



Centre Universitaire d'EL-Oued
Institut des Sciences et de Technologies
Département de Génie Electrique

Filière : Génie Electrique et Electronique
Spécialité: Réseaux Electriques

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

LICENCE ACADEMIQUE

Thème :

***L'effet de Déséquilibre du Réseau
Electrique sur la MAS***

Présenté par :

Proposé et Dirigé Par : BESSOUS Nouredine

- LAGOUBI Lassaad

- KAROUI Abdellmounaim

Promotion : 2011/2012

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Centre Universitaire d'EL-Oued
Institut des Sciences et de Technologies
Département de Génie Electrique

Filière : Génie Electrique et Electronique
Spécialité: Réseaux Electriques

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de la préparation du diplôme:

MASTER ACADEMIQUE

Thème :

.....
.....
.....

Présenté par :

.....
.....

Avis favorable du Président du Jury

Nom et prénom

.....
.....

Signature

.....

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Centre Universitaire d'EL-Oued
Institut des Sciences et de Technologies
Département de Génie Electrique

Filière : Génie Electrique et Electronique
Spécialité: Réseaux Electriques

Thème :

.....
.....
.....

Proposé par :

Dirigé par :

RESUME

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....

Le mémoire contient par ordre d'apparition:

- Dédicaces
- Remerciements
- Liste des Tableaux
- Liste des Figures
- Liste des abréviations
- Résumé bilingue

Sommaire contient:

- * Introduction générale
- * Chapitre 1.2.3..... chaque chapitre commence par une Introduction et se termine par Conclusion
- * Conclusion générale
- * Bibliographie
- *Annexe

Type d'écriture:

- Times new Roman (12)
- Les titres sont en Gras
- Interligne 1.5
- Formules et Figures sont numérotées par chapitre

sommaire

Introduction générale.....	1
I.1. Introduction	3
I.2. Constitutions de la machine asynchrone	3
I 2.1. Le stator	4
I.2.2.Le rotor	4
I.2.2.1.Le rotor à cage	5
I.2.2.2.Le rotor bobiné	5
I.2.2.3. Les roulements	6
Constitution des roulements à billes.....	6
I.2.3. Les organes mécaniques	7
I.3. Les défauts de la machine asynchrone	8
I.3.1 Les défauts rotoriques	8
I.3.1.1 Cassure de Barre	8
I.3.1.2 Les défauts d'excentricités	8
I.3.2. Défauts au niveau des roulements	9
I-3-3 Les défauts statoriques	10
I.4. les méthodes de diagnostic	11
I.4.1. les méthodes de diagnostic par Analyse des flux	11
I.4.2.les méthodes de diagnostic par Analyse du courant statorique	11
I.4.3. Les méthodes de diagnostic par méthode d'identification des paramètres	12
I.4.3.1. Validation de l'identification des paramètres	12
I .5 Conclusion	13
II.1.Introduction	14
II.2 Définition	14

sommaire

II. Réseau triphasé symétrique.....	15
II.1. Définition	15
II.2. Les tensions délivrées	16
II.2.1. Les tensions simples	16
II.2.2. Les tensions composées	16
II.2.3. Représentations des tensions	17
II.3. Connexion d'une charge.....	19
II.3.1. Couplage étoile	19
II.3.2. Couplage triangle	20
II. Réseau triphasé non symétrique.....	22
II.1. Définition.....	22
II.2. Influence du déséquilibre.....	22
II.2.1. Détermination du courant de neutre.....	22
II.2.2. Détermination du potentiel de neutre.....	23
II. Puissances en triphasé	24
II.1. Charge triphasée déséquilibrée (ou quelconque).....	24
II.3. Théorème de Boucherot	26
II.4. Relèvement du facteur de puissance	26
II.5. Les causes de défauts.....	27
II.6. Conclusion.....	31
Conclusion générale	32

بدانا
بأكثر من يد وقاسينا أكثر من هم وعانينا الكثير من الصعوبات وهانحن اليوم والحمد
لله
نطوي سهر الليالي وتعب الأيام وخلصنا مشوارنا بين دفتي هذا العمل المتواضع
إلى منارة العلم والامام المصطفي
إلى الأمي الذي علم المعلمين إلى سيد الخلق إلى رسولنا الكريم سيدنا محمد
صلى الله عليه وسلم.

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء
إلى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها إلى والدتي العزيزة.

إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة
والهناء الذي لم يبخل بشئ من أجل دفعي في طريق النجاح الذي علمني أن
أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر إلى والدي العزيز.

إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي إلى أخواتي وأخواني.
إلى من علمونا حروفا من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمى وأجلى عبارات
في العلم إلى من صاغوالنا علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تنير لنا سيرة العلم
والنجاح إلى أساتذتنا الكرام.

وكذلك
نشكر كل من ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا
بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث ونخص بالذكر:

أستاذنا الفاضل. : بسوس نور الدين

الذي كان عوننا لنا في بحثنا هذا ونورا يضيء الظلمة التي كانت تقف في طريقنا.

Introduction générale :

Les machines asynchrones spécialement les moteurs asynchrones jouent un rôle important dans le domaine de la conversion de l'énergie électromécanique. Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible coût d'achat de fabrication. Mais les machines subissent de plus en plus de perturbation auxquelles sont sensibles.

Certaines utilisations des moteurs asynchrones ne tolèrent pas les pannes intempestives. Ces pannes peuvent être dues aux moteurs et être d'origine mécanique (exemple : excentricité du rotor) ou électrique (exemple : court-circuit du bobinage statorique, rupture de barre ou l'anneau, cassure de dents...).

Les machines asynchrones sont largement utilisées en milieu industriel, la maintenance et le diagnostic donc pour assurer sa continuité de fonctionnement, en effet, la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations électriques en générale.

Il existe plusieurs procédures de diagnostic. Le choix d'une approche est lié à la connaissance que l'on souhaite acquérir sur le système, mais aussi à la complexité de ce système. Ainsi deux grandes familles de procédure sont utilisées dans le domaine du diagnostic: les méthodes de diagnostic à base de modèles analytique et les méthodes sans modèle.

Les méthodes à base de modèle analytique reposent sur le suivi des paramètres et des grandeurs de la machine, au moyen d'algorithmes d'observation. Elles détectent les défaillances en comparant l'évolution de l'écart entre le modèle et le processus réel.

Les méthodes sans modèle sont basées sur l'extraction d'informations par le biais du traitement des signaux mesurés. Les signaux mesurables (les courants, les tensions, la tension du neutre, la vitesse, les vibrations, la puissance instantanée), peuvent fournir des informations significatives sur les défauts.

Dans ce contexte notre mémoire comporte deux chapitres :

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à l'étude des composants et du fonctionnement de la machine asynchrones. Après une brève introduction des constitutions de la machine. Nous présentons les différents types de défauts qui peuvent apparaître dans les machines asynchrones, nous terminons ce chapitre par

Introduction Générale

un rappel des différentes techniques de diagnostic actuellement appliquées à la machine asynchrone.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des modèles de la machine asynchrone pour la simulation sous l'effet de déséquilibre. Pour ça nous rappelons l'alimentation par un système triphasé qui prend en compte les deux catégories d'un système équilibré et un autre déséquilibré. Avec cette étude on peut clarifier l'influence de différents systèmes sur la machine asynchrone.

Puis nous analysons l'influence du défaut sur les grandeurs temporelles de la machine pour permettre de développer des méthodes de surveillance et de diagnostic appropriées.

I.1. Introduction :

Nous allons dans un premier temps décrire les différents constituants de l'ensemble de la machine asynchrone et de synthétiser les différents défauts, en passant brièvement sur les techniques de bases couramment utilisées dans ce domaine pour détecter les défauts.

I.2. Constitutions de la machine asynchrone :

On se propose, dans cette partie, de donner quelques précisions sur les éléments de constitutions des machines asynchrones. Cette description va nous permettre de comprendre de quelle façon le système est réalisé physiquement.

Les machines asynchrones triphasées peuvent se décomposer, du point de vue mécanique, en trois parties distinctes :

- _ Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique ;
- _ Le rotor et les roulements, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique ;
- _ Les paliers, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

[GAE 04]

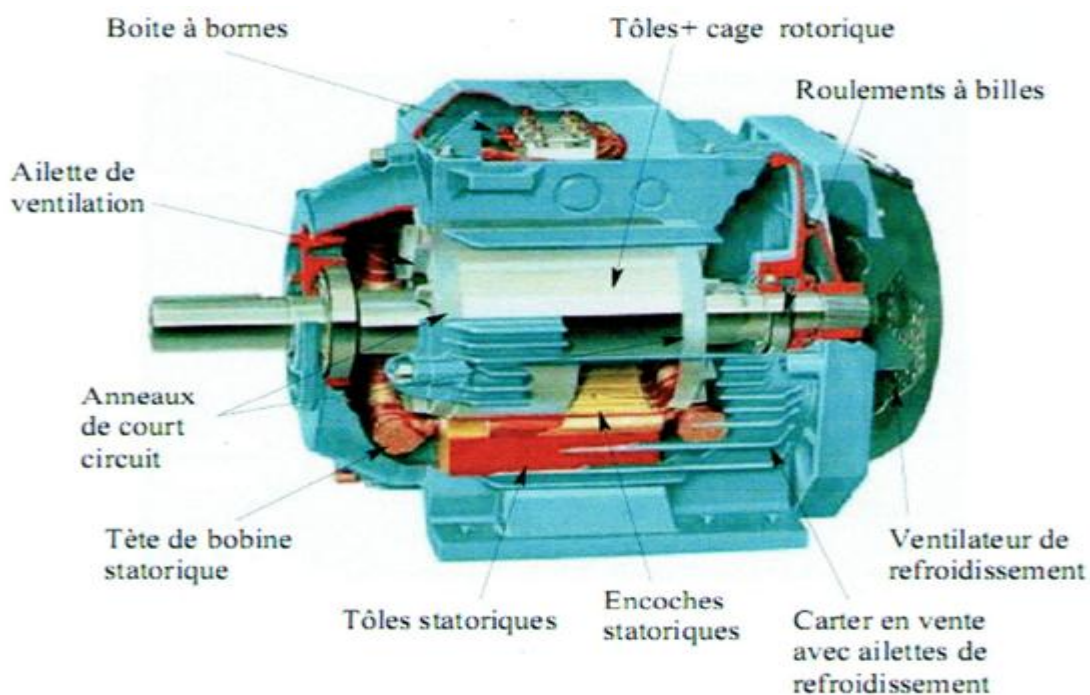


Figure 1. Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écurieil

[ABL09]

I 2.1. 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 (fig 1.). 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 la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique.

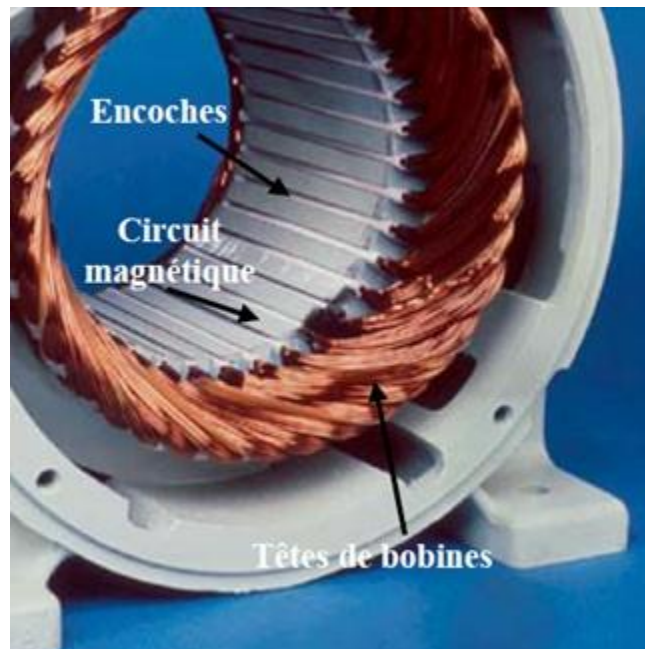


Figure 1.1. Photo du stator d'une machine asynchrone

I.2.2. Le rotor :

Le rotor est la partie mobile de la machine asynchrone se distingue de l'autre machine triphasée telle que la machine synchrone.

De manière générale, le rotor est le siège de grandeurs électromagnétiques variables.

I.2.2.1. Le rotor à cage :

Chapitre 1 : Généralités sur la MAS et ses défauts

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. 1.2). Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique. Dans le cas de rotor à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées 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.

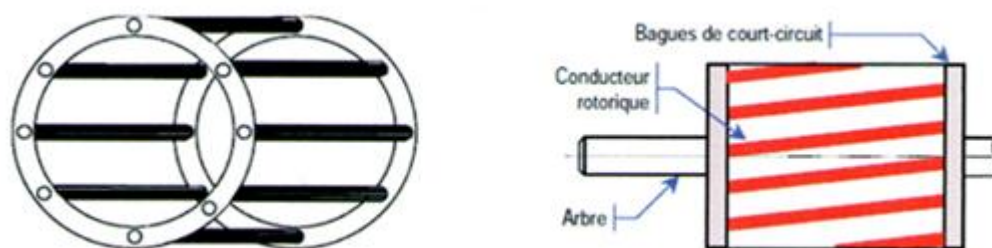


Figure 1.2. Rotor à cage (tôles magnétiques, conductrices d'encoches (barres) et anneaux (bagues) de court-circuit)

I.2.2.2. Le rotor bobiné :

Le rotor d'une machine bobinée est constitué de trois bobines (on parle aussi de rotor à bague). Chaque bobine est reliée à une bague. Les bagues permettent d'avoir une liaison électrique avec les bobines du rotor. Le rotor est mis en court-circuit par l'extérieur au travers de trois bornes liées électriquement par des contacts glissants appelés bagues réalisées en laiton sur lesquelles s'appliquent des balais de graphite. Les trois enroulements rotoriques sont couplés en étoile à l'intérieur de la machine.

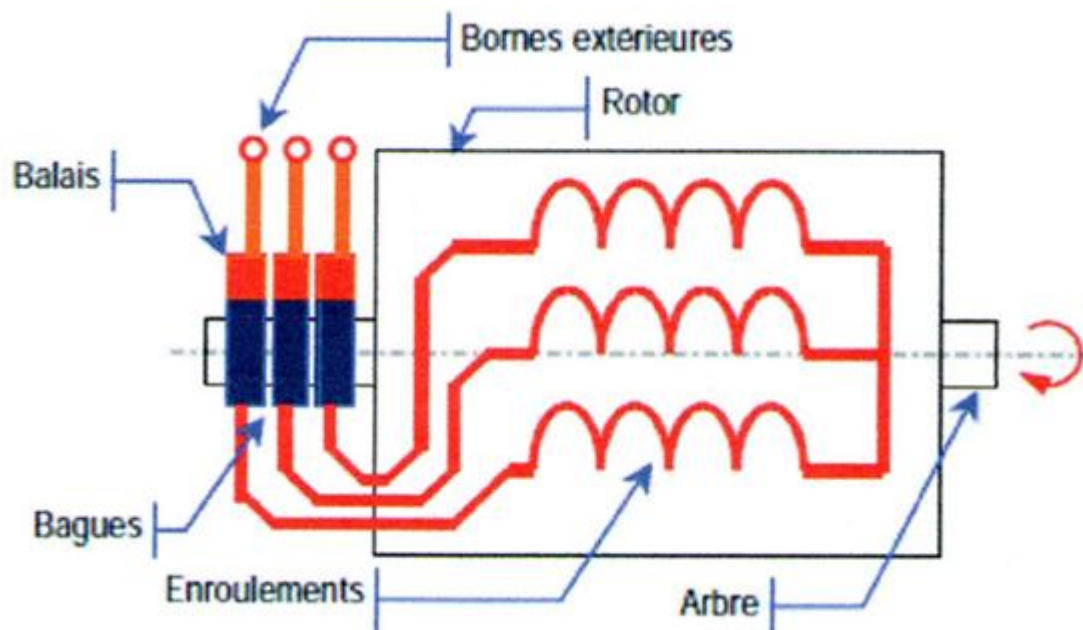


Figure 1.3. Constitution du rotor bobiné.

I.2.2.3. Les roulements :

Le roulement est un organe de base qui assure une liaison mobile entre deux éléments d'un mécanisme en rotation l'un par rapport à l'autre. Sa fonction est de permettre la rotation relative de ces éléments, sous charge, avec précision et avec un frottement minimal. La majorité des machines électriques utilisent les roulements, En fonction de l'application envisagée, les organes de roulement peuvent être des billes, des rouleaux ou des aiguilles. Chaque type de roulement possède des caractéristiques spécifiques en termes de charges radiales et axiales supportées, de vitesse limite ou encore de défaut d'alignement admissible. Le roulement à billes est le plus utilisé dans le monde industriel parce qu'il a le meilleur rapport performance prix. Environ 40 % à 50 % des défauts rencontrés dans les machines asynchrones sont liés aux roulements.

Constitution des roulements à billes.

Le roulement est composé des éléments suivants:

- deux bagues concentriques en acier, appelés bague intérieure et bague extérieure, comportant des chemins de roulement (surfaces sur lesquelles "roulent" les corps roulants);

Chapitre 1 : Généralités sur la MAS et ses défauts

- des corps roulants, billes ou rouleaux généralement en acier, permettant le mouvement des deux bagues avec un frottement minimal
- une cage séparant et guidant les corps roulants (en polyamide, tôle acier, laiton ou ébène).

La figure montre la construction typique d'un roulement à billes. Les billes sont liées par une cage qui assure une distance uniforme entre elles et empêche tout contact:

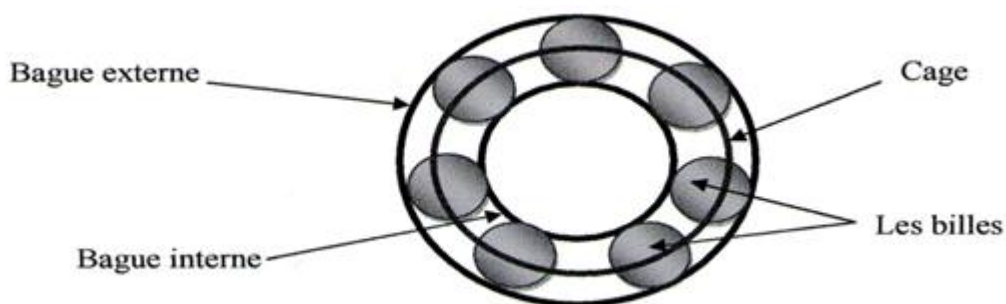


Figure 1.4. Structure d'un roulement à billes

I.2.3. 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. [OLI 06]

I.3. Les défauts de la machine asynchrone :

I.3.1 Les défauts rotoriques :

I.3.1.1 Cassure de Barre :

Le problème des ruptures de barres dans les machines à induction a été l'objet de plusieurs travaux de recherches, l'information de la rupture de barre se trouve donc portée par le flux magnétique, et par conséquent dans le courant absorbé du réseau électrique. Il est donc nécessaire de connaître les fréquences résultant d'une rupture de barres à fin de pouvoir les détecter à travers une analyse spectrale de ces courants.

Suite à une rupture de barre, les circuits rotoriques créent en plus du champ rotorique direct, un champ magnétique inverse qui est dû au déséquilibre des enroulements rotoriques. Cela a pour effet d'induire des forces électromotrices dans les circuits statoriques.

Une composante oscillatoire du couple électromagnétique est apparait à cause de défaut.

I-3-1-2 Les défauts d'excentricités :

On distingue deux cas d'excentricité (figure 1.6):

- **Excentricité statique:** le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.
- **Excentricité dynamiques:** le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.

L'apparition des deux types d'excentricité au même temps est généralement appelée : excentricité mixte.

Les causes peuvent être; le positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, l'usure des paliers ou la torsion de l'arbre.

L'excentricité dans les machines à induction augmente l'apparition des composantes additionnelles dans le spectre du courant, leurs fréquences sont données par [SCH 95].

$$f_{excen} = f_s (kn \pm n_e) \frac{(1-g)}{p} \pm n_w$$

n: le nombre d'encoches rotoriques

$n_e=0$, dans le cas d'une excentricité statique et $n_e=1$, dans le cas d'une excentricité dynamique.

$k=1,2,3,\dots$ Et $n_w=1,3,5,7\dots$ (l'ordre de l'harmonique de la F.m.m du stator)

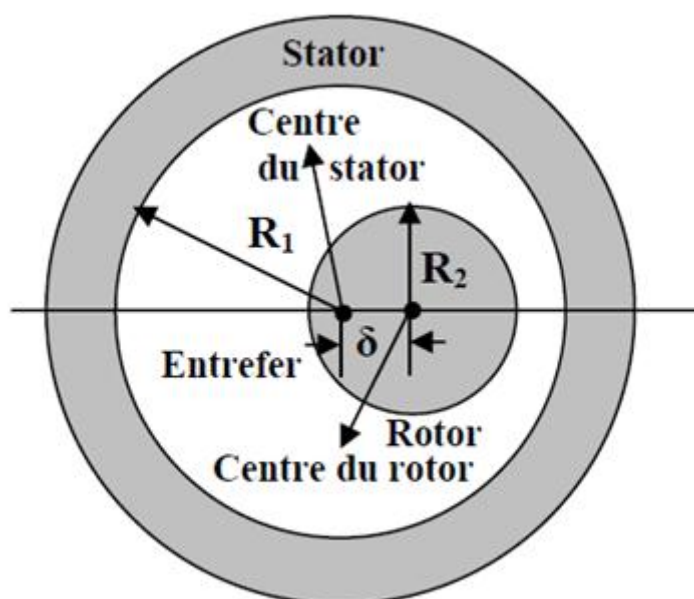


Figure 1.6. Représentation de l'excentricité

I.3.2. Défauts au niveau des roulements :

Les roulements se composent généralement de deux bagues, une intérieure et autre extérieure entre lesquelles existe un ensemble de billes ou de rouleaux tournants (figure 1.7). En fonctionnement normal, la défaillance due à la fatigue commence par des petites fissures situées au-dessous des surfaces du chemin de roulement et de l'élément roulant, qui se propage graduellement sur la surface.

Tout changement de l'uniformité du roulement produit des vibrations qui génèrent dans le courant statorique des raies spectrales de fréquences :

$$f_{roul} = |f_s - kf_v|$$

d'où: $k=1,2,3,\dots$, et f_v est l'une des fréquences caractéristiques des vibrations

Les fréquences caractéristiques des vibrations dépendent de l'élément du roulement affecté par un défaut et sont liées aux paramètres du roulement. [HUB03]

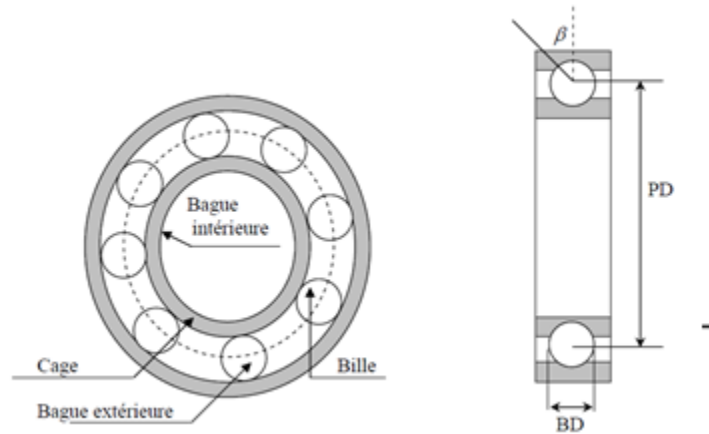


Figure 1.7. Dimension du roulement à bille

I-3-3 Les défauts statoriques :

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statoriques de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses. Nous pouvons citer, à titre d'exemple, les défauts de type courts-circuits inter-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques. Ce type de défauts peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statorique. Nous pouvons citer aussi les courts-circuits apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou entre deux phases statoriques.

Les courts-circuits entre spires est donc le défaut le plus fréquemment rencontré au stator.

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones :

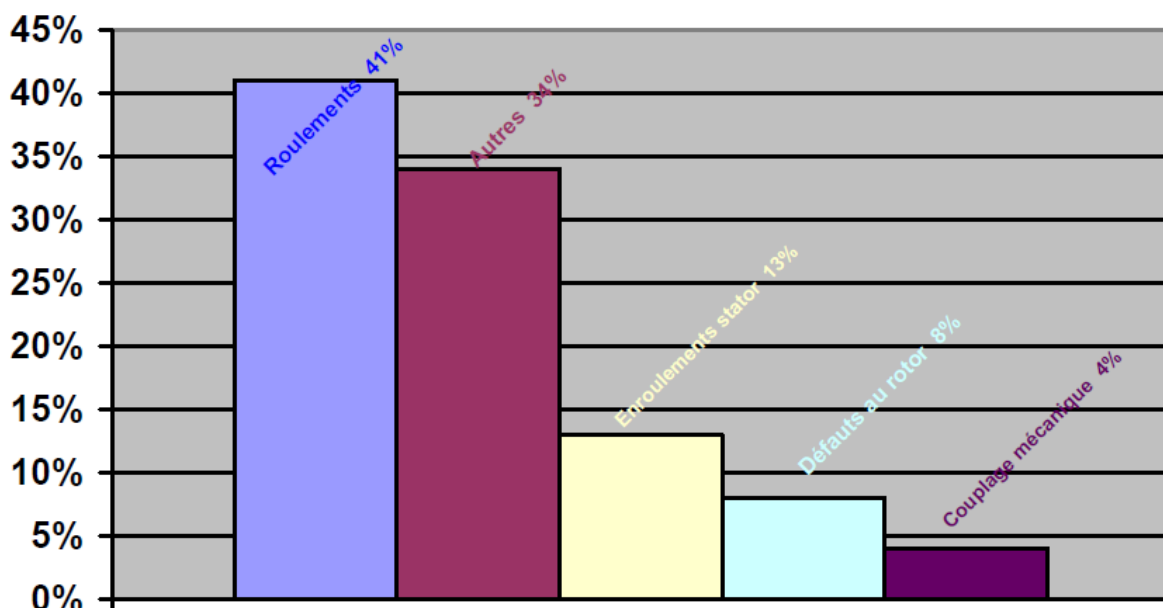


Figure 1.8. Etude statistique de défaut de la machine asynchrone.

I.4. les méthodes de diagnostic :

I.4.1. les méthodes de diagnostic par Analyse des flux :

La conversion électromécanique de l'énergie est localisée dans l'entrefer. Cette conversion est donc affectée par tout déséquilibre magnétique, mécanique, électrique ou électromagnétique au rotor ou au stator. Le flux d'entrefer et par-là même l'induction magnétique dans cet entrefer, le flux embrassé dans les enroulements statoriques ou encore le flux de fuite dans l'axe du rotor sont des paramètres qui, à cause de leur sensibilité à tout déséquilibre de la machine, méritent d'être analysés. Ces grandeurs sont difficilement mesurables mais des études ont été menées pour extraire des signatures spécifiques à certains défauts.

[HUB03]

I.4.2. les méthodes de diagnostic par Analyse du courant statorique :

La signature fréquentielle spécifique au défaut "barres cassées" est la forte modulation des harmoniques du courant par la fréquence de glissement. Dans cette analyse fréquentielle, il est préférable de faire une étude globale sur les courants. Il est vrai qu'un défaut rotor est visible sur le spectre des trois courants de ligne. Mais faire une FFT sur chaque courant risque d'être pénalisant en temps de calcul.

[ROL03]

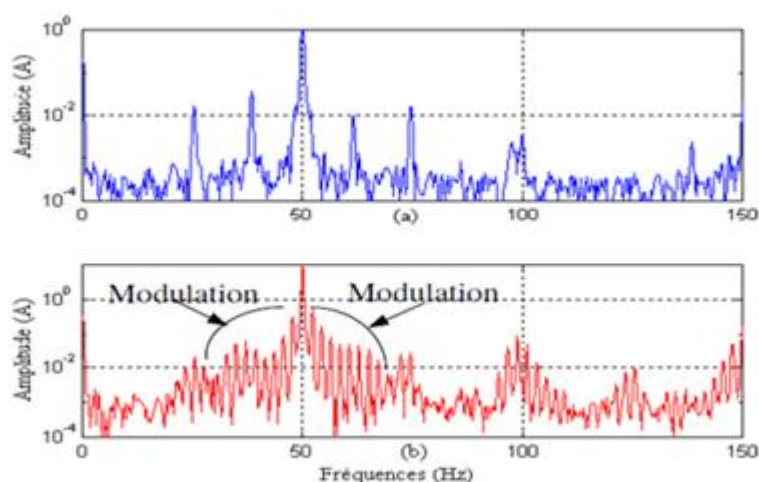


Figure 1.9. Spectre du courant I_{sd} fonctionnement en charge. Rotor sain (a). rotor en défaut

I.4.3. Les méthodes de diagnostic par méthode d'identification des paramètres :

La seule méthode de détection de défauts basée sur l'utilisation d'un modèle physique qui est envisagée dans ce travail est l'identification des paramètres.

Elle vise à estimer les paramètres du modèle physique afin de représenter le mieux possible au sens de l'erreur quadratique le comportement du procédé. La modélisation qui en a été faite pour le système est basée sur les équations fondamentales et chaque fonction de transfert correspond à un élément physique du système. [ROL03]

I.4.3.1. Validation de l'identification des paramètres :

Tel que mentionné dans la section portant sur la robustesse des méthodes de détection de défauts, il est possible que l'analyse multivariable trouve des corrélations significatives entre des paramètres mal identifiés et des comportements de procédé en défaut. Cependant, il est préférable que l'identification ait une signification physique dans le cas où l'on voudrait identifier le défaut de manière experte. La méthode de validation de l'identification choisie consiste à évaluer la blancheur des résidus. Si les résidus sont blancs dans l'intervalle de confiance à 95% pour des données de validation différentes des données d'identification, alors l'identification est considérée réussie. [ROL03]

I.5 Conclusion :

Dans le premier chapitre, nous avons rappelé les principaux éléments de constitution de la machine asynchrone. Puis nous avons présenté les différents défauts qui peuvent apparaître dans les machines asynchrones ainsi que quelques méthodes de diagnostic couramment utilisées.

Au chapitre suivant, nous allons étudier l'influence de déséquilibre de réseau électrique sur les machines asynchrones.

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

II.1. Introduction :

Partant des acquis résultant de l'étude des circuits électriques linéaires en régime sinusoïdal (monophasé), le milieu industriel a recours à des ensembles comportant plusieurs sources sinusoïdales délivrant des signaux équidéphasés. Parmi ces ensembles polyphasés, on aborde les notions relatives aux réseaux triphasés.

L'étude débute par les définitions relatives aux réseaux triphasés équilibrés. Sur cette base, la description des tensions simples et composées est effectuée, ainsi que les modes de représentation sous forme temporelle, complexe ou vectorielle. La connexion d'une charge équilibrée conduit à la distinction entre couplage étoile ou triangle pour lesquels les caractéristiques essentielles sont présentées.

II.2 Définition :

Le déséquilibre conduit à des évolutions notables des grandeurs électriques : circulation d'un courant dans le conducteur de neutre, ... Les configurations réelles conduisent souvent à considérer des charges déséquilibrées. Leur s'il est connecté ou, dans le cas contraire, au décalage de la tension du neutre réel par rapport à celui de la source triphasée.

Mais la livraison d'électricité s'effectue à des niveaux d'énergie tels qu'il est important de développer les notions relatives aux puissances. La puissance instantanée est exprimée de manière générale pour une charge quelconque puis dans le cas d'une charge équilibrée. C'est l'occasion de mettre en évidence que la puissance moyenne —ou active— est constante. La définition de la puissance complexe permet de mettre une formule simple et de décomposer les différentes grandeurs d'une manière un peu facile par rapport aux autres méthodes, donc et après on introduit l'aspect de la puissance réactive, la puissance apparente et le facteur de puissance.

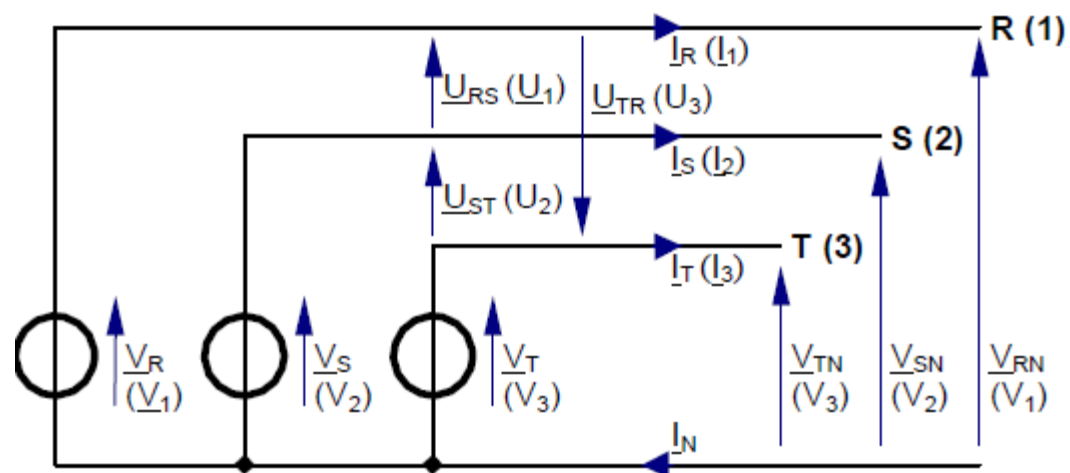
II. Réseau triphasé symétrique :

II.1. Définition :

Un **système triphasé** (souvent abrégé 3~) est une catégorie particulière de **réseau polyphasé** à trois grandeurs (tensions ou courants) sinusoïdales de même fréquence. Le système est **symétrique** si les grandeurs sinusoïdales sont de mêmes valeurs efficaces et déphasées de $2\pi/3$. Il est **direct** si les phases sont ordonnées dans le sens trigonométrique inverse et **inverse** dans l'autre cas.

Un réseau triphasé est un assemblage de trois générateurs de tension indépendants connectés en **étoile** (*Figure 2.1*), c'est à dire avec un pôle commun appelé **point neutre**. La **ligne** est l'ensemble des conducteurs transportant l'énergie. On distingue trois conducteurs (un par phase) et éventuellement un quatrième pour le retour du courant appelé **conducteur de neutre**.

Par convention, les trois phases sont notées R, S et T, tandis que N désigne le neutre. Elles peuvent aussi être numérotées 1, 2 et 3, le neutre conservant sa



notation N.

Figure 2.1 : Réseau de distribution triphasé.

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

II.2. Les tensions délivrées :

II.2.1. Les tensions simples :

Puisque les grandeurs sont sinusoïdales, les tensions et courants utiliseront la notation complexe pour faciliter les tâches.

Les trois tensions entre phase et neutre sont les **tensions simples**, notées \underline{V} .

Le **Tableau 1** regroupe les formes temporelles et complexes de ces tensions.

Ecriture complexe	Ecriture temporelle
$\underline{V}_1 = V \sqrt{2} e^{j\omega t}$	$v_1(t) = V \sqrt{2} \cos(\omega t)$ —
$\underline{V}_2 = V \sqrt{2} e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3})}$	$v_2(t) = V \sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$
$\underline{V}_3 = V \sqrt{2} e^{j(\omega t - \frac{4\pi}{3})}$	$v_3(t) = V \sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$

Tableau 1 : tensions simples.

II.2.2. Les tensions composées :

En retranchant deux tensions simples consécutives, on établit l'expression des **tensions composées**, notées \underline{U} , entre deux phases. Voici le détail du calcul pour la tension \underline{U}_{12} :

$$\underline{U}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = V\sqrt{2}(e^{j\omega t} - e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3})}) = V\sqrt{2}e^{j\omega t}(1 - e^{-j\frac{2\pi}{3}}),$$

$$\text{donc } \underline{U}_{12} = V\sqrt{2}e^{j\omega t}(1 - \cos\frac{2\pi}{3} + j\sin\frac{2\pi}{3}) = V\sqrt{2}e^{j\omega t}(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) = V\sqrt{2}\sqrt{3}e^{j(\omega t + \frac{\pi}{6})} = \underline{V}_1 \sqrt{3}e^{j\frac{\pi}{6}}$$

En effectuant les mêmes évaluations pour les autres tensions, le **Tableau 2** est constitué.

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

Ecriture complexe	Ecriture temporelle
$\underline{U}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = \underline{V}_1 \sqrt{3} e^{j\frac{\pi}{6}}$	$u_{12}(t) = V \sqrt{2} \sqrt{3} \cos(\omega t + \frac{\pi}{6})$
$\underline{U}_{23} = \underline{V}_2 - \underline{V}_3 = \underline{V}_2 \sqrt{3} e^{j\frac{\pi}{6}}$	$u_{23}(t) = V \sqrt{2} \sqrt{3} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$
$\underline{U}_{31} = \underline{V}_3 - \underline{V}_1 = \underline{V}_3 \sqrt{3} e^{j\frac{\pi}{6}}$	$u_{31}(t) = V \sqrt{2} \sqrt{3} \cos(\omega t - \frac{7\pi}{6})$

Tableau 2 : tensions composées.

Ces trois tensions forment un système triphasé symétrique en avance de $\pi/6$ sur celui des tensions simples. Le rapport des modules des tensions simples et composées est $\sqrt{3} : U = \sqrt{3}V$

On notera enfin, qu'à chaque instant, la somme des trois tensions simples, comme celle des trois tensions composées est nulle.

II.2.3. Représentations des tensions :

A partir des expressions définies précédemment, il est possible de représenter les différentes tensions. La **Figure 2.3** est la représentation temporelle et la **Figure 2.2** est la représentation vectorielle de Fresnel.

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

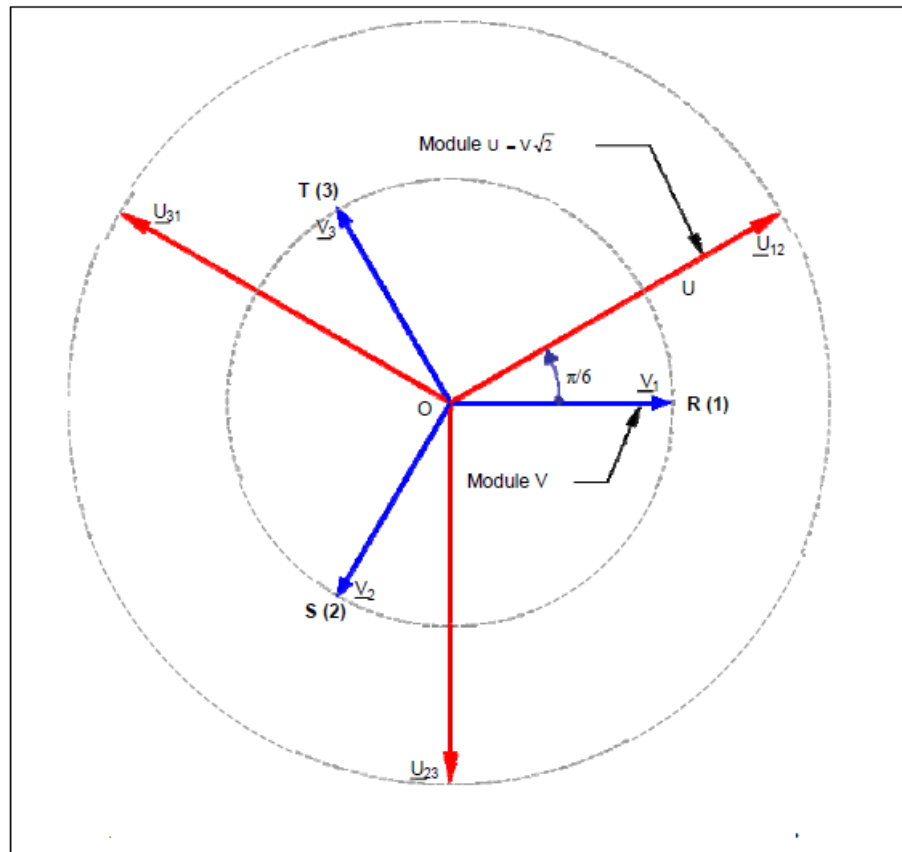


Figure 2.2 : Représentation vectorielle de Fresnel.

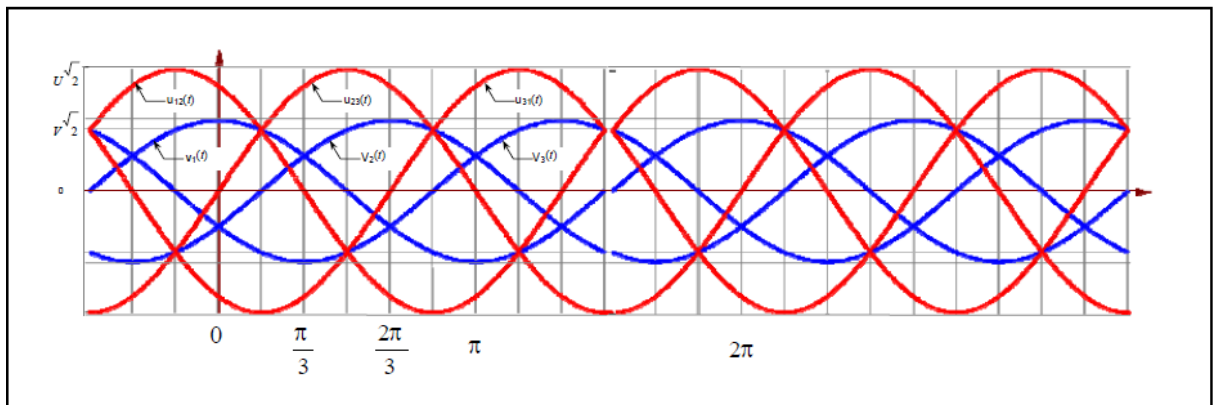


Figure 2.3 : Représentation temporelle des tensions (chronogrammes).

En pratique les couples de tensions sont notés *tension simple/tension composée* (V/U). Ceux couramment rencontrés dans l'industrie sont 230/400 V et 380/660 V

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

II.3. Connexion d'une charge :

A partir d'un réseau distribué par trois ou quatre conducteurs, il est possible de relier trois dipôles de deux manières différentes :

- Un pôle de chaque élément est relié à une phase tandis que les autres sont interconnectés, il s'agit du **couplage étoile** (symbole Y) ;
- Chaque dipôle est placé entre deux phases, il s'agit du **couplage triangle** (symbole D).

La charge peut être composée d'impédances différentes \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 et \underline{Z}_3 , on dit alors qu'elle est **déséquilibrée**. Mais, si les impédances sont identiques \underline{Z} (module Z , argument ϕ), elle est dite **équilibrée**.

II.3.1. Couplage étoile :

Dans le couplage étoile, les éléments de la charge sont soumis aux tensions simples (*Figure 2.4*). Le point neutre de la charge peut être relié ou non relié au neutre distribué.

Les courants dans la ligne I_1 , I_2 et I_3 sont ceux dans les éléments :

$$\begin{aligned} \bullet \quad \underline{I}_1 &= \frac{\underline{V}_1}{\underline{Z}} = \frac{V}{Z} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \phi)} = I \sqrt{2} e^{j(\omega t - \phi)} \\ \bullet \quad \underline{I}_2 &= \frac{\underline{V}_2}{\underline{Z}} = -\frac{V}{Z} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \phi - \frac{2\pi}{3})} = I \sqrt{2} e^{j(\omega t - \phi - \frac{2\pi}{3})} \\ \bullet \quad \underline{I}_3 &= \frac{\underline{V}_3}{\underline{Z}} = -\frac{V}{Z} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \phi - \frac{4\pi}{3})} = I \sqrt{2} e^{j(\omega t - \phi - \frac{4\pi}{3})} \end{aligned}$$

Les courants I_1 , I_2 et I_3 forment un système déphasé de $-\phi$ par rapport au système des tensions simples (*Figure 2.5*).

Tous les courants ont même amplitude efficace V/Z et chacun d'eux est déphasé de ϕ par rapport à la tension simple correspondante. Le courant dans le neutre est :

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = I\sqrt{2} \left[e^{j(\omega t - \varphi)} + e^{j(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3})} + e^{j(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3})} \right] = 0$$

En conclusion, dans une charge équilibrée alimentée par un réseau triphasé symétrique, le courant de neutre est nul. Il n'est donc pas nécessaire de connecter les neutres de la source et de la charge.

p

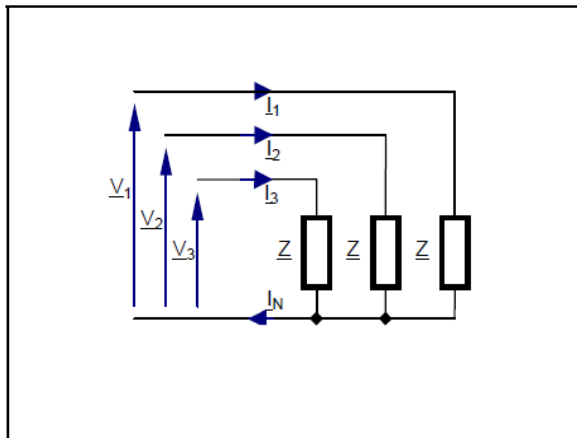


Figure 2.4 : Couplage étoile (Y). étoile équilibré.

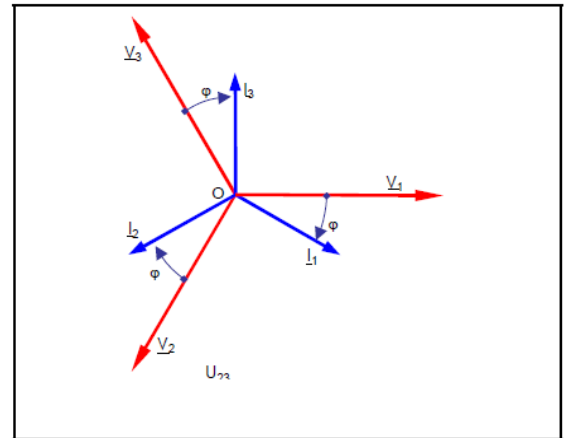


Figure 2.5 : Courants en

II.3.2. Couplage triangle :

Dans le couplage triangle, les éléments de la charge sont soumis aux tensions composées (*Figure 2.6*).

Les courants \underline{J} c'est à dire \underline{J}_1 , \underline{J}_2 et \underline{J}_3 circulent dans les éléments, ils sont donc déphasés de $-\phi$ par rapport aux tensions composées :

- $\underline{J}_1 = \frac{\underline{U}_1}{Z} = \frac{U}{Z} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{6})} = J \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{6})}$
- $\underline{J}_2 = \frac{\underline{U}_2}{Z} = \frac{U}{Z} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi - \frac{5\pi}{6})} = J \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi - \frac{5\pi}{6})}$
- $\underline{J}_3 = \frac{\underline{U}_3}{Z} = \frac{U}{Z} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi - \frac{7\pi}{6})} = J \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi - \frac{7\pi}{6})}$

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

Les courants \underline{J}_1 , \underline{J}_2 et \underline{J}_3 forment un système équilibré déphasé de $-\phi$ par rapport à celui des tensions composées (**Figure 2.7**).

La connaissance de ces courants permet de déterminer les courants en ligne, par exemple pour I_1 :

$$\underline{I}_1 = \underline{J}_1 - \underline{J}_3 = J\sqrt{2} \begin{bmatrix} e^{j(\omega t - \phi + \frac{\pi}{6})} & -e^{j(\omega t - \phi - \frac{7\pi}{6})} \end{bmatrix} = J\sqrt{2}\sqrt{3}e^{j(\omega t - \phi)}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{J}_2 - \underline{J}_1 = J\sqrt{2}\sqrt{3}e^{j(\omega t - \phi - \frac{2\pi}{3})}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{J}_3 - \underline{J}_2 = J\sqrt{2}\sqrt{3}e^{j(\omega t - \phi - \frac{4\pi}{3})}$$

Et de même pour les autres courants :

Le module des courants en ligne est la racine carrée de 3 plus élevé que celui dans les éléments : $I = \sqrt{3}J$.

Les courants en ligne forment un système triphasé équilibré en retard de $\pi/6$ sur celui des éléments. [CUB12]

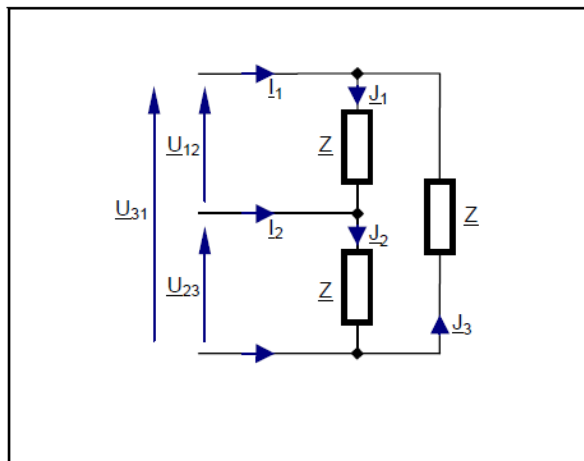


Figure 2.6 : Couplage triangle (D).

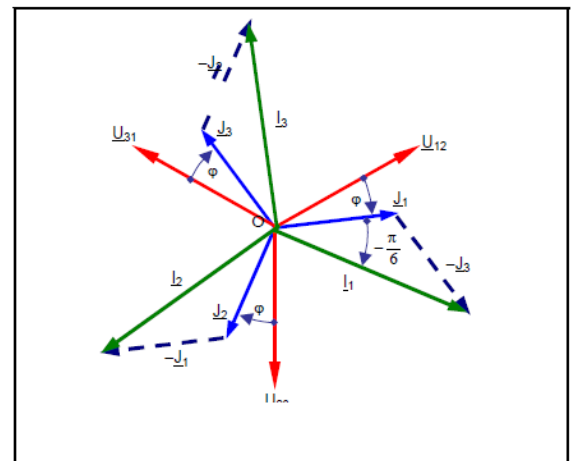


Figure 2.7 : Courants en triangle équilibré

II. Réseau triphasé non symétrique :

II.1. Définition :

Une charge est non équilibrée si l'une des ces conditions est vérifiée, donc soit les trois impédances sont différentes \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 et \underline{Z}_3 , couplées en étoile ou en triangle, ou le système a des fréquences pas égales ou bien les trois phases ne sont pas décalées l'une par rapport à l'autre de $2\pi/3$. Les courants de ligne ne sont alors pas tous égaux. La conséquence la plus immédiate est que le potentiel du neutre de la charge est décalé par rapport à celui de l'équilibre.

II.2. Influence du déséquilibre :

II.2.1. Détermination du courant de neutre :

Dans un premier temps, on se place dans le cas où le neutre est relié au réseau par le conducteur associé (*Figure 2.8*).

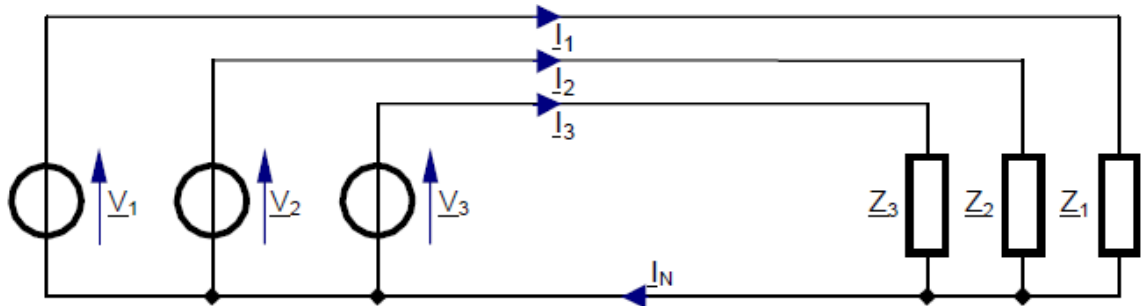


Figure 2.8 : Charge étoile déséquilibrée avec neutre relié.

On détermine la somme des trois courants en ligne, c'est à dire le courant dans le neutre, dans la charge étoile déséquilibrée :

$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{V}_2}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{V}_3}{\underline{Z}_3} = \frac{V}{Z_1} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_1)} + \frac{V}{Z_2} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_2 - 2\pi/3)} + \frac{V}{Z_3} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_3 - 4\pi/3)}$$

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

Ce courant peut s'écrire :

$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = I_1 \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_1)} + I_2 \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_2 - \frac{2\pi}{3})} + I_3 \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_3 - \frac{4\pi}{3})}$$

II.2.2. Détermination du potentiel de neutre :

Si le neutre n'est pas relié, on détermine son potentiel par rapport au neutre qui existerait si la charge était équilibrée (*Figure 2.9*).

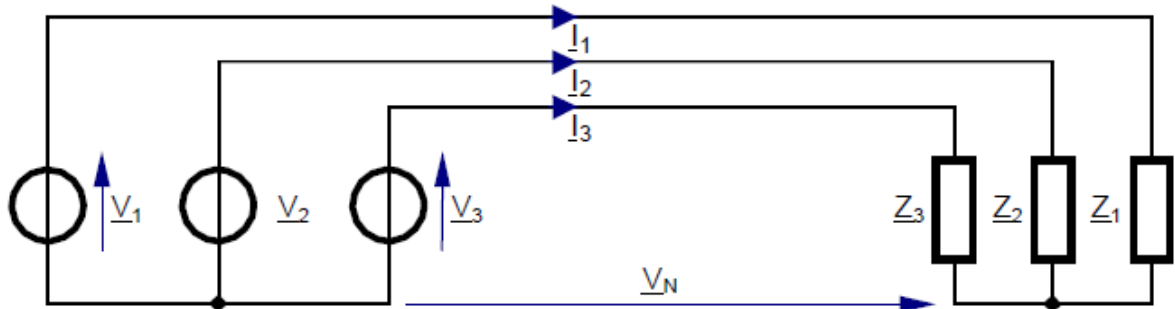


Figure 2.9 : Charge étoile déséquilibrée sans neutre relié.

Cette tension peut être déterminée aisément grâce au théorème de Millman :

$$\underline{V}_N = \frac{\underline{Y}_1 \underline{V}_1 + \underline{Y}_2 \underline{V}_2 + \underline{Y}_3 \underline{V}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3}$$

Dans le cas général, cette tension n'est pas toujours nulle. Le potentiel de neutre est décalé par rapport au neutre de la source. Ce dernier est souvent relié à la terre, on observe donc V_N près de la charge. Cela peut présenter un danger pour certains régimes de neutre, en cas de défaut dans la charge.

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

II. Puissances en triphasé :

II.1. Charge triphasée déséquilibrée (ou quelconque) :

La puissance instantanée absorbée par le récepteur est la somme des puissances véhiculées par chaque phase :

$$p(t) = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 .$$

En cas de charge déséquilibrée, tensions et courants sont déphasés de ϕ_1 , ϕ_2 ou ϕ_3 suivant les phases. La puissance active est la valeur moyenne :

$$P = V_1 I_1 \cos \phi_1 + V_2 I_2 \cos \phi_2 + V_3 I_3 \cos \phi_3$$

Et la puissance réactive s'écrit alors :

$$P = V_1 I_1 \sin \phi_1 + V_2 I_2 \sin \phi_2 + V_3 I_3 \sin \phi_3$$

Si la charge est équilibrée, les trois impédances sont les mêmes, donc les trois déphasages sont identiques :

$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = -\phi$ (le signe moins est une commodité d'écriture).

$$\begin{array}{l} v_1(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega t) \\ i_1(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \phi) \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} v_2(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_2(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \phi) \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} v_3(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \\ i_3(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \phi) \end{array} \right.$$

Les tensions et courants ont alors les expressions instantanées suivantes:

En ajoutant les puissances instantanées :

$$\begin{aligned} p(t) &= 2VT \left[\cos(\omega t) \cos(\omega t - \phi) + \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \phi) + \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \phi) \right] \\ p(t) &= VT \left[\cos(2\omega t + \phi) + \cos \phi + \cos(2\omega t - \frac{4\pi}{3} + \phi) + \cos \phi + \cos(2\omega t - \frac{8\pi}{3} + \phi) + \cos \phi \right] \\ p(t) &= 3VT \cos \phi + VT \left[\cos 2\omega t - \phi + \cos(2\omega t - \frac{4\pi}{3} - \phi) + \cos(2\omega t - \frac{8\pi}{3} - \phi) \right] \end{aligned}$$

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

Le terme entre crochets est la somme de trois cosinus d'angles équirépartis sur le cercle trigonométrique, ils sont donc nuls.

La puissance active consommée par la charge est constante. A la différence de la puissance moyenne en monophasé, aucun terme de puissance fluctuante n'apparaît dans l'expression :

$$p(t) = P = 3VI \cos \phi$$

Cette particularité est très appréciable dans certaines applications, telle l'électromécanique par exemple. Le couple délivré sur l'arbre des machines tournantes, souvent proportionnelle au courant, se trouve débarrassé de composantes vibratoires préjudiciables à la longévité des paliers mécaniques.

La puissance réactive est la partie imaginaire de la puissance complexe :

$$Q = 3VI \sin \phi$$

Ce qui permet d'écrire la puissance complexe :

$$S = P + jQ = 3VI.e^{j\phi} = [3VI, \phi]$$

La puissance apparente est le module de cette puissance complexe :

$$S = 3VI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

On peut étendre l'écriture des puissances en utilisant les relations entre les modules des tensions simples et composées d'une part, et des courants en ligne et dans les éléments d'autre part :

$$U = \sqrt{3}V \quad \text{et} \quad I = \sqrt{3}J$$

Les puissances peuvent donc toujours s'écrire :

$$P = \sqrt{3}(\sqrt{3}V)I \cos \phi = \sqrt{3}UI \cos \phi, \quad Q = \sqrt{3}(\sqrt{3}V)I \sin \phi = \sqrt{3}UI \sin \phi \quad \text{et} \quad S = \sqrt{3}(\sqrt{3}V)I$$

En résumé, la puissance peut toujours être exprimée de la même manière avec les grandeurs en tête de réseau, tension composée U et courant en ligne I .

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

Remarque :

On définit souvent le facteur de puissance comme le rapport des puissances active et apparente. En sinusoïdal, ce terme s'identifie au $\cos\phi$.

II.3. Théorème de Boucherot :

A l'instar du régime monophasé, la puissance active consommée par une installation est égale à la somme des puissances actives consommées par chacun de ses sous-ensembles.

La puissance réactive consommée par une installation est égale à la somme des puissances réactives consommées par chacun de ses sous-ensembles.

Note :

Ce théorème ne s'applique pas aux puissances apparentes, que l'on ne peut cumuler (la puissance apparente est une somme complexe, de composantes pas nécessairement en phase).

II.4. Relèvement du facteur de puissance :

Dans le cas où le facteur de puissance d'une installation électrique est faible, les courants absorbés en ligne augmentent pour le transport d'une puissance donnée. Ceci occasionne des pertes en ligne excessives entraînant leur surdimensionnement.

Le fournisseur d'énergie impose donc un facteur de puissance minimal à respecter, faute de quoi l'entreprise est taxée pour toute consommation de puissance réactive excédentaire.

On peut relever le facteur de puissance d'une installation, en plaçant à son entrée, en parallèle, une batterie de condensateurs qui fournissent une partie de la puissance réactive consommée.

Note :

On utilise aujourd'hui des compensateurs statiques. Ce sont des dispositifs d'électronique de puissance qui asservissent le facteur de puissance à la valeur souhaitée, tout en éliminant les harmoniques de courants indésirables.

II.5. Les causes de défauts :

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes [BOU01]:

- **Les initiateurs de défauts** : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survolage d'alimentation...
- **Amplification de défauts** : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement...etc.
- **Les défauts de fabrication** : défauts de fabrication, défectuosité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine...etc. Donc la majorité de tous les défauts du rotor et du stator sont provoqués par une combinaison des divers efforts qui agissent sur ces deux composants de la machine. Pour le stator, ces efforts peuvent être groupés comme suit :

1- Effets thermiques :

- vieillissement
- surcharge
- cycle de démarrage fréquent
- coupures

2- Effets Mécaniques :

- mouvement d'enroulement
- excentricité du rotor

3- Effets électriques :

- diélectrique
- surtension
- l'effet de couronne, effet de peau

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

Pour le rotor ces effets sont des conséquences des contraintes et des conditions suivantes :

- Couple de fonctionnement.
- Force dynamique non équilibrée.
- Vibration de torsion et des couples transitoires.
- Forces résiduelles du bâti, de la soudure, de l'usinage, et des fils (radial, axial, autre).
- Force magnétique provoquée par le flux de fuite d'encoche.
- Force magnétique provoquée par l'excentricité de l'entrefer.
- Force de centrifuge.
- Effort thermique provoqué par l'échauffement de l'anneau du court-circuit.
- Effort thermique provoqué par la différence de la température dans la barre pendant le démarrage (effet de peau).

Donc, le déséquilibre peut produire des oscillations (ondulations) supplémentaire au niveau du courant, couple ou la vitesse de rotation de la machine asynchrone, pour cela les figures ci-dessous illustre clairement ces effets d'après la comparaison entre la MAS sous un système équilibré « simulation », et l'autre déséquilibré « expérimental » (les résultats de laboratoire d'électrotechnique de l'université Mentouri constantine LEC 3).

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

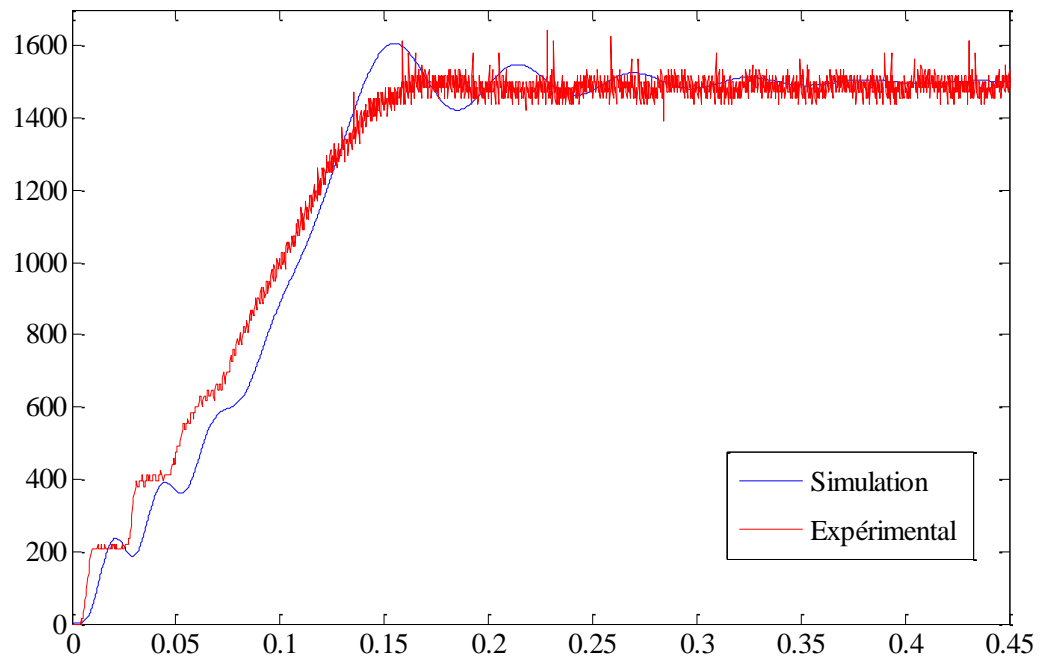


Figure2.10: graphe représentant l'évolution de la vitesse

Nous remarquons l'oscillation de la vitesse, mais celle-ci n'est pas forcément toutes dû au déséquilibre, car elle pourrait être le résultat des vibrations dues au banc expérimental.

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

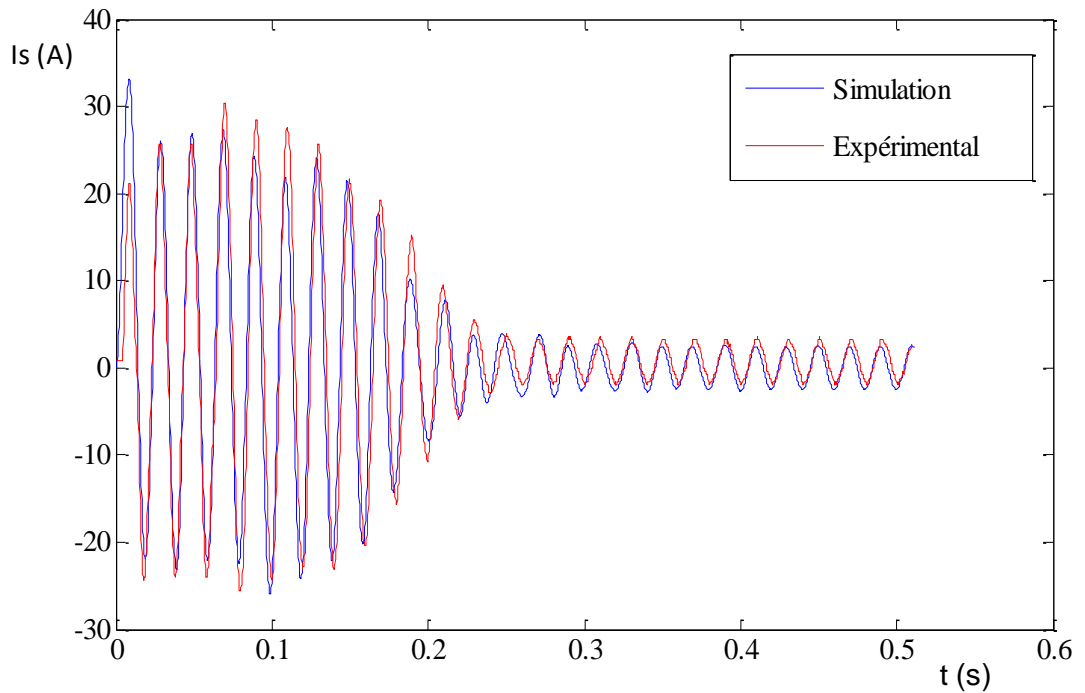


Figure 2.11: Courant statorique de démarrage machine défectueuse

On remarque qu'il y a concordance entre le courant expérimental et le courant de simulation avec quelques ondulations. [CUB12]

Chapitre 2 : Une MAS alimentée par un réseau électrique déséquilibré

II.6. Conclusion :

Dans notre travail nous avons remarqué que le déséquilibre affecte l'ondulation du courant, du couple et de la vitesse. Et ne serait perceptible que si on augmente la valeur de la charge. On signifie que l'analyse spectrale est plus riche d'enseignement, pour la détection et localisation de déséquilibre pour la maintenance prédictive.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Une procédure de diagnostic de défauts de la machine asynchrone à cage d'écureuil est présentée, il y a plusieurs techniques pour les détectés. Un modèle global de la machine asynchrone est obligatoire d'étudier. La procédure de description l'effet de déséquilibre sur une machine asynchrone a été effectué.

Cette procédure a ainsi permet de connaître l'influence d'une manière précise, surtout par les résultats de simulation qui clarifient le but de notre modeste travail Enfin, un effort supplémentaire devrait être accompli afin de satisfaire les exigences industrielles, qui se traduites par une modélisation plus fine prenant en compte l'état réel de la machine.

La bibliographie

[GAE04] : Gaetan Didier « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances » Université Henri Poincaré Nancy-I 2004 .

[OLI06] :Olivier Ondel «diagnostic par reconnaissance des formes: Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone» l'école central de Lyon , 2006.

[ABL09]:Abla Bouguerne « Diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchrones » Université Mentouri Constantine , 2009.

[CUB12] :communauté Université de Biskra

[BOU01] BOUMEGOURA TAREK « recherche de signature électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateur en vue du diagnostic» thèse de doctorat école central de Lyon 2001

[ROL03]: Roland Casimir «Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes » l'école doctorale électronique, électrotechnique, automatique

de Lyon ,2003.

[SCH99] Schaeffer Emmanuel « Diagnostic des machines asynchrones : modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts » thèse de doctorat Université de Nantes 1999

[HUB03] Hubert Razik «Notes de cours sur le diagnostic de la machine asynchrone» Groupe de Recherches en Électrotechnique et Électronique de Nancy

G.R.E.E.N. - U.H.P. - U.M.R. - 7037

Université Henri Poincaré - Nancy 1 - B.P. 239

54506 Vandœuvre - lès - Nancy, Cedex

La bibliographie
