

Résumé

Au cœur des moyens de transport, de transformation d'énergie, et de biens d'équipements, les machines tournantes peuvent avoir des comportements dynamiques complexes dus à de multiples sources de non linéarités liées aux paliers hydrodynamiques, à la présence de fissures, aux touches rotor-stator, ... Des phénomènes comme les décalages fréquentiels et donc de vitesses critiques, les cycles d'hystérésis avec sauts d'amplitudes, le changement brutal du contenu fréquentiel des réponses, sont des expressions de ces comportements. Résoudre les équations du mouvement induites par des modélisations avec des éléments finis de type poutre ou volumique, pour calculer les réponses à des sollicitations diverses (comme le balourd ou le poids propre), est réalisable avec des méthodes d'intégration pas à pas dans le temps mais au prix de temps de calcul prohibitifs. Cela devient particulièrement préjudiciable au stade du pré-dimensionnement où il est nécessaire de réaliser rapidement des études paramétriques. Aussi une alternative intéressante est de mettre en œuvre une méthode numérique, à la fois générale et efficace pour analyser la réponse non linéaire des rotors en régime stationnaire. La démarche proposée combine, dans un premier temps, la méthode de la balance harmonique (HBM) et la technique de bascule Temps-Fréquence (AFT) afin d'obtenir rapidement dans le domaine fréquentiel les réponses périodiques des rotors à grand nombre de degrés de liberté apportés par les éléments finis volumiques. Puis, l'association à la méthode de continuation par pseudo-longueur d'arc aboutit à établir continûment l'ensemble des solutions d'équilibre dynamique sur la plage de vitesse de rotation. Enfin la stabilité dynamique locale de la solution périodique est analysée grâce à des indicateurs de bifurcation basés sur l'évolution des exposants de Floquet. Ainsi sont détectées les bifurcations de branches de solutions périodiques de type point limite, point de branchement et notamment Neimark-Sacker. Leur localisation est déterminée précisément en résolvant un système augmenté constitué de l'équation du mouvement et d'une équation supplémentaire caractérisant le type de bifurcation considéré. En déclarant un paramètre du système (coefficient de frottement, jeu rotor/stator, amplitude de l'excitation,...) comme nouvelle variable, l'utilisation de la technique de continuation conjointement avec le système augmenté détermine directement le cheminement des bifurcations en fonction de ce paramètre sur la nappe des réponses non linéaires. Les suivis de bifurcations délimitent les zones de fonctionnement spécifiques, extraient efficacement l'essentiel du comportement dynamique et offrent ainsi une nouvelle approche pour dimensionner de façon efficace les systèmes notamment en rotation. Nombre des développements réalisés sont implantés dans le code de calcul Cast3M.

- **Titre traduit**

Numerical tracking of bifurcations for parametric analysis of nonlinear rotor dynamics

-

Résumé

Generally speaking, the rotating systems utilized in the energy production have a small rotor-stator gap, are able to run during long periods, and are mounted on hydrodynamic bearings. Rotor-stator interactions in case of blade loss, crack propagation due to fatigue, and a variable stiffness due to the nonlinear restoring forces of the bearings can make the rotordynamics nonlinear and the responses complicated: significant amplitude and frequency shifts are introduced, sub- and super-harmonics appear, and hysteresis occurs. It is of great importance to understand, predict and control this complicated dynamics. Due to the large number of DOFs and the broad range of study frequency, the computation time for solving the equations of motion by a temporal integration method can be quite prohibitive. It becomes particularly disadvantageous at the design stage where a parametrical study need to be quickly performed. An alternative numerical method, which is general and effective at the same time, is proposed in order to analyse the nonlinear response of the rotors at steady state. Firstly, the periodic responses of nonlinear rotors are calculated in the frequency domain by combining harmonic balance method (HBM) and alternating frequency-time (AFT). With the help of continuation method, all dynamic equilibrium solutions of nonlinear systems are determined for the range of study frequency. Then, Floquet exponents which are the eigenvalues of Jacobian are sought for stability analysis of periodic solutions. Then the local stability of the periodic solution is analysed through the bifurcation indicators which are based on the evolution of Floquet exponents. The bifurcations of periodic solution branch, such as limit point, branch point, and Neimark-Sacker bifurcation, are thus detected. By declaring a system parameter (friction coefficient, rotor / stator gap, excitation amplitude, ...) as a new variable, applying once again the continuation method to the augmented system determines directly the bifurcation's evolution as a function of this parameter. Thus, parametric analysis of the nonlinear dynamic behaviour is achieved, the stability boundary or the regime change boundary is directly determined. Numerous developments are implemented in the calculation code Cast3M.