

УДК 62.83.52

**СИСТЕМА ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ФОРМИРОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО ДЕЙСТВИТЕЛЬНОМУ ПЕРЕМЕЩЕНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА МЕХАНИЗМА**

*Чермалых А.В., к.т.н., доц., Майданский И.Я. инж., Козаченко А.В., инж.*

*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”  
03057, г. Киев, пр. Победы, 37*

*E-mail: [ivanmaidansky@gmail.com](mailto:ivanmaidansky@gmail.com)*

У статті показано, що підвищення точності відпрацювання завдання в позиційних системах управління забезпечується шляхом використання двох управляючих впливів: один формується у часі в задаючих моделях першого або другого порядків, другий – за дійсним переміщенням робочого органу механізму.

**Ключові слова:** позиціонування, задаюча модель, комбіноване управління.

In given clause it is shown, that increase of accuracy of work-off of the task in item control systems is provided by use of two operating influences: one is formed on time in setting models of the first or second orders, the second - on the valid moving working body of the mechanism.

**Key words:** positioning, setting model, combined control.

**Ведение.** Современное состояние проектирования автоматизированных электроприводов с использованием микроконтроллеров позволяет реализовать весьма сложные алгоритмы функционирования отдельных блоков при небольших затратах. Это позволяет ставить новые задачи и практически их решать в области совершенствования систем управления электроприводом.

**Анализ предыдущих исследований.** Принципы построения систем управления позиционным электроприводом, обеспечивающих оптимальное по быстродействию изменение скорости во времени, приведены в работах [1, 2], а системы позиционного управления электроприводом, контролирующее реальное перемещение, – в работах [3, 4]. В статьях первого направления рассмотрена система с задающими моделями, формирующими управляющие воздействия без контроля действительного положения механизма. Поэтому в этих системах любое изменение параметров или нагрузки приведет к погрешности позиционирования. Поэтому такие системы могут быть применены только в случаях, когда не требуется высокая точность отработки задания.

В статьях второго направления приведены варианты систем позиционного управления с контролем положения рабочего органа. Недостатком таких систем является сложность обеспечения оптимального изменения скорости в течение рабочего цикла, что при сложной механической части электропривода практически не позволяет обеспечить оптимальный по динамическим нагрузкам режим, что является весьма важным в обеспечении долговечности и надежности электромеханической системы.

В данной статье сделана попытка объединить оба предложенных выше варианта построения системы управления электроприводом. Предложены функ-

циональная и алгоритмическая схемы построения системы позиционного управления электроприводом, реализующей комбинированное управление с заданием оптимальной программы по времени и корректировкой по действительному положению рабочего механизма.

**Цель работы** - обоснование эффективности применения комбинированного управления позиционным электроприводом на основе управляющих воздействий, формируемых задающей моделью второго (ЗМ2) или третьего (ЗМ3) порядков и сигналом рассогласования, учитывающим положение рабочего механизма.

**Материал и результаты исследований.** В работе приведены результаты исследования системы позиционного управления электроприводом с использованием задающего воздействия в виде сигнала заданной скорости, сформированного по реальному положению рабочего органа механизма в переходных режимах. Особенность данной системы состоит в том, что сигнал действительного перемещения сравнивается с заданным во времени с ограничением первой и второй производных, а сигнал ошибки подается на вход системы, чем обеспечивается высокая точность позиционирования.

Функциональная схема комбинированной системы позиционного управления с управляющими сигналами заданной скорости, формируемыми по времени  $U_{c,v}$  и по перемещению  $U_{c,p}$ , приведены на рис. 1.

Выходами подсистемы ЗМ2 являются сигналы заданного перемещения  $U_{п}$  и заданной скорости  $U_{c}$ . Подсистема УПП представляет функциональную схему управления позиционным приводом.

Исходными величинами являются:  $S_m$  - заданное перемещение;  $V_m$  - ограничиваемая максимальная скорость;  $a_m$  - ограничиваемое ускорение. Ограничивающие сигналы  $U_{п.м}$ ,  $U_{с.м}$  и  $U_{а.м}$  модели соответствуют указанным реальным переменным. Коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_a$  определяют соотношение реальных переменных и переменных модели. Для определения этих коэффициентов используются следующие зависимости:

для реальных переменных:  $S = \int V dt = V \frac{1}{p}$ ,

$V = \int a_m dt = a_m \frac{1}{p}$ , текущее расстояние до конечной

точки с момента начала замедления:  $S_a = \frac{V^2}{2a_m}$ ;

соответствующие зависимости для переменных модели согласно рис. 1:

$U_{п.м} = K_п S_п$ ,  $U_п = K_2 U_c \frac{1}{p}$ ,  $U_c = K_1 U_a \frac{1}{p}$ ,

$U_{а1} = K_a U_c^2$ .

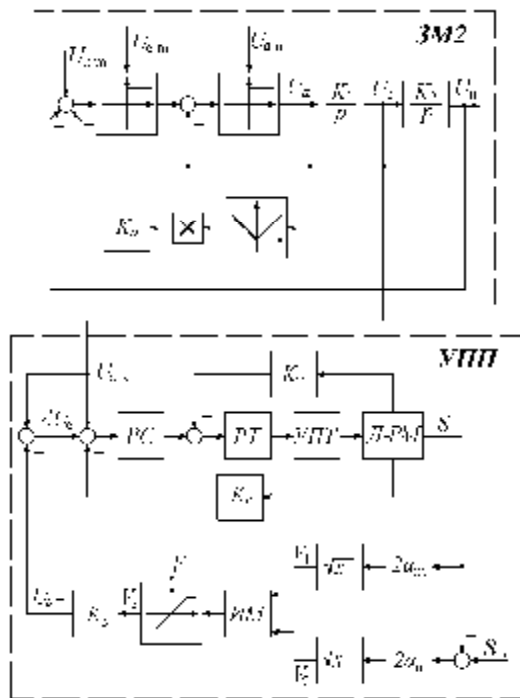


Рисунок 1 – Комбинированная система позиционного управления электроприводом: ЗМ2 – задающая модель 2-ого порядка; УПП – подсистема управления позиционным электроприводом; РС, РТ, УПТ – соответственно регуляторы скорости, тока, управляемый тиристорный преобразователь; Д-РМ – двигатель – рабочий механизм

Коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$  определяются из отношения реальных переменных к переменным модели

$$\frac{S}{U_п} = \frac{1}{K_п} = \frac{V}{U_c}, \text{ откуда } V = K_2 U_c / K_п; \quad (1)$$

$$\frac{V}{U_c} = \frac{K_2}{K_п} = \frac{a_m}{K_1 U_a}, \text{ } a_m = K_1 K_2 U_{а.м} / K_п. \quad (2)$$

Из приведенных зависимостей следует, что при принятых сигналах модели  $U_{п.м}$ ,  $U_{с.м}$ ,  $U_{а.м}$

$$K_2 = \frac{V_m K_п}{U_{с.м}}; K_1 + \frac{a_m K_п}{K_2 U_{с.м}}. \quad (3)$$

Коэффициент  $K_a$  определяется из соотношения

$$\frac{S_a}{U_{а1}} = \frac{1}{K_п} = \frac{V^2 / (2a_m)}{K_a U_c^2}, \text{ откуда с учетом (1), (2)}$$

$$K_a = \frac{K_2}{2K_1 U_{а.м}}. \quad (4)$$

Подачей на вход системы управления воздействия  $U_c = U_{с.в}$ , изменяющегося по трапецеидальному закону, на выходе получается сигнал заданной скорости  $V$  и перемещения  $S$ . При постоянном ускорении  $a_m$   $V(S)$  определяется зависимостями:

при ускорении системы:

$$V_1 = \sqrt{2a_m S}; \quad (5)$$

при замедлении:

$$V_2 = \sqrt{2a_m (S_m - S)}. \quad (6)$$

Вначале значение  $V_1 < V_2$ , а в последнем периоде становится  $V_2 < V_1$ . Функцию выделения меньшего сигнала из двух выполняет блок ИМ, последовательно с которым включен ограничитель  $V_m$ .

Выходной сигнал  $V_3$  является желаемой скоростью в данном положении механизма, а сигнал  $U_{с.п} = K_c V_3$  является вторым управляющим воздействием на систему управления.

Система будет находиться в равновесии при  $S = S_m$ . Если произойдет перерегулирование, то сигнал ошибки  $\Delta U_c = U_{с.в} - U_{с.п}$  поменяет знак и система возвратится в заданное положение.

На рис. 2 представлена Simulink-модель комбинированной системы позиционного управления электроприводом постоянного тока, на рис. 3 – графики сформированного управляющего сигнала  $V_3$ , а на рис. 4 – переходная характеристика изменения выходной переменной  $S(t)$ .

В рассмотренной выше системе позиционного управления не учтено ограничение производной ускорения по времени (рывок). В оптимальных по динамическим нагрузкам электромеханических системах ограничение рывка должно использоваться, главным образом, при формировании заданной диаграммы скорости. Такой режим обеспечивается применением ЗМ-3, выходные сигналы которой пропорциональны перемещению, скорости, ускорению и рывку.

Приведем диаграммы ускорения, скорости и перемещения для периода разгона системы (рис. 4).

Принятые ограничения:  $V_m = 6$ ,  $a_m = 2$ ,  $\rho_m = 1$ .  
Основным управляющим сигналом является рывок

$\rho_m = a_m/t_1$ . Граничные значения скорости и перемещения являются функциями  $\rho_m$ ,  $a_m$ ,  $V_m$ .

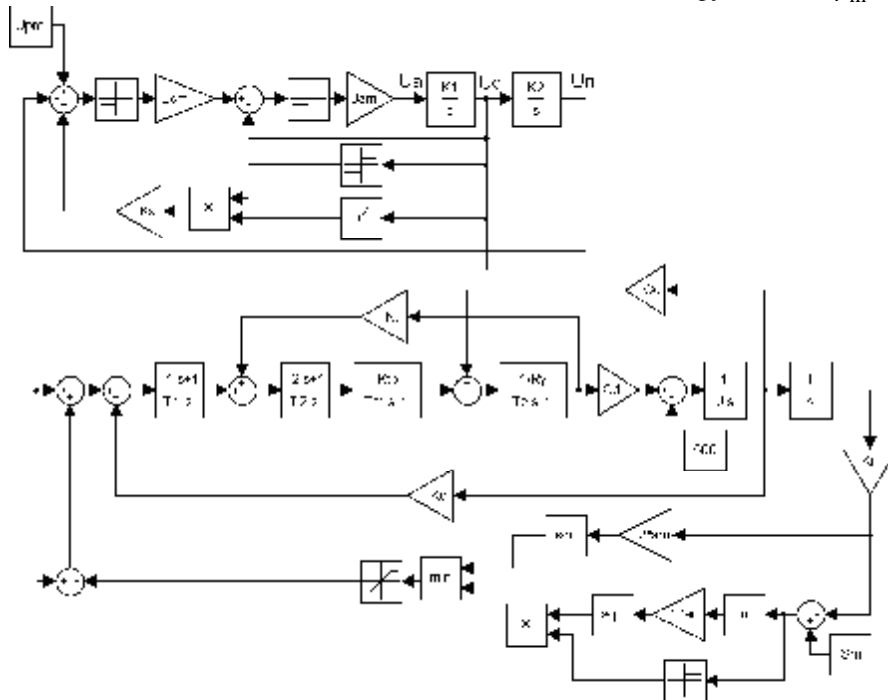


Рисунок 2 – Simulink-модель комбинированной системы позиционного управления электроприводом постоянного тока

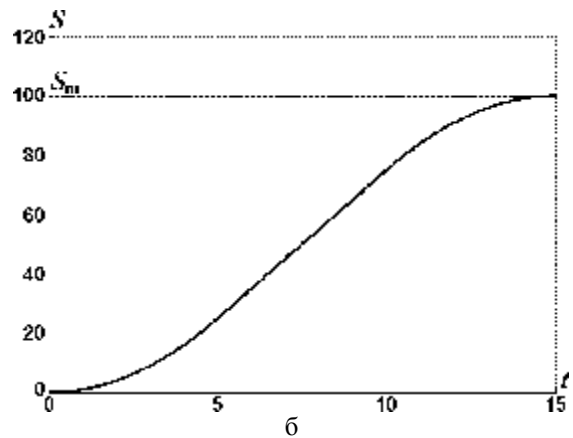
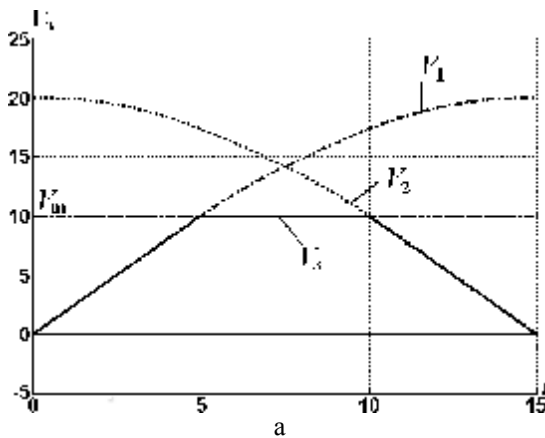


Рисунок 3 – Графики формирования управляющего сигнала заданной скорости  $V_3$  (а) и переходная характеристика выходной переменной  $S(t)$  (б)

Для периода  $t = t_1$   $V_1 = a_m^2/2\rho_m$ ,  $S_1 = a_m^3/6\rho_m^2$ ;  
для  $t = t_1 + t_2$   $V_2 = V_m - V_1$ ,  
 $S_2 = S_1 + (V_m^2 - 2V_m V_1)/2a_m$ ; для  $t = t_1 + t_2 + t_3$   
 $V_3 = V_m$ ,  $S_3 = S_m = V_m^2/2a_m + V_m a_m/2\rho_m$ .

Для определения управляющего воздействия  $V_3$  в функции перемещения  $S$  необходимо на основании предыдущих формул для каждого участка диаграммы найти зависимости  $a(S)$  и  $V(S)$ . Для участ-

ка  $S_2 < S < S_3$  зависимость  $a(S)$  определяется уравнением третьей степени  $a^3 - 6\rho_m a + 6\rho_m^2(S_m - S) = 0$ . Для упрощения реализации этой зависимости на этом участке линейное уменьшение ускорения можно заменить ступенчатым (на рис. 4 показано штриховыми линиями). Тогда  $a = a_m/2$ ,  $V = \sqrt{V_m^2 - a_m(S_m - S)}$ .

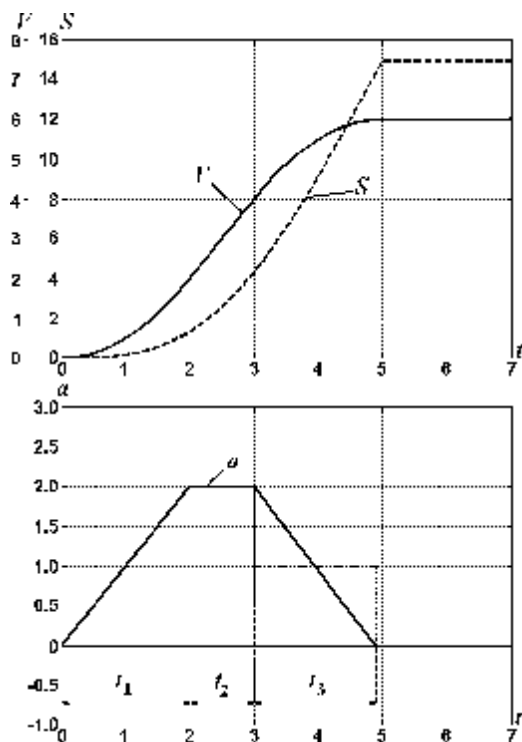


Рисунок 4 – Заданные диаграммы перемещения ( $S$ ), скорости ( $V_3$ ) и ускорения ( $a$ )

Вычисление  $V_3$  в зависимости от  $S$  выполняется по алгоритму:

$$\left. \begin{aligned} 0 < S \leq S_1, & \quad a = \sqrt[3]{6\rho_m^2 S}, \quad V = a^2/2\rho_m; \\ S_1 < S \leq S_2, & \quad a = a_m, \quad V = \sqrt{2a_m S - a_m^4/12\rho_m^2}; \\ S_2 < S \leq S_3, & \quad a = a_m/2, \quad V = \sqrt{V_m^2 - a_m(S_m - S)}; \\ S > S_3, & \quad a = 0, \quad V = V_m. \end{aligned} \right\} (7)$$

По аналогичному алгоритму функционирует система и в период замедления.

На рис. 5 представлены графики  $V_3$  от  $S$ , полученные по алгоритму (7).

Сигнал заданной во времени скорости  $V_3$  и определенной по перемещению  $V_3(S)$ , подается на вход системы управления электропривода аналогично схеме рис. 1. Сигнал  $V_3(S)$  корректирует сигнал скорости, поэтому точность отработки заданного режима реализуется независимо от изменения параметров и нагрузки.

Формирование заданных диаграмм ускорения (тока) имеет особое значение для электромеханических систем с упругими звеньями. Если принять периоды нарастания и уменьшения ускорения изменяющихся по линейному закону с ограничением или ступенчато (рис. 4), то при определенных параметрах [4] механические колебания будут исключены. В рассматриваемом примере стоит принять  $t_1 = 2\pi/\omega_y$ ;  $t_3 = \pi/\omega_y$ , где  $\omega_y$  - период собственных колебаний механической системы.

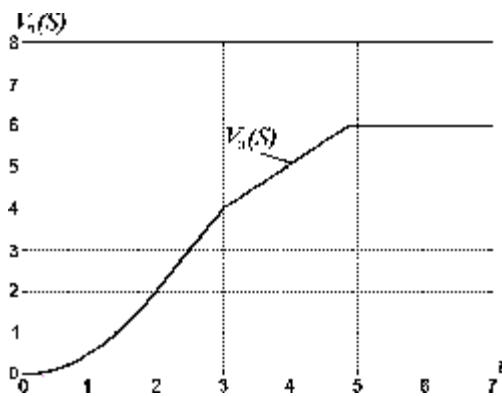


Рисунок 5 – График заданной скорости, определенной по действительному перемещению

### Выводы.

1. Применение комбинированного управления с двумя управляющими воздействиями обеспечивает высокую точность позиционирования, независимо от изменения параметров и нагрузки.

2. Ввиду того, что управляющее воздействие определяется только по действительному перемещению, данная система может быть использована в электромеханических системах с электроприводом любого типа.

3. Особенностью данной системы является то, что она может функционировать при любом из двух входных воздействий, что повышает надежность и безопасность системы управления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Липковский К.А., Чермалых Т.В. Комбинированная система управления позиционным электроприводом с многоканальной задающей моделью // Техн. электродинамика. – 1995. - №5. С. 49-55.
2. Чермалых А.В., Данилин А.В. Позиционное управление подъемно-транспортными машинами с неавтономной задающей моделью // Вісник НТУУ «КПІ». – 2000. – Вип. 2. – С. 115-123.
3. Чермалых В.М., Данилин А.В. Компьютерное моделирование систем позиционного управления с дискретным контролем пути // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 1/2000. – С. 28-31.
4. Майданский И.Я., Козаченко А.В., Алтухов Е.И. Моделирование системы позиционного управления с использованием пакета Simulation среды Labview // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2007. – Вип. 3/2007. – С. 157-161.

Стаття надійшла 20.04.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.