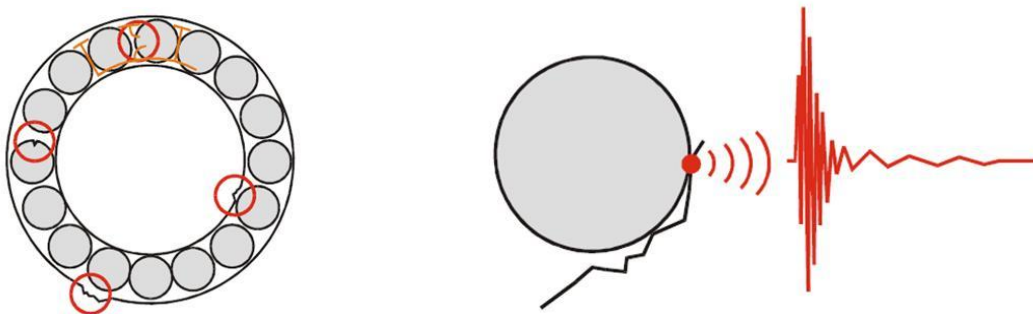




Ložiská - Diagnostika valivých ložísk

Valivé ložiská sú z pohľadu vibrácií špecifický konštrukčný prvok. Špecifický predovšetkým svojou kinematikou a prejavom poškodenia. Valivé ložisko je však zdrojom vibrácií aj v stave nepoškodenia. Dôvodom je parametrické budenie zmenou tuhosti, kedy radiálna sila striedavo smeruje proti valivému telesu a medzere.

Ako významný zdroj vibrácií sa ložisko prejavuje vo svojom treťom štádiu životnosti. Tretie štádium životnosti je štádium rozvoja poškodenia ložiska – vznikajú pitingy, ktoré sú zdrojom rázového budenia so stabilnou periódou Obr.



Obr.Princíp vzniku impulzu signálu vo valivom ložisku



Obr. Ukážka tvorby pitingov a porúch na ložisku

Analýza signálu vibrácií

Pre analýzu vibrácií je možné použiť vibračný záznam v časovej oblasti obr. alebo frekvenčnú analýzu.

Analýza signálu v časovej oblasti

Analýza signálu v časovej oblasti je založená na vyhodnocovaní parametrov časových priebehov signálov rýchlosti, zrýchlenia a výchylky. V časovej oblasti je možné vyhodnotiť stredné, maximálne, efektívne hodnoty a obálku signálu. Ďalej je možné určiť koeficient špicatosti (kurtosis faktor), súčiniteľ výkmitu (crest faktor) a iné (skewness faktor, FMO, FM4 a pod.)

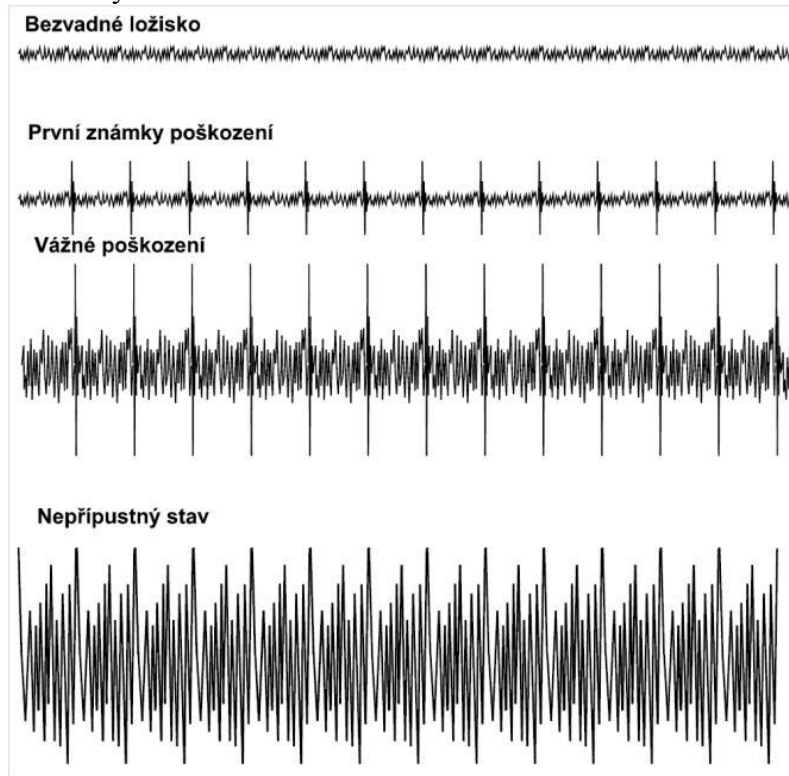


Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8A

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Analýza signálu v časovej oblasti sa dá vhodne využiť pre prechodové stavy pre prípady kedy existuje dominantný zdroj budenia. Z časového signálu je možné pomerne komfortne určiť celkové vibrácie stroja. Celkové vibrácie stroja sú mierkou energie, ktorá je vyprodukovaná zo všetkých frekvencií v danom meranom mieste.



Obr.

Výhodou diagnostiky stroja na základe celkových vibrácií je rýchle vyhodnotenie a nízke náklady. Hodnota celkových vibrácií je porovnávaná s hodnotami stroja v bezporuchovom režime, porovnávajú sa varovné a havarijné úrovne a vyhodnocujú sa časové trendy. Takáto rozsiahla databáza údajov ktorá je získavaná vyhodnocovaním signálu v časovej oblasti bola základom pre vytvorenie medzinárodnej normy ISO 10816.

Norma ISO 10816 stanovuje všeobecné podmienky a postupy na meranie a hodnotenie kmitania za použitia meraní vykonaných na nerotujúcich a ak je to vhodné, na nevratných konštrukčných častiach kompletných strojov. Všeobecné hodnotiace kritériá, ktoré sa navrhujú pre veľkosť kmitania a jeho zmenu, sa vzťahujú na prevádzkové monitorovanie a preberacie skúšky. Kritériá sa stanovili hlavne s ohľadom na zaistenie spoľahlivej, bezpečnej a dlhodobej prevádzky stroja pri minimalizácii nepriaznivých vplyvov na pripojené zariadenia. Hodnotiace kritériá sa vzťahujú len na kmitanie vyvolané samotným strojom a nie na kmitanie prenášané na stroj z okolia. Meranie kmitania musí byť širokopásmové, aby sa dostatočne pokrylo frekvenčné spektrum stroja. Rozsah frekvenčného spektra bude závisieť od typu stroja, ktorý sa berie do úvahy (napr. frekvenčný rozsah potrebný na posúdenie neporušenosti valivých ložísk má obsahovať vyššie frekvencie než frekvenčný rozsah pre stroje vybavené len klznými ložiskami).

Výsledkom meraní vykonaných meracím prístrojom, je veľkosť kmitania v stanovenom mieste a smere merania. V bežnej praxi založenej na skúsenostiach sa pri hodnotení širokopásmového kmitania rotačných strojových zariadení berie do úvahy efektívna hodnota



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8A

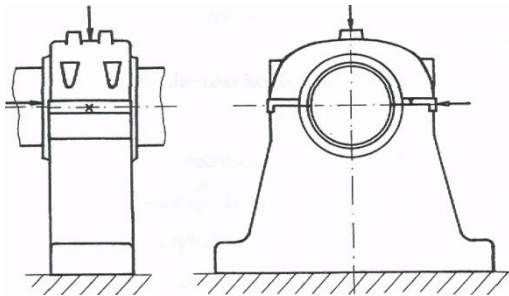
Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

rýchlosti kmitania, pretože sa môže vzťahovať na energiu kmitania. Namiesto efektívnych hodnôt sa však môžu uprednostniť iné veličiny, ako sú výchylka alebo zrýchlenie a výkmity. V takomto prípade sa vyžadujú ďalšie kritériá, ktoré nemajú nevyhnutní jednoduchý vzťah ku kritériám založených na efektívnej hodnote.

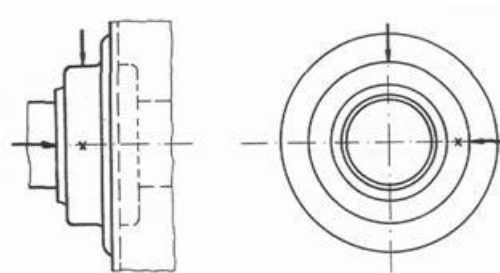
Bežne sa merania vykonávajú v rôznych meracích miestach v dvoch alebo troch smeroch merania, čo vedie k súboru rozdielnych hodnôt veľkosti kmitania. Mohutnosť kmitania stroja sa definuje ako maximálna hodnota veľkosti širokopásmového kmitania nameraná pri jeho dohodnutom uložení a dohodnutých prevádzkových podmienkach.

Pre väčšinu typov strojov bude jedna hodnota mohutnosti kmitania charakterizovať stav stroja z hľadiska kmitania. Pre niektoré stroje tento prístup však môže byť neprimeraný a mohutnosť kmitania sa má nezávisle posúdiť na viacerých meracích miestach.

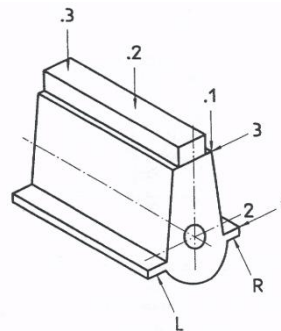
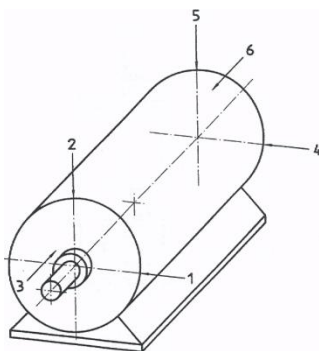
Merania sa vykonávajú na ložiskách, na telese uloženia ložiska alebo na iných konštrukčných častiach, ktoré vykazujú významnú ozvu na dynamické sily a charakterizujú celkové kmitanie stroja. Typické meracie miesta sú znázornené na obrázkoch.



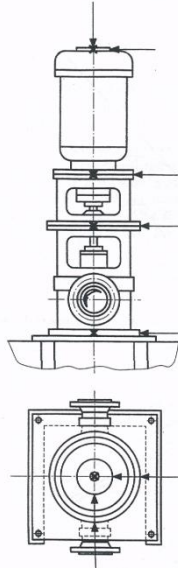
Obr. Meracie miesta na stojane ložiska



Obr. Meracie miesta na telese ložiska



Obr. Meracie miesta pre malé elektrické stroje Obr. Meracie miesta pre motory s vratnými hmotami



Obr. Meracie miesta pre vertikálne sústavy stroja

Pri posudzovaní mohutnosti kmitania rôznych tried strojov sa používajú dva hodnotiace kritériá. Prvé kritérium berie do úvahy veľkosť sledovaných širokopásmových kmitaní, druhé zmeny veľkosti kmitania bez ohľadu na to, či sa zväčšuje alebo zmenšuje.

Kritérium I: Veľkosť kmitania

Podľa tohto kritéria sa definujú prípustné (hraničné) hodnoty absolútneho kmitania, ktoré zodpovedajú prijateľným dynamickým zaťaženiám ložísk a prijateľnému prenosu kmitania na konštrukciu uloženia a na základ. Maximálna hodnota kmitania sledovaná na každom ložisku alebo stojane sa posudzuje pomocou štyroch pásem hodnotenia stanovených na základe medzinárodných skúseností. Maximálna hodnota nameraného kmitania sa definuje ako mohutnosť kmitania.

Pásmo hodnotenia

Definujú sa nasledujúce typické pásma hodnotenia, ktoré umožňujú kvalitatívne posúdenie kmitania hriadeľa daného stroja a poskytujú návody na možné opatrenia. Pre špecifické typy strojov, ktoré rozoberajú ďalšie časti ISO 10816, možno použiť odlišnú kategorizáciu a odlišný počet pásem.

Pásmo A: Do tohto pásma možno bežne začleniť hodnoty kmitania preberaných nových strojov.

Pásmo B: Stroje, ktorých hodnoty kmitania sa začleňujú do tohto pásma, sú bežne určené na neobmedzene dlhodobú prevádzku.

Pásmo C: Stroje s hodnotou kmitania v tomto pásme sa pri normálnych okolnostiach považujú za nevyhovujúce na dlhodobú nepretržitú prevádzku. Tieto stroje sa môžu všeobecne prevádzkovať v obmedzenom časovom intervale do vhodnej príležitosti na opravu.

Pásmo D: Hodnoty kmitania v tomto pásme sa bežne považujú za neprípustné zapríčiňujúce poškodenie stroja.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

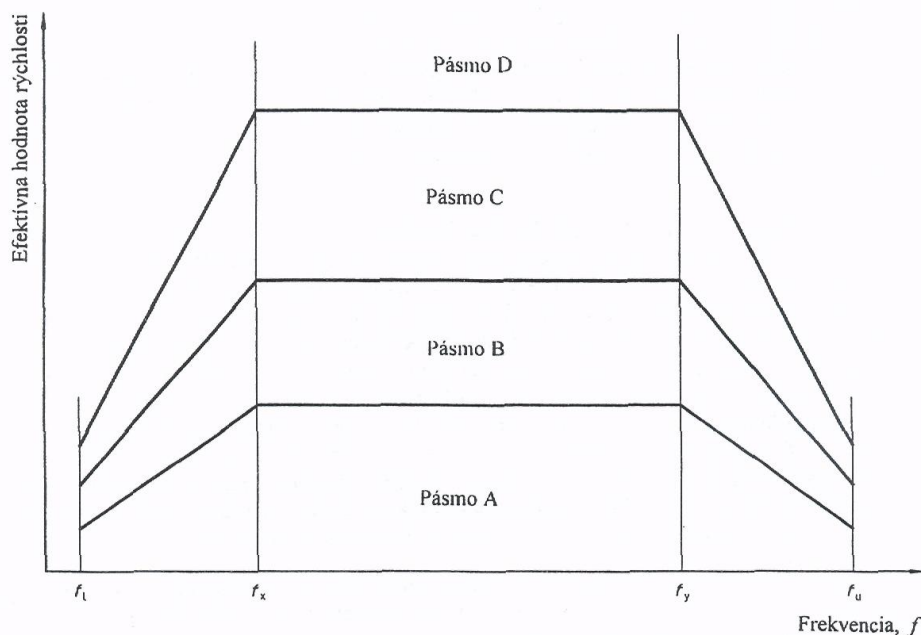
Blok č: 8A

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Hranice (prípustné hodnoty) pre pásma hodnotenia

Kmitanie určitého stroja závisí od jeho veľkosti, vlastností kmitajúceho telesa a sústavy konštrukcie uloženia alebo od cieľa, na ktorý sa stroj skonštruoval. Pri stanovení rozsahov merania kmitania rozdielnych typov strojov je preto nevyhnutné brať do úvahy rozdielne ciele a príslušné okolnosti. Skoro pre všetky stroje bez ohľadu na typ použitých ložísk budú merania efektívnej hodnoty rýchlosti širokopásmového kmitania na konštrukčných častiach ako sú telesá ložísk, vo všeobecnosti primerane charakterizovať prevádzkové podmienky prvkov rotujúceho hriadeľa s ohľadom na bezporuchovú prevádzku.

Vo väčšine prípadoch sa zistilo, že rýchlosť kmitania dostatočne charakterizuje mohutnosť kmitania v širokom rozsahu prevádzkových otáčok stroja. Zistilo sa však, že použitie jedinej hodnoty rýchlosti bez ohľadu na frekvenciu môže viesť k neprijateľne veľkým výchylkám kmitania. Ide najmä o pomalobežné stroje, kde dominuje otáčková zložka frekvencie. Kritériá konštantnej rýchlosti môžu podobne pri strojoch s vysokými prevádzkovými otáčkami alebo kmitaním s vysokými frekvenciami generovaným: konštrukčnými časťami stroja viesť k neprijateľným zrýchleniam. V dôsledku toho budú mať preberacie kritériá založené na rýchlosti všeobecný priebeh, ktorý je zobrazený na obrázku. Obrázok zobrazuje hornú a dolnú hranicu frekvencie f_u a f_l a ukazuje, že pod definovanou frekvenciou f_x a nad definovanou frekvenciou f_y je prípustná rýchlosť kmitania funkciou frekvencie kmitania. Pre frekvencie kmitania medzi f_x a f_y však platí kritérium konštantnej rýchlosti.



Obr. Všeobecný priebeh rýchlosti kmitania prijatých kritérií

Porovnávacie hodnoty tabuľka 1, sú stanovené pre horné hranice pásem A až C pre triedy strojov, ktoré sa uvádzajú nižšie. Porovnávacie hodnoty efektívnej rýchlosti sa vzťahujú na oblasť konštantnej rýchlosti!

Trieda I: Jednotlivé časti motorov a strojov integrálne spojené s celým strojom za normálnych prevádzkových podmienok. (Typickými príkladmi strojov tejto kategórie sú elektrické motory s výkonom do 15 kW.)



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8A

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Trieda II: Stredne veľké stroje (typicky elektrické motory s výkonom od 15 kW do 75 kW) bez špeciálnych základov, pevne uložené motory alebo stroje (do 300 kW) na špeciálnych základoch.

Trieda III: Veľké pohonné jednotky a iné veľké stroje s rotujúcimi hmotami pripevnenými na tuhé a ťažké základy, ktoré sú relatívne tuhé v smere merania kmitania.

Trieda IV: Veľké pohonné jednotky a iné veľké stroje s rotujúcimi hmotami pripevnenými na základ, ktoré sú relatívne mäkké v smere merania kmitania (napr. sústavy turbogenerátorov a spaľovacích turbín s výkonom väčším ako 10 MW).

Tabuľka 1: Typické hranice pásiem

Efektívne hodnoty rýchlosti kmitania mm.s^{-1}	Trieda I	Trieda II	Trieda III	Trieda IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Kritérium II: Zmena veľkosti kmitania

Toto kritérium umožňuje posúdenie zmeny veľkosti kmitania oproti vopred stanovenej referenčnej hodnote. Môže sa vyskytnúť významné zväčšenie alebo zmenšenie hodnoty široko-pásmového kmitania. Hoci sa nedosiahne pásmo C podľa kritéria I, môže si to vyžadovať určité opatrenia. Takéto zmeny môžu byť okamžité alebo postupné v čase a môžu indikovať poškodenie, môžu varovať pred nastávajúcou poruchou alebo nejakou inou nepravidlosťou. Kritérium II sa stanovilo na základe zmeny hodnoty širokopásmového kmitania za ustálených prevádzkových podmienok.

Pri aplikovaní kritéria II sa porovnávajú namerané hodnoty kmitania musia snímať pre to isté umiestnenie a orientáciu senzora a za približne rovnakých prevádzkových podmienok stroja. Aby sa predišlo nebezpečným situáciám, majú sa preskúmať významné odchýlky od bežných hodnôt kmitania.

Kritériá na posúdenie zmien širokopásmového kmitania na monitorovanie sa uvádzajú v ďalších častiach normy ISO 10816. Treba však poznamenať, že niektoré zmeny sa nemôžu detekovať, ak sa nemonitorujú aj diskkrétne frekvenčné zložky.

Identifikácia porúch valivých ložísk vo frekvenčnej oblasti

Obálková analýza predstavuje metódu, ktorou je možné v spojení s FFT (Fast Fourier Transformation) analýzou určiť, ktorá časť ložiska je poškodená. Pomocou uvedenej metódy

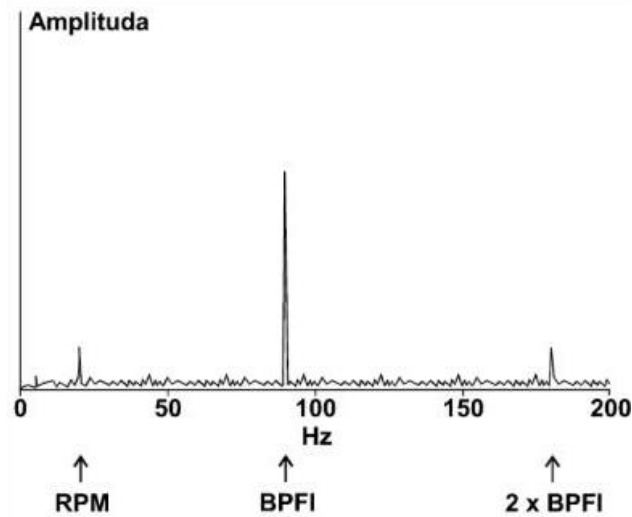


Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

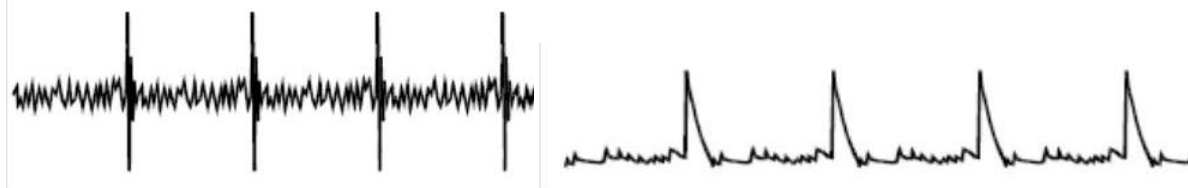
Blok č: 8A

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

je možné diagnostikovať chybu na vonkajšom krúžku, vnútornom krúžku, valivom elemente alebo kletke ložiska. Vzhľadom k tomu, že každý z týchto komponentov ložiska má rôznu relatívnu rýchlosť vzhľadom k hriadeľu, je možné jednoducho identifikovať frekvenciu, na ktorej sa prejaví porucha niektorej časti ložiska obr.



Obáľková analýza spočíva v úprave vstupného signálu pomocou vysokofrekvenčného filtra a obáľkového detektora.



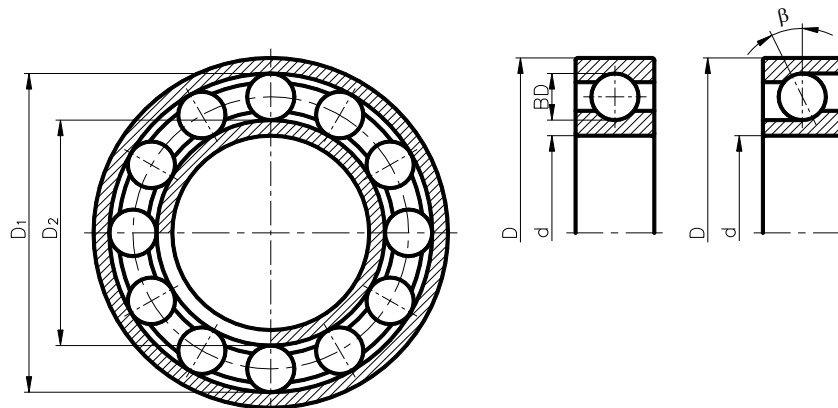
Obr. Časový záznam - Modulovaný časový záznam - Obálka signálu

Princíp metódy je v meraní rázových impulzov, ktoré vznikajú pri porušení dráhy, po ktorej sa odvaľujú telieska ložiska.

Pre každý druh ložiska je možné vypočítať diskretnú frekvenciu ložiska, ktorá sa obvyčajne nachádza v rozsahu frekvencií 160 Hz až 500 Hz.

Diskrétny frekvencie ložiska - ložiskové frekvencie majú niektoré typické vlastnosti:

- ich výskyt v FFT spektre vždy znamená poruchu
- nie sú to celé násobky otáčkovej frekvencie 1x



Obr. Guličkové ložisko



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8A

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Frekvencia poruchy vonkajšieho krúžku (Ball Pass Frequency – Outer Race)

$$BPFO = \frac{n}{2} fr \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right]$$

Frekvencia poruchy vnútorného krúžku (Ball Pass Frequency – Inner Race)

$$BPFI = \frac{n}{2} fr \left[1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta \right]$$

Frekvencia poruchy guličky (Ball Spin Frequency)

$$BSF = \frac{PD}{2BD} fr \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right]$$

Frekvencia poruchy klietky, ak rotuje vnútorný krúžok (Fundamental Train Frequency)

$$FTF = \frac{1}{2} fr \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right]$$

kde:

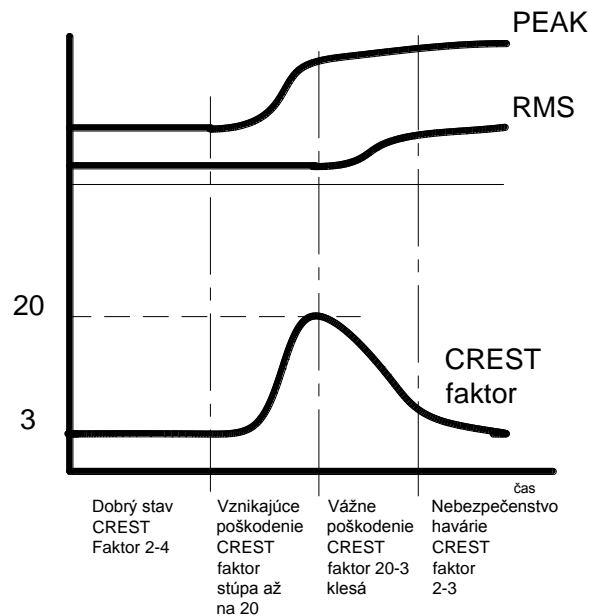
n – je počet valivých elementov,

fr – otáčková frekvencia [rad^{-1}]

Snahou diagnostiky ložísk je čo najrýchlejšie a najjednoduchšie bez demontáže a počas chodu mechanickej sústavy stanoviť stav ložiska, rozsah jeho poškodenia, prípadne jeho zostatkovú životnosť. Za týmto účelom je možné využívať rôzne metódy ako crest faktor, high frequency emission, kurtosis faktor.

Crest faktor

Princíp metódy spočíva v meraní efektívnej a špičkové hodnoty vibrácií a v výpočtu ich pomeru PEAK/RMS. Pretože sa vyhodnocuje pomer dvoch hodnôt, je táto metóda nezávislá na typu ložiska i na otáčkach hriadeľa. Crest faktor je veľmi citlivým parametrom vzniku mechanického poškodenia ložiska, ktoré rozpozná už vo veľmi rannom štádiu. Je tiež vhodným pomocným indikátorom porúch mazania.



Obr. Posudzovanie životnosti ložiska na základe Crest faktoru



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

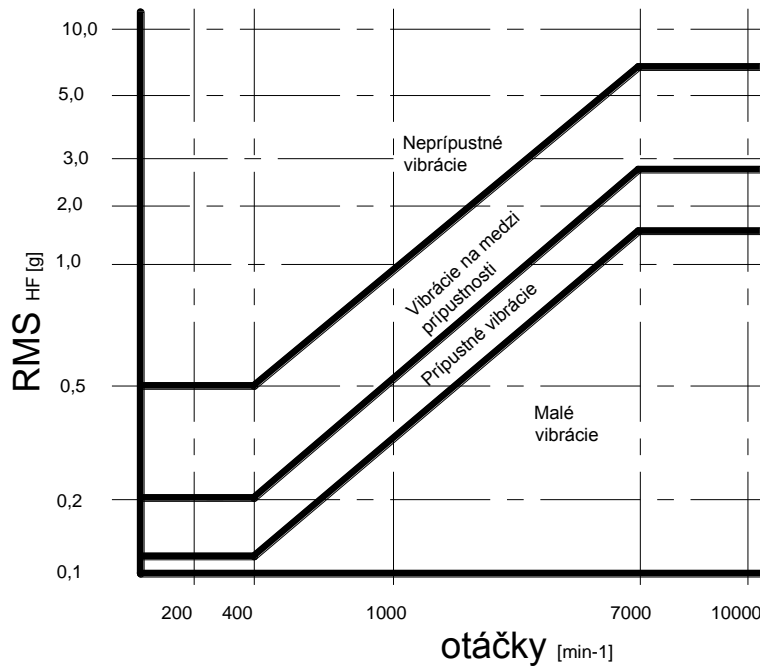
Blok č: 8A

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

HF - High Frequency Emission

Meranie parametru HF vychádza z poznatku, že pri začínajúcom poškodení narastá energia vibrácií vo vyšších frekvenciách. Tento parameter je tiež veľmi citlivý na poruchy mazania. Metoda HF je výsledkom skúmania porúch ložísk vo firme Adash. Emitovaná vysokofrekvenčná energia je vyhodnotená do efektívnej hodnoty a vyjadrená v jednotke zrýchlenia g (9.81 m/s^2).

Hodnoty g_{RMS} sú závislé na otáčkach hriadeľa a pre vyhodnotenie závažnosti poruchy sa používa nasledujúci nomogram Obr.



Obr. Posudzovanie životnosti ložísk podľa HF

Kurtosis faktor

Kurtosis faktor tabuľka 2, reprezentuje oproti ostatným metódam analýzy stavu ložísk štatistický prístup. Základom úvahy je skutočnosť, že náhodný vibračný signál má Gausovo normálne rozdelenie, tj. nevyskytujú sa v ňom harmonické ani vysokofrekvenčné pravidelné zložky. Ak potrebujeme určiť, či vibračný signál tuto podmienku splňuje, je možné vypočítať dva parametre, podľa ktorých je možné určiť či rozdelenie je skutočne Gausovo. Menujú sa šikmosť a špicatosť. Pre účely vibračnej diagnostiky sa používa predovšetkým špicatosť. Šikmosť je ovplyvnená symetriou rozdelenia signálu a táto vlastnosť nie je pre vyhodnotenie stavu tak dôležitá.

Tabuľka 1: Posudzovanie životnosti ložísk podľa Kurtosis faktora

Hodnota Kurtosis faktora	3-4	5-8	9-13	nad 13
Stav ložiska	Dobry	Začínajúce poškodenie	Vážne poškodenie	Nebezpečenstvo havárie