

Dinamične lastnosti in napoved stabilnosti rotorja parne turbine na osnovi deformacije mreže

Heyong Si* – Lihua Cao – Pan Li

Severnovzhodna univerza za elektroenergetiko, Oddelek za energetiko in elektroenergetiko, Kitajska

Pretok pare ima pomembno vlogo pri stabilnosti rotorjev parnih turbin. Neenakomerna obodna zračnost na tesnilu zaradi ekscentričnosti rotorja povzroči neenakomerno porazdelitev pare, ta pa vibracije zaradi pretoka pare. To je glavni povzročitelj nestabilnosti rotorjev, ki pomembno vpliva na varnost parnih turbin. Analiza dinamičnih lastnosti rotorjev in stabilnosti rotorskih sistemov, vključno z vibracijami zaradi pretoka pare, je zato nujna za varno obratovanje parnih turbin.

Za preučitev mehanizma vzbujanja vibracij zaradi pretoka pare in njihovega vpliva na dinamične lastnosti rotorja parne turbine z močjo 300 MW je bila uporabljena računalniška dinamika fluidov (CFD). Izračunani so bili parametri pretočnega polja v predelu tesnila, vključno s temperaturo in tlakom. Nato je bila opravljena hitra Fourierjeva transformacija (FFT) in izračun dinamičnih koeficientov v okolju MATLAB.

Tridimenzionalno vrtnično gibanje je bilo simulirano na osnovi deformacij mreže. Za pogon rotorja so bile vključene uporabniško definirane funkcije (UDF). Na osnovi vzbujalnih sil zaradi pretoka pare v časovni domeni in teorije majhnih motenj so bili pridobljeni podatki v frekvenčni domeni po metodi FFT. Končno so bili izračunani še dinamični koeficienti rotorja. Vplivi vrtničnega polmera in frekvence, vrtilne hitrosti in tlačnega razmerja na dinamične lastnosti rotorja so bile analizirane z metodo krmiljene spremenljivke. Z analizo tlaka, tokovnic in kinetične energije turbulentnega tokovnega polja je bil razkrit mehanizem parametrov, ki vplivajo na vzbujanje vibracij zaradi pretoka pare.

Rezultati kažejo na nelinearno variabilnost vzbujalnih sil zaradi pretoka pare in dinamičnih koeficientov večfrekvenčnega vrtničnega gibanja, vzbujalne sile zaradi pretoka pare pa se povečujejo z naraščanjem frekvence vrtničenja. Dinamični koeficienti rotorja in efektivno dušenje se povečujejo z naraščanjem frekvence vrtničenja. Vrtilna hitrost pri frekvenci vrtničenja 24,41 Hz močno vpliva na dinamične koeficiente rotorja. Maksimalno odstopanje povprečne direktne togosti, navzkrižne togosti, direktnega dušenja in navzkrižnega dušenja znaša 8,1 %, 113,2 %, 45,8 % in 121,0 %. Efektivno dušenje močno niha pri vrednosti frekvence vrtničenja in vrtilne frekvence 24,41 Hz. Direktna togost, direktno dušenje in efektivno dušenje se povečujejo z naraščanjem tlačnega razmerja, ki lahko izboljša stabilnost rotorja. Glavni povzročitelj vibracij, vzbujenih zaradi pretoka pare, so tlačna nihanja na površini rotorja. Z naraščanjem vrtilne frekvence se povečuje turbulentna kinetična energija in vrtnično gibanje postane intenzivnejše. Mejo stabilnosti rotorja je mogoče natančno oceniti s pomočjo efektivnega dušenja.

Nelinearne dinamične lastnosti tesnil se razlikujejo pri različnih parametrih pare in konstrukcije tesnila, kar je bolj izraženo pri ultra-superkritičnih enotah. Obstoječa enačba za vrtničenje ni uporabna za rotorje velikega premera (nad 800 mm) in zanje je potrebna izboljšana enačba za ultra-superkritične enote. Predmet prihodnjih raziskav bo lahko nelinearno gibanje rotorjev zaradi vibracij, ki jih vzbuja pretok pare.

V članku je predstavljen visokonatančen model vrtničenja v skladu z dejanskim gibanjem rotorja, ki je bil postavljen po metodi CFD s funkcijami UFD. Preučen je vpliv obratovalnih parametrov na vibracije zaradi pretoka pare in dinamične lastnosti rotorja, ki ima velik pomen pri praktični izvedbi projektov.

Ključne besede: parna turbina, labirintno tesnilo, vzbujanje vibracij zaradi pretoka pare, dinamične lastnosti rotorja, deformacije mreže, stabilnost