

Ausgangssituation

Die seit Jahren steigenden Anforderungen an die Präzision von Bauteilen der Feinwerktechnik, der Präzisionstechnik, der Mikroelektronik und der MEMS bedingen immer bessere Fertigungsverfahren und genauere Maschinen. Bei der mechanischen Fertigung, insbesondere beim Urformen, Umformen und bei der spanenden Bearbeitung liegen die Grenzen der Fertigungsgenauigkeit derzeit im Bereich einiger Mikrometer.

Bei Anwendung berührungsloser Bearbeitungsverfahren, wie z.B. der Präzisionslaserbearbeitung und in der Oberflächenmesstechnik, sind z.T. wesentlich höhere Genauigkeiten erzielbar. Voraussetzung dafür ist eine entsprechend präzise relative Positionierung zwischen Werkstück und Werkzeug bzw. Messtaster. Positioniergenauigkeiten im Sub-Mikrometerbereich sind mit klassischen Positioniersystemen, insbesondere bei mehrachsigen Anordnungen, unter industriellen Fertigungsbedingungen nicht realisierbar.

Deshalb wurden an der IMMS gGmbH, ausgehend von Grundlagenentwicklungen der TU Ilmenau, im Rahmen verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprojekte planare elektrodynamische Direktantriebe entwickelt und untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen in Folgeentwicklungen ein, die in weiterführenden Projekten gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung, z.B. mit ALSI B.V., TETRA GmbH, LLT GmbH und der Friedrich-Schiller-Universität Jena, realisiert werden konnten.

Aufbau der Direktantriebe

Die planaren elektrodynamischen Direktantriebe bestehen aus drei bzw. vier in einem luftgeführten Aktor symmetrisch angeordneten linearen Direktantrieben, der in den Koordinaten x , y und φ_z mit höchster Struktursteifigkeit und exzellentem dynamischen Verhalten durch ein magnetisches Feld geführt wird. Das Motorkonzept vermeidet mechanische Führungs- und Lagerelemente sowie elektrische Zuleitungen zum Aktor; lediglich Druckluft- und ggf. Vakuumschläuche werden für die Versorgung der Luftführungen zum Läufer geführt.

Das interne Messsystem ist als Flächenmassstab (Maßverkörperung) ausgeführt, der in den Aktor, unmittelbar unter der Objektebene, integriert wurde. Es wird von einem Dreifachsensorsystem optisch abgetastet und ermöglicht somit die Bestimmung der Relativlage und -bewegung des Aktors in allen drei Bewegungsrichtungen x , y und φ_z . Die zentrische Anordnung des Sensorkopfes unterhalb des Läufers gestattet es, Abbefehler bei ebenfalls zentrischer Lage eines Bearbeitungs- (bei Einsatz als Fertigungsmaschine) oder Anstanzpunktes (als Messmaschine) weitgehend zu eliminieren. Eine leistungsfähige LINUX-Steuerung ermöglicht eine vollsynchronisierte, sub-mikrometerngenaue Bewegung der Achsen

Initial situation

The requirements, which have been increasing for years, made on the precision of components used in precision mechanics, precision technology, microtechnology and MEMS demand for always better production methods and machines with a higher accuracy. In mechanical production, in particular in primary shaping, reshaping and in metal-cutting the limits of the production accuracy are currently in the range of some micrometers.

By using contactless processing methods, e.g. precision laser processing and in surface measuring technology, considerably higher accuracies can partly be achieved. Precondition is the correspondingly precise relative positioning between workpiece and tool or measuring probe. With classical positioning systems positioning accuracies in the sub-micrometer range, especially in case of multi-axial arrangements, cannot be realized under industrial manufacturing conditions.

Therefore the IMMS, based on fundamental developments made by the TU Ilmenau, within various research and development projects has developed and investigated planar electrodynamic direct drives. The knowledge gained from that was used in subsequent developments, which could be realized in further projects together with partners from industry and research, e.g. with ALSI B.V., TETRA GmbH, LLT GmbH and the Friedrich-Schiller-University Jena.

Structure of direct drives

The planar electrodynamic direct drives consist of three or four linear direct drives symmetrically arranged in an air-guided actuator, which in the coordinates x , y and φ_z is guided through a magnetic field with highest structural stiffness and excellent dynamic behaviour. The motor concept avoids mechanical guiding and bearing elements as well as electric leads to the actuator; merely compressed air and, if necessary, vacuum pipes are, for the supply of the air guides, led to the slider.

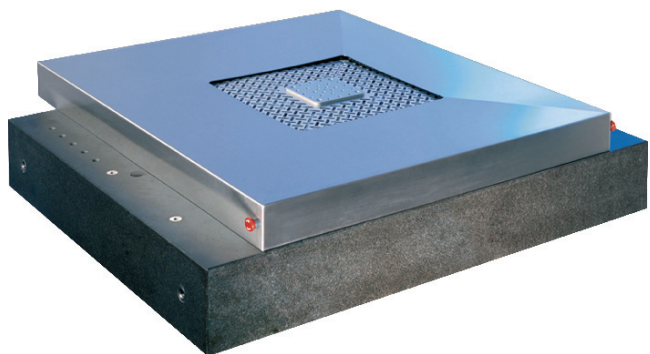


Abb. 1: Neuentwickelter planarer elektrodynamischer Direktantrieb PPS 200-4-V3
Fig. 1: Newly developed planar electrodynamic direct drive PPS 200-4-V3

bei hohen Bahngeschwindigkeiten. Die Steuerungselektronik und die Regelalgorithmen sorgen einerseits dafür, dass eine hohe Bahngenaugigkeit und andererseits eine hohe Geschwindigkeitskonstanz erreicht werden können. Die planarelektrodynamischen Direktantriebe weisen gegenüber klassischen Antrieben folgende Vorteile auf:

- Integration von drei bzw. vier Antriebsachsen in einem Aktor mit insgesamt drei Freiheitsgraden (x, y, φ_z)
- das integrierte 3D-Messsystem für die drei Antriebsbewegungen ist im Aktor unmittelbar unter der Objektebene implementiert
- auf Grund der Verwendung von Luftführungen erfolgt die Aktorbewegung absolut reibungs- und wartungsfrei
- die Positionier- und Bahngenaugigkeit ist abhängig vom verwendeten Messsystem:
 - 1 μm (Standard)
 - 0,1 μm (Einsatz spezieller Werkstoffe, Kühlung, Temperaturkompensation u.a.)
 - 1 nm (Laserinterferometer)
- großer Geschwindigkeitsbereich: 20 $\mu\text{m/s}$... 500 mm/s
- hohe Geschwindigkeitskonstanz
- reinraumkompatibel.

Ergebnisse

Im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entstand in Zusammenarbeit mit der TETRA GmbH eine neue Baureihe mit den Planarantrieben PPS 100-3 (Verfahrbereich \varnothing 100 mm) (s. Abb. 2), PPS 200-4 (Verfahrbereich \square 200mm) und PPS 250-4 (Verfahrbereich \square 250mm) (s. Abb. 1).

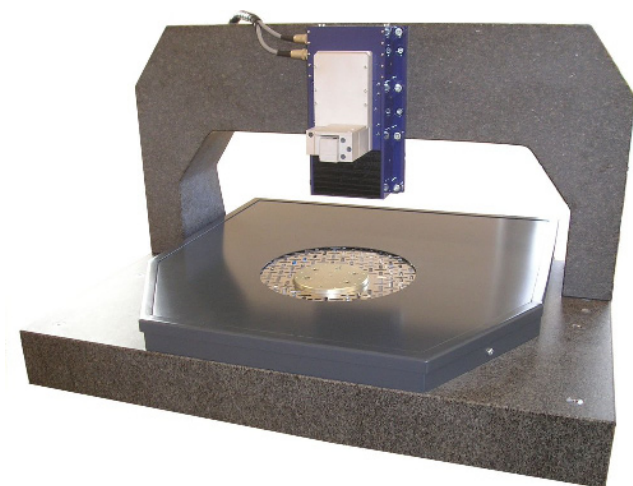


Abb. 2: Neuentwickelter planarer elektrodynamischer Direktantrieb PPS 100-3-V34
Fig. 2: Newly developed planar electrodynamic direct drive PPS 100-3-V34

The internal measuring system is designed as a planar measuring unit (standard) integrated into the actuator directly below the object level. It is optically scanned by a three-sensor system and that way allows the determination of the relative position and movement of the actuator in all three movement directions x, y and φ_z . The central arrangement of the sensor head below the slider allows almost the complete elimination of Abbe errors in also central position of a processing (if used as a production machine) or sensing point (as measuring machine).

An efficient LINUX-control unit allows the fully synchronous, sub-micrometer accurate movement of the axes at high path velocities. Control electronics and control algorithms make sure that, on the one hand, high path velocities, and, on the other hand, high velocity constancy can be achieved.

Compared to classical drives, the planar electrodynamic direct drives offer the following advantages:

- integration of three or four drive axes in one actuator with totally three degrees of freedom (x, y, φ_z)
- the integrated 3D-measuring system for the three drive movements is implemented in the actuator directly below the object level.
- owing to the use of air guides the actuator movement takes place absolutely friction- and maintenance-free.
- the positioning and path accuracy depends on the measuring system used:
 - 1 μm (standard)
 - 0,1 μm (use of special materials, cooling, temperature compensation a.o.)
 - 1 nm (laser interferometer)
- large velocity range: 20 $\mu\text{m/s}$... 500 mm/s
- high velocity constancy
- ultra clean room compatible.

Results

Within the research and development work carried out in cooperation with the TETRA GmbH a new series with the planar drives PPS 100-3 (positioning range \varnothing 100mm), (s. Fig. 2) PPS 200-4 (positioning range \square 200mm) and PPS 250-4 (positioning range \square 250mm) came into being (s. Fig. 1).

These new developments a. o. contain:

- a water cooling unit integrated into the coil systems, discharging the heat generated in the drive, in order to avoid heat penetration into the machine and owing to that a deformation of the stator and the standard.
- an optional compensation of errors in the standard via the software
- a completely newly developed control concept on the

Diese Neuentwicklungen enthalten u.a.

- eine in die Spulensysteme integrierte Wasserkühlung, die die im Antrieb entstehende Wärme abtransportiert, um einen Wärmeeintrag in die Maschine und damit eine Deformation des Stators und der Maßverkörperung zu verhindern
- eine optionale Kompensation von Fehlern der Maßverkörperung per Software
- eine völlig neu entwickeltes Steuerungskonzept auf der Basis eines embedded LINUX-PC einschließlich maschineninterner Datenaufbereitungs- und Kommunikationselektronik
- weiterentwickelte Regelungsalgorithmen und optimierte Maschinenparameter
- eine neue Bedienoberfläche einschließlich erweiterter Bedienfunktionen für LINUX und Windows.

Anwendungsgebiete für die Antriebssysteme finden sich derzeit in der:

- Laserpräzisionsbearbeitung, insbesondere der Fertigung von:
 - Bauteilen für die Mikrotechnik und die MEMS
 - medizinischen Produkte, wie spezielle medizinische Nadeln und Stents
- Oberflächenmesstechnik und -inspektion

Leistungsangebot

- Konzipierung und Entwurf neuartiger Applikations- und kundenspezifischer Antriebslösungen, Aufbau, Inbetriebnahme und Test der mechatronischen Systeme
- Systemmodellierung und Simulation zur Vorhersage des Systemverhaltens, z.B. mechanische Deformation, der Dynamik und des magnetischen oder thermischen Verhaltens
- Analyse, Test und Optimierung
- Entwicklung applikationsspezifischer Steuerungen, z.B. schneller Bahnsteuerungen für planare Hybridschrittantriebe und kaskadierte Linearachsen
- Adaption geeigneter Sensorik und Steuerungstechnik und Integration in Geräte und Anlagen
- Anpassung vorhandener Direktantriebslösungen an kundenspezifische Applikationen
- Entwicklung komplexer kundenspezifischer Systemlösungen

basis of an embedded LINUX-PC including machine internal data preparation and communication electronics.

- further developed control algorithms and optimised machine parameters
- a new graphical user interface including extended operator functions for LINUX and Windows.

Application areas for the drive systems are currently found in:

- laser precision processing, in particular the manufacture of
 - components for microtechnology and MEMS as well as
 - medical products, e.g. special medical needles and stents
- surface measuring technology and inspection.

Performances

- Conception and design of new application- and customer-specific drive solutions, installation, commissioning and test of mechatronic systems
- System modelling and simulation for the prediction of the system behaviour, e.g. mechanical deformation, dynamics and magnetic or thermal behaviour
- Analysis, test and optimisation
- Development of application specific control units, e. g. fast path control units for planar hybrid incremental drives and cascaded linear axes
- Adaptation of suitable sensorics and control systems and integration into devices and equipments
- Adaptation of existing direct drive solutions to customer-specific applications
- Development of complex customer-specific system solutions.

Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Frank Spiller
Tel.: +49 (3677) 69-5561
E-Mail: frank.spiller@imms.de