

Genau, berührungslos und flexibel – das neue laserinterferometrische Vibrometer

Traditionell arbeitet man bei der Schwingungsmessung mit mechanisch gekoppelten Sensoren. Der allgemein anhaltende Trend zur Miniaturisierung stellt ganz neue Anforderungen an die Messsysteme, die die Bewegung der Messobjekte in einem breiten Frequenzbereich und Sub-Nanometerauflösung erfassen sollen. Hier kommen laserinterferometrische Vibrometer zum Einsatz, die berührungslose und rückwirkungsfreie Messungen an makroskopischen und mikroskopischen Messobjekten bei Messfrequenzen von 0 bis zu 2 MHz und Auflösungen im Sub-Nanometer Bereich ermöglichen. Diese Systeme eignen sich hervorragend auch für Anwendungen, bei denen die Schwingungsanalyse an schwer zugänglichen Messobjekten notwendig ist.



▲ Laserinterferometrisches Vibrometer der Serie LSV

Das Konzept des laserinterferometrischen Vibrometers basiert auf dem Prinzip eines Michelson-Interferometers, bei dem ein kohärenter Lichtstrahl in zwei optische Teilstrahlen, einen Referenz- und einen Messstrahl, geteilt wird. Der Referenzstrahl hat eine feste Länge. Der Messstrahl wird auf die Messoberfläche fokussiert; seine Länge ändert sich durch die Bewegung des Messobjektes. Nach der Reflexion des Messstrahls am Messobjekt interferieren beide zurückkommenden Teilstrahlen. Ihre Phasendif-

ferenz ist proportional zur Verschiebung des Messobjektes und stellt hiermit die Messgröße dar. Diese Messung ist auch auf internationale Längennormale rückführbar, da die Laserfrequenz als Längenmaßstab dient.

Auf optisch raue Oberflächen optimiert

Laserinterferometrische Vibrometer sind Interferometer, die hinsichtlich der Messung an optisch rauen Oberflächen optimiert wurden. Als wesent-

lichstes Unterscheidungsmerkmal zu Längen messenden Interferometern besitzen sie eine Optik, die den Messstrahl auf den Messort fokussiert. Durch Reflexion an einer optisch rauen Oberfläche entsteht ein Speckle-Muster. Der konstruktive Aufbau des Sensorkopfes gewährleistet auch beim Auftreten eines solchen Speckle-Musters ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis. Durch die Fokussierung des Messstrahls ist der Messbereich allerdings in Abhängigkeit von der Reflexionsfähigkeit der Oberfläche auf einige Millimeter eingeschränkt. Dies ist bei der Schwingungsmessung jedoch meist nicht störend, weil die zu erfassenden Schwingungsamplituden in der Regel kleiner sind. In dem zur Verfügung stehenden Messbereich sind auch normale Wegmessungen möglich.

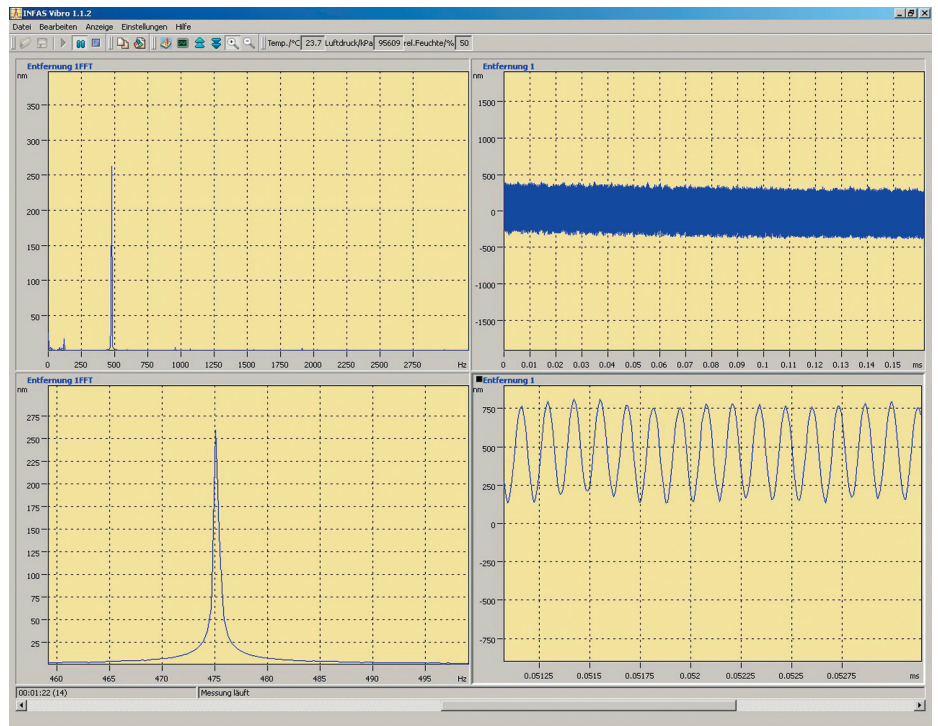
Als Lichtquelle kommen Helium-Neon-Laser bei der Längen- und Schwingungsmessung aufgrund ihrer für die Messtechnik entscheidenden Eigenschaften wie Kohärenz und Frequenzstabilität zum Einsatz. Um den Messkopf relativ klein und frei von thermischen Abstrahlungen des Lasers zu halten, wird dieser bei den Vibrometern der Serie LSV über Lichtwellenleiter gekoppelt. Zur Vereinfachung des Abgleichs und Verbesserung der Performance kann der Referenzspiegel im Sensorkopf moduliert werden. Neu bei der Serie LSV ist der Einsatz eines Zoomobjektives zur Fokussierung des Messstrahls anstelle einer bisher üblichen Linse mit fester Brennweite. Dadurch ist der Abstand zwischen Messkopf und Messstelle zwischen 20 cm und 2 m frei wählbar. Dies gestattet eine große Flexibilität beim Messaufbau und eine Verwendung des Messgerätes für verschiedene Anwendungen.

Konzeption der elektronischen Auswerteeinheit

Der He-Ne-Laser und die Elektronik für Verarbeitung der Interferometersignale vom Messkopf sind in einer 19-Zoll-Auswerteeinheit untergebracht. Die Verarbeitung der Signale sowie die Ansteuerung des Referenzspiegels und der variablen Eingangsverstärker übernehmen mehrere Mikroprozessoren und sehr schnelle programmierbare Logikschaltkreise. Die Auswerteeinheit ist modular aufgebaut, dadurch kann das Messsystem an eine Anwendung durch Aufstockung mit unterschiedlichen Signalverarbeitungskarten flexibel angepasst werden. Es ist möglich, die Auswertung von zwei Sensorköpfen der Serie LSV in einem 19-Zoll-Gerät unterzubringen.

Die Datenaufnahme kann mit externen Ereignissen synchronisiert werden. Das wird durch einen Triggereingang mit extrem kleiner Verzögerungszeit realisiert. Dies gestattet auch die Messung der Phasengänge eines Objektes bei einer bekannten Anregung.

Je nach Einsatzzweck kann die Auswerteeinheit mit unterschiedlichen Interfacekarten ausgestattet werden. Die Hochgeschwindigkeitsauswertekarte stellt ein USB- und RS232-Interface zum Anschluss an einen PC bereit. Zudem bietet sie einen Triggereingang zum Synchronisieren der Schwingungsmessung mit einer externen Anregungsquelle. Über diese Auswertekarte können sowohl verschiedene Funktionen des Vibrometers gesteuert als auch Signale mit einer maximalen Abtastfrequenz von 1 MHz (entspricht



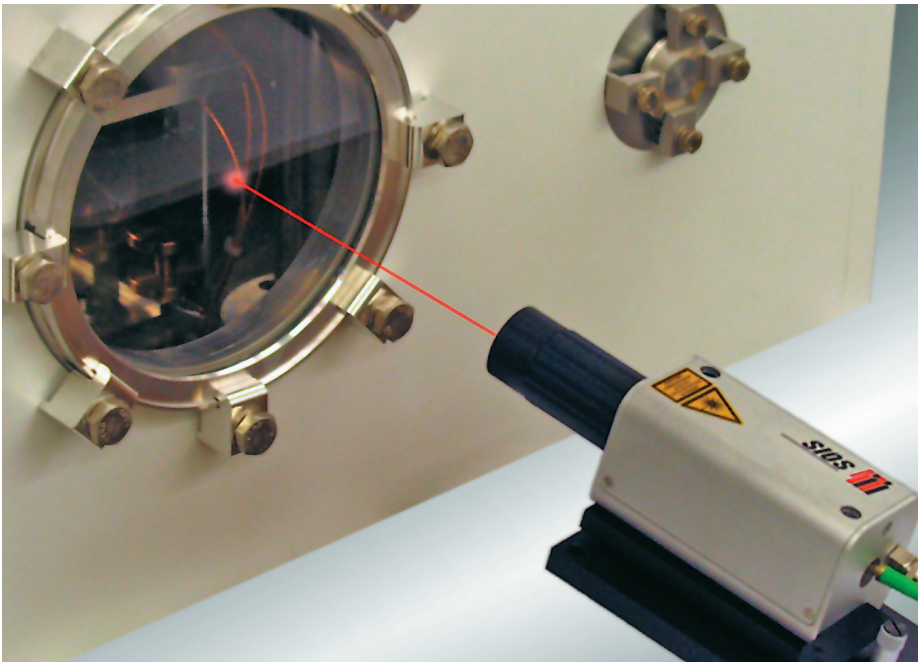
▲ Messung mit der INFAS-Vibro Software

einer maximal möglichen Frequenz im Signal von 500 kHz) bei einer Datenblocklänge von maximal 32.768 Werten erfasst werden. Das Programmierinterface (API) zur Kommunikation mit dieser Karte ist für den Anwender verfügbar. Eine DLL, eine Matlab-Bibliothek und entsprechende VI-Module helfen bei der Integration in eigene Anwendungen.

Die Parallelschnittstellenkarte stellt das demodulierte Interferometersignal als digitales paralleles 32 bit-Wort zur Verfügung. Die Auflösung (ein LSB dieses Wortes) entspricht dabei etwa 0,078 nm. Der parallele 32 bit-Wert steht mit einer sehr geringen Latenz zur Verfügung und kann mit einer Abtastrate von bis zu 4 MHz ausgele-

sen werden. Dies gestattet die volle Nutzung der möglichen Bandbreite von 2 MHz. Die Datenblocklänge hängt in diesem Fall nur von der PC-Auswertung ab und ist nicht durch eine Hardware begrenzt. Typische Anwendungsgebiete dieses Interfaces sind hochauflösende Frequenzanalysen von erzwungenen Schwingungen an Mikroobjekten.

Oftmals bieten Systeme zur Schwingungsanalyse analoge Eingänge für die Sensoren. Die analoge Schnittstelle stellt deshalb einen Analogausgang zur Einbindung in solche Systeme zur Verfügung. Somit können auch konventionelle Schwingungssensoren einfach durch ein laserinterferometrisches Vibrometer ersetzt werden. Der Dyna-



▲ Einfache Messungen im Hochvakuum durch Aufstellen des berührungslos messenden Vibrometers außerhalb der Vakuumkammer

mikrobereich der Vibrometer der Serie LSV übersteigt bei weitem den Messbereich herkömmlicher Sensoren und die mit vernünftigen Aufwand handhabbare analoge Auflösung. Deshalb kann zur Anpassung an unterschiedliche Einsatzgebiete am analogen Ausgang der abgebildete Messbereich in sieben Stufen ($\pm 0,63 \mu\text{m}$ bis $\pm 2,6 \text{ mm}$) gewählt werden. Dies erfolgt normalerweise durch einen Drehknopf an der Frontplatte, kann aber auch über das PC-Interface durch eine entsprechende Software umgeschaltet werden. Ein zusätzlicher Eingang zum Zurück-/Nullsetzen des Analogsignals vereinfacht weiter die Anwendung. Insgesamt bietet die Analog-Interface-Karte eine Auflösung von 16 bit bei einer maximalen Ausgaberate von 10 MHz.

Auch wenn sich das laserinterferometrische Vibrometer der Serie LSV aufgrund der verschiedenen verfügbaren Schnittstellen in fast jedes Messsystem einbinden lässt, erfolgt erfahrungsgemäß in einem überwiegenden Teil der Anwendungen der autonome Betrieb mit einer PC-Software. Die INFAS-Vibro Software bedient das Vibrometer über die USB- oder RS232-Schnittstelle oder über eine DIO-Karte von National Instruments (PCI-6534)

im Zusammenspiel mit der Hochgeschwindigkeitsparallelschnittstelle des Vibrometers. Die Software erlaubt das Anzeigen, Speichern und Vorverarbeiten der Schwingungssignale. Durch die Aufzeichnung der Rohsignale können die Messungen ohne Einschränkung auch offline analysiert werden. Ein konfigurierbarer Export in ASCII-Daten erlaubt die Weiterverarbeitung sowohl der Roh- als auch von vorverarbeiteten Signalen. Zur Integration in eigene Anwendungen ist INFAS-Vibro über TCP-IP durch ein einfaches Protokoll ansteuerbar.

Mechanische Schwingungen berührungslos analysieren und messen

Anwendungen für laserinterferometrische Vibrometer der Serie LSV gibt es in allen Bereichen, in denen mechanische Schwingungen berührungslos analysiert und gemessen werden müssen. Wesentliche Vorteile gegenüber anderen Verfahren der Schwingungsmessung sind die berührungslose und somit rückwirkungsfreie Arbeitsweise, der große Messbereich bei einer Wegauflösung von weniger als einem Nanometer im Zeitbereich, der durch die

FFT im Frequenzbereich noch weiter auf unter 80 Pikometer gesteigert wird, und natürlich der Frequenzbereich von 0 Hz bis derzeit max. 2 MHz. Auch die Ermittlung von Schwingungsspektren, die Bestimmung von Eigenfrequenzen und Schwingungsformen ist möglich. Mit Hilfe von Mehrfachsystemen können Mehrkoordinatenmessungen ebenso wie Differenzmessungen durchgeführt werden.

Eine vakuumtaugliche Sonderausführung des Vibrometers der Serie LSV ist möglich, aber technisch sehr aufwendig. Oftmals ist es aber möglich, das Messobjekt durch ein Fenster der Vakuumkammer zu sehen und so die Messung durch das Fenster hindurch mit außen platziertem Messkopf durchzuführen. So ist sehr einfach eine Messung von in Vakuum liegenden Messobjekten möglich.

Das laserinterferometrische Vibrometer ist ein wertvolles Werkzeug für alle Anwendungen, bei denen eine genaue und berührungslose Messung der Objektbewegung erforderlich ist. Durch die berührungslose Arbeitsweise bieten sich die Möglichkeiten der schnellen Analyse der Objekte an unterschiedlichen Positionen ohne eine mechanische Beeinflussung durch den Sensor. Das System zeichnet sich durch hohe Präzision, hohe Auflösung und einen sehr breiten Frequenzbereich aus. Der durch das Zoomobjektiv flexible Messbereich, die vielfältigen Interfaces der Auswertelektronik sowie die umfangreiche Softwareunterstützung machen die Vibrometer der Serie LSV zu einem wichtigen Messmittel in der Produktion, der Qualitätssicherung sowie Forschung und Entwicklung.

■ INFO

Autoren:
Dr.-Ing. Denis Dontsov, Dr.-Ing. Ralf Schüler
SIOS Meßtechnik GmbH
Am Vogelherd 46
98693 Ilmenau
Tel.: 03677 64470
Fax: 03677 64478
E-Mail: info@sios.de
www.sios.de