

INPOS –

6D integrated direct drive moving objects through nanometre spaces

Work on a 6D direct drive capable of positioning objects anywhere in an area of \varnothing 100 mm while raising or lowering them through 10 mm under active control on the nanometre scale. Photo: IMMS.

Objectives and overview

Direct drives incapable of raising objects with nanometre-accuracy above large areas

Direct drives can position objects with high speed and precision, backlash-free and without any intervening gears or coupling. One of their uses is in semiconductor manufacture, for instance the manoeuvring of reticles. A positioning stage is usually part of the equipment for measuring and structuring substrates, wafers, reticles and the like. The slider of this stage moves objects with extreme accuracy on one plane. As it is impossible to produce stage surfaces with ultimate smoothness, there will, if only for this reason, be variations in height and some tilting of the slider during its glide over the stage surface. In addition, the dimensions of reticle-holder height and wafer or reticle thickness are not always identical. Not only this, but the manufacturing itself is carried out on different levels. Here an example is the measuring of stacked images behind a reticle and another example the structuring of wafer layers. Such layers are often as thin as a few nanometres; an entire wafer may be between 0.7 and 0.9 mm thick.

INPOS at
www.imms.de

The lifting of payloads and their safe, precise positioning have so far been possible only with great difficulty and a degree of compromise. For vertical movements, electro-dynamic actuators are preferred because they can be finely controlled. However, if they have to lift both the slider and the object on it, a huge amount of power is needed. Severe power loss is the consequence and this generates heat. Temperature increases of as little as 0.01° Kelvin will already result in a measurement error because the material of the reticle for the photolithography of the wafer expands, leading to failure of the integrated circuits that are being manufactured.

Presently available systems of wafer measurement only achieve the extremely low level of measurement uncertainty which is so much in demand today over a mere few square millimetres. Across their full area, for whole wafers with diameter 150 to 300 mm the typical measurement uncertainty is only in the ± 0.5 to ± 1 micrometre range.

Solution to the problem: an integrated 6DoF direct drive with pneumatic gravity compensators for the lifting

In joint work with SIOS Meßtechnik GmbH and Ilmenau University of Technology, IMMS has developed a 6-dimensional direct drive with air bearing which can move objects along three spatial axes and freely in space around these axes in an area of travel appropriate to the application: planar diameter of 100 mm, ascent or descent range of 10 mm under active control with nanometre-accuracy. Pneumatic gravity compensation assists the raising and lowering by constantly approximating to zero the power to be supplied by the vertical electromagnetic actuators. As a result there is next to no current flowing in the actuator coils, which means there is no unwanted source of heat in the measuring space to interfere with the necessary precision of measurement.

The new drive will enable a slider to bring objects into position for sampling or processing at much greater accuracy than previously, with no Abbe error, free of contact, friction and stick-slip effect. The principle behind this drive is absolutely new in the field of six-dimensional direct drives and has been applied in no known drive system to date. Investigations have already been carried out into its scalability for other applications with a planar field diameter of 200 mm.

*SIOS' view on
the direct drive*

*More on actuator systems at
www.imms.de.*

- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Contents
- * Funding

General construction

Unique to the new drive is the fact that the forces controlling all six degrees of freedom, i.e. the three translatory movements on the x, y and z axes and the three rotations around these axes (r_x - r_y - r_z), can be actuated with no contact and no friction on a single moveable slider.

As with many precision drives, the position coordinates are acquired using three laser interferometers distributed around the slider. When the reflecting corner of the slider moves, laser beams reflected from the plane mirror surfaces are used to measure the distances. The object is inside the corner mirror and the imaginary extensions of all laser beams along the x, y and z axes of the interferometer meet at the sampling (or processing) point, as required in Abbe’s spatial comparator principle. The corner mirror and the object has to be raised or lowered as the thickness or surface profile requires, so that the sampling point on the surface of the object is always brought to the Abbe point.

The partners together have produced a basic design for the apparatus which is configured as in Figure 1. The design leaves the space above the slider free for a customer-specific measuring or manufacturing tool.

SIOS provided the leadership not only for the system architecture and the overall principle but also for design integration, construction, commissioning and characterisation. Ilmenau TU was responsible for developing and implementing the high-precision multichannel interferometer system. IMMS created the planar drive system with its lift and drive units and the open- and closed-loop control.

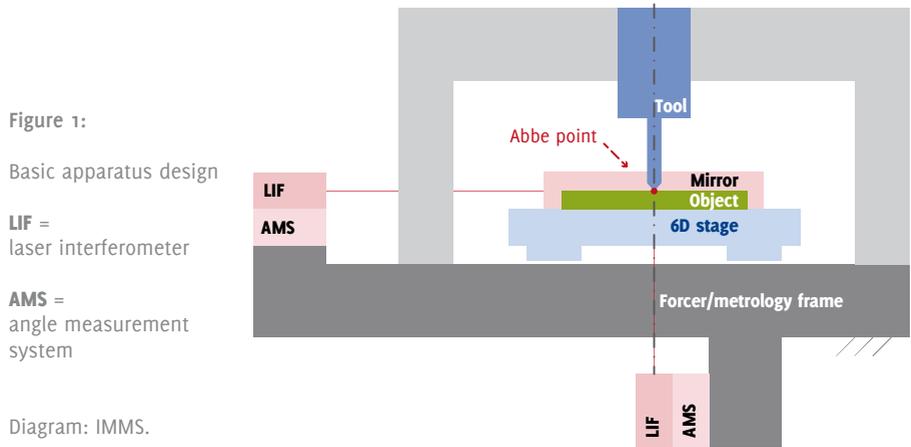
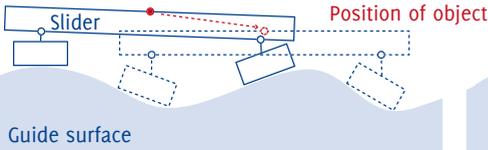


Figure 1:
Basic apparatus design
LIF = laser interferometer
AMS = angle measurement system

Diagram: IMMS.

Slider movement with 3D drive



Slider movement with vertical drives, 6D drive

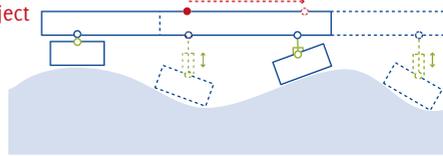


Figure 2: Unevenness of the guide area is already a source of height variation and tilting of the slider in presently available 3D drives (left) when the object glides over the area. With vertical actuators in a 6-DoF drive (right) the variations in height can be evened out and the slider positioned at the correct height. Diagram: IMMS.

IMMS' solution – extending from 3 dimensions to 6

Starting point for the planned planar drive were the integrated planar 3D direct drives and a vertical actuator, both of which systems had been developed at IMMS. Three of the vertical drives were integrated into a planar 3D drive as actuator and guide elements to compensate for irregularities in the stage surface and position the slider at the correct height, see Figure 2. IMMS' aim was to construct a genuine 6D direct-drive system which had the features described above, to conceive open and closed-loop control for the 6 degrees of freedom and then to start testing the performance achieved by this new approach.

Integrated planar 3D direct drives by IMMS as starting point

Basically, the approach relies on the excellent positioning characteristics of an integrated planar electro-dynamic direct drive, see Figure 3. IMMS had already developed this type of aerostatic direct drive for three degrees of freedom: a planar slider with air-bearing which had bridge magnets on its underside could move in both the horizontal axes (x and y) and around its axis of rotation r_z above pairs of fixed coils as forcer. The slider elements with their great stiffness are capable of following a set route very accurately at high speed. The slider has a further significant advantage. It is passive, i.e. it functions entirely without the interference of any trailing cables for actuators and sensors. Harmful sources of heat can be kept well away from the object to be moved. These IMMS drives are already well-established commercially.¹

Second starting point, vertical IMMS drive as actuator and guide

IMMS and AeroLas GmbH had already developed a technical solution for a vertical actuator, see Figure 3 (r). In the new 6D direct drive this now serves instead of the three air-bearings as an actuator and guide element to take the weight of the slider with a

¹ <https://alsi.asmpt.com/active-mounts/>

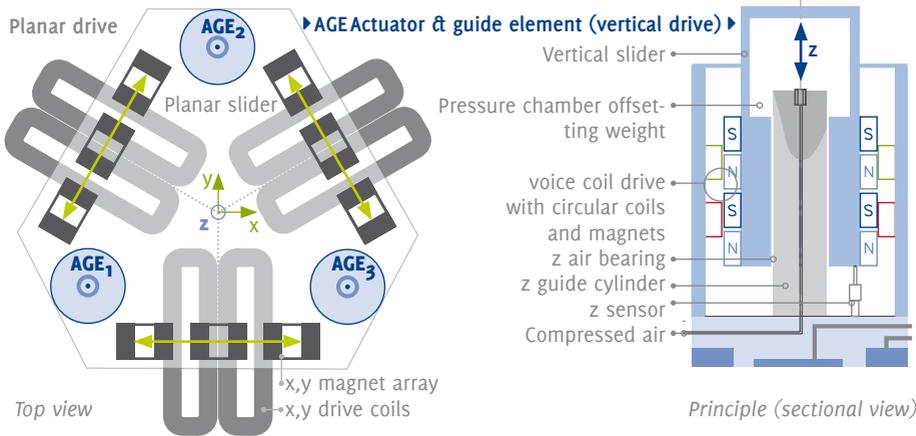


Figure 3: schematic representation of a planar drive system with 3 pairs of coils. For the 6-DoF drive, instead of the 3 air-bearings, 3 vertical drives (right) were installed. Diagram: IMMS.

very sensitively controlled pneumatic pressure chamber. The rest of the positioning of the slider which has been started by a moving coil drive then only requires a few millinewtons. As a result, any warmth from parasitics generated within the device by the drive is almost negligible. The lifting of the slider and its load, the object to be measured, consumes almost no power and at the same time permits nanometre-precise resolution of the position.

Development of the 6D planar drive system

IMMS did the dimensioning of the core components for the planar drive and the guide system in the basic layout above. Vibration in the mechanical system was a particular focus. FEM simulation enabled the drives and the mechanical components to be configured so that the weight being moved is kept to a minimum and yet at the same time excellent structural stiffness is maintained so that the eigenfrequencies are high enough to meet the extreme demands on the positioning dynamics. Figure 4 shows the result of FEM modal analysis of the final slider design with a first eigenfrequency of 291 Hz.

In similar manner, IMMS also modelled the items fixed to the drive, i.e. the flat coils with holder or housing, for the purpose of using simulation to estimate the drive power and associated thermal load on the system so that the coil geometry could be optimised. Other work involved solving the coupling issues between the bridge magnets and the quartz slider; also creating a temperature control casing for the flat coils.

Services
for FEM at
www.imms.de.

B: Modalanalyse
Abbildung
Typ: Gesamtverformung
Frequenz: 291,41 Hz
Einheit: mm

11,701 Max
11,413
11,126
10,838
10,55
10,263
9,9752
9,6875
9,3999
9,1122 Min

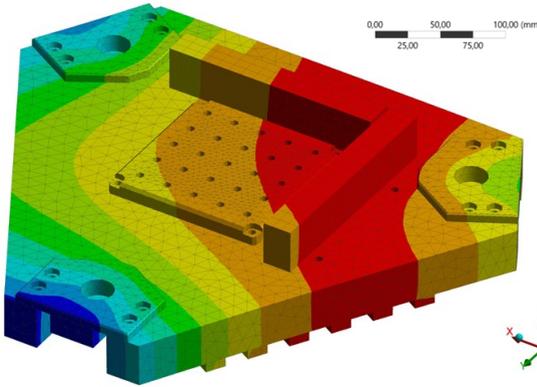


Figure 4:

One of the FEM simulations of the slider vibration behaviour with an adequate eigenfrequency of 291 Hz by way of example.

Diagram: IMMS.

- 32
- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Contents
- * Funding

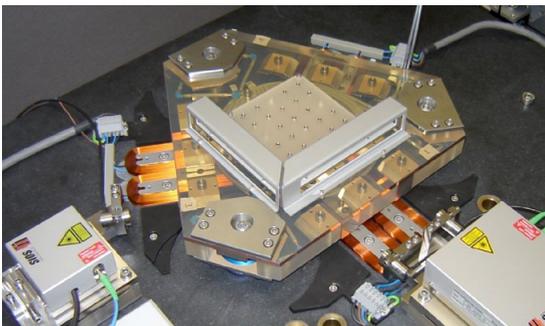
IMMS integrated the three vertical drives mechanically and pneumatically into the planar drive system and worked out an exact fit for their integration into the system's electronic control architecture. The hoses and cables are immediately alongside the slider, providing flexible transfer from slider to forcer so that travel in the working area is achieved but any parasitic forces evoked are kept tiny and, as far as possible, symmetrical while the slider is moving.

IMMS' answer – system control in 6 degrees of freedom

The drive system shown in Figure 5 was set gradually in operation with parallel, simulation-based testing of the 6D position control. Closer optimisation and fine tuning was done using parameters derived from practical situations. IMMS first established on the basis of models the physical parameters that were necessary (such as motor constants, mass ratios, transmission features for the various subsystems within the closed loop, eigenfrequencies), then verified them by experiments using the drive and to a certain extent adapted them, focussing on frequency-dependent transmission features. Fine-tuning was applied to take account of both the low dynamics of the pneumatic gravity relief in the vertical drive and the high dynamics of the

More on open- and closed-loop controls at www.imms.de.

Figure 5: The 6-DoF positioning system created (left) with integrated vertical actuators (right). Photographs: IMMS.



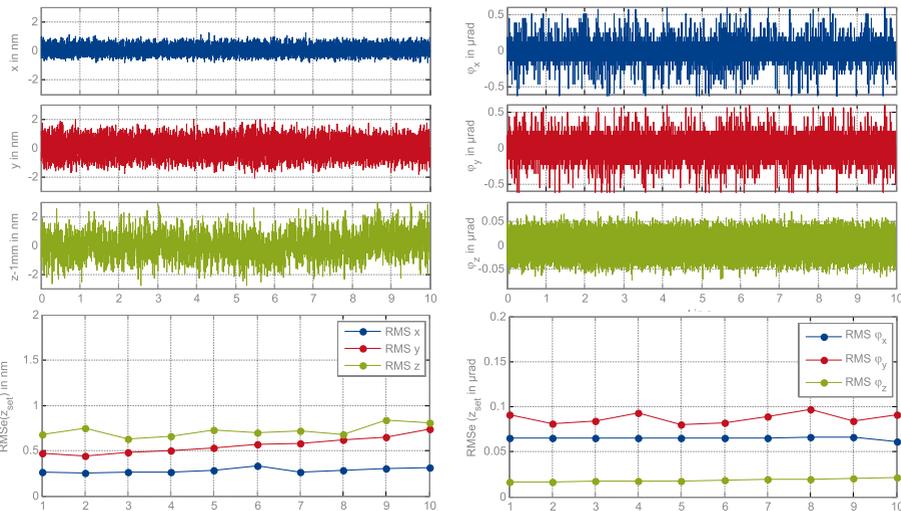


Figure 6: Time signals from the six coordinates in controlled operation (left); RMS control deviation in dependence on levitation height z_{set} (right). Graphs: IMMS.

slider actuator and achieve the best possible positioning results. IMMS developed the complex 6D closed-loop control algorithms, programmed them with Matlab/Simulink and implemented them for all the subsystems on the dSpace hardware in the control rack.

More on open- and closed-loop controls at www.imms.de.

Outcome and future prospects

The outcome was that the desired control deviations were achieved: mere nanometres. Figure 6 shows the quality of closed-loop control attained. The time signals for controlled operation in all six degrees of freedom with a levitation height of one millimetre are shown. On the x, y and z axes, control deviations (RMS) are less than one nanometre. Further, the height-dependent changes in RMS were systematically investigated, proving that the 6D positioning system makes it possible to position the slider with nanometre accuracy anywhere in the full lift of 10 mm on the z axis. The results provide a basis for future work designing customer-specific 6D drive systems in the high-precision range.

More on actuator systems at www.imms.de.

Contact person: Dr.-Ing. Christoph Schäffel, christoph.schaeffel@imms.de

Supported by:



The INPOS project has been funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) in response to a decision of the German Federal Parliament. The grant number is ZF408707LT7.

INPOS at www.imms.de.

on the basis of a decision by the German Bundestag

Annual Report



INPOS –

Integrierter 6D-Direktantrieb bewegt Objekte nanometergenau im Raum

Arbeiten am 6D-Direktantrieb, der Objekte frei im Raum in einem Verfahrbereich von \varnothing 100 mm in der Ebene und einem Hebe- bzw. Senkbereich von 10 mm aktiv geregelt mit Nanometer-Präzision bewegt. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Direktantriebe können Objekte nicht nanometergenau über große Flächen anheben

Direktantriebe positionieren Objekte ohne zwischengeschaltete Getriebe oder Kuppelungen direkt, spielfrei, hochpräzise und schnell. Sie werden unter anderem in der Halbleiterfertigung verwendet, um beispielsweise Belichtungsmasken zu bewegen. Mess- und Strukturierungsanlagen für Substrate, Wafer, Belichtungsmasken etc. verfügen in der Regel über einen Positioniertisch. Dessen Läufer bewegt Objekte hochpräzise innerhalb einer Ebene. Die Ebenheit einer Führungsfläche kann nicht beliebig genau gefertigt werden. Schon allein dieser Umstand führt zu Höhenschwankungen und Verkippungen des Läufers beim Gleiten über die Führungsfläche. Zudem sind Höhen von Maskenhaltern, Wafer- und Maskendicken nicht immer identisch. Darüber hinaus verteilen sich Fertigungsprozesse auf verschiedene Ebenen, z.B. bei der Vermessung von Bildstapeln hinter einer Belichtungsmaske oder bei der Strukturierung von Wafer-Schichten. Diese sind zum Teil nur wenige Nanometer dünn, ein ganzer Wafer zwischen 0,7 und 0,9 mm dick.

INPOS auf
www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2019

In der Fertigung Nutzlasten anzuheben, präzise und sicher zu positionieren ist bisher nur sehr schwer und mit Kompromissen zu lösen. Da sie sich gut steuern lassen, werden für Vertikalbewegungen elektrodynamische Antriebselemente bevorzugt. Wenn diese jedoch den Läufer und das Objekt darauf tragen sollen, müssen enorme Kräfte aufgebracht werden. Diese ziehen sehr hohe Verlustleistungen nach sich, die Wärme erzeugen. Temperaturerhöhungen von nur 0,01 Kelvin verursachen aber durch Materialausdehnung einer Maske zur Waferbelichtung bereits einen Messfehler, der zum Ausfall der damit produzierten integrierten Schaltkreise führen würde.

Derzeit verfügbare Systeme zur Vermessung von Wafern erreichen die heute vielfach geforderten geringen Messunsicherheiten nur innerhalb eines kleinen Messbereichs von wenigen Millimetern im Quadrat. Über die Fläche gesamter Wafer mit Durchmessern von 150 bis 300 mm liegen derzeit erzielte Messunsicherheiten typischerweise nur im Bereich von $\pm 0,5$ bis ± 1 Mikrometer.

Lösung: Nanometergenauer integrierter 6D-Direktantrieb mit pneumatischer Gewichtskraftkompensation für den vertikalen Hub

Das IMMS hat gemeinsam mit der Firma SIOS Meßtechnik GmbH und der Technischen Universität Ilmenau einen luftgeführten sechsdimensionalen Direktantrieb entwickelt, der Objekte in den drei Raumachsen und der jeweiligen Rotation um diese Achsen frei im Raum in einem für die Anwendung geeigneten Verfahrbereich von 100 mm Durchmesser in der Ebene und einem Hebe- bzw. Senkbereich von 10 mm aktiv geregelt mit Nanometer-Präzision bewegt. Das wird über eine pneumatische Gewichtskraftkompensation erreicht, mit der die zu leistende Kraft der elektromagnetischen Vertikaltriebe stets nahe Null geregelt wird. Damit fließt praktisch kein Strom in den Aktorspulen und somit entsteht keine unerwünschte Wärmequelle im Messraum, die die notwendigen hochpräzisen Messungen verhindern würde.

Mit dem neuen Antrieb ist es möglich, Objekte wesentlich genauer als bisher im Antast- bzw. Bearbeitungspunkt, im sog. Abbe-Punkt, berührungslos, reibungsfrei und ohne Stick-slip-Effekte mit einem Läuferelement zu positionieren. Das Antriebskonzept stellt einen vollkommen neuartigen Ansatz für ein sechsdimensionales Direktantriebssystem dar, der so bisher in keinem bekannten System umgesetzt wurde. Eine Skalierbarkeit des Konzepts für andere Anwendungen wurde bis zu einem Arbeitsbereich von 200 mm Durchmesser untersucht.

Einschätzung von SIOS zum Direktantrieb

Mehr zu Antriebssystemen: www.imms.de.

Jahresbericht

Gesamtaufbau

Die Besonderheit des neuen Antriebskonzepts ist, dass die Kräfte für die Steuerung aller sechs Freiheitsgrade, das heißt der drei Translationsbewegungen in x-, y- und z-Richtung sowie der drei Rotationen um diese Achsen (r_x - r_y - r_z), berührungslos und reibungsfrei auf nur ein zu bewegendes Läuferelement eingeleitet werden.

Die Positionsdaten werden wie bei vielen Präzisionsantrieben aus drei um den Läufer verteilten Laserinterferometern gewonnen. An den Spiegelflächen der mit dem Läufer bewegten Spiegelecke werden die Laserstrahlen reflektiert und zur Abstandsmessung genutzt. Das Objekt befindet sich innerhalb der Spiegelecke und alle virtuell verlängerten Messstrahlen der Koordinaten x, y und z der Interferometer treffen sich im Antast- bzw. Bearbeitungspunkt (Abbe-Punkt). Somit sind Spiegelecke sowie Objekt je nach Dicke und Oberflächenprofil anzuheben oder abzusenken, um den Antastpunkt auf der Objektoberfläche in den Abbe-Punkt zu bringen.

Alle Partner haben gemeinsam ein Gerätegrundkonzept erarbeitet, welches der Konfiguration nach Abbildung 1 entspricht. Damit bleibt der Bauraum oberhalb des Läufers für ein Kundentool zur Messung und Fertigung frei.

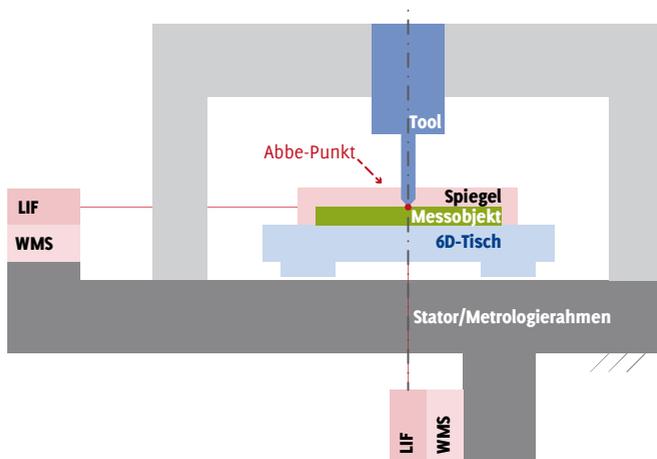
Systemarchitektur und Gesamtkonzept sowie konstruktive Integration, Aufbau, Inbetriebnahme und Charakterisierung wurden unter der Federführung von SIOS realisiert. Die TU Ilmenau war für die Entwicklung und Implementierung des hochpräzisen Mehrkanal-Interferometer-Systems verantwortlich. Das IMMS hat das Planarmotorsystem mit den Hub- und Antriebseinheiten sowie die Steuerung und Regelung erarbeitet.

Abbildung 1:

Gerätegrundkonzept

LIF =
Laserinterferometer

WMS =
Winkelmesssystem



Grafik: IMMS.

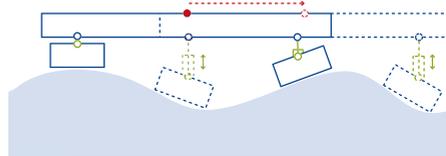
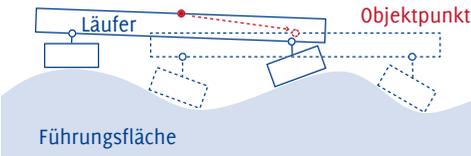


Abbildung 2: Bereits Unebenheiten der Führungsfläche rufen bei herkömmlichen 3D-Antrieben (links) Höhenschwankungen und Verkippen des Läufers beim Gleiten über die Führungsfläche hervor. Mit Vertikalaktoren in einem 6D-Antrieb (rechts) kann der Höhenunterschied ausgeglichen und der Läufer in der richtigen Höhe positioniert werden. Grafik: IMMS.

Lösung des IMMS – Erweiterung von 3 auf 6 Dimensionen

Den Ausgangspunkt für das Planarmotorkonzept bildeten zwei am IMMS entwickelte Lösungen – die integrierten planaren 3D-Direktantriebe sowie ein Vertikaltrieb. Von diesem wurden drei als Aktor- und Führungselemente in einen planaren 3D-Antrieb integriert, um Unebenheiten in der Führungsfläche auszugleichen und den Läufer in der richtigen Höhe zu positionieren, vgl. Abbildung 2. Ziel war es, damit ein echtes 6D-Direktantriebssystem mit den oben genannten Eigenschaften aufzubauen, eine 6D-Regelung dafür zu entwerfen und erste Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des konzeptionell neuartigen Ansatzes durchzuführen.

Integrierte planare 3D-Direktantriebe des IMMS als erster Ausgangspunkt

Der grundlegende Ansatz beruht auf den hervorragenden Positioniereigenschaften eines integrierten planaren elektrodynamischen Direktantriebsprinzips, vgl. Abbildung 3. Bislang hatte das IMMS solche aerostatischen Direktantriebe für drei Freiheitsgrade entwickelt: Ein planarer luftgeführter Läufer, welcher an seiner Unterseite Magnetbrücken trägt, konnte über statorfixe Spulenpaare in den beiden horizontalen Achsen x und y sowie um seine Drehachse r_z bewegt werden. Die sehr steif ausgeführten Läuferelemente können mit hoher Geschwindigkeit und sehr hoher Genauigkeit eine Sollbahn abfahren. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, dass der Läufer passiv ist, d.h. vollkommen ohne störende Schleppkabel für Aktorik und Sensorik auskommt. Schädliche Wärmequellen können so sehr gut vom zu bewegenden Objekt ferngehalten werden. Diese am IMMS entwickelten Antriebe sind bereits gut am Markt etabliert.¹

Vertikaltrieb des IMMS als Aktor- und Führungselemente als zweiter Ausgangspunkt

Das IMMS hatte mit der AeroLas GmbH bereits eine Lösung für einen Vertikalaktor entwickelt, vgl. Abbildung 3. Dieser nimmt nun im neuen 6D-Direktantrieb als Aktor- und

¹ <https://alsi.asmpt.com/active-mounts/>

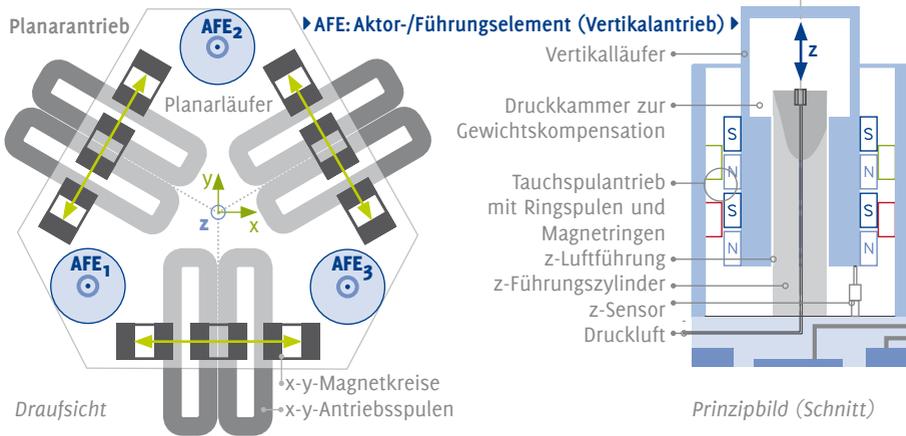


Abbildung 3: Schema eines planaren Antriebssystems mit 3 Spulenpaaren (links). Für den 6D-Antrieb wurden anstelle der drei sonst verwendeten Luftlager drei Vertikaltriebe (rechts) als Aktor-Führungselemente (AFE) integriert. Grafik: IMMS.

Führungselement jeweils anstelle der drei Luftlager die Gewichtskraft des Läufers mit einer sehr feinfühlig geregelten pneumatischen Druckkammer auf. Die verbleibende und mittels Tauchspulantrieb gelöste feinfühlig vertikale Positionierung des Läufers benötigt dann nur noch wenige Millinewton. Folglich generiert der Antrieb nahezu vernachlässigbare parasitäre Wärmeströme innerhalb der Maschine. Das ermöglicht ein quasi leistungsloses Anheben des Läufers einschließlich des zu vermessenden Objektes und gestattet gleichzeitig eine Positionsauflösung im Nanometerbereich.

Entwicklung des 6D-Planarmotorsystems

Das IMMS hat für die o.g. Grundanordnung die Kernkomponenten für den planaren Antrieb und die Führung dimensioniert. Im Fokus stand dabei das Schwingungsverhalten des mechanischen Systems. Mittels FEM-Simulationen wurden die Antriebe und die Mechanik-Bauteile so gestaltet, dass die bewegte Masse möglichst gering gehalten, gleichzeitig jedoch eine hohe Struktursteifigkeit erzielt wird und die Eigenfrequenzen somit ausreichend hoch sind, um die hohen Anforderungen an die Positionierdynamik zu erreichen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis einer FEM-Modalanalyse des finalen Läuferentwurfs mit einer ersten Eigenfrequenz von 291 Hz.

In gleicher Weise hat das IMMS auch die gestellfesten Antriebskomponenten, d.h. die Flachspulen mit Halterung bzw. Gehäuse modelliert, um die Antriebskraft und die damit verbundene thermische Belastung des Systems per Simulation abzuschätzen und damit die Spulengeometrie zu optimieren. Darüber hinaus wurden Lösungen für die Ankopplung der Magnetbrücken an den Quarzläufer und für eine Temperiereinhausung der Planarspulen erarbeitet.

FEM-Dienstleistungen auf www.imms.de.

B: Modalanalyse
Abbildung
Typ: Gesamtverformung
Frequenz: 291,41 Hz
Einheit: mm

11,701 Max
11,413
11,126
10,838
10,55
10,263
9,9752
9,6875
9,3999
9,1122 Min

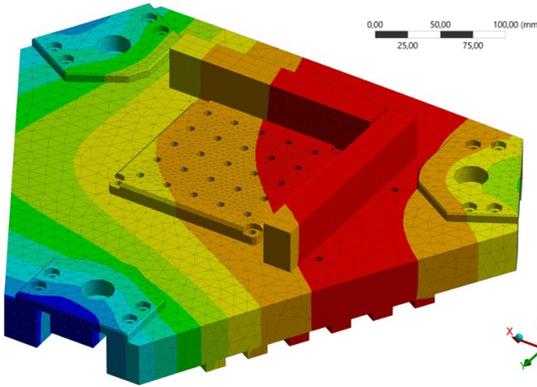


Abbildung 4:

Eine der FEM-Simulationen des Schwingungsverhaltens des Läufers mit einer exemplarischen hinreichenden Eigenfrequenz von 291 Hz.

Grafik: IMMS.

- 32
- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Inhalt
- * Förderung

Das IMMS hat die drei Vertikaltriebe mechanisch und pneumatisch in das Planarmotorsystem integriert und passgenaue Lösungen für die Einbindung in die elektronische Steuerungsarchitektur des Systems entwickelt. Schläuche und Kabel sitzen direkt am Läufer und bieten einen flexiblen Übergang vom Läufer zum Stator, um Bewegungen im Arbeitsbereich zu ermöglichen und lediglich geringe und gleichzeitig möglichst symmetrische Störkräfte bei der Bewegung des Läufers hervorzurufen.

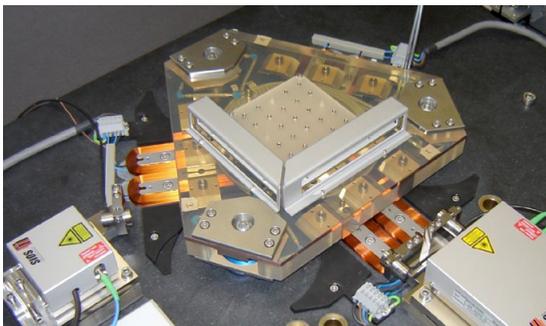
Lösung des IMMS – Regelung des Systems in 6 Freiheitsgraden

Das in Abbildung 5 dargestellte Antriebssystem wurde schrittweise in Betrieb genommen und dabei die simulationsbasiert entworfene 6D-Positionsregelung schrittweise erprobt und anhand der ermittelten Streckeneigenparameter weiter optimiert und verfeinert. Das IMMS hat die dazu benötigten physikalischen Parameter wie Motor konstanten, Massenverhältnisse, Übertragungseigenschaften der verschiedenen Teilsysteme innerhalb der Regelstrecke sowie Eigenfrequenzen zunächst modellbasiert ermittelt und durch experimentelle Untersuchungen am Antrieb verifiziert und zum Teil nachgeführt. Der Fokus lag dabei auf frequenzabhängigen Übertragungseigenschaften. So wurde eine Feinabstimmung zwischen der geringdynamischen pneu-

*Steuerung und
Regelung auf
www.imms.de.*

Abbildung 5:

Realisiertes 6D-Positioniersystem (links) mit integrierten Vertikalaktoren (rechts). Fotos: IMMS.



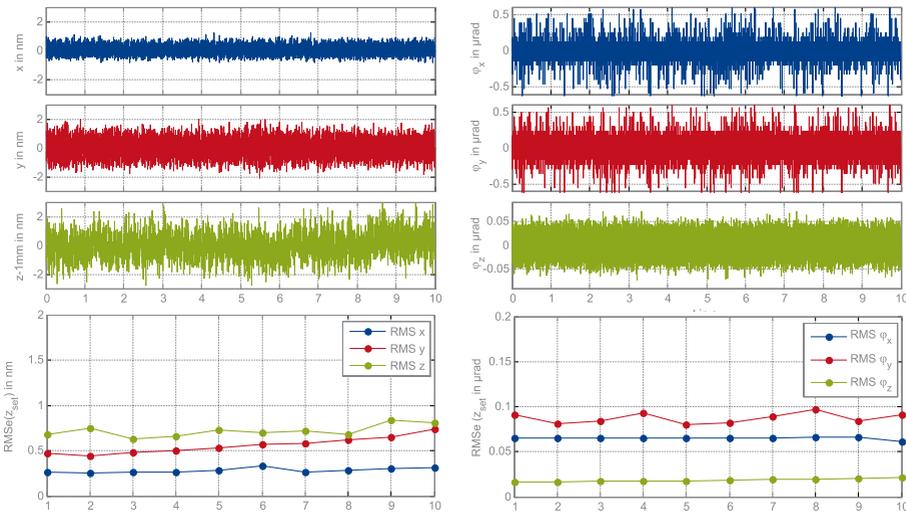


Abbildung 6: Zeitsignale der sechs Koordinaten im geregelten Betrieb (oben); RMS-Regelabweichung in Abhängigkeit von der Flughöhe z_{set} (unten). Grafiken: IMMS.

matischen Gewichtsentlastung im Vertikaltrieb und der hochdynamischen Aktorik des Läufers vorgenommen, um bestmögliche Positionierungsergebnisse zu erzielen. Das IMMS hat die komplexen 6D-Regelungsalgorithmen entwickelt, in Matlab/Simulink programmiert und auf der dSpace-Hardware im Steuerungsrack für alle Teilsysteme implementiert.

Steuerung und
Regelung auf
www.imms.de.

Ergebnisse und Ausblick

Im Ergebnis wurden die angestrebten Regelabweichungen im Nanometerbereich erzielt. Abbildung 6 verdeutlicht die erreichte Regelgüte anhand der Zeitsignale für den geregelten Betrieb in allen sechs Freiheitsgraden bei einer Flughöhe von 1 mm. In x , y und z werden Regelabweichungen (RMS) von weniger als einem Nanometer erreicht. Systematisch wurde weiterhin die höhenabhängige Veränderung der Regelabweichungen untersucht und so der Nachweis erbracht, dass das 6D-Positioniersystem über den vollen z -Hub von 10 mm eine nanometergenaue Positionierung des Läufers ermöglicht. Die Ergebnisse bilden die Basis für künftig zu entwerfende kundenspezifische 6D-Antriebssysteme im Hochpräzisionsbereich.

Mehr zu An-
triebsystemen:
www.imms.de.

Kontakt: Dr.-Ing. Christoph Schäffel, christoph.schaeffel@imms.de

INPOS auf
www.imms.de.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



ZIM
Zentrales
Innovationsprogramm
Mittelstand

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Projekt INPOS wurde unter dem Kennzeichen ZF40870LT7 gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Jahresbericht

© IMMS 2019