

## Kapazitive Sensoren zur Bestimmung von Weg, Abstand und Dicke

# Hochpräzise und stabile Messungen

Seit jeher sind kapazitive Sensoren als hochpräzise Messtechnologie für saubere Umgebung bekannt, die beispielsweise im Reinraum zu finden ist. Doch auch im industriellen Umfeld werden sie zunehmend eingesetzt – immer dann, wenn hohe Genauigkeit gefordert ist, keine Kräfte auf das Messobjekt ausgeübt werden dürfen, hochempfindliche Oberflächen eine Berührung nicht zulassen oder eine lange Lebensdauer der Sensoren Bedingung ist.

**Das Prinzip der kapazitiven Wegmessung** basiert auf der Wirkungsweise des idealen Plattenkondensators. Eine Abstandsverschiebung der Platten – Sensor und Messobjekt – bewirkt eine Änderung der Gesamtkapazität. 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.

Die Abstandsänderung des Messobjekts zum Sensor wird im Controller abgegriffen, aufbereitet und als Messwert über verschiedene Ausgänge zur Verfügung gestellt. Für eine stabile Messung ist eine gleichbleibende Dielektrizitäts-Konstante zwischen Sensor und Messobjekt erforderlich, da das Messsystem nicht nur vom Abstand der Elektroden abhängt, sondern auch auf Änderungen des Dielektrikums im Messspalt reagiert.

Um die höchste Messpräzision zum Beispiel im Nanometer-Bereich zu erzielen, sollte die Umgebung sauber und trocken sein. Als elektromagnetisches Verfahren misst ein kapazitives Messsystem standardmäßig auf alle leitfähigen Objekte mit gleichbleibender Empfindlichkeit und Linearität. Das System wertet den Blindwiderstand des Plattenkondensators aus, der sich mit dem Ab-

stand ändert. Kapazitive Sensoren können unter bestimmten Bedingungen auch gegen Isolatorwerkstoffe messen, wobei in der Regel die Sensormasse als Gegenelektrode fungiert und der Isolatorwerkstoff als Koppelmedium.

Ein annähernd lineares Ausgangssignal wird auch für Isolatoren durch elektronische Beschaltung möglich. Kapazitive Sensoren zählen zu den präzisesten Messsystemen überhaupt – es werden Auflösungen von weit unter einem Nanometer erzielt. Da thermisch bedingte Leitfähigkeitsänderungen des Messobjekts keinen Einfluss

### Der Autor



**Stefan Stelzl**  
Produktmanager Sensorik  
Micro-Epsilon  
[www.micro-epsilon.de](http://www.micro-epsilon.de)

*Neues Zubehör für kapazitive Sensoren:  
Das CCg-Kabel ermöglicht Kabellängen  
bis acht Meter und ist damit bestens  
auf Industriebedingungen abgestimmt*





*Egal ob nahe am absoluten Nullpunkt oder bei glühenden Bremscheiben – das kapazitive Messprinzip ist unempfindlich bei Temperaturschwankungen*

Bilder: Micro-Epsilon

auf die Messung haben, ist das Prinzip auch bei starken Temperaturschwankungen stabil. Maximale Stabilität: Egal ob nahe am absoluten Nullpunkt oder bei glühenden Bremscheiben – das kapazitive Messprinzip ist unempfindlich bei Temperaturschwankungen.

Die kapazitiven Messsysteme eignen sich auch für die Erfassung schneller Bewegungen und Prozesse (max. Bandbreite 8,5 kHz). So lassen sich Bewegungsabläufe im laufenden Betrieb schnell und zuverlässig erfassen.

### **Messung auf allen Oberflächen**

Da die Messung bei allen leitenden Objekten durchführbar ist, wird das System nicht durch optische Eigenschaften des Messobjekts beeinflusst. So sind auch transparente oder spiegelnde Oberflächen mit maximaler Genauigkeit zu erfassen. Capa NCDT Systeme von Micro-Epsilon können auch zur linearen Dickenmessung (einseitige Dickenmessung) von Isolatoren eingesetzt werden. Die Feldlinien durchdringen den Isolator und schließen sich mit dem elektrischen Leiter. Ändert sich die Dicke des Isolators, beeinflusst dies den Blindwiderstand  $X_c$  des Sensors. Der Abstand zur Gegenelektrode muss dabei konstant sein.

Beispiele für nicht leitende Messobjekte sind Kunststoffe (auch glasfaserverstärkt), Keramiken, Steatit, Porzellan, Glas, Klebstoffe, Harze, Öle oder Gelatine. Bei elektrisch leitfähigen Werkstoffen wie beispielsweise Metallen ist durch gegenüberliegende Anbringung der Sensoren

eine zweiseitige Dickenmessung möglich. Durch das kapazitive Messprinzip erfolgt die Messung ausschließlich gegen die Oberfläche, ohne ein Eindringen des Feldes in das Messobjekt. Dadurch kann die Dicke auch von sehr dünnen Werkstoffen zuverlässig gemessen werden. Jeder der beiden Sensoren liefert ein lineares Ausgangssignal in Abhängigkeit vom Abstand der Sensorstirnseite zur Messobjektsoberfläche. Ist der Abstand der Sensoren bekannt, ist die Dicke des Messobjektes auf einfache Weise bestimmbar. Werden die Messkanäle synchronisiert, ist die Messung auch gegen nicht geerdete Messobjekte möglich. Beispiele für leitende Messobjekte sind Metalle, Graphit, Silizium, CFK oder Wasser.

### **Sehr breiter Anwendungsbereich**

Kapazitive Sensoren werden in einem sehr breiten Anwendungsbereich eingesetzt. In der Halbleiterindustrie werden mit ihnen beispielsweise Wafer auf ihre Dicke vermessen. Genauso werden die Sensoren in Objektiven zur höchstpräzisen Positionsmessung von Linsen im Sub-Nanometerbereich eingesetzt. Ein universeller Einsatz erfolgt in Prüflaboren, wo verschiedenste Abstandsmessungen mit wechselnden Sensoren erfüllt werden können. In der Medizintechnik wird mit den kapazitiven Sensoren die Gleichmäßigkeit von Gelatine zur Tablettenumhüllung gemessen. An anderer Stelle wird ein kapazitives Messsystem als absolut verschleißfreier Schalter in Operationsmikroskopen eingesetzt. ➤



Zweiseitige Dickenmessung eines Wafers

### Einfache Bedienung per Web-Oberfläche

Insbesondere die einfache Bedienung und die Kompatibilität des Produktprogramms zeichnen die Capa NCDT Controller aus. Die Komponenten sind komplett tauschbar, ohne dass eine aufwendige Kalibrierung erforderlich

ist. Das umständliche Einstellen über Jumper oder Drehregler entfällt. Der Austausch von Sensoren, Kabel oder Controller erfolgt innerhalb weniger Sekunden. Da alle Komponenten zueinander kompatibel sind, können auch Sensoren mit unterschiedlichen Messbereichen einfach und schnell an den Controller angeschlossen werden.

Das Einstellen und Parametrieren des Controllers erfolgt über eine Bedienoberfläche auf dem Webbrowser. Dazu wird der Controller über eine Ethernet-Schnittstelle an einen Rechner angeschlossen und über eine vorgegebene IP-Adresse verbunden. Ohne aufwendige Softwareinstallation wird im Web-Browser eine übersichtliche Bedienoberfläche ausgeführt, mit der die Parametrierung, die Datenverrechnung und Anzeige vorgenommen wird. Darüber hinaus lassen sich Setups speichern und laden und somit einfach auf weitere Controller übertragen. ■

## Sensoren für den Geschwindigkeitsrekord

**Die Capa NCDT Controller** von Micro-Epsilon kommen auch im 135000 PS starken Raketenauto des Bloodhound SSC Projekts zum Einsatz: Seine Organisatoren wollen mit ihm im nächsten Jahr einen neuen Geschwindigkeitsrekord von 1600 km/h aufstellen.

Das Fahrzeug, das auf dem Land schneller werden soll als jedes Flugzeug in der Luft, verfügt über 90-Zentimeter-Räder aus einem raumfahrttauglichen Aluminium. Um die Dynamik und die mechanische Ausdehnung der Räder im Prüfstand zu untersuchen, wird das kapazitive Messsystem Capa NCDT 6200 eingesetzt. „Da sich die Räder mit bis zu 10.000 U/min drehen, wird ein extrem hoher Druck auf die Felgen ausgeübt“, sagt Joe Holdsworth, Systemingenieur von Bloodhound Programme Ltd. „Um unsere Belastungsmodelle realitätsgetreu zu verifizieren, benötigen wir ein Messsystem, das die mechanische Ausdehnung der Felgen unter Höchstgeschwindigkeit hochpräzise messen kann.“

Neben den kapazitiven werden auch Laser-Sensoren Opto NCDT 2300 von Sponsor Micro-Epsilon eingesetzt. Am Fahrzeugrahmen befestigt, messen und kontrollieren sie während der Fahrt die Fahrhöhe des Rennwagens. So können die Federungseigenschaften des Autos angepasst werden, um seine Leistung zu optimieren. Darüber hinaus kommen im Motorraum berührungslose Infrarot-Temperatursensoren Thermometer CS Micro und CT



Um die Dynamik und die mechanische Ausdehnung der Räder im Prüfstand zu untersuchen, wird beim Raketenauto das kapazitive Messsystem Capa NCDT 6200 eingesetzt

Hot zum Einsatz. Sie überwachen die Erwärmung der Elektronik und vielen Komponenten, die geklebt oder genietet sind.

Die Motivation für das millionenschwere Bloodhound-Projekt ist eine großangelegte Bildungskampagne: Mehrere Tausend Schüler werden das Geschehen über eine Live-Übertragung im Internet verfolgen können, wenn das Geschloß 2016 durch die südafrikanische Wüste donnert. ■