

## ПРЕЦИЗИОННАЯ СИСТЕМА СОВМЕЩЕНИЯ С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ НА КОЛЬЦЕВОМ ПРИВОДЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

д.т.н. Карпович С.Е., Зубов Г.А., Форутан М.М., Салманзадех Г.

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск»

**Введение.** Системы перемещений сборочного оборудования производства изделий электронной техники, реализующая операцию совмещения [1, 2], как правило, работают совместно с системой технического зрения (СТЗ). Например, в установке монтажа кристаллов, работающей в автоматическом режиме, система технического зрения осуществляет поиск годных кристаллов на пластине с помощью координатного привода. При этом автоматически осуществляется подача кристаллов, находящихся на пластине, в зону распознавания. В результате осуществляется определение точных координат кристалла для подачи его в позицию подкола и съема с гибкой ленты. Наладка установки и настройка на новый тип прибора (кристалла) осуществляются путем введения в программу управления конкретного оборудования проектных данных о размерах кристалла, параметров рабочей зоны, масштабных коэффициентов, необходимых для совмещения механической и телевизионной систем координат, параметров траекторий движения координатного стола при сканировании и перемещениях в позицию распознавания и из позиции распознавания в позицию подкола.

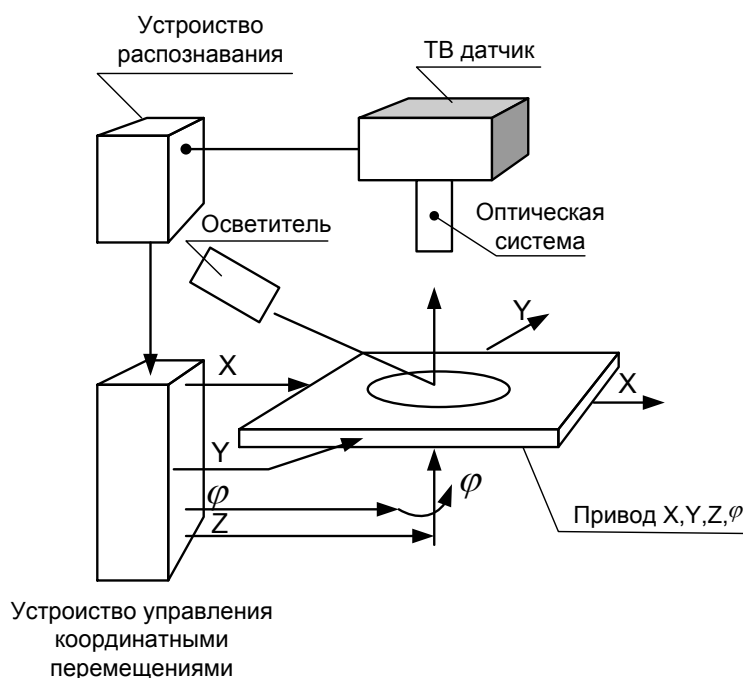


Рис. 1. Структурная схема системы совмещения

В установках присоединения проволочных выводов, работающих в автоматическом режиме, загрузочно-разгрузочная система совместно с координатной системой осуществляет подачу прибора (кристалла в корпусе), предназначенного для разварки проволочными выводами. Система технического зрения распознает и определяет положение кристалла и корпуса в системе координат установки. По результатам распознавания положения площадок на кристалле и траверзах по программе коррекции положе-

ния осуществляется операция совмещения по смещению кристалла и всего прибора относительно инструмента в начальную позицию.

Структурная схема такой системы перемещений, построенная на комбинации линейных и поворотных приводов прямого действия приведена на рис. 1. Входящая в неё координатная система на интегрированном приводе  $X, Y, Z, \varphi$  предназначена для выполнения основной операции позиционирования по совмещению систем координат инструмента и заготовки. Из структуры системы перемещений (рис. 1) следует, что гибридный привод  $X, Y, Z, \varphi$  реализует операцию совмещения в параллельных плоскостях. При этом перемещение по координате  $Z$  является технологическим, в данном случае предназначенным для формирования контактной разварки проволочных выводов, а перемещения по координатам  $X, Y, \varphi$  непосредственно предназначены для реализации операции совмещения, которая исходя из структуры участвующих координат является планарной и происходящей в фиксированной плоскости трёхмерного пространства [3]. В общем случае эта плоскость не совпадает с плоскостью объекта обработки кристаллов на пластине. Возникает технологическое несовмещение системы координат инструмента и объекта обработки, которая в первую очередь ограничивает точностные возможности прецизионного технологического оборудования. Поэтому для дальнейшего повышения точности совмещения необходимо разрабатывать принципиально новые системы перемещений, которые позволяют осуществлять полные совмещения систем координат в трёхмерном пространстве.

В настоящей статье рассматривается предложенная нами система перемещений с шестью степенями свободы, построенная на механизме параллельной кинематики с кольцевым многокоординатным приводом прямого действия.

**Прецизионная система совмещения.** Прецизионная система перемещений с шестью степенями свободы (рис. 2) предназначена для работы в составе прецизионного оборудования производства изделий электронной техники совместно с системой технического зрения или с системой измерений на базе оптоэлектронных и лазерных сенсоров [1].

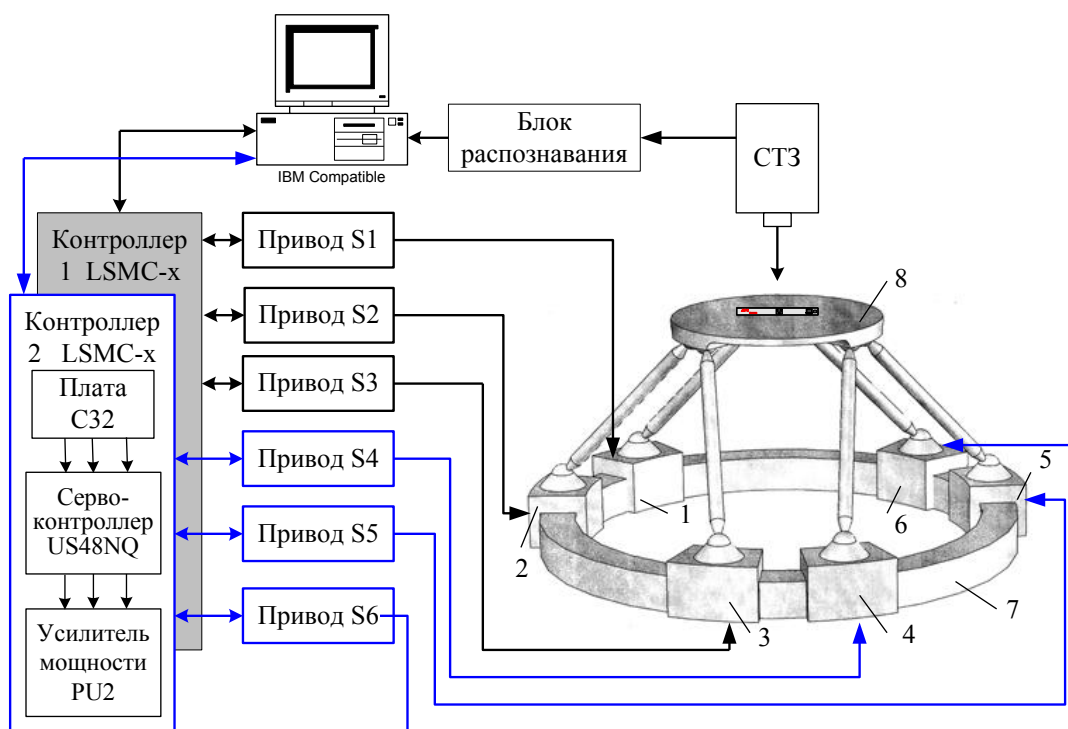


Рис. 2. Структура шестикоординатной системы перемещений

Она состоит из многокоординатного манипулятора, представляющего гибридную структуру из сегментных синхронных двигателей 1, 2, ..., 6 и параллельных кинемати-

ческих цепей механизма параллельной кинематики, шатуны которого через сферические шарниры передают управляемое движение на рабочую платформу (каретку) системы перемещений.

Исполнительные двигатели в виде подвижных сегментов, например, шести (рис. 2), расположенных на кольцевом статоре, по образующей которого регулярно уложены постоянные магниты, имеют автономные управления их перемещениями. В результате этого в рассматриваемом случае обеспечивается внутренняя подвижность с шестью степенями свободы.

В качестве конструктивного прототипа были выбраны поворотные синхронные сегментные двигатели серии RSMS-M36 (рис. 3), разработанные и выпускаемые на предприятии «Рухсервомотор» [2].



Рис. 3. Синхронный сегментный двигатель RSMS-M36:  
1, 3 – неподвижные сегменты; 2 – подвижный ротор

Они конструктивно состоят из одного или нескольких неподвижных сегментов с трехфазной системой обмоток, залитых теплопроводящим компаундом, и подвижного стального кольца статора (ротора) с регулярно наклеенными редкоземельными постоянными магнитами. В систему такого двигателя может быть встроен инкрементный датчик положения для реализации регулирования по законам перемещения. Высокая равномерность вращения при этом достигается благодаря синусоидальной коммутации токов в фазах двигателя.

Такой двигатель характеризуется прямым преобразованием энергии в механическое движение без дополнительных механических редукторов и передач. Он обладает высоким точностным разрешением и высокой плавностью перемещения, простотой встраивания в технологическое оборудование, полым валом, при необходимости достаточно большого диаметра.

В отличие от синхронных двигателей серии RSMS-M36, которые обладают одной степенью свободы независимо от количества сегментов, в рассматриваемой системе перемещений необходимо использовать кольцевой двигатель на той же элементной базе, но в инверсном исполнении по отношению к исходному конструктиву. Подвижное кольцо ротора прототипа выполняется неподвижным с магнитными дорожками как по образующей, так и по торцевой поверхности. Сегменты при этом будут подвижными и автономно управляемыми, перемещение каждого из которых по кольцевому уже в этом случае статору программируется отдельно. Конструктивное исполнение такого кольцевого двигателя с одним подвижным сегментом показано на фотографии, приведенной на рис. 4.

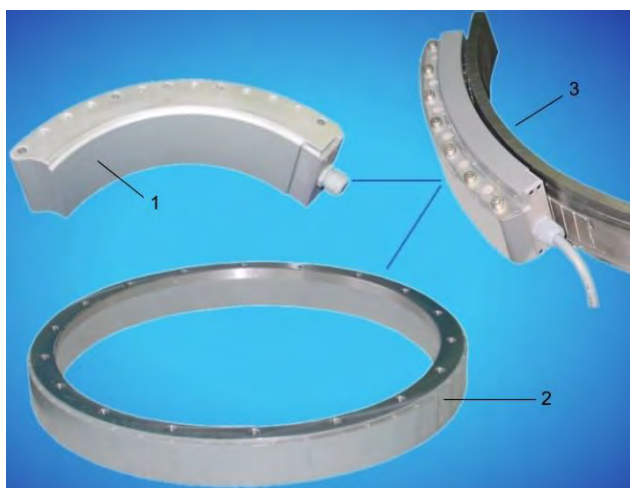


Рис. 4. Кольцевой двигатель с одним подвижным сегментом:  
1 – подвижный сегмент; 2 – кольцевой статор

Число фазных модулей в сегменте может быть от одного до шести. Изготавливать сегменты с числом фазных модулей больше шести нецелесообразно из-за возможной геометрической интерференции при работе сегментов на одном статоре. Учитывая характеристики фазных модулей, встраиваемых в отдельные сегменты, и методику блочно-модульного построения исполнительных двигателей для прецизионных координатных систем, может быть выполнен расчет типоряда кольцевых двигателей, предназначенных для использования в прецизионных многокоординатных системах перемещений, построенных на механизмах параллельной кинематики.

**Модель операции совмещения.** Координатная система перемещений, предназначенная для операции совмещения в составе сборочного оборудования реализует основную позиционную операцию по совмещению координат инструмента и заготовки [4]. Наиболее ответственным в технологическом цикле сборки является распознавание СТЗ положения кристалла в корпусе, по результатам которого формируется файл координатного множества для реализации операции совмещения системой перемещений конкретного оборудования.

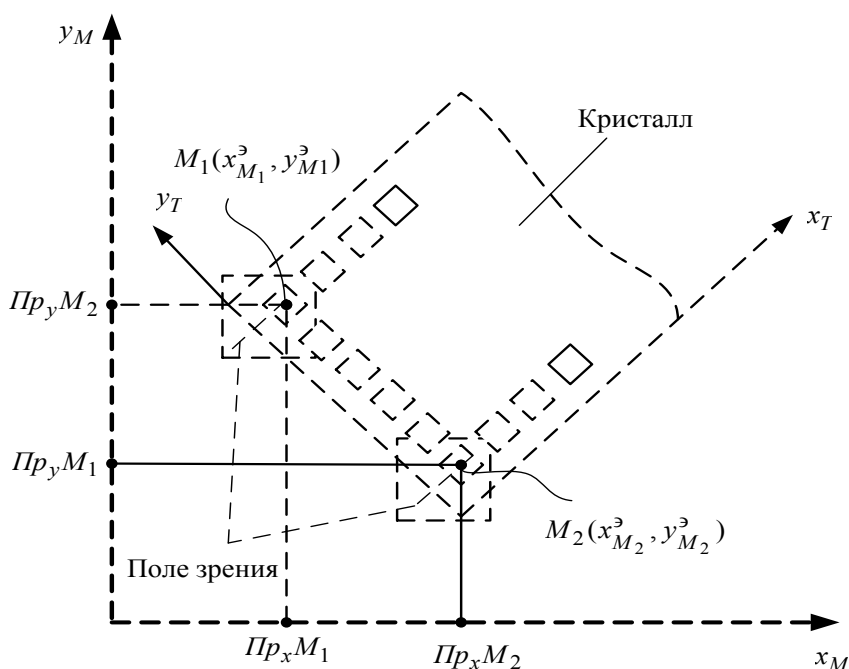


Рис. 5. Расчётная модель операции совмещения

Изменение положения ТВ-датчика (СТЗ) относительно кристалла осуществляется координатной системой, при этом ее исходному положению соответствует координатная характеристика центра контактной площадки, расположенной в левом верхнем углу кристалла. Для этой контактной площадки ее геометрия и координаты центра рассчитаны на предыдущем этапе. Пусть это будут координаты  $x_{M_1}, y_{M_1}$  (рис. 5). После этого координатная система перемещает предметный стол с пластиной по координате  $y$  в положение  $x_{M_1}, y_{M_2}$ , где выполняется распознавание положения и ориентации второй контактной площадки. Далее по предложенному алгоритму определяются взаимные координатные смещения этих двух контактных площадок  $\Delta x_{1T}, \Delta y_{1T}$  и  $\Delta x_{2T}, \Delta y_{2T}$  соответственно.

Дальнейшее совмещение по результатам распознавания и привязке к системе координат установки производится по соответствующим проекциям точек  $M_1$  и  $M_2$ , заданных в системе координат кристалла  $x_T, y_T$ . При этом соответствующие проекции вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \text{Пр}_x M_1 &= \Delta x_{T_1} k_x; & \text{Пр}_y M_1 &= \Delta y_{T_1} k_y; \\ \text{Пр}_x M_2 &= \Delta x_{T_2} k_x; & \text{Пр}_y M_2 &= \Delta y_{T_2} k_y, \end{aligned}$$

где  $\Delta x_{T_1}, \Delta y_{T_1}, \Delta x_{T_2}, \Delta y_{T_2}$  – соответствующие оптические представления координат смещения точек  $M_1$  и  $M_2$  в ТВ-датчике;  $k_x, k_y$  – соответственно коэффициенты масштабирования пространственной и телевизионной систем координат в направлениях координатных осей  $x$  и  $y$ .

Расчет коэффициентов масштабирования  $k_x$  и  $k_y$  осуществляется следующим образом. Для коэффициента  $k_x$  вначале измеряется разность пространственных координат двух точек  $\Delta x_M$ , а затем измеряется разность этих же координат  $\Delta x_T$ , полученная оптической системой ТВ-датчика. Коэффициент масштабирования  $k_x$  при этом будет равен

$$k_x = \frac{\Delta x_M}{\Delta x_T}.$$

Аналогично определяется коэффициент масштабирования  $k_y$ :

$$k_y = \frac{\Delta y_M}{\Delta y_T}.$$

Для расчета угла разворота распознаваемого кристалла относительно эталонного необходимо определить координаты двух точек на данном кристалле, соответствующих выбранным точкам на эталоне:

$$\begin{aligned} x_{M_1}^p &= x_{M_1}^3 + \Delta x_{T_1} \cdot k_x; & y_{M_1}^p &= y_{M_1}^3 + \Delta y_{T_1} \cdot k_y; \\ x_{M_2}^p &= x_{M_2}^3 \pm \Delta x_{T_2} \cdot k_x; & y_{M_2}^p &= y_{M_2}^3 \pm R, \end{aligned} \quad (1)$$

где знаки  $\Delta x_{T_2} \cdot k_x$  и  $R$  зависят от направления осей телевизионной системы;

$$\begin{aligned} x_{M_1}^3 &= x_{M_2}^3; \\ R &= \sqrt{(x_{M_1}^3 - x_{M_2}^3)^2 + (y_{M_1}^3 - y_{M_2}^3)^2} = |y_{M_1}^3 - y_{M_2}^3|. \end{aligned} \quad (2)$$

Имея координаты двух фиксированных точек на эталоне и соответствующих им точек на кристалле, можно вычислить косинус и синус угла между распознаваемым и эталонным кристаллами по формулам

$$\cos \alpha = \frac{(y_{M_2}^p - y_{M_1}^p)(y_{M_2}^3 - y_{M_1}^3) + (x_{M_2}^p - x_{M_1}^p)(x_{M_2}^3 - x_{M_1}^3)}{R^2}; \quad (3)$$

$$\sin \alpha = \frac{(y_{M_2}^p - y_{M_1}^p)(x_{M_2}^3 - x_{M_1}^3) - (x_{M_2}^p - x_{M_1}^p)(y_{M_2}^3 - y_{M_1}^3)}{R^2}. \quad (4)$$

Тогда координаты контактных площадок (точек присоединения выводов) рабочего кристалла будут определяться по формулам

$$x_i^p = x_{M_1}^p + (x_i^3 - x_{M_1}^3) \cos \alpha - (y_i^3 - y_{M_1}^3) \sin \alpha; \quad (5)$$

$$y_i^p = y_{M_1}^p + (x_i^3 - x_{M_1}^3) \sin \alpha - (y_i^3 - y_{M_1}^3) \cos \alpha, \quad (6)$$

где  $(x_i^p, y_i^p)$  – координаты  $i$ -й контактной площадки распознаваемого кристалла;  $(x_i^3, y_i^3)$  – координаты  $i$ -й контактной площадки эталона; а  $\cos \alpha$  и  $\sin \alpha$  рассчитаны по формулам (3) и (4) соответственно.

**Структура системы управления.** Контроль состояния объекта обработки, находящегося на подвижной каретке, осуществляется по результатам цифровой обработки информации от СТЗ, получаемой в блоке распознавания. При этом в компьютере установки совместно обрабатываются текущее состояние контроллера и результаты блока распознавания.

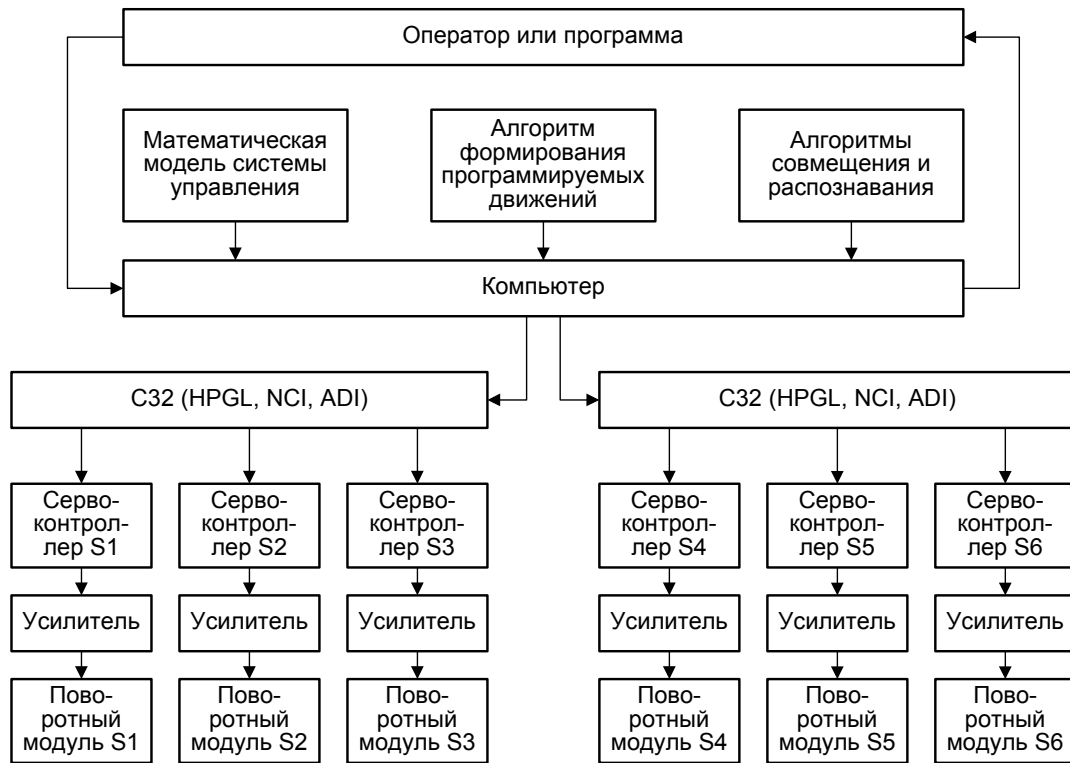


Рис. 6. Структурная схема системы управления

В процессе выполнения технологической сборочной операции каретка с пластиной или кристаллом перемещается в рабочем пространстве по трем линейным и трем угловым координатам в зависимости от команд, поступающих от контроллера на силовые приводы. Команды, в свою очередь, формируются по результатам цифровой обработки информации, полученной от системы технического зрения.

Как правило в сборочном оборудовании ТВ-датчик СТЗ фиксируется рядом с инструментом сборки. Это позволяет устанавливать параллельно или совмещать систему координат датчика и пространственную систему координат объекта, связанную с кареткой шестистепенного манипулятора. Последний должен обеспечивать достаточную ортогональность плоскости объекта и оптической оси датчика, необходимую для качественного распознавания плоского изображения объекта.

Аппаратная конфигурация системы управления разработанной системы перемещений с шестью степенями свободы реализована на основе контроллера LSMC-х, соз-

данного и серийно выпускаемого на предприятии «Рухсервомотор». Структурная схема системы управления представлена на рис. 6.

В полностью автоматической конкретной установке сборочного оборудования программно решается задача автоматического совмещения систем координат кристалла в одной рамке и каретки манипулятора системы совмещения [5, 6] путем введения автоматической коррекции расстояния между инструментом и объективом ТВ-датчика, которая выполняется по результатам решения прямой и обратной задач кинематики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дайняк, И.В. *Интегрированная система многокоординатных перемещений для сборочного оборудования микроэлектроники* / И.В. Дайняк, Д.Г. Бегун, В.В. Поляковский // *Вестник ПГУ. Сер. В. Промышл.. Прикл. науки.* – 2014 г. – № 11. – С 59–64.
2. *Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования* / В.В. Жарский [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
3. Карпович, С.Е. *Системы перемещений на основе привода прямого действия : моногр.* / С.Е. Карпович, В.В. Жарский, И.В. Дайняк. – Минск : БГУИР, 2008. – 239 с.
4. Heimann, B. *Mechatronika. Komponenty, metody, przyklady* / B. Heimann, W. Gerth, K. Popp. – Warszawa : PWN, 2001. – 351 s.
5. Shetty, D. *Mechatronics System Design* / D. Shetty, R. Kolk. – Cengage Learning, 2010. – 504 p.
6. *Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications* / T. Sobh [et al]. –Springer Science & Business Media, 2007. – 552 p.

E-mail: [mmts@bsuir.by](mailto:mmts@bsuir.by)

Поступила в редакцию 30.10.2016