

Titre en Anglais: Analytical Modelling of the Aeroacoustic Performances of Self-ventilated Motors Used in Railway Applications.

Titre en Français: Modélisation analytique des performances aéro-acoustiques des moteurs auto-ventilés de traction ferroviaire.

Abstract:

The reduction of the noise generated by traction motors used in railway applications has become a very important criterion during their design phase. The overall noise comes from three main sources, of vibrational, aerodynamic and magnetic natures. Among these contributions, aerodynamic noise is dominant at high rotation speeds. It is generated by the ventilation system of the motor. The use of numerical simulations to predict this noise can be very expensive and time-consuming when several geometrical parameters need to be tested. Analytical methods are suitable at the early design stage, due to their low computational time. This work is dealing with the analytical modelling of sound generation and propagation inside the ventilation systems integrated in electrical machines. In the first step of this work, the geometry of each motor is divided into several sub-domains, in which the sound field can be expressed as a sum of orthogonal modes. The analytical solution in each sub-domain requires the determination of the modal amplitudes of the different acoustic fields. The use of the mode-matching technique allows one to calculate these coefficients by imposing the continuity of the physical quantities at each interface between two sub-domains with different geometrical properties. A two-dimensional mode-matching technique is first applied to the sound generation and propagation in the fixed part of a totally-enclosed motor. The latter mainly consists of guide vanes and cooling channels. The equivalent dipoles are used in this work to model the sound generation by the impingement of the impeller wakes on the guide vanes. Then, the sound propagation in this coupled system is reproduced by the use of two transmission models which take into account the influence of the wall-thickness. An iterative method is used in order to take into account the multiple reflections of the acoustic waves between the guide vanes and the cooling channels. The mode-matching technique is then extended to significantly more complicated architectures in order to investigate how the sound can propagate inside the ventilation system of an open motor. The results obtained by the analytical models have been validated by comparison with the finite element method. A good agreement between the two methods was found. The diffraction of acoustic waves by periodic rows of rotating channels is addressed in last part of this work in order to investigate how sound can be transmitted through the rotating parts of traction motors.

These analytical models are used for parametric studies to predict the acoustic resonances that can take place in the ventilation systems integrated in traction motors.

Keywords: Aeroacoustics, Mode-matching technique, Electrical motors, Sound propagation, Acoustic resonance, turbomachinery, waveguides, Finite element method. Pressure drop

Résumé:

La réduction du bruit des moteurs électriques de traction ferroviaire est devenue un critère très important lors de leur phase de conception. Le bruit global rayonné par ces moteurs est de natures vibratoire, magnétique et aérodynamique. Parmi ces contributions, le bruit aéro- dynamique est dominant aux vitesses élevées. Il est généré par le système de ventilation du moteur. L'utilisation des simulations numériques pour prédire ce bruit est très coûteuse dans la phase de conception du moteur, où plusieurs paramètres géométriques doivent être testés. Les méthodes analytiques sont avantageuses lors de cette phase de conception en raison de leur faible coût de calcul. Ce travail a pour but de modéliser la génération et la propagation du bruit à l'intérieur des systèmes de refroidissement des moteurs électriques, en utilisant une approche analytique, basée sur la technique de raccordement modal. Dans la première étape de cette étude, la géométrie de chaque moteur est décomposée en plusieurs sous-domaines de géométrie simplifiée dans lesquels l'équation de Helmholtz est séparable. Cette étape de modélisation permet de trouver une solution analytique exprimée sous forme d'une somme de modes orthogonaux. La solution analytique dans chaque élément géométrique nécessite la détermination des coefficients modaux des différents champs acoustiques. L'utilisation de la méthode de raccordement modal permet de calculer ces derniers en écrivant la continuité des grandeurs physiques à chaque interface entre deux milieux de propriétés géométriques différentes. Cette méthode est d'abord appliquée dans un cadre bidimensionnel à la génération et à la propagation du bruit à l'intérieur de la partie fixe des moteurs fermés. Cette dernière est composée principalement d'une grille d'aubes et de canaux de refroidissement. L'utilisation de dipôles équivalents a permis de modéliser la génération de bruit par l'impact des sillages du ventilateur sur la grille d'aubes. La propagation du bruit dans ce système couplé est reproduite par l'utilisation de deux modèles de transmission qui prennent en compte l'influence de l'épaisseur des parois. Une méthode itérative est utilisée par la suite afin de prendre en compte les réflexions multiples des ondes acoustiques entre la grille d'aubes et les canaux de refroidissement. La technique de raccordement modal est ensuite étendue à des architectures beaucoup plus complexes pour étudier la propagation du son à l'intérieur du système de ventilation d'un moteur ouvert. Les résultats obtenus par les différents modèles analytiques sont comparés par la suite à des calculs par la méthode des éléments finis pour validation. La diffraction des ondes acoustiques par des réseaux de canaux tournants a été abordée dans la dernière partie de ce travail, afin de simuler la transmission du bruit à travers les parties tournantes des moteurs. Ces modèles analytiques sont utilisés pour des études paramétriques afin de prédire les résonances acoustiques qui peuvent se produire dans les systèmes de ventilation des moteurs.

Mots-clés: Aéroacoustique, Méthode de raccordement modal, moteurs électriques, propagation du son, résonance acoustique, turbomachines, guide d'ondes, méthode des éléments finis, pertes de charge.