Abstract

The objective of this PhD work is to propose methods to characterise the dynamic and vibroacoustic behaviour of planetary gears, and more particularly the whining noise generated by the meshing process, and to validate the tools developed to implement these methods, based on comparisons between the numerical results and the measurements carried out on prototypes of planetary gears operating in a real context.

In a first step, the characterization of the internal excitation sources is based on the simultaneous resolution of all the contact equations between the gears using a quadratic approach. The numerical results make it possible, on the one hand, to validate the phenomena which appear when the load is no longer equitably distributed between the planets (deliberately different tooth modifications between the planets and mesh phasing), and on the other hand, to characterise the excitations for all the configurations studied.

In a second step, the dynamic behaviour of the kinematic chain of the planetary gears is characterised using a spectral method which takes into account the coupling between the different internal excitations generated by the coupled meshes. The frequency range in which the planetary gear train is likely to generate the most noise is identified, as well as the dynamic transmission errors and teeth dynamic loads.

Finally, an original approach for the evaluation of the modulated dynamic response of the ring gear is proposed. It is based on the dynamic characteristics of the ring gear for each operating regime. Knowledge of the housing vibratory state then makes it possible to estimate the acoustic power radiated by the planetary gear.

The computation/measurement comparisons carried out at each stage of the modelling process make it possible to validate the capacity of the proposed methods to estimate the global behaviour of the planetary gears, through two prototypes with different tooth modifications. This comparison also highlights the limits of the use of experimental data.

Résumé

L'objectif de ce travail de thèse est de proposer des méthodes permettant de caractériser le comportement dynamique et vibroacoustique des trains planétaires, et plus particulièrement le bruit de sirènement généré par le processus d'engrènement, ainsi que de valider les outils développés pour mettre en œuvre ces méthodes à partir de confrontations entre les résultats numériques et les mesures effectuées sur des prototypes de trains planétaires fonctionnant en contexte réel.

Dans un premier temps, la caractérisation des sources d'excitation internes s'appuie sur la résolution simultanée de l'ensemble des équations de contact entre les dentures via une approche quadratique. Les résultats numériques permettent d'une part de valider les phénomènes qui apparaissent lorsque la charge n'est plus équitablement répartie entre les satellites (écarts de denture différents ou déphasage entre les satellites), et d'autre part de caractériser les sources d'excitation pour l'ensemble des configurations étudiées.

Dans un second temps, le comportement dynamique de la chaîne cinématique est caractérisé via une méthode spectrale qui prend en compte le couplage entre les différentes excitations internes induites par les engrènements couplés. La plage de fréquences où le train planétaire est susceptible de générer le plus de bruit est identifiée, ainsi que les erreurs dynamiques de transmission et les efforts dynamiques de denture.

Enfin, une approche originale pour l'évaluation de la réponse dynamique modulée de la couronne est proposée. La connaissance de l'état vibratoire de la couronne permet ensuite d'estimer la puissance acoustique rayonnée par le train planétaire. On observe notamment que l'enveloppe de la réponse dynamique de la couronne est pilotée par sa déformée opérationnelle pour chaque régime de fonctionnement.

Les confrontations calcul/mesure réalisées à chaque étapes de la modélisation permet de valider la capacité des méthodes proposées pour estimer le comportement global du train planétaire, à travers deux prototypes présentant des modifications de denture différentes.