

Отображаемая трехмерная модель параллельного механизма напрямую отражает динамическое состояние механической системы и является удобным средством тестирования поведения исполнительных платформ в движении.

Разработанная и реализованная в среде MATLAB/Simulink динамическая модель параллельного механизма на трех планарных позиционерах позволяет осуществлять решение как прямой, так и обратной задачи динамики в зависимости от задаваемых входных переменных и параметров моделирования.

Разработанная динамическая модель базируется на уравнениях связи силовых характеристик многокоординатного привода с текущим пространственным положением и перемещениями рабочей платформы в трехмерном пространстве. Динамическая модель в среде MATLAB/Simulink строится в виде блок-схемного описания механической структуры с помощью соответствующих функциональных элементов. Массогабаритные параметры структурных частей задаются в соответствующих настроечных формах. В процессе компьютерного моделирования автоматически осуществляется преобразование блок-схемы в эквивалентную математическую модель на базе одного из типов уравнений Ньютона, Лагранжа, Ньютона–Эйлера или других [5], имеющихся в MATLAB/Simulink. Поддержка интеграции с CAD-платформами такими, как Pro/ENGINEER, SolidWorks, Autodesk Inventor и др. позволяет автоматически импортировать структурно-параметрическое описание модели исполнительного механизма в среду MATLAB/Simulink.

Численные результаты имитационного моделирования базового механизма параллельной кинематики, полученные по разработанной в среде MATLAB/Simulink программе, включая координатное представление текущего состояния платформы и механизма в целом, изменение скорости и ускорения движения платформы по всем шести независимым координатам, позволяют получить полный набор расчетных силовых характеристик, необходимых для выбора исполнительных двигателей многокоординатного электропривода.

Разработанная имитационная модель динамики может быть так же использована для моделирования других реконфигурируемых механизмов параллельной кинематики, представляемых в виде модульного описания их механической структуры в среде MATLAB/Simulink. Она позволяет выполнить решение прямой и обратной задач динамики с интерактивной визуализацией пространственных состояний всех подвижных звеньев при реализации прецизионных программируемых движений.

Список использованных источников:

1. Карпович, С.Е. Имитационное моделирование кинематики системы перемещений с интерактивной визуализацией результатов / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, М.М. Форутан // Докл. БГУИР – Минск, 2016. – № 3. – С 22–28.
2. Кинематика системы перемещений с шестью степенями свободы / А.Ю. Войтов, В.В. Кузнецов / Научно-практический журнал «Аспирант». 2016. №1. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 74–77.
3. 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.
4. Прецизионная система перемещений для оптико-механического оборудования микроэлектроники / И.В. Дайняк [и др.] // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 24–32.
5. Shetty, D. Mechatronics System Design / D. Shetty, R. Kolk. – Cengage Learning, 2010. – 504 p.

## МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ТОПОЛОГИИ ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Тутко Д. С.*

*Карпович С. Е. – д-р. техн. наук, профессор*

Рассматривается метод автоматизированного контроля топологии планарных структур основанный на системе динамического автосовмещения реального и эталонного изображений, который позволяет получить гарантированную устойчивость автосовмещения с запасом удовлетворяющим потребностям установок контроля топологий ЭМ-6029Б и ЭМ-6329.

Параллельно с системой детектирования дефектов [1] при динамическом автосовмещении работают еще две системы, предназначенные для улучшения достоверности контроля и устранения ложных дефектов - система динамического автосовмещения реального и искусственного изображений, а также система распознавания края элемента и маскирования краевых несовпадений. Система динамического автоматического совмещения предназначена для устранения локальных рассовмещений реального и искусственного изображений, которые не устраняются в результате работы других систем компенсации погрешностей устройства управления линейными шаговыми двигателями, таких как системы компенсации немасштаба, неперпендикулярности и т.д. Это касается погрешностей, обусловленных неоднородностью материалов, климатическими факторами, искажением геометрических размеров подложек и т.п.

Система динамического автосовмещения представляет собой многоканальный компаратор, который на

каждом шаге работы детектора дефектов анализирует контекст топологии в окрестности детектируемой точки и определяет количество несовпадений на площади порядка  $0,125 \text{ мм}^2$  при принудительном рассовмещении изображений в диапазоне  $\pm 1$  или  $\pm 2$  пикселя. В результате на каждом шаге выполняется попытка более точного совмещения изображений в восьми направлениях относительно координатных осей X, Y:

$$+X, +Y, -X, -Y, +X+Y, +X-Y, -X-Y, -X+Y.$$

Установка оснащена автоматической системой распознавания ложных дефектов на краях элементов топологии. Эта система может включаться и выключаться путем подачи команды оператором с клавиатуры. Система позволяет маскировать несовпадения в диапазоне  $\pm 0,5 \text{ мкм}$  или  $\pm 1,0 \text{ мкм}$  при пороге обнаружения  $\pm 0,5 \text{ мкм}$ ,  $\pm 1,0 \text{ мкм}$ ,  $\pm 2,0 \text{ мкм}$  или  $\pm 4,0 \text{ мкм}$ . Эта система позволяет автоматически избавиться от большого количества ложных дефектов, возникающих на некоторых фотошаблонах из-за неровности края, ухода размеров и координат элементов топологии. Следует отметить, что производительность автоматического контроля при включении данной системы не уменьшается.

Система маскирования ложных дефектов работает на основании информации, получаемой от устройства распознавания края элемента, которое на каждом шаге работы детектора дефектов вырабатывает признак края элемента, который принимает значение «1» при компарировании края элемента и значение «0» - в противном случае. Эта система, при вводе соответствующего признака оператором-технологом, позволяет маскировать несовпадения реального и искусственного изображений в диапазоне  $\pm 1$  или  $\pm 2$  пикселя относительно положения края элемента искусственного изображения. В результате появляется возможность снизить чувствительность установки на краях элементов, что позволяет контролировать топологию изделий для которых допускается более высокая неровность края элементов и не регистрировать большое количество ложных дефектов на краях элементов топологии.

Дополнительной составляющей системы устранения ложных дефектов является система коррекции эталонного изображения, которая позволяет компенсировать технологические припуски на размеры элементов, связанные с подбором режимов проявления и травления.

Предложенный метод совмещения позволяет минимизировать количество ложных дефектов и реализуется путём оснащения оборудования для автоматического контроля топологии рядом систем компенсации погрешностей совмещения эталонного и реального изображений:

- системой привязки координатной системы установки к эталонной координатной системе;
- системой динамического автосовмещения реального и эталонного изображений;
- системой маскирования несовпадений на краях элементов топологии.

Как показали испытания установок ЭМ-6029Б и ЭМ-6329, в которых реализован предложенный метод компенсации погрешностей рассовмещения реального и эталонного изображений, этот метод позволяет иметь гарантированную устойчивость в диапазоне рассовмещений  $\pm 4$  элемента разложения, что с запасом удовлетворяет потребностям, возникающим при самых жестких режимах эксплуатации оборудования. в частности при изменении температуры окружающей среды в диапазоне до  $2^\circ\text{C}$  в час.

Список использованных источников:

1. Аваков, С.М. Автоматический контроль топологии планарных структур / С.М. Аваков. – Минск : ФУАинформ, 2007. – 168 с.
2. Alfred, K.W. Resolution Engancement Techniques in Optical Lithography. SPIE PRESS, USA, 2001. – pp. 1–213.

## **БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЛГОРИТМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ СТРУКТУР СБИС**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Тутко Е.А.*

*Карпович С. Е. – д-р. техн. наук, профессор*

Представлены быстродействующие алгоритмы детектирования дефектов, которые основаны на объектно-ориентированном подходе анализа дефектов с минимальной логической сложностью и расширением структурных данных о топологии при незначительном изменении аппаратного обеспечения.

Полномасштабная реализация параллельного процесса автоматического контроля топологии планарных структур СБИС возможна только на базе разработки высокоскоростных алгоритмов детектирования дефектов, позволяющих получить требуемую производительность обработки информации. Объектно-ориентированный подход к разработке алгоритмов обнаружения дефектов обеспечивает существенное повышение производительности. Этот подход позволяет получать алгоритмы с максимально высоким быстродействием и минимальной логической сложностью. Соответственно, существенно упрощается аппаратная реализация этих алгоритмов. Скорость обработки информации при таком подходе может превышать скорость получения этой информации системой формирования изображения (скорость формирования изображения может составлять 200-600 Мпикс/с) и достигать порядка 10-100 Гпикс/с.

За счёт большого запаса по производительности появляется возможность иметь оригинальные, но унифицированные с точки зрения исполняемого кода, алгоритмы для различных типов топологии и,