**DYNAMIQUE NON-LINEAIRE DES TRANSMISSIONS PAR ENGRENAGES**

**–**

**APPLICATION AUX POMPES A VIDE DE TYPE ROOTS**

Les systèmes équipés de transmissions par engrenages sont présents dans un grand nombre d'applications industrielles. Nous nous intéressons ici au comportement dynamique non-linéaire de pompes à vides de type Roots multiétages. Ces dernières sont soumises à des excitations hautes fréquences induites par l'engrènement et des excitations basses fréquences générées par l'écoulement fluide. Sous certaines conditions de chargement, en particulier lorsque le couple appliqué est faible, l'engrenage peut subir des pertes de contact conduisant à des impacts répétés entre les dentures.

La première contribution de ces travaux de doctorat est le développement d'une méthodologie pour l'étude du comportement dynamique non-linéaire de systèmes à grand nombre de degrés de liberté équipés de transmissions par engrenages. La méthodologie proposée repose sur une résolution des équations du mouvement dans le domaine spectral via la méthode de l'équilibrage harmonique couplée à une procédure de continuation. Le contact entre dentures est modélisé par une raideur périodique et une excitation en déplacement. La mise en œuvre de méthodes de réduction de modèles permet d'étudier un modèle industriel de pompe à vide comportant 3 millions de degrés de liberté, tout en prenant en compte les excitations multiphysiques. L'étude réalisée met en lumière le couplage entre ces dernières et son influence sur les caractéristiques des réponses dynamiques de type vibro-impacts.

La seconde contribution de ces travaux est le développement de stratégies numériques pour effectuer des analyses paramétriques du comportement dynamique non-linéaire des systèmes équipés de transmissions par engrenages. Nous étudions dans un premier temps l'effet de la géométrie des engrenages et nous montrons que la conception de corps de roues avec des trous influence la réponse dynamique jusqu'à potentiellement prévenir l'apparition de vibro-impacts. Dans un second temps, nous proposons une méthode permettant de suivre les bifurcations locales régulières en fonction de plusieurs paramètres. Elle est mise en \oe{}uvre sur des exemples académiques, puis adaptée aux spécificités de la dynamique des engrenages. Les domaines de stabilité de la réponse dynamique sont déterminés en fonction des conditions de fonctionnement et de paramètres micro-géométriques des dentures.

**Mots clés :** Méthode de l'équilibrage harmonique, Analyse de bifurcations, Suivi de bifurcations, Analyse paramétrique, Contact, Dynamique non-linéaire des engrenages.

**NONLINEAR DYNAMICS OF GEAR TRANSMISSIONS**

**–**

**APPLICATION TO ROOTS VACUUM PUMPS**

Geared systems are encountered in a large number of industrial applications. We herein put an emphasis on the investigation of the nonlinear dynamic behaviour of multistage Roots vacuum pumps. These pumps are subjected to high frequency excitations induced by the meshing process and low frequency excitations generated by the fluid flow. Under particular loading conditions, e.g. when the applied torque is low, the system can experience contact losses, leading to repeated impacts between gear teeth.

The first contribution of this PhD work is the development of a methodology to investigate the nonlinear dynamic behaviour of large-scale geared systems. The proposed methodology relies on the Harmonic Balance Method, coupled to a continuation algorithm, to solve the equations of motion in the frequency domain. The contact between gear teeth is modelled by a periodic stiffness law and a displacement excitation. Reduced-order modelling techniques allow one to study the dynamic behaviour of a vacuum pump model which contains approximately 3 million degrees of freedom subjected to various excitations. This study highlights the coupling between excitation sources and its influence on the characteristics of vibro-impacting responses.

The second contribution of this work is the development of numerical techniques to carry out parametric analyses of the nonlinear dynamic behaviour of geared systems. We first investigate the effects of gear topology and show that the design of gear blanks with holes can potentially prevent the appearance of vibro-impacts. We then propose a method to track smooth local bifurcations with respect to several parameters. It is illustrated on academic examples, then adapted to the peculiarities of gear dynamics. The stability domains of the dynamic response are determined with respect to the operating conditions and gear design parameters.

**Keywords :** Harmonic balance method, Bifurcation analysis, Bifurcation tracking, Parametric analysis, Contact, Nonlinear gear dynamics.