

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра Мехатроники

В.Д.Брицкий, Б.П.Тимофеев

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РОБОТА

Методические указания к выполнению курсового проекта



Санкт-Петербург
2004

УДК 621,865; 621,882

Брицкий В.Д., Тимофеев Б.П. Кинематический и динамический анализ манипуляционной системы робота /Методические указания к выполнению курсового проекта. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. - 19 с.

Методические указания содержат сведения по решению задач, возникающих при кинематическом и динамическом анализе и синтезе мехатронных систем на примере манипуляционной системы робота, используя матричные методы исследования. Расчет дифференциальных уравнений движения звеньев робота представлен в форме Аппеля. Матричные преобразования формализовали процесс определения скоростей и ускорений звеньев и точек манипуляционной системы робота.

Методические указания адресованы студентам специальностей направления «652000 – Мехатроника и робототехника», изучающим дисциплину «Проектирование мехатронных систем».

© Санкт-Петербургский государственный
университет информационных технологий,
механики и оптики
2004

© В.Д.Брицкий
Б.П.Тимофеев
2004

ЦЕЛЬ И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Цель курсового проекта - изучение методик и получение навыков решения задач, возникающих при кинематическом и динамическом анализе и синтезе мехатронных систем на примере исследования манипуляционной системы робота.

Содержание пояснительной записки.

1. Описание манипуляционной системы робота.
2. Кинематическое исследование.
 - 2.1. Выбор систем координат и обобщенных параметров движения.
 - 2.2. Функции положения робота.
 - 2.3. Матрицы аналога скорости.
 - 2.4. Матрицы аналога ускорения.
 - 2.5. Угловые скорости и ускорения исполнительных звеньев.
 - 2.6. Скорости и ускорения точек звеньев робота.
3. Динамическое исследование.
 - 3.1. Тензоры инерции звеньев.
 - 3.2. Частные производные энергии ускорения звеньев.
 - 3.3. Составляющие обобщенных сил.
 - 3.4. Уравнения движения звеньев робота.
4. Расчет параметров движения звеньев.
 - 4.1. Расчет тензоров инерции звеньев.
 - 4.2. Расчет периодов движения звеньев.
 - 4.3. Выбор двигателей.
5. Исследование парциальных движений.
 - 5.1. Вывод и расчет параметров уравнений парциального движения.
 - 5.2. Расчет динамических ошибок.

Проект оформляется как текстовый конструкторский документ по правилам ЕСКД с титульным листом, содержанием и списком литературы.

Техническое задание проекта оформляется отдельным листом и вставляется в пояснительную записку перед содержанием как страница 2.

При выполнении проекта рекомендуется использовать матричные методы исследования [1]. В приложении 1 приведены основные векторные матричные операции.

1. ОПИСАНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РОБОТА

Вычертить в соответствии с техническим заданием кинематическую схему - манипуляционной системы робота, соблюдая пропорциональность его конструктивных размеров. Описать робот.

2. КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

2.1. Выбор систем координат и обобщенных параметров движения

Манипуляционная система робота состоит из n звеньев, последовательно соединенных вращательной или поступательной кинематической парой. На рис. 1 условно изображена кинематическая схема робота, где в точках O, A, B, \dots, F могут быть вращательная или поступательная пары, произвольно расположенные относительно друг друга. Звено 1 соединено со стойкой робота (неподвижное звено). Захват робота установлен на n -ом звене, центр захвата (полус) - точка M .

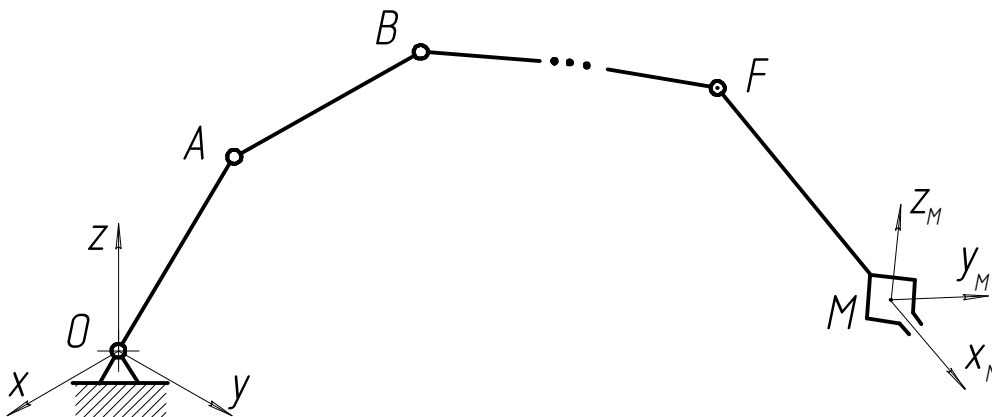


Рис. 1. Кинематическая схема робота

С каждым звеном связывается трехгранник (локальная система координат). Вершина трехгранника определяет положение звена, ребра трехгранника (оси системы координат) - его ориентацию. То есть реальное движение звена можно однозначно представить движением локальной системы координат, связанной жестко со звеном.

Кинематическая схема манипуляционной системы робота вычерчивается в изометрии, с каждым звеном связать локальную систему координат и задать параметры (обобщенные координаты) $q_j, j=1, \dots, n$, определяющие положение двух последовательно соединенных звеньев. Здесь n - число степеней подвижности робота ($n \leq 6$).

Составить прямые $A_{j(j-1)}(q_j)$ и обратные $A_{(j-1)j}(q_j)$ матрицы связи между системами координат двух последовательно соединенных звеньев $j=1, \dots, n$ (см. приложение 1).

2.2. Функции положения робота

Робот предназначен для управляемого перемещения объектов. Следовательно, в данный момент времени и для данного положения робота нам известно положение и ориентация объекта, которые задаются в неподвижной системе координат S_c координатами x_d, y_d, z_d и углами Эйлера $\phi_d, \Theta_d, \varphi_d$. Через данные параметры устанавливается матрица связи между неподвижной системой S_c и системой координат S_M , связанной с центром M схвата робота.

$$A_{cM} = A_{cM}(x_d, y_d, z_d, \phi_d, \Theta_d, \varphi_d)$$

С другой стороны эту связь можно установить через локальные системы координат робота

$$A_{cM} = A_{c1}(q_1)A_{12}(q_2)\dots A_{(n-1)n}(q_n)A_{nM} = A_{cM}(q_1, q_2, \dots, q_n).$$

Приравняв данные матрицы, получим систему уравнений для определения функций положения робота

$$q_j = q_j(x_d, y_d, z_d, \phi_d, \Theta_d, \varphi_d), \quad j=1, \dots, n.$$

В общем случае из сравнения матриц получим 9 уравнений, но независимых уравнений будет равно n .

2.3. Матрицы аналога скорости

Рассмотрим произвольную точку K звена j , будем считать, что координаты ее радиуса-вектора \bar{r}_j^{Kj} в локальной системе координат звена нам известны (см. Приложение 1. Векторные матричные операции). Проекция радиусавектора этой точки в неподвижной системе координат S_c

$$\bar{r}^{Kj} = A_{c1}(q_1)A_{12}(q_2)\dots A_{(j-1)j}(q_j)\bar{r}_j^{Kj} = A_{cj}(q_1, q_2, \dots, q_j)\bar{r}_j^{Kj}.$$

Обратное преобразование имеет вид

$$\bar{r}_j^{Kj} = A_{j(j-1)}(q_j)\dots A_{21}(q_2)A_{1c}(q_1)\bar{r}^{Kj} = A_{jc}(q_1, q_2, \dots, q_j)\bar{r}^{Kj}.$$

Скорость точки K звена j в неподвижной системе координат S_c

$$\bar{V}^{Kj} = \sum_{i=1}^j \dot{q}_i L_{V,i} \bar{r}^{Kj},$$

где $L_{V,i} = \frac{\partial A_{ci}}{\partial q_i} A_{ic}$ - матрица аналога скорости, блочная структура которой

$$L_{V,i} = \begin{bmatrix} L_{\omega,i} & \bar{V}^{Oi} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Матрица $L_{\omega,i}$ - матрица аналога угловой скорости системы координат S_i , а \bar{V}^{Oi} - матрица аналога скорости перемещения этой системы координат.

2.4. Матрицы аналога ускорения

Ускорение точки К звена j в неподвижной системе координат S_c

$$\bar{a}^{Kj} = \frac{\partial \bar{V}^{Kj}}{\partial t} = \sum_{i=1}^j \left(\ddot{q}_i L_{V,i} + \dot{q}_i \dot{q}_i L_{n,i} + \sum_{k=1}^{i-1} \dot{q}_i \dot{q}_k 2L_{c,ik} \right) \bar{r}^{Kj},$$

где матрица аналога нормального ускорения

$$L_{n,i} = L_{V,i} L_{V,i},$$

матрица аналога кориолисова ускорения

$$2L_{c,ik} = \frac{\partial L_{V,i}}{\partial q_k} + L_{V,i} L_{V,k} + L_{V,k} L_{V,i}.$$

2.5. Угловые скорости и ускорения исполнительных звеньев

Угловую скорость звена j задавать в скалярной и векторной формах (см. приложение 1)

$$\bar{\Omega}^j = \begin{bmatrix} \Omega_x^j \\ \Omega_y^j \\ \Omega_z^j \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^j \dot{q}_i \bar{\omega}_i = \sum_{i=1}^j \dot{q}_i \begin{bmatrix} \omega_{ix} \\ \omega_{iy} \\ \omega_{iz} \end{bmatrix},$$

$$L_{\bar{\Omega}^j} = \begin{bmatrix} 0 & -\Omega_z^j & \Omega_y^j \\ \Omega_z^j & 0 & -\Omega_x^j \\ -\Omega_y^j & \Omega_x^j & 0 \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^j \dot{q}_i L_{\omega,i} = \sum_{i=1}^j \dot{q}_i \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{iz} & \omega_{iy} \\ \omega_{iz} & 0 & \omega_{ix} \\ -\omega_{iy} & \omega_{ix} & 0 \end{bmatrix}.$$

Матрица $L_{\omega,i}$ определяется из матрицы аналога скорости $L_{V,i}$ (см. ее блочную структуру).

Угловое ускорение звена j

$$\bar{E}^j = \frac{\partial \bar{\Omega}^j}{\partial t} = \sum_{i=1}^j \left(\ddot{q}_i \bar{\omega}_i + \sum_{k=1}^{j-1} \dot{q}_i \dot{q}_k \bar{e}_{ik} \right), \quad \bar{e}_{ik} = \frac{\partial \bar{\omega}_i}{\partial q_k},$$

2.6. Скорости и ускорения точек звеньев робота

При динамическом исследовании требуется определить скорости и ускорения конструктивных точек робота, к которым относятся:

- центры С масс звеньев,
- точек К приложения внешних сил,
- центр М захвата робота.

3. ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

3.1. Тензоры инерции звеньев

Тензор инерции твердого тела

$$\Theta = \begin{bmatrix} J_x & -J_{xy} & -J_{xz} \\ -J_{yx} & J_y & -J_{yz} \\ -J_{zx} & -J_{zy} & J_z \end{bmatrix},$$

$$J_x = \int (y^2 + z^2) dm, \quad J_{xy} = J_{yx} = \int xy dm,$$

$$J_y = \int (z^2 + x^2) dm, \quad J_{xz} = J_{zx} = \int xz dm,$$

$$J_z = \int (x^2 + y^2) dm, \quad J_{yz} = J_{zy} = \int yz dm.$$

Тензор инерции звена j относительно осей, проходящих через центр масс звена и параллельных осям локальной системы координат S_j , принимать в виде (только для упрощения расчетов в данном курсовом проекте считаем эти оси главными центральными осями инерции звена)

$$\Theta_j^{Cj} = \begin{bmatrix} J_{xj} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yj} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zj} \end{bmatrix}.$$

Тензор инерции звена j относительно осей, параллельных осям неподвижной системы координат S_c и проходящих через центр масс звена -

$$\Theta^{Cj} = H_{cj} \Theta_j^{Cj} H_{jc}.$$

(см. структуру матрицы связи между системами координат, приложение 1).

3.2. Частные производные энергии ускорения звена

Энергия ускорения звена j как твердого тела

$$S_j = \frac{1}{2} m_j \bar{a}^{CjT} \bar{a}^{Cj} + \frac{1}{2} \bar{E}^{jT} \Theta^{Cj} \bar{E}^j + \bar{E}^{jT} (L_{\Omega_j} \Theta^{Cj} \bar{\Omega}^j),$$

где m_j - масса звена, Θ^{Cj} - тензор инерции звена, \bar{a}^{Cj} - ускорение центра масс звена, $\bar{\Omega}^j$ - угловая скорость звена, \bar{E}^j - угловое ускорение. Все параметры задаются в неподвижной системе координат.

Частная производная энергии ускорения звена j

$$\frac{\partial S_j}{\partial \dot{q}_k} = m_j (L_{V,k} \bar{r}^{Cj})^T \bar{a}^{Cj} + \bar{\omega}_k^T (\Theta^{Cj} \bar{E}^j) + \bar{\omega}_k^T (L_{\Omega_j} \Theta^{Cj} \bar{\Omega}^j).$$

3.3. Составляющие обобщенных сил

Каждой обобщенной координате q_k ($k=1, \dots, n$) манипуляционной системы соответствует своя обобщенная сила F_k , которую представим в виде

$$F_k = Q_k + \sum_{j=1}^n F_{kj},$$

где Q_k - обобщенная движущая сила звена k , F_{kj} - составляющая обобщенной силы от внешних сил, действующих на звено j .

Внешние силы и моменты сил, действующие на звено j , заменяются - главным вектором силы \bar{F}^j , главным моментом сил \bar{M}^j , приведенные к произвольно выбранной точке K_j . Составляющая обобщенной силы от данных сил

$$F_{kj} = (L_{V,k} \bar{r}^{K_j})^T \bar{F}^j + \bar{\omega}_k^T \bar{M}^j,$$

где проекции векторов сил и радиуса-вектора \bar{r}^{P_j} точки P_j задаются в неподвижной системе координат S_c .

3.4. Уравнения движения звеньев

Уравнения движения исполнительных звеньев манипуляционной системы робота запишем в форме Аппеля

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{q}_k} = F_k,$$

которое преобразуется к виду

$$Q_k = \sum_{j=k}^n \left(\frac{\partial S_j}{\partial \ddot{q}_k} - F_{kj} \right) \quad k=1, \dots, n.$$

Данные дифференциальные уравнения тождественны уравнениям, полученным из уравнений Лагранжа второго рода.

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ

4.1 Расчет тензоров инерции звеньев

Исполнительные звенья принимать как стержни круглого или

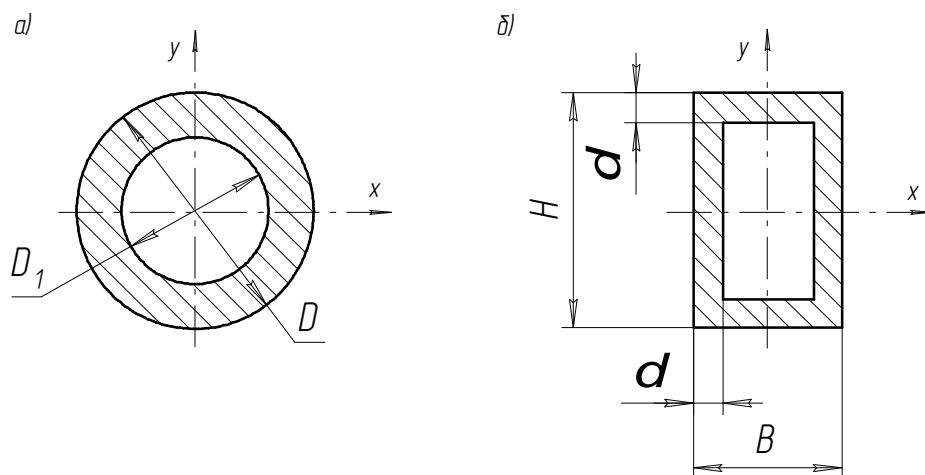


Рис. 2. Поперечное сечение исполнительного звена

прямоугольного сечения длиной l (рис. 2), момент инерции которого относительно осей x и y

$$J_x = J_y = \frac{1}{12} ml^2.$$

Момент инерции относительно оси z (перпендикулярной плоскости чертежа) для стержней

а) круглого сечения

$$J_z = \frac{\pi}{32} \gamma (D^4 - D_1^4) \cdot l,$$

б) прямоугольного сечения

$$J_z = \frac{1}{12} \gamma [HB(H^2 + B^2) - hb(h^2 + b^2)] \cdot l,$$

$$h = H - 2\delta, \quad b = B - 2\delta,$$

где γ - плотность материала звена, m - масса звена.

Размеры поперечного сечения звена определить из условия прочности и жесткости или задать конструктивно.

4.2. Расчет периодов движения звеньев

В курсовом проекте решается задача позиционирования. В момент времени $t=t_0$ задается начальное положение переносимого объекта, в момент времени $t=t_1$ - конечное положение. Перемещение совершается за период $T=t_1-t_0$.

Используя функции положения робота, определить интервал изменения каждой обобщенной координаты

$$q_j \in [q_{j0}, q_{j1}], \quad j=1, \dots, n.$$

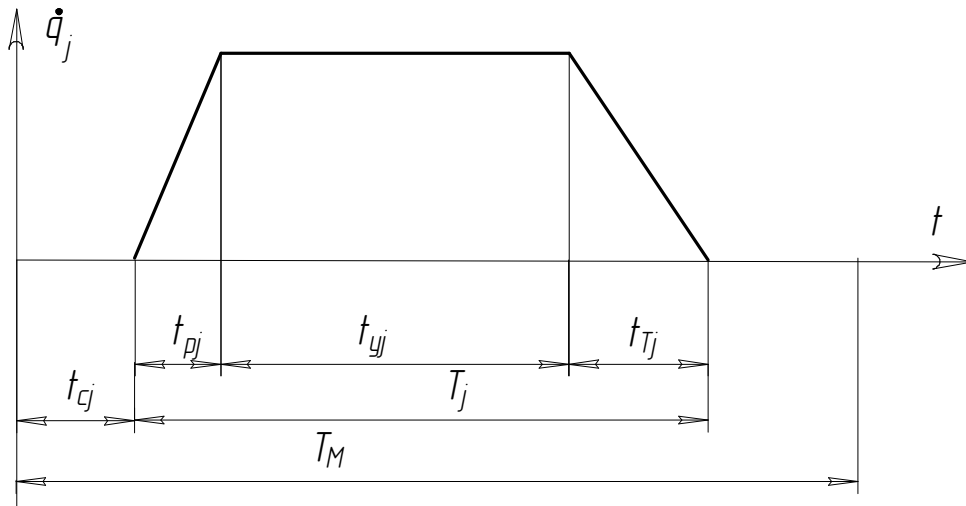


Рис. 3. Закон изменения скорости

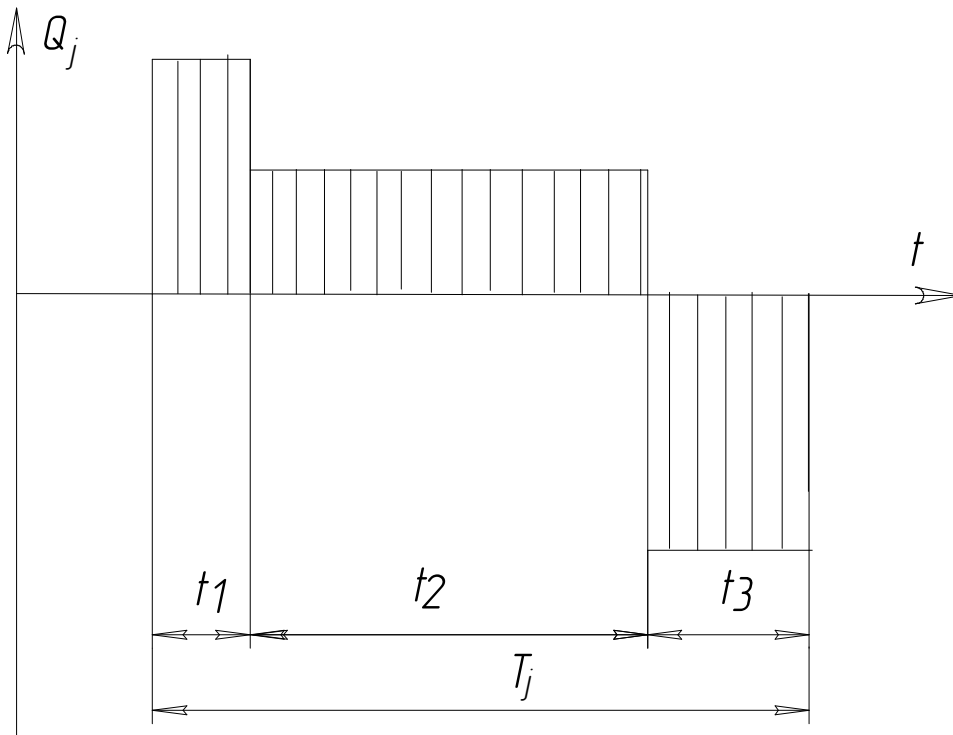


Рис. 4. Закон изменения обобщенной движущей силы

Движение по каждой координате совершается при следующих исходных данных

$$\dot{q}_j(t_0) = \dot{q}_j(t_1) = 0, \quad \ddot{q}_j(t_0) = \ddot{q}_j(t_1) = 0.$$

Время T_j перемещения звена j складывается из времени разгона t_{pj} , времени t_{yj} установившегося движения с номинальной скоростью \dot{q}_{j0} (задается в исходных данных) и времени торможения t_{tj} (рис. 3).

Выбор траектории перемещения объекта, т.е. установить последовательность перемещения исполнительных звеньев и задать для каждого звена время смещения t_{cj} начала движения относительно времени t_0 .

4.3. Выбор двигателей

По уравнениям движения исполнительных звеньев рассчитать обобщенные движущие Q_j ($j=1, \dots, n$) и построить графики их изменения (рис. 4). При расчете не требуется высокая точность, поэтому при разгоне и торможении принять линейный закон изменения скорости ($\ddot{q}_j = \dot{q}_{j0} / t_{pj} = const$).

Эквивалентная обобщенная сила

$$Q_{j \text{ экв}} = \sqrt{Q_{j,i}^2 t_i / T_j}.$$

Эквивалентная мощность на исполнительном звене

$$P_{j \text{ экв}} = Q_{j \text{ экв}} \dot{q}_{j0}.$$

Номинальная мощность двигателя

$$P_{jH} = (1,0 \dots 1,6) P_{j \text{ экв}} / \eta_j,$$

где η_j - коэффициент полезного действия передаточного механизма.

По номинальной мощности выбрать тип двигателя и определить его характеристики: мощность P_{jH} , номинальная частота вращения ω_{jH} , номинальный движущий момент D_{jH} , пусковой движущий момент D_{jP} (частота вращения холостого хода ω_{jX}), момент инерции ротора J_{jd} , электромеханическая постоянная времени τ_j .

Передаточное отношение передаточного механизма

$$i_{jm} = \omega_{jH} / \dot{q}_{j0}.$$

Коэффициент крутизны статической характеристики двигателя

$$k_j = (D_{jP} - D_{jH}) / \omega_{jH} \quad \text{или} \quad k = D_{jH} / (\omega_{jX} - \omega_{jH}).$$

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРЦИАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

5.1. Вывод и расчет параметров уравнений парциального движения

Парциальное движение - программное движение робота, при котором изменяется только одна из обобщенных координат

$$q_j = q_j(t),$$

$$q_i = \text{Const}, \quad i=1, \dots, (j-1), (j+1), \dots, n.$$

Это движение можно представить как движение механизма, состоящего из двигателя 1, передаточного механизма 2 и исполнительного звена 3 (рис. 5).

Движущую силу Q звена (см. уравнения движения звеньев) представим в виде $Q = J_q \ddot{q}_j + F_0 + F_v(q, \dot{q}_j)$.

Уравнение движения механизма

$$J_m \ddot{\phi} = D - Q/i_m,$$

$$D + \tau \dot{D} = S \cdot u - k \dot{\phi},$$

$$\phi = i_m q,$$

где $J_m = J_0 + J_{\text{п}}$, J_0 - момент инерции ротора двигателя, $J_{\text{п}}$ - приведенный момент инерции передаточного механизма.

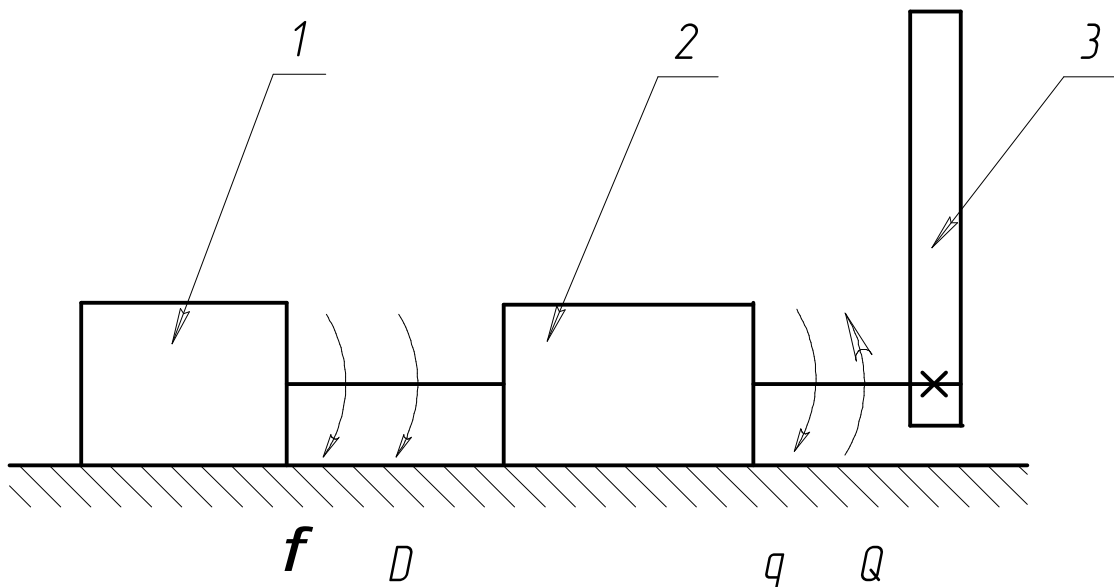


Рис. 5. Структурная схема привода исполнительного звена

Вращающий момент двигателя представим как сумму постоянной и переменной составляющих

$$D = D_0 + D_v$$

и примем $D_0 = F_0/i_m$.

Будем считать, что задан закон программного парциального движения звена

$$q_{\text{п}} = q_{\text{п}}(t)$$

и требуется определить динамическую ошибку парциального движения

$$\phi = q - q_{\text{п}}$$

Принять закон управления двигателем

$$Su = k i_m \dot{q}_n + F_0 / i_b.$$

Введя обозначения

$$J = J_q + J_m \cdot i_m i_m.$$

$$\vartheta = \phi.$$

представим уравнения движения в форме Коши

$$D_v = -[D_v + i_m k \vartheta] / \tau$$

$$\dot{\vartheta} = [D_v i_m - Q_v] / J - q_n$$

$$\Psi = \vartheta.$$

5.2. Расчет динамических ошибок

Цель исследования - из решения дифференциальных уравнений движения определить закон изменения

- переменной составляющей вращающего момента двигателя $D_v = D_v(t)$,
 - динамическую ошибку скорости движения исполнительного звена $\vartheta = \vartheta(t)$,
 - динамическую ошибку положения исполнительного звена $\phi = \phi(t)$,
- за время $t \in [0, T]$ при различных законах программного парциального движения.

Исходные данные для расчета:

- момент инерции J механизма приведенный к исполнительному звену,
- передаточное отношение i_m механизма,
- коэффициент крутизны k статической характеристики двигателя,
- электромеханическая постоянная времени τ двигателя.

В таблице приведены "стандартные" законы изменения ускорения и законы движения. Расчет провести для каждого из приведенных законов движения и оценить влияние жестких и мягких ударов на динамические ошибки.

В приложении 2 приведена инструкция исследования парциальных движений с помощью пакета MATLAB.

Таблица. Законы изменения ускорения и законы движения.

№ пп	Расчетные формулы и параметры	
	Разгон	Торможение
1	$\ddot{q} = a_1$ $\dot{q} = a_1 t, \quad a_1 = \dot{q}_0 / t_0$ $q = a_1 t^2 / 2, \quad q_0 = \dot{q}_0 t_0 / 2$	$\ddot{q} = -a_1$ $\dot{q} = \dot{q}_0 - a_1 t, \quad a_1 = \dot{q}_0 / t_0$ $q = \dot{q}_0 t - a_1 t^2 / 2, \quad q_0 = \dot{q}_0 t_0 / 2$
2	$\ddot{q} = a_2 \cos\left(\frac{\pi}{2t_0} t\right), \quad a_2 = \frac{q_0 \pi}{t_0 \cdot 2}$ $\dot{q} = \dot{q}_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2t_0} t\right), \quad q_{0x} = \dot{q}_0 t_0 \cdot \frac{2}{\pi}$ $q_0 = q_{0x} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2t_0} t\right)\right], \quad q_0 = q_{0x}$	$\ddot{q} = -a_2 \cos\left(\frac{\pi}{2t_0} t\right), \quad a_2 = \frac{q_0 \pi}{t_0 \cdot 2}$ $\dot{q} = \dot{q}_0 \left[1 - \sin\left(\frac{\pi}{2t_0} t\right)\right],$ $q_{0x} = \dot{q}_0 t_0 \cdot \frac{2}{\pi}$ $q_0 = \dot{q}_0 t - q_{0x} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2t_0} t\right)\right],$ $q_0 = \dot{q}_0 t - q_{0x}$
3	$\ddot{q} = a_3 \sin\left(\frac{\pi}{t_0} t\right),$ $\dot{q} = \frac{\dot{q}_0}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{t_0} t\right)\right], \quad a_3 = \frac{\dot{q}_0 \pi}{t_0 \cdot 2}$ $q = \frac{\dot{q}_0}{2} \left[t - \frac{t_0}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{t_0} t\right)\right], \quad q_0 = \frac{\dot{q}_0 t_0}{2}$	$\ddot{q} = -a_3 \sin\left(\frac{\pi}{t_0} t\right)$ $\dot{q} = \frac{\dot{q}_0}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{t_0} t\right)\right], \quad a_3 = \frac{\dot{q}_0 \pi}{t_0 \cdot 2}$ $q = \frac{\dot{q}_0}{2} \left[t + \frac{t_0}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{t_0} t\right)\right], \quad q_0 = \frac{\dot{q}_0 t_0}{2}$
4	$\ddot{q} = \frac{a_4}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{t_0} t\right)\right]$ $\dot{q} = \dot{q}_0 \left[\frac{t}{t_0} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{t_0} t\right)\right],$ $a_4 = \frac{\dot{q}_0}{t_0} \cdot 2$ $q = \frac{\dot{q}_0 t^2}{2t_0} - \frac{\dot{q}_0 t_0}{(2\pi)^2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{t_0} t\right)\right],$ $q_0 = \frac{\dot{q}_0 t_0}{2}$	$\ddot{q} = -\frac{a_4}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{t_0} t\right)\right]$ $\dot{q} = \dot{q}_0 \left[1 - \frac{t}{t_0} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{t_0} t\right)\right],$ $a_4 = \frac{\dot{q}_0}{t_0} \cdot 2$ $q = \dot{q}_0 t \cdot \left(1 - \frac{t}{2t_0}\right) - \frac{\dot{q}_0 t_0}{(2\pi)^2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{t_0} t\right)\right]$

ЛИТЕРАТУРА

1. Коловский М.З., Слоуш А.В. Основы динамики промышленных роботов. - М., Наука, 1988.
2. Лурье А.И Аналитическая механика. –М., Физмат гиз, 1961.
3. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для вузов. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика /. – М.; Высш. шк., 1988.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. ВЕКТОРНЫЕ МАТРИЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Координаты радиуса-вектора r точки и проекции вектора V в системе координат $S(x, y, z)$

$$\bar{r}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \bar{V}_i = \begin{bmatrix} V_{xi} \\ V_{yi} \\ V_{zi} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Скалярное произведение векторов $c = \bar{a} \cdot \bar{b}$:

$$c = \bar{a}^T \cdot \bar{b} = \begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \\ 0 \end{bmatrix} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z.$$

Векторное произведение векторов $\bar{c} = \bar{a} \times \bar{b}$:

$$\bar{c} = L_a \bar{b} = \begin{bmatrix} 0 & -a_z & a_y \\ a_z & 0 & -a_x \\ -a_y & a_x & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ a_z b_x - a_x b_z \\ a_x b_y - a_y b_x \end{bmatrix}.$$

Векторное произведение векторов $f = [\bar{e}, \bar{a}, \bar{b}]$:

$$f = [\bar{e}^T L_a \bar{b}] = \begin{bmatrix} e_x & e_y & e_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -a_z & a_y \\ a_z & 0 & -a_x \\ -a_y & a_x & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_x(a_y b_z - a_z b_y) + \\ + e_y(a_z b_x - a_x b_z) + \\ + e_z(a_x b_y - a_y b_x) \end{bmatrix}.$$

Координаты радиуса-вектора точки и проекции вектора в системе координат $S_j(x_j, y_j, z_j)$

$$\bar{r}_j = A_{ji} \bar{r}_i, \quad \bar{V}_j = A_{ji} \bar{V}_i.$$

Матрица связи A_{ji} между системами координат, записанная в блочной форме

$$A_{ji} = \begin{bmatrix} H_{ji} & \bar{R}_j^{O_i} \\ O & 1 \end{bmatrix},$$

где $\bar{R}_j^{O_i}$ - радиус-вектор начала координат O_i системы S_i в системе S_j , $[O] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ - нулевая строчная матрица.

Матрица H_{ji} имеет вид

$$H_{ji} = \begin{bmatrix} \cos(x_j \wedge x_i) & \cos(x_j \wedge y_i) & \cos(x_j \wedge z_i) \\ \cos(y_j \wedge x_i) & \cos(y_j \wedge y_i) & \cos(y_j \wedge z_i) \\ \cos(z_j \wedge x_i) & \cos(z_j \wedge y_i) & \cos(z_j \wedge z_i) \end{bmatrix}.$$

Матрица H_{ji} описывает ориентацию систем S_j и S_i относительно друг друга, вектор $\bar{R}_j^{O_i}$ - смещение системы S_i относительно системы S_j .

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРЦИАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ РОБОТА С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА MATLAB

Инструкция пользователя

1. Запустить командную систему управления пакета MATLAB

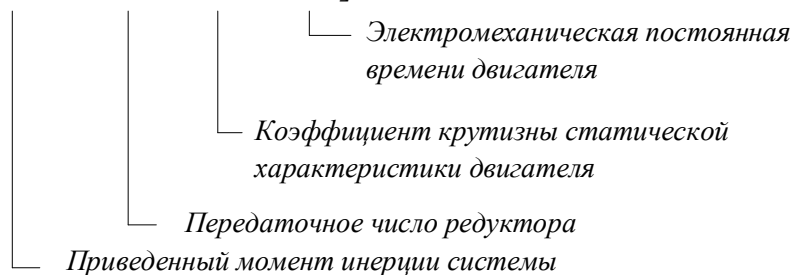
2. Ввести команды

» `addpath s:\BVD\ Matlab`

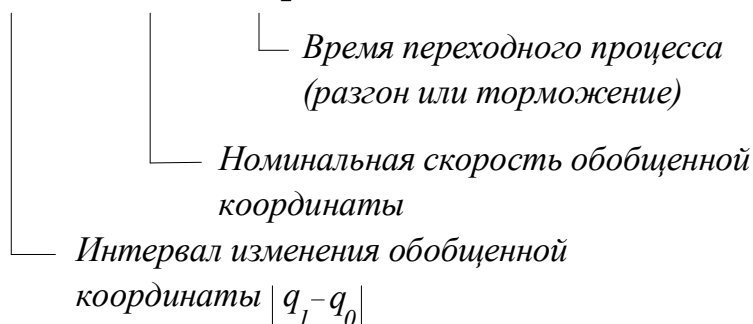
» `edit pardvig.m`

3. В файле-сценарии `pardvig.m` скорректировать значения элементов матриц A и B в соответствии с параметрами исследуемой системы

$$A = [26.73 \quad 135 \quad 0.11 \quad 0.02]$$



$$B = [1.373 \quad 0.78 \quad 0.3]$$



4. Сохранить файл `pardvig.m` – «FILE - SAVE »

5. Запустить файл `pardvig.m` на выполнение - « TOOL - RUN»

6. Распечатать полученные графики – «FILE-PRINT»

№ Figure	Закон изменения ускорения при переходном режиме
1	$A=a_0=\text{const}$
2	$A=a_0\cos(0.5\pi t/t_0)$
3	$A=a_0\sin(\pi t/t_0)$
4	$A=a_0[1-\cos(2\pi t/t_0)]$

СОДЕРЖАНИЕ

Цель и объем работы	3
1. Описание манипуляционной системы робота	4
2. Кинематическое исследование	4
3. Динамическое исследование	7
4. Расчет параметров движения звеньев	9
5. Исследование парциальных движений	12
Литература	15
Приложение	
1. Векторные матричные операции	16
2. Исследование парциальных движений робота с помощью пакета MATLAB	17

Виталий Давыдович Брицкий
Борис Павлович Тимофеев
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РОБОТА
Методические указания к выполнению
курсового проекта

В авторской редакции

Комплексный набор, верстка, дизайн

В.Д.Брицкий

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.

Зав. редакционно-издательским отделом

Н.Ф.Гусарова

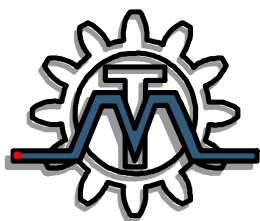
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 10.03.04

Отпечатано на ризографе

Заказ № 739

Тираж 100 экз.



История кафедры

Кафедра Мехатроники, одна из старейших кафедр СПбГУ ИТМО, история которой начинается с 30-х годов XX века. Первое упоминание о прародительнице кафедры Мехатроники содержится в приказе № 18 от 3.10.1930 по Учебному комбинату точной механики и оптики: “доцент Замыцкий Н.Н. назначен с 1.10.1930 заведующим кафедрой Детали машин института точной механики и оптики”. Важным этапом было существование в 30-х годах кафедры «Сопротивление материалов и детали машин», поскольку речь шла уже не только о выборе схемы устройства (машины, прибора), но и об определении размеров и формы деталей при прочностном расчете. Руководил кафедрой в то время виднейший ученый в области строительной механики Ягн Юлий Иванович.

С 1945 г. руководство кафедрой осуществляет Николай Иоасафович Колчин, крупнейший ученый механик в самом широком смысле этого слова. Он расширил и обогатил исследовательскую и преподавательскую деятельность кафедры методами Теории машин и механизмов. Нельзя не сказать, что Н.И. Колчин был в той или иной мере учителем трех последующих заведующих кафедрой – Ф.Л. Литвина, К.И. Гуляева и ныне возглавляющего кафедру Мехатроники Б.П. Тимофеева.

С 1951 года, заведующим кафедрой Теории механизмов и деталей машин, становится Рифтин Л.П. Именно в этот момент учебная и научная деятельность кафедры приобрела черты синтетической научной дисциплины, где выбор схем машины, прибора, устройства сопровождался учетом не только геометро-кинематических, но и динамических, прочностных характеристик.

1964 год: “Ректорат и Совет ЛИТМО поручили профессору Литвину Ф.Л. провести реорганизацию кафедры Теории механизмов и деталей машин в кафедру приборостроительного типа, закладывающую основы конструкторской подготовки специалистов, выпускаемых ЛИТМО”. Во время заведования кафедрой Литвиным Ф.Л. была создана лабораторная база с оригинальными лабораторными установками, написаны многочисленные методические пособия, разработаны и изготовлены учебные стенды, макеты устройств и прозрачные модели, отвечающие современным требованиям учебного процесса в высшей школе.

В начале 1979 года заведующим кафедрой становится профессор Гуляев К.И. По своей направленности, кафедра остается общеинженерной.

В 1989 году Тимофеев Б.П. приступил к заведыванию общеинженерной кафедрой Теории механизмов и деталей приборов, преобразовав её в выпускающую кафедру Мехатроники. Мы были первыми на территории бывшего СССР. Лишь в 1994 году специальность 071800 «Мехатроника» появилась в официальном списке специальностей. Первый Государственный стандарт специальности (1995 г.) был во многом основан на нашем учебном плане. С 2000 года университет имеет лицензию на образовательную деятельность по специальности «Мехатроника».

В 2000 году было образовано научное направление «Мехатроника и робототехника».

"Мехатроника - это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями".