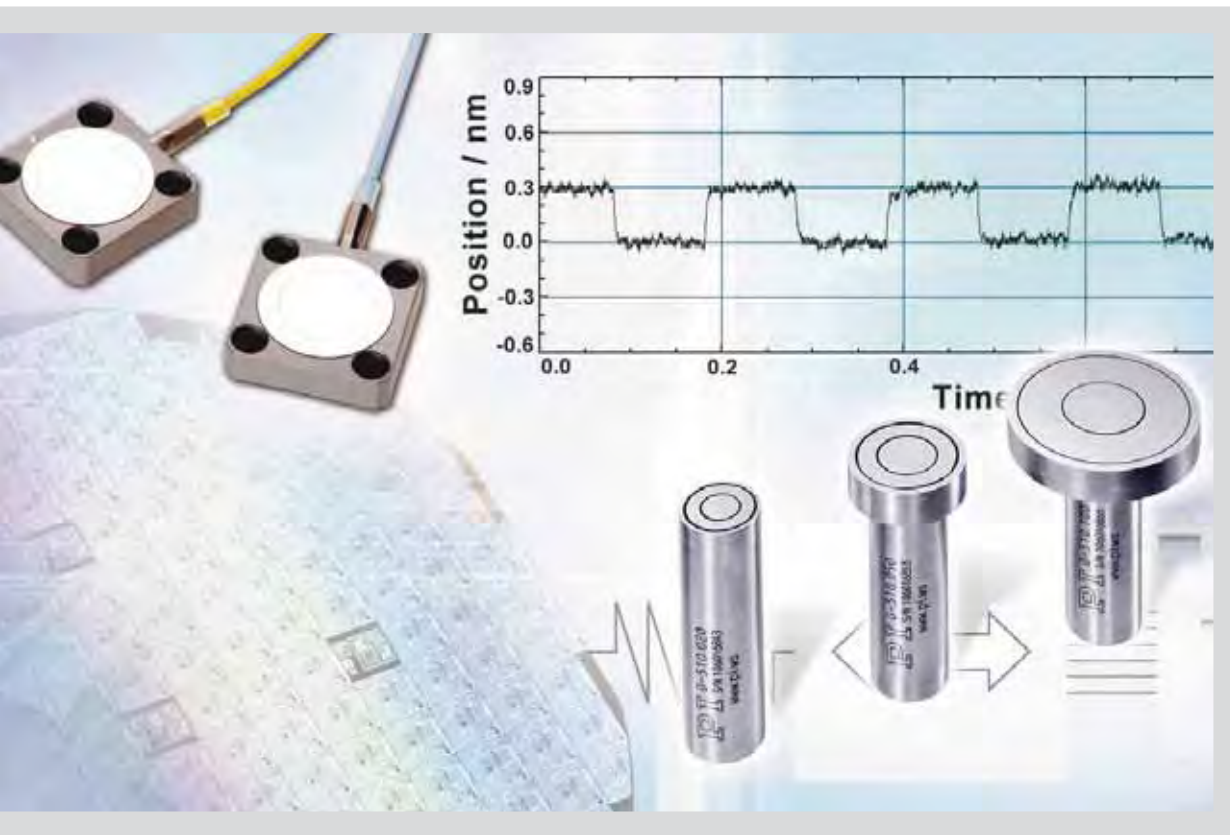


Nanomesstechnik



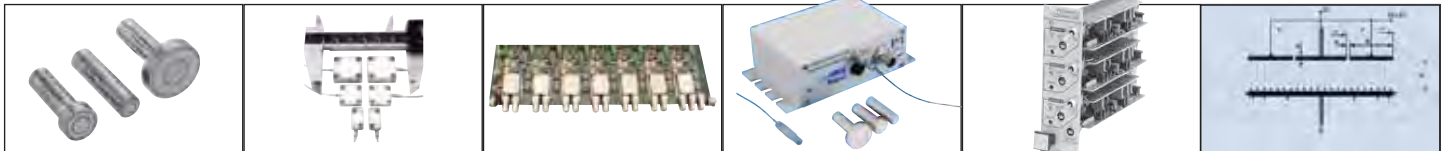
Modellübersicht: Sensoren für die Nanometrologie

Kapazitive Positionssensoren mit einer und zwei Elektroden

Für Anwendungen mit höchsten Anforderungen an die Genauigkeit bietet PI kapazitive Positionssensoren im Ein- und Zweielektroden-Design an. Die Sensorköpfe sowie die passende Signalauswerteelektronik mit der PI-eigenen ILS (integriertes Linearisierungssystem) Schaltung sind auf höchste Linearität und Auflösung ausgerichtet und kommen seit Jahren auch in den eigenen Nanopositioniersystemen zum Einsatz.

Modelle	Beschreibung	Messbereich [µm]*	Sensor Typ	Seite
D-510	PISeca™ Kapazitive Einelektroden-Sensoren für sub-nanometergenaue Messungen	20–500	Einelektroden, kapazitiv	3-8
D-015, D-050, D-100	Kapazitive Positionssensoren mit Sub-Nanometer Auflösung	bis 1000	Zweielektroden, kapazitiv	3-14

Modelle	Beschreibung	Kanäle	Sensor Typ	Seite
E-852	PISeca™ Signalauswerteelektronik für Einelektroden-Sensoren	1	Einelektroden, kapazitiv	3-10
E-509	Servocontroller Modul für Zweiplatten- und PISeca™ Einplattensensoren	1,3	Ein- und Zweielektroden, kapazitiv	3-12 3-16



D-510 PISeca™ Einelektroden-sensoren für die Nanometrologie

D-015, D-050, D-100 Kapazitive Zweiplattensensoren

Anforderungsspezifische Elektronik für kapazitive Sensoren

E-852 Signalauswerteelektronik für Einelektroden-sensoren

E-509 Servocontroller Modul für Ein- oder Zweiplattensensoren

Weitere Informationen zu kapazitiven Sensoren, s. S. 3-17 ff, „Grundlagen der Nanometrologie“

Kapazitive Sensoren und Messelektroniken



Kapazitive Positionsmesstechnik Überblick



E-852 Signalauswerte-Elektronik für PISeca™
Einelektroden-Sensoren mit D-510.020 Sensor

Eigenschaften kapazitiver Sensoren von PI

- Messbereiche von 10 bis 500 µm und mehr
- Positionsauflösung im Sub-Nanometerbereich
- Kontaktlose Absolutmessung von Abstand/Bewegung/
Vibration
- Verschleißfreies Verfahren
- Ideal für Mehrachsmessungen
- ILS Linearisierungselektronik für bessere Linearität
- Hohe Bandbreite bis 10 kHz
- Unmittelbare Positionsmessung am bewegten Objekt
(Direktmetrologie)
- Hohe Temperatur- und Langzeitstabilität (<0,1 nm/3 h)
- Vakuum kompatibel
- Kompakte Zweielektroden- und Einelektroden-Sensoren,
kundenspezifische Ausführungen
- Invar-Versionen für höchste Temperaturstabilität ($5 \times 10^{-6}/K$)

Ein- und Zwei-Elektroden Sensoren

Kapazitive Sensoren messen kontaktlos geometrische Größen wie Abstand, Position, Länge oder Dimension mit Subnanometer-Genauigkeit. PI bietet hierfür kapazitive Sensoren zur Integration in Kundensystemen sowohl in der Ausführung als höchst genaue Zweiplatten-Kondensatoren an, als auch als PISeca™ Einplatten-Sensoren für die flexiblere Anwendung.

Messprinzip

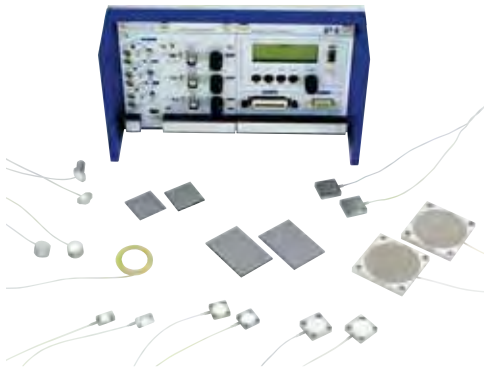
Das zugrunde liegende Funktionsprinzip ist in beiden Fällen dasselbe: Zwei leitende Flächen erzeugen ein homogenes elektrisches Feld, eine Abstandsänderung der beiden Flächen ist dem Ausgangssignal an der Messelektronik proportional. Die Messung erfolgt beim Zweiplatten-Sensor zwischen zwei definierten Sensorplatten, die durch perfekt aufeinander abgestimmte Oberflächen und damit Feldgenauigkeit optimale Ergebnisse liefern. Kapazitive Einplatten-Sensoren messen prinzipiell gegen jede Art von leitender Oberfläche und zeichnen sich durch einfachere mechanische Handhabung beispielsweise beim Einbau oder der Kabelführung aus.

Nanopositioniertechnik und Nanomesstechnik

PI bietet weltweit die größte Auswahl an hochdynamischen und hochauflösenden Nanopositioniersystemen. Die Präzision und Reproduzierbarkeit sind nicht denkbar ohne den Einsatz höchstauflösender Messverfahren. Hier bieten kapazitive Sensoren die besten Ergebnisse. Sowohl Sensoren als auch die entsprechende Elektronik werden bei PI von erfahrenen Entwicklungs- und Fertigungsteams betreut.

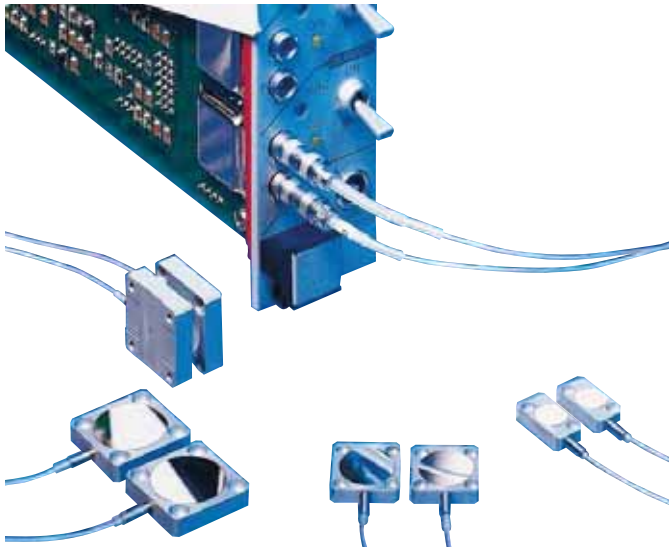
Test und Systemabgleich

Die hauseigenen Nanometrologielabors entsprechen modernsten Standards und sind mehrfach gegen seismische, thermische und elektromagnetische Einflüsse isoliert. Jedes kapazitive Messsystem wird hier vermessen. Diese Präzision ist die Grundvoraussetzung für alle Produkte von PI, Standard- wie Sonderanfertigungen, und sichert die optimale Umsetzung von spezifischen Kundenanforderungen.



Die Standardmodelle kapazitiver Zweiplatten-Sensoren D-015, D-050 und D-100 (vorne von links) und eine Auswahl von OEM-Sensoren zum Vergleich

Funktion, Eigenschaften, Vorteile



Kapazitive Zweiplatten-Sensoren D-100, D-050 und D-015 (von links) und die Auswertelektronik E-509.C3A

Genauigkeit

Genauigkeit, Linearität, Auflösung, Stabilität und Bandbreite liegen dabei deutlich über den Werten, die mit konventionellen LVDT- oder DMS-Sensoren erreicht werden. Dabei ist die Messung durch das kontaktlose Prinzip vollkommen verschleiß- und hysteresefrei und beeinflusst die eigentliche Anwendung nicht.

Schutzringkondensator für verbesserte Linearität

Die Sensorgeometrie hat großen Einfluss auf die Linearität der Messung. Durch den von PI verwirklichten Aufbau mit zusätzlicher Schutzringelektrode werden störende Randeffekte ausgeschlossen. Im Messbereich wird so ein sehr homogenes elektrisches Feld erzeugt, was eine sehr hohe Linearität zur Folge hat.

Ein- und Mehrkanalelektronik

Die von PI entwickelte Messelektronik wurde speziell auf die konstruktiven Eigenschaften der Sensoren abgestimmt, um die Vorteile des

kapazitiven Messprinzips optimal umzusetzen. PI bietet Signalauswertelektronik mit minimalem Rauschen für ein bis drei Kanäle an. Die Mehrkanalelektronik basiert auf dem modularen E-500 Controller-System. Bandbreite und Messbereich können werkseitig optimal auf die Applikation abgestimmt werden. Die einkanalige Version E-852 für PISeca™ Einelektroden-Sensoren bietet dem Kunden die Möglichkeit, Bandbreite und Messbereich selbst zu variieren, um ein optimales Messergebnis zu erzielen.

Optimierte Linearität durch integriertes Linearisierungssystem (ILS)

Alle Elektroniken von PI verwenden das integrierte Linearisierungssystem (ILS), das die Einflüsse von Parallelitätsfehlern zwischen den Kondensatorplatten kompensiert.

Einfache Handhabung und Integration

Insbesondere die Einelektroden-Sensoren der PISeca™



D-510.050: Einfache Handhabung und Systemintegration durch LEMO-Steckverbindung

Serie zeichnen sich durch einfache und flexible Handhabung aus. Eine optische Justagehilfe an der Einkanal-Elektronik erleichtert den Einbau in die Messanordnung bei verschiedenen einstellbaren Messbereichen. Für die Mehrkanalelektronik stehen Display- und PC-Interface/Display-Module zur Verfügung.

Ideal für positionsgeregelte Piezo-Nanostellsysteme

Für den Betrieb geregelter Systeme mit kapazitiven Sensoren bietet PI Sensor-/Servocontrollermodule auf Basis der Serie E-500 an. Hier können pro

Modul bis zu drei externe oder im Stellsystem integrierte Positionssensoren angeschlossen werden. Drift bzw. Hysterese, die im spannungsgesteuerten Piezobetrieb auftreten, werden dadurch automatisch eliminiert.

Für Nanopositionieraufgaben mit den höchsten Genauigkeitsanforderungen stehen digitale Controller von PI zur Verfügung.



Das Piezo-Nanopositioniersystem P-752.11C mit integrierten kapazitiven Sensoren bietet eine Positionsauflösung bis 0,1 nm

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

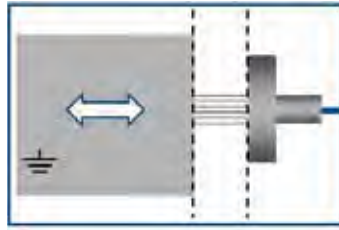
Kapazitive Sensoren und Messelektroniken

Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

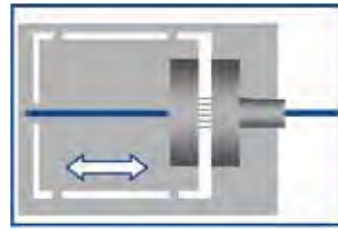
Index

Anwendungen kapazitiver Positionssensoren



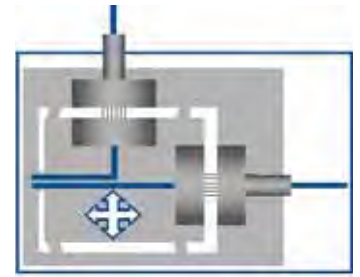
Abstandsmessung mit Nanometergenauigkeit

Kapazitive Sensoren messen zuverlässig kleinste Abstände. Messgröße ist hierbei die Kapazitätsänderung zwischen der Oberfläche des Sensorkopfs und einer Targetfläche bei homogenem elektrischen Feld. Dabei werden Genauigkeiten im Sub-Nanometerbereich erreicht. Ein kalibriertes und justiertes System bestimmt Absolutwerte.



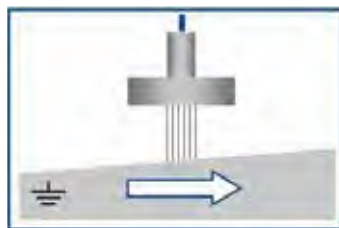
Nanostelltechnik/positionsregelte Systeme

Eine Anwendung der hochauflösenden Abstandsmessung ist die Nanostelltechnik. Kapazitive Zweiplatten-Sensoren messen hier direkt Abstand und Ist-Position des bewegten Objekts mit allerhöchster Präzision. Durch die hohe Bandbreite der Sensoren ist die Regelung auch im dynamischen Betrieb möglich.



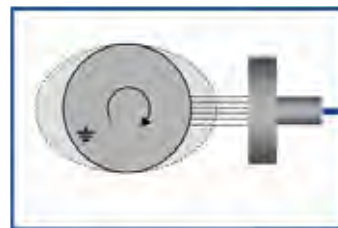
Parallelmetrologie/hochgenaue Mehrachsenmessungen

Für mehrachsige geregelte Nanopositionieraufgaben kombinieren hochgenaue Versteller mit kapazitiven Sensoren Direktmetrologie und Parallelkinematik. Beim Einsatz in Mehrachsen-Nanopositioniersystemen können somit alle Freiheitsgrade gleichzeitig gemessen und Führungsfehler aktiv eliminiert werden (Aktive Führung). Kapazitive Sensoren sind hier die genauesten Messsysteme für beste Positionsauflösung.



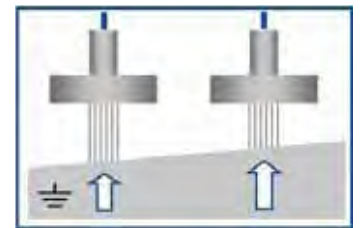
Geradheits- und Ebenheitsmessung/Aktive Übersprechkompensation

Über längere Stellwege ist die Messung von Geradheit oder Ebenheit einer Bewegung mit hervorragender Auflösung durch den Einsatz kapazitiver Einplatten-Sensoren möglich. Eine mögliche Anwendung hierfür ist die CrossTalk-Messung in der Nanostelltechnik. Unerwünschtes Übersprechen der Bewegung in eine andere Achse kann so detektiert und in Echtzeit aktiv ausgeglichen werden. Die hohe Bandbreite der Sensoren ermöglicht eine hohe Dynamik.



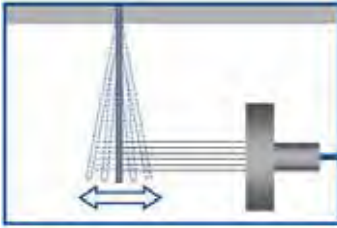
Out-of-Plane Messung/Constant-Height/Unrundmessung

Insbesondere zur Kompensation von welligen Bewegungen bzw. Wellenschwingungen beispielsweise bei Constant-Height-Scans oder in der Weißlichtinterferometrie kommen kapazitive Sensoren zum Einsatz.



Verkippungsmessung/-kompensation

Die Integration von kapazitiven Sensoren in einen Messaufbau sorgt für präzise Verkippungsmessung. Hier wird die Verkippung des bewegten Objekts differenziell bestimmt und gegebenenfalls kompensiert.

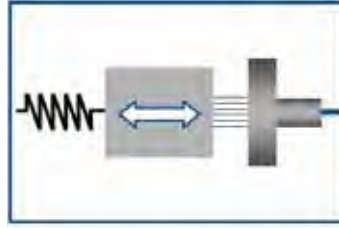


Vibrationsmessung, Ebenheitsmessung, Dickenmessung

Die hohe Dynamik des PISeca™ Systems erlaubt auch die Messung von Vibrationen oder Schwingungen mit sehr hoher Auflösung.

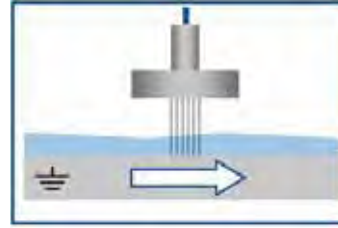
Die Ebenheit eines rotierenden Werkstückes oder Dickenunterschiede im Nanometerbereich können somit ebenfalls detektiert werden.

Ein mögliches Einsatzgebiet ist zum Beispiel die Herstellung von Diskettenlaufwerken oder die aktive Schwingungskompensation.



Kraftsensoren mit Mikro-Newton Empfindlichkeit

Häufig werden kapazitive Einplatten-Sensoren als hochauflösende Kraftsensoren für die kontaktlose Messung im Mikro-Newtonbereich eingesetzt. Hier werden minimale Abstandsänderungen über größere Abstände berührungslos mit Auflösung im Sub-Nanometerbereich gemessen ohne den zu messenden Prozess zu beeinflussen. Über die definierte Steifigkeit des Systems ergibt sich die Kraft.



Schichtdickenmessung mit Sub-Mikrometergenauigkeit

Für die Dickenmessung von Nicht-Leitern auf einer bewegten, leitenden Oberfläche (z. B. einer Walze) eignen sich die Sensoren aufgrund des berührungslosen Messprinzips und der hohen Dynamik.

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Kapazitive Sensoren und Messelektroniken

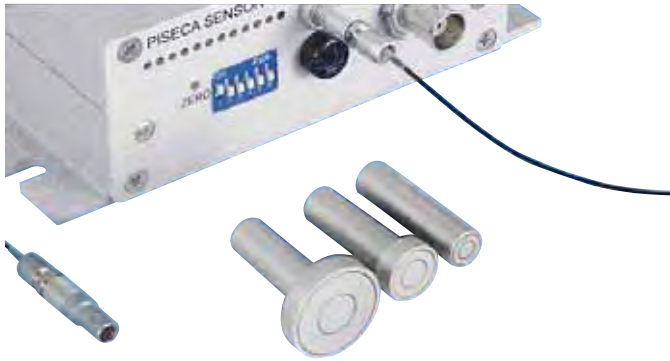
Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

Index

D-510 PISeca™ Kapazitive Sensoren

Einelektrodensensoren mit hervorragender Positionsauflösung



Hoch genaue kapazitive Wegsensoren PISeca™ und die Signalauswerteelektronik E-852.10. Sensorköpfe (v. l. n. r.): D-510.100 mit 100 µm, D-510.050 mit 50 µm, D-510.020 mit 20 µm nominalem Messbereich

- **Berührungslose Wegmessung**
- **Abstandsmessung auf Absolutwerte**
- **Hochauflösend im Sub-Nanometerbereich**
- **Flexibler Messbereich**
- **Einfach zu integrieren**
- **Vibrationsmessung**

Die neuen kapazitiven Einelektrodensensoren PISeca™ von PI messen berührungslos Abstände oder Bewegungen gegen elektrisch leitende Messobjekte. Sie verfügen über höchste Auflösung und Linearität.

PISeca™ Einelektrodensensoren zeichnen sich prinzipiell aus durch eine sehr gute Temperaturstabilität, hohe Dynamik sowie einfachste Handhabung.

Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung / Halbleiterindustrie
- Datenspeicherung
- Automobilindustrie
- Metrologie
- Maschinenbau

Höchste Genauigkeit und Lebensdauer durch kapazitive Positionssensoren

Kapazitive Einelektrodensensoren messen direkt und berührungslos die Istposition (Direktmetrologie). Messgröße ist hierbei die Kapazitätsänderung zwischen der Oberfläche des Sensorkopfs und einer leitenden Targetfläche im homogenen elektrischen Feld. Durch diese kontaktlose, reibungsfreie Messung werden Verschleiß und Hystereseeffekte ausgeschlossen und eine hohe Phasentreue erreicht.

In der Kombination mit der maßgeschneiderten Signalaufbereitungselektronik (E-852.10) kann so eine Auflösung im Sub-Nanometerbereich für quasi-statische Anwendungen erreicht werden. Für hochdynamische Anwendungen kann die Bandbreite bis zu 10 kHz

erhöht werden, wobei noch immer eine Auflösung im 1 nm-Bereich erreichbar ist. Die Linearität liegt dabei unter 0,1%.

Schutzringkondensator für verbesserte Linearität

Die Sensorgeometrie hat großen Einfluss auf die Linearität der Messung. Durch den von PI verwirklichten Aufbau mit zusätzlicher Schutzringelektrode werden störende Randeffekte ausgeschlossen. Im Messbereich wird so ein homogenes elektrisches Feld erzeugt, was eine sehr hohe Linearität zur Folge hat.

Einfache Handhabung und Integration

Alle PISeca™ Sensorköpfe sind mit einem LEMO-Stecker versehen, so dass sie einfach montiert und ausgetauscht werden können. Die einheitliche Schafthöhe sorgt dabei für Kompatibilität und Flexibilität.

Verbesserte Linearität durch Systemkalibrierung

Die bestmöglichen Linearitäts- und damit Genauigkeitswerte können durch die gemeinsame Kalibrierung des Systems aus Sensor und Auswerteelektronik in einem vorgegebenen Messbereich erreicht werden. Dabei werden auch bestimmte Parameter wie ILS (Linearisierung), Verstärkungsfaktor und Nullabgleich optimiert und der Einfluss der Kabelkapazität reduziert. Mit der Auswerteeinheit E-852.10 werden zwei Messbereiche kalibriert, optional sind erweiterte Messbereiche möglich.

Hochpräzise Fertigung

Die Oberflächen der kapazitiven Sensoren genügen allerhöchsten Präzisionsanforderungen. PISeca™ Sensoren werden mit Bearbeitungs-

Bestellinformationen

D-510.020

PISeca™, Kapazitiver Einelektrodensensor, 8 mm Durchmesser, 20 µm nominaler Messbereich

D-510.050

PISeca™, Kapazitiver Einelektrodensensor, 12 mm Durchmesser, 50 µm nominaler Messbereich

D-510.100

PISeca™, Kapazitiver Einelektrodensensor, 20 mm Durchmesser, 100 µm nominaler Messbereich

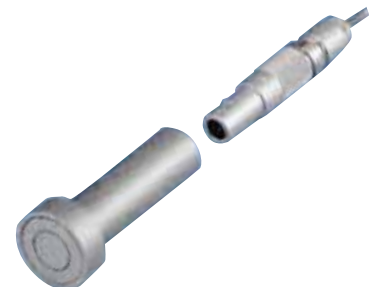
Sonderausführungen auf Anfrage!

methoden aus der Präzisionsoptikfertigung hergestellt und erreichen dadurch die spiegelglatte Oberfläche, die für beste Auflösung erforderlich ist. Standardmaterial für die Sensoren ist Edelstahl.

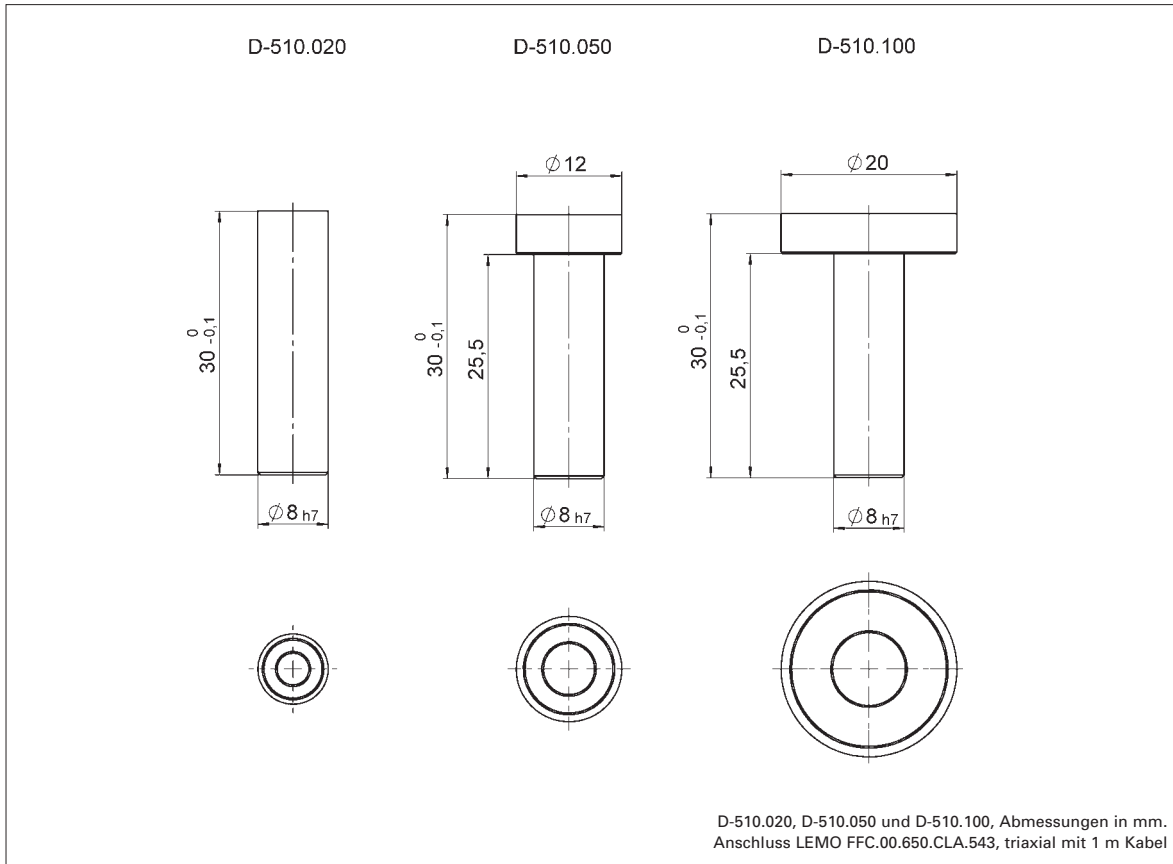
Sonderausführungen / Zweielektroden-Sensoren

Neben den hier aufgeführten Standardsensoren bietet PI eine Reihe von anwendungsspezifischen Sonderausführungen an, die z. B. in Bezug auf Messbereich, Geometrie oder Material an Kundenanforderungen angepasst sind. Auch Sonderausführungen der Elektronik sind verfügbar.

Für allerhöchste Ansprüche an Linearität und Auflösung stehen die Zweielektroden-Sensoren der Serie D-100 zur Verfügung (s. S. 3-14 ff).



D-510.050: Einfach zu montieren durch LEMO-Steckverbindung



Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Kapazitive Sensoren und
Messelektroniken

Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

Index

Technische Daten

Modell	D-510.020	D-510.050	D-510.100	Einheit	Toleranz
Sensorart	Einelektroden, kapazitiv	Einelektroden, kapazitiv	Einelektroden, kapazitiv		
Messgenauigkeit					
Nominaler Messbereich*	20	50	100	µm	
Min. Messabstand	10	25	50	µm	
Max. Messabstand	150	375	750	µm	
Statische Auflösung**	<0,001	<0,001	<0,001	% des Messbereichs	typ.
Dynamische Auflösung**	<0,002	<0,002	<0,002	% des Messbereichs	typ.
Linearität***	<0,2	<0,1	<0,1	%	
Mechanische Eigenschaften					
Aktiver Sensordurchmesser	3,8	6	8,4	mm	
Aktive Sensorfläche	11,2	27,9	56,1	mm ²	
Sensordurchmesser	8	12	20	mm	
Sensorfläche	50,3	113,1	314,0	mm ²	
Durchmesser Befestigungsschaft	8	8	8	mm	
Anschlüsse und Umgebung					
Betriebstemperaturbereich	-20 bis +100	-20 bis +100	-20 bis +100	°C	
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl		
Masse	8	10	16	g	±5%
Empfohlene Auswerteelektronik	E-852.10 E-509.E	E-852.10 E-509.E	E-852.10 (s. S. 3-10) E-509.E (s. S. 3-12)		

*Mit E-852.10 sind mehrere erweiterte Messbereiche verfügbar, jeweils zwei Messbereiche werden kalibriert

**statisch: Bandbreite 10 Hz, dynamisch: Bandbreite 10 kHz, mit Auswerteelektronik E-852.10

***Linearität im nominalen Messbereich

E-852 PISeCa™ Sensorauswertung Für kapazitive Einelektroden-Sensoren



Die Auswerteelektronik E-852 und die hoch genauen Sensoren PISeCa™ D-510.100, D-510.050 und D-510.020 (v.l.n.r.)

- **Preisgünstige Systemlösung für PISeCa™ Kapazitivsensoren**
- **Maximale Linearität durch integrierte Linearisierungsfunktion (ILS)**
- **Verstellbare Bandbreite von 10 Hz bis 10 kHz**
- **Variabler Messbereich**
- **Einfach zu integrieren durch LED Messbereichsanzeige**
- **Externe Synchronisierbarkeit für Mehrkanalanwendungen**

Die analoge Auswerteelektronik E-852.10 von PI wurde speziell zur Signalaufbereitung für das kapazitive Einelektroden-Sensorsystem PISeCa™ entwickelt. Sie zeichnet sich durch minimales Rauschen und hervorragende Langzeitstabilität aus.

Mit der Kombination von PISeCa™ Sensoren der Serie D-510 und dieser Auswerteelektronik steht eine Systemlösung für kapazitive Wegmessungen zur Verfügung, die höchste Anforderungen an Linearität und Auflösung mit

größtmöglicher Flexibilität verbindet.

Höchste Genauigkeit durch kapazitive Positionssensoren

Kapazitive Einelektroden-Sensoren messen direkt und berührungslos die Istposition (Direktmetrologie). Messgröße ist hierbei die Kapazitätsänderung zwischen der Oberfläche des Sensorkopfs und einer leitenden Targetfläche im homogenen elektrischen Feld. Durch diese kontaktlose, reibungsfreie Messung werden Verschleiß und Hystereseeffekte ausgeschlossen und eine hohe Phasentreue erreicht.

Hohe Flexibilität bei Bandbreite und Messbereich

Der einstellbare Bandbreitenbereich ermöglicht den flexiblen Einsatz in verschiedensten kundenspezifischen Anwendungen. PISeCa™ bietet eine Bandbreite bis zu 10 Hz für extrem genaue, besonders

rauscharme Messungen mit höchster Auflösung im Sub-Nanometerbereich.

Für hochdynamische Anwendungen kann die Bandbreite bis zu 10 kHz erhöht werden, wobei noch immer eine Auflösung im 1 nm-Bereich erreichbar ist.

Der Messbereich kann anwenderseitig eingestellt werden und liegt zwischen 20 und 500 µm, abhängig vom verwendeten Sensorkopf.

Einfache Systemintegration

Eine elektronische Justagehilfe (LED-Leiste) zeigt die Position des Sensorkopfes innerhalb des Messbereichs an und unterstützt so den optimalen Einbau der Sensoren.

Verbesserte Linearität durch Systemkalibrierung

Die bestmöglichen Linearitätswerte und damit Genauigkeitswerte können durch die gemeinsame Kalibrierung des Systems aus Sensor und Auswerteelektronik in einem vorgegebenen Messbereich erreicht werden. Dabei werden auch bestimmte Parameter wie ILS (Linearisierung), Verstärkungsfaktor und Nullabgleich optimiert und der Einfluss der Kabelkapazität reduziert. Zwei Messbereiche werden gleichzeitig kalibriert.

Bestellinformationen

E-852.10
PISeCa™ kompakte Auswerteelektronik für Einelektroden-Kapazitivsensoren, 1 Kanal (mit Netzteil)

Sonderausführungen auf Anfrage!

Höchste Genauigkeit durch integriertes Linearisierungssystem (ILS)

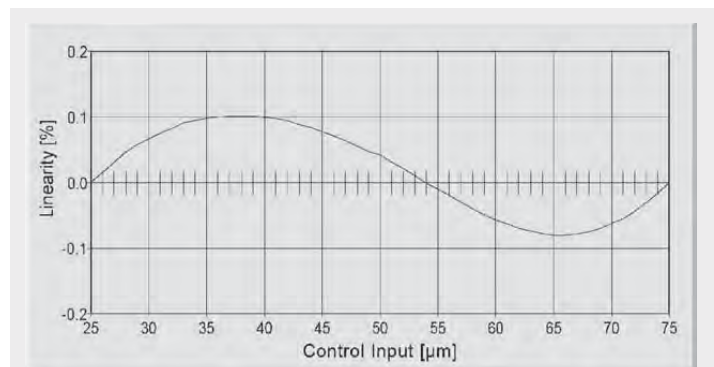
In der Elektronik sorgt ein integriertes Linearisierungssystem für höchste Genauigkeit. Es kompensiert die Einflüsse von Parallelitätsfehlern zwischen Sensor und Messoberfläche und garantiert dadurch eine hervorragende Linearität (unter 0,1%).

Mehrachsenanwendungen durch externe Synchronisierbarkeit

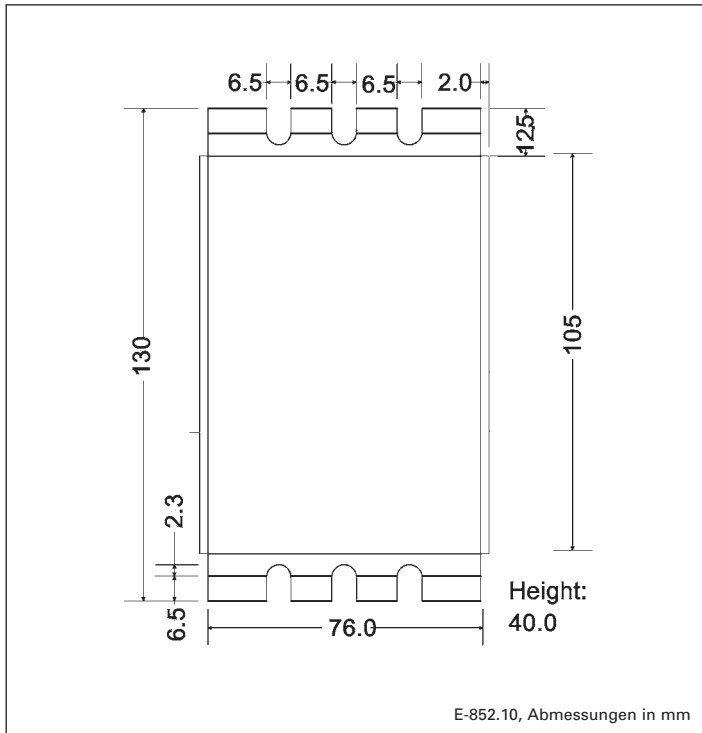
Beim gemeinsamen Einsatz mehrerer Sensorsysteme erfolgt die Synchronisation einfach über I/O-Leitungen der PISeCa™ Elektronik.

Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung / Halbleiterindustrie
- Datenspeicherung
- Automobilindustrie
- Metrologie
- Maschinenbau



Exzellente Linearität des D-510.050 im nominalen Messbereich



Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Kapazitive Sensoren und
Messelektroniken

Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

Index

Technische Daten

Modell	E-852
Funktion	Auswerteelektronik für PISeca™
Kanäle	1
Sensor	
Sensortyp	Einelektroden, kapazitiv
Sensorbandbreite	10 / 3 / 0,3 kHz 1,1 / 0,1 / 0,01 kHz (optional)
Erweiterungsfaktor für den Messbereich*	1 & 2,5 (kalibriert); 2 & 5 (optional)
Externe Synchronisierbarkeit	Auto Master-Slave
Temperaturstabilität	0,71 ±0,25 mV / °C
Elektrische Eigenschaften	
Ausgangsspannung	-10 bis +10 / -5 bis +5 / 0 bis +10 V (wählbar)
Ausgangssignal	1 kΩ / 1 nF
Versorgungsspannung	±15 V (125 mA), +5 V (20 mA)
Statische Auflösung**	<0,001% des Messbereichs (RMS)
Dynamische Auflösung**	<0,002% des Messbereichs (RMS)
Linearität im nominalen Messbereich	<0,1% (<0,2 & für D-510.020)
Schnittstellen und Bedienung	
Sensoranschluss	LEMO ECP.00.650.NLL.543 Triaxbuchse
Signalanschluss	BNC
Display und Anzeigen	LED Leiste
Linearisierung	ILS
Umgebung	
Betriebstemperaturbereich	+5 bis +40 °C
Masse	0,355 kg, Netzteil E-852.PS1: 1,2 kg
Abmessungen	80 x 130 x 40 mm, Netzteil E-852.PS1: 100 x 170 x 62 mm
Target Ground Anschluss	Buchse für 4 mm-Federstecker

*Erweiterungsfaktor bezogen auf den nominalen Messbereich des jeweiligen Sensorkopfes D-510

**Statisch: Bandbreite 10 Hz, dynamisch: Bandbreite 10 kHz, 1 m Kabel

E-509 PISeCa™ Sensorauswertung / Regler

Servocontrollermodul für drei Achsen, Piezocontroller System E-500



Das E-509.E3 Modul vereint Sensorauswertung- und Positionsreglerfunktionen für drei Kanäle

- **E-509.E03: 3-Kanal Elektronikmodul für kapazitive Sensoren**
- **E-509.E3: 3-Kanal Sensormodul mit zusätzlichem Servocontroller für Piezosysteme**
- **Hervorragende Linearität durch integrierte Linearisierungsfunktion (ILS)**
- **Verschiedene Messbereiche (optional)**
- **Variable Bandbreite (optional)**
- **Einschubmodule für E-500 / E-501 Chassis**

Die analoge Sensorauswertelektronik E-509.E von PI dient der Signalaufbereitung für das kapazitive Einelektroden-Sensorsystem PISeCa™. Basierend auf dem modularen Controller-System E-500 bietet sie drei rauscharme Kanäle zur Messung mehrerer Achsen, die unabhängig voneinander angepasst werden können.

Zwei Ausführungen stehen zur Verfügung: Das 3-kanalige E-509.E03 als reines Sensormodul sowie E-509.E3 als Servocontrollermodul zur Regelung von Piezo-Nanopositioniersystemen mit externen PISeCa™ Einelektroden-Sensoren.

Mit der Kombination von PISeCa™ Sensoren der Serie D-510 und dieser Auswertelektronik steht eine günstige Systemlösung für kapazitive Wegmessungen zur Verfügung, die höchste Anforderungen an Linearität und Auflösung bietet.

Der Bandbreitenbereich kann kundenspezifisch angepasst werden und ermöglicht damit den flexiblen Einsatz in verschiedensten Anwendungen. PISeCa™ bietet eine Bandbreite bis zu 300 Hz für besonders rauscharme Messungen mit Auflösung im Sub-Nanometerbereich.

Flexibilität bei Bandbreite und Messbereich

Für hochdynamische Anwendungen kann die Bandbreite bis zu 10 kHz erhöht werden,

wobei noch immer eine Auflösung unter 4 nm erreichbar ist.

Der Messbereich wird werkseitig eingestellt. Dabei sind Bereiche zwischen 20 und 500 μm möglich, abhängig vom verwendeten Sensorkopf.

Verbesserte Linearität durch Systemabgleich

Die bestmöglichen Linearitäts- und damit Genauigkeitswerte können durch das gemeinsame Vermessen des Systems aus Sensor und Auswertelektronik in einem vorgegebenen Messbereich erreicht werden. Dabei werden auch bestimmte Parameter wie ILS (Linearisierung), Verstärkungsfaktor und Nullabgleich optimiert und der Einfluss der Kabelkapazität reduziert.

Der Proportional-Integral-Positionsregler der E-509 Servocontrollermodule ist speziell für den Piezobetrieb optimiert. Sowohl Proportional- und Integralanteil als auch die Regelbandbreite können individuell angepasst werden. Das integrierte Notch-Filter trägt zu einer deutlichen Verbesserung der Dynamik bei und ermöglicht eine größere Bandbreite der Piezomechanik.

Optionen

Das optionale Modul E-515.E3 ermöglicht die Positionsregelung mit einem Verstärker

Bestellinformation

E-509.E3
PISeCa™ Sensor- / Servocontrollermodul für kapazitive Einelektroden-Sensoren, 3 Kanäle

E-509.E03
PISeCa™ Modulare Auswertelektronik für Einelektroden-Kapazitivsensoren, 3 Kanäle

Zubehör (s. S. 2-142 ff):

E-500.00
19"-Chassis für modulares Piezocontroller-System, 1 bis 3 Kanäle

E-501.00
9,5"-Chassis für modulares Piezocontroller-System, 1 bis 3 Kanäle

E-515.03
Displaymodul für Auslenkung und Piezospannung, 3 Kanäle

E-517.i3
Schnittstellen- / Displaymodul, 24 Bit D/A, TCP/IP, USB, RS-232, IEEE 488, 3 Kanäle

E-503.00
Piezoverstärkermodul, -20 bis +120 V, 3 Kanäle

E-515.E3
Analogausgang für Reglersignal, Einschubmodul, 3 Kanäle

Sonderausführungen auf Anfrage!

außerhalb des E-500/E-501-Systems.

Mehrachsenanwendungen

Die drei Kanäle sind automatisch aufeinander synchronisiert.



Das Servocontrollermodul E-509.E3 im 9,5"-Chassis E-501 mit E-503 Piezoverstärkermodul und E-516 PC-Interface/Displaymodul erlaubt die Regelung von Piezo-Nanopositioniersystemen mit externen PISeCa™ Einelektroden-Sensoren D-510

Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung / Halbleiterindustrie
- Datenspeicherung
- Automobilindustrie
- Metrologie
- Maschinenbau

Technische Daten

Modell	E-509.E03	E-509.E3
Funktion	Sensorauswerteelektronik für PISeca™	Sensor- / Servocontrollermodul für PISeca™
Kanäle	3	3
Sensor		
Reglertyp	–	Analog, P-I und Notchfilter
Sensortyp	PISeca™ Einelektroden, kapazitiv	PISeca™ Einelektroden, kapazitiv
Sensorbandbreite	3 kHz 0,3 / 10 kHz (einstellbar)	3 kHz 0,3 / 10 kHz (einstellbar)
Erweiterungsfaktor für den Messbereich*	2 / 2,5 / 5 (optional)	2 / 2,5 / 5 (optional)
Synchronisierbarkeit	3 synchronisierte Kanäle	3 synchronisierte Kanäle
Elektrische Eigenschaften		
Ausgangsspannung	0 bis 10 V -5 bis 5 V, -10 bis 0 V (einstellbar)	0 bis 10 V
Temperaturdrift	<1 mV/°C	<1 mV/°C
Statische Auflösung**	<0,001 % des Messbereichs (RMS)	<0,001 % des Messbereichs (RMS)
Dynamische Auflösung**	<0,0025 % des Messbereichs (RMS)	<0,0025 % des Messbereichs (RMS)
Linearität im nominalen Messbereich	<0,1 % (<0,2 % für D-510.020)	<0,1 % (<0,2 % für D-510.020)
Schnittstellen und Bedienung		
Sensoranschluss	3 x LEMO ECP.00.650.NLL.543 Triaxbuchse	3 x LEMO ECP.00.650.NLL.543 Triaxbuchse
Signal Ausgang	LEMO 6-pol. FGG.0B.306.CLAD56	LEMO 6-pol. FGG.0B.306.CLAD56
Display und Anzeigen	–	3 x Overflow LED
Unterstützte Funktionen	ILS	ILS
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	+5 bis +40 °C	+5 bis +40 °C
Abmessungen	7T/3H	7T/3H
Target Ground Anschluss	3 x Buchse für 4 mm-Federstecker	3 x Buchse für 4 mm-Federstecker
Versorgungsspannung	System E-500	System E-500 (S. 2-142 ff)

*Erweiterungsfaktor bezogen auf den nominalen Messbereich des jeweiligen Sensorkopfes D-510, bei Bestellung angeben

**Statisch: Bandbreite 300 Hz, dynamisch: Bandbreite 3 kHz, 1 m Kabel

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Kapazitive Sensoren und
Messelektroniken

Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

Index

D-015 • D-050 • D-100 Kapazitive Sensoren

Auflösung im Sub-Nanometerbereich

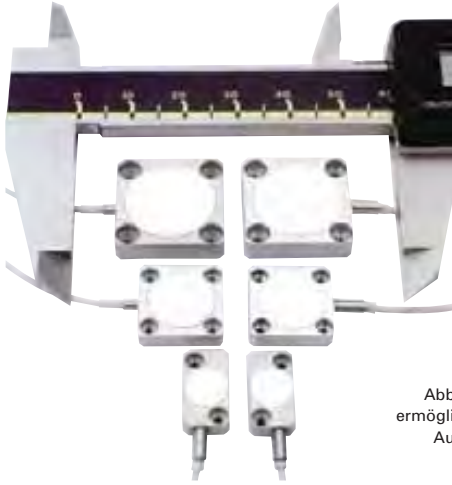


Abb. 1. Kapazitive Sensoren von PI ermöglichen bis zu 10.000-fach höhere Auflösungen als die zum Größenvergleich gezeigte Schieblehre.

- Für Anwendungen mit den höchsten Genauigkeitsanforderungen
- Messbereich bis zu 1000 μm
- Auflösung bis 0,01 nm
- Linearität bis 0,01% mit Digitalcontroller
- Bandbreite bis 10 kHz
- Regelelektronik E-509.CxA, kompatibel zum E-500 Piezo-Controllersystem
- Sonderausführungen

Messmethode

Die kapazitiven Positionssensoren der Reihe D-015 bis D-100 sind höchstauflösende und hochdynamische Absolutensoren für Abstände typischerweise unter 1 mm. Diese Zweielektroden-Sensoren bestehen aus zwei mit Hochfrequenz gespeisten Platten, die Teil einer kapazitiven Brücke sind (s. S. 3-19, Abb. 6).

Eine Platte (Target) wird feststehend montiert, die andere Platte (Probe) ist mit dem bewegten Objekt z. B. der Stellplattform einer Piezomechanik, verbunden. Weil die Plattengröße nicht variabel ist und das dielektrische Medium – meist Luft – unverändert bleibt, wird die Kapazität direkt durch

den Abstand zwischen den Platten bestimmt. Aus der Kapazitätsinformation erzeugt eine elektronische Präzisionschaltung das Positionssignal. Dem Schaltungsaufbau und den verwendeten Bauteilen kommt dabei sehr hohe Bedeutung zu. Neben den hier beschriebenen Zweielektroden-Sensoren stellt PI auch Eielektroden-Sensoren her.

Direktmetrologie, Parallelmetrologie

Die von PI angebotenen Sensoren sind die genauesten Messsysteme für Nanopositionieranwendungen, die momentan auf dem Markt sind. Sie haben viele Vorteile gegenüber anderen hochauflösenden Sensoren, u. a. weil sie direkt und

kontaktlos messen – im Unterschied zu dehnungsmessenden Systemen, z. B. piezoresistiven Sensoren (s. S. 2-8 ff):

- Höhere Phasentreue
- Höhere Bandbreite
- Keine periodischen Fehler
- Kontaktlos
- Ideal für Parallelmetrologie
- Höhere Linearität
- Bessere Reproduzierbarkeit
- Höchste Langzeitstabilität

Kapazitive Sensoren eignen sich hervorragend für Parallelmetrologie-Konfigurationen. Beim Einsatz in Mehrachsen-Nanopositioniersystemen können dann alle geregelten Freiheitsgrade gleichzeitig gemessen und Führungsfehler aktiv eliminiert werden (Active Trajectory Control). Dabei sind Ablaufebenheiten und Winkelgenauigkeiten im Sub-Nanometer bzw. Sub-Mikroradian Bereich erzielbar (s. Kapitel „Grundlagen der Nanostelltechnik“, S. 2-212 f).

Auflösung

Kapazitive Sensoren erreichen über kleine Wege Auflösungen bis in den Pikometerbereich. Die theoretische Messauflösung wird nur durch das Quantenrauschen begrenzt. In der Praxis beeinflussen Streustrahlung, Geometrieeffekte

Bestellinformationen

D-015.00
Kapazitiver Positionssensor,
15 μm , Aluminium

D-050.00
Kapazitiver Positionssensor,
50 μm , Aluminium

D-100.00
Kapazitiver Positionssensor,
100 μm , Aluminium

Sonderausführungen auf Anfrage!

und das Rauschen der Messelektronik die erreichbare Genauigkeit. Der effektive Rauschfaktor des D-100.00 Sensors (100 μm) in Verbindung mit der E-509.C1A Elektronik liegt bei 0,02 nm/ $\sqrt{\text{Hz}}$. Bei 100 Hz Bandbreite z.B. entspricht das einer Auflösung von 0,2 nm. Die durch Jumper einstellbare Bandbreite der Elektronik beträgt bis zu 3 kHz, in Sonderkonfigurationen sind 10 kHz möglich.

Hinweis

Neben den hier aufgeführten Standardsensoren bietet PI kundenspezifische Sonderausführungen an, z.B. in Messbereich, Geometrie, Material, Elektronik etc. Sprechen Sie mit unseren Produktspezialisten!

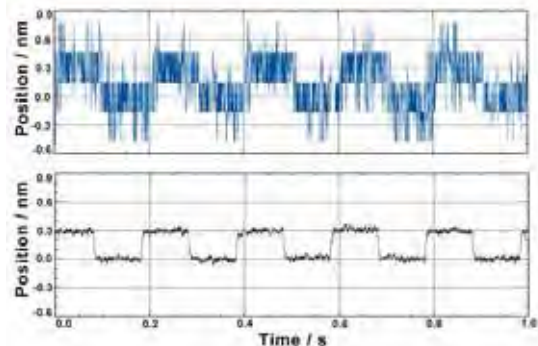
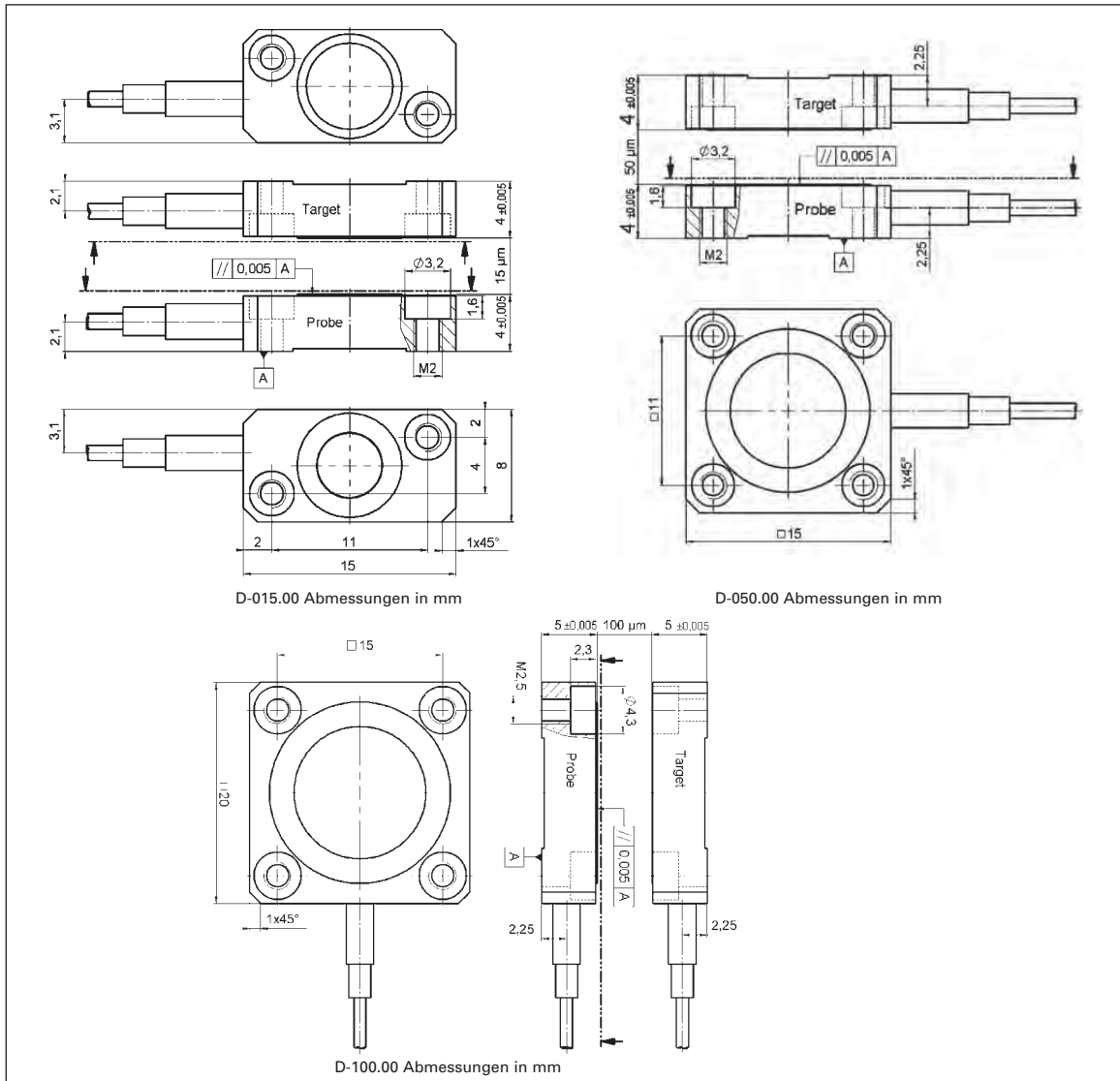


Abb. 2. Bewegung eines Piezo-Nanopositioniersystems mit 0,3 nm Schritten, gemessen mit einem kapazitiven Sensor von PI (untere Kurve) und mit einem hochgenauen Laser Interferometer (Modell Zygo ZMI 2000, obere Kurve). Der kapazitive Sensor zeigt eine noch wesentlich höhere Auflösung als das Interferometer.



Technische Daten

Modell	D-015.00	D-050.00	D-100.00	Einheit
Sensor				
Sensortyp	Kapazitiv	Kapazitiv	Kapazitiv	
Nominaler Messbereich	15	50	100	μm
Erweiterter Messbereich	45	150	300	μm
Auflösung*	0,0005	0,0005	0,0005	% des Messbereichs
Linearität**	0,01	0,01	0,01	%
Aktive Sensorfläche	16,6	67,7	113,1	mm ²
Thermische Drift***	50	50	50	ppm/K
Anschlüsse und Umgebung				
Betriebstemperaturbereich	-20 bis 80	-20 bis 80	-20 bis 80	°C
Material	Aluminium	Aluminium	Aluminium	
Empfohlene Auswertelektronik	E-509.CxA	E-509.CxA	E-509.CxA (s. S. 3-16)	

Andere Materialien auf Anfrage.

*bei 3 kHz, mit E-509.C3A

**mit Digitalcontroller. Bis 0,05% typ. mit analogem E-509 Controller.

***Änderungen der aktiven Oberflächen in ppm (parts per million) bezogen auf den Messbereich

E-509 Sensorauswertung/Regler

Servocontrollermodul für drei Kanäle, Piezocontroller System E-500



E-509 3-Kanal Servocontrollermodul für Nanopositioniersysteme mit DMS-Sensoren

E-509 ist ein Positionsreglermodul mit Sensorauswertelektronik für Nanopositioniersysteme mit integrierten Positionssensoren. Es eliminiert automatisch Drift bzw. Hysterese, im Spannungsgesteuerten Piezobetrieb auftreten, und gleicht Positionsänderungen des Piezoaktors im Falle eines Lastwechsels durch augenblickliche Anpassung der Piezospannung aus. Ein- und mehrkanalige Versionen für DMS- und kapazitive Sensoren stehen zur Auswahl (s. S. 2-152).

Bestellinformation

E-509.C1A
Sensor-/ Servocontrollermodul, kapazitiver Sensor, 1 Kanal

E-509.C2A
Sensor-/ Servocontrollermodul, kapazitive Sensoren, 2 Kanäle

E-509.C3A
Sensor-/ Servocontrollermodul, kapazitive Sensoren, 3 Kanäle

E-509.S1
Sensor-/ Servocontrollermodul, DMS-Sensor, 1 Kanal

E-509.S3
Sensor-/ Servocontrollermodul, DMS-Sensoren, 3 Kanäle

Sonderausführungen auf Anfrage!

- Positionsregelung für Piezos mit DMS- und kapazitiven Sensoren
- 1-, 2- und 3-Kanal-Versionen
- Verbessert die Linearität
- Eliminiert Drift u. Hysterese
- Notchfilter für höhere Bandbreite
- Erhöht die Piezosteifigkeit
- Hervorragende Linearität durch integrierte Linearisierungsfunktion (ILS)
- Einschubmodul für E-500 System
- Schnittstellen- / Displaymodule (optional)

Technische Daten

Modell	E-509.C1A/E-509.C2A/E-509.C3A	E-509.S1/E-509.S3
Funktion	Sensor- und Positionsregelelektronik für Piezomechanik	Sensor- und Positionsregelelektronik für Piezomechanik
Kanäle	1 / 2 / 3	1 / 3
Sensor		
Reglertyp	P-I (analog) + Notchfilter	P-I (analog) + Notchfilter
Sensortyp	Kapazitiv	DMS
Sensorkanäle	1 / 2 / 3	1 / 3
Sensorbandbreite	0,3 bis 3 kHz (m. Jumper einstellbar); bis 10 kHz auf Anfrage	0,3; 1; 3 kHz
Rauschfaktor	0,115 ppm/√Hz	-
Thermische Drift	<0,3 mV / °C	<3 mV / °C
Linearität	<0,05 %	<0,2 %
Schnittstellen und Bedienung		
Sensoranschluss	LEMO EPL.00.250.NTD	LEMO ERA.0S.304.CLL
Sensormonitorausgang	0 – 10 V	0 – 10 V
Sensormonitorbuchse	LEMO 6-pol. FGG.0B.306.CLAD56	BNC (1-kan.) / 3-pol. LEMO (3-kan.)
Unterstützte Funktionen	ILS	ILS
Display und Anzeigen	Overflow LED	Overflow LED
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	+5 bis +50 °C	+5 bis +50 °C
Abmessungen	7T/3H	7T/3H
Masse	0,35 kg	0,35 kg
Betriebsspannung	System E-500	System E-500 (S. 2-142)
Leistungsaufnahme, max.	4 bis 8 W	4 bis 8 W

Auflösung / Bandbreite

Auflösung in der Positionierung bezeichnet die kleinste Abstandsänderung, die vom System unterschieden werden kann.

Für kapazitive Sensoren ist die Auflösung prinzipiell unbegrenzt und wird in der Praxis nur vom Rauschen der Auswertelektronik limitiert. Signalauswertelektronik von PI ist mit dem Ziel der Rauschminimierung entwickelt, wodurch kapazitive Sensoren praktisch eine Auflösung bis in den Picometerbereich erreichen.

Das elektronische Rauschen ist direkt abhängig von der Bandbreite des Sensorsignals. Eine Einschränkung der Bandbreite minimiert das Rauschen und verbessert damit die Auflösung.

Auch der Messabstand beeinflusst die Auflösung: je kleiner der Messbereich gewählt wird, umso geringer ist der Absolutwert des Elektronik-Rauschens.

Abbildung 1 zeigt im Vergleich die Positionsauflösung eines kapazitiven Positionssensors D-015 mit 15 µm Messbereich und eines Laserinterferometers, die beide Bewegungen im Nanometerbereich messen. Deutlich ist die überlegene Auflösung der kapazitiven Methode zu erkennen.

Abbildung 2 zeigt den Einfluss der Bandbreite auf die Auflösung. Die Einelektroden-Sensoren von PI bieten auch bei hoher Bandbreite eine hervorragende Auflösung bis zu 1 nm.

Linearität und Stabilität von PI-Sensoren

Die Linearität einer Messung bezeichnet die Proportionalität zwischen Abstandsänderung der Sensorplatten und Ausgangssignal. Die Angabe erfolgt üblicherweise als Linearitätsfehler in % des gesamten Messbereichs. Ein Fehler von 0,1% über einen Messbereich von 100 µm ergibt somit eine mögliche Abweichung des Messwertes zum Ist-Wert von 0,1 µm. Linearitätsfehler haben keinen Einfluss auf die Auflösung und Reproduzierbarkeit der Messung.

Die Linearität wird in hohem Maß von der Homogenität des elektrischen Feldes zwischen den Sensorelektroden und damit von der Parallelität der Sensorplatten in der Messanordnung bestimmt.

Das in die Elektronik integrierte Linearisierungssystem (ILS)

kompensiert die Einflüsse von Parallelitätsfehlern weitestgehend. Abb. 3 zeigt den Vergleich zwischen einem konventionellen kapazitiven Messsystem und dem ILS-System von PI. Bei Verwendung digitaler Controller für Nanopositioniersysteme wie z. B. dem E-710 sind Messvorgänge mit einer Linearität bis zu 0,003% realisierbar.

Der Vorteil des ILS-Systems in der Praxis ist in Abb. 4 zu sehen: Die Messkurve zeigt die Linearität eines P-752.11C Piezo-Nanopositioniersystems mit integriertem Kapazitivsensor im geschlossenen Regelkreis. Die hervorragende Linearität, bis zu 0,02% mit analogem Controller – noch höhere Genauigkeit ist z. B. mit den E-710 Digitalcontrollern erzielbar – umfasst die Nicht-

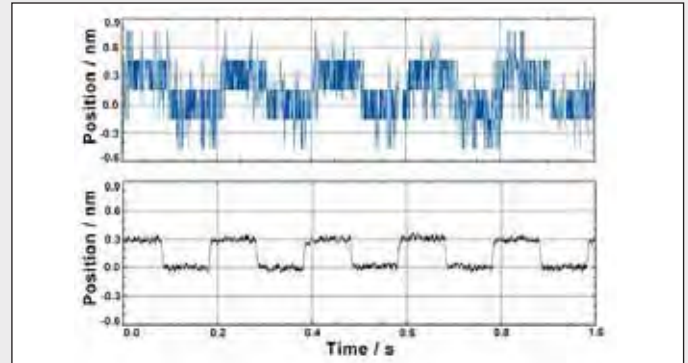


Abb. 1: Bewegung eines Piezo-Nanopositioniersystems mit 0,3 nm Schritten, gemessen mit einem kapazitiven Sensor von PI (untere Kurve) und mit einem hochgenauen Laserinterferometer (Modell Zygo ZMI 2000, obere Kurve). Der kapazitive Sensor zeigt eine noch wesentlich höhere Auflösung als das Interferometer

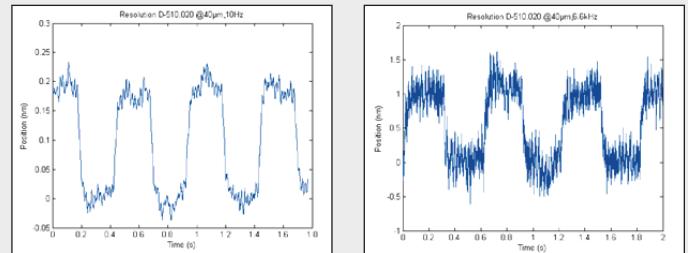


Abb. 2: Eine Auflösung deutlich unter einem Nanometer erreicht der PISeCa™ Einelektroden-Sensor D-510.020 und E-852.10 Signalauswertelektronik, links 0,2 nm-Schritte bei 10 Hz, rechts 1 nm-Schritte bei maximaler Bandbreite von 6,6 kHz

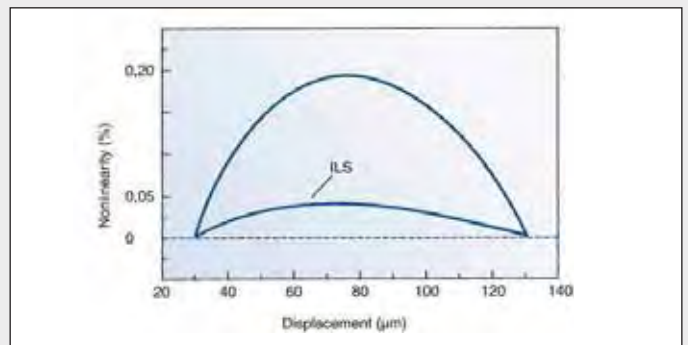


Abb. 3: Linearität eines konventionellen kapazitiven Sensors im Vergleich mit dem ILS (Integrated Linearization System) von PI. Beim Einsatz der digitalen Linearisierung sind noch bessere Ergebnisse erreichbar

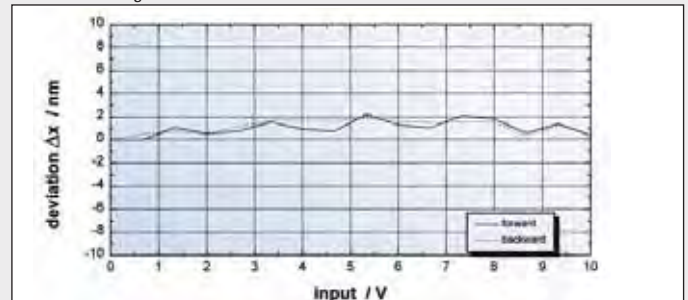


Abb. 4: Linearität eines P-752.11C Piezo-Nanopositioniersystems (analoge Steuerelektronik: E-500 Chassis mit E-503.00 und E-509.C1A Modulen). Der Stellweg beträgt 15 µm bei 10 V am Steuereingang. Die Linearität ist besser als 0,02%; noch bessere Werte sind z. B. mit E-710 Digitalcontrollern erzielbar

linearitäten aller Komponenten, von der Mechanik, über den Piezoantrieb, bis zum Sensor und der Elektronik. Die Stabilität der Messergebnisse wird durch thermische und elektronische Drift bestimmt. Für eine möglichst

genaue und wiederholbare Messung sollte daher die Umgebungstemperatur konstant gehalten werden. Die Messelektronik von PI zeichnet sich durch eine hervorragende Langzeitstabilität aus, wie in Abb. 5 dargestellt.

Messprinzip

Proportionalität Signal/Distanz

Zwischen den Platten eines idealen Plattenkondensators wird beim Anlegen einer Spannung ein homogenes elektrisches Feld erzeugt. Die elektrische Kapazität der Anordnung wird – bis auf konstante Faktoren – nur von der Plattenfläche und ihrem Abstand bestimmt. Eine Abstandsänderung bewirkt also direkt eine Änderung der Kapazität. Über eine Brückenschaltung wird die Kapazität mit einem Referenzkondensator abgeglichen. Die Auswerteelektronik für kapazitive Positionssensoren ist so konzipiert, dass das Ausgangssignal proportional zur Abstandsänderung ist. Die beiden Sensorflächen oder die Sensoroberfläche („Probe“) und die Oberfläche des Messobjektes („Target“) bilden dabei die beiden Kondensatorplatten.

Die Oberfläche des Messobjektes/Targets darf eine gewisse Größe nicht unterschreiten, da sonst Randeffekte die Messung verfälschen können. Dies ist

zum Beispiel bei Anwendungen wichtig, die eine Messung gegenüber einem Messobjekt auf Walzen o. ä. vorsehen. Die Dicke des Messobjektes hat bei metallischen Werkstoffen keinen Einfluss.

Schutzringgeometrie

Voraussetzung einer Proportionalität ist die Homogenität des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden. Um Randeffekte auszuschließen ist die eigentliche Sensorfläche bei allen kapazitiven Sensoren von PI von einem aktiven Schutzring umgeben, der dasselbe elektrische Potenzial wie die Sensorfläche hat (Abb. 7). Dieser Aufbau sorgt für eine optimale Abschirmung vor störenden Feldern und ausgezeichnete Abgrenzung des Messbereichs. Bei paralleler Ausrichtung der Sensoroberfläche zur Targetoberfläche wird so die größtmögliche Linearität der Ausgangssignale über den gesamten Messbereich mit der spezifizierten Genauigkeit erreicht.

Kalibrierung für höchste Genauigkeit

Die werksinterne Kalibrierung in den PI Nanometrologie-Messlabors wird nach dem neuesten Stand der Technik vorgenommen. Als Referenz dienen ultragenau Sensoren wie z. B. Laserinterferometer. PI verwendet zum Beispiel für die Kalibrierung der PISeca™

Systeme die NEXLINE® basierten hochgenauen Positionierer mit einer Bewegungsauflösung unter 0,01 nm in einem Aufbau mit reibungsfreien Flexureführungen und als Referenz einen inkrementellen Sensor mit einer Auflösung unter 0,1 nm (Abb. 8 und 9).

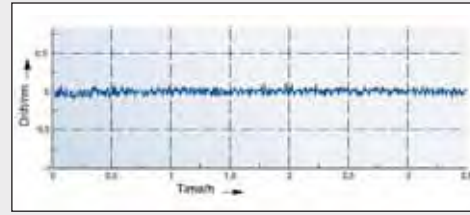


Abb. 5: Messstabilität eines analogen E-509.C1A Sensor- / Servocontrollermoduls für kapazitive Positionssensoren mit 10 pF Referenzkondensator über dreieinhalb Stunden (nach Warmlaufen der Elektronik)

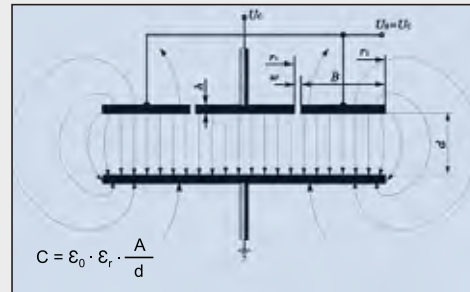


Abb. 6: Arbeitsprinzip eines kapazitiven Sensors. Die Kapazität C ist proportional zur aktiven Sensorfläche A, d bezeichnet den Abstand von Sensor zu Targetfläche, ϵ_0 ist eine Konstante, ϵ_r die dielektrische Konstante des Materials zwischen den Kondensatorplatten, im Allgemeinen Luft



Abb. 7: Kapazitive Sensoren mit Schutzringelektrode bieten größtmögliche Linearität

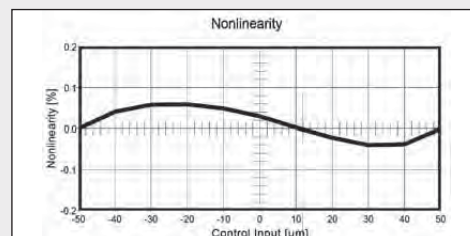


Abb. 8: Der Linearitätsfehler eines typischen PISeca™ Einelektroden-Messsystems liegt unter 0,1% über den gesamten Messbereich

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Kapazitive Sensoren und Messelektroniken

Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

Index

Direktmetrologie, Parallelmetrologie

Direktmetrologie/Parallelmetrologie mit kapazitiven Zweiplattensensoren

Für Nanometrologie-Anwendungen in Positionierung, Scanning und Messung, die die größtmögliche Genauigkeit erfordern, sind kapazitive Messsysteme die geeignete Wahl. Zweiplattensensoren erreichen die höchste Linearität und Langzeitstabilität. Diese absolutmessenden, kontaktlosen Messgeräte können an der bewegten Oberfläche angebracht werden und messen so unmittelbar gegen eine Referenzfläche

(Direktmetrologie), ohne die eigentliche Messung zu beeinflussen. Sie sind insbesondere in der Nanostelltechnik für Systeme mit Parallelkinematik hervorragend geeignet. Dies bedeutet, dass bei Mehrachsensystemen alle Freiheitsgrade bezüglich einer einzigen Basis gemessen werden und Übersprechen senkrecht zur Bewegungsrichtung in Echtzeit ausgeglichen werden kann (Aktive Führung). Dadurch können Ablaufgenauigkeiten im Subnanometer- und Submikroradian-Bereich erreicht werden.

Spezieller Aufbau schließt Kabeleinflüsse aus

Messsysteme, die auf der Messung der elektrischen Kapazität basieren, können durch Schwankungen in der Kabelkapazität beeinflusst werden. Die meisten kapazitiven Sensoren funktionieren deshalb nur bei geringen, fest definierten Kabellängen. In den PI-Systemen werden Kabeleinflüsse durch einen speziellen

Aufbau eliminiert, weshalb Kabellängen bis 3 m problemlos verwendet werden können. Für optimale Ergebnisse empfehlen wir die Kalibrierung des Sensor- / Aktorsystems bei PI. Noch größere Entfernungen zwischen Sensor und Messelektronik werden mit speziellen digitalen Übertragungssystemen verlustfrei überbrückt.

Elektroden-Geometrie und Oberflächenqualität

Die Oberflächen der kapazitiven Sensoren müssen den höchsten Präzisionsanforderungen genügen. Die PI-Sensoren werden

deshalb mit speziellen, höchst genauen Bearbeitungsmethoden aus der Präzisionsoptikfertigung hergestellt.

Parallelität der Messflächen

Um optimale Ergebnisse zu erzielen, müssen Target und Probe während der Messung parallel zueinander ausgerichtet sein. Insbesondere bei geringem Messabstand und kleiner Sensorfläche wirken sich Abweichungen sehr stark auf das Messergebnis aus. Eine eventuelle Verkipfung beeinflusst

nicht die Auflösung und Wiederholbarkeit, nur die Linearität und Proportionalverstärkung, (s. Abb. 12). Positioniersysteme mit Multilink-Flexureführungen für minimale Verkipfung in beiden Stellrichtungen (Abb. 13) erreichen deshalb die höchsten Genauigkeiten.

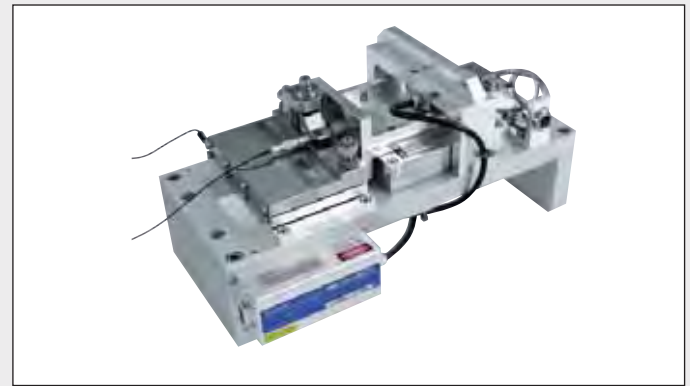


Abb. 9: Bei der PI-internen Kalibrierung von kapazitiven Einplatten-Systemen wird ein hochgenauer NEXLINE® Nanopositionierer mit inkrementellem Sensor eingesetzt. Die Auflösung ist deutlich besser als die eines Laserinterferometers

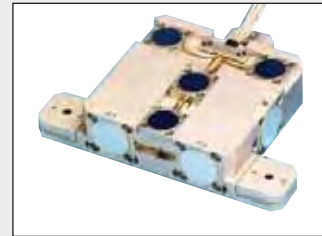


Abb. 10: Kapazitive Positionssensoren in einem ultrapräzisen 6D-Nanopositioniersystem für Rastermikroskopie, entwickelt für die PTB

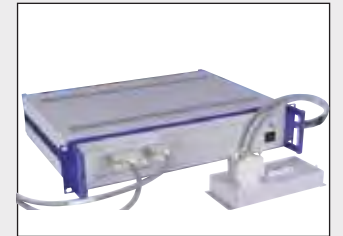


Abb. 11: Die Verwendung der digitalen Signal Transmission ermöglicht einen Abstand von bis zu 15 m zwischen Positioniereinheit und Controller durch eine separierte Sensorauswertung, hier: E-710

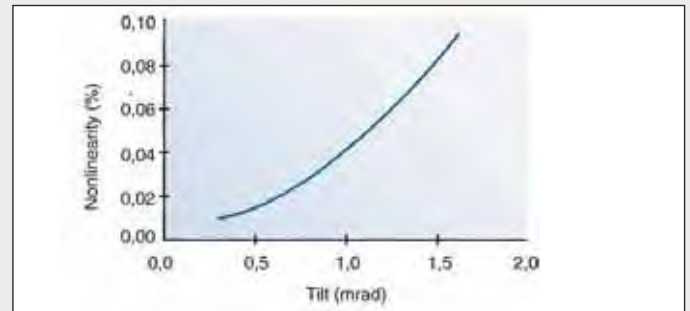


Abb. 12 : Nichtlinearität als Funktion der Verkipfung des Sensors

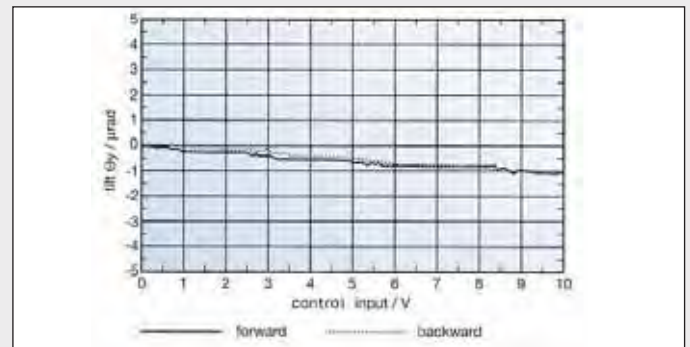


Abb. 13: Flexuregeführte Nanopositioniersysteme wie z. B. das P-752 ermöglichen Sub-Mikrorad-Führungsgenauigkeiten und optimale Voraussetzungen für kapazitive Sensoren

Glossar

Messbereich

Der Messbereich ist abhängig sowohl von der Größe der aktiven Sensorfläche als auch der Elektronik.

Bedingt durch die Konzeption der Signalauswerteelektronik für kapazitive Sensoren von PI entspricht grundsätzlich die Größe des mittleren Abstands des Systems dem Messbereich. Der Messabstand zwischen

Sensoroberfläche und Target beträgt zwischen 50 und 150 % des Messbereiches (s. Abb. 14). Die Plattenkapazität hat denselben Wert wie der Referenzkondensator in der Elektronik. Der nominale (Standard-)Messbereich kann durch die Auswahl verschiedener Referenzkondensatoren in der Elektronik entweder vergrößert oder reduziert werden (s. Abb. 15).

Target

Bei kapazitiven Zweiplattensensoren wird eine Elektrode als Sonde (Probe), die andere als Target bezeichnet.

Bei Einelektroden-Sensoren wird die Oberfläche, gegen die gemessen wird, als Target bezeichnet. Die Targetoberfläche muss grundsätzlich aus einem leitenden Material sein, das elektrisch geerdet ist. Messungen gegen Halbleiter sind ebenfalls möglich.

Während bei kapazitiven Zweiplattensensoren beide Flächen definiert und in hoher Qualität vorhanden sind, hat die Target-

beschaffenheit bei Einplattensensoren durchaus Einfluss auf die Messung.

Eine gewölbte oder raue Oberfläche verschlechtert die Auflösung der Messung, da hierbei der Abstand gemittelt wird (Abb. 16 u. 17). Die Form der Oberfläche verändert auch die Homogenität des elektrischen Feldes und damit die Linearität des Messergebnisses.

Bei der Kalibrierung bei PI wird gegen eine ebene leitende Oberfläche gemessen, die deutlich größer als die Sensoroberfläche ist.

Umgebungsbedingungen

Präzisionsmessungen im Nanometerbereich setzen voraus, dass Umgebungseinflüsse auf ein Minimum reduziert sind. Konstanz von Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Messung ist dazu ebenso notwendig wie eine saubere Umgebung.

Die Elektronik von PI ist prinzipiell sehr temperaturstabil. Der Fehler beträgt unter 0,2% des Messbereichs bei einer Temperaturänderung von 10 °K. Mit der Temperatur ändert sich außerdem die Ausdehnung aller Materialien im Messaufbau,

wodurch sich die tatsächlichen Messabstände ändern.

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit liegt bei einer Änderung der relativen Luftfeuchte um 30%-Punkte unter 0,5% des Messbereichs. Insbesondere kondensierende Luftfeuchtigkeit ist unbedingt zu vermeiden.

Staub oder beschädigte Sensoroberflächen beeinflussen die Qualität der Messung ebenfalls stark.

Die Umgebungsbedingungen bei der Kalibrierung sind im Calibration Sheet jedes einzelnen PI Systems vermerkt.

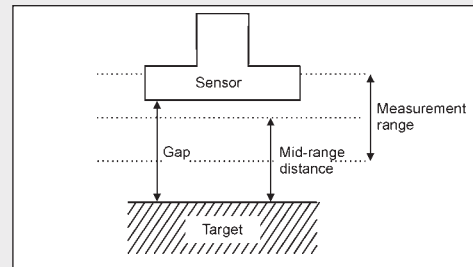


Abb. 14: Definitionen: Messbereich und mittlerer Abstand sind identisch im Zahlenwert

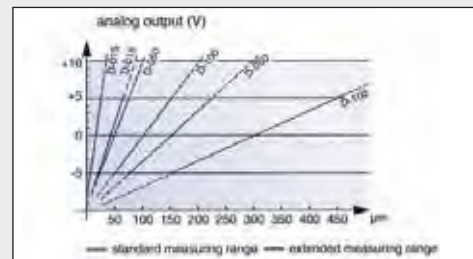


Abb. 15: Standard-Messbereiche (blau) und erweiterte Messbereiche (schwarz) verschiedener kapazitiver Positionssensoren

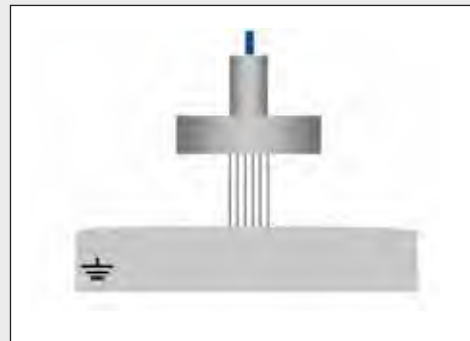


Abb. 16: Die Rauigkeit der Targetoberfläche kann die Messung beeinflussen

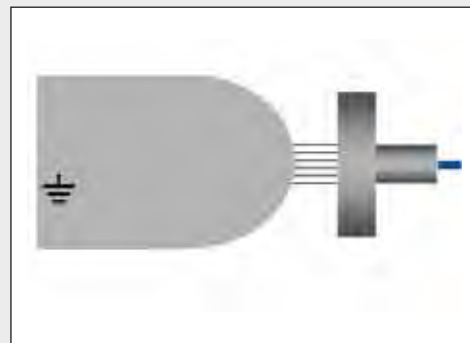


Abb. 17: Bei gewölbten Oberflächen wird der Abstand gemittelt

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Kapazitive Sensoren und Messelektroniken

Grundlagen der Nanometrologie

Mikrostelltechnik

Index

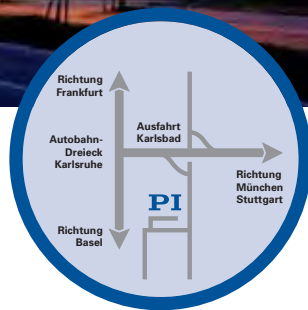
Alle Wege führen zu PI

PI Karlsruhe



Im Einzugsbereich der Flughäfen Frankfurt, Stuttgart und Straßburg, liegt PI verkehrsgünstig, nahe dem Autobahndreieck Karlsruhe, direkt an der A8, Ausfahrt Karlsbad.

www.pi.ws

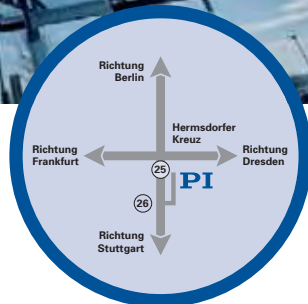


PI Ceramic Lederhose



Einfach und schnell erreichbar liegt PI Ceramic direkt am Verkehrsknotenpunkt „Hermisdorfer Kreuz“ der A9 und der A4. Nur wenige Minuten von den Anschlussstellen Nr. 25 und Nr. 26 entfernt.

www.piceramic.de



Wir öffnen Nanowelten | www.pi.ws

Hauptsitze

DEUTSCHLAND

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG
Auf der Römerstr. 1
76228 Karlsruhe
Tel: +49 (721) 4846-0
Fax: +49 (721) 4846-100
info@pi.ws · www.pi.ws

PI Ceramic GmbH
Lindenstr.
07589 Lederhose
Tel: +49 (36604) 882-0
Fax: +49 (36604) 882-25
info@piceramic.de
www.piceramic.de

Niederlassungen

USA (Ost) & KANADA

PI (Physik Instrumente) L.P.
16 Albert St.
Auburn, MA 01501
Tel: +1 (508) 832 3456
Fax: +1 (508) 832 0506
info@pi-usa.us
www.pi-usa.us

USA (West) & MEXIKO

PI (Physik Instrumente) L.P.
5420 Trabuco Rd., Suite 100
Irvine, CA 92620
Tel: +1 (949) 679 9191
Fax: +1 (949) 679 9292
info@pi-usa.us
www.pi-usa.us

JAPAN

PI Japan Co., Ltd.
Akebono-cho 2-38-5
Tachikawa-shi
Tokyo 190
Tel: +81 (42) 526 7300
Fax: +81 (42) 526 7301
info@pi-japan.jp
www.pi-japan.jp

PI Japan Co., Ltd.
Hanahara Dai-ni-Building, #703
4-11-27 Nishinakajima,
Yodogawa-ku, Osaka-shi
Osaka 532
Tel: +81 (6) 6304 5605
Fax: +81 (6) 6304 5606
info@pi-japan.jp
www.pi-japan.jp

CHINA

Physik Instrumente (PI Shanghai) Co., Ltd.
Building No. 7-301
Longdong Avenue 3000
201203 Shanghai, China
Tel: +86 (21) 687 900 08
Fax: +86 (21) 687 900 98
info@pi-china.cn
www.pi-china.cn

UK & IRLAND

PI (Physik Instrumente) Ltd.
Lambda House
Batford Mill
Harpenden, Hertfordshire
AL5 5BZ
Tel: +44 (1582) 711 650
Fax: +44 (1582) 712 084
uk@pi.ws
www.physikinstrumente.co.uk

FRANKREICH

PI France S.A.S.
32 rue Delizy
93694 Pantin Cedex
Tel: +33 (1) 57 14 07 10
Fax: +33 (1) 41 71 18 98
info@pifrance.fr
www.pifrance.fr

ITALIEN

Physik Instrumente (PI) S.r.l.
Via G. Marconi, 28
20091 Bresso (MI)
Tel: +39 (02) 665 011 01
Fax: +39 (02) 873 859 16
info@pionline.it
www.pionline.it



Aktueller Katalog:
www.pi.de