



National Conference with International Participation
ENGINEERING MECHANICS 2001
Svratka, Czech Republic, May 14 - 17, 2001

„ROTORDYNAMICS FOR ANSYS“ A NEW PROGRAM FOR ROTORDYNAMICS ANALYSIS

László IVÁN, Karel KUBÁČEK, Eduard MALENOVSKÝ*

***Summary:** „RotorDynamics For ANSYS“ developed by SVS FEM s.r.o. is a subsidiary software for the well known finite element system for rotordynamics analysis. The module is fully integrated into ANSYS, uses its element library and computational procedures for solving modal, harmonic and transient analysis of rotor systems. The paper describes the main concepts of the product.*

1. ÚVOD

Kmitání, buzení rotujícími součástmi u mechanických a elektrických strojů, je problém, se kterým se setkává řada výpočtářů a konstruktérů strojních zařízení. Z hlediska výpočtáře lze hovořit o dvou základních úlohách: První zahrnuje vlastní analýzu rotujícího systému, druhá úloha představuje rotující součást jako zdroj zatížení na okolní systémy.

Pomineme-li klasické výpočty na úrovni empirických vzorců, má výpočtář možnost vybrat si pro výpočty dynamických vlastností rotorů buď jednoúčelové, speciální programy, nebo použít některý z konečnoprvkových systémů. První skupina se vyznačuje problémovou orientací, ale nízkou úrovní prostředí a komfortu. Druhá skupina naopak vysokou úrovní prostředí a prostředků, ale bez orientace na problém.

Popisovaný program, označený jako „RotorDynamics For ANSYS“, byl vytvořen jako problémově orientovaný program pro analýzu příčného a torzního kmitání rotorů, implementovaný do prostředí známého konečnoprvkového systému ANSYS. Hlavním cílem při vytváření modulu „RotorDynamics For ANSYS“ bylo vytvořit program, který do maximální míry využívá možnosti a přednosti ANSYSu, počínaje tvorbou konečnoprvkového modelu, přes knihovnu elementů, výpočtové procedury pro řešení vlastních čísel, ustáleného kmitání, přechodového kmitání a nelineárních úloh, a nakonec přes možnosti vyhodnocení výsledků, tj. vypsání, vykreslení a animaci žádaných veličin.

Pomocí programovacího jazyka APDL (Ansys Parametric Design Language) byly vytvořeny pomocné procedury, které na bázi knihovny elementů a výpočtových procedur ANSYSu dovolí uživateli řešit úlohy dynamiky rotorů. Pro usnadnění zadávání vstupních parametrů, specifikaci analýzy i vyhodnocení výsledků bylo také vytvořeno problémově orientované uživatelské prostředí (UIDL), které po instalaci tohoto systému je součástí základního uživatelského prostředí ANSYSu (obr.1).

* Ing. László Iván: SVS FEM s.r.o. , Čechyňská 25, 602 00 Brno; E-mail: livan@svsfem.cz
Ing. Karel Kubáček : SVS FEM s.r.o. , Čechyňská 25, 602 00 Brno; E-mail: kkubacek@svsfem.cz
Doc. Ing. Eduard Malenovský, CSc.: VUT FSI – ÚMT, Technická 2, 616 69 Brno

2. VÝVOJ MODULU „ROTORDYNAMICS FOR ANSYS“

Vývoj modulu „RotorDynamics For ANSYS“ byl rozdělen do dvou etap:

1. Modul pro lineární analýzu dynamiky rotorových soustav, kde okruh řešených úloh představuje :
 - a) frekvenčně modální vlastnosti při daných konstantních otáčkách,
 - b) frekvenčně modální vlastnosti při proměnných otáčkách,
 - c) analýza odezvy při vynuceném ustáleném kmitání při polyharmonickém buzení,
 - d) analýza odezvy při přechodovém kmitání při konstantních, nebo proměnných otáčkách (výpočtová simulace),
 - e) řešení problému stability.

Tyto analýzy mohou být tlumené i netlumené, včetně uvažování vlivu gyroskopických momentů a statického předpětí.

2. Modul pro nelineární analýzu dynamiky rotorových soustav.
Představuje rozšíření lineárního modulu o nelineární vazebné prvky mezi rotující a nerotující částí. Tyto nelineární vazebné prvky jsou:
 - a) kluzná ložiska,
 - b) valivá ložiska,
 - c) squeeze filmový tlumiče,
 - d) těsnící spáry,
 - e) model kontaktu mezi rotující a nerotující částí,
 - f) vazba magnetickým polem,
 - g) model trhlíny,
 - h) samomazné ložisko,
 - i) naklápěcí ložisko.

3. POPIS SYSTÉMU

Jelikož se jedná o systém, který je stále ve vývoji (ukončení první etapy se předpokládá v polovině tohoto roku), popis systému bude „jen“ z hlediska celkové koncepce.

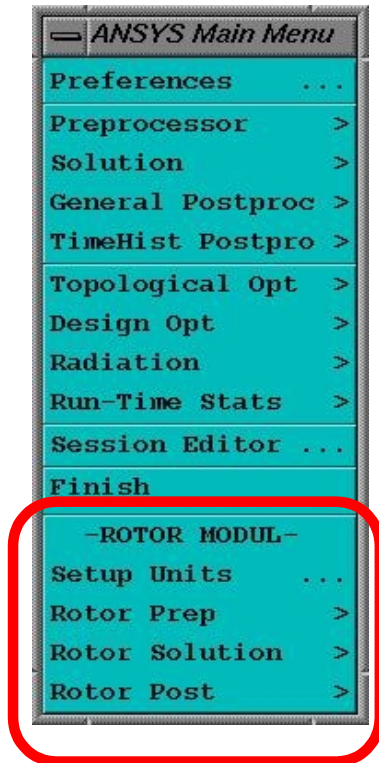
Výběr soustavy jednotek

Před zahájením práce má uživatel možnost definovat systém jednotek, a to výběrem z několika předdefinovaných skupin, které bude využívat. Na základě tohoto výběru se potom při zadávání vstupních parametrů objeví pomocná (nezávazná) nápověda, která uvede, v jakých jednotkách systém očekává zadávané hodnoty. Na obr.2 je ukázka této funkce při zadávání materiálových charakteristik, kde uživatel vybral systém jednotek SI. Pokud uživatel nechce využívat tuto funkci, na místech nápověd jednotek se objevuje poznámka [User].

Pro usnadnění práce uživatelům s RotorModulem autoři vytvořili uživatelské prostředí podobné uživatelskému prostředí hlavního programu.

RotorModul podobně jak ANSYS má tři hlavní části:

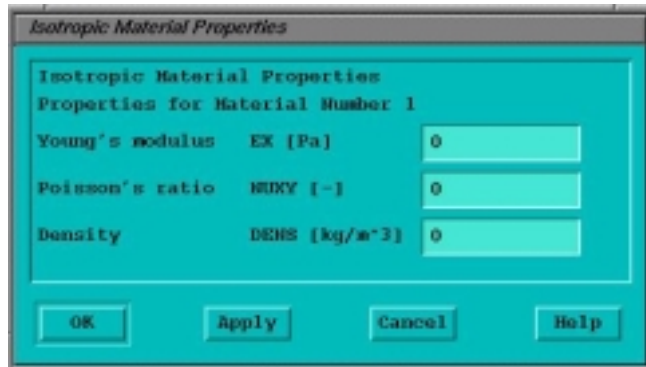
- Rotor – Preprocessor
- Rotor – Solution
- Rotor – Postprocessor.



Obr.1



Obr.3 Rotor - Preprocessor



Obr.2

Rotor - preprocessor

Tento modul slouží pro zadávání materiálových charakteristik, charakteristik pružin a tlumičů, geometrický a konečnoprvkový model rotoru, a obsahuje pomocné funkce pro modelování, např. kopírování elementů rotoru, modifikace jejich charakteristik.

Geometrický model rotorové soustavy je tvořen výhradně z čar, na kterých je následně vygenerována konečnoprvková síť. Proto v preprocesoru RotorModulu jsou základní funkce ANSYSu, které se týkají tvorby čar, včetně KP a operací na nich definovaných (rozdělení, sečítání čar).

Konečnoprvková síť elementů se generuje na definovaném geometrickém modelu, nebo se vytváří přímo pomocí uzlů a elementů. Z knihovny elementů se využívají zejména následující prvky BEAM4, BEAM189, PIPE16, MASS21, MATRIX27, COMBIN14. Charakteristiky pružin a tlumičů (COMBIN14) mohou být definované jako otáčkově závislé, a to pomocí polynomu nebo tabulky.

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_1 * \mathbf{N} + \mathbf{K}_2 * \mathbf{N}^2$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_1 * \mathbf{N} + \mathbf{B}_2 * \mathbf{N}^2$$

$\mathbf{K}_0, \mathbf{K}_1, \mathbf{K}_2, \mathbf{B}_0, \mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2$ - konstanty
 \mathbf{N} – otáčky rotoru.

Rotor - Solution

V tomto modulu se definují okrajové podmínky a zatížení, které působí na rotorovou soustavu. Zatížení může být definované od nevyvážky s příslušnou fází, nebo jako externí silové (konstantní nebo časově proměnné, působící v jednom směru nebo otáčející se).

V této fázi máme definované následující typy analýz :

- modální analýza pro konstantní otáčky rotoru
- modální analýza pro proměnné otáčky rotoru
- harmonická analýza pro:
 - konstantní otáčky rotoru, proměnná frekvence zatížení
 - konstantní frekvence zatížení, proměnné otáčky rotoru
 - frekvence zatížení je „k“ násobek otáček rotoru
- simulace rázového zatížení rotoru
- simulace rozběhu a přechodu přes resonanci

U všech těchto analýz mohou mít pružiny a tlumiče (zajišťující vzájemnou interakci mezi rotující a nerotující částí, např. ložiska, spáry,...) otáčkově závislé charakteristiky.



Obr.4 Rotor - Solution



Obr.5 Rotor - Postprocessor

Rotor - Postprocessor

Vedle základních funkcí ANSYSu pro vyhodnocení výsledků jsou zde speciální funkce pro vyhodnocení dynamiky rotorů. Jsou to např.:

- kreslení tvaru kmitu s orbity uzlů
- animace pohybu hřídele
- Campbellův diagram
- vyhodnocení stability kmitání
- A-f charakteristika libovolného uzlu
- kreslení časových průběhů výchylek, rychlostí, a zrychlení zvoleného uzlu
- zobrazení ve fázové rovině výchylka – rychlost
- možnost uložit výsledky do textového souboru (dále zpracovat v tabulkovém procesoru)

4. ZÁVĚR

Cílem autorů programu „RotorDynamics For ANSYS“ je vytvořit uvnitř konečnoprvkového systému ANSYS speciální modul pro výpočet dynamiky rotorových soustav, včetně podpůrných funkcí pro zadávání vstupních veličin, řešení i vyhodnocení výsledků, a tento modul začlenit do uživatelského prostředí hlavního programu. Jelikož tento modul je stále ve vývoji, výše vyjmenované možnosti jednotlivých částí modulu nejsou úplně a v průběhu vývoje modulu k nim přibývají nové a nové.