УДК 622.23.054

И.Н. ЧИКОВ, студент (ТПУ)
А.Э. ЕВСТРАТОВ, ассистент (ТПУ)
г. Томск

ТРЕБОВАНИЕ ПРЕДЬЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ МОДУЛЯМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ[1]

Применение роботизированных комплексов (РК) является неотъемлемой частью современного производства, позволяющей увеличить производительность и качество изделий, а также удешевить производимую продукцию. РК – это совокупность единиц технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы [1]. Энергопотребляющей частью таких систем является привод, который может быть гидравлическим, пневматическим и электрическим, и одной из важнейших задач является минимизации потребления энергии приводом РК.

Минимизацией потребления энергией электромеханическими модулями РК занималось множество исследователей. Ими были получены различные алгоритмы движения исполнительно органа промышленного робота, обеспечивающие энергоэффективность. Таким образом, чтобы сформировать требования к электромеханическому преобразователю необходимо определиться с каким управлением и по какой траектории будет двигаться исполнительный орган РК. Для этого рассмотрим принцип построения манипулятора с i степенями свободы.

Одной из целей управления выберем максимальное быстродействие манипулятора, а за ограничение возьмём, что мощность двигателей ограничена, из-за чего ограничены обобщенные ускорения:

$$\left|\ddot{q}_i\right| \le a_{i\max}.$$

Кроме того, ограничены обобщенные скорости:

$$\left|\dot{q}_i\right| \le v_{i\max}.$$

Ограничения по скорости связаны с большими силами инерции, вызывающими опасные напряжения в элементах конструкции, так с большими силами трения, которые двигатели не могут преодолеть.

1 Статья подготовлена в рамках госзадания "Наука", проект № 3852 "Интеллектуальные мехатронные системы"

Чтобы решить задачу в общем виде для синтеза необходимо выбрать параметр s, который будет монотонно меняется вдоль траектории – это может быть любая обобщенная координата. С учетом, что в начальный и конечный момент времени манипулятор покоиться, то:

$$\dot{s}_0 = 0\ \dot{s}_L = 0, \tag{1}$$

где x_0 – начальное x_L – конечное состояние.

Опуская математический вывод с учетом поставленных ограничений получаем условия минимальной длительности при движении по траектории времени:

$$\dot{s}_i^2 \le v_{j\max}^2 \Big/ \left(q'_{jL}\right)^2; \tag{2}$$

$$-2a_{j\max} \le \dot{s}_i^2 \left(q''_{jL,l+1} - \frac{q'_{jL,l+1}}{s_{l+1} - s_l} \right) + \dot{s}_{i+1}^2 \left(q''_{jL,l+1} + \frac{q_{jL,l+1}}{s_{l+1} - s_l} \right) \le 2a_{j\max}. \tag{3}$$

Следует выбирать $\dot{s}_i^2$ таким образом, чтобы были выполнены условия (1) – (3) и при этом время перемещения было минимально. Время перемещения можно выразить через те же “скорости” $\dot{s}$ так как:

$$t_{L+1} - t_L = \int \frac{ds}{\sqrt{\dot{s}_i^2}} = \frac{s_{L+1} - s_L}{\sqrt{\left(\dot{s}_{L+1}^2 + \dot{s}_L^2\right)}}; \tag{4}$$

$$t_L - t_0 = \sum_{l=0}^{L-1} \left(t_{L+1} - t_L\right). \tag{5}$$

Полученная задача о наилучшем выборе величины $\dot{s}_i^2$ [2] может быть решена методом динамического программирования [3]. С этой целью выбирается параметр точности ε – шаг измерения величины $\dot{s}_i^2$.

Последовательно просматривается интервалы $\left(s_L, s_{L+1}\right)$, начиная с

последнего интервала, для которого $l = L + 1$. На каждом интервале табулируется полученные функции причем $\dot{s}_i^2$ меняется с шагом ε и сравнивается за какой шаг время будет минимально. В результате применения динамического программирования получается следующая линия перемещения обобщённой координаты (рис.1).

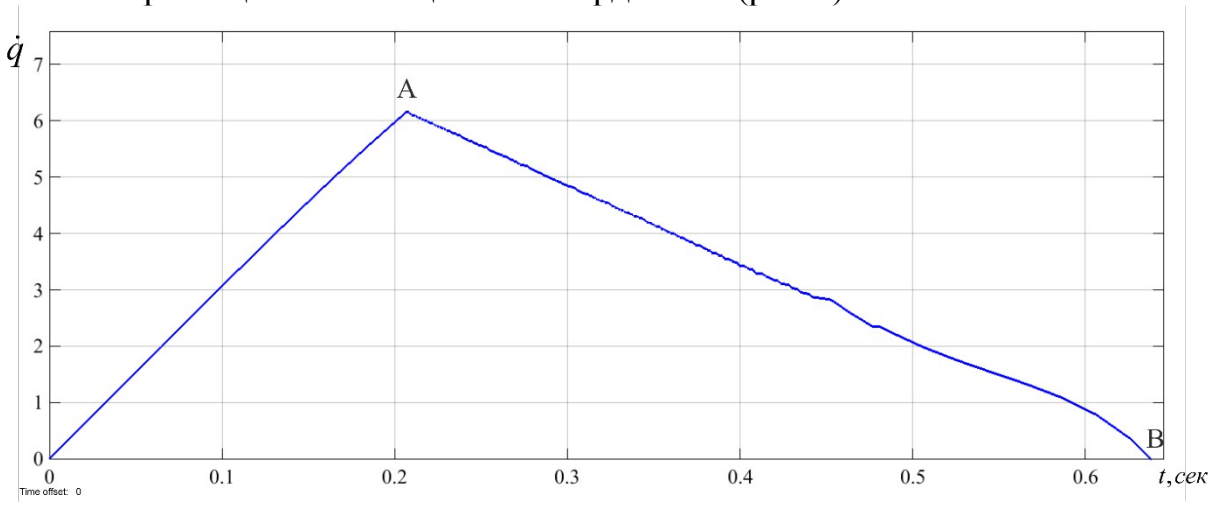

Рис. 1. Траектория движения обобщенной *скорости*

Полученная траектория является решением задачи оптимального быстродействия; точка 0 – исходное положение (стоп); участка О-А – разгон привода до заданной скорости; в точке А – переключение управления u1 на замедление; участка А-В – замедление до торможения

Еще одним способом оптимизации алгоритмов движения промышленных роботов из условия минимизации времени переходного процесса является [4]. Особенностями решениям данной задачи является учет геометрии технологического оборудования и типа технологической оснастки. Решения этой задачи каждый раз уникальное и также обеспечивает перемещения за минимальное время.

Анализируя вышесказанное, все алгоритмы оптимального перемещения исполнительного органа РК требуют такой работы привода, чтобы перемещение совершалось за короткие промежутки времени из неподвижного состояния. Исходя из этого можно сформулировать первое требование для электромеханического модуля – формирование максимально возможного момента за минимальное время.

Также следует отметить, что быстрое вращения ротора создает гироскопический эффект, на основании чего выделяем второе требование к электромеханическим модулям – отсутствие перерегулирования.

Третье требование выдвигается исходя обеспечения надежности механический соединений и механических преобразователей – это

минимально возможные колебания момента. Это позволит уменьшить накопление усталостных повреждений.

Также следует отметить, что задачу обеспечения заданной траектории значительно усложняет математическое описание манипулятора, которое весьма громоздко. Так модель манипулятора с двумя степенями свободы выглядит следующим образом [5]:

$$M(q)\begin{bmatrix}\ddot{\theta}_1\\ \ddot{\theta}_2\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}-m_2a_1a_2\left(\dot{\theta}_1^2+2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2\right)\sin\theta_2\\ m_2ga_2\dot{\theta}_1^2\sin\theta_2\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\left(m_1+m_2\right)ga_1\cos\theta_1+m_2ga_2\cos\left(\theta_1+\theta_2\right)\\ m_2ga_2\cos\left(\theta_1+\theta_2\right)\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix}\tau_1\\ \tau_2\end{bmatrix},$$

где

$$M(q)=\begin{bmatrix}\left(m_1+m_2\right)a_1^2+m_2a_2^2+2m_2a_1a_2\cos\theta_2 & m_2a_2^2+m_2a_1a_2\cos\theta_2\\ m_2a_2^2+m_2a_1a_2\cos\theta_2 & m_2a_2^2\end{bmatrix}. \quad (6)$$

Если манипулятор с двумя степенями свободы имеет такое математическое описание, то манипулятор с *i* степенями свободны гораздо сложнее.

Движущие силы манипулятора в стандартной форме [5] описываются выражением:

$$M(q)\ddot{q}+V(q,\dot{q})+G(q)=\tau,$$

где $M(q)$ матрица инерции, $V(q,\dot{q})$ вектор Кориолиса, $G(q)$ вектор силы тяжести.

На основание математического описания манипулятора с двумя степенями свободы (6) можно заметить, что момент инерции и момент сопротивления зависят от углового положения подвижных частей манипулятора. Поэтому одним из важнейших требований к электромеханическому модулю является нечувствительность к изменению параметров манипулятора в процессе работы.

В заключение стоить отметить, что одновременное выполнение всех этих требований возможно только в случае если полученный электромеханический модуль, т.е. электродвигатель с управляющим преобразователем, будет выступать в качестве источника момента.

Таким образом соблюдая выделенные требования при проектировании РК оптимальных по быстродействию можно будет формировать необходимые траектории движения, не приминая во внимания электромеханические модули.

Список литературы:

1.Быков В.Г. От маятника к роботу. Введение в компьютерное моделирование управляемых механических систем / СПб.: Наука, 2011. – 86 с.

2. Механика промышленных роботов: Учебное пособие для вузов/ под редакцией К.В. Фролова, Е.И. Воробьев// Кинематика и динамика. – М.: Высш. Шк., 1988. – 304 с.

3. Беллман Р. Динамическое программирование // М.: Изд-во Иностранная литература, 1960 – 400 с.

4. Игнатов М.Б., Кулаков Ф.М., Покровский А.М. Алгоритмы управления роботами манипуляторами / Л.: Наука, 1972.

5. Frank L.Lewis Robot manipulator control: theory and prac-tice. – Marcel Dekker, 2004. – 607c.