

*РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММЫ ДЛЯ БОЛЬШИХ ИЗМЕНЕНИЙ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ И УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ*

**Ю.П. ДОБРОБАБА, М.В. ПЕТЕЛИНА**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: petelinamv@mail.ru*

В статье рассматривается оптимальная по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом. Для данной диаграммы выявлены аналитические зависимости для расчета ее параметров и область существования.

**Ключевые слова:** оптимальная по быстродействию диаграмма, исполнительный орган, большие изменения скорости.

Электропривод с асинхронным двигателем и упругим валопроводом при регулировании угловой скорости его исполнительного органа описывается системой дифференциальных уравнений третьего порядка, поэтому необходимо формировать третью производную угловой скорости механизма.

В данной работе предлагается диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом, состоящая из семи этапов.

На рисунках 1÷4 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом, состоящая из семи этапов и имеющая ограничения по первой, второй и третьей производным угловой скорости исполнительного органа электропривода.

На рисунке 1 представлены зависимости соответственно следующих координат исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом: угловой скорости исполнительного механизма  $\omega_2$ , её первой  $\omega_2^{(1)}$ , второй  $\omega_2^{(2)}$  и третьей  $\omega_2^{(3)}$  производных от времени  $t$ . На рисунке 2 представлены зависимости: упругого момента  $M_y$ , его первой  $M_y^{(1)}$  и второй

$M_y^{(2)}$  производных от времени  $t$ . На рисунке 3 представлены зависимости: угловой скорости исполнительного органа двигателя  $\omega_1$  и ее первой производной  $\omega_1^{(1)}$  от времени  $t$ . На рисунке 4 представлена зависимость момента асинхронного двигателя  $M$  от времени  $t$ .

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

$$\omega_2^{(3)}(t) = \omega_{\max}^{(3)};$$

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

$$\omega_2^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^2;$$

$$\omega_2(t) = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^3;$$

$$M_y(t) = M_c + \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^2;$$

$$M_y^{(1)}(t) = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t;$$

$$M_y^{(2)}(t) = J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_1(t) = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^3 + \frac{J_2}{C_y} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t;$$

$$\omega_1^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^2 + \frac{J_2}{C_y} \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M(t) = M_c + \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t^2 + \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t;$$

При  $t = 0$

$$\omega_{20}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{20}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{20}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{20} = \omega_{\text{нач}};$$

$$M_{y0} = M_c;$$

$$M_{y0}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y0}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{10} = \omega_{\text{нач}};$$

$$\omega_{10}^{(1)} = 0;$$

$$M_0 = M_c.$$

При  $t = 0_+$

$$\omega_{20+}^{(3)} = \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{20+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{20+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{20+} = \omega_{\text{нач}};$$

$$M_{y0+} = M_c;$$

$$M_{y0+}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y0+}^{(2)} = J_2 \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{10+} = \omega_{\text{нач}};$$

$$\omega_{10+}^{(1)} = \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M_{0+} = M_c + \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

При  $t = t_1$

$$\omega_{21}^{(3)} = \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{21}^{(2)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{21}^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_{21} = \omega_{\text{нач}} \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3;$$

$$M_{y1} = M_c + \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$M_{y1}^{(1)} = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y1}^{(2)} = J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{11} = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{J_2}{C_y} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{11}^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M_1 = M_c + \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

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

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

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

$$\omega_2^{(1)}(t) = \frac{1}{2} t_1^2 \cdot \omega_{\max}^{(3)} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1);$$

$$\omega_2(t) = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1)^2;$$

$$M_y(t) = M_c + \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1);$$

$$M_y^{(1)}(t) = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_y^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega_1(t) = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1)^2 + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

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

$$M(t) = M_c + \frac{1}{2} (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1).$$

При  $t = t_{1+}$

$$\omega_{21+}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{21+}^{(2)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{21+}^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_{21+} = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3;$$

$$M_{y1+} = M_c + \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$M_{y1+}^{(1)} = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y1+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{11+} = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^3 + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

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

$$M_{1+} = M_c + \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2.$$

При  $t = t_1 + t_2$

$$\omega_{22}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{22}^{(2)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{22}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\omega_{22} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$M_{y2} = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$M_{y2}^{(1)} = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y2}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{12} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{12}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$M_2 = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right).$$

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

$$\omega_2^{(3)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_2^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2);$$

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

$$\begin{aligned} \omega_2(t) = & \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2) + \\ & + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2)^3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y(t) = & M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \\ & - J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^2; \end{aligned}$$

$$M_y^{(1)}(t) = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2);$$

$$M_y^{(2)}(t) = -J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\begin{aligned} \omega_1(t) = & \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2) + \\ & + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2)^3 + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 - \\ & - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_1^{(1)}(t) = & \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \\ & - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(t) = & M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \\ & - \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}. \end{aligned}$$

При  $t = (t_1 + t_2)_+$

$$\omega_{22+}^{(3)} = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{22+}^{(2)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{22+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\omega_{22+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$M_{y2+} = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$M_{y2+}^{(1)} = J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y2+}^{(2)} = -J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{12+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{12+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M_{2+} = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

При  $t = 2t_1 + t_2$

$$\omega_{23}^{(3)} = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{23}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{23}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$\omega_{23} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$M_{y3} = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_{y3}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y3}^{(2)} = -J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{13} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$\omega_{13}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M_3 = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

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

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

$$\omega_2^{(2)}(t) = 0;$$

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

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

$$M_y(t) = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_y^{(1)}(t) = 0;$$

$$M_y^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega_1(t) = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2);$$

$$\omega_1^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M(t) = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2).$$

При  $t = (2t_1 + t_2)_+$

$$\omega_{23+}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{23+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{23+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$\omega_{23+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$M_{y3+} = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_{y3+}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y3+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{13+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$\omega_{13+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_{3+} = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2).$$

При  $t = 2t_1 + t_2 + t_3$

$$\omega_{24}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{24}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{24}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

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

$$M_{y4} = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_{y4}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y4}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{14} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$\omega_{14}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_4 = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2).$$

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

$$\omega_2^{(3)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)};$$



$$\omega_2^{(2)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3);$$

$$\omega_2^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3)^2;$$

$$\omega_2(t) = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \\ + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3)^3;$$

$$M_y(t) = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3)^2;$$

$$M_y^{(1)}(t) = -J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3);$$

$$M_y^{(2)}(t) = -J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_1(t) = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \\ + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3)^3 - \\ - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3);$$

$$\omega_1^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3)^2 - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M(t) = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1 - 2t_1 - t_2 - t_3)^2 - \\ - \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

При  $t = (2t_1 + t_2 + t_3)_+$

$$\omega_{24+}^{(3)} = -\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{24+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{24+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

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

$$M_{y4+} = M_c + J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2);$$

$$M_{y4+}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y4+}^{(2)} = -J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{14+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$\omega_{14+}^{(1)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)};$$

$$M_{4+} = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot (t_1^2 + t_1 t_2) - \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)}.$$

При  $t = 3t_1 + t_2 + t_3$

$$\omega_{25}^{(3)} = -\omega_{\text{max}}^{(3)};$$

$$\omega_{25}^{(2)} = -\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{25}^{(1)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\omega_{25} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$M_{y5} = M_c + J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$M_{y5}^{(1)} = -J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y5}^{(2)} = -J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)};$$

$$\omega_{15} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{15}^{(1)} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)};$$

$$M_5 = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)}.$$

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

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

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

$$\omega_2^{(1)}(t) = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 (t - 3t_1 - t_2 - t_3);$$

$$\omega_2(t) = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \\ + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^2;$$

$$M_y(t) = M_c + J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3);$$

$$M_y^{(1)}(t) = -J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_y^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega_1(t) = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \\ + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^2 - \\ - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_1^{(1)}(t) = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3);$$

$$M(t) = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) - (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3).$$

При  $t = (3t_1 + t_2 + t_3)_+$

$$\omega_{25+}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{25+}^{(2)} = -\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{25+}^{(1)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\omega_{25+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$M_{y5+} = M_c + J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$M_{y5+}^{(1)} = -J_2 \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y5+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{15+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + \frac{5}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{15+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$M_{5+} = M_c + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right).$$

При  $t = 3t_1 + 2t_2 + t_3$

$$\omega_{26}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{26}^{(2)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{26}^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_{26} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right);$$

$$M_{y6} = M_c + \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$M_{y6}^{(1)} = -J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y6}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{16} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{16}^{(1)} = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$M_6 = M_c + \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2.$$

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

$$\omega_2^{(3)}(t) = \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_2^{(2)}(t) = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3);$$

$$\omega_2^{(1)}(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2;$$

$$\begin{aligned} \omega_2(t) = & \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6} t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \\ & + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) - \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 + \\ & + \frac{1}{6} \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^3; \end{aligned}$$

$$M_y(t) = M_c + \frac{1}{2} J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - J_2 \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) +$$

$$+\frac{1}{2}J_2\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3)^2;$$

$$M_y^{(1)}(t) = -J_2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 + J_2\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3);$$

$$M_y^{(2)}(t) = J_2\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\begin{aligned} \omega_1(t) = & \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6}t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3 \right) + \\ & + \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3) - \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3)^2 + \\ & + \frac{1}{6}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3)^3 - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 + \\ & + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_1^{(1)}(t) = & \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3) + \\ & + \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3)^2 + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(t) = & M_c + \frac{1}{2} \cdot (J_1+J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 - (J_1+J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3) + \\ & + \frac{1}{2} \cdot (J_1+J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot (t-3t_1-2t_2-t_3)^2 + \frac{J_1J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}. \end{aligned}$$

При  $t = (3t_1 + 2t_2 + t_3)_+$

$$\omega_{26+}^{(3)} = \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{26+}^{(2)} = -\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{26+}^{(1)} = \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$\omega_{26+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6}t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3 \right);$$

$$M_{y6+} = M_c + \frac{1}{2}J_2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2;$$

$$M_{y6+}^{(1)} = -J_2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$M_{y6+}^{(2)} = J_2\omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{16+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot \left( \frac{11}{6}t_1^3 + 3t_1^2t_2 + t_1t_2^2 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3 \right) - \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{16+}^{(1)} = \frac{1}{2}\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M_{6+} = M_c + \frac{1}{2} \cdot (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1^2 + \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

При  $t = 4t_1 + 2t_2 + t_3$

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

$$\omega_{27}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{27}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{27} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3);$$

$$M_{y7} = M_c;$$

$$M_{y7}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y7}^{(2)} = J_2 \omega_{\max}^{(3)};$$

$$\omega_{17} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3);$$

$$\omega_{17}^{(1)} = \frac{J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)};$$

$$M_7 = M_c + \frac{J_1 J_2}{C_y} \cdot \omega_{\max}^{(3)}.$$

При  $t = (4t_1 + 2t_2 + t_3)_+$

$$\omega_{27+}^{(3)} = 0;$$

$$\omega_{27+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{27+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{27+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3);$$

$$M_{y7+} = M_c;$$

$$M_{y7+}^{(1)} = 0;$$

$$M_{y7+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{17+} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(3)} \cdot (2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3);$$

$$\omega_{17+}^{(1)} = 0;$$

$$M_{7+} = M_c.$$

Так как  $\omega_{21}^{(2)} = \omega_{\text{доп}}^{(2)}$ , то

$$t_1 = \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{мах}}^{(3)}}.$$

Так как  $\omega_{23}^{(1)} = \omega_{\text{доп}}^{(1)}$ , то

$$t_2 = \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{мах}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{мах}}^{(3)}}.$$

Так как  $\omega_{27} = \omega_{\text{кон}}$ , то

$$t_3 = \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{мах}}^{(3)}}.$$

Время цикла равно

$$T_{\text{ц}} = \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{мах}}^{(3)}}.$$

Область существования оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода

$$\omega_{\text{гр.1}} \leq (\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}).$$

Рассмотрим электропривод имеющий следующие параметры: момент инерции исполнительного органа асинхронного двигателя  $J_1 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ; момент инерции исполнительного органа механизма  $J_2 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

жесткость валопровода  $C_y = 5 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$ . Момент сопротивления электропривода

$M_c = 2,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Контролируемые величины электропривода имеют следующие допустимые значения:  $\omega_{\text{доп}} = 160 \text{ рад/с}$ ;  $\omega_{\text{доп}}^{(1)} = 80 \text{ рад/с}^2$ ;  $\omega_{\text{доп}}^{(2)} = 200 \text{ рад/с}^3$ .

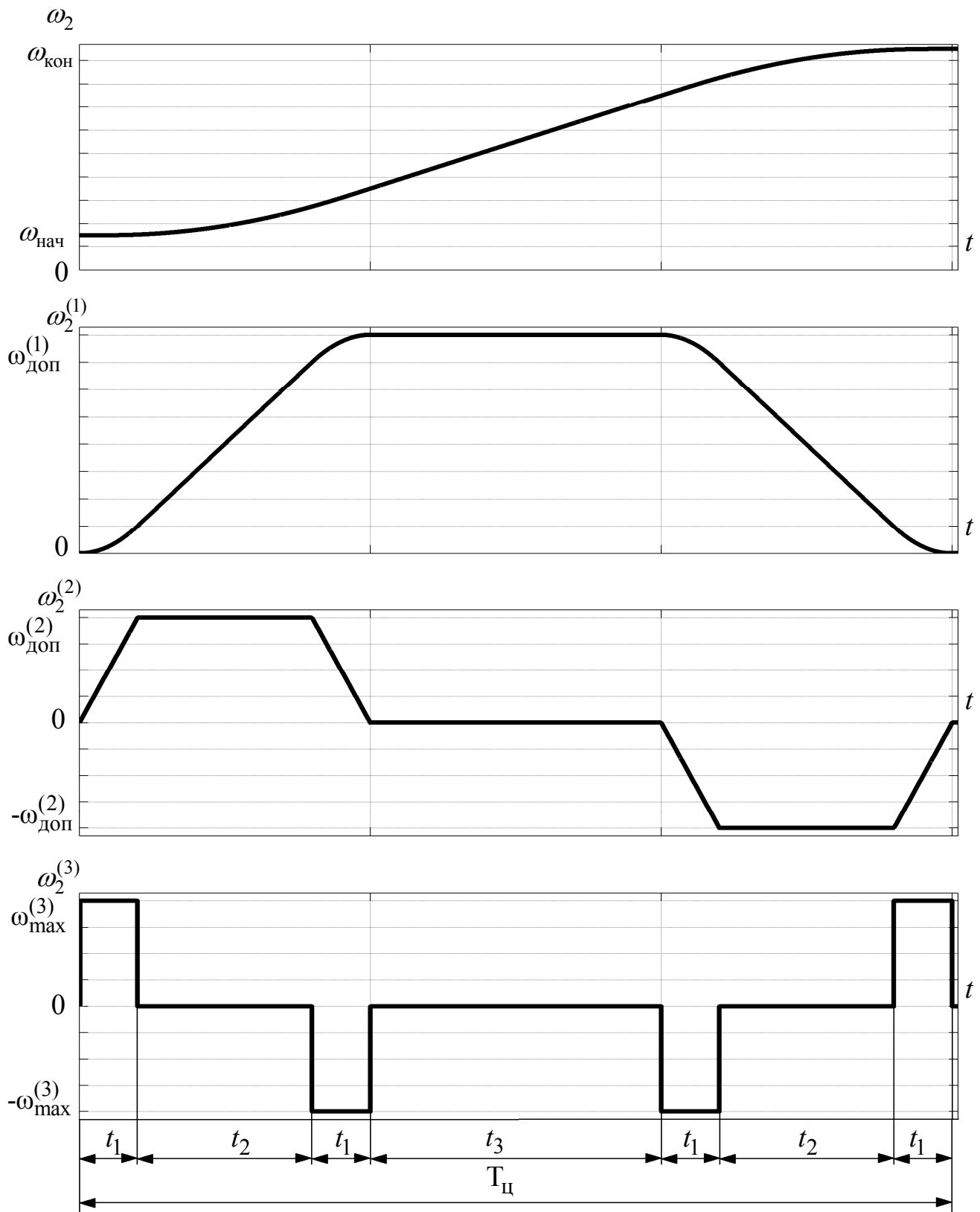


Рисунок 1



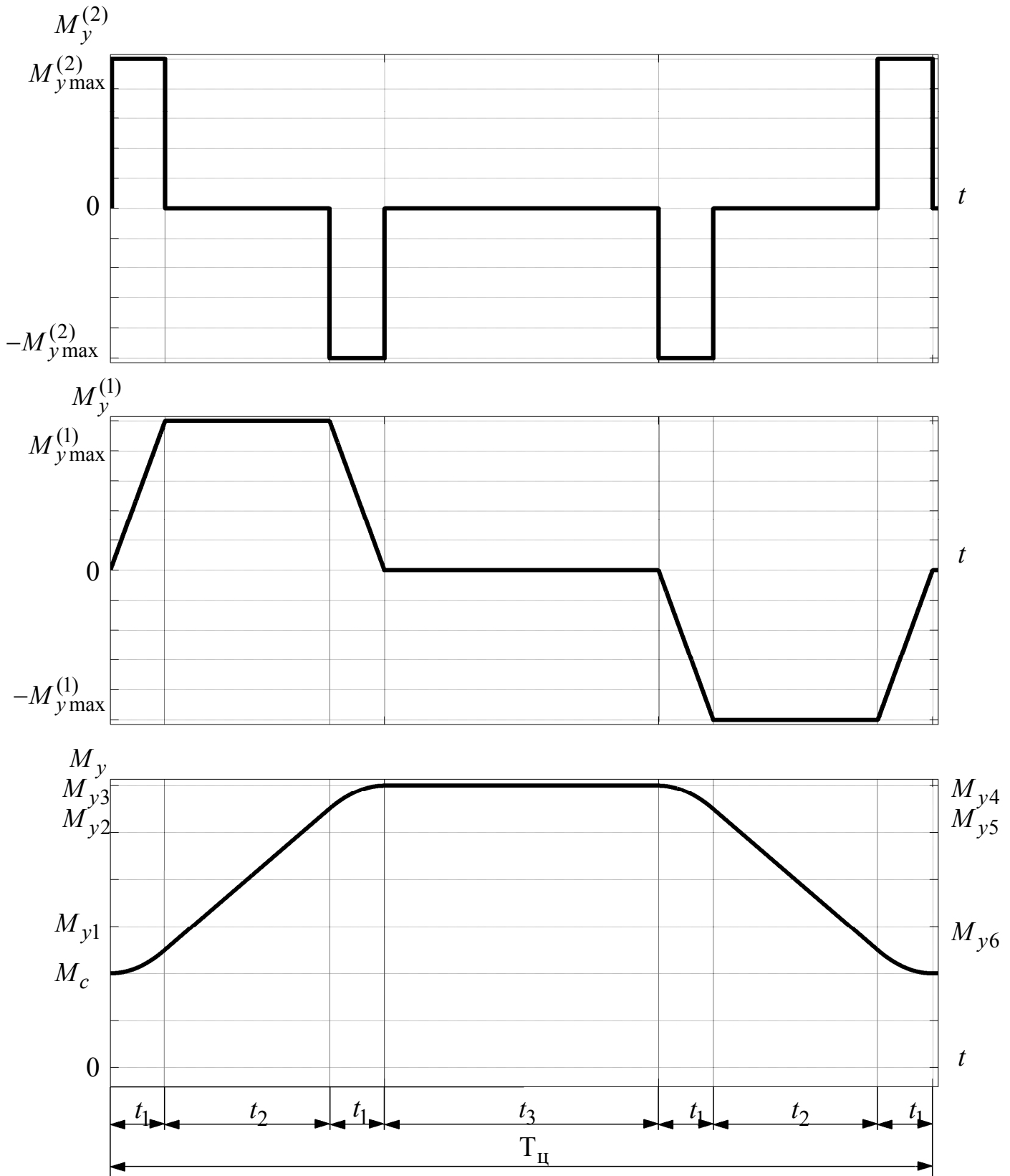


Рисунок 2

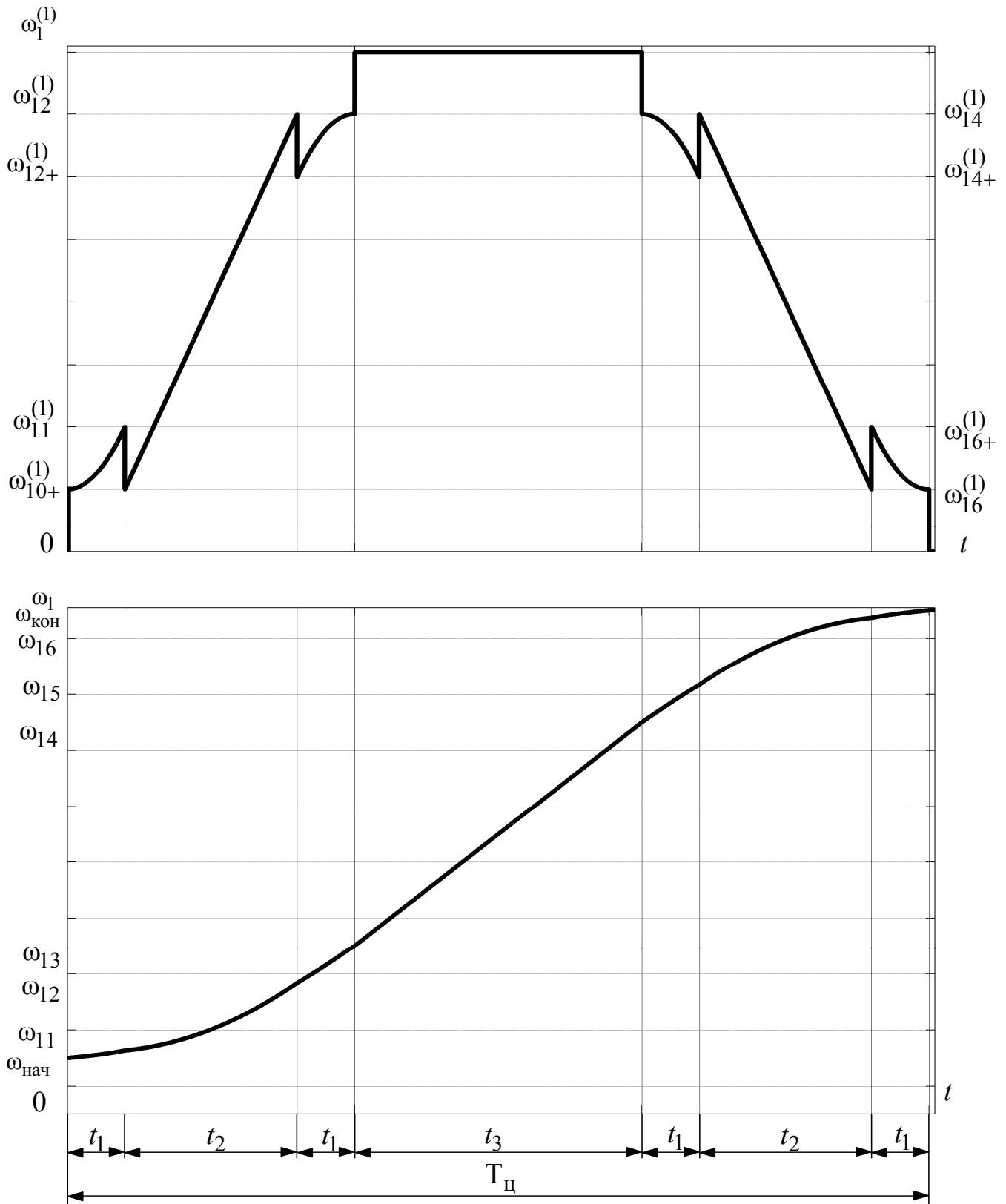


Рисунок 3

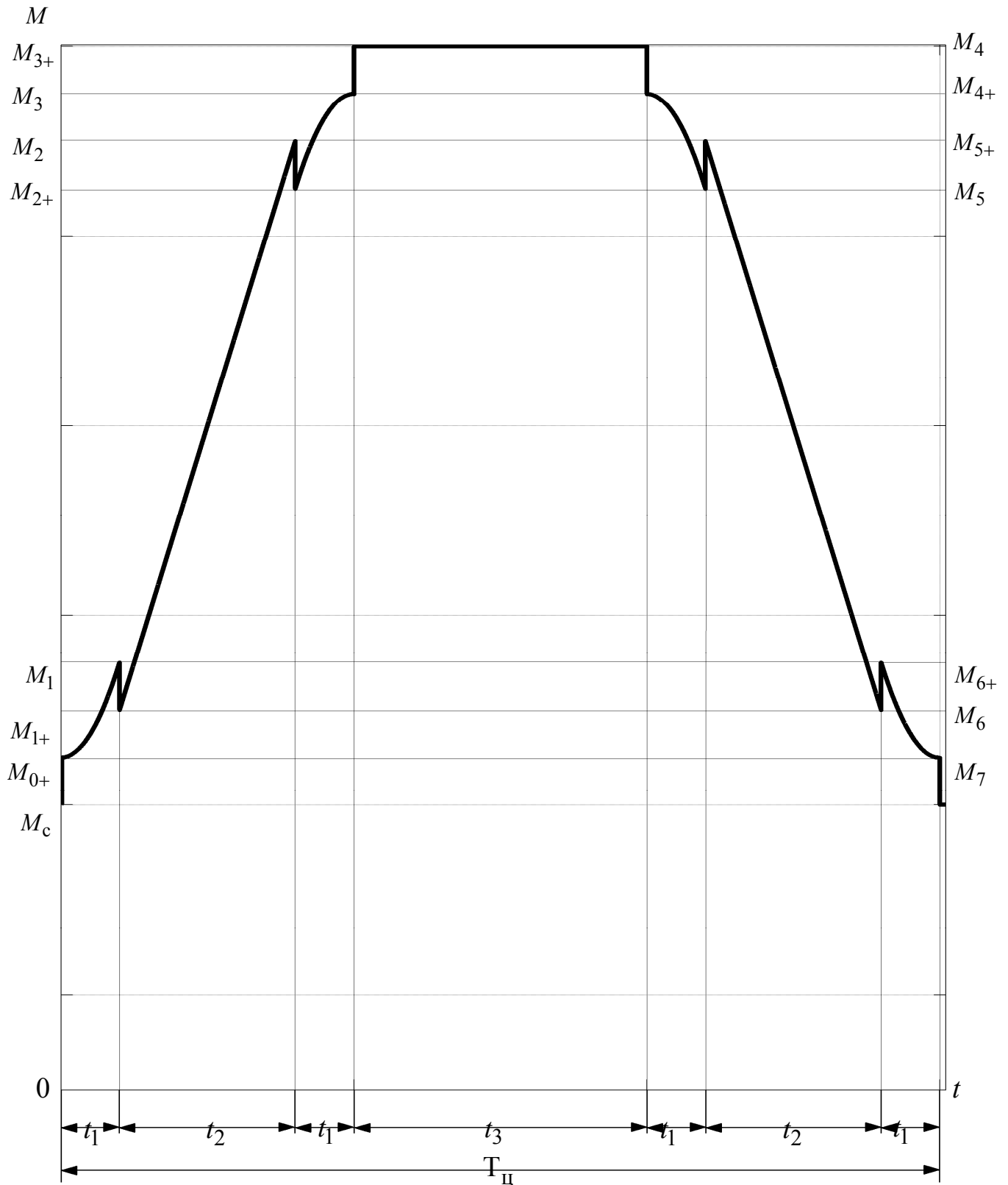


Рисунок 4

В таблице 1 приведены результаты первой серии численного эксперимента для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом.

При этом третья производная угловой скорости имела значение  $\omega_{\max}^{(3)} = 1000 \text{ рад/с}^4$ . Задание на изменение угловой скорости изменялось от 0 до  $\omega_{\text{гр.2}} = 48 \text{ рад/с}$ .

Таблица 1 - Результаты первой серии численного эксперимента для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом.

$(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}),$ рад/с	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$M_{y, \max},$ Н · м	$M_{\max},$ Н · м
48	0,2	0,2	0	1,2	4,5	6,5
64			0,2	1,4		
80			0,4	1,6		
96			0,6	1,8		
112			0,8	2		
128			1	2,2		
144			1,2	2,4		
160			1,4	2,6		

В таблице 2 приведены результаты второй серии численного эксперимента для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом. При этом третья производная угловой скорости имела значение  $\omega_{\max}^{(3)} = 2000 \text{ рад/с}^4$ . Задание на изменение угловой скорости изменялось от 0 до  $\omega_{\text{гр.2}} = 40 \text{ рад/с}$ .

Таблица 2- Результаты второй серии численного эксперимента для больших изменений скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом.

$(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}),$ рад/с	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$M_{y, \max},$ Н · м	$M_{\max},$ Н · м
40	0,1	0,3	0	1	4,5	6,5
48			0,1	1,1		
64			0,3	1,3		
80			0,5	1,5		
96			0,7	1,7		
112			0,9	1,9		
128			1,1	2,1		
144			1,3	2,3		
160			1,5	2,5		

В таблице 3 приведены результаты третьей серии численного эксперимента для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом. При этом третья производная угловой скорости имела значение  $\omega_{\max}^{(3)} = 4000 \text{ рад/с}^4$ . Задание на изменение угловой скорости изменялось от 0 до  $\omega_{\text{гр.2}} = 36 \text{ рад/с}$ .

Таблица 3 - Результаты третьей серии численного эксперимента для больших изменений скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом.

$(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}),$ рад/с	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$M_{y, \max},$ Н · м	$M_{\max},$ Н · м
36	0,05	0,35	0	0,9	4,5	6,5
40			0,05	0,95		
48			0,15	1,05		
64			0,35	1,25		
80			0,55	1,45		
96			0,75	1,65		
112			0,95	1,85		
128			1,15	2,05		
144			1,35	2,25		
160			1,55	2,45		

Представленная на рисунках 1÷4 оптимальная по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом имеет следующие параметры:  $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) = 80 \text{ рад/с}$ ;  $\omega_{\max}^{(3)} = 2000 \text{ рад/с}^4$ ;  $t_1 = 0,1 \text{ с}$ ;  $t_2 = 0,3 \text{ с}$ ;  $t_3 = 0,5 \text{ с}$ ;  $T_{\text{ц}} = 1,5 \text{ с}$ ;  $M_{y, \max} = 4,5 \text{ Н · м}$ ;  $M_{\max} = 6,5 \text{ Н · м}$ .

### ВЫВОДЫ

Оптимальная по быстродействию диаграмма изменения координат системы, описываемая системой дифференциальных уравнений третьего порядка, в соответствии с теоремой об N интервалах Фельдбаума А.А. должна состоять минимум из трех этапов. Предлагаемая оптимальная по

быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом состоит из семи этапов. Наличие четырех дополнительных этапов обусловлены необходимостью ограничений первой и второй производных угловой скорости исполнительного органа механизма.

Использование разработанной диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода с асинхронным двигателем и упругим валопроводом не только уменьшит время изменения угловой скорости исполнительного органа механизма, но и ограничит динамические нагрузки в валопроводе.

*DEVELOPMENT OF OPTIMUM SPEED DIAGRAMS FOR BIG CHANGES THE ANGULAR VELOCITY OF ACTUATING DEVICE OF AC ELECTRIC DRIVE WITH ELASTIC SHAFTING*

**YU.P. DOBROBABA, M.V. PETELINA**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;  
e-mail: petelinamv@mail.ru*

In this article optimum speed diagrams for big changes the angular velocity of actuating device of ac electric drive with elastic shafting. For this diagram are defined dependence analytical for calculation its parameters and the existence region.

**Keywords:** optimum speed of diagrams, electric drive actuator, big changes speed.