

УДК 62.83.52:62.503.56

ДЕВЯТНАДЦАТИЭТАПНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА ДЛЯ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ

NINETEEN-STAGE TIME-OPTIMAL CHART FOR LARGE MOVEMENTS OF THE EXECUTIVE BODY OF THE PRECISION DIRECT CURRENT ELECTRIC DRIVE WITH ELASTIC SHAFTING

Добробаба Юрий Петрович

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

Кошкин Гордей Анатольевич

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

Чуб Наталья Викторовна

студентка,
Кубанский государственный
технологический университет
natali.chub.95@mail.ru

Аннотация. Для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом разработана 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма. Уменьшение количества этапов с двадцати семи у ранее известной диаграммы до девятнадцати позволит уменьшить затраты при внедрении прецизионных электроприводов постоянного тока с упругим валопроводом, обрабатывающих большие перемещения исполнительного органа механизма.

Получено математическое обеспечение, позволяющее определить параметры 19-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Установлена область существования 19-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Ключевые слова: упругий валопровод, 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма, большие перемещения, прецизионный электропривод постоянного тока.

Dobrobaba Yury Petrovich

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

Koshkin Gordey Anatolyevich

Candidate of technical sciences,
Foreman,
NKU LLC Progress

Chub Natalya Viktorovna

Student,
Kuban state technological university
natali.chub.95@mail.ru

Annotation. For large movements of the executive body of precision direct current electric drive with elastic shafting developed a 19-stage time-optimal chart. Reducing the number of stages from twenty-seven of the previously known chart to nineteen will allow to reduce costs in the implementation of precision direct current electric drives with elastic shafting executed a large movements of the executive body of the mechanism.

Received mathematical support, allowing to determine the parameters of the 19-stage time-optimal chart for large movements of the executive body of precision direct current electric drive with elastic shafting.

For the 19-stage time-optimal chart for large movements of the executive body of precision direct current electric drive with elastic shafting is determined the region of existence of.

Keywords: elastic shafting, 19-stage time-optimal chart, large movements, the precision direct current electric drive.

Так как для многих промышленных механизмов, упруго соединенных с электродвигателем, не требуется ограничение на второй производной угловой скорости механизма, то для них предлагается группа малоэтапных оптимальных по быстродействию диаграмм для перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом:

– для малых перемещений с ограничением пятой производной угловой скорости механизма, состоящая из четырнадцати этапов;

- для средних перемещений с ограничениями первой и пятой производных угловой скорости механизма, состоящая из восемнадцати этапов;
- для больших перемещений с ограничениями угловой скорости механизма и её первой и пятой производных, состоящая из девятнадцати этапов.

При таком решении сокращается количество этапов и упрощается внедрение прецизионных электроприводов постоянного тока с упругим валопроводом в промышленность.

В настоящее время разработана 14-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом [1].

В данной работе разрабатывается 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

На рисунке 1 представлена 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

На первом, третьем, седьмом, девятом, двенадцатом, четырнадцатом, шестнадцатом и восемнадцатом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(5)}$ равна максимальному значению $\omega_{max}^{(5)}$; на втором, четвертом, шестом, восьмом, одиннадцатом, тринадцатом, семнадцатом и девятнадцатом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(5)}$ равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(5)}$. На пятом, десятом и пятнадцатом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(5)}$ равна нулю. Длительность первого, четвертого, шестого, девятого, одиннадцатого, четырнадцатого, шестнадцатого и девятнадцатого этапов равна t_1 ; длительность второго, третьего, седьмого, восьмого, двенадцатого, тринадцатого, семнадцатого и восемнадцатого этапов равна $(t_1 + t_2)$; длительность пятого и пятнадцатого этапов равна t_3 ; длительность десятого этапов равна t_4 . В моменты времени t_1 , $(3t_1 + 2t_2)$, $(13t_1 + 6t_2 + 2t_3 + t_4)$ и $(15t_1 + 8t_2 + 2t_3 + t_4)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(4)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(4)}$ в моменты времени $(5t_1 + 2t_2 + t_3)$, $(7t_1 + 4t_2 + t_3)$, $(9t_1 + 4t_2 + t_3 + t_4)$ и $(11t_1 + 6t_2 + t_3 + t_4)$ четвертая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(4)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(4)}$; в моменты времени $(6t_1 + 3t_2 + t_3)$ и $(10t_1 + 5t_2 + t_3 + t_4)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(4)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(4)*}$; в моменты времени $(2t_1 + t_2)$ и $(14t_1 + 7t_2 + 2t_3 + t_4)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(4)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(4)*}$. На пятом, десятом и пятнадцатом этапах четвертая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(4)}$ равна нулю. В моменты времени $2t_1$, $(6t_1 + 4t_2 + t_3)$, $(10t_1 + 6t_2 + t_3 + t_4)$ и $(14t_1 + 6t_2 + 2t_3 + t_4)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(3)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(3)}$; в моменты времени $(2t_1 + 2t_2)$, $(6t_1 + 2t_2 + t_3)$, $(10t_1 + 4t_2 + t_3 + t_4)$ и $(14t_1 + 8t_2 + 2t_3 + t_4)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(3)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(3)}$. На пятом, десятом и пятнадцатом этапах третья производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(3)}$ равна нулю. В моменты времени $(2t_1 + t_2)$ и $(14t_1 + 7t_2 + 2t_3 + t_4)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(2)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(2)}$; в моменты вре-

мени $(6t_1 + 3t_2 + t_3)$ и $(10t_1 + 5t_2 + t_3 + t_4)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(2)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(2)}$. На пятом, десятом и пятнадцатом этапах вторая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(2)}$ равна нулю. На пятом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(1)}$ равна максимально допустимому значению $\omega_{доп}^{(1)}$; на пятнадцатом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(1)}$ равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{доп}^{(1)}$; на десятом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(1)}$ равна нулю. На десятом этапе угловая скорость исполнительного органа механизма ω_2 равна максимально допустимому значению $\omega_{доп}$. За время цикла $T_{\omega} = 16t_1 + 8t_2 + 2t_3 + t_4$ угол поворота исполнительного органа механизма изменяется от начального значения угла поворота $\varphi_{нач}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{кон}$.

Для 19-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = (\sqrt{2} - 1) \cdot 4 \sqrt{6 \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \quad (1)$$

$$t_2 = (2 - \sqrt{2}) \cdot 4 \sqrt{6 \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \quad (2)$$

$$t_3 = \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(1)}} - 2\sqrt{2} \cdot 4 \sqrt{6 \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \quad (3)$$

$$t_4 = \frac{\varphi_{кон} - \varphi_{нач}}{\omega_{доп}} - \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(1)}} - 2\sqrt{2} \cdot 4 \sqrt{6 \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \quad (4)$$

$$T_{\omega} = \frac{\varphi_{кон} - \varphi_{нач}}{\omega_{доп}} + \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(1)}} + 2\sqrt{2} \cdot 4 \sqrt{6 \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}; \quad (5)$$

$$\omega_{max}^{(4)} = (\sqrt{2} - 1) \cdot 4 \sqrt{6 \cdot \omega_{доп}^{(1)} \cdot [\omega_{max}^{(5)}]^3}; \quad (6)$$

$$\omega_{max}^{(3)} = (3 - 2\sqrt{2}) \cdot \sqrt{6 \cdot \omega_{доп}^{(1)} \cdot \omega_{max}^{(5)}}; \quad (7)$$

$$\omega_{max}^{(2)} = (\sqrt{2} - 1) \cdot 4 \sqrt{\frac{8}{3} \cdot [\omega_{доп}^{(1)}]^3 \cdot \omega_{max}^{(5)}}; \quad (8)$$

$$\omega_{доп}^{(1)} = \frac{C_M I_{доп} - M_{со}}{J}, \quad (9)$$

где $I_{доп}$ – максимально допустимое значение тока якорной цепи, А; $M_{со}$ – момент сопротивления электропривода, C_M – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В·с; J – момент инерции электропривода, кг·м².

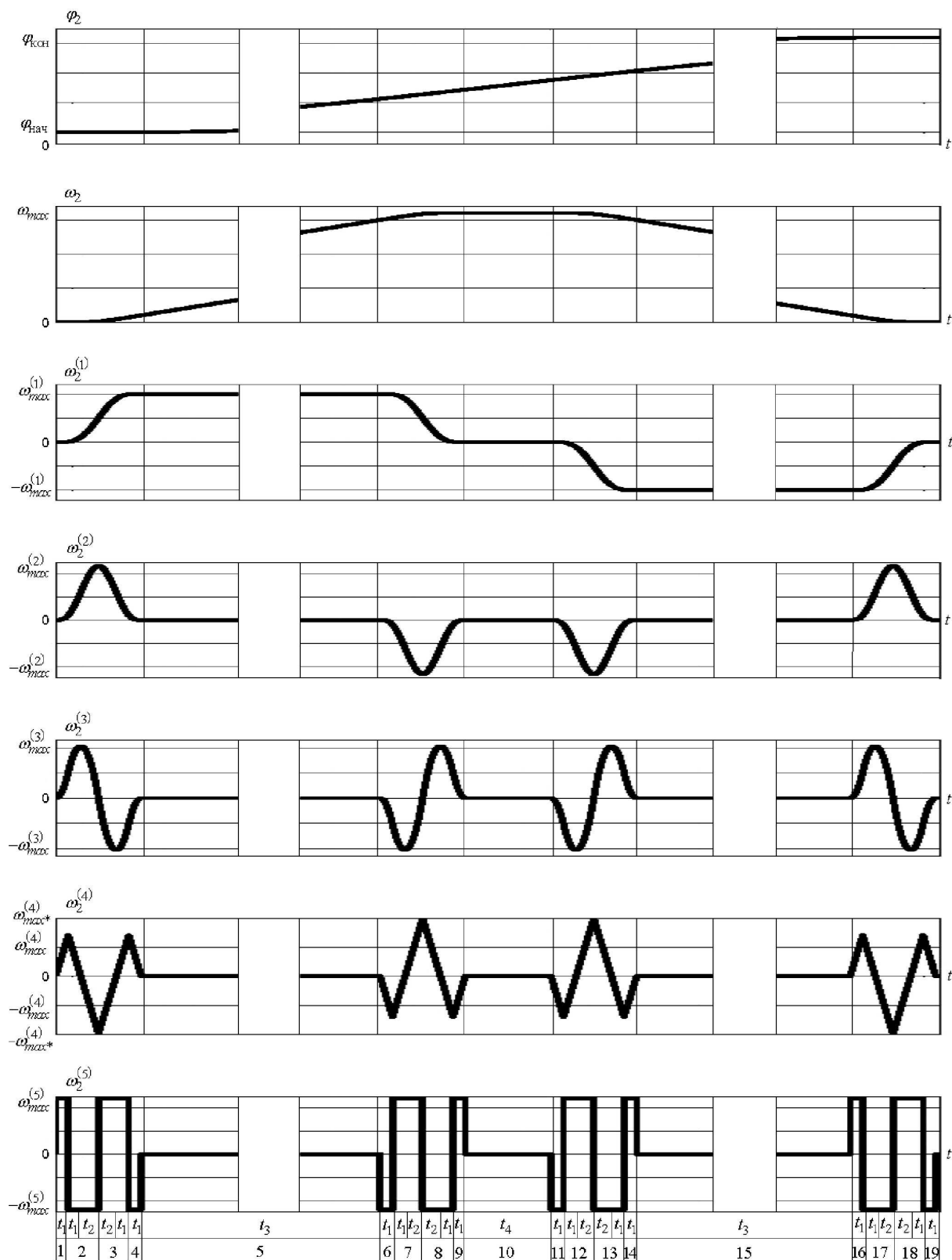


Рисунок 1 – 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом

19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом справедлива при выполнении условия

$$\varphi_{гр.2} \leq (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}), \quad (10)$$

где
$$\varphi_{\text{эр.2}} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + 2\sqrt{2} \cdot \sqrt[4]{6 \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{max}}^{(5)}}} \right].$$

В работе рассматривается электропривод, имеющий следующее значение максимально допустимой величины тока якорной цепи $I_{\text{доп}} = 8\text{А}$ и следующее значение максимально допустимой величины угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Параметры силовой части электропривода: $C_M = 1,25\text{В} \cdot \text{с}$ и $J = 0,05 \text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент сопротивления электропривода $M_{\text{со}} = 5\text{Н} \cdot \text{м}$.

При этом максимально допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа механизма равно $\omega_{\text{доп}}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$.

Если максимальное значение пятой производной угловой скорости $\omega_{\text{max}}^{(5)} = 24000000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}$, то граничные значения угла поворота исполнительного органа механизма $\varphi_{\text{эр.1}} = 8\text{рад}$ и $\varphi_{\text{эр.2}} = 288\text{рад}$.

На рисунке 1 представлена 18-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, на которой электропривод отрабатывает угол поворота исполнительного органа механизма $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 320\text{рад}$ за время $T_{\text{ц}} = 3,8\text{с}$. Остальные параметры диаграммы:

$$t_1 = 0,029289321\text{с}; \quad t_2 = 0,0414211356\text{с}; \quad t_3 = 1,4\text{с}; \quad t_4 = 0,2\text{с}; \quad \omega_{\text{max}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 1171,572875 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\text{max}}^{(3)} = 20588,74503 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \quad \omega_{\text{max}}^{(4)} = 702943,7252 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}.$$

Выводы

Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, имеющая девятнадцать этапов.

Определены аналитические зависимости, которые позволяют определить параметры 19-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Найдены условия, при которых существует 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Предлагаемая 19-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом применима для электроприводов переменного тока.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Кошкин Г.А., Чуб Н.В. Четырнадцатая этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом / Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 2. – URL : <http://ntk.kubstu.ru/file/1400>

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Koshkin G.A., Chub N.V. To fourteen the landmark chart, optimum on speed, for small movements of executive body of the precision electric drive of a direct current with the elastic shaft line / Scientific works of KubGTU. – 2017. – No. 2. – URL : <http://ntk.kubstu.ru/file/1400>