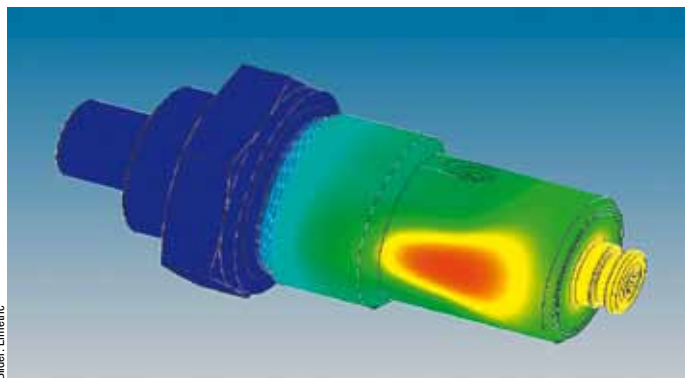


Hydrauliköl vor der **Linse**

Unerwünschte Partikel erfassen und zählen mit neuer Messzelle

Die Online-Zustandsüberwachung von Arbeitsfluiden war bis dato keine leichte Aufgabe für Betreiber und Instandhalter von Maschinen und Anlagen. Die FCS100-Baureihe von Elmetric überwindet die bisherigen Probleme mit einer vollkommen neu gestalteten Messzelle und rückführbarer Feldkalibrierung durch den Benutzer.

Bildmontage: enly4denn - Fotolia



Bilder: Elmatic

Verschiedene Druckbereiche innerhalb der Komponente in einer Simulation.



Im eingebauten Zustand verschwindet der Sensor fast vollständig.

Bei der Zustandsüberwachung von Arbeitsfluiden (insbesondere Hydraulikölen und Schmierstoffen) sind bereits viele Lösungen entwickelt worden, die zuverlässig wichtige Fluidparameter in bestimmten Bereichen messen. Obwohl die verfügbaren Geräte im Grunde ihre Arbeit tun, konnten sie sich nicht auf breiter Basis etablieren.

Die Gründe dafür sind komplex. Einige gravierende Nachteile dieser Geräte sind die unzureichende Integrationsfähigkeit, strömungstechnisch, mechanisch und elektronisch, ihr geringer Messbereich und ihre geringe Beständigkeit gegen raue Umweltbedingungen wie Temperatur, Vibration, Feuchte, Druck und so weiter. Darüber hinaus sind sie groß und teuer.

Die Kalibrierung der Sensoren als Teil eines effektiven Qualitätsmanagements ist zudem unbefriedigend. Folglich sind die wesentlichen Anforderungen an einen Sensor, der in allen Bereichen der Mobilhydraulik eingesetzt werden soll:

- Miniaturisierung, einhergehend mit einem robusten und montagefreundlichen Gehäuse
- eine einfache, fluidische Integration ohne zusätzliche Fluidkonditionierung, zum Beispiel externe Volumenstromregler
- die Verträglichkeit mit allen gängigen Fluiden ohne zusätzliche Gerätevarianten
- das Fehlen zusätzlicher Elektronik

Technik im Detail

Elektrische Schnittstellen

Die Sensoren der FCS100-Baureihe kommen mit vielen bereits integrierten Standardschnittstellen:

- LIN
- NMOS-Schaltausgang
- analoger Strom- und Spannungsausgang und
- Feldbus-Schnittstellen EIA-485 und CAN mit Anschlussbelegung nach CiA 303-1.

Die jeweils benötigte Schnittstelle kann jederzeit über ein Firmware-Update aktiviert und so an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Eine umfangreiche Lagerhaltung entsprechender Sensormodelle ist daher nicht erforderlich. Der elektrische Anschluss wird mit einem fünfpoligen M12-Sensorstecker hergestellt. Der Versorgungsspannungsbereich von neun bis 60 Volt umfasst alle in der Mobilhydraulik eingesetzten Batteriespannungen (zwölf, 24 und 42 Volt). Der Gesamtstromverbrauch beträgt 500 Milliwatt.

- geringer Stromverbrauch
- keine Notwendigkeit für mechanische Adapter
- ein erheblich erweiterter Messbereich in Bezug auf Partikelgröße und -konzentration.

Die Online-Berechnung einer systemspezifischen Risikokennzahl sollte auch möglich sein, weil damit dem Anlagenbetreiber eine einfache Auswertemöglichkeit gegeben wird, beispielsweise nach dem Ampelprinzip.

Neben der Beherrschung aller gängigen Standards sollte die zusätzliche Unterscheidung von Materialzusammensetzung (Feststoff, Gas, Eisenmetalle, Nichteisenmetall) unterstützt werden, weil damit schnell weitreichende Rückschlüsse auf mögliche Störungsursachen gezogen werden und in bestimmten Fällen sogar sofort automatische Maßnahmen eingeleitet werden können, die zum Beispiel die Zerstörung teurer Komponenten während ihres Betriebs verhindern können. Andere wünschenswerte Merkmale sind ein großer Arbeitstemperaturbereich und Unempfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit und Spritzwasser.

Die Sensoren sollten zudem auch alle praktischen Druckbereiche abdecken und vibrationsbeständig sein. Dies sind offensichtlich konkurrierende Parameter, und es schien zunächst keine Lösung geben – zumindest nicht mit früheren Designs.

Hindernisse auf dem Weg zum Mini-Sensor

Die Sensoren bestehen üblicherweise aus einer Messzelle, die aus zwei planparallelen Glasplatten gebildet wird, die durch eine Metallstruktur auf Abstand gehalten werden und so eine Kapillare mit rechteckigem Querschnitt bilden. Eine Lichtquelle, in der Regel eine Laserdiode, erzeugt einen Lichtvorhang, der senkrecht zu der Richtung der Strömung in der Kapillare steht.

Durch diese Messzelle wird das Licht an einem Punkt auf der optischen Achse des Fotodetektors gesammelt und in ein analoges elektrisches Signal umgewandelt, das anschließend elektronisch verarbeitet und ausgewertet wird.

Diese gängige Konstruktion beinhaltet jedoch grundlegende Nachteile, die eine Miniaturisierung verhindern. Zunächst erfordert sie einen großen Abstand zwischen Lichtquelle und Fotodetektor. Es sind außerdem elastische, innere Dichtungen erforderlich, welche die Kompatibilität mit den verschiedenen Arbeitsfluiden begrenzen, zum Beispiel Mineralöl und Phosphatester.

Dickwandige Glasplatten, die es ermöglichen würden, hohe Druckfestigkeiten zu erreichen, können nicht verwendet werden. Die metallische Struktur, die den Messkanal bildet, ist fluidtechnisch suboptimal und kann zudem leicht verstopfen. Bei diesem



Druckfestigkeit war eines der Ziele bei der Entwicklung der neuen Messzelle.

Aufbau der Messzelle können weder Magnetspulen koinzident noch Streulichtdetektoren an geeigneter Position angeordnet werden, mit denen der Unterschied zwischen Partikeln aus nichtmetallischen Feststoffen, Eisen- oder Nichteisenmetallen und Gaspartikeln möglich wäre.

Neukonstruktion der Messzelle

Ausgangspunkt für das Design des neuen Sensors waren die gleichzeitige Erfüllung der Forderungen nach einer druckstabilen Messzelle mit einem geringen Abstand zwischen der Lichtquelle und dem Fotodetektor und die deckungsgleiche Anordnung einer Differenz-Magnetspulenkonfiguration sowie einem Detektor zur Erfassung von Streulicht.

Die Messzelle wird in diesem Entwurf mit einer schlanken und extrem druckfesten zylindrischen Glaskapillare realisiert. Das Spulensystem ist coaxial um die Kapillare mit einer Lücke angeordnet, sodass das Licht hindurch passieren kann. Im Gegensatz zu den häufig verwendeten Laserdioden wurde eine kompakte Stapelstruktur verwendet.

Die Messstrecke besteht aus einer neuen Halbleiter-Lichtquelle, einem neuen Mikroobjektiv, der druckstabilen Kapillare, dem gleichen Mikroobjektiv, vorgeschaltet zum Fotodetektor, der die Lichtsignale in elektrische Signale umwandelt.

Die Lichtquelle besteht aus einem kundenspezifischen Dünnschicht-AlN-Substrat und einer aufgebondeten, speziellen, linienförmigen LED in Flip-Chip-Bauweise. Dieser Stapel kann direkt auf die Leiterplatte im automatischen Bestückungsprozess gesetzt und im Standard-Reflow-Verfahren gelötet werden. Die Mikroobjektive werden nach dem Löten auf die gegenüberliegende Seite ebenfalls im sogenannten automatischen Pick-and-Place Verfahren aufgebracht, was eine wichtige Voraussetzung für Präzision, Sauberkeit und geringe Montagekosten ist.

Um den relativ großen Lichtpfad durch die dickwandige Kapillare zu überbrücken, wurde ein neues Triplet entwickelt, also ein Objektiv aus drei Linsen. Die direkte optische Verkittung zwischen der Linse und der Lichtquelle beziehungsweise dem Detektor und der Kapillare vermeidet weitgehend sowohl Reflexionsverluste als auch die optische Verzerrung durch die zylindrische Kapillare.

Gleichzeitig erhöht sich die Lichtextraktion aus dem Halbleiterkristall. Aus dem Licht, das die LED emittiert, wird zunächst mit einer Zerstreuungslinse ein verkleinertes aufrechtes Zwischenbild



Die Lichtquelle besteht aus einem speziellen Substrat und einer linienförmigen LED in Flip-Chip-Bauweise.

Förderprogramm für Umweltprojekte

Kostenlose Software

„Wir fördern Unternehmen, die die Umwelt fördern“, heißt es auf der Webseite von Autodesk. Der Softwarehersteller ist von der umweltschonenden Technologie überzeugt und hat Elmetric daher in das „Autodesk Clean Tech Partner Program“ aufgenommen.

Durch die Aufnahme in Förderprogramm ermöglichte es der Softwarehersteller dem Unternehmen, von Anfang an professionelle Softwarewerkzeuge einzusetzen. Dadurch blieben dem Hersteller einige kostspielige und zeitaufwendige Wiederholungen von Entwicklungsschritten erspart. Gleichzeitig übte sich die Verfügbarkeit der, übrigens leicht zu erlernenden Software-Werkzeuge, auch positiv auf die Motivation der Mitarbeiter und die Qualität der Konstruktionsergebnisse aus.

Als Anwender hebt der Sensorhersteller das reibungslose Zusammenspiel der Autodesk-Werkzeuge mit anderen Expertensystemen hervor, die bei diesem komplexen Projekt zum Einsatz kamen, wie zum Beispiel die Berechnungsprogramme für optische Systeme oder Systeme für die Leiterplattenentflechtung und die dreidimensionale Überprüfung der Ergebnisse in einem kompletten Zusammenbau. Das Unternehmen verwendete die Design und Creation Suites für Entwicklung, Simulation, Überprüfung und Visualisierung der komplexen, technischen Strukturen.

Der Sensor unterscheidet Gasblasen von Feststoffteilchen anhand des Streulichtes. Das Volumen der Gasblasen errechnet der Sensor und gibt es in Echtzeit aus. Die Auflösung beträgt dabei ein ppm.



Bild: Elmetric

erzeugt. Die mittlere Linse wurde als Meniskus ausgebildet und sorgt für die Verschiebung der optischen Hauptebene der Gesamtanordnung in Richtung der Kapillare. Dadurch ist es möglich, nicht nur die Länge der optischen Achse zu verkürzen, sondern auch eine Verkleinerung zur weiteren Fokussierung zu erreichen, um die optische Auflösung zu verbessern, ohne das Abbildungsgesetz zu verletzen.

Kapillare hell ausleuchten

Der Lichtübergang in die Kapillare erfolgt schließlich durch den ebenfalls optisch verkitteten Kondensator. Dies minimiert die Reflexionsverluste und sorgt für eine hohe Lichtintensität im Inneren der Kapillare. Da in einem optischen Abbildungssystem das Bild und das Objekt gegenseitig austauschbar sind, ist es möglich, die gleiche Struktur für die Detektorlinsen zu verwenden. So konnten Investitionen in optische Spritzgusswerkzeuge reduziert werden. Durch die so entstandenen Gleichteile wurden Material- und Montagekosten reduziert. Bei den Linsen handelt es sich ausnahmslos um Asphären, wodurch eine extrem scharfe und praktisch rein beugungsbegrenzte Abbildung erreicht wurde.

Dieser optische Aufbau erzeugt ein intensives, linienförmiges Lichtfeld innerhalb der Kapillare, durch welche das Fluid strömt. Das Lichtfeld interagiert mit den hindurch passierenden Partikeln wie folgt: 100 Prozent der großen Teilchen werden erfasst. Diese großen Partikel sind immer auch in geringer Konzentration im Fluid enthalten. Je kleiner die Partikel, desto weniger passieren den intensiven Bereich und werden also seltener detektiert. Das optische System ist in seiner dreidimensionalen Form so gestaltet, dass

die größenabhängige Detektion genau der natürlichen Größenverteilung der Partikel entspricht: je kleiner sie sind, desto höher ist ihre natürliche Konzentration in der Suspension. Weiter ist das Verhältnis des Messsignals zur Teilchengröße stets linear, was zusammen mit der großen Übertragungseffizienz der Lichtstrecke, einen sehr großen Messbereich von ein Mikrometer bis 500 Mikrometer ermöglicht.

Die größenabhängige Detektion erweitert die maximal messbare Partikelkonzentration. Die Messbereichserweiterung beträgt mehr als fünf ISO-Klassen. Dadurch eignen sich die Sensoren für stark verunreinigte Flüssigkeiten, deren Verschmutzung bisher nicht gemessen werden konnten.

Luftblasen erkennen

Senkrecht und koinzident zu der optischen Achse ist ein Streulichtdetektor angeordnet, der ebenfalls synchron zum Signal des Exstinktionsdetektors das Signal des gestreuten Lichts erfasst. Die synchrone Erfassung und Analyse beider Signale bildet die Grundlage für die Unterscheidung der Feststoffpartikeln von Gasblasen.

Zwei weitere wesentliche Merkmale sind von großer Bedeutung: Erstens haben feste Partikel eine unregelmäßige und grobe Oberflächenstruktur, was diffuses Streulicht hervorruft, während es sich bei den Gasblasen um perfekte Kugeln handelt, mit optisch glatten Oberflächen und geometrisch reproduzierbaren Reflexionseigenschaften.

Zweitens haben feste Partikel entweder einen hohen Brechungsindex und/oder eine hohe Absorptionsfähigkeit von Licht, während die Gasblasen einen Brechungsindex von eins aufweisen, der stets niedriger ist als der des Fluids.

Daraus resultieren Streulichtsignale, die proportional zu der Partikelgröße sind und damit auch proportional zur Stärke des Exstinktionssignals. Andererseits ist das Streulichtsignal im Fall von Gasblasen immer deutlich größer als das Streulichtsignal von Feststoffteilchen.

Durch die nahezu perfekte geometrische Definition der Gasblasen kann ihr Volumen genau berechnet werden. Der Volumenanteil von freiem Gas wird in ppm (parts per million) vom Sensor in Echtzeit berechnet und ausgegeben. Der Messbereich beträgt 10.000 ppm, was einem Volumenprozent entspricht, mit einer Auflösung von ein ppm.

Einfache Anwendung in hydraulischen Komponenten

Nicht nur die Kosten des Sensors selbst bestimmen den Nutzen für den Anwender, sondern auch der erforderliche Gesamtaufwand für seine Systemintegration. Die folgenden Punkte sind dafür von entscheidender Bedeutung:

- Einbauraum
- Hydraulikanschluss und
- Fluidkonditionierung.

Um die Integration des Sensors in kleinere hydraulische Komponenten wie Pumpen, Zylinder, Filtergehäuse und so weiter zu ermöglichen, muss der Sensor nicht nur sehr klein sein, sondern er sollte direkt an die Druckleitung angeschlossen werden können.

Zu diesem Zweck werden von Elmetric Varianten mit integriertem Stromregler angeboten. Damit ist sichergestellt, dass der Sensor unabhängig vom Eingangsdruck stets mit der richtigen Ölmenge versorgt wird. Der nun erreichte Grad der Miniaturisierung ermöglicht erstmals bei Partikelzählern eine Gehäuseform kon-

Automatisierung

form zur ISO-7789, wie sie zum Beispiel bei kompakten Cartridgeventilen eingesetzt wird.

Ferner ermöglicht das Design des Sensors es, auf die Verwendung von inneren Dichtungen aus Elastomeren zu verzichten. Damit entfallen spezielle Sensorvarianten für Mineralöl und Phosphatester.

Protokolle für die Datenübertragung

Um alle Sensordaten in Echtzeit anzuzeigen, stellt der Anbieter eine PC-Software kostenlos zur Verfügung. In diesem Fall werden die Daten von dem Sensor über EIA-485 mit einem proprietären Protokoll übertragen und sofort grafisch dargestellt. Alle Daten werden in Echtzeit mit dem DSP des Sensors berechnet und sind ohne eine zusätzliche Programmierung in dem System des Benutzers verfügbar.

Ebenfalls erhältlich ist ein galvanisch getrenntes USB-Datenkabel, über das der Sensor gleichzeitig mit Spannung versorgt wird. Eine separate Stromversorgung ist nicht erforderlich. Für den Feldeinsatz ist das CANopen-Protokoll gemäß der betreffenden CiA-Empfehlungen vorgesehen. Alle Daten des Sensors sind darüber für den Benutzer zugänglich. Für das einfache Setup des Host-Systems wird ein entsprechendes Electronic Data Sheet zur Verfügung gestellt.

Die niedrige Reaktionszeit des Sensors auf plötzliche Änderungen des Zustands der Arbeitsflüssigkeit ist möglich dank des geringen Totvolumens des Sensors von dem Eingang zum Messpunkt. Es beträgt nur 35 Mikroliter und macht damit den Sensor zur ersten Wahl für die Auswertung von Flaschenproben, wo naturgemäß nur ein begrenztes Volumen des Fluids zur Hand ist.

Partikelsensor vor Ort kalibrieren

Um ein wirksames Qualitätsmanagement zu gewährleisten, ist es unter anderem notwendig, die verwendeten Messgeräte in festgelegten Zeitabständen zu überprüfen. So gehört beispielsweise die Kalibrierung von Längenmessgeräten oder Voltmetern zum Standard und wird von Kalibrierdienstleistern angeboten. Partikelsensoren sind, was dies angeht, bei den einschlägigen Dienstleistern jedoch außen vor. Auch können Anwender ihre Sensoren nicht selbst kalibrieren. Das liegt daran, dass Suspensionen von Natur aus nicht rückführbar kalibrierfähig sind. Dies scheidet wegen der Unmöglichkeit, ein bestimmtes Partikel unter Millionen anderer in einer Suspension einem Detektorsignal eindeutig zuzuordnen. Die Sensoren werden daher mit einer teuren Referenzflüssigkeit mit einer bestimmten Partikelkonzentration und -verteilung kalibriert. Dieses Verfahren ist teuer und zeitaufwendig und steht einer breiten Anwendung der Geräte entgegen.

Für die FCS100-Baureihe wird es zum ersten Mal ein System geben, das diese Nachteile nicht aufweist. Auf einem Glassubstrat mit lithographisch aufgebracht Strukturen, das kontrolliert in die Messzelle eingeführt wird, kalibrieren Anwender die Sensoren schnell und kostengünstig, sogar vor Ort. Die Mikrostrukturen der Kalibriernormale können von den einschlägigen Diensten überprüft und kalibriert werden.

Dies ermöglicht es Benutzern, ihre Systeme mit preiswerten Partikelsensoren auszustatten und ihr ordnungsgemäßes Funktionieren während des gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten. *do*



Autor

Bernd Donner, Elmetric