

### 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° voneinander 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 Wellenzentrums 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
- Verschlossene 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, Struktur...)
- 180° Phasenwechsel wenn Drehfrequenz und Resonanzfrequenz übereinstimmen
- Hohe Amplituden der Vibration treten auf wenn sich das System im Resonanz-Bereich befindet

### ANTRIEBSRIEMEN (A)

VERSCHLOSSENE, LOSE ODER UNPASSENDE RIEMEN

- Die zweite Drehfrequenz tritt häufig dominant auf
- Amplituden sind normalerweise unsteif, manchmal pulsierend in Abhängigkeit der geladenen und getriebenen Drehfrequenz
- Verschleiß oder Fehlanordnung im Riementrieb erzeugt hohe Amplituden der Riementfrequenz (unterhalb der Drehfrequenz)

### ANTRIEBSRIEMEN (B)

FEHLAUSRICHTUNG ANTRIEBSRIEMEN / RIEMENSCHLEIBE

- Hohe axiale Vibrationen bei der einfachen Drehfrequenz, bedingt durch eine Fehlanordnung der Riemenscheiben
- 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 Läuferexzentrizität 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 (F<sub>1</sub>)**  
50 Hz = 3000 U/min, 60Hz = 3600 U/min
- Anzahl der Pole (P)**
- Läuferstabpassfrequenz (F<sub>2</sub>)**  
Anzahl der Läuferstäbe x Läufer U/min
- Synchronrehzahl (N<sub>s</sub>) = 2 x F<sub>1</sub> / P**
- Schlupffrequenz (F<sub>s</sub>)**  
Synchronrehzahl – Läufer U/min
- Polpassfrequenz (F<sub>p</sub>)**  
Schlupffrequenz x Anzahl der Pole

### ELEKTRISCHE PROBLEME

SYNCHROMMOTOR (LOSE STATORWICKLUNG)

- Loose Statorwicklungen in Synchronmotoren erzeugen hohe Amplituden in der Wicklungsphasenfrequenz

### ELEKTRISCHE PROBLEME

STROMVERSORGUNG PHASENPROBLEME (LOSE VERBINDUNGEN)

- Synchronisierungsprobleme können exzessive Vibrationen der 2 F<sub>1</sub> mit den 1/3 F<sub>1</sub> Seitenbändern bewirken
- Die Levels bei 2 F<sub>1</sub> 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 F<sub>1</sub> und die dreifachen Oberschwingungen zu trennen
- Häufige Werte von F<sub>1</sub> 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 Amplitudenspitzen bei Frequenzen von 1...5 x Netzfrequenz verursachen

### ELEKTRISCHE PROBLEME

LÄUFERPROBLEME

- 1 x, 2 x, 3 x der Drehfrequenz mit Polpassfrequenten Seitenbändern deuten auf Läuferstabprobleme hin
- Zweifache netzfrequente Seitenbänder an der Läuferstabpassfrequenz (RBPF) deuten auf lose Läuferstäbe hin
- Oft hohe Amplituden bei zweifacher und dreifacher Läuferstabpassfrequenz

### GETRIEBE

NORMALSPEKTRUM

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

### GETRIEBE

ZAHNLAST

- Zahnengriffsfrequenzen 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 mittels der Seitenbänder, bei einfacher Drehfrequenz des schlechten Zahnrads 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 nebensächliche 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<sub>1</sub> 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 herausfinden

### 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

- 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 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 Lagering über die natürliche Frequenz bemerkbar
- Diese Frequenzen sind im Spektrum zwischen 500...2000 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-whip-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 Oilfilm 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 die Strudellinien verstärken

### TECHNISCHE UNTERSTÜTZUNG

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

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

Weitere Informationen und Neuigkeiten zu unseren Produkten finden Sie unter [www.synotech.de](http://www.synotech.de).

PCB PIEZOTRONICS  
ENDEVCO  
IMI SENSORS  
LARSON DAVIS  
THE MODAL SHOP