

Digital Control Bestleistung für Positioniersysteme



Inhalt

Digital Control	3
Produktübersicht	6
E-712 Digitaler Nanopositioniercontroller	
Modulares System für Piezosysteme und NEXLINE® Antriebe	7
E-761 Digitaler Piezocontroller	
Preisgünstige PCI-Karte für drei Achsen	18
E-725 Digitaler Piezocontroller	
Für schnelle Präzisions-Positioniersysteme mit bis zu drei Achsen	20
E-753 Digitaler Piezocontroller	
Hochgeschwindigkeits-Controller für eine Achse	22
E-755 Digitaler NEXLINE® Controller	
Ein-Achs-Controller für picometergenaue Aktoren/Positionierer	24
Fortgeschrittene Funktionen – Anforderungen aus den Anwendungen	26
DDL: Dynamische, Digitale Linearisierung	
Nanometer-Bahntreue während dynamischer Scans	27
Anwendungsbeispiel	28
Advanced Piezo Control	
Alternatives Regelkonzept für schnelleres Einschwingen	30
PICOPlane™ für Piezosysteme	
Bewegungen mit Nanometer-Ebenheit umsetzen	31
E-861 PiezoWalk® NEXACT® Controller/Treiber	
Vernetzbarer Controller für NEXACT® Linearantriebe und Positionierer	32
C-663/863/867 Mercury™ Motion Controller	
Vernetzbare Einachscontroller für Schritt-, DC- und Piezomotoren	33
Hexapod Controller	
Leistungsstarke Mehrachsenpositionierung einfach bedienen	34
Systemdenken	
Alles in einer Hand – Alles aus einer Hand	35
PI Software	
Positioniersysteme effektiv und komfortabel betreiben	36
Über PI	38

Digital Control

Performancesteigerung durch digitale Prozesse



Objektivpositionierer für die Mikroskopie mit digitaler Einkanalsteuerung. Das Optimum an Auflösung und Einschwingzeit

Die Digitaltechnologie eröffnet in der Steuerungs- und Regelungstechnik Möglichkeiten zur Performancesteigerung, die in der klassischen analogen Technik nicht gegeben sind.

Ein wesentlicher Vorteil der Digitalcontroller von PI ist, dass auf alle Bewegungsparameter durch Rechenalgorithmen gezielt Einfluss genommen werden kann.

Dieses dient der Steigerung der Präzision und den dynamischen Eigenschaften sowie des Bedienungskomforts.

Hochauflösende Signalkonvertierung

Die wichtigste Voraussetzung ist dabei, dass die Signalkonver-

tionierung von analogen Eingangssignalen in digitale Daten für die Weiterbearbeitung schnell und hochauflösend erfolgt. Information, die bei der Konversion verloren geht, bleibt verloren. Dasselbe gilt auch für die Erzeugung des analogen Steuersignals: Die besten Algorithmen nutzen nichts, wenn das analoge Steuersignal nicht hochaufgelöst erzeugt werden kann. PI setzt deshalb in den neuesten Generationen A/D und D/A Wandler mit mindestens 20 Bit Auflösung ein. Dadurch werden analoge Signale in über 1 Million Datenpunkte aufgelöst.

Schnelle Datenverarbeitung

Die eingehende Datenmenge muss schnell verarbeitet wer-

den, um den klassischen analogen Controllern im Punkt „Echtzeit“ nicht nachzustehen.

Hierzu sind schnelle Prozessoren erforderlich. PI setzt je nach Aufgabenstellung des Controllers auf moderne DSPs oder auf leistungsfähige PC-Lösungen.

Ein Regelzyklus wird so z.B. in 0,02 Millisekunden abgearbeitet – das entspricht einer Servorate von 50 kHz. Entsprechend müssen auch aktualisierte Sensordaten und Steuersignale bereitgestellt werden.

Performancesteigerung durch digitale Prozesse

Die Leistungsfähigkeit eines Positioniersystems wird nicht mehr

alleine durch seine mechanischen Eigenschaften bestimmt. Für dynamische Anwendungen ist es zum Beispiel wichtig, dass das System möglichst steif und die bewegte Masse gering ist, dass die Sensorbandbreite groß und die Verstärkerflanke steil ist. Nichtsdestotrotz wird es zu Phasenversätzen zwischen dem Steuersignal – der Sollbewegung – und der tatsächlichen Bewegung kommen. Linearisierungsalgorithmen minimieren die Abweichung von Soll- und Istwert und ermöglichen ein schnelleres Einregeln, wie auch das Anpassen des Steuersignals.



Parallelkinematischer Hexapod mit Digitalcontroller, der die Verrechnung der komplexen Bewegungsabläufe übernimmt.

Digitale Datenverarbeitung

In der klassischen Nanostelltechnik werden die folgenden Algorithmen in digitalen Controllern verwendet, um die Systemperformance zu verbessern:

Linearisierung der Elektronik:

Alle digitalen PI Controller für die Nanopositionierung verhalten sich gleich. Dadurch ist es möglich, beliebige auf eine digitale Steuerung abgestimmte Piezomechaniken auch an anderen Controllern ohne Performanceverluste zu betreiben. Die erforderlichen Abgleich-

daten werden auf einem ID-Chip im Verstärker gespeichert und vom Controller bei der Inbetriebnahme abgerufen.

Linearisierung der Mechanik:

Die Linearität des Gesamtsystems ist ein Maß für seine Positioniergenauigkeit. Piezoaktoren an sich besitzen eine hohe Nichtlinearität von bis zu 15% des Stellwegs, der durch die Ansteuerung und Regelung ausgeglichen werden muss, damit das System die Position möglichst präzise erreicht. Die Nichtlinearität geregelter Systeme wird bei digitalen Controllern durch Berechnungen

mit Polynomen höherer Ordnung auf Werte unter 0,001% reduziert – was bei einem Stellweg von 100 µm einer Genauigkeit unter einem Nanometer entspricht.

Regler und Regelverfahren:

Die Aufgabe des Reglers ist, Abweichungen von Soll- und Istposition auszugleichen. Klassischerweise werden PID Regler verwendet. Abhängig von der Anwendung können aber auch andere Regelkonzepte in Kombination mit Linearisierungsalgorithmen zu besseren Ergebnissen führen. So bietet PI optionale, modell-

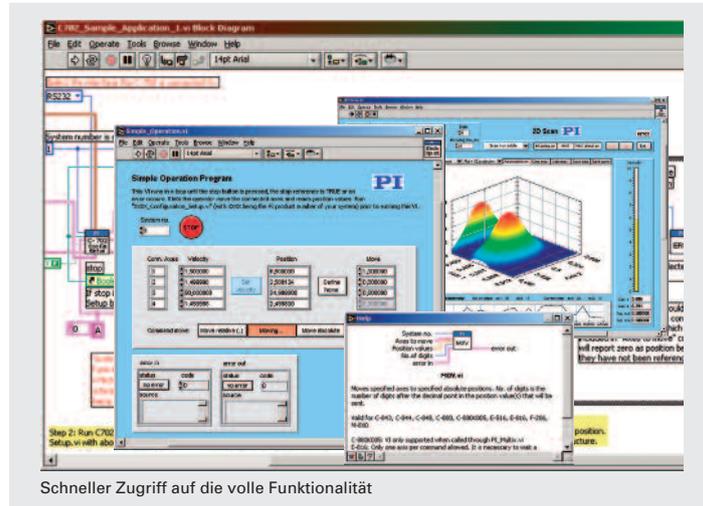
basierte Zustandsregler an (Advanced Piezo Control).

Dynamische Linearisierung:

Die digitale dynamische Linearisierung (DDL) reduziert zusätzlich noch während der Bewegung die Abweichung von sich periodisch wiederholenden Bahnkurven. Dies ist relevant für Scanning Anwendungen, bei denen es darum geht, eine bestimmte Position zu identifizieren und präzise wieder anzufahren oder für Anwendungen, bei denen die Bahnkurve für Bearbeitungsschritte eingehalten werden muss.

Digital Control

Vereinfachte Bedienung und fortschrittliche Funktionalität



Schneller Zugriff auf die volle Funktionalität

Bedienung über Software

Die komplette Digitalisierung aller Arbeitsschritte macht die Prozessparameter einfach per Software zugänglich. PI Software bietet darüber hinaus noch Diagnosetools und Einstellhilfen, wie die grafische Darstellung von Sprungantworten für die Parameteroptimierung.

Ansteuerung über digitale Schnittstellen

Schnelle USB- oder TCP/IP-Interfaces zählen neben RS-232 zu den Standardschnittstellen, die moderne Digitalcontroller unterstützen. Darüber hinaus bietet PI auch echtzeitfähige Schnittstellen wie ein 32 Bit paralleles In- / Out-Interface (PIO) an. Kundenspezifische serielle Schnittstellen sind ebenfalls möglich, um die Anbindung an die Anwendungsumgebung herzustellen.

Vereinfachte Ansteuerung von mehrachsigen Systemen

PI setzt auf parallele Kinematiken für präzises Positionieren in drei oder mehr Achsen. Hier wirken die Aktoren und Antriebe gleichzeitig auf die bewegte Plattform – z. B. bei Hexapoden. Die Bewegung der Plattform in die sechs

Richtungen erfordert die Koordination der einzelnen Achsen. Diese Koordinatentransformation erlaubt dem Bediener die Kommandierung in kartesischen Koordinaten, während der Controller die dazu erforderliche Ansteuerung der Einzelantriebe vornimmt.

Zusatzfunktionen der Digitalen Controller*

Rechenleistung und Speicherplatz, die die digitalen Steuerungen mit sich bringen, erlauben die Implementierung nützlicher Zusatzfunktionen

Koordinatentransformation für parallele Kinematiken zur einfachen Kommandierung in kartesischen Koordinaten.

Koordination der Schreitbewegung bei PiezoWalk® Antrieben; Linearisierung der Aktorauslenkungen bei Schreit-antrieben.

Software Zugriff auf alle Bewegungsparameter und die grafische Darstellung der Effekte.

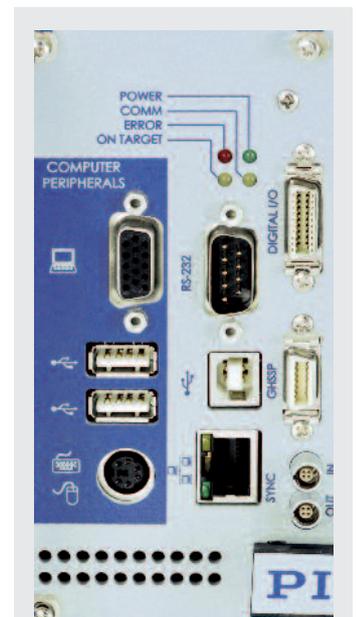
Makrospeicher, um extern triggerebare Bewegungsabläufe zu speichern und abzurufen.

Funktionsgenerator und Kurvenspeicher für den Abruf vorgefertigter Bewegungskurven und zur Erzeugung von eigenen Wellenformen.

Datenrekorder zeichnen Sensor- und Steuerwerte für die spätere Bearbeitung auf.

Der **ID Chip** ermöglicht den flexiblen Austausch von Controllern und Nanopositionierern ohne einen erneuten Abgleich der Betriebsparameter.

*Nicht alle Controller besitzen alle Funktionen. Die einzelnen Funktionsumfänge sind in den jeweiligen Datenblättern aufgeführt.



Die Standardschnittstellen beim Nanopositioniercontroller E-712 sind RS-232, US BundTCP/IP. Darüber hinaus bietet dieses Gerät, wie auch viele andere, zusätzliche digitale I/O Leitungen so wie auch über die Option für analoge Schnittstellen oder ein PIO zur Echtzeit-Kommandierung.

Digital Control

Über die reine Funktion hinaus...



Der digitale Nanopositioniercontroller E-761 als PC-Plug-In Board (hier mit XY Nanopositioniersystem) bietet eine preiswerte Alternative zum gehäuseten Tisch- oder Rackmountgerät.

Piezo, Nano, Positioning

PI bietet für die Präzisionspositionierung im Genauigkeitsbereich von einem Mikrometer bis unter einen Nanometer das weltweit breiteste Spektrum an Positionier- und Antriebssystemen. Piezoaktorik, Piezoschreit- oder ultraschallantriebe wie auch klassische Motoren und die Kombination aus allem ermöglichen PI, maßgeschneiderte Positioniersysteme anzubieten. Die Anforderungen in der Biotechnologie, Halbleiterfertigung, optischen Messtechnik oder Astronomie haben dabei eines gemeinsam: Die hohe geforderte Präzision und PI als Anbieter der Lösung.

So flexibel wie der Antrieb: Die Steuerung

Schnelles Einschwingen oder langsame Geschwindigkeit mit hoher Konstanz, hohe Positionstabilität, Auflösung und Dynamik – unterschiedliche Anwendungen erfordern ein hohes Maß an Flexibilität für Steuerung und Regelung. PI bietet daher von breit einsetzbaren Steuerungen bis hin zu hoch spezialisierten Controllern ein breites Spektrum an Elektronikern an: Als OEM Board zur Integration, als Plug-and-Play Tischgerät oder modular aufgebaut.

Kontinuierlicher Fortschritt

Die Zertifizierung eines Qualitätsmanagementsystems ist für PI eine Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung von Produkten und Prozessen. Lieferanten werden in den Entwicklungsprozess mit eingebunden, um die hohen PI Standards auf diese zu übertragen. Die Qualifikation der eigenen Mitarbeiter in Entwicklung und Fertigung, der Unterhalt von Laboren für EMV und Umwelttests wie auch die Verwendung neuester CAD- und Simulationstools sind Folge der unbedingten Verpflichtung von PI zur Qualität. Eine Verpflichtung, an der in der Nanotechnologie kein Weg vorbei führt.



Piezoverstärker in preisgünstiger und kompakter OEM Bauform

Service

Der **Lieferumfang** eines PI Systems, bestehend aus Controller und Verstärker, enthält alles, was für den Betrieb erforderlich ist:

- Eventuell erforderliche externe Netzteile
- Alle Netz-, Kommunikations- und Systemkabel
- Die ausführliche Bedienungsanleitung in ausgedruckter Form
- Software CD mit ausführlicher Setup Funktion

Firmware- und Softwareupdates werden – wie auch die Bedienungsanleitungen – über das Internet kostenlos angeboten. Sie erhalten mit dem Erwerb des Controllers einen Zugang für das PI Downloadportal. Firmwareupdates sind einfach über die Standardschnittstellen des Controllers auszuführen.

PI bietet einen weitreichenden **Software-Support** an. Die PI Software ist im Lieferumfang enthalten und dient zur Inbetriebnahme sowie zur Analyse

und Optimierung des Systemverhaltens. DLLs, LabView Treiber oder die Unterstützung von MatLab erleichtern die Programmierung.

Selbstverständlich ist die PI Software für die neuesten Betriebssysteme von Microsoft wie auch für den Betrieb unter LINUX ausgelegt.

Bei der Entwicklung der Geräte steht die Verwendung modernster Komponenten an erster Stelle. Somit ergibt sich eine lange Lieferbarkeit und Austauschbarkeit der Systeme auch über den Produktlebenszyklus hinaus.

Kundenspezifische Produktentwicklungen und -anpassungen sind ein wichtiger Bestandteil unseres technischen Fortschritts. Wir bieten Ihnen in diesem Zusammenhang:

- Die komplette Breite unseres Produktspektrums von der elektronischen Komponente über Komplettgeräte als OEM Platine bis hin zum modularen, gehäuseten System.
- Fertigung in kleinen Stückzahlen wie auch in Massen.
- Die Entwicklung anhand spezieller Produktnormen (landes- oder markt-spezifische Standards wie Medizinproduktegesetz) und entsprechende Zertifizierung.
- Anpassung der Systeme an spezielle Umgebungsbedingungen (Vakuum, Weltraum, Reinraum)
- Copy-Exactly Vereinbarungen

Digital Control

Produktübersicht: So flexibel wie die Antriebe von PI

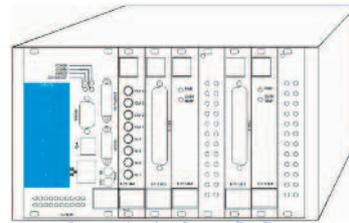
	Antrieb	Hardwareplattform	Achsenzahl	Leistung / Kanal	Schnittstellen	Softwareplattform
	Nanopositioniersysteme mit einer Achse	 E-753	1	5 W	Ethernet, RS-232, Analog	PI General Command Set
	Nanopositioniersysteme mit bis zu drei Achsen, geringe Leistungsanforderungen	 E-761	3	1,7 W	PCI Plug-In Board	PI General Command Set
	Nanopositioniersysteme mit bis zu drei Achsen	 E-725	3	10 W	Ethernet, USB, RS-232; optional Analog, PIO	PI General Command Set
	Nanopositioniersysteme mit bis zu sechs Achsen	 E-712	3 / 6	8 W	Ethernet, USB, RS-232; optional Analog, PIO	PI General Command Set
	PICOCUBE® Hochgeschwindigkeitsscanner	 E-712	3	15 W	Ethernet, USB, RS-232; optional Analog, PIO	PI General Command Set
	NEXLINE® Hochlast-Nanopositionierantrieb	 E-755  E-712	1	bis 10 W	RS-232 Ethernet, USB, optional Analog, PIO (nur E-712)	PI General Command Set
	NEXLINE® Parallelkinematik mit bis zu drei Achsen	 E-712	3	15 W	Ethernet, USB, RS-232; optional Analog, PIO	PI General Command Set
	Positioniersysteme mit NEXACT® Nanopositionierantrieb (mit Encoderauswertung)	 E-861	1	40 W	USB, RS-232	PI General Command Set
	Positioniersysteme mit DC-Servomotoren mit Encoderauswertung/PILine® Piezo Ultraschallmotoren mit Encoderauswertung/Schrittmotoren	 C-863 C-867 C-663	1		USB, RS-232, vernetzbar	PI General Command Set
	Hexapoden/Parallelkinematiken mit jedwedem Antrieb		bis 6		RS-232; bauartabhängig Ethernet oder USB	PI General Command Set

E-712 Digitaler Nanopositioniercontroller

Modulare Plattform für Präzisions-Piezosysteme und NEXLINE® Antriebe



- Digitaler Controller der neuesten Generation: 600 MHz Prozessor; bis zu 50 kHz Servo Update Rate; hochstabile 20-Bit D/A Wandler
- Echtzeitbetriebssystem für höchste Bahntreue
- Modularer Aufbau für höchste Flexibilität in der Umsetzung von Kundenanforderungen
- ID-Chip-Erkennung für automatischen Abgleich des Controllers auf die Piezomechanik
- Flexible Schnittstellen: Ethernet, USB, RS-232
- Optionale breitbandige analoge Ein- und Ausgänge
- Umfangreiches Softwarepaket



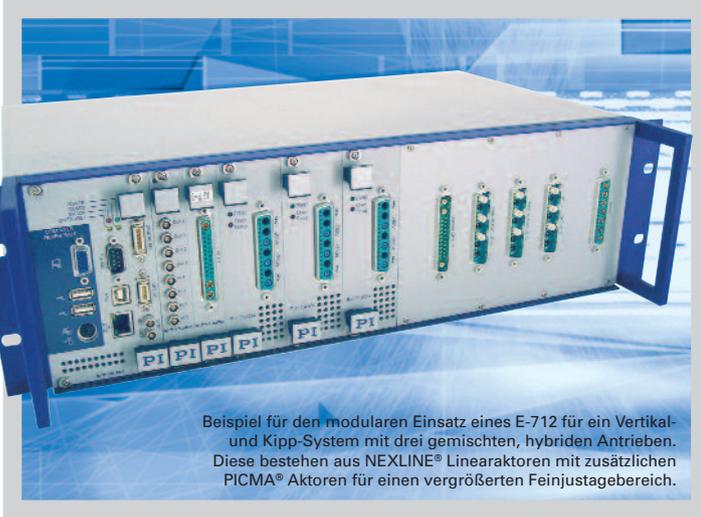
	Vorkonfiguriertes System	Digitale Controllereinheit	Gehäuseeinheit	Interfacemodul	Sensormodul	Verstärkermodul	Sensormodul	Verstärkermodul
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf bis +120 V und bis zu drei Achsen mit kapazitiven Sensoren	E-712.3CD	E-712.M1*	E-712.R1*	-	E-711.SC3H*	E-711.AL4P*	-	-
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf bis +120 V und bis zu sechs Achsen mit kapazitiven Sensoren	E-712.6CD	E-712.M1*	E-712.R1*	-	E-711.SC3H*	E-711.AL4P*	E-711.SC3H*	E-711.AL4P*
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf bis +120 V und bis zu drei (sechs) Achsen mit kapazitiven Sensoren; 4 analoge Ein- und Ausgänge für direkte Kommandierung und Sensor-/Positionsauswertung	E-712.3CD (E-712.6CD)	E-712.M1*	E-712.R1*	E-711.IA4	E-711.SC3H*	E-711.AL4P*	(E-711.SC3H)*	(E-711.AL4P)*
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf bis +120 V und bis zu drei (sechs) Achsen mit kapazitiven Sensoren; Parallele I/O Schnittstelle für schnelle, digitale Kommandierung PIO	E-712.3CD (E-712.6CD)	E-712.M1*	E-712.R1*	E-711.IP	E-711.SC3H*	E-711.AL4P*	(E-711.SC3H)*	(E-711.AL4P)*
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf bis +120 V und bis zu drei (sechs) Achsen mit kapazitiven Sensoren und großem Abstand zwischen Positionierer und Controller.		E-712.M1	E-712.R1	E-711.IA4 oder E-711.IP optional	E-711.OCT	E-711.AL4P	(E-711.OCT)	(E-711.AL4P)
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf ±250 V (PICOCUBE®) und bis zu drei Achsen mit kapazitiven Sensoren	E-712.3CM	E-712.M1*	E-712.R4*	E-711.IA4 oder E-711.IP optional	E-711.SC3H*	E-711.AM4*	-	-
Nanopositioniersysteme mit Spannungsbedarf bis +120 V und bis zu drei (sechs) Achsen mit inkrementellen Sensoren		E-712.M1	E-712.R1	E-711.IA4 oder E-711.IP optional	E-711.SA3 (E-711.SA6)	E-711.AL4P	-	(E-711.AL4P)
NEXLINE® Positioniersysteme mit einer Achse, inkrementellen Sensoren und optionalen analogen Schnittstellen oder PIO		E-712.N1**	E-712.R4	E-711.IA4 oder E-711.IP optional	E-711.SA3	E-711.AM4	-	-
NEXLINE® Positioniersysteme mit drei Achsen (kombinierter Schreitantrieb), inkrementellen Sensoren und optionalen analogen Schnittstellen oder PIO		E-712.N1**	E-712.R4	E-711.IA4 oder E-711.IP optional	E-711.SA3	E-711.AM4	-	-
NEXLINE® Positioniersysteme mit drei Achsen (kombinierter Schreitantrieb), kapazitiven Sensoren und optionalen analogen Schnittstellen oder PIO		E-712.N1**	E-712.R4	E-711.IA4 oder E-711.IP optional	E-711.SC3	E-711.AM4	-	-

* Das Modul ist bereits im vorgefertigten Gerät enthalten.

** Der ein- bzw. dreikanalige NEXLINE® Betrieb ist per Softwarekommando einstellbar

E-712 Digitaler Piezocontroller für die Nanostelltechnik

Modulares System mit bis zu sechs Achsen für höchste Präzision



Beispiel für den modularen Einsatz eines E-712 für ein Vertikal- und Kipp-System mit drei gemischten, hybriden Antrieben. Diese bestehen aus NEXLINE® Linearaktoren mit zusätzlichen PICMA® Aktoren für einen vergrößerten Feinjustagebereich.

Der digitale Piezocontroller E-712 ist die ideale Steuerelektronik für höchste Ansprüche an Positioniergenauigkeit und dynamisches Verhalten von mehrachsigen Nanopositioniersystemen. Das leistungsstarke Echtzeitbetriebssystem ermöglicht die koordinierte Positionsregelung mehrerer Achsen (inklusive paralleler Kinematiken) und sichert somit eine hohe Bahntreue selbst bei komplexen Bewegungen im Raum. Dank des modularen Aufbaus ist die Art und Anzahl unterstützter Achsen und Kanäle je nach Kundenwunsch flexibel konfigurierbar. Optionale zusätzliche Schnittstellen bzw. analoge Ein- und Ausgänge erlauben die Verarbeitung externer Soll- oder Sensorwerte und die Ansteuerung externer Verstärker.

Digitale Linearisierung für höchste Genauigkeit

Linearisierungsalgorithmen auf Basis von Polynomen höherer Ordnung verbessern die Positioniergenauigkeit auf unter 0,01% für kapazitive Sensoren. Das ist typischerweise um einen Faktor 10 besser als mit konventionellen Controllern.

Mehr als nur ein Controller – Bahnsteuerung und Datenaufzeichnung

Während schneller periodischer Bewegungen, wie sie z.B. für Scanninganwendungen typisch sind, lässt sich die Bahntreue durch die Dynamische Digitale Linearisierung (DDL, E-710.SCN) um bis zu drei Größenordnungen erhöhen.

Durch diesen Regelalgorithmus sind auch während des dynamischen Scans Ereignisse zeitlich und lokal genau bestimmbar. Der integrierte Funktionsgenerator kann periodische Bewegungsprofile abspeichern und ausgeben. Der Anwender wird bei der Definition der Kurven durch vorkonfigurierte Sinus- und Dreieckprofile unterstützt, kann die Kurvenform aber auch völlig frei gestalten. Über den flexibel konfigurierbaren Datenrekorder können die entsprechenden Daten aufgezeichnet werden.

Flexible Analogeingänge und Echtzeit PIO

Jeder der vier optional erhältlichen analogen Eingänge kann in zwei Varianten konfiguriert werden. Als Steuerein-

gang wird die angelegte Spannung mit einer der Achsen verknüpft, z.B. für Sollwertvorgaben. Die Konfiguration als externer Sensoreingang erlaubt das Einlesen zusätzlicher Sensorsignale z.B. für die Autofokussierung. Alternativ dazu kann das System mit einem schnellen 32-bit PIO (Parallel I/O) zur Kommandierung ausgestattet werden. Das PIO unterstützt einen eingeschränkten, zur Bewegung erforderlichen Kommandosatz mit 100.000 Lese- und Schreibkommandos pro Sekunde.

Einfache Systemanbindung

Alle Parameter können per Software eingestellt und überprüft werden. Die einfache Inbetriebnahme und Systemkonfiguration erfolgt über die im Lieferumfang enthaltenen Dienstprogramme NanoCapture™ und PIMikroMove®, die Anbindung an die kundenseitige Software ist über LabVIEW Treiber und DLLs möglich. Die Programmierung der Systeme ist für alle PI Steuerungen identisch – die kombinierte Ansteuerung unterschiedlicher Controller ist daher problemlos möglich.



Beispiel für den modularen Einsatz eines E-712 für den gemischten Betrieb von Nieder- und Mittelvoltaktoren (120 V bzw. ±250 V). Das Positioniersystem besitzt in einem Inspektionssystem zwei getrennte Achskonfigurationen für die Justage und den eigentlichen Messprozess.

Bestellinformationen

E-712.3CD

Modularer digitaler Mehrkanal-Piezocontroller, 3 Kanäle, kapazitive Sensoren

E-712.6CD

Modularer digitaler Mehrkanal-Piezocontroller, 6 Kanäle, kapazitive Sensoren

E-712.3CM

Modularer digitaler Mehrkanal-Piezocontroller für PicoCube®, 3 Kanäle, kapazitive Sensoren

Diese Modelle besitzen eine RS-232, USB und TCP/IP Schnittstelle.

Weitere verfügbare Interfaces sind:

E-711.IA4

Analoges Interfacemodul, 4 Ein- und Ausgänge für E-712 modulares, digitales Controllersystem

E-711.IP

PIO Interfacemodul für E-712 modulares, digitales Controllersystem

Technische Daten

Modelle	E 712.3CD	E 712.6CD	E-712.3CM
Funktion	Modularer digitaler Controller für mehrachsige Piezo-Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren	Modularer digitaler Controller für mehrachsige Piezo-Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren	Modularer digitaler Controller für PicoCube® Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren
Achsen	3	6	3
Prozessor	PC basiert, 600 MHz, Echtzeitbetriebssystem	PC basiert, 600 MHz, Echtzeitbetriebssystem	PC basiert, 600 MHz, Echtzeitbetriebssystem
Samplerate Regelung	50 kHz	20 kHz	50 kHz
Samplerate Sensor	50 kHz	20 kHz	50 kHz
Sensor			
Reglertyp	P-I, zwei Notchfilter	P-I, zwei Notchfilter	P-I, zwei Notchfilter
Sensortyp	Kapazitiv	Kapazitiv	Kapazitiv
Sensorkanäle	3	6	3
Sensorbandbreite (-3 dB)	10 kHz	10 kHz	10 kHz
Sensorauflösung	18 Bit	18 Bit	18 Bit
Externe Synchronisierbarkeit	ja	ja	ja
Verstärker			
Ausgangsspannung	-30 V bis +135 V	-30 V bis +135 V	-250 V bis +250 V
Verstärkerkanäle	4	8	4
Spitzenleistung/Kanal	25 W	25 W	45 W
Dauerausgangsleistung/Kanal	8 W	8 W	15 W
Spitzenstrom/Kanal	250 mA	250 mA	180 W
Dauerausgangsstrom/Kanal	100 mA	100 mA	60 mA
Strombegrenzung	kurzschlussfest	kurzschlussfest	kurzschlussfest
Auflösung DAC	20 Bit	20 Bit	20 Bit
Schnittstellen und Bedienung			
Schnittstelle/Kommunikation	Ethernet, USB, RS-232	Ethernet, USB, RS-232	Ethernet, USB, RS-232
Piezo-/Sensoranschluss	D-Sub Spezialstecker	D-Sub Spezialstecker	D-Sub Spezialstecker
Analogeingang/-ausgang	optional je 4 x LEMO, ±10 V (E-711.IA4)	optional je 4 x LEMO, ±10 V (E-711.IA4)	optional je 4 x LEMO, ±10 V (E-711.IA4)
Digitaleingang/-ausgang	MDR20; 2 x IN, 8 x OUT; TTL	MDR20; 2 x IN, 8 x OUT; TTL	MDR20; 2 x IN, 8 x OUT; TTL
Befehlssatz	PI General Command Set (GCS)	PI General Command Set (GCS)	PI General Command Set (GCS)
Bedienersoftware	NanoCapture™, PIMikroMove®	NanoCapture™, PIMikroMove®	NanoCapture™, PIMikroMove®
Softwaretreiber	LabVIEW Treiber, DLLs	LabVIEW Treiber, DLLs	LabVIEW Treiber, DLLs
Unterstützte Funktionen	Funktionsgenerator, Trigger I/O	Funktionsgenerator, Trigger I/O	Funktionsgenerator, Trigger I/O
Display und Anzeigen	LEDs für OnTarget, Err, Power	LEDs für OnTarget, Err, Power	LEDs für OnTarget, Err, Power
Linearisierung	Polynome 4ter Ordnung, DDL-Option (Dynamic Digital Linearization)	Polynome 4ter Ordnung, DDL-Option (Dynamic Digital Linearization)	Polynome 4ter Ordnung, DDL-Option (Dynamic Digital Linearization)
Umgebung			
Betriebstemperaturbereich	5 bis 50 °C	5 bis 50 °C	5 bis 50 °C
Überhitzungsschutz	Max. 75°C, Abschaltung des Spannungsausgangs	Max. 75°C, Abschaltung des Spannungsausgangs	Max. 75°C, Abschaltung des Spannungsausgangs
Masse	5,35 kg	5,78 kg	5,43 kg
Abmessungen	9,5" Gehäuse, 236 x 132 x 296 mm + Griffe (47 mm lang)	9,5" Gehäuse, 236 x 132 x 296 mm + Griffe (47 mm lang)	9,5" Gehäuse, 236 x 132 x 296 mm + Griffe (47 mm lang)
Leistungsaufnahme	100 W max.	100 W max.	100 W max.
Betriebsspannung	90 bis 240 VAC, 50–60 Hz	90 bis 240 VAC, 50–60 Hz	90 bis 240 VAC, 50–60 Hz

E-712 Grundmodule

Hochleistungsrechner, schnelle Digitalschnittstellen und Gehäuse



E-712 Rechnermodul mit den schnellen Standardschnittstellen USB, Ethernet und RS-232.

- **Digitaler Controller der neuesten Generation:**
600 MHz Prozessor; bis zu 50 kHz Servo Update Rate
- **Versionen für klassische Nanostelltechnik und NEXLINE® Piezolinearantriebe**
- **Echtzeitbetriebssystem für höchste Bahntreue**
- **Flexible Schnittstellen: Ethernet, USB, RS-232**

Der modular aufgebaute Digitalcontroller E-712 bietet die Plattform für anspruchvollste Nanopositionieranwendungen. Die Grundelemente des modularen Konzepts sind das Gehäuse (E-712.R1 und E-712.R4) und der Rechnerkern E-712.M1 und E-712.N1. Als weitere Bausteine stehen verschiedene Verstärker, Sensorauswertungen und zusätzliche Schnittstellen der E-711 Baureihe zu Verfügung.

Wieviele Achsen dürfen es sein?

Für Sonderanwendungen können in 19" Chassis bis zu 13 Kanäle betrieben werden. Klassische Anwendungen bis 6 Achsen finden jedoch in kompakten 9,5" Gehäusen Platz. Abhängig von der Art des Antriebs sind die Gehäuse mit angepassten Netzteilen ausgestattet: Das E-712.R1 ist für die klassische Nanopositionierung mit Niedervoltaktorik mit bis zu 6 Achsen vorgesehen. Das

E-712.R4 ist für bis zu 4 NEXLINE® Antriebe ausgelegt.

Harter Kern

Der E-712 ist PC-basiert. Seine Rechenleistung ist auf schnelle Prozesszeiten ausgelegt wie auf eine Servo-Update Rate von bis zu 50 KHz. Darüber hinaus werden in Echtzeit Algorithmen zur Verbesserung der Linearität, zur Koordinatentransformation oder zur Speicherung von Bahninformationen ausgeführt, die auch bei dynamischen Anwendungen die Position im Bereich weniger Nanometer genau erreichen. Aufgrund der unter-

Bestellinformationen

Für klassische Nanopositioniersysteme mit PICMA® Niedervolt-Piezoaktorik oder für PicoCube®

E-712.M1

Digitales Rechen- und Schnittstellenmodul E-712 mit Ethernet Interface, USB, RS-232

E-712.R1

9,5" Chassis mit Netzteil für Piezospannungen bis 135 V für E-712 modulares, digitales Piezocontrollersystem, 3 bis 6 Kanäle

E-710.SCN

Firmware-Erweiterung DDL (Dynamische Digitale Linearisierung)

E-712.U1

Firmware-Erweiterung Advanced Piezo Control Regleroption

E-712.U2

Firmware-Erweiterung PicoPlane™: Option für Nanometer-Führungsgenauigkeit (passende Hardware erforderlich)

E-712.U3

Real-Time Betriebssystem Upgrade für Host PC

Für NEXLINE® Linearantriebe:

E-712.N1

Digitales NEXLINE® Rechen- und Schnittstellenmodul E-712 mit Ethernet Interface, USB, RS-232

E-712.R4

9,5" Chassis mit Netzteil für Piezospannungen bis ±250 V für E-712 modulares, digitales Piezocontrollersystem, 3 bis 6 Kanäle

Sonderausführungen auf Anfrage!

schiedlichen Anforderungen an die Bewegungsabläufe, wird auch beim Rechnermodul zwi-



Sonderausführung eines E-712 Systems in einem 19" Gehäuse für mehrere kombinierte Piezoaktoren und Schrittantriebe.

schen Nanopositionieranwendungen mit klassischen keramischen Aktoren und NEXLINE® Schreitrieben unterschieden.

Moderne Schnittstellen

Das Rechenmodul bietet als Grundausstattung USB, RS-232 und eine schnelle Ethernet Schnittstelle an. Darüber hinaus kann das System um ein analoges Schnittstellenmodul oder ein äußerst schnelles 32-Bit PIO ergänzt werden.



Technische Daten

Modelle	E-712.M1	E-712.N1
Funktion	Digitales Nanoautomation Rechen- und Schnittstellenmodul mit Ethernet Interface, USB Interface, RS-232	Digitales NEXLINE® Rechen- und Schnittstellenmodul mit Ethernet Interface, USB Interface, RS-232
Prozessor	PC basiert, 600 MHz, Echtzeitbetriebssystem	PC basiert, 600 MHz, Echtzeitbetriebssystem
Samplerate Regelung (max.)	50 kHz	50 kHz
Samplerate Sensor (max.)	50 kHz	50 kHz
Reglertyp	P-I, zwei Notchfilter oder Zustandsregler (Advanced Piezo Control) optional	P-I, zwei Notchfilter
Temperatursensor	ja	ja
Schnittstellen und Bedienung		
Schnittstelle / Kommunikation	RS-232, USB, Ethernet (FTP, UDP, HTTP, TCP/IP)	RS-232, USB, Ethernet (FTP, UDP, HTTP, TCP/IP)
Digitaleingang	MDR 20, 2 x IN, TTL	MDR 20, 2 x IN, TTL
Digitalausgang	MDR 20, 8 x OUT, TTL	MDR 20,8 x OUT, TTL
Befehlssatz	PI General Command Set (GCS)	PI General Command Set (GCS)
Bedienersoftware	PI MikroMove™, NanoCapture™	PI MikroMove™, NanoCapture™
Softwaretreiber	LabVIEW Treiber, DLLs	LabVIEW Treiber, DLLs
Unterstützte Funktionen	Wavegenerator, Datarecorder, Trigger I/O, Makro	Datarecorder, Trigger I/O
Display und Anzeigen	LEDs für OnTarget, Error, Power	LEDs für OnTarget, Error, Power
Linearisierung	Polynome 4. Ordnung, DDL Option (Dynamic Digital Linearization)	
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	5 bis 50 °C	5 bis 50 °C
Überhitzungsschutz	max. 75 °C, Abschaltung des Spannungsausgangs	max. 75 °C, Abschaltung des Spannungsausgangs
Abmessungen	12 TE 3 HE	12 TE 3HE
Masse	0,52 kg	0,52 kg
Betriebsspannung	90 bis 240 VAC; 50–60 Hz	90 bis 240 VAC; 50–60 Hz

E-712 Analoges Interfacemodul Kommandieren und Auslesen in Echtzeit



- 4 analoge Eingänge
- 4 analoge Ausgänge
- 20 Bit DA-Wandler
- 18 Bit AD-Wandler
- Leistungsstarkes FPGA
- Kleinstmögliche Latenzzeit
- Integrierter Selbsttest

Das analoge Schnittstellenmodul für das Digitalcontrollersystem E-712 bietet eine zusätzliche Möglichkeit zur Kommandierung und zum Auslesen von jeweils 4 Kanälen.

Sollwertvorgabe in Echtzeit

Je nach Anwendung, können Sollwertvorgaben in Form einer analogen Spannung vorliegen, z.B. aus einer Autofokus-Routine oder einer Automatisierungsumgebung heraus. Über das analoge Schnittstellenmodul E-711.IA4 können diese Signale direkt eingelesen und zur Kommandierung einer Position verwendet werden. Eine Konvertierung in ein digitales Signal auf der Host-Seite ist daher nicht erforderlich, eine Verzögerung durch diesen Prozess, der abhängig vom Host-Betriebssystem ist, tritt nicht auf.

Die hohe Auflösung von bis zu 18 Bit und das Betriebssystem des E-712 Controllers er-

möglichen eine Verarbeitung des Eingangssignals in Echtzeit.

Daten analog ausgeben

Die Ausgabe von Daten erfolgt ebenfalls über die analoge Schnittstelle in 16 Bit Auflösung. Der Analogausgang kann

Technische Daten

Modell	E-711.IA4
Funktion	Analoges Interfacemodul
Kanäle	4 Ein-, 4 Ausgänge
Auflösung Eingang	18 Bit
Auflösung Ausgang	16 Bit, 20 Bit effektiv
Analogeingang	4 LEMO, ±10V
Analogausgang	4 LEMO, ±10V
Abmessungen	4 TE 3 HE
Masse	0,16 kg

Bestellinformation

E-711.IA4

Analoges Interfacemodul, 4 Ein- und Ausgänge für E-712 modulares, digitales Controllersystem

Zubehör:

E-711.i1B

Analogkabel für E-711.IA4, BNC Stecker, 1,5 m

E-711.i10

Analogkabel für E-711.IA4, offenes Ende, 1,5 m

Sonderausführungen auf Anfrage!

so konfiguriert werden, dass z.B. direkt die Sensorwerte oder auch die geregelten Positionsvorgaben ausgegeben werden können. Letzteres ist dann nützlich, wenn das Signal zur Ansteuerung externer Leistungsverstärker genutzt werden soll.

Digitales Echtzeitinterface

Eine weitere Option zur schnellen Signalübertragung besteht in der Verwendung des schnellen parallelen 32 Bit Interfaces (PIO). Dieses ist als Option E-711.IP erhältlich.

E-712 Parallel-I/O Interface Modul

Schnelles, digitales Kommandieren in Echtzeit



- 32 Bit Auflösung
- Konfigurierbar für bis zu 6 Bewegungsachsen
- Schnelle Datenübertragung mit 500 ns Lesen und 1200 ns Schreiben
- Optionales Echtzeit-Betriebssystem

Schnelle Parallelschnittstellen (PIO) kommen dann zum Einsatz, wenn die Übertragungsgeschwindigkeit über die digitalen Standardinterfaces nicht ausreicht. Das PIO unterstützt einen eingeschränkten, zur Bewegung erforderlichen Kommandosatz mit bis zu 2 Millionen Lese- und Schreibkommandos pro Sekunde.

Echtzeit Betriebssystem optional

Der limitierende Faktor bei der Vernetzung mehrerer Geräte in einer Anwendung ist nicht notwendigerweise die Geschwindigkeit der Schnittstelle,

sondern häufig das Betriebssystem. Hierfür bietet PI ein Softwareupgrade für die Verwendung eines Echtzeit-Betriebssystems auf dem Host-Rechner an. Das System kann auf dem Host PC installiert oder als Liveversion direkt von einem Datenträger aus gestartet werden. Das voll funktionsfähige Echtzeitsystem basiert auf Realtime Linux und ermöglicht die Ansteuerung des PI Controllers über das PIO Interface. Zur Kommunikation wird eine PI GCS (General Command Set) Bibliothek verwendet. Sie unterstützt sämtliche von PI für Linux bereitgestellten

Bestellinformationen

E-711.IP

PIO Interfacemodul für E-712 modulares, digitales Controllersystem

E-712.U3

Real-Time Betriebssystem Upgrade für digitale Piezocontroller

Sonderausführungen auf Anfrage!

Bedienersoftware wie auch die Einbindung zusätzlicher Datenerfassungskarten und die Programmierung eigener Steuer- oder Regelalgorithmen z.B. in C++ oder MATLAB/SIMULINK.

Technische Daten

Modell	E-711.IP
Funktion	PIO Interfacemodul
Auflösung	32 Bit
Schnittstelle / Kommunikation	HD-D-Sub 62 Stecker
Kommandierungsgeschwindigkeit	500 ns Lesen / 1200 ns Schreiben
Unterstützte Funktionen / Softwaretreiber	Optionales Linux-basiertes Echtzeitbetriebssystem (E-712.U3)
Abmessungen	4 TE 3 HE
Masse	0,15 kg

E-712 Sensormodule

Hochauflösend und stabil für kapazitive und inkrementelle Sensoren



E-711.SC3H Sensormodul für kapazitive Zweielektroden-Sensoren mit Nanometer-Auflösung

- Flexible Wahl der Sensorauswertung abhängig von der Positioniermechanik
- Für kapazitive Zwei- oder Einelektroden-Sensoren oder inkrementelle Sensoren
- Auflösungen von wenigen Nanometern bis in den Sub-Nano Bereich
- Bis zu 6 Kanäle

Die Wahl des Sensormoduls hängt vom Sensortyp ab, der im Positioniersystem verwendet wird. Für hohe Stabilität und Auflösungen im Bereich weniger Nanometer und darunter, verwendet PI bevorzugt zwei Arten von Positionssensoren: kapazitive oder inkrementelle.

Kapazitive Sensoren

Kapazitive Sensoren messen die Position direkt und berührungslos. Weder Reibung noch Hysterese beeinträchtigen die Messung, wodurch in der Kombination mit der Positionsauflosbarkeit von weit unter einem Nanometer ausgezeichnete Linearitätswerte erreicht werden. Ein weiterer Vorteil der direkten Positionserfassung mit kapazitiven Sensoren ist die sehr gute Phasentreue und die hohe Bandbreite von bis zu 10 kHz.

Für kapazitive Sensoren gibt es zwei Bauformen: Ein- und

Zweielektroden-Sensoren. Üblicherweise verwendet PI in seinen Nanopositioniersystemen Zweielektroden-Sensoren. PISeca™ Einelektroden-Sensoren sind als externe Sensoren erhältlich. Kapazitive Sensoren messen die Position absolut.

Große Abstände zwischen Controller und Verstärker

Sind das Positioniersystem mit kapazitiven Sensoren und der

Bestellinformationen

E-711.SC3H

Modul für kapazitive Sensoren, 3 Kanäle, für E-712 modulares, digitales Controllingsystem

E-711.0CT

Digitale Sensorsignal Übertragung, 3 Kanäle, kapazitive Sensoren, für E-712 Digitalcontroller

E-711.SE3

Modul für PISeca™ kapazitive Einelektroden-Sensoren, 3 Kanäle, für E-712 modulares, digitales Controllingsystem

E-711.SA3

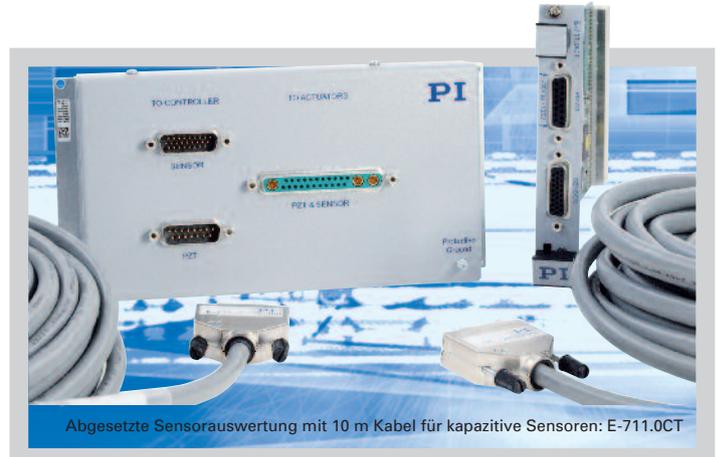
Modul für inkrementelle Sensoren, 3 Kanäle, für E-712 modulares, digitales Controllingsystem

E-711.SA6

Modul für inkrementelle Sensoren, 6 Kanäle, für E-712 modulares, digitales Controllingsystem

Sonderausführungen auf Anfrage!

Controller in der Anwendung mehr als 3 Meter voneinander entfernt, ist die digitale, störungsfreie Übertragung des Sensorsignals erforderlich. Die Sensorauswertung erfolgt in einem separaten Gerät, das in der Nähe des Positioniersystems aufgestellt wird. Das Sensorsignal wird dort mit 18 Bit Auflösung digitalisiert und an den Controller übertragen. Diese Art der Übertragung funktioniert über Entfernungen bis zu 30 Metern, bei der Option



Abgesetzte Sensorauswertung mit 10 m Kabel für kapazitive Sensoren: E-711.0CT

E-711.0CT ist ein 10 Meter langes Kabel enthalten.

Inkrementelle Encoder

Für Stellwege, die größer als typischerweise 1 mm sind, setzt PI inkrementelle Sensoren ein (lineare oder Ringencoder). Damit können Auflösungen um einen Nanometer erreicht werden, bei einer Linearität von bis zu 1 % der Gitterperiode. Inkrementelle Encoder messen Änderungen zu einer Referenzposition (relativ).



Technische Daten

Modelle	E-711.SC3H	E-711.0CT	E-711.SE3	E-711.SA3
Funktion	Modul für kapazitive Sensoren	Modul für kapazitive Sensoren mit abgesetzter Sensorauswertung (DST)	Modul für kapazitive PISeca™ Einelektrodensensoren	Modul für inkrementelle Sensoren
Kanäle	3	3	3	3
Sensortyp	kapazitiv	kapazitiv	Einelektroden, kapazitiv	inkrementell
Sensorbandbreite	10 kHz	10 kHz		
Sensorauflösung	18 Bit	18 Bit	18 Bit	16 Bit
Sensoranschluss	D-Sub Spezialstecker (mehrachsig, kapazitiv)	D-Sub Spezialstecker (mehrachsig, kapazitiv), 40 m Kabellänge zwischen Sensorauswertung und Controller	D-Sub Spezialstecker (mehrachsig, kapazitiv)	D-Sub Stecker
Abmessungen	4 TE 3 HE	4 TE 3 HE; Sensorauswertung 198,5 x 102,9 x 38,3 mm	4 TE 3 HE	4 TE 3 HE
Masse	0,18 kg	Sensorauswertung: 0,65 kg Interfacekarte: 0,15 kg	0,18 kg	0,15 kg

E-712 Verstärkermodule

Leistungsstark und rauscharm für Dynamik und Präzision



E-711.AM4 Verstärkermodul mit ± 250 V Ausgangsspannung für PicoCube® und NEXLINE®

- Flexible Auswahl für klassische Nanostelltechnik, PicoCube® und NEXLINE® Antriebe
- 4 Kanäle
- Hohe Leistungsfähigkeit ab 8 W pro Kanal
- Äußerst hohe Stabilität, geringes Rauschen
- 20 Bit effektiv
- Leistungsstarkes FPGA

Die Verstärkermodule sind darauf ausgelegt, auf Basis des digitalen Controllersystems E-712 alle von PI eingesetzten piezokeramischen Antriebssysteme für die Nanopositionierung zu betreiben.

PICMA® basierte Nanostelltechnik

Klassische Positioniersysteme nutzen die direkte Auslenkung der Piezokeramiken für die Be-

wegung. PI setzt hierfür die zuverlässigen PICMA® Hochleistungsaktoren in einem typischen Spannungsbereich von -20 bis +120 V ein.

PicoCube® AFM-Scanner

Basierend auf PICAShear™ Aktoren, bieten die PicoCube® Scanner höchste Auflösung und Dynamik bis in den Kilohertz-Bereich. Die verwendeten Scheraktoren werden in einem

Spannungsbereich von -250 bis +250 V betrieben.

NEXLINE® mit langen Stellwegen

NEXLINE® Linearantriebe bieten höchste Präzision und Steifigkeit über lange Stellwege. Das schreitende Piezo-Walk® Antriebsprinzip beruht auf Scheraktoren mit einem Spannungsbereich von -250 bis +250 V.

Bestellinformationen

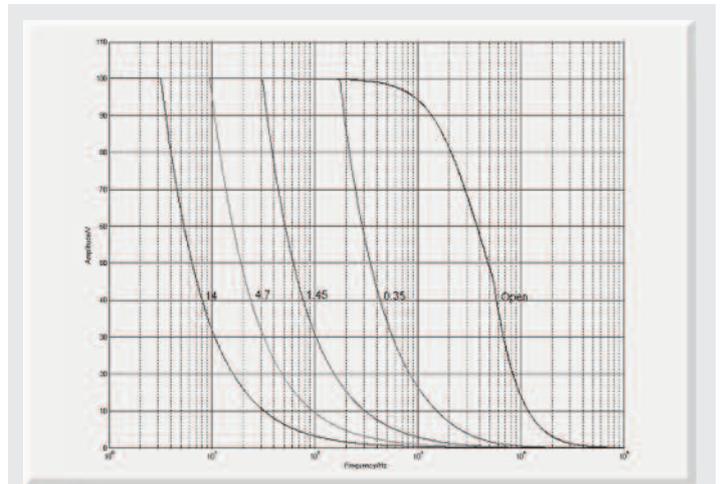
E-711.AL4P

Leistungsstarkes Verstärkermodul, 4 Kanäle, 8 W, für E-712 modulares, digitales Controllersystem, -30 bis +135 V

E-711.AM4

Verstärkermodul für PicoCube®, 4 Kanäle, für E-712 modulares, digitales Controllersystem, -250 V bis +250 V

Sonderausführungen auf Anfrage!



E-711.AL4P (im E-712.3CD und .6CD) Aussteuerungen mit verschiedenen Piezolasten. Kapazitätswerte in μF

Technische Daten

Modelle	E-711.AL4P	E-711.AM4	Einheiten
Funktion	Leistungsstarkes Verstärkermodul, 8 W, -30 bis +135 V	Verstärkermodul, ± 250 V	
Kanäle	4	4	
Ausgangsspannung min.	-30	-250	V
Ausgangsspannung max.	135	250	V
Spitzenleistung/Kanal	25	45	W
Dauerleistungsleistung/Kanal	8	15	W
Spitzenstrom/Kanal	250	180	mA
Dauerleistungsstrom/Kanal	100	60	mA
Strombegrenzung	Kurzschlussfest	Kurzschlussfest	
Auflösung DAC	20	20	Bit
Abmessungen	8 TE 3 HE	8 TE 3 HE	
Masse	0,48	0,48	kg

Interfaces

Digitale Schnittstellen

Digitale oder analoge Interfaces?

Die Anbindung des Piezocontrollers über eine analoge Schnittstelle ermöglicht eine hohe Bandbreite und ist am weitesten verbreitet. Sie wird vor allem dann gewählt, wenn das verwendete Steuersignal als Analogsignal vorliegt. Analoge Schnittstellen ermöglichen Echtzeitbetrieb, was PC-gestützte Systeme nach wie vor vor große Schwierigkeiten stellt.

Anders, wenn keine analogen Signale bereitstehen, oder die Quelle des Steuersignal so weit vom Controller entfernt ist, dass die Signalqualität nicht gewährleistet ist. Dann ist die digitale Signaleinspeisung notwendig – die übrigens nicht mit digitaler Signalverarbeitung zu verwechseln ist.

Digitale Signale können über Kupferkabel übertragen werden oder über optische Fasern, die gegenüber elektromagnetischen Störsignalen vollständig immun sind.

Unterstützte digitale Schnittstellen

PI Controller verfügen über schnelle TCP/IP, USB und RS-232 Interfaces (Details im jeweiligen Datenblatt). Die Bewegungskommandos werden direkt in SI-Einheiten eingegeben (z.B.

Mikrometer und Mikroradian), was Programmierung und Bedienung deutlich vereinfacht. Zusätzlich können die Parameter für die Regelung, Tiefpass- und Notchfilter einfach angepasst und in einem nichtflüchtigen Speicher erfasst werden.

Optional bietet eine Parallelschnittstelle (PIO) die Möglichkeit, den Kommandoparser zu umgehen. Mit schnellen PCI Schnittstellen erreicht man so Datentransferraten über 1 MHz.

Bandbreite der Schnittstelle und Timing

Piezogetriebene Verstärker führen innerhalb von Milli- oder gar Mikrosekunden eine kommandierte Bewegung aus.

Infolgedessen besitzt die Synchronisation von Bewegungen mit anderen Ereignissen einen hohen Einfluss in der Automatisierung, wie zum Beispiel in der Mikroskopie oder der Bildgebung. USB-Schnittstellen sind beispielsweise daraufhin ausgelegt, große Datenpakete möglichst schnell zu übertragen, das Timing spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Bei Hochgeschwindigkeits-Tracking- oder -Scanning-Aufgaben ist die Übertragung kurzer Befehle ohne Verzögerung wichtiger als die Übertragung großer Datenmengen.

Verschiedene Faktoren beeinflussen das Verhalten digitaler Schnittstellen: Das Timing des Betriebssystems auf der Host-Seite, das Übertragungsprotokoll, die Bandbreite der Schnittstelle und die Verarbeitungszeit des Interfaces für Befehle auf der Controllerseite. Parallelschnittstellen erfordern kein Kommandoparsing und bieten das beste Verhältnis von Durchsatz und Timing.

Kommunikationsgeschwindigkeit

E-712 Nanopositioniercontroller MOV Kommando	
RS-232	1,73 ms
TCP/IPt	0,07 ms
USB	0,13 ms
POS Abfrage	
RS-232	2,57 ms
TCP/IPt	0,40 ms
USB	0,63 ms

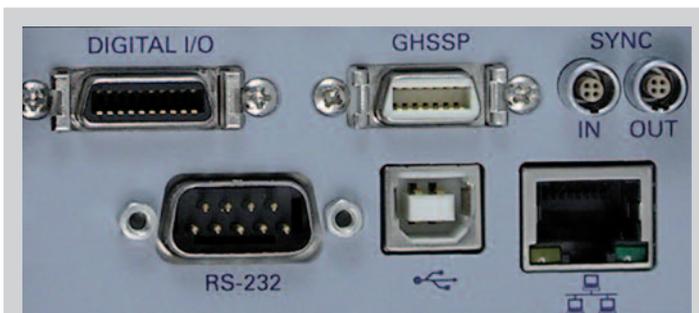
E-712.U3 Realtime Upgrade: Echtzeit-Betriebssystem für die Systemintegration

Die Verwendung von Echtzeit-Betriebssystemen auf dem Host PC vermeidet Zeitverzögerungen bei der Kommunikation mit anderen Systemkomponenten, z.B. einem Vision System. Hierfür bietet PI ein auf Realtime Linux basiertes Betriebssystem als Upgrade für den Host PC an sowie die Anbindung der GCS (PI General Command Set) Softwaretreiber für dieses Betriebssystem.

- Zur Kommunikation mit dem Realtime System wird eine Bibliothek verwendet, welche 100% kompatibel zu allen anderen PI GCS Bibliotheken ist. Sämtliche für Linux erhältliche PI GCS Hostsoftware kann auf diesem System betrieben werden.
- Das im Echtzeitkern laufende Realtime System bietet die Einbindung von PI Schnittstellen und zusätzlichen Datenerfassungskarten zur Steuerung und Regelung. Es werden offene Funktionen zur eigenen Implementation von Steuer- und Regel-

algorithmen zur Verfügung gestellt. Ferner gibt es die Möglichkeit, Daten, wie z.B. Positionen und Spannungen, von den PI Schnittstellen und den zusätzlichen Datenerfassungskarten in Echtzeit aufzuzeichnen, sowie vordefinierte Tabellen, mit z.B. Positionen, in Echtzeit an die PI Schnittstellen und die zusätzlichen Datenerfassungskarten auszugeben.

- Die Programmierung der eigenen Echtzeit-Funktionen kann in C/C++, MATLAB/SIMULINK und SCI-LAB durchgeführt werden.
- Auf dem System befindet sich ein PI GCS Server, der es ermöglicht, das System als Blackbox über TCP/IP, z.B. über einen Windowsrechner, zu betreiben.
- Das System kann auf einem PC installiert oder als Live-version direkt vom Datenträger aus gestartet werden.
- Es ist eine kostenlose Demoversion mit eingeschränkter Funktionalität erhältlich.



PIController verfügen über eine Reihe verschiedener Schnittstellen und erlauben damit eine sehr flexible Ansteuerung: Aktuelle Ethernet (TCP/IP) und USB Anbindung, für Industriekunden das unempfindliche RS-232 Protokoll

E-761 Digitaler Piezocontroller Preisgünstige PCI-Karte für drei Achsen



E-761 Digitaler Piezocontroller im PCI-Karten-Format

- Für Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren
- Sehr schnelle PCI-Schnittstelle
- Zusätzlicher, breitbandiger Analogeingang für Sollwerte
- 32-Bit digitale Filter
- Notchfilter für höhere Bandbreite
- 24-Bit DAC Auflösung
- ID-Chip-Erkennung für automatischen Abgleich des Controllers auf die Piezomechanik
- Koordinatentransformation für Parallelkinematik/-metrologie
- Umfangreiches Softwarepaket

Digitale Piezocontroller E-761 bieten fortschrittliche Steuer- und Regeltechnologie im kostengünstigen PCI-Karten-Format. Die Controller können Piezo-Positioniersysteme mit bis zu drei logischen Achsen steuern. Sie verfügen dafür über vier rauscharme Verstärker, hochwertige 24-bit Digital-Analog-Wandler (DAC) und leistungsstarke digitale 32-bit Signalprozessoren (DSP).

Das PCI-Board-Format des E-761 ermöglicht den einfachen Einsatz der Digitalcontroller in allen gängigen PCs und Industrie-PCs und verringert die externe Verkabelung. Die PCI-Schnittstelle erlaubt durch ihre hohe Bandbreite eine sehr schnelle Kommunikation zwischen Software

und Controller, was gerade bei zeitkritischen Anwendungen oder bei der Ansteuerung mehrerer Achsen ein großer Vorteil ist.

Die Version E-761.3CT bietet zusätzlich drei digitale Ausgänge für unterschiedlichste Triggeraufgaben.

Verbesserte Bahngenaugkeit durch Parallelmetrologie

Digitalcontroller haben gegenüber konventionellen, analogen Piezocontrollern eine Vielzahl von Vorteilen. So können die Sensor- und Verstärkerkanäle mehrerer Achsen durch eine interne Koordinatentransformation kombiniert werden. Das ermöglicht auch den Betrieb von komplexen Mehrachsensystemen mit paralleler Positionsmesstechnik

(Parallelmetrologie, z. B. dreiachsige Z-Tip-Tilt-Tische).

Diese spezielle Positionsmesstechnik erlaubt es dem Positionsregler, das Positionsübersprechen einzelner Achsen automatisch zu verhindern (aktive Führung). Dadurch werden bei modernen Nanopositioniersystemen mit Parallelmetrologie Ablaufgenauigkeiten bis in den Sub-Nanometerbereich ermöglicht.

Digitale Linearisierung für höchste Genauigkeit

Linearisierungsalgorithmen auf Basis von Polynomen höherer Ordnung verbessern die Positioniergenauigkeit auf bis zu 0,001% des Verfahwegs.

Während schneller periodischer Bewegungen, wie sie z. B. für Scanninganwendungen typisch sind, lässt sich die Bahntreue durch die Dynamische Digitale Linearisierung (DDL, E-710.SCN) um bis zu drei Größenordnungen weiter erhöhen.

Durch diesen Regelalgorithmus sind auch während des dynamischen Scans Ereignisse zeitlich und lokal genau bestimmbar.

Der integrierte Funktionsgenerator kann periodische Bewegungsprofile abspeichern und ausgeben. Der Anwender wird bei der Definition der Kurven durch vorkonfigurierte Sinus- und Dreieckprofile unterstützt, kann die Kurvenform aber auch völlig frei gestalten.

Automatische Konfiguration

Dank der AutoCalibration Funktion der Controller können digitale Piezocontroller und PI Nanopositioniertische mit ID-Chip in beliebigen Kombi-

Bestellinformationen

E-761.3CD
Digitaler Piezocontroller, 3 Achsen, D-Sub Spezial, PCI-Karte

E-761.00T
Trigger Output Bracket für E-761.3CD

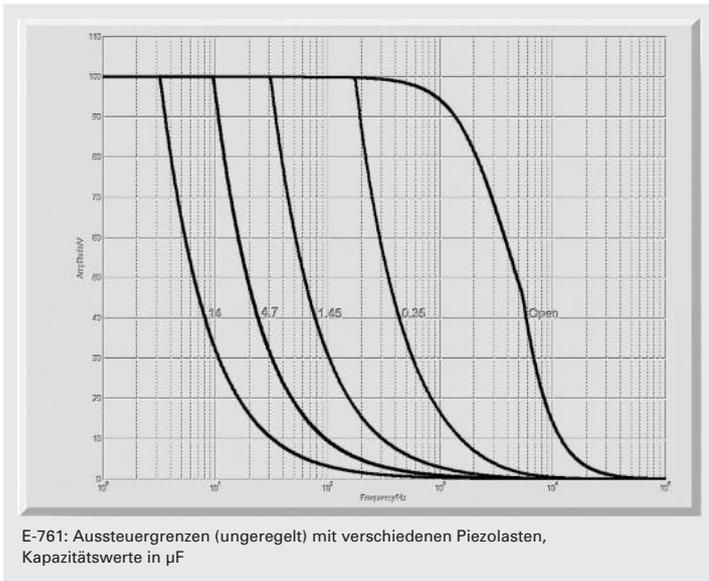
E-761.3CT
Digitaler Piezocontroller, 3 Achsen, D-Sub Spezial, PCI-Karte, Trigger Output

Sonderausführungen auf Anfrage!

nationen genutzt werden. Individuelle Daten der Stelltische und optimierte Servo-Controlparameter sind im ID-Chip gespeichert und werden automatisch von den Digitalcontrollern ausgelesen.

Einfache Systemanbindung

Alle Parameter können per Software eingestellt und überprüft werden. Die einfache Inbetriebnahme und Systemkonfiguration erfolgt über die im Lieferumfang enthaltenen Dienstprogramme NanoCapture™ und PZTControl™, die Anbindung an die kundenseitige Software ist über LabVIEW Treiber und DLLs möglich. Die Programmierung der Systeme ist für alle PI Steuerungen identisch – ein großer Zeitvorteil bei einem späteren Systemupgrade, oder der Einbindung unterschiedlicher Controller in eine Anwendung.



Technische Daten

Modelle	E-761.3CD	E-761.3CT
Funktion	Digitaler Piezocontroller und Leistungsverstärker, PCI-Karte	Digitaler Piezocontroller und Leistungsverstärker, PCI-Karte, Trigger Output
Achsen	3	3
Prozessor	32-Bit Gleitkomma-DSP	32-Bit Gleitkomma-DSP
Samplerate Regelung	40 μs / 25 kHz (4fach Sensor-Oversampling)	40 μs / 25 kHz (4fach Sensor-Oversampling)
Sensor		
Reglertyp	PI, zwei Notchfilter	PI, zwei Notchfilter
Sensortyp	kapazitiv	kapazitiv
Sensorkanäle	3	3
Sensoraufösung	16 Bit	16 Bit
Externe Synchronisierbarkeit	ja	ja
Verstärker		
Ausgangsspannung	-20 bis 120 V	-20 bis 120 V
Verstärkerkanäle	4	4
Spitzenleistung / Kanal	5,3 W	5,3 W
Dauerausgangsleistung / Kanal	1,7 W	1,7 W
Spitzenstrom / Kanal (<20 ms)	50 mA	50 mA
Dauerausgangsstrom / Kanal (>20 ms)	10 mA	10 mA
Strombegrenzung	kurzschlussfest	kurzschlussfest
Auflösung DAC	24 Bit	24 Bit
Schnittstellen und Bedienung		
Schnittstelle / Kommunikation	PCI-Stecker	PCI-Stecker
Piezo- / Sensoranschluss	D-Sub Spezialstecker	D-Sub Spezialstecker
Analogeingangsbuchse	LEMO	LEMO
Digitalausgang	-	3 x TTL
Befehlssatz	GCS	GCS
Bedienersoftware	NanoCapture™, PZTControl™	NanoCapture™, PZTControl™
Softwaretreiber	LabVIEW Treiber, Libraries für Windows (DLL) und Linux	LabVIEW Treiber, Libraries für Windows (DLL) und Linux
Unterstützte Funktionen	Funktionsgenerator	Funktionsgenerator, Trigger Output
Display und Anzeigen	Status LED für Piezoausgang	Status LED für Piezoausgang
Linearisierung	Polynome 4ter Ordnung	Polynome 4ter Ordnung
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	5 bis 50 °C (10% Leistungsverlust über 40 °C)	5 bis 50 °C (10% Leistungsverlust über 40 °C)
Überhitzungsschutz	automatische Abschaltung bei 60 °C	automatische Abschaltung bei 60 °C
Abmessungen	287 x 108 x 25 mm (2 Steckplätze)	287 x 108 x 25 mm + 122 x 45 x 26 mm (3 Steckplätze)
Masse	0,56 kg	0,56 kg (nur PCI-Karte)
Betriebsspannung	5 V	5 V
Leistungsaufnahme	20 W, 4 A max.	20 W, 4 A max.

E-725 Digitaler Piezocontroller Für schnelle Präzisions-Positioniersysteme mit bis zu drei Achsen



Digitaler E-725 Dreikanalcontroller mit P-528 dreiaxsigem Nanopositioniersystem

Bestellinformationen

E-725.3CD

Digitaler Mehrkanal-Piezocontroller, 3 Kanäle, -30 bis 135 V, D-Sub Stecker, kapazitive Sensoren

E-725.3CM

Digitaler Mehrkanal-Piezocontroller für PicoCube® mit kapazitiven Sensoren

Sonderausführungen auf Anfrage!

- Für Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren
- 3-kanalige Ausführung
- Leistungsfähiger Digitalcontroller: DSP 32-Bit Fließkomma, 225 MHz; 20 kHz Samplerate; 24 Bit DAC
- Kommunikation über Ethernet, USB, RS-232
- Mechanik- und Elektroniklinearisierung mittels Polynomen 4ter Ordnung
- Optionale Dynamische Digitale Linearisierung (DDL) für höhere Bahntreue
- ID-Chip-Erkennung für automatischen Abgleich des Controllers auf die Piezomechanik
- Zusätzlicher, breitbandiger Analogeingang für Sollwerte oder Sensor
- Flexible Funktionsgeneratoren
- Digitale Ein- und Ausgänge für Triggertaufgaben
- Umfangreiches Softwarepaket

Der digitale Piezocontroller E-725 ist eine kompakte Hochleistungs-Steuerelektronik für Nanopositioniersysteme mit bis zu drei Achsen. Leistungsfähige Verstärker ermöglichen den dynamischen Scanbetrieb auch für Piezosysteme mit großem Hub oder direktem Antrieb. Modernste Prozessortechnologie optimiert die Betriebsparameter für eine verbesserte Linearität und Bahntreue während der Bewegung. Hochauflösende D/A Wandler erlauben Nanopositionierung, die diesen Namen verdient.

Mit dem E-725.3CM wird erstmalig auch ein digitaler Controller für den hochdynamischen P-363 PicoCube® (s. S. 2-66) angeboten, einen schnellen Präzisionsscanner für die Rasterkraftmikroskopie.

Optionale zusätzliche Schnittstellen bzw. analoge Ein- und Ausgänge erlauben die Verarbeitung externer Soll- oder Sensorwerte.

Digitale Linearisierung für höchste Genauigkeit

Linearisierungsalgorithmen auf Basis von Polynomen höherer Ordnung verbessern die Positioniergenauigkeit auf unter 0,01% für kapazitive Sensoren. Das ist typischerweise um einen Faktor 10 besser als mit konventionellen Controllern.

Mehr als nur ein Controller – Bahnsteuerung und Datenaufzeichnung

Während schneller periodischer Bewegungen, wie sie z. B. für Scanninganwendungen typisch sind, lässt sich die Bahntreue durch die Dynamische Digitale

Linearisierung (DDL, E-710.SCN) um bis zu drei Größenordnungen weiter erhöhen.

Durch diesen Regelalgorithmus sind auch während des dynamischen Scans Ereignisse zeitlich und lokal genau bestimmbar. Der integrierte Funktionsgenerator kann periodische Bewegungsprofile abspeichern und ausgeben. Der Anwender wird bei der Definition der Kurven durch vorkonfigurierte Sinus- und Dreieckprofile unterstützt, kann die Kurvenform aber auch völlig frei gestalten. Über den flexibel konfigurierbaren Datenrekorder können die entsprechenden Daten aufgezeichnet werden.

Umfangreiches Softwarepaket

Die Controller werden mit Software zur Inbetriebnahme unter Windows Betriebssystemen ausgeliefert. Für die automatisierte Ansteuerung stehen komfortable DLLs und LabVIEW-Treiber zur Verfügung.

Automatische Konfiguration

Dank der AutoCalibration Funktion der Controller können digitale Piezocontroller und PI Nanopositionierische mit ID-Chip in beliebigen Kombinationen genutzt werden. Individuelle Daten der Stellische und optimierte Servo-Controllerparameter sind im ID-Chip gespeichert und werden automatisch von den Digitalcontrollern ausgelesen.

Technische Daten

Modelle	E-725.3CD	E-725.3CM	Toleranz
Funktion	Digitaler Controller für mehrachsige Piezo-Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren	Digitaler Controller für mehrachsige Piezo-Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren	
Achsen	3	3	
Prozessor	DSP 32-Bit Fließkomma, 225 MHz	DSP 32-Bit Fließkomma, 225 MHz	
Samplerate Regelung	20 kHz	20 kHz	
Samplerate Sensor	20 kHz	20 kHz	
Sensor			
Reglertyp	P-I, zwei Notchfilter	P-I, zwei Notchfilter	
Sensortyp	kapazitiv	kapazitiv	
Sensorkanäle	3	3	
Sensorbandbreite (-3 dB)	5,6 kHz	5,6 kHz	max.
Sensorauflösung	18 Bit	18 Bit	
Externe Synchronisierbarkeit	ja	ja	
Verstärker			
Ausgangsspannung	-30 bis 135 V	-250 bis 250 V	±3 V
Verstärkerkanäle	4	4	
Spitzenleistung / Kanal	25 W	47 W	max.
Dauerausgangsleistung / Kanal*	10 W	10 W	max.
Spitzenstrom / Kanal	190 mA	190 mA	max.
Dauerausgangsstrom / Kanal*	120 mA	60 mA	max.
Strombegrenzung	kurzschlussfest	kurzschlussfest	
Auflösung DAC	24 Bit	24 Bit	
Schnittstellen und Bedienung			
Schnittstelle / Kommunikation	Ethernet, USB, RS-232	Ethernet, USB, RS-232	
Piezo- / Sensoranschluss	D-Sub Spezial	D-Sub Spezial (PicoCube®, NEXLINE®)	
Analogeingang	1 x LEMO, ±10 V, 18 Bit	1 x LEMO, ±10 V, 18 Bit	
Digitaleingang / -ausgang	MDR20; 2 x IN, 8 x OUT	MDR20; 2 x IN, 8 x OUT	
Befehlssatz	PI General Command Set (GCS)	PI General Command Set (GCS)	
Bedienersoftware	NanoCapture™, PIMikroMove®	NanoCapture™, PIMikroMove®	
Softwaretreiber	LabVIEW Treiber, DLLs	LabVIEW Treiber, DLLs	
Unterstützte Funktionen	Funktionsgenerator, Trigger I/O	Funktionsgenerator, Trigger I/O	
Display und Anzeigen	LEDs für Power, On Target, Error, Cmd	LEDs für Power, On Target, Error, Cmd	
Linearisierung	Polynome 4ter Ordnung, DDL (Dynamic Digital Linearization)	Polynome 4ter Ordnung, DDL (Dynamic Digital Linearization)	
Separater Schutzleiter-Anschluss	ja	ja	
Umgebung			
Betriebstemperaturbereich	5 bis 50 °C	5 bis 50 °C	
Überhitzungsschutz	Max. 71 °C, Abschaltung des Spannungsausgangs	Max. 71 °C, Abschaltung des Spannungsausgangs	
Masse	3,5 kg	3,6 kg	
Abmessungen	263 x 89 x 302 mm (mit Griffen)	263 x 89 x 302 mm (mit Griffen)	
Leistungsaufnahme	70 W	70 W	max.
Betriebsspannung	24 VDC von externem Netzteil (im Lieferumfang enthalten)	24 VDC von externem Netzteil (im Lieferumfang enthalten)	

* In Summe sollte die Leistung für alle 4 Kanäle 34,5 W nicht überschreiten, da die Sicherung des Controllers für 3.15 A ausgelegt ist.

E-753 Digitaler Piezocontroller Hochgeschwindigkeits-Controller für eine Achse



E-753 Einkanal-Digitalcontroller zusammen mit dem PIHera® P-629.1CD Nanopositioniersystem mit 1500 µm Stellweg

- Digitalcontroller der nächsten Generation: höhere Flexibilität, Genauigkeit und Geschwindigkeit
- 100 kHz Sensorabtastrate; DSP 32-Bit Fließkomma; rauscharme 24-Bit D/A Wandler
- Ethernet (u. a. TCP/IP) für größere Übertragungswege, RS-232
- ID-Chip-Erkennung für automatischen Abgleich des Controllers auf die Piezomechanik
- Zusätzlicher, breitbandiger Analogeingang für Sollwerte oder Sensor
- Digitale Ein- und Ausgänge für Triggeraufgaben
- Umfangreiches Softwarepaket
- Für Nanopositioniersysteme mit kapazitiven Sensoren

Der digitale Piezocontroller E-753 resultiert aus PI's über 30-jähriger Erfahrung mit Piezopositioniersystemen. Er ist die ideale Ansteuerung für höchste Ansprüche an Positioniergenauigkeit und dynamisches Verhalten von Nanopositioniersystemen der obersten Genauigkeitsklasse. Der E-753 löst den Controller E-750 ab.

Digitale Linearisierung für höchste Genauigkeit

Linearisierungsalgorithmen auf Basis von Polynomen höherer

Ordnung verbessern die Positioniergenauigkeit auf bis zu 0,001% des Verfahrenswegs.

Während schneller periodischer Bewegungen, wie sie z. B. für Scanninganwendungen typisch sind, lässt sich die Bahntreue durch die Dynamische Digitale Linearisierung (DDL, E-10.SCN) um bis zu drei Größenordnungen weiter erhöhen.

Durch diesen Regelalgorithmus sind auch während des dynamischen Scans Ereignisse zeitlich und lokal genau bestimmbar.

Hohe Geschwindigkeit und Bandbreite für dynamische Anwendungen

Dank eines hochauflösenden DA-Wandlers und eines leistungsfähigen Spannungsverstärkers eignet sich der Controller hervorragend für den hochdynamischen Betrieb. Der schnelle Prozessor sorgt dabei mit einer Sensor-Abtastrate von 100 kHz für Einschwingzeiten im Millisekundenbereich und darunter.

Flexibel anpassbar an unterschiedlichste Anwendungen

Bei Nanopositioniersystemen von PI, die mit einem ID-Chip ausgerüstet sind und mit einer digitalen Elektronik kalibriert wurden, enthält der ID-Chip die Kalibrations- und Regelparameter der Mechanik. Der Controller gleicht sich durch „intelligentes“ Auslesen dieser Daten automatisch der angeschlossenen Mechanik an, so dass eine erneute Kalibration beim Wechsel von Systemkomponenten entfällt.

Der integrierte Funktionsgenerator kann periodische Bewegungsprofile abspeichern und ausgeben. Der Anwender wird bei der Definition der Kurven durch vorkonfigurierte Sinus-

Bestellinformationen

E-753.1CD

Einkanaliger, digitaler Hochgeschwindigkeits-Piezocontroller für kapazitive Sensoren

E-710.SCN

Firmware-Erweiterung DDL (Dynamische Digitale Linearisierung)

E-753.IO

Kabel für digitale Ein- und Ausgangssignale, 1,5 m, offenes Ende

Sonderausführungen auf Anfrage!

und Dreieckprofile unterstützt, kann die Kurvenform aber auch völlig frei gestalten.

Einfache Systemanbindung

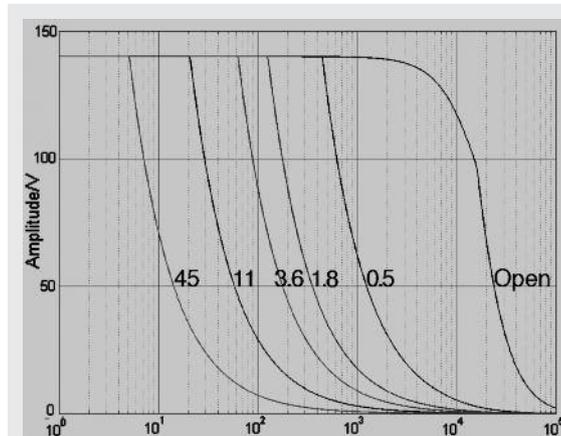
Alle Parameter können per Software eingestellt und überprüft werden. Die einfache Inbetriebnahme und Systemkonfiguration erfolgt über die im Lieferumfang enthaltenen Dienstprogramme NanoCapture™ und PIMikroMove®, die Anbindung an die kundenseitige Software ist über LabVIEW Treiber und DLLs möglich. Die Programmierung der Systeme ist für alle PI Steuerungen identisch – die kombinierte Ansteuerung unterschiedlicher Controller ist daher problemlos möglich.



Zusammen mit einem P-725 PIFOC® Z-Objektivpositionierer bildet der E-753 ein optimales System für schnelles, hochaufgelöstes Positionieren und Scannen

Technische Daten

Modell	E-753.1CD
Funktion	Digitaler Controller für einachsige Piezo-Nano-positioniersysteme mit kapazitiven Sensoren
Achsen	1
Prozessor	DSP 32-Bit Fließkomma, 60 MHz
Samplerate Regelung	25 kHz
Samplerate Sensor	100 kHz
Sensor	
Reglertyp	P-I, zwei Notchfilter
Sensortyp	Kapazitiv
Sensorkanäle	1
Sensorbandbreite	5,6 kHz
Sensorauflösung	17 Bit
Externe Synchronisierbarkeit	ja
Verstärker	
Ausgangsspannung	-30 V bis 135 V
Verstärkerkanäle	1
Spitzenleistung <5 ms	15 W
Dauerausgangsleistung >5 ms	5 W
Spitzenstrom <5 ms	110 mA
Dauerausgangsstrom >5 ms	40 mA
Strombegrenzung	kurzschlussfest
Auflösung DAC	24 Bit
Schnittstellen und Bedienung	
Schnittstelle / Kommunikation	Ethernet, RS-232
Piezoanschluss	Sub-D Spezialstecker
Sensoranschluss	Sub-D Spezialstecker
Analogeingang	LEMO, ±10 V, 18 bit
Digitaleingang	2 x Lemo, TTL
Digitalausgang	2 x Lemo, TTL
Befehlssatz	GCS
Bedienersoftware	NanoCapture™, PIMikroMove®
Softwaretreiber	LabVIEW Treiber, DLLs
Unterstützte Funktionen	Funktionsgenerator, Trigger I/O, Datenrekorder
Display und Anzeigen	Status LEDs
Linearisierung	Polynome 4ter Ordnung, DDL (optional)
Separater Schutzleiter-Anschluss	ja
Umgebung	
Betriebstemperaturbereich	5 bis 50 °C
Überhitzungsschutz	automatische Abschaltung des Piezoausgangs bei 85 °C
Masse	0,9 kg (Controller)
Abmessungen	Controller: 264 x 125 x 48 mm (mit Gummifüßen) Netzteil: 174 x 95 x 58 mm (mit Gummifüßen)
Leistungsaufnahme	10 W max.
Betriebsspannung	24 VDC von externem Netzteil (im Lieferumfang)



Aussteuerungen des E-753 (ungeregelt) mit verschiedenen Piezolasten. Die Kurven spiegeln die Strombegrenzung des Verstärkers für Großsignale wieder und nicht die tatsächliche Bandbreite

E-755 Digitaler NEXLINE® Controller

Ein-Achs-Controller für picometergenaue Aktoren/Positionierer



- Maßgeschneiderte Regelalgorithmen für NEXLINE® Nanopositionier-Linearantriebe
- Hochwertige 32-Bit digitale Filter
- 24-Bit DAC Auflösung
- Frei programmierbare Tiefpass- und Notch-Filter
- Komfortable Bedienung: keine Referenzierung nötig
- Daisy-Chain Vernetzbarkeit für bis zu 16 Achsen
- GCS (PI General Command Set) kompatibel

Die patentierten NEXLINE® Linearantriebe für die Nanostelltechnik werden über den digitalen einachsigen E-755 Controller angesteuert. Angepasste Regelalgorithmen und Sensorsignalverarbeitung kombiniert mit der spezifischen Aktoransteuerung im E-755 erlauben die für NEXLINE® typischen Präzisionsbewegungen über mehrere (hundert) Millimeter mit Auflösungen im Pico-meter-Bereich.

Der E-755 unterstützt die beiden Bewegungsarten der NEXLINE® Schreitantriebe: den hochdynamischen Piezomodus (Analogbetrieb) mit picometergenauer Auflösung und den Schrittbetrieb mit theoretisch unbegrenztem Stellweg.

Hochaufgelöste Regelung

Zur Basisausstattung der E-755 Controller gehören neben einem leistungsstarken 32-bit DSP die für den Betrieb eines einzelnen NEXLINE® Antriebs notwendigen vier Ausgangskanäle mit ± 250 V und einer Auflösung von 24-bit. Erhältlich sind Versionen für den geregelten und ungeregelten Betrieb.

Die Varianten mit Regelung unterstützen inkrementelle Wegmess-Sensoren mit einer Auflösung bis in den Pico-meter-Bereich. Beim Ausschalten wird die letzte Position gespeichert, damit das System nach dem nächsten Einschalten sofort wieder einsatzbereit ist.

NEXLINE® Funktionsprinzip für Flexibilität in der Anwendung

NEXLINE® PiezoWalk® Antriebe werden überall dort eingesetzt, wo hohe Lasten über größere Strecken präzise justiert und gegebenenfalls über kleine Amplituden dynamisch nachgeregelt werden müssen, wie bei der aktiven Schwingungsdämpfung. Durch die Kombination von Scher- und Klemmpiezoelementen können Schrittweite bzw. dynamischer Betriebsbereich (analoger Stellbereich), Klemmkraft, Geschwindigkeit und Steifigkeit auf die jeweiligen Erfordernisse optimiert werden.

Die piezokeramischen Klemm- und Scherelemente wirken auf einen bewegten Läufer, an den das zu bewegende Objekt angekoppelt wird. Während der Läufer im Schrittbetrieb über größere Strecken bewegt werden kann, ermöglicht der analoge Betrieb innerhalb eines Schrittes hochdynamisches Positionieren mit Auflösungen weit unter einem Nanometer. Damit setzen sich PiezoWalk® Antriebe über die Einschränkungen konventioneller Nanostelltechnik-Systeme hinweg und kombinieren große Stellwege mit hoher Auflösung und Steifigkeit.

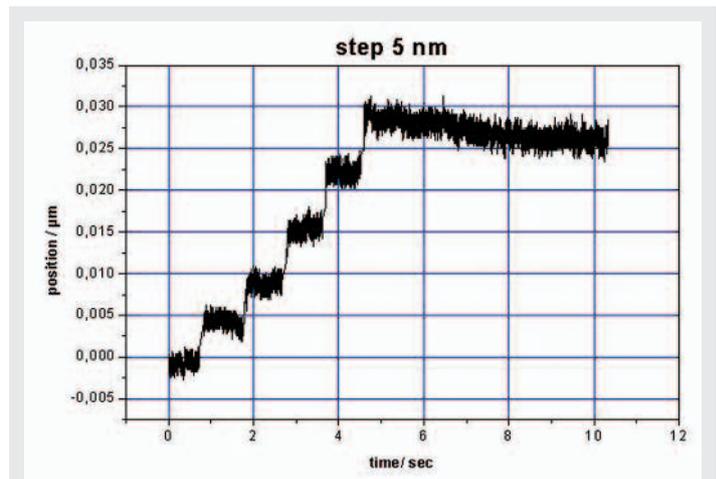
Bestellinformationen

- E-755.1A1**
Digitaler Controller für NEXLINE® Nanopositionier-Linearantriebe mit inkrementellem Encoder
- E-755.101**
Digitaler Controller für NEXLINE® Nanopositionier-Linearantriebe

kungen konventioneller Nanostelltechnik-Systeme hinweg und kombinieren große Stellwege mit hoher Auflösung und Steifigkeit.

Spannungsloser Modus für höchste Lebensdauer des Antriebs

Eine hohe Lebensdauer ist für viele Anwendungen von NEXLINE® Aktoren ein unbedingtes Muss – häufig werden sie an schwer zugänglichen Stellen in Geräten eingesetzt, bei denen es für beste Resultate auf Justage und Schwingungsdämpfung mit Nanometergenauigkeit ankommt. An jeder Position kann der E-755 den NEXLINE® Antrieb daher in einen Zustand versetzen, in dem keine Spannung an den einzelnen Piezoelementen an-



Eine Folge von 5 nm Schritten eines NEXLINE® Systems, bestehend aus dem N-214 Antrieb und dem E-755 Controller. Die Messungen wurden mit einem hochauflösenden Interferometer aufgenommen. Die Schrittweite ist begrenzt durch die Auflösung des Encoders, die in diesem Falle bei 5 nm liegt. Der E-755 kann mit Linearencodern arbeiten, die eine Auflösung unterhalb von einem Nanometer besitzen.

liegt und trotzdem die volle Klemmkraft wirkt. Hierdurch werden Offsetspannungen vermieden, die bei konventionellen Piezoaktoren die Lebensdauer begrenzen können.

Das NEXLINE® Antriebsprinzip ist patentiert unter:

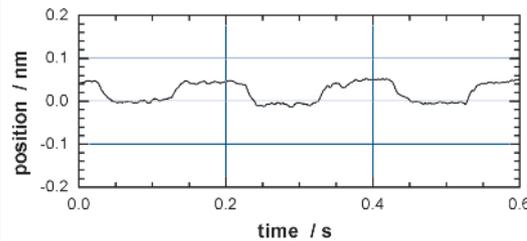
Deutsches Patent Nr. 10148267
US-Patent Nr. 6,800,984



6-achsige Parallelkinematik (Hexapod) mit N-215 NEXLINE® Hochlast-Aktoren für den Einsatz unter starken Magnetfeldern. Das System wird von sechs einzelnen E-755 über eine externe Software und Hardware zur Koordinatentransformation gesteuert

Linearisierung

Die E-755 Ausführungen mit Positionsregelung ermöglichen über Polynom-Linearisierungsverfahren eine hervorragende Linearität der Bewegung. Die Linearität erreicht so Werte bis zu 0,001% über den gesamten Stellweg des NEXLINE® Nanopositioniersystems.



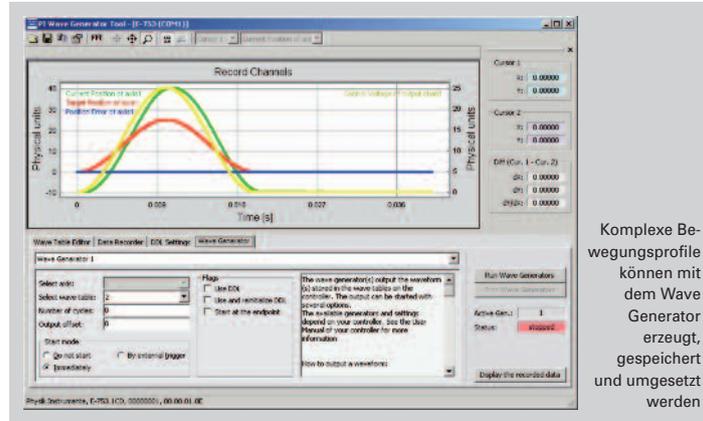
50-Picometer-Schritte mit einem unregelmäßig NEXLINE® Antrieb. Die Messung erfolgte mit einem hochauflösenden externen kapazitiven Wegmess-Sensor

Technische Daten

Modelle	E-755.1A1	E-755.101
Funktion	Digitaler Controller für NEXLINE® Nanopositionier-Linearantriebe mit inkrementellem Encoder	Digitaler Controller für NEXLINE® Nanopositionier-Linearantriebe
Achsen	1	1
Prozessor	DSP 32-bit, Fließkomma, 50 MHz	DSP 32-bit, Fließkomma, 50 MHz
Sensor		
Sensorkanäle	1	–
Samplezeit Regelung	0,2 ms	–
Samplezeit Sensor	0,1 ms	–
Dynamische Zykluszeit	0,2 ms	0,1 ms
Reglertyp	P-I, Notchfilter	–
Sensortyp	inkrementeller Sensor (analoge Signale)	–
Verstärker		
Verstärkerkanäle	4	4
Ausgangsspannung	-250 bis 250 V	-250 bis 250 V
Spitzenleistung/Kanal	5,5 W	5,5 W
Dauerausgangsleistung/Kanal	3 W, temperaturgeregelt	3 W, temperaturgeregelt
Spitzenstrom/Kanal	44 mA	44 mA
Dauerausgangsstrom /Kanal	25 mA, temperaturgeregelt	25 mA, temperaturgeregelt
Strombegrenzung	kurzschlussfest	kurzschlussfest
Auflösung DAC	24 Bit	24 Bit
Schnittstellen und Bedienung		
Schnittstelle/Kommunikation	RS-232	RS-232
Piezoanschlussbuchse	D-Sub Spezial	D-Sub Spezial
Sensoranschluss	D-Sub Stecker 15-pol.	–
Controller Netzwerk	Daisy-Chain, max. 16 Geräte	Daisy-Chain, max. 16 Geräte
Befehlssatz	GCS	GCS
Bedienersoftware	PIMikroMove®, NanoCapture™, PITerminal	PIMikroMove®, NanoCapture™, PITerminal
Softwaretreiber	LabVIEW Treiber, DLLs	LabVIEW Treiber, DLLs
Unterstützte Funktionen	NEXLINE® Regelalgorithmen, Datenrecorder, Positionsdatenspeicher	NEXLINE® Steueralgorithmen, Datenrecorder
Display und Anzeigen	Status LEDs	Status LEDs
Linearisierung	Polynome vierter Ordnung	Polynome vierter Ordnung
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	5 bis 50 °C	5 bis 50 °C
Überhitzungsschutz	automatische Abschaltung bei 70 °C	automatische Abschaltung bei 70 °C
Abmessungen	264 x 260 x 47 mm	264 x 260 x 47 mm
Masse	2,3 kg	2,3 kg
Betriebsspannung	24 V (Netzteil inkl.)	24 V (Netzteil inkl.)
Leistungsaufnahme	48 W, 2 A max.	48 W, 2 A max.

Fortgeschrittene Funktionen – Anforderungen aus den Anwendungen

Kurvenspeicher, Datenrekorder, Makros, Systemerkennung, Autofokus ...



Komplexe Bewegungsprofile können mit dem Wave Generator erzeugt, gespeichert und umgesetzt werden

Die Autofokusalgorithmen sind als Standardfunktion möglich für die Nanopositioniercontroller E-753 (1 Kanal), E-725 (3 Kanäle) und E-712 (bis 6 Kanäle).

ID-Chip Erkennung für automatischen Abgleich des Controllers auf die Piezomechanik

Die besten Ergebnisse für die Positioniergenauigkeit (Linearität) des Piezosystems erhält man durch den Abgleich verschiedener Betriebsparameter. Diese hängen vom einzelnen Versteller ab. Ist ein Abgleich einmal für eine digitale Elektronik erfolgt, werden diese Parameter im ID-Chip des Verstellers gespeichert. Sie stehen so für den Betrieb an einer anderen digitalen Steuerung automatisch wieder zu Verfügung, ohne dass hier eine Anpassung erfolgen muss. Diese Austauschbarkeit zwischen Versteller und Controller ist ein wesentlicher Fortschritt für den flexiblen Einsatz der Systeme.

Die ID-Chip Erkennung erfolgt in allen Nanopositioniercontrollern E-753, E-725 und E-712.

Datenrekorder: Bewegungsdaten erfassen und auswerten

Ein flexibel konfigurierbarer Datenrekorder zeichnet Daten wie Position, Sensorsignal, Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Zeit und ggf. unter Verwendung von Triggersignalen auf und speichert sie für eine spätere Verwendung.

Oberflächen zur leichteren Handhabung zur Verfügung.

Datenrekorder und Profilergenerator sind Bestandteil der Software MikroMove® für alle digitalen Controller.

Wave und Profile Generator: Bahnprofile abrufen und bearbeiten

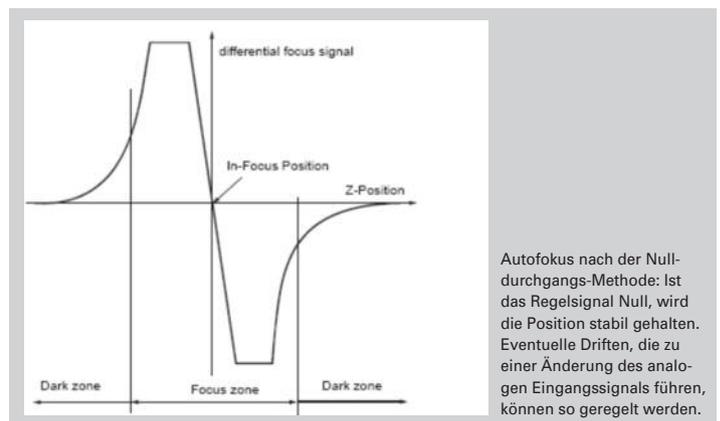
Bahnprofile aus benutzerdefinierten mathematischen Funktionen ermöglichen komplexe zweiachsige Bewegungen. Controllerabhängig werden Zeit-Position-Wertepaare (Wave Generator) oder ganze Bahnprofile mit Geschwindigkeit sowie Beschleunigung und deren Änderung (Profile Generator) gespeichert. Die Funktionalität umfasst:

- Einfache Programmierung komplexer Funktionen
- Schneller Zugriff auf Standard-Funktionen
- Koordination zweier Achsen
- Abspeichern der definierten Funktionen im Controller

Alle controllerspezifischen Funktionalitäten sind über Treiber (DLL, LabVIEW VIs) nutzbar und können so leicht in Kundenapplikationen genutzt werden. Zusätzlich stehen graphische

Autofokus

In der Firmware hinterlegte Autofokus Routinen ermöglichen die Implementierung einer Funktion, die ein externes Sensorsignal regelt – z.B. auf den Signalausgang eines Vision Systems. Die zugrunde liegende Nulldurchgangsmethode regelt eine Spannung von 0 V am analogen Eingang des digitalen Controllers. Dieser muss die Autofokus Routine beherrschen und einen analogen Steuereingang besitzen.



Autofokus nach der Nulldurchgangsmethode: Ist das Regelsignal Null, wird die Position stabil gehalten. Eventuelle Driften, die zu einer Änderung des analogen Eingangssignals führen, können so geregelt werden.

DDL: Dynamische, Digitale Linearisierung

Nanometer-Bahntreue während dynamischer Scans

Verbesserte Piezo-Regelung: Dynamisch, Digitale Linearisierung (DDL)

Konventionelle Piezocontroller können bei dynamisch-periodischen Anwendungen Phasenverschiebungen und Trackingfehler nicht komplett verhindern. Das liegt u.a. an der nicht-linearen Natur des Piezomaterials, der endlichen Regelbandbreite sowie an der P-I-Regelung, die erst dann anspricht, wenn eine Positionsabweichung gemessen wird. Die DDL-Option moderner digitaler Piezocontroller wie z. B. E-753 Ein- (S. 2-108) oder E-712 Mehr-

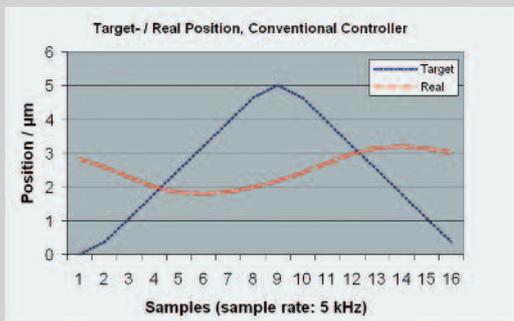
achscontroller (S. 2-140) löst dieses Problem. Diese von PI entwickelte Technologie reduziert Fehler zwischen Soll- und Istposition auf praktisch nicht wahrnehmbare Werte bei periodischen Bahnprofilen. Dadurch ergibt sich eine Verbesserung in der dynamischen Linearität und effektiv nutzbaren Bandbreite um bis zu drei Größenordnungen. Von DDL profitieren ein- und mehrachsige Anwendungen, in denen ein Profil wiederholt abgefahren wird (siehe Messkurven). Die DDL-Option kann unter der Nummer E-710.SCN bestellt werden.

Bestellinformation

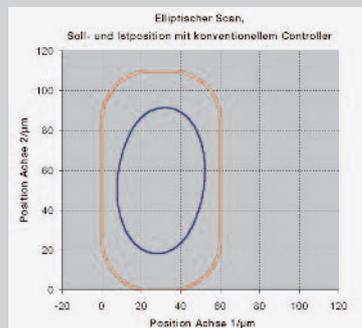
E-710.SCN

Firmware-Erweiterung DDL
(Dynamische, Digitale
Linearisierung)

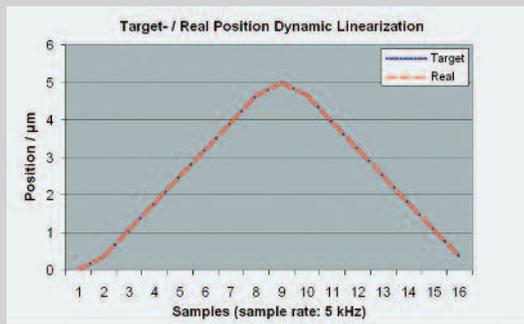
Verfügbar für alle Controller E-712,
E-725 und E-753.



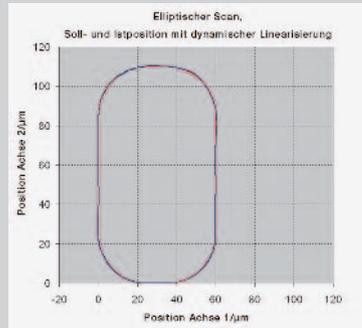
Nanopositioniersystem mit konventionellem PID-Controller: Einachsbelegung mit einem Dreieckssignal von 312 Hz. Der Unterschied zwischen Soll- und Istposition beträgt bis zu 2,6 µm.



Elliptischer Scan (für Laser-Mikrobohranwendung) mit einem XY-Piezoscantisch und konventionellem PID-Controller. Die äußere Kurve beschreibt die Sollposition, die innere zeigt die tatsächliche Bewegung des Tisches.



Nanopositioniersystem mit DDL-Option: Gleiche Einachsbelegung wie zuvor, mit 312 Hz Dreieckssignal. Der Unterschied zwischen Soll- und Istposition ist praktisch nicht wahrnehmbar und liegt bei nur 7 Nanometern.



Gleicher Scan wie zuvor, jedoch mit DDL-Controller. Der Trackingfehler ist auf wenige Nanometer reduziert, Soll- und Istposition sind in der Graphik nicht zu unterscheiden.

DDL: Dynamische, Digitale Linearisierung Anwendungsbeispiel

Proben ins rechte Licht gerückt:

Nanopositioniersysteme in der Fluoreszenz-Mikroskopie

Einzelmolekül-Untersuchungen liefern viele Informationen über chemische Eigenschaften oder biologische Funktionen. Die Detektion einzelner Moleküle ist allerdings alles andere als einfach. Zur Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses nutzt man deshalb die sehr sensitive laserbasierte Fluoreszenz-Untersuchung.

Konfokales Mikroskop mit Einzelmolekül-Empfindlichkeit

Die Firma PicoQuant in Berlin bietet hierfür das konfokale, zeitaufgelöste Fluoreszenzmikroskop MicroTime 200 an. „Dieses System nutzt zur Datenaufnahme die zeitkorrelierte Einzelphotonenzählung und ermöglicht sowohl 2D- als auch 3D-Aufnahmen“ erläutert Dr. Felix Koberling, Leiter der Systementwicklung bei PicoQuant. Dadurch lassen sich eine Vielzahl der heute in der Fluoreszenzmikroskopie üblichen Verfahren realisieren, z. B. neben FCS (Fluorescence Correlation Spectroscopy) und FRET (Fluorescence Resonance Energy Transfer) auch das sogenannte Fluorescence Lifetime Imaging, bei dem man nicht nur die gemessene Intensität nutzt, sondern zusätzlich auch die jeweilige Fluoreszenz-Lebensdauer zur Visualisierung und Quantifizierung, bei-



spielsweise um intrazelluläre Prozesse auch in lebenden Zellen zu analysieren. Durch den modularen Aufbau lässt sich das Fluoreszenz-Mikroskop außerdem sehr flexibel an unterschiedliche Aufgabenstellungen anpassen. (www.picoquant.de)

Höchste Wiederholgenauigkeit durch dynamische digitale Linearisierung

Für den Antrieb des Scannertisches fiel die Wahl auf den P-733.2CD. Das hochgenaue Nanopositioniersystem passt mit einem Stellweg von 100 x 100 µm perfekt für die Anforderungen der Fluoreszenz-Mikroskopie.

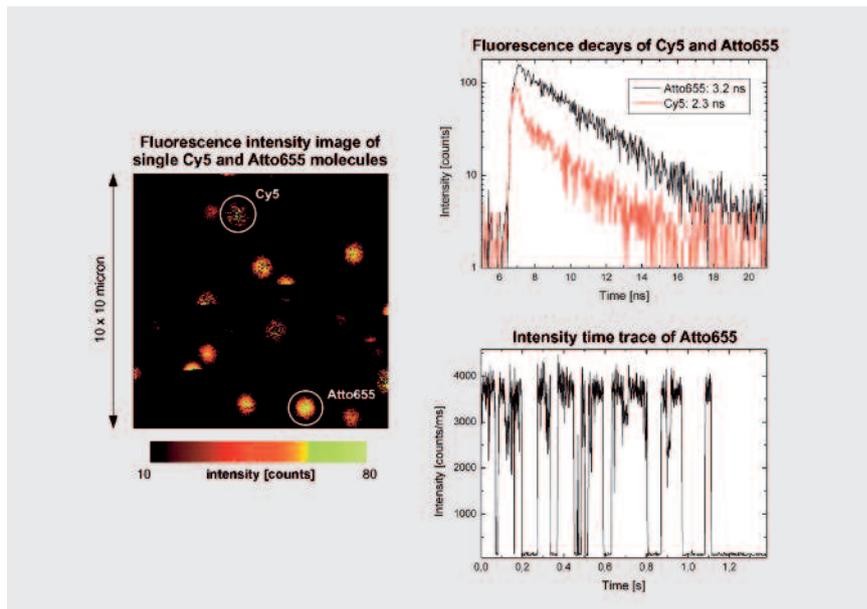
Falls die Probe nicht bewegt werden kann, z. B. weil sie sich in einer geschlossenen Klimakammer befindet, lässt sich das gleiche Positioniersystem auch so anbringen, dass es das Mikroskop-Objektiv bewegt.

In jedem Fall sorgen die in das Positioniersystem integrierten hochpräzisen kapazitiven Sensoren für die genaue Istwert-Erfassung, die notwendig ist, um eine möglichst hohe Wiederholgenauigkeit zu erreichen. Typischerweise fährt man nach der ersten Bildaufnahme eines Probenbereichs dann in einem zweiten Schritt einzelne Positionen punktuell an, an denen sich besonders interessante Objekte befinden. Während des dynamischen Scans der Probe müssen also Ist- und Sollwert möglichst genau übereinstimmen, um die Position zuverlässig wiederfinden zu können. Dies ermöglicht die Digitalsteuerung des eingesetzten Positioniersystems durch ihre sogenannte DDL-Funktion (E-710.SCN). Mit dieser dynamischen digitalen Linearisierung lässt sich die Scanlinearität um bis zu drei Größenordnungen verbessern. Phasenverschiebungen und Bahnabweichungen reduzieren sich dadurch auf praktisch nicht wahrnehmbare Werte.

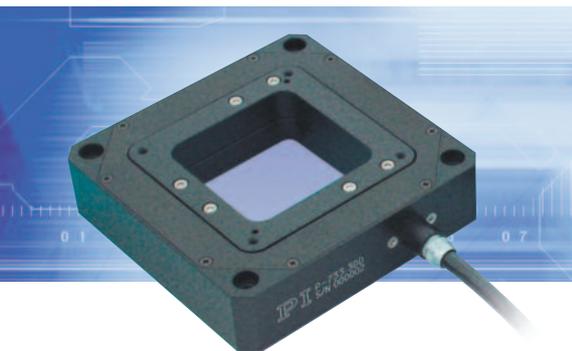
Die dritte Dimension: Zusätzliche Fokus-Justierung

Für dreidimensionale Aufnahmen werden die P-721.CLQ PIFOC®-Z-Antriebe eingesetzt. Sie reagieren mit kurzen Ansprechzeiten und positionieren durch die Verwendung von Festkörperführungen und kapazitiven

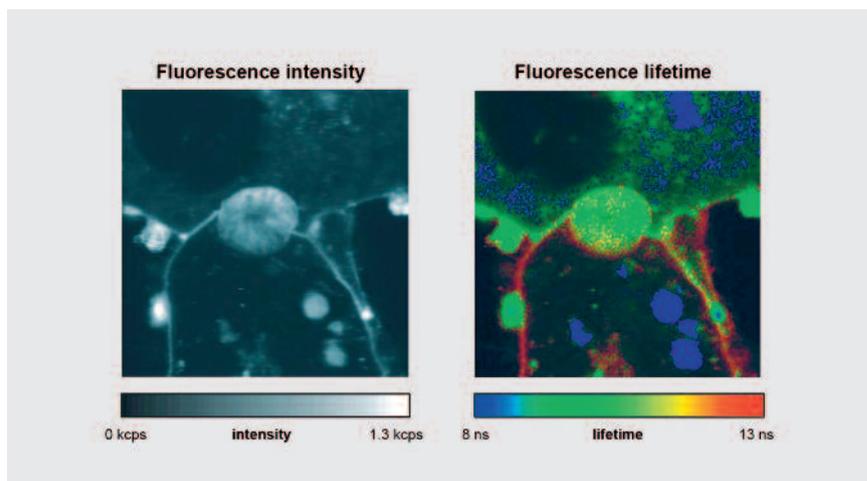
Sensoren auch bei verhältnismäßig großen Verfahrenswegen sehr genau. „Die piezobasierten Nanopositioniersysteme tragen damit entscheidend dazu bei, dass wir mit unserem MicroTime 200 qualitativ sehr hochwertige Ergebnisse erzielen können“, so Koberling abschließend.



Fluoreszenzintensitätsbild (links) und -lebensdauerbild einer Leberkrebszelle, gefärbt mit dem Farbstoff NBD zur Aufklärung der Lipidorganisation. Im Bild auf der rechten Seite können deutlich unterschiedliche Lipidstrukturen anhand der Lebensdauer identifiziert werden. (Foto: PicoQuant)

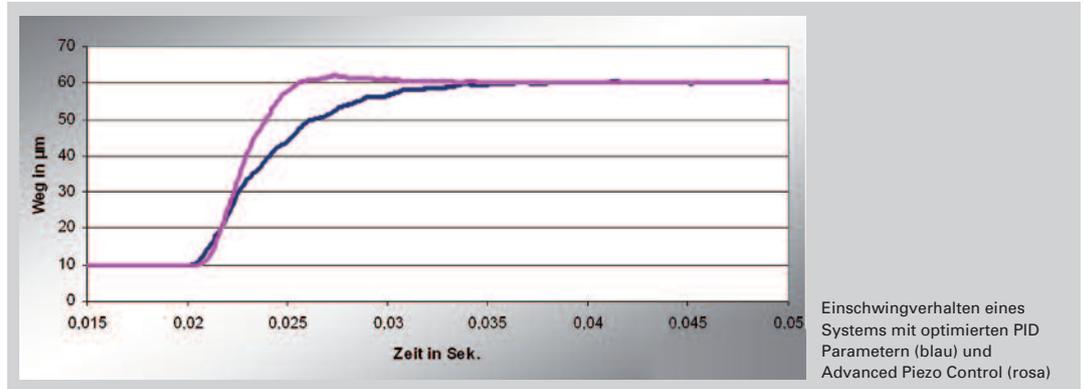


Das piezobasierte Nanopositioniersystem arbeitet mit Stellwegen von 100 x 100 µm. Mit der optionalen dynamischen digitalen Linearisierung (DDL) lässt sich die Scanlinearität um bis zu drei Größenordnungen verbessern. Phasenverschiebungen und Trackingfehler reduzieren sich dadurch auf praktisch nicht wahrnehmbare Werte. (Foto: Physik Instrumente (PI))



Einzelmolekülbild einer Mischung aus immobilisierten Atto655- und Cy5-Molekülen. Die einzelnen Moleküle können gut anhand ihrer unterschiedlichen Fluoreszenzlebensdauer unterschieden werden. Die untere Kurve zeigt das typische „Blinken“ von einzelnen Atto655-Molekülen. (Foto: PicoQuant)

Advanced Piezo Control Alternatives Regelkonzept für schnelleres Einschwingen



Für den modularen Controller E-712 für Nanopositioniersysteme wird ein alternatives Regelkonzept angeboten: Advanced Piezo Control.

Ihm liegt ein Zustandsregler zugrunde, der auf einem Modell des Positioniersystems beruht.

Advanced Piezo Control dämpft die Resonanzfrequenz aktiv, im Gegensatz zum klassischen PID-Regler mit Notchfilter (Kerbfiler), bei dem die mechanische Resonanz aus dem Anregungsspektrum herausgeschnitten wird.

Advanced Piezo Control für eine schnellere und stabilere Regelung

Die Folge sind schnellere Einschwingzeiten und eine geringere Empfindlichkeit gegen Störungen von außen.

Die Phasentreue ist wesentlich besser als durch die Dämpfung mit einem oder gar zwei Notchfiltern. Dies hat unmittelbare Auswirkungen auf die Bahntreue und das Einschwingverhalten.

Einschränkungen der Advanced Piezo Control

Besitzt das mechanische System zu viele Resonanzen nahe bei einander oder liegt die zu dämpfende Resonanzfrequenz um 1 kHz oder höher, besitzt der Zustandsregler in dieser Form keine Vorteile mehr gegenüber der klassischen PID Regelung. Diskutieren Sie Ihre Anwendung mit uns.

Bestellinformation

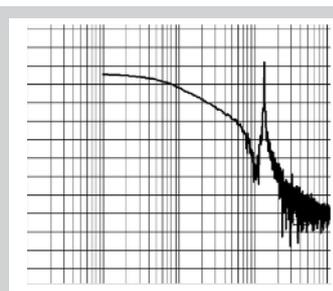
E-712.U1

Firmware-Erweiterung Advanced Piezo Control Regloption

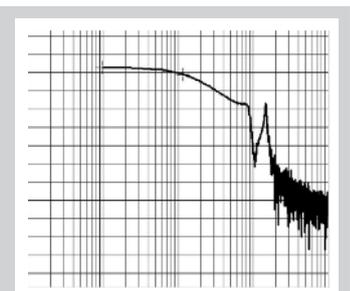
Advanced Piezo Control wird auch für die Controller E-753 (1 Kanal) und für das Kompaktgerät E-725 (3 Kanäle) angeboten. Fragen Sie Ihren PI Vertrieb.



Bode-Diagramm eines unbelasteten, unregulierten Systems mit 2 Resonanzfrequenzen.



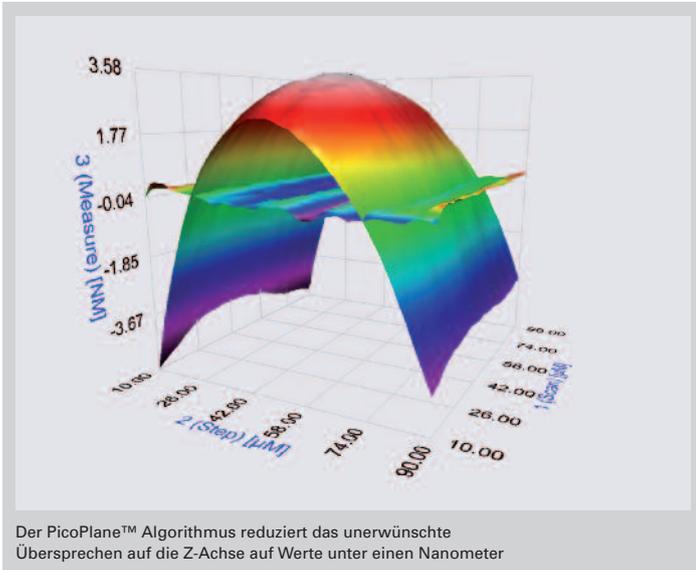
Bode-Diagramm eines geregelten Systems mit einem Notchfilter auf der ersten Resonanz.



Bode-Diagramm eines geregelten Systems mit Advanced Piezo Control. Die Resonanzen sind weitgehend unterdrückt, die Phasenverschiebung geringer als bei der Unterdrückung durch einen Notch-Filter.

PICOPlane™ für Piezosysteme

Bewegungen mit Nanometer-Ebenheit umsetzen



Nanopositioniersysteme von PI besitzen von sich aus eine hohe Führungsgenauigkeit, die typischerweise im Bereich um 10 Nanometer liegt.

Hierfür werden Festkörpergelenke eingesetzt, die senkrecht zur Bewegungsrichtung sehr steif sind.

AFM – ein Nanometer ist gerade gut genug

Es gibt jedoch Anwendungen, für die eine ebene Bewegung

im Bereich eines Nanometers erforderlich ist. Dazu gehört die Rasterkraftmikroskopie, bei der die Struktur der Probe im atomaren Bereich liegt und für die Ungenauigkeiten in der Probenpositionierung nicht tolerabel sind.

PICOPlane™ für Nanometer-Ebenheit

PICOPlane™ ist ein ein- bzw. zweidimensionales Verfahren, das dem Übersprechen in die Achse senkrecht zur Scanebene

bzw. zur Bewegungslinie entgegenwirkt und es auf ein Minimum reduziert.

Dazu ist eine dynamische und fein steuerbare Achse mit geringem Hub erforderlich. Diese Achse wirkt in Richtung des Übersprechens, das zuvor vermessen und im Controller abgelegt wurde. Dieser Vorgang des Mappens besitzt im Vergleich zur aktiven Regelung den Vorteil, dass die Korrekturbewegung quasi in Echtzeit erfolgen kann. Dadurch ist sichergestellt, dass während Scanbewegungen kein Phasenversatz zwischen tatsächlichem und ausgeregeltem Übersprechen als Verzerrung auftritt.

Hardwarevoraussetzungen

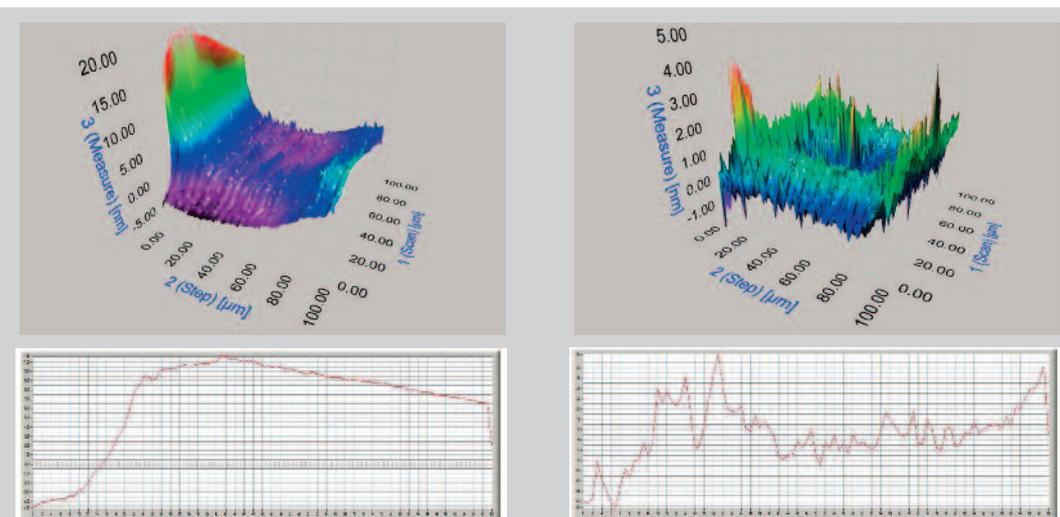
Diese zusätzliche Achse kann entweder auf das vorhandene Piezosystem aufgesetzt werden, oder sie ist bereits integriert. PI bietet je nach Nanopositioniersystem beide Lösungen an. Der zum System gehörende Digitalcontroller muss einen zusätzlichen unregelmäßigten Kanal zu Verfügung stellen und den PICO-Plane™ Algorithmus unterstützen.

Bestellinformation

E-712.U2
Firmware-Erweiterung PicoPlane™: Option für Nanometer-Führungsgenauigkeit (passende Hardware erforderlich)

PICOPlane™ setzt einen freien Verstärkerkanal und eine PICOPlane™-Achse voraus.

PICOPlane™ ist auch für das Kompaktgerät E-725 (3 Kanäle) erhältlich.



Flächenscan und Schnittbild der Messung des Übersprechens aus der XY-Ebene ohne (links) und mit (rechts) aktiviertem PICOPlane™. Der Effekt ist eine deutlich reduzierte Abweichung in der Z-Achse

E-861 PiezoWalk® NEXACT® Controller/Treiber

Vernetzbarer Controller für NEXACT® Linearantriebe und Positionierer



Bestellinformation

E-861.1A1
NEXACT® Controller, 1 Kanal,
Linearencoder

- Für NEXACT® Antriebe und Positioniersysteme
- Komplettes System mit Controller, integrierten Leistungsendstufen und Software
- Ungeregelter Betrieb oder Positionsregelung mit Linearencoder
- Flexibel und preisgünstig
- Daisy-Chain Vernetzbarkeit für Mehrachsenbetrieb
- Nichtflüchtiger Makrospeicher ermöglicht Stand-Alone-Betrieb mit Autostart-Makro
- I/O für Automatisierung, Joystick für manuelle Bedienung
- Parameteränderung im Betrieb

Technische Daten

Modell	E-861.1A1
Funktion	Controller für NEXACT® Antriebe / Systeme
Antriebsart	N-310.01 NEXACT® Antrieb
Kanäle	1
Bewegung und Regler	
Reglertyp	P-I-D-Regler, Parameteränderung im Betrieb
Trajektorienprofile	Trapez
Encodereingang	Analoge Encodereingänge Sinus-Cosinus, 1000-fache Interpolation; Interpolationselektronik voreingestellt für differentielle Übertragung, 2 V _{pp} Amplitude und 2,27 V Offset des Encodersignals
Blockiererkennung	Automatischer Motorstopp bei Überschreitung eines programmierbaren Positionsfehlers
Eingang Endschalter	2 x TTL (Pull-Up/Pull-Down, programmierbar)
Eingang Referenzschalter	1 x TTL
Elektrische Eigenschaften	
Ausgangsleistung	max. 40 Watt
Ausgangsspannung	-10 bis +45 V
Stromaufnahme	max. 2 A
Schnittstellen und Bedienung	
Schnittstelle/Kommunikation	USB 1.0, RS-232 (9-pol. (m) D-Sub)
Motoranschluss	D-Sub Stecker 15-pol (f) High Density
Sensoranschluss	D-Sub Stecker 15-pol (m) High Density
Controllernetzwerk	Bis zu 16 Einheiten an einer Schnittstelle
I/O Leitungen	4 analoge/digitale Eingänge, 4 digitale Ausgänge (TTL)
Befehlssatz	PI General Command Set (GCS)
Bedienersoftware	PI MikroMove®, PI Terminal
Softwaretreiber	GCS-DLL, LabVIEW Treiber
Besondere Funktionen	Start-Up Makro, Datenrecorder zur Aufnahme von Betriebsgrößen wie Motorspannung, Geschwindigkeit, Position oder Positionsfehler; interne Sicherheitsschaltung: Watchdog Timer
Manuelle Bedienhilfen (optional)	Pushbutton Box, Joystick (für 2 Achsen), Y-Kabel für 2-D-Bewegungen
Umgebung	
Betriebsspannung	24 V im Lieferumfang: Externes Netzteil mit 24 V, 2,5 A
Betriebstemperaturbereich	0 bis +50 °C
Masse	1,1 kg
Abmessungen	206 x 130 x 66 mm (inklusive der Montageschienen)

C-663/863/867 Mercury™ Motion Controller

Vernetzbare Einachscontroller für Schritt-, DC- und Piezomotoren



- Flexibel und preisgünstig
- Schrittmotorsteuerung oder Servocontroller für DC- und Piezo-Ultraschallmotoren
- Hochgeschwindigkeits-Encodereingang bis 50 MHz
- USB, RS-232 und analoge Schnittstellen
- 4 + 4 programmierbare TTL-Ein-/Ausgänge für flexible Automatisierung
- Makroprogrammierbar für Stand-Alone-Betrieb
- Daisy-Chain-Vernetzbarkeit für bis zu 16 Achsen
- Nichtflüchtiger EEPROM für Makros und Parameter
- Optionaler Joystick für manuelle Bedienung

Technische Daten

Modelle	C-863.10	C-663.10	C-867.160
Funktion	DC-Motorsteuerung, servoregelt	Schrittmotorsteuerung	Controller / Treiber für PILINE® Piezomotoren/Systeme
Antriebsarten	DC Motoren analog und PWM (ActiveDrive™)	2-Phasen-Schrittmotor	PILINE® Motoren, Einzel- oder Doppelantrieb U-161 bis U-164
Bewegung und Regler			
Reglertyp	P-I-D-Regler, Parameteränderung im Betrieb	–	P-I-D-Regler, Parameteränderung im Betrieb
Trajektorienprofile	Trapez, Punkt-zu-Punkt	Trapez, Punkt-zu-Punkt	Trapez, Punkt-zu-Punkt
Encodereingang	A/B Quadratur TTL-Pegel; 20 MHz	–	A/B Quadratur TTL-Pegel; 50 MHz
Mikroschrittauflösung	–	1/16 Vollschritt	–
Blockiererkennung	Automatischer Motorstopp bei Überschreitung eines programmierbaren Positionsfehlers	1/16 Vollschritt	Automatischer Motorstopp bei Überschreitung eines programmierbaren Positionsfehlers
Eingang Endschalter	2 x TTL, programmierbar	2 x TTL, programmierbar	2 x TTL, programmierbar
Eingang Referenzschalter	1 x TTL, programmierbar	1 x TTL, programmierbar	1 x TTL, programmierbar
Motorbremse	1 x TTL, per Software schaltbar	1 x TTL, programmierbar	–
Elektrische Eigenschaften			
Ausgangsleistung	max. 30 Watt (PWM)	15 bis 30 V	max. 15 W
Ausgangsspannung	0 bis 15 V	–	max. 200 Vpp
Strombegrenzung / Motorphase	–	1000 mA	–
Schnittstellen und Bedienung			
Schnittstelle / Kommunikation	USB, RS-232	USB, RS-232	USB, RS-232
Motoranschluss	D-Sub Stecker 15-pol (f)	D-Sub Stecker 15-pol (f)	MDR14
Controllernetzwerk	Bis zu 16 Einheiten an einer Schnittstelle	Bis zu 16 Einheiten* an einer Schnittstelle	Bis zu 16 Einheiten an einer Schnittstelle
I/O Leitungen	4 analoge/digitale Eingänge, 4 digitale Ausgänge (TTL)	4 analoge/digitale Eingänge, 4 digitale	4 analoge/digitale Eingänge, 4 digitale Ausgänge (TTL)
Befehlssatz	Mercury™ Command Set, GCS (über DLL)	Mercury™ Command Set, GCS (über DLL)	PI General Command Set (GCS)
Bedienersoftware	PIMikroMove®, MMCRun	PIMikroMove®, MMCRun	PIMikroMove®
Softwaretreiber	GCS (PI General Command Set)-DLL, LabVIEW Treiber, native Mercury™ DLL	GCS (PI General Command Set)-DLL, LabVIEW Treiber, native Mercury™ DLL	GCS (PI General Command Set)-DLL, LabVIEW Treiber
Unterstützte Funktionen	Start-Up Makro; interne Sicherheitsschaltung: Watchdog Timer	Start-Up Makro	Start-Up Makro, Makro, Datenrecorder zur Aufnahme von Betriebsgrößen wie Motorspannung, Geschwindigkeit, Position oder Positionsfehler
Manuelle Bedienhilfen (optional)	Pushbutton Box, Joystick (für 2 Achsen), Y-Kabel für 2-D-Bewegungen	Pushbutton Box, Joystick (für 2 Achsen), Y-Kabel für 2-D-Bewegungen	Pushbutton Box, Joystick (für 2 Achsen), Y-Kabel für 2-D-Bewegungen
Umgebung			
Betriebsspannung	15 bis 30 V im Lieferumfang: Externes Netzteil 15 V/2 A	24 VDC von externem Netzteil (im Lieferumfang)	24 VDC von externem Netzteil (im Lieferumfang)
Betriebstemperaturbereich	0 bis +50 °C	0 bis 50 °C	+5 bis +40 °C
Masse	0,3 kg	0,3 kg	1,01 kg
Abmessungen	130 x 76 x 40 mm	130 x 76 x 40 mm ³	206 x 130 x 66 mm

Bestellinformationen

C-867.160
Piezomotorcontroller/Treiber, vernetzbar, für PILINE® Systeme

C-863.10
Mercury™ DC-Motor Controller, 1 Kanal mit Weitbereichsnetzteil

C-663.10
Mercury™ Step Schrittmotor Controller, 1 Kanal, mit Weitbereichsnetzteil (24 V)

C-819.20
Analoger Joystick für Mercury™ Controller, 2 Achsen

C-819.20Y
Y-Kabel für 2 Controller an C-819.20

C-170.IO
I/O-Kabel, 2 m, offene Enden

C-170.PB
Pushbutton Box mit 4 Tasten und 4 LEDs

Hexapod Controller

Leistungsstarke Mehrachsenpositionierung einfach bedienen



Hochleistungs-Hexapodcontroller

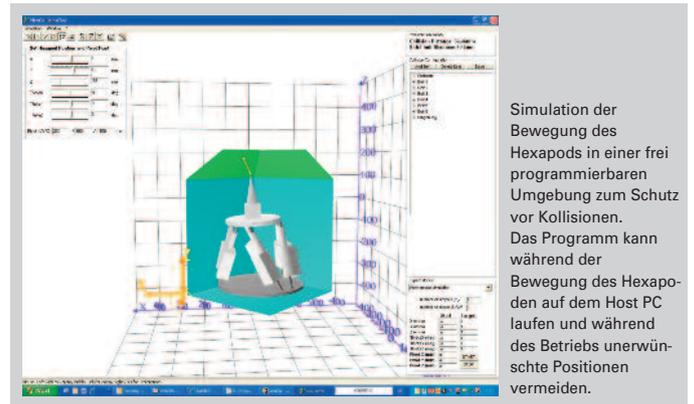
- Für Hexapoden plus zwei weitere motorisierte Achsen, optional sechs weitere Piezoachsen
- Echtzeitbetriebssystem
- TCP/IP und RS-232 Schnittstelle
- Einfache Kommandierung in kartesischen Koordinaten, integrierte Koordinatentransformation
- PivotAnywhere™: Frei programmierbarer Drehpunkt der Bewegung
- Umfangreiches Softwarepaket

Technische Daten

Funktion	Mehrachsen-Automatisierungs-Controller; Hexapodcontroller
Antriebsarten	Servomotoren und Piezoantriebe (optional)
Kanäle	Bis zu 8 Achsen, (Servomotoren), max. 6 Piezoachsen (optional)
Bewegung und Regler	
Reglertyp	Programmierbare 32-Bit-PID V-ff Filter, 100 µs/aktive Achse
Prozessor	CPU 133 MHz C-842.23/C-842.43: Motion Chip, 2,5 kHz Servo Update Rate
Elektrische Eigenschaften	
Betriebsspannung	100 bis 250 VAC, 50 / 60 Hz
Ausgangsleistung / Kanal	Analoge H-Brücke ±12 V, 5 W/Kanal, 12-Bit D/A-Wandler, 10-Bit Ausgänge für PWM-Treiber, 24,5 kHz
Ausgangsspannung /Kanal	±10,5 V analog PWM: TTL für SIGN und MAGN
Strombegrenzung	1 A max. (kurzschlussfest)
Schnittstellen und Bedienung	
Schnittstelle / Kommunikation	RS-232, TCP/IP
Motoranschluss	Systemstecker
Controllernetzwerk	über TCP/IP
Befehlssatz	PI General Command Set (GCS), ASCII-Kommunikation
Bedienersoftware	PIMikroMove®
Softwaretreiber	GCS-DLL, LabVIEW-Treiber
Unterstützte Funktionen	Autostart Makro, Makroprogrammierung Monitor und Keyboard/Anschluss Steuerung für Motorbremse, Auslesen von analogen Schnittstellenkarten (Photometerkarten)
Bedienhilfe	mit Fronttastatur und LCD-Anzeige(optional) Manuelle Bedienhilfe F-206.MC6 (optional)
Umgebung	
Betriebstemperaturbereich	+10 °C bis +50 °C
Abmessungen	19-Zoll-Gehäuse, 450 mm x 460 mm x 180 mm



M-850 Präzisionshexapod für Lasten bis 200 kg mit Standardcontroller



Simulation der Bewegung des Hexapods in einer frei programmierbaren Umgebung zum Schutz vor Kollisionen. Das Programm kann während der Bewegung des Hexapods auf dem Host PC laufen und während des Betriebs unerwünschte Positionen vermeiden.

PI Software

Positioniersysteme effektiv und komfortabel betreiben



Die PI Software basiert auf einem einheitlichen Befehlssatz (PI General Command Set). Dieser entkoppelt die verwendete Hardware von der Software und unterstützt alle Antriebsarten von PI.

Die hohe Qualität der Positioniersysteme von PI wird im täglichen Betrieb durch die PI Software erschlossen. Angefangen von der einfachen Inbetriebnahme über die komfortable Ansteuerung der Systeme über grafische Oberflächen bis zur schnellen und einfachen Einbindung in externe Programme werden alle Anwendungsaspekte abgedeckt.

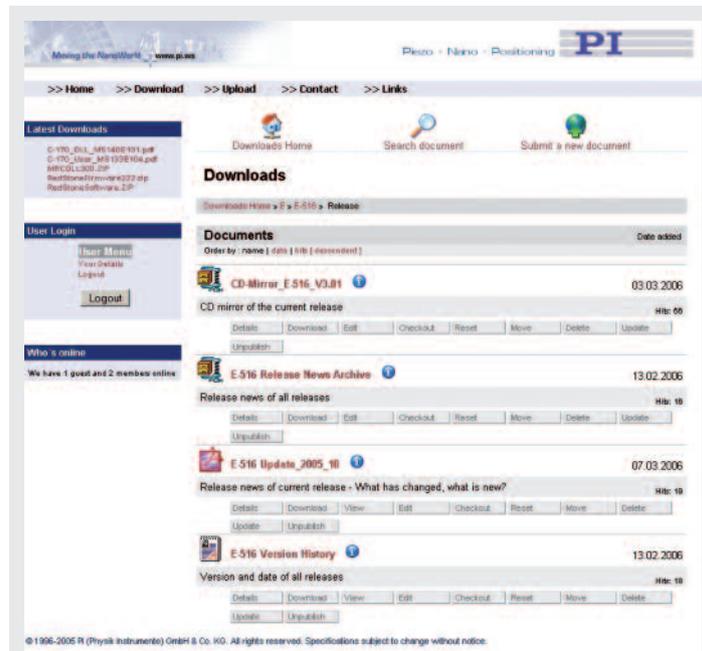
Universeller Befehlssatz vereinfacht Inbetriebnahme und Programmierung

Zur einheitlichen Steuerung von Nano- und Mikropositioniersystemen dient der universelle Befehlssatz von PI, der General Command Set (GCS). GCS ermöglicht nicht nur die Steuerung unabhängig von den verwendeten Antrieben und Controllern sondern vereinfacht die Erstellung von eigenen Applikationsprogrammen. Die Befehle sind identisch in Syntax und Funktion. Die sonst nötige Einarbeitung entfällt komplett, die Anwendungsentwicklung

wird so deutlich beschleunigt. Gleichzeitig wird durch die einheitliche Kommandostruktur die Fehlerwahrscheinlichkeit in der Programmierung minimiert.

Die einfache Nutzung des GCS erfolgt direkt im Controller-Terminal, durch Makros oder in Form eines universellen PI Treibersatzes für LabVIEW (VIs),

Windows Dynamik Link Libraries (DLL) oder Linux Bibliotheken. Davon profitiert sowohl die Entwicklung eigener Makros, als auch die Einbindung in Programmiersprachen wie LabVIEW, C++ oder MATLAB.



Software im Internet: PI bietet den kostenlosen Download von Handbüchern und Software CD-Mirrors

Online Software Updates

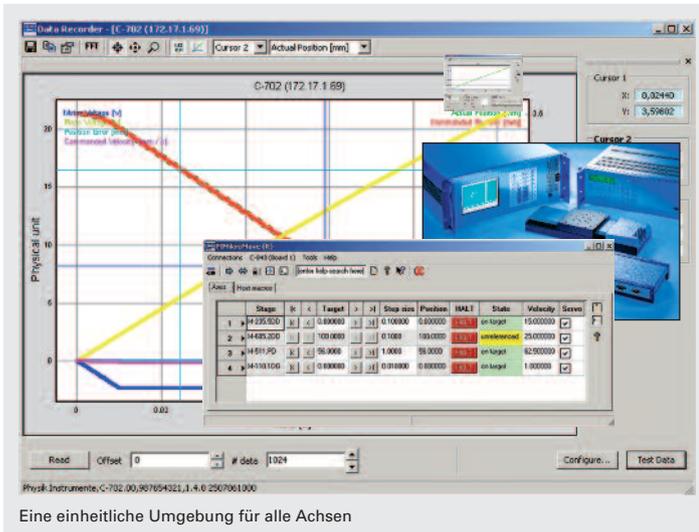
Aktualisierte Versionen der Software sind jederzeit über das Internet verfügbar. PI unterstützt Software-Anwender durch umfangreiche Online-Hilfen und Handbücher, die sowohl die schnelle Inbetriebnahme ermöglichen wie auch Detailfragen für den fortgeschrittenen Anwender erläutern.

Unterstützte Betriebssysteme

- Microsoft Windows Vista
- Microsoft Windows XP
- Microsoft Windows 2000
- Linux

PIMikroMove® Software

Positioniersysteme einfach betreiben



Eine einheitliche Umgebung für alle Achsen

- Unterstützung von Piezo-, Piezomotor-, Motor-, Voicecoil-, Hybrid- oder Hexapodachsen
- Optimierung aller Servoparameter
- Makros für wiederkehrende Aufgaben und Automation
- Profile Generator, Joysticksteuerung, etc.
- 1D/2D Scanalgorithmen, AutoFind Funktion

Positioniersysteme von PI werden mit PIMikroMove® übersichtlich und einfach angesteuert; alle angeschlossenen Controller und Achsen stehen in einer einheitlichen grafischen Umgebung bereit. PIMikroMove® unterstützt die schnelle Inbetriebnahme der Controller und Positionierer, die umfassende Systemoptimierung sowie die Programmierung von Makros.

Alle Achsen auf einen Blick

Mit PIMikroMove® können alle Achsen angesteuert werden, und dies unabhängig davon, mit welchem PI Controller die einzelnen Achsen verbunden sind. So können z. B. in XY-Anwendungen die beiden Achsen an zwei verschiedene Controller angeschlossen sein und dennoch über PIMikroMove® im selben Fenster kommandiert werden.

Optimales Systemverhalten

PIMikroMove® bietet darüber hinaus die Möglichkeit des Servo-Tuning. Dies ist besonders hilfreich, wenn die mechanischen Eigenschaften eines Systems z. B. durch eine andere Last verändert werden. Ein komfortables Parameter-Tuning optimiert das Ansprechverhalten und die Systemstabilität. Verschiedene Sätze optimierter Parameter können zur wiederholten Verwendung als Verstellerprofile gespeichert werden und stehen anschließend auch für selbst programmierte Applikationen bereit.

Makros erleichtern wiederkehrende Aufgaben

PIMikroMove® vereinfacht das Erstellen von Makros für wiederkehrende Aufgaben erheblich. Makros als GCS-Befehls-

folgen können vom Controller ausgeführt und als Start-Up-Makros auch ohne PC automatisch gestartet werden, falls vom Controller unterstützt. Controller ohne eigene Makro-Unterstützung, wie z. B. C-843, können dank PIMikroMove® über Host-Makros kommandiert werden, die vom Steuer-PC (Host-PC) verarbeitet werden. Host-Makros können über Digital-IO getriggert werden und unterstützen mehrere Achsen an verschiedenen Controllern. Zwei oder mehr unabhängige Achsen können im Position Pad mit Maus oder Joystick als XY-Versteller bewegt werden, auch vektoriell.

1D/2D Scan und AutoFind

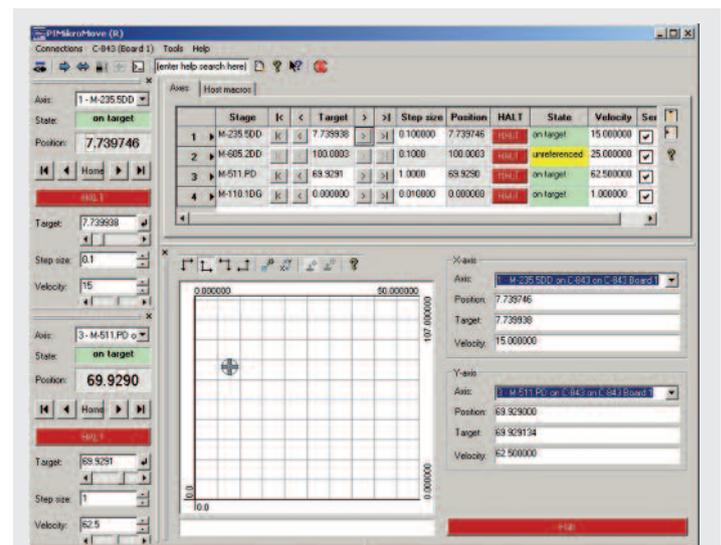
Mit dem 1D- bzw. 2D Scan können analoge Werte in Abhängigkeit von der Position aufgezeichnet und dargestellt werden. AutoFind erlaubt das Finden des Maximums eines analogen Wertes mit 2 Achsen.

FFT, Profile Generator, Data Recorder

PIMikroMove® unterstützt darüber hinaus controllerspezifische Eigenschaften.

Data Recorder: verschiedenste Bewegungs- und Systemparameter aufzeichnen, FFT der Daten sowie Export z. B. zu Microsoft Excel® (CSV-Format).

Profile Generator: synchroner Betrieb verschiedener Achsen mit mathematisch definierbaren Kurven oder mit vom Anwender festgelegten beliebigen Funktionen.



Alle Achsen und das Position Pad können in einem Fenster dargestellt werden

Wir öffnen Nanowelten

Präzisionspositionierung für Industrie und Forschung

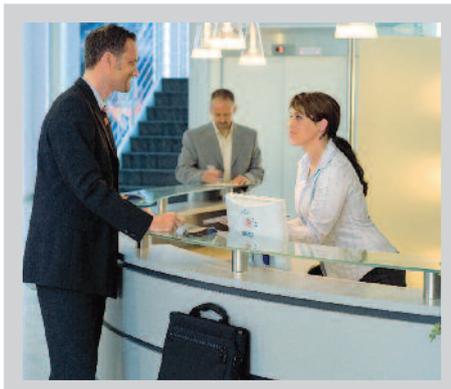


PI Unternehmenssitz in Karlsruhe

Lösungen für High-Tech-Märkte

PI entwickelt und fertigt Präzisions-Positioniersysteme für alle wichtigen High-Tech-Märkte:

- Halbleitertechnologie
- Optische Messtechnik, Mikroskopie
- Biotechnologie und Medizingerätetechnik
- Präzisionsautomatisierung und Handling
- Präzisionsfertigungstechnik
- Datenspeichertechnik
- Photonik, Telekommunikation
- Nanotechnologie
- Mikrosystemtechnik
- Luft- und Raumfahrttechnik
- Astronomie



PI Empfangsbereich:
Wir freuen uns, Sie in unserem Hause begrüßen zu dürfen

PI ist Markt- und Technologieführer für Präzisions-Positioniersysteme, deren Genauigkeit bis weit unter einen Nanometer reicht. Die nanogenaue Steuerung von Bewegung ist der Schlüssel zu Welten, in denen Millionen von Transistoren auf einem Quadratmillimeter integriert werden, Moleküle manipuliert oder Zellen in tausenden Ebenen betrachtet werden, und haarfeine optische Faserbündel in sechs Freiheitsgraden justiert werden.

Welten, die wir Nanowelten nennen

Durch kontinuierliche Innovation und Reinvestition der Unternehmensgewinne hat PI über die vergangenen Jahrzehnte seine heutige Stellung am Markt erlangt. Eine Position, die auf langfristige Kundenbeziehungen baut und auf die Freiheit, Ideen in die Wirklichkeit umzusetzen.

30 Jahre voraus

Als PI vor über 30 Jahren piezoelektrische Nanopositioniertechnik auf den Markt brachte, waren die typischen Kunden Wissenschaftler und Forscher, die sich mit Lasern und Inter-

ferometrie beschäftigten. Nur wenige konnten damals vorhersehen, wie sehr die Fortschritte in der Nanostelltechnik ganze Industriezweige beeinflussen würden, z. B. die Halbleitertechnik oder Biotechnologie. Selbst Teilbereiche der Werkzeugmaschinen-Industrie können heute nicht mehr auf nanometergenaue Positioniersysteme verzichten.

Schlüsseltechnologien im Hause

PIs Strategie ist die vertikale Integration, d. h. alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt und gepflegt. Dadurch kann jeder Schritt von der Designphase bis zur Auslieferung folgender Produkt-Bereiche kontrolliert werden: Präzisionsmechanik, Digital- und Analogelektronik, subnanometergenaue kapazitive Positionssensoren, Piezokeramik und -aktoren. Dies gewährleistet höchste Qualität bei geringen Kosten.

Die PI-Gruppe

Globale Ausrichtung mit Qualitätsprodukten und starken Marken



PI Ceramic, ein Tochterunternehmen von PI, ist eines der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte.

PI – Lieferant für den Weltmarkt

Als privat geführtes Unternehmen mit gesundem Wachstum, über 500 Angestellten und einer flexiblen, vertikal integrierten Organisation, kann PI fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisions-Positioniertechnik erfüllen und Kunden in aller Welt mit herausragenden Produkten versorgen.

Internationales Service- und Vertriebsnetzwerk

PI besitzt in den wichtigsten lokalen Märkten eigene Vertriebs- und Serviceniederlassungen; PI unterhält Testausrüstungen für Nanometrologie auf drei Kontinenten. PI Shanghai und USA besitzen darüber hinaus Entwicklungs- und Fertigungsressourcen, die vor Ort eine schnelle Reaktion auf kundenspezifische Anforderungen ermöglichen. Neben den eigenen Niederlassungen besitzt PI Vertretungen in vielen weiteren Industrienationen. Hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen PI in die Lage, erfolgreiche und langfristige

Partnerschaften mit seinen Kunden sicherzustellen.

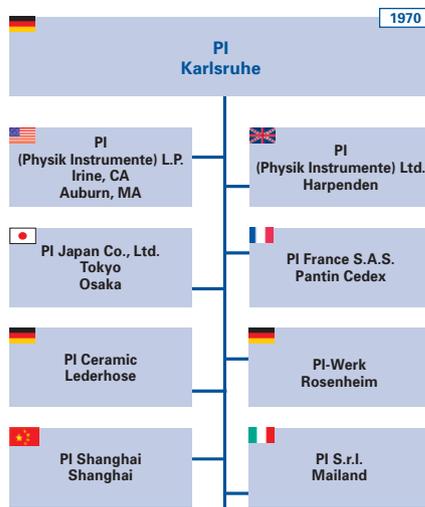
Qualitäts- und Markenpolitik

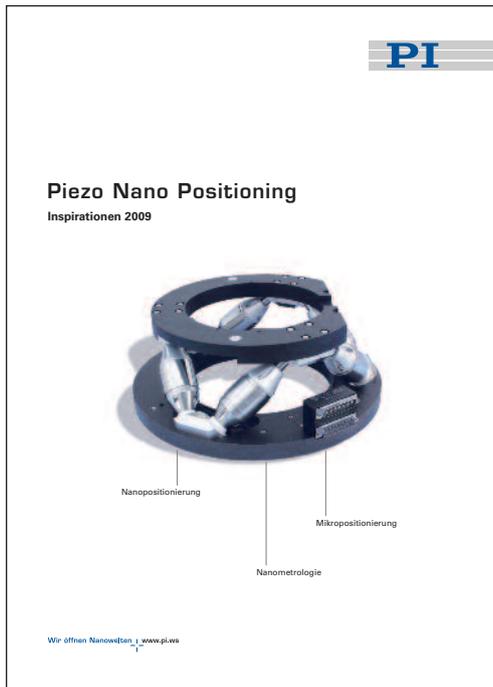
An die Zuverlässigkeit und Qualität unserer Produkte setzen wir sehr hohe Maßstäbe. Die ISO-9001-Zertifizierung, bei der nicht nur die Produktqualität, sondern auch die Erwartungen und Zufriedenheit des Kunden im Vordergrund stehen, wurde bereits 1994 erreicht. Damit war PI der erste Hersteller von Nanopositioniertechnik, der nach diesem Standard produzierte. Heute ist PI außerdem nach den

ISO 14001 (Umweltmanagement) und OHSAS 18001 (Arbeitssicherheit) Standards zertifiziert, die zusammen ein Integriertes Management System (IMS) darstellen.

Die Marken und Farben von PI sind bekannt in der High-Tech Welt. PIFOC® ist mittlerweile fast schon ein Spartenbegriff für Objektivpositionierer und PICMA® ist bekannt für die höchste Zuverlässigkeit bei Piezoaktoren.

PI steht für Qualität und Präzision – weltweit.





Der PI Gesamtkatalog „Piezo – Nano – Positioning: Inspirationen 2009“ ist jetzt aktuell verfügbar.

Auf über 500 Seiten präsentiert das Standardwerk Grundlagen und Technologie von Nanopositionierung, Piezosystemen und Mikropositionierung. Über 200 Produktfamilien, davon 30% Neuentwicklungen, werden vorgestellt, illustriert mit über 1000 Abbildungen, Messkurven und Prinzipskizzen.

Der Katalog zeigt die breite PI Produktpalette und neue technische Lösungen in den Bereichen:

- Nanostelltechnik/Scansysteme
- Schnelle Scantische für die Mikroskopie
- Piezoaktoren
- Piezomotoren
- Piezocontroller
- Motorisierte Mikrostelltische und Linearaktoren
- Motorcontroller
- Sechs-Achs-Justiersysteme, Hexapoden

Das bewährte Tutorium der Piezotechnologie sowie Anwendungsbeispiele aus verschiedenen Bereichen ergänzen den Inhalt. Darunter sind:

- Biotechnologie/Life Science
- Halbleitertechnologie
- Datenspeichertechnik
- Nanotechnologie
- Raumfahrt
- Astronomie
- Adaptive Optik
- Metrologie/Lasersysteme
- Präzisionsbearbeitung

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.
 Trent House
 University Way,
 Cranfield Technology Park,
 Cranfield,
 Bedford MK43 0AN
 Tel: +44 (1234) 756 360
 Fax: +44 (1234) 756 369
 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