

УДК 621.369.6

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

С.Е. КАРПОВИЧ, Ю.С. МЕЖИНСКИЙ, В.В. ЖАРСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 1 декабря 2003

В статье рассмотрены научно-методологические основы разработки и создания современных прецизионных систем перемещений. Интеграция компонентов (привод – система управления – инструмент) на основе программного согласования в едином рабочем пространстве проиллюстрирована на примере гибкого производственного комплекса TurboPlane.

Ключевые слова: электропривод, система перемещений, программные движения.

Введение

Прецизионные системы перемещений в настоящее время широко используются в точных технологических установках, особенно это относится к оборудованию производства электронной техники [1, 2]. Все большее применение в серийных разработках находят системы прецизионного электропривода с шаговыми двигателями, реализующими перемещение подвижного элемента по нескольким координатам одновременно с высокой скоростью и точностью отработки перемещения. Многие системы перемещений включают в себя линейные шаговые двигатели и линейные синхронные моторы, которые непосредственно реализуют поступательное перемещение подвижного элемента без преобразования с помощью кинематических звеньев из вращательного перемещения [3]. Для достижения высоких динамических и метрологических характеристик требуется максимальная интеграция элементов электропривода, т. е. их конструктивное объединение в едином исполнительном органе, совершающем сложные движения в пространстве.

Одной из основных задач по созданию нового поколения прецизионного технологического оборудования является разработка прецизионных систем перемещений с новыми, более высокими характеристиками точности и быстродействия.

Достижения микроэлектроники и связанные с ними успехи микропроцессорной управляющей техники открыли возможность широкого внедрения совершенных и оперативных методов проектирования и управления на всех уровнях и приблизили технику управления непосредственно к объекту производства. Это обеспечило создание интегрированных электромеханических устройств — координатных позиционеров для систем перемещений, элементной базой которых являются электромагнитные модули движения, обеспечивающие без механических трансмиссий линейные, угловые, а также сложные движения в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат; электронные модули управления (контроллеры), реализующие при микропроцессорном управлении любые требуемые движения с глубоким редуцированием и масштабированием.

Таким образом, электромагнитные модули движения, компонованные в линейные шаговые двигатели для координатных позиционеров, и соответствующие цифровые системы управ-

ления позволяют обеспечить реализацию сложных многокоординатных и точно согласованных перемещений с широким варьированием параметров движения. Они 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.

Базовый ряд координатных позиционеров включает в себя: однокоординатный линейный позиционер x ; однокоординатный линейный позиционер z ; однокоординатный позиционер φ ; двухкоординатный позиционер x, y (рис. 1).

Линейный позиционер		Без ОС	С ОС
Длина	мм	200–2000	200–2000
Статическое усилие	Н	120–1600	120–1600
Дискретность	мм	0,001	0,001
Точность позиционирования	мм	$\pm 0,015$	$\pm 0,001$
Максимальная скорость	м/с	2,0	2,0
Максимальное ускорение	м/с ²	30	30
Двухкоординатный позиционер		Без ОС	С ОС
Макс. размер статора	мм	1000×1500	1000×1500
Статическое усилие	Н	25–320	25–320
Повторяемость	мм	0,003	0,003
Дискретность	мм	0,001	0,001
Точность позиционирования	мм	$\pm 0,020$	$\pm 0,001$
Максимальная скорость	м/с	0,7–1,0	1,0
Максимальное ускорение	м/с ²	25	25
Вращательный позиционер		Без ОС	С ОС
Диапазон стат. момента	Н·м	1,3–300	400
Дискретность	с	2–5	2
Точность позиционирования	с	± 20	± 1
Повторяемость	с	60	2
Угловая скорость	1/с	6–18	18
Угловое ускорение	1/с ²	120–1000	1000
Z-позиционер		Без ОС	С ОС
Перемещение	мм	5–220	5–220
Статическое усилие	Н	45–1000	50–1000
Повторяемость	мм	0,003	0,003
Точность позиционирования	мм	$\pm 0,015$	$\pm 0,001$
Статическое усилие	Н	-	45
Дискретность	мм	0,001	0,001
Максимальная скорость	м/с	0,7–1,0	1,0
Максимальное ускорение	м/с ²	100	100

Рис. 1. Базовый ряд координатных позиционеров:
1 — индуктор; 2 — статор; 3 — электромагнитные модули

Компоновкой разработанных x, y, z и φ позиционеров в пространстве в различных сочетаниях можно при высокой степени интеграции исполнительного органа создавать многокоординатные устройства с независимыми рабочими характеристиками по каждой координате, которые способны реализовать сколь угодно сложные установочные и рабочие перемещения.

Математическое моделирование статических и динамических характеристик электромагнитного модуля движения

В общем случае электромагнитный модуль движения (ЭМД) содержит m -фазную обмотку возбуждения и описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + F_c = F_e, \\ i_k r_k + \frac{d\psi_k}{dt} = u_k, \end{cases} \quad (1)$$

где $k = 1, 2, \dots, m$ — номера электрических контуров, образованных фазами обмоток возбуждения ЛШД; i_k , ψ_k , u_k — мгновенные значения тока, потокосцепления и напряжения k -го электрического контура; r_k — электрическое сопротивление k -го контура; m — суммарная масса подвижных частей системы; x — текущее смещение индуктора по отношению к статору; F_c — суммарная сила сопротивления нагрузки и потерь холостого хода; F_e — электромагнитная сила, развиваемая электроприводом, определяемая типом и конструкцией ЛШД.

Система (1) позволяет исследовать поведение однокоординатного ЛШД без каких-либо упрощающих допущений. На ее основе формулируется основное управляющее движение электромеханической системы.

В фазных координатах система (1) имеет вид

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + F_c = \frac{2\pi}{\tau_z} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m i_j i_k \frac{dL_{jk}}{dx}, \\ r_j i_j + \sum_{k=1}^n L_{jk} \frac{di_k}{dt} + \frac{2\pi}{\tau_z} \frac{dx}{dt} \sum i_k \frac{dL_{jk}}{dx} = U_j, \end{cases} \quad (2)$$

$j = 1, 2, \dots, m,$

где $\sum_{k=1}^m L_{jk} \frac{di_k}{dt}$ — электродвижущая сила самоиндукции и взаимной индукции, действующая в j -м контуре; L_{jk} — коэффициенты собственной и взаимной индуктивности фаз; τ_z — период зубцовой структуры ЛШД.

Для случая однокоординатного двухфазного электромагнитного модуля движения (рис. 2) система уравнений моделирования имеет вид

$$R_1 I_1 + \frac{d\psi_1}{dt} = U_{1max} \sin(2\pi f t), \quad R_2 I_2 + \frac{d\psi_2}{dt} = U_{2max} \cos(2\pi f t), \quad (3)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + \alpha x + F_0 = F. \quad (4)$$

Входными величинами являются напряжения на обмотках: U_1 — на первой и U_2 — на второй, которые изменяются с частотой f , амплитудами U_{1max} и U_{2max} соответственно по законам синуса и косинуса.

Уравнения (3) описывают электрические процессы в первой и второй обмотках. Из них находят токи I_1 и I_2 , ψ_1 и ψ_2 — потокосцепления обмоток. Уравнение (4) определяет динамическую связь электрических и механических процессов. Здесь m — масса подвижных частей двигателя; β — коэффициент вязкого трения (показатель колебательности системы); α — коэффициент сухого трения; F_0 — статическая сила сопротивления; F — тяговое усилие, перемещающее индуктор. Рассмотрим в общем виде нахождение математического выражения для F , основываясь на энергетическом подходе.

В самом общем виде приращение магнитной энергии в системе на перемещении dx имеет вид:

$$dW_{\text{маг}} = \int_0^{\psi+d\psi} Id\psi(x_0 + dx, I) - \int_0^{\psi} Id\psi(x_0, I). \quad (5)$$

Первый интеграл — магнитная энергия магнитопровода в положении $x = x_0 + dx$, второй интеграл — магнитная энергия в положении $x = x_0$. С учетом этого

$$\int_0^{\psi+d\psi} Id\psi = [I\psi]_0^{\psi+d\psi} - \int_0^I \psi(x_0 + dx, I)dI = I(\psi + d\psi) - \int_0^I \psi(x_0 + dx)dI, \quad (6)$$

$$\int_0^{\psi} Id\psi = I\psi - \int_0^I \psi(x_0, I)dI. \quad (7)$$

Подставив (6) и (7) в (5), получим

$$dW_{\text{маг}} = Id\psi - \left[\int_0^I \psi(x_0 + dx, I)dI - \int_0^I \psi(x_0, I)dI \right]. \quad (8)$$

А так как $dW_{\text{мех}} = F dx$, то тяговое усилие F определим по формуле:

$$F = \frac{d}{dx} \int_0^I \psi(x, I)dI. \quad (9)$$

При расчете ЭМД функция тягового усилия для фаз 1 и 2 будет иметь соответственно вид:

$$F_1 = l \left[\frac{dS_a}{dx} \int_0^{H_a} B_a dH + \frac{dS_b}{dx} \int_0^{H_b} B_b dH \right], \quad F_2 = l \left[\frac{dS_c}{dx} \int_0^{H_c} B_c dH + \frac{dS_d}{dx} \int_0^{H_d} B_d dH \right], \quad (10)$$

где dS_i / dx — производные площадей перекрытия под наконечниками магнитопроводов по координате.

Выражения (10) для тяговых усилий F_1 , F_2 и суммарного $F = F_1 + F_2$ получены выше без учета влияния воздушного зазора, наличие которого может быть учтено через напряженность внешнего поля, совпадающего по направлению с напряженностью поля внутри замкнутой магнитной цепи фазы ЭМД.

На рис. 2–5 представлены результаты моделирования характеристик ЭМД на ПЭВМ. Рассматривался ЭМД, индуктор которого изготовлен из стальной электротехнической холоднокатаной ленты 3424 (Э60А), а статор — из электротехнической нелегированной тонколистовой стали 20895. На рис. 2 приведены результирующая кривая намагничивания при воздушном зазоре $\delta=20$ мкм и ее аппроксимация зависимостью $B(H) = aH + b \arctg(cH)$ при $a = -1,3601369151 \cdot 10^{-5}$; $b = 1,4031650839$; $c = 9,0276509126 \cdot 10^{-4}$. Среднеквадратическая погрешность аппроксимации $\varepsilon=0,048284$. По этой кривой выбирается рабочая точка двигателя. В результате расчетов по разработанной программе получены статические, импульсные и динамические характеристики однокоординатного двухфазного ЭМД.

Математические модели систем перемещения

Ниже рассмотрены аналитическое описание и математические модели систем перемещений, построенных на основе разработанного нами электромагнитного модуля движения [4–8].

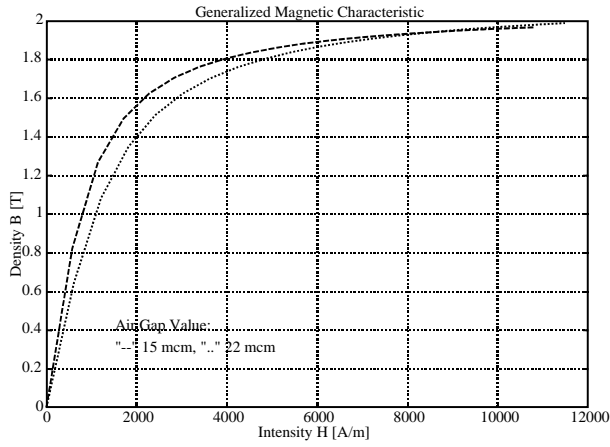


Рис. 2. Расчетная обобщенная магнитная характеристика

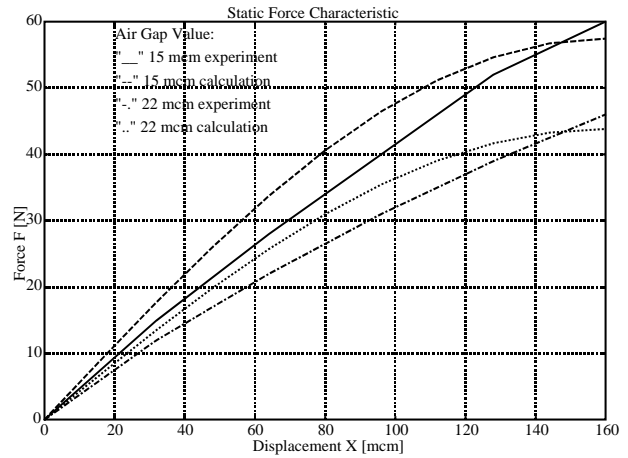


Рис. 3. Статическое синхронизирующее усилие ЛШД

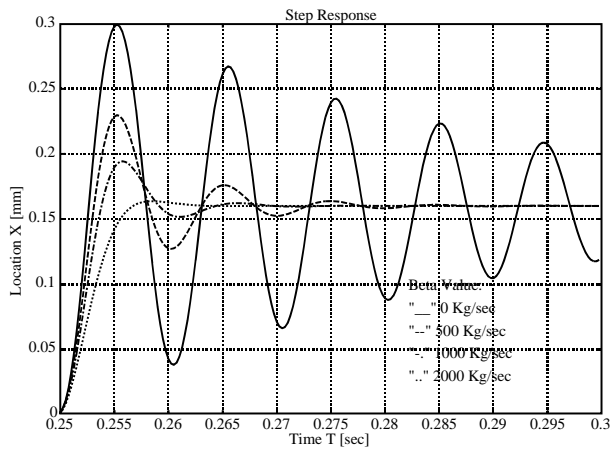


Рис. 4. Импульсная характеристика ЛШД (один шаг)

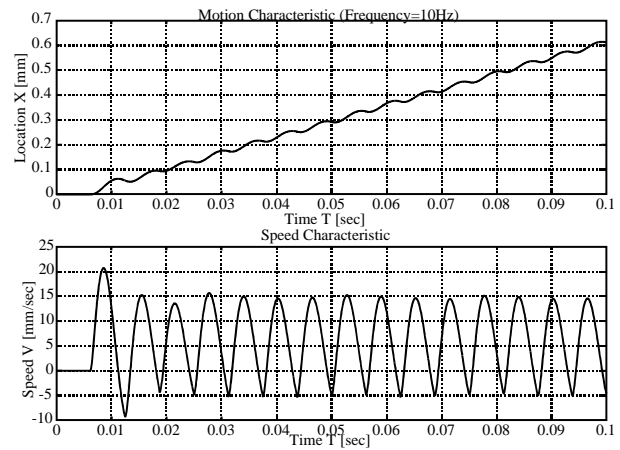


Рис. 5. Движение ЛШД при частоте управляющего сигнала 100 Гц

Структурно-топологический анализ. Пусть имеем простую координатную систему из звеньев $0, 1, 2, \dots, n$. Звено 0 будем считать неподвижным. Если перемещение в соединении, образованном звеньями ρ и $(\rho + 1)$, есть $\delta S_{\rho, \rho+1}$, то перемещение конечного звена n будет иметь вид

$$\delta S_{0,n} = \sum_{\rho=0}^{n-1} \sum_{i_{\rho, \rho+1}}^{r_{\rho, \rho+1}} q_{i_{\rho, \rho+1}} \delta S_{i_{\rho, \rho+1}}^0, \quad \delta S_{0,n} = \sum_{\rho=0}^{n-1} \sum_{i_{\rho, \rho+1}}^{r_{\rho, \rho+1}} \delta q_{i_{\rho, \rho+1}} \dot{S}_{i_{\rho, \rho+1}}^0, \quad \dot{S}_{0,n} = \sum_{\rho=0}^{n-1} \sum_{i_{\rho, \rho+1}}^{r_{\rho, \rho+1}} \dot{q}_{i_{\rho, \rho+1}} \dot{S}_{i_{\rho, \rho+1}}^0. \quad (11)$$

Уравнения (11) показывают, что множество винтов $\delta S_{0,n}$ пробегает пространство $\{\delta S_{0,n}\} = \{\delta S_{0,1}\} + \{\delta S_{1,2}\} + \dots + \{\delta S_{n-1,n}\}$, а множество винтов $\dot{S}_{0,n}$ — изоморфное ему пространство $\{\dot{S}_{0,n}\} = \{\dot{S}_{0,1}\} + \{\dot{S}_{1,2}\} + \dots + \{\dot{S}_{n-1,n}\}$, где $\{\delta S_{\rho, \rho+1}\}$ и $\{\dot{S}_{\rho, \rho+1}\}$ — соответственно пространства

подвижностей и скоростей соединения, образованного звеньями ρ и $(\rho+1)$. Размерность R пространства $\{\delta S_{0,n}\}$ и $\{\dot{S}_{0,n}\}$ назовем рангом координатной системы. Легко видеть, что число степеней свободы конечного звена координатной системы равно этому рангу R . Из (11) следует формула расчета числа мгновенных степеней свободы координатной системы

$$W = \sum_{\rho=0}^{n-1} r_{\rho,\rho+1} - R.$$

Возможные силовые реакции связей, передаваемые от неподвижного звена 0 к конечному звену n , лежат в пространстве $\{Q_{0,n}\} = \bigcap_{\rho=0}^{n-1} \{Q_{\rho,\rho+1}\}$, где $\{Q_{\rho,\rho+1}\}$ — пространство реакций связей, образованных звеньями ρ и $(\rho+1)$.

Пространство $\{Q_{0,0}\}$ назовем пространством избыточных связей координатной системы. Так как первая полуцепь накладывает на звено ρ связи, определяемые пространством $\{Q_{0,\rho}\} = \bigcap_{\varepsilon=0}^{\rho-1} \{Q_{\varepsilon,\varepsilon+1}\}$, а вторая полуцепь накладывает на звено $(\rho+1)$ связи, определяемые пространством $\{Q_{0,\rho+1}\} = \bigcap_{\varepsilon=\rho+1}^{n-1} \{Q_{\varepsilon,\varepsilon+1}\}$, то кинематическое соединение координатной системы, образованное звеньями ρ и $(\rho+1)$, повторит связи, лежащие в пространстве

$$\{Q_{0,\rho}\} \cap \{Q_{\rho,\rho+1}\} \cap \{Q_{0,\rho+1}\} = \bigcap_{\varepsilon=0}^{n-1} \{Q_{\varepsilon,\varepsilon+1}\}.$$

Легко видеть, что размерность пространства $\{Q_{0,0}\}$ равна числу избыточных связей контура.

Так как ранг R системы (11) определяет число кинематических связей координатной системы, то формула расчета числа степеней свободы примет вид: $W = \sum_{r=1}^5 r f_r - R$, где W — число степеней свободы цепи; f_r — число пар цепи подвижности r . В случае формирования формулы для расчета числа степеней свободы по силовым условиям связи получим следующую зависимость: $W = 6l - R_D$, где R_D — ранг системы силового расчета.

Кинематический анализ систем перемещений. В рамках предложенного выше формализованного описания кинематический анализ как этап проектирования выполняется после структурно-топологического анализа. При этом уравнения (11) помимо того, что позволяют анализировать структурные свойства, являются основными уравнениями расчета кинематики простых одноконтурных пространственных координатных систем [1, 2].

Для сложных многоконтурных координатных систем уравнения кинематики получим в следующем виде:

$$\sum_{\rho_\mu=1}^{n_{\mu+1}} \sum_{i_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}=1}^{r_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}} \delta q_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}} S_{i_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}}^0 = \|0\|; \quad \sum_{\rho_\mu=1}^{n_{\mu+1}} \sum_{i_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}=1}^{r_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}} q_{i_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}} \dot{S}_{i_{\rho_\mu,\rho_{\mu+1}}} = \|0\|. \quad (12)$$

Вышеприведенные уравнения при использовании их для кинематического анализа, представляют собой уравнения замкнутости через рабочую операцию.

Динамический анализ координатных систем. В рамках единого подхода в настоящей работе динамический анализ как этап проектирования выполняется после получения результатов структурного и кинематического анализа. Основными уравнениями являются уравнения равновесия звеньев, записанные в винтовой форме:

$$Q_{\rho-1,\rho} - Q_{\rho,\rho+1} = -(\Gamma_\rho + \phi_\rho), \quad (\rho = \overline{0, n}), \quad (13)$$

или с учетом разложения по базису:

$$\sum_{j_{\rho-1,\rho}=1}^{k_{\rho-1,\rho}} \alpha_{j_{\rho-1,\rho}} Q_{j_{\rho-1,\rho}}^0 - \sum_{j_{\rho,\rho+1}=1}^{k_{\rho,\rho+1}} \alpha_{j_{\rho,\rho+1}} Q_{j_{\rho,\rho+1}}^0 = -(\Gamma_\rho + \phi_\rho), \quad (\rho = \overline{0, n}). \quad (14)$$

Уравнения движения исполнительных механизмов координатных систем. Здесь рассматривается формализованный, ориентированный на использование ЭВМ подход к построению уравнений движения, основанный на предложенном едином подходе к структуре, кинематике и динамике механизмов. При этом уравнение движения исполнительного механизма в матричной форме окончательно примет вид:

$$A\ddot{q} = B + B^* + H^T \lambda, \quad (15)$$

где $\lambda = \|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{v_z}\|$ — матрица неопределенных множителей Лагранжа; A — матрица размерностью $n \times n$ коэффициентов в уравнении движения; B — матрица-столбец из обобщенных сил размером $n \times 1$; H — прямоугольная матрица размером $n \times t$, элементы которой определяются по уравнениям голономных и неголономных связей; B^* — матрица-столбец размером $n \times 1$ из обобщенных сил в "разрезанных" шарнирах.

В работе показано, что если все уравнения связей независимы, то матрица H имеет полный ранг, равный количеству ее строк v_z , а матрица $HA^{-1}H^T$ — тот же ранг. В этом случае матрица неопределенных множителей λ определится из матричного выражения:

$$\lambda = -(HA^{-1}H^T)^{-1}(HA^{-1}(B + B^*) + \Phi). \quad (16)$$

Подставляя найденное λ в уравнения движения, окончательно получаем

$$\ddot{q} = A^{-1}(B + B^* - H^T(HA^{-1}H^T)^{-1}(HA^{-1}(B + B^*) + \Phi)). \quad (17)$$

Это и есть окончательная общая матричная форма записи уравнений движения любого исполнительного механизма системы перемещений. Численное интегрирование начинается с начальных условий $t_o, \bar{q}_o, \dot{\bar{q}}_o$.

Построение программных движений систем перемещений. На базе полученных уравнений движения формируется алгоритм для получения управляющих воздействий путем решения обратных задач динамики, который базируется на основе системы дифференциальных уравнений 2-го порядка (например, получаемой по методу Лагранжа), с помощью которой описывается движение координат системы или механизма. Эти уравнения линейны относительно управлений и имеют следующий вид:

$$\dot{x}_i = p_i(x_1, \dots, x_n) + U_i b_i(x_1, \dots, x_n), \quad (i = \overline{1, n}), \quad (18)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ — вектор обобщенных координат; $\mathbf{U} = (U_1, \dots, U_n)$ — вектор управления.

Необходимо построить управления $\mathbf{U} = \mathbf{U}(t, \mathbf{x})$ такие, чтобы соответствующие им решения удовлетворяли заданной программе $\omega_k(x_1, \dots, x_n) = 0$; $k = \overline{1, r}$, ($r \leq n$).

Искомое решение $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$ будет одновременно удовлетворять программе движения и исходной дифференцируемой системе, если выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^k \frac{\delta \omega_k}{\delta x_i} (P_i + b_i U_i) = R_k(\omega_k, \mathbf{x}, t), \quad (19)$$

где $R_k(\omega_k, \mathbf{x}, t)$ – произвольная функция такая, что $R_k(0, \mathbf{x}, t) = 0$.

В результате решения уравнения (19) получим управления, которые представляют собой аналитические функции, выраженные через кинематические параметры программы движения.

Гибкий производственный комплекс "TurboPlane"

В рамках научно-технического сотрудничества БГУИР, ГНПКТМ "Планар" и Европейского центра лазерной техники LST Laser & Strahl Technik (г. Вена, Австрия) разработан и реализован гибкий производственный комплекс "TurboPlane" на основе предложенной концепции многоцелевого программного согласования всех производственных и транспортных движений центральным контроллером с возможностью управления комплексом от компьютера. "TurboPlane" является многоуровневой мехатронной системой.

Структура комплекса. Основой гибкого производственного комплекса "TurboPlane" (рис. 6, 7) являются пять координатных позиционеров (КП) на линейных шаговых двигателях (ЛШД), расположенных на двух параллельных статорах размером 800×1500 мм каждый. Статоры 1 и 2 расположены один над другим на расстоянии 1 м и позволяют разместить на верхнем статоре четыре (три) двухкоординатных позиционера и один (два) — на нижнем статоре.

Верхние позиционеры используются для монтажа на них технологического оборудования: 5-координатного робота, манипулятора 3, СО₂-лазера 4, YAG-лазера (плоттера) 5. Нижние позиционеры используются для транспортировки материала заготовки 6 и сбора готовых деталей. Каждый из КП управляется контроллером SoftStep, построенным на базе микропроцессорной системы управления. Контроллер содержит транспьютер T425 фирмы SGS-Thomson, процессор цифровой обработки сигналов ADSP-2100 фирмы Analog Devices, микросхему программируемой логики фирмы Xilinx. Структурная схема комплекса "TurboPlane" показана на рис. 8.

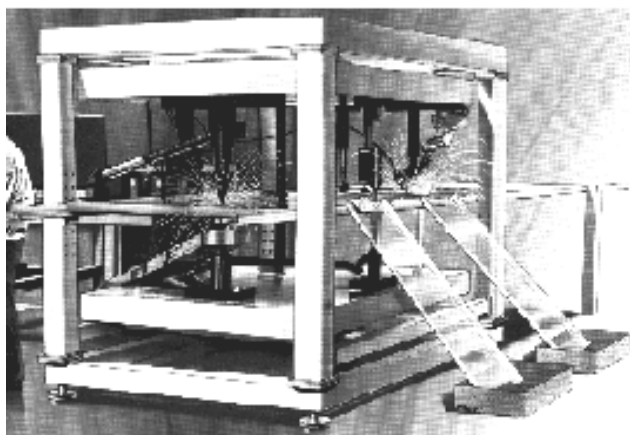


Рис. 6. Комплекс TurboPlane

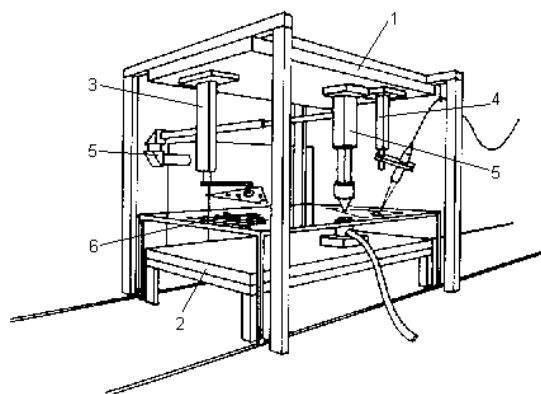


Рис. 7. Общий вид комплекса TurboPlane

В задачи транспьютера входят взаимодействие с внешними устройствами управления комплексом, прием и декодирование инструкций в формате языка HPGL, а также расчет траекторий перемещения. Микросхема программируемой логики Xilinx запрограммирована таким образом, что является буферным регистром между транспьютером и ПЦОС и одновременно управляет лазером. ПЦОС непосредственно управляет самим КП в реальном времени через ЦАП и АЦП, получает информацию о реальном положении индуктора ЛШД и проводит коррекцию погрешности перемещения. Точность позиционирования составляет порядка 5 мкм.

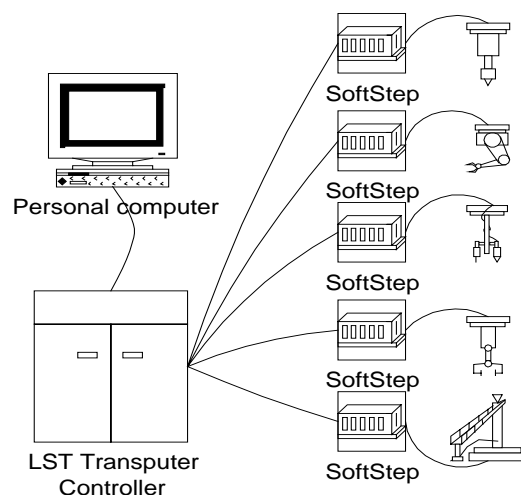


Рис. 8. Структурная схема комплекса TurboPlane

Разработанное программное обеспечение позволяет осуществить программное согласование в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, осуществляемых центральным контроллером, предоставляет удобный интерфейс с пользователем и возможность управления комплексом с персонального компьютера.

Уровни управления комплексом. *Уровень управления отдельным инструментом* — управление отдельной двухкоординатной системой как функционально законченным устройством. Эта функция возложена на отдельный контроллер SoftStep, разработанный совместно с фирмой LST. *Уровень управления комплексом в целом* — координация работы нескольких двухкоординатных систем в едином рабочем пространстве. Для этой цели в систему введен дополнительный специализированный контроллер (LST Controller), содержащий два транспьютера T800. *Уровень взаимодействия комплекса с ПЭВМ оператора* — отображение текущего состояния комплекса, ввод новых заданий на специальном языке описания техпроцесса. Эту функцию реализуют совместно ПЭВМ пользователя с установленным там специальным программным обеспечением и LST Controller. В соответствии с уровнями управления выделены и отдельные модули, составляющие систему.

Каждый из перечисленных выше уровней имеет собственное программное обеспечение.

Программное обеспечение контроллера Softstep. Непосредственными задачами контроллера являются распознавание и декодирование входного языка HPGL и управление координатным позиционером в режиме реального времени. Первая задача решается комплексом программ, написанных для выполнения на транспьютере. Задача непосредственного управления ЛШД в реальном времени решается с помощью ПЦОС. Структурная схема программного обеспечения контроллера SoftStep показана на рис. 9.

На транспьютере реализована программа декодера языка HPGL, расширенного для возможности обработки растровых изображений. Обработка растров производится путем разложения их в линии. Транспьютер декодирует инструкции HPGL, рассчитывает траекторию движения в виде кубических сплайнов и посылает коэффициенты сплайнов в DSP. Эта программа реализована в виде обрамляющего процесса, запускающего параллельно в режиме конвейера три процесса.

Блок выделения команд предназначен для выделения отдельных HPGL команд из непрерывного потока символов, читаемых из входного канала from.pc. После выделения из входного потока отдельной HPGL-команды она передается дальше по конвейеру процессов в декодер языка HPGL.

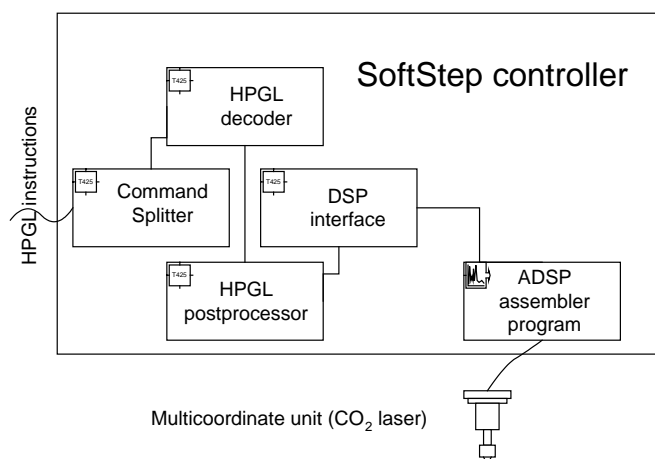


Рис. 9. Структурная схема программного обеспечения контроллера SoftStep

Декодер HPGL получает на вход из канала `hpgl.instructions` отдельные инструкции, декодирует их, изменяет свое текущее состояние при поступлении соответствующих команд, разлагает все команды рисования (рисование окружности, прямоугольника, символа и т.д.) в линии и посылает их в постпроцессор языка HPGL.

Постпроцессор HPGL получает из канала ввода команды на отрисовку линий, переводит линии из абсолютных координат в параметрические и передает их в процесс, обеспечивающий интерфейс с ПЦОС. *Процесс интерфейса с ПЦОС (DSP)* выполняет две важные функции – первоначальную загрузку управляющей программы в ПЦОС из транспьютерной сети и интерфейс с ПЦОС в процессе работы. Этот процесс передает в ПЦОС координаты линий, по которым ПЦОС должен выполнить перемещение.

Непосредственное управление координатным позиционером осуществляет ПЦОС ADSP2100, находящийся в контроллере SoftStep. Программа управления написана на ассемблере данного микропроцессора и работает в реальном времени. Цикл программы составляет 40 мкс. За это время процессор успевает выполнить около 500 инструкций. За цикл работы программы ПЦОС рассчитывает управляющие воздействия, выдаваемые через ЦАП, проводит измерения по системе обратной связи и рассчитывает и производит коррекцию перемещения [3, 4]. Необходимую для расчетов информацию процессор получает от транспьютера контроллера SoftStep.

Программное обеспечение контроллера LST-Controller. Для реализации функций управления второго уровня — управления комплексом в целом — необходимо дополнительное аппаратное обеспечение. Для управления комплексом в целом используется функционально законченный контроллер фирмы LST. Он включает в себя два транспьютера с 4 Мб динамического ОЗУ.

Общее управление инструментами осуществляет процесс Control. При программировании широко использовалась системная библиотека AServer, обеспечивающая интерфейс между сетью транспьютеров и ПЭВМ.

Процесс Control является ключевым при координации работы, обеспечении интерфейса ПЭВМ с сетью и сети с ПЭВМ оператора. Он осуществляет инициализацию (установление связи с Windows-приложениями на ПЭВМ) и общее управление всеми другими процессами, играя роль диспетчера.

После успешного выполнения предыдущих шагов процесс Control устанавливает связь с другими процессами сети, которые были загружены в сеть при инициализации всей системы в целом, и разрешает им начать работу. При реализации процесса Control вызываются последовательно три процедуры:

get.command — получение из ПЭВМ очередной команды в формате языка описания техпроцесса, декодирование, определение инструмента, которому она предназначена;

execute.command — выполнение декодированной команды посредством передачи ее в соответствующий процесс-инструмент и посылка сообщения о выполнении в Monitor Server;

pool.hardware — получение информации о текущем состоянии инструмента либо вспомогательного оборудования (если она доступна). Это делает возможным визуальное отображение положения инструмента на экране ПЭВМ.

Процесс Tool. Промежуточным звеном между процессом Control и процессом, работающим на каждом из контроллеров SoftStep, является процесс-инструмент, виртуализирующий представление технологического оборудования (робот, лазер и т.д.) в системе на уровне координации работы нескольких инструментов. Пять копий процесса Tool расположены на двух транспьютерах контроллера LST Controller.

Заключение

Обеспечение высоких функциональных характеристик систем перемещений прецизионного технологического оборудования в соответствии с темпами развития микроэлектроники уже невозможно на основе традиционного конструкторского подхода к разработке и проектированию, например, путем форсирования режима работы, ужесточения требований к точности изготовления узлов и деталей и др. Необходимо углубленное математическое моделирование на универсальных моделях структурно-топологических, кинематических, динамических и точностных характеристик прецизионных систем перемещений.

Представленный в работе базовый ряд координатных позиционеров основан на оптимизированном по силовым и массо-габаритным показателям электромагнитном модуле движения, основные конструктивные параметры которого получены на базе имитационного моделирования по алгоритмам и программам, разработанным в научной лаборатории математического моделирования технических систем и информационных технологий БГУИР.

Созданный в рамках научно-технического сотрудничества БГУИР и ГНПКТМ "Планар" комплектный координатный привод, включающий в себя механо-, аппаратно-программную составляющие, позволил выполнить целый ряд проектов и технических разработок. Совместно с Европейским центром лазерной техники LST Laser & Strahl Technik (г. Вена, Австрия) разработан и реализован гибкий производственный комплекс "TurboPlane" на основе предложенной концепции многоцелевого программного согласования всех производственных и транспортных движений центральным контроллером с возможностью управления комплексом от компьютера. Для совместного белорусско-японского предприятия "Лотис-ТИИ" разработана и создана мехатронная система трехкоординатных перемещений, позволяющая формировать трехмерные объекты в стекле и прозрачных диэлектриках. Разработан и серийно производится на предприятии КБТМ-СО контроллер системы управления для прецизионного сборочного оборудования.

PRECISION MOVEMENT SYSTEMS

S. KARPOVICH, Y. MEZHINSKY, V. ZHARSKY

Abstract

The methodological scientific bases for designing and production of modern precision movement systems are described. The component integration (drive, control system, tool) on the base of program adaptation in the united workspace is presented on example of flexible production complex "TurboPlane".

Литература

1. Карпович С.Е., Русецкий А.М., Ляшук Ю.Ф. Теория построения прецизионных механизмов оборудования производства электронной техники. Мн.: ГНПК ТМ "Планар". 1999. 261 с.
2. Карпович С.Е., Матюшков В.Е., Аваков С.М. Построение математических моделей автоматизированного проектирования прецизионного оптико-механического оборудования для электронного оборудования. Мн.: НПО "Интеграл", 2000. 124 с.

3. *Ляшук Ю. Ф.* Линейный шаговый электропривод для прецизионного оборудования. Мн.: Технопринт, 2002. 139 с.
4. *Карпович С. Е., Жарский В. В., Ляшук Ю. Ф., Межинский Ю. С.* Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия. Мн.: ГНПК ТМ "Планар", 2001. 198 с.
5. *Межинский Ю. С.* Построение систем перемещений для гибкого автоматизированного оборудования. Мн.: Технопринт, 2002. 120 с.
6. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники / А.П. Достанко, С.П. Кундас, С.Е. Карпович и др.; Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко и П.А. Витязя // В 3-х т. Т.3. Мн.: ФУАинформ, 2001. 290 с.
7. Мехатроника и современная механика // Сборник научных статей / Под ред. С.Е. Карповича. Мн.: БГУИР, 2001. 106 с.
8. Технология и техника прецизионного лазерного модифицирования твердотельных структур / А.П. Достанко, Н.К. Толочко, С.Е. Карпович и др. Мн.: Технопринт., 2002. 375 с.
9. Основы механики машин и роботов / С.Е. Карпович, Ю. С. Межинский, В.В. Жарский и др. Мн.: Технопринт, 2002. 155 с.