

ПЛАНАРНЫЙ ПРИВОД С МЕХАНИЗМОМ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗВОРОТА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время элементной базой многокоординатного электропривода являются электромагнитные координатные позиционеры, обеспечивающие прямолинейные, вращательные, плоскопараллельные движения, а также сложные движения в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат, осуществляемых без кинематических трансмиссий и преобразователей [1...3].

Наиболее широко в спецтехнологическом оборудовании для производства изделий микроэлектроники применяются планарные позиционеры на базе линейных шаговых двигателей (ЛШД), позволяющие реализовать позиционные и контурные перемещения [4...7]. При этом координатные позиционеры на ЛШД характеризуются модульностью, однотипностью независимо от вида движения и управления, возможностью работы по программе и построения как разомкнутых систем, так и систем с обратной связью в зависимости от назначения оборудования.

Одним из факторов, влияющих на точность позиционирования планарного позиционера, является разворот в плоскости движения вокруг оси Z . Анализ этой проблемы и ее решению посвящена настоящая работа.

АНАЛИЗ УГЛА РАЗВОРОТА

Будем рассматривать планарный X, Y -позиционер, координатные модули которого расположены симметрично относительно центра масс. Тяговое усилие каждой координаты при этом является суммой тяговых усилий, развиваемых каждой симметричной частью (элементарным координатным модулем) координаты.

В общем случае тяговые силы каждого плеча имеют распределенный характер. Однако для анализа общего характера тяговых сил, который будем проводить для одной координаты (координаты X), и синхронизирующих моментов, развиваемых планарным модулем в статике, можно считать, что тяговые силы F_1 и F_2 приложены в центре зубцовой зоны каждого плеча O_1 и O_2 . Тогда, если считать, что масса X, Y -платформы сосредоточена в центре O , то на эту платформу всегда действует пара сил F_1 и F_2 , которая может быть сведена к одной тяговой силе:

$$F = F_1 + F_2 \quad (1)$$

и моменту вращения M массы вокруг центра O , причем этот момент пропорционален разности этих сил

$$M = r(F_1 - F_2), \quad (2)$$

где r – плечо силы.

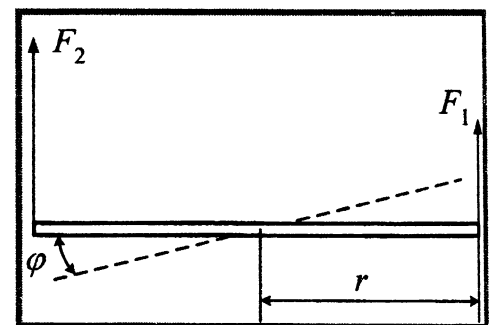


Рисунок 1- Силовая модель разворота планарного позиционера

Таким образом, подвижную платформу с полезными движениями по осям X и Y идеализированно можно представить в виде сосредоточенной массы m , обладающей моментом инерции J (рис. 1).

При воздействии на левое и правое плечи, каждое длиной r , внешних сил F_1 и F_2 уравнения движения тела массой m будет выглядеть как

$$\begin{aligned} m \cdot a &= F_1 \\ J \ddot{\varphi} &= M_1 \end{aligned} \quad (3)$$

где a – ускорение тела под действием результирующей силы.

Для шагового двигателя силы F_1 и F_2 есть тяговые координатные силы, являющиеся функцией тока фазной обмотки и динамической ошибки $(\gamma - x)$ или $(\gamma - y)$.

Для симметричных конструкций планарных позиционеров и одинаковом управлении левого и правого плеч $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$. Тогда при идеальной эксплуатации привода силы, возникающие в планарном двигателе строго одинаковы с обеих сторон по отношению к центру масс системы

$$F_1 = F_2 = F_m \cdot \sin(\gamma - x). \quad (4)$$

На практике, однако, всегда может возникнуть неравенство сил F_1 и F_2 , обусловленное различными причинами. В результате поворот платформы на угол $\varphi_{\text{мех}}$ и возникающий при этом перенос зубцов индуктора относительно зубцов статора сводится к тому, что одно из плеч машины уходит вперед по отношению к центру масс, а другое отстает, что при анализе угловых характеристик равносильно изменению динамической ошибки, которая является углом рассогласования между мгновенными осями статора и индуктора. Увод в противоположные стороны левого и правого плеч платформы, согласно схеме, представленной на рис. 1, очевидно равен

$$x_{\text{мех}} = r \cdot \sin \varphi_{\text{мех}}. \quad (5)$$

Тогда при малых значениях φ , обычно имеющих место в реальном случае, уравнения для сил примут вид:

$$F_1 = F_m \cdot \sin(\gamma - x + \varphi); \quad F_2 = F_m \cdot \sin(\gamma - x - \varphi). \quad (6)$$

Суммарное синхронизирующее усилие одноименной координаты при этом равно

$$F = 2F_m \cdot \sin(\gamma - x) \cos \varphi, \quad (7)$$

а синхронизирующий момент имеет вид:

$$M = r(F_1 - F_2) = r \cdot 2F_m \cdot \cos(\gamma - x) \cdot \cos \varphi = M_m \cdot \cos(\gamma - x) \cdot \sin \varphi, \quad (8)$$

где $M_m = r \cdot 2F_m$.

Из выражения (7) видно, что при возникновении поворота величина тяговой силы модулируется по закону изменения $\cos \varphi$, т.е. поворот φ всегда действует в сторону уменьшения тяговой силы.

В соответствии с (8), развиваемый синхронизирующий момент пропорционален $\sin \varphi$, а его амплитуда зависит от величины динамической ошибки $(\gamma - x)$, т.е. от положения центра масс платформы. При $(\gamma - x) = \pi/2$ имеет место симметричное расположение левого и правого плеч платформы, и тогда, при возникновении поворота φ , тяговые усилия обоих плеч оказываются равными

$$\begin{aligned} F_1 &= F_m \cdot \sin(\gamma - x) \cdot \cos \varphi = F_m \cdot \cos \varphi, \\ F_2 &= F_m \cdot \sin(\gamma - x) \cdot \cos(-\varphi) = F_m \cdot \cos \varphi. \end{aligned} \quad (9)$$

Суммарное синхронизирующее усилие одноименной координаты равно максимальному значению

$$F_1 = 2F_m \cdot \cos \varphi, \quad (10)$$

а синхронизирующий момент, определяемый разностью сил левого и правого плеч, в соответствии с формулой (8), равен нулю.

Это важное обстоятельство имеет следующую физическую интерпретацию. Имеются две крайних ситуации. Первая крайняя ситуация соответствует движению с максимальным ускорением, когда $(\gamma - x) = \pi/2$. При этом $F = 2F_m$, и ускорение $a = 2F_m / \sum m = a_{max}$. Это сводится к тому, что суммарная электромагнитная сила может полностью использоваться в виде тяговой силы, и тогда синхронизирующий момент $M=0$. Это означает, что полностью отсутствует возможность для борьбы с поворотом, т.к. любое, даже самое незначительное поворотное воздействие приведет к неконтролируемому развороту подвижной платформы, и произойдет перенос зубцов индуктора относительно зубцов статора. Это повлечет за собой модуляцию тягового усилия в соответствии с (10), изменение ускорения $a = \frac{F}{m} \cos \varphi$. В результате нарушается программа движения.

Вторая крайняя ситуация сводится к следующему. Электромагнитные ресурсы двигателя могут быть полностью использованы для реализации поворотного движения или сопротивлению поворотному движению, при этом, однако, тяговое усилие равно нулю. Этот случай соответствует режиму холостого хода, когда $(\gamma - x) = 0$; $F = 2F_m \cdot \sin(\gamma - x) \cdot \cos \varphi = 0$, а ускорение $a = 2F_m / \sum m = 0$.

МЕХАНИЗМ ОГРАНИЧЕНИЯ УГЛА РАЗВОРОТА ИНДУКТОРА

Существенный недостаток всех систем перемещений на основе планарных ЛШД состоит в том, что устойчивое равновесное состояние индуктора поддерживается только благодаря восстанавливающему компенсационному моменту, возникающему при угловом смещении зубцовых структур индуктора относительно зубцовых структур статора. При этом такое смещение не должно превышать половины полюсного деления на периферии индуктора. При больших угловых смещениях происходит так называемое «опрокидывание» индуктора с выходом его из синхронизма.

По этим причинам проблема ограничения разворота и предотвращения «опрокидывания» индуктора при его программируемом движении была решена на конструктивном уровне, с помощью разработанного с участием авторов статьи и защищенного патентом 6986 РФ С1 [8] механизма формирования плоскопараллельного планарного движения (рис. 2).

Система перемещений состоит из неподвижного статора 1 с пересеченной зубцовой структурой типа «вафля» 2 и подвижного планарного индуктора 3, связанного с пантографным механизмом 4, у которого, по крайней мере, одно плечо сделано регулируемым в пределах величины A , обеспечивая при этом максимальный угол разворота индуктора $\pm \alpha$. При этом угол между канавками на статоре равен

$$\varphi_1 = 90^\circ \pm \Delta\varphi_1, \quad (11)$$

где $\Delta\varphi_1$ – угловой допуск на изготовление канавок.

Ряды зубцов электромагнитов на индукторе образуют между собой угол

$$\varphi_2 = 90^\circ \pm \Delta\varphi_2, \quad (12)$$

где $\Delta\varphi_2$ – угловой допуск на взаимное расположение зубцов электромагнитов.

В результате применения разработанного механизма формирования плоскопараллельного движения стабилизируется угол разворота в плоскости движения, что приводит к по-

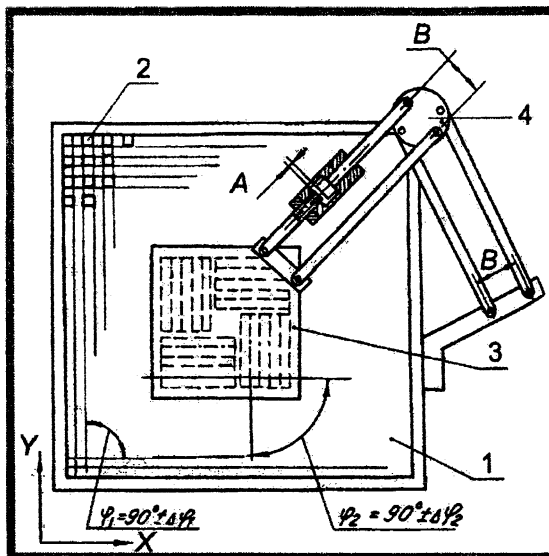


Рисунок 2- Схема механизма формирования планарного движения:

A – параметр настройки;
B – параметр пантографа

стоянству тяговых характеристик по ортогональным координатам планарного привода, обеспечивая их значения, приближенные к максимальным, во всем диапазоне перемещений.

Проведенные теоретические расчеты показали, что разработанный механизм позволяет повысить ускорение в 1,2...1,5 раза, а, значит, и быстродействие перемещений, повысить метрологические точностные характеристики и сохранять их во время перемещения за счет

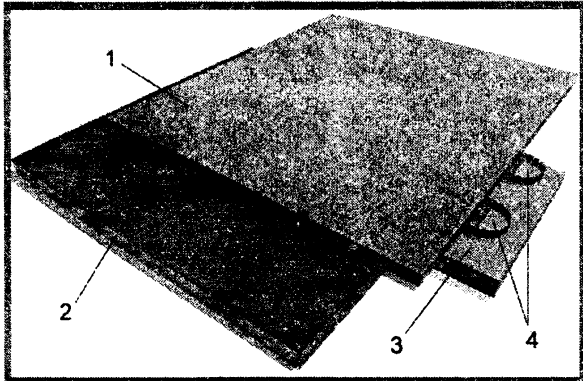


Рисунок 3- Планарный привод с устройством ограничения угла разворота:

1 – предметный стол; 2 – статор;
3 – кронштейн; 4 – пантографный механизм

отсутствия разворота индуктора по углу, исключить «опрокидывание» индуктора в процессе движения.

Предложенный механизм формирования планарного движения был использован на предприятии «Рухсервомотор», на котором была разработана и создана двухкоординатная система перемещений (рис. 3), предметный стол которой 1 жестко закреплен на подвижном индукторе, который кинематически связан с основанием 2 статора специальным регулируемым пантографом 4.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что предложенный механизм обеспечивает уменьшение влияния угла разворота на точность координатных перемещений, а также обеспечивает удержание индуктора в положениях наибольших тяговых сил по координатам X и Y , что способствует снижению позиционных и динамических погрешностей при выполнении координатных перемещений.

Разработанный механизм также позволяет повысить ускорение в 1,2...1,5 раза, а, значит, и быстродействие перемещений, повысить метрологические точностные характеристики системы перемещений и сохранять их во время движения за счет отсутствия разворота индуктора по углу, исключить его «опрокидывание» при координатных перемещениях и расширить область применения на оборудование со средне-нагруженными планарными приводами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович С.Е., Межинский Ю.С., Жарский В.В. Прецизионные системы перемещений // Доклады БГУИР. – 2004. – №3(7). – С.50-61.
2. Русецкий А.М. Координатные позиционеры гибких производственных систем для электронного машиностроения. – Мн.: Военная академия РБ, 1998. – 177 с.
3. Аналитическая механика и мехатронные системы перемещений / С.Е.Карпович, А.Яковлюк, М.Чех и др.; Под ред. С.Е.Карповича. – Минск: Технопринт, 2004. – 187 с.
4. Ляшук Ю.Ф. Линейный шаговый электропривод для прецизионного оборудования. – Минск: Технопринт, 2002. – 139 с.
5. Межинский Ю.С. Построение систем перемещений для гибкого автоматизированного оборудования. – Минск: Технопринт, 2002. – 120 с.
6. Карпович С.Е., Жарский В.В., Ляшук Ю.Ф., Межинский Ю.С. Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия. – Минск: ГНПКТМ «Планар», 2001. – 198 с.
7. Ляшук Ю.Ф. Линейный шаговый электропривод для прецизионного оборудования. – Минск: Технопринт, 2002. – 139 с.
8. Пат. 6986 Респ. Беларусь, С1 2005.06.30. Механизм шагового перемещения / С.Е.Карпович, Ю.С.Межинский, А.В.Стреха, И.В.Дайняк, Д.А.Степанов. – № а 20000413; Заявл. 28.04.2000; Оpubл. 30.06.2005. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – №2. – С.252.