

DETECTION DU DESEQUILIBRE DE TENSION D'ALIMENTATION EN VUE DE DIAGNOSTIC DE LA MACHINE ASYNCHRONES

Benamira N.¹, Neçiabia A.², Bouraiou A.²

¹Département d'Electromécanique, Université Baji Mokhtar d'Annaba

² Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien URER/MS Adrar, Algérie

E-mail: nadir-benamira@live.fr

Résumé - Les moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil, sont les plus utilisés dans tous les domaines industriels, par ce qu'ils ont une simplicité de construction, une robustesse mécanique, et un faible coût d'achat, dans cet article, nous étudions le fonctionnement de la machine en cas d'un déséquilibre de tension d'alimentation, ensuite nous présentons l'approche du vecteur de Park, et nous analysons le contenu spectral du courant statorique en présence de ce type d'anomalie en vue de la surveillance et le diagnostic de la machine asynchrone.

Mots clés - moteurs à induction, diagnostic des défauts, déséquilibre de tension d'alimentation, l'approche du vecteur de Park, analyse spectrale.

Abstract – Three phase asynchronous motors with squirrel-cage, are the most used devices in industrial areas. They have a simple construction, a mechanical robustness, and a low cost. In this article, we study the operation of the machine in case of a supply voltage unbalance. Then we present the approach of the Park vector, and analyze the spectral content of the stator current in the presence of this type of anomaly for the monitoring and diagnosis of the asynchronous machine.

Keywords - induction motors, fault diagnosis, supply voltage unbalance, Park vector approach, spectral analysis.

INTRODUCTION

Le diagnostic des machines électriques s'est largement développé dans le monde industriel car la volonté d'obtenir une chaîne de production de plus en plus sûre devient, pour certaines applications, indispensable [1]. Le travail proposé est sur le diagnostic des machines asynchrone triphasé à cage d'écureuil. Ce type de machine électrique est le plus utilisé par ce qu'il a une simplicité de construction, un faible coût d'achat et de fabrication, une robustesse mécanique et même une quasi-absence d'entretien. Il est clair donc que ces moteurs nous conduisent à porter une attention particulière quand à leur fonctionnement et leur disponibilité [2]. Alors, l'apparition d'un défaut dans la machine asynchrone conduit le plus souvent, à un arrêt irréparable. Par conséquent, un coût de réparation élevé pour les entreprises en raison de leur forte puissance, auquel vient s'ajouter les pertes de production. Dans la littérature, sont présentées plusieurs techniques de détection de défauts qui utilisent majoritairement la modélisation de la machine asynchrone basé sur les transformations de Park, de Clarke ou de Concordia. Certaines méthodes sont couramment rencontrées dans le diagnostic des défauts électriques et /ou mécaniques, telles que l'analyse du vecteur de Park, le traitement des signaux temporelle (courants), les vibrations, les flux et le couple. Cette méthode est basée sur la transformée de Fourier rapide FFT. Des recherches ont été particulièrement dirigées vers le spectre des courants statoriques pour deux raisons [3]:

- Les courants sont faciles à mesurer ;

- Ils fournissent des informations sur de nombreux défauts.

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts, le défaut à étudier est d'origine externe de type électrique, qui est le déséquilibre de tension d'alimentation, ce défaut affecte les performances et l'efficacité des moteurs à induction, les problèmes les plus fréquents sont les dommages matériels au niveau des paliers par l'existence d'un couple inverse. Par exemple une variation de 10 % de l'amplitude de la tension se traduira par une perte de couple de 19 % pour une machine synchrone [4]. De plus des problèmes d'échauffement au niveau du stator et du rotor, ce qui conduit éventuellement à un vieillissement thermique de l'isolation, dans cette optique, nous étudions ce défaut par leurs différents caractéristique et puis l'identification de ce dernier par l'approche du vecteur de Park et l'analyse spectrale du courant statorique.

DEFINITION DU DEFAUT, CAUSES ET EFFETS

Définition du déséquilibre :

Un système triphasé est dit déséquilibré ou asymétrique, si les tensions et les courants triphasés n'ont pas la même amplitude et/ou ne sont pas déphasés de 120° les uns par rapport aux autres [5]. Les différents cas du déséquilibre de tension d'alimentation sont :

- sous-tension : diminution d'une seule phase ou deux phases ou les trois phases en même temps.
- Sur-tension : augmentation d'une seule phase ou deux phases ou les trois phases en même temps.
- Déphasage : le déphasage d'une seule phase n'est pas égal à 120° ou deux phases ne sont pas déphasées de 120° .

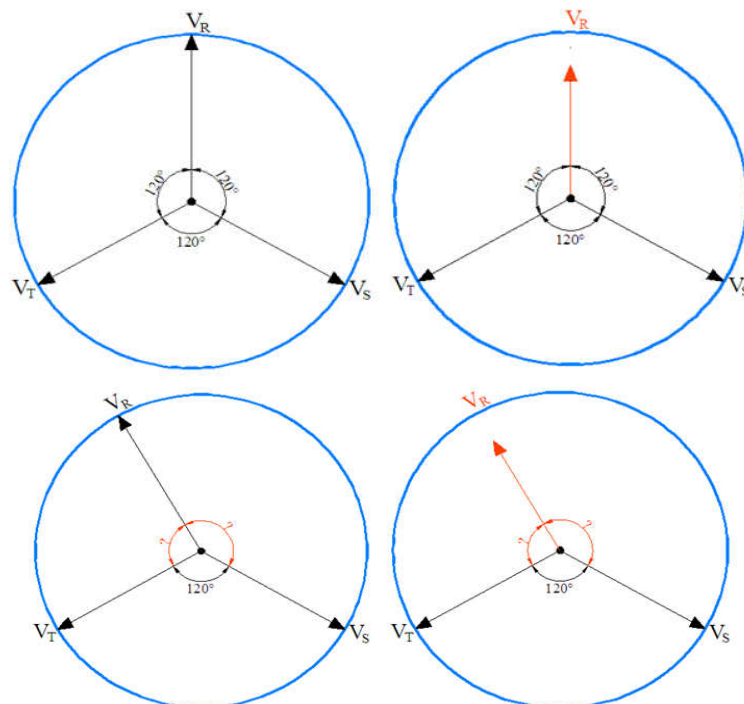


Fig.1. Illustration du système équilibré et quelques systèmes déséquilibrés.

Pour quantifier le déséquilibre en tension ou en courant d'un système triphasé, les composantes de Fortescue ou composantes symétriques, sont utilisées. Le système triphasé est décomposé en une composante directe ou à sens de rotation positif, une composante inverse ou à séquence de rotation négative, et un système homopolaire ou à rotation, indiqués par les indices d, i et h [5]. Elles sont déterminées par l'équation matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} V_h \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} \quad (1)$$

où l'opérateur a est donné par : $a = e^{j.120^\circ}$

La transformation inverse est :

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_h \\ V_d \\ V_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

On définit un degré de déséquilibre inverse et un degré de déséquilibre homopolaire : le degré de déséquilibre inverse est le rapport entre la composante inverse du fondamental de la tension et sa composante directe :

$$\Delta V = \frac{V_i}{V_d} \cdot 100\% \quad (3)$$

Le degré de déséquilibre homopolaire est le rapport entre la composante homopolaire du fondamental de la tension et sa composante directe :

$$\Delta V = \frac{V_h}{V_d} \cdot 100\% \quad (4)$$

Causes et effets

• Causes

L'impédance des constituants d'un réseau électrique n'est pas exactement la même pour chaque phase. Mes en générale, ces différences sont très faibles et leur effet peut être négligé. Dans la plupart des cas pratiques, des conditions anormales d'exploitation causent également un déséquilibre de phase. des court-circuit entre phases et des circuits ouverts sur l'une des phases sont des exemples typiques ; Même les charges monophasées sont une cause des courants déséquilibrés importants. Le comportement du système est alors déséquilibré [5].

• Effets

A l'intérieur des machines asynchrones, des champs magnétiques tournants. L'intensité du champ est proportionnelle à l'amplitude des composantes directe et/ou inverse. Le sens de rotation du champ correspondant à la composante inverse est opposé à celui du champ correspondant à la composante directe. C'est pourquoi, dans le cas d'une alimentation déséquilibrée, le champ magnétique tournant résultant devient « elliptique » plutôt que circulaire [5]. Les problèmes dus au déséquilibre et touchent les machines asynchrones sont :

La machine ne peut pas atteindre son couple maximale, par l'existence d'un couple de freinage produit par le champ magnétique inverse. De plus les dommages matériels au niveau des paliers. Les problèmes d'échauffement excessif au niveau du stator et encore plus du rotor, ce qui conduit éventuellement à un vieillissement thermique prématuré, et encore un dysfonctionnement de protections.

RESULTATS DE SIMULATION

Résultats de simulation d'un fonctionnement sain :

La modélisation et la simulation des machines asynchrone constituent une étape essentielle pour la mise au point d'une procédure de diagnostic. Elles permettent la compréhension du fonctionnement sain et défectueux [1]. Nous allons simuler la machine avec un défaut non-modélisé, et diagnostiquer cette dernière, l'objectif n'est pas donc de caractériser ce type de défaut mais de le différencier du fonctionnement sain. Le type de défaut que nous étudions est le déséquilibre de tensions d'alimentation. Toute machine alimentée par le réseau triphasé équilibré (220 V, 50 Hz), impose la forme et l'amplitude de la tension d'entrée de la figure :

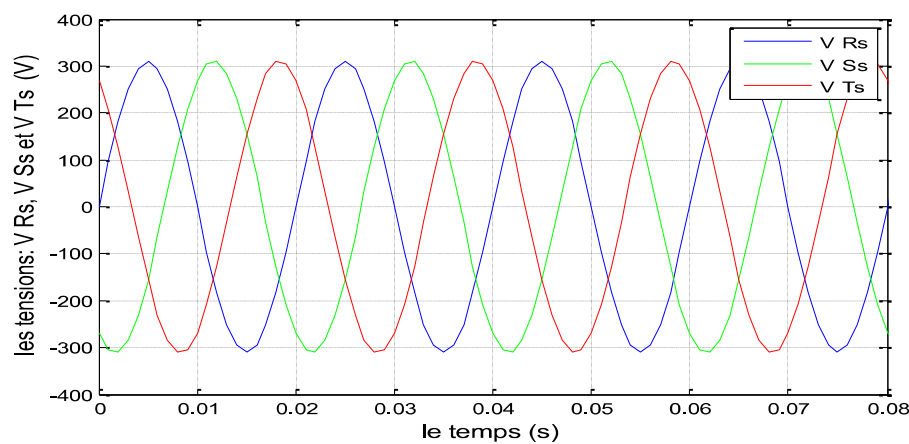


Fig. 2. Forme d'onde des trois tensions statoriques.

Les figures suivantes représentent les caractéristiques de la machine saine. À $t = 1s$, on charge la machine avec un couple de charge égale à 5 N.m, ce qui entraîne un appel du courant proportionnel à la charge appliqué, une diminution de la vitesse et une augmentation du couple qui tend vers le couple de charge.

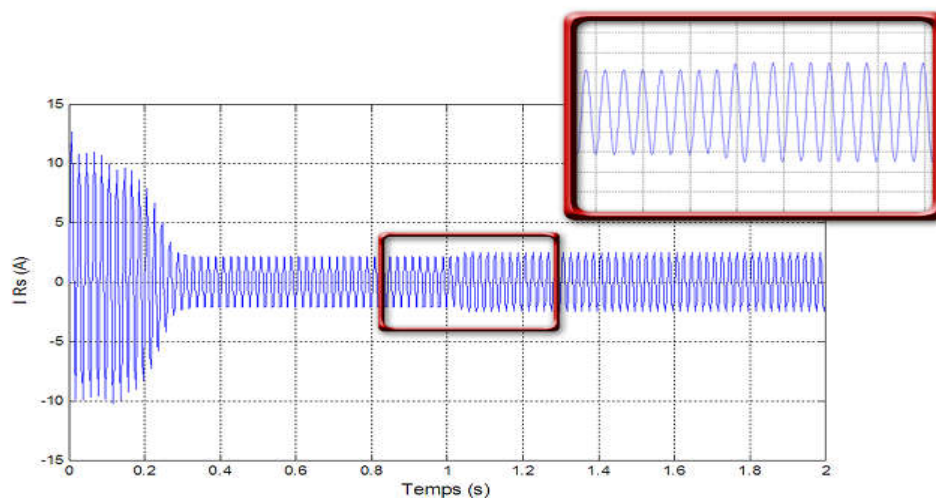


Fig. 3. Forme d'onde du courant I_{Rs} absorbé par la machine avec une charge de 5N.m à $t=1s$

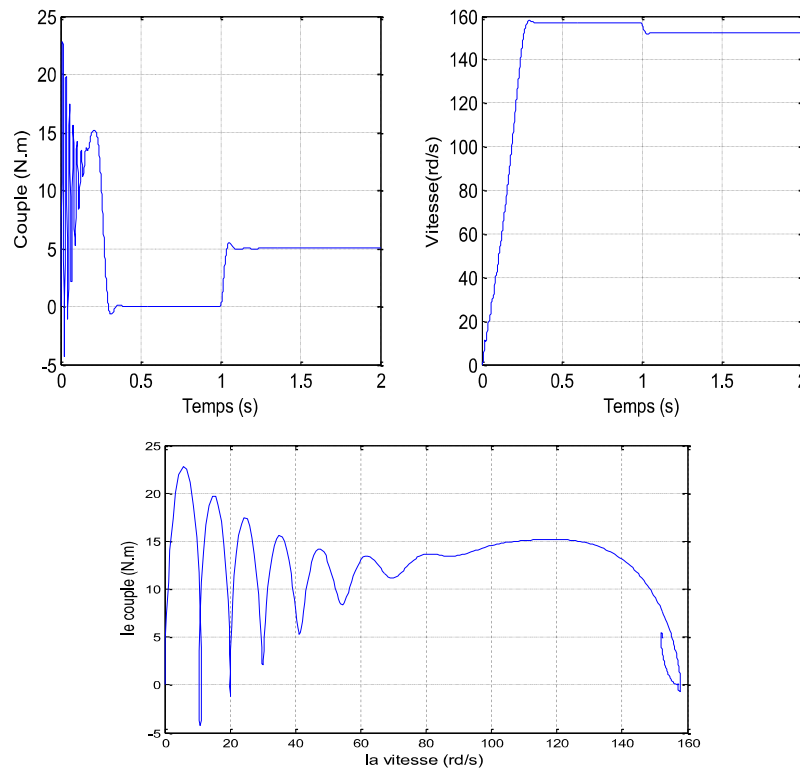


Fig. 4. Courbes, couple $C_{em}(t)$, vitesse $w(t)$ et $C_{em}(w)$ avec une charge de $C_r=5N.m$ à $t=1s$.

Résultats de simulation d'un fonctionnement défectueux

L'alimentation triphasée asymétrique, va influencer sur le fonctionnement de la machine asynchrone, et entraîne des perturbations et des modifications aux performances de la machine. D'après les différentes causes du déséquilibre que l'on a cité déjà, une tension asymétrique alimente le moteur, une diminution de tension de 20%, est appliquée sur la phase noté R. Cependant par rapport au bloc de simulation précédent, nous avons rajouté le « step » sur la phase R, et par l'intermédiaire de ce dernier, nous avons provoqué le défaut sur la phase concerné après un temps $t=1s$. Les formes d'ondes des trois tensions sont présentées à la figure suivante :

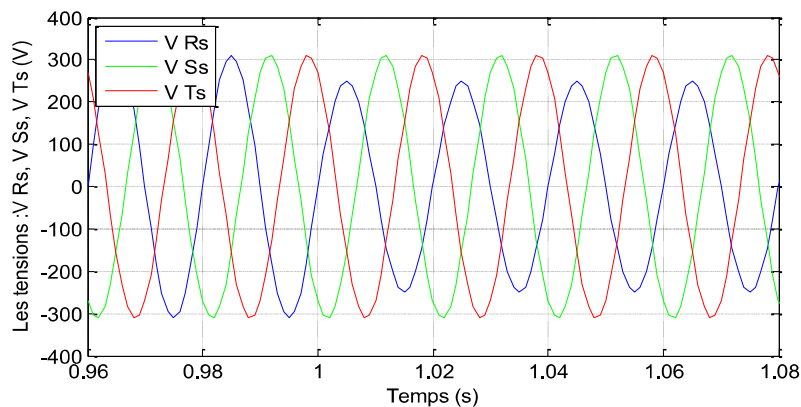


Fig. 5. Forme d'onde des trois tensions statoriques avec un déséquilibre de tension.

On charge la machine avec un couple résistant $C_r=5$ N.m, et on la démarre, ce qui entraîne un appel du courant, une diminution de la vitesse jusqu'à 152rd/s, et une augmentation du couple qui tend vers le couple de charge, mais à $t=1$ s, le déséquilibre de tensions d'alimentation, fait perturber le couple et la vitesse, comme est visualisé aux figures :

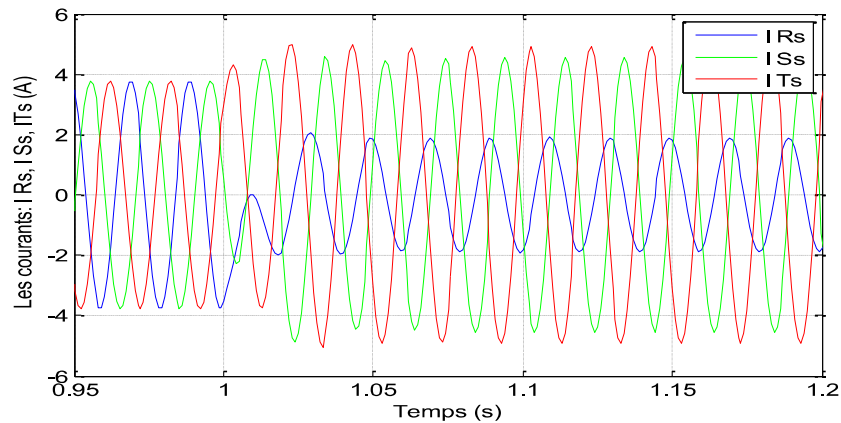


Fig.6. Forme d'onde des trois courants statoriques lors d'un déséquilibre des phases avec une charge $C_r= 5$ N.m.

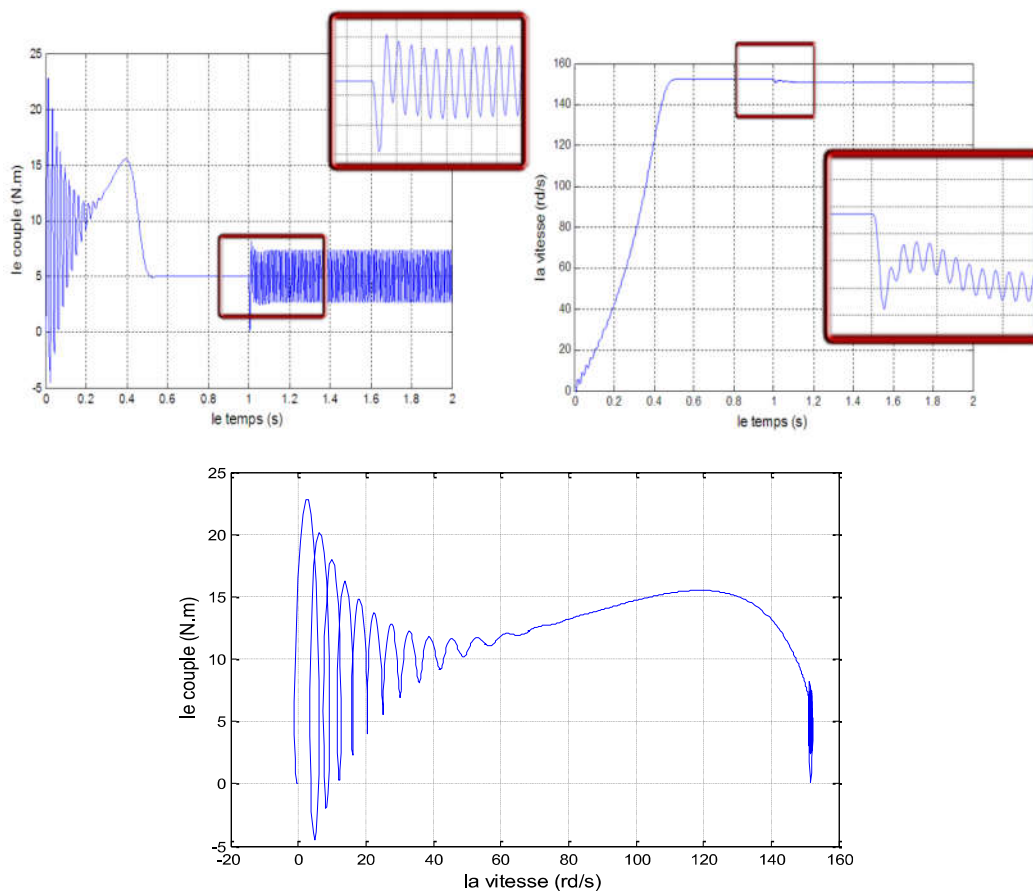


Fig. 7. Courbes de couple $C_e(t)$, vitesse $w(t)$, et $C_{em}(w)$ avec une Charge de $C_r = 5$ N.m lors d'un déséquilibre des phases.

APPROACHE DU VECTEUR DE PARK ET L'ANALYSE SPECTRAL DU COURANT STATORIQUE

L'approche du vecteur de Park

La représentation bidimensionnelle peut être utilisée pour décrire les phénomènes des machines à induction triphasée, En fonction des courants de phase i_{Rs} , i_{Ss} , i_{Ts} , les courants de park peuvent être calculés par ces deux relations [6] :

$$\begin{cases} i_d = \sqrt{\frac{2}{3}} i_R - \frac{1}{\sqrt{6}} i_S - \frac{1}{\sqrt{6}} i_T \\ i_q = \frac{1}{\sqrt{2}} i_S - \frac{1}{\sqrt{2}} i_T \end{cases} \quad (5)$$

Sous les condition idéal les courants de park sont :

$$\begin{cases} i_d = \frac{\sqrt{6}}{2} I_m \sin \omega t \\ i_q = \frac{\sqrt{6}}{2} I_m \sin \omega (\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (6)$$

avec : I_m : la valeur maximale du courant de phase

Nous represontons sur les figures suivantes le tracé du vecteur de park (le courant i_d en fonction du courant i_q) pour un fonctionnement sain de la machine et un fonctionnement sous un déséquilibre de tension d'alimentation. Sous les conditions idéales la représentation du vecteur de Park est un modèle circulaire centré à l'origine des coordinateurs comme illustré par la figure 7.

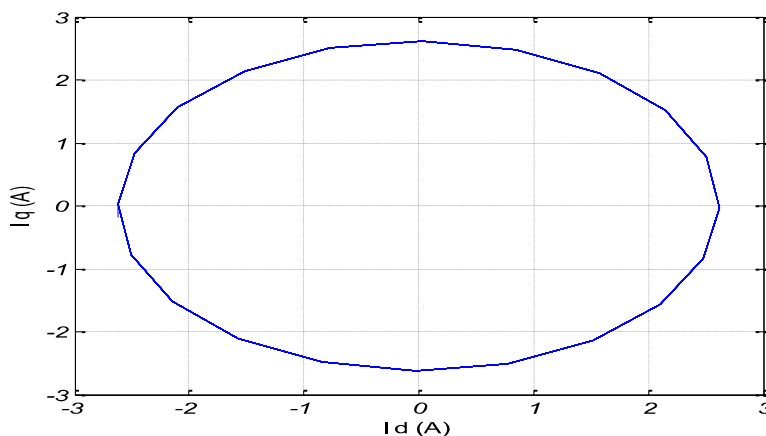


Fig. 8. Vecteur de Park sous les conditions idéales.

Dans le cas d'une alimentation asymétrique due a un court-circuit statorique ou a un déséquilibre de tension d'alimentation, le tracé de vecteur de park devient elliptique plutôt que circulaire.

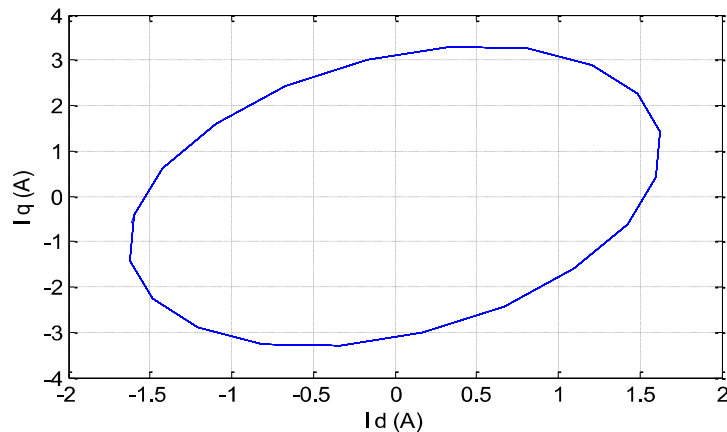


Fig. 9. Vecteur de Park sous une diminution de tensions de la phase R_s de 20%.

Donc le tracé du vecteur de Park représente une ellipse dans le cas d'un court-circuit statorique et d'un déséquilibre de tension d'alimentation; l'objectif maintenant est l'identification du défaut (déséquilibre de tension d'alimentation) et de le différencier du court-circuit, et pour cela nous utilisons l'analyse spectral du courant statorique.

L'analyse spectral du courant statorique

L'analyse spectrale des courants statoriques est très utilisée depuis de nombreuses années, pour détecter des défaillances dans les machines électriques. Ces défauts se traduisent par l'apparition des fréquences sur le spectre. Alors le contenu spectral des courants statorique est alors modifier par l'apparition des signatures fréquentielle, qui indique la nature des défauts [7].

Nous représentons sur les figures suivantes le spectre du courant statorique pour un fonctionnement sain de la machine et un fonctionnement sous un déséquilibre de tension d'alimentation.

La composante fondamentale de fréquence 50 Hz (l'harmonique d'ordre 1) est le contenu spectral du courant statorique sous les conditions idéales, comme illustré par la figure 9.

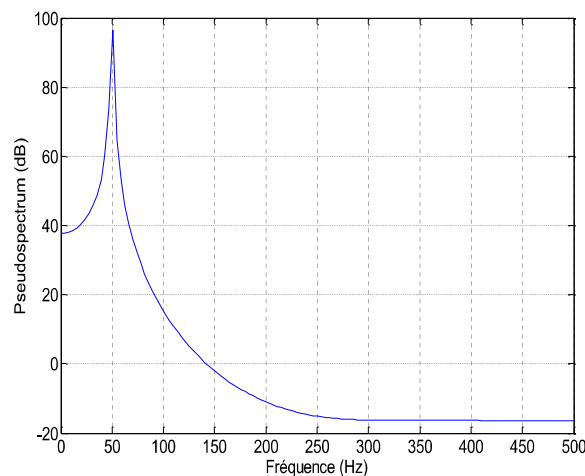


Fig. 10. Spectre du courant statorique avec un une alimentation équilibré.

D'après [6], le déséquilibre statorique, peut être détecté par une analyse harmonique des courants statoriques, la signature fréquentielle des tensions statoriques déséquilibrés, est l'harmonique d'ordre 3 de la fréquence d'alimentation ($3.f_s$), alors, le spectre du courant statorique comporte deux composantes : le premier et le troisième harmoniques (50Hz-150Hz) pour les tensions statoriques déséquilibrés.

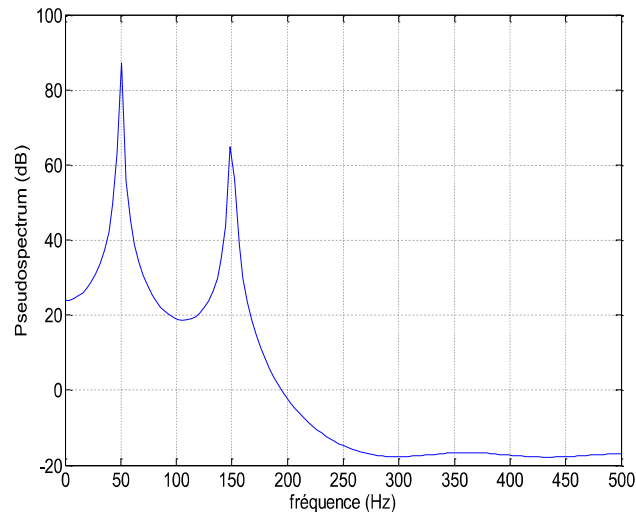


Fig. 11. Spectre du courant statorique avec une alimentation déséquilibrée.

CONCLUSION

Dans cet article, on a présenté les effets du déséquilibre de tension d'alimentation sur la machine asynchrone, tel que :

- Les oscillations sur le couple et la vitesse ;
- Déséquilibre d'amplitudes aux niveaux des trois courants statoriques ;

Et pour la détection de ce type d'anomalie, l'approche du vecteur de Park a été mise en œuvre.

Le tracé elliptique du vecteur de Park obtenu à l'état défaillant, indique une asymétrie au niveau de l'alimentation, c.à.d. un court-circuit ou un déséquilibre de tension d'alimentation. La nécessité d'identifier le défaut d'une manière certaine, a nous conduits à étudier le contenu spectral du courant statorique.

L'apparition de l'harmonique d'ordre 3 sur le spectre du courant statorique, est la signature significative du déséquilibre de tension d'alimentation.

Paramètres de la machine asynchrone étudiée :

Résistance statorique.....	10 Ω
Résistance rotorique.....	6.3 Ω
Inductance statorique.....	0.4612 H
Inductance rotorique.....	0.4642 H

Inductance	0.4212 H
Mutuelle.....	
Moment d'inertie du	0.02Kg. M ²
moteur.....	
coefficient de frottement	0.00N.m/rad/s
visqueux.....	
Nombre de paires de	2
pôles.....	
Vitesse nominale.....	157 rad/sec
Puissance	0.75 KW
nominale.....	

REFERENCES

- [1]. Mellakhi A., 2010 - Analyse spectrale du courant statorique pour détecter les cassures de barres dans les moteurs asynchrones triphasés à cage en tenant compte des harmoniques d'espace. Revue « Nature & Technologie », N°02, 35-40.
- [2]. Didier G., 2004 - Modélisation et diagnostique de la machine asynchrone en présence de défaillances. Thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-1.
- [3]. Casimir R., 2003 - Diagnostique des défauts des machines asynchrones par reconnaissance des formes. Thèse de doctorat de l'université de Lyon.
- [4]. Beauvois V., 2008 - Qualité de la tension Qualité de l'électricité, Support de cours.
- [5]. Driesen J., 2002 - Perturbations de tension, introduction au déséquilibre, Guide power quality.
- [6]. Benbouzid M.E.H., 2000 - A review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection, IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol.47, N°.5, 984-993.
- [7]. Bachir S., 2002 - Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique", Thèse de doctorat de l'université de Poitiers.