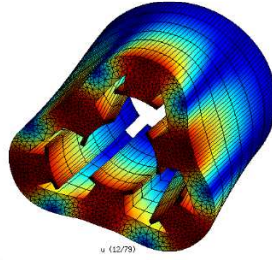


BRUIT ET VIBRATIONS D'ORIGINE ELECTRO-MAGNETIQUE APPLICATION AUX MACHINES ELECTRIQUES TOURNANTES



1 OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

Les objectifs de la formation technique complète sur 2 à 4 jours sont les suivants :

- Comprendre les phénomènes du bruit et des vibrations d'origine électromagnétique (« bruit électrique ») dans différents types de machines électriques tournantes (en particulier machines synchrones à aimants permanents, machines asynchrones).
- Identifier la cause principale (e.g. bobinage, saturation, effets de denture, excentricités, MLI) d'une harmonique de bruit ou de vibration donnée en se basant sur des interprétations de données expérimentales, de calculs analytiques ou de simulations.
- Trouver des solutions mécaniques et électriques en amont et en aval de la conception des machines pour atténuer un bruit électrique identifié.
- Connaître les méthodes de simulation du bruit et des vibrations électromagnétiques et choisir la méthode adaptée à un processus de conception donné (précision Vs temps de calcul).
- Préparer une campagne de test en vue de caractériser le comportement vibro-acoustique d'une machine électrique, d'identifier la cause principale du bruit et des vibrations et plus généralement d'améliorer son processus de simulation et de conception.
- Savoir utiliser le logiciel de simulation MANATEE® en vue d'optimiser la conception vibro-acoustique de machines électriques, ou diagnostiquer des problèmes de bruit sur des machines existantes.
- Savoir instrumenter un moteur et utiliser le logiciel d'acquisition dynamique OROS® en vue de caractériser et d'analyser l'origine du bruit et des vibrations d'origine électrique.

2 MOYENS

La formation est illustrée à l'aide d'exemples provenant de la littérature scientifique, de données expérimentales issues de l'expérience d'EOMYS, de simulations électromagnétiques et vibroacoustiques à l'aide de MANATEE®. Certains phénomènes peuvent également être illustrés par des dispositifs expérimentaux dans les locaux d'EOMYS.

3 PUBLIC

Profil: Ingénieurs Génie Electrique, Ingénieurs d'Essai Vibro-Acoustique, Ingénieurs Génie Mécanique
Nombre: max 15 personnes pour faciliter les interactions entre le formateur et les participants.

4 ORGANISATION

4.1 Lieu

La formation peut être délivrée directement dans vos locaux sur demande. Une formation à distance peut également être organisée par vidéoconférence.

4.2 Langage

La formation peut être dispensée en anglais ou en français. Les documents écrits sont en anglais.

4.3 Durée

La formation de base dure 12 heures (quatre sessions de 3h00) pendant deux jours consécutifs, mais peut aller jusque quatre jours suivant les contenus abordés.

4.4 Livrable

La formation technique a pour support une présentation Powerpoint détaillée (~600 diapo) sous format pdf. Au vu du grand nombre de slides, une copie papier des supports n'est pas remis à chaque participant et seuls les résumés des idées principales sont imprimés . Des exercices corrigés sont également fournis avec la formation.

4.5 Coût

Le coût de la formation dépend du lieu (face à face ou formation à distance) et du nombre de participants. Pour un devis détaillé, veuillez nous contacter à contact@eomys.com.

4.6 Financement

EOMYS ENGINEERING est référence DataDoc comme organisme de formation. Cette formation peut donc faire l'objet d'un financement partiel ou total par votre OPCA.

5 PROGRAMME DETAILLE

Le contenu de cette formation de 2 à 5 jours peut être personnalisé pour correspondre au mieux à des applications spécifiques et aux savoirs de chacun. En particulier, il est proposé d'effectuer les parties A1/A2 en deux sessions parallèles (mise à niveau en génie électrique pour les ingénieurs en mécanique / vibro-acoustique, et réciproquement en vibro-acoustique pour les ingénieurs en génie électrique).

Introduction

Objectif: comprendre l'importance de la prise en compte du bruit électrique dans le processus de conception des machines électriques

- A1. Importance du critère bruit dans les machines électriques
- A2. Les sources de bruit dans les machines électriques
 - A2a. Sources aérodynamiques
 - A2b. Sources mécaniques
 - A2c. Sources magnétiques
 - A2d. Contributions

A1. Machines électriques et convertisseurs: principes de fonctionnement (option)

Objectif: comprendre le principe de fonctionnement des moteurs électriques et de l'alimentation MLI tout en faisant le lien avec la vibroacoustique (pour des ingénieurs de formation initiale vibro-acoustique ou mécanique)

- A1. Interaction de champs et création de couple
- A2. Machines à courant alternatif
- A3. Machines à courant continu
- A4. Construction des machines électriques
- A5. Principe de la commande MLI
- A6. Topologies utilisées en automobile

A2. Bruit et vibrations: rappels théoriques, application aux machines électriques (option)

Objectif: comprendre les notions d'acoustique et de vibrations tout en faisant le lien avec les moteurs électriques (pour des ingénieurs de formation initiale en génie électrique)

- A1. Vibrations
 - A1a. Cas du résonateur linéaire: raideur, masse, amortissement, facteur de qualité
 - A1b. Généralisation à N ddl
 - A1c. Modes structuraux
 - A1d. Principe de superposition modale
- A2. Acoustique
 - A2a. Pression, vitesse
 - A2b. Puissance, intensité
 - A2c. Additivité & effets de masquage
 - A2d. Directivité, réflexion, distance à la source
 - A2e. Acoustique de salle
 - A2f. Dipôles acoustiques
 - A2g. Efficacité de rayonnement
 - A2h. Analyse en tiers d'octave, pondération A
 - A2i. Psychoacoustique
 - A2j. Moyens de réduction passive

B. Processus de génération du bruit et des vibrations d'origine magnétique

Objectif: détailler comment les différents types de forces magnétiques peuvent exciter les modes propres d'une machine électrique et rayonner du bruit.

- B1. Forces magnétiques des machines électriques
 - B1a. Forces de Maxwell et forces de Laplace
 - B1b. Magnétostriktion
 - B1c. Expression et signification des forces de Maxwell radiales et tangentielles

- B1d. Forces tournantes / pulsantes
- B2. Effet statique des forces magnétiques
 - B2a. Forces radiales et tangentielles d'un rotor externe
 - B2b. Forces radiales et tangentielles d'un rotor interne
 - B2c. Forces axiales
- B3. Modes propres des machines électriques
 - B3a. Modes d'ensemble lamination / carcasse
 - B3b. Modes du rotor
 - B3c. Modes des têtes de bobines
 - B3d. Amortissement
 - B3e. Effet de la température, de la carcasse, du bobinage
- B4. Effets dynamiques des forces magnétiques
 - B4a. Principe de la résonance
 - B4b. Résonances du stator
 - B4c. Résonance du rotor
- B5. Voies de transfert du bruit magnétique
 - B5a. Solidien Vs Aérien
 - B5b. Surface rayonnantes

C. Caractérisation des harmoniques des forces magnétiques

Objectif: détailler quels sont les différents types d'harmoniques des forces magnétiques en terme de fréquences et d'ordre spatial, et leurs liens avec les paramètres de conception.

- C1. Calcul analytique harmonique
 - C1a. Principe
 - C1b. Transformée de Fourier 2D, harmoniques spatiales et temporelles
 - C1c. Règles de calcul
- C2. Cas général, fréquences et ordres
 - C2a. Harmoniques mmf du stator
 - C2b. Harmoniques mmf du rotor
 - C2c. Harmoniques de perméance
 - C2d. Harmoniques de densité de flux
 - C2e. Harmoniques des forces de Maxwell
- C3. Principaux harmoniques des forces magnétiques en fonctionnement normal
 - C3a. Effet de denture
 - C3b. Effet de saturation
 - C3c. Effet du bobinage
 - C3d. Effet de la MLI
- C4. Harmoniques des forces magnétiques en fonctionnement dégradé
 - C4a. Excentricités statiques et dynamiques
 - C4b. Entrefer non régulier
 - C4c. Rupture de barre et démagnétisation
- C5. Etude de cas

D. Techniques de réduction du bruit et des vibrations d'origine électrique

Objectif: détailler toutes les règles de conception permettant de réduire le bruit et les vibrations d'origine magnétique avec leurs avantages et leurs inconvénients.

- D1. Introduction
- D2. Conception électromagnétique
 - D2a. Topologie
 - D2b. Nombre d'encoches et de pôles
 - D2c. Conception du bobinage
 - D2d. Vrillage
 - D2e. Position/forme des pôles

- D2f. Position/forme des encoches
- D2g. Autres
- D3. Contrôle de la conception
 - D3a. Généralités
 - D3b. Angle du courant
 - D3c. Injection du courant
 - D3d. Stratégie MLI
 - D3e. Autres
- D4. Conception de la structure

E. Calcul du bruit et des vibrations d'origine électromagnétique (option)

Objectif: détailler quelles sont les différentes méthodes pour calculer le bruit et les vibrations d'origine magnétique avec leurs avantages et leurs inconvénients en terme de précision, vitesse et robustesse.

- E1. Modélisation
 - E1a. Généralités
 - E1b. Approche numérique
 - E1c. Approche analytique
 - E1d. Méthodes hybrides
- E2. Calcul des modes propres
 - E2a. Méthode analytique
 - E2b. Méthode éléments finis (paquet de lamination, bobinage, carcasse, etc)
- E3. Calcul des forces magnétiques
 - E3a. Méthode analytique (e.g. perméance / mmf) ou semi-analytique (e.g. modélisation en sous-domaine)
 - E3b. Méthode éléments finis
- E4. Calcul du niveau de bruit et de vibrations
 - E4a. Méthode analytique
 - E4b. Méthode numérique
 - E4c. Autres
- E5. Solutions logicielles existantes
- E6. Conclusions

F. Modélisation éléments finis des machines électriques (option, à partir de sept 2019)

Objectif: détailler comment analyser le comportement vibro-acoustique d'une machine électrique en utilisant MANATEE, et comment reconcevoir une machine en réduisant les niveaux de bruit et de vibration.

G. Application avec le logiciel de simulation électro-vibro-acoustique MANATEE® (option)

Objectif: détailler comment analyser le comportement vibro-acoustique d'une machine électrique en utilisant MANATEE, et comment reconcevoir une machine en réduisant les niveaux de bruit et de vibration.

H. Caractérisation expérimentale des bruits et vibrations dus aux excitations électromagnétiques

Objectif: détailler comment caractériser complètement le comportement vibro-acoustique d'une machine et comment interpréter des résultats expérimentaux en vue d'en améliorer la conception

- H1. Introduction
- H2. Analyse modale expérimentale (AME)
- H3. Analyse modale opérationnelle (OMA)
- H4. Déformées opérationnelles
- H5. Configuration Hardware
- H6. Montées en régime, analyse d'ordre
- H7. Tests types en vibro-acoustique
- H8. Interprétation des données expérimentales

I. Application pratique à l'aide du logiciel d'acquisition vibro-acoustique OROS® (option, à partir de sept 2019)

Objectif: instrumenter un moteur électrique et paramétrer un logiciel d'acquisition de signaux électriques, vibratoires et acoustiques en vue de caractériser le bruit électrique