

## СИСТЕМЫ МНОГОКООРДИНАТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА МЕХАНИЗМАХ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ

проф. Карпович С.Е., д.т.н. Жарский В.В., ст.преп. Алехнович Г.Н.,  
асп. Салманзадех Г.Й.

УО «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники», Минск

**Введение.** Достижения микроэлектроники и связанные с ними успехи микропроцессорной управляющей техники открыли возможность широкого внедрения новых подходов к автоматизации и, в первую очередь, связанных с использованием мехатронных систем, построенных на основе современного многокоординатного бестрансмиссионного привода прямого действия и механизмов параллельной кинематики, обеспечивающих реализацию любых сложных перемещений инструмента или заготовки в трёхмерном пространстве с числом степеней свободы до шести включительно [1].

В статье представлены системы многокоординатных перемещений на механизмах параллельной кинематики, базовыми элементами которых являются многокоординатные системы приводов, построенные на управляемых синхронных шаговых модулях линейного, поворотного и планарного типов и механизмах параллельной кинематики со структурой пространственных групп Ассур третьего класса в виде различных схемных и конструктивных исполнений. Структурно-кинематическое согласование этих элементов в систему многокоординатных перемещений, в конечном итоге, даёт возможность получить всё многообразие последних с возможностью реконфигурирования и адаптации при встраивании в конкретное оборудование [2, 3].

**Система перемещений на треугольном приводе прямого действия.** Система перемещений на треугольном приводе, представленная на рис. 1 состоит из треугольного статора 1 с зубцовой нарезкой по направляющим которой перемещаются подвижные линейные модули 2, 3, ..., 7, движение которых через промежуточные шатуны 8, 9, ..., 13 передаётся на подвижную платформу 14. При этом линейные перемещения шести подвижных модулей преобразуется в сложное движение платформы с шестью степенями свободы.

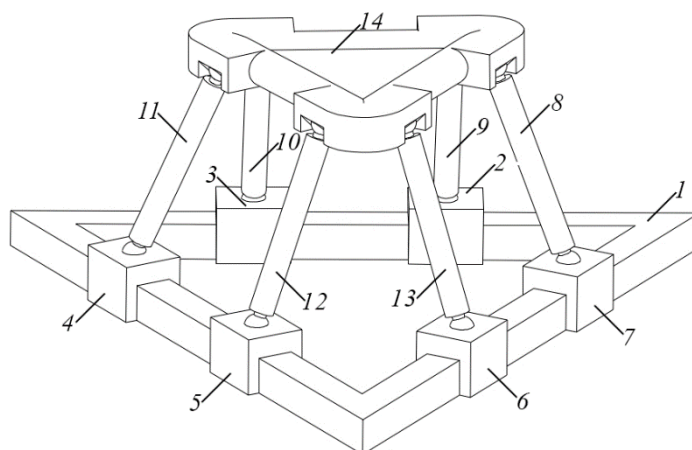


Рис. 1. Система перемещений на треугольном приводе

Принципиальная схема конструкции одного подвижного модуля треугольного линейного шагового двигателя приведена на рис. 2.

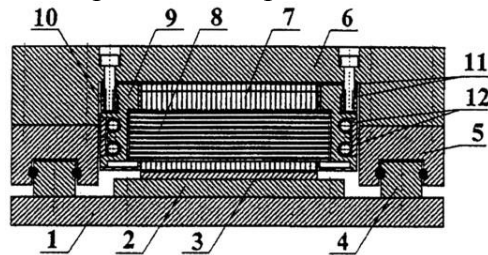


Рис. 2. Конструкция подвижного модуля

Синхронный шаговый двигатель состоит из основания 1, на котором расположен статор, включающий магнитопровод 2 и постоянные магниты 3, расположенные с чередующей полярностью магнитных полюсов вдоль направления перемещения.

На основании 1 закреплены две линейные направляющие 4 с подшипниками 5, на которых с помощью каретки 6 закреплен якорь двигателя. Якорь состоит из ряда П-образных магнитопроводов 7 с обмотками 8 управления, закрепленных с помощью теплопроводящего компаунда и выступов в металлическом немагнитном, например, из дюралюминия, корпусе 9. Корпус 9 с помощью несущей балки 10 крепится к каретке 6 и теплоизолирован от нее и балки 10 посредством прокладок 11. Для подведения потока охлаждающей жидкости корпус 9 снабжен каналами 12.

**Система перемещений на кольцевом сегментном приводе.** Система перемещений на кольцевом сегментном приводе (рис. 3) определяется конфигурацией многокоординатного кольцевого привода с шестью подвижными сегментными модулями.

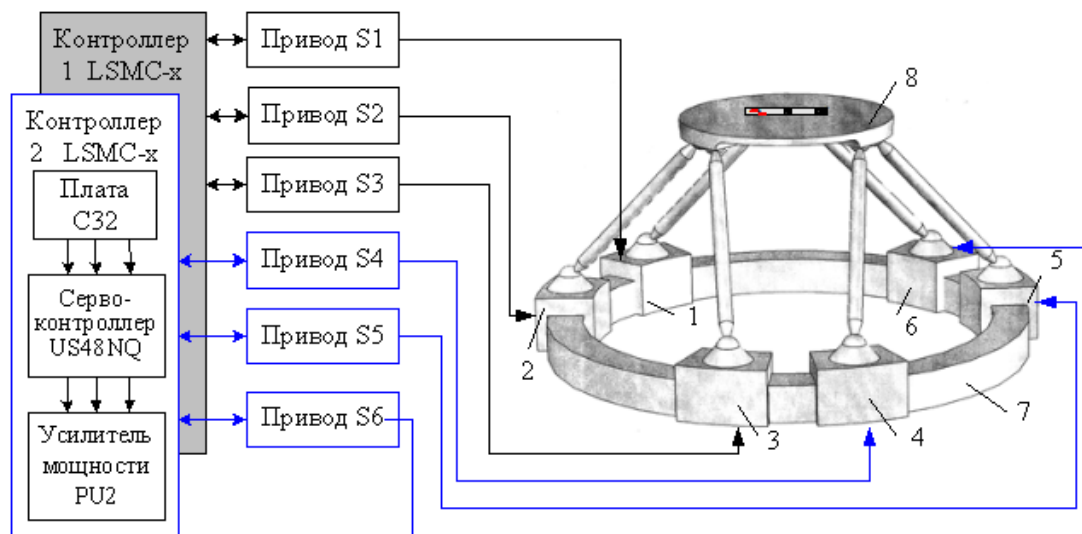


Рис. 3. Система перемещений на кольцевом сегментном приводе

Она является механо-аппаратно-программным комплексом, относящимся к классу мехатронных систем перемещений и состоит из механизма параллельной кинематики со структурой  $n = 7$ ,  $p_3 = 9$  и шестикоординатного кольцевого привода, в котором управление всеми координатами происходит через специальный контроллер от программы верхнего уровня, управляющей ЭВМ.

Система перемещений на кольцевом сегментном приводе (рис. 3) состоит из механизма параллельной кинематики и многокоординатного привода, представляющего гибридную структуру из сегментных синхронных двигателей 1, 2, ..., 6, которые через сферические шарниры передают управляемое движение на рабочую платформу 8.

Исполнительные двигатели в виде подвижных сегментов 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 нами был принят поворотный синхронный сегментный двигатель серии RSMS - M36 (рис. 4), разработанный и выпускаемый на предприятии «Рухсервомотор» (Минск) [2, 3].

Он конструктивно состоит 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. 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.



Рис. 4. Синхронный сегментный двигатель RSMS-M36:  
1, 3 – неподвижные сегменты; 2 – подвижный ротор

На этой базе нами был предложен шестикоординатный сегментный двигатель, полученный из прототипа путем инверсии его механики, когда в качестве неподвижного был принят ротор, а неподвижные сегменты статора были приняты подвижными, автономно управляемыми, число которых может быть, как два, так и более. На основании инверсионной компоновки нами был разработан многокоординатный привод для систем перемещений с числом степеней свободы равным шести (рис. 3). Кроме того, отличительной особенностью таких систем является способность реализации неограниченного поворота вокруг вертикальной оси.

**Система перемещений на планарных приводах прямого действия.** Рассматриваемая система перемещений на планарных приводах прямого действия, представленная на рис. 5, сконфигурирована из многокоординатного привода прямого действия на трёх планарных позиционерах и механизма параллельной кинематики в виде подвижного раскрывающегося тетраэдра.

Она обладает шестью степенями свободы и состоит из группы Ассура третьего класса (звенья 5, 6, 7, 8) и шестикоординатного привода в виде трёх управляемых пла-

нарных позиционеров 1, 2, 3, перемещающихся на одном общем для них плоском стартере 4. Такая конструктивная особенность системы перемещений накладывает специфические требования, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмов для имитационного моделирования её кинематики [3]. Планарный позиционер представляет собой двухкоординатный линейный шаговый двигатель с совмещенными координатами, которые содержат зубчатый ферромагнитный статор и индуктор, выполненный в виде плоского корпуса. Симметрично относительно центра корпуса расположены и закреплены электромагнитные модули каждой координаты. Индуктор находится над статором на небольшом расстоянии порядка 10 – 30 мкм, которое создается благодаря уравниванию сил притяжения индуктора к статору создаваемых за счет электромагнитных модулей и сил отталкивания, создаваемых сжатым воздухом.

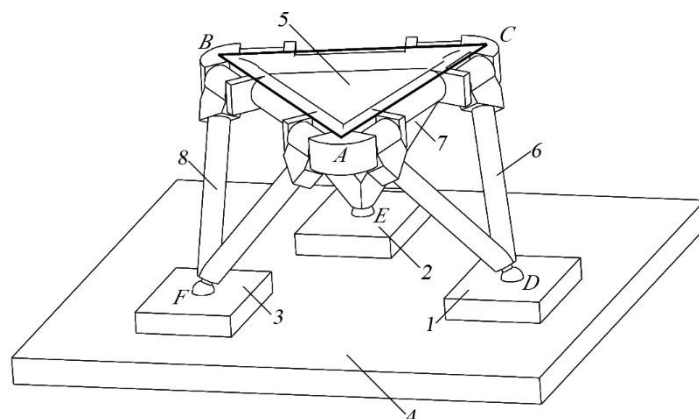


Рис. 5. Система перемещений на трёх планарных позиционерах

Особенность такой конструкции состоит в появлении угловых колебаний индуктора вокруг вертикальной оси, причем амплитуда и частота этих колебаний зависит от температуры. Двухкоординатный планарный позиционер обладает высокими точностными и динамическими показателями за счёт того, что электромагнитные модули выполнены однофазными, что дополнительно позволяет обеспечить их симметрирование относительно осей корпуса, параллельных координатам перемещений. Электромагнитные модули одной координаты позиционера расположены около оси корпуса параллельно другой координате. Такая ортогональная компоновка магнитных модулей позволяет реализовать систему перемещения по двум независимым ортогональным координатам в плоскости перемещения.

Для достижения высоких точностей по координатам и контурным перемещениям используется система измерений на однотипных датчиках линейных перемещений, построенная на базе интерферометров с двухчастотным лазером (рис. 6).

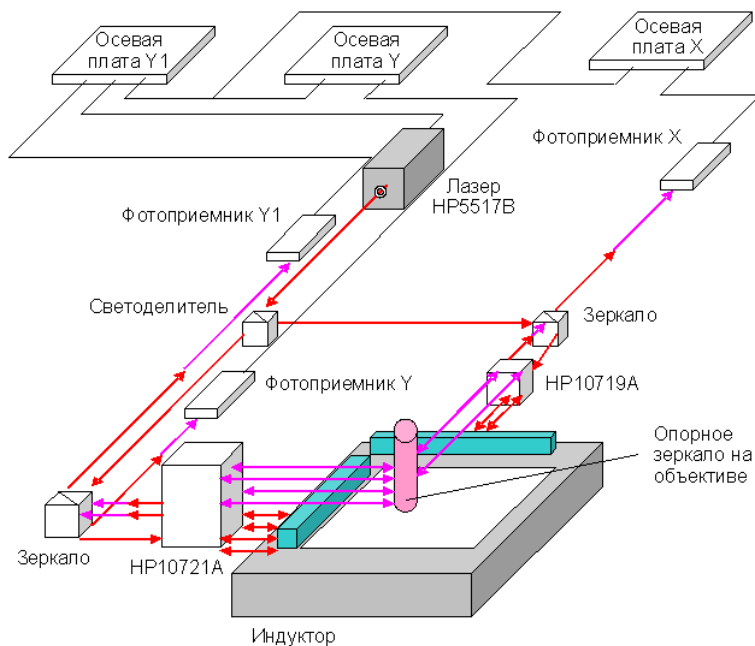


Рис. 6. Позиционная система измерений

Это позволяет при автоматическом управлении реализовывать обратные связи по положению, скорости и ускорения в режиме реального времени и обеспечивать высокую динамику (скорость до 1 м/с, ускорения до 30 м/с<sup>2</sup>) при точности и повторяемости в пределах от 1 до 5 мкм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, С.Е. 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.
2. Жарский, В.В. Планарный привод прямого действия для многокоординатной системы перемещений / В.В. Жарский // Доклады БГУИР. – 2007. – № 6. – С. 44–49.
3. Жарский, В.В. Привод прямого действия / В.В. Жарский // Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация : специализированный журнал. – 2009. – № 7(45). – С. 26.