

## ПРЕЦИЗЕН КОНТРОЛ НА ПОЛОЖЕНИЕТО НА ГОЛЕМИ СТРУКТУРИ С 3D ПИЕЗО-МИКРОМАНИПУЛАТОР ИЗПОЛЗВАН КАТО СЕНЗОР

Генчо СТАЙНОВ, Бисер ВАСИЛЕВ  
[gentcho@bas.bg](mailto:gentcho@bas.bg), [bisvas1@yahoo.com](mailto:bisvas1@yahoo.com)

Генчо Стайнов Централна лаборатория по мехатроника и приборостроене – БАН  
1113 София, ул.Академик Г.Бончев, бл.1  
Бисер Василев, Институт по механика- БАН 1113 София, ул.Академик Г.Бончев, бл.4  
**БЪЛГАРИЯ**

**Резюме:** Един 3D сензор, създаден на основата на нискостойностен пиезо микро-манипулатор е предложен за измерване на отклонението на големи структури в периода на експлоатацията им. Разработката е ориентирана към допълнителен контрол на положението на структурата на SMC експеримента в ЦЕРН през време на експлоатацията. Изследвано е поведението му като сензор за измерване на равнинни микропремествания и са заснети тарировъчни криви. Измерена е стандартната девиация по двете оси на сензора.

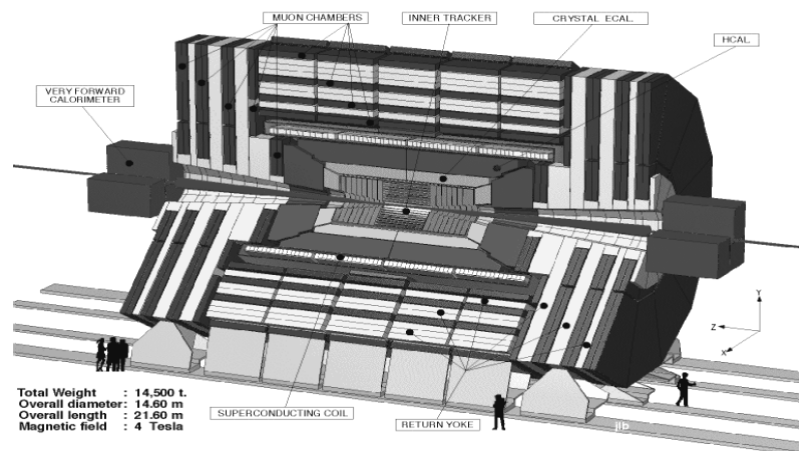
**Ключови думи:** сензор, микроманипулатор, пиезо микро-манипулатор

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ И ФОРМУЛИРАНЕ НА ЗАДАЧАТА

Един от проблемите при експлоатация на големи прецизно позиционирани структури с е пълзенето на носещата конструкция и на фундамента. Друг проблем е чувствително

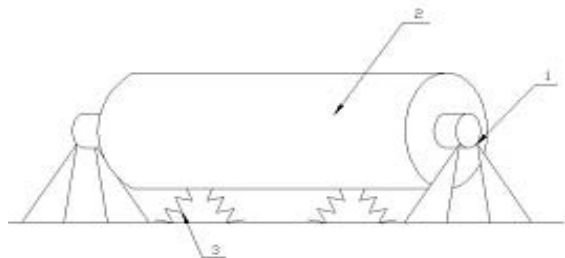
ста на структурата към вибрации предизвикани от превозни средства.

След земетресения, също е важно да се измери възможното отместване на структурата от зададеното положение.



Фиг.1. Схема на структурата на CMS експеримента.

Положението на елементите в структурата се следи непрекъснато от оптическа центрираща система от няколко стотин оптически сензора, които включват няколко лазера, разклонените лъчи на които преминават през прозрачните кристални елементи и се отразяват от огледала. Петната върху CCD матриците се обработват софтуерно, с което се постига точност на отчитане  $0.2 \mu\text{m}$  [5]. Системата трябва да гарантира стартов толеранс на позицията от  $0.1 \text{ mm}$  и контрол през време на експлоатацията.



Фиг. 2. Схема на разположение на 3-D сензори спрямо тялото на CMS.  
1-сензор, 2- тяло, 3-носещи опори.

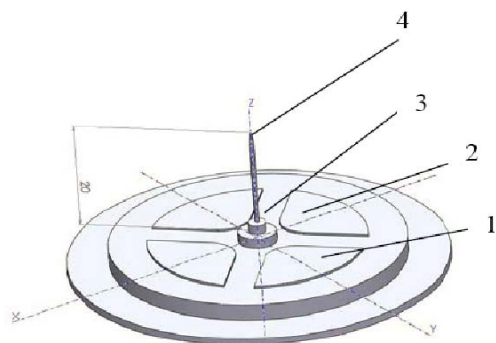
Носещата конструкция на CMS е подложена на магнитно поле 4 Тесла и работи при температура  $-20^{\circ}\text{C}$  [6].

Целта на настоящата работа е да се предложи средство за допълнителен контрол на позицията в характерни точки от тялото на CMS модула в ЦЕРН (фиг.2).

За целта може да се използва разработваният от колектива ниско-стойностен 3-D пиезо-микроманипулатор, показан на фиг. 3. Конструктивната идея беше публикувана на сайта [1] а реализацията беше направена с известни промени ползвайки източниците [2], [3] и [4].

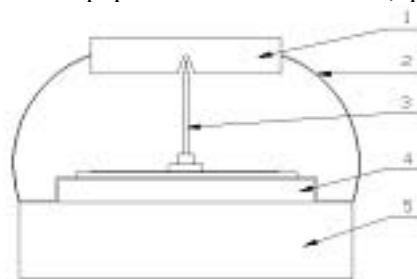
## 2. ПРОЦЕДУРА НА ИЗМЕРВАНЕТО И МОНТАЖ

Крайното звено на манипулатора е изпълнено като игла от волфрам.



Фиг. 3. Схема на 3D микроманипулатор.  
1- двойка електроди за преместване по y  
2- двойка електроди за преместване по x  
3- държач  
4- игла

Измерването на отклонението се извършва периодично, като на острието на манипулатора се задава последователно движение по осите XYZ, до допиране на острието до подходящо оформено контактно тяло, фиг.4.



Фиг. 4. Схема на 3-D сензор.  
1- контактно тяло, 2- защитен кожух, 3- игла,  
4- микроманипулатор, 5- основа.

При допирането се осъществява електрически контакт – отчита се стойността на напрежението върху съответните електроди на манипулатора и се прекратява движението по съответната ос. Това напрежение отговаря на преместване, което е установено предварително при тарирането на всеки сензор. За избягване на контактни проблеми контакта се осъществява в изолирана и контролирана среда защитена от еластичен кожух.

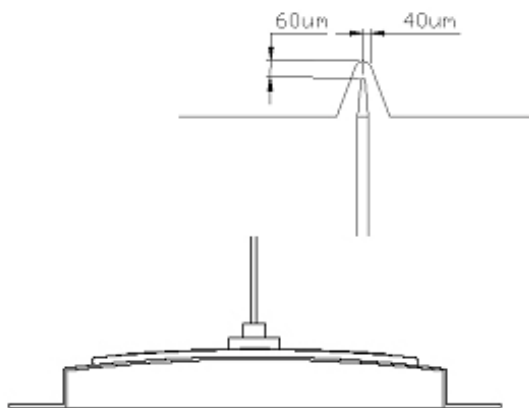
Микроманипулаторът извършва по трите оси измерване на позицията на върха на иглата спрямо конуса в контактното тяло по програма. След изпълнение на програмата иглата се връща в начална позиция.

Микроманипулаторът е свързан към неподвижна колона а контактното тяло е свързано със Barrel-а в определена точка (или обратно).

Работната зона на сензора е 100-100-80  $\mu\text{m}$  (XYZ). Монтажът на сензора се извършва чрез залепване със силикатен цимент, при максимално отместване +Z. При това иглата е центрирана в отвора на контактното тяло и задава необходимото начално преместване. Сензорът в монтажно положение е показан на фиг. 5.

След монтажа се отнема напрежението върху електродите и манипулаторът се връща в начална позиция. Извършва се заснемане на реалната позиция на иглата спрямо контактното тяло.

В случай, че очакваните премествания са по-големи, може да се добави електрозадвижван 3D позиционер с ниска точност, който да увеличи неограничено работната зона на сензора. Реалното преместване на позиционера се отчита от сензора, след завършване на препозиционирането.



Фиг. 5. Монтажно състояние на 3-D сензор.

Точността на измерване ще се намали с разликата между очакваното и реалното отместване на структурата за времето на препозициониране.

### 3. ОПИСАНИЕ НА МИКРОМАНИПУЛАТОРА И ПРОЦЕДУРАТА ЗА ТАРИРАНЕ

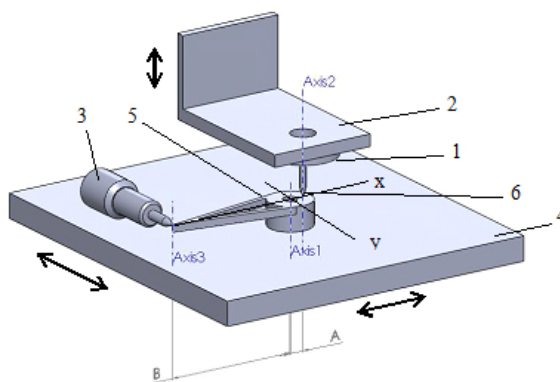
Схемата на манипулатора е показана на фиг. 3

Микроманипулаторът е изработен от дисков пиезо-актуатор, чрез ецване на горният електрод съгласно схемата.

Към средата на ецваната част е залепен държач за инструменти с диаметър 0.8 мм. В държачът е поставена игла от волфрам със заострен връх.

Управлението на микро-манипулаторът според фиг. 3 е следното: За премествания по X и Y, се подават обратни напрежения на съответните срещуположни спрямо държача сектори. Преместването по Z се осъществява с промяна на напрежението едновременно на четирите сектора.

При използването на микроманипулатор като сензор извън работната зона (100-100-80  $\mu\text{m}$ ), взаимното влияние между осите, изисква тарирание чрез създаване на таблици за съответствие между преместването и отчетеното напрежение. За извършване на тариранието е разработен стенд, позволяващ задаване на премествания по X и Y през 1  $\mu\text{m}$ .



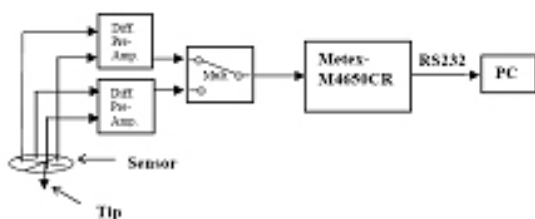
Фиг. 6. Схема на стенд за тарирание на 3D микроманипулатор като сензор.

- 1- микроманипулатор;
- 2- носач с микрометричен винт по z;
- 3- микро-винт за задаване на премествания по x и y;
- 4- x-y маса;
- 5- лост с прецизно лагуване;
- 6- игла

Схема на опитната постановка е показана на фиг.6. а общият и вид – на фиг.8. Микроманипулаторът 1 е закрепен към носач 2, който може да се придвижва по оста z с помощта на микрометричен винт, така, че острието на иглата б да опре в пръстена на прецизно лагериран лост. Зададените точки върху пръстена осигуряват съотношение между дължините A/B на лоста равно на 1/10.

Свободния край на лоста е закрепен с еластична връзка към микро-позициониращ винт, с деления през 10µm.

Блоквата схема на измервателния стенд е показана на фиг. 7.



Фиг.7. Блоквата схема на измервателния стенд

Сигналът от срещуположните електроди на сензора се подава през два диференциални предусилвателя на заряд към мултиплексор. Изхода на мултиплексора е включен към цифров мултиметр Metex-M4650CR в режим на запамятаване на максимална стойност. Данните от мултиметра през порт RS232 се подават към персонален компютър, който чрез специализиран софтуер ги натрупва във файл.

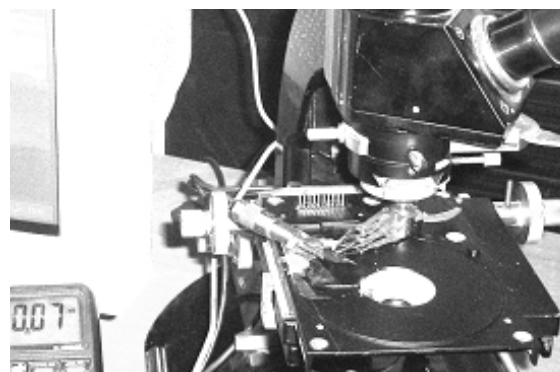
Първоначално острието на микроманипулаторът са позиционира ръчно в точката отместването, на която ще се измерва. За целта се използва XY позиционираща маса от микроскоп осигуряваща точност на позициониране +/-0.05 мм. и Y За измерване на X премествания, острието се позиционира върху пресечната точка на окръжност с диаметър 10мм лежаща върху пръстена с равнината XZ на микроманипулатора (виж. фиг.6). Съответно, за измерване на преместванията по Y от пръстена, , острието се позиционира върху пресечната точка на окръжността с диаметър 10мм лежаща върху пръстена с равнината YZ на микроманипулатора.

След това острието се придвижва ръчно с помощта на прецизният Z позиционер на микроскопът до опирание в пръстена. Придвижването продължава, до получаване на предварителен натиск, гарантиращ коректно измерване в рамките на

чувствителността на микро-манипулаторът. Този предварителен натиск се отчита като едновременно повишаване на напрежението на четирите сектора с помощта на уред тип METEX – M4650CR с разрядност 4-1/2, имащ връзка с PC по RS232 и възможност за запис на отчетените напрежения. Общ вид на получената крива е показан на фиг. 7.

Първата измерена серия е от 10 премествания от нулева позиция до 10µm със стъпка 1µm. Втората серия е от 10 премествания от нулева позиция до 20 µm със стъпка 2 µm. Съответно третата, четвъртата и петата серии са от 0-30µm, 0-40µm и 0-50µm със стъпки 3µm, 4µm и 5µm.

След всяко измерване се изчаква 15s , което време е необходимо за да се разрези електрода и се нулира остатъчното напрежение от предишното измерване. След всяка серия иглата се отделя от пръстена ръчно, с помощта на прецизният Z позиционер, за да се нулира позицията и отново се притиска към пръстена до достигане на напрежение 460µV.



Фиг. 8. Стенд за тариране на 3D микроманипулат ор.

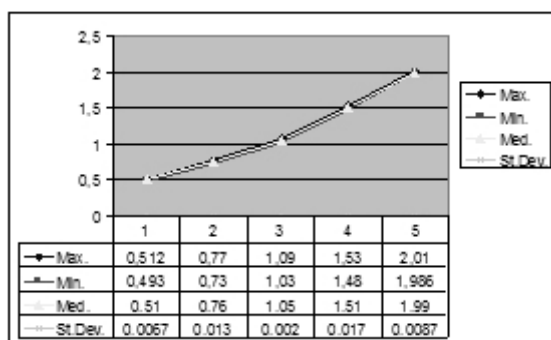
Измерванията са извършвани в периода на минимални външни вибрации, при затворени прозорци и temperирана среда (рано сутрин).

#### 4. РЕЗУЛТАТИ И КОМЕНТАР

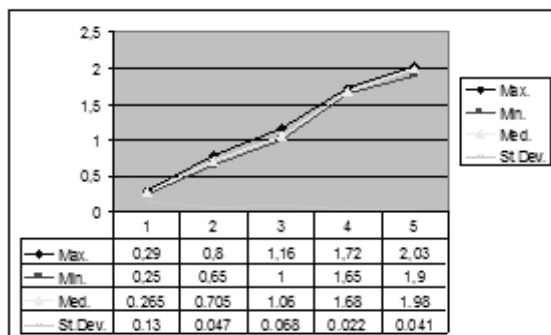
Измерени са стойностите на изходящото напрежение при линейно преместване по оста X и по оста Y.

Резултатите са обработени статистически с Table Curve. Данните за максималното, минималното и средното отклонение и стандартната девиация за измерванията по оста X са показани на фиг.9 а за ос Y на фиг.10.

Забелязва се, че по оста X сензорът има много добра линейност и стандартна девиация до 0.013, докато по оста Y девиацията достига до 0.13. Една възможна причина за тази разлика може да се дължи на микропукнатина или друга механична повреда получена през време на изпитанията на актуатора. Например при работно напрежение до 150V, актуаторът е изпитван на 360V. Също така е натоварван с поредица от триъгълни импулси и трионообразно напрежение при 60V, което е свързано със значителни механични натоварвания.



Фиг. 9. Максимално, минимално и средно отклонение и стандартната девиация от 10 измервания по X в интервала от 1 $\mu$ m до 50 $\mu$ m.



Фиг. 10. Максимално, минимално и средно отклонение и стандартната девиация от 10 измервания по Y в интервала от 1 $\mu$ m до 50 $\mu$ m.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от експериментите показват, че разработваният микроманипулатор е приложим като сензор за измерване на 3D премествания в зоната 100-100-80  $\mu$ m и 2D премествания в 20 пъти по-широк обхват.

Предстои експериментално изследване на работата по предложената схема, създаване на специализиран хардуер и софтуер, като и измерване на температурната му зависимост.

Разработката е в начален стадий и въз основа на натрупаният опит предстои изработка на серия нискостойности микроманипулатори, чието приложение ще се търси и в други области.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алексенко А. Г. и кол., *Применение прецизионных аналоговых микросхем*, "Радио и связь", 1985.
- [2] Clayton, G. Burbridge, *Operational amplifiers*, 2<sup>nd</sup> ed., Butterworth&Co, 1979.
- [3] Horowitzq P. W. Hill, *The Art of Electronics*, p.I, Cambridge University Press, 1993.
- [4] Aligning the CMS Muon Endcap Detector with a System of Optical Sensors [http://cdsweb.cern.ch/record/1110518/files/CR2008\\_015.pdf](http://cdsweb.cern.ch/record/1110518/files/CR2008_015.pdf)
- [5] Technical Feasibility Studies for the CMS Tracker Position Monitoring System [http://cdsweb.cern.ch/record/687315/files/note01\\_006.pdf](http://cdsweb.cern.ch/record/687315/files/note01_006.pdf)
- [6] [http://www.ntmdt.com/SPM-Techniques/Principles/AFM/Manypass\\_techniques/Kelvin\\_Probe\\_Microscopy\\_mode49.html](http://www.ntmdt.com/SPM-Techniques/Principles/AFM/Manypass_techniques/Kelvin_Probe_Microscopy_mode49.html)

### Благодарности

Настоящата публикация е финансирана от МОН-НФНИ по проект ТН1510/2005

# PRECISE POSITION CONTROL OF LARGE STRUCTURES BY 3D PIEZO-MICROMANIPULATOR USED AS A SENSOR

**Gentcho STAINOV, Bisser VASSILEV**

*Gentcho Stainov, Central Laboratory of Mechatronics and Instrumentation – BAS, Sofia,  
Bisser Vassilev, Institute of Mechanics – BAS, 1113 Sofia,*

**BULGARIA**

***Abstract:** One 3D sensor, developed on the basis of a low cost Piezo-micromanipulator is proposed for measurement of the long-term displacement of large structures. The work is oriented toward additional displacement measuring of the structure of the SMC experiment in CERN during the exploitation period. The features of the sensor outside the working area are measured and calibration curves are obtained. The standard deviation of the sensor in the XY plane is measured.*

***Key words:** sensors, сензор, micromanipulator, piezo-micromanipulator*