

SPM SPECTRUM – NOVÁ UNIKÁTNÍ METODA PRO DIAGNOSTIKU LOŽISEK

V této části prezentujeme výsledky použití metody SPM Spectrum (Shock Pulse Method – Metoda rázových pulsů) jako metody pro monitorování stavu valivých ložisek. SPM Spectrum představuje rozšíření metody SPM, která je široce rozšířena jako úspěšná metoda v oblasti monitorování stavu rotačních strojů.

Během více než 30-ti let byly instalovány milióny trvalých měřících míst. Metoda SPM je velmi jednoduchá a spolehlivá. Kromě informace o možném poškození ložiska a stupně poškození metoda poskytuje informaci o stavu mazání a kvalitě instalace.

V průmyslu se často objevují případy, kdy se rušivé signály překrývají se signály ložiska. To může komplikovat ohodnocení některých aplikací, jako ložiska při nízkých otáčkách, sušící válce, převodovky, a pod.

Vylepšení diagnostických možností metody SPM přináší studium kmitočtové oblasti signálu snímače. SPM SpectrumTM je výsledkem přidání analýzy spektra do metody SPM. Toto vylepšení doplňuje chybějící informaci o zdroji signálu rázových pulsů. Uživatel primárně monitoruje mohutnost rázových pulsů a v případě neočekávaného vzrůstu je porovnáním spektra potvrzena či vyvrácena vada ložiska.

ÚVOD

V době, kdy metoda SPM byla patentována, neexistovala žádná jiná úspěšná metoda pro detekci vad ložisek. Patent popsal techniku demodulace pomocí filtrace a detekce obálky pro zachycení mechanických transienčních signálů (přechodné jevy, zákmity). Výsledkem metody pro analýzu rázových pulsů (transientů) je několik parametrů, jejichž velikost odpovídá stavu ložiska. Tradiční vibrační analýza během let z důvodu spolehlivosti rovněž zahrnuje demodulační techniky. Rozdíl mezi SPM a ostatními demodulačními technikami leží v jednoduchosti a spolehlivosti vyhodnocení. Tam, kde SPM ukazuje hodnotu, ostatní techniky nabízejí kmitočtové spektrum. Tam, kde SPM dává přímou odpověď v termínech dobrý – špatný, ostatní techniky vyčkávají, až uživatel vyhodnotí spektrum.

Další rozdíl mezi SPM a ostatními demodulačními technikami je volba filtrů. Aby bylo možné provést demodulaci, je třeba nastavit vstupní filtr, který odstraní signály přicházející z normálních rotačních sil stroje a ponechává pouze malý transienční signál přicházející z počáteční fáze poškození ložiska. Existují tři různé přístupy při volbě filtrů.

1. Použití horní propusti (nebo pásmové propusti) s mezním kmitočtem vyšším než jsou hlavní rotační frekvence stroje.
2. Použití horní propusti (nebo pásmové propusti) s mezním kmitočtem odpovídajícím rezonanční frekvenci stroje.
3. Použití pásmové propusti s mezními kmitočty odpovídajícími rezonančnímu kmitočtu snímače.

První a druhá varianta jsou často používány vibračními analytiky, varianta třetí odpovídá přístupu úspěšně aplikovanému v metodě SPM. Problém prvních dvou variant je, že po uživateli požadují často těžko dostupné (či nedostupné) informace, a pokud mezní kmitočet není zvolen správně, metoda nebude správně pracovat. To však není případ metody SPM.

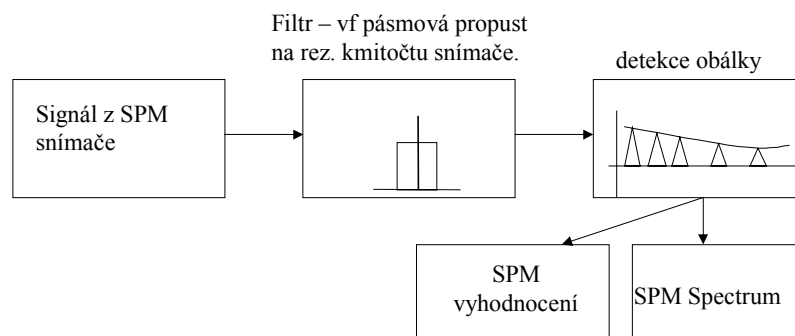
SPM Spectrum představuje kmitočtovou analýzu provedenou na výstupním demodulovaném signálu získaném z SPM snímače. Spektrum se používá tehdy, pokud jsou hodnoty zjištěné klasickou metodou SPM vysoké. Informace spektra pak řekne, zda analyzovaný signál vzniká v ložisku či nikoliv. SPM Spectrum je rovněž cesta k prodloužení měřícího času v případě nízkootáčkových aplikací, k redukci šumu a identifikaci poškození.

METODA

SPM snímač je piezoelektrický snímač s nábojovým výstupem úměrným zrychlení povrchu, na který je instalován. Zpracování signálu je ukázáno na obrázku 1. První fází zpracování signálu tvoří filtr typu pásmová propust se středním kmitočtem 32 kHz, což odpovídá rezonančnímu kmitočtu snímače. Po úvodní filtraci je signál demodulován. Demodulace zdůrazní transientní složky obsažené v signálu. Obálka signálu je navzorkována a převedena pomocí FFT (rychlá Fourierova transformace) do kmitočtové oblasti. Počet vzorků může být zvolen jako mocnina čísla 2 (např. 1024, 2048, ...16384). Větší počet vzorků prodlouží čas měření a zvýší rozlišení spektra.

Větší počet vzorků přináší užitek v několika směrech.

- Delší měřicí čas je nutný u nízkotáčkových aplikací pro zaznamenání opakování pulsů.
- Vyšší rozlišení spektra je nutné pro spolehlivou identifikaci ložiskových kmitočtů.
- Vyšší rozlišení potlačí kmitočtový šum.



Obr. 1: Schematické znázornění zpracování signálu ze snímače SPM.

Jednotlivé části popisované metody jsou všeobecně známy a používány mnoha výrobci. Typ snímače, demodulační technika a FFT jsou součástí standardní frekvenční analýzy pro monitorování strojů. To, co je na SPM Spectrum unikátní, je vyhodnocení ve spojení s hodnotami SPM. Toto bude dále prezentováno na několika praktických případech.

Osa X v SPM Spectrum grafech představuje kmitočet v Hz. Osa Y je uváděna v jednotkách SE (SPM Envelope Unit). Amplituda ve spektru by měla být vždy posuzována v souvislosti s hodnotami SPM (např. dBm/dBc nebo LR/HR). Nově vzniklá závada může totiž způsobit vysokou hodnotu SE a naopak starší a rozsáhlejší závada může ve spektru vykazovat nižší SE. Je známo, avšak nikoliv kvantifikováno, že delta (rozdíl mezi vysokými špičkami a průměrnou úrovní) ve spektru má vztah ke stavu ložiska. Delta bude nižší se zhoršujícím se stavem ložiska.

SPM SPECTRUM ON-LINE

Standardně je metoda SPM Spectrum používána tehdy, když trend dBm/dBc indikuje potencionální problém ložiska. Tato metoda však otvírá i nové možnosti použití spektra k trendování. K dispozici jsou následující techniky:

1. Efektivní hodnota jednotky ohodnocení spektra (EU), která odpovídá harmonickým kmitočtům BPFO (symptomatická frekvence vnějšího kroužku).
2. Poměr efektivní hodnoty dle bodu 1. a celkové efektivní hodnoty
3. Poměr efektivní hodnoty dle bodu 1. a průměrné efektivní hodnoty dvou harmonických následujících po první harmonické BPFO.

Techniky 1. a 2. se soustředí zejména na amplitudu ložiskového signálu. Technika 3. je odlišná, neboť nezdůrazňuje amplitudu, ale více se orientuje na vzorek harmonických s amplitudou odlišnou od nejbližších harmonických.

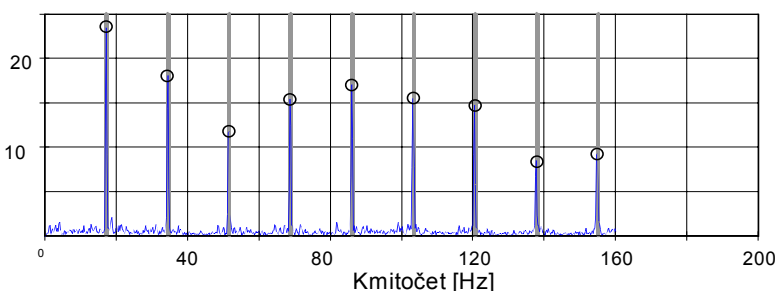
SPM Spectrum ve spojení se standardním měřením SPM hodnot nabízí uživateli čtyři možné kombinace ohodnocení naměřených hodnot:

1. Vysoká hodnota SPM, ložiskové kmitočty odpovídají špičkám v SPM Spectrum. SPM Spectrum potvrdí poškození ložiska.
2. Vysoká hodnota SPM, ložiskové kmitočty neodpovídají špičkám v SPM Spectrum. SPM Spectrum nepotvrdí vadu ložiska, avšak pokud se jedná o měřicí bod se známým rušením, lze metodu i tak použít. Tato situace může nastat u nízkootáčkových aplikací.
3. Nízká hodnota SPM, ložiskové kmitočty odpovídají špičkám v SPM Spectrum. V ložisku je nežádoucí zdroj transienčních záskmitů. Vzhledem k tomu, že SPM hodnoty jsou nízké, ložisko by mělo být dále pravidelně sledováno, avšak není potřeba okamžitá výměna.
4. Nízká hodnota SPM, ložiskové kmitočty neodpovídají špičkám v SPM Spectrum. SPM Spectrum potvrdí informaci SPM, žádné poškození.

VÝSLEDKY

Abychom ukázali, jak metoda SPM Spectrum vypadá a jakým způsobem vyhodnocuje data, představíme několik případů z praxe. Rovněž mohou být inspirací, kde metoda přináší prospěch.

Případ 1, Ložisko sušícího válce na papírenském stroji



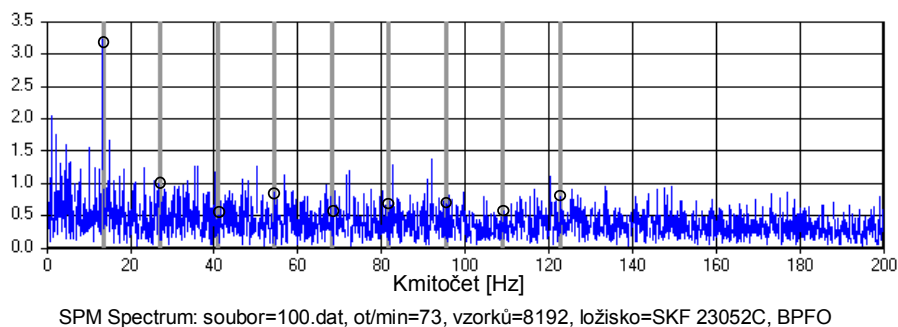
SPM Spectrum: soubor=f3.dat, ot/min=92.3, vzorků=2048, ložisko=SKF 23052C, BPFO

Obr. 2: SPM Spectrum s těžkým poškozením ložiska (vysoká hodnota SPM).

Obrázek 2 představuje SPM Spectrum z ložiska sušícího válce na papírenském stroji. SPM hodnoty byly v „červeném poli“ (dBm/dBc = 38 / 8). Na sušících válcích papírenských strojů lze občas naměřit vysoké hodnoty způsobené hlukem z parní hlavy. Výsledek metody SPM Spectrum jasně ukazuje harmonické kmitočty BPFO (Ball Pass Frequency of Outer Race – symptomatický kmitočty vnější dráhy ložiska).

V tomto případě byla metoda SPM Spectrum použita pro zodpovězení otázky, zda signál přichází z parní hlavy či z ložiska. Ostatní symptomatické kmitočty (BPFI, BSF, FTF) se ve spektru nevyskytují, pokud na nich není žádná závada.

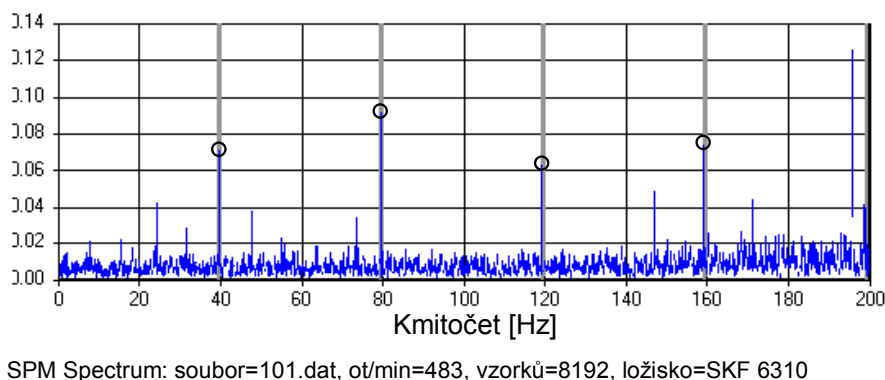
Případ 2, Ložisko sušícího válce na papírenském stroji na nízkých otáčkách



Obr. 3: SPM Spectrum při nízkých hodnotách SPM (dBm/dBc = 18/10)

Ložisko mělo poškození jak na vnitřním, tak i na vnějším kroužku. Vzhledem k nízkým otáčkám (73 ot/min) a skutečnosti, že poškození bylo staré (nové poškození má ostřejší signál), hodnoty SPM byly nízké. Spektrum bylo sejmuto opakovaně (v rozsahu do 200 Hz), avšak bez výrazných symptomatických frekvencí. Teprve až měření bylo prodlouženo na 16 sec. (asi 19 otáček hřídele), byla jasná dominantní BPFO. To potvrzuje použitelnost SPM Spectrum pro měření na nízkých otáčkách. Pokud je zvolen dostatečně dlouhý čas měření, lze vadu ložiska odhalit i při nízkých SPM hodnotách.

Případ 3, Výrobní vada ložiska, extrémně nízké hodnoty SPM

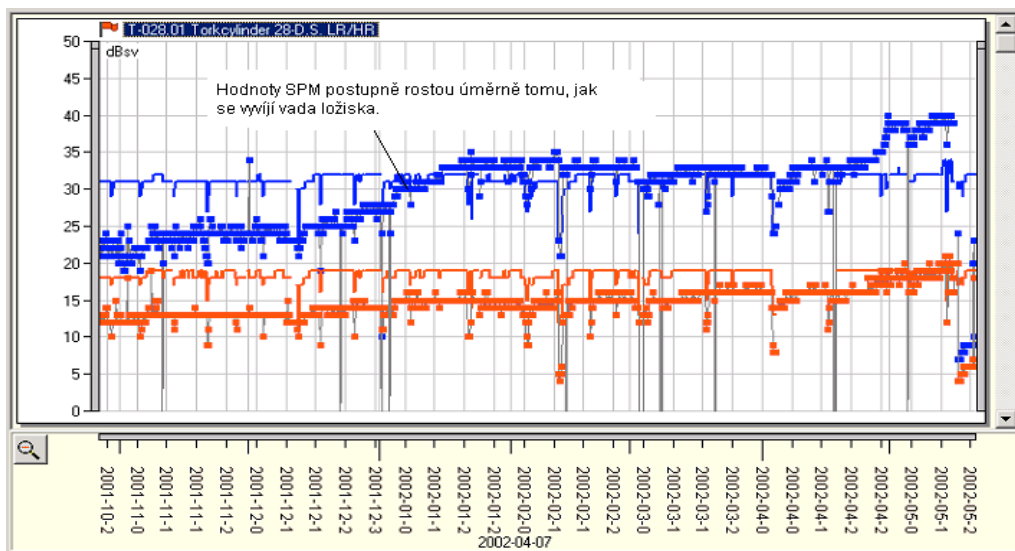


Obr. 4: Extrémně nízké hodnoty SPM (dBm/dBc = -1 / -9)

V tomto případě se jedná o ložisko s výrobní vadou vnitřní dráhy. Tato vada byla ostrá a produkovala „pěkné“ rázy (transienty). Ložisko bylo provozováno bez zatížení. To znamenalo extrémně nízké hodnoty SPM. Metoda SPM Spectrum však jasně ukázala ložiskové frekvence poškozeného vnitřního kroužku. Tento příklad ukazuje, že je-li poškození čerstvé, SPM Spectrum ukáže poškození dokonce i když ložisko není zatížené.

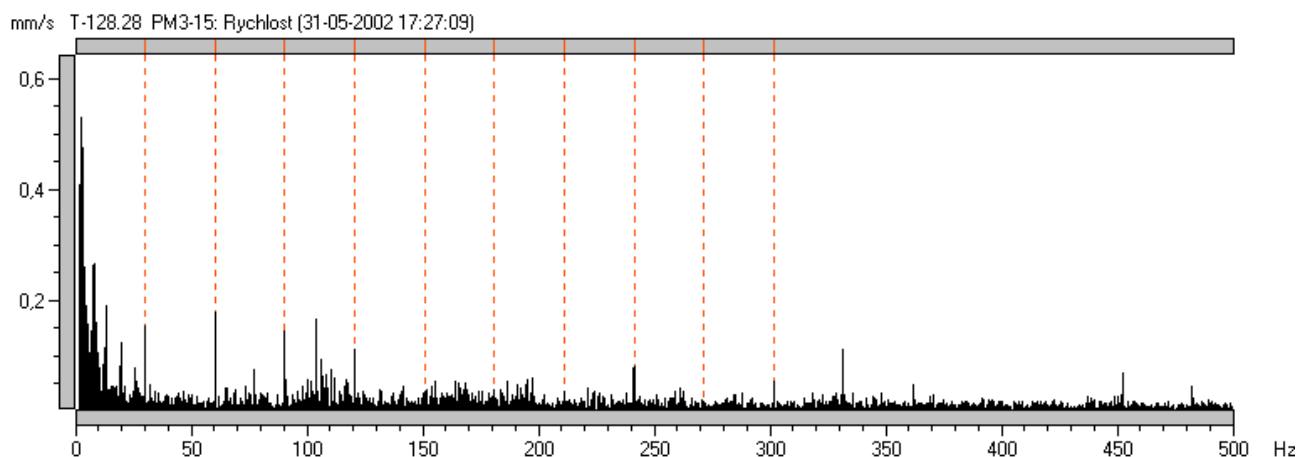
Případ 4, Porovnání metod SPM Spectrum a vibrační analýzy vč. vyhodnocení obálky

Tento případ byl použit pro porovnání různých metod analýzy poškození ložiska. Obrázek č.5. ukazuje trend hodnot SPM, kde je zřetelné, že poškození se postupně vyvíjelo asi 5 měsíců do výměny ložiska.

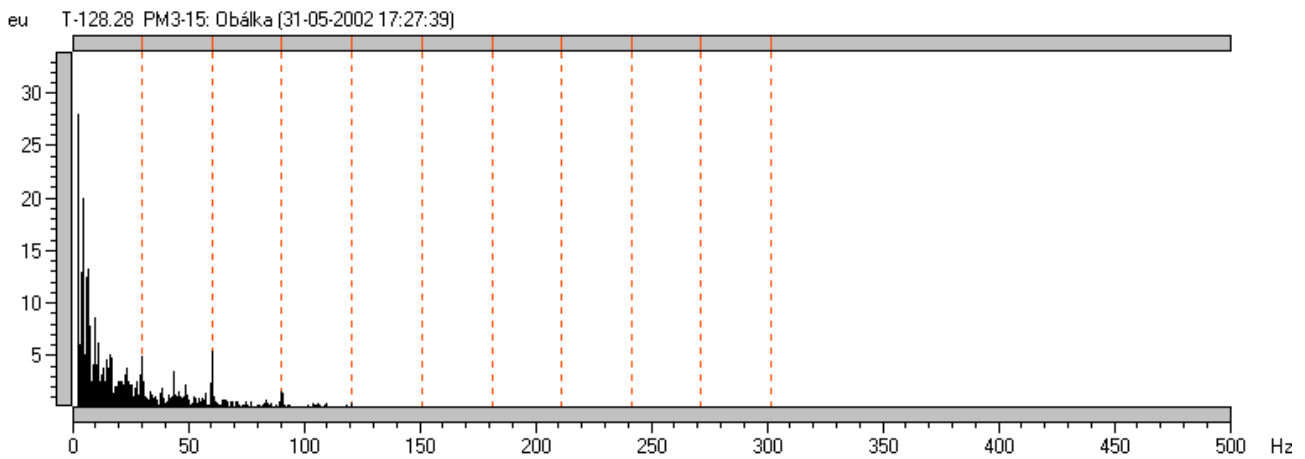


Obr. 5: Trend hodnot SPM v časové ose. Je zřetelné, že poškození se do výměny ložiska postupně vyvíjelo asi 5 měsíců.

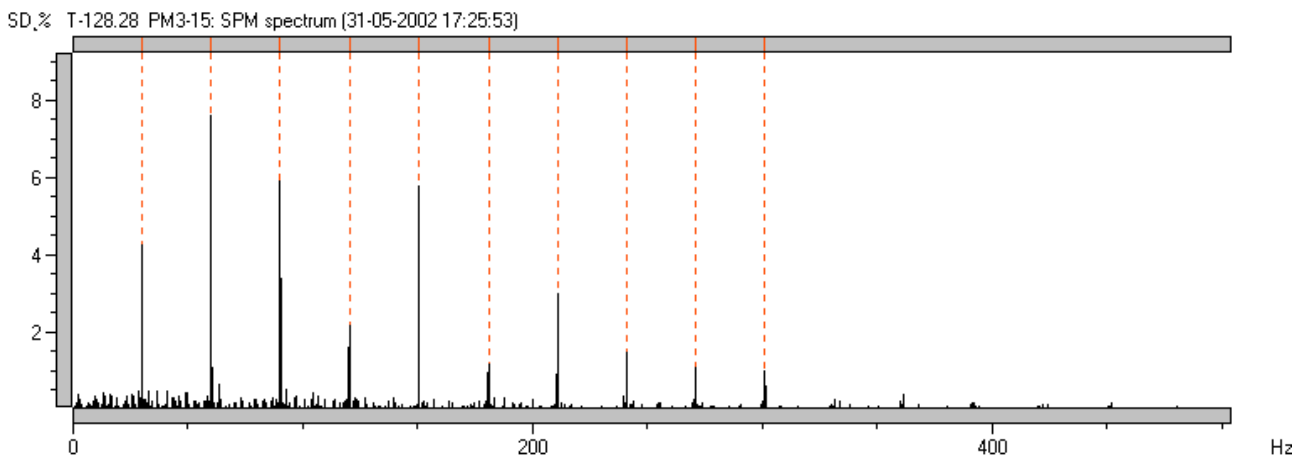
Obrázek č. 6. představuje výsledek získaný tradiční vibrační analýzou, ve kterém je možné ložiskové frekvence nalézt. Na obrázku č.7. je výsledek získaný tradiční vibrační analýzou s vyhodnocením obálky. V tomto případě lze rovněž rozpoznat jednotlivé symptomatické frekvence ložiska, avšak ne tak zřetelně jako na obrázku č.6. Obrázek č.8. reprezentuje výsledek získaný metodou SPM Spectrum. Ložiskové frekvence jsou zde nesporné, ve spektru se prakticky nevyskytují jiné spektrální čáry, než ložiskové. (Poruchové frekvence jsou v grafech vždy zvýrazněny svíslou přerušovanou čarou).



Obr. 6: Vibrační spektrum poškozeného ložiska.



Obr. 7: Obálkové spektrum poškozeného ložiska



Obr. 8: Spektrum poškozeného ložiska metodou SPM Spectrum

Porovnáním jednotlivých získaných spekter je zřejmé, že poměr užitečného signálu vůči “šumu” je nejvyšší u metody SPM Spectrum. Ačkoliv v tomto případě bylo poškození ložiska možno nalézt jakoukoliv ze zmíněných tří metod, nebylo by tomu tak v případě, že bychom měřili závadu v časnější fázi poškození.

ZÁVĚR

Metoda SPM je mnoho let používána na milionech měřicích míst v širokém spektru průmyslových aplikací. Doplněním metody SPM Spectrum byl vytvořen kompletní nástroj pro diagnostiku valivých ložisek. Kombinací měření mohutnosti rázových pulsů s analýzou spektra dostává uživatel metodu, která je zároveň jednoduchá i spolehlivá. V dnešní době již metodu SPM Spectrum používají desítky firem v procesním průmyslu.

Prezentované příklady ukázaly možnost nalezení vad ložisek i ve složitých podmínkách, jako jsou nízké otáčky, malé zatížení či při existenci rušení signály z jiných zdrojů. Rovněž bylo na příkladu ukázáno, že metoda SPM Spectrum najde poruchový signál ložiska snadněji, nežli klasické metody vibrační analýzy.