

ПОСТРОЕНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

асп. ¹ Поляковский В.В.

¹УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»,
Минск

Введение. Современные тенденции в приборостроении, микро- и нанoeлектронике требуют от производителя все более широкий спектр элементной базы оборудования, при этом требования к интегральным схемам (ИС) с каждым годом растут. Разработка таких ИС требует создание все более сложных и специализированных производств, которые должны иметь возможность быстрой перенастройки согласно требованиям технологических процессов. Одним из способов организации таких производств является внедрение специализированных кластерных технологических линий, которые представляют собой связанные в единую систему комплексы из N модулей, выполняющие различные технологические задачи. Одним из ключевых решений таких систем является обеспечение транспортной связанности модулей комплекса, которая достигается с помощью специализированных систем перемещений, выполняющих перемещение изделия по запрограммированной последовательности технологических операций [1-3]. В данной статье рассмотрен подход построения транспортных систем для такого рода комплексов, а также предложены алгоритмы формирования программируемых движений.

Транспортная система на базе планарных шаговых двигателей. В НИЧ БГУИР «Мехатроника и Микросистемы» была предложена концепция модульного построения транспортной системы для производственных комплексов изделий микро- и нанoeлектроники. Общая структурная схема такого комплекса представлена на рисунке 1. Предложенный модульный подход подразумевает формирование необходимой структуры транспортной системы перемещения из базового модуля, в качестве которых выступает планарный линейный шаговый двигатель (ПЛШД), получивший широкое применение и зарекомендовавший себя как система координатных перемещений сборочного оборудования производства изделий микро- и нанoeлектроники.

На рисунке 1 схематически представлен производственный комплекс, содержащий несколько технологических модулей, транспортная связь между которыми осуществляется с помощью пяти ПЛШД.

В общем случае такие системы могут содержать N планарных позиционеров, которые выполняют согласованные программируемые перемещения по заданным траекториям согласно технологическому процессу, позволяя перемещать образец из одного технологического модуля в другой, при этом позиционируя его с точностью до 5 мкм [1, 4].

В зависимости от требуемой технологической операции, каждый их планарных позиционеров может дополнительно оснащаться локальными линейными или поворотными системами перемещений для обеспечения дополнительных степеней свободы изделия, его подъема, поворота в технологических модулях.

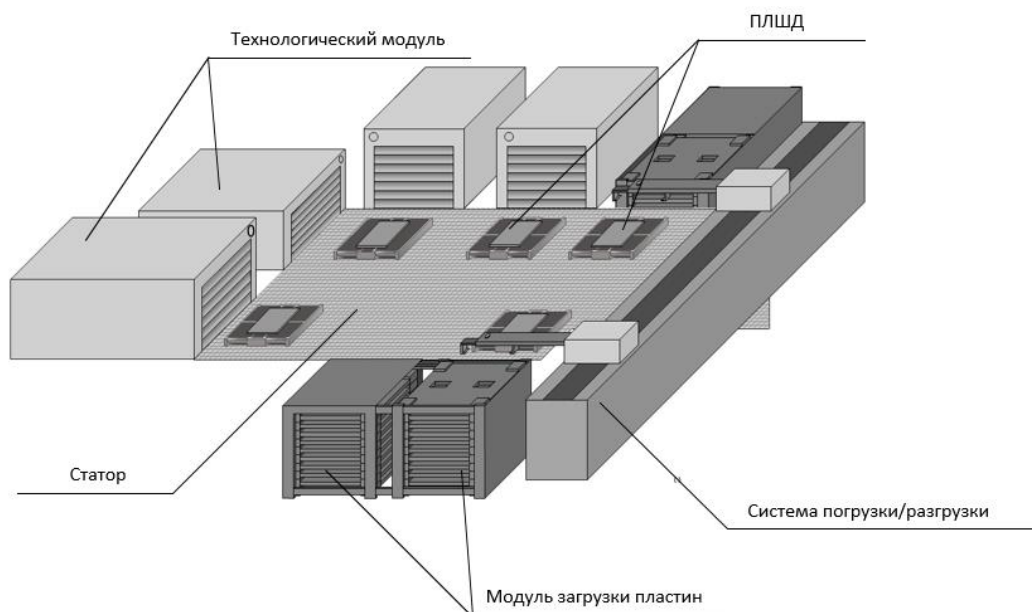


Рис. 1. Производственный комплекс для микро- и нанoeлектроники

Алгоритмы формирования программируемых движений. При разработке алгоритмов управления транспортными системами на базе мультикоординатных планарных систем перемещений ключевым решением являлся алгоритм формирования бесколлизийных перемещений N планарных позиционеров на одном статоре. При этом алгоритм должен обеспечивать требования мультиплицирования, т.е. использования в системе любого произвольного количества базовых элементов ПЛШД.

Представленный в работе алгоритм анализа и предотвращения коллизий для N планарных ЛШД основан на том [5, 6], что каждый позиционер представляется его проекцией на плоскость статора в виде геометрического места, ограниченного подвижным четырехугольником. Рассмотрим приложенный алгоритм на примере системы из двух планарных ЛШД. Геометрическая модель разработанного алгоритма представлена на рисунке 2.

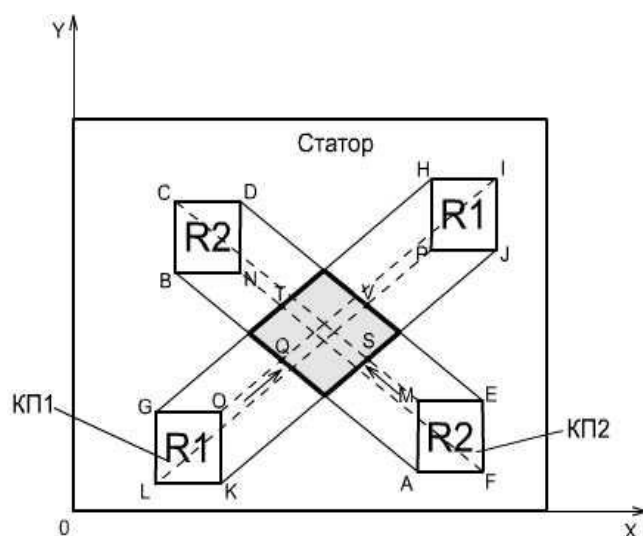


Рис. 2. Геометрическая модель анализа коллизий двух планарных ЛШД на одном статоре

Внешний прямоугольный контур определяет рабочее поле статора, в пределах которого возможно движение координатных позиционеров (КП). Четырехугольники LGOK и AMEF определяют геометрическое место на статоре, которое занимают в данный момент времени позиционеры КП1 и КП2 соответственно. Геометрические

зоны на статоре, в которых происходит перемещение позиционеров от начальной точки к конечной в работе принято называть шлейфами. Так, для позиционера КП1 шлейфом является шестиугольник $KLGHJ$, для позиционера КП2 – $ABCDEF$.

Не нарушая общности решения поставленной задачи, нами разработан алгоритм анализа и предотвращения коллизий для двух координатных позиционеров КП1 и КП2 имеющих форму квадрата со стороной L , при их прямолинейном движении от начального положения к конечному.

Параметрические уравнение перемещения любой точки позиционера в выбранной системе координат XOY имеют вид:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t, \\ y = y_0 + v_y t, \end{cases} \quad (1)$$

где $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ – скорость позиционера на траектории в виде прямой.

При этом уравнение траектории будет иметь вид:

$$y = k \cdot x + b, \quad (2)$$

где $k = \operatorname{tg} \phi = \frac{v_x}{v_y}$ – угловой коэффициент траектории движения.

Если заданы начальная и конечная точки перемещения, то постоянные параметры прямой (2) рассчитываются по формулам:

$$k = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}, \quad (3)$$

$$b = y_0 - \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} x_0, \quad (4)$$

где x_0, y_0 – координаты начальной точки перемещения; x_1, y_1 – координаты конечной точки перемещения.

В этом случае значения v_x и v_y будут определяться по формулам:

$$\begin{cases} v_x = v \cdot \cos \phi \\ v_y = v \cdot \sin \phi, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$\phi = \begin{cases} \operatorname{arctg}\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 \geq 0, \\ 180 + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, по заданным начальным и конечным точкам движения позиционеров однозначно определяем уравнения их траекторий.

Областью на статоре, где возможно столкновение позиционеров, является геометрическое место пересечения шлейфов движения позиционеров (на рисунке 1 эта область выделена серым цветом). В соответствии с принятым в алгоритме правилом приоритетов, преимущество в движении имеет тот позиционер, который первым вошел в общую зону.

Моменты времени входа позиционеров в общую зону можно рассчитать по следующим формулам:

$$t_{1in} = \frac{\sqrt{(X_{in1} - X_{10})^2 + (Y_{in1} - Y_{10})^2}}{V_1}, \quad (7)$$

$$t_{2in} = \frac{\sqrt{(X_{in2} - X_{20})^2 + (Y_{in2} - Y_{20})^2}}{V_2} \quad (8)$$

где X_{in1}, Y_{in1} – координаты центра позиционера КП1 при входе в общую зону; X_{10}, Y_{10} – координаты центра позиционера КП1 в начальном положении; X_{in2}, Y_{in2} – координаты

центра позиционера КП2 при входе в общую зону; X_{20}, Y_{20} – координаты центра позиционера КП2 в начальном положении; V_1, V_2 – скорость движения позиционера КП1 и КП2 соответственно.

Сравнивая полученные по формулам (7) и (8) значения моментов времени входа и выхода в общую зону, принимаем решение о приоритетах движения позиционеров.

Предположим, что $t_{in1} < t_{in2}$. Тогда, в соответствии с выше сказанным, приоритет движения имеет позиционер КП1, т.е. он может двигаться без остановок. Позиционер КП2 должен остановиться у входа в общую зону на время Δt , определяемое по следующей формуле:

$$\Delta t = t_{out1} - t_{in2}. \quad (9)$$

где t_{out1} – момент времени выхода позиционера КП2 из общей зоны.

В момент времени $t = t_{in2} + \Delta t$ позиционер КП2 может продолжить свое движение.

Для мультикоординатной системы перемещения, включающей N планарных позиционеров, необходимо производить расчет времени остановки у входа в общую зону для каждой пары позиционеров. Так, для позиционера КП1 полный расчет времен остановки у входа в общую зону будет производиться по следующей формуле:

$$\left[\begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{12} = t_{out21} - t_{in12}, \text{ при } t_{in12} > t_{in21}, \\ \Delta t_{12} = 0, \text{ при } t_{in12} \leq t_{in21}. \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{13} = t_{out31} - t_{in13}, \text{ при } t_{in13} > t_{in31}, \\ \Delta t_{13} = 0, \text{ при } t_{in13} \leq t_{in31}. \end{array} \right. \\ \dots\dots\dots \\ \left\{ \begin{array}{l} \Delta t_{1i} = t_{outi1} - t_{in1i}, \text{ при } t_{in1i} > t_{ini1}, \\ \Delta t_{1i} = 0, \text{ при } t_{in1i} \leq t_{ini1}. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (10)$$

где $\Delta t_{12}, \Delta t_{13}, \dots, \Delta t_{1i}$ – время остановки у входа в общую зону позиционеров КП1 и КП2, КП1 и КП3, КП1 и КП i соответственно; t_{in12}, t_{ini} – время входа позиционера КП1 в общую зону позиционеров КП1 и КП2, КП1 и КП i соответственно; t_{in21}, t_{ini1} – время входа позиционера КП2 и КП i соответственно в общую зону с позиционером КП1; t_{out21}, t_{outi1} – время выхода позиционера КП2 и КП i соответственно из общей зоны с позиционером КП1.

Аналогичное выражение для расчета времен остановки у входа в общие зоны можно составить и для других позиционеров системы. Таким образом, предложенный алгоритм формирования бесколлизийных перемещений масштабируется для системы из N планарных ЛШД, что позволяет обеспечить эффективное управление производственного комплекса на базе планарных шаговых двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жарский, В.В. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования : монография / С.Е. Карпович [и др.] ; под. ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
2. Поляковский, В.В. Анализ и предотвращение коллизий планарных позиционеров в системе перемещений Трипланар / В.В. Поляковский [и др.] // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 65–71.
3. Карпович, С.Е. Системы многокоординатных перемещений на механизмах параллельной кинематики : монография / С.Е. Карпович, И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, М.М. Форустан, Д.С. Титко, В.В. Поляковский, В.В. Жарский, Ю.С. Межинский ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2017. – 254 с.

4. Дайняк, И.В. Управление мехатронными системами перемещений в режиме реального времени / И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский, С.К. Дик // *Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика»*. Вып. 33. Минск, 2018. – С. 86–91.
5. Кузнецов, В.В. Интерактивное управление мехатронной системой перемещений на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский, С.К. Дик // *Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика»*. Вып. 32. Минск, 2017. – С. 283–292.
6. Карпович, С.Е. Интерактивный мультимедийный модуль исследования в реальном режиме времени колебательных систем / С.Е. Карпович, В.Н. Нестеренко, А.С. Манин, В.В. Поляковский // *Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика»*. Вып. 32. Минск, 2017. – С. 202–206.