

Základné princípy vibrodiagnostiky a jej prínosy pre prax

Základné princípy vibrodiagnostiky spočívajú v dôslednom a správnom meraní a analýze mechanického kmitania strojov a konštrukcií v priemyselnom alebo v laboratórnom prostredí. Vibrodiagnostiku možno stručne porovnávať s EKG vyšetrením ľudského tela v zdravotníctve, aj keď meria a analyzuje iný fyzikálny faktor a, samozrejme, aplikujú sa pri nej iné metódy merania a analýzy. Ciele sú však spoločné: v prípade EKG určiť zdravotný stav človeka – najmä srdca ako motora ľudského tela – bez chirurgického zásahu a v prípade vibrodiagnostiky určiť technický stav strojov vrátane rôznych pohonov bez ich odstavenia z prevádzky a bez demontáže.

Exaktnejší opis základov vibrodiagnostiky je v tvrdení, že je to dôsledná a algoritmickejšia analýza zmien dynamických vlastností strojov, resp. častí strojov. Je však dôležité zdôrazniť podstatu a ciele vibrodiagnostiky a monitorovania technického stavu strojov. Podstata monitorovania technického stavu strojov je v meraní charakteristických hodnôt mechanického kmitania a v súčasnom porovnaní jeho výsledkov s kritériálnymi (limitnými) hodnotami určenými technickými normami, výrobcom alebo na základe dlhodobého pozorovania technického stavu stroja. Monitorovanie je spravidla zamerané na určenie okamžitého technického stavu, nie na určenie príčin, ktoré zmeny v dynamických vlastnostiach strojov vyvolávajú. Je určené najmä na ochranu a bezpečnosť strojov, resp. prevádzkových prostriedkov. Prístroje a systémy určené na monitorovanie technického stavu ho môžu zároveň posudzovať a v prípade havarijného stavu varovať obsluhu monitorovaných strojov alebo ich automaticky vypnúť. Vzhľadom na vážnosť takého rozhodovania sa majú monitorovacie systémy vyrábať, inštalovať a prevádzkovať v súlade s odporúčaniami technických štandardov, t. j. technických noriem. Okrem ochrany majetku, resp. technických prostriedkov je dôležité si uvedomiť, že často ide aj o ochranu zdravia a životov ľudí. V prípade, že havária alebo vážne poškodenie strojov spôsobí úraz s trvalými následkami alebo smrťou človeka, nedodržanie odporúčaní technických noriem môže mať aj trestnoprávny aspekt. Odporúčania týkajúce sa spôsobu merania a miesta uloženia – inštalácie snímačov, ako aj kritérií hodnotenia technického stavu sú zakotvené v technických normách, najmä ISO, ktoré spravidla majú dlhodobú platnosť. Z hľadiska využitia v praxi sú najvýznamnejšie tieto normy:

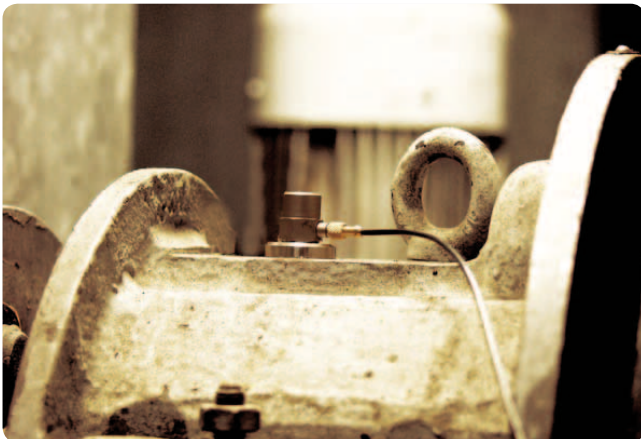
Mechanické kmitanie na nerotujúcich častiach:

STN ISO 10816 Mechanické kmitanie – Hodnotenie kmitania strojov meraním na nerotujúcich častiach

Časť 1: Všeobecné pokyny

Časť 2: Veľké stacionárne parné turbogenerátory s výkonom nad 50 MW

Časť 3: Priemyselné stroje s menovitým výkonom nad 15 kW a menovitými otáčkami od 120 min⁻¹ do 15 000 min⁻¹ pri meraní v mieste trvalého uloženia



Obr. 1.: Typický prípad umiestnenia snímača na meranie kmitania nerotačnej časti stroja (ložiskového stojana)

Časť 4: Sústavy poháňané spaľovacou turbínou okrem aeroderivátov

Časť 5: Sústavy strojov vo vodných elektrárňach a čerpacích staniaciach

Časť 6: Stroje s vratným pohybom menovitého výkonu nad 100 kW

STN ISO 2954 Mechanické kmitanie strojových zariadení s rotačným a vratným pohybom – Požiadavky na prístroje na meranie momentnosti kmitania

Mechanické kmitanie na rotujúcich hriadeľoch:

STN ISO 10816 Mechanické kmitanie strojov s nevratným pohybom, meranie na rotujúcich hriadeľoch a kritériá hodnotenia

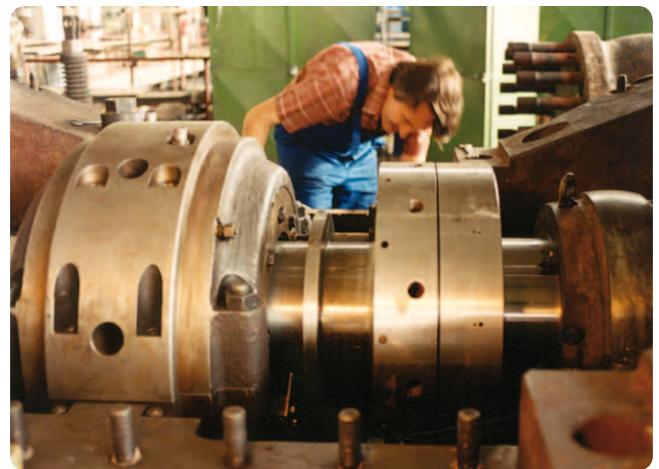
Časť 1: Všeobecné pokyny

Časť 2: Veľké stacionárne parné turbogenerátory

Časť 3: Spojené priemyselné stroje (agregáty)

Časť 4: Spaľovacie turbíny

Časť 5: Sústavy strojov vo vodných elektrárňach a čerpacích staniaciach



Obr. 2.: Montáž a nastavenie snímačov určených na meranie kmitania a posunov na rotačných častiach 200 MW turbogenerátora

Technické prostriedky vibrodiagnostiky

Prostriedky na monitorovanie technického stavu strojov a vibračnú diagnostiku, ktoré sú v súčasnosti k dispozícii na svetovom trhu, v zásade možno rozdeliť do štyroch skupín:

1. kompaktné zabezpečovacie systémy, spriahnuté s trvale nainštalovanými snímačmi, určené na prevádzkovanie v priemyselnom prostredí (tzv. bezpečnostné, resp. zabezpečovacie online systémy),
2. kombinované zabezpečovacie a vibrodiagnostické systémy, spriahnuté s trvale nainštalovanými snímačmi, určené na prevádzkovanie v priemyselnom prostredí (tzv. integrované online systémy),
3. systémy určené na analýzu dynamických vlastností, resp. na servisnú diagnostiku strojov (spravidla prevádzkované v priestoroch rôznych laboratórií a v skúšobniach, obr. 3),

4. systémy umožňujúce vibračnú diagnostiku prostredníctvom praveidelných, t. j. opakovaných pochôdzkových meraní v priemyselnom prostredí (tzv. offline systémy).

Programové prostriedky vibrodiagnostiky

Programové prostriedky vibrodiagnostiky poskytujú najmä tieto služby:

- zber a vizualizáciu nameraných údajov,
- archiváciu údajov,
- nastavenie meraní a riadiacich parametrov,
- vyhodnotenie nameraných údajov s počítačom podporovanou diagnostikou prostredníctvom bázy znalostí (tzv. poradné, resp. expertné systémy).

Pri charakteristike a hodnotení programových prostriedkov vibrodiagnostiky treba posudzovať nielen grafickú podporu, resp. atraktivnosť – farebnosť grafiky, ale aj archivačné možnosti, ako aj spoľahlivosť archivovaných údajov. Jednými z najuznávanejších databázových systémov sú systémy ORACLE. Databáza ORACLE má schopnosť spoľahlivo ukladať údaje až niekoľko desiatok rokov použitím špeciálneho archivačného algoritmu. Svetoznámy denník Financial Times zverejnil informáciu, že 17 z 20 najväčších svetových bánk používa aplikácie ORACLE, čo je významným dôkazom o mimoriadnej spoľahlivosti tohto databázového systému.

Do množiny používaných metód spracovania a analýzy údajov možno zaradiť najmä:

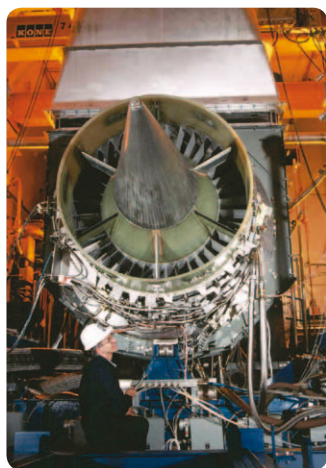
- tvary časových signálov,
- záchvev (záznej),
- moduláciu,
- obálkovú analýzu,
- orbitu hriadeľa (filtrovanú, nefiltrovanú),
- strednú (rovnovážnu) polohu hriadeľa,
- prechodové vibrácie,
- impulz,
- tlmenie,
- priemerovanie v časovej oblasti,
- Fourierovu transformáciu (FFT),
- okná,
- frekvenčné rozlíšenie,
- dĺžku záznamu,
- amplitúdovú moduláciu (postranné pásma),
- aliasing,
- synchronné vzorkovanie,
- priemerovanie spektier,
- logaritmicke grafy (s referenčnými hodnotami v dB),
- analýzu zoomom,
- súčiniteľ výkmitu (skreslenia),
- autokorelačnú funkciu,
- vzájomnú koreláciu,
- kurtosis
- kompozitné alebo úplné spektrá,
- inverznú Fourierovu transformáciu,
- detekciu vysokofrekvenčnej energie,
- metódy založené na intenzite,
- multiparametrickú trendovú analýzu,
- analýzu špičiek,
- meranie rázových impulzov,
- vlnkovú analýzu (Wavlet),
- vektorovú analýzu,
- špičkovú energiu.

Metódami vibračnej diagnostiky možno sledovať, resp. odhaliť problémy spôsobené najmä:

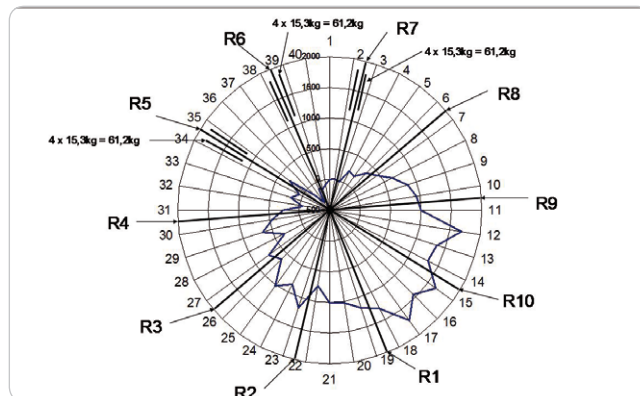
- zmenami vyváženosti rotačných častí,
- zmenami nastavenia,
- opotrebovaním alebo poškodením valivých ložísk,
- opotrebovaním alebo poškodením klzných ložísk,

- poruchami ozubených prevodov,
- trhlinami v dôležitých komponentoch,
- prechodovými dejmi počas prevádzky,
- narušením prúdenia kvapaliny v hydraulických strojoch,
- zmenami elektromagnetických podmienok pri elektrických strojoch,
- zadieraním,
- mechanickým uvoľnením.

Dynamická, resp. statická nevyváženosť rotorov prináša značné nepríjemnosti najmä pri rotačných strojoch s vysokými otáčkami, s rotormi veľkých rozmerov a hmotností a pri rôznych typoch ventilátorov (vzduchových, spalínových atď.). Odstránenie nevyváženosti predpokladá aplikáciu algoritmov statického, resp. dynamického vyvažovania a nadväzného umiestnenie – rozloženie tzv. vyvažovacích hmôt. Na obr. 4 je rotor generátora s hmotnosťou niekoľkých desiatok ton, pri ktorom nesymetrické rozloženie hmoty okolo osi rotácie spôsobilo nadmerné kmitanie, ktoré viedlo k deštrukcii časti konštrukcie turbogenerátora s veľkými finančnými stratami. Na zistenie príčiny nevyváženosti bolo potrebné zmerať tzv. kruhovitosť rotora, resp. odchýlky pólov od presnej kružnice. Kompenzácia následkov zistenej nekruhovitosti sa dosiahla rozmiestnením 12 vyvažovacích doštičiek s hmotnosťou 15,3 kg (teda celkovo 183,6 kg vyvažovacej hmoty), čo spôsobilo pokles úrovne kmitania (rozkmít, špička – špička) meranej pri otáčkovej frekvencii z hodnoty cca 300 μm p-p na hodnotu cca 40 μm p-p. Od uvedeného zásahu turbogenerátor vykazuje dlhodobu dobrú hodnotu kmitania.



Obr. 3.: Systémy určené na analýzu dynamických vlastností strojov prevádzkované v skúšobni leteckých motorov (firmy Rolls – Royce Plc.)



Obr. 4.: Kompenzácia následkov zistenej nekruhovitosti sa dosiahla rozmiestnením 12 vyvažovacích doštičiek s hmotnosťou 15,3 kg (celkovo 183,6 kg vyvažovacej hmoty)

Meranie kruhovitosti sa osvedčilo aj v inom prípade – pri rotore generátora s výkonom 90 MW a hmotnosťou cca 320 ton (obr. 5). Nevyváženosť spôsobenú nekruhovitosťou však nebolo možné eliminovať dynamickým vyvažovaním, ale iba nastavením radiálnej polohy pólov. Nastavením pólov s rozptylom 0,2 mm sa dosiahol pokles úrovne kmitania až o cca 40 %, vďaka čomu možno turbogenerátor v súčasnosti prevádzkovať v normálnom prevádzkovom režime.



Obr. 5.: Rotor generátora s výkonom 90 MW, hmotnosťou cca 320 ton a priemerom cca 13 000 mm. Nastavením pólov s rozptylom 0,2 mm sa dosiahol pokles úrovne kmitania až o cca 40 %.

Ing. Peter Tirinda, CSc.

B & K s. r. o.
bruel@chello.sk