

DIN ISO 13373-2

ICS 17.160

Einsprüche bis 2004-04-30

Entwurf**Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen –
Schwingungs-Zustandsüberwachung –
Teil 2: Verarbeitung, Darstellung und Auswertung von
Schwingungsdaten (ISO/DIS 13373-2)**

Condition monitoring and diagnostics of machines –
Vibration condition monitoring –
Part 2: Processing, presentation and analysis of vibration data (ISO/DIS 13373-2)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nals@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Gesamtumfang 36 Seiten

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI
Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Das internationale Schriftstück ISO/DIS 13373-2 „Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, presentation and analysis of vibration data“, das im Mai 2003 vom ISO/TC 108/SC 2 zur Herausgabe als ISO/DIS verabschiedet wurde, ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden.

Nationales Vorwort

Das internationale Schriftstück ISO/DIS 13373-2 „Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, presentation and analysis of vibration data“ ist vom ISO/TC 108/SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“ erarbeitet worden. Für die deutsche Mitarbeit ist der Gemeinschaftsausschuss NALS/VDI C 6 UA 5 „Schwingungsüberwachung“ zuständig.

Zu den im Inhalt genannten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1683	siehe DIN EN 21683
ISO 2041	siehe E DIN 1311 Bbl. 1
Normen der Reihe ISO 7919	siehe Normen der Reihe DIN ISO 7919
Normen der Reihe ISO 10816	siehe Normen der Reihe DIN ISO 10816
ISO 5348	siehe DIN ISO 5348
ISO 10817-1	siehe DIN ISO 10817-1
ISO 13373-1	siehe DIN ISO 13373-1
ISO 16063-21	siehe DIN ISO 16063-21

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

E DIN 1311 Beiblatt 1, *Schwingungen und schwingungsfähige Systeme — Schwingungen und Stöße — Begriffe*

DIN EN 21683, *Akustik — Bevorzugte Bezugswerte für akustische Pegel (ISO 1683:1983); Deutsche Fassung EN 21683:1994*

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern (ISO 5348:1998)*

Normen der Reihe DIN ISO 7919, *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen*

Normen der Reihe DIN ISO 10816, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen*

DIN ISO 10817-1, *Messeinrichtung für die Schwingungen rotierender Wellen — Teil 1: Erfassung der relativen und der absoluten Radialschwingungen (ISO 10817-1:1998)*

DIN ISO 13373-1, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 13373-1:2002)*

DIN ISO 16063-21, *Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern — Teil 21: Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer (ISO 16063-21:2003)*

Deutsche Übersetzung

Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen
Schwingungs-Zustandsüberwachung
Teil 2: Verarbeitung, Darstellung und Auswertung von Schwingungsdaten

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Signalanpassung	7
3.1 Allgemeines	7
3.2 Analoge und digitale Systeme	9
3.3 Signal-Anpassung-Einheiten	9
3.4 Filterung	11
4 Datenverarbeitung und Diagnostik	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Zeitbereichs-Analyse	13
4.3 Frequenzbereichs-Analyse	21
4.4 Ergebnisdarstellung bei Änderung der Betriebsbedingungen	29
4.5 Echtzeit-Analyse und Echtzeit-Bandbreite	33
4.6 Nachlauffilterung (analog und digital)	33
4.7 Oktav- und Teiloktav-Analyse	34
4.8 Cepstrum-Analyse	34
5 Andere Techniken	34
Literaturhinweise	36

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedskörperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitgliedskörperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nichtstaatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) auf allen Gebieten elektrotechnischer Normung zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2, erstellt.

Die wesentliche Aufgabe Technischer Komitees besteht in der Erarbeitung Internationaler Normen. Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedskörperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedskörperschaften.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Die ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 13373-2 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“, Unterkomitee SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“ erstellt.

ISO 13373 besteht aus den folgenden Teilen mit dem Titel *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung*:

— Teil 1: *Allgemeine Anleitungen*

— Teil 2: *Verarbeitung, Darstellung und Auswertung von Schwingungsdaten*

Einleitung

Das allgemeine Ziel dieses Teils von ISO 13373, der das Gebiet der Schwingungs-Zustandsüberwachung von Maschinen umfasst, ist es, empfohlene Verfahren und Vorgehensweisen für die Verarbeitung von Messsignalen und die Auswertung von Daten bereitzustellen, welche von Schwingungsaufnehmern kommen, die an einer Maschine an ausgewählten Messpunkten angebracht sind und zur Überwachung des dynamischen Verhaltens der Maschine dienen.

Breitbandige Schwingungsmessungen gewähren einen Überblick über die Stärke der Schwingungen einer Maschine. Sie können beobachtet und ihr Zeittrend kann genutzt werden, um den Betreiber beim Auftreten anomaler Zustände der Maschine zu warnen. Eine weitere Verarbeitung und Auswertung dieser Schwingungssignale in Übereinstimmung mit den in diesem Teil von ISO 13373 enthaltenen Vorgehensweisen geben dem Betreiber einen Einblick in Möglichkeiten zur Diagnose der möglichen Ursache oder möglicher Ursachen von Maschinenstörungen, die es gestatten, die Zustandsüberwachung zielgerichteter fortzusetzen.

Der Vorteil eines solchen Überwachungsprogramms ist es nicht nur, dass der Maschinenbetreiber auf den möglichen Ausfall einer Maschine zu einem gewissen Zeitpunkt hingewiesen und dadurch die Instandsetzung bereits vor dem Ausfall geplant werden kann, vielmehr werden auch wertvolle Hinweise dazu gegeben, welcher Art die zu planende und auszuführende Instandsetzung sein sollte. Die Schwingungen sind Widerspiegelungen oder Symptome solcher Probleme, wie mangelhafte Ausrichtung, Unwucht, fortschreitender Verschleiß, Undichtheit, Schmierungsfehler usw.

ISO 13373-1 enthält Anleitungen für die Schwingungs-Zustandsüberwachung von Maschinen. Der vorliegende Teil von ISO 13373 enthält dagegen Anleitungen für die Verarbeitung, Darstellung und Auswertung der so erhaltenen Schwingungsdaten. Diese können bei der Diagnostik zur Ermittlung des ursächlichen Auslösers des Problems herangezogen werden.

Die Vorgehensweisen zur Signalverarbeitung, Auswertung und Diagnostik, welche zur Schwingungs-Zustandsüberwachung genutzt werden, können in Abhängigkeit des zu überwachenden Prozesses, der erforderlichen Genauigkeit, der verfügbaren Ressourcen und aus anderen Gründen variieren. Ein gut gewähltes und realisiertes Zustands-Überwachungsprogramm sollte solche Faktoren, wie die Beachtung der Wichtigkeit des Prozesses, der Kritikalität und Komplexität des Systems, der Kosten-Nutzen-Relation, der Wahrscheinlichkeit unterschiedlicher Ausfallmechanismen, der Identifikation von Kennzeichen für beginnende Ausfälle usw., enthalten.

Eine angepasste Prozessanalyse sollte der Festlegung des gewünschten Datentyps für eine geeignete Überwachung des Maschinenzustandes vorausgehen.

Der Schwingungs-Analytiker sollte so viel wie möglich sachdienliche Informationen über die zu überwachende Maschine sammeln. So ermöglichen zum Beispiel die Kenntnis der Schwingungs-Resonanzfrequenzen und der Erregerfrequenzen sowie weiterer analytischer Informationen aus der Entwurfsphase einen Überblick über zu vermeidende Frequenzen und – konsequenterweise – auch über die zu überwachenden Frequenzbereiche. Auch die Kenntnis des Anfangszustandes der Maschine, des Betriebsablaufs während der bisher zurückliegenden Zeit und der dabei bestehenden Betriebszustände gibt dem Analytiker zusätzliche Informationen.

Andere Vorteile dieses Planungsprozesses vor Inbetriebnahme sind, dass sich Hinweise auf die erforderlichen Aufnehmertypen, ihre optimalen Anbringungspunkte, die erforderliche Art von Signal-Aufbereitungsgeräten, die vorteilhaftesten Signalverarbeitungsverfahren und die relevanten Zustandskriterien ergeben.

Das ISO/TC108 entwickelt gegenwärtig weitere Normen auf dem Gebiet der Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen. Diese Internationalen Normen, erstellt vom ISO/TC108/SC 5 *Condition monitoring and diagnostics of machines*, haben die allgemeine Zielsetzung, Anleitungen zur umfassenden Überwachung der "Gesundheit" von Maschinen zu geben. Sie umfassen solche Faktoren, wie Schwingungen, die Öl-Reinheit, Thermografie, Leistungskenngrößen usw.

1 Anwendungsbereich

Zielstellung dieses Teils von ISO 13373 ist es, Vorgehensweisen für die Verarbeitung und Darstellung von Schwingungsdaten und für die Analyse von Schwingungskenngrößen zum Zwecke der Überwachung des Schwingungszustandes rotierender Maschinen und – soweit möglich – zur Ausführung der Diagnostik zu empfehlen. Es werden verschiedene Techniken für unterschiedliche Anwendungen beschrieben. Techniken zur Signalverbesserung, Analysiermethoden und Diagnosewerkzeuge für die Untersuchung spezieller Maschinen sind ebenso eingeschlossen. Manche dieser Techniken können auch für andere Maschinenarten, einschließlich Maschinen mit hin- und hergehenden Teilen, angewendet werden. Außerdem werden Beispiele für Darstellungsformate, in welchen die Kenngrößen meist für die Bewertung und Diagnose ausgegeben werden, angegeben.

Dieser Teil von ISO 13373 ist in zwei grundlegende Vorgehensweisen bei der Verarbeitung und Auswertung von Schwingungssignalen unterteilt: den Zeitbereich und den Frequenzbereich. 4.2 betont größtenteils Zeitbereichs-Techniken, während 4.3 die Behandlung des Frequenzbereiches umfasst.

Dieser Teil von ISO 13373 hat nur die gebräuchlichsten Techniken für die Schwingungs-Zustandsdiagnostik sowie die Beurteilung und die Diagnostik von Maschinen zum Inhalt. Es gibt noch viele weitere Techniken, welche zur Bestimmung des Maschinenzustandes gebraucht werden können und bei einer tiefergehenden Schwingungsanalyse oder Schwingungs-Tiefendiagnose, also jenseits der üblicherweise anfallenden Maschinenzustandsüberwachung, Anwendung finden. Eine detaillierte Beschreibung dieser Techniken liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Teils von ISO 13373. Allerdings werden einige dieser fortgeschrittenen Spezialtechniken in Abschnitt 5 zur zusätzlichen Information aufgelistet.

Für spezielle Maschinenarten und -größen geben die Normen der Reihen ISO 7919 und ISO 10816 Hinweise zur Anwendung von breitbandigen Schwingungskenngrößen bei der Zustandsüberwachung. Weitere Dokumente, wie VDI 3839 und VDI 3841, geben zusätzliche Informationen über maschinen-spezifische Probleme, welche bei der Schwingungsdiagnostik auftreten können.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 1683, *Acoustics — Preferred reference quantities for acoustic levels*

ISO 7919 (alle Teile), *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts*

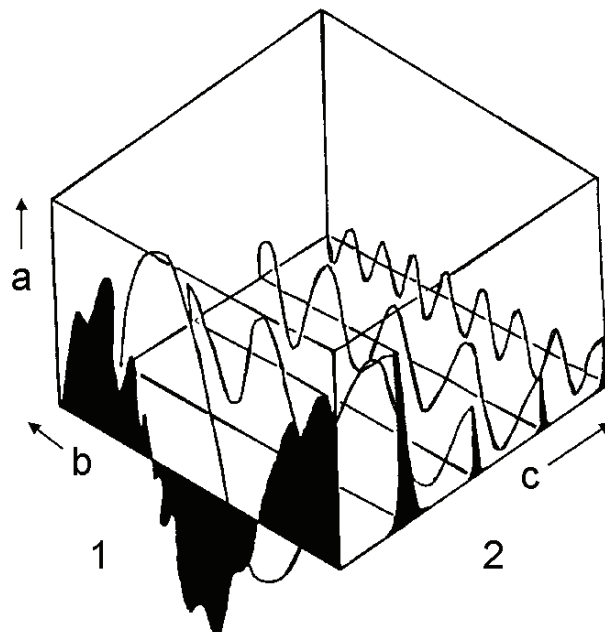
ISO 10816 (alle Teile), *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*

3 Signalanpassung

3.1 Allgemeines

Praktisch werden alle Schwingungsmessungen mittels Aufnehmern durchgeführt, welche ein analoges elektrisches Signal erzeugen, das in jedem Augenblick dem Wert der Schwingbeschleunigung, der Schwinggeschwindigkeit oder dem Schwingweg proportional ist. Dieses Signal kann von einem Signalanalysator aufgezeichnet werden, für eine spätere Verarbeitung gespeichert oder zum Beispiel auf dem Bildschirm eines Oszilloskops dargestellt werden. Um den augenblicklichen Schwingungsausschlag zu erhalten, ist die Ausgangsspannung mit einem Kalibrierfaktor zu multiplizieren, der die Empfindlichkeit des Aufnehmers sowie die Verstärkungsfaktoren von Verstärker und Registriereinrichtung berücksichtigt. Die Schwingungsauswertung erfolgt meist im Frequenzbereich, es sind aber auch Verfahren gebräuchlich, die den Zeitverlauf der Schwingung auswerten.

Bild 1 zeigt den Zusammenhang zwischen einem Schwingungssignal im Zeitbereich und im Frequenzbereich. Es kann erkannt werden, dass vier überlagerte Signale zusammen das Gesamtsignal bilden. Das kann – hier schwarz dargestellt – am Bildschirm des Analysators beobachtet werden. Durch die Fourier-Analyse wird die zusammengesetzte Zeitfunktion in vier diskrete Frequenzkomponenten umgeformt.



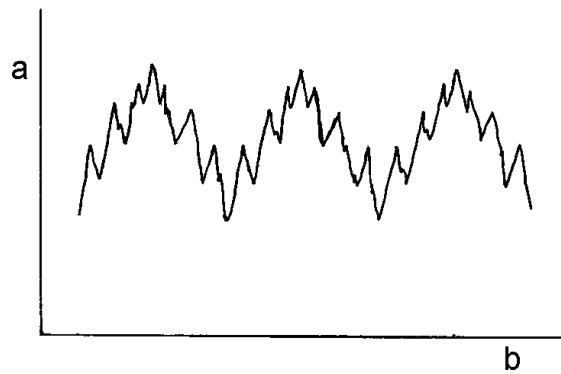
Legende

a Schwingungsausschlag
b Zeit
c Frequenz

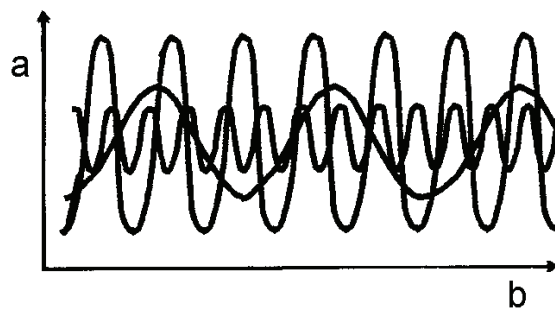
1 Zeitfunktion
2 Frequenzspektrum

Bild 1 — Zeit- und Frequenzbereich

In Bild 2 ist ein einfacheres Beispiel für eine zusammengesetzte Zeitfunktion dargestellt, die von einem Aufnehmer geliefert und am Bildschirm dargestellt wird. In diesem Fall existieren nur drei überlagerte Teilsignale. Sie sind in Bild 3 dargestellt, ihre diskreten Frequenzkomponenten sind in Bild 4 dargestellt.

**Legende**

- a Schwingungsausschlag
- b Zeit

Bild 2 — Aus spektralen Komponenten zusammengesetztes Signal**Legende**

- a Schwingungsausschlag
- b Zeit

Bild 3 — Überlagerte Teilsignale**Legende**

- a Amplitude
- b Frequenz

Bild 4 — Einzelne Frequenzkomponenten im Frequenzspektrum

Für viele Untersuchungen sind das Verhältnis der Schwingungen an unterschiedlichen Punkten der Struktur oder die Schwingungen in unterschiedlichen Richtungen ebenso wichtig wie die einzelne Schwingung selbst. Aus diesem Grund gibt es Mehrkanal-Schwingungsanalysatoren, in denen Verfahren zur Zweikanal-Signalanalyse implementiert sind. Bei der Analyse beider Signale mit dieser Technik sind sowohl die Amplituden- als auch Phasenverhältnisse der Schwingungssignale von Wichtigkeit.

3.2 Analoge und digitale Systeme

3.2.1 Allgemeines

Das von einem Aufnehmer kommende Signal kann mittels analoger oder digitaler Systeme verarbeitet werden. Traditionell werden analoge Systeme benutzt. Sie umfassen Filter, Verstärker, Registriergeräte, Integratoren und andere Komponenten, welche zwar das Signal verändern, nicht aber seinen analogen Charakter. Neuerdings werden die Vorteile der Digitalisierung der Signale mehr und mehr offenkundig. Dabei tastet ein Analog-Digital-Umsetzer (ADU) in Zeitabständen wiederholt das analoge Signal ab und verwandelt seinen momentanen Wert in eine Zeitreihe numerischer Werte. Danach können mathematische Routinen in einem Computer genutzt werden, um die Zeitreihen zu filtern, Spektren zu berechnen (siehe 4.3.2), Histogramme zu entwickeln oder was sonst noch gefordert wird. Natürlich kann das digitalisierte Signal auch als Funktion der Zeit dargestellt werden. Das analoge Signal enthält die gleichen Informationen wie das digitale Signal, wenn die Abtastfrequenz geeignet gewählt wurde.

Sowohl bei der Nutzung der analogen als auch der digitalen Methode ist es wichtig, die Empfindlichkeit des zu messenden Signals zu kennen. Die Empfindlichkeit ist das Verhältnis des aktuellen Ausschlags der Messgröße zum Spannungsausschlag des Messsignals. Um ein zuverlässiges Signal zu erhalten, sollte das Messsignal wesentlich größer als das Umgebungs-Rauschsignal sein. Allerdings müssen dabei Signalverfälschungen durch zu große Verstärkung (z. B. Beschneidungen der Signalspitzen bei Übersteuerung) vermieden werden.

3.2.2 Digitalisierungs-Techniken

Die wichtigsten Parameter beim Digitalisierungsprozess sind die Abtastrate (Sampling-Frequenz) und die Auflösung. Es ist wichtig sicherzustellen, dass keine Frequenzkomponenten oberhalb der halben Abtastrate im zu digitalisierenden Signal enthalten sind. Sonst wird das Zeitsignal verfälscht, oder das Ergebnis der Fast-Fourier-Transformation (FFT) zeigt Aliasing-Komponenten, d. h. Frequenzkomponenten, welche nicht wirklich existieren (siehe 4.3.7 bezüglich weiterer Informationen über Aliasing). Die Abtastrate wird von der Art der auszuführenden Signalverarbeitung und dem erwarteten Frequenzinhalt des Signals bestimmt. Wenn eine Darstellung der Schwingung über der Zeit vorgesehen ist, wird empfohlen, dass die Abtastrate etwa 10-mal höher als die höchste interessierende Frequenz im Signal ist. Wenn allerdings ein Frequenzspektrum berechnet werden soll, erfordert die FFT-Berechnung eine Abtastrate, die mehr als doppelt so hoch wie die höchste interessierende Frequenz im Messsignal ist. Anti-Aliasing-Filter werden benutzt, um hochfrequenten Rauschen oder andere Frequenzkomponenten aus dem Signal zu entfernen, deren Frequenz höher als die Hälfte der Abtastrate ist. Bei der Digitalisierung muss die Anzahl der Bit, welche den Schwingungsausschlag digital darstellen, ausreichend sein, um die geforderte Genauigkeit zu erreichen.

3.3 Signal-Anpassung-Einheiten

3.3.1 Allgemeines

Das vom Aufnehmer kommende Messsignal muss vor der Registrierung meist die eine oder andere Art einer Signal-Anpassung erfahren, durch die ein für die Registrierung angepasster Signalpegel erreicht sowie Rauschanteile oder andere unerwünschte Komponenten entfernt werden. Einheiten zur Signal-Anpassung umfassen die Stromversorgung des Aufnehmers, Vorverstärker, Verstärker, Integratoren und viele Filtertypen. Filterung wird weiterhin in 3.4 beschrieben.

3.3.2 Integration und Differentiation

Schwingungssignale können als Schwingweg, als Schwinggeschwindigkeit oder Schwingbeschleunigung vorliegen. Meist wird eine dieser Messgrößen aufgrund des speziellen Frequenzbereichs, der von Interesse ist, bevorzugt (niedrigfrequente Signale treten mehr in Erscheinung, wenn der Schwingweg gewählt wird; hochfrequente Schwingungen dagegen in der Schwingbeschleunigung). Ein anderes Auswahlkriterium ergibt sich aus den Beurteilungskriterien des Anwendungsfalls. Ein Schwingungssignal kann in eine andere Messgröße durch Integration oder Differentiation umgewandelt werden. Das Zeitintegral über die Schwing-

beschleunigung ergibt die Schwinggeschwindigkeit, die Integration der Schwinggeschwindigkeit führt zum Schwingweg. Die zweifache Integration der Schwingbeschleunigung führt direkt zum Schwingweg. Durch Differentiation wird der umgekehrte Umformungsprozess erreicht.

Für eine harmonische Schwingung gelten die folgenden mathematischen Beziehungen:

$$\text{Schwingweg} \quad x = \int v \, dt = \iint (a \, dt) \, dt = -1/\omega^2 \cdot a \quad (1)$$

$$\text{Schwinggeschwindigkeit} \quad v = \frac{dx}{dt} = \int a \, dt \quad (2)$$

$$\text{Schwingbeschleunigung} \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (3)$$

Dabei ist

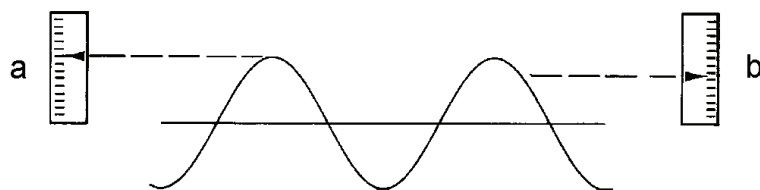
ω Kreisfrequenz der harmonischen Schwingung: $\omega = 2\pi f$

ANMERKUNG Siehe auch 4.3.12.

Ein allgemein gebräuchlicher Schwingungsaufnehmer ist der Beschleunigungsaufnehmer. Deshalb ist die Integration wesentlich mehr gebräuchlich als die Differentiation. Das ist erfreulich, denn die Differentiation eines Signals ist schwieriger als die Integration. Bei der Integration niedrigfrequenter Signale muss Sorgfalt geübt werden: mittels eines Hochpassfilters sollten vor der Integration die Frequenzkomponenten eliminiert werden, welche unterhalb des interessierenden Frequenzbereichs liegen.

3.3.3 Schwingungs-Effektivwert

Der Effektivwert (r.m.s.) eines Schwingungssignals wird gemeinhin in Normen zur Schwingungsbeurteilung gebraucht. Die Beurteilungskriterien verwenden meist einen Effektivwert in einem begrenzten Frequenzbereich. Das ist die am häufigsten gebrauchte Schwingungskenngroße für einen gegebenen Zeitabschnitt. Andere Kenngrößen des Schwingungssignals können verwirren, wenn sie mehrere Frequenzkomponenten enthalten oder wenn sie moduliert sind usw. Der Effektivwert ist eine mathematisch formulierte Kenngröße, die für jedes Signal gebildet werden kann. Die meisten Messgeräte sind auch so konstruiert, dass sie diese Kenngröße bilden können (siehe Bild 5). Der Effektivwert kann aber auch nach der Spektralanalyse des Signals durch Integration des Spektrums zwischen der untersten und obersten interessierenden Frequenzgrenze gebildet werden.



a) Sinussignal mit einem Effektivwert, der 0,707-mal dem Spitzenwert entspricht



b) Nicht-harmonisches Signal

Legende

- a Spitzenwert
- b Effektivwert

Bild 5 — Effektivwert

Ein Schwingungssignal kann, wie gefordert, gefiltert und für ein kurzes Zeitintervall an einem Effektivwertmesser angezeigt werden, solange das Zeitsignal nicht nennenswert schwankt. Wenn allerdings das Ausgangssignal stark schwankt, sollte der Mittelwert über eine längere Zeitspanne gebildet werden. Das kann mit einem Effektivwertbildner geschehen, der eine längere Zeitkonstante besitzt.

3.3.4 Dynamikbereich

Der Dynamikbereich ist das Verhältnis zwischen der größten und der kleinsten Amplitude eines Signals, das ein Analysator gleichzeitig auswerten kann. Die Signalausschläge sind proportional der Ausgangsspannung des Aufnehmers, meist in Millivolt.

Der Dynamikbereich eines analogen Systems wird gewöhnlich durch das elektrische Rauschen begrenzt. Das rührt meist nicht vom Aufnehmer allein her, sondern Filter, Verstärker, Registriergerät usw. tragen zum Rauschpegel bei, sodass das Gesamtrauschen überraschend hoch sein kann.

Bei digitalen Systemen hängt der Dynamikbereich von der Genauigkeit der Digitalisierung ab. Dabei muss die Abtastrate hinsichtlich der auszuwertenden Frequenzen richtig gewählt sein. Das Verhältnis zwischen der Anzahl von Bits, die bei der Abtastung des analogen Signals zur Verfügung stehen, und dem Dynamikbereich berechnet sich (wenn ein Bit für das Vorzeichen gebraucht wird) wie folgt:

$$6 \times (\text{Anzahl der Bits} - 1) = \text{Dynamikbereich in dB} \quad (4)$$

Demzufolge kann ein Signalanalysator mit einer Datenbreite von 16 Bit einen Dynamikbereich von 90 dB haben. Allerdings reduziert jede Ungenauigkeit den verfügbaren Dynamikbereich.

3.3.5 Kalibrierung

Die Kalibrierung von Schwingungsaufnehmern ist in den angegebenen Dokumenten (z. B. ISO 16063-21) gut erläutert. Sie wird üblicherweise im Labor vor dem Messeinsatz des Aufnehmers durchgeführt. Es wird aber empfohlen, die Kalibrierung bei jedem Feldeinsatz zu überprüfen. Die Vor-Ort-Überprüfung der Kalibrierung umfasst üblicherweise nicht die Kalibrierung des Aufnehmers selbst, berücksichtigt aber den gesamten Rest des Mess- bzw. Registriersystems, d. h. Verstärker, Filter, Integratoren und Registriergeräte. Meist erfolgt sie so, dass dem Messsystem ein bekanntes Signal zugeführt und das entstehende Ausgangssignal abgelesen wird. Das Signal kann z. B. ein Gleichspannungssprung, ein harmonisches Signal oder ein elektrisches Rauschen sein, abhängig vom Typ der Messeinrichtung.

Gewisse Aufnehmer, z. B. berührungsfreie Wegaufnehmer (Wirbelstromaufnehmer), sind vorkalibriert. Dennoch sollte in solchen Fällen die Kalibrierung in Zusammenhang mit der Oberfläche des Messobjekts überprüft werden, da Wirbelstromaufnehmer empfindlich auf die Metallegierung und die Oberflächengüte reagieren. Diese Überprüfung kann durch Annähern des Aufnehmers mittels Mikrometerspindeln und Aufzeichnung des Aufnehmer-Ausgangssignals für jede Stellung erfolgen.

Zur Vor-Ort-Überprüfung der Kalibrierung seismischer Aufnehmer ist ein Schwingtisch erforderlich.

Auch Dehnungsmessstreifen werden oft nach ihrer Anbringung vor Ort kalibriert. Am besten wäre eine Kalibrierung durch Aufbringen einer bekannten Belastung auf das Messobjekt. Wenn das nicht möglich ist, sollte eine Kalibrierung mit einem Parallelwiderstand erfolgen, bei der ein Kalibrier-Widerstand parallel zum Dehnungsmessstreifen geschaltet wird. Die dadurch eintretende scheinbare Veränderung des Widerstandes des Dehnungsmessstreifens entspricht einer bestimmten Dehnung, die mittels des Empfindlichkeitsfaktors (k-Faktor) des Dehnungsmessstreifens bestimmt werden kann.

3.4 Filterung

Es gibt drei Grundarten von Filtern, die für die Signalanpassung und Signalverarbeitung zur Verfügung stehen:

— Tiefpass,