

## Analýza dynamických vlastností rotorů turbodmychadel

K oponentskému posouzení byla předložena diplomová práce výše uvedeného názvu o celkovém rozsahu 93 stran včetně obrázků s graficky zpracovanými výsledky. Řešená problematika je velmi aktuální zejména v současné době, kdy otáčky některých rotorových systémů dosahují i stovky tisíc otáček za minutu. Příkladem těchto soustav jsou právě turbodmychadla. Při takto vysokých otáčkách je přesnost modelování zejména dynamických vlastností naprosto prioritní záležitostí. Zpracování předložené diplomové práce představuje získání značného množství znalostí jak z teorie dynamiky rotorových systémů, tak z oblasti měření a experimentů.

V první kapitole diplomant podává historický přehled vývoje oboru dynamiky rotorů. V druhé kapitole se věnuje odvození konečného rotorového prvku i koeficientových matic tuhého kotouče na základě běžně používané metodiky na Katedře mechaniky ZČU v Plzni. Třetí obsahuje rozbor problematiky řešení kritických otáček rotorů a ustálené odezvy rotorů na harmonické buzení. Čtvrtá kapitola popisuje řešení odezvy nelineárních rotorových systémů v časové oblasti pomocí diferenční metody a popis vyvinutých programových prostředků. Velmi zajímavá je pátá kapitola, která se zabývá modelováním konkrétního turbodmychadla a zejména kalibrací matematického modelu turbodmychadla pomocí akustického měření. Zmíněná kalibrace se týká vlastních frekvencí, přičemž vlastní tvary kmitu touto metodou není možné zjistit. Zde se předpokládá jejich znalost z předchozí MKP analýzy.

Kromě velkého objemu odvedené práce však diplomová práce také obsahuje mnoho překlepů a některých nepřesností. Překlepy nebudu komentovat, avšak několik otázek a připomínek si dovoluji:

- 12<sub>8</sub> -autor ve vztahu popisuje i všeobecně známé symboly (např. vektorový součin), avšak nepopisuje symbol  $m$ , který v tomto případě postrádá smysl. Zmíněný vztah platí pro hmotný bod.
- vztah (2.36) obsahuje symboly  $J_y$ ,  $J_z$ ,  $J$  a přitom mají všechny stejný smysl
- 21 první věta nedává smysl
- 31<sub>10-13</sub> celý odstavec kromě překlepů mně nedává smysl
- 37<sub>13</sub> tvrzení, že matice v závorce musí být nulová je nesprávné, musí být jen singulární
- 38<sub>15</sub> pokud autor považuje divergentní řešení jako nestabilitu typu „divergence“, je třeba zmínit ještě nestabilitu typu „flutter“. Obě tato nestabilní řešení odpovídají vlastním číslům systémové matice lineárního systému s kladnou reálnou částí.
- 38<sub>9</sub> počet rovnic ve stavovém modelu bych neoznačoval jako počet stupňů volnosti
- vztahy (3.20) a (3.21) obecně neplatí. Tyto vztahy platí za předpokladu  $\lambda_i \neq \lambda_j$ . V případě násobných vlastních čísel nemusí být vlastní vektory ortogonální a je třeba je ortogonalizovat např. Schmidtovou ortogonalizací (Choleského rozklad)
- 40<sub>10</sub> „...vypočtena modální analýza...“
- 41<sub>12</sub> tvar kmitu není možné zakreslit, protože extrémy kmitů v jednotlivých místech obecně nenastávají ve stejném okamžiku. Proto se pohyb průhybovky buď animuje, nebo se zobrazuje v jednom časovém okamžiku. Spojnice bodů trajektorie jednoho konkrétního bodu pak tvoří jednotlivé orbity.

- v práci se vyskytuje opakovaně výraz „spektrum odezvy“ ve smyslu Fourierova obrazu příslušné veličiny. Tento výraz má však v terminologii mechaniky jiný význam.
- v práci se vyskytuje opakovaně výraz „...sestává se z...“ místo správného „...sestává z ...“
- 43 odstavci mezi (3.31b) a (3.32) nerozumím a nelíbí se mi. Index označující vlastní číslo nebo kritické otáčky přeci nesouvisí s iterací výpočtu tohoto vlastního čísla.
- 43<sub>16</sub> výpočet nemusí konvergovat také v případě, že vlastní čísla jsou si blízka a v průběhu iteračního procesu si přehodí navzájem pořadí. Pak je třeba využít afinity vlastních vektorů z předchozí a následující iterace např. pomocí MAC kritéria.
- 43<sub>4</sub> startující hodnota  $\omega$  může být i nulová pokud pro přerušení použijeme jiné kritérium než (3.31a)
- (3.41) indexy „ $l$ “ zřejmě do rovnice nepatří (týkají se ložisek a ucpávek)
- 53 indexy ve vztazích na této straně nejsou moc jasné vysvětleny
- 68<sup>11</sup> číslo  $n-1$  nesouvisí se stupni volnosti rozdělení ale s pojmy uchýlený a neuchýlený odhad rozptylu nebo směrodatné odchylky
- (5.19) zde není popsán parametr  $\delta$ . Vzhledem k tomu, že smykové napětí při jednoosém namáhání je maximální pro 45°, je tento parametr v literatuře volen tak, aby odpovídal nárůstu poloměru o tloušťku kotouče

## Závěr

Jsem přesvědčen, že diplomová práce má velmi dobrou úroveň, představuje značný objem prací a navzdory připomínkám, které jsou spíše formálního charakteru, práci hodnotím stupněm „výborně“.

V Plzni dne 18. června 2013

Prof. Dr. Ing. Jan Dupal  
Katedra mechaniky, FAV  
ZČU v Plzni