

Raziskava odkrivanja in upočasnitve napredovanja razpok v nelinearnih rotorjih

Jun Liu^{1,2,*} – Weilong Liu¹ – Xiaofeng Wang^{1,2}

¹ Državni laboratorij v Tianjinu za konstruiranje in inteligentno upravljanje naprednih mehanskih sistemov, Kitajska

² Nacionalno demonstracijsko središče za izobraževanje na področju eksperimentalne mehanike in elektrotehnike, Kitajska

Pojav in napredovanje razpok v nelinearnih rotorjih motorjev lahko privede do hudih nesreč, zato je zelo pomembno, da je z analizo vibracij mogoče zaznati razpoko v sistemu rotorja ter upočasniti njeno napredovanje. Signali vibracij razpokanega rotorja v prehodnem odgovoru so neperiodični in nelinearni. Značilnosti razpoke se zlahka skrijejo med drugimi komponentami vibracij in jih je težko izločiti iz prehodnih signalov. Zato je za izločanje informacij o razpokah v rotorjih predlagana Hilbert-Huangova metoda marginalnega spektra (HHMS).

Za postavitev matematičnega modela in reševanje diferencialnih enačb z numerično integracijo so bili uporabljeni teorija dinamike rotorjev, nelinearna dinamika, enačbe gibanja sistema rotorja z razpoko ter model stopnje odpiranja in zapiranja razpoke. Predlagana je uporaba metode HHMS za izločitev značilnosti napake iz signala vibracij sistema nelinearnega rotorja. Predstavljena je tudi primerjava uporabljene metode in valčne metode.

V raziskavi je bil uporabljen pristop z izločitvijo značilnosti razpoke iz prehodnega odgovora na osnovi teorije dinamike rotorjev. Za izločitev značilnosti napake iz signala vibracij nelinearnega rotorja je uporabljena metoda HHMS, upočasnitev napredovanja razpoke pa je uresničljiva s prilagoditvijo raznih parametrov rotorja. Uspešnost metode je bila sistematično preverjena s simulacijami in eksperimenti. Raziskava je bila omejena na prečne razpoke in na upočasnitev napredovanja razpok v sistemu rotorja.

V raziskavi je predlagana uporaba metode HHMS na prehodnem odgovoru za odkrivanje razpok v nelinearnih rotorjih. Rezultati simulacije so pokazali, da je predlagani pristop primeren za ocenjevanje prisotnosti zgodnjih razpok v sistemu rotorja. HHMS poleg tega omogoča nedvoumno ugotovitev obstoja razpok z globino, ki dosega približno 5 odstotkov premera rotorja. V članku je predstavljena nova metoda za opisovanje stopnje odpiranja in zapiranja razpok, obravnavana pa je tudi upočasnitev napredovanja razpok z različnimi parametri rotorja. Sledijo rezultati raziskave.

1. Rezultati eksperimentov in simulacij potrjujejo učinkovitost predlagane metode HHMS za izločanje značilnosti razpok iz prehodnih odgovorov. HHMS s svojim integracijskim učinkom točno odraža dejanske frekvenčne komponente v prehodnem signalu.
2. Med vzletom ali pristankom letala, izvajanjem akrobatskih prvin, vzpenjanjem in strmoglavim letom je mogoče napredovanje razpoke upočasniti s povečanjem vrtilnega pospeška in pojemka.
3. Z ustrezno nastavitvijo kota β in podpore rotorja je mogoče upočasniti napredovanje razpoke, npr. z zmanjšanjem simetričnega nelinearnega člena $\beta^{(0)}$ in s povečanjem vrednosti asimetričnega nelinearnega člena $\varepsilon_c^{(1)}$ in $\varepsilon_s^{(1)}$.

Metoda HHMS se je v raziskavi izkazala za zanesljivo pri odkrivanju razpok v nelinearnih rotorjih na osnovi prehodnega odgovora. Trenutno je na voljo več metod za identifikacijo in diagnosticiranje razpok v sistemu rotorja, le redke pa so primerne za odkrivanje razpok v nelinearnih rotorjih na osnovi prehodnega odgovora in lahko izkoristijo mehanizme razpokanega rotorja za upočasnitev napredovanja razpoke.

Sistem rotorja mora biti za možnost zanesljivega odkrivanja razpok razmeroma dobro uravnotežen.

Z metodo HHMS je mogoče učinkovito izločiti signale razpok iz kompleksnih signalov vibracij. Metoda HHMS je v primerjavi z valčno metodo občutljivejša in točnejša metoda za izločanje značilnosti iz prehodnih signalov vibracij sistemov rotorjev z razpoko. Eksperimenti so potrdili rezultate teoretičnih simulacij. Metoda je primerna tudi za industrijsko rabo.

Ključne besede: razpokan rotor, prehodni odgovor, Hilbert-Huangov marginalni spekter, valčna metoda, odkrivanje razpok, upočasnitev napredovanja razpok

*Naslov avtorja za dopisovanje: Državni laboratorij v Tianjinu za konstruiranje in inteligentno upravljanje naprednih mehanskih sistemov, Kitajska, liujunjp@tjut.edu.cn