

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

д.т.н. ¹Карпович С.Е., асп. ¹Зубов Г.А., асп. ¹Форутан М.М.,
асп. ¹Салманзадех Г.

¹УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»

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.

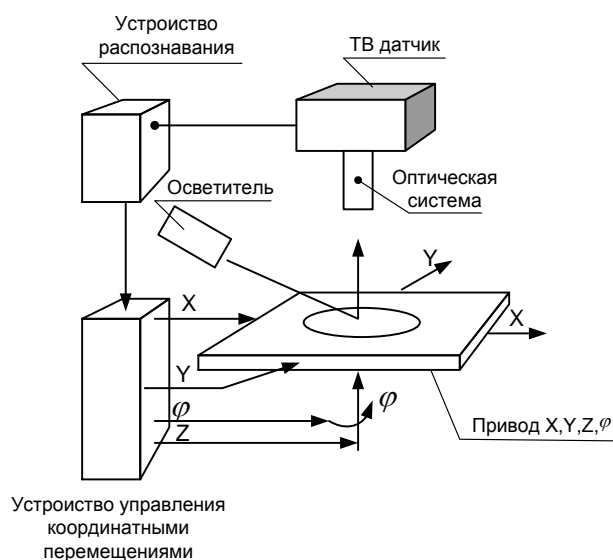


Рис. 1. Структурная схема системы совмещения

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 положения 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, φ 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, φ 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, φ 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].

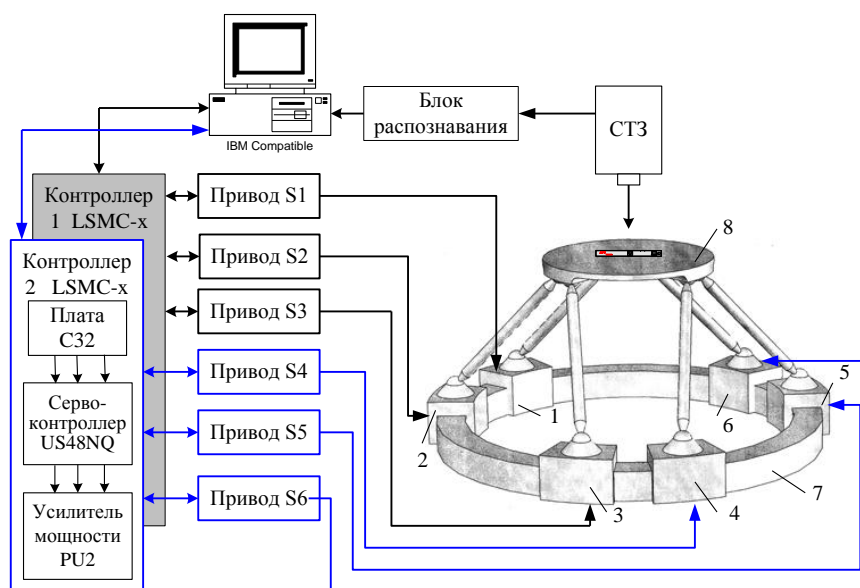


Рис. 2. Структура шестикоординатной системы перемещений

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

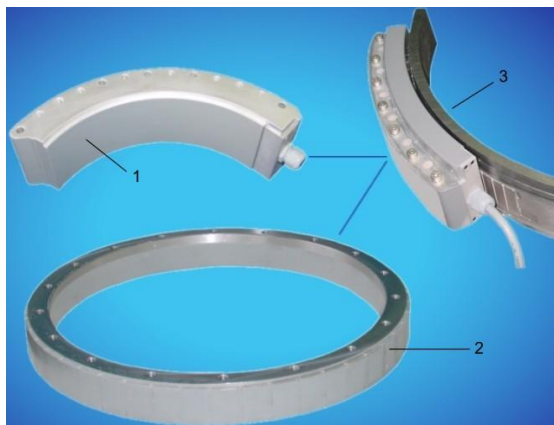


Рис. 4. Кольцевой двигатель с одним подвижным сегментом:
1 – подвижный сегмент; 2 – кольцевой статор;

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.

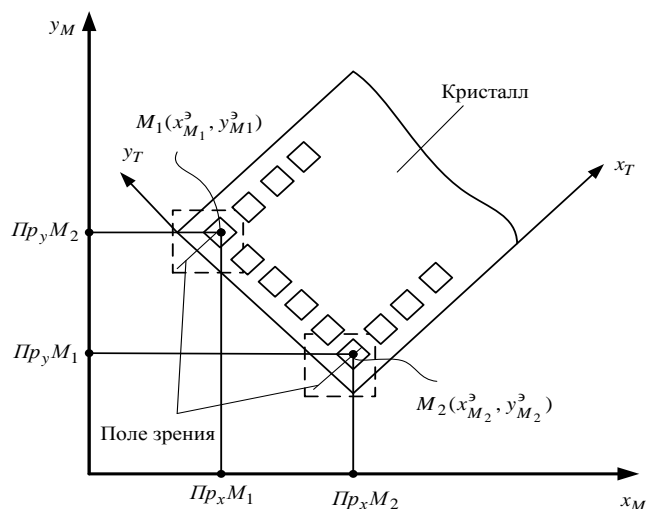


Рис. 5. Расчётная модель операции совмещения

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 Δx_M , а затем измеряется разность этих же координат Δx_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 $\Delta x_{T_2} \cdot k$ 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.

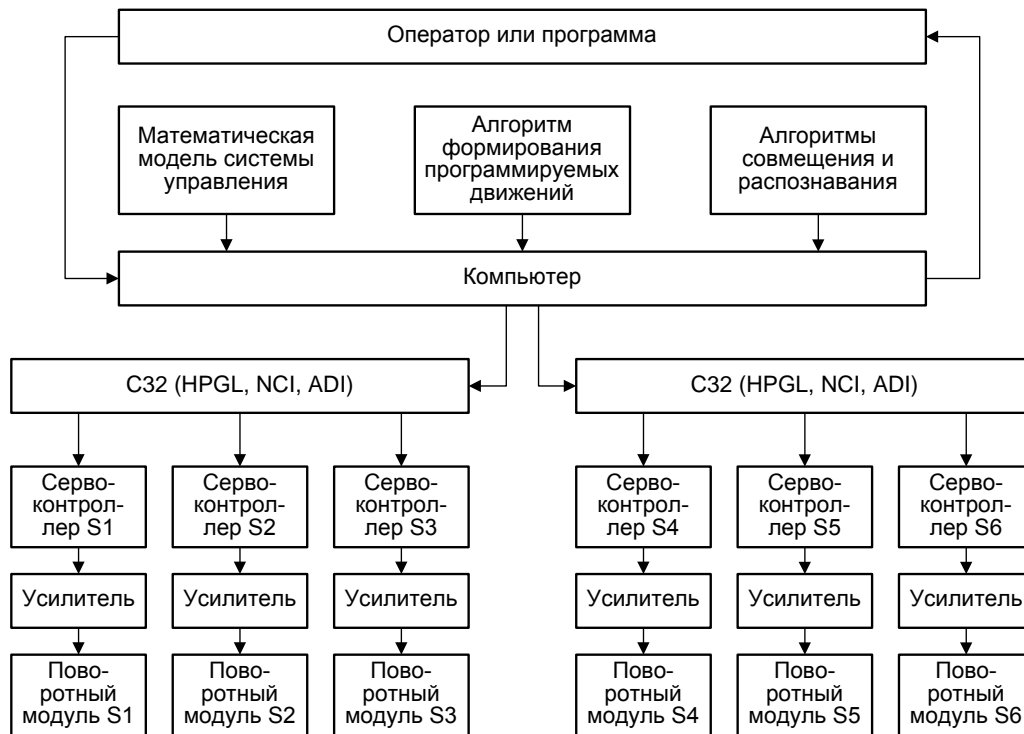


Рис. 6. Структурная схема системы управления

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 ре-

зультатам 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, созданного 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.

РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается предложенная прецизионная система перемещений для сборочного оборудования в микроэлектронике, построенная на механизме параллельной кинематики с шестью степенями свободы и шестикоординтном приводе прямого действия. Представлена аппаратная конфигурация системы управления.

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.

SUMMARY

The article discusses the proposed precision motion system in microelectronic assembly equipment, built on parallel kinematics mechanism with six degrees of freedom and

sixcoordinate drive direct action. Presented hardware configuration management system.