

Diagnostic de cassures de barres rotoriques par mesure de courant statorique (MCSA)

1. Introduction : Le but de la surveillance de l'état d'un moteur par analyse des signaux électriques est d'évaluer son intégrité et d'anticiper les éventuels dysfonctionnements.

Du point de vue de l'analyse de signature, les changements de courant, de tension et de puissance du signal électrique peuvent être associés à des modifications dans le moteur mais pas dans son entraînement (circuit de commande ou charge).

2. Définition: Analyse spectrale du courant de ligne afin d'identifier les composantes de fréquence caractéristiques qui indiquent des dysfonctionnements possibles du moteur.

Norme ISO 20958-2015.

L'analyse des signatures du courant statorique par la transformée de Fourier rapide est considérée comme une référence dans le diagnostic des défauts dans les machines asynchrones.

Elle consiste à détecter l'apparition de composantes fréquentielles révélatrices des défauts dans le spectre du courant statorique.

Ayant énuméré les défauts dans la machine électrique, leur provenance et leur cause, la littérature fournit aussi les éventuelles signatures des harmoniques représentant les défauts.

La méthode de MCSA est très utilisée, car elle est facile, peu coûteuse, simple à mettre en œuvre et ne demande que des capteurs déjà intégrés dans les installations industrielles.

Pendant l'analyse du courant statorique, il est souhaitable que le couple, la fréquence et la tension restent inchangées.

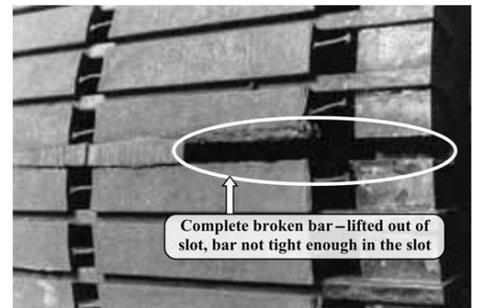
L'analyse du courant statorique d'un moteur asynchrone peut détecter les dysfonctionnements suivants:

- des fissures dans les barres du rotor;
- des défauts de coulée du rotor;

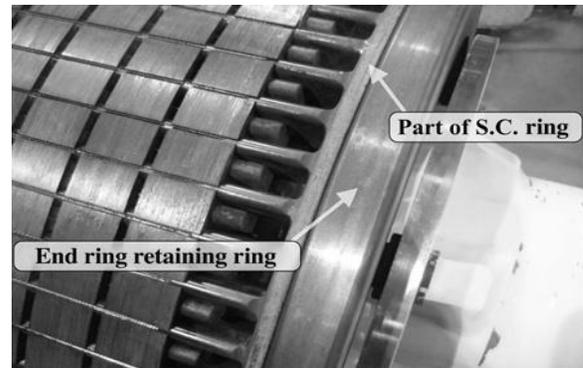
- les ruptures des anneaux court-circuités;
- des fissures dans les anneaux du rotor;
- augmentation de l'excentricité de l'entrefer;
- des damages dans les roulements;
- Court-circuit inter-enroulements dans l'enroulement du stator;

3. Causes de rupture de barres du rotor d'un moteur asynchrone

- défauts de fabrication,
- contraintes thermiques,
- contrainte mécanique causée par des défauts de palier,
- démarrages fréquents du moteur à la tension nominale,
- fatigue du matériau de la barre du rotor.

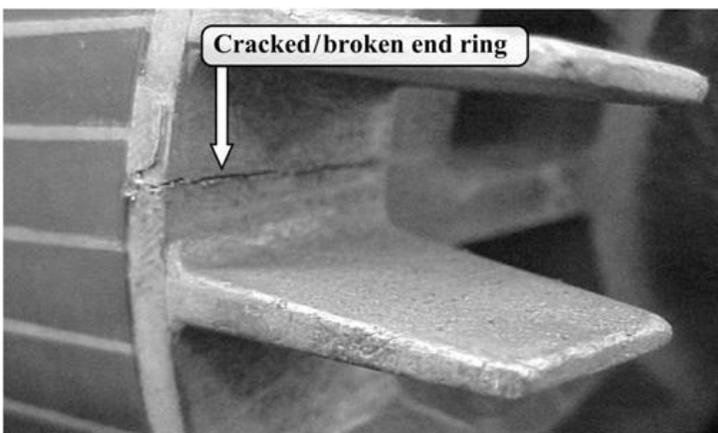


Rotors du moteur asynchrone à l'état sain

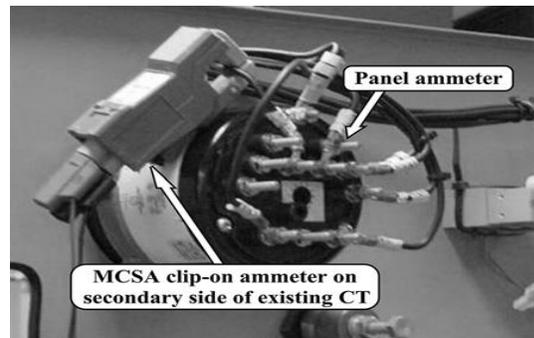
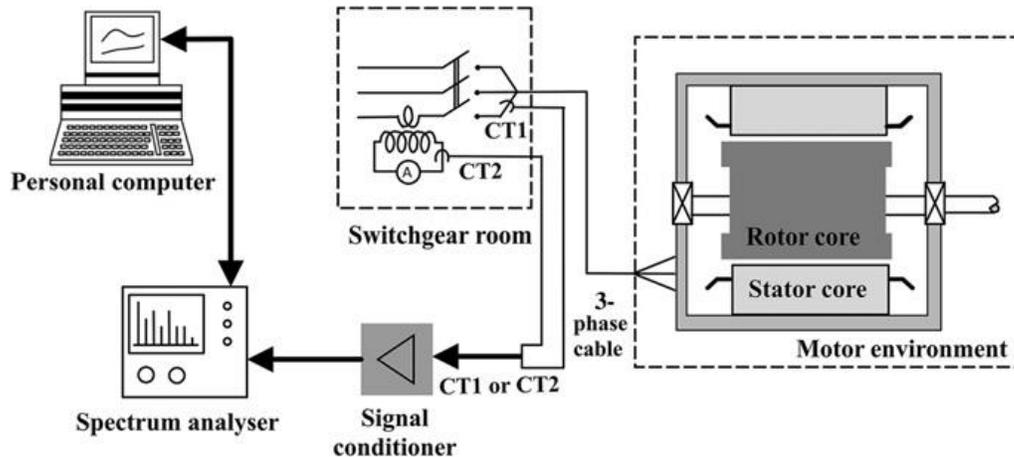


Fissures dans un anneau de court-circuit du rotor

Fissure dans un joint entre la barre et l'anneau de court-circuit



4. Mesure pratique du courant statorique (MCSA)



5. Etude de fonctionnement du moteur à l'état sain Signatures des harmoniques d'encoches rotoriques.

L'induction magnétique dans l'entrefer n'est pas sinusoïdale, elle est fonction de différents paramètres, tel que la disposition du bobinage statorique et de la structure de la cage rotorique dans le cas des moteurs à cage. A cause de cette structure, Il a été démontré qu'en plus de l'harmonique fondamental, apparaissent dans le spectre du courant statorique, des harmoniques dites d'encoches rotoriques ayant (RSH) pour fréquences:

$$f_{RSH} = \left| \left(\nu \pm \frac{kN_r}{p} (1 - g) \right) f_s \right|$$

Avec :

f_s : la fréquence de la tension d'alimentation,

v : l'ordre des harmoniques de temps de la tension,

k : un entier positif,

p : le nombre de paires de pôles,

N_r : le nombre de barres rotoriques,

g : glissement.

Pour $k=1$ et $v=1$ on définit ce qui sont appelés 'harmoniques d'encoches principales' (PSH).

6. Harmoniques de cassures de barres rotoriques dans le spectre du courant statorique

Puisque les allures temporelles ne donnent pas beaucoup d'informations, on est obligé d'aller vers les méthodes de traitement de signal.

Pour un défaut de cassure de barres rotoriques, il y aura de nouveaux harmoniques dans les courants statoriques aux fréquences :

$$f_{bc} = (1 \pm 2kg) f_s$$

Explication : Un défaut dans le rotor va engendrer une sorte d'asymétrie qui, dans le cas d'une alimentation par un système de tensions triphasé symétrique, va être à l'origine d'un champ magnétique tournant inverse de fréquence $(-g f)$ dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence :

$$f_{g,bc} = (1-2g) f$$

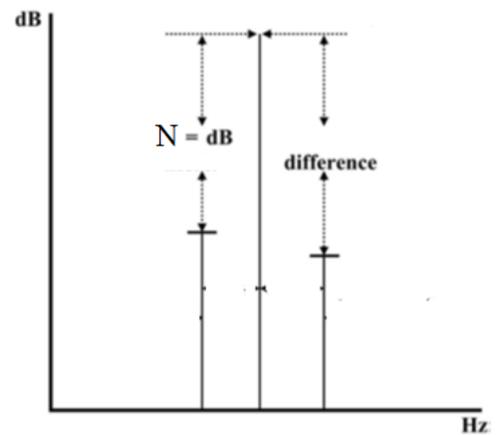
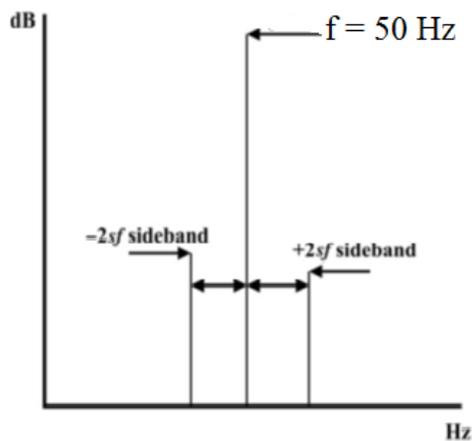
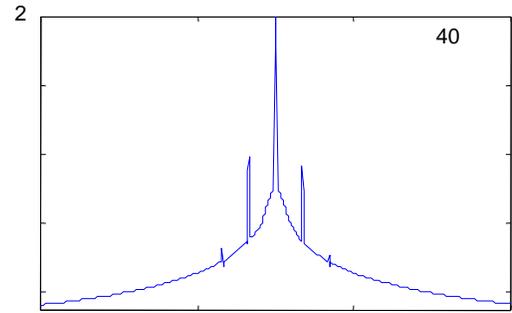
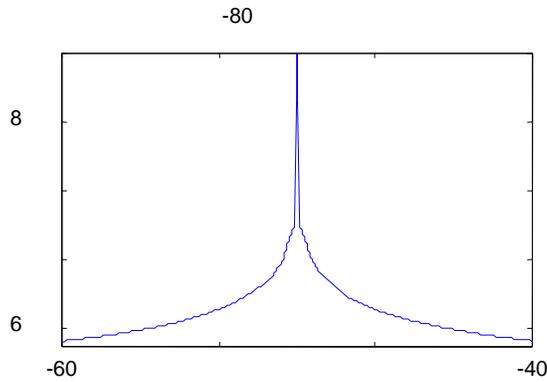
Cette fréquence provoque une modulation du courant, ce qui provoque des oscillations du couple donnant des fluctuations de la vitesse. Alors une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence :

$$f_{d,bc} = (1+2g) f$$

Il a été démontré qu'un processus répétitif donne naissance à une série d'harmoniques dont les fréquences sont données par :

$$f_{bc} = (1 \pm 2kg) f_s$$

7. Spectres du courant statorique avec barres cassées.



Différence en amplitude N (dB)	Condition du rotor (100% de la charge nominale)
>60	Excellent
54–60	Bon
48–54	Modérée
42–48	Fissure de barre peut être en développement ou des joints à haute résistance.
36–42	Deux barres peuvent être fissurées ou des joints à haute résistance.
30–36	Plusieurs barres fendues ou ouvertes ou bagues d'extrémité probables.
<30	Plusieurs barres cassées et / ou anneaux fin très probable.

$$N(db) = 20 \log \left(\frac{I_{nom}}{I_{gauche}} \right)$$

8. Estimation du nombre de barres cassée par un indicateur de sévérité :

Basé sur l'application de MCSA à des milliers de moteurs asynchrone, on utilise un facteur de barre de rotor cassé équivalent BB_f :

$$BB_f = 2N_r / (10^{(N/20)} + 2p)$$

Avec :

N : Différence d'amplitude entre l'harmonique fondamentale et $(1-2g) f_s$ (dB);

p : Le nombre de paires de pôles;

N_r : Le nombre de barres rotoriques.

Si $BB_f \geq 0.5$ il y a possibilité de barres cassées.

9. Facteur de correction pour estimer le fonctionnement à charge réduite

La majorité des moteurs asynchrones dans l'industrie fonctionnent à un niveau inférieur à la pleine charge nominale (courant, puissance, couple). Quand une mesure de la bande latérale inférieure $(1 - 2g)fs$ en ampères $\{I_{LSB}\}$ est faite à charge réduite pour un glissement actuel g_0 , la grandeur $\{I_{LSBr}\}$ de la bande latérale inférieure se référant à la pleine charge pour un glissement nominale (g_{nom}) est donné par :

$$I_{LSBr} = I_{LSB} \times BB_c \quad \text{avec : } BB_c = (g_{nom} / g_0)$$

On aura une nouvelle valeur de N_c : Différence d'amplitude corrigée entre l'harmonique fondamentale et l'harmonique $(1-2g)f_s$ (dB) ;

Un facteur de correction BB_c est proposé, qui peut être appliqué pour compenser l'estimation de BB_{fr} à charge réduite et se référer à la charge nominale pour obtenir BB_f

10. Paramètres influençant les bandes latérales :

Les grandeurs des bandes latérales $\pm 2sf$ sont fonction de nombreuses

Facteurs :

- a) Type et gravité des défauts d'enroulement de la cage;
- b) Conception de la cage du rotor;
- c) Nombre de barres de rotor;
- d) Nombre de pôle ;
- e) L'inertie du rotor et l'oscillation de la vitesse du rotor à $2sf$ due à la rupture des barres, ce qui affecte l'ampleur de la bande latérale supérieure $+ 2sf$ et peut réduire l'amplitude de la bande latérale inférieure $-2sf$.