

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ НА ТРЕХ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРАХ

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

Кекиш Н. И., Поляковский В. В., Бежун Д. Г.

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

Представлены результаты исследования структуры и компьютерного моделирования механизма параллельной кинематики на трех планарных позиционерах с шестью степенями свободы.

В системах перемещений и позиционирования в составе оптико-механического оборудования, такого как генераторы изображений, степеры, установки автоматического контроля топологии, в котором требуется реализовать относительное перемещение объекта обработки и инструмента с максимально возможным числом степеней свободы, равным шести, используется параллельное сочетание независимых автономных координатных систем для инструмента и объекта обработки. Ограниченные возможности используемого типоряда базовых модулей, а также необходимость обеспечения требуемой высокой мобильности и высокой манипуляционной способности приводят к использованию координатных систем с кинематической избыточностью. Но увеличение числа степеней подвижности приводит к увеличению числа исполнительных приводов, к необходимости наряду с программным управлением каждым из приводов осуществлять программное их согласование для выполнения конкретной технологической операции. Возникающие при этом технические проблемы по синхронизации управления, по снижению виброактивности, уменьшению габаритов и массы оборудования ограничивают возможность использования их в перспективном оборудовании с топологическими нормами менее 0,25 мкм.

Наиболее полно этим требованиям отвечает исполнительный механизм пространственных перемещений на основе трех планарных позиционеров, идея которого была предложена еще в 1986 г. С. Е. Карповичем [1], но создание пространственной системы перемещений на его основе стало возможным лишь недавно благодаря достижениям микропроцессорной техники и прикладных информационных технологий. В настоящей работе была поставлена задача по разработке математической модели системы пространственных перемещений с шестью степенями свободы на базе предложенного механизма для перспективного прецизионного оптико-механического и сборочного оборудования производства изделий микроэлектроники.

Особенность структуры рассматриваемой системы перемещений (рис. 1) с точки зрения теории механизмов и машин состоит в том, что она содержит: три ведущих звена 1, 2, 3, представляющих собой планарные линейные шаговые двигатели с числом степеней свободы каждого равным двум и обеспечивающих при этом в системе перемещений шесть независимых входных обобщенных координат; группу Ассура третьего класса из звеньев 4, 5, 6, 7, которая, будучи присоединенной к ведущим звеньям 1, 2, 3, не изменяет их суммарного числа степеней свободы, но позволяет в общем случае осуществить преобразование шести независимых попарно ортогональных перемещений трех планарных позиционеров в сложное пространственное перемещение с шестью степенями свободы рабочей площадки 7.

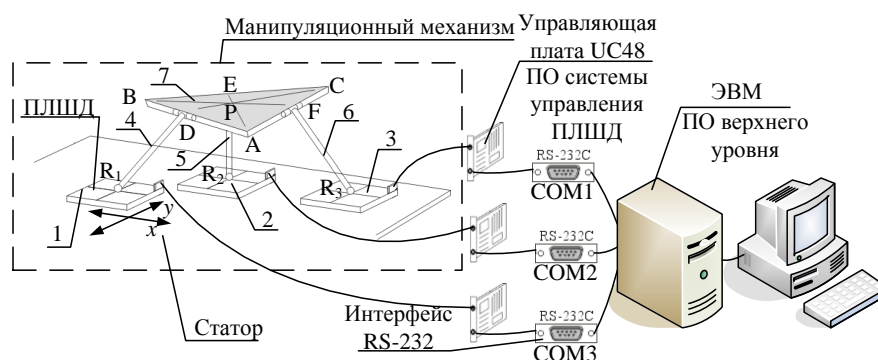


Рис. 1 – Структура системы перемещений с шестью степенями свободы

Линейные координаты x_p, y_p, z_p начала системы координат P рабочей площадки и угловые параметры ориентации площадки, задаваемые углами Эйлера $\varphi_p, \theta_p, \psi_p$, позволяют формировать матрицу четвертого порядка положения и ориентации площадки в отсчетной неподвижной системе координат статора.

Постановка и решение прямой и обратной задач кинематики основывались на уравнениях голономных стационарных связей, определяющих общую конфигурацию исполнительного механизма через точечное его представление в физическом пространстве R^3 . Окончательно было получено девять базовых уравнений, система из которых была принята в качестве математической модели для вычисления искомых переменных параметров в прямой и обратной задачах кинематики. Эта система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
(x_{R1} - x_D)^2 + (y_{R1} - y_D)^2 + (z_{R1} - z_D)^2 &= l^2, \\
(x_{R2} - x_E)^2 + (y_{R2} - y_E)^2 + (z_{R2} - z_E)^2 &= l^2, \\
(x_{R3} - x_F)^2 + (y_{R3} - y_F)^2 + (z_{R3} - z_F)^2 &= l^2, \\
(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 &= a^2, \\
(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2 &= a^2, \\
(x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2 + (z_C - z_A)^2 &= a^2, \\
(x_{R1} - x_D) \cdot (x_B - x_A) + (y_{R1} - y_D) \cdot (y_B - y_A) + (z_{R1} - z_D) \cdot (z_B - z_A) &= 0, \\
(x_{R2} - x_E) \cdot (x_C - x_B) + (y_{R2} - y_E) \cdot (y_C - y_B) + (z_{R2} - z_E) \cdot (z_C - z_B) &= 0, \\
(x_{R3} - x_F) \cdot (x_A - x_C) + (y_{R3} - y_F) \cdot (y_A - y_C) + (z_{R3} - z_F) \cdot (z_A - z_C) &= 0,
\end{aligned}$$

где переменные x, y, z с соответствующими индексами определяют текущие значения координат точек, поименованных в индексе; l – длины «ног» DR_1, ER_2, FR_3 манипуляционного механизма; a – длина стороны равносторонней треугольной площадки, $AB = BC = CA = a$.

Для полного описания конфигурации исполнительного механизма были выбраны необходимые системы координат на каждом подвижном звене. В результате полное описание топологии и конфигурации механизма сводится к матричному заданию взаимного расположения подвижных систем координат на его звеньях, а также к матричному описанию положения всех характерных точек через полученные матричные преобразования с учетом геометрических и кинематических параметров механизма [2].

При решении прямой задачи кинематики задаваемыми являются координаты точек R_1, R_2, R_3 на соответствующих планарных позиционерах, а определяемыми – координаты точек рабочей площадки A, B, C , по которым затем вычисляется матрица четвертого порядка положения и ориентации системы координат площадки 7 [3]. При решении обратной задачи кинематики задаваемыми являются параметры $x_p, y_p, z_p, \varphi_p, \theta_p, \psi_p$, определяющие матрицу четвертого порядка положения и ориентации площадки 7, по которым пересчитываются координаты точек A, B, C , а затем из приведенной системы уравнений определяются координаты точек R_1, R_2, R_3 позиционеров [3]. Решение этой системы уравнений в прямой и обратной задачах кинематики выполнено авторами с помощью соответствующего вычислительного инструментария программной среды MATLAB. Разработанные программы решения прямой и обратной задач кинематики позволяют проводить в среде MATLAB полный комплекс исследований рассматриваемой системы перемещений в интерактивном режиме с необходимой визуализацией, давая возможность разработчику перспективного оборудования осуществлять кинематический анализ и исследование рабочего пространства параллельного механизма по характеристикам скорости, ускорения и точности.

Таким образом, для решения прямой и обратной задач кинематики для манипуляционного механизма системы перемещений на трех планарных позиционерах была разработана математическая модель, основанная на уравнениях голономных стационарных связей, определяющих конфигурацию исполнительного механизма через точечное его представление в физическом пространстве; получено матричное описание положения всех звеньев и характерных точек с учетом геометрических и кинематических параметров параллельного механизма.

Список использованных источников:

1. Карпович, С. Е. Аналитическое исследование тяговых характеристик устройств координатных перемещений на основе линейных шаговых двигателей / С. Е. Карпович // Электронная техника. Серия 7. Технология и оборудование. – 1988. – № 9. – С. 41–46.
2. Моделирование механизмов параллельной кинематики в среде MATLAB/Simulink : моногр. / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк, Е. А. Литвинов. – Минск : Бестпринт, 2013. – 153 с.
3. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования : моногр. / В. В. Жарский, С. Е. Карпович, И. В. Дайняк [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С. Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
4. Поляковский, В. В. Алгоритмы анализа и предотвращения коллизий при движении трех планарных позиционеров на одном статоре / В. В. Поляковский, В. В. Жарский, Г. Н. Алехнович // Теоретическая и прикладная механика. – 2008. – Вып. 23. – С. 227–231.