

Robust detection of incipient faults in rotating machinery under varying operating speed using vibration measurements and advanced statistical time series methods

Bourdalos Dimitrios

Abstract

This study explores the potential for automated detection of incipient faults in rotating machinery under different operating speeds based on few vibration signals and advanced Statistical Time Series (STS) methods. The considered faults cause no obvious effects on the time domain signals and their characteristics (e.g., rms, variance), while their effects on the vibration signals power spectral density are completely masked by the effects due to the different operating speeds, thus making their detection highly challenging. Despite the importance to the machinery maintenance organization and reduced cost, as well as the increased safety, such problems have received limited attention in the pertinent literature. To this end, three powerful STS methods are employed in this study, the Functional Model Based Method (FMBM), a Multiple Model (MM) based method, and a PCA based one, while just a single accelerometer is used on the considered machinery, which consists of two electric motors coupled via a claw clutch (jaw coupling). The methods' experimental performance assessment is based on thousands of inspection (unknown) test cases with the healthy machinery, as well as with three incipient faults, the first and second corresponding to the reduction of the tightening torque on one of the machinery's mounting bolts, and the third to slight wear in the claw clutch's elastic element (spider), while the machinery operates under 21 distinct speeds. The results indicate remarkable detection performance via the FMBM and the MM based methods, with the FMBM also offering an accurate estimate of the machinery rotation speed.

Keywords

rotating machinery, detection of incipient faults, different operating conditions, vibration-based statistical time series methods

Εύρωση ανίχνευση εναρκτήριων βλαβών σε περιστρεφόμενο μηχανισμό υπό μεταβαλλόμενη ταχύτητα λειτουργίας μέσω σημάτων ταλάντωσης και προηγμένων στατιστικών μεθόδων χρονοσειρών

Μπούρδαλος Δημήτριος

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η δυνατότητα αυτοματοποιημένης ανίχνευσης εναρκτήριων βλαβών σε περιστρεφόμενους μηχανισμούς υπό μεταβαλλόμενη ταχύτητα λειτουργίας, με βάση σήματα ταλάντωσης και προηγμένες στατιστικές μεθόδους χρονοσειρών. Οι εξεταζόμενες βλάβες δεν προκαλούν εμφανείς επιδράσεις στα ταλαντωτικά σήματα στο πεδίο του χρόνου ούτε και στα χαρακτηριστικά τους (π.χ. rms, διασπορά), ενώ οι επιδράσεις τους στα φάσματα των σημάτων καλύπτονται σχεδόν πλήρως από τις επιδράσεις των διαφορετικών ταχυτήτων λειτουργίας, καθιστώντας έτσι την ανίχνευσή τους ιδιαίτερα απαιτητική. Το ειδικό πρόβλημα που εξετάζεται δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, παρά την σημαντικότητά του ως προς την μείωση του κόστους συντήρησης, καθώς και την αύξηση της ασφάλειας. Στην παρούσα μελέτη για την αντιμετώπισή του χρησιμοποιούνται τρεις ισχυρές στατιστικές μέθοδοι χρονοσειρών. Η πρώτη βασίζεται σε συναρτησιακά μοντέλα (Functional Models), η δεύτερη σε πολλαπλά μοντέλα (Multiple Models, MM) και η τρίτη σε ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA). Τα ταλαντωτικά σήματα συλλέγονται μέσω ενός αισθητηρίου από τον εξεταζόμενο εργαστηριακό περιστροφικό μηχανισμό, ο οποίος αποτελείται από δύο ηλεκτρικούς κινητήρες συνδεδεμένους μέσω κόμπλερ. Η αξιολόγηση της απόδοσης των μεθόδων πραγματοποιείται μέσω χιλιάδων περιπτώσεων ελέγχου, τόσο με τον υγιή μηχανισμό, όσο και με τρεις εναρκτήριες βλάβες, υπό 21 διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Η πρώτη και η δεύτερη βλάβη δημιουργούνται μέσω μείωσης της ροπής σύσφιξης δύο κοχλιών στήριξης του κινητήρα, ενώ η τρίτη μέσω επιφανειακής φθοράς στο ελαστικό στοιχείο (spider) του κόμπλερ. Τόσο η μέθοδος των συναρτησιακών μοντέλων (FM) όσο και των πολλαπλών μοντέλων (MM) επιτυγχάνουν πολύ υψηλά ποσοστά ανίχνευσης, σε αντίθεση με την μέθοδο PCA. Τέλος, η μέθοδος συναρτησιακών μοντέλων, προσφέρει επιπρόσθετα ακριβή εκτίμηση της ταχύτητας περιστροφής, στην περίπτωση που ο μηχανισμός χαρακτηριστεί υγιής.

Λέξεις κλειδιά

Περιστρεφόμενοι μηχανισμοί, ανίχνευση εναρκτήριων βλαβών, διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, στατιστικές μέθοδοι χρονοσειρών