

УДК 62

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ КООРДИНАТ  
ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОТ ВРЕМЕНИ  
ПРИ ОБОБЩЕНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ  
ДИАГРАММЫ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ**



**ANALYTICAL DEPENDENCES OF THE MONITORED COORDINATES  
OF A PRECISION ELECTRIC DRIVE ON TIME  
IN WORKING OUT THE OPTIMUM PERFORMANCE  
CONSTRAINED DIAGRAM**

**Добробаба Юрий Петрович**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры электроснабжения  
промышленных предприятий,  
Кубанский государственный  
технологический университет

**Кушнаренко Андрей Петрович**

аспирант,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
energodraiv@yandex.ru

**Аннотация.** Определены аналитические зависимости контролируемых координат прецизионного электропривода от времени при обработке оптимальной по быстродействию диаграммы с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости, на каждом из двенадцати этапов перемещения его исполнительного органа.

**Ключевые слова:** аналитические зависимости, контролируемые координаты, перемещения исполнительного органа электропривода, оптимальная по быстродействию диаграмма.

**Dobrobaba Yury Petrovich**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Associate Professor of Department  
of Power Supply Industrial Enterprises,  
Kuban State Technological University

**Kushnarenko Andrei Petrovich**

Graduate Student,  
Kuban State Technological University  
energodraiv@yandex.ru

**Annotation.** The analytical dependences of the controlled coordinates of the precision electric drive on time during the development of the speed-optimal diagram with limitations of the maximum current value, the second and third derivatives of the speed, in each of the twelve stages of movement of its actuator are determined.

**Keywords:** analytical dependences, monitored coordinates, actuator displacements, optimal diagram in terms of speed.

**В** статье «Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости» разработана оптимальная по быстродействию диаграмма, состоящая из двенадцати этапов, и представлены механические координаты электропривода при обработке этой диаграммы.

В данной работе определим аналитические зависимости координат прецизионного электропривода от времени при обработке оптимальной по быстродействию диаграммы с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости. При этом обозначения физических величин соответствуют обозначениям, представленным в предыдущей статье.

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

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

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

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

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

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

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot \left[ M_{\text{CO}} + \frac{1}{2} J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t^2 \right];$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t;$$

$$U(t) = \frac{1}{6} C_{\text{e}} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t^3 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_{\text{М}}} \cdot \left[ M_{\text{CO}} + \frac{1}{2} J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t^2 \right] + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_{\text{М}}} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t.$$

При  $t = t_1$

$$\omega_1^{(3)} = \omega_{\text{max}}^{(3)};$$

$$\omega_1^{(2)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_1^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_1 = \frac{1}{6} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^3;$$

$$\varphi_1 = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{24} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^4;$$

$$I_{\text{Я}1} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot \left[ M_{\text{CO}} + \frac{1}{2} J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 \right];$$

$$I_{\text{Я}1}^{(1)} = \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U_1 = \frac{1}{6} C_{\text{e}} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_{\text{М}}} \cdot \left[ M_{\text{CO}} + \frac{1}{2} J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 \right] + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_{\text{М}}} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1.$$

**Этап 2.** В интервале времени  $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$ :

$$\omega^{(3)}(t) = 0;$$

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

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

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

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

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - t_1) \right] \right\};$$

$$I_{Я}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^3 \left[ \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - t_1)^2 \right] + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot \left\{ M_{CO} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - t_1) \right] \right\} + \frac{L_{Я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1.$$

При  $t = (t_1 + t_2)$

$$\omega_2^{(3)} = 0;$$

$$\omega_2^{(2)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_2^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\omega_2 = \omega_{\max}^{(3)} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$\Phi_2 = \Phi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{24} t_1^4 + \frac{1}{6} t_1^3 t_2 + \frac{1}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 \right);$$

$$I_{Я2} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{CO} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \right];$$

$$I_{Я2}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U_2 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right] + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot \left[ M_{CO} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \right] + \frac{L_{Я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1.$$

**Этап 3.** В интервале времени  $(t_1 + t_2) \leq t \leq (2t_1 + t_2)$ :

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

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2);$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^2;$$

$$\begin{aligned} \Phi(t) = & \Phi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{24} t_1^4 + \frac{1}{6} t_1^3 t_2 + \frac{1}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) \cdot \\ & \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2)^2 + \\ & + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^3 - \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2)^4; \end{aligned}$$

$$I_{Я}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \frac{1}{2} \cdot (t - t_1 - t_2)^2 \right] \right\};$$

$$I_{Я}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot [t_1 - (t - t_1 - t_2)];$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \right. \\ \left. - \frac{1}{6} t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^3 \right] + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot \left\{ M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \frac{1}{2} \cdot (t - t_1 - t_2)^2 \right] \right\} + \\ + \frac{L_{Я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot [t_1 - (t - t_1 - t_2)]$$

При  $t = (2t_1 + t_2)$

$$\omega_3^{(3)} = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_3^{(2)} = 0;$$

$$\omega_3^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$\omega_3 = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$\Phi_3 = \Phi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{7}{12} t_1^4 + \frac{7}{6} t_1^3 t_2 + \frac{3}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 \right);$$

$$I_{Я3} = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2)];$$

$$I_{Я3}^{(1)} = 0;$$

$$U_3 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot [M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2)].$$

**Этап 4.** В интервале времени  $(2t_1 + t_2) \leq t \leq (2t_1 + t_2 + t_3)$ :

$$\omega^{(3)}(t) = 0;$$

$$\omega^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2);$$

$$\Phi(t) = \Phi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{7}{12} t_1^4 + \frac{7}{6} t_1^3 t_2 + \frac{3}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 \right) + \\ + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) \cdot (t - 2t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2)^2;$$

$$I_{Я}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2)];$$

$$I_{Я}^{(1)}(t) = 0;$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2) \right] + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot [M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2)]$$

При  $t = (2t_1 + t_2 + t_3)$

$$\omega_4^{(3)} = 0;$$

$$\omega_4^{(2)} = 0;$$

$$\omega_4^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$\omega_4 = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$\varphi_4 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{7}{12} t_1^4 + \frac{7}{6} t_1^3 t_2 + \frac{3}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 + t_1^3 t_3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right);$$

$$I_{Я4} = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2)];$$

$$I_{Я4}^{(1)} = 0;$$

$$U_4 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot [M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2)].$$

**Этап 5.** В интервале времени  $(2t_1 + t_2 + t_3) \leq t \leq (3t_1 + t_2 + t_3)$ :

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

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3);$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^2;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^3;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{7}{12} t_1^4 + \frac{7}{6} t_1^3 t_2 + \frac{3}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 + t_1^3 t_3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^2 - \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^4;$$

$$I_{Я}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^2 \right] \right\};$$

$$I_{Я}^{(1)}(t) = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3);$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{6} t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^3 \right] + \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot \left\{ M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^2 \right] \right\} - \frac{L_{Я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3).$$

При  $t = (3t_1 + t_2 + t_3)$

$$\omega_5^{(3)} = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_5^{(2)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_5^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\omega_5 = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$\varphi_5 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{49}{24} t_1^4 + \frac{19}{6} t_1^3 t_2 + \frac{5}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 + 2t_1^3 t_3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right);$$

$$I_{Я5} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \right];$$

$$I_{Я5}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U_5 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) +$$

$$+ \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot \left[ M_{CO} + J\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \right] - \frac{L_{Я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1.$$

**Этап 6.** В интервале времени  $(3t_1 + t_2 + t_3) \leq t \leq (3t_1 + 2t_2 + t_3)$ :

$$\omega^{(3)}(t) = 0; \quad \omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3);$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^2;$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{49}{24} t_1^4 + \frac{19}{6} t_1^3 t_2 + \frac{5}{4} t_1^2 t_2^2 + \frac{1}{6} t_1 t_2^3 + 2t_1^3 t_3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) + \\ & + \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^2 - \frac{1}{6} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^3; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) \right] \right\};$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\begin{aligned} U(t) = & C_e \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{2} t_1 \cdot \right. \\ & \left. \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^2 \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) \right] \right\} - \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1. \end{aligned}$$

При  $t = (3t_1 + 2t_2 + t_3)$

$$\omega_6^{(3)} = 0;$$

$$\omega_6^{(2)} = -\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_6^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_6 = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$\varphi_6 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{49}{24} t_1^4 + 5t_1^3 t_2 + 4t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 2t_1^3 t_3 + \frac{7}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right);$$

$$I_{\text{Я}6} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} + \frac{1}{2} J\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 \right];$$

$$I_{\text{Я}6}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U_6 = C_e \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} + \frac{1}{2} J\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 \right] - \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1.$$

**Этап 7.** В интервале времени  $(3t_1 + 2t_2 + t_3) \leq t \leq (4t_1 + 2t_2 + t_3)$ :

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

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3);$$

$$\omega^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 - \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) + \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2;$$

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) - \\ &\quad - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^3; \\ \varphi(t) &= \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{49}{24} t_1^4 + 5t_1^3 t_2 + 4t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 2t_1^3 t_3 + \frac{7}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) + \\ &\quad + \frac{1}{4} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot \\ &\quad \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 + \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^4; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{2} t_1^2 - t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) + \frac{1}{2} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 \right] \right\};$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot [-t_1 + (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)];$$

$$\begin{aligned} U(t) &= C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \frac{1}{2} t_1^2 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 + \frac{1}{6} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^3 \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \\ &\quad \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{2} t_1^2 - t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) + \frac{1}{2} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 \right] \right\} + \\ &\quad + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot [-t_1 + (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)]; \end{aligned}$$

При  $t = (4t_1 + 2t_2 + t_3)$

$$\omega_7^{(3)} = \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_7^{(2)} = 0;$$

$$\omega_7^{(1)} = 0;$$

$$\omega_7 = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3);$$

$$\varphi_7 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right);$$

$$I_{\text{Я}7} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_M};$$

$$I_{\text{Я}7}^{(1)} = 0;$$

$$U_7 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_M}.$$



**Этап 8.** В интервале времени  $(4t_1 + 2t_2 + t_3) \leq t \leq (5t_1 + 2t_2 + t_3)$ :

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

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3);$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3)^2;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3)^3;$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) \cdot \\ \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3) - \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3)^4; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - \frac{1}{2} J \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3)^2 \right];$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3);$$

$$\begin{aligned} U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) - \frac{1}{6} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3)^3 \right] + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - \frac{1}{2} J \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3)^2 \right] - \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3). \end{aligned}$$

При  $t = (5t_1 + 2t_2 + t_3)$

$$\omega_8^{(3)} = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_8^{(2)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_8^{(1)} = -\frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_8 = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) - \frac{1}{6} t_1^3 \right];$$

$$\begin{aligned} \varphi_8 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) \cdot t_1 - \frac{1}{24} t_1^4 \right]; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}8} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - \frac{1}{2} J \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \right];$$

$$I_{\text{Я}8}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U_8 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{1}{6} t_1^3 \right] + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - \frac{1}{2} J \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \right] - \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1.$$

**Этап 9.** В интервале времени  $(5t_1 + 2t_2 + t_3) \leq t \leq (5t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5)$ :

$$\omega^{(3)}(t) = 0;$$

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

$$\omega^{(1)}(t) = -\frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3)^2;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{1}{6} t_1^3 \right] - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot \\ \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3)^2;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_1 - \frac{1}{24} t_1^4 \right] + \\ + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{1}{6} t_1^3 \right] \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3) - \\ - \frac{1}{4} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3)^2 - \frac{1}{6} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3)^3;$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3) \right] \right\};$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left\{ \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{1}{6} t_1^3 \right] - \frac{1}{2} t_1^2 \cdot \right. \\ \left. \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3) - \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3)^2 \right\} + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3) \right] \right\} - \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1.$$

При  $t = (5t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5)$

$$\omega_9^{(3)} = 0;$$

$$\omega_9^{(2)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_9^{(1)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right);$$

$$\omega_9 = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right];$$

$$\begin{aligned} \varphi_9 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \right. \\ \left. + \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_1 + \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_5 - \right. \\ \left. - \left( \frac{1}{24} t_1^4 + \frac{1}{6} t_1^3 t_5 + \frac{1}{4} t_1^2 t_5^2 + \frac{1}{6} t_1 t_5^3 \right) \right]; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я9}} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \right];$$

$$I_{\text{Я9}}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\begin{aligned} U_9 = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \right] - \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1. \end{aligned}$$

**Этап 10.** В интервале времени  $(5t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5) \leq t \leq (7t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5)$ :

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

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5);$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1 - t_2 - t_3 - t_5)^2;$$

$$\begin{aligned} \omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] - \omega_{\max}^{(3)} \cdot \\ \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 + \\ + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ -\left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) - t_1 \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) + \frac{1}{2} \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 \right] \right\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3t_2 + 5t_1^2t_2^2 + t_1t_2^3 + 3t_1^3t_3 + \frac{9}{2}t_1^2t_2t_3 + \frac{3}{2}t_1t_2^2t_3 + \frac{1}{2}t_1^2t_3^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2}t_1t_2t_3^2 \right) + (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) \cdot t_1 + (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) \cdot \right. \\ \left. \cdot t_5 - \left( \frac{1}{24}t_1^4 + \frac{1}{6}t_1^3t_5 + \frac{1}{4}t_1^2t_5^2 + \frac{1}{6}t_1t_5^3 \right) \right] + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) - \right. \\ \left. - \left( \frac{1}{6}t_1^3 + \frac{1}{2}t_1^2t_5 + \frac{1}{2}t_1t_5^2 \right) \right] \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) - \frac{1}{2}\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2}t_1^2 + t_1t_5 \right) \cdot (t - 5t_1 - \\ - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 - \frac{1}{6}\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^3 + \frac{1}{24}\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^4; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot [-t_1 + (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)];$$

$$\begin{aligned} U(t) = C_e \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left\{ \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) - \left( \frac{1}{6}t_1^3 + \frac{1}{2}t_1^2t_5 + \frac{1}{2}t_1t_5^2 \right) \right] - \left( \frac{1}{2}t_1^2 + t_1t_5 \right) \cdot \right. \\ \left. \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 - \frac{1}{2}t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 + \frac{1}{6} \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^3 - \right. \\ \left. - \frac{1}{2}t_1^2 - \frac{1}{2}t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 \right\} + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ - \left( \frac{1}{2}t_1^2 + t_1t_5 \right) - t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - \right. \right. \\ \left. \left. - t_3 - t_5) + \frac{1}{2} \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 \right] \right\} - \frac{L_{\text{Я}}J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot [-t_1 + (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)]; \end{aligned}$$

При  $t = (6t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5)$

$$\omega_*^{(3)} = \omega_{\text{max}}^{(3)};$$

$$\omega_*^{(2)} = 0;$$

$$\omega_*^{(1)} = -\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1t_5);$$

$$\omega_* = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) - \left( t_1^3 + \frac{3}{2}t_1^2t_5 + \frac{1}{2}t_1t_5^2 \right) \right];$$

$$\begin{aligned} \varphi_* = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3t_2 + 5t_1^2t_2^2 + t_1t_2^3 + 3t_1^3t_3 + \frac{9}{2}t_1^2t_2t_3 + \frac{3}{2}t_1t_2^2t_3 + \frac{1}{2}t_1^2t_3^2 + \frac{1}{2}t_1t_2t_3^2 \right) + \right. \\ \left. + 2 \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) \cdot t_1 + (2t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3) \cdot \right. \\ \left. \cdot t_5 - \left( \frac{7}{12}t_1^4 + \frac{7}{6}t_1^3t_5 + \frac{3}{4}t_1^2t_5^2 + \frac{1}{6}t_1t_5^3 \right) \right]; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}*} = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} - J\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1t_5)];$$

$$I_{\text{Я}*}^{(1)} = 0;$$

$$U_* = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] - \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_5) \right]$$

При  $t = (7t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5)$

$$\omega_{10}^{(3)} = \omega_{\max}^{(3)} ;$$

$$\omega_{10}^{(2)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 ; \quad \omega_{10}^{(1)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) ;$$

$$\omega_{10} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] ;$$

$$\Phi_{10} = \Phi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + 3 \cdot \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_1 + \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_5 - \left( \frac{49}{24} t_1^4 + \frac{19}{6} t_1^3 t_5 + \frac{5}{4} t_1^2 t_5^2 + \frac{1}{6} t_1 t_5^3 \right) \right] ;$$

$$I_{\text{Я}10} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \right] ;$$

$$I_{\text{Я}10}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 ;$$

$$U_{10} = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \right] + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 .$$

**Этап 11.** В интервале времени  $(7t_1 + 2t_2 + t_3 + t_5) \leq t \leq (7t_1 + 2t_2 + t_3 + 2t_5)$ :

$$\omega^{(3)}(t) = 0 ;$$

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

$$\omega^{(1)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) ;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] - \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 ;$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ -\left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) + t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) \right] \right\} ;$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + 3 \cdot \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_1 + \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot \right. \\ & \left. t_5 - \left( \frac{49}{24} t_1^4 + \frac{19}{6} t_1^3 t_5 + \frac{5}{4} t_1^2 t_5^2 + \frac{1}{6} t_1 t_5^3 \right) \right] + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \right. \\ & \left. - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \cdot \\ & \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 + \frac{1}{6} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^3; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\begin{aligned} U(t) = & C_e \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left\{ \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_5 + \frac{1}{2} t_1 t_5^2 \right) \right] - \right. \\ & \left. - \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) + \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5)^2 \right\} + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \\ & \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ - \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_5 \right) + t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - t_5) \right] \right\} + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1. \end{aligned}$$

При  $t = (7t_1 + 2t_2 + t_3 + 2t_5)$

$$\omega_{11}^{(3)} = 0; \quad \omega_{11}^{(2)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{11}^{(1)} = -\frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_{11} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2 \right) \right];$$

$$\begin{aligned} \varphi_{11} = & \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + \right. \\ & \left. + 3 \cdot \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_1 + 2 \cdot \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot \right. \\ & \left. \cdot t_5 - \left( \frac{49}{24} t_1^4 + 5t_1^3 t_5 + 4t_1^2 t_5^2 + t_1 t_5^3 \right) \right]; \end{aligned}$$

$$I_{\text{Я}11} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - \frac{1}{2} J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 \right];$$

$$I_{\text{Я}11}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\begin{aligned} U_{11} = & C_e \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2 \right) \right] + \\ & + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[ M_{\text{CO}} - \frac{1}{2} J \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2 \right] + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1. \end{aligned}$$

**Этап 12.** В интервале времени  $(7t_1 + 2t_2 + t_3 + 2t_5) \leq t \leq (8t_1 + 2t_2 + t_3 + 2t_5)$ :

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

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5);$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^2;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2 \right) \right] - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5) - t_3 - 2t_5 + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^2 - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^3;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ \left( 4t_1^4 + 8t_1^3 t_2 + 5t_1^2 t_2^2 + t_1 t_2^3 + 3t_1^3 t_3 + \frac{9}{2} t_1^2 t_2 t_3 + \frac{3}{2} t_1 t_2^2 t_3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3^2 + \frac{1}{2} t_1 t_2 t_3^2 \right) + 3 \cdot \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_1 + 2 \cdot \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) \cdot t_5 - \left( \frac{49}{24} t_1^4 + 5t_1^3 t_5 + 4t_1^2 t_5^2 + t_1 t_5^3 \right) \right] + \omega_{\max}^{(3)} \cdot$$

$$\left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2 \right) \right] \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5) - \frac{1}{4} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^2 + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^3 - \frac{1}{24} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^4;$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ -\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5) - \frac{1}{2} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^2 \right] \right\};$$

$$I_{\text{Я}}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot [t_1 - (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)];$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left\{ \left[ \left( 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2 \right) \right] - \frac{1}{2} t_1^2 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5) + \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^2 - \frac{1}{6} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^3 \right\} + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{CO}} + J \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ -\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5) - \frac{1}{2} \cdot (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)^2 \right] \right\} + \frac{L_{\text{Я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot [t_1 - (t - 7t_1 - 2t_2 - t_3 - 2t_5)]$$

При  $t = (8t_1 + 2t_2 + t_3 + 2t_5)$

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

$$\omega_{12}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{12}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{12} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) - (2t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2) \right];$$

$$\varphi_{12} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2) + \right.$$

$$\left. + 2 \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) \cdot (2t_1 + t_5) - (2t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2) \cdot (2t_1 + t_5) \right];$$

$$I_{\text{я}12} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_M};$$

$$I_{\text{я}12}^{(1)} = 0;$$

$$U_{12} = C_e \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[ (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) - (2t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2) \right] + \frac{R_{\text{я}} M_{\text{CO}}}{C_M}.$$

Так как  $\omega_{12}^{(1)} = 0$ , то

$$(2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) = (2t_1^3 + 3t_1^2 t_5 + t_1 t_5^2)$$

При этом

$$\varphi_{12} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3) \cdot \left( 4t_1 + t_2 + \frac{1}{2} t_3 + t_5 \right);$$

$$U_{12} = \frac{R_{\text{я}} M_{\text{CO}}}{C_M}.$$

**Выводы:** таким образом получены аналитические зависимости электрических координат диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода. Полученные зависимости позволяют перейти к определению энергетических характеристик прецизионного электропривода предлагаемой диаграммы.