

FAST FOURIER TRANSFORMATION

- Welche Frequenzen existieren und wie sind deren Beziehungen zur Basisfrequenz
- Beurteilung der Intensität und deren Beziehung zueinander
- Ausgeprägte Peaks einem Symptom / einer Ursache zuordnen

REINE UNWUCHT

- 180° außer Phase an der gleichen Welle
- Immer präsent bei der einfachen Drehfrequenz
- Amplitude variiert exponentiell zur Geschwindigkeit
- Gekennzeichnet durch hohe radiale und z.T. auch durch axiale Amplituden

UNAUSGEWUCHTETE ÜBERHÄNGENDE MASSE

- Amplituden bei einfacher Drehfrequenz in axialer und radialer Richtung vorhanden
- Axiale Messwerte neigen dazu in Phase zu liegen, radiale Messwerte könnten variieren

EXZENTRISCHER LÄUFER

- Höchsten Vibrationen bei der einfachen Drehfrequenz in Richtung der rotierenden Welle
- Vergleichbare Phasengänge weichen bei 0° oder 180° von einander ab
- Auswuchten führt zu einer Richtungsverschiebung der Amplituden

AUSRICHTUNG WINKELVERSATZ

- Ausgeprägte Vibrationen in axialer Richtung
- 180° Phasenwechsel durch die Kupplung
- Üblich ist ein dominanter Peak bei der ein-, zwei-, oder dreifachen Drehfrequenz

AUSRICHTUNG PARALLELVERSATZ

- Ausgeprägte Vibrationen in radialer Richtung, bei 180° aus der Phase
- Amplitude bei zweifacher Drehfrequenz oft höher als bei der Einfachen
- Kupplungsgeometrie kann Einfluss auf die Form des Spektrums und der Amplituden haben

VERBOGENE WELLE

- Ausgeprägte Vibrationen in axialer Richtung
- Dominant bei der einfachen Drehfrequenz, wenn die Biegung in der Nähe des Wellenmittelpunkts liegt
- Dominant bei der zweifachen Drehfrequenz, wenn die Biegung in der Nähe des Wellenendes liegt

SCHLECHT AUSGERICHTETES LAGER

- Ausgeprägte Vibrationen in axialer Richtung, ähnlich denen der winkligen Fehlausrichtung
- Versuche die Kupplung neu auszurichten oder den Läufer auszuwuchten führen zu keiner Lösung
- Bewirkt eine Drehbewegung mit einem Phasenwechsel von ca. 180°

ANDERE URSACHEN DER HOHEN AXIALEN VIBRATION

- Verbogene Wellen
- Wellen die resonanzbedingte Biegeschwingungen aufweisen
- Wälzlager auf der Welle verspannt
- Resonanzen einiger Komponenten in axialer Richtung
- Verschlissene Lager
- Verschlissene schrägverzahnte Getriebe
- Motor mit Gleitlagern pendelt um seine magnetische Mitte
- Komponente durch eine dynamische Unwucht

MECHANISCHE LOCKERUNGEN (A)

- Vibrationen in radialer Richtung durch strukturelle Schwächen des Maschinenfußes
- Deformation des Fundaments verursacht Probleme durch einen "soft foot"
- Phasenanalyse zeigt einen Phasenversatz von circa 180° in vertikaler Richtung zwischen den Komponenten der Grundplatte

MECHANISCHE LOCKERUNGEN (B)

- Vibrationen in radialer Richtung durch einen losen Lagerbock
- Peaks bei (0.5 / 1 / 2 / 3) facher Drehfrequenz
- Verursacht z.B. durch eine gebrochene Rahmenstruktur oder defekten Lagerbock

MECHANISCHE LOCKERUNGEN (C)

- Phasengang der Amplituden oft instabil
- Weist eine große Anzahl an Oberschwingungen auf
- Verursacht durch lose Lagerführung, überhöhte Lagerluft oder durch ein loses Antriebsrad auf der Welle

RESONANZBEREICH

- Tritt auf, wenn die treibende Frequenz mit der natürlichen Frequenz übereinstimmt (z.B. Fundament, Stuktur...)
- 180° Phasenwechsel wenn Drehfrequenz und Resonanzfrequenz übereinstimmen
- Hohe Amplituden der Vibration treten auf wenn sich das System im Resonanz-Bereich befindet

ANTRIEBSRIEMEN (A)

VERSCHLISSENE, LOSE ODER UNPASSENDE RIEMEN

- Die zweifache Drehfrequenz tritt häufig dominant auf
- Amplituden sind normalerweise unsteil, manchmal pulsierend in Abhängigkeit der gefahrenen und getriebenen Drehfrequenz
- Verschleiß oder Fehlanordnung im Riemetrieb erzeugt hohe Amplituden der Riemerfrequenz (unterhalb der Drehfrequenz)

ANTRIEBSRIEMEN (B)

FEHLAUSRICHTUNG ANTRIEBSRIEMEN / RIEMENSCHLEIBE

- Hohe axiale Vibrationen bei der einfachen Drehfrequenz, bedingt durch eine Fehlanordnung der Riemenstschleiben
- Häufig wird die höchste Amplitude am Motor mit der Drehfrequenz des Läufers gemessen

HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE

- Bei einem ungleichen Spalt zwischen den Laufschaufeln und dem Gehäuse kann die Flügelpassierfrequenz (FPF) eine hohe Amplitude aufweisen
- Eine hohe FPF bleibt bestehen, wenn der Sitz des Antriebsrades auf der Welle klemmt, oder eine Läuferzentrität vorliegt

HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE

STRÖMUNGSUNRUHE

- Aufgrund von Veränderungen im Druck und der Strömungsgeschwindigkeit, treten in Gebläsen oft Strömungsunruhen auf
- Eine Vielzahl an niederfrequenten Vibrationen werden in einem weiten Frequenzbereich erzeugt, möglicherweise im Bereich von 1...40 Hz

HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE

KAVITATION

- Kavitation erzeugt zufällige Anregungen im kHz-Bereich, überlagert mit harmonischen FPF
- Deutet im Normalfall auf mangelhaften Saugdruck (NSPH)
- Erosion des Antriebsrades und des Pumpengehäuses kann auftreten, wenn die Kavitation unbeachtet bleibt

ELEKTRISCHE PROBLEME

STATOR EXZENTRIZITÄT, GEKÜRZTE LAMELLEN UND LOSES BLECHPAKET

- Stator Probleme erzeugen hohe Amplituden bei 2FL (2x Netzfrequenz)
- Stator Exzentrizität produziert einen stationären unebenen Luftspalt, Vibration ist stark richtungsabhängig
- Ein "Soft Foot" (s. Mechanische Lockerungen (A)) sorgt für einen exzentrischen Stator

E-MOTOR FREQUENZEN

- Elektrische Netzfrequenz (F₁)**
50 Hz = 3000 U/min, 60Hz = 3600 U/min
- Anzahl der Pole (P)**
- Läuferstabsfrequenz (F₂)**
Anzahl der Läuferstäbe x Läufer U/min
- Synchronzahl (N_s)**
 $N_s = \frac{2 \times F_1}{P}$
- Schlupffrequenz (F_s)**
Synchronzahl - Läufer U/min
- Polpassfrequenz (F_p)**
Schlupffrequenz x Anzahl der Pole

ELEKTRISCHE PROBLEME

SYNCHROMOTOR (LOSE STATORWICKLUNG)

- Loose Statorwicklungen in Synchronmotoren erzeugen hohe Amplituden in der Wicklungsphasenfrequenz

ELEKTRISCHE PROBLEME

STROMVERSORGUNG PHASENPROBLEME (LOSE VERBINDUNGEN)

- Synchronisierungsprobleme können exzessive Vibrationen der 2 F₁ mit den 1/3 F₁ Seitenbändern bewirken
- Die Levels bei 2 F₁ können 25 mm/s überschreiten
- Ein besonderes Problem entsteht, wenn der defekte Anschluss intermittierenden Kontakt hat

ELEKTRISCHE PROBLEME

EXZENTRISCHER LÄUFER (VARIABLER LUFTSPALT)

- Exzentrische Läufer produzieren einen rotierenden variablen Luftspalt, dieser sorgt für die Entstehung von pulsierenden Vibrationen
- Oft ist es notwendig das Spektrum zu vergrößern, um 2 F₁ und die dreifachen Oberschwingungen zu trennen
- Häufige Werte von F₁ reichen von 20 - 120 RPM

ELEKTRISCHE PROBLEME

GLEICHSTROMMOTORPROBLEME

- Probleme an Gleichstrommotoren erkennt man an höheren, als normal üblichen, Amplituden der "SCR firing rate" (Vollbrücke 3 - 6x)
- Ursachen können hier u.a. gebrochene Feldwicklungen sein
- Probleme mit Sicherungen und Steuerkarten können hohe Amplitudenpeitsen bei Frequenzen von 1...5 x Netzfrequenz verursachen

ELEKTRISCHE PROBLEME

LÄUFERPROBLEME

- 1 x, 2 x, 3 x der Drehfrequenz mit Polpassfrequenten Seitenbändern deuten auf Läuferstabsprobleme hin
- Zweifache netzfreie Seitenbänder an der Läuferstabsfrequenz (RBDF) deuten auf lose Läuferstäbe hin
- Oft hohe Amplituden bei zweifacher und dreifacher Läuferstabsfrequenz

GETRIEBE

NORMALSPEKTRUM

- Normales Spektrum zeigt einfache und zweifache Zahnneigefrequenz ZEF
- ZEF hat üblicherweise Seitenbänder aus der Drehfrequenz
- Alle Peaks weisen eine flache Amplitude auf und es sind keine natürlichen Frequenzen vorhanden

GETRIEBE

ZAHNLAST

- Zahnneigefrequenzen werden oft durch die Last erregt
- Hohe ZEF Amplituden deuten nicht notwendigerweise auf ein Problem hin
- Jede Analyse sollte durchgeführt werden, wenn das System bei maximaler Last arbeitet

GETRIEBE

ZAHNVERSCHEISS

- Verschleiß macht sich durch Anregung der natürlichen Frequenzen mitsamt der Seitenbänder, bei einfacher Drehfrequenz des schlechten Zahnrades bemerkbar
- Seitenbänder sind ein besserer Verschleißindikator als die ZEF
- ZEF muss sich nicht unbedingt in der Amplitude verändern, wenn der Verschleiß auftritt

GETRIEBE

EXZENTRIZITÄT UND SPIEL

- Ziemlich hohe Amplitude der Seitenbänder um ZEF deutet auf Exzentrizität, Spiel oder auf nicht parallel angeordnete Wellen hin
- Das problematische Zahnrad wird die Seitenbänder modulieren
- Unzulässiges Spiel regt normalerweise die natürliche Frequenz an

GETRIEBE

ZAHNRADFEHLANORDNUNG

- Die Zahnradfehlordnung regt fast immer nebenstatische oder höhere Oberschwingungen mit den Seitenbändern bei Drehfrequenz an
- Kleine Amplitude bei einfacher ZEF, höhere Stufen bei zweifacher und dreifacher ZEF
- Es ist wichtig F_{max} hoch genug anzusetzen, um wenigstens zweifache ZEF zu erfassen

GETRIEBE

ANGEBROCHENER / GEBROCHENER ZAHN

- Ein angebrochener oder gebrochener Zahn erzeugt eine hohe Amplitude bei einfacher Drehfrequenz des Getriebes
- Es wird die einfache Drehfrequenz mit den Seitenbändern, bei normaler Drehfrequenz angeregt
- Lässt sich am besten mit dem Zeitsignal herausfiltern

GETRIEBE

NACHLAUFENDER ZAHN

- Vibration tritt bei geringer Drehzahl auf und kann auf Grund dieser Tatsache oft übersehen werden (ggf. brummender Ton)
- Der Effekt tritt auf, wenn das fehlerhafte Zahnrad und die fehlerhaften Zähne des Zahnrads gleichzeitig in Eingriff kommen
- Fehler können durch fehlerhafte Herstellung oder falsche Handhabung entstehen

WÄLZLAGER

BERECHNUNG DER SCHADENSFREQUENZEN AN WÄLZLAGERN

- 1A = fn/2 * z * (1 - Dw/Dt) * cos αB
- 1I = fn/2 * z * (1 + Dw/Dt) * cos αB
- fk = fn/2 * (1 - Dw/Dt) * cos αB
- fwk = fn/2 * DT/DW * z * [1 - (Dw/Dt) * cos αB]

WÄLZLAGER

STUFE 1 SCHADENSART

- Erste Hinweise auf Wälzlagerschäden lassen sich im Ultraschallbereich messen
- In der Literatur u.a. zu finden unter den Begriffen Spike Energy™, gSE, HFD(g) oder Shock Impulse
- Für diese Stufe dürfte die Amplitude der Spike Energy™ erst bei circa 0.25 gSE liegen

WÄLZLAGER

STUFE 2 SCHADENSART

- Erste geringfügige Schäden machen sich am Lagerring über die natürliche Frequenz bemerkbar
- Diese Frequenzen sind im Spektrum zwischen 500...2.000 Hz zu messen
- Am Ende der Schadensstufe 2, treten die Seitenbandfrequenzen über und unter der natürlichen Frequenz auf
- Spike Energy wächst auf z.B. 0.25...0.50 gSE

WÄLZLAGER

STUFE 3 SCHADENSART

- Wälzlager Schadfrequenzen und Oberschwingungen tauchen auf
- Deutlicher Anstieg der Oberschwingungen bei zunehmendem Verschleiß, einhergehend mit einer Erhöhung der Seitenbänder
- Verschleiß ist jetzt sichtbar und kann sich auf den Lagersitz ausbreiten
- Spike Energy™ erhöht sich und liegt dann zwischen 0.5 - 1.0 gSE

WÄLZLAGER

STUFE 4 SCHADENSART

- Dezente Wälzlager Schadfrequenzen verschwinden und werden durch zufällige Breitbandanregungen in Form einer „Frequenzwolke“ ersetzt
- Gegen Ende der Stufe 4, ist die Amplitude bei einfacher Drehfrequenz ebenfalls betroffen
- Hochfrequente-, Breitbandamplituden und Spike Energy können sich vermindern
- Kurz vor dem Lagerausfall, deutliche Amplitudenerhöhung beim gSE

OIL-WHIP INSTABILITÄT

- Bei Übereinstimmung der oil-whirl-Frequenz und einer mechanischen Eigenfrequenz kommt es zu auffallend stark erhöhten lastabhängigen Schwingungen (oil-whip)
- Wenn der Läufer mit zweifach kritischer Frequenz betrieben wird, ist der oil-whirl nah im kritischen Zustand und die exzessive Vibration wird dafür sorgen, dass der Ölfilm die Welle nicht mehr richtig schmirt
- Wenn die Drehzahl erhöht wird, wird sich die Whipfrequenz nicht erhöhen

OIL-WHIRL INSTABILITÄT

- Das Vorstadium einer Gleitlagerinstabilität tritt meist mit mäßigen Amplituden und einer Frequenz unterhalb der halben Drehfrequenz auf (oil-whirl)
- Tritt normalerweise bei 42 - 48 % der Drehfrequenz auf
- Der Oil-Whirl ist von Natur aus instabil, bedingt dadurch, dass die Zentrifugalkräfte sich mit der Drehzahl erhöhen, welche wiederum dafür sorgen dass sich die Strudelkräfte verstärken

TECHNISCHE UNTERSTÜTZUNG

Wir sind nicht nur Komponentenanbieter, sondern verstehen uns mit unseren qualifizierten Mitarbeitern als lösungsorientierter Partner.

Überzeugen Sie sich selbst!
Die PCB-Mitarbeiter freuen sich darauf Sie zu beraten!

Weitere Informationen und Neuigkeiten zu unseren Produkten finden Sie unter www.pcbpiezotronics.de

PCB PIEZOTRONICS
ENDEVCO
IMI SENSORS
LARSON DAVIS
THE MODAL SHOP