

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ОСОБО ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО МАКСИМАЛЬНОМУ И МИНИМАЛЬНОМУ ЗНАЧЕНИЯМ ТОКА, СКОРОСТИ И ЕЁ ТРЕТЬЕЙ ПРОИЗВОДНОЙ

Ю.П. ДОБРОБАБА, Г.А. КОШКИН, Ж.И. ШЕВЧЕНКО, Ю.В. ХОЛОДИЛОВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: kholodilov94@mail.ru*

Решена задача оптимального по быстродействию управления перемещением исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной. Разработано математическое обеспечение, позволяющее определить параметры оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной. Определена область существования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной. Произведён численный эксперимент, позволивший построить зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода от заданного перемещения (угла поворота) при различных значениях момента сопротивления электропривода.

Ключевые слова: особо точный электропривод, оптимальное по быстродействию перемещение исполнительного органа электропривода, ограничения по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной.

Известны оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по: третьей производной скорости; первой и третьей производным скорости; скорости и её первой и третьей производным [1].

В данной работе предлагается разработать оптимальную по быстродействию диаграмму перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной.

На рисунке 1 предоставлена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода

постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной.

Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной состоит из одиннадцати этапов. На первом, пятом, восьмом и десятом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(3)}$ равна максимальному значению $\omega_{max}^{(3)}$; на втором, четвёртом, седьмом и одиннадцатом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(3)}$ равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(3)}$; на третьем, шестом и девятом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(3)}$ равна нулю. Длительность первого, второго, четвёртого и пятого этапов равна t_1 ; длительность третьего этапа равна t_2 ; длительность седьмого, восьмого, десятого и одиннадцатого этапов равна t_3 ; длительность девятого этапа равна t_4 ; длительность шестого этапа равна t_5 . В момент времени t_1 вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(2)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(2)}$; в момент времени $(3t_1 + t_2)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(2)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(2)}$; в момент времени $(4t_1 + t_2 + t_3 + t_5)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(2)}$ достигает минимального значения $\omega_{min}^{(2)}$; в момент времени $(4t_1 + t_2 + 3t_3 + t_4 + t_5)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(2)}$ достигает минимального значения со знаком «минус» $-\omega_{min}^{(2)}$. На третьем этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода

$\omega^{(1)}$ равна первому максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}$ (ток якорной цепи электропривода $I_{\text{я}}$ равен максимально допустимому значению $I_{\text{доп}}$); на девятом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(1)}$ равна второму максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}$ (ток якорной цепи электропривода равен максимально допустимому значению со знаком «минус» $-I_{\text{доп}}$). В момент времени $(4t_1 + t_2)$ угловая скорость исполнительного органа электропривода ω достигает максимально допустимого значения $\omega_{\text{доп}}$. За время цикла $T_{\text{ц}} = 4t_1 + t_2 + 4t_3 + t_4 + t_5$ угол поворота исполнительного органа электропривода φ изменяется от начального значения угла поворота $\varphi_{\text{нач}}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{\text{кон}}$.

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной справедливы следующие соотношения:

$$\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} = \frac{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J};$$

$$\omega_{\text{доп.2}}^{(1)} = \frac{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J};$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}};$$

$$t_3 = \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}};$$

$$t_2 = \frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}} - 2t_1;$$

$$t_4 = \frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}} - 2t_3;$$

$$t_5 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}} - \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}} - \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}};$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}} + \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}} + \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = \sqrt{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} \omega_{\text{max}}^{(3)}};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = -\sqrt{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)} \omega_{\text{max}}^{(3)}};$$

где $M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м;

$C_{\text{м}}$ – коэффициент электродвигателя, В·с;

J – момент инерции электропривода, кг·м²;

Если длительность шестого этапа t_5 равна нулю, то угол поворота исполнительного органа электропривода постоянного тока ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}$) равен третьему граничному значению $\varphi_{\text{гр.3}}$.

Область существования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной:

$$\varphi_{\text{гр.3}} \leq (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}),$$

$$\text{где } \varphi_{\text{гр.3}} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}} + \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.1}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}} + \sqrt{\frac{\omega_{\text{доп.2}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}} \right].$$

Проведён численный эксперимент с целью определения зависимостей длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения (угла поворота) ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}$) при различных значениях момента сопротивления электропривода $M_{\text{со}}$.

В работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры и ограничения:

$$C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}; C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}; R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}; L_{\text{я}} = 0,1 \text{ Гн}; J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}; I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}; \omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

При этом максимальное значение третьей производной угловой скорости электропривода равнялось $\omega_{\text{max}}^{(3)} = 40000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$.

Первая серия эксперимента. $M_{\text{со}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 - 5}{0,05} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{доп.2}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 + 5}{0,05} = 300 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\varphi_{\text{гр.3}} = 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{300} + \sqrt{\frac{100}{40000}} + \sqrt{\frac{300}{40000}} \right] = \frac{8}{3} \cdot (67 + 3\sqrt{3}) \approx 192,52307 \text{ рад}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \frac{8}{3} \cdot (67 + 3\sqrt{3}) \approx 192,52307 \text{ рад}$, то

$$t_1 = 0,05 \text{ с}; \quad t_2 = 1,5 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{3}}{20} \approx 0,0866025 \text{ с}; \quad t_4 = \frac{16 - 3\sqrt{3}}{30} \approx 0,3601282 \text{ с};$$

$$t_5 = 0; \quad T_{\text{ц}} = \frac{67 + 3\sqrt{3}}{30} \approx 2,4065384 \text{ с}; \quad \omega_{\text{max}}^{(2)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -2000\sqrt{3} \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 320 \text{ рад}$, то

$$t_1 = 0,05 \text{ с}; \quad t_2 = 1,5 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{3}}{20} \approx 0,0866025 \text{ с}; \quad t_4 = \frac{16 - 3\sqrt{3}}{30} \approx 0,3601282 \text{ с};$$

$$t_5 = \frac{53 - 3\sqrt{3}}{60} \approx 0,7967308 \text{ с}; \quad T_{\text{ц}} = \frac{187 + 3\sqrt{3}}{60} \approx 3,2032691 \text{ с}; \quad \omega_{\text{max}}^{(2)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = -2000\sqrt{3} \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Вторая серия эксперимента. $M_{\text{со}} = 3,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 - 3,75}{0,05} = 125 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{доп.2}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 + 3,75}{0,05} = 275 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

$$\varphi_{гр.3} = 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{125} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{275} + \sqrt{\frac{125}{40000}} + \sqrt{\frac{275}{40000}} \right] = 32 \cdot \left[\frac{256}{55} + \frac{\sqrt{5} + \sqrt{11}}{8} \right] \approx 171,15622 \text{ рад.}$$

Если $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = 32 \cdot \left[\frac{256}{55} + \frac{\sqrt{5} + \sqrt{11}}{8} \right] \approx 171,15622$ рад, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{5}}{40} \approx 0,0559016 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{128 - 5\sqrt{5}}{100} \approx 1,1681967 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{11}}{40} \approx 0,0829156 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{128 - 11\sqrt{11}}{220} \approx 0,4159869 \text{ с}; \quad t_5 = 0 \text{ с}; \quad T_{ц} = \frac{55\sqrt{5} + 55\sqrt{11} + 2048}{1100} \approx 2,1394527 \text{ с};$$

$$\omega_{max}^{(2)} = 1000\sqrt{5} \approx 2236,0679 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{min}^{(2)} = -1000\sqrt{11} \approx -3316,6247 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Если $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = 320$ рад, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{5}}{40} \approx 0,0559016 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{128 - 5\sqrt{5}}{100} \approx 1,1681967 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{11}}{40} \approx 0,0829156 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{128 - 11\sqrt{11}}{220} \approx 0,4159869 \text{ с}; \quad t_5 = \frac{294}{275} - \frac{\sqrt{5}}{40} - \frac{\sqrt{11}}{40} \approx 0,9302737 \text{ с};$$

$$T_{ц} = \frac{806}{275} + \frac{\sqrt{5}}{40} + \sqrt{\frac{11}{40}} \approx 3,0697262 \text{ с}; \quad \omega_{max}^{(2)} = 1000\sqrt{5} \approx 2236,0679 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3};$$

$$\omega_{min}^{(2)} = -1000\sqrt{11} \approx -3316,6247 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Третья серия эксперимента. $M_{co} = 2,5$ Н·м.

$$\omega_{доп.1}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 - 2,5}{0,05} = 150 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{доп.2}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 + 2,5}{0,05} = 250 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

$$\varphi_{гр.3} = 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{150} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{250} + \sqrt{\frac{150}{40000}} + \sqrt{\frac{250}{40000}} \right] = \frac{4}{15} \cdot (512 + 15\sqrt{6} + 15\sqrt{10}) \approx 158,9804 \text{ рад.}$$

Если $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \frac{4}{15} \cdot (512 + 15\sqrt{6} + 15\sqrt{10}) \approx 158,9804$ рад, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{6}}{40} \approx 0,0612372 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{64-3\sqrt{6}}{60} \approx 0,9441921 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{10}}{40} \approx 0,0790569 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{64-5\sqrt{10}}{100} \approx 0,4818861 \text{ с}; \quad t_5 = 0 \text{ с}; \quad T_{\text{ц}} = \frac{\sqrt{10}}{20} + \frac{\sqrt{6}}{20} + \frac{128}{75} \approx 1,9872548 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 1000\sqrt{6} \approx 2449,4897 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -1000\sqrt{10} \approx -3162,2776 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 320 \text{ рад}$, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{6}}{40} \approx 0,0612372 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{64-3\sqrt{6}}{60} \approx 0,9441921 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{10}}{40} \approx 0,0790569 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{64-5\sqrt{10}}{100} \approx 0,4818861 \text{ с}; \quad t_5 = \frac{86}{75} - \frac{\sqrt{6}}{40} - \frac{\sqrt{10}}{40} \approx 1,0063725 \text{ с};$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{214}{75} + \frac{\sqrt{10}}{40} + \frac{\sqrt{6}}{40} \approx 2,9936274 \text{ с}; \quad \omega_{\text{max}}^{(2)} = 1000\sqrt{6} \approx 2449,4897 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = -1000\sqrt{10} \approx -3162,2776 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Четвёртая серия эксперимента. $M_{\text{с0}} = 1,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 - 1,25}{0,05} = 175 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{доп.2}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8 + 1,25}{0,05} = 225 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

$$\varphi_{\text{гр.3}} = 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{175} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{225} + \sqrt{\frac{175}{40000}} + \sqrt{\frac{225}{40000}} \right] = \frac{4}{63} \cdot (2237 + 63\sqrt{7}) \approx$$

$$\approx 152,61474 \text{ рад}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \frac{4}{63} \cdot (2237 + 63\sqrt{7}) \approx 152,61474 \text{ рад}$, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{7}}{40} \approx 0,0661437 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{128-7\sqrt{7}}{140} \approx 0,7819982 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{3}{40} \approx 0,075 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{101}{180} \approx 0,5611111 \text{ с}; \quad t_5 = 0 \text{ с}; \quad T_{\text{ц}} = \frac{2237+63\sqrt{7}}{1260} \approx 1,9076843 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 1000\sqrt{7} \approx 2645,7513 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -3000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 320 \text{ рад}$, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{7}}{40} \approx 0,0661437 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{128 - 7\sqrt{7}}{140} \approx 0,7819982 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{3}{40} \approx 0,075 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{101}{180} \approx 0,5611111 \text{ с}; \quad t_5 = \frac{2803}{2520} - \frac{\sqrt{7}}{40} \approx 1,0461578 \text{ с}; \quad T_{\text{ц}} = \frac{7277}{2520} + \frac{\sqrt{7}}{40} \approx 2,9538421 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 1000\sqrt{7} \approx 2645,7513 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -3000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Пятая серия эксперимента. $M_{\text{с0}} = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

$$\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8}{0,05} = 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{доп.2}}^{(1)} = \frac{1,25 \cdot 8}{0,05} = 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

$$\varphi_{\text{гр.3}} = 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{200} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{200} + \sqrt{\frac{200}{40000}} + \sqrt{\frac{200}{40000}} \right] = 16 \cdot (8 + \sqrt{2}) \approx 150,62741 \text{ рад}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 16 \cdot (8 + \sqrt{2}) \approx 150,62741 \text{ рад}$, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{2}}{20} \approx 0,0707106 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{8 - \sqrt{2}}{10} \approx 0,6585786 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{2}}{20} \approx 0,0707106 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{8 - \sqrt{2}}{10} \approx 0,6585786 \text{ с}; \quad t_5 = 0 \text{ с}; \quad T_{\text{ц}} = \frac{8 + \sqrt{2}}{5} \approx 1,8828427 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 2000\sqrt{2} \approx 2828,427 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -2000\sqrt{2} \approx -2828,427 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 320 \text{ рад}$, то

$$t_1 = \frac{\sqrt{2}}{20} \approx 0,0707106 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{8 - \sqrt{2}}{10} \approx 0,6585786 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{2}}{20} \approx 0,0707106 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{8 - \sqrt{2}}{10} \approx 0,6585786 \text{ с}; \quad t_5 = \frac{12 - \sqrt{2}}{10} \approx 1,0585787 \text{ с}; \quad T_{\text{ц}} = \frac{28 + \sqrt{2}}{10} \approx 2,9414213 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 2000\sqrt{2} \approx 2828,427 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -2000\sqrt{2} \approx -2828,427 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстрдействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной, при $M_{\text{с0}} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$. которая имеет следующие параметры:

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 320 \text{ рад}; \quad t_1 = 0,05 \text{ с}; \quad t_2 = 1,5 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{\sqrt{3}}{20} \approx 0,0866025 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{16 - 3\sqrt{3}}{30} \approx 0,3601282 \text{ с}; \quad t_5 = \frac{53 - 3\sqrt{3}}{60} \approx 0,7967308 \text{ с};$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{187 + 3\sqrt{3}}{60} \approx 3,2032691 \text{ с}; \quad \omega_{\text{max}}^{(2)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{min}}^{(2)} = -2000\sqrt{3} \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}.$$

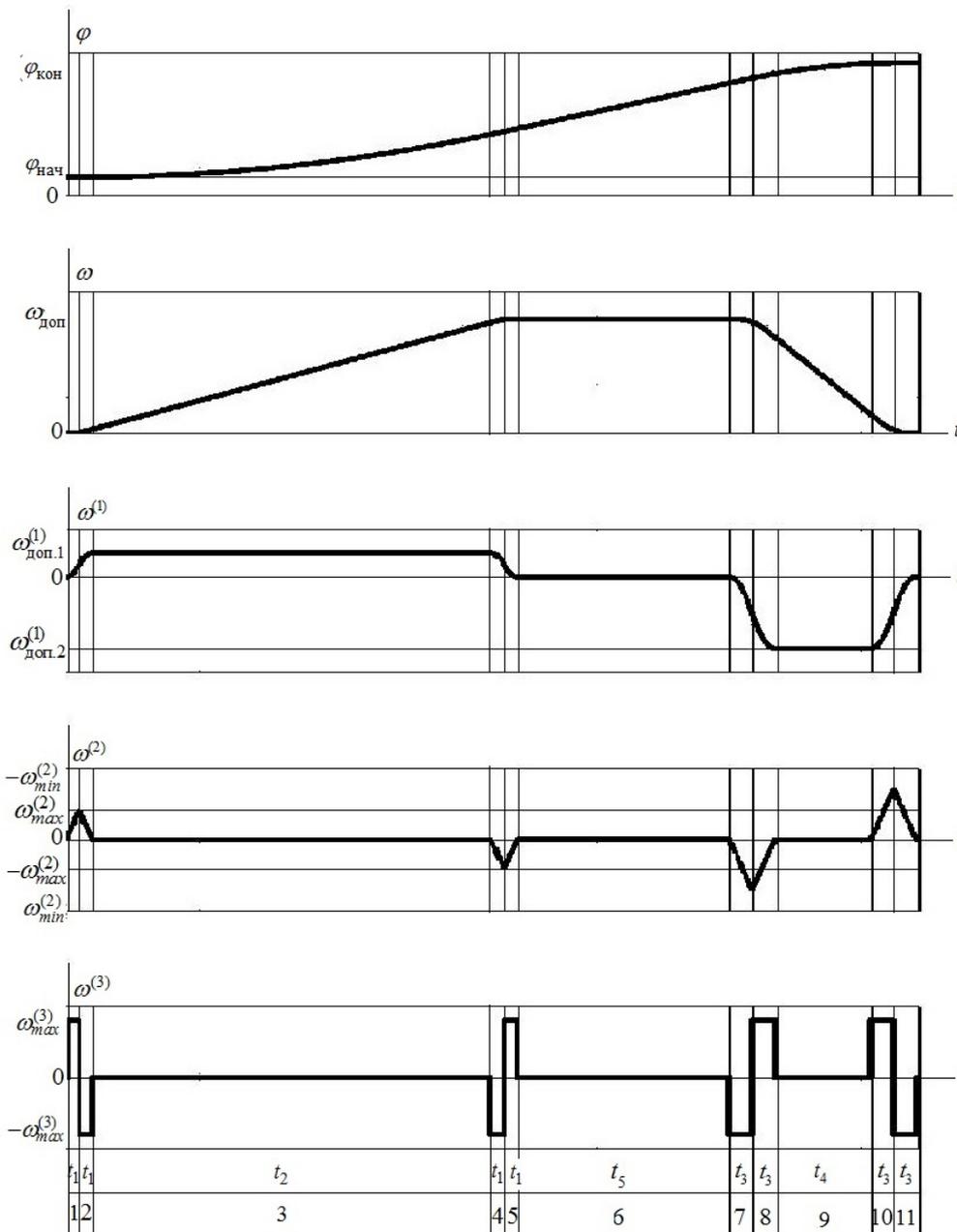


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничением по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной

На рисунке 2 на основании результатов проведённого численного эксперимента построены зависимости длительности цикла перемещения

исполнительного органа электропривода $T_{ц}$ от заданного перемещения (угла поворота) $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач})$ при различных значениях момента сопротивления электропривода $M_{со}$.

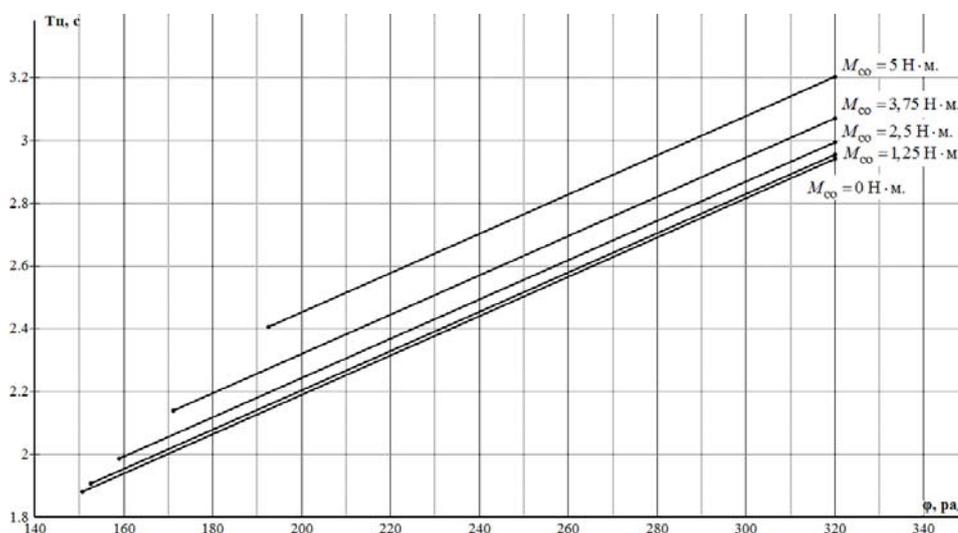


Рисунок 2 – Графики зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода $T_{ц}$ от заданного перемещения (угла поворота) $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач})$ при различных значениях момента сопротивления электропривода $M_{со}$

Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной, состоящая из одиннадцати этапов.

Разработано математическое обеспечение для определения параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной.

Найдена область существования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной.

Построены зависимости координат электропривода постоянного тока от времени при его перемещении в соответствии с оптимальной по <http://ntk.kubstu.ru/file/1540>

быстродействию диаграммой перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с ограничениями по максимальному и минимальному значениям тока, скорости и её третьей производной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добробаба Ю.П., Хорцев А.Л. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока: монография. Изд-во ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014.-104 с.

REFERENCES

1. Dobrobaba Yu.P., Khortsev A.L. Osobo tochnyy pozitsionnyy elektroprivod postoyannogo toka: monografiya. Izd-vo FGBOU VPO «KubGTU», 2014.-104 s.

DEVELOPMENT OPTIMUM ON SPEED CHART MOVEMENT OF THE EXECUTIVE BODY, HIGH PRECISION DC MOTOR WITH CONSTRAINTS ON THE MAXIMUM AND MINIMUM VALUES OF CURRENT, SPEED AND ITS THIRD DERIVATIVE

YU.P. DOBROBABA, G.A. KOSHKIN, ZH.I. SHEVCHENKO, YU.V. KHOLODILOV

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: kholodilov94@mail.ru*

Solved the problem of time-optimal motion control of the Executive body, high precision DC motor with constraints on the maximum and minimum values of current, speed and its third derivative. The developed software, which allows to determine the parameters of the optimal chart movement of the Executive body of the extremely precise DC gear motor with constraints on the maximum and minimum values of current, speed and its third derivative. Determined the region of existence of time-optimal chart movement of the Executive body, high precision DC motor with constraints on the maximum and minimum values of current, speed and its third derivative of the speed. Numerical experiment allowed to build the dependence of the length of the cycle of movement of electric drives Executive authority from prescribed displacement (rotation angle) at various values of the resistance moment of the drive.

Key words: high-precision electric drive, optimal movement of electric drives Executive authority, limits on the maximum and minimum values of current, speed and its third derivative.