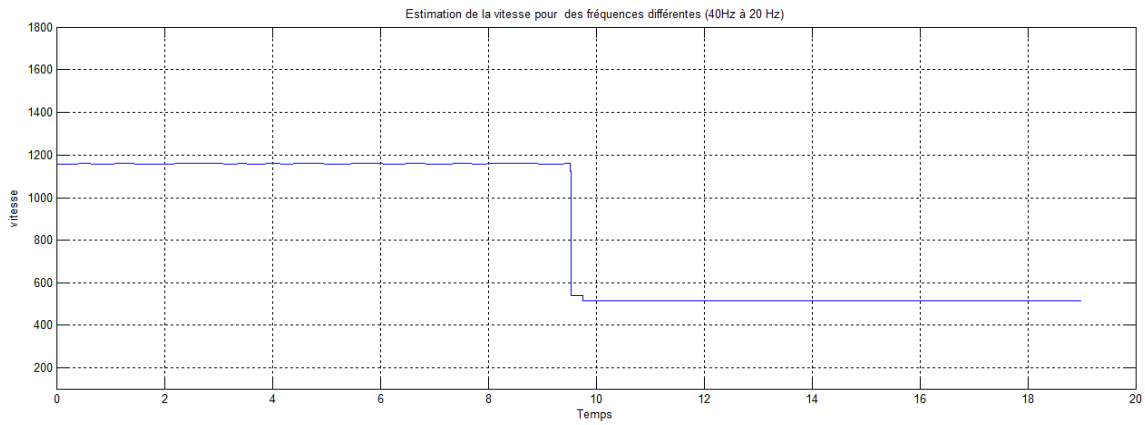


Fig. II.17. Estimation de la vitesse pour des fréquence 40Hz a 20Hz

La figure II.24 représente la fréquence d'alimentation estimée. On remarque que l'algorithme suit parfaitement l'évolution et les variations imposées sur la fréquence d'alimentation.

Pour fréquence 30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz

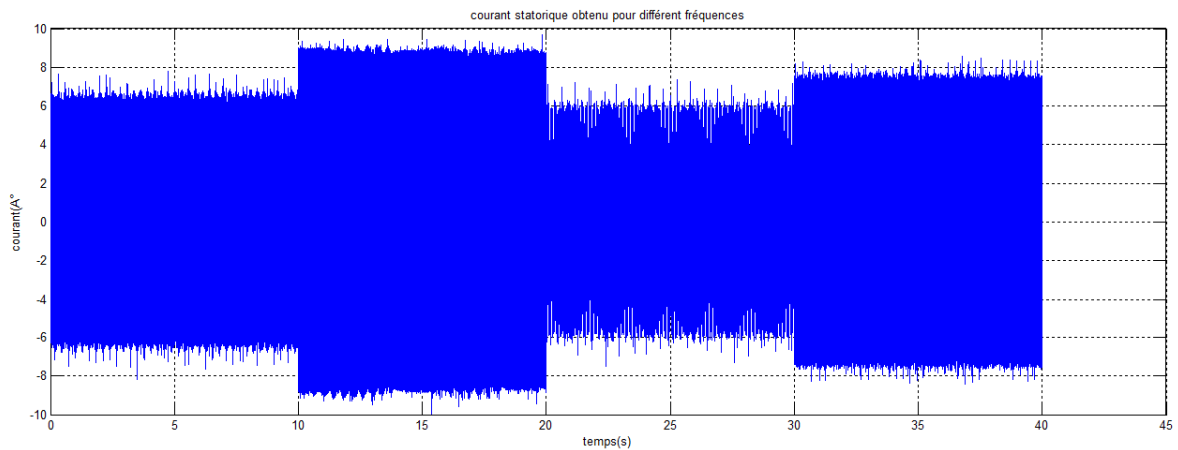


Fig. II.18. L'allure temporelle du courant statorique obtenu pour différentes fréquences d'alimentation. 30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz

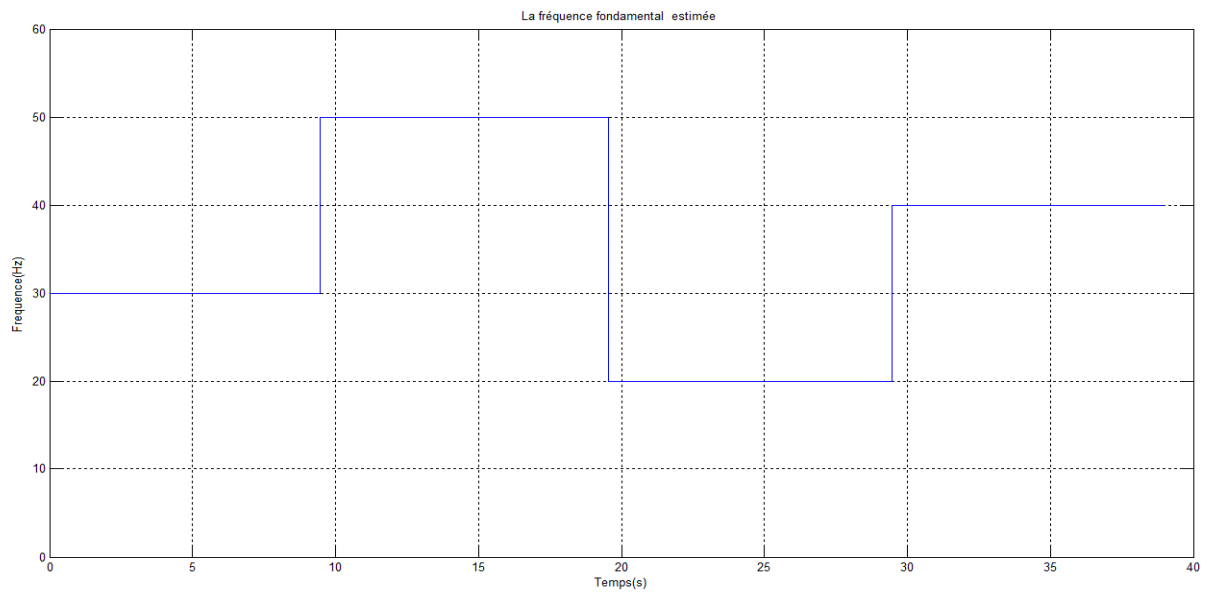


Fig. II.19. la fréquence de vitesse estimer pour une variation de fréquence (30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz)

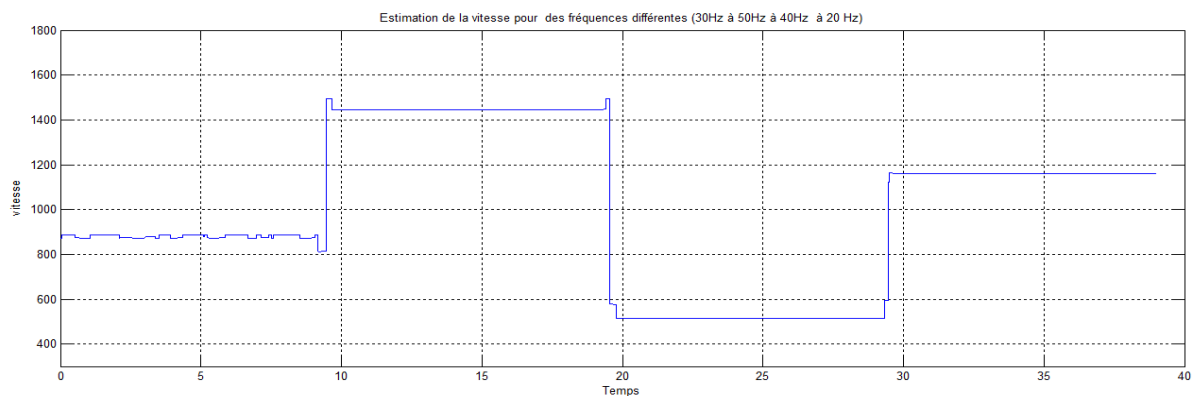


Fig. II.20 . Estimation de vitesse estimer pour une variation de fréquence (30Hz a 50Hz a 40Hz a 20Hz)

La figure II.21 représente la fréquence d'alimentation estimée. On remarque que l'algorithme suit parfaitement l'évolution et les variations imposées sur la fréquence d'alimentation.

II.7. Conclusion :

Ce chapitre présente une technique d'estimation de la vitesse du rotor pour les moteurs asynchrones. L'algorithme développé à cet effet, utilise la première fréquence de PSH pour

Chapitre II : Etudes expérimentales d'estimation de la vitesse d'un MAS

calculer la vitesse du moteur. Le défi était de savoir comment détecter cet harmonique pour différentes conditions de fonctionnement.

CONCLUSION

Générale

CONCLUSION GENERALE :

Dans ce projet on a fait une étude sur l'estimation de la vitesse d'un moteur asynchrone en appliquant la méthode analyse spectrale par FFT. En fait, ce mémoire a été divisé en deux chapitres :

Dans le premier chapitre on a fait généralise sur les moteurs asynchrone après on a vu la méthode de FFT et on a appliqué cette méthode sur le courant statorique pour explorer leur contenu spectrale par un algorithme de MATLAB et on a exploré quatre familles d'harmoniques (TH, RSH, EFH, RBFH), mais seulement RSH, EFH et RBFH ils ont relation avec la vitesse de rotation, nous faisons les études sur l'harmonique RSH parce que il contient l'harmonique principale d'encoche rotorique PSH pour nous donner un bon estimation de la vitesse.

Dans le deuxième chapitre, on a appliqué cet algorithme aux les signaux stationnaires et nous donnons un bon résultat mais pour les signaux non stationnaire cas variation de la charge ou bien la fréquence l'algorithme ne peut plus fonctionner correctement, pour résoudre ce problème nous avons utilisé FFT a fenêtre glissante avec $n=10000$ échantillons. Les résultats obtenus montrent que l'algorithme estime et suit la valeur de la vitesse de rotation avec une précision acceptable.

Bibliographie

Bibliographie ;

- [1] Chekima Djamel, «Commande d'une Machine Asynchrone par Logique Floue», Mémoire master, Université d'EL-Oued, 2014.
- [2] Gherbi Allel Et Abbad Abdellah, «Commande D'un Moteur Asynchrone Par La Logique Floue Adaptative», mémoire master, Université de Bouira, 2018.
- [3]: Cherier.F, Amade. G, « Modélisation en vue du diagnostic des défauts dans une machine Asynchrone » mémoire d'Ingénieur d'Etat, Université M'hamedBougara-Boumerdès, 2009.
- [4]E. Gaucheron, «Les moteurs électriques... pour mieux les piloter et les protéger», <http://www.schneider-electric.com>,avril2018
- [5] O'Donnell P., "Report of large motor reliability survey of industrial and commercial Installations, Part 1", IEEE Transaction on Industrie Applications, Vol. 21(4), pp. 853 – 864, July/August 1985.
- [6] "Présentation des avaries. Machines électriques tournantes" Cahier des Préventions. CP2, Allianz, 1988.
- [7] Ondel O., «Diagnostic par reconnaissance des formes : Application a un ensemble Convertisseur – machine asynchrone» Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2006.
- [8] Thorsen O. V. and Dalva M., "A survey of fault on induction motors in offshore oil Industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries" IEEE Transactions on Industrie Applications, Vol.31(5), pp. 1186-1196, Septembre 1995.
- [9]medoued ammar «surveillance et diagnostic des defauts des machines electriques : applications aux moteurs asynchrones », memoire master, universite du 20 aout 1955-skikda, 2012.
- [10]<https://tiptopboards.com/215-capteur-de-vitesse-de-rotation-par-fourche-optique.html>
- [11] J.P. Caron, J.P.Hautier, « Modélisation et Commande de MAS », Edition Technique, 1995.
- [12]F. Blaschke, « The principle of field orientation as applied to the new transvector closed Loop control system for rotating-field machines », Siemens Review, xxxix, n°5 pp. 217-220,1972.
- [13]R. Imad, « Contribution à la commande sans capteur de la machine asynchrone», DocteurDe l'Université Henri Poincaré, Nancy-I en Génie Electrique 2004.
- [14]G. Blasco, R.Asher, Sumner.M, Bradley.K « Dynamic performance limitations for MRAS based sensorless induction motor drives. Part 2: Online parameter tuning and dynamic Performance studies », IEE Proceedings of Electric Power Applications, vol.143, no.2, pp. 123 -134, Mar. 1996.
- [15]R. Cárdenas, Peña.R, Proboste.J, Asher.G, Clare.J « MRAS Observer for Sensor less Control of Standalone Doubly Fed Induction Generators », IEEE Transactions onEnergy Conversion, Vol. 20, no. 4, pp. 710- 718, Dec 2005.
- [16] Mi. Comanescu, Xu.L « Sliding-Mode MRAS Speed Estimators for Sensor less vector Control of Induction Machine », IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, no. 1,pp. 146- 153, February 200

- [17] C. Schauder, « Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers », Proceeding of IEEE-IAS 1989 Annual Meeting, vol. 1, pp. 493 – 499, 1– 5 Oct. 1989.
- [18] C. Schauder, «Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers », IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 28, no. 5, pp. 1054 – 1061, Sept./Oct. 1992
- [19]S. Tamai, «Speed sensorless vector control of induction motor with model reference adaptive system », Proceeding of IEEE/ZAS Annu. Meet pp. 189-195 1987.
- [20]Melle Atig Mebarka, «Différentes Structures MRAS pour l’Estimation de la vitesse du Moteur Asynchrone»,Diplome De Magister, universityoran.
- [21]Abdelkader Mellakhia, Noureddine Benouzzab, Azzedine Bendiabdellah,«Analyse spectrale du courant statorique pour détecter les cassures de barres dans les moteurs asynchrones triphasés à cage en tenant compte des harmoniques»,university chlef 2010
- [22]M. Sahraoui " Contribution au Diagnostic d'une Machine Asynchrone Triphasée à Cage"Mémoire de Magistère, Université de Biskra, Algérie, 2003.
- [23]G. Didier, "Modélisation et diagnostic de la MAS en présence de défaillance" Thèse de doctorat, 2004, Université D’Henri Poincaré, Nancy-I, France.
- [24]S. Emmanuel, "Diagnostic des MAS : Modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts ",Thèse de doctorat,1999,Ecole central de Nantes France.
- [25]Lounissi Bachir,Benzaouihaythem "L’utilisation de la méthode de PRONY pour la détection des défauts de court-circuit enter spires dans la MAS" Memoire de master, universitybiskra, 2020.
- [26][http://www.traitement-signal.com/echantillonnage_\(signal\).php](http://www.traitement-signal.com/echantillonnage_(signal).php)
- [27] M. BEDOUHENE, K.TABANI « les méthodes de débruitage du signal de parole », Mémoire d’ingénieur en électronique UMMTO 2007/2008.
- [28] Khabouri Houssam Eddine «Estimation de la vitesse d’un MAS par l’analyse spectrale des courants statoriques», Mémoire MASTER UNIV BISKRA 2015
- [29]M. Sahraoui " Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des MachinesAsynchrones ", La these de doctorat, Université de Biskra, Algérie, 2010.
- [30] : mémoire houssam Achour Etude comparative des indicateurs des défauts rotoriques dans les MAS à cage, [2014].