

УДК 62.83.52:62.503.56

UDC62.83.52:62.503.56

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА
ДЛЯ ОСОБО ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПРИ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ЕГО ИСПОЛ-
НИТЕЛЬНОГО ОРГАНА**

**DETERMINATION OF CONTROL SIGNAL
FOR SMALL MOVEMENTS OF ULTRA PRE-
CISE ELECTRIC DRIVE'S ACTUATING DE-
VICE**

Добробаба Юрий Петрович
к.т.н., профессор

Dobrobaba Yuri Petrovitch
Cand.Tech.Sci., professor

Хорцев Анатолий Леонидович
студент
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Khortsev Anatoliy Leonidovich
student
*Kuban State Technological University,
Krasnodar, Russia*

В статье разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода. Определены аналитические зависимости управляющего сигнала системы автоматического регулирования положения от времени, позволяющего с особой точностью формировать оптимальную по быстродействию диаграмму для малых перемещений исполнительного органа электропривода

In this article we have developed the optimum speed diagrams for small movements of electric drive's actuating device. We have identified analytical dependences of position of automatic regulation of system control signal of time, which allows to form the optimum speed diagrams for small movements of electric drive's actuating device with ultra-precision

Ключевые слова: ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА, МАЛЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ОШИБКА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ, УПРАВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Keywords: OPTIMUM SPEED OF DIAGRAM, SMALL MOVEMENT, MOVING ERROR, CONTROL SIGNAL

Система автоматического управления перемещением исполнительного органа электропривода состоит из:

- задатчика интенсивности, формирующего диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода;
- системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода, отрабатывающей заданную диаграмму.

Силовая часть электропривода постоянного тока описывается системой уравнений третьего порядка [1] и существующая типовая оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода сформирована для системы третьего порядка [2,3]. Однако система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода, отрабатывающая эту диаграмму, обладает инерционностью и описывается системой уравнений четвертого порядка [4]. Инерционность САР положения влияет на реальное перемещение исполни-

тельного органа электропривода $\varphi_p(t)$, которое отличается от перемещения исполнительного органа электропривода $\varphi(t)$, формируемого задающим устройством, на величину ошибки $\Delta\varphi(t)$.

Целью данной работы является разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода (с учетом инерционности САР положения), позволяющей избавиться от ошибки по перемещению исполнительного органа электропривода. А также определение аналитических зависимостей управляющего сигнала системы автоматического регулирования положения от времени, позволяющего формировать данную диаграмму.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода, состоящая из шести этапов. На первом, третьем и пятом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению $\omega_{\max}^{(3)}$; на втором, четвертом и шестом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(3)}$. Длительность первого, третьего, четвертого и шестого этапов равна t_1 ; длительность второго и пятого этапов равна $2t_1$. В момент времени t_1 и $7t_1$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(2)}$; в момент времени $3t_1$ и $5t_1$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа элек-

тропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(2)}$.

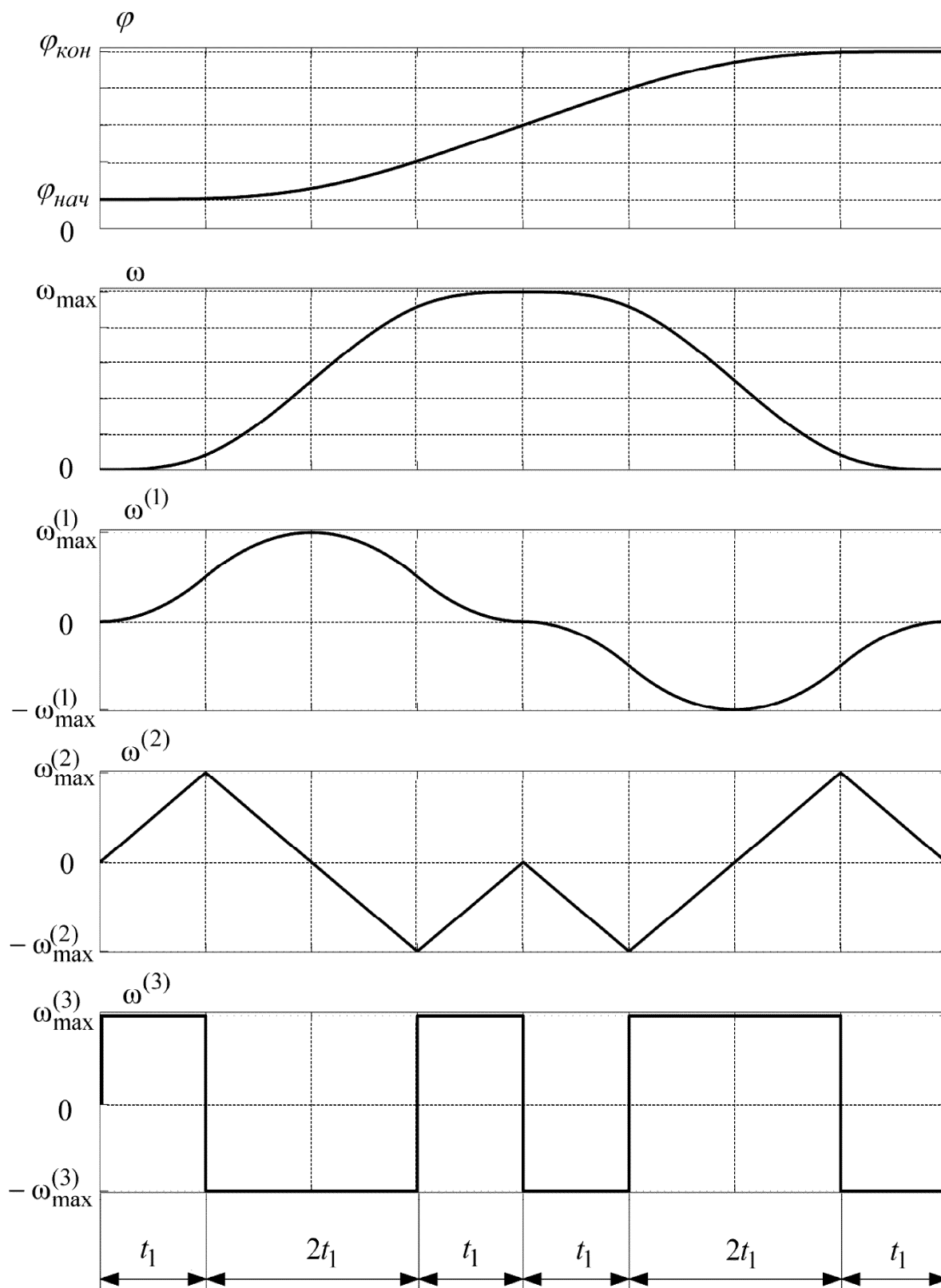


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода

В момент времени $2t_1$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(1)}$; в момент времени $6t_1$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(1)}$. В момент времени $4t_1$ угловая скорость исполнительного органа электропривода достигает максимального значения ω_{\max} . За время цикла $T_{\text{ц}} = 8t_1$ исполнительный орган электропривода перемещается от начального значения угла поворота $\varphi_{\text{нач}}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{\text{кон}}$.

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода, представленной на рисунке 1, справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = 4 \sqrt[4]{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{8\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (1)$$

$$T_{\text{ц}} = 8 \cdot 4 \sqrt[4]{\frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{8\omega_{\max}^{(3)}}}; \quad (2)$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = 4 \sqrt[4]{\frac{1}{8}(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot [\omega_{\max}^{(3)}]^3}; \quad (3)$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{8}(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot \omega_{\max}^{(3)}}; \quad (4)$$

$$\omega_{\max} = 4 \sqrt[4]{\frac{1}{32}(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})^3 \cdot \omega_{\max}^{(3)}}. \quad (5)$$

Область существования оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода:

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \leq \varphi_{\text{гр.1}}, \quad (6)$$

где
$$\varphi_{зр.1} = 8 \cdot \frac{\left[\omega_{доп}^{(1)} \right]^3}{\left[\omega_{доп}^{(2)} \right]^2};$$

$\omega_{доп}^{(1)}$ –максимально допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $рад / с^2$;

$\omega_{доп}^{(2)}$ –максимально допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $рад / с^3$.

Аналитические зависимости координат электропривода от времени при малых перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, представленной на рисунке 1, имеют вид:

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$\omega^{(3)}(t) = \omega_{\max}^{(3)}; \tag{7}$$

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t; \tag{8}$$

$$\omega^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^2; \tag{9}$$

$$\omega(t) = \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^3; \tag{10}$$

$$\varphi(t) = \varphi_{нач} + \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^4. \tag{11}$$

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq 3t_1$:

$$\omega^{(3)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)}; \tag{12}$$

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1); \tag{13}$$

$$\omega^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1)^2; \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1)^2 - \\ & - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1)^3; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \varphi_{нач} + \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^4 + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{4} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - t_1)^2 + \\ & + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1)^3 - \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1)^4. \end{aligned} \quad (16)$$

Этап 3. В интервале времени $3t_1 \leq t \leq 4t_1$:

$$\omega^{(3)}(t) = \omega_{\max}^{(3)}; \quad (17)$$

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1); \quad (18)$$

$$\omega^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1)^2; \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \frac{11}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 3t_1) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1)^2 + \\ & + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1)^3; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \varphi_{нач} + \frac{49}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^4 + \frac{11}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 \cdot (t - 3t_1) + \frac{1}{4} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 3t_1)^2 - \\ & - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1)^3 + \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1)^4. \end{aligned} \quad (21)$$

Этап 4. В интервале времени $4t_1 \leq t \leq 5t_1$:

$$\omega^{(3)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)}; \quad (22)$$

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1); \quad (23)$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1)^2; \quad (24)$$

$$\omega(t) = 2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1)^3; \quad (25)$$

$$\varphi(t) = \varphi_{нач} + 4\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^4 + 2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 \cdot (t - 4t_1) - \frac{1}{24}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1)^4. \quad (26)$$

Этап 5. В интервале времени $5t_1 \leq t \leq 7t_1$:

$$\omega^{(3)}(t) = \omega_{\max}^{(3)}; \quad (27)$$

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1); \quad (28)$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1) + \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1)^2; \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \frac{11}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 - \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 5t_1) - \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1)^2 + \\ & + \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1)^3; \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \varphi_{нач} + \frac{143}{24}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^4 + \frac{11}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 \cdot (t - 5t_1) - \frac{1}{4}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 5t_1)^2 - \\ & - \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1)^3 + \frac{1}{24}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1)^4. \end{aligned} \quad (31)$$

Этап 6. В интервале времени $7t_1 \leq t \leq 8t_1$:

$$\omega^{(3)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)}; \quad (32)$$

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1); \quad (33)$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1) - \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1)^2; \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 - \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 7t_1) + \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1)^2 - \\ & - \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1)^3; \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \varphi_{нач} + \frac{191}{24}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^4 + \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 \cdot (t - 7t_1) - \frac{1}{4}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 7t_1)^2 + \\ & + \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1)^3 - \frac{1}{24}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1)^4. \end{aligned} \quad (36)$$

Передаточная функция САР положения четвертого порядка имеет вид [4]:

$$\frac{\varphi(p)}{U_{zn}(p)} = K_{on} \cdot \frac{1}{\frac{1}{64}T_{\mu}^4 p^4 + \frac{1}{8}T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{2}T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1}, \quad (37)$$

где U_{zn} – входное напряжение контура положения, В;

K_{on} – коэффициент обратной связи по положению;

T_{μ} – постоянная времени, с.

Аналитические зависимости управляющего сигнала системы автоматического регулирования положения от времени, позволяющего формировать оптимальную по быстродействию диаграмму для малых перемещений исполнительного органа электропривода, предлагается определять в виде

$$U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left[\varphi(t) + T_{\mu} \cdot \omega(t) + \frac{1}{2}T_{\mu}^2 \cdot \omega^{(1)}(t) + \frac{1}{8}T_{\mu}^3 \cdot \omega^{(2)}(t) + \frac{1}{64}T_{\mu}^4 \cdot \omega^{(3)}(t) \right]. \quad (38)$$

На первом этапе, в интервале времени $0 \leq t \leq t_1$, уравнение (38) с учетом зависимостей (7) – (11) принимает вид

$$U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left[\varphi_{нач} + \omega_{max}^{(3)} \cdot \left(\frac{1}{24}t^4 + \frac{1}{6}T_{\mu}t^3 + \frac{1}{4}T_{\mu}^2t^2 + \frac{1}{8}T_{\mu}^3t + \frac{1}{64}T_{\mu}^4 \right) \right]. \quad (39)$$

На втором этапе, в интервале времени $t_1 \leq t \leq 3t_1$, уравнение (38) с учетом зависимостей (12) – (16) принимает вид

$$\begin{aligned} U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left\{ \varphi_{нач} + \omega_{max}^{(3)} \cdot \left[\left(\frac{1}{24}t_1^4 + \frac{1}{6}T_{\mu}t_1^3 + \frac{1}{4}T_{\mu}^2t_1^2 + \frac{1}{8}T_{\mu}^3t_1 - \frac{1}{64}T_{\mu}^4 \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{1}{6}t_1^3 + \frac{1}{2}T_{\mu}t_1^2 + \frac{1}{2}T_{\mu}^2t_1 - \frac{1}{8}T_{\mu}^3 \right) \cdot (t - t_1) + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{1}{4}t_1^2 + \frac{1}{2}T_{\mu}t_1 - \frac{1}{4}T_{\mu}^2 \right) \cdot (t - t_1)^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{1}{6}t_1 - \frac{1}{6}T_{\mu} \right) \cdot (t - t_1)^3 - \right. \right. \end{aligned}$$

$$-\frac{1}{24} \cdot (t - t_1)^4 \Bigg\}. \quad (40)$$

На третьем этапе, в интервале времени $3t_1 \leq t \leq 4t_1$, уравнение (38) с учетом зависимостей (17) – (21) принимает вид

$$U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left\{ \varphi_{нач} + \omega_{max}^{(3)} \cdot \left[\left(\frac{49}{24} t_1^4 + \frac{11}{6} T_\mu t_1^3 + \frac{1}{4} T_\mu^2 t_1^2 - \frac{1}{8} T_\mu^3 t_1 + \frac{1}{64} T_\mu^4 \right) + \right. \right. \\ + \left(\frac{11}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} T_\mu t_1^2 - \frac{1}{2} T_\mu^2 t_1 + \frac{1}{8} T_\mu^3 \right) \cdot (t - 3t_1) + \\ + \left(\frac{1}{4} t_1^2 - \frac{1}{2} T_\mu t_1 + \frac{1}{4} T_\mu^2 \right) \cdot (t - 3t_1)^2 - \\ - \left(\frac{1}{6} t_1 - \frac{1}{6} T_\mu \right) \cdot (t - 3t_1)^3 + \\ \left. \left. + \frac{1}{24} \cdot (t - 3t_1)^4 \right] \right\}. \quad (41)$$

На четвертом этапе, в интервале времени $4t_1 \leq t \leq 5t_1$, уравнение (38) с учетом зависимостей (22) – (26) принимает вид

$$U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left\{ \varphi_{нач} + \omega_{max}^{(3)} \cdot \left[\left(4t_1^4 + 2T_\mu t_1^3 - \frac{1}{64} T_\mu^4 \right) + \right. \right. \\ + \left(2t_1^3 - \frac{1}{8} T_\mu^3 \right) \cdot (t - 4t_1) - \\ - \frac{1}{4} T_\mu^2 \cdot (t - 4t_1)^2 - \\ - \frac{1}{6} T_\mu \cdot (t - 4t_1)^3 - \\ \left. \left. - \frac{1}{24} \cdot (t - 4t_1)^4 \right] \right\}. \quad (42)$$

На пятом этапе, в интервале времени $5t_1 \leq t \leq 7t_1$, уравнение (38) с учетом зависимостей (27) – (31) принимает вид

$$\begin{aligned}
 U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left\{ \varphi_{нач} + \omega_{max}^{(3)} \cdot \left[\left(\frac{143}{24} t_1^4 + \frac{11}{6} T_{\mu} t_1^3 - \frac{1}{4} T_{\mu}^2 t_1^2 - \frac{1}{8} T_{\mu}^3 t_1 + \frac{1}{64} T_{\mu}^4 \right) + \right. \right. \\
 + \left(\frac{11}{6} t_1^3 - \frac{1}{2} T_{\mu} t_1^2 - \frac{1}{2} T_{\mu}^2 t_1 + \frac{1}{8} T_{\mu}^3 \right) \cdot (t - 5t_1) - \\
 - \left(\frac{1}{4} t_1^2 + \frac{1}{2} T_{\mu} t_1 - \frac{1}{4} T_{\mu}^2 \right) \cdot (t - 5t_1)^2 - \\
 - \left(\frac{1}{6} t_1 - \frac{1}{6} T_{\mu} \right) \cdot (t - 5t_1)^3 + \\
 \left. \left. + \frac{1}{24} \cdot (t - 5t_1)^4 \right] \right\}. \tag{43}
 \end{aligned}$$

На шестом этапе, в интервале времени $7t_1 \leq t \leq 8t_1$, уравнение (38) с учетом зависимостей (32) – (36) принимает вид

$$\begin{aligned}
 U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left\{ \varphi_{нач} + \omega_{max}^{(3)} \cdot \left[\left(\frac{191}{24} t_1^4 + \frac{1}{6} T_{\mu} t_1^3 - \frac{1}{4} T_{\mu}^2 t_1^2 + \frac{1}{8} T_{\mu}^3 t_1 - \frac{1}{64} T_{\mu}^4 \right) + \right. \right. \\
 + \left(\frac{1}{6} t_1^3 - \frac{1}{2} T_{\mu} t_1^2 + \frac{1}{2} T_{\mu}^2 t_1 - \frac{1}{8} T_{\mu}^3 \right) \cdot (t - 7t_1) - \\
 - \left(\frac{1}{4} t_1^2 - \frac{1}{2} T_{\mu} t_1 + \frac{1}{4} T_{\mu}^2 \right) \cdot (t - 7t_1)^2 + \\
 + \left(\frac{1}{6} t_1 - \frac{1}{6} T_{\mu} \right) \cdot (t - 7t_1)^3 - \\
 \left. \left. - \frac{1}{24} \cdot (t - 7t_1)^4 \right] \right\}. \tag{44}
 \end{aligned}$$

После цикла, в интервале времени $8t_1 \leq t$, уравнение (38) принимает вид

$$U_{zn}(t) = K_{on} \cdot \left[\varphi_{нач} + 8\omega_{max}^{(3)} \cdot t_1^4 \right]. \tag{45}$$

Выводы

Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода. Определены: её параметры; область существования; аналитические зависимости координат электропривода от времени при перемещениях его исполнительного органа в соответствии с данной диаграммой; аналитические зависимости управляющего сигнала системы автоматического регулирования положения от времени, позволяющего с особой точностью формировать оптимальную по быстродействию диаграмму для малых перемещений исполнительного органа электропривода.

Внедрение оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода позволит избавиться от ошибки по перемещению исполнительного органа электропривода, вызванной влиянием инерционности САР положения.

Список литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560с.
2. Петров Ю.П. Оптимальное управление электрическим приводом с учетом ограничений по нагреву. Л.: Изд-во «Энергия», 1971. – 144 с.
3. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. М.: «Энергия», 1976. – 488 с.
4. Патент на изобретение № 2401501. Позиционный программно-управляемый электропривод /Ю.П. Добробаба, Д.С. Прохоренко; Оpubл 10.10.2010, Бюл. №28.

References

1. Kljuhev V.I. Teorija jelektroprivoda: uchebnik dlja vuzov. – M.: Jenergoatomizdat, 1985. – 560s.
2. Petrov Ju.P. Optimal'noe upravlenie jelektricheskim privodom s uchetom ograničenij po nagrevu. L.: Izd-vo «Jenergija», 1971. – 144 s.
3. Sokolov M.M. Avtomatizirovannyj jelektroprivod obshhepromyshlennyh mehanizmov. M.: «Jenergija», 1976. – 488 s.
4. Patent na izobretenie № 2401501. Pozicionnyj programmno-upravljaemyj jelektroprivod /Ju.P. Dobrobaba, D.S. Prohorenko; Opubl 10.10.2010, Bjul. №28.