

Besonderheiten der Schwingungsmessung bei Langsamläufnern

EINFÜHRUNG

Die Norm ISO 10816-3 beinhaltet Grenzwerte für rotierende Maschinen in Bezug auf die Schwinggeschwindigkeit, die besagen, dass ein Wert von X mm/s (un)bedenklich für den Betrieb einer Maschine ist. Diese Norm berücksichtigt dabei das Frequenzband von 10Hz (bzw. ≤ 2 Hz bei Drehzahlen unter 600rpm) bis 1000Hz.

Eine Welle mit einer Drehzahl von 10rpm, wie es ein Getriebeausgang in der Praxis haben kann, hat eine Drehfrequenz von $10\text{rpm}/60 \cong 0.17\text{Hz}$. Kostengünstige Messgeräte und intelligente Sensoren berücksichtigen oft nur den Bereich zwischen 10Hz und 1000Hz und sind daher nicht für Langsamläufer geeignet. Nachfolgend weisen wir diesbezüglich auf wichtige Gesichtspunkte hin.

PRAXIS

Über die Sinnhaftigkeit von Schwingungsmessungen und der Beschleunigungsmessung im Speziellen sind sich sogar Schwingungsexperten uneins; die Einen schwören auf die Schwinggeschwindigkeit, andere auf die Distanz (Auslenkung einer Welle, findet bei Gleitlagern Anwendung und macht Sinn) und wieder andere arbeiten mit den Zeitreihen, d.h. ohne Frequenzanalyse. Die Schwinggeschwindigkeit wird heute mittels entsprechender Sensoren gemessen. Alternativ kann das Beschleunigungssignal gemessen und die Integration mittels Software erledigt werden. Alle uns bekannten und kostengünstigeren Schwinggeschwindigkeitssensoren sind fundamental Beschleunigungssensoren mit integriertem elektronischem Integrator. Somit besteht keine ersichtliche Notwendigkeit teurere Schwinggeschwindigkeitssensoren einzusetzen, sondern die „Integration in Software“ ist äquivalent und zusätzlich noch flexibler. Jedoch sollte der dafür eigens erstellten ISO Norm gefolgt werden, damit die ermittelten Schwinggeschwindigkeitswerte vergleichbar sind.

Beim Einsatz von Beschleunigungssensoren an Langsamläufnern sind mehrere Aspekte zu beachten.

- (1) Die untere Grenzfrequenz (-3dB Punkt) sollte $\leq 0.1\text{Hz}$ betragen; viele Standardsensoren haben 1.5Hz oder 2Hz. Tiefere Grenzfrequenzen, wie z.B. bei seismischen Sensoren, haben eine massiv grössere Bauform und Gewicht zur Folge, was für Industrieanwendungen untauglich ist.
- (2) Die untere Grenzfrequenz (-3dB Punkt) beim Messgerät sollte, idealerweise, tiefer als die des Sensors sein, denn $2 \times -3\text{dB}$ bei 0.1Hz bedeutet, dass ein Signal mit 0.1Hz um 6dB abgeschwächt dargestellt wird. Wegen des IEPE Standards, wo ein Entkoppelkondensator in der Eingangsstufe des Messgerätes (Sensor kanal) Verwendung findet, haben die Messgeräte notwendigerweise eine untere Eckfrequenz, auch wenn die u.U. nicht kommuniziert oder im Datenblatt angegeben ist. Der Einfluss eines grossen Entkoppelkondensators auf die „settling time“ ist bei Messkampagnen zu berücksichtigen.
- (3) MEMS¹-basierte Sensoren scheinen hier eine Alternative zu bieten, weil deren Frequenzgang bis 0Hz reicht. Dies bedingt oftmals ein Messgerät mit Spannungseingang und nicht IEPE Eingangsstufe. Es gibt inzwischen auch MEMS-basierte Sensoren welche einen Stromausgang haben. Die MEMS haben jedoch eine viel schlechtere Dynamik, siehe Tabelle 1. Interne

¹ MEMS: micro-electro-mechanical systems

Messungen zeigten, dass deren Rauschpegel bei nur ca. $-80\text{dBg}/\sqrt{\text{Hz}}$ liegt, bei Piezosensoren erreicht man bis zu $-120\text{dBg}/\sqrt{\text{Hz}}$. MEMS Sensoren sind somit weniger empfindlich und daher weniger für die Früherkennung geeignet. Des Weiteren scheint die akkumulierte Stossfestigkeit noch Potential zur Verbesserung zu haben. Generell empfiehlt es sich, da die Schwingungsenergie beim Langsamläufer sowieso viel kleiner ist als bei der „Normalmaschine“, die Verwendbarkeit eines MEMS vor dem Einsatz zu überprüfen. Es gibt auch Langsamläufer wo starke Stossimpulse erzeugt werden, wie in Zementmahlwerken, und keine sehr schwachen Signale zu erwarten sind. Mechmine ist dem Einsatz von MEMS-basierten Sensoren nicht abgeneigt.

- (4) Bei der Datenanalyse und der Spektrumsanalyse im Besonderen, muss darauf geachtet werden, dass die Frequenzauflösung den Anforderungen genügt. Eine Welle in einer Gondelbahn dreht z.B. mit 24rpm, d.h. 0.4Hz, und die Wälzlager oder Getriebezahnräder können Frequenzen aufweisen welche 0.2Hz oder weniger auseinander liegen. Somit kann man keine spezifischen Defektmuster im Frequenzspektrum erkennen, wenn dessen Auflösung z.B. 0.5Hz ist. Dies bedingt ein Messsystem welches eine entsprechend lange Messung durchführen und Drehzahländerungen kompensieren kann, und dabei nicht von Störsignalen beeinträchtigt wird.

Tabelle 1: Vergleich von Datenblattwerten verschiedener Sensoren².

Parameter	Piezo 1	Piezo 2	MEMS 1	MEMS 2
Bandbreitebereich [Hz]	[0.13,22'000]	[0.8, 19'000]	[0, 11'000]	[0, 1'000]
Messbereich [g]	±55	±80	±50	±18
Temperaturbereich [°C]	[-20,120]	[-55,130]	[-40,125]	[-30,85]
Max. Schock [g]	4'000	5'000	10'000	20'000
Rauschen [g/√Hz [mg]	<0.3	0.1	2.6	4.75
Lineare Dynamik	377'778	1'600'000	38'139	7'579
Dynamik [bit]	18.5	20.6	15.2	12.9
Ausgang	IEPE	IEPE	0-10mA	2.5±2V

DER MECHMINE-WAY

Die Messelektronik von Mechmine, mmBox, kann die untere Grenzfrequenz auf unter 0.1Hz festlegen, und verwendet erschwingliche Piezosensoren mit einer unteren Grenzfrequenz von 0.1Hz. Die mmBox kann auch im autonomen Einsatz hochaufgelöste Messungen von bis zu 60 Sekunden Länge durchführen, und dabei die Datenmenge mittels Downsampling wieder reduzieren, um eine Funkanbindung (WLAN, LTE, 5G) der mmBox an den Mechmine Server zu ermöglichen.

Die Messresultate bis dato stimmen uns zuversichtlich, dass Langsamdreher dank dieser sorgsam ausgewählten Hardware und geeigneter Signalverarbeitung auch mittels Condition Monitoring nutzbringend und permanent überwacht werden können, und Predictive Maintenance realisiert werden kann.

² Der optimistische Wert von 2.6mg wurde aus dem Datenblatt des vermuteten eingebauten Mikrochips entnommen.