

ANALYSE ET SYNTHESE DES DEFAILLANCES SIMULTANÉES AU STATOR ET AU ROTOR DES MOTEURS ASYNCHRONES.

S. Bouras *, A. Guedri **

* Laboratoire des Systèmes Electromécaniques, Département Electromécanique,
Université Badji-Mokhtar Annaba, BP 12, 23000, Algérie.

** Département de maintenance industrielle, Centre Universitaire de Souk Ahras, Algérie.

RESUME

Le recours aux machines asynchrones de forte puissance dans les applications industrielles (laminoirs, broyeur, ventilateur d'exhaure...) est surtout lié à leur robustesse, leur puissance massique et à leur coût de fabrication. Assurer leur continuité de service exige la mise en place de programme performant de maintenance préventive et corrective. La fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité de service et la rentabilité des installations. Cette nouvelle approche est basée sur l'étude et l'analyse des défauts simultanés dans le stator et le rotor des moteurs asynchrones. Les conséquences de ce genre de défaillances sont très critiques pour les machines asynchrones. Ce travail repose exclusivement sur l'analyse de grandeurs telles que la tension, l'intensité du moteur asynchrone et plus marginalement le couple et la vitesse. Les résultats sont obtenus à partir de la création artificielle des défauts sur le modèle du moteur sain suivi d'une observation réalisée sur des moteurs réels. La reconnaissance et l'analyse de ces signatures de défaillances peuvent contribuer dans la mise en œuvre d'outils de surveillance et de diagnostic plus performants.

Mots clés : Moteur asynchrone - Défaillances - Maintenance - Surveillance

ABSTRACT

The use of asynchronous machines of high power in industrial applications (rolling mills, crusher, ventilator of pumping...) is related to their robustness, specific power and manufacturing cost. To assure their service continuity a powerful program of preventive and corrective maintenance is required. The reliability and the safety of their operation ensure workers safety, service quality and installations profitability. This novel approach is based on the study and analysis of simultaneous defects in the stator and rotor of asynchronous motor. The consequences of this type of failures are very critical to asynchronous machines. The present work focuses exclusively on the analysis of parameters such as voltage and current of asynchronous motor as well as its torque and speed. The results were obtained from defects artificially created in a model of healthy motor followed by observation carried out on real motor. Identification and analysis of these failures signatures can contribute to the implementation of powerful monitoring and diagnosis tools.

Key words: asynchronous motor – failures – maintenance - monitoring

INTRODUCTION

Le développement croissant dans le domaine de l'électronique de puissance, de circuit de commande et d'automatique a accéléré la substitution du moteur à courant continu par le moteur asynchrone dans les systèmes d'entraînements électriques à vitesse variable [1,2,3]. Ces moteurs occupent une place critique dans les chaînes de production, ce qui génère des contraintes croissantes en terme de sûreté de fonctionnement et de taux de disponibilité. Cela nécessite une surveillance accrue et donc le développement d'outils de diagnostic et de surveillance performant [4].

Les moteurs asynchrones subissent de plus en plus des perturbations auxquelles ils sont sensibles malgré leur robustesse. Elles peuvent être dues à

l'alimentation, au système de démarrage ou de couplage, au variateur de vitesse ou provoquées par des contraintes maximales (coupure, reconnections, court circuit...). Les moteurs à fort couple et fonctionnant dans des conditions d'exploitation difficile (l'industrie métallurgique, les cimenteries) peuvent être sujet à des défaillances au stator et au rotor en même temps. Le dépistage de ce type de défaillance de conséquences lourdes pour le moteur n'a pas été suffisamment développé. Devant une telle défaillance et selon que le moteur soit à rotor bobiné ou à cage d'écureuil il peut développer jusqu'à 60% de son couple nominal et sans échauffement apparent. Le comportement statique tout comme le comportement dynamique sont riches en informations pour prévoir ce type de

défauts. Ce travail est basé sur la connaissance des modèles numériques du moteur asynchrone à bague et du moteur asynchrone à cage sains qui constituent en général la première étape pour la plupart des méthodes de diagnostic existantes [5,6]. La deuxième étape porte sur la création artificielle des défauts simultanés au stator et au rotor sur le modèle numérique suivi d'une analyse de la répercussion sur certaines grandeurs (courant, tension et couple) constituant la signature du défaut. Les relevés expérimentaux exercés sur les deux types de moteurs sont comparés aux résultats numériques. Une analyse et des recommandations techniques complètent cette approche [11,12,13,14].

DEVELOPPEMENT DU MODELE

Nous développons le modèle du moteur à bague et celui du moteur à cage

Défauts simultanés dans le cas du Moteur à bague

Les équations électriques du modèle dans le cas de la phase 'a' en rupture.

$$U_{bc} = \sqrt{3} U_m \sin t \\ i_a = 0$$

Sous forme vectorielle on obtient :

$$U e^{j\gamma_r} - U^* e^{-j\gamma_r} = j2U_m \sin t$$

U, U^* - vecteurs tension et son conjugué

γ_r - angle de rotation du repère

$$\gamma_r = \int_0 \omega_r dt + \gamma_0$$

ω_r - vitesse de rotation du rotor

Le modèle du moteur sain dans le repère α, β fixé au stator s'écrit :

$$U_\alpha = i_\alpha r + d\Psi_\alpha / dt \\ U_\alpha^* = i_\alpha^* r + d\Psi_\alpha^* / dt \\ i_\alpha + i_\alpha^* = 0$$

Le modèle par les flux s'exprime :

$$\Psi = x_s i_{s\alpha} + x_m i_{r\alpha} \\ \Psi_\alpha^* = x_s i_\alpha^* + x_m i_{r\alpha}^*$$

Après transformation :

$$jU_m \sin t = i_{s\alpha} r_s + d[x_s i_{s\alpha} + x_m/2 (i_{r\alpha} - i_{r\alpha}^*)] / dt \\ U_m \sin t = i_{s\beta} r_s + d(x_s i_{s\beta} + x_m i_{r\beta}) / dt$$

S'il y'a défaillance au rotor bobiné cela peut se traduire par une augmentation de la résistance active [2,4,5] d'une de ses phases ainsi on peut écrire :

$$i_{r\alpha} (r_r + R) + d\Psi_{r\alpha} / dt = 0$$

$$i_{r\beta} r_r + d\Psi_{r\beta} / dt = 0 \\ i_{r\gamma} r_r + d\Psi_{r\gamma} / dt = 0$$

Sous forme vectorielle et après transformation on obtient pour le rotor défaillant :

$$i_{r\alpha} (r_r + R/3) + (i_{r\alpha} \cos 2\gamma_r - i_{r\beta} \sin 2\gamma_r) R/3 + x_r d i_{r\alpha} / dt + \omega_r (x_r i_{r\beta} + x_m i_\beta) = 0 \\ i_{r\beta} (r_r + R/3) - (i_{r\alpha} \sin 2\gamma_r + i_{r\beta} \cos 2\gamma_r) R/3 + d i_{r\beta} / dt + (x_r i_{r\beta} + x_m i_\beta) - \omega_r x_r i_{r\alpha} = 0$$

Le modèle du moteur asynchrone à bague en présence à la fois de la rupture d'une phase statorique et d'un défaut au niveau de l'enroulement rotorique s'exprime alors :

$$I_{s\beta} r_s + d(x_s i_{s\beta} + x_m i_{r\beta}) / dt = U_m \sin t \\ i_{r\alpha} r_r + d\Psi_{r\alpha}^* / dt + \omega_r \Psi_{r\beta}^* = 0 \\ i_{r\beta} r_r + d\Psi_{r\beta}^* / dt + \omega_r \Psi_{r\alpha}^* = 0$$

Avec

$$\Psi_{r\alpha}^* = x_r i_{r\beta} - x_m i_{s\beta} \sin 2\omega_r t \\ \Psi_{r\beta}^* = x_r i_{r\beta} - x_m i_{s\beta} / 2 (1 + 2\omega_r t)$$

Comme le système d'équations différentielles renferme des coefficients périodiques une résolution numérique s'y impose.

Résultats expérimentaux et discussion pour le Moteur à bague

L'expérience est réalisée sur un moteur asynchrone à bague dont le stator est couplé en étoile.

$$P = 5 \text{ Kw}; 2p = 4; n = 1430 \text{ tr/mn}; U_n = 220 / 380; I_n = 20.3 / 11.7 \text{ A}$$

La fig.1 vérifie que la puissance développée par le moteur asynchrone à rotor bobiné diminue jusqu'à 50% pour un courant nominal en présence de la rupture de la phase statorique et avec un rotor symétrique (sain).

-Fonctionnement sain du moteur avec système de court-circuitage rotorique hors service (courbe 1).

-Fonctionnement avec défaillances : manque phase et absence de R résistance additionnelle dans la phase rotorique (courbe 2); avec $k = R/r = 5$ (courbe3); rupture simultanée d'une phase statorique et d'une phase rotorique (courbe 4).

La puissance développée par le moteur pour le courant nominal diminue fortement au fur et à mesure que la dissymétrie du rotor augmente. Suite à une rupture d'une phase du stator et un rotor symétrique (sain) la puissance avoisine les 50%.

La courbe de la Fig.2 construite sans l'influence des balais, montre que la puissance en bout d'arbre du moteur diminue en fonction de l'évolution de R jusqu'à la rupture de la phase rotorique ($R = \infty$) où pour le courant nominal elle atteint seulement 16% de la puissance nominale.

Les signatures courants statoriques et rotoriques (fig.3 et fig.4) ont été relevées pour différentes valeurs croissantes de $k = R/r_r$ et des charges sur l'arbre du moteur à bague de 10 N.m puis de 15 N.m.

La comparaison des oscillogrammes révèle l'augmentation des pulsations du courant statorique et des harmoniques supérieures avec l'évolution de la défaillance du rotor $k = R/r_r$. En présence de la défaillance simultanée (rupture d'une phase de l'enroulement statorique et de l'enroulement rotorique) pour une charge de 7 N.m (fig.4) révèlent l'augmentation des pulsations du courant statorique et des harmoniques supérieures.

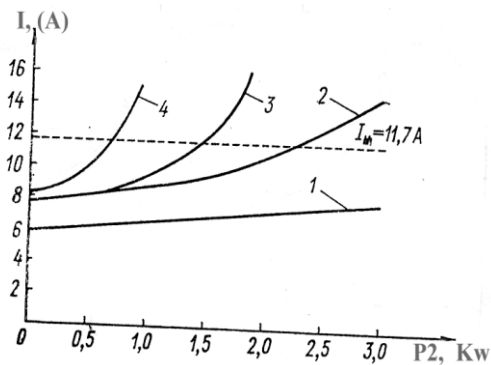


Figure 1. Courant statorique en fonction de la puissance utile du moteur $P_n = 5$ kW

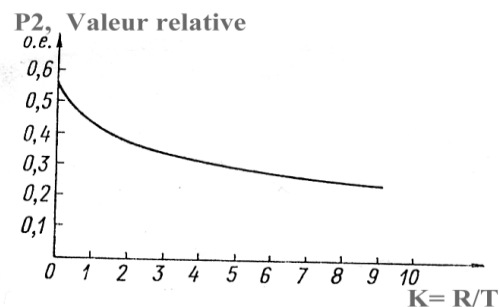


Figure 2. Dépendance de la puissance en bout d'arbre avec $k = R/r$

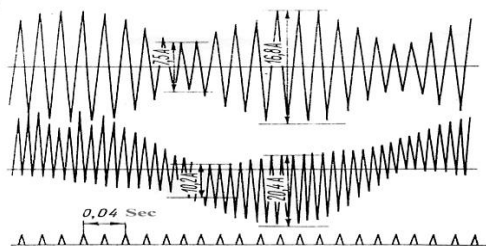


Figure 3. Oscillogramme courants I_s et i_r pour $R/r = 5$ et une charge de 10 Nm

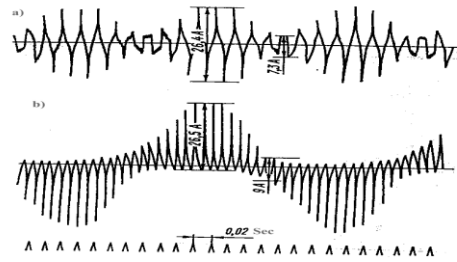


Figure 4. Oscillogrammes des courants I_s et I_r pour $R/r = 2$ et une charge de 15 Nm

En présence de la défaillance simultanée (rupture d'une phase de l'enroulement statorique et de l'enroulement rotorique) et pour une charge de 7 N.m en bout d'arbre du moteur à bague ; les oscillogrammes de la figure 5 expriment clairement les pulsations et les harmoniques supérieures du courant statorique.

La fréquence des pulsations est déterminée par la fréquence de la variation de la position mutuelle des enroulements rotoriques et statoriques. Avec l'augmentation de la charge le glissement augmente et par conséquent la fréquence des pulsations croît. Leurs amplitudes augmentent avec l'accroissement de $k = R/r_r$. Sur les phases en question apparaissent des surtensions dangereuses pour la machine et l'appareillage de contrôle. La tension au stator dépasse de 2.9 fois la tension nominale et celle du rotor de 1.4 fois.

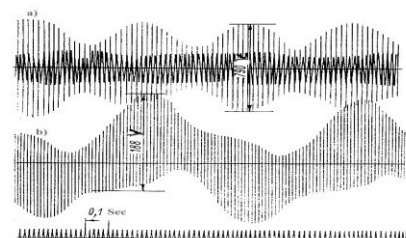
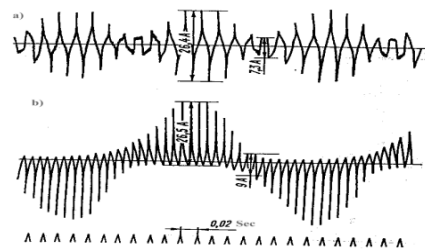


Figure 5. Oscillogramme des courants et des tensions statoriques (a) et rotoriques (b) lors de la rupture simultanée d'une phase au stator et au rotor pour le moteur à bague de puissance $P_n = 5$ kW et $p = 2$.

Défauts simultanés dans le cas du Moteur à cage d'écureuil

Le calcul de l'asymétrie du rotor suite aux défaillances de barres ou de l'anneau de court circuitage est plus compliqué que dans le cas du rotor bobiné. Supposons que le moteur possède k barres cassées alors :

$$i_A = i_B = i_C = \dots = I_K = 0$$

Sous forme vectorielle et dans un repère tournant à la vitesse de synchronisme on obtient :

$$\begin{aligned} i_A &= 1/2 [\mathbf{i}_r e^{j\beta r} + \mathbf{i}_r^* e^{-j\beta r}] = 0 ; \\ i_B &= 1/2 [\mathbf{i}_r e^{j(\beta r - \alpha_m)} + \mathbf{i}_r^* e^{-j(\beta r - \alpha_m)}] = 0 ; \\ i_C &= 1/2 [\mathbf{i}_r e^{j[\beta r - (k-1)\alpha_m]} + \mathbf{i}_r^* e^{-j[\beta r - (k-1)\alpha_m]}] = 0 ; \end{aligned}$$

$$\text{où : } \beta r = \int_0^r g \, dt$$

$$\alpha_m = 2\pi p / z_2$$

z_2 - est le nombre de barres constituant la cage rotorique

En présence de la défaillance de k barres cassées l'image du vecteur $\mathbf{i}_{rd}$ représentant le courant rotorique s'exprime :

$$\mathbf{i}_{rd} = (m_2 - k / m_2) \cdot \mathbf{i}_r + \mathbf{i}_r^* \cdot \mathbf{B}$$

$$\begin{aligned} \text{où} \\ \mathbf{B} &= e^{-j2\beta r / m_2} [e^{-j2k\alpha_m} + e^{j2(k+1)\alpha_m} + \dots + e^{j2(2^{(k-1)} - 1)\alpha_m}] \end{aligned}$$

Les vecteurs courant et son conjugué $\mathbf{i}_r, \mathbf{i}_r^*$ pour le rotor à cage sain exprimés en fonction des vecteurs courant et son conjugué lorsqu'il est défaillant s'écrivent :

$$\begin{aligned} \mathbf{i}_r &= [(r + jx_s) (m_2 - k / m_2) - \mathbf{i}_{rd}^* \mathbf{B}] / D \\ \mathbf{i}_r^* &= [\mathbf{i}_{rd}^* (m_2 - k / m_2) - \mathbf{i}_{rd} \mathbf{B}^*] / D \end{aligned}$$

avec

$$D = (m_2 - k / m_2)^2 - \mathbf{B} \mathbf{B}^*$$

Pour la détection de défaillances des enroulements statoriques et rotoriques l'intérêt pratique est d'analyser le régime stationnaire continu et non le régime transitoire très bref. Sous forme vectorielle le modèle mathématique du moteur à simple cage d'écureuil en régime stationnaire s'écrit :

$$\begin{aligned} \mathbf{U} &= \mathbf{i} (r + jx_s) + \mathbf{i}_r x_m \\ 0 &= \mathbf{i}_r (r + jx_s) + jg (x_r \mathbf{i}_r + x_m \mathbf{i}) \end{aligned}$$

Ecrivons la forme conjuguée des équations

$$\begin{aligned} \mathbf{U}^* &= \mathbf{i}^* (r + jx_s) + \mathbf{i}_r^* x_m \\ 0 &= \mathbf{i}^* (r + jx_s) + jg (x_r \mathbf{i}_r^* + x_m \mathbf{i}^*) \end{aligned}$$

Pour la défaillance uniquement au rotor on écrit le système d'équation dont la résolution donne les vecteurs courant statorique et rotorique du moteur fonctionnant avec tel ou tel nombre de barres cassées.

$\mathbf{B}$ est un coefficient dont le module constitue quelques centièmes et il renferme toutes les composantes apériodiques. Dans le but de faciliter la résolution des équations on peut le négliger.

$$\begin{aligned} \mathbf{U} (m_2 - k / m_2) - \mathbf{U}^* \mathbf{B} &= \mathbf{i} (m_2 - k / m_2) (r + jx_s) - \mathbf{i} \mathbf{B} (r + jx_s) + \mathbf{i}_{rd}^* j x_m \\ \mathbf{i}_{rd}^* [(r + j x_m / D) (m_2 - k / m_2)^2 + (j g x_r / D) \mathbf{B} \mathbf{B}^*] - \\ - \mathbf{i}_{rd} j g x_r \cdot 2 \mathbf{B} (m_2 - k / m_2) / D + j g x_m [\mathbf{i} (m_2 - k / m_2) - \mathbf{i}^* \mathbf{B}] &= 0 \end{aligned}$$

L'asymétrie au stator se traduit par :

$$i_a = 0$$

La rupture de la phase statorique accompagnée de la cassure de k barres exprimée dans le repère tournant à la vitesse de synchronisme s'écrit $\mathbf{i} e^{jt} + \mathbf{i} e^{-jt} = 0$

En introduisant la condition précédente et en négligeant $\mathbf{B}$, on obtient pour le courant et le couple :

$$\begin{aligned} \mathbf{i} &= \mathbf{U} [r - jx_s + (r + jx_s) e^{-j2t}] / 2(r^2 + x_s^2) + g x_m^2 [(r - jx_s / r + jg x_r) + (r - jx_s / r - jg x_r)] \\ C &= x_m^2 (m_2 - k / m_2) [(r / g) / (r / g)^2 + x_r^2] \cdot \mathbf{i}^2. \end{aligned}$$

Résultats de calculs et expérimentaux pour le Moteur à cage. Discussion.

La résolution des équations écrites sous forme numérique et une série d'expériences ont été réalisées sur le moteur asynchrone à rotor en court circuit. Moteur asynchrone à simple cage possède les paramètres suivant :

$$\begin{aligned} 220/380V; 50Hz; 3 \text{ kW}; 12.5/7.2A; p=3 \\ 950 \text{ tr/mn}; \end{aligned}$$

Paramètres relatifs :

$$\begin{aligned} x_{\sigma} = x'_{r\sigma} = 0.12; x_s = x_r = 1.86; x_m = 1.74; \\ r_s = 0.04; r_r = 0.06. \end{aligned}$$

La figure 6, représente les courbes du courant et du couple calculées et les points relevés expérimentalement pour le moteur sain (courbe1), puis lorsque il y'a la cassure du 1/3 des barres rotoriques c'est à dire 5 barres par pôle (courbe 2). Les résultats calculés et expérimentaux du courant statoriques sont concluants. Pour le couple il y'a une légère divergence qui s'explique par le manque de précision dans les calculs des pertes.

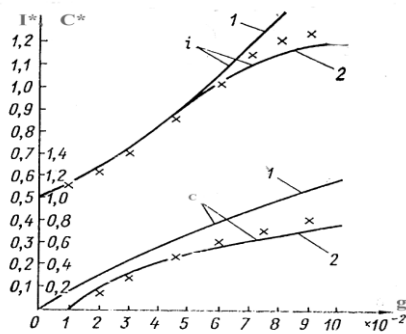


Figure 6. Courant et couple du moteur à cage de
 $P_n = 3\text{kW}$ et $p=3$.
 1-rotor sain
 2- avec 15 barres cassées
 x- points expérimentaux.

L'augmentation de la divergence (figure 7) entre les 2 caractéristiques en fonction du glissement est

attribuée à la négligence du coefficient **B** et de la variation des paramètres du moteur.

Les résultats de calcul et expérimentaux obtenus pour le moteur avec une rupture de phase du stator et 15 barres cassées au rotor sont reportés sur le tableau 1.

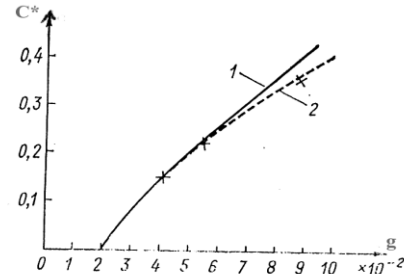


Figure 7. Caractéristiques mécaniques du moteur avec la rupture d'une phase au stator et 15 barres cassées au rotor.

- 1) calculée
- 2) expérimentale.

G	Courant statorique (valeur relative)		Couple électromagnétique (valeur relative)	
	Expérimental	Calculé	Expérimental	calculé
0.02	0.42 – 0.75	0.48	0	0
0.04	0.52-0.93	0.73	0.15	0.15
0.055	1.08	1.0	0.23	0.24
0.09	1.39	1.50	0.37	0.44

Tableau1 : Résultats de calcul et expérimentaux du courant statorique et du couple électromagnétique.

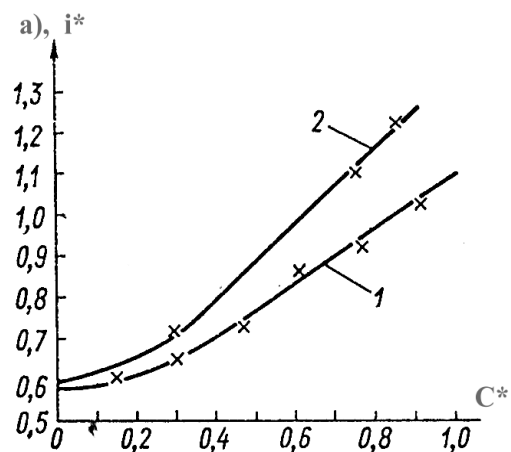
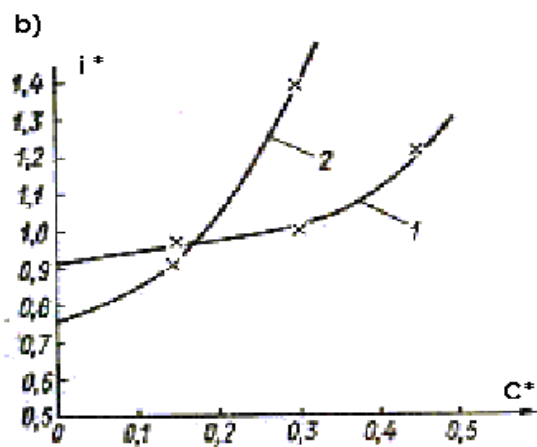


Figure 8. Relevés expérimentaux du Courant statorique du moteur
 a) pour différentes défaillances rotoriques
 b) pour rupture phase stator et différentes défaillances au rotor
 courbe (1) moteur sain, courbe (2) cassure de 15 barres et de l'anneau en un point

Avec l'évolution du nombre de barres cassées et des fissures de l'anneau de court circuitage la pulsation et les bruits augmentent. A vide et pour des charges faibles le courant statorique est légèrement inférieur que pour l'état sain. Ce qui ne sera pas le cas pour les charges excédant 0.02 et 0.3 du couple nominal.

Les oscillogrammes de la Figure 9 révèlent qu'avec l'augmentation du degré de défaillance de l'enroulement rotorique les courbes du courant et de la tension s'éloignent beaucoup de la sinusoïde. En outre, en présence de la charge Fig.9 (b) les pulsations du courant à des fréquences relativement basses sont assez claires, ce qui provoquera les oscillations du rotor.

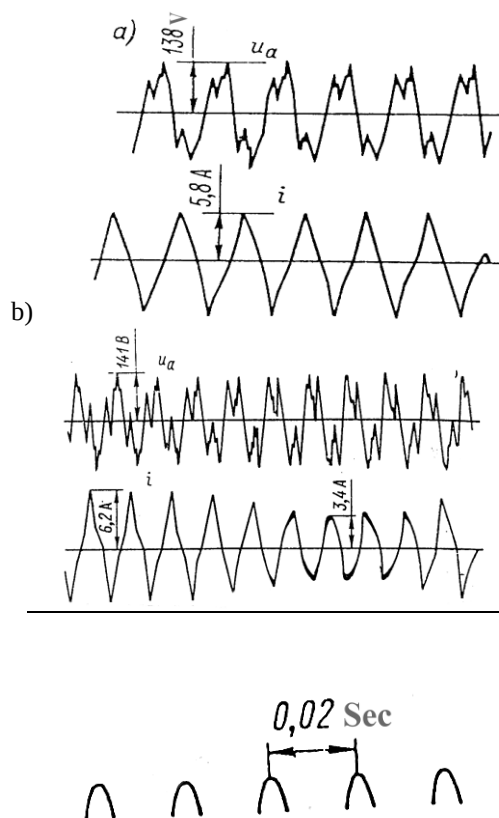


Figure 9. Tension et courant du moteur pour la rupture de phase

- a) 15 barres cassées
- b) 15 barres cassées et 3 cassures de l'anneau.

Un autre indice assez révélateur dans le diagnostic du moteur pendant le régime dynamique mérite d'être cité (tableau.2). L'influence des défaillances du rotor du moteur sur les temps de démarrage et d'inversion du sens de rotation est importante et peut être aussi utile pour la détection précoce des défaillances du moteur asynchrone.

Caractère de la défaillance au rotor	Temps de démarrage en secondes	Temps d'inversion du sens de rotation en secondes
Rotor sain	1.11	1.97
Rotor défaillant avec rupture de :		
5 barres	1.16	2.00
10	1.39	2.52
15	1.45	2.64
15 barres et l'anneau à un seul endroit	1.51	2.87
15 barres et l'anneau à 3 endroits.	1.56	2.94

Tableau 2 : Influence des défaillances du rotor sur le temps du démarrage et de l'inversion du sens de rotation.

CONCLUSION

Le développement des modèles des moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné et à cage d'écureuil permettent d'étudier le phénomène de la défaillance simultanée répercuté sur les grandeurs mesurables de la machine tels que le courant, la tension, le couple et le temps. Les résultats serviront pour la recherche de la signature nécessaire à la reconnaissance des formes (RDF) et permettront de développer des outils de diagnostic pour la détection à temps de ces défauts extrêmement dangereux pour les machines (risque de surtension) qui fonctionne dans des conditions d'exploitation pénibles. Si la machine ne provoque pas le dysfonctionnement de l'axe d'entraînement elle doit être arrêtée et remplacée. Par contre si elle est stratégique dans la chaîne de production, l'analyse menée dans ce travail doit permettre aux exploitants à faire un choix plus rationnel et rigoureux pour éloigner cet avarie : détermination du nombre d'agrégats de réserve, un choix judicieux de l'appareillage de commutation, d'alimentation et de contrôle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **W.T. Thomson et al**: "Monitoring Strategy for Discriminating between different Types of Rotor Cage Faults" Proc18th UPEC .University of Surrey .Apri1983.

- [2] **W. T. Thomson** : Diagnostic Faults in Induction Motors"-Engineering ideas, Electrical, Review, Vol.215, No17, Nov.1984
- [3] **A. H. Bonnet, G. C. Soukup** " Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three, Phase Squirrel-Cage Motors", IEEE Trans. Ind. Application. Vol N°4 pp921- 937, 1992.
- [4] **W. T. Thomson** ."On-line Current Monitoring to detect Electrical and Mechanicals Faults in three-Phase Induction motors Drives, Proc. IEEE and IMECHE (London), Int. Conf. Proc. on life Management of power Plants, Harriot - Watt University, Edinburgh, December 1984.
- [5] **M. Benbouzid, M. Vieira And C. Theis.** "Induction Motors Faults Detection and Localization Using Stator Current Advanced Signal Processing Techniques", IEEE Trans Power Electronics, Vol.14 N°1 pp14-22, 1999
- [6] **J.Faucher and al.** " Modélisation de la machine asynchrone en vue du diagnostic" Journées SDSE-00- Lyon 2000.p.p 48-54
- [7] **William T. Thomson , Mark Fenger** " Industrial Application of Current Signature Analysis To Diagnose Faults in 3-Phase Squirrel Cage Induction Motors" IEEE 2000.
- [8] **A. Bellini , F. Fillipetti.** "Quantitative Evaluation of Induction Motor Broken Bars by Means of Electrical Signature Analysis" .IEEE Trans. Ind. Application, Vol37, n°5. pp1248-1255, 2001.
- [9] **Sergio M. A. Cruz** " Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Synchronous and Asynchronous motors , by the Extended Park' Vector Approach. IEEE Trans. Ind . Application. Vol 37 N° 5 Sept/Oct.2001.
- [10] **J. Holtz , Sensorless** control of induction motor drives. Proceeding of the IEEE, Vol.90, N°8, pp1359-1394.2002.
- [11] **F. Cupertino, E. de Vanna, L. Salvatore, S. Stasi.** " Comparison of spectral Estimation Techniques Applied to Induction Motor Broken Bars Detection". SDEMPED 2003
- [12] **J. R. Stack and all:** "Fault classification and Fault Signature Production for Rolling Element Bearings in Electric Machines," in press, IEEE Symposium on Diagnostic for Electric Machines ,Power Electronics and Drives. Atlanta, GA, Aug 24-26, 2003.
- [13] **R. Casimir, E. Boutleux, G. Clerc, F. Chappuis,** "Broken bars detection in an induction motor by pattern recognition", Proc. IEEE Power Tech'03 International Conference, pp282-288, 23-26 June 2003, Bologna Italy.
- [14] **R. Casimir, E. Boutleux, G. Clerc,** "Fault diagnosis in an induction motor by pattern recognition" ,Proc. IEEE SDEMPED 2003 – Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 294-299, 24-26 August 2003 Atlanta, GA, USA.