

Omejevanje samovzbujenih vibracij pri rotacijskih strojih z listnatimi vzmetmi

Chang Wang¹ – Jun Liu^{1,2,*} – Zhiwei Luo³

¹ Državni laboratorij za napredne mehatronske sisteme in inteligentno vodenje, Tehniška univerza v Tianjinu, Kitajska

² Nacionalni demonstracijski center za eksperimentalno delo pri pouku strojništva in elektrotehnike, Tehniška univerza v Tianjinu, Kitajska

³ Organizacija za napredno znanost in tehnologijo, Univerza v Kobeju, Japonska

Pri delovanju rotacijskih strojev nad zgornjo kritično hitrostjo se zaradi notranjega trenja na gredi pojavljajo samovzbujene vibracije. V članku je preučen mehanizem nastanka samovzbujenih vibracij in predstavljena učinkovita metoda za omejevanje samovzbujenih vibracij z listnatimi vzmetmi.

Lastnosti rotorjev z listnatimi vzmetmi so bile sistematično preučene z numeričnimi simulacijami in teoretično analizo. Teoretična analiza vibracijskih lastnosti rotorskih sistemov po večskalni perturbacijski metodi in metodi harmoničnega ravnovesja je težavna zaradi notranjih dušilnih členov. V tej študiji je bila uporabljena izboljšana strelna metoda za pridobivanje aproksimativnih rešitev za harmonično komponento. Veljavnost predlagane metode omejevanja vibracij je bila preverjena tudi eksperimentalno.

Pojavi notranjega trenja se razvrščajo v histerezo dušenje zaradi notranjega trenja v materialu gredi in v strukturno dušenje zaradi suhega trenja med gredjo in zunanji elementi. Strukturno dušenje rotorja v tem primeru šteje v notranje dušenje. Ob upoštevanju sil dušenja in elastičnih sil listnatih vzmeti so bile pridobljene enačbe dinamike rotorskega sistema. Na podlagi analize lastnih frekvenc je bilo ugotovljeno, da imajo sile dušenja listnatih vzmeti velik vpliv na glavno kritično hitrost rotorskega sistema, ki se povečuje z rastjo koeficienta dušilnih sil. Za pridobivanje aproksimativnih rešitev za rotorski sistem v pogojih ravnotežja in neravnotežja sta bili uporabljeni metoda harmoničnega ravnotežja in izboljšana strelna metoda. V kombinaciji z numeričnimi simulacijami so bili pridobljeni resonančni odzivi za analizo vibracijskih lastnosti rotorskega sistema.

Amplituda samovzbujenih vibracij v pogojih brez neravnotežja se je bistveno zmanjšala s povečanjem koeficienta dušilnih sil. Ko ta doseže kritično vrednost, ne more priti do samovzbujenih vibracij. Harmonične vibracije in samovzbujene vibracije v pogojih brez neravnotežja so praktično neodvisne, skoraj periodična gibanja pa se pojavljajo zaradi seštevanja harmoničnih in samovzbujenih vibracij. Listnate vzmeti lahko učinkovito omejijo samovzbujene vibracije v širokem razponu vrtilnih frekvenc. Za preverjanje učinkovitosti predlagane metode omejevanja je bil zgrajen enorotorski sistem z listnatimi vzmetmi. Puša omogoča nastavitve sile prednapetosti med pušo in gredjo, notranja sila dušenja pa se prilagaja z uravnavanjem sile zategovanja puše. Pod diskom je vgrajen kroglični ležaj. Štirje paketi listnatih vzmeti se dotikajo zunanjega obroča ležaja na štirih mestih. Vsak paket listnatih vzmeti je sestavljen iz treh listov različnih dolžin in med listi nastane suho trenje. Brez listnatih vzmeti pri vrtilnih frekvencah nad zgornjo kritično hitrostjo nastopijo samovzbujene vibracije in validacija mejnega cikla ni mogoča. Rezultati eksperimentov z listnatimi vzmetmi so pokazali odsotnost samovzbujenih vibracij nad glavno kritično hitrostjo tudi ko je rotorski sistem z listnatimi vzmetmi izpostavljen ponavljajočim se motnjam.

Raziskava je bila osredotočena na vibracijske lastnosti pri vrtilnih frekvencah v bližini glavne kritične hitrosti. V prihodnje bodo raziskane še vibracijske lastnosti v bližini podharmonične resonance reda 1/2, saj ima rotorski sistem eliptične orbite.

Rezultate teoretičnih analiz in numeričnih simulacij potrjujejo tudi rezultati eksperimentov: z listnatimi vzmetmi je mogoče omejiti samovzbujene vibracije nad glavno kritično hitrostjo.

Ključne besede: rotorski sistem, samovzbujene vibracije, notranje dušenje, omejevanje vibracij, listnata vzmet, eksperiment

*Naslov avtorja za dopisovanje: Tehniška univerza v Tianjinu, No. 391 Bin Shui Xi Dao Road, Tianjin, Kitajska, liujunjp@tjut.edu.cn