

Oponentský posudek diplomové práce

Analýza odezvy rotoru na kmitání základu

autora

Bc. Davida Svobody,

Technická Univerzita v Liberci, Fakulta strojní,

Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti.

Obor: Aplikovaná mechanika,

akademický rok 2014/2015.

Předložená diplomová práce má celkem 76 stran, 61 obrázků (často barevných) a 8 tabulek. Přílohou je CD s textem diplomové práce a dalšími publikacemi autora.

Cílem práce bylo sestavit matematický model daného rotoru (katedrového laboratorního zařízení pro demonstraci jevů rotorové dynamiky), vypočítat jeho modální analýzu a pomocí ní numericky určit odezvu rotoru na zvolené kinematické buzení.

Předložená diplomová práce má tyto následující části:

- Teoretický popis – vytvoření modelu rotoru pomocí MKP,
- Modální analýza rotoru, včetně tuhých kotoučů a s vlivem tlumení,
- Zavedení kinematického buzení,
- Numerický výpočet konkrétního rotoru, jeho posouzení a porovnání s jiným programem,
- Numerický výpočet dynamické odezvy na kinematické buzení a grafické znázornění.

Hodnocení:

Zaměření diplomové práce je velmi aktuální, jak s ohledem na požadavky z průmyslových aplikací, tak také omezeným počtem pracovníků, kteří se touto tematikou v ČR zabývají.

Výpočtové programy byly autorem programovány pomocí MKP v matematickém softwaru Scilab, dále autor pracoval s programy NASTRAN a MSC Adams a zvládl numerické metody řešení diferenciálních rovnic. Autor řešil zadané úkoly na vynikající úrovni. Diplomová práce má přímé důsledky pro další práci na katedrovém laboratorním zařízení pro demonstraci jevů rotorové dynamiky a může být použita jako základ dalších diplomových úkolů z této oblasti. Výsledný matematický model rotoru předpokládá jednodušší případ, tzv. diagonalizovatelné matice. Na druhé straně se důkladně zabývá problematikou tzv. souběžných a protiběžných precesí, významnou pro odhad stability systému.

Některé otázky do diskuse:

Str. 10 – Je zde uvedeno, že tuhostní matice prvku $\mathbf{K}^{(e)}$ je singulární. Je tomu tak vždy?

Str. 14: Tvrzení o tom, že „vnější útlum prostředí je možné zanedbat“ je dosti silné a pokud nejde o pohyb rotoru ve vakuu, je možné ho, alespoň přibližně, respektovat ve výsledném matematickém modelu např. přídavnou, tzv. „proporcionální“ maticí tlumení.

Str. 16: Při přechodu od rovnice (4.27) k rovnici (4.28) je uvedeno „...se vynásobí zleva $\mathbf{V}^T$ a zprava $\mathbf{V}...$ “. S vynásobením zleva souhlasím, ale „vynásobením“ zprava vyžaduje vyjádření vektoru $\mathbf{q}$ v bazi vlastních vektorů – sloupců matice $\mathbf{V}$. Jinak řečeno, stejný symbol $\mathbf{q}$ v obou rovnicích není možný.

Str. 19: V první větě má být $i=1,2,\dots$?

Str. 23: Neměla by být rovnice (4.55) tvaru $F_R = k_R (r - c_R)$?

Str. 26: Vlastní hodnoty můžeme sice definovat podle $\text{Det.}=0$ v rovnici (5.11), ale výpočtem této rovnice se nezískají.

Str. 27: Malé λ (před rovnicí (5.16)) jsem nenašel v seznamu označení. V rovnici (5.22) je, s ohledem na pravou stranu, $\mathbf{u}$ se stříškou funkcí času a v rovnici (5.8) tomu tak nebylo. Rezolventní vztah (5.22) je výhodné uvádět i v „součtovém“ tvaru, jako lineární kombinaci vlastních vektorů. Vynikne lépe „vytvoření“ vynucené výchylky z vlastních tvarů, vztah levostranných vektorů a vektoru budících sil a frekvenční naladění jednotlivých tvarů kmitání s ohledem na budící harmonickou frekvenci.

Str. 44: Pokud by se vnitřní (materiálové) tlumení modelovalo (malou) přídavnou, ryze imaginární maticí tuhosti, už by výsledný model neměl vzájemně komplexně sdružená vlastní čísla, jako je uvedeno v rovnici (9.2).

Str. 63: Porovnání výsledků dynamické simulace pomocí MSC Adams s analýzou ve Scilabu v Tab. 8 je pouze velmi, velmi kvalitativní!

Diplomová práce je psaná přehledně a logicky, zejména grafické a tabulkové výsledky jsou zpracovány velmi pečlivě. Je doplněna seznamem použitých označení a přehledem odborné literatury. Drobné, zejména stylistické a pravopisné poznámky a připomínky následují v další části tohoto posudku. Určení skutečných tuhostí ložisek a spojky „numericky“, pomocí programu NASTRAN je zajímavá myšlenka. Se zájmem jsem si také přečetl Přílohu A o určení souběžné a protiběžné precese pomocí komplexního vlastního tvaru.

Práci doporučuji proto k obhajobě a po kladném průběhu obhajoby a autorově vyjádření k vybraným připomínkám obhajobu úspěšně uzavřít. Připomínám přitom ještě autorovu samostatnou a bohatou publikační činnost, která může být počátkem jeho dalšího působení při pedagogické i výzkumné práci.

Předložená práce splňuje cíl zadání a požadavky na udělení akademického titulu inženýr uchazeči v případě úspěšné obhajoby. Navrhuji klasifikovat práci stupněm „výborně“.

Praha 11. 6. 2015

Ing. Jan Kozánek, CSc.
kozanek@it.cas.cz



Ústav termomechaniky AV ČR
Dolejškova 5
182 00 Praha 8

Drobné připomínky k diplomové práci

Str.

ix: Běžnější je slovní spojení „Kroneckerovo delta“.

x: Pro jednotkovou matici se častěji používá **I**.

1: „...drtivé většiny strojů a zařízení...“?, „...opotřebení ložisek, které by pak ...způsobovaly...“; „Jelikož jde o obrovské masy hmoty...“?, Numerická analýza může velmi pomoci při vývoji strojů, nebo naopak pomoci při...“

3: „...a kotouči na něm připevněnými...“, „...odstředivá síla způsobená...“, „...vlivy okrajových podmínek jsou velmi rozmanité...“ – nikoliv „rozmanité“

4: „...na toto téma zabývají tím, jak potlačit...“, Takovýto koncept práce nalezen nebyl. ?

5: Poslední ukončená věta ?

6: „...a následně je hledáno minimum...“

14: „...vůči odporu vlastního éteru...“(pojem éteru je poněkud archaický)

21: „Použitím Lagrangeovy rovnice 2. druhu...“

22: „...tuhosti v ložisku s velkou tuhostí.“

24: „...a jim příslušných vlastních tvarech kmitů.“, „To má velký dopad...“, „Následně se aplikuje diagonalizace i na...“

26: „...vlastní charakter soustavy...“?, „...dvě vzájemně ortogonální množiny.“

28: „Tím se zahrne vliv neinerciálních základů...“?, „...pohyb základu...“

39: „...označen jako soustava...“, „...a tím se i urychluje výpočet...“

31: „...aby se vlastní frekvence...vzájemně neovlivňovaly.“

32: „...co možno srovnatelné délky.“, „...proto není osazení ani kvůli těmto ložiskům.“?

55: Nenašel jsem v textu komentář k Obr. 38.

62: V literatuře je běžnější označení softwaru MSC Adams místo MSC.Adams.

67: „...že i když je hřídel...“

71: „...získat z komplexního vlastního tvaru...“