

УДК 62

**СИММЕТРИЧНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ
ПО ПЕРВОЙ, ВТОРОЙ И ЧЕТВЁРТОЙ ПРОИЗВОДНЫМ СКОРОСТИ**



**SYMMETRIC OPTIMAL-SPEED DIAGRAM OF THE MOVEMENT
OF THE EXECUTIVE BODY OF A DC ELECTRIC DRIVE WITH
AN ELASTIC SHAFT LINE WITH RESTRICTIONS ON THE FIRST,
SECOND AND FOURTH SPEED DERIVATIVES**

Добробаба Юрий Петрович

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

Асланова Диана Александровна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
id.yug2016@gmail.com

Аннотация. Разработана симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.

Предложен алгоритм для определения параметров симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, исполнительный орган, электропривод постоянного тока с упругим валопроводом.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Aslanova Diana Alexandrovna

Student,
Kuban state technological university
id.yug2016@gmail.com

Annotation. A symmetrical, optimal in terms of speed, diagram of displacement of the executive body of a DC drive with an elastic shaft conductor with limitations of the first, second and fourth derivative speed has been developed.

The algorithm for determination of parameters of symmetric optimal in terms of speed diagram of displacement of the DC actuator actuator with an elastic shaft line with limitations on the first, second and fourth derivative speed is offered.

Keywords: optimum speed diagram, executive body, DC drive with elastic shaft line.

В данной работе для исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом разрабатывается симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.

На рисунке 1 представлена симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.

Для данной диаграммы справедливы следующие уравнения:

$$\omega_{max}^{(3)} = \omega_{max}^{(4)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{доп}^{(2)} = \omega_{max}^{(3)} \cdot t_1 = \omega_{max}^{(4)} \cdot t_1^2;$$

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

$$\omega_{max} = \omega_{доп}^{(1)} \cdot (4t_1 + t_2 + t_3);$$

$$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \omega_{max} \cdot (8t_1 + 2t_2 + t_3) = \omega_{доп}^{(1)} \cdot (4t_1 + t_2 + t_3) \cdot (8t_1 + 2t_2 + t_3);$$

$$T_{ц} = 16t_1 + 4t_2 + 2t_3;$$

$$C_M \cdot I_{доп} = M_{со} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{доп}^{(1)},$$

где $\omega_{max}^{(4)}$ – максимальное значение четвертой производной скорости при разгоне, $\frac{рад.}{с^5}$;

$\omega_{max}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при разгоне, $\frac{рад.}{с^4}$;

$\omega_{max}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при разгоне, $\frac{рад.}{с^3}$;

$\omega_{max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной скорости, $\frac{рад.}{с^2}$;

ω_{max} – максимальное значение скорости, $\frac{рад.}{с}$;

$\varphi_{кон}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{нач}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

t_1 – длительность первого, второго, четвертого, пятого, седьмого, восьмого, десятого, одиннадцатого, двенадцатого, тринадцатого, пятнадцатого, шестнадцатого, восемнадцатого, девятнадцатого, двадцать первого, двадцать второго этапов, с;

$2t_1$ – длительность десятого этапа, с;

t_2 – длительность третьего, девятого, четырнадцатого, двадцатого этапов, с;

t_3 – длительность 6,17 с;

$T_{ц}$ – длительность цикла, с;

C_M – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В · с;

$I_{доп}$ – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

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

J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м²;

J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м².

Из уравнений следует, что для параметров диаграммы справедливы зависимости:

$$t_1 = \sqrt{\frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(4)}}};$$

$$t_2 = \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(2)}} - 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(4)}}};$$

$$t_3 = \sqrt{\frac{\varphi_{кон} - \varphi_{нач}}{\omega_{доп}^{(1)}} + \frac{1}{4} \cdot (4t_1 + t_2)^2} - \frac{3}{2} \cdot (4t_1 + t_2).$$

Если $t_3 = 0$, то $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.2}$.

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

Если $\omega_{max} = \omega_{доп}$, то $(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = \varphi_{гр.3}$.

$$\omega_{доп} = \omega_{доп}^{(1)} \cdot (4t_1 + t_2 + t_3); t_3 = \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(1)}} - \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(2)}} - 2 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{доп}^{(2)}}{\omega_{max}^{(4)}}}.$$

$$\varphi_{гр.3} = \omega_{доп} \cdot (8t_1 + 2t_2 + t_3);$$

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

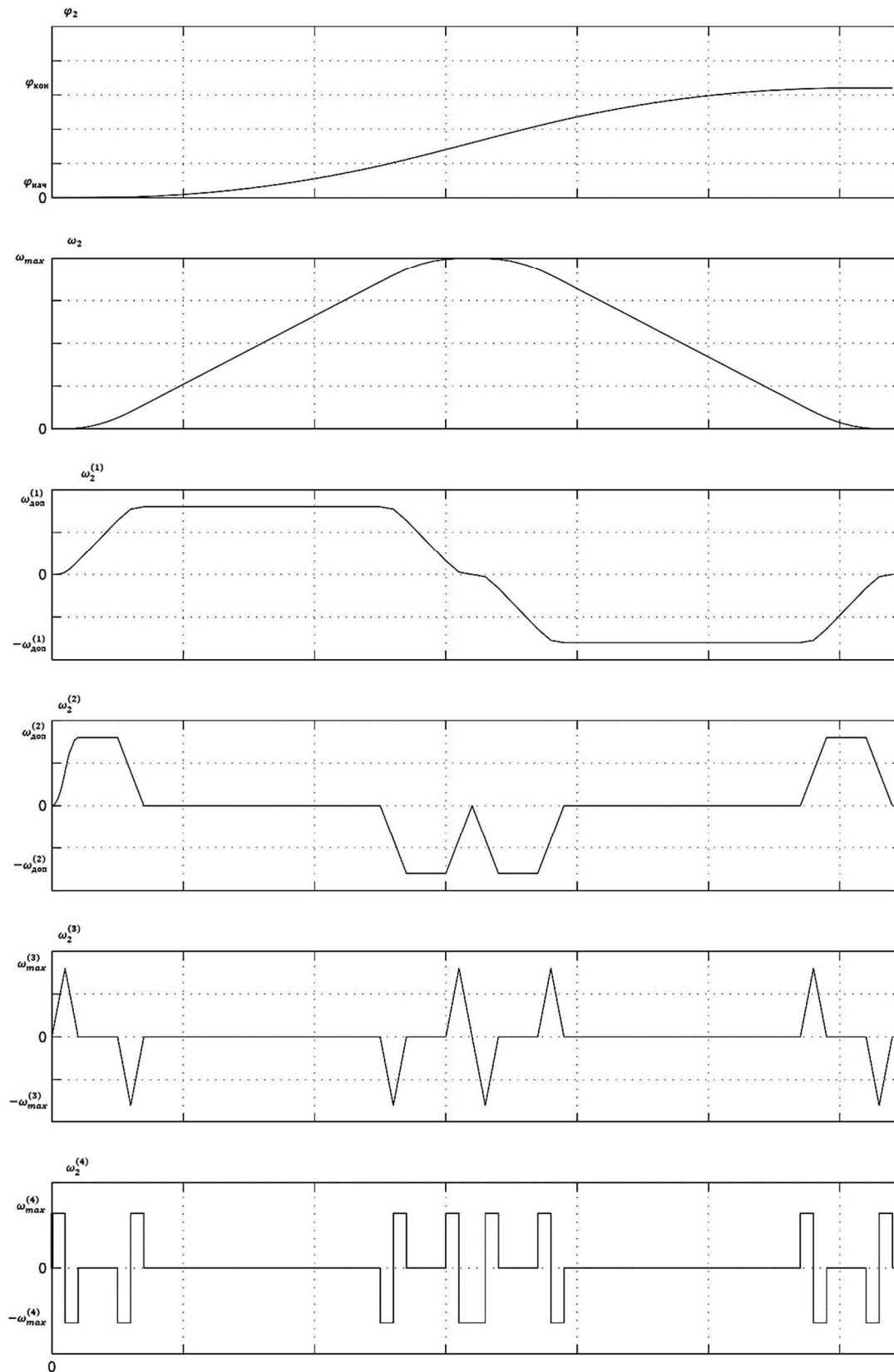


Рисунок 1 – Симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.

В данной работе рассматривается электропривод постоянного тока с упругим валопроводом, имеющий следующие параметры:

$$C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}; C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}; R_{я} = 5 \text{ Ом}; L_{я} = 0,1 \text{ Гн}; J_1 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; C_y = 4 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}; I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}; \omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \omega_{\text{доп}}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{доп}}^{(2)} = 400 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \omega_{\text{max}}^{(4)} = 160000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; M_{CO} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}; \varphi_{\text{нач}} = 0 \text{ рад}.$$

Граничные значения для симметричной оптимальной диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости:

$$\text{при } \omega_{\text{max}}^{(4)} = 160000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5} \varphi_{\text{гр.1}} = 24,5 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр.2}} = 312 \text{ рад};$$

$$\text{при } \omega_{\text{max}}^{(4)} = 640000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5} \varphi_{\text{гр.1}} = 18 \text{ рад и } \varphi_{\text{гр.2}} = 304 \text{ рад},$$

В работе выполнен первый численный эксперимент с целью определения длительности цикла от величины перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, результаты которого при $\omega_{\text{max}}^{(4)} = 160000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}), \text{ рад}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$\omega_{\text{max}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
24,5	0	1,4	35
36	0,1	1,6	45
49,5	0,2	1,8	55
65	0,3	2,0	65
82,5	0,4	2,2	75
102	0,5	2,4	85
123,5	0,6	2,6	95
147	0,7	2,8	105
172,5	0,8	3,0	115
200	0,9	3,2	125
229,5	1,0	3,4	135
261	1,1	3,6	145
294,5	1,2	3,8	155
312	1,25	3,9	160

В работе выполнен второй численный эксперимент с целью определения длительности цикла от величины перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, результаты которого при $\omega_{\text{max}}^{(4)} = 640000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}), \text{ рад}$	$t_2, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$\omega_{\text{max}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
1	2	3	4
18	0	1,2	30
28	0,1	1,4	40
40	0,2	1,6	50
54	0,3	1,8	60
70	0,4	2,0	70
88	0,5	2,2	80
108	0,6	2,4	90

Окончание таблицы 2

130	0,7	2,6	100
154	0,8	2,8	110
180	0,9	3,0	120
208	1,0	3,2	130
238	1,1	3,4	140
270	1,2	3,6	150
304	1,3	3,8	160

На рисунке 2 приведены зависимости длительности цикла от величины перемещения (угла поворота) исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом при различных значениях максимальной величины четвёртой производной угловой скорости.

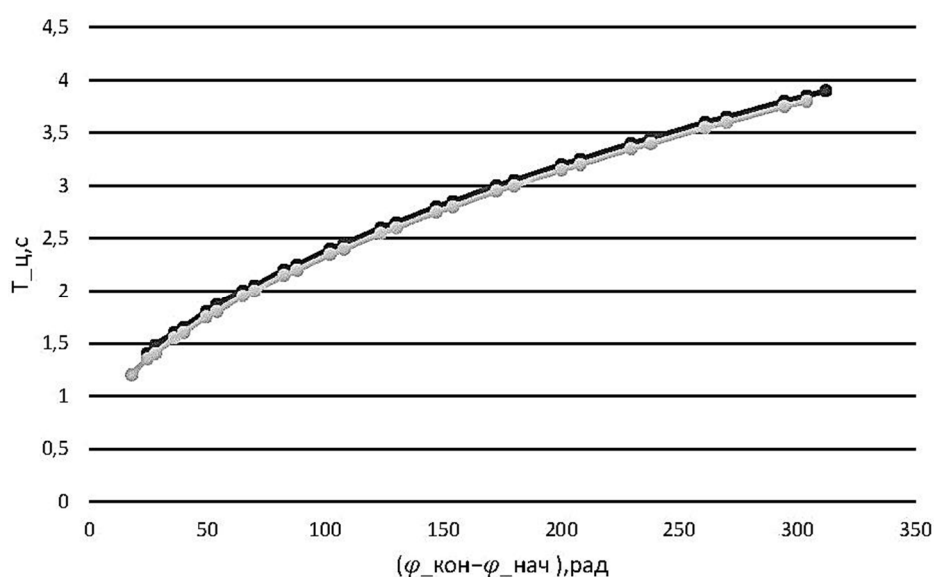


Рисунок 2 – Зависимости длительности цикла от величины перемещения (угла поворота) исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом при различных значениях максимальной величины четвёртой производной угловой скорости

Выводы

Для электропривода постоянного тока с упругим валопроводом разработана симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.

Получен алгоритм, позволяющий определить параметры симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничениями по первой, второй и четвёртой производным скорости.