



Wegsensoren im Vergleich

Teil 2/5: Kapazitive Wegmessung und derer ganz speziellen Eigenschaften im Einsatz

In der Beitragsserie „Wegsensoren im Vergleich“ werden verschiedene Messverfahren vorgestellt und untereinander abgegrenzt. Ging es im letzten Teil der Serie um Wirbelstromsensoren, so befasst sich dieser Beitrag mit kapazitiven Sensoren. Beide zählen zu den elektromagnetischen und damit zu den klassischen Verfahren der Wegmessung in der Industrie. Auch in diesem Beitrag wird das Messprinzip erläutert und dargestellt, wann genau ein kapazitiver Sensor die bessere Lösung ist. Es wird auch behandelt, wann dem kapazitiven Sensor ein anderes Verfahren vorgezogen werden sollte, denn jedes Messprinzip hat ein ganz typisches Eignungsfeld.



Dipl. Wirtsch.-Ing. (FH)
Florian Hofmann
Marketing, technische
Redaktion, Micro-Epsilon

Beim kapazitiven Messprinzip agieren Sensor und Messobjekt wie ein idealer Plattenkondensator. Durchfließt ein Wechselstrom konstanter Frequenz und konstanter Amplitude den Sensorkondensator, so ist die Amplitude der Wechselspannung am Sensor dem Abstand zum Messobjekt (Masse-Elektrode) proportional.

Durch den Aufbau der Sensoren als Schutzringkondensatoren erreicht man in der Realität nahezu eine ideale Linearitätskennlinie. Für eine konstante Messung ist jedoch eine gleichbleibende Dielektrizitäts-Konstante zwischen Sensor und Messobjekt die Prämisse, das System reagiert äußerst empfindlich auf Änderungen des Dielektrikums im Messspalt. Kapazitive Sensoren messen auch gegen Isolatorwerkstoffe, da diese als geändertes Dielektrikum erfasst werden. Ein annähernd lineares Ausgangssignal wird auch für Isolatoren durch elektronische Beschaltung möglich. Als elektromagnetisches Verfahren misst ein kapazitives Messsystem standardmäßig auf alle Metalle mit gleichbleibender Empfindlichkeit und Linearität. Das System wertet den Blindwiderstand des Plattenkondensators aus, der sich streng proportional mit dem Abstand ändert.

In der grundsätzlichen Funktion eines kapazitiven Sensors breitet sich das Feld auch seitlich der Elektrode aus, wodurch eine fehlerhafte Abstandsinformation vermittelt werden

könnte. Zur Reduzierung dieses Randeffektes wird um die Elektrode ein Schutzring montiert, der das Feld eindämmt und ein sehr homogenes Messfeld erzeugt. Die vom Schutzring ausgehenden Feldlinien gehen nicht in die Messung ein. Diese Maßnahme ist mitunter für die lineare Kennlinie verantwortlich. Das Feld durchdringt aber auch Kunststoffe. Befindet sich ein Kunststoff im Messspalt, so kann die Dicke des isolierenden Werkstoffes zwischen den beiden Kondensatorplatten (Elektrode und Gegenfläche) ermittelt werden. Dabei wird die Änderung des Signals ausgewertet, die von der Permittivität und der Dicke des Isolators abhängt. Für eine zuverlässige Dickenaussage muss die Permittivität konstant sein.

Temperatur spielt keine Rolle

Kapazitive Systeme zählen zu den präzisesten überhaupt. Problem dabei ist, dass die äußerst geringen Abstände eine ebenso geringe Signaländerung hervorrufen. D.h. zwischen Sensor und Controller sorgen bereits wenige Elektronen für eine angezeigte Abstandsänderung. Fließen nun auf dem Weg von Sensor zum Controller auch nur extrem geringe Leckströme oder parasitäre Ströme, so ist die Abstandsinformation nicht mehr korrekt. Deshalb sind sehr aufwendige Triaxialkabel nötig. Dieses einzigartige und hermetisch abgeriegelte RF-Kabel sorgt für eine hohe Signalqualität. In Verbindung mit der vom Hersteller verwendeten Schutzring-Technologie werden sehr präzise Messungen möglich. Da thermisch bedingte Leitfähigkeitsänderungen des Messobjekts keinen Einfluss auf die Messung haben, ist das Prinzip auch bei starken Temperaturschwankungen stabil. Die Messelektrode ist sehr flexibel in der geometrischen Gestaltung. Als Plattenelektrode kann sie, je nach Kunden-

In der nächsten Ausgabe

Beitrag drei dieser Serie befasst sich mit Triangulationssensoren, breites Programm für umfangreiche Anwendungen.

wunsch, in unterschiedliche geometrische Formen gebaut werden.

Austausch ohne Kalibrierung

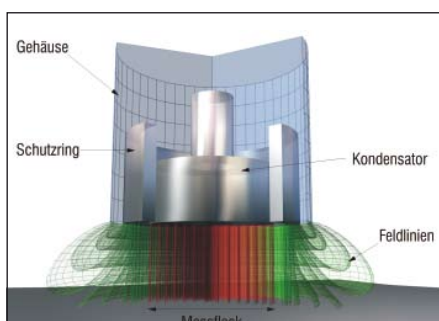
Die kapazitiven Sensoren capaNCDT zählen laut Hersteller zu den präzisesten. Es werden Auflösungen von weit unter einem Nanometer erzielt. Bei den kapazitiven Sensoren von Micro-Epsilon ist der schnelle Sensortausch ohne erneute Kalibrierung auffällig. Der einfache Wechsel von Sensoren mit unterschiedlichen Messbereichen sowie der Austausch verschiedener capaNCDT-Controller untereinander ist ohne Kalibrierung problemlos durchzuführen. Üblicherweise dauert ein Sensortausch nur wenige Sekunden. Auch anders als bei den meisten am Markt üblichen Systemen ist eine berührunglose Messobjekt-Erdung. Müssen zwei kapazitive Kanäle bspw. zur Dickenmessung synchronisiert werden, so ist das Messobjekt zu erden. Bei den Sensoren der capaNCDT-Serie übernehmen die Erdung die Controller, die paarweise synchronisiert immer automatisch gegenphasig arbeiten. Dadurch kann in den meisten Fällen eine häufig schwierige Messobjekterdung entfallen.

Auf die Umgebung achten

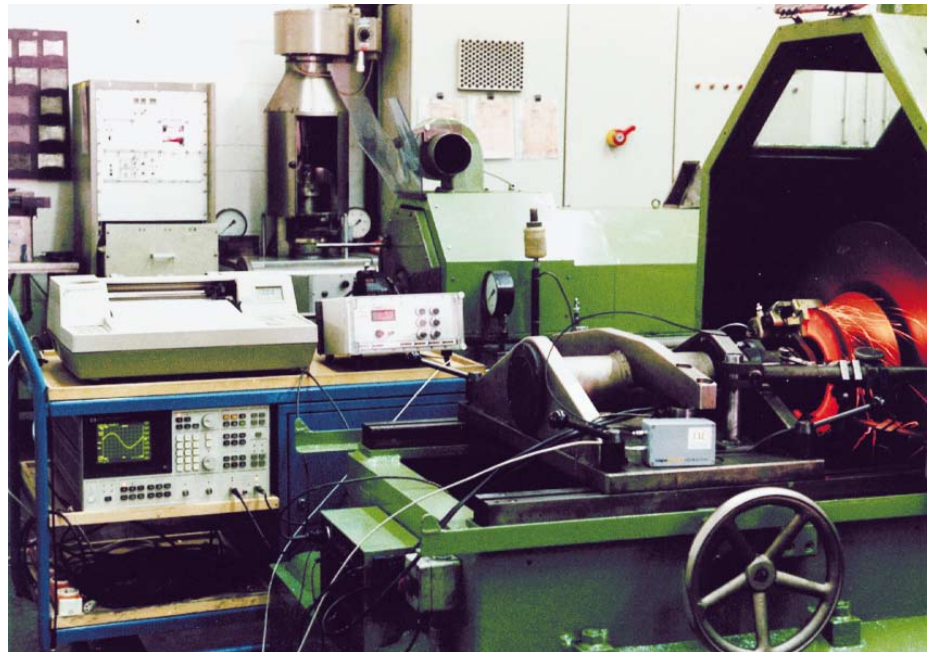
Bei diesem Messprinzip gilt es auf eine saubere und trockene Umgebung zu achten, da Änderungen des Materials zwischen Sensor und Messobjekt eine empfindliche Auswirkung auf das Signal haben. Ebenfalls muss die relativ geringe Kabellänge zwischen Sensor und Controller beachtet werden, die beim Standardgerät mit integriertem Vorverstärker mit 1 m definiert ist (je nach Modell bis 3 m möglich). Mit externem Vorverstärker sind zusätzlich bis zu 20 m Abstand zwischen Controller und Vorverstärker möglich. Soll der Sensor einen größeren Messbereich als einige wenige mm aufweisen, steigt die Größe der Sensorgeometrie immer schneller.

Wo werden kapazitive Sensoren eingesetzt?

Kapazitive Sensoren werden überall dort eingesetzt, wo präzise Ergebnisse gefordert werden. Sie werden verwendet um Vibrationen,



Das kapazitive Messprinzip. Der Schutzring erzeugt ein deutlich homogeneres Messfeld, als es ohne der Fall wäre.



Im Einsatz am Bremsenprüfstand. Die hohe Temperatur der Bremsscheibe hat kaum Einfluss auf die Messung. Es wird die Verformung der Bremsscheibe im Submikrometer-Bereich gemessen.

Auslenkung, Ausdehnung, Weg, Durchbiegung, Verformung, Dicke u.v.m. zu messen. Dabei werden kapazitive Sensoren häufig in der In-Prozess-Qualitätssicherung eingesetzt, da hier das geforderte saubere Umfeld für die Sensoren vorliegt.

Mit den neuesten kapazitiven Wegmesssystemen werden Auflösungen von bis zu 0,038 nm bei 0,05 mm Messbereich erreicht. Aufgrund der sehr guten Temperaturstabilität kann mit diesem Prinzip speziell bei Anwendungen gemessen werden, bei denen hohe Temperaturschwankungen auftreten und andere Prinzipien einen zu starken Temperaturdrift des Signals verzeichnen. Auch optische Verfahren bieten hier keine saubere Lösung, da beispielsweise glühende Metalle keine sauber Reflexion eines Laserpunktes zulassen, wonach ein fragwürdiges Ergebnis resultieren würde.

Anwendungsbeispiel: Bremsenprüfstand

Geeignetes Beispiel für dieses Messprinzip im Maschinenbau ist die Verformung einer Bremsscheibe unter Belastung. Um genaue Kenntnisse über die Verformung während des Bremsvorganges zu erhalten, muss diese unter extremen Bedingungen geprüft werden. In einem Prüfstand bewegt sich die Bremsscheibe mit einer Drehzahl von 2.000 U/min bei einer Temperatur von 600 °C. Für diesen Versuch wird ein Messsystem benötigt, das eine hohe Messrate oder Grenzfrequenz leistet und durch temperaturbedingte Änderungen der magnetischen und konduktiven Eigenschaften des Objekts nicht beeinflusst wird. Zudem muss der Sensor äußerst hochauflösend sein, da die Verformung bei unter 100 µm stattfindet. Bestens geeignet ist dafür das kapazitive Messprinzip,

das alle geforderten Bedingungen erfüllt. Das Wirbelstromprinzip käme hier nicht infrage, da es die hohen gradientenbedingten Leitfähigkeits- und Permeabilitätsschwankungen nicht voll kompensieren kann.

Anwendungsbeispiel: Solarzellen-Herstellung

In der Fotovoltaik-Industrie werden Messkanäle eingesetzt, um mittels mehrerer direkt gegenüberliegender Sensoren die Dicke und das Profil von Solarzellen-Wafern kontrollieren zu können. Die einzelnen quadratischen Wafer werden in den Mess-Stationen jeweils von oben und unten mit der gleichen Anzahl von Sensoren geprüft. Durch die Synchronisation der einzelnen Kanäle zueinander kann auch auf einen ungeerdeten Wafer gemessen werden. Genauigkeiten von weit unter einem µm sind möglich. Über den bekannten Abstand der Sensoren zueinander und die einzelnen Abstandswerte der Sensoren zum Wafer kann der Dickenwert des Wafers errechnet werden. Die im Vergleich zu Metallen schlechtere Leitfähigkeit von Silizium stellt bei den Messsystemen der Micro-Epsilon kein Problem dar, sogar GaAs-Wafer lassen sich unter bestimmten Umständen mit kapazitiven Systemen messen.

Kontakt

Dipl. Wirtsch.-Ing. (FH) Florian Hofmann
 Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co.
 KG, Ortenburg
 Tel.: 08542/168-225
 Fax: 08542/168-90
 info@micro-epsilon.de
 www.micro-epsilon.de