



УДК 62.83.52:62.503.56

ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МАКСИМАЛЬНОГО И МИНИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЙ ТОКА И ПЯТОЙ ПРОИЗВОДНОЙ СКОРОСТИ

TIME-OPTIMAL DIAGRAM OF MOVEMENT OF EXECUTIVE BODY OF THE DIRECT CURRENT DRIVE WITH ELASTIC SHAFTING WITH CONSTRAINS OF MAXIMUM AND MINIMUM CURRENT AND THE FIFTH DERIVATIVE OF THE SPEED

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный технологический университет
itstimetoprivod@yahoo.com

Кошкин Гордей Анатольевич

кандидат технических наук,
начальник цеха НКУ, ООО «Прогресс»

Громницкий Е.Е.

Кубанский государственный технологический университет
Johngrom686@yandex.ru

Аннотация. Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости. Для определения параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости составлен алгоритм. Установлена область существования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости. По результатам численного эксперимента построены зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода от заданного перемещения (угла поворота) при различных значениях пятой производной скорости.

Ключевые слова: упругий валопровод, оптимальное по быстродействию перемещение исполнительного органа прецизионного электропривода, ограничения по максимальному и минимальному значениям тока.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Professor of Department of power supply
industrial enterprises,
Kuban state technological university
itstimetoprivod@yahoo.com

Koshkin Gordey Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences,
Foreman NKU, LLC Progress

Gromnitsky E.E.

Kuban state technological university
Johngrom686@yandex.ru

Annotation. The time-optimal diagram of movement of the executive body of the precision DC drive with elastic shafting with constraints of maximum and minimum current and the fifth derivative of the speed has designed. The algorithm has developed to determine the parameters of the time-optimal diagram of movement of the executive body of the precision DC drive with elastic shafting with constraints of maximum and minimum current and the fifth derivative of the speed. The region of existence of the time-optimal diagram of movement of the executive body of the precision DC drive with elastic shafting with constraints of maximum and minimum current and the fifth derivative of the speed has set. According to the results of the numerical experiment, the dependences of the duration of the cycle of movement of the executive body of the drive from prescribed displacement (rotation angle) for different values of the fifth derivative of the speed have plotted.

Keywords: elastic shafting, time-optimal diagram of movement of the executive body of the precision direct current motor, constraints of maximum and minimum current.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости, состоящая из двадцати шести этапов. Длительность первого, третьего, четвертого, шестого, восьмого, десятого, одиннадцатого и тринадцатого этапов равна t_1 ; длительность второго, пятого, девятого и двенадцатого этапов равна $2t_1$; длительность седьмого этапа равна t_2 ; длительность

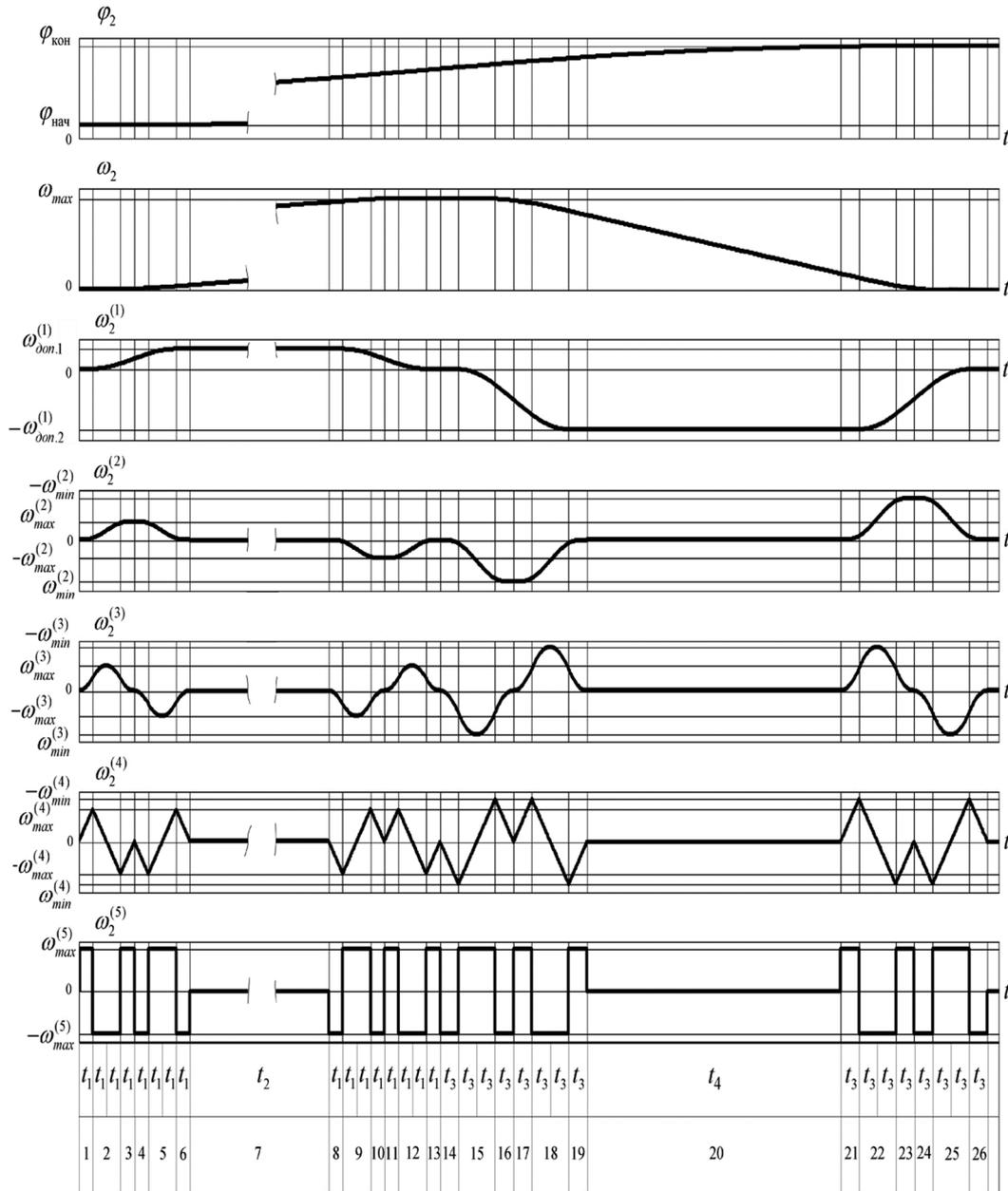


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости

четырнадцатого, шестнадцатого, семнадцатого, девятнадцатого, двадцать первого, двадцать третьего, двадцать четвертого и двадцать шестого этапов равна t_3 ; длительность пятнадцатого, восемнадцатого, двадцать второго и двадцать пятого этапов равна $2t_3$; длительность двадцатого этапа равна t_4 . На первом, третьем, пятом, девятом, одиннадцатом, тринадцатом, пятнадцатом, семнадцатом, девятнадцатом, двадцать первом, двадцать третьем и двадцать пятом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода $\omega_2^{(5)}$ равна максимальному значению $\omega_{max}^{(5)}$; на втором, четвертом, шестом, восьмом, десятом, двенадцатом, четырнадцатом, шестнадцатом, восемнадцатом, двадцать втором, двадцать четвертом, и двадцать шестом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода $\omega_2^{(5)}$ равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(5)}$; на седьмом и двадцатом этапах пятая производная угловой скорости исполнитель-



ного органа электропривода $\omega_2^{(5)}$ равна нулю. В моменты времени t_1 , $7t_1$, $(11t_1 + t_2)$, $(13t_1 + t_2)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода $\omega_2^{(4)}$ равна максимальному значению $\omega_{max}^{(4)}$; в моменты времени $3t_1$, $5t_1$, $(9t_1 + t_2)$, $(15t_1 + t_2)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода $\omega_2^{(4)}$ равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(4)}$; в моменты времени $(16t_1 + t_2 + t_3)$, $(16t_1 + t_2 + 7t_3)$, $(16t_1 + t_2 + 11t_3 + t_4)$, $(16t_1 + t_2 + 13t_3 + t_4)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода $\omega_2^{(4)}$ равна минимальному значению $\omega_{min}^{(4)}$; в моменты времени $(16t_1 + t_2 + 3t_3)$, $(16t_1 + t_2 + 5t_3)$, $(16t_1 + t_2 + 9t_3 + t_4)$, $(16t_1 + t_2 + 15t_3 + t_4)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа прецизионного электропривода $\omega_2^{(4)}$ равна минимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{min}^{(4)}$; на седьмом и двадцатом этапах четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(4)}$ равна нулю. В моменты времени $2t_1$ и $(14t_1 + t_2)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(3)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(3)}$; в моменты времени $6t_1$ и $(10t_1 + t_2)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(3)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(3)}$; в моменты времени $(16t_1 + t_2 + 2t_3)$ и $(16t_1 + t_2 + 14t_3 + t_4)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(3)}$ достигает минимального значения $\omega_{min}^{(3)}$; в моменты времени $(16t_1 + t_2 + 6t_3)$ и $(16t_1 + t_2 + 10t_3 + t_4)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(3)}$ достигает минимального значения со знаком «минус» $-\omega_{min}^{(3)}$; на седьмом и двадцатом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(3)}$ равна нулю. В момент времени $4t_1$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(2)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(2)}$; в момент времени $(12t_1 + t_2)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(2)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(2)}$; в момент времени $(16t_1 + t_2 + 4t_3)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(2)}$ достигает минимального значения $\omega_{min}^{(2)}$; в момент времени $(16t_1 + t_2 + 12t_3 + t_4)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(2)}$ достигает минимального значения со знаком «минус» $-\omega_{min}^{(2)}$; на седьмом и двадцатом этапах вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(2)}$ равна нулю. На седьмом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(1)}$ равна первому максимально допустимому значению $\omega_{доп.1}^{(1)}$ (ток якорной цепи электропривода $I_{я}$ равен максимально допустимому значению $I_{доп}$); на двадцатом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_2^{(1)}$ равна второму максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{доп.2}^{(1)}$ (ток якорной цепи электропривода $I_{я}$ равен максимально допустимому значению со знаком «минус» $-I_{доп}$). В момент времени $(16t_1 + t_2)$ угловая скорость исполнительного органа



на электроприводе ω_2 достигает максимального значения ω_{max} . За время цикла $T_{ц} = (16t_1 + t_2 + 16t_3 + t_4)$ угол поворота исполнительного органа прецизионного электропривода увеличивается от начального значения угла поворота $\varphi_{нач}$ до конечного значения $\varphi_{кон}$.

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости справедливы следующие соотношения:

$$\omega_{доп.1}^{(1)} = \frac{C_M I_{доп} - M_{со}}{J}; \tag{1}$$

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

$$t_1 = 4 \sqrt{\frac{1}{8} \frac{\omega_{доп.1}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \tag{3}$$

$$t_2 = \frac{\omega_{max}}{\omega_{доп.1}^{(1)}} - 8t_1; \tag{4}$$

$$t_3 = 4 \sqrt{\frac{1}{8} \frac{\omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \tag{5}$$

$$t_4 = \frac{\omega_{max}}{\omega_{доп.2}^{(1)}} - 8t_3; \tag{6}$$

$$\omega_{max} = \left\{ 16 \cdot (t_1 + t_3)^2 \cdot \left[\frac{\omega_{доп.1}^{(1)} \cdot \omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{доп.1}^{(1)} + \omega_{доп.2}^{(1)}} \right]^2 + 2 \cdot \frac{\omega_{доп.1}^{(1)} \cdot \omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{доп.1}^{(1)} + \omega_{доп.2}^{(1)}} \cdot (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) \right\}^{\frac{1}{2}} - 4 \cdot (t_1 + t_3) \cdot \frac{\omega_{доп.1}^{(1)} \cdot \omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{доп.1}^{(1)} + \omega_{доп.2}^{(1)}}, \tag{7}$$

где C_M – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В·с; $I_{доп}$ – максимально допустимое значение тока якорной цепи, А; $M_{со}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м;

Область существования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости:

$$\varphi_{гр.2} \leq (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) \leq \varphi_{гр.3}, \tag{8}$$

где

$$\varphi_{гр.2} = 32 \omega_{доп.2}^{(1)} \cdot 4 \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \frac{\omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}} \times \left[4 \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \frac{\omega_{доп.1}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}} + \frac{\omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{доп.1}^{(1)}} \cdot 4 \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \frac{\omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}} + 2 \cdot 4 \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \frac{\omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}} \right];$$



$$\varphi_{гр.3} = \omega_{доп} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{доп}}{\omega_{доп.1}^{(1)}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{доп}}{\omega_{доп.2}^{(1)}} + 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{\omega_{доп.1}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}} + 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{\omega_{доп.2}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}} \right].$$

С целью определения зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода $T_{ц}$ от заданного перемещения (угла поворота) $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач})$ при различных максимальных значениях пятой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_{max}^{(5)}$ проведен численный эксперимент.

В работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры:

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

где C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью электродвигателя и его ЭДС; $L_{я}$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя.

На координаты электропривода накладываются ограничения: по максимально допустимому значению напряжения $U_{доп} = 250 \text{ В}$; по максимально допустимому значению тока $I_{доп} = 8 \text{ А}$; по максимально допустимому значению угловой скорости $\omega_{доп} = 160 \frac{рад}{с}$.

Момент сопротивления электропривода постоянного тока с упругим валопроводом равняется $M_{со} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Определим максимально допустимые значения первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода:

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

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

Первая серия численного эксперимента. Пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равняется $\omega_{max}^{(5)} = 512000000 \frac{рад}{с^6}$.

$$\begin{aligned} \varphi_{гр.2} &= 32 \cdot 300 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{512000000}} \times \\ &\times \left[\sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \left[\frac{100}{512000000} \right]} + \frac{300}{100} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{512000000}} + 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{512000000}} \right] = \\ &= \frac{3}{2} \cdot \sqrt[4]{3} \cdot (5 \cdot \sqrt[4]{3} + 1) \approx 14,964 \text{ рад}; \\ \varphi_{гр.3} &= 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{300} + 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{100}{512000000}} + 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{512000000}} \right] = \\ &= \left[170 \frac{2}{3} + 8 \cdot (\sqrt[4]{3} + 1) \right] \approx 189,195 \text{ рад}. \end{aligned}$$

В таблице 1 приведены результаты первой серии численного эксперимента.

При этом остальные параметры диаграмм перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом имели постоянные значения: $t_1 = 0,0125 \text{ с}$;



$$t_3 = 0,0165c; \omega_{max}^{(4)} = 6400000 \frac{pad}{c^5}; \omega_{max}^{(3)} = 80000 \frac{pad}{c^4}; \omega_{max}^{(2)} = 2000 \frac{pad}{c^3}; \omega_{min}^{(4)} = -8422874 \frac{pad}{c^5};$$

$$\omega_{min}^{(3)} = -138564 \frac{pad}{c^4}; \omega_{min}^{(2)} = -4559 \frac{pad}{c^3}.$$

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\Delta\varphi$, рад	t_2 , с	t_4 , с	$T_{ц}$, с	ω_{max} , $\frac{рад}{с}$
14,964491	0,2948	0	0,7580	39,48
40	0,5926	0,0993	1,1551	69,26
65	0,8044	0,1699	1,4374	90,44
90	0,9783	0,2278	1,6693	107,83
115	1,1294	0,2782	1,8708	122,94
140	1,2649	0,3234	2,0515	136,49
165	1,3888	0,3646	2,2166	148,88
189,19525	1,5	0,4017	2,3649	160

Вторая серия численного эксперимента. Пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равняется $\omega_{max}^{(5)} = 32000000 \frac{pad}{c^6}$.

$$\varphi_{гр.2} = 32 \cdot 300 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{32000000}} \cdot \left[\sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \left[\frac{100}{32000000} \right]} + \frac{300}{100} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{32000000}} + \right.$$

$$\left. + 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{32000000}} \right] = 6 \cdot \sqrt[4]{3} \cdot (5 \cdot \sqrt[4]{3} + 1) \approx 59,858 \text{ рад};$$

$$\varphi_{гр.3} = 160 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{160}{100} + \frac{1}{2} \cdot \frac{160}{300} + 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{100}{32000000}} + 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{8} \cdot \frac{300}{32000000}} \right] \approx$$

$$\approx 207,724 \text{ рад}.$$

В таблице 2 приведены результаты второй серии численного эксперимента.

Таблица 2 – Результаты второй серии численного эксперимента

$\Delta\varphi$, рад	t_2 , с	t_4 , с	$T_{ц}$, с	ω_{max} , $\frac{рад}{с}$
59,858	0,5896	0	1,5161	78,96
85	0,7687	0,0597	1,7549	96,87
110	0,9225	0,1110	1,9599	112,25
135	1,0599	0,1567	2,1431	125,99
160	1,1852	0,1985	2,3101	138,52
185	1,3012	0,2372	2,4648	150,12
207,724	1,4	0,2701	2,5965	160

При этом остальные параметры диаграмм перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом имели постоянные значения: $t_1 = 0,025c$;

$$t_3 = 0,0329c; \omega_{max}^{(4)} = 800000 \frac{pad}{c^5}; \omega_{max}^{(3)} = 20000 \frac{pad}{c^4}; \omega_{max}^{(2)} = 1000 \frac{pad}{c^3}; \omega_{min}^{(4)} = -1052859 \frac{pad}{c^5};$$

$$\omega_{min}^{(3)} = -34641 \frac{pad}{c^4}; \omega_{min}^{(2)} = -2280 \frac{pad}{c^3}.$$



На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости, которая имеет следующие параметры: $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 90 \text{ рад}$; $T_{\text{ц}} = 1,6693 \text{ с}$; $t_1 = 0,0125 \text{ с}$; $t_2 = 0,9783 \text{ с}$; $t_3 = 0,0165 \text{ с}$;

$$t_4 = 0,2278 \text{ с}; \omega_{\text{max}}^{(5)} = 512000000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \omega_{\text{max}}^{(4)} = 640000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \omega_{\text{max}}^{(3)} = 80000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \omega_{\text{max}}^{(2)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3};$$

$$\omega_{\text{доп.1}}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \omega_{\text{max}} = 107,83 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \omega_{\text{min}}^{(4)} = -8422874 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \omega_{\text{min}}^{(3)} = -138564 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = -4559 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \omega_{\text{доп.2}}^{(1)} = 300 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

На рисунке 2 на основании результатов проведённого численного эксперимента построены зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения (угла поворота) $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$ при различных максимальных значениях пятой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_{\text{max}}^{(5)}$.

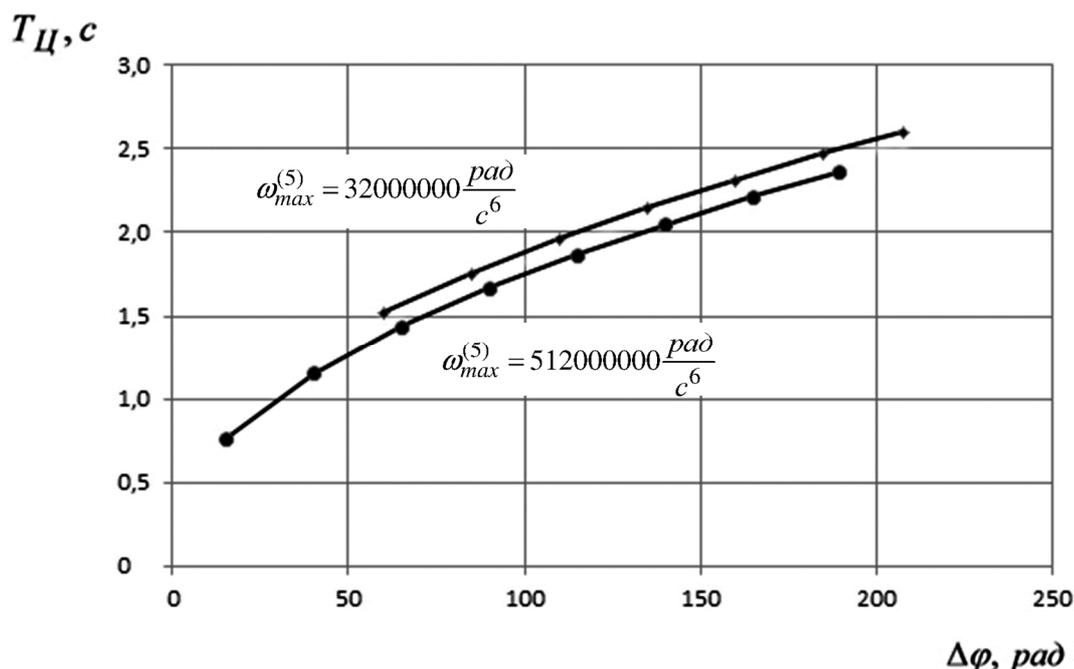


Рисунок 2 — Графики зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа электропривода $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения (угла поворота) $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$ при различных максимальных значениях пятой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_{\text{max}}^{(5)}$

Выводы

Предложена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости, состоящая из двадцати шести этапов.

Разработано математическое обеспечение для определения параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости.

Установлена область существования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального и минимального значений тока и пятой производной скорости.



Литература:

1. Добробаба Ю.П. Оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Е.Е. Громницкий // Булатовские чтения : Материалы Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.) : в 5 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. Т. 5: Электрооборудование в нефтегазовой отрасли. Гуманитарные науки. – 2017. – 294 с. С. 41–43.
2. Добробаба Ю.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением пятой производной скорости / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Е.Е. Громницкий // Булатовские чтения : Материалы Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.) : в 5 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. Т. 5: Электрооборудование в нефтегазовой отрасли. Гуманитарные науки. – 2017. – 294 с. С. 44–47.
3. Добробаба Ю.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой и пятой производным скорости / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Е.Е. Громницкий // Булатовские чтения : Материалы Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.) : в 5 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. Т. 5: Электрооборудование в нефтегазовой отрасли. Гуманитарные науки. – 2017. – 294 с. С. 48–51.
4. Добробаба Ю.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой и пятой производным скорости / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Е.Е. Громницкий // Булатовские чтения : Материалы Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.) : в 5 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. Т. 5: Электрооборудование в нефтегазовой отрасли. Гуманитарные науки. – 2017. – 294 с. С. 52–55.
5. Добробаба Ю.П. Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями максимального значения тока и пятой производной скорости / Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Е.Е. Громницкий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – № 10(134). – URL : <http://ej.kubagro.ru/2017/10/pdf/44.pdf>

References:

1. Dobrobaba Yu.P. Charts of movement of executive body of the precision electric drive of a direct current, optimum on speed, with the elastic shaft line / Yu.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, E.E. Gromnitsky // Readings of Bulatov: Materials of the International scientific and practical conference (on March 31, 2017): in 5 v. : the collection of articles / under a general edition of the Dr.Sci.Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – South. V. 5: Electric equipment in oil and gas branch. Humanities. – 2017. – 294 p. P. 41–43.
2. Dobrobaba Yu.P. The chart of movement of executive body of the precision electric drive of a direct current, optimum on speed, with the elastic shaft line with restriction of the fifth derivative speed / Yu.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, E.E. Gromnitsky // Readings of Bulatov: Materials of the International scientific and practical conference (on March 31, 2017): in 5 v. : the collection of articles / under a general edition of the Dr.Sci.Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – South. V. 5: Electric equipment in oil and gas branch. Humanities. – 2017. – 294 p. P. 44–47.
3. Dobrobaba Yu.P. The chart of movement of executive body of the precision electric drive of a direct current, optimum on speed, with the elastic shaft line with restrictions on the first and fifth derivatives of speed / Yu.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, E.E. Gromnitsky // Readings of Bulatov: Materials of the International scientific and practical conference (on March 31, 2017): in 5 v. : the collection of articles / under a general edition of the Dr.Sci.Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – South. V. 5: Electric equipment in oil and gas branch. Humanities. – 2017. – 294 p. P. 48–51.
4. Dobrobaba Yu.P. The chart of movement of executive body of the precision electric drive of a direct current, optimum on speed, with the elastic shaft line with restrictions on speed and its first and fifth derivatives of speed / Yu.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, E.E. Gromnitsky // Readings of Bulatov: Materials of the International scientific and practical conference (on March 31, 2017): in 5 v.: the collection of articles / under a general edition of the Dr.Sci.Tech., the prof. O.V. Savenok. – Krasnodar: Publishing house – South. V. 5: Electric equipment in oil and gas branch. Humanities. – 2017. – 294 p. P. 52–55.
5. Dobrobaba Yu.P. The chart of movement of executive body of the precision electric drive of a direct current, optimum on speed, with the elastic shaft line with restrictions of the maximum value of current and the fifth derivative speed / Yu.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, E.E. Gromnitsky // Polythematic network online scientific magazine of the Kuban state agricultural university (The scientific magazine of KUBGAU) [An electronic resource]. – Krasnodar : KUBGAU, 2017. – № 10(134). – URL : <http://ej.kubagro.ru/2017/10/pdf/44.pdf>