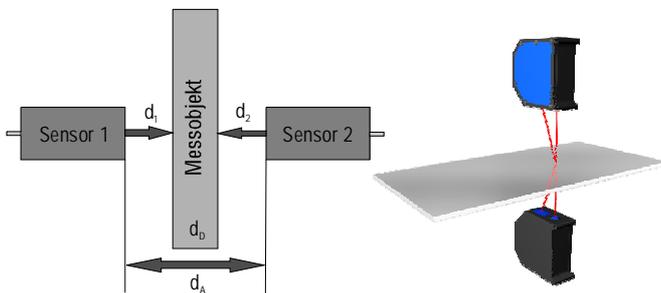


Dickenmessung - Linearitätsoptimierung

Bei Dickenmessungen werden zwei Sensorsysteme des gleichen oder unterschiedlicher Prinzipien kombiniert. Diese können auf einer oder beiden Seiten des Messobjekts angeordnet sein. Durch den Einsatz zweier Sensorsysteme addieren sich deren Nichtlinearitäten.

In der Messtechnik gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Prinzipien die Dicke eines Werkstückes bzw. Werkstoffes mit Hilfe von Wegsensoren zu bestimmen.

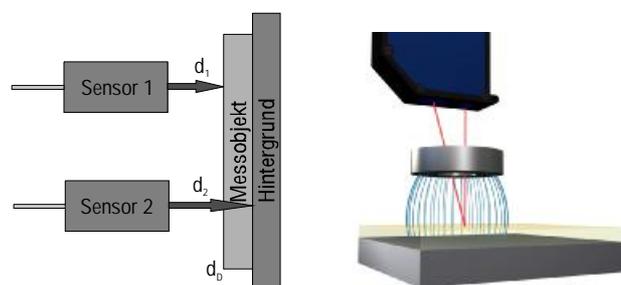
A) Gegenüberliegende Dickenmessung



Es werden auf beiden Seiten des Messobjekts (= Target) in einem bekannten Abstand d_a zwei Sensoren platziert, die jeweils die Entfernung zum Objekt messen. Die Entfernungen d_1 und d_2 werden vom Sensorabstand d_a subtrahiert, um die Dicke d_b des Targets zu bestimmen.

Formel: $d_b = d_a - (d_1 + d_2)$

B) Einseitige Dickenmessung



Auf einer Seite des Targets werden zwei Sensoren im gleichen Abstand d_1 zum Messobjekt platziert. Ein Sensor misst die Entfernung d_2 zum Hintergrund, der sich auf der gegenüberliegenden Seite des Objekts befindet. Werden die Signale voneinander subtrahiert, so ergibt sich die Dicke d_b des Messobjekts.

Formel: $d_b = d_2 - d_1$

Mit der erstgenannten Methode kann beispielsweise die Dicke eines elektrisch leitenden Werkstücks mit zwei kapazitiven Sensorsystemen bestimmt werden. Das zweite Verfahren eignet sich zur Dickenmessung von elektrisch nichtleitendem Material vor einem elektrischen leitendem Hintergrund, z.B. Folie, die über eine Walze transportiert wird.

Ermittlung von Sensor-Nichtlinearitäten

Die Ermittlung von Sensor-Nichtlinearitäten ist eine technisch sehr aufwendige Aufgabe, da hierzu hochpräzise Referenzmesssysteme notwendig sind. Die Linearität eines Sensorsystems ist von der Einbausituation bzw. von der Materialbeschaffenheit des Messobjekts abhängig. Es ist daher notwendig, dass das Referenzmesssystem in das Dickenmesssystem integriert wird. Dies führt in der Konzeption des Dickenmesssystems zu übertrieben hohem mechanischen Aufwand und ist in der Praxis nicht realisierbar.

Das spezielle Verfahren der Micro-Epsilon macht sich im Zusammenhang der Dickenmessung die Tatsache zu Nutze, dass hier nicht die Linearität der einzelnen Sensoren von Interesse ist, sondern die kombinierte Nicht-Linearität beider Sensorsysteme. In diesem Fall gibt es ein Referenzmesssystem - das Messobjekt als Referenz- oder Mastertarget mit bekannter Dicke d_s . Damit kann die kombinierte Nicht-Linearität n_j für jedes Paar j von Messergebnissen $j = (d_1, d_2)$ berechnet werden:

Formel: $n_j = d_s - (d_a - (d_1 + d_2))$

Wird der Messbereich jedes Sensorsystems als Achse in einem zweidimensionalen Koordinatensystem betrachtet, so ergeben die Paare der einzelnen Messergebnisse die durch verschieben eines Referenzobjekts im Messspalt generiert werden, annähernd eine Diagonale. Durch Auftragen der berechneten Nichtlinearitäten n_j über der Diagonale entsteht bei Verwendung unterschiedlicher Referenzobjekte ein Fehlergebirge über mehreren Diagonalen.

Kompensation von kombinierten Sensornichtlinearitäten

Durch die Approximation des Fehlergebirges mit geeigneten Funktionsmodellen ist es möglich, eine zweidimensionale Korrekturfunktion $d_N(d_1, d_2)$ zu ermitteln. Diese enthält als Funktionsargument die Messwerte der beiden Sensoren und liefert als Funktionswert die kombinierte Nichtlinearität, die nun zur Korrektur vom gemessenen Ergebnis subtrahiert wird. Ziel der Approximationsverfahren ist es, mit möglichst wenig Referenzteilen gute Resultate zu erzielen. Hier haben sich die Verfahren der nichtlinearen Optimierung am besten bewährt. Für diese Verfahren ist oft die Verwendung eines Referenzteils ausreichend. Die Erfassung der Nichtlinearitäten sowie die Berechnung der Korrekturfunktion erfolgt in einer Kalibrierungsphase. Je nach Messaufgabe bzw. Systemkonzept wird dazu die Sensormimik oder das Referenztarget bewegt.

Im Routinebetrieb wird für jedes Messwertepaar $j = (d_1, d_2)$ der korrigierte Dickenwert d_k als Differenz aus gemessenem Dickenwert d_b und ermittelter Nichtlinearität $d_N(d_1, d_2)$ berechnet.

Formel: $d_k = d_b - d_N(d_1, d_2)$

$$d_k = (d_A - (d_1 + d_2)) - d_N(d_1, d_2)$$

Implementierung der Algorithmen

Implementiert werden die Algorithmen als Module im Softwaretool ICONNECT. Dies ist eine von Micro-Epsilon entwickelte, graphische Entwicklungs- und Laufzeitplattform, zur Lösung von Aufgaben in der Mess- und Prüftechnik. Sie bietet die gebräuchlichsten Algorithmen in der Sensor-Signalverarbeitung in Form einer Modulbibliothek. Die Module werden durch „place and route“ zu einem Blockschaltbild verbunden. Das Blockschaltbild (Signalgraph) ist ein innerhalb der Laufzeitumgebung ablaufbares Programm.

Iconnect bietet neben den Signalverarbeitungsalgorithmen Eingabe- und Displaymodule, welche die Gestaltung einer windows-konformen Benutzeroberfläche gestatten. Die Erstellung der Benutzeroberfläche wird ebenfalls grafisch durchgeführt.

Viele andere Modulgruppen wie HW- und Datei- Ein-/Ausgabe, Logik- und Steuermodule runden den Funktionsumfang ab und machen ICONNECT zu einem sehr vielfältigen Werkzeug.

Beispielhafte Darstellung am Verfahren der Lagerschalenmessung

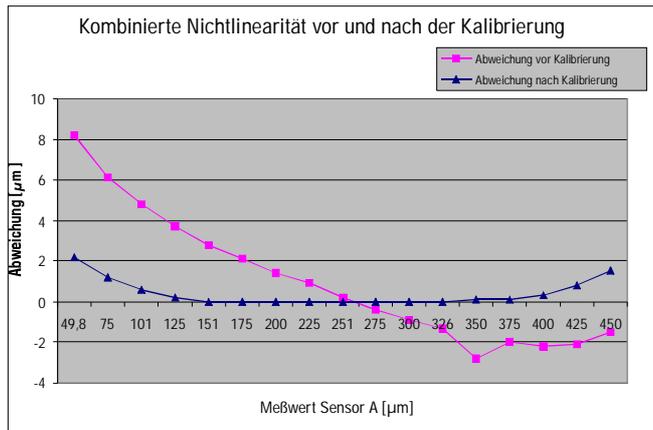
Bei dieser Anwendung gleiten Lagerschalen auf einer Lufrutsche durch eine Messstation. Mit Hilfe von zwei kapazitiven Sensoren des Typs S601- 0.5 wird die Wanddicke der Schalen gemessen. Die beiden Sensoren sind auf einem Schlittensystem montiert, sodass sie im Kalibriervorgang nach oben und unten bewegt werden können.

Für diese Messung ist eine Reproduzierbarkeit von 0,2 μm bei 99,9 % aller Messwerte gefordert. Um dieser Anforderung zu genügen, ist eine Linearität notwendig, welche die vom Sensorsystem gegebenen 0,3 %, die sich bei der Dickenmessung zu 0,6 % addieren, übertrifft.

Die Messelektrode des oberen Sensors muss bei dieser Anwendung rund geschliffen werden. So können auch Schalen mit kleinem Radius gemessen werden, ohne dass der Sensor die Schalenwand berührt.

Diese mechanische Veränderung des Sensorelektrode verschlechtert seine Linearität erheblich, so dass die kombinierte Nichtlinearität schließlich bei ca 1% liegt.

Bei der Messung wird der Messbereich des Sensors von 100 μm bis 400 μm genutzt. Beschränkt auf diesen Abschnitt liegt die kombinierte Nichtlinearität immerhin noch bei 0,7 %.



Wie in der Abbildung zu sehen, kann die Linearität der Dickenmessanordnung durch den Linearisierungsvorgang um mehr als Faktor 10 auf eine kombinierte Nichtlinearität von 0,06 % im genutzten Bereich verbessert werden.

Zusammenfassung

Die erläuterten Verfahren und die damit erzielten Ergebnisse zeigen deutlich, dass durch die softwaretechnische Kompensation von kombinierten Sensornichtlinearitäten die enorme Präzision der Sensorsysteme von Micro-Epsilon im Bereich der Dickenmessung noch verbessert wird.

Die Ermittlung und Kompensation von kombinierten Sensornichtlinearitäten im Bereich der Dickenmessung sind von Micro-Epsilon patentrechtlich geschützt.

So können ausschließlich Komplettsysteme von Micro-Epsilon derartige Präzision erreichen und garantieren.