

Résumé

Dans le contexte industriel actuel, la fiabilité et la performance des équipements sont des préoccupations majeures. Les transmissions à engrenages sont des éléments essentiels des systèmes mécaniques et sont - pour nombre d'applications industrielles - associées à un moteur électrique. Ces motoréducteurs sont soumis à des contraintes opérationnelles de plus en plus importantes, et leur défaillance peut entraîner des conséquences graves, tant en termes de sécurité que de coûts de maintenance. La maintenance prédictive émerge alors comme une stratégie essentielle afin de garantir leur bon fonctionnement en identifiant les signes avant-coureurs de défaillance et en planifiant de manière optimale les interventions de maintenance.

L'objectif de cette étude est d'étudier le potentiel des approches thermique et électrique pour la maintenance prédictive d'un réducteur à engrenages. Afin de répondre au besoin industriel ces travaux proposent une approche permettant de détecter et localiser des défauts en temps réel en utilisant un nombre limité de capteurs non intrusifs.

Un banc d'essai a été développé à partir d'un treuil de l'entreprise REEL International pour étudier le comportement thermique d'un réducteur à quatre étages. Cette étude présente, dans un premier temps, une méthode pour créer un jumeau numérique thermique du réducteur. Un modèle hybride analytique-expérimental est proposé. Sa structure est basée sur l'approche des réseaux thermiques². Une procédure expérimentale est utilisée pour déterminer certains paramètres critiques du modèle, tel que le coefficient de frottement des dentures. Dans un second temps, la capacité de ce jumeau numérique thermique à réaliser la maintenance prédictive du réducteur est étudiée via l'introduction d'un défaut d'hélice et d'un défaut d'écaillage sur un des pignons. Dans un troisième temps, une étude du module du vecteur de Park des courants statoriques du moteur pour la détection des défauts est présentée en complément de l'approche thermique.

Il résulte de cette étude que le jumeau numérique thermique est capable de prédire précisément le comportement thermique des composants du réducteur (roulements, carter, huile) en utilisant seulement quelques capteurs thermiques. Celui-ci permet la détection et la localisation d'un défaut géométrique à l'engrènement. L'étude du module de Park démontre quant à elle la pertinence de certains indicateurs ainsi que celle de combiner les deux approches pour la surveillance de la transmission.

Mot clés : maintenance prédictive, jumeau numérique, expérimental, thermique, courants statoriques, transmissions par engrenage, roulements

Abstract

In the current industrial context, the reliability and performance of equipment are major concerns. Gear transmissions are essential components of mechanical systems and are often associated with an electric motor for many industrial applications. These gearmotors are subjected to increasingly significant operational stresses, and their failure can lead to serious consequences in terms of both safety and maintenance costs. Predictive maintenance thus emerges as a crucial strategy to ensure their proper functioning by identifying early signs of failure and optimally planning maintenance interventions.

The aim of this study is to explore the potential of thermal and electrical approaches for the predictive maintenance of a gear reducer. To address industrial needs, this work proposes a method for detecting and locating faults in real-time using a limited number of non-intrusive sensors.

A test bench has been developed based on a winch from REEL International to study the thermal behavior of a four-stage reducer. This study first presents a method for creating a thermal digital twin of the reducer. A hybrid analytical-experimental model is proposed, based on the thermal network approach. An experimental procedure is used to determine certain critical parameters of the model, such as the friction coefficient of the gear teeth. In the second part, the ability of this thermal digital twin to perform predictive maintenance of the reducer is examined by introducing a helical fault and a spalling fault on one of the gears. In the third part, a study of the Park vector modulus of the stator currents of the motor for fault detection is presented, complementing the thermal approach.

The results of this study show that the thermal digital twin is capable of accurately predicting the thermal behavior of the reducer's components (bearings, casing, oil) using only a few thermal sensors. It allows for the detection and localization of a geometric fault at the meshing. The study of the Park modulus demonstrates the relevance of certain indicators as well as the benefit of combining both approaches for monitoring the transmission.

Keywords: predictive maintenance, digital twin, experimental, thermal, stator currents, gear transmissions, bearings.