

РЕЗЮМЕТА

на рецензирани публикации

на гл. ас. д-р Добри Комарски

за участие в конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент“ в област на висшето образование 5. Технически науки, професионално направление 5.1. Машинно инженерство, специалност „Точно уредостроене“

В.3 Монография

В.3.1 Комарски Д., Гониометрични микро-позициониращи системи с еластични направляващи, София, Софттрейд, 2024, ISBN 978-954-334-274-7

В прецизната техника гониометричните модули се използват за ориентиране и позициониране на детайли и модули на механични системи с висока точност, в случаите когато е необходимо осигуряване на постоянна ос на ротация и измерване на ъглови отклонения. Такива позициониращи системи осигуряват ъглова ориентация на различни възли и системи, като моментния център на ротация в повечето случаи се намира извън работната платформа. В прецизната техника и точното уредостроене често се налага ъглово позициониране и ориентиране с висока точност на различни обекти около оси, намиращи именно извън (обикновено изнесени над) носещата платформа.

В първа глава са разгледани различни модули и схеми за реализация на гониометрични микро-позициониращи системи с различни видове направляващи, както и различни експлоатационни и точностни характеристики на позициониращите системи.

Във втора глава е направен анализ и систематизиране на еластични направляващи за ъглова ориентация, като различните видове са групирани в зависимост от тяхната геометрия и форма на направляващите и са разгледани техните предимства и недостатъци. Разгледани са различни фактори и грешки влияещи върху експлоатационните им характеристики. Определени са параметрите влияещи върху еластичните им характеристики и обхвата на работа.

В трета глава е показана разработка и анализ на две гониометрични системи за ъглово микропозициониране с различна геометрия на еластичните направляващи – на база еластичен четиризвенник и такъв с кръстообразни еластични звена. Симулационният анализ е направен по метода на крайните елементи, като са показани различните математически модели, които могат да се използват в зависимост от материала и формата на еластичните направляващи. Анализът включва различни фактори влияещи пряко върху точностните характеристики, включително отклонението на центъра на ротация, като един от основните параметри при този вид позициониращи системи.

Четвърта глава включва различни схеми и алгоритми за изследване на гониометрични позициониращи системи, посредством, които може да се определи моментния център на ротация и отклонението на оста на ротация. Показана е и схема на лабораторната установка за изследване на гониометричен модул с еластични направляващи.

Goniometric systems, as a type of rotational positioning system, are involved in almost all areas of mechanics. In precision engineering, goniometric modules are used for the orientation and positioning of parts and modules of mechanical systems with high accuracy, in cases where it is necessary to ensure a constant axis of rotation and measure angular deviations. Such positioning systems provide angular orientation of various assemblies and systems, with the instantaneous center of rotation often located outside the working platform. In precision engineering and accurate instrument making, high-precision angular positioning and orientation of various objects around axes located precisely outside (usually above) the supporting platform is often required.

The first chapter examines various modules and schemes for the realization of goniometric micro-positioning systems with different types of guides, as well as various operational and accuracy characteristics of the positioning systems.

The second chapter provides an analysis and systematization of elastic guides for angular orientation, with the different types grouped according to their geometry and shape of the guides, and their advantages and disadvantages are discussed. Various factors and errors affecting their operational characteristics are considered. The parameters influencing their elastic characteristics and working range are determined.

The third chapter shows the development and analysis of two goniometric systems for angular micro-positioning with different geometries of the elastic guides – one based on an elastic compliant mechanism and one with cross-shaped elastic elements. The simulation analysis is performed using the finite element method, and the different mathematical models that can be used depending on the material and shape of the elastic guides are presented. The analysis includes various factors directly affecting the accuracy characteristics, including the deviation of the center of rotation, as one of the main parameters for this type of positioning system.

The fourth chapter includes various schemes and algorithms for investigating goniometric positioning systems, through which the instantaneous center of rotation and the deviation of the axis of rotation can be determined. A diagram of the laboratory setup for investigating a goniometric module with elastic guides is also shown.

Г.6 Публикувана книга на базата на защитен дисертационен труд

Г.6.1

Комарски Д. Позициониращи системи за ъглова ориентация, София, Софттрейд, 2024, ISBN 978-954-334-275-4

Позициониращите системи за ъглова ориентация участват в почти всички сфери на механиката. Те намират приложение освен за ъглово позициониране на оптични елементи и лазери, така също и в производството и контрола на полупроводникови елементи, рентгеноструктурни анализи, при измерване геометричните параметри на ротационно-симетрични детайли и за изследвания на материали, дори в криогенната област. В последно време микро- и нано-позициониращите системи, изградени на база еластични направляващи и пиезо-задвижвания, намират широко приложение във високо технологични процеси като биологично-клетъчно микроинжектиране, сканиране с атомно-силови микроскопи, микроелектро-механични системи и системи с фибро-оптично подравняване.

Rotary systems are involved in nearly all areas of mechanics. In precision engineering, rotary modules are used for the orientation and positioning of components and mechanical system modules with high accuracy, particularly in cases where a constant axis of rotation

must be maintained and angular deviations must be measured. Such modules find applications not only in the angular positioning of optical elements and lasers but also in the production and inspection of semiconductor components, X-ray diffraction analysis, measurement of geometric parameters of rotationally symmetric parts, and material research—even in cryogenic environments. Recently, micro- and nano-positioning systems based on elastic guides and piezoelectric actuators have been widely adopted in high-tech processes such as biological cell microinjection, atomic force microscopy scanning, micro-electromechanical systems, and fiber-optic alignment systems.

Г.7 Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация

- Г.7.1** Diakov D., Komarski D., Micro-positioning Module for Angular Orientation Position of the Axis of Rotation Analysis, 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2021 DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610873

Positioning systems with flexures for angular orientation are used in many areas of precision engineering. Used mainly for orientation and high accuracy positioning of components or modules, part of mechanical systems that ensuring a constant axis of rotation and angular deviations. This paper presents the results of the study of elastic micro-position measuring system and the influence over accuracy and characteristics caused by the manufacturing errors.

Системите за ъглова ориентация с еластични звена се използват в много области на прецизното инженерство. Използват се основно за ориентация и високоточно позициониране на компоненти или модули, част от механични системи, които осигуряват постоянна ос на ротация. Тази статия представя резултатите от изследването на еластична микропозиционираща система и влиянието на производствените грешки върху точностните ѝ характеристики.

- Г.7.2** Vassilev, V., Komarski D., Retrofit of a Roundness Measuring Instrument, 34rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2024, (2024), ISBN: 979-835035283-2, DOI: 10.1109/MMA62616.2024.10817687

This paper deals with the retrofitting of a roundness measuring instrument by upgrading the length gauge, rotary encoder, the controller and the software. The retrofitting is based on the requirements of versatility, modularity, low-cost, simplicity of the structure, ease of maintenance and operation, as well as high performance of the measuring process which meets the increased requirements for the accuracy of modern measuring instruments.

Този документ представя преоборудването на инструмент за измерване на кръглост чрез надграждане на измервателния уред, ротационния енкодер, контролера и софтуера. Дооборудването се основава на изискванията за универсалност, модулност, ниска цена, простота на конструкцията, лекота на поддръжка и експлоатация, както и висока производителност на измервателния процес, което отговаря на повишените изисквания за точност на съвременните измервателни уреди.

- Г.7.3** Komarski D., Study of the Axial Stiffness of Micro-positioning Elastic Module with “Butterfly” Flexures, 34rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2024, (2024), ISBN:979-835035283-2, DOI: 10.1109/MMA62616.2024.10817625;

Spatial orientation of different elements in the field of micro- and nano-technology with very high accuracy requirements is very demanding in high precision engineering. Specifically, an angular orientation with elastic monolithic flexures is one of the preferred in such a case, especially where high accuracy and minimal deviation of the axis of rotation or low to no maintenance and operation in adverse/contaminated environment is required. This is related to the fact that the module is monolithic, which practically means that there are no assembled elements and there is no friction between the various components of the system. As different axial and radial forces can have negative impact on the elastic systems, this paper presents the results of the experimental study of the axial stiffness of the developed micro-positioning elastic module with “butterfly” flexures

Пространствената ориентация на различни елементи в областта на микро- и нанотехнологиите с много високи изисквания за точност е много актуална в прецизното инженерство. По-конкретно, ъглова ориентация с еластични направляващи е една от предпочитаните, особено когато се изисква висока точност и минимално отклонение на оста на въртене, комбинирано с ниска или никаква поддръжка в неблагоприятна/замърсена среда на работа. Представеният модул е монолитен, което на практика означава, че няма сглобени елементи и няма триене между различните компоненти на системата, което е свързано с търсените изисквания. Тъй като различни аксиални и радиални сили могат да имат отрицателно въздействие върху еластичните системи, тази статия представя резултатите от експериментално изследване на аксиалната коравина на разработения микропозициониращ еластичен модул с еластични елементи.

- Г.7.4** Diakov D., Komarski D., Study of the Rotational Axis Stability of Micro-positioning Elastic Module with “Butterfly” Flexures, 34rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2024, (2024), ISBN: 979-835035283-2, DOI: 10.1109/MMA62616.2024.10817657;

Rotation positioning systems are widely used in different orientation positioning or metrology systems. Analysis of their performance is an essential part of the development and verification of the metrology requirements. As a second stage of the performance analysis of the developed elastic micro-positioning module with “butterfly” flexures after the simulation study is the experimental study. Such a case study is representing the behavior of the elastic module in the application. One of the main accuracy characteristics is the deviation of the axis of rotation as it has major impact of the metrology performance of angular positioning modules. This paper presents the results of the study of the axis stability of micropositioning elastic module.

Ротационно позициониращи системи се използват широко в различни позициониращи или метрологични системи. Анализът на тяхната работа е съществена част от разработването и апробацията на метрологичните характеристики. Като втори етап от анализа на разработения еластичен модул за микропозициониране с еластични елементи, след извършеното симулационното изследване е експерименталното изследване. То изследва поведението на еластичния модул в работна среда. Една от основните характеристики на точността е отклонението на оста на ротация, тъй като то има голямо влияние върху метрологичните характеристики на модулите за ъглово позициониране. Тази статия представя резултатите от изследването на стабилността на оста на микропозициониращ еластичен модул.

- Г.7.5** Diakov D., Nikolova H., Komarski D., Dimitrova D., Systems for Measuring Deviations of Shape, Orientation and Position, 34rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2024, (2024), ISBN: 979-835035283-2, DOI: 10.1109/MMA62616.2024.10817664;

In precise engineering, as well as in micromechanical system design, manufacturing and test equipment, it is essential to measure the deviations of the form, orientation and mutual arrangement of flat surfaces of the various modules. The requirements for measuring systems, depending on the specific field of application, are becoming higher both for functional and accuracy capabilities (working range, resolution, measurement accuracy, repeatability and reproducibility of measurement results, etc.). A key point in the development of high precision schematic solutions of measuring systems is the comprehensive study of the currently existing MSs and their metrological capabilities

В прецизното инженерство, както и в проектирането, производството и тестовото оборудване на микромеханични системи е от съществено значение да се измерват отклоненията на формата, ориентацията и взаимното разположение на плоските повърхности на различните модули. Изискванията към измервателните системи, в зависимост от конкретната област на приложение, стават все по-високи както за функционални, така и за точностните характеристики (работен диапазон, разделителна способност, точност на измерване, повтаряемост и възпроизводимост на резултатите от измерването и др.). Ключов момент в разработването на високопрецизни схемни решения на измервателни системи е цялостното изследване на съществуващите в момента измервателни системи и техните метрологични възможности.

- Г.7.6** Komarski D., Goniometric Module with Cross-shaped Elastic Guides Study, 34rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2024, (2024), ISBN 979-835035283-2, DOI: 10.1109/MMA62616.2024.10817666;

Micro-positioning goniometric stages are precision instruments used to rotate objects around a specific axis. It is commonly utilized in scientific research, engineering, and industrial applications to measure angles or align components with high accuracy. It allows precise control over the angular positioning of a sample or object, making it crucial in experiments and tasks that require meticulous alignment, such as optics, crystallography, metrology, and material science.

Микропозициониращите гониометрични маси са прецизни инструменти, използвани за завъртане на обекти около определена ос. Обикновено се използва в научни изследвания, инженерството и различни индустриални приложения за измерване на ъгли или подравняване на компоненти с висока точност. Позволяват прецизен контрол върху ъгловото позициониране на обекти, което ги прави решаващи при експерименти и задачи, които изискват точно подравняване, като в оптиката, кристалография, метрологията и материалознанието.

- Г.7.7** Diakov D., Komarski D., Goniometric Compliant Mechanism with Elastic Guides Design and Accuracy Characteristic Analysis, 34rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2024, (2024), ISBN 979-835035283-2, DOI: 10.1109/MMA62616.2024.10817675;

Goniometric compliant mechanism with elastic guides is an advanced precision device that integrates compliant mechanism principles with elastic guiding elements to achieve

precise angular positioning and smooth motion. This type of mechanism is designed to rotate or tilt objects around a specific axis with high accuracy, leveraging the inherent flexibility and deformation of the materials used, rather than relying on traditional joints or bearings. It is particularly suited for applications requiring ultra-precise angular adjustments, smooth motion, and long-term reliability, making it valuable in fields such as optics, nanotechnology, and precision engineering. This paper presents result of the study of design parameters that could have significant influence of the accuracy characteristics of the elastic system.

Гониометричен механизъм с еластични направляващи е прецизно устройство, което използва механизми с еластични направляващи за постигане на прецизно ъглово позициониране и плавно движение. Този тип механизъм е проектиран да завърта или накланя обекти около определена ос с висока точност, като използва еластичността на използваните материали, вместо да разчита на традиционните съединения или лагери. Той е особено подходящ за приложения, изискващи свръхпрецизни ъглови настройки, плавно движение и дългосрочна надеждност, което го прави ценен в области като оптика, нанотехнологии и прецизно инженерство. Тази статия представя резултат от изследването на характеристики, които биха могли да имат значително влияние върху точността на еластичната система.

Г.8 Научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни трудове

- Г.8.1** Комарски Д., Позициониращи системи за ъглова ориентация, Сборник доклади от VII Научно - техническа конференция с международно участие "Машинознание и Машинни Елементи 2011", с. 151-159, ISSN 1314-04-0X

Позициониращите системи за ъглова ориентация намират приложение в почти всички сфери на фината механика, като се използват най-вече за ориентиране и позициониране с висока точност на детайли и модули от механични системи, за осигуряване на постоянна ос на ротация и за измерване на ъглови отклонения. В настоящият доклад са разгледани различните видове позициониращи модули за ъглова ориентация и са анализирани техните особености.

Angular orientation positioning systems are found in almost all areas of precision mechanics, being used mainly for high-precision orientation and positioning of parts and modules of mechanical systems, for applications providing a constant axis of rotation and for measuring angular deviations. In this report, different types of angular orientation modules are reviewed and their characteristics are analyzed.

- Г.8.2** Komarski D., Deviation of elastic goniometric module's center of rotation caused by location of the applied force, International Scientific Conference UNITECH'24, 21-22 November, 2024, Gabrovo, UNITECH – SELECTED PAPERS – 2024, ISSN 2603-378X

Goniometric elastic stages provide high accuracy angular positioning along one or more rotation axes. One of the main accuracy characteristics is the deviation of the center of rotation. There are many factors that could impact this characteristic like material, geometry and position of the elastic guides, load, position of the applied force for the movement, manufacturing process, etc. As main factor that could have effect on design and accuracy of the elastic module, the position of the applied force e.g. position of the linear actuator and its effect on deviation of the center of rotation is subject of this paper. Based on the finite element analysis, different positions have been studied. These results are important as there are many cases where the position of the applied force can't be on the optimal theoretical position or

there are different deviations during production or assembly that could have impact on the accuracy/deviation of the center of rotation.

Гониометричните еластични маси осигуряват високоточно ъглово позициониране по една или повече оси на въртене. Една от основните характеристики на точността е отклонението на центъра на ротация. Има много фактори, които могат да повлияят на тази характеристика, като материал, геометрия и позиция на еластичните елементи, натоварване, позиция на приложената сила, производствен процес и т.н.. Основен фактор, който може да окаже влияние върху конструкцията и точността на еластичния модул е позицията на приложената сила, което всъщност е позицията на линейния задвижващ механизъм. Ефектът от промяната на позицията на приложената сила върху отклонението на центъра на ротация е предмет на тази статия. Чрез анализа по метода на крайните елементи са изследвани различни позиции на приложената сила. Резултатите са важни, тъй като има много случаи, при които позицията на приложената сила не може да бъде на оптималната теоретична позиция или има различни отклонения по време на производство или сглобяването, които биха могли да окажат влияние върху точността/отклонението на центъра на въртене.

- Г.8.3** Komarski D., Effect of the position of the applying force on elastic compliant mechanism's transfer curve, International Scientific Conference UNITECH'24, 21-22 November, 2024, Gabrovo, UNITECH – SELECTED PAPERS – 2024, ISSN 2603-378X

Precision rotary positioning systems are used for orientation of different objects at a certain angle around its axis of rotation with high accuracy. Goniometric positioning systems as a part of the rotary systems provide high precision angular positioning but the axis of rotation is outside the working area, most commonly above the working platform. These systems are used in a wide variety of applications, including optics, microscopy, semiconductor manufacturing, aerospace. As these applications need high accuracy positioning systems in the field of micro- and nanotechnology, a Goniometric positioning system with elastic guides was developed. One of the main characteristics of such a system is the behavior of its transfer curve or how linear/predictable it is in a different use case. Subject of this paper is a study of the effect of the position of the applying force over the transfer curve nature based on the Finite element analysis. This is important as the position where the linear actuator is applying force on the goniometric elastic module could impact the transfer curve e.g. accuracy in case there is a deviation during manufacturing. assembly or different design constrains that doesn't allow this position to be the optimal theoretical position.

Прецизните ротационни системи за позициониране се използват за ориентиране с висока точност на различни обекти под определен ъгъл около оста им на ротация. Гониометричните позициониращи системи, като част от ротационните системи, осигуряват прецизно ъглово позициониране с ос на ротация е извън работната зона, най-често над работната платформа. Тези системи се използват в различни приложения, включително оптиката, микроскопи, производство на полупроводници, космическото пространство. Тъй като тези приложения се нуждаят от системи за позициониране с висока точност в областта на микро- и нанотехнологиите, е разработена гониометрична система за позициониране с еластични звена. Една от основните характеристики на такава система е поведението на нейната предавателна функция или нейната линейност в различен случаи на употреба. Предмет на тази статия е симулационно изследване на влиянието на позицията на приложената сила върху линейността на предавателната функция. Това е важно, тъй като позицията, в която линейният задвижващ механизъм прилага сила върху гониометричния еластичен модул, може да повлияе на предавателната функция, което може да бъде породено от отклонение по време на производството, сглобяване или различни конструктивни ограничения, които не позволяват тази позиция да бъде оптималната теоретична позиция.

- Г.8.4** Komarski D., Влияние на технологичните неточности върху характеристиките на гониометричен еластичен модул, Международна научна конференция УНИТЕХ'24, 21-22 Ноември, 2024, гр. Габрово, UNITECH International Scientific Conference – 2024, ISSN 1313-230X

Orientation of different elements in the field of micro- and nano-technology with very high accuracy requirements is very demanding in high precision engineering. Specifically, an angular orientation in precision engineering finds application in different field, including optics, micro- and nanotechnology, semiconductor production where high accuracy and minimal deviation of the axis of rotation is required. As a solution to meet these requirements is the developed goniometric monolithic compliant module with elastic guides. During the production or assembly of such a module with multiple elastic guides, different error could occur that could have impact of the accuracy characteristic. Subject of this paper is a study of the impact of the manufacturing process on the operational characteristic of the developed module. The study is focused on different deviation on the dimensions of the elastic guides that could happened and their impact on the transfer curve and the deviation of the center of rotation.

Ориентацията на различни елементи в областта на микро- и нанотехнологиите с високи изисквания за точност е много търсена в прецизното инженерство. Ъгловата ориентация в прецизното инженерство намира приложение в различни области, включително оптика, микро- и нанотехнологии, производство на полупроводници, където се изисква висока точност и минимално отклонение на оста на въртене. Като решение за изпълнение на тези изисквания е разработеният гониометричен монолитен модул с еластични направляващи. По време на производството или сглобяването на такъв модул с множество еластични елементи, може да възникнат различни грешки, които може да повлияят на неговите характеристики. Предмет на настоящата работа е изследване на влиянието на производствения процес върху експлоатационните характеристики на разработения модул. Изследването е фокусирано върху различни отклонения в размерите на еластичните елементи, които биха могли да възникнат и тяхното въздействие върху предавателната функция и отклонението на центъра на ротация.

София, 2025

гл. ас. д-р Д. Комарски