

## МОДЕЛИРОВАНИЕ В MATLAB СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ПРИВОДОМ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ

студ. <sup>1</sup> Войтов А.Ю., асп. <sup>1</sup> Форутан М.М., асп. <sup>1</sup> Салманзадех Г.Й.

<sup>1</sup> УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»,  
Минск

**Введение.** Применение механизмов параллельной кинематики в качестве исполнительных устройств систем пространственных перемещений широкого назначения, включая системы координатных совмещений прецизионного оборудования микро- и наноэлектроники, системы позиционирования, технологических и измерительных операций в трехмерном пространстве современных обрабатывающих центров и автоматических линий машиностроительного профиля, позволяет в настоящее время разрешить большинство из проблем, присущих традиционной и широко используемой компоновке и элементной базе робототехнических комплексов в составе станков и промышленных роботов.

Наибольший эффект механизмы параллельной кинематики обеспечивают при использовании в качестве привода систем на базе прецизионных многокоординатных гибридных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов. При этом необходимо отметить, что механизмы параллельной кинематики до шести степеней свободы включительно выглядят наиболее приемлемыми с точки зрения построения на их основе перспективных координатных систем, способных реализовывать практически весь спектр требуемых движений инструмента и заготовки в трехмерном пространстве. Но, несмотря на все преимущества и свойства таких механизмов, приходится констатировать, что в настоящее время их применение в автоматическом оборудовании и робототехнике пока ограничено из-за сложности управления параллельными механизмами и недостаточной проработанности алгоритмов и методик, которые позволяли бы получать как оптимальные варианты конструкций, так и наиболее подходящие для выбранной конструкции алгоритмы автоматического управления приводами.

В статье рассмотрено моделирование в среде MATLAB управления гибридным многокоординатным приводом мехатронной системы параллельной кинематики, которая была представлена в нашей работе [3, 4] с результатами имитационного моделирования прямой и обратной задач кинематики.

**Структура системы управления.** Система управления многокоординатным гибридным приводом предложенной в работе [1] мехатронной системы перемещений состоит из шести подсистем управления независимыми однокоординатными электромагнитными модулями поворотного движения. Такие модули входят в состав гибридного шестикоординатного привода. Все эти шесть подсистем объединены в одну систему управления, реализуемую специальным контроллером и с верхним уровнем управления от персонального компьютера [1]. Это и есть структура управления мехатронной системы перемещений в целом. Такой подход представления мехатронной системы и её моделирования через моделирование системы гибридных приводов в виде многокоординатного привода является наиболее удобным, так как позволяет создавать математическую и компьютерную модели управления одним модулем гибридного привода в логически связанном и законченном виде инструментами Simulink программной среды MATLAB.

Укрупнённая блок-схема одним из модулей гибридного привода прямого действия приведена на рисунке 1.

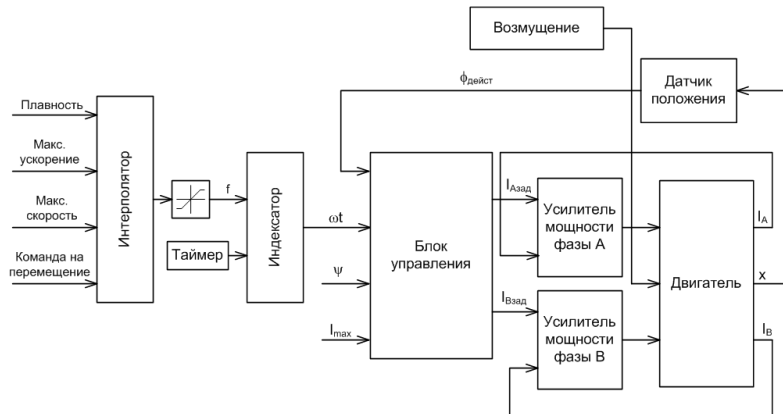


Рис. 1. Укрупнённая структурная блок-схема системы управления

Как видно из этой структурной схемы, система управления приводом прямого действия состоит из следующих основных модулей: *Интерполятора, Индексатора, Блока управления, Усилителей и Двигателя.*

Для описания системы управления необходимо остановиться более подробно на каждом из этих модулей.

*Интерполятор.* Для того чтобы эффективно управлять многокоординатным приводом, необходимо иметь задатчик управляющих воздействий. Интерполятор представляет собой программную реализацию заданных положения, скорости и ускорения двигателя, то есть в каждый момент времени на выходе интерполятора имеем заданные значения положения, скорости и ускорения, с которыми должен перемещаться каждый из подвижных электромагнитных модулей. Для алгоритмизации интерполятора был использован алгоритм формирования управляющей функции  $u_{ij}(t)$  от времени в аналитическом виде.

При создании модели в среде MATLAB нами учитывались требования, которые могут возникнуть при дальнейшей работе с моделью. Так, модель интерполятора дает возможность вводить в систему управления не только заданные скорость и ускорение, но и профиль позиции, потому что при синтезе сложных законов управления шаговыми двигателями требуется знать не только заданную скорость, но и положение, а также ускорение.

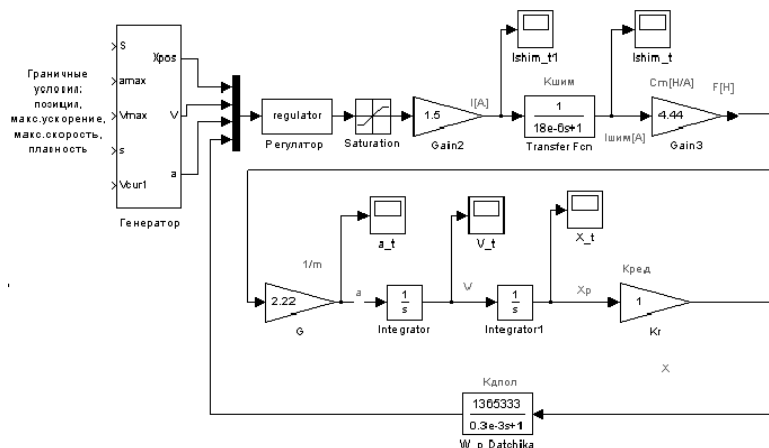


Рис. 2. Компьютерная модель системы управления в MATLAB/SIMULINK

**Компьютерная модель системы управления.** Компьютерная модель системы управления, включающая исполнительный механизм, регулятор и генератор,

разработанная в среде моделирования MATLAB/Simulink, приведена на рисунке 2.

Возможны различные случаи реализации управления. При реализации системы управления без регулятора используется только лишь составляющая управляющего воздействия по положению. Следует отметить, что такая система неустойчива вследствие того, что в системе находится два интегратора, которые дают суммарный сдвиг фаз электромагнитных модулей в 180 градусов. Использование такого регулятора мехатронным устройством разработанной системы не представляется возможным. Поэтому необходимо разрабатывать модели регулятора по скорости.

Построение управляемого движения по заданной кривой  $l$  с заданной скоростью заключается в изменении скорости точки вдоль каждой координаты, причем это изменение есть линейная функция текущих фазовых координат точки в зависимости от времени  $t$  с управлениями в виде коэффициентов  $u_{ij}(t)$  [2]. В общем случае наиболее удобным для реализации при управлении исполнительными приводами, является трапецевидный закон скорости с графиком  $v = v(t)$ , показанным на рисунке 3.

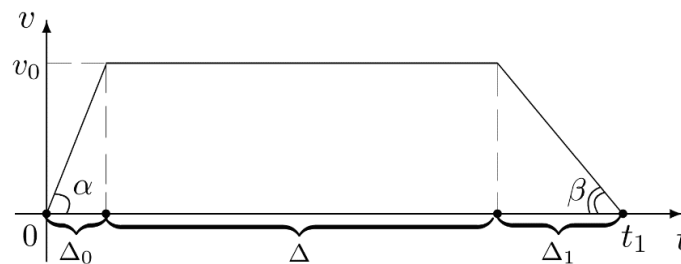


Рис. 3. График зависимости модуля максимальной скорости от времени

При реализации этого закона выделяется три характерных участка:  $\Delta_0$  – участок разгона,  $\Delta_1$  – участок торможения и  $\Delta$  – рабочий участок с постоянной скоростью  $v_0$ , который может выбираться таким, чтобы обеспечить прохождение точкой всей заданной кривой. В технических системах параллельной кинематики участок  $\Delta$  – это технологический участок в соответствии с назначением системы. Учитывая все вышесказанное, можно окончательно сформулировать рассматриваемую задачу построения программных движений мехатронной системой перемещений, как задачу нахождения управлений (коэффициентов  $u_{ij}(t)$ ) дифференциальной системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = u_{11}(t)x + u_{12}(t)y + u_{13}(t)z \\ \dot{y} = u_{21}(t)x + u_{22}(t)y + u_{23}(t)z \\ \dot{z} = u_{31}(t)x + u_{32}(t)y + u_{33}(t)z, \end{cases} \quad (31)$$

описывающей пространство состояний мехатронной системы с учётом скорости [5].

Так как система (31) удовлетворяет теореме существования и единственности и имеет тождественно нулевое решение, то никакая ее фазовая кривая  $l$  не может проходить через начало координат, то есть должно выполняться координатное условие:

$$X^2(t) + Y^2(t) + Z^2(t) \neq 0, \quad \forall t, \quad (32)$$

где  $X(t), Y(t), Z(t)$  – функции, задающие закон движения точки.

Если заранее на матрицу коэффициентов системы (31) не накладывать никаких дополнительных ограничений, то для любой кривой  $l$ , не проходящей через начало координат, можно определить коэффициенты  $u_{ij}(t)$ ,  $i, j = 1, 2, 3$  системы (31) сразу и в общем виде, так, чтобы  $l$  была ее фазовой кривой. Действительно, учитывая выражение (32) и обозначая

$$D = X^2(t) + Y^2(t) + Z^2(t),$$

окончательно получим:

$$\begin{aligned}
u_{11}(t) &= \frac{X(t)\dot{X}(t)}{D}, u_{12}(t) = \frac{Y(t)\dot{X}(t)}{D}, u_{13}(t) = \frac{Z(t)\dot{X}(t)}{D} \\
u_{21}(t) &= \frac{X(t)\dot{Y}(t)}{D}, u_{22}(t) = \frac{Y(t)\dot{Y}(t)}{D}, u_{23}(t) = \frac{Z(t)\dot{Y}(t)}{D} \\
u_{31}(t) &= \frac{X(t)\dot{Z}(t)}{D}, u_{32}(t) = \frac{Y(t)\dot{Z}(t)}{D}, u_{33}(t) = \frac{Z(t)\dot{Z}(t)}{D},
\end{aligned} \tag{33}$$

где вектор-функция  $[X(t), Y(t), Z(t)]^T$  – будет решением системы (31).

Таким образом, нами получены управляющие функции в виде коэффициентов  $u_{ij}(t)$  при реализации которых системой управления обеспечивается движение изображающей точки по заданной траектории с заданным законом скорости.

**Результаты моделирования.** В качестве примера результатов моделирования на рисунке 4 представлены результаты моделирования в среде MATLAB поворотного шагового двигателя серии RSMS-M36, производимого предприятием «Рухсервомотор» г. Минск при нагрузке 5 Н и трапецевидным законом скорости с максимальным её значением  $v_0 = 0,5$  м/с. При этом обеспечивается одинаковый по времени режим разгона и торможения.

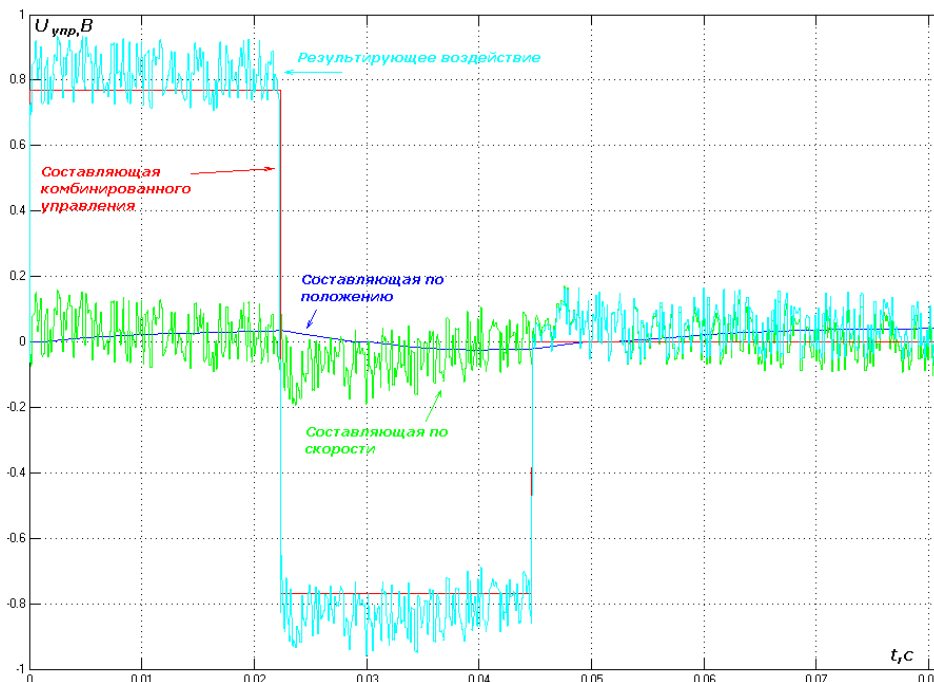


Рис. 4. Составляющие управляющего воздействия после ввода в систему момента сопротивления пружины

Графики составляющих управляющего воздействия приведены на рисунке 4. Как видно из графиков, ввод функционального блока, учитывающего момент сопротивления, несколько видоизменяет значения составляющих управляющего воздействия, однако это изменение в незначительной мере влияет на характер перемещения, что свидетельствует о высоком качестве регулирования.

Таким образом в работе показано, что решение задач по разработке компьютерного моделирования системы управления мехатронной системы перемещений сводится к моделированию управления каждым координатным модулем движения в отдельности с последующей интеграцией в общую схему управления гибридного многокоординатного привода по условиям реализации программируемых движений в соответствии с дифференциальными системами уравнений, предложенными в настоящей работе, которые описывают программируемые движения

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, С.Е. Системы многокоординатных перемещений на механизмах параллельной кинематики : монография / С.Е. Карпович [и др.]; под ред. проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2017. – 254 с.
2. Карпович, С.Е. Математическая модель и алгоритмизация прямой задачи кинематики параллельного манипулятора с шестью степенями свободы / С.Е. Карпович, А.Ю. Войтов, В.Н. Нестеренко, А.С. Манин // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 33. Минск, 2018. – С. 137–143.
3. Карпович, С.Е. Алгоритмизация и имитационное моделирование системы перемещений с тремя степенями свободы / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, В.В. Жарский // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научн. трудов / Объед. инст. машиностр. Нац. академии наук Беларуси – Минск, 2016. – Вып. 5. – С. 69–74.
4. Карпович, С.Е. Математическая модель кинематики для системы перемещений на кольцевом приводе прямого действия / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, В.В. Поляковский // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 31. Минск, 2016. – С. 156–161.
5. Карпович, С.Е. Алгоритмизация решения задач кинематики системы перемещений на трех планарных позиционерах / С.Е. Карпович, И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 31. Минск, 2016. – С. 17–23.