

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : Machines Electriques

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

*Etude de la méthode de prony et son
application dans le domaine de
diagnostic*

Présenté par :
Barbari Rachdi
Soutenu le : 04 Juin 2015

Devant le jury composé de :

• Mr. Yahia Khaled	M.C.A	Président
• Mr. SAHRAOUI Mohamed	M.C.A	Encadreur
• Mr. GHOGGAL Adel	M.C.A	Examineur

Année universitaire : 2014 / 2015



REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du département de Génie Electrique d'Université Mohamed Khider Biskra.

J'adresse mes respectueux remerciements à :

- Monsieur SAHRAOUI Mohamed, notre Promoteur qui nous avoir confié ce projet et dirigé dans son élaboration jusqu'au bout.*
- Tous les membres de jury qui nous ont l'honneur de juger notre travail.*
- Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation pendant les cinq années.*



DEDICACE

Je dédie ce projet à :

En signe de respect et de reconnaissance aux

Personnes les chères

Mon père et Ma mère

A mes frère: lazhar, hamza, mahmoud, ammar

A mes sœurs : fahima, djamila

A mon neveux : iyyed, loudjine

A toute la famille barbari.

A tous mes amis.

A tous mes collègues surtout étudiants Master 2 Machine électrique.

Rachdi

LISTE DES TABLEAUX

Tab. II.1. Présentation d'amplitude et fréquence par la méthode de prony et FFT.

Tab. II.2. Une erreur moyenne relative de la SNR=10 et N variable sur la fréquence et l'amplitude.

Tab. II.3. Une erreur moyenne relative de la SNR=25 et N variable sur la fréquence et l'amplitude.

Tab. II.4. Une erreur moyenne relative de la SNR=50 et N variable sur la fréquence et l'amplitude.

LISTE DES FIGURES

- Fig. I.1.** Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.
- Fig. I.2.** Vue schématique en perspective du stator (circuit magnétique, conducteurs d'encoches, tête de bobines). (Enroulement statorique d'une machine a 4 pôles).
- Fig. I.3.** Photo du stator d'une machine asynchrone.
- Fig. I.4.** Vue schématique en perspective du rotor (tôles magnétiques, conductrices d'encoches (barres) et anneaux de court-circuit.
- Fig. I.5.** Photo du rotor d'une machine asynchrone.
- Fig. I.6.** Classification des défauts selon leurs origines.
- Fig. I.7.** Défaut de cassure de barres dans le rotor à cage d'écureuil (1 barre cassée).
- Fig. I.8.** Proportion des défauts.
- Fig. II.1.** Signal généré.
- Fig. II.2.** Spectre du signal généré.
- Fig. II.3.** Méthode de prony à Fenêtre glissante.
- Fig. II.4.** Signal généré simple.
- Fig. II.5.** Spectre du signal généré simple.
- Fig. II.6.** Fréquence estimée par la méthode de PFG.
- Fig. II.7.** Amplitude estimée par la méthode de PFG.
- Fig. II.8.** L'allure temporelle du signal généré à trois composantes.
- Fig. II.9.** L'allure temporelle de spectre du signal généré à trois composantes.
- Fig. II.10.** Fréquences estimées et leurs erreurs d'estimation.
- Fig. II.11.** Amplitude estimées et leurs erreurs d'estimation.
- Fig. II.12.** L'allure temporelle du signal générique à trois composants sans bruit.

Fig. II.13. L'allure temporelle du signal sans bruit à trois composantes et trois degrés..

Fig. II.14. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=50 et N=50.

Fig. II.15. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=50 et N=100.

Fig. II.16. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=50 et N=200.

Fig. II.17. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=10 et N=50.

Fig. II.18. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=10 et N=100.

Fig. II.19. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=10 et N=200.

Fig. II.20. Le banc d'essai expérimental.

Fig. II.21. Rotors utilisés pour les différents essais.

Fig. II.22. Signal réel de 0 barre casse.

Fig. II.23 signal réel de 2 barre casse.

Fig. II.24. Spectre du Signal réel à l'état sain.

Fig. II.25. Spectre du Signal réel à l'état 2 barre cassé.

Fig. II.26. Les courbes de l'amplitude et la fréquence de 0 barre cassée.

Fig. II.27. Les courbes de l'amplitude et la fréquence de 2 barres cassées.

LISTE DES ABREVIATIONS

A_k : Amplitude.

f_k :Fréquence.

α_k :Coefficient d'amortissement.

φ_k : Angle de phase.

$\beta(t)$: Signal de bruit.

h_k : Les paramètres complexes

z_k : Les racines

a_k : Coefficients d'équation de différence homogène

p : L'ordre du modèle

N : Nombre d'échantillonnage.

f_e : La fréquence d'échantillonnage.

T_a : Le temps d'acquisition.

N_e : Le nombre des échantillons.

Δf : La résolution fréquentielle.

f_s : Fréquence fondamentale.

$(1 - 2kg)f_s$: Les harmoniques de fréquence.

$(1 + 2kg)f_s$: Les harmoniques de fréquence.

$\epsilon[n]$: L'erreur d'approximation.

T_s : La période d'échantillonnage.

SOMMAIRE

Liste des Tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	IV
Résumés.....	
Sommaire	VI
Introduction générale	VIII

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART

I.1. INTRODUCTION	Erreur ! Signet non défini.
I.2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE.....	Erreur ! Signet non défini.
I.2.1. Moteur Asynchrone (MAS)	Erreur ! Signet non défini.
I.2.2. Le stator	Erreur ! Signet non défini.
I.2.3. Le rotor à cage	Erreur ! Signet non défini.
I.2.4. Les organes mécaniques	Erreur ! Signet non défini.
I.3. PRESENTATION DES DIFFERENTES DEFAILLANCES DU MOTEUR ASYNCHRONE A CAGE D'ECUREUIL.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.1. Défaillances des machines électriques	Erreur ! Signet non défini.
A. Interne.....	Erreur ! Signet non défini.
A.1. Mécanique.....	Erreur ! Signet non défini.
A.2. Electrique	Erreur ! Signet non défini.
B. Externe	Erreur ! Signet non défini.
B.1. Mécanique	Erreur ! Signet non défini.
B.2. Electrique.....	Erreur ! Signet non défini.
B.3. Environnementale.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2. Défaillances au rotor	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.1. Ruptures de barres.....	Erreur ! Signet non défini.
A. Causes des défauts rotorique	Erreur ! Signet non défini.

B. L'effet de cassures de barres	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.2. Excentricité statique et dynamique	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3. Défaillances mécaniques (Défauts de roulements)	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3. Défaillances au stator	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4. Autres défaillances mécaniques.....	Erreur ! Signet non défini.
I.4. ETUDES STATISTIQUES	Erreur ! Signet non défini.
I.5. LES METHODES DE DETECTION DES DEFAUTS DANS LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES A CAGE	Erreur ! Signet non défini.
I.5.1. Approche signal	Erreur ! Signet non défini.
I.5.2. Méthodes basées sur un modèle.....	Erreur ! Signet non défini.
I.5.3. approche d'intelligence artificielle (IA).....	Erreur ! Signet non défini.
I.6. CONCLUSION.	Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE II : Etude et Applications de la méthode de Prony.

II.1. INTRODUCTION.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2. LES METHODES D'ESTIMATION D'HARMONIQUES.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3. LA METHODE DE PRONY CLASSIQUE.....	Erreur ! Signet non défini.
II.4. APPLICATION SUR UN SIGNAL GENERE.....	Erreur ! Signet non défini.
II.5. ALGORITHME DE PRONY A FENETRE GLISSANTE (PFG).....	Erreur ! Signet non défini.

II.5.1 Application sur un signal génère simple.....	Erreur ! Signet non défini.
II.5.2. Application sur un signal génère compliqué.....	Erreur ! Signet non défini.
II.5.3. Effet du bruit sur les résultats.....	Erreur ! Signet non défini.
II.6. APPLICATION SUR LES SIGNAUX REELS.....	Erreur ! Signet non défini.
II.7.CONCLUSION.....	E
Conclusion générale.....	X
Bibliographie.....	XI

Introduction générale

La machine asynchrone occupe maintenant une grande place dans les applications industrielles. On la rencontre dans les endroits les plus divers, de l'éolienne à des applications militaires, dans la propulsion électrique de véhicules, de tramways, de trains à grande vitesse voire même de bateau. La croissance de ce type de machine électrique, essentiellement due à sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et de fabrication, sa robustesse mécanique ou encore sa quasi-absence d'entretien.

Malgré le fait que cette machine soit réputée pour être la plus robuste des machines électriques, un certain nombre de contraintes de différentes natures peuvent affecter la durée de vie de celle-ci en faisant apparaître des pannes au niveau du stator et du rotor. Ces pannes occasionnent des pertes économiques considérables. Leur défaillance peut donc entraîner de graves conséquences sur la sécurité des matériels et des personnes surtout dans le cas où cette défaillance de l'entraînement électrique conduit à un arrêt intempestif de processus éminemment critiques.

Il est donc important de développer des outils et des techniques permettant de diagnostiquer l'état de la machine. Ces outils et techniques de diagnostic sont basés sur la détection de la signature des défauts dans les grandeurs mesurables habituelles dans l'industrie (grandeurs électriques statorique).

L'analyse par traitement du signal des grandeurs de ligne (courant, tension et puissance) peut donner une image réelle sur les déséquilibres qui se produisent dans la machine ; Cette analyse est basée sur des techniques telles que : l'analyse de Fourier, de Hilbert, la transformée rapide de Fourier et la méthode de Prony.

Le travail présenté dans ce mémoire est articulé autour de deux chapitres :

- Dans le premier chapitre : nous présentons dans un premier temps les éléments de constitution de la machine asynchrone en précisant les différents défauts pouvant survenir sur chacun d'eux (causes et conséquence)
- Dans le deuxième chapitre : Nous présenterons les principes d'estimation des harmoniques par la méthode Prony

I.1. INTRODUCTION

Le moteur asynchrone est la machine la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures à quelques kilowatts car il présente de nombreux avantages tels que sa puissance massique, sa robustesse, sa facilité de mise en œuvre, son faible coût, etc....

L'apparition dans les années 1980 des variateurs permettant de faire varier la fréquence de rotation dans une large gamme a grandement favorisé son développement. En effet, il entre dans la conception de nombreux procédés industriels associant des convertisseurs statiques et des machines électriques (traction électrique, laminoirs, levage, pompage, etc....).

Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. Ainsi, en raison des conséquences importantes et coûteuses que peut engendrer l'apparition d'un défaut sur les processus industriels, le diagnostic des défauts fait l'objet d'un engouement prononcé depuis les deux dernières décennies.

I.2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

I.2.1. Moteur Asynchrone (MAS)

La machine asynchrone, souvent appelée machine 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'écureuil. Toutefois, nous admettrons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous nous intéressant à la machine asynchrone à cage d'écureuil.

Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil sont illustrés dans la Figure (I.1).

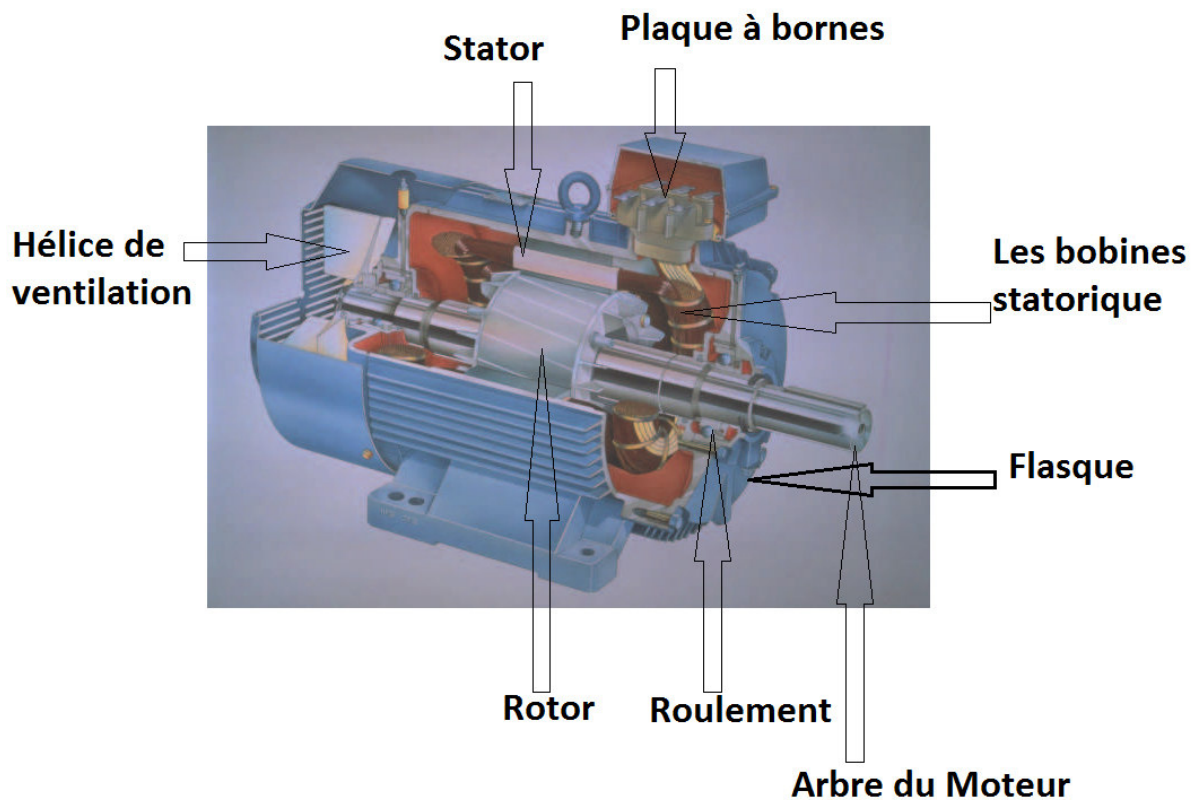


Fig. I.1. Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil. [2]

I.2.2. Le stator

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine Figure (I.3).

Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines.

Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique.

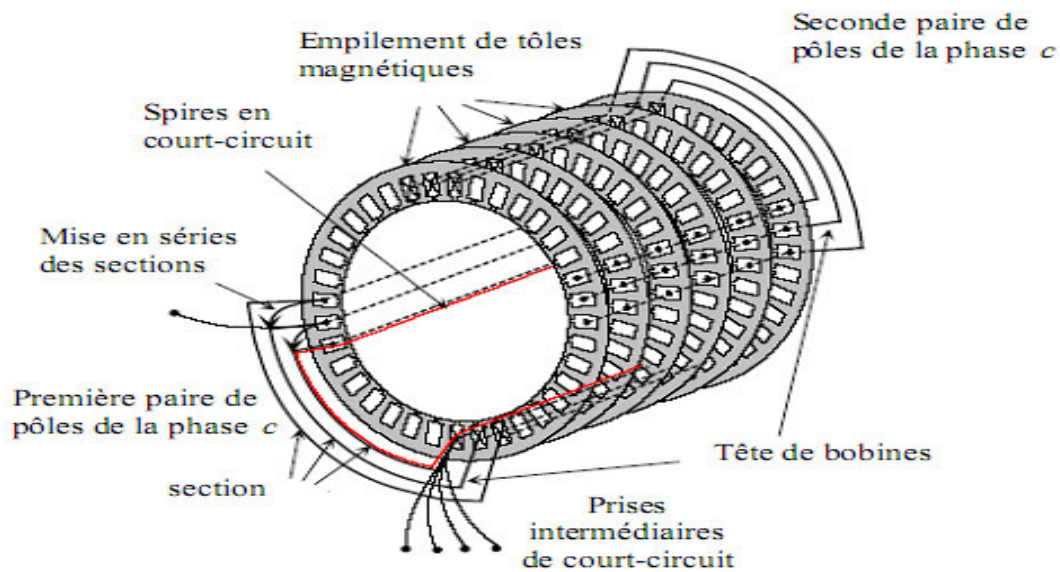


Fig. I.2. Vue schématique en perspective du stator (circuit magnétique, conducteurs d'encoches, tête de bobines). (Enroulement statorique d'une machine à 4 pôles).

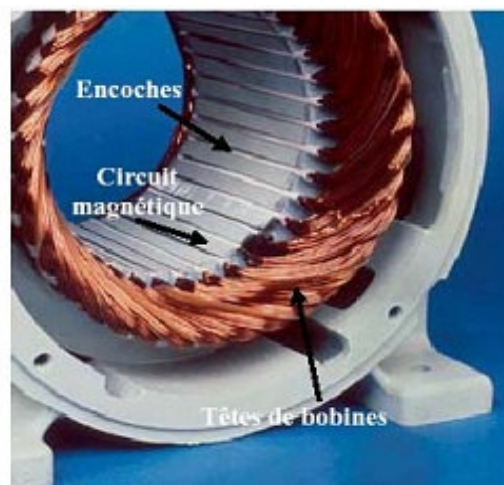


Fig. I.3. Photo du stator d'une machine asynchrone.

I.2.3. Le rotor à cage

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barres rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor Figure (I.4) et Figure (I.5). Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Dans le cas de rotors à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettés dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre.

Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus simple à construire que le moteur à rotor bobiné et, de ce fait, son prix de revient est inférieur. De plus, il dispose d'une plus grande robustesse. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service.

Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

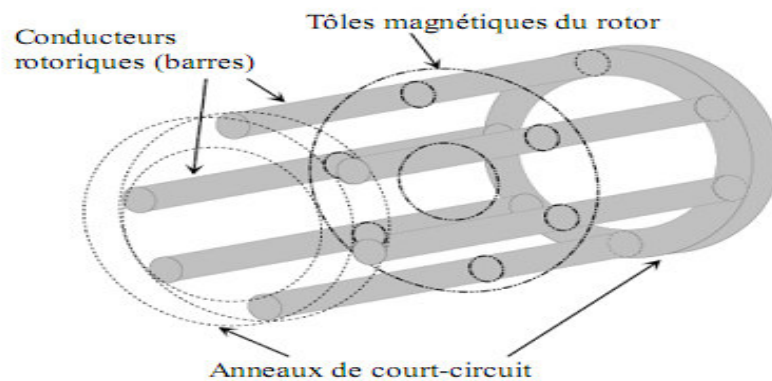


Fig. I.4. Vue schématique en perspective du rotor (tôles magnétiques, conductrices d'encoches (barres) et anneaux de court-circuit.

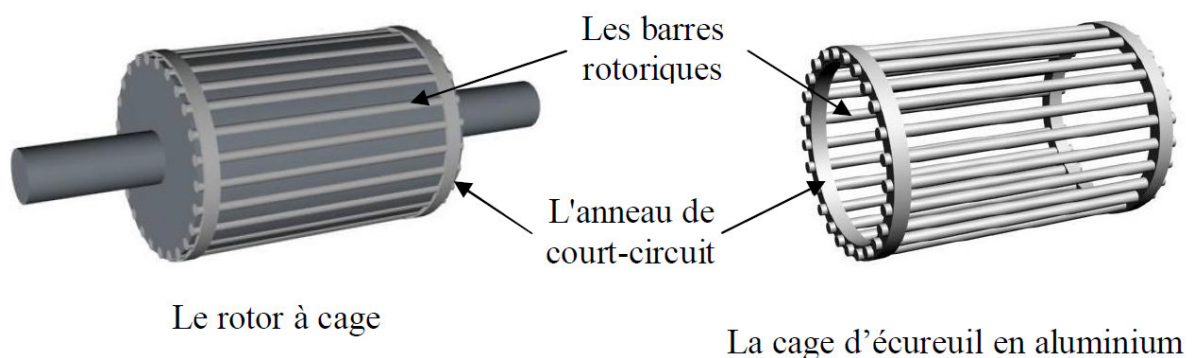


Fig. I.5. Photo du rotor d'une machine asynchrone. [3]

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 et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Son dimensionnement est fonction des efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc...), des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges, des efforts de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire).

Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers 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 pour les machines de petite et moyenne puissance.

Afin d'assurer la variation de vitesse des moteurs électriques mais aussi la conversion de l'énergie, de nombreuses machines se voient associer un convertisseur. Ainsi, de nos jours, on trouve dans un grand nombre de procédés industriels, des associations entre des convertisseurs statiques et des machines électriques (pompage, levage,...). Cela permet de fournir aux moteurs des tensions et des courants de fréquence variable servant à commander la machine en couple ou en vitesse.

I.3. PRESENTATION DES DIFFERENTES DEFAILLANCES DU MOTEUR ASYNCHRONE A CAGE D'ECUREUIL

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

- 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 de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc.

Les machines électriques et les system d'entraînement sont soumis à de nombreux types de d défauts. Ces derniers peuvent être classés selon leurs causes en deux grandes familles

Les défauts à causes internes et les défauts à causes externes.

Les défauts externes sont provoqués par les tensions d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine. Les défauts internes sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques, bobinages du stator et du rotor, entrefer mécanique, cage rotorique, . . .)

I.3.1. Défaillances des machines électriques

A. Interne

A.1. Mécanique

- défaut de roulement.
- Contact entre le stator et le rotor.
- Excentricité statique ou dynamique.
- Mouvement des enroulements et des tôles.

A.2. Electrique

- Rupture des barres.
- Défaillance au niveau de l'isolation.
- Défaillance au niveau du circuit magnétique.

B. Externe

B.1. Mécanique

- Défaut de montage.
- Surcharge de la machine.
- Une charge oscillante.

B.2. Electrique

- Source de tension déséquilibrée.
- Fluctuation de la tension.
- Réseau bruité.

B.3. Environnementale

- Température.
- Humidité.
- Manque de propreté.

I.3.2. Défaillances au rotor

Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème :

- thermique (surcharge,...).
- électromagnétique (force en $B^2(t)$,...).
- résiduel (déformation,...).
- dynamique (arbre de transmission,...).
- mécanique (roulement,...).
- environnemental (agression,...).

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit :

- Rupture de barres.
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit.
- Excentricité statique et dynamique.

I.3.2.1. Ruptures de barres

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine.

Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées.

A. Causes des défauts rotorique

Comme pour le stator, les raisons pour les cassures des barres rotoriques et de rupture d'une portion d'anneau de court circuit sont nombreuses:

- Effort thermique due à l'échauffement de l'anneau du court-circuit et la différence de la température dans la barre pendant le démarrage (effet de peau).
- Effort dynamique du au couple de charge, aux forces centrifuges ainsi que les efforts cycliques.
- Effort environnementale causses par la contamination, l'abrasion des matériels rotoriques due aux particules chimiques.

B. L'effet de cassures de barres

La cassure de barres est un des défauts les plus fréquents au rotor. La détérioration des barres entraîne une augmentation de la résistance rotorique, diminution de la résistance statorique et réduction dans la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmentation d'amplitude des oscillations. L'effet de la cassure de barres croît rapidement avec le nombre de barres cassées. La grande amplitude des oscillations accélère la détérioration de la machine et des composants de la chaîne de traction.

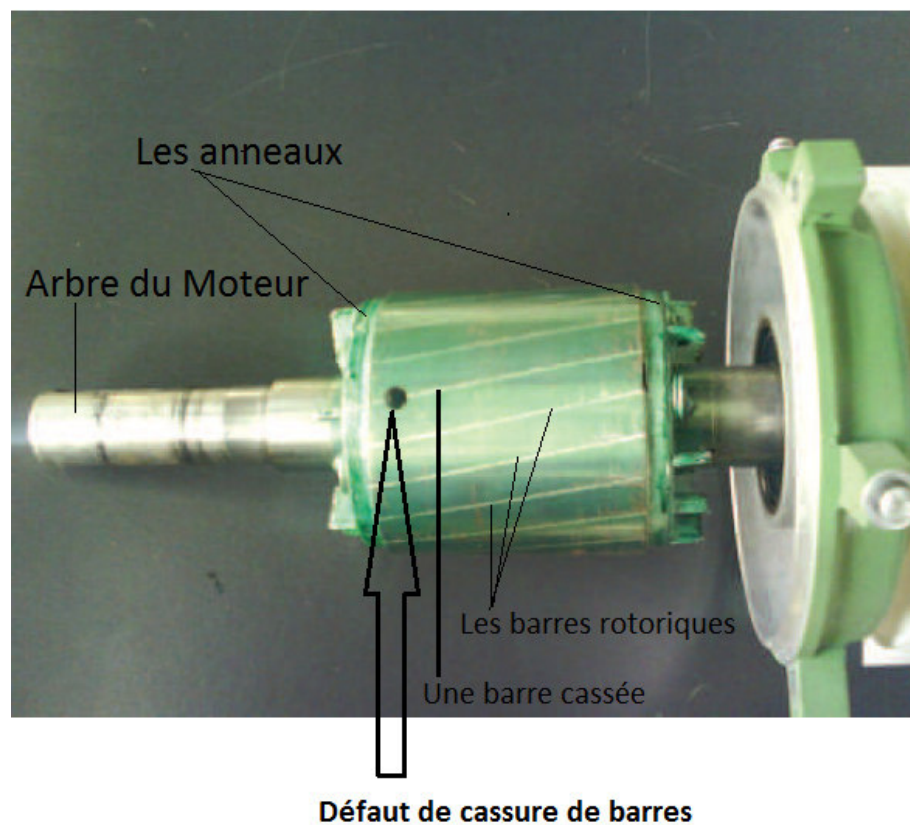


Fig. I.6. Défaut cassure de barres dans le rotor à cage d'écureuil (1 barre cassée). [2]

I.3.2.2. Excentricité statique et dynamique

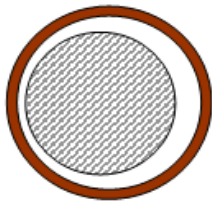
Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor).

Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage).

Trois cas d'excentricité sont généralement distingués :

- l'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.
- l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- l'excentricité qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités.

On peut représenter l'excentricité statique et dynamique de la manière suivante :



Excentricité statique



Excentricité dynamique

(Plusieurs positions du rotor au cours de la rotation)

Fig. I.7. Modélisation schématique de l'excentricité statique et dynamique.

Ce défaut modifie le comportement magnétique ainsi que mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation.

- D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements.

I.3.2.3. Défaillances mécaniques (Défauts de roulements)

I.3.3. Défaillances au stator

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème :

- thermique (surcharge,...).
- électrique (diélectrique,...).
- mécanique (bobinage,...).
- environnemental (agression,...).

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit :

- défaut d'isolant.
- court-circuit entre spires.
- court-circuit entre phases.
- court-circuit phase/bâti.
- déséquilibre d'alimentation.
- défaut de circuit magnétique.

I.3.4. Autres défaillances mécaniques

Au stator, il n'y a pas de pièces mobiles donc a priori pas de défaillances mécaniques. Cependant, il peut apparaître des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement de la machine et plus précisément au taux de salinité qui influe sur l'étanchéité et les contacteurs.

La présence d'humidité ou de produits chimiques dans l'air ambiant peut détériorer la qualité de l'isolation et conduire à défaut d'enroulement. Le début de la dégradation entraîne des courants de fuites qui accélèrent la détérioration de l'isolant jusqu'au court-circuit franc. Une autre conséquence est la création de l'ozone et les oxydes d'azote qui peuvent se combiner avec l'humidité pour former de l'acide nitrique, qui détruit l'isolant.

I.4. ETUDES STATISTIQUES

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 200kW) a donné les résultats suivants Figure (I.8)

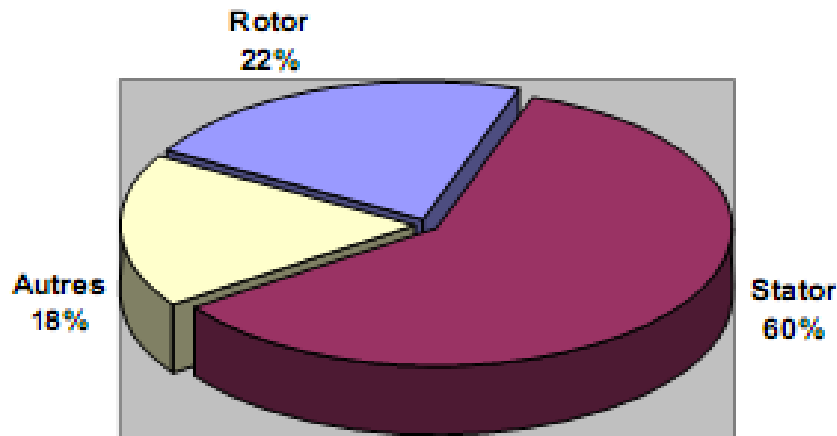


Fig. I.8. Proportion des défauts.

D'autre part, les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988, les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période

I.5. LES METHODES DE DETECTION DES DEFAUTS DANS LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES A CAGE

Il existe plusieurs méthodes de détection ou de diagnostic parce que le diagnostic a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance.

Généralement il existe trois approches : l'approche signal, approche modèle et approche de l'intelligence artificielle. [1]

I.5.1. Approche signal

Il faut analyser un certain nombre de signaux issus de la machine est le contenu spectral de ces signaux peuvent être exploités pour détecter les défauts de la machine, la principale technique utilisée dans cette méthode est comme suit : [1]

- **L'analyse des vibrations mécaniques**
- **L'analyse des flux**
- **L'analyse du couple électromagnétique**
- **L'analyse de la puissance instantanée**
- **L'analyse de vecteur de Park**
- **L'analyse des courants statoriques**

Cette technique a été largement utilisée dans les dernières années et connu sous le nom de MCSA (Motor Current Signature Analysis). Les recherches ont été particulièrement dirigées vers le spectre des courants statoriques pour deux raisons : Les courants sont faciles à mesurer, ils fournissent des informations sur de nombreux défauts. L'apparition ou la modification de l'amplitude des raies du spectre représente des défauts de la machine. Cette méthode ne s'applique actuellement qu'en régime permanent. Certains signaux rencontrés sur des processus industriels ne peuvent pas être analysés avec les outils classiques de traitement du signal soit, parce que la transformée de Fourier s'avère être inadaptée, soit parce que les hypothèses de stationnarité et d'ergodicité ne sont pas valables. Pour ces raisons, des méthodes particulières ont fait l'objet de développements spécifiques pour résoudre les problèmes des machines tournantes.

I.5.2. Méthodes basées sur un modèle

Le concept de cette méthode repose sur l'utilisation d'un modèle mathématique du système à surveiller. Pour cette raison, les méthodes utilisant la redondance analytique pour la surveillance sont appelées méthodes à base de modèle. Le principe de la surveillance utilisant un modèle peut être séparé en deux étapes principales la génération de résidus et la localisation des défauts. La première étape consiste à mettre au point un modèle du système. Une fois le modèle validé, la procédure de diagnostic en elle-même comporte trois phases:[1]

- La génération de résidus, grandeurs sensibles aux défauts.
- La détection de défauts éventuellement présents, par l'analyse des résidus.
- La localisation et l'identification du type de défaillance.

I.5.3. approche d'intelligence artificielle (IA)

L'intelligence artificielle (IA) est une branche de l'informatique qui traite la reproduction par la machine de certains aspects de l'intelligence humaine tels qu'apprendre à partir d'une expérience passée à reconnaître des formes complexes et à effectuer des déductions. [1]

Cette méthode présente plusieurs avantages parmi ces avantages :

- La simplicité dans la mise en œuvre, une fois préparées les règles d'expert.
- La robustesse face aux perturbations.
- La non nécessité de modélisation.
- l'insertion automatique des symptômes et la mémorisation de chaque nouvel acte.

Il y a plusieurs techniques dans cette méthode parmi ces techniques nous pouvons citer

- Logique floue.
- Reconnaissances des formes (RDF).
- Réseaux de neurones artificiels.

I.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présentés des notions très importantes en diagnostic, Dans un premier temps, après avoir rappelé succinctement la constitution du moteur asynchrone et représentations les différentes défaillances de le Moteur Asynchrone triphasés, Notre travail est consacré à l'étude (les causes et l'effet de cassures de barres, et défaut d'excentricité) dans la cage rotorique d'un moteur asynchrone.

Ensuite, nous avons exploré rapidement les différents techniques de diagnostic ont été brièvement présentées en se concentrant sur celles appartenant à l'approche signal (Analyse Spectrale du Courant Statorique). Il est à noter qu'il existe d'autres approches différentes à celles traitées dans ce chapitre, telle que les approches d'intelligence artificielle...

II.1. INTRODUCTION

Certains signaux rencontrés sur des processus industriels ne peuvent pas être analysés avec les outils classiques de traitement du signal soit, parce que la transformée de Fourier s'avère être inadaptée, soit parce que les hypothèses de stationnarité ne sont pas valables. Pour ces raisons, des méthodes particulières ont fait l'objet de développements spécifiques pour résoudre ces problèmes dans plusieurs applications.

Dans ce chapitre, nous allons citer brièvement quelques techniques d'estimation d'harmoniques puis, nous allons présenter en détail la méthode de Prony et ses applications pour l'estimation et le suivi des amplitudes/fréquences.

II.2. LES METHODES D'ESTIMATION D'HARMONIQUES

Dans presque tous les applications industrielles, les signaux traités sont toujours bruités, non sinusoïdaux et non stationnaires. La connaissance des amplitudes et fréquences des harmoniques, constituant ces signaux, est très importante pour plusieurs domaines tels que le diagnostic, la commande, le filtrage des signaux, l'estimation de la vitesse, ...

Dans la littérature, il existe un très grand nombre des techniques de traitement de signal qui peuvent répondre à ces besoins. Ces techniques se divisent en deux classes :

- a) Les méthodes non paramétriques : elles estiment les harmoniques directement du signal à travers des transformations spécifiques telles que : la transformé de Fourier rapide, la transformé d'Hilbert, la méthode des Ondelettes,...
- b) Les méthodes paramétriques : elles utilisent un modèle mathématique pour représenter le signal puis, elles estiment les paramètres de ce modèle à partir des échantillons disponibles. On peut citer : la méthode de Pesarenko, l'algorithme MUSIC (MULTiple Signal Classification), la méthode ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotation Invariance Technique), la méthode de Prony...

Dans ce mémoire, nous avons choisis d'étudier la méthode de Prony, puisqu'elle répond bien aux objectifs définis et elle permet d'estimer toutes la caractéristique des harmoniques à partir d'un petit nombre des échantillons.

II.3. LA METHODE DE PRONY CLASSIQUE

Cette méthode, remontant à 1795, connaît un regain d'intérêt d'une part grâce à l'évolution des moyens de calculs et d'autre part grâce à ses capacités à résoudre des problèmes dans les domaines où les méthodes classiques sont inefficaces.

La méthode de Prony classique est une technique de traitement de signal qui permet d'extraire les caractéristiques d'harmoniques en résolvant un ensemble d'équations non linéaires.

Supposant un signal $x(t)$ de N échantillons, la méthode de Prony exprime les données d'échantillonnage en une combinaison linéaire de P fonctions exponentielles complexes :

$$\hat{x}(n) = \sum_{k=1}^P h_k z_k^{n-1} \quad (\text{II.1})$$

$$\text{Avec: } h_k = A_k e^{j\varphi_k} \quad \text{et} \quad z_k = e^{(\alpha_k + j2\pi f_k)T_s}$$

Où T_s est la période d'échantillonnage. les paramètres du modèle A_k , f_k , φ_k , α_k et représentent respectivement l'amplitude inconnue, la fréquence, l'angle de phase et de facteur d'amortissement de la k^{th} composante. L'équation ci-dessus est une équation non linéaire qui peut être résolue en utilisant la méthode de Prony.

En fait, la méthode de Prony consiste à construire une équation de différence homogène et linéaire à coefficients constants (avec $a_0 = 1$):

$$\sum_{k=0}^p a_k x[n - k] = 0 \quad (\text{II.2})$$

Dans la méthode de Prony classique, le nombre d'échantillons de données disponibles est supposé être égal aux paramètres inconnus du modèle, par conséquent, l'équation de différence linéaire (II.2) peut être exprimée sous forme matricielle de la façon suivante:

$$X.A = -Y \quad (\text{II.3})$$

$$x = \begin{bmatrix} x[p] & \cdots & x[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x[2p-1] & \cdots & x[p] \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x[p+1] \\ \vdots \\ x[2P] \end{bmatrix}$$

Les paramètres a_k sont déterminés en résolvant (3). Ensuite, un polynôme caractéristique avec des racines z_k peut être formé en utilisant les paramètres de prédiction a_k comme suit:

$$F(z) = \sum_{k=0}^p a_k z^{p-k} \quad (\text{II.4})$$

Par conséquent, le facteur d'amortissement et la fréquence peuvent être déduits directement partir des racines de polynôme (II.4):

$$a_k = \frac{\ln|z_k|}{T_s} \text{ et } f_k = \frac{1}{2\pi T_s} \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}(z_k)}{\text{Re}(z_k)} \right]$$

Enfin, les racines z_k sont utilisées pour écrire les P équations de (II.1) sous une forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ z_1 & z_2 & \dots & z_P \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ z_1^{P-1} & z_2^{P-1} & \dots & z_P^{P-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ \vdots \\ h_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(1) \\ \vdots \\ x(P) \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

Les paramètres complexes h_k peuvent être déterminés en résolvant l'équation (II.5) et, par conséquent, l'amplitude et l'angle de phase (A_k , φ_k) peuvent être obtenues en utilisant les relations suivantes:

$$A_k = |h_k| \text{ et } \varphi_k = \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}(h_k)}{\text{Re}(h_k)} \right]$$

Il est à noter que la performance de la méthode de Prony classique devient instable en présence de bruit. Cela est dû au fait qu'il n'y a aucune erreur considérée dans le modèle. Cependant, le signal réel est toujours noyé dans le bruit. Pour prendre en considération cette situation, l'équation (1) devrait être modifiée pour la forme suivante:

$$x[n] = \hat{x}[n] + \varepsilon[n] = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{k-1} + \varepsilon[n] \quad (\text{II.6})$$

Où $\varepsilon[n]$ représente l'erreur d'approximation entre le signal réel $x[n]$ et celui estimé $\hat{x}[n]$. Cette erreur est supposée blanc et à distribution gaussienne. Le problème d'estimation de paramètre est basé donc sur la minimisation de l'erreur quadratique sur les N échantillons:

$$E = \sum_{n=1}^N |\varepsilon[n]|^2 = \sum_{n=1}^N |x[n] - \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1}|^2 \quad (\text{II.7})$$

Dans la pratique, le nombre des échantillons disponibles est supérieur au nombre des paramètres inconnus ($N > 2P$). Dans ce cas, l'équation aux différences linéaire (2) doit être modifiée comme suit:

$$\sum_{k=0}^P a_k x[n-k] = \varepsilon[n] \quad (\text{II.8})$$

Les N échantillons de données disponibles sont utilisés pour réécrire(II.8) sous une forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} x[P] & \cdots & x[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x[N-1] & \cdots & x[N-P] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_P \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x(P+1) \\ \vdots \\ x(N) \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

Le vecteur des paramètres inconnu a_k est choisi pour minimiser l'erreur quadratique totale de prédiction linéaire. La minimisation peut être résolue en utilisant la méthode des moindres carrés. En outre, l'estimation des paramètres complexes h_k est effectuée aussi par la méthode des moindres carrés. Dans ce cas, l'ensemble d'équations linéaires(5) devrait être modifié sous la forme compacte suivante:[5]

$$Z.H=C \quad (\text{II.10})$$

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ z_1 & \cdots & z_P \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_1^{N-1} & \cdots & z_P^{N-1} \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} h_1 \\ \vdots \\ h_P \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} x(1) \\ \vdots \\ x(N) \end{bmatrix}$$

II.4. APPLICATION SUR UN SIGNAL GENERE

L’algorithme de la méthode Prony classique est implanté sous l’environnement Matlab. Pour tester le fonctionnement de cette méthode, nous avons appliqué son algorithme sur un signal générique simple monocomposante. Ce signal est défini comme suit :

$$x(t) = 10. \sin(2\pi. 50. t) \tag{II.11}$$

La figure (II.2) représente l’allure temporelle et le spectre du signal généré d’amplitude 10A et de fréquence 50Hz.

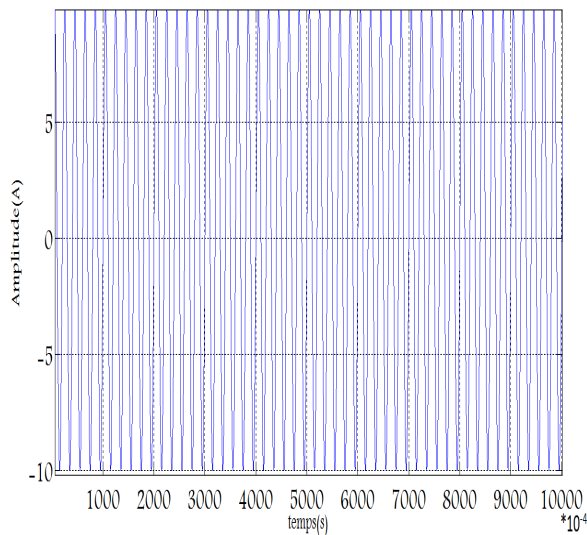


Fig. II.1. Signal génères.

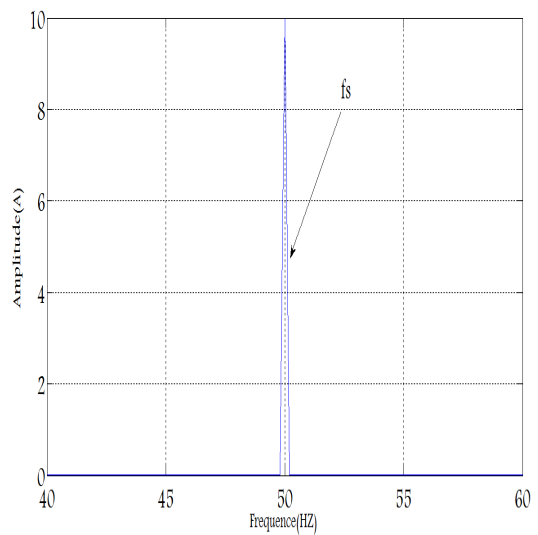


Fig. II.2. Spectre du signal génères.

		Valeur réelle	Valeur estimée	Erreur	Nombre de points utilisés
Méthode de Prony	Amplitude	10	10.000	0	7 Echantillons
	Fréquence	50	50.000	0	
Méthode de la FFT	Amplitude	10	10.000	0	5000 Echantillons
	Fréquence	50	50.000	0	

Tab. II.1.a présent l’amplitude et fréquence par la méthode de prony et FFT.

Le tableau (II.1) montre les résultats obtenus par l'application de la méthode de Prony et celle de la FFT. Il est nettement clair que la méthode de Prony estime, avec une grande précision, l'amplitude et la fréquence du signal générique. De plus, on remarque que la méthode de Prony est besoin seulement de 7 échantillons pour qu'il donne des résultats comparables à ceux obtenus par la FFT qui nécessite au moins 5000 échantillons.

II.5. ALGORITHME DE PRONY A FENETRE GLISSANTE (PFG).

Nous avons vus précédemment que l'application de l'algorithme de Prony, donne une seule information sur l'amplitude et la fréquence des harmoniques quelque soit le nombre des échantillons. Cependant, l'utilisateur veut toujours une information continue sur ces grandeurs. De plus, si le signal comporte des non-stationnarités, l'algorithme dans sa version initiale, ne peut plus fonctionner.

Pour résoudre ce problème, nous avons proposé d'appliquer l'algorithme de Prony sur une fenêtre glissante Fig. (II.3). Le choix de la taille de cette fenêtre est une tâche critique. En effet, l'augmentation de la taille de la fenêtre améliore la précision des résultats d'une part mais d'une autre part, elle augmente le temps de calcul. On doit donc trouver un compromis entre la rapidité et la précision. De plus, le pas de déplacement de la fenêtre a une grande influence sur la résolution temporelle. En fait, un pas très petit, permet de suivre les variations brusques qui peuvent se manifester lors de l'acquisition du signal.

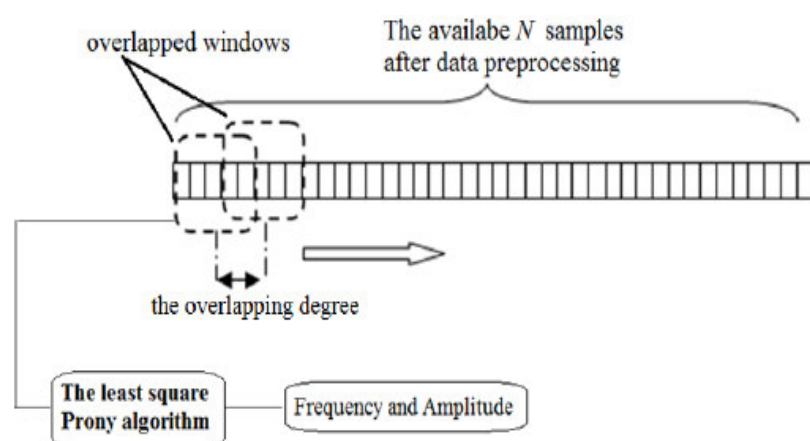


Fig. II.3. Méthode de Prony à fenêtre glissante.

II.5.1 Application sur un signal génère simple

Le même signal générique utilisé précédemment a été utilisé pour tester la méthode de Prony à fenêtre glissante. Nous avons choisit une fenêtre de 15 échantillons qui déplace d'un pas égal à 1 échantillon. L'ordre du modèle est choisi toujours à P=3 car on a seulement un harmonique à estimer.

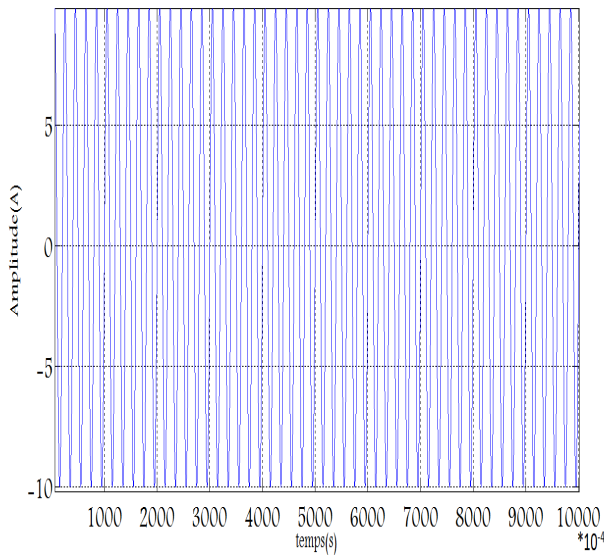


Fig. II.4. Signal génère simple.

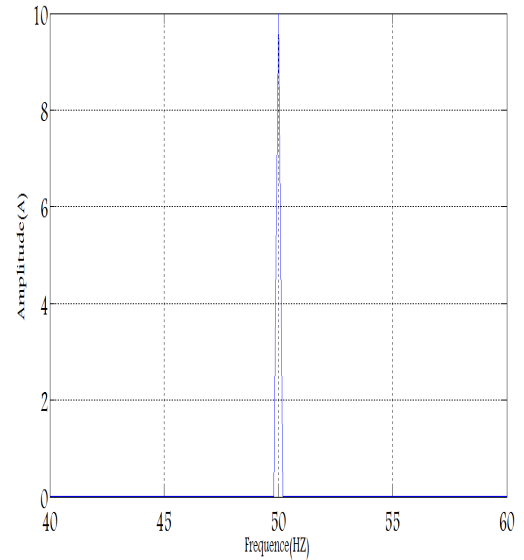


Fig. II.5. Spectre du signal génère simple.

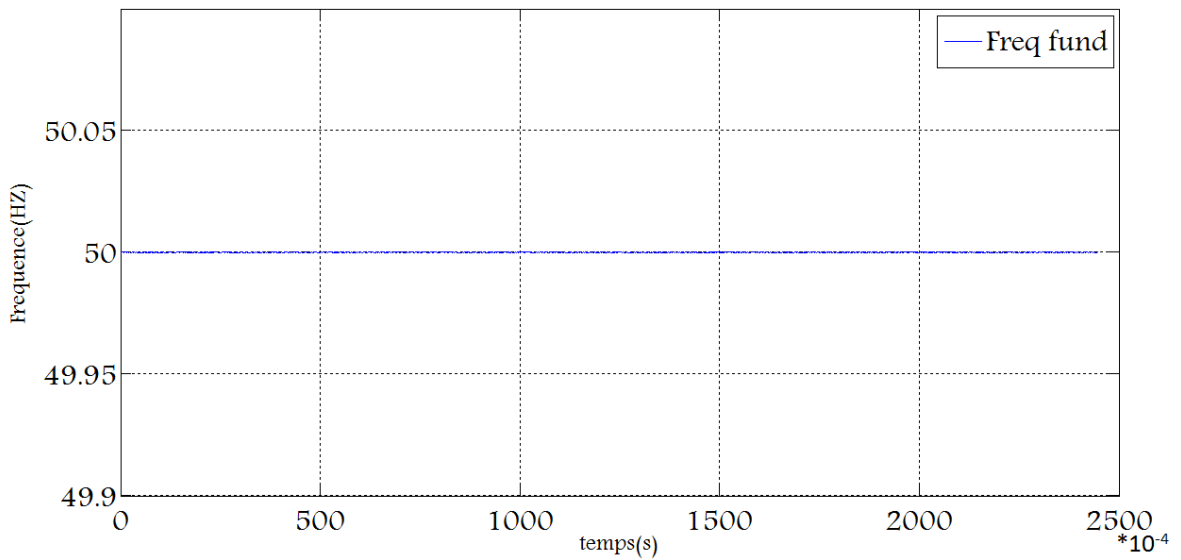


Fig. II.6. Fréquence estimée par la méthode de PFG.

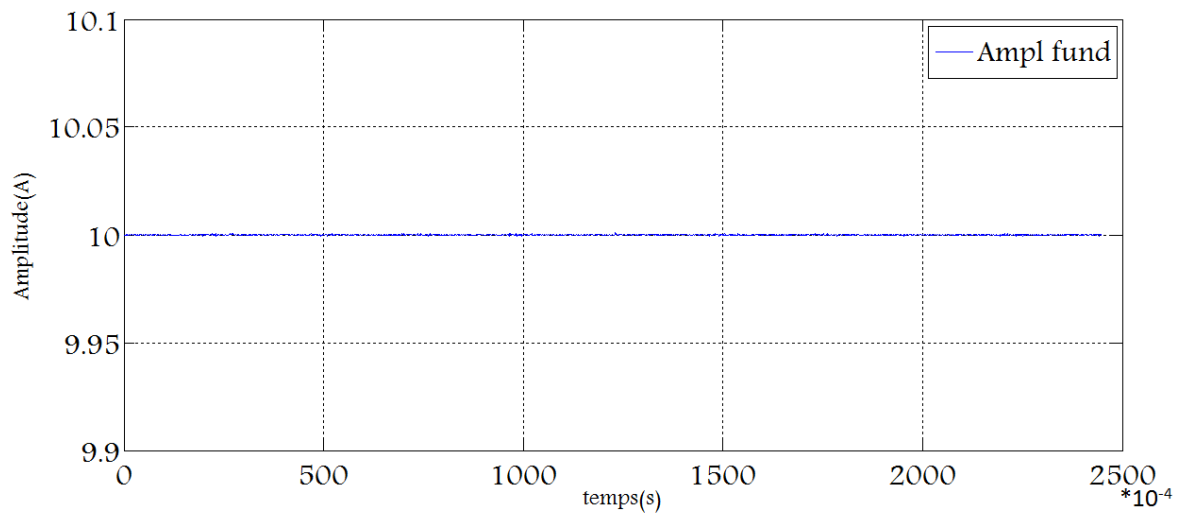


Fig. II.7. Amplitude estimée par la méthode de PFG.

Les Fig. (II.6) et (II.7) montrent l'évolution temporelle de l'amplitude et la fréquence estimées par la méthode PFG. On remarque la grande précision des résultats obtenus.

II.5.2. Application sur un signal génère compliqué

Maintenant, nous allons tester l'algorithme proposé sur un signal générique plus compliqué que le premier. Ce signal comporte trois harmoniques à estimer. Il est défini comme suit :

$$x(t) = 10. \sin(2\pi. 50. t) + 5. \sin(2\pi. 48. t) + 2. \sin(2\pi. 52. t) \quad (\text{II.12})$$

La Fig. (II.9) présente l'allure temporelle et le spectre de ce signal. Il est à noter que ce signal comporte une harmonique fondamentale et deux composantes latérales. Ceci ressemble bien à la forme du courant statorique issu d'un moteur asynchrone à cage ayant un défaut de cassure de barres.

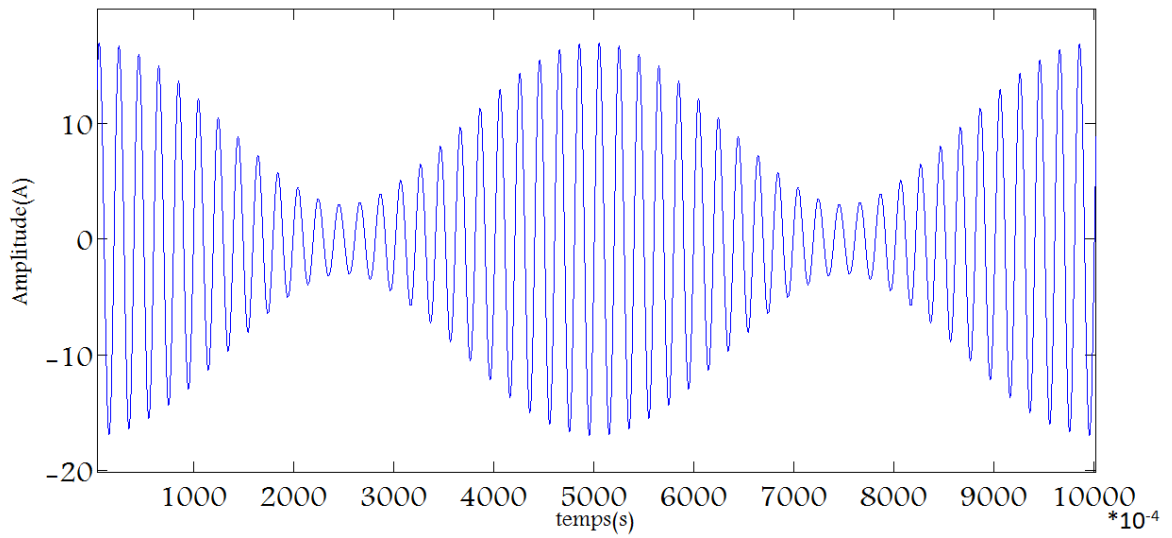


Fig. II.8. L'allure temporelle du signal génère à trois composantes.

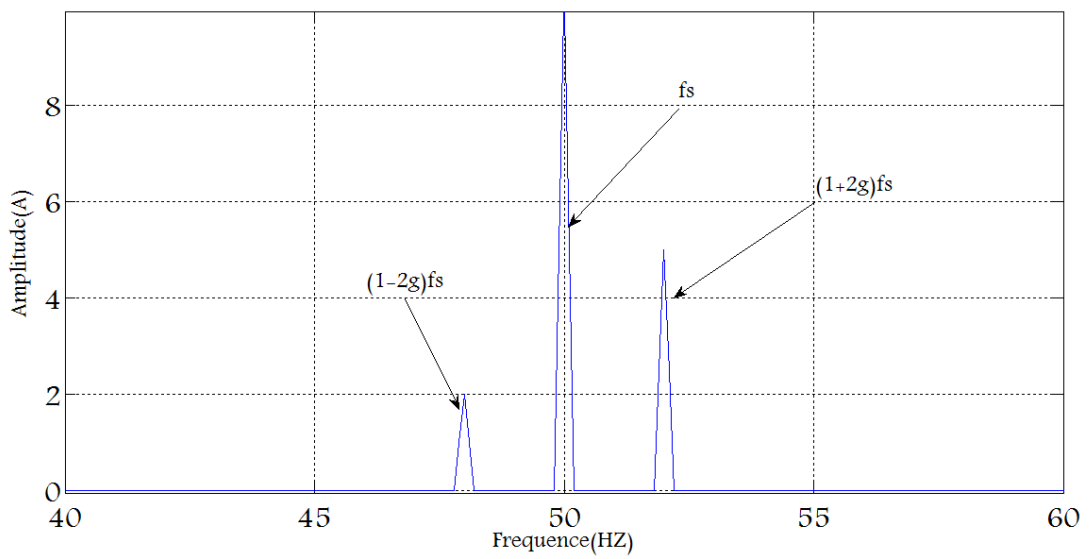


Fig. II.9. L'allure temporelle de spectre du signal génère à trois composantes.

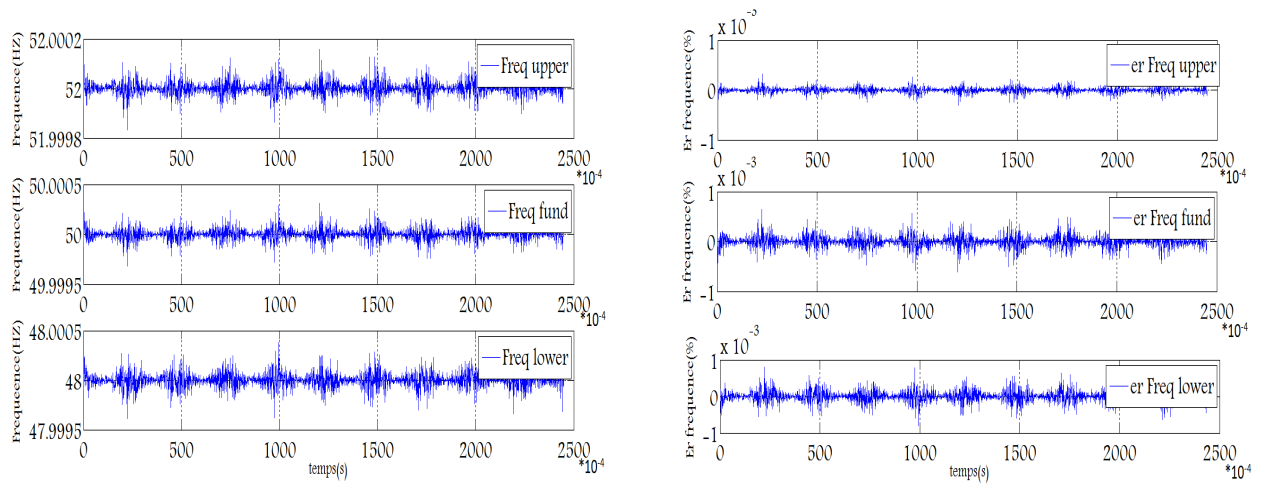


Fig. II.10. Fréquences estimées et leurs erreurs d'estimation.

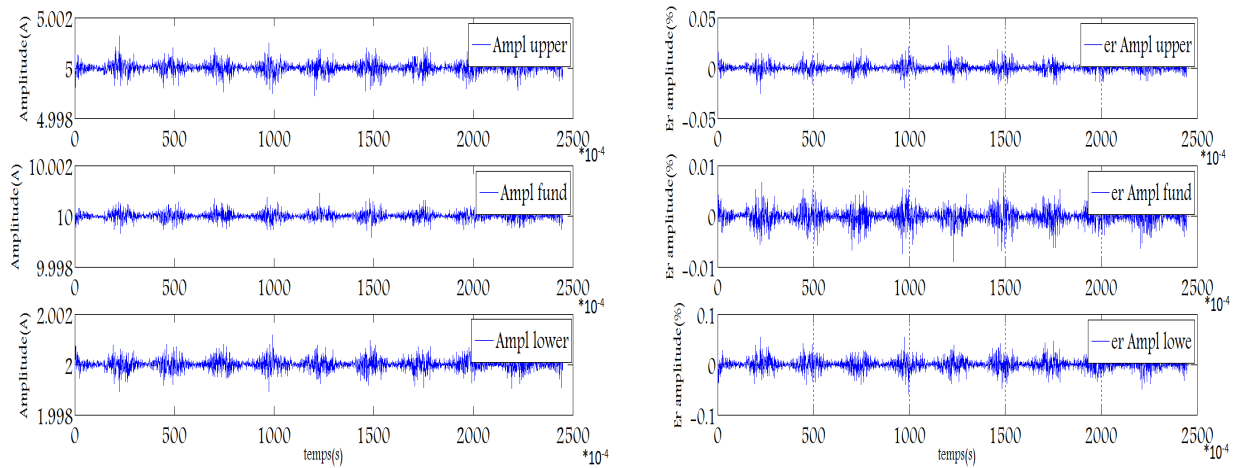


Fig. II.11. Amplitude estimées et leurs erreurs d'estimation.

Les figures. (II.10) et (II.11) illustrent l'évolution des fréquences et amplitudes estimées par la méthode PFG. Ces résultats sont obtenus en utilisant une fenêtre de 50 échantillons tandis que l'ordre du modèle est choisi à $P=7$. Pour donner une information sur la qualité de ces résultats, nous avons calculé l'erreur relative entre les grandeurs réelles et celles estimées. Selon les valeurs des erreurs relatives, on peut confirmer que la méthode de Prony proposée présente une grande précision.

II.5.3. Effet du bruit sur les résultats

Dans ce paragraphe, nous allons étudier l'effet de bruit sur les performances de la méthode de Prony. Le bruit est une contrainte très importante qui peut réduire la qualité de l'estimation et augmente par conséquent l'erreur.

Pour étudier la réaction de la méthode de Prony face aux signaux noyés dans un bruit, nous avons utilisé le même signal à trois composantes mais cette fois, on a ajouté un signal de bruit $\beta(t)$.

$$x(t) = 10. \sin(2\pi. 50. t) + 5. \sin(2\pi. 48. t) + 2. \sin(2\pi. 52. t) + \beta(t) \quad (\text{II.13})$$

Le degré de bruit est mesuré par son SNR (Signal Noise Ratio) qui est défini par :

$$SNR = 10 \log_{10} \left[\frac{\text{Puissance de Signal}}{\text{Puissance de Bruit}} \right] \quad (\text{II.14})$$

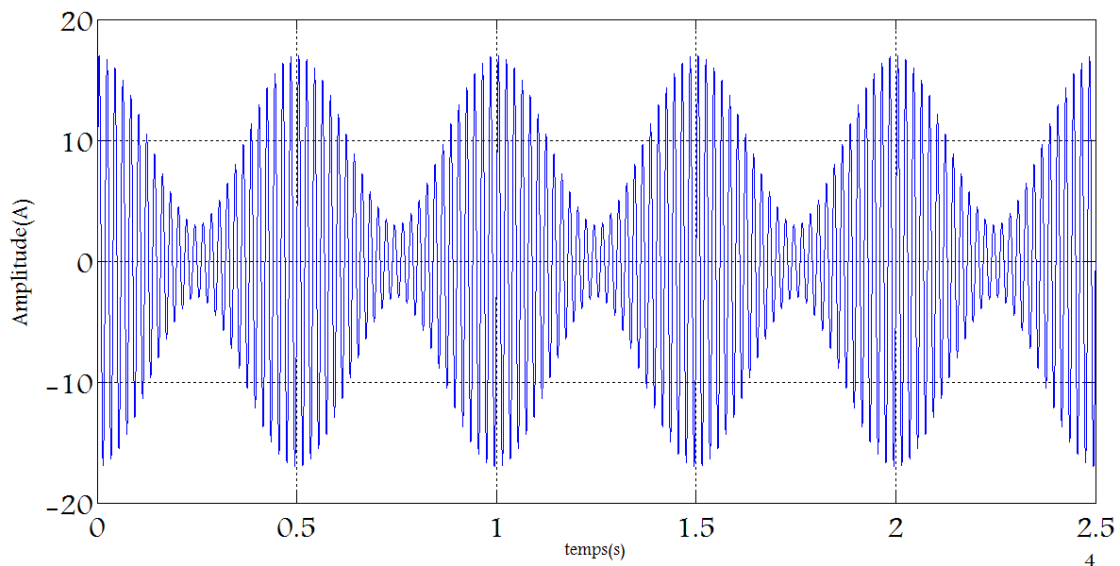


Fig. II.12 l'allure temporelle du signal générique à trois composantes sans bruit.

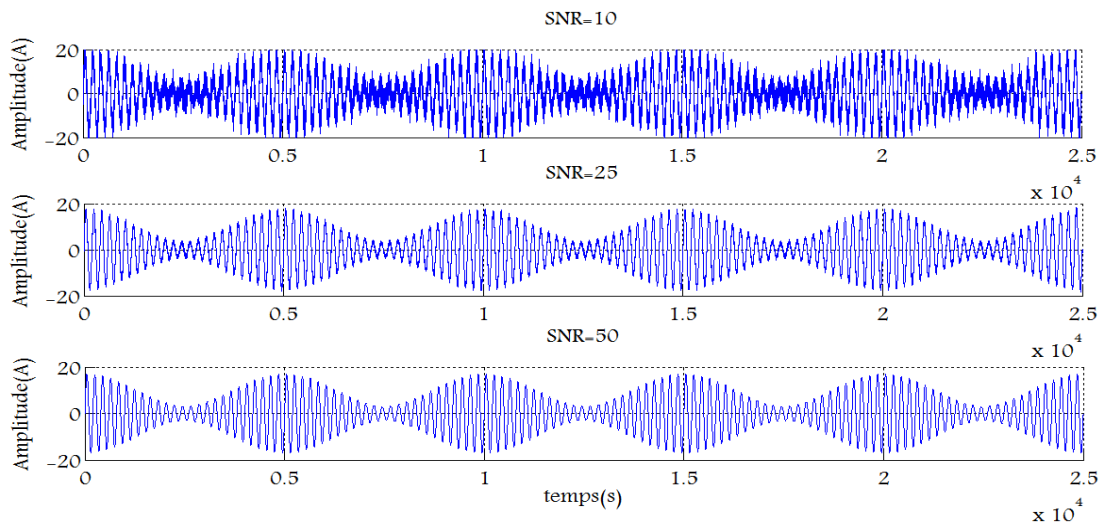


Fig. II.13. Les allures temporelles du signal sans bruit à trois composantes et trois degrés.

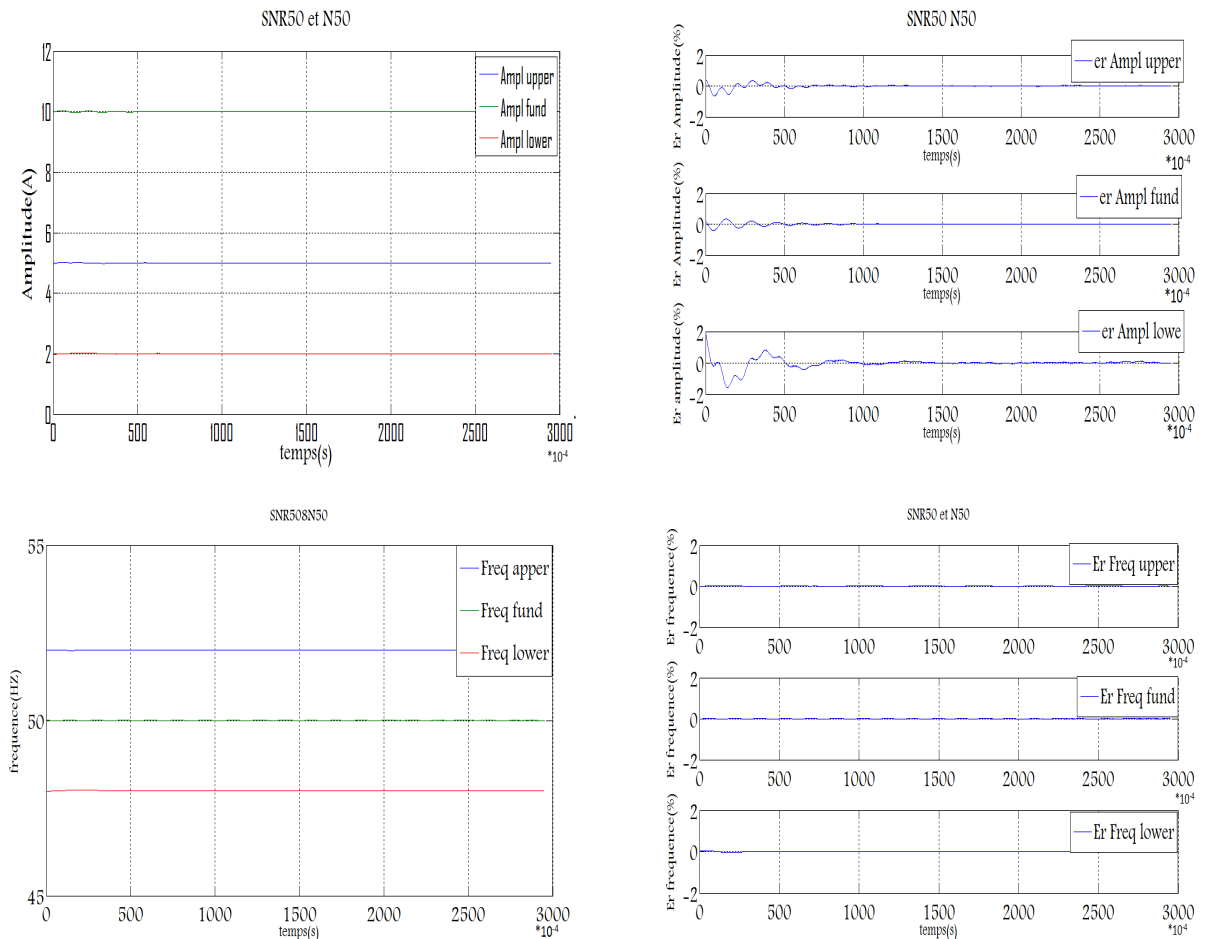


Fig. II.14. Les courbes de l'amplitude et la fréquence estimées avec ses erreurs pour SNR=50 et N=50.

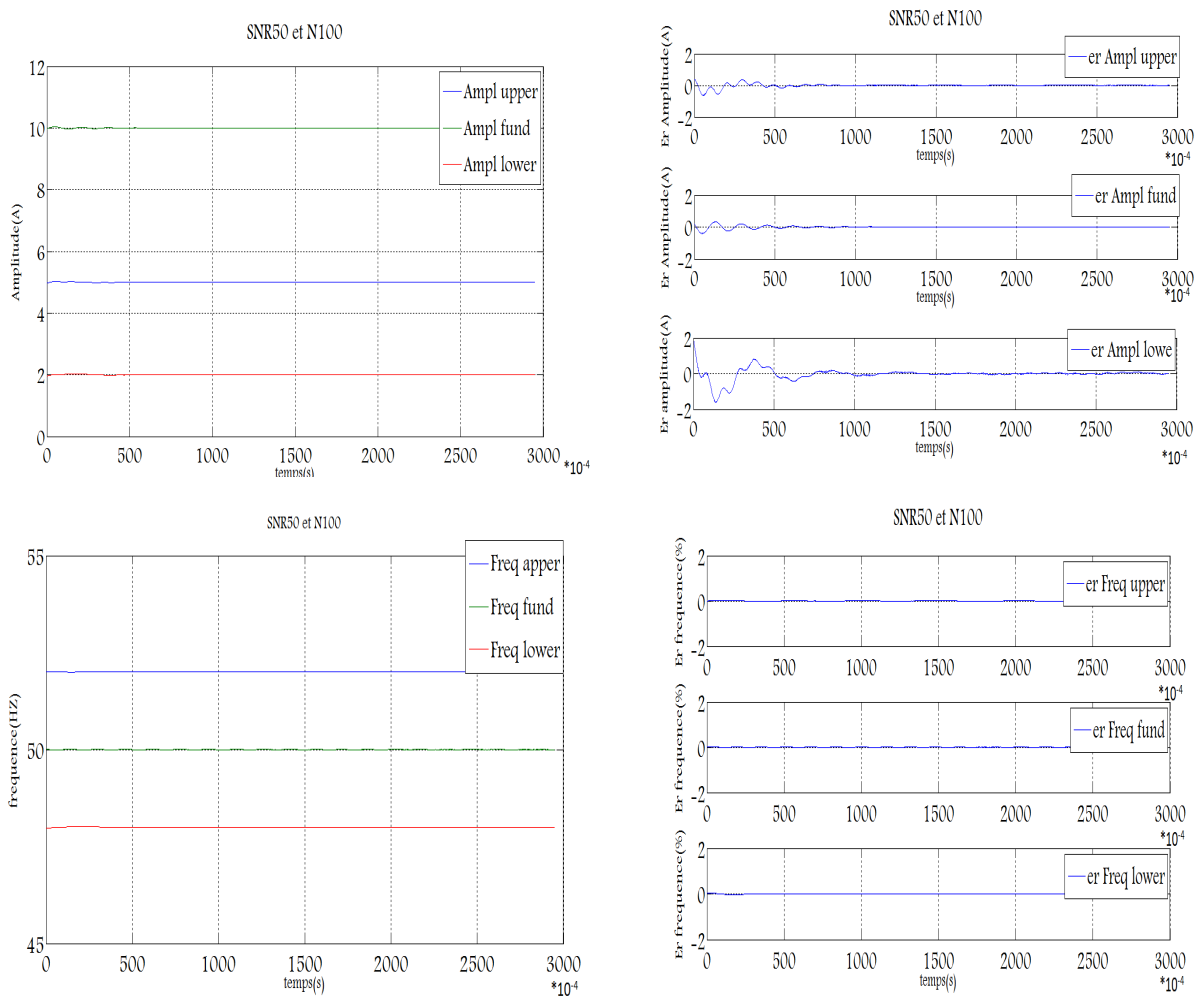


Fig. II.15 Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=50 et N=100.

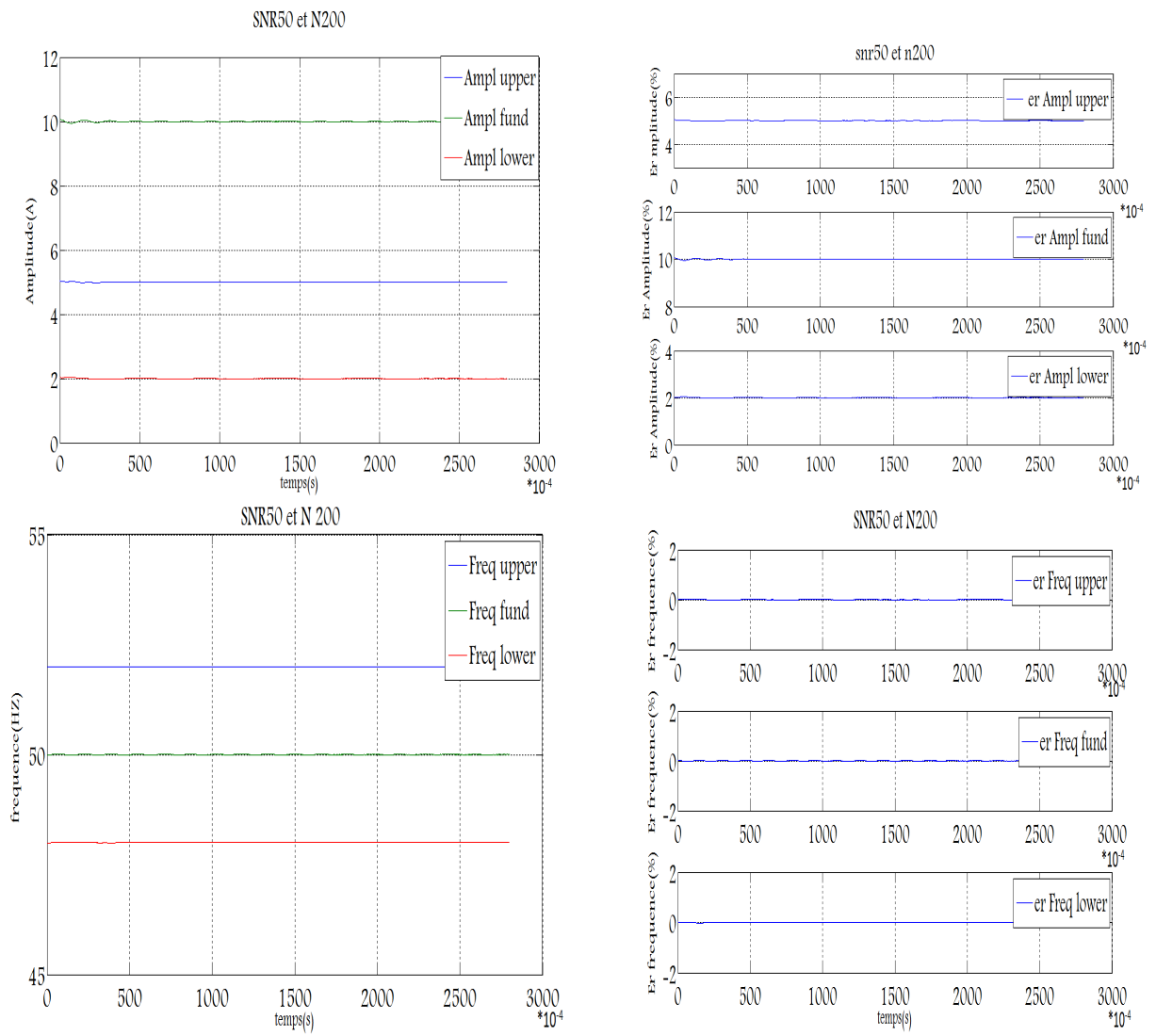


Fig. II.16 Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=50 et N=200.

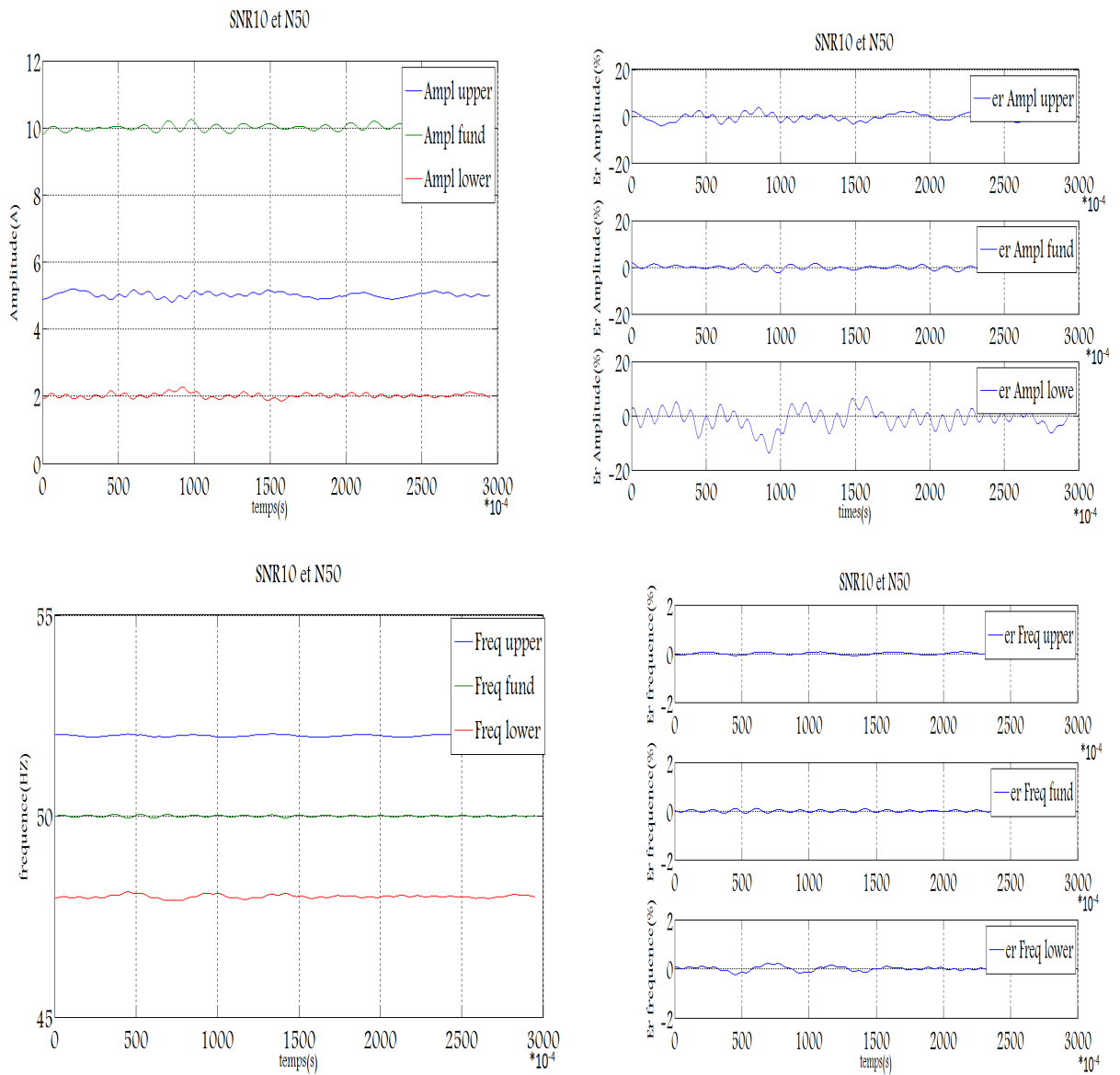


Fig. II.17 Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=10 et N=50.

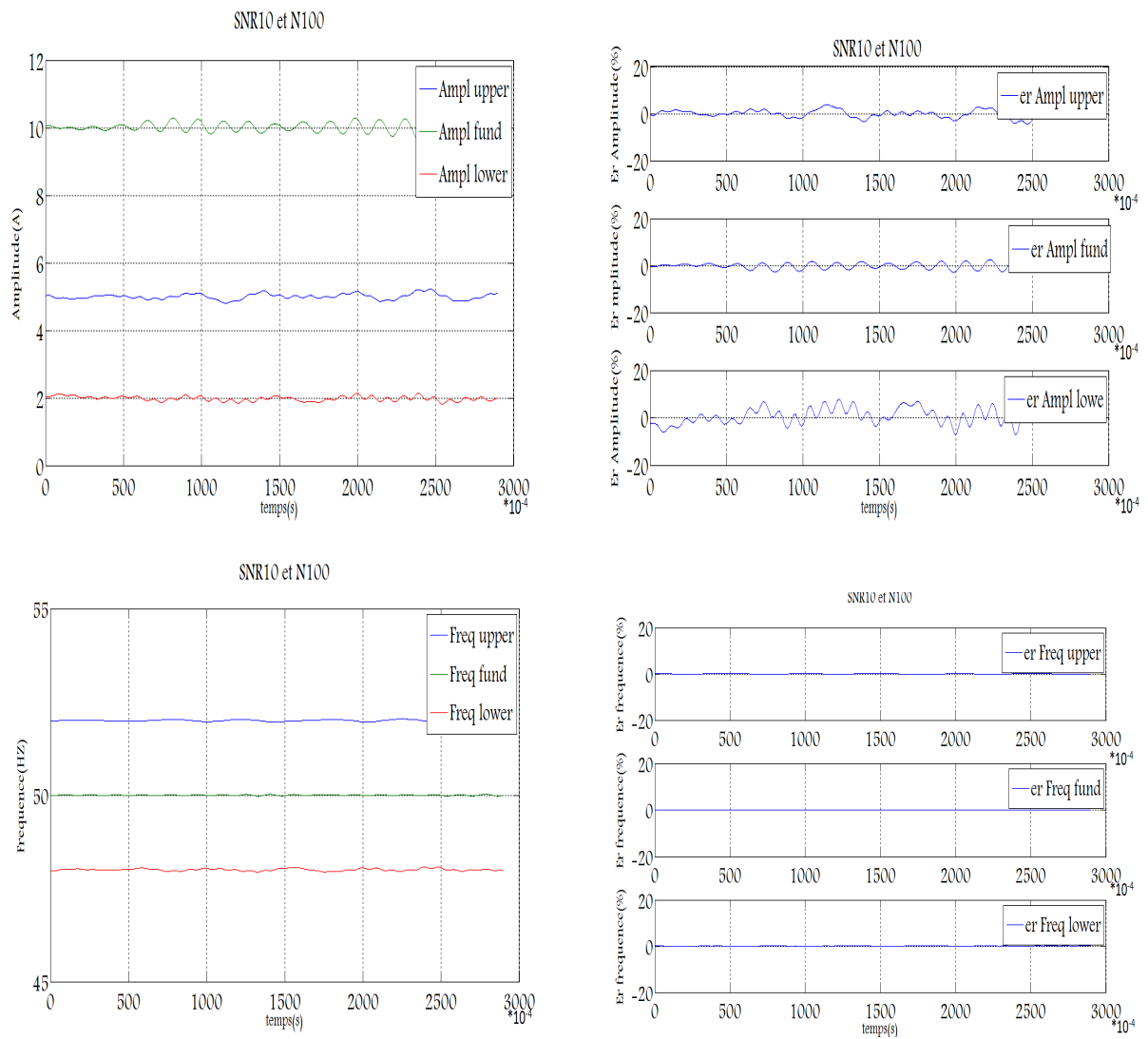


Fig. II.18. Les courbes de l'amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=10 et N=100.

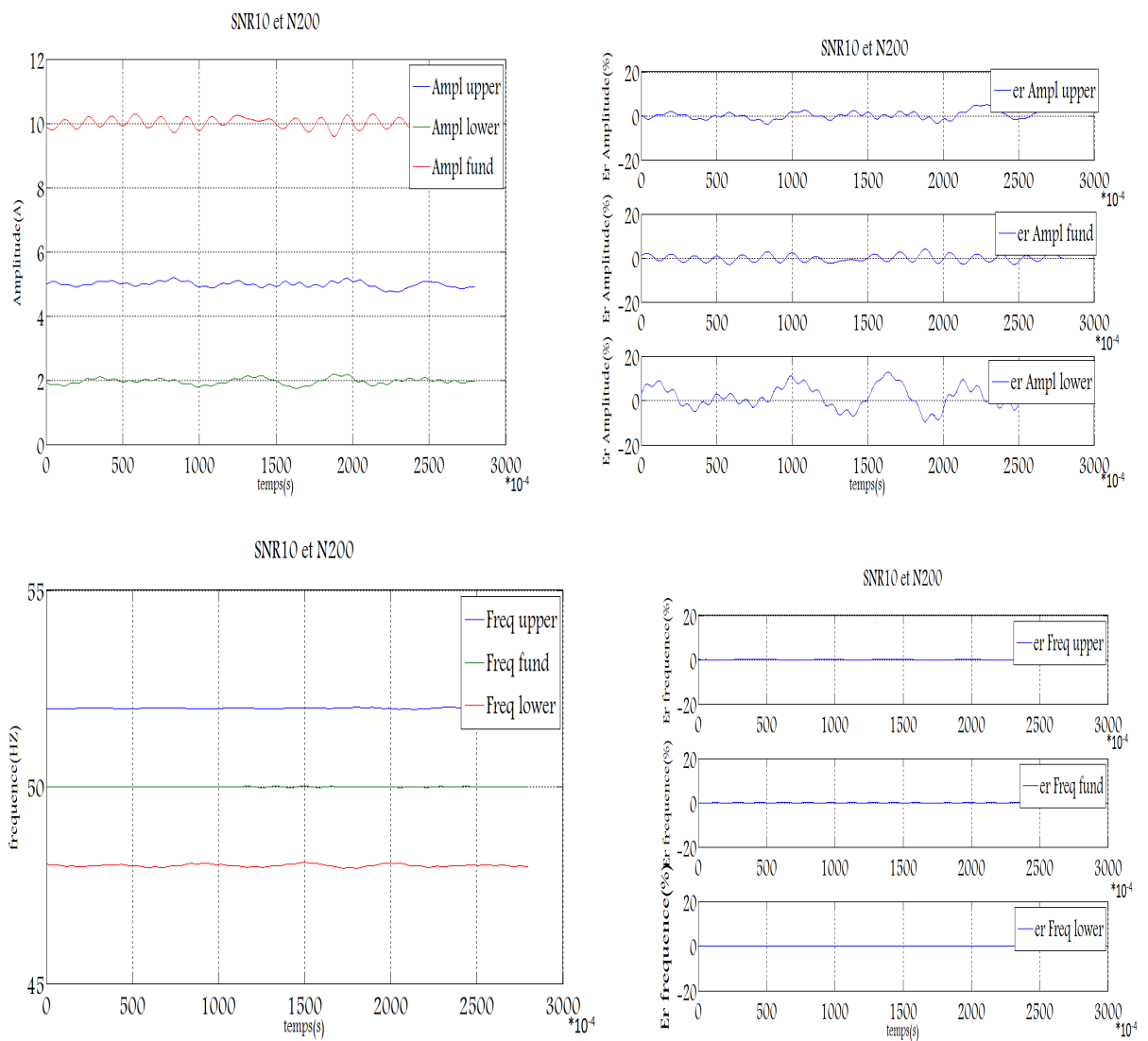


Fig. II.19. Les courbes de l’amplitude et la fréquence avec ces erreurs pour SNR=10 et N=200.

Trois signaux sont générés ayant différents SNR (50, 25 et 10). Ces signaux sont traités par la méthode de Prony, mais on a utilisé trois fenêtres de différentes tailles (N=50, 100 et 200 échantillons). La précision de l’estimation est évaluées par l’erreur relative définie par :

$$E_{\text{fréq}} (\%) = 100((f_{\text{réel}} - f_{\text{estim.}}) / f_{\text{réel}}) \tag{II.15}$$

$$E_{\text{ampli}} (\%) = 100((A_{\text{réel}} - A_{\text{estim.}}) / A_{\text{réel}}) \tag{II.16}$$

D'une manière qualitative, les figures ci-dessus montrent que la méthode de Prony à fenêtre glissante a réussi d'estimer et de suivre l'évolution des fréquences et amplitudes correspondantes aux harmoniques du signal généré avec bruit. D'une manière quantitative, on remarque que l'augmentation du niveau de bruit influe sur les valeurs des erreurs d'estimation qui deviennent importantes.

Pour bien illustrer l'impacte de la taille de la fenêtre et le SNR sur la qualité du résultat, nous avons défini l'erreur relative moyenne (MRE) comme paramètre d'évaluation. Le MRE est définie comme suit :

$$MRE_{Freq/Ampl} = \frac{\sum E_{freq/Ampl}}{Ne} \quad (II.17)$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans les trois tableaux suivants.

SNR	MRE Sur Les Fréquences			MRE Sur Les Amplitude		
	fs	(1-2g) fs	(1+2g) fs	fs	(1-2g) fs	(1+2g) fs
SNR=50 N=50	0.1850	0.3079	0.0788	2.710	16.1617	5.2198
SNR=50 N=100	0.1546	0.2688	0.0656	2.4522	14.3168	4.9790
SNR=50 N=200	0.0679	0.1410	0.0343	1.3707	8.6720	3.1474
SNR=50 N=800	0.0003592	0.0014	0.00043212	0.1272	0.5266	0.1769

Tab. II.2. Erreur moyen relative de la SNR=50 et N variable sur la fréquence et l'amplitude.

SNR	MRE Sur Les Fréquences			MRE Sur Les Amplitude		
	fs	(1-2g) fs	(1+2g) fs	fs	(1-2g) fs	(1+2g) fs
SNR=25 N=50	0.1999	0.3376	0.0893	2.7199	17.9198	5.5715
SNR=25 N=100	0.1489	0.2624	0.0679	2.6733	14.2544	4.9194
SNR=25 N=200	0.0176	0.1572	0.0390	1.9405	9.7622	3.5307
SNR=25 N=800	$4.2563 \cdot 10^{-3}$	0.0019	$9.1045 \cdot 10^{-4}$	0.1272	0.5266	0.1769

Tab. II.3. Erreur moyen relative de la SNR=25 et N variable sur la fréquence et l'amplitude.

SNR	MRE Sur Les Fréquences			MRE Sur Les Amplitude		
	fs	(1-2g) fs	(1+2g) fs	fs	(1-2g) fs	(1+2g) fs
SNR=10 N=50	0.2900	0.4960	0.1726	5.8149	26.0739	9.2150
SNR=10 N=100	0.2136	0.4394	0.1353	5.7505	24.8917	8.3630
SNR=10 N=200	0.1121	0.2809	0.0787	5.2740	18.8367	6.4465
SNR=10 N=800	0.0016	0.0078	0.0045	0.4257	1.8182	0.6930

Tab. II.4. Erreur moyen relative de la SNR=10 et N variable sur la fréquence et l'amplitude.

On remarque que les MRE augmentent avec l'augmentation du niveau de bruit, mais ils restent à des valeurs très faibles surtout pour la MRE des fréquences. Cela prouve que les amplitudes estimées et de fréquences sont très proches aux valeurs réelles même pour des niveaux de bruit élevés. On remarque aussi que l'augmentation de la taille de la fenêtre glissante permet de minimiser considérablement les MRE. Tous ces résultats confirment l'efficacité et la précision de l'algorithme de Prony quant à l'estimation et le suivie des caractéristiques des harmoniques même pour les signaux fortement bruités.

II.6. APPLICATION SUR LES SIGNAUX REELS

L'algorithme proposé pour l'estimation et le suivi des caractéristiques des harmoniques a été appliqué sur des signaux réels issus d'un banc d'essai expérimental disponible à LGEB. Le moteur utilisé est de 3 kW, connexion en étoile, avec quatre pôles et 28 barres de rotor. Le moteur a été testé à l'état sain puis avec un défaut de deux barres cassées sous la charge nominale. Le signal de courant a été échantillonné à la fréquence de 10 kHz pendant 10 s.



Fig. II.20. Le banc d'essai expérimental.



Fig. II.21. Rotors utilisés pour les différents essais.

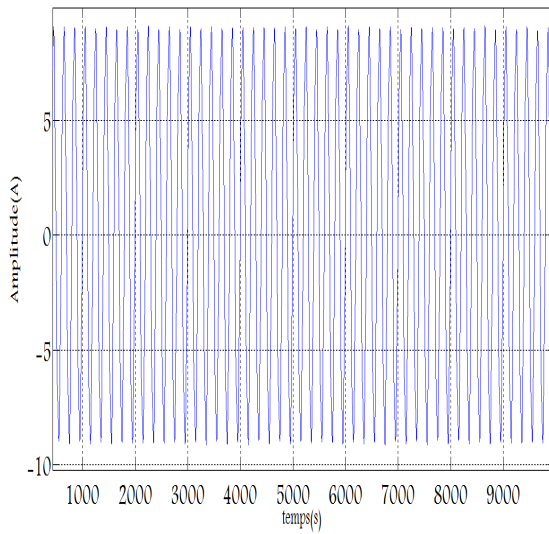


Fig. II.22. Signal réel de 0 barre casse.

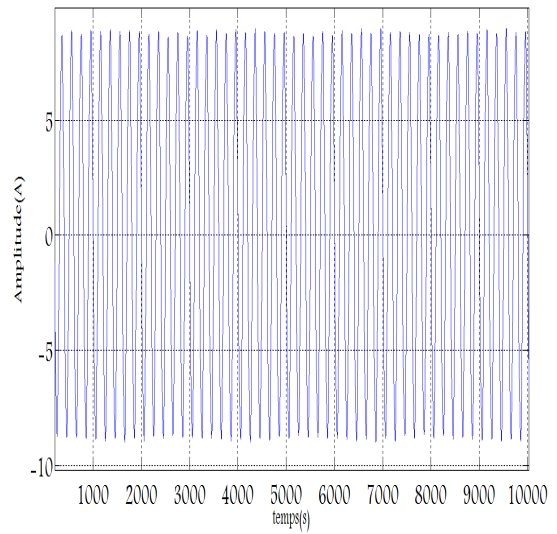


Fig. II.23 signal réel de 2 barre casse.

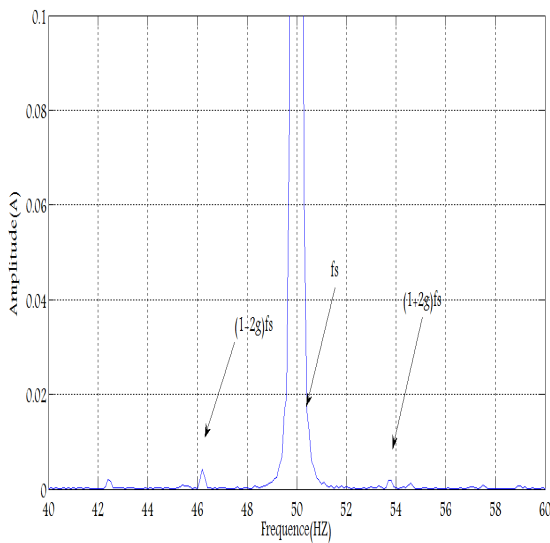


Fig. II.24. Spectre du Signal réel à l'état sain.

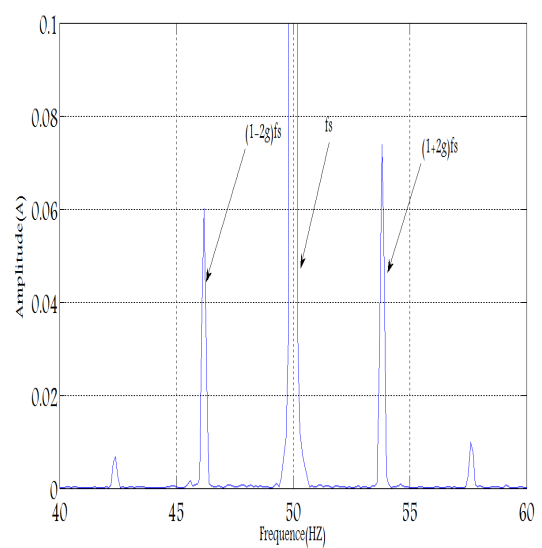


Fig. II.25. Spectre du Signal réel à l'état 2 barre cassé.

Les figures (II.24), (II.25) montrent les différents spectres obtenus en effectuant une analyse spectrale à base de la FFT du courant d'une phase statorique.

Le résultat de cette analyse pour un rotor sain est donné sur la figure (II.24), à partir de cette figure nous remarquons clairement l'apparition de deux composantes autour la composante fondamentale à 50 HZ, et la composante $(1\pm 2kg) f_s$ qui indique la présence d'une certaine asymétrie naturelle du rotor due à la fabrication. Nous allons maintenant effectuer l'FFT sur courant statorique en présence d'un défaut rotorique (deux barres cassées). Le spectre du signal est donné sur la figure (II.25), nous observons des augmentations considérables sur les raies autour du fondamentale. Ces raies sont le résultat de la présence du défaut rotorique, les fréquences de ces raies correspondent exactement à la relation mathématique $(1\pm 2kg) f_s$

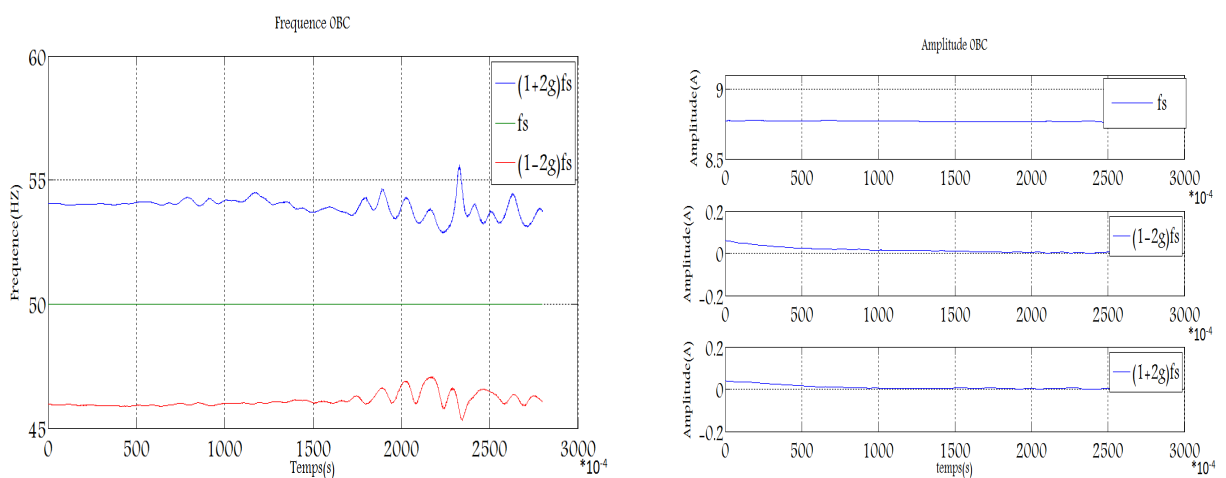


Fig. II.26. Les courbes de l'amplitude et la fréquence de 0 barre cassée

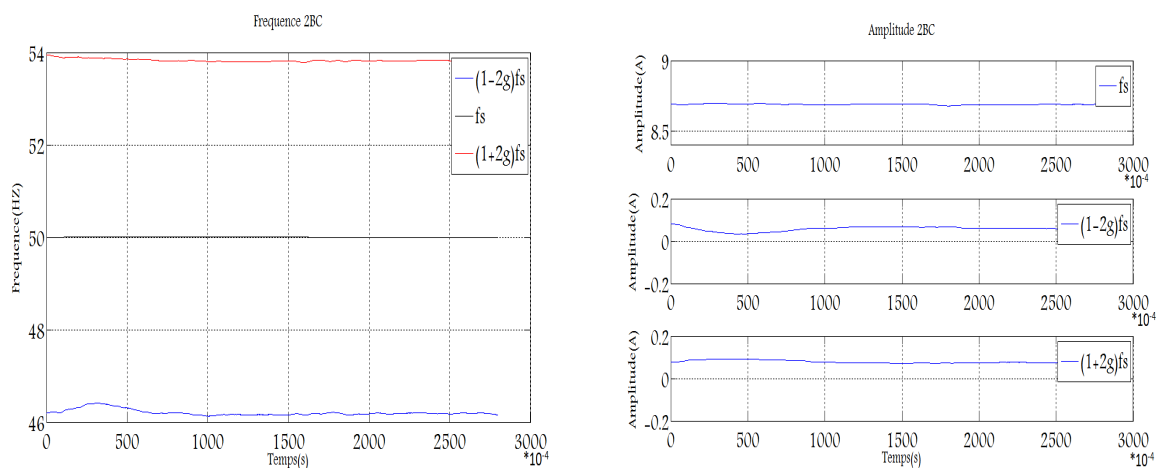


Fig. II.27. Les courbes de l'amplitude et la fréquence de 2 barres cassées.

L'application de la méthode de Prony à fenêtre glissante sur les signaux expérimentaux a donné les résultats présentés sur les figures (II.26) et (II.27). On remarque bien que l'algorithme proposé a estimé et suivi, avec succès, l'évolution des amplitudes et fréquences correspondantes aux fondamentales et les deux composantes latérales $(1\pm 2g)$ fs. En comparant les amplitudes estimées des composantes $(1\pm 2g)$ fs à l'état sain et avec défaut, on peut confirmer que la méthode de Prony à fenêtre glissante a l'aptitude de détecter la présence des défauts dans le moteur asynchrone.

II.7. CONCLUSION

La méthode de Prony, qui considère un signal déterministe comme une somme pondérée d'exponentielles, est un outil puissant pour l'étude des signaux de vibration transitoires. Une extension à l'étude des vibrations entretenues (réponse à un train d'impulsions) serait intéressante, notamment après une analyse synchrone qui éliminerait les composantes périodiques.

Conclusion générale

La machine électrique asynchrone nécessite une détection rapide et précoce de leurs défaillances, à cause de leur utilisation fréquente dans diverse applications

Le travail présenté dans ce mémoire expose l'apport de diagnostic des défauts du moteur asynchrone par les techniques de traitements de signal avancées.

Dans le premier chapitre, nous avons rappelé les éléments de constitution de la machine asynchrone à fin de préciser les différents défauts qui peuvent affectés le bon fonctionnement des machines, ainsi que leurs causes et leurs conséquences.

Dans la deuxième chapitre, nous avons présenté en détail la méthode de Prony qui permet la d'estimer et de suivre l'évolution des amplitudes et fréquences correspondant aux harmoniques constituant le spectre du signal traité. Ceci a été effectué en utilisant un petit nombre des échantillons, ce qui représente un avantage très important par rapport aux autres méthodes qui nécessitent un grand nombre des échantillons

L'algorithme de la méthode de Prony classique et celui de la méthode de Prony à fenêtre glissante ont été implantés sous l'environnement Matlab. Nous avons testé ces deux algorithmes en utilisant des signaux simples génériques mono-composant et multi-composant. Nous avons trouvé que la méthode de Prony à fenêtre glissante a permet non pas d'estimer les amplitudes et les fréquences mais aussi de suivre leurs évolutions en fonction du temps.

De plus, nous avons étudié l'effet du bruit sur la qualité des résultats. En effet, nous avons trouvé que la présence du bruit dans le signal à traiter diminue considérablement la précision de l'estimation et afin d'éviter ce genre de problème, il faut qu'on augmente la taille de la fenêtre glissante.

En fin, la méthode proposée a été appliquée sur des signaux expérimentaux du courant statorique issus d'un banc d'essai disponible au laboratoire LGEB. Le but du test est de vérifier l'aptitude de la méthode de Prony pour la détection des défauts de barres rotoriques. Pour cela, des tests en pleine charge avec et sans défaut rotorique ont été effectués. Les résultats obtenus confirment d'une part l'efficacité de la méthode de Prony quant à l'estimation des caractéristiques des harmoniques et d'une autre part, ils prouvent que cette méthode peut être utilisée avec succès pour la détection des défauts dans les machines électriques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: M. SAHRAOUI, " Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones", Thèse de Doctorat, Université Mohamed KHIDER Biskra, 2010.
- [2]: Mohamed El Kamel OUMAAMAR, " Surveillance et Diagnostic des Défauts Rotoriques et Mécaniques de la Machine Asynchrone avec Alimentation Equilibrée ou Déséquilibrée", Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Nancy-France, 19 Mars 2012.
- [3]: Mohammed GAOUAOUI, "Diagnostic par Reconnaissance des Formes Application à la Machine asynchrone", Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 02-2012-22.
- [4]: Houssam Achour, " Etude comparative des indicateurs des défauts rotoriques dans les MAS à cage ", 09 Juin 2012.
- [5]: The Use of a Modified Prony's Method to Track the Broken Rotor Bars Characteristic Frequencies and Amplitudes, in Three-Phase Induction Motors. Mohamed Sahraoui, *Member, IEEE*, António J. Marques Cardoso, *Senior Member, IEEE*, and Adel Ghoggal

Chapitre II

État de l'art

Chapitre III

Étude et Applications de la
méthode de prony

Introduction

générale

Conclusion

générale

Sönnunnaúræ

Bibliographie