

**ЧЕТЫРНАДЦАТИЭТАПНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ
ДИАГРАММА ДЛЯ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО
ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА
С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ**

Ю.П. ДОБРОБАБА, Г.А. КОШКИН, Н.В. ЧУБ

*Кубанский государственный технологический университет
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2
электронная почта: natali.chub.95@mali.ru*

Разработана 14-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом. Сокращение количества этапов с двадцати двух у ранее известной диаграммы до четырнадцати позволит уменьшить затраты при внедрении прецизионных электроприводов постоянного тока с упругим валопроводом, обрабатывающих малые перемещения исполнительного органа механизма. Представлены соотношения, позволяющие определить параметры 14-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом. Определена область существования 14-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом. На основании численного эксперимента построена зависимость длительности цикла от заданного перемещения исполнительного органа механизма при его движении в соответствии с 14-этапной оптимальной по быстродействию диаграммой.

Ключевые слова: упругий валопровод, 14-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма, малые перемещения, прецизионный электропривод постоянного тока.

В монографии [1] разработана группа оптимальных по быстродействию диаграмм для перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом:

- для малых перемещений с ограничением пятой производной угловой скорости механизма, состоящая из двадцати двух этапов;
- для небольших перемещений с ограничениями второй и пятой производных угловой скорости механизма, состоящая из двадцати шести этапов;
- для средних перемещений с ограничениями первой, второй и пятой производных угловой скорости механизма, состоящая из тридцати этапов;

- для больших перемещений с ограничениями угловой скорости механизма и её первой, второй и пятой производных, состоящая из тридцати одного этапа.

Данные диаграммы могут использоваться для электроприводов как переменного тока, так и постоянного тока.

Для многих промышленных механизмов, упруго соединенных с электродвигателем, не требуется ограничение на второй производной угловой скорости механизма.

Для таких механизмов предлагается группа 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.

Такое решение позволяет сократить количество диаграмм и количество этапов в каждой диаграмме, что упростит внедрение прецизионных электроприводов постоянного тока с упругим валопроводом в промышленность.

На рисунке 1 представлена 14-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

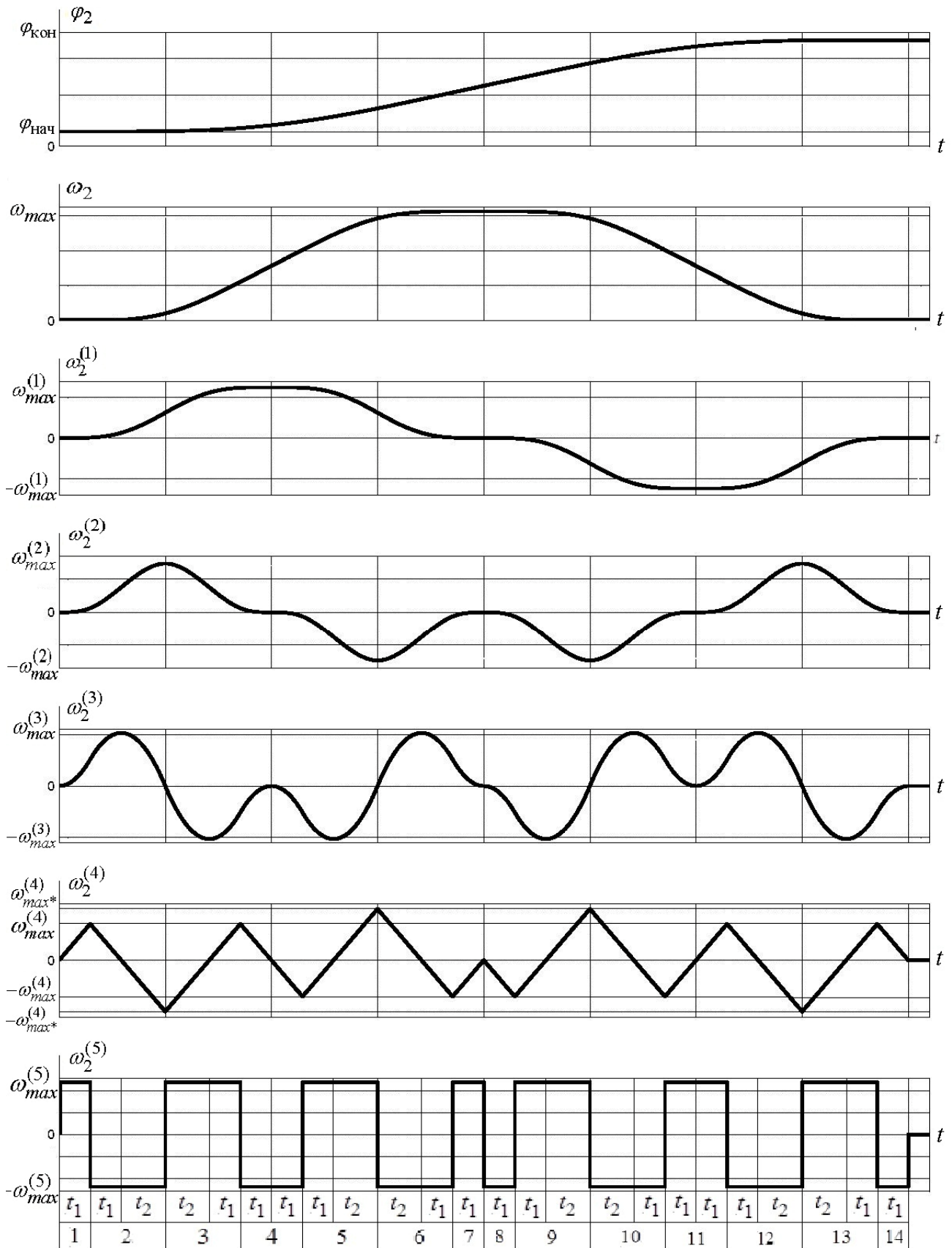


Рис. 1

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

механизма $\omega_2^{(3)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(3)}$. В моменты времени $(2t_1 + t_2)$ и $(14t_1 + 7t_2)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(2)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(2)}$; в моменты времени $(6t_1 + 3t_2)$ и $(10t_1 + 5t_2)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(2)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(2)}$. В момент времени $(4t_1 + 2t_2)$ первая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(1)}$ достигает максимального значения $\omega_{max}^{(1)}$; в момент времени $(12t_1 + 6t_2)$ первая производная угловой скорости исполнительного органа механизма $\omega_2^{(1)}$ достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{max}^{(1)}$. В момент времени $(8t_1 + 4t_2)$ угловая скорость исполнительного органа механизма ω_2 достигает максимального значения ω_{max} . За время цикла $T_{ц} = 16t_1 + 8t_2$ угол поворота исполнительного органа механизма изменяется от начального значения угла поворота $\varphi_{нач}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{кон}$.

Для 14-этапной оптимальной по быстрдействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = (\sqrt{2} - 1) \cdot \sqrt[6]{\frac{3}{8} \cdot \frac{(\varphi_{кон} - \varphi_{нач})}{\omega_{max}^{(5)}}};$$

$$t_2 = (2 - \sqrt{2}) \cdot \sqrt[6]{\frac{3}{8} \cdot \frac{(\varphi_{кон} - \varphi_{нач})}{\omega_{max}^{(5)}}};$$

$$T_{ц} = 8 \cdot \sqrt[6]{3 \cdot \frac{\varphi_{кон} - \varphi_{нач}}{\omega_{max}^{(5)}}};$$

$$\omega_{max}^{(4)} = (\sqrt{2} - 1) \cdot \sqrt[6]{\frac{3}{8} \cdot (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) [\omega_{max}^{(5)}]^5};$$

$$\omega_{max}^{(3)} = (3 - 2\sqrt{2}) \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{8} \cdot (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) [\omega_{max}^{(5)}]^2};$$

$$\omega_{max}^{(2)} = (\sqrt{2} - 1) \cdot \sqrt{\frac{1}{24} \cdot (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) \cdot \omega_{max}^{(5)}};$$

$$\omega_{max}^{(1)} = \frac{1}{24} \cdot \sqrt[3]{9 \cdot (\varphi_{кон} - \varphi_{нач})^2 \cdot \omega_{max}^{(5)}};$$

$$\omega_{max} = \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot \sqrt[6]{\frac{1}{24} \cdot (\varphi_{кон} - \varphi_{нач})^5 \cdot \omega_{max}^{(5)}};$$

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

где $\omega_{доп}^{(1)}$ – максимально допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

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

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

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

J – момент инерции электропривода, кг·м².

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

$$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) \leq \varphi_{гр.1},$$

где $\varphi_{гр.1} = 16 \cdot \omega_{доп}^{(1)} \cdot \sqrt{6 \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{max}^{(5)}}}$.

В работе рассматривается электропривод, имеющий следующее значение максимально допустимой величины тока якорной цепи $I_{\text{доп}} = 8 \text{ A}$ 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

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 граничное значение угла поворота исполнительного органа механизма $\varphi_{\text{гр.1}} = 8 \text{ рад}$.

Проведен численный эксперимент с целью определения зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа механизма $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$.

Результаты численного эксперимента отражены в таблице 1.

Таблица 1

$\Delta\varphi, \text{рад}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$, с	$\omega_{\text{max}}^{(1)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega_{\text{max}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
0	0	0	0	0	0
0,125	0,01464466	0,02071068	0,4	6,25	0,625
1	0,02071068	0,02928932	0,56568543	25	3,53553391
2	0,02324695	0,03287615	0,63496042	39,6850263	6,29960525
3	0,02487222	0,03517463	0,67935253	52,0020956	8,83193882
4	0,02609382	0,03690223	0,71271898	62,9960525	11,2246205
5	0,02708254	0,03830049	0,73972448	73,1004435	13,5185468
6	0,02791812	0,03948219	0,76254743	82,5481812	15,736726
7	0,02864468	0,04050969	0,782392471	91,4826428	17,8938327
8	0,029289321	0,041421356	0,8	100	20

На рисунке 14-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом электропривод обрабатывает угол поворота исполнительного органа механизма $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 0,125 \text{ рад}$ за время $T_{\text{ц}} = 0,4 \text{ с}$. Остальные параметры диаграммы:

$$t_1 = 0,01464466 \text{ с};$$

$$t_2 = 0,020710678 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(5)} = 24000000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(4)} = 351471,84 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(3)} = 5147,185596 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = 146,4465812 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3};$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 6,25 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{max}} = 0,625 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

На основании проведенного численного эксперимента построена зависимость длительности цикла $T_{\text{ц}}$ от заданного перемещения исполнительного органа механизма $\Delta\varphi = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$ (рис. 2).

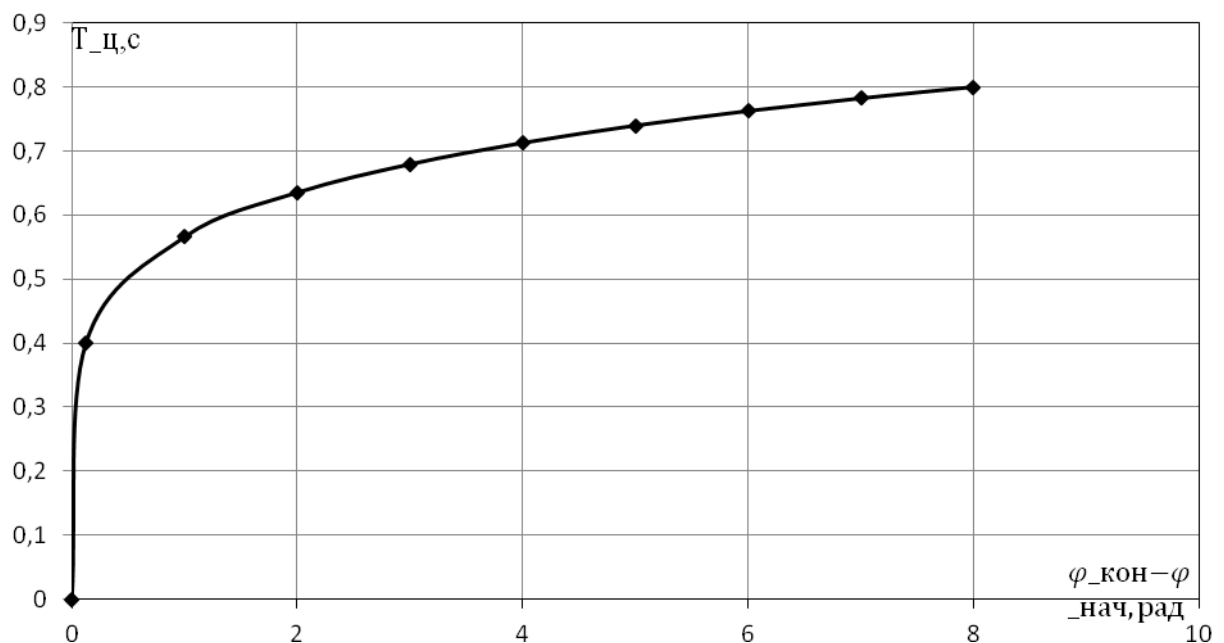


Рис. 2

Выводы

Разработана 14-этапная оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Определены аналитические зависимости, позволяющие определить параметры 14-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Установлена область существования 14-этапной оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

Проведен численный эксперимент, на основании которого построена зависимость длительности цикла от заданного перемещения исполнительного органа механизма при его движении в соответствии с 14-этапной оптимальной по быстродействию диаграммой.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Добробаба Ю.П., Кузьмина И.Б. Прецизионный позиционный электропривод переменного тока с упругим валопроводом : монография / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2015. 132 с.

REFERENCES

1. Dobrobaba Yu.P., Kuzmina I.B. Pretsizionnyy pozitsionnyy elektroprivod peremennogo toka s uprugim valoprovodom : monografiya / Kuban. gos. tekhnol. un-t. - Krasnodar : Izd. FGBOU VPO «KubGTU», 2015. 132 s.

*FOURTEEN-STAGE THE CHART, OPTIMUM ON SPEED, FOR SMALL
MOVEMENTS OF EXECUTIVE BODY OF THE PRECISION ELECTRIC DRIVE
OF THE DIRECT CURRENT
WITH THE ELASTIC SHAFT TRAIN*

YU.P. DOBROBABA, G.A. KOSHKIN, N.V. CHUB

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail:natali.chub.95@mali.ru*

Developed a fourteen-stage optimal chart for small movements of the Executive body of precision DC electric drive with elastic shafting. The reduction in the number of stages from twenty-two of the previously known charts to fourteen will reduce costs when implementing precision of DC drive with elastic shafting executed by small displacements of the Executive body of the mechanism. The presented ratios to determine the parameters of the fourteen-stage time-optimal diagrams for small movements of the Executive body of precision DC electric drive with elastic shafting. Determined area of existence of the fourteen-stage time-optimal diagrams for small movements of the Executive body of precision DC electric drive with elastic shafting. On the basis of the numerical experiment the dependence of the cycle duration from the specified movement of the Executive body of the mechanism when it moves in accordance with the fourteen-stage optimal figure.

Key words: elastic connection, fourteen-stage time-optimal figure, small displacement, precision DC drive.