

SCHICHTDICKENMESSUNG MIT SIDSP-TECHNOLOGIE

Optimale Störsicherheit mit Digitaltechnik

Intelligente Sensoren mit integrierter digitaler Signalverarbeitung setzen sich in immer mehr Anwendungen durch. Da der erhebliche Zugewinn an Störsicherheit, Wiederholpräzision, Langlebigkeit und Zuverlässigkeit der Geräte keinen Preisaufschlag kostet, ist es nur eine Frage der Zeit, bis sich „digital“ auch in der Schichtdickenmessung durchsetzt.

Das Grundprinzip der elektromagnetischen Schichtdickenmessung in analoger Technologie stammt aus den 1970er Jahren. Es wurde kontinuierlich weiterentwickelt, lässt jedoch noch immer viele Wünsche offen. Analoge Schichtdickenmessgeräte sind zuverlässig, solange sie unter von externen Störeinflüssen freien Nutzungsbedingungen eingesetzt werden.

Genau dies ist in der Praxis jedoch nicht immer der Fall. Messergebnisse können zum Beispiel durch elektromagnetische Störfelder, ungenügende Messsignal-Filterung, schnelle Temperaturschwankungen, unpräzise Linearisierung oder zu wenig Messungen verfälscht werden, ohne dass dies dem Anwender stets bewusst ist.

Die Ursachen für diese Schwächen liegen darin, dass sich die Analogtechnik beim derzeitigen Stand nur noch mit unverhältnismäßig hohem Aufwand weiter verbessern lässt und einige Probleme sich prinzipiell mit analogen Mitteln nicht beseitigen lassen. So ist beispielsweise eine optimale Messsignalfilterung mit analoger Technik wegen des damit verbundenen hohen Aufwands und enormer Stabilitäts- und Temperaturprobleme schlichtweg nicht zu realisieren.

Analoge Schichtdickenmessgeräte sind ein Kompromiss von Nutzen und

Kosten. Wird der Bereich idealer Nutzungs- und Rahmenbedingungen verlassen und addieren sich Störeinflüsse, so besteht das größte Problem darin, dass dies unkontrolliert geschieht. Niemand sieht den Messwerten an, ob und wie stark sie gerade gestört sind.

Die Störeinflüsse können sogar vorübergehend stabil sein, so dass sie weder durch Messwiederholungen noch durch Kalibrierungsmaßnahmen entdeckt werden. Die unkontrollierte und dem Anwender zum Teil nicht bewusste Verfälschung von Messwerten musste so lange hingenommen werden, wie es technisch keine Alternative gab. Die digitale Signalverarbeitung bietet hier nun endlich eine Lösung der Problematik.

Analoge und digitale Schichtdickenmessung

Herkömmliche analoge Schichtdickenmessgeräte übertragen die Messsignale mittels Kabel an die Geräteelektronik, um sie hier technisch umständlich und störanfällig analog zu verarbeiten. Ein solches Gerät benötigt bis zu acht analoge Baugruppen mit zum Teil teuren Präzisionsbauteilen, zum Beispiel temperaturstabilen Verstärkern, Kondensatoren und Spannungsreglern für meist mehrere Spannungen, die viel Raum in Anspruch nehmen, umständliche Schal-

tungsprinzipien benötigen und während der Fertigung des Geräts genauestens geprüft, thermisch gealtert und teilweise selektiert werden müssen.

Digitale Sensoren zur Schichtdickenmessung nach dem magnetinduktiven und Wirbelstromverfahren enthalten die gesamte Signalerzeugungs-, Mess- und Auswertungstechnik im Sensor. Alle notwendigen Steuersignale werden digital im Sensor erzeugt, und die erhaltenen Messsignale werden vor Ort digital komplett aufbereitet und verarbeitet. Erst die fertigen, ebenfalls digitalen Schichtdickenwerte werden an das Basisgerät übertragen, um sie anzuzeigen, statistisch auszuwerten und zu speichern.

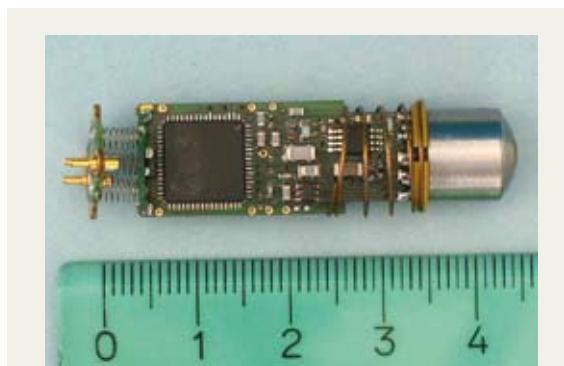
Der Entwickler dieser Technologie, die Firma ElektroPhysik, hat ihr den Namen sensor-integrierte digitale Signalverarbeitung (SIDSP – aus der englischen Entsprechung Sensor Integrated Digital Signal Processing) gegeben. Ein SIDSP-Schichtdicken-Sensor benötigt nur noch zwei einfach und kompakt zu realisierende analoge Baugruppen: einen Treiberverstärker zur Ansteuerung des Sensorkopfs und einen Messverstärker zur Verstärkung des vom Sensorkopf gelieferten Messsignals; eine einzige Betriebsspannung genügt. Die Wandler zur Umwandlung zwischen analog und digital sind in dem verwendeten modernen

Mikrorechner integriert und erzeugen beziehungsweise verarbeiten unmittelbar die für die Messung benötigten Wechselspannungssignale.

Alle anderen, sonst erforderlichen analogen Baugruppen fallen weg und werden durch entsprechende Rechenvorschriften innerhalb der digitalen Signalverarbeitung ersetzt. Da in kleinen Bauformen verfügbare Standardbauteile und hochintegrierte Digitalbauelemente eingesetzt werden und die Gesamtanzahl der benötigten elektronischen Bauelemente um bis zu 50 % reduziert wird, kann die komplette Mess- und Verarbeitungselektronik so stark miniaturisiert werden, dass sie in den Sensor hineinpasst.

Weil weggefallene Bauteile logischerweise nicht ausfallen können und anfällige Präzisionsbauteile nicht mehr benötigt werden, wird auch die Ausfallhäufigkeit des gesamten Messgeräts wesentlich verringert und damit seine Zuverlässigkeit durch SIDSP deutlich erhöht. Darüber hinaus ist das Messsignal innerhalb der gesamten weiteren digitalen Verarbeitung gegen jegliche Störungen vollständig geschützt.

Intelligente Sensoren mit digitaler Signalverarbeitung sind in der Messtechnik auch heute schon verbreitet. Messverfahren mit technisch „einfachen“ Signalen wie zum Beispiel Druck-, Temperatur- oder Dehnungsmessung (Gleichspannungssignale, lineare Sensorkennlinien) nutzen die Vorteile der Digitaltechnik bereits. Die Schichtdickenmesstechnik mit ihren technisch „anspruchsvollen“ Signalen (Wechselspannungssignale, unterschiedliche Frequenzen, nichtlineare Sensorkennlinien) wird von dem Trend hin zu intelligenten Sensoren erst jetzt erfasst, da die Entwicklung hier mehr



Einfacher Aufbau: SIDSP-Sensor (FN5) mit miniaturisiertem Elektronik-Modul, montiertem Messkopf und Kabel-Adapter



Komplett montierter SIDSP-Sensor. Alle notwendigen Messsignale werden vor Ort digital komplett aufbereitet und verarbeitet.

Know-how erfordert und deutlich schwieriger ist.

Elektromagnetische Störungen in der Schichtdickenmessung

In der EMV-Norm EN 61000 sind die gesetzlich vorgeschriebenen Anforderungen für Elektrogeräte bezüglich ihrer Störstrahlungsaussendungen und ihrer Unempfindlichkeit gegenüber externen Störeinstrahlungen definiert. Diese für alle elektronischen Geräte gültige Norm bezieht sich auf hochfrequente elektromagnetische Störungen (zum Beispiel UKW, Mobilfunk, Fernsehen). Die Messgenauigkeit von Schichtdickenmessgeräten wird hingegen eher durch niederfrequente Störungen beeinträchtigt, die in der Norm EN 61000 nicht berücksichtigt

werden und deren Aussendung daher auch nicht geprüft wird.

Typische Störer sind hier zum Beispiel Computer-Monitore, Elektromotoren, Trafos oder Stromrichter. Wer ein analoges Schichtdickenmessgerät gegen solche Störgrößen abschirmen will, der muss als wichtigste Maßnahme gut abgeschirmte und daher mechanisch unflexible Sensorkabel einsetzen, insbesondere bei größeren Kabellängen. In der Praxis wird hier ein Kompromiss zwischen Abschirmfähigkeit und mechanischer Flexibilität eingegangen. Das Problem ist hier, dass man den analogen Messwerten nicht ansieht, ob und wie stark sie gerade gestört sind.

Störsicherheit: 20 mV analog oder 4000 mV digital?

Herkömmliche Schichtdickenmessgeräte übertragen das analoge Messsignal mit einem Signalpegel von circa 0,02 Volt an die im Gerät befindliche Verarbeitungselektronik. SIDSP-Systeme arbeiten dagegen mit einem digitalen Signalpegel auf dem Kabel von etwa 4 Volt. Dank dieser um den Faktor 200 höheren Pegelstärke ist das digitale Signal bereits per se viel besser vor Störungen geschützt als sein analoges Pendant. Enthält ein analoges Signal die gesamte Messwertinformation in seinem kontinuierlichen Signalverlauf, so besteht ein digitales Signal nur aus aufeinanderfolgenden Werten 0 oder 1, entsprechend den Spannungen 0 Volt und 4 Volt.

Es reicht hierbei völlig aus, lediglich diese beiden Zustände unterscheiden zu können. Ein digitales Signal darf daher bis knapp unterhalb 50% seines Pegels gestört sein, ohne dass Information verloren geht. Angenommen, der für eine bestimmte Anwendung aus Genauigkeitsgründen maximal zulässige Störpe-



SIDSP-Schichtdickenmessgerät mit grafikfähigem Display. Der Sensor überträgt die fertigen digitalen Schichtdickenwerte an das Basisgerät, das die Werte anzeigt, statistisch auswertet und speichert.

gel liegt bei 1 % des Messsignalpegels, so ist dieser Grenzwert bei einem üblichen Analogsignal auf dem Kabel schon bei etwa 0,0002 Volt erreicht, während ein typisches 4-Volt-Digitalsignal auf dem Kabel unabhängig von der 1 %-Forderung bis zu etwa 2 Volt gestört werden darf. Das digitale Signal auf dem Kabel ist in diesem Beispiel also um den Faktor 10 000 störsicherer als das Analogsignal.

Wird ein Messsignal auf dem Weg vom Sensor hin zur Geräteelektronik gestört, so wird dies bei einem analogen Schichtdickenmessgerät nicht bemerkt. Ein SIDSP-Sensor stellt die Datenintegrität des Digitalsignals jedoch mittels CRC, einem bewährten und weitverbreiteten Fehlererkennungs- und korrekturverfahren, sicher. Während reine Prüfsummenverfahren beschädigte Daten nur identifizieren können, ist mit CRC in einer erweiterten Form bis zu einem gewissen Störgrad sogar eine Fehlerkorrektur möglich.

Selbst im äußerst unwahrscheinlichen Fall eines länger andauernden aufgeprägten Störsignals von mehr als 50 % des Digitalpegels, dessen Einwirkung nicht mehr korrigiert werden kann, erzeugt der SIDSP-Sensor keine falschen Messwerte, sondern die Störung wird zuverlässig erkannt und eine Fehlermeldung angezeigt, zum Beispiel „Sensor-Kommunikation nicht möglich“.

Bei einem Analoggerät ist bereits bei Störpegeln in der Größenordnung des Messsignals, das heißt circa 20 mV, die Schichtdickeninformation völlig verfälscht, ohne dass die Fehlereinwirkung sicher erkannt werden kann; eine Fehlerkorrektur ist hier vom Prinzip her nicht möglich. Die Digitaltechnik hingegen bietet hier einen fast hundertprozentigen Schutz.

Hohe Störsicherheit, Präzision und Zeitersparnis durch digitale Filter

Bei einem SIDSP-Sensor ist die Messelektronik aufgrund ihrer Miniaturisierung und metallischen Abschirmung gegen äußere Störeinflüsse hervorragend geschützt. Jedoch kann auch der Messkopf selbst Störungen einfangen, die üblicherweise durch Filterung des Messsignals verringert, im Idealfall sogar komplett beseitigt werden.

Die Anforderungen an ein solches Messsignalfilter sind sehr hoch. Es soll möglichst alle Störungen herausfiltern, ohne das Signal selbst zu verfälschen. In der Fachwelt spricht man hier von einem „schmalbandigen“ und „signaltreuen“ Filter. Da sich analoge Filter nicht mit der für die hinreichende Erfüllung der Anforderungen benötigten Filterordnung und Filtercharakteristik realisieren lassen – dies würde zu enormen Aufwands-, Stabilitäts- und Temperaturproblemen führen –, geht man in der

Filtertechnik bei Analoggeräten oft erhebliche Kompromisse ein.

Digitale Filter arbeiten hingegen ausschließlich auf Softwarebasis und können bezüglich Filterordnung und -charakteristik optimal an die Aufgabenstellung angepasst werden. Die digitale Signalverarbeitung eröffnet hier völlig neue Perspektiven, die mit analoger Technologie entweder überhaupt nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu realisieren sind. Anwender profitieren ganz konkret von folgenden Vorteilen:

Digitale Filter – schmalbandig, signaltreu und stabil

Werden Messsignale nicht analog mit Hilfe von Präzisionsbausteinen, sondern stattdessen digital auf Softwarebasis gefiltert, so lassen sich ohne jeglichen Hardwareaufwand Filter einer so hohen Filterordnung und -güte realisieren, wie es die jeweils vorliegende Aufgabe erfordert. Digitale Signalfilter sind optimal auf die Aufgabe, Störungen ohne Verfälschung des Messsignals herauszufiltern, angepasst. Digital verarbeitete Messwerte sind völlig frei von Systemstörungen und hochgradig reproduzierbar

Zuverlässige und langlebige Messgeräte mit bis zu 50 % weniger Bauteilen
Der Wechsel zur digitalen Signalverarbeitung reduziert die Anzahl der Bauteile eines Schichtdickenmessgerätes um bis zu 50 %. Da jedes Bauteil grundsätzlich eine potenzielle Fehlerquelle ist, führt dies zu einem erheblichen Zugesinn an Langlebigkeit und Schutz vor Fehlerquellen beziehungsweise Funktionsausfall im Lebenszyklus eines Gerätes. Digitale Filter sind darüber hinaus völlig temperaturunabhängig und alterungsbeständig. Ein SIDSP-Sensor besitzt also auch nach Jahren noch seine ursprünglichen Eigenschaften.

Zeitersparnis und Verlässlichkeit dank hoher Reproduzierbarkeit

Um einen ausreichend verlässlichen Messwert zu erhalten, wird für Schicht-

dickenmessgeräte in speziellen Industrienormen die Empfehlung gegeben, nacheinander fünf Messungen auf demselben Messpunkt durchzuführen und daraus den Mittelwert zu bilden. Die Reproduzierbarkeit des Mittelwerts ist dadurch um den Faktor 2,24 besser als die der einzelnen Messwerte.

Mathematisch bedingt lässt sich die Reproduzierbarkeit mittels Mehrfachmessungen nur mit erheblichem Mehraufwand steigern. So wären für eine weitere Verdopplung der Reproduzierbarkeit 20 statt 5 Messungen notwendig. Entscheidend für das Erreichen einer bestimmten angestrebten Ergebnis-Reproduzierbarkeit ist allerdings die Reproduzierbarkeit eines Einzelmesswerts. Je besser diese ist, umso weniger Einzelmessungen werden benötigt, um das jeweilige Ziel zu erreichen.

Bedingt durch die hohe Reproduzierbarkeit bei SIDSP-Sensoren kann auch eine Einzelmessung schon ein so gutes Ergebnis liefern, dass in vielen Fällen auf Mehrfachmessungen verzichtet oder deren Anzahl deutlich reduziert werden kann. Anwender profitieren so von einer erheblichen Reduzierung der Messzeit und können die damit verbundenen Kosten einsparen.

Digitaltechnik – Mehrwert ohne Preisaufschlag

Die SIDSP-Schichtdickenmesstechnik bietet entscheidende Vorteile, ohne dass diese vom Anwender mit einem Aufpreis bezahlt werden müssen. Das Preisniveau bleibt gleich, die Leistungsfähigkeit, Störsicherheit und Wiederholpräzision wächst jedoch dank digitaler Signalverarbeitung erheblich.

Aus diesem Grund ist es wahrscheinlich, dass Schichtdickenmessgeräte aller Hersteller mittel- bis langfristig ihre Messsignale digital verarbeiten werden. ElektroPhysik hat den Anfang gemacht. Weitere Hersteller haben die Einführung von Geräten mit digitaler Messsignalverarbeitung im Sensor bereits angekündigt. Alle anderen Anbieter werden die Entwicklung schnellstmöglich nachholen müssen, wenn sie wettbewerbsfähig bleiben wollen. —

Der Autor:
Dipl.-Ing. (TH) Thomas Rohde,
Entwicklungsleiter
ElektroPhysik GmbH & Co. KG
Köln, Tel. 0221 75204-0
thomas.rohde@elektrophysik.com,
www.elektrophysik.com



Digital von Anfang an. Nur die digitale Messtechnik bietet geringste Störanfälligkeit, höchste Reproduzierbarkeit und enorme Präzision. Mit ihr können erstmals Kompensationen, Berechnungen und Fehlerkorrekturen durchgeführt werden, die mit konventioneller Technik unrealistisch sind. ElektroPhysik ist der Pionier auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Schichtdickenmessung und weltweit führender

Hersteller von Messgeräten für die Oberflächentechnik. Das aktuelle Ergebnis unserer kontinuierlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist SIDSP® (Sensor Integrated Digital Signal Processing), das auch im **MiniTest 700** eingesetzt wird. Diese revolutionäre Technik verbessert Messgenauigkeit und Störfestigkeit auf ein bisher nicht mögliches Maß. Weitere Informationen finden Sie unter: www.elektrophysik.com



Qualität verpflichtet.

ElektroPhysik

Messgeräte für die Oberflächentechnik: Schichtdickenmessung Porenprüfung Wandstärkenprüfung