

# Presentation Mémoire de fin d'étude

Spécialité : Maintenance Industrielle

## Thème

### Diagnostic par analyse du courant d'une génératrice asynchrone a rotor bobiné

Réalisé par : **BOUGHANEM Fahem**

*Mémoire soutenu Le 19/ 09/ 2022, devant le jury composé de:*

**HAMMOUDI : Président & LAGGOUN : Examinateur**

**IMAOUCHEN : Encadreur**



Université A. Mira de BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique

September 19, 2022

# Plan



- ① Introduction
- ② Grandeurs électriques et mécaniques pour l'aide au diagnostic
- ③ Outils de traitement de signal pour le diagnostic par analyse du courant
- ④ Diagnostic d'un défaut de déséquilibre au rotor d'une génératrice éolienne
- ⑤ Conclusions

## Introduction

Les machines tournantes, telles que les moteurs asynchrones et les générateurs, sont des composants importants dans les applications industrielles et la production d'énergie, occupant actuellement une forte présence dans les applications impliquant le système puissance de transmission. Ces machines peuvent être affectées par des pannes potentielles out un impact sur la production, c'est pourquoi ils ont besoin de niveaux élevés de fiabilité et de disponibilité

# **Grandeurs électriques et mécaniques pour l'aide au diagnostic**

# Génératrice asynchrone à rotor bobinée



## Définition

La génératrice asynchrone est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

## Composantes et principe de fonctionnement

Les Génératrices asynchrones a rotor bobiné peuvent se décomposer, en trois parties distinctes :

- ❑ Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- ❑ Le rotor, 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.

# Génératrice asynchrone à rotor bobinée



## Définition

La génératrice asynchrone est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

## Composantes et principe de fonctionnement

Les Génératrices asynchrones a rotor bobiné peuvent se décomposer, en trois parties distinctes :

- ❑ Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- ❑ Le rotor, 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.

# Génératrice asynchrone à rotor bobinée



## Définition

La génératrice asynchrone est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

## Composantes et principe de fonctionnement

Les Génératrices asynchrones a rotor bobiné peuvent se décomposer, en trois parties distinctes :

- ❑ Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- ❑ Le rotor, 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.

# Génératrice asynchrone à rotor bobinée



## Définition

La génératrice asynchrone est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

## Composantes et principe de fonctionnement

Les Génératrices asynchrones a rotor bobiné peuvent se décomposer, en trois parties distinctes :

- ❑ Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- ❑ Le rotor, 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.



# Génératrice asynchrone à rotor bobinée



## Définition

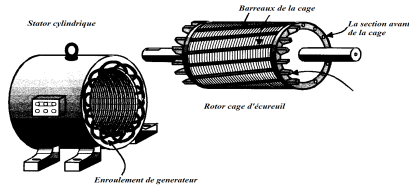
La génératrice asynchrone est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

## Composantes et principe de fonctionnement

Les Génératrices asynchrones a rotor bobiné peuvent se décomposer, en trois parties distinctes :

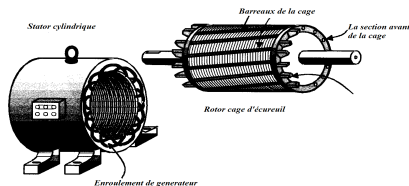
- ❑ Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- ❑ Le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique.
- ❑ Les paliers, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

# Génératrice asynchrone



La génératrice asynchrone n'engendre pas sa propre énergie d'excitation contrairement à l'alternateur. Pour cette raison, il faudra lui apporter cette énergie et stabiliser sa tension de sortie et sa fréquence.

## Génératrice asynchrone



La génératrice asynchrone n'engendre pas sa propre énergie d'excitation contrairement à l'alternateur. Pour cette raison, il faudra lui apporter cette énergie et stabiliser sa tension de sortie et sa fréquence.

# Grandeurs électriques et mécaniques



## Grandeurs électriques

- ☐ Intensité de courant
- ☐ La puissance électrique

## Grandeurs mécaniques

- ☐ La Vitesse
- ☐ Le couple électromagnétique

# Grandeurs électriques et mécaniques



## Grandeurs électriques

- ☐ Intensité de courant
- ☐ La puissance électrique

## Grandeurs mécaniques

- ☐ La Vitesse
- ☐ Le couple électromagnétique



# Défaillances de la génératrice asynchrone

## Les principaux défauts dans les machines électriques

Le diagnostic des machines électriques est un domaine arrivé à maturité dans le cas stationnaire.

Le tableau résume l'ensemble des défauts susceptibles d'être détecté par l'emploi d'une méthode adaptée

Tableau: Les différents défauts des machines électriques.

<i>Défauts électrique</i>	<i>Défauts mécaniques</i>
---------------------------	---------------------------

<i>Courts-circuits</i>	<i>Roulements</i>
------------------------	-------------------

<i>Rupture de barres</i>	<i>Excentricité du rotor</i>
--------------------------	------------------------------

<i>Courant de fuits...</i>	<i>Boite de vitesses</i>
----------------------------	--------------------------

	<i>Défauts d'alignement...</i>
--	--------------------------------



# Défaillances de la génératrice asynchrone

## Les principaux défauts dans les machines électriques

Le diagnostic des machines électriques est un domaine arrivé à maturité dans le cas stationnaire.

Le tableau résume l'ensemble des défauts susceptibles d'être détecté par l'emploi d'une méthode adaptée

**Tableau:** Les différents défauts des machines électriques.

<i><b>Défauts électrique</b></i>	<i><b>Défauts mécaniques</b></i>
----------------------------------	----------------------------------

<i>Courts-circuits</i>	<i>Roulements</i>
------------------------	-------------------

<i>Rupture de barres</i>	<i>Excentricité du rotor</i>
--------------------------	------------------------------

<i>Courant de fuits...</i>	<i>Boite de vitesses</i>
----------------------------	--------------------------

	<i>Défauts d'alignement...</i>
--	--------------------------------

# Techniques de diagnostic de la génératrice asynchrone



## Diagnostic par analyse du courant statorique

L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée. Cette technique est dénommée dans la littérature " *Motor Current Signature Analysis* " (MCSA).

Les défauts de la génératrice asynchrone à rotor bobiné se traduisent dans le spectre du courant statorique.

## Diagnostic par analyse vibratoire

La surveillance des vibrations est les méthodes les plus fiables d'évaluer la santé globale d'un système rotor.

## Diagnostic par analyse du couple

Lorsqu'une rupture de barre apparaît, les spectres fréquentiels de la vitesse rotorique et du couple électromagnétique laissent paraître des composantes supplémentaire situées aux fréquences.



# Techniques de diagnostic de la génératrice asynchrone



## Diagnostic par analyse du courant statorique

L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée. Cette technique est dénommée dans la littérature ” *Motor Current Signature Analysis* ” (MCSA).

Les défauts de la génératrice asynchrone à rotor bobiné se traduisent dans le spectre du courant statorique.

## Diagnostic par analyse vibratoire

La surveillance des vibrations est les méthodes les plus fiables d'évaluer la santé globale d'un système rotor.

## Diagnostic par analyse du couple

Lorsqu'une rupture de barre apparaît, les spectres fréquentiels de la vitesse rotorique et du couple électromagnétique laissent paraître des composantes supplémentaire situées aux fréquences.



# Techniques de diagnostic de la génératrice asynchrone

## Diagnostic par analyse du courant statorique

L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée. Cette technique est dénommée dans la littérature ” *Motor Current Signature Analysis* ” (MCSA).

Les défauts de la génératrice asynchrone à rotor bobiné se traduisent dans le spectre du courant statorique.

## Diagnostic par analyse vibratoire

La surveillance des vibrations est les méthodes les plus fiables d'évaluer la santé globale d'un système rotor.

## Diagnostic par analyse du couple

Lorsqu'une rupture de barre apparaît, les spectres fréquentiels de la vitesse rotorique et du couple électromagnétique laissent paraître des composantes supplémentaire situées aux fréquences.

# Techniques de diagnostic de la génératrice asynchrone



## Diagnostic par analyse du courant statorique

L'analyse des courants statoriques dans le domaine fréquentiel reste la méthode la plus couramment utilisée. Cette technique est dénommée dans la littérature ” *Motor Current Signature Analysis* ” (MCSA).

Les défauts de la génératrice asynchrone à rotor bobiné se traduisent dans le spectre du courant statorique.

## Diagnostic par analyse vibratoire

La surveillance des vibrations est les méthodes les plus fiables d'évaluer la santé globale d'un système rotor.

## Diagnostic par analyse du couple

Lorsqu'une rupture de barre apparaît, les spectres fréquentiels de la vitesse rotorique et du couple électromagnétique laissent paraître des composantes supplémentaire situées aux fréquences.

# **Outils de traitement de signal pour le diagnostic par analyse du courant**

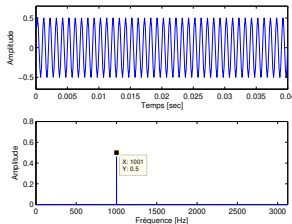


# Simulation et analyse d'un signal périodique

## Signal sinusoïdal

Un signal, qui est continu par nature, est appelé signal continu. La forme générale d'un signal sinusoïdal est :  $x(t) = A \sin(\omega t + \Phi)$

- A : l'amplitude du signal
- $\omega$  : Fréquence angulaire du signal (mesurée en radians)
- $\Phi$  : Angle de phase du signal (mesuré en radians)



Signal sinusoïdal et spectre correspondant

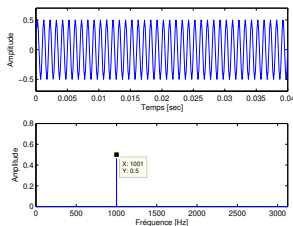


# Simulation et analyse d'un signal périodique

## Signal sinusoïdal

Un signal, qui est continu par nature, est appelé signal continu. La forme générale d'un signal sinusoïdal est :  $x(t) = A \sin(\omega t + \Phi)$

- A : l'amplitude du signal
- $\omega$  : Fréquence angulaire du signal (mesurée en radians)
- $\Phi$  : Angle de phase du signal (mesuré en radians)



Signal sinusoïdal et spectre correspondant

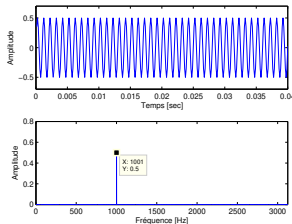


# Simulation et analyse d'un signal périodique

## Signal sinusoïdal

Un signal, qui est continu par nature, est appelé signal continu. La forme générale d'un signal sinusoïdal est :  $x(t) = A \sin(\omega t + \Phi)$

- A : l'amplitude du signal
- $\omega$  : Fréquence angulaire du signal (mesurée en radians)
- $\Phi$  : Angle de phase du signal (mesuré en radians)



Signal sinusoïdal et spectre correspondant

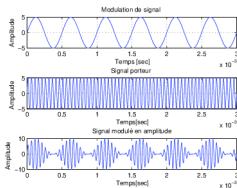


# Simulation et analyse d'un signal modulé

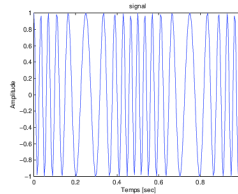
La modulation d'un signal utilise un signal sinusoïdal.  
Les trois possibilités de modification ou modulation sont donc :

- ❑ Modulation d'amplitude (MA)
- ❑ Modulation de fréquence (MF)
- ❑ Modulation de phase

Ces trois types de modulations sont appelés modulation finale permettant de créer le signal directement émis par l'émetteur.



Modulation d'amplitude



Modulation de fréquence



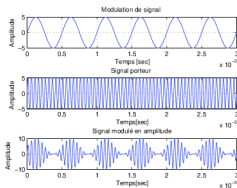


# Simulation et analyse d'un signal modulé

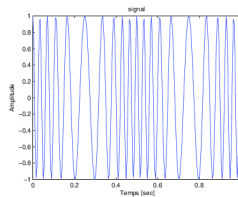
La modulation d'un signal utilise un signal sinusoïdal.  
Les trois possibilités de modification ou modulation sont donc :

- ❑ Modulation d'amplitude (MA)
- ❑ Modulation de fréquence (MF)
- ❑ Modulation de phase

Ces trois types de modulations sont appelés modulation finale permettant de créer le signal directement émis par l'émetteur.



Modulation d'amplitude



Modulation de fréquence

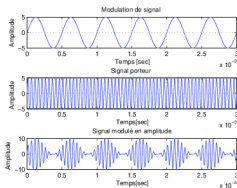


# Simulation et analyse d'un signal modulé

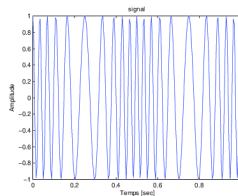
La modulation d'un signal utilise un signal sinusoïdal.  
Les trois possibilités de modification ou modulation sont donc :

- ❑ Modulation d'amplitude (MA)
- ❑ Modulation de fréquence (MF)
- ❑ Modulation de phase

Ces trois types de modulations sont appelés modulation finale permettant de créer le signal directement émis par l'émetteur.



Modulation d'amplitude



Modulation de fréquence

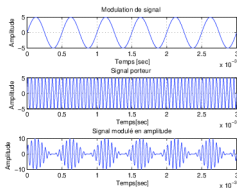


# Simulation et analyse d'un signal modulé

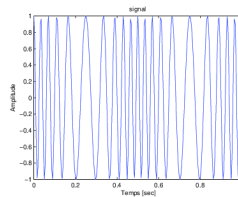
La modulation d'un signal utilise un signal sinusoïdal.  
Les trois possibilités de modification ou modulation sont donc :

- ❑ Modulation d'amplitude (MA)
- ❑ Modulation de fréquence (MF)
- ❑ Modulation de phase

Ces trois types de modulations sont appelés modulation finale permettant de créer le signal directement émis par l'émetteur.



Modulation d'amplitude



Modulation de fréquence

# Application d'analyse d'enveloppe



L'analyse d'enveloppe est une méthode qui permet de détecter des chocs périodiques à partir des résonances de structure.

En pratique, pour obtenir le spectre du signal enveloppe, il faut suivre les étapes suivantes :

- ☒ Déterminer les fréquences de résonance.
- ☐ Calculer le signal d'enveloppe à l'aide de la transformée de Hilbert.
- ☐ Calculer le spectre d'enveloppe à l'aide de la transformée de Fourier.

# Application d'analyse d'enveloppe



L'analyse d'enveloppe est une méthode qui permet de détecter des chocs périodiques à partir des résonances de structure.

En pratique, pour obtenir le spectre du signal enveloppe, il faut suivre les étapes suivantes :

- ☐ Déterminer les fréquences de résonance.
- ☐ Calculer le signal d'enveloppe à l'aide de la transformée de Hilbert.
- ☐ Calculer le spectre d'enveloppe à l'aide de la transformée de Fourier.

# Application d'analyse d'enveloppe



L'analyse d'enveloppe est une méthode qui permet de détecter des chocs périodiques à partir des résonances de structure.

En pratique, pour obtenir le spectre du signal enveloppe, il faut suivre les étapes suivantes :

- ☐ Déterminer les fréquences de résonance.
- ☐ Calculer le signal d'enveloppe à l'aide de la transformée de Hilbert.
- ☐ Calculer le spectre d'enveloppe à l'aide de la transformée de Fourier.

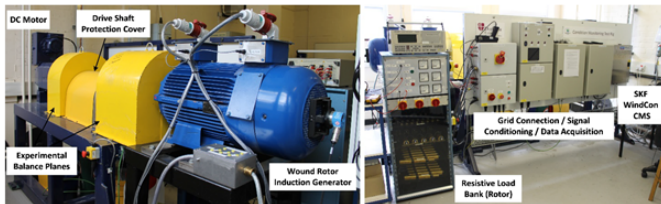
# **Diagnostic d'un défaut de déséquilibre au rotor d'une génératrice éolienne**



# Description du banc d'essai étudié

Dans ce chapitre, nous allons essayer d'exploiter les résultats expérimentaux mesurés sur une génératrice asynchrone (GAs) dans différentes conditions (saine et défectueuse), ayant pour objectif d'apporter un bon diagnostic de celle-ci en utilisant la méthode de MCSA.

Les figures ci-dessous montrent un banc d'essai d'une génératrice asynchrone à rotor bobiné. Afin de suivre l'évolution des défauts électriques rotoriques d'un générateur asynchrone.



Banc d'essai d'une génératrice éolienne dédié pour le diagnostic des défauts





# Description du banc d'essai étudié

Dans ce chapitre, nous allons essayer d'exploiter les résultats expérimentaux mesurés sur une génératrice asynchrone (GAs) dans différentes conditions (saine et défectueuse), ayant pour objectif d'apporter un bon diagnostic de celle-ci en utilisant la méthode de MCSA.

Les figures ci-dessous montrent un banc d'essai d'une génératrice asynchrone à rotor bobinée. Afin de suivre l'évolution des défauts électriques rotoriques d'un générateur asynchrone.



Banc d'essai d'une génératrice éolienne dédié pour le diagnostic des défauts



# Analyse des mesures du courant statorique sur la génératrice

Les analyses des mesures du courant statorique permettent la compréhension du fonctionnement sain et défectueux du système étudié.

Les étapes de la réalisation d'un banc d'essai d'une génératrice asynchrone à rotor bobinée qui ont été suivies sont les suivantes :

- ❑ Application d'un défaut de déséquilibre au rotor d'une graduation en réglant le courant de ligne du moteur à la valeur nominale à l'aide des résistances branchées avec la génératrice.
- ❑ Mesure du courant d'une phase à travers le capteur de courant en enregistrant des valeurs mesurées via une carte d'acquisition de données connectée à un micro-ordinateur.
- ❑ Analyse des données mesurées par les outils de traitement du signal sous l'environnement MATLAB/Simulink.

Les tests sont effectués d'une génératrice entraînée avec un moteur à courant continu sous différentes vitesses : 1520, 1525, 1540, 1553, 1585 et 1600 tr/min.



# Analyse des mesures du courant statorique sur la génératrice

Les analyses des mesures du courant statorique permettent la compréhension du fonctionnement sain et défectueux du système étudié.

Les étapes de la réalisation d'un banc d'essai d'une génératrice asynchrone à rotor bobinée qui ont été suivies sont les suivantes :

- ❑ Application d'un défaut de déséquilibre au rotor d'une graduation en réglant le courant de ligne du moteur à la valeur nominale à l'aide des résistances branchées avec la génératrice.
- ❑ Mesure du courant d'une phase à travers le capteur de courant en enregistrant des valeurs mesurées via une carte d'acquisition de données connectée à un micro-ordinateur.
- ❑ Analyse des données mesurées par les outils de traitement du signal sous l'environnement MATLAB/Simulink.

Les tests sont effectués d'une génératrice entraînée avec un moteur à courant continu sous différentes vitesses : 1520, 1525, 1540, 1553, 1585 et 1600 tr/min.



# Analyse des mesures du courant statorique sur la génératrice

Les analyses des mesures du courant statorique permettent la compréhension du fonctionnement sain et défectueux du système étudié.

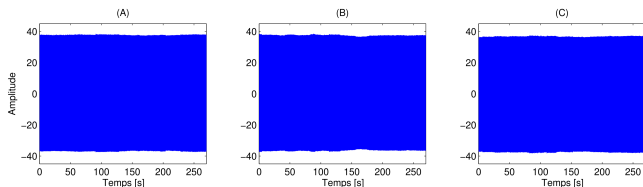
Les étapes de la réalisation d'un banc d'essai d'une génératrice asynchrone à rotor bobinée qui ont été suivies sont les suivantes :

- ❑ Application d'un défaut de déséquilibre au rotor d'une graduation en réglant le courant de ligne du moteur à la valeur nominale à l'aide des résistances branchées avec la génératrice.
- ❑ Mesure du courant d'une phase à travers le capteur de courant en enregistrant des valeurs mesurées via une carte d'acquisition de données connectée à un micro-ordinateur..
- ❑ Analyse des données mesurées par les outils de traitement du signal sous l'environnement MATLAB/Simulink.

Les tests sont effectués d'une génératrice entraînée avec un moteur à courant continu sous différentes vitesses : 1520, 1525, 1540, 1553, 1585 et 1600 tr/min.

## Analyse du courant statorique lors d'entraînements à 1520 *tr/min*

La transformation de Fourier nous permet d'avoir les spectres des courants statoriques lors de l'entraînements à 1520 *tr/min*, comme le montre les Figures ci dessus :

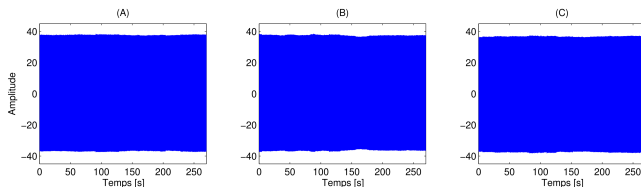


Représentation temporelle des mesures du courant statorique de la génératrice lors de l'entraînement à 1520 *tr/min* avec rotor : (A) sans défaut, (B) déséquilibré à 21% et (C) déséquilibré 43%

Le calcul du spectre d'enveloppe du courant statorique a permis une démodulation des signaux du courant et l'isolation de la composante de défaut comme le montre la Figure.

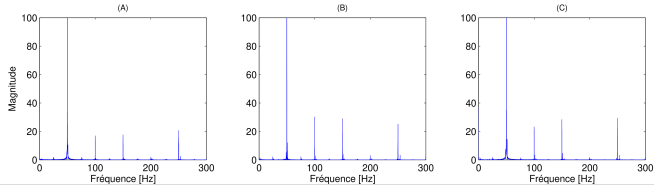
## Analyse du courant statorique lors d'entraînements à 1520 *tr/min*

La transformation de Fourier nous permet d'avoir les spectres des courants statoriques lors de l'entraînements à 1520 *tr/min*, comme le montre les Figures ci dessus :

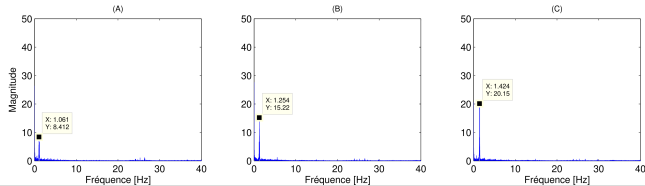


Représentation temporelle des mesures du courant statorique de la génératrice lors de l'entraînement à 1520 *tr/min* avec rotor : (A) sans défaut, (B) déséquilibré à 21% et (C) déséquilibré 43%

Le calcul du spectre d'enveloppe du courant statorique a permis une démodulation des signaux du courant et l'isolation de la composante de défaut comme le montre la Figure.

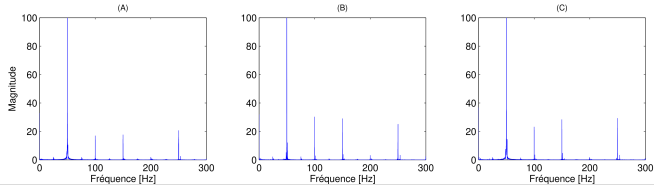


Spectres des courants statoriques lorsque le rotor est : (A) sans défaut, (B) déséquilibré à 21% et (C) déséquilibré à 43%.

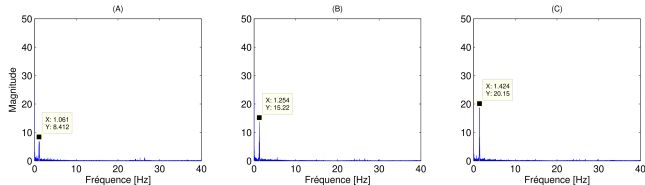


Spectres d'enveloppes des courants statoriques lorsque le rotor est : (A) sans défaut, (B) déséquilibré à 21% et (C) déséquilibré à 43%.

Les résultats de l'analyse effectuée nous ont permis d'arriver aux conclusions suivantes.



Spectres des courants statoriques lorsque le rotor est : (A) sans défaut, (B) déséquilibré à 21% et (C) déséquilibré à 43%.



Spectres d'enveloppes des courants statoriques lorsque le rotor est : (A) sans défaut, (B) déséquilibré à 21% et (C) déséquilibré à 43%.

Les résultats de l'analyse effectuée nous ont permis d'arriver aux conclusions suivantes.



- ❑ Les amplitudes des harmoniques associées au défaut augmentent avec la gravité du déséquilibre.
- ❑ La charge est un paramètre important à prendre en considération en effet le diagnostic des défauts devient plus délicat lorsque le glissement est proche de zéro.

L'analyse spectrale du courant statorique nous a permis d'identifier les signatures fréquentielles causées par le défaut du déséquilibre.

- ❑ Les amplitudes des harmoniques associées au défaut augmentent avec la gravité du déséquilibre.
- ❑ La charge est un paramètre important à prendre en considération en effet le diagnostic des défauts devient plus délicat lorsque le glissement est proche de zéro.

L'analyse spectrale du courant statorique nous a permis d'identifier les signatures fréquentielles causées par le défaut du déséquilibre.



## Conclusions

Pour finir dans le cadre plus général du diagnostic de la machine, il faudrait tester la capacité de nos méthodes à diagnostiquer d'autres types de défauts. Par exemple, nous savons que l'apparition d'un défaut de roulement ou de court-circuit enter-spires modifie le contenu spectral du courant statorique. L'évaluation d'un indice calculé à partir des composantes spécifiques à ces défauts permettrait alors d'obtenir un système de diagnostic complet.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

---

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

---



## Bouhanem fahem

WhatsApp +213 556 494 630

Phone +213 556 494 630

Email [bouhanemfahem@gmail.com](mailto:bouhanemfahem@gmail.com)

<https://github.com/fahembouhanem>





## Bouhanem fahem

WhatsApp +213 556 494 630

Phone +213 556 494 630

Email [bouhanemfahem@gmail.com](mailto:bouhanemfahem@gmail.com)

<https://github.com/fahembouhanem>

