

DIN ISO 13373-2

ICS 17.160

Ersatz für
DIN ISO 13373-2:2006-01**Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen –
Schwingungs-Zustandsüberwachung –
Teil 2: Verarbeitung, Analyse und Darstellung von
Schwingungsmesswerten (ISO 13373-2:2016)**

Condition monitoring and diagnostics of machines –

Vibration condition monitoring –

Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data (ISO 13373-2:2016)

Surveillance et diagnostic d'état des machines –

Surveillance des vibrations –

Partie 2: Traitement, analyse et présentation des données vibratoires (ISO 13373-2:2016)

Gesamtumfang 42 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Signalaufbereitung.....	9
3.1 Allgemeines	9
3.2 Analoge und digitale Systeme	11
3.3 Signal-Anpassungseinheit	12
3.4 Filterung.....	14
4 Datenverarbeitung und Diagnostik.....	15
4.1 Allgemeines	15
4.2 Analyse im Zeitbereich	15
4.3 Analyse im Frequenzbereich.....	25
4.4 Darstellung von Messergebnissen bei Änderungen des Betriebszustands.....	34
4.5 Echtzeit-Analyse und Echtzeit-Bandbreite.....	38
4.6 Ordnungsanalyse (analog und digital)	39
4.7 Oktav- und Teiloktav-Analyse.....	39
4.8 Cepstrum-Analyse	40
5 Weitere Techniken.....	41
Literaturhinweise.....	42

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 13373-2:2016 ist vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“, Unterkomitee SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) geführt wird, erarbeitet worden. Die deutsche Mitarbeit erfolgte durch den Ausschuss NA 001-03-06-05 UA (NALS/VDI C 6.5) „Schwingungs- und Zustandsüberwachung von Maschinen und -anlagen“ des Normenausschusses Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI.

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

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1683	siehe	DIN EN ISO 1683
ISO 2954	siehe	DIN ISO 2954
ISO 5348	siehe	DIN ISO 5348
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 10817-1	siehe	DIN ISO 10817-1
ISO 13372	siehe	DIN ISO 17359 Beiblatt 1
Normen der Reihe ISO 13373	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 13373
ISO 16063-21	siehe	DIN ISO 16063-21
Normen der Reihe ISO 20816	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 20816

Die Deutschen Normen sind im nationalen Anhang NA aufgeführt.

ISO 13373 mit dem Titel *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring* besteht aus folgenden Teilen:

— *Part 1: General procedures*

— *Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data*

— *Part 3: Guidelines for vibration diagnosis*

— *Part 7: Diagnostic techniques for machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants*

— *Part 9: Diagnostic techniques for electric motors*

Die folgenden Teile sind in Vorbereitung:

— *Part 4: Diagnostic techniques for gas and steam turbines with fluid-film bearings*

— *Part 5: Diagnostic techniques for fans and blowers*

— *Part 6: Diagnostic techniques for gas turbines with rolling element bearings*

DIN ISO 13373-2:2016-11

— *Part 8: Diagnostic techniques for industrial pumps*

— *Part 10: Diagnostic techniques for generators*

— *Part 11: Diagnostic techniques for gearboxes*

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 13373-2:2006-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm redaktionell überarbeitet und zitierte Normen aktualisiert;
- b) neues, farbiges Bild 25 aufgenommen.

Frühere Ausgabe

DIN ISO 13373-2: 2006-01

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1683, *Akustik — Bevorzugte Bezugswerte für Pegel in der Akustik und Schwingungstechnik*

DIN ISO 2954, *Mechanische Schwingungen von Hubkolbenmaschinen und von Maschinen mit rotierenden Bauteilen — Anforderungen an Schwingstärkemessgeräte*

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern*

DIN ISO 7919-1, *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

DIN ISO 7919-2, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 2: Stationäre Dampfturbinen und Generatoren über 50 MW mit Nenn-Betriebsdrehzahlen von 1 500 min⁻¹, 1 800 min⁻¹, 3 000 min⁻¹ und 3 600 min⁻¹*

DIN ISO 7919-3, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 3: Gekuppelte industrielle Maschinen*

DIN ISO 7919-4, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 4: Gasturbinensätze mit Gleitlagern*

DIN ISO 7919-5, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 5: Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpenanlagen*

DIN ISO 10816-1, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

DIN ISO 10816-2, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 2: Stationäre Dampfturbinen und Generatoren über 50 MW mit Nenn-Betriebsdrehzahlen von 1 500 min⁻¹, 1 800 min⁻¹, 3 000 min⁻¹ und 3 600 min⁻¹*

DIN ISO 10816-3, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 3: Industrielle Maschinen mit einer Nennleistung über 15 kW und Nenndrehzahlen zwischen 120 min⁻¹ und 15 000 min⁻¹ bei Messungen am Aufstellungsort*

DIN ISO 10816-4, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 4: Gasturbinensätze mit Gleitlagern*

DIN ISO 10816-6, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit einer Leistung über 100 kW*

DIN ISO 10816-7, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 7: Kreiselpumpen für den industriellen Einsatz (einschließlich Messung der Wellenschwingungen)*

DIN ISO 10816-8, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 8: Hubkolbenkompressoren*

DIN ISO 10816-21, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe*

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

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

DIN ISO 13373-3, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 3: Anleitungen zur Schwingungsdiagnose*

DIN ISO 13373-9, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 9: Diagnoseverfahren für Elektromotoren ^{*)}*

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

DIN ISO 17359 Bbl 1, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Beiblatt 1: Erläuterungen zu Fachbegriffen*

DIN ISO 20816-1, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen ^{**)}*

VDI 4550 Blatt 1, *Schwingungsanalysen — Verfahren und Darstellung der Ergebnisse — Begriffe und grundlegende Verfahren ^{*)}*

^{*)} Z. Z. Entwurf

^{**)} Z. Z. Entwurf; Überarbeitung und Zusammenfassung von DIN ISO 7919-1 und DIN ISO 10816-1

Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 2: Verarbeitung, Analyse und Darstellung von Schwingungsmesswerten

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 Analyse solcher Daten bereitzustellen, die von Schwingungsaufnehmern kommen, die an einer Maschine an ausgewählten Messpunkten angebracht sind und zur Überwachung des dynamischen Verhaltens der Maschine dienen.

Breitbandige Schwingungsmessungen ermöglichen einen Überblick über die Stärke der Schwingungen einer Maschine. Sie können beobachtet und ihre Änderung über der Zeit (Trend) kann genutzt werden, um den Betreiber beim Auftreten anomaler Zustände der Maschine zu warnen. Eine weitere Verarbeitung und Analyse 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 möglichen Ursachen von Maschinenstörungen, wodurch es möglich ist, die Zustandsüberwachung zielgerichteter fortzusetzen.

Der Vorteil eines solchen Überwachungsprogramms ist nicht nur, dass der Maschinenbetreiber auf den möglichen Ausfall einer Maschine zu einem gewissen Zeitpunkt hingewiesen wird und dadurch die Instandsetzung bereits vor dem Ausfall zu planen ist, vielmehr werden auch wertvolle Hinweise dazu gegeben, welcher Art die zu planende und auszuführende Instandsetzung ist. Die Schwingungen sind Widerspiegelungen oder Symptome von Problemen, wie mangelhafte Ausrichtung, Unwucht, fortschreitender Verschleiß, Durchfluss- und Schmierungsfehler.

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

Die Vorgehensweisen zur Signalverarbeitung, Analyse 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 enthält solche Faktoren, wie die Beachtung der Wichtigkeit des Prozesses, der Kritikalität und Komplexität des Systems, der Kosten-Nutzen-Relation, der Wahrscheinlichkeit unterschiedlicher Ausfallmechanismen und der Identifikation von Kennzeichen für beginnende Ausfälle.

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

Der Schwingungs-Analytiker sollte so viel sachdienliche Informationen wie möglich über die zu überwachende Maschine sammeln. So ermöglicht zum Beispiel die Kenntnis der Resonanzfrequenzen und der Erregerfrequenzen aus der Konstruktion und Berechnung einen Überblick über die zu erwartenden Frequenzen und konsequenterweise damit über den zu überwachenden Frequenzbereich. Auch die Kenntnis des Anfangszustandes der Maschine, des bisherigen Betriebsablaufs und der dabei herrschenden Betriebszustände gibt dem Analytiker zusätzliche Informationen.

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

Auf dem Gebiet der Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen sind weitere Normen in Vorbereitung. Sie haben die allgemeine Zielsetzung, Anleitungen zur umfassenden Überwachung der „Gesundheit“ von Maschinen zu geben; dazu gehören u. a. Schwingungen, die Öl-Reinheit, Thermografie und Leistungskenngrößen. Grundlegende Verfahren zur Diagnose sind in ISO 13373-3 beschrieben.

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil von ISO 13373 werden 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 empfohlen. Es werden verschiedene Techniken für unterschiedliche Anwendungen beschrieben. Techniken zur Signalverbesserung sowie Analysiermethoden für die Untersuchung des Schwingungsverhaltens spezieller Maschinen werden ebenfalls beschrieben. Viele dieser Techniken können auch bei anderen Maschinenarten, einschließlich Maschinen mit hin- und hergehenden Teilen, angewendet werden. Außerdem sind Beispiele für Darstellungsformate, in welchen die Kenngrößen üblicherweise für die Bewertung und Diagnose ausgegeben werden, angegeben.

Dieser Teil von ISO 13373 ist in die zwei grundlegenden Vorgehensweisen bei der Verarbeitung und Analyse von Schwingungssignalen unterteilt: den Zeitbereich und den Frequenzbereich. Darüber hinaus werden Vorgehensweisen angegeben, durch die sich genauere Diagnoseergebnisse ergeben, indem der Betriebszustand verändert wird.

Dieser Teil von ISO 13373 hat nur die gebräuchlichsten Techniken für die Schwingungs-Zustandsüberwachung, die Schwingungsanalyse und die Diagnostik von Maschinen zum Inhalt. Es gibt viele weitere Techniken, die zur Ermittlung des Maschinenzustandes angewandt werden können und bei einer tiefergehenden Schwingungsanalyse und -diagnose, 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 weitergehenden Information aufgelistet.

Für spezielle Maschinenarten und -größen geben die Normen der Reihen ISO 7919 und ISO 10816 Hinweise zur Nutzung breitbandig gemessener Schwingungen bei der Zustandsüberwachung. Weitere Regelwerke, wie die Richtlinie VDI 3839, enthalten zusätzliche Informationen zu maschinenspezifischen Problemen, die bei der Schwingungsdiagnostik auftreten können.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

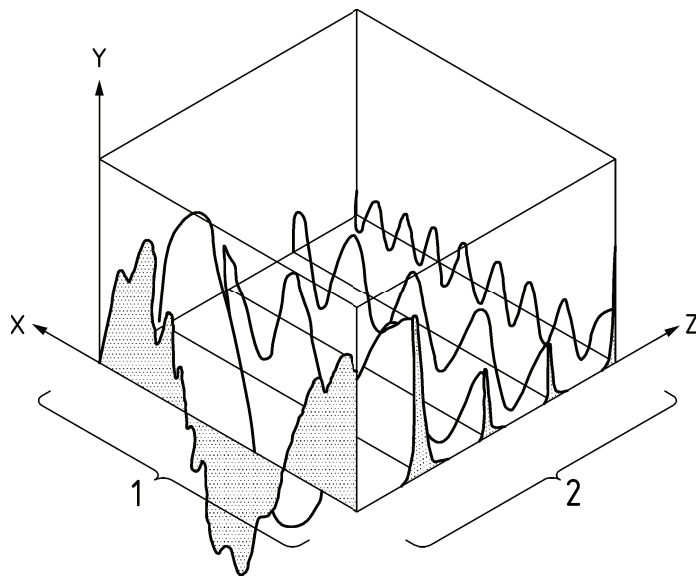
ISO 1683, *Acoustics — Preferred reference values for acoustical and vibratory levels*

3 Signalaufbereitung

3.1 Allgemeines

Praktisch werden alle Schwingungsmessungen mit Aufnehmern durchgeführt, die ein analoges elektrisches Signal erzeugen, das dem Momentanwert der Schwingbeschleunigung, der Schwinggeschwindigkeit oder des Schwingwegs 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 die tatsächliche Schwingungsamplitude zu erhalten, ist die Ausgangsspannung mit einem Kalibrierfaktor zu multiplizieren, der die Empfindlichkeit des Aufnehmers sowie die Verstärkungsfaktoren von Verstärker und Registriereinrichtung berücksichtigt. Die Schwingungsanalyse erfolgt meistens im Frequenzbereich, es sind aber auch Verfahren von Nutzen, die den Zeitverlauf der Schwingung analysieren.

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; Letzteres kann am Bildschirm des Analysators beobachtet werden (graue Darstellung in der XY-Ebene). Durch eine Fourier-Analyse wird das zusammengesetzte Signal in die vier diskreten Frequenzkomponenten zerlegt.



Legende

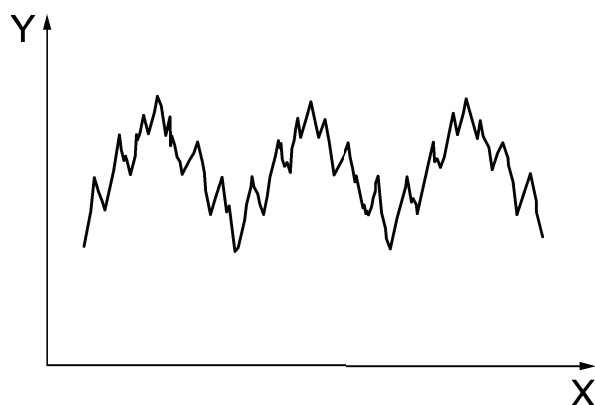
X Zeit
Y Amplitude
Z Frequenz

1 Zeitverlauf
2 Frequenzspektrum

Bild 1 — Zeitbereich und Frequenzbereich

In Bild 2 ist ein einfacheres Beispiel für ein zusammengesetztes Zeitsignal dargestellt, das 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 Frequenzen sind in Bild 4 dargestellt.

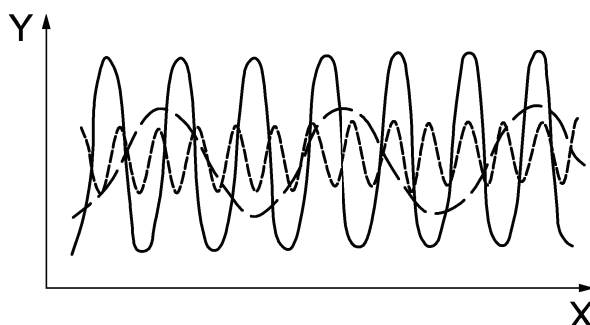
Bei vielen Untersuchungen ist das Verhältnis der Schwingungen an unterschiedlichen Punkten der Struktur oder in unterschiedlichen Richtungen zueinander ebenso wichtig wie die Schwingungen selbst. Aus diesem Grund gibt es Mehrkanal-Schwingungsanalyatoren, in denen Funktionen zur Zweikanal-Signalanalyse implementiert sind. Bei der Analyse zweier Signale mit dieser Technik sind neben den Amplituden- auch die Phaseninformationen der Schwingungssignale wichtig.



Legende

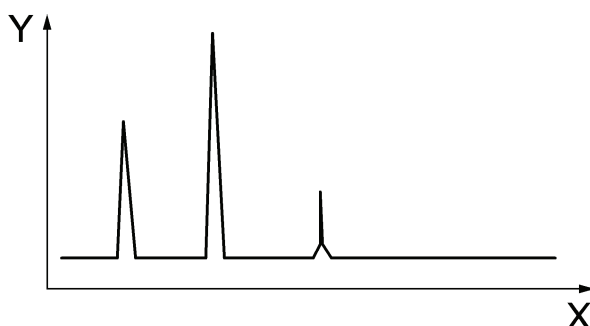
X Zeit
Y Amplitude

Bild 2 — Aus spektralen Komponenten zusammengesetztes Signal

**Legende**

X Zeit

Y Amplitude

Bild 3 — Überlagerung der Teilsignale**Legende**

X Frequenz

Y Amplitude

Bild 4 — Diskrete Frequenzen**3.2 Analoge und digitale Systeme****3.2.1 Allgemeines**

Das von einem Aufnehmer kommende analoge Signal kann mit analogen oder digitalen Systemen verarbeitet werden. Analoge Systeme werden seit langem benutzt; sie umfassen Filter, Verstärker, Registriergeräte, Integratoren und andere Komponenten, die zwar das Signal verändern, nicht aber seinen analogen Charakter. Neuerdings werden die Vorteile der Digitalisierung von Signalen immer offenkundiger. Dabei tastet ein Analog-Digital-Umsetzer (ADU) das analoge Signal in gewissen Zeitabständen ab und verwandelt es in eine Reihe numerischer Werte. Anschließend können mathematische Routinen in einem Computer genutzt werden, um die Zeitreihen zu filtern, zu integrieren, 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, sofern die Abtastrate 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 der momentanen Ausgangsspannung des Messsignals zur momentanen Amplitude der Messgröße. Damit ein Signal zuverlässig ist, sollte das Nutzsignal deutlich größer als das Fremdgeräusch (Umgebungsrauschen) sein, allerdings nicht so groß, dass das Signal verzerrt wird (z. B. Beschneidung der Signalspitzen).

3.2.2 Digitalisierungstechniken

Die wichtigsten Parameter beim Digitalisierungsprozess sind die Abtastrate (Sampling-Frequenz) und die Auflösung. Es ist wichtig sicherzustellen, dass im zu digitalisierenden Signal keine Frequenzkomponenten oberhalb der halben Abtastrate enthalten sind, sonst wird das Zeitsignal verfälscht, oder das Ergebnis der Fast-Fouriertransformation (FFT) zeigt Aliasing-Komponenten, d. h. Frequenzkomponenten, die nicht tatsächlich existieren (siehe 4.3.7 bezüglich weiterer Informationen über Aliasing). Die Abtastrate wird von der Art der auszuführenden Signalanalyse 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 es allerdings das Ziel ist, ein Frequenzspektrum zu berechnen, 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 hochfrequentes 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 Bits, mit denen eine Abtastung digital dargestellt wird, ausreichend sein, um die geforderte Genauigkeit zu erreichen.

3.3 Signal-Anpassungseinheit

3.3.1 Allgemeines

Das vom Aufnehmer kommende Messsignal muss vor der Registrierung meist die eine oder andere Signalaufbereitung erfahren, durch die ein für die Registrierung angepasster Signalpegel erreicht sowie Rauschanteile oder andere unerwünschte Komponenten entfernt werden. Signal-Anpassungseinheiten umfassen die Stromversorgung des Aufnehmers, Vorverstärker, Verstärker, Integratoren und zahlreiche Filter. Die Filterung wird in 3.4 behandelt.

3.3.2 Integration und Differentiation

Schwingungssignale können als Schwingweg, als Schwinggeschwindigkeit oder als Schwingbeschleunigung vorliegen. Meist wird eine dieser Messgrößen aufgrund des interessierenden Frequenzbereichs bevorzugt (tieffrequente Signale treten beim Schwingweg deutlicher in Erscheinung, hochfrequente Schwingungen dagegen bei der Schwingbeschleunigung). Ein anderes Auswahlkriterium ergibt sich aus den Beurteilungskriterien des Anwendungsfalls. Ein Schwingungssignal kann durch Integration oder Differentiation in eine andere Messgröße umgewandelt werden. Das Zeitintegral der Schwingbeschleunigung ergibt die Schwinggeschwindigkeit, die Integration der Schwinggeschwindigkeit ergibt den Schwingweg. Die zweifache Integration der Schwingbeschleunigung ergibt direkt den Schwingweg. Durch Differentiation wird der umgekehrte Umformungsprozess erreicht.

Für eine harmonische Schwingung gelten die folgenden mathematischen Beziehungen:

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

$$\text{Schwinggeschwindigkeit} \quad v = \frac{dx}{dt} = \int a dt = i\omega x = -\frac{i}{\omega} a \quad (2)$$

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

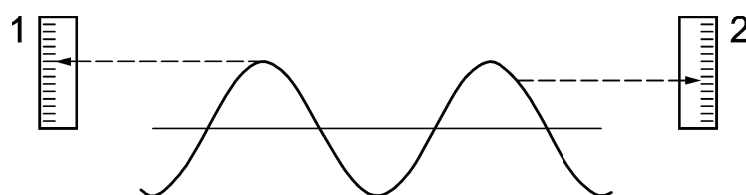
Dabei ist ω die Kreisfrequenz der harmonischen Schwingung: $\omega = 2\pi f$.

ANMERKUNG Siehe auch 4.3.12.

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

3.3.3 Schwingungs-Effektivwert

Der Effektivwert (r.m.s.) eines Schwingungssignals wird allgemein in Normen zur Schwingungsbeurteilung verwendet. Die Beurteilungskriterien gelten häufig für den Effektivwert in einem bestimmten Frequenzbereich. Der Effektivwert ist die am häufigsten gebrauchte Schwingungskenngröße für einen gegebenen Zeitabschnitt. Andere Kenngrößen des Schwingungssignals können uneindeutig sein, wenn es mehrere Frequenzkomponenten enthält oder moduliert ist usw. Der Effektivwert jedoch ist eine mathematisch formulierte Kenngröße, die für jedes Signal gebildet werden kann. Auch sind die meisten Messgeräte 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 tiefsten und höchsten interessierenden Frequenz gebildet werden.



a) harmonisches Signal, dessen Effektivwert dem 0,707-Fachen des Spitzenwerts entspricht



b) nicht-harmonisches Signal

Legende

- 1 Spitzenwert
- 2 Effektivwert

Bild 5 — Spitzenwert und Effektivwert

Ein Schwingungssignal kann in der erforderlichen Weise gefiltert und an einem Effektivwertmesser angezeigt werden, sofern das Zeitsignal in einem kurzen Zeitintervall nicht nennenswert schwankt. Wenn allerdings das Ausgangssignal stark schwankt, muss der Mittelwert über eine längere Zeitspanne gebildet werden. Das kann z. B. mit einem Effektivwertbildner geschehen, der eine längere Zeitkonstante besitzt.

3.3.4 Dynamikbereich

Der Dynamik- oder auch Messbereich ist das Verhältnis zwischen der größten und der kleinsten Signalamplitude, die ein bestimmter Analysator gleichzeitig auswerten kann. Die Signalamplituden sind proportional zur Ausgangsspannung des Aufnehmers, meist in Millivolt.

Der Dynamikbereich eines analogen Systems wird gewöhnlich durch das elektrische Rauschen begrenzt. Es stammt meist nicht vom Aufnehmer allein, 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 N der Bits, die bei der Abtastung des analogen Signals zur Verfügung stehen, und dem Dynamikbereich D in Dezibel berechnet sich (wenn ein Bit für das Vorzeichen gebraucht wird) wie folgt:

$$6 (N - 1) = D \quad (4)$$

Demzufolge hat ein Signalanalysator mit einer Datenbreite von 16 Bit einen Dynamikbereich von 90 dB, allerdings reduziert jede Ungenauigkeit den verfügbaren Dynamikbereich.