

## Identifikace silových dynamických koeficientů ucpávek s využitím aktivních magnetických ložisek

Ing. Karel Kalista<sup>1</sup>

### Úvod

Poptávka po co největší produktivitě a výkonosti turbosoustrojí sebou nese požadavky na vyšší otáčky, delší životnost a vyšší efektivitu. V případě bezkontaktních ucpávek jsou zmenšovány vůle mezi rotorem a státorem, tak aby docházelo, k co nejmenším únikům media mezi stupni a tudíž vyšší účinnosti stroje. Vibrující rotor spolu s proudícím mediem však mohou vyvolávat významné destabilizační účinky závislé na zatížení, které mohou vést až k havárii. Na základě zkušeností a výzkumu bylo prokázáno, že právě ucpávky mají významný vliv na celkovou stabilitu. Proto jsou vynakládány nemalé prostředky a úsilí, co nejpřesněji modelovat vliv ucpávek na celé turbosoustrojí za různých provozních podmínek. V současnosti existuje a je vyvíjena řada komplexních numerických modelů, avšak v drtivé většině případů nedochází ke shodě ve výsledcích. Z tohoto důvodu je kladen důraz na ověření validity numerických modelů experimentálně na reálných zařízeních, povětšinou laboratorních.

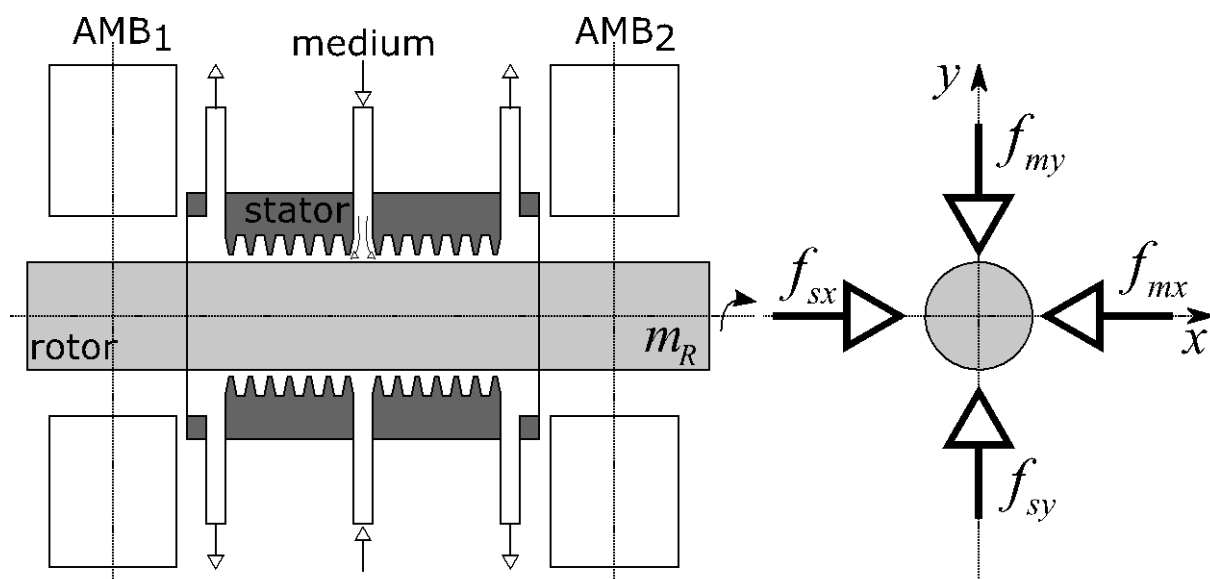
### Identifikace modelu

Pohybová rovnice ucpávky je reprezentována rovnicí (1). Model s dvěma stupni volnosti v kartézském systému  $(x, y)$  obsahuje koeficienty tuhosti  $K_{ij}$  a tlumení  $C_{ij}$ , které popisují vliv ucpávky na rotordynamiku a jsou předmětem identifikace. Dále v modelu vystupují výchylky rotoru ve směrech  $x$  a  $y$ , které jsou měřeny. Nejvýznamnějším vstupem do modelu je informace i silách  $f_x$  a  $f_y$ , kterými proudící medium v ucpávce působí na rotor.

$$-\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{yx} & C_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

V rámci experimentu je zapotřebí vybudit proudící medium, tak aby se projevíly reakční síly. Vybuzení media neboli jeho perturbaci docílíme změnou relativní polohy rotujícího rotoru vůči statoru. Dříve býval rotor uložen v konvenčních ložiskách a pohybovalo se státorem, na který se působilo známou silou pomocí elektrických či pneumatických šejkrů. Avšak realizace pružně upevněného statoru byla velice náročná a náchylná k zanášení chyb měření nevhodnou realizací. Navíc ve skutečnosti je medium buzeno pohybem rotoru. To můžeme zajistit uložením v rotoru v aktivních magnetických ložiskách (AMB), která plní úlohu podpírání rotoru s možností řízení jeho polohy, a zároveň jsou využívána jako bezkontaktní snímač síly působící na rotor. Konfigurace experimentu je na obrázku (1).

<sup>1</sup> student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, e-mail: kalistak@ntis.zcu.cz



**Obrázek 1:** Experimentu s ucpávkou a AMB

Měření magnetických sil  $f_m$ , kterou AMB vynakládají na udržení rotoru v požadované poloze, lze provádět různými přístupy. Je nezbytné se vypořádat s nelinearitami a parazitními jevy elektromagnetického pole jakou jsou hystereze, saturace, vířivé proudy a jiné, kterou způsobují chybu měření. Nejjednodušším přístupem je využít informaci o proudu a výchylce z regulátoru AMB a dosadit hodnoty do modelu elektromagnetického obvodu AMB. Další možností je měřit přímo magnetickou indukci ve vzduchové mezeře mezi pólem magnetického ložiska a rotorem pomocí Hallovovy sondy. Třetí alternativou je měřit sílu siloměrem, které je umístěný mezi ložiskem a základnou, k němuž se síla působící na rotor přeneše přes statorovou část.

Do modelu popsaného rovnicí (1) vstupují síly od ucpávek  $f_s$ , nikoli od magnetických ložisek. Proto je nutné experiment provést dvakrát, jednou s ucpávkami a jednou bez nich, a změřené síly od sebe odečíst.

## Závěr

Identifikace dynamických silových koeficientů ucpávek pomocí AML je komplexní úloha propojující oblasti mechaniky, elektroniky a kybernetiky. V současnosti probíhá příprava realizace testovacího standu s magnetickými ložisky na katedře kybernetiky. Po dokončení prací na řídicím algoritmu AMB bude stand sestaven v prostorách Škoda Doosan Power, kde bude k dispozici zdroj vzduchu popř. páry. Měření sil se předpokládá realizovat z informace z regulátoru o výchylce rotoru a proudu cívek elektromagnetů. Tento přístup by měl zajistit, dle uvedené literatury, maximálních chybu měření sil do 10%.

## Poděkování

Príspevek byl podpořen grantovým projektem SGS-2016-031.

## Literatura

- Childs, D., (1993) *Turbomachinery Rotordynamics: Phenomena, Modeling and Analysis*, New York: Wiley & Sons, Inc.,
- Maslen, E., Schweitzer, G., (2009) *Magnetic Bearings: Theory, Design, and Application to Rotating Machinery*, London: Springer