

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРА

Представлены данные по исследованию системы следящего привода с параметрическим регулятором. Работа посвящена на исследование пути решения задачи, связанной с введением в систему следящих приводов параметрического регулятора, устанавливающего определенную связь между моментом инерции руки манипулятора и коэффициентом усиления цепи обратной связи в следящих приводах. Производится количественная оценка протекания динамических процессов в следящих приводах на основе построения переходных процессов. Результаты моделирования на ПЭВМ динамики системы следящих приводов манипулятора показывают, что по сравнению с динамикой обычной системы координатно регулируемого привода происходит улучшение характера протекания переходных процессов и обеспечиваются их заданные показатели. Подобный подход к построению системы следящего привода манипуляционных роботов может быть применена к большинству типов серийно выпускаемых промышленных роботов.

Одно из основных требований, предъявляемых к следящим электроприводам – обеспечить апериодические переходные процессы отработки перемещений [1, 2]. Наличие колебаний и пере-регулирования при позиционировании создают опасности для переносимого груза и окружающих предметов манипулятора, а также ухудшают качество выполняемой им работы. В работе [2] рассматривается следящая система, имеющая неизменные динамические характеристики при различных конфигурациях манипулятора и обладающая свойством компенсации составляющих позиционной ошибки от действия силы тяжести входного сигнала.

В работе [3] в целях улучшения качества процесса управления в результате уменьшения взаимовлияния приводов манипулятора предлагается использование наряду с координатным управлением манипулятором оптимального параметрического регулятора (ПР). Реализация ПР

осуществляется с помощью отдельного блока, который в зависимости от конфигурации манипулятора автоматически, в соответствии с выражениями для значений коэффициентов усиления в цепи главной обратной связи следящего привода, вычисляет значение корректирующего параметрического сигнала. Параметрический сигнал поддерживает оптимальным указанное значение коэффициента усиления и одновременно стабилизирует значение общего коэффициента усиления следящего привода (рис. 1).

На основании этого принципа в настоящей работе было исследовано влияние указанного контура ПР на качество динамических процессов при позиционировании схватка манипулятора из одной точки рабочей плоскости в другую. Систему, в которой наряду с координатным регулированием используется параметрический регулятор в дальнейшем назовем системой с координатно-параметрическим регулированием (КПР).

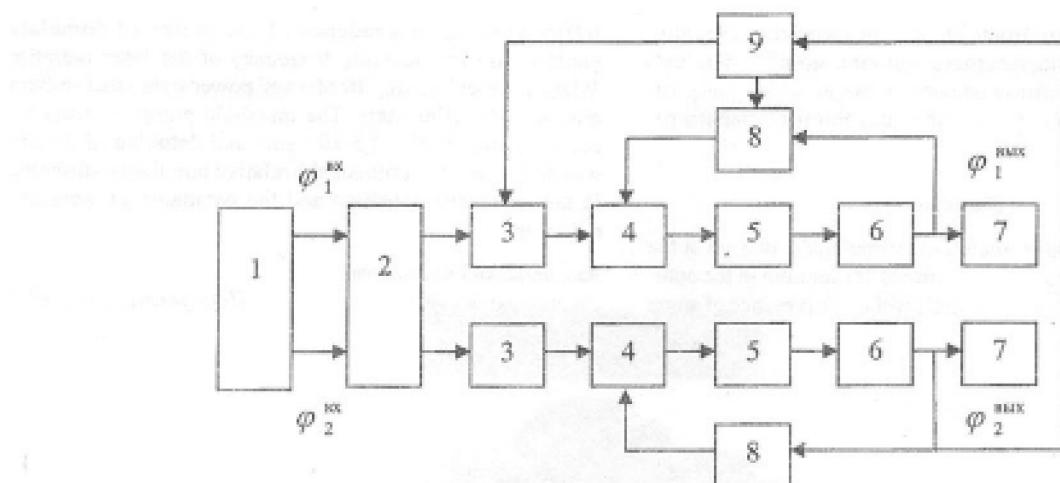


Рис. 1. Следящая система с параметрическим регулятором:
1 – задающее устройство; 2 – вычислительное устройство; 3 – усилитель мощности (УМ);
4 – усилитель обратной связи (УОС); 5, 6 – двигатель с редуктором; 7 – звено механизма,
8 – датчик обратной связи (ДОС); 9 – параметрический регулятор (ПР)

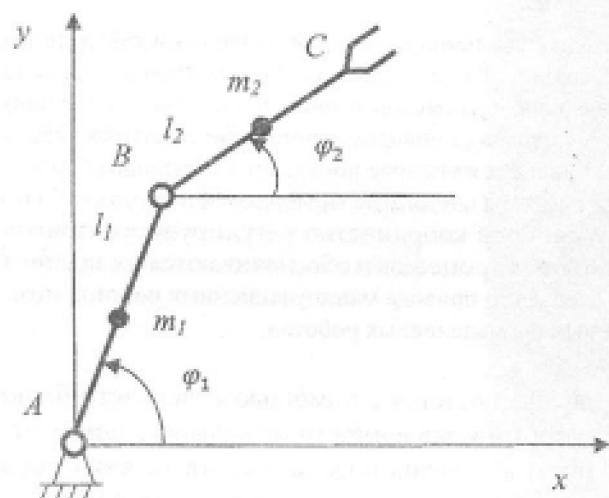


Рис. 2. Двухзвенный манипулятор:
 m_1, m_2 – массы звеньев, φ_1, φ_2 – угловые координаты,
 l_1, l_2 – длины звеньев

При этом рассматривается модель системы привода двухзвенного манипулятора, показанного на рис. 2, динамические свойства которой характеризуются следующей системой дифференциальных уравнений 2-го порядка:

$$T_i \ddot{\varphi}_i(t) + 2T_i \gamma_i \dot{\varphi}_i(t) + \varphi_i(t) = k_i \varphi_i^m(t), \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

где $\varphi_i(t)$, $\dot{\varphi}_i(t)$, $\ddot{\varphi}_i(t)$ – обобщенные координаты, скорости и ускорения ведущих звеньев манипулятора ($i = \overline{1, 2}$); $T_i = T_i(I_{\text{пп}}, k_{\text{ос}}) = (k_{\text{пп}} r_i I_{\text{пп}} / c_{u_i} k_{\text{ум}} k_{\text{ос}})^{1/2}$ – постоянная времени

системы привода; $\gamma_i = \gamma_i(I_{\text{пп}}, k_{\text{ос}}) = c_{e_i} / 2 \times (c_{u_i} k_{\text{ум}} k_{\text{ос}} / r_i I_{\text{пп}} k_{\text{ум}} k_{\text{ос}})^{1/2}$ – коэффициенты затухания ($0 \leq \gamma < 1$); $k_i = k_{\text{ум}} / k_{\text{ос}}$ – коэффициенты усиления системы привода; $I_{\text{пп}}$ – приведенные моменты инерции роторов электродвигателей и подвижных элементов манипулятора; c_{u_i} – коэффициенты крутящих моментов; c_{e_i} – коэффициенты противо ЭДС; $k_{\text{ос}}$ – коэффициенты усиления обратной связи; $k_{\text{ум}}$ – коэффициенты усиления УМ; r_i – активные сопротивления цепи якоря; $k_{\text{пп}}$ – передаточные отношения редукторов.

Процесс позиционирования манипулятора из одной точки рабочей плоскости в другую моделируется за счет численного интегрирования системы дифференциальных уравнений (1) с учетом закона изменения обобщенных координат системы. Для этого в зоне, обслуживаемой этим манипулятором, задавалась подлежащая обработке траектория перемещения схвата $y_c = y_c(x_c)$ или в функции времени

$$x_c(t) = l_1 \cos \varphi_1(t) + l_2 \cos \varphi_2(t),$$

$$y_c(t) = l_1 \sin \varphi_1(t) + l_2 \sin \varphi_2(t), \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (2)$$

Путем решения ОЗК для механизма, определялись законы изменения обобщенных коорди-

нат $\phi_1(t)$ и $\phi_2(t)$ при прохождении схватом рассматриваемого манипулятора траектории (2).

При исследовании рассматривалась следящая система с КПР в сравнении с традиционной системой с КР (координатное регулирование – без регулятора ПР на рис. 1). Оптимальное значение коэффициента усиления УОС определяется следующим выражением

$$k_{\alpha_i} = k_{\alpha_0} \left(I_{\text{pri}} \right) = \\ = \left[\frac{\left(4\bar{\alpha}_{1i} r_i^2 I_{\text{pri}} + \bar{\alpha}_{2i} c_M^2 c_{\alpha i}^2 k_{\text{pri}} \right)^{1/2}}{2\bar{\alpha}_{2i} c_{\alpha i} \left(r_i^2 I_{\text{pri}} + c_M^2 r_i I_{\text{pri}} k_{\text{yti}} \right)^{1/2}} \right]^2, \\ i = 1, 2, \quad (3)$$

где $\bar{\alpha}_{1i}$, $\bar{\alpha}_{2i}$ – постоянные коэффициенты, и изменяются в процессе перемещения манипулятора в зависимости от принимаемой им конфигурации [2].

Приведенные моменты инерции роторов электродвигателей и подвижных элементов манипулятора

$$I_{\text{pri}} = I_{\text{pri}} + I_{\text{ni}} / k_{\text{pd}}^2 \eta,$$

где I_{pri} – моменты инерции роторов исполнительных электродвигателей; I_{ni} – приведенные моменты инерции звеньев манипулятора относительно оси вращения, $i = 1, 2$; η – к.п.д. двигателя.

Моменты инерции звеньев, приведенные к шарнирам A и B имеют следующий вид:

$$I_{n1} = m_1 l_1^2 / 4 + m_2 \left(l_1^2 + l_2^2 / 4 - l_1 l_2 \cos \varphi_2(t) \right),$$

$$I_{n2} = m_2 l_2^2 / 4,$$

где m_1 и m_2 – массы 1-го и 2-го звеньев, соответственно; l_1 и l_2 – длины звеньев.

Вследствие постоянства приведенного момента инерции в шарнире B оптимальное значение коэффициента k_{α_i} для соответствующей следящей системы будет постоянным. В то же время коэффициент k_{α_i} для системы привода шарнира A будет являться переменной величиной – функцией конфигурации руки и, конкретно, обобщенной координаты $\varphi_2(t)$.

Численное интегрирование системы (1) с переменными параметрами и с учетом выражения (3) произведено методом Рунге-Кутта с шагом интегрирования, который в несколько раз меньше минимальной постоянной времени. Это обеспечивает требуемую точность решения.

Результатом этого решения является определение фактических значений обобщенных координат $\phi_1(t)$ и $\phi_2(t)$. По этим значениям путем решения прямой задачи кинематики определялся фактическая траектория движения схвата

$$x_c = x_c(t), \quad y_c = y_c(t), \quad t \in [t_0, t_k].$$

В качестве исходных данных были использованы данные робота ТУР-10. По результатам численного интегрирования системы дифференциальных уравнений были получены процессы изменения угловых координат ϕ_1 и ϕ_2 и траектории движения схвата для случаев КПР и КР. По результатам счета построены графики кривых (рис. 3), на которых видно, что кривая, характеризующая процесс изменения угла ϕ_1 при КПР, имеет значительно малую величину перерегулирования по сравнению с соответствующей кривой для системы КР, т.е.

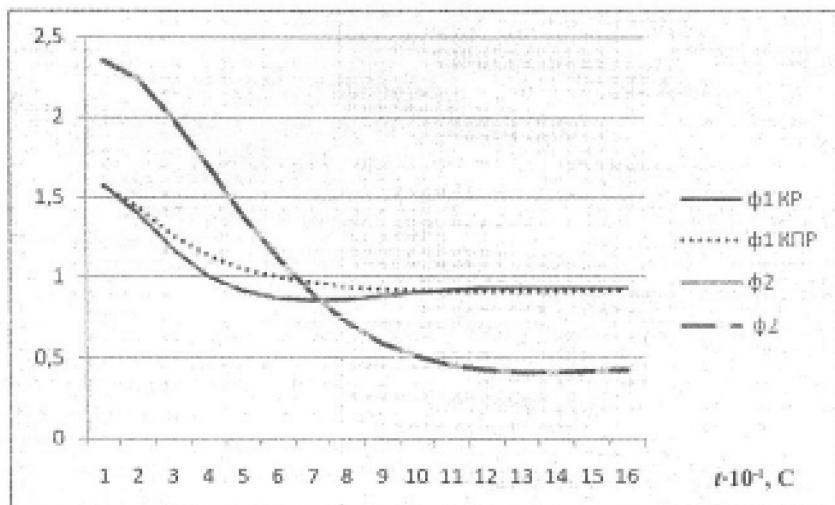


Рис. 3. Переходные процессы для случаев КПР и КР

$$\sigma_{kp} = 11,63\%, \quad \sigma_{knp} = 0,06\%.$$

По графикам также определены времена переходного процесса, которые позволяют установить, что в данном случае процесс КПР заканчивается быстрее чем КР. Это видно из следующих результатов:

$$t_{kp} = 0,19 [c], \quad t_{knp} = 0,13 [c].$$

Время перерегулирования при этом уменьшается на 20-30%. В результате применения контура

КПР в системе привода позволяет улучшить динамические характеристики системы. Кривая характеризующая процесс изменения угла φ_2 остается неизменной для обоих случаев.

На рис. 4, а и б показаны траектории движения схвата для случаев КПР и КР, соответственно. Из них видно, как в случае КПР значительно уменьшается амплитуда движения в окрестности точки позиционирования, что улучшает динамическую характеристику системы привода.

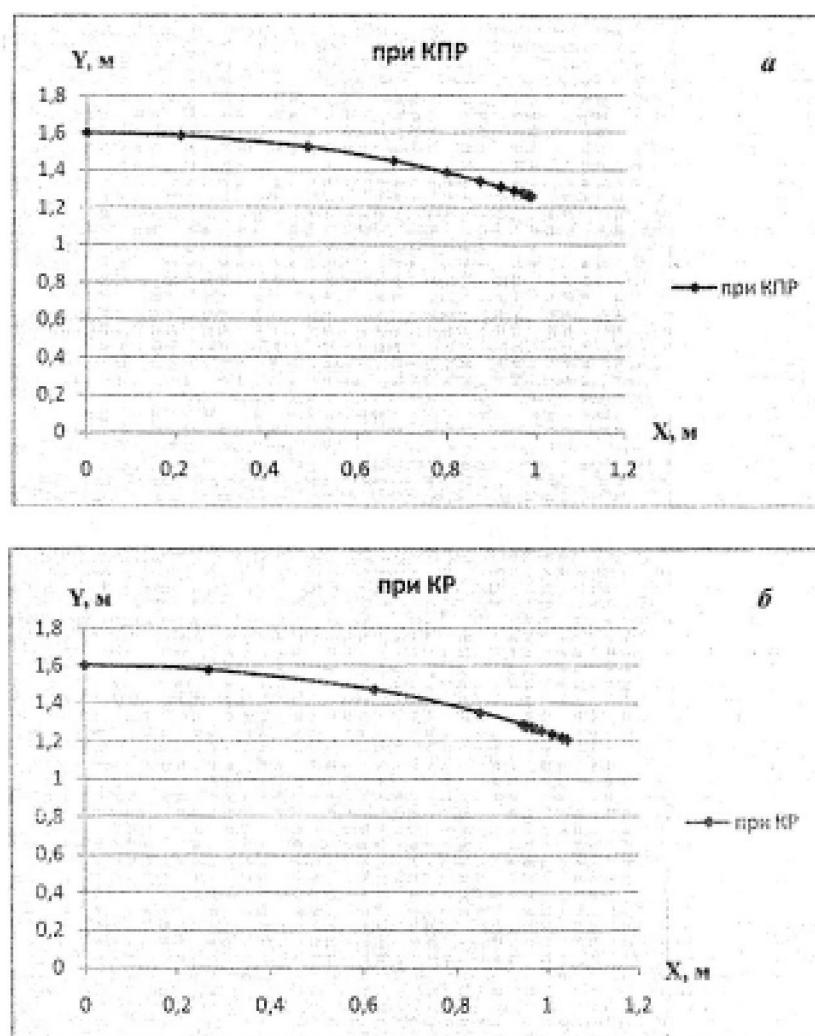


Рис. 4. Траектории перемещения схвата для случаев КПР и КР

Подобный подход к построению системы следящего привода манипуляционных роботов может быть применена к большинству типов серийно выпускаемых промышленных роботов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никольский А.А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. М.: Энергоатомиздат, 1988. 160 с.

2. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота - манипулятора. М.: Наука, 1976. 104 с.

3. Слуцкий Л.И., Сафонцев Е.А., Витюкова Г.А. Методика динамического синтеза дистанционного манипулятора на основе экспериментального исследования процесса управления. // Анализ и синтез механизмов. Сборник научных трудов. Алма-Ата, КазГУ, 1983. С. 31-37.

4. Митяшин И.П., Каунельсон А.Ш., Тикаиди В.И. Промышленный робот ТУР-10 // Приборы и системы управления. 1984. № 5. С. 32-33.

Резюме

Параметрлік реттегішпен қадағалайтын жетек жүйесін зерттеудің мәліметтері берілген. Жұмыс қадағалайтын жетек жүйесіне манипулятор қолының инерция моменті мен қадағалайтын жетектің көрі байланыс тізбегінің күштейткіш коэффициентінің арасын байланыстыратын параметрлік реттегішті енгізу жолдарын зерттеуге арналады. Қадағалайтын жетек жүйесіндегі динамикалық үрдістердің ағымын өтпелі үрдістерді салу негізінде сандық бағалау жүргізіледі. Манипулятордың қадағалайтын жетек жүйесінің динамикасын ДЭМ-де модельдеудің қорытындыларынан әдеттегі қолданыстағы координатты реттелетін жүйемен салыстырғанда өтпелі үрдістердің ағым сипаттының жаксарғаны жөне олардың берілген көрсеткіштерінің қамтамасыздырылатыны көрінеді. Манипуляторлық роботтарды қадағалайтын жетек жүйесін құрудаты осындағы төсіл болашақта се-риямен шығарылатын өнеркәсіптік роботтардың көпте-ген түрлеріне қолдануға болады.

Summary

This project provides the research findings of the follow-up drive system with the parametric control. The follow-up drive

system with the coordinating and parametric control (hereafter CPC) has been researched and compared to the traditional system with the coordinative control. The purpose of this comparative analysis was to evaluate the CPC's influence on the quality of dynamic processes that are fulfilled by a manipulating robot during positioning procedures. The research project examines different ways of solving a complicated problem of introducing the parametric control into the follow-up drive system that establishes a specific connection between the inertia moment of the manipulator's handle and the coefficient of amplification of the feedback circuit in the follow-up drives. The researchers study the quantitative assessment of dynamic processes in the follow-up drives on the basis of transient processes. The computer simulation findings of the dynamics of the follow-up drive system with the manipulator demonstrate that transient processes have a better performance and produce defined outcomes compared to the dynamics of the regular system with the coordinating drive. The same approach of creating the follow-up drive system with manipulating robots can be applied to the majority of standard industrial robots.

*Национальная Инженерная академия РК;
ИММаш МОН РК им. акад. У. А. Джолдасбекова,
г. Алматы*
Поступила 18.05.2010г.