

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ТРЕТЬЕГО ВИДА ДИАГРАММЫ ДЛЯ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

**Ю.П. ДОБРОБАБА, Г.А. КОШКИН, Н.Я. ПРОХОРЕНКО**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350002, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: nicita\_ximik@mail.ru*

Оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления состоит из трёх этапов. Для трёх этапов определены аналитические зависимости контролируемых координат электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления, который совершает малые перемещения своего исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой третьего вида. Получены три уравнения, при совместном решении которых определяются длительности трёх этапов перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. Для оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы при малых перемещениях исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления установлена область существования. При построении зависимостей контролируемых координат электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления от времени при малых перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой третьего вида использовано цифровое моделирование.

**Ключевые слова:** электропривод; малые перемещения; диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода.

В статьях [1] и [2] решены задачи по определению параметров оптимальных по быстродействию первого и второго вида диаграмм для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

В данной работе решается задача по определению параметров оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. При этом надо иметь в виду, что характеристическое уравнение электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления имеет три корня один

нулевой и два комплексных с отрицательным значением действительной части [3].

Этап 1. В интервале времени  $0 \leq t \leq t_1$  для контролируемых координат электропривода справедливы зависимости:

$$U(t) = U_{\text{доп}};$$

$$\varphi(t) = A_1 \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + B_1 \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + C_1 \cdot t + D_1;$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(1)}(t) = & -\xi \cdot \frac{A_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - \xi \cdot \frac{B_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + C_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(2)}(t) = & -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - (1-2\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(3)}(t) = & \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right); \end{aligned}$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{м}}} \cdot \left\{ M_{\text{co}} + J \cdot \left[ -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \right. \right. \\ \left. \left. - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \right. \right. \\ \left. \left. + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \right. \right. \\ \left. \left. -(1-2\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) \right] \right\},$$

где  $A_1 = -\frac{1-2\xi^2}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot T \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}^*}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}}} \right];$

$$B_1 = 2\xi T \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}^*}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}}} \right];$$

$$C_1 = \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}^*}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}}} \right];$$

$$D_1 = \varphi_{\text{нач}} - 2\xi T \cdot \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}^*}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}}} \right];$$

$$U_{\text{доп}^*} = U_{\text{доп}} \cdot \frac{C_{\text{е}} C_{\text{м}}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}} + R_{\text{я}} K_{\text{с}}};$$

$$T = \sqrt{\frac{L_{\text{я}} J}{C_{\text{е}} C_{\text{м}} + R_{\text{я}} K_{\text{с}}}};$$

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\left( \frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} + \frac{K_{\text{с}}}{J} \right) \cdot \frac{R_{\text{я}} J + L_{\text{я}} K_{\text{с}}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}} + R_{\text{я}} K_{\text{с}}}};$$

$$\xi < 1.$$

При  $t = t_1$ .

$$\varphi_1 = A_1 \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + B_1 \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + C_1 \cdot t_1 + D_1;$$

$$\begin{aligned} \varphi_1^{(1)} = & -\xi \cdot \frac{A_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \\ & - \xi \cdot \frac{B_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \\ & + C_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_1^{(2)} = & -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \\ & - (1-2\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_1^{(3)} = & \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \\ & - (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \\ & + (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \\ & + \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{я1} = & \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{co} + J \cdot \left[ -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \right. \right. \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \\ & \left. \left. -(1-2\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) \right] \right\}. \end{aligned}$$

Этап 2. В интервале времени  $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$  для контролируемых координат электропривода справедливы зависимости:

$$U(t) = -U_{доп};$$

$$\varphi(t) = A_2 \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + B_2 \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + C_2 \cdot (t-t_1) + D_2;$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(1)}(t) = & -\xi \cdot \frac{A_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + \\ & + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \\ & - \xi \cdot \frac{B_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \\ & - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + C_2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(2)}(t) = & -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \\ & - (1-2\xi^2) \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(3)}(t) = & \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{A_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \\ & - (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + \\ & + (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + \\ & + \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{B_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right); \end{aligned}$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{м}}} \cdot \left\{ M_{\text{co}} + J \cdot \left[ -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \right. \right. \\ \left. - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) + \right. \\ \left. + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) - \right. \\ \left. \left. -(1-2\xi^2) \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t-t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1}{T}\right) \right] \right\},$$

где

$$A_2 = A_1 \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - B_1 \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \\ + 2 \cdot \frac{1-2\xi^2}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot T \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}};$$

$$B_2 = A_1 \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + B_1 \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - 4\xi T \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}};$$

$$C_2 = - \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}} + \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}^*}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}}} \right];$$

$$D_2 = \varphi_{\text{нач}} + (2\xi T + t_1) \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_{\text{е}}} + (2\xi T - t_1) \cdot \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}^*}}{C_{\text{е}} C_{\text{м}}}.$$

При  $t = t_1 + t_2$ .

$$\varphi_2 = A_2 \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + B_2 \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + C_2 \cdot t_2 + D_2;$$

$$\varphi_2^{(1)} = -\xi \cdot \frac{A_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \\ - \xi \cdot \frac{B_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + \\ + C_2;$$

$$\begin{aligned} \varphi_2^{(2)} = & -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \\ & - (1 - 2\xi^2) \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_2^{(3)} = & \xi \cdot (3 - 4\xi^2) \cdot \frac{A_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \\ & - (1 - 4\xi^2) \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + \\ & + (1 - 4\xi^2) \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + \\ & + \xi \cdot (3 - 4\xi^2) \cdot \frac{B_2}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{я2}} = & \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{\text{co}} + J \cdot \left[ -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \right. \right. \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - \\ & \left. \left. - (1 - 2\xi^2) \cdot \frac{B_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) \right] \right\}. \end{aligned}$$

Этап 3. В интервале времени  $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3)$  для контролируемых координат электропривода справедливы зависимости:

$$U(t) = U_{\text{доп}};$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & A_3 \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + \\ & + B_3 \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + C_3 \cdot (t-t_1-t_2) + D_3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(1)}(t) = & -\xi \cdot \frac{A_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + \\ & + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \\ & - \xi \cdot \frac{B_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \\ & - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + C_3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(2)}(t) = & -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \\ & - (1-2\xi^2) \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(3)}(t) = & \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \\ & - (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + \\ & + (1-4\xi^2) \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + \\ & + \xi \cdot (3-4\xi^2) \cdot \frac{B_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{я}}(t) = & \frac{1}{C_{\text{м}}} \cdot \left\{ M_{\text{co}} + J \cdot \left[ -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \right. \right. \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) - \\ & \left. \left. -(1-2\xi^2) \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t-t_1-t_2}{T}\right) \right] \right\}, \end{aligned}$$



где

$$A_3 = A_2 \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) - B_2 \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) -$$

$$- 2 \cdot \frac{1-2\xi^2}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot T \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e};$$

$$B_3 = A_2 \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + B_2 \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_2}{T}\right) + 4\xi T \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e};$$

$$C_3 = \left[ \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right];$$

$$D_3 = \varphi_{\text{нач}} + [(t_1 - t_2) - 2\xi T] \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} + [2\xi T - (t_1 + t_2)] \cdot \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M}.$$

При  $t = t_1 + t_2$ .

$$\varphi_3 = A_3 \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + B_3 \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + C_3 \cdot t_3 + D_3;$$

$$\varphi_3^{(1)} = -\xi \cdot \frac{A_3}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_3}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) -$$

$$-\xi \cdot \frac{B_3}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_3}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) +$$

$$+ C_3;$$

$$\varphi_3^{(2)} = -(1-2\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) -$$

$$- 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) +$$

$$+ 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) -$$

$$-(1-2\xi^2) \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right);$$

$$\begin{aligned} \varphi_3^{(3)} = & \xi \cdot (3 - 4\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) - \\ & - (1 - 4\xi^2) \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + \\ & + (1 - 4\xi^2) \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + \\ & + \xi \cdot (3 - 4\xi^2) \cdot \frac{B_3}{T^3} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right); \\ I_{я3} = & \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{co} + J \cdot \left[ -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) - \right. \right. \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) - \\ & \left. \left. -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) \right] \right\}. \end{aligned}$$

Так как  $\varphi_3 = \varphi_{кон}$ , то

$$\begin{aligned} \varphi_{кон} = & A_3 \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + B_3 \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) + \\ & + \left[ \frac{U_{доп*}}{C_e} - \frac{R_{я} M_{co*}}{C_e C_M} \right] \cdot t_3 + \varphi_{нач} + [(t_1 - t_2) - 2\xi T] \cdot \frac{U_{доп*}}{C_e} + \\ & + [2\xi T - (t_1 + t_2)] \cdot \frac{R_{я} M_{co*}}{C_e C_M}. \end{aligned}$$

Так как  $\varphi_3^{(1)} = 0$ , то

$$\begin{aligned} 0 = & -\xi \cdot \frac{A_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T} + \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T} - \\ & - \xi \cdot \frac{B_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T} - \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_3}{T} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T} + \\ & + \left[ \frac{U_{доп*}}{C_e} - \frac{R_{я} M_{co*}}{C_e C_M} \right]. \end{aligned}$$

Так как  $\varphi_3^{(2)} = 0$ , то

$$0 = -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) -$$

$$- 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) +$$

$$+ 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right) -$$

$$- (1 - 2\xi^2) \cdot \frac{A_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \cdot \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}\right).$$

Последние три уравнения после преобразования имеют вид:

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} \cdot (t_1 - t_2 + t_3) - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \cdot (t_1 + t_2 + t_3); \quad (1)$$

$$2 \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} -$$

$$- \left[ 2 \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \left( \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right) \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T} \right] \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T} -$$

$$- \left[ \left( \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right) \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T} \right] \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T} =$$

$$= \left( \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right) \cdot e^{\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}; \quad (2)$$

$$\left[ 2 \cdot \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \left( \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right) \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T} \right] \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T} -$$

$$- \left[ \left( \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right) \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T} \right] \cdot e^{-\xi \frac{t_2}{T}} \cdot \cos\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_2}{T} =$$

$$= \left( \frac{U_{\text{доп}^*}}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{со}^*}}{C_e C_M} \right) \cdot e^{\xi \frac{t_3}{T}} \cdot \sin\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_3}{T}. \quad (3)$$

Из уравнений (1)÷(3) определяются значения длительностей этапов перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ .

Так как  $I_{\text{я}1} = I_{\text{max}}$ , то

$$I_{max} = \frac{1}{C_M} \cdot \left\{ M_{co} + J \cdot \left[ -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \right. \right. \\ \left. - 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{A_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) + \right. \\ \left. + 2\xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) - \right. \\ \left. \left. -(1 - 2\xi^2) \cdot \frac{B_1}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right) \right] \right\}.$$

Если  $I_{max} = I_{доп}$ , то  $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.1}$ .

$$\frac{C_M I_{доп} - M_{co}}{J} \cdot T = \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot \left[ \frac{U_{доп*}}{C_e} - \frac{R_{я} M_{co*}}{C_e C_M} \right] \cdot e^{-\xi \frac{t_1}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1 - \xi^2} \cdot \frac{t_1}{T}\right). \quad (4)$$

Из уравнений (2), (3) и (4) определяются значения длительностей этапов  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ . Из выражения (1) определяется первое граничное значение угла поворота  $\varphi_{гр.1}$ .

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию третьего вида диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления, имеющего следующие параметры и ограничения контролируемых координат

$$U_{доп} = 250 \text{ В}; \quad I_{доп} = 8 \text{ А}; \quad \omega_{доп} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \quad C_e = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}/\text{рад}; \quad C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с};$$

$$R_{я} = 5 \text{ Ом}; \quad L_{я} = 0,1 \text{ Гн}; \quad J = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad M_{co} = 2,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$K_c = 0,015625 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

При  $\varphi_{нач} = 0$  рад и  $\varphi_{кон} = 0,004$  рад длительности интервалов времени имеют следующие значения:

$$t_1 = 0,002595 \text{ с}; \quad t_2 = 0,004505 \text{ с}; \quad t_3 = 0,002307 \text{ с}.$$

Для данной системы первое граничное значение угла поворота исполнительного органа электропривода  $\varphi_{гр.1} = 0,004361$  рад.

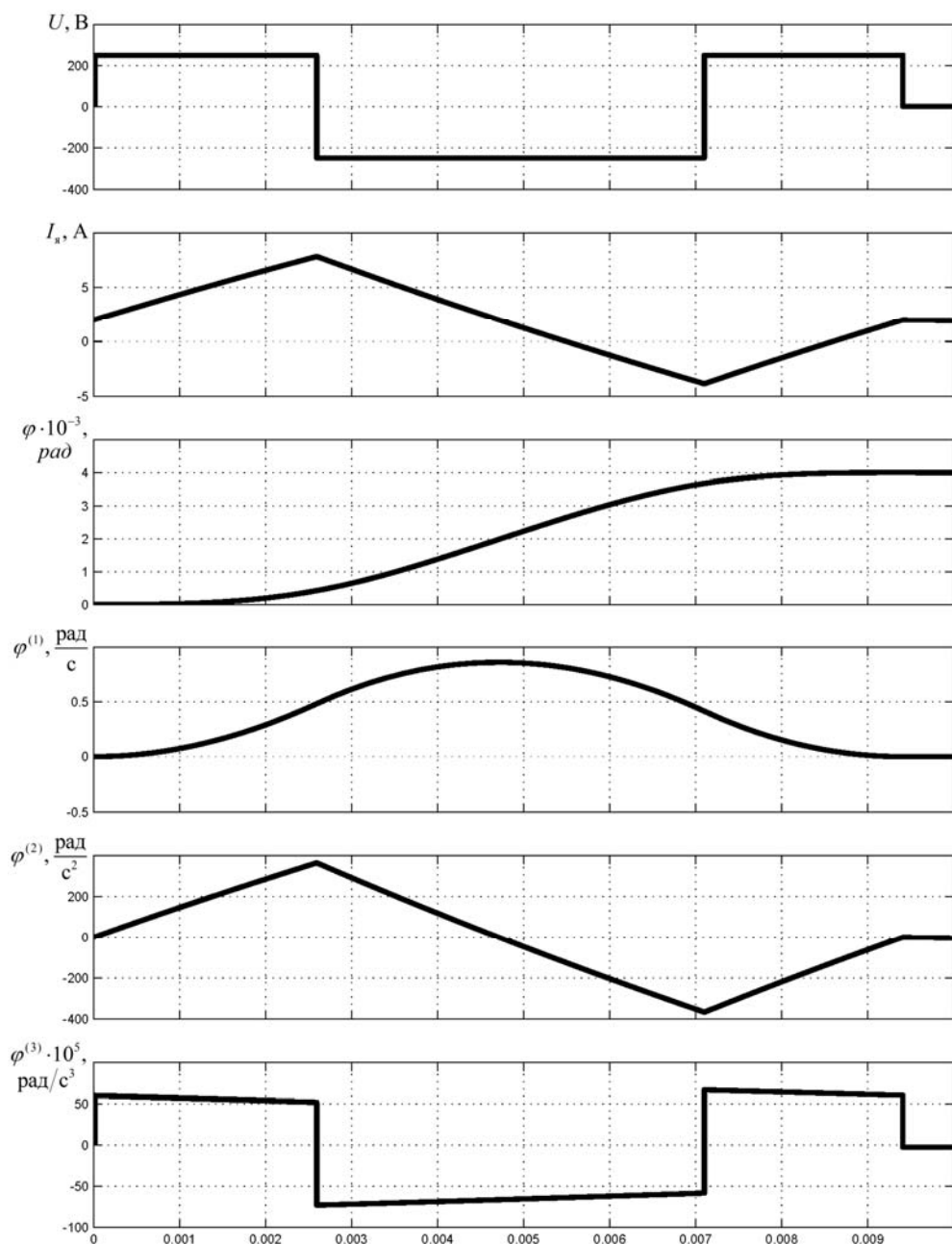


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию третьего вида диаграмма для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

**Выводы:**

- определены аналитические зависимости для контролируемых координат электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления при малых перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой третьего вида;

- получены три уравнения (1), (2) и (3), позволяющее определить длительности этапов перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ ;

- установлена область существования оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления;

- по результатам цифрового моделирования построены зависимости контролируемых координат электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления от времени при малых перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой третьего вида.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Определение параметров оптимальной по быстродействию первого вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. - Научные труды КубГТУ, 2016, №12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>.

2. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Определение параметров оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. - Научные труды КубГТУ, 2016, №13. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>

3. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Оптимальное по быстродействию управление малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. Технические и технологические системы : Материалы восьмой международной научной конференции «ГТС-16» (24–26 ноября 2016 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2016. – 109-114 с.

#### REFERENCES

1. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviju pervogo vida diagrammy dlja malyh peremeshhenij ispolnitelnogo organa jelektroprivoda postojannogo toka s zavisjashhim ot skorosti momentom - Nauchnye trudy KubGTU, 2016, №12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>

2. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviju vtorogo vida diagrammy dlja malyh peremeshhenij ispolnitelnogo organa jelektroprivoda postojannogo toka s zavisjashhim ot skorosti momentom - Nauchnye trudy KubGTU, 2016, №12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>

3. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Optimalnoe po bystrodeystviyu upravlenie malymi peremeshcheniyami ispolnitelnogo organa elektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya. Technical and technological systems: Materials of the eighth international scientific TTS-16 conference (on November 24–26, 2016) / FGBOU VO «KUBGTU», KVVAUL of A.K. Serov; under the general editorial office B.H. Gaytova. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 109-114 p.

*DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE TIME-OPTIMAL THIRD TYPE OF DIAGRAMS FOR SMALL MOVEMENTS OF THE EXECUTIVE BODY OF THE DC MOTOR WITH A SPEED-DEPENDENT RESISTIVE TORQUE*

**YU.P. DOBROBABA, G.A. KOSHKIN, N.YA. PROKHORENKO**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350002;  
e-mail: nicita\_ximik@mail.ru*

The optimum diagramme on speed for small movements of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque consists of three stages. For the three stages identified analytical dependences of coordinates of controlled DC drive with speed-dependent torque resistance, which makes small displacements of its Executive body in accordance with the optimal diagram of the third kind. Obtained three equations, with the joint solution of which determines the duration of the three phases of displacement of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque. For optimal performance the third type of chart with small displacements of the Executive body DC electric drive with speed-dependent torque resistance established area of existence. When you build the dependencies of coordinates of controlled DC drive with speed-dependent resistive torque from time to time with small displacements of its Executive body in accordance with the optimal diagram of a third form of used digital modeling.

**Key words:** electric drive; small move; diagram of movement of electric drives Executive authority.