

УДК 62

**ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ТОКА,
ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ ПРОИЗВОДНЫХ СКОРОСТИ**



**THE SPEED-OPTIMIZED MOTION DIAGRAM OF A PRECISION
ELECTRIC ACTUATOR ACTUATOR
WITH THE LIMITATIONS OF THE MAXIMUM CURRENT VALUE,
SECOND AND THIRD DERIVATIVES OF VELOCITY**

Добробаба Юрий Петрович

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

Кушнаренко Андрей Петрович

аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости, состоящая из двенадцати этапов.

Ключевые слова: перемещения исполнительного органа электропривода, оптимальная по быстродействию диаграмма.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Kushnarenko Andrei Petrovich

Graduate Student,
Kuban State Technological University
energodraiv@yandex.ru

Annotation. A speed-optimal motion diagram of the executive body of the precision electric drive with limitations of the maximum current value, the second and third derivatives of the speed, consisting of twelve stages, has been developed.

Keywords: movement of the actuator's executive body, the speed-optimal diagram.

На рисунке 1 представлены механические координаты электропривода при отработке перемещения его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, имеющей ограничения максимального значения тока, второй и третьей производных скорости. На рисунке приняты следующие обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega^{(2)}$ – вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega^{(3)}$ – третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

t – время, с;

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

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

$\omega_{\text{доп}}$ – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega_{\text{max}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\text{min}}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\text{доп}}^{(2)}$ – максимальное допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$-\omega_{\text{доп}}^{(2)}$ – минимальное допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

$-\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное отрицательное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

t_1 – длительность первого этапа, с;

t_2 – длительность второго этапа, с;

t_3 – длительность третьего этапа, с;

t_5 – длительность пятого этапа, с.

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости справедливы уравнения:

$$C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{max}}^{(1)};$$

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

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

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\omega_{\text{доп}}^{(2)} \cdot (t_1 + t_5);$$

$$\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_2 + t_3);$$

$$\omega_{\text{max}} = -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_5);$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{max}} \cdot \left(4t_1 + t_2 + \frac{1}{2}t_3 + t_5 \right);$$

$$T_{\text{ц}} = 8t_1 + 2t_2 + t_3 + 2t_5.$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А;
 C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя, В · с;
 M_{CO} – момент сопротивления электропривода, Н · м .
 J – момент инерции исполнительного органа электропривода, кг · м²;
 $T_{\text{Ц}}$ – длительность цикла, с.

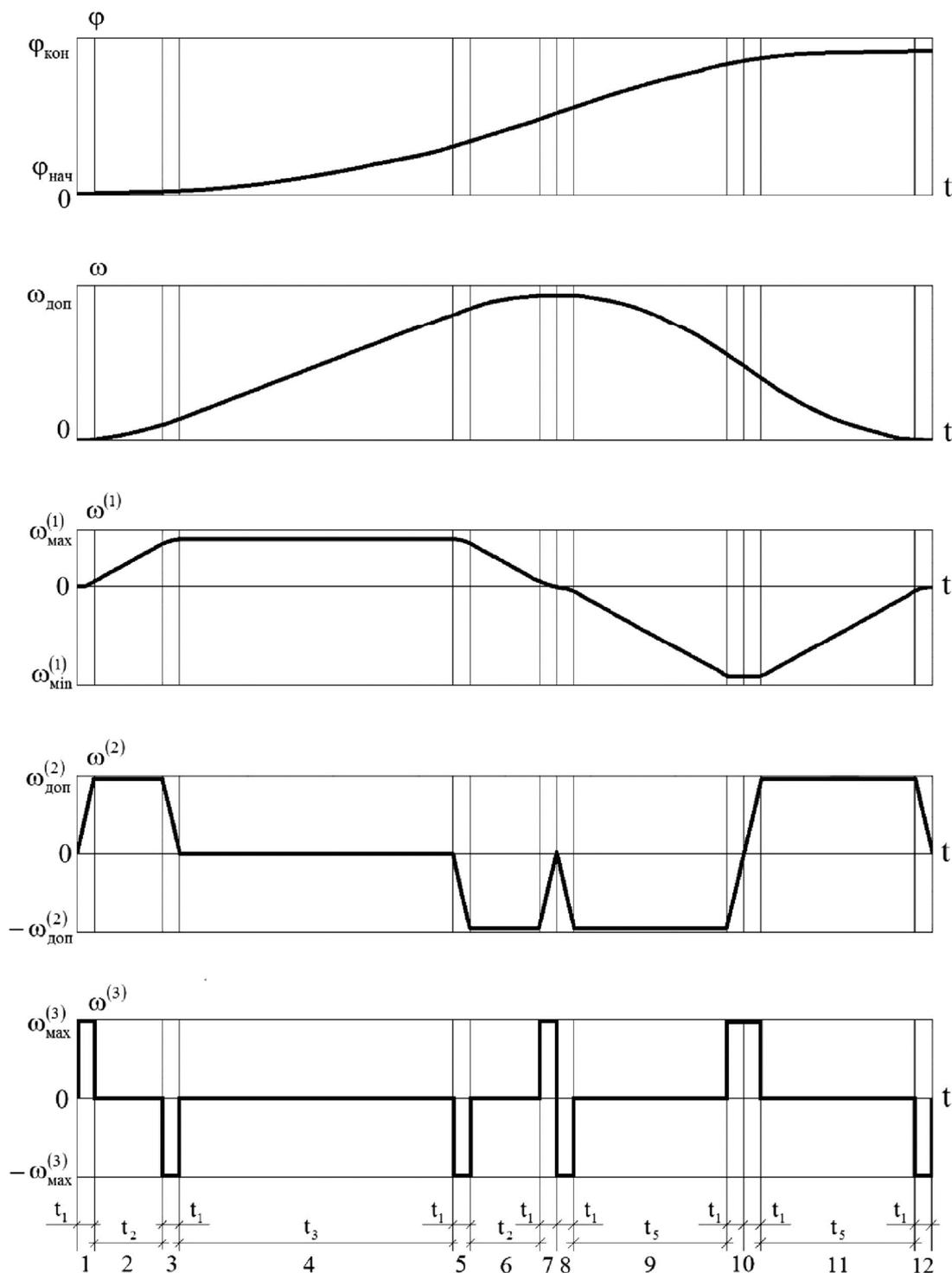


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при обработке перемещения его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, имеющей ограничения максимального значения тока, второй и третьей производных скорости

Для параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального значения тока, второй и третьей производных скорости справедливы следующие зависимости:

$$\begin{aligned}\omega_{\max}^{(1)} &= \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J}; \\ t_1 &= \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\max}^{(3)}}; \\ t_2 &= \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - t_1; \\ t_5 &= \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - t_1; \\ t_3 &= \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} + t_1 \right] - \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - t_1; \\ \omega_{\max} &= \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} + t_1 \right].\end{aligned}$$

Если $t_3 = 0$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.1}}$.

Первое граничное значение угла поворота равно

$$\varphi_{\text{гр.1}} = 2 \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\max}^{(3)}} \right]^2.$$

Если $\omega_{\min} = -\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J}$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$.

Второе граничное значение угла поворота равно

$$\begin{aligned}\varphi_{\text{гр.2}} &= \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\max}^{(3)}} \right]^2 \times \\ &\times \left[\frac{2C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\max}^{(3)}} + 2 \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} \right].\end{aligned}$$

В данной работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры: $C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$; $R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}$; $L_{\text{я}} = 0,1 \text{ Гн}$; $J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. На контролируемые координаты электропривода наложены ограничения: $U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$; $I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$; $\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Момент сопротивления электропривода равен $M_{\text{CO}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Начальное значение угла поворота равно $\varphi_{\text{нач}} = 0 \text{ рад}$.

При этом первое граничное значение угла поворота исполнительного органа электропривода равно $\varphi_{\text{гр.1}} = 2,88 \text{ рад}$, второе граничное значение угла поворота равно $\varphi_{\text{гр.2}} = 82,56 \text{ рад}$.

В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента рассматриваемого электропривода: определены значения разности конечного и начального значений угла поворота исполнительного органа электропривода ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}$); времени t_3 , t_5 ; времени цикла $T_{\text{Ц}}$; максимального значения угловой скорости исполнительного органа электропривода ω_{max} ; минимального значения первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega_{\text{min}}^{(1)}$.

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$, рад	t_3 , с	t_5 , с	$T_{\text{Ц}}$, с	ω_{max} , $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{min}}^{(1)}$
2,88	0	0,08	0,48	12	-100
4,7712	0,048	0,1	0,568	16,8	-120
7,4368	0,104	0,12	0,664	22,4	-140
11,0592	0,168	0,14	0,768	28,8	-160
15,84	0,24	0,16	0,88	36	-180
22	0,32	0,18	1	44	-200
29,7792	0,408	0,2	1,128	52,8	-220
39,4368	0,504	0,22	1,264	62,4	-240
51,2512	0,608	0,24	1,408	72,8	-260
65,52	0,72	0,26	1,56	84	-280
82,56	0,84	0,28	1,72	96	-300

В дальнейшей работе необходимо определить аналитические зависимости контролируемых координат прецизионного электропривода постоянного тока от времени при обработке оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения его исполнительного органа, имеющей ограничения максимального значения тока, второй и третьей производных скорости. Это позволит построить электрические координаты от времени для рассматриваемого электропривода.

Оптимальную по быстродействию диаграмму перемещения его исполнительного органа, имеющую ограничения максимального значения тока, второй и третьей производных скорости целесообразно использовать для малых перемещений. Если задание по углу поворота исполнительного органа электропривода окажется больше второго граничного значения угла поворота, то необходимо использовать оптимальную по быстродействию диаграмму перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода, имеющую ограничения по максимальному и минимальному значениям тока, второй и третьей производных скорости.