

УДК 62.83.52:62.503.56

**СИММЕТРИЧНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ
ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ
С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО СКОРОСТИ И ЕЕ ПЕРВОЙ, ВТОРОЙ, ТРЕТЬЕЙ,
ЧЕТВЁРТОЙ И ПЯТОЙ ПРОИЗВОДНЫХ**

**SYMMETRIC OPTIMAL ON PROGRESS MOVEMENT
DIAGRAM EXECUTIVE BODY OF PRECISION ELECTRIC DRIVE WITH
ELASTIC TARGET WITH LIMITS ON SPEED AND ITS FIRST, SECOND, THIRD,
FOURTH AND FIFTH DERIVATIVES**

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»

Федин В.С.

Кубанский государственный
технологический университет
fedin@spets-stroy.com

Аннотация. Разработана симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных. Представлен алгоритм для определения параметров симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных. Приведены результаты по определению параметров симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных.

Ключевые слова: симметричная диаграмма, оптимальное по быстродействию перемещение, упругий валопровод, исполнительный орган прецизионного электропривода, ограничения по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производным скорости.

Dobrobaba Yury Petrovich

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

Koshkin Gordey Anatolievich

Candidate of technical sciences,
Foreman,
NKU LLS Progress

Fedin V.S.

Kuban state technological university
fedin@spets-stroy.com

Annotation. A symmetrical speed-optimal displacement diagram for the executive body of a precision electric drive with an elastic shafting with speed restrictions and its first, second, third, fourth and fifth derivatives has been developed. An algorithm for determining the parameters of a symmetric speed-optimal displacement diagram of the executive body of a precision electric drive with an elastic shaft line with speed limits and its first, second, third, fourth and fifth derivatives is presented. The results of determining the parameters of a symmetric speed-optimal movement diagram of the executive body of a precision electric drive with an elastic shaft line with speed limits and its first, second, third, fourth and fifth derivatives are presented.

Keywords: symmetric diagram, optimal in speed movement, elastic shaft line, executive body of a precision electric drive, speed limits and its first, second, third, fourth and fifth velocity derivatives.

В монографии [1], посвященной разработке группы из трех симметричных оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, отсутствуют ограничения по второй, третьей и четвертой производным скорости.

В монографии [2], посвященной разработке группы симметричных оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, отсутствуют ограничения по третьей и четвертой производным скорости.

Предлагается разработать симметричную оптимальную по быстродействию диаграмму, предназначенную для электроприводов промышленных механизмов, у которых по технологическим требованиям необходимо ограничивать скорость и ее первую, вторую, третью, четвертую и пятую производные.

Представлено математическое обеспечение, которое позволяет рассчитать параметры симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных.

На рисунках 1, 2 и 3 представлена симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных, состоящая из тридцати одного этапа. На рисунках приняты следующие обозначения:

φ_2 – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω_2 – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с}$;

t – время, с;

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

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

$\omega_{дон}$ – максимально допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с}$;

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

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

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

$\omega_{дон}^{(4)}$ – максимально допустимое значение четвертой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с^5}$;

$\omega_{дон}^{(5)}$ – максимально допустимое значение пятой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с^6}$;

t_1 – длительность первого, третьего, пятого, седьмого, девятого, одиннадцатого, тринадцатого, пятнадцатого, семнадцатого, девятнадцатого, двадцать первого, двадцать третьего, двадцать пятого, двадцать седьмого, двадцать девятого, тридцать первого этапов, с;

t_2 – длительность второго, шестого, десятого, четырнадцатого, восемнадцатого, двадцать второго, двадцать шестого, тридцатого этапов, с;

t_3 – длительность четвертого, двенадцатого, двадцатого, двадцать восьмого этапов, с;

t_4 – длительность восьмого и двадцать четвертого этапов, с;

t_5 – длительность шестнадцатого этапа, с.

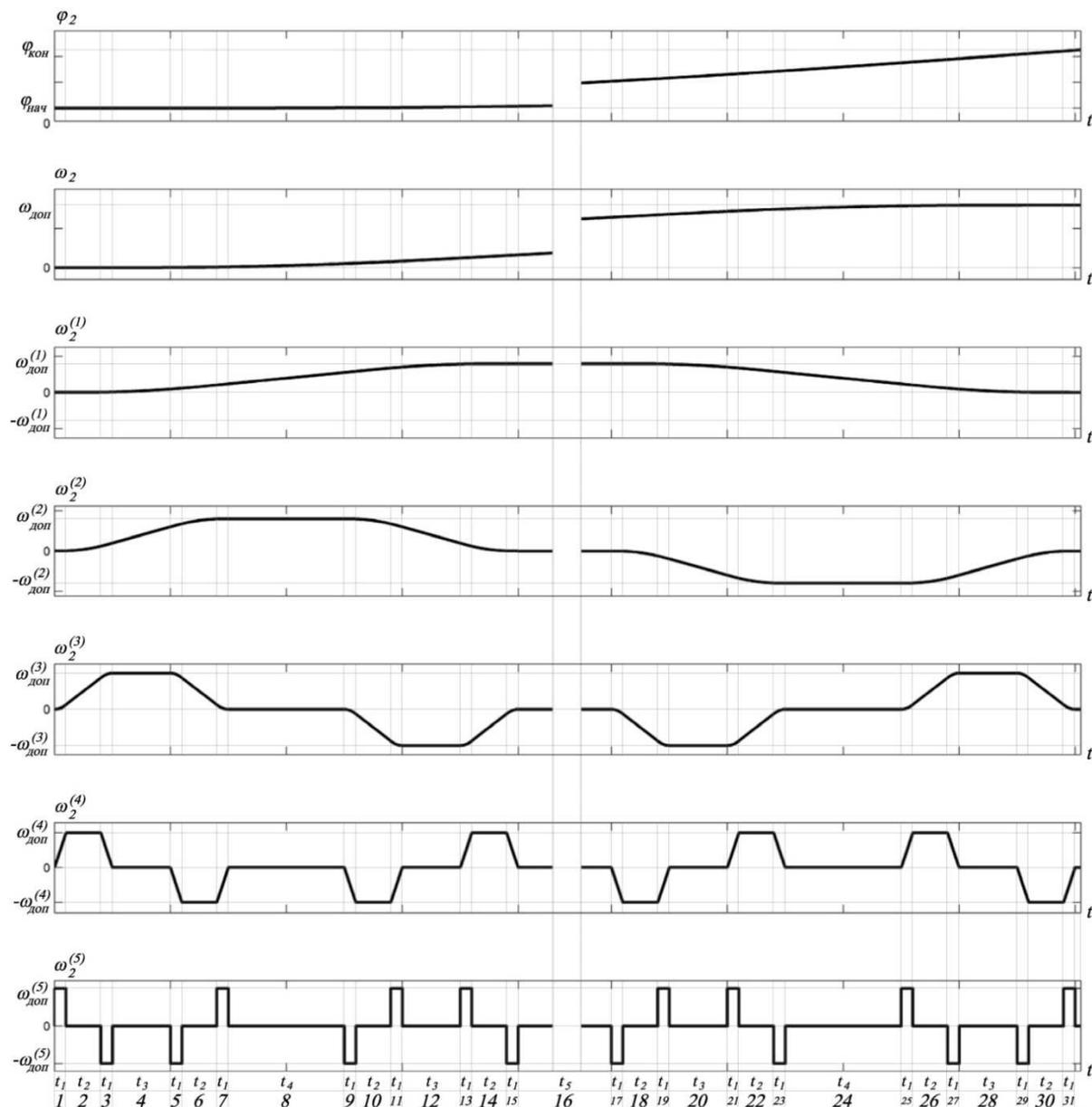


Рисунок 1 – Симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных (разгон)

Для симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных справедливы следующие соотношения:

$$\omega_{дон}^{(4)} = \omega_{дон}^{(5)} \cdot t_1; \quad (1)$$

$$\omega_{дон}^{(3)} = \omega_{дон}^{(4)} \cdot (t_1 + t_2); \quad (2)$$

$$\omega_{дон}^{(2)} = \omega_{дон}^{(3)} \cdot (2t_1 + t_2 + t_3); \quad (3)$$

$$\omega_{дон}^{(1)} = \omega_{дон}^{(2)} \cdot (4t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4); \quad (4)$$

$$\omega_{дон} = \omega_{дон}^{(1)} \cdot (8t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4 + t_5); \quad (5)$$

$$\varphi_{\text{кон}} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{доп}} \cdot (16t_1 + 8t_2 + 4t_3 + 2t_4 + t_5 + t_6); \quad (6)$$

$$T_{\text{ц}} = 32t_1 + 16t_2 + 8t_3 + 4t_4 + 2t_5 + t_6, \quad (7)$$

где $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

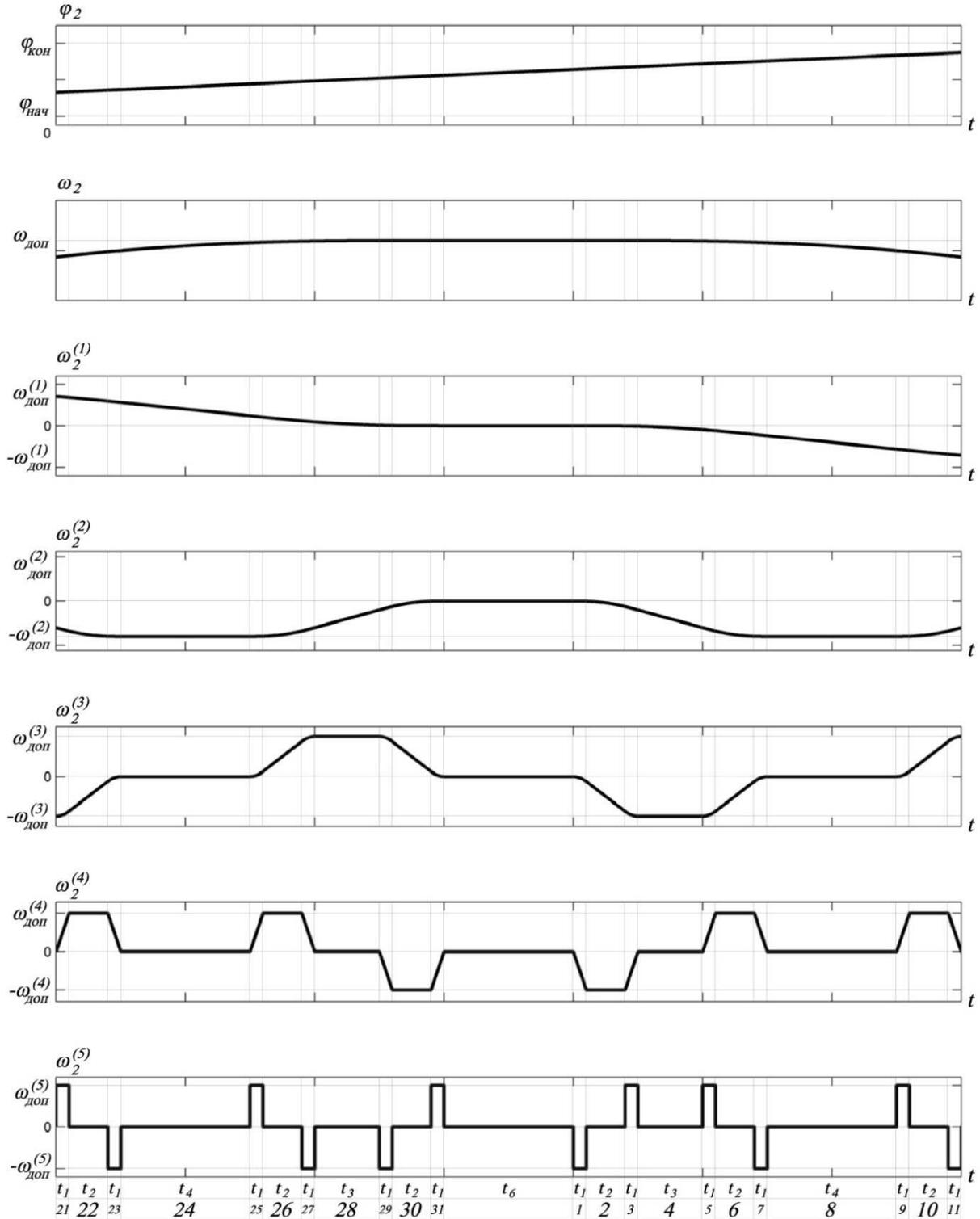


Рисунок 2 – Симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных (устоявшееся значение)

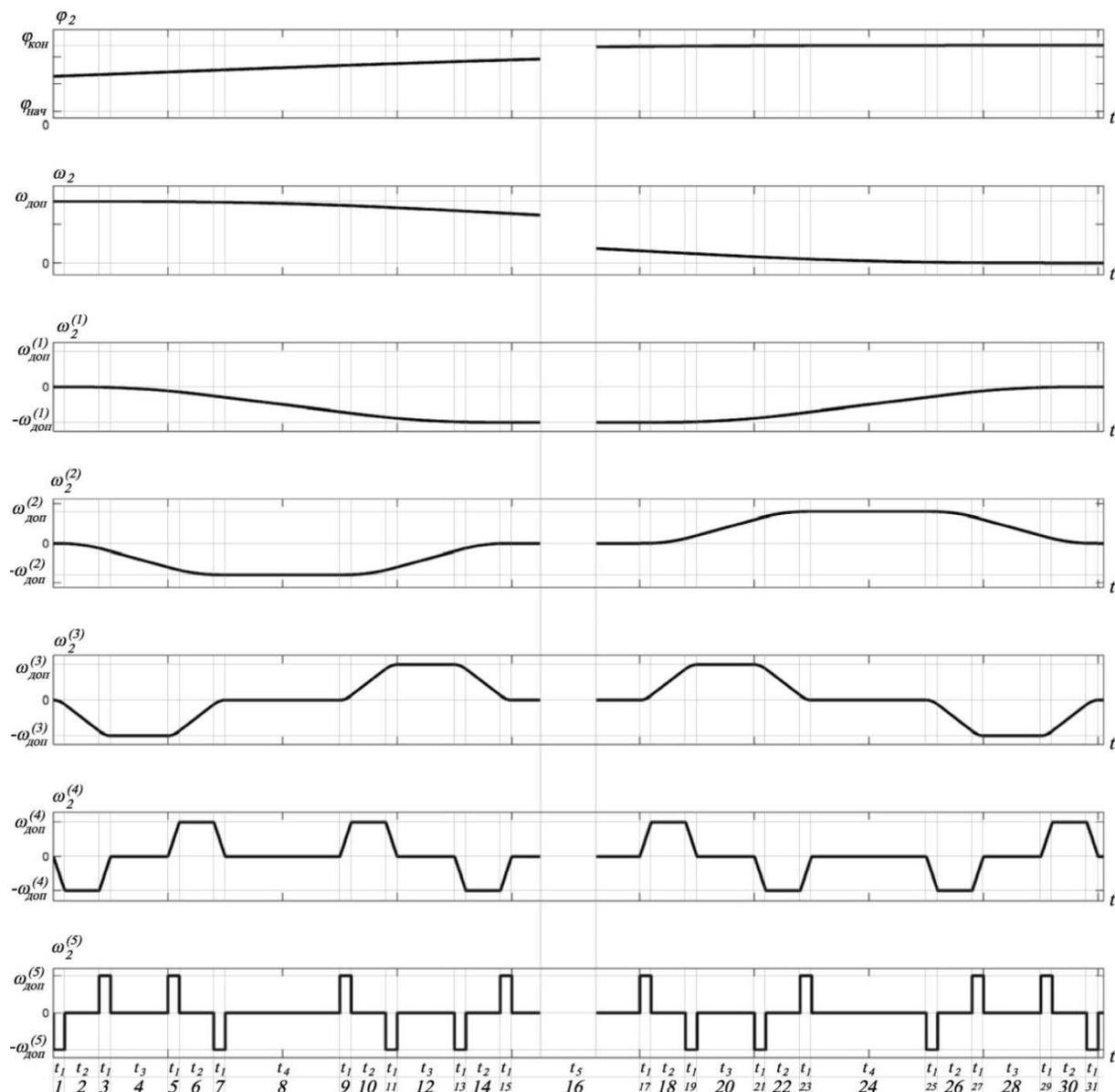


Рисунок 3 – Симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных (торможение)

Из соотношений (1)–(6) следует, что длительности этапов симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных равны:

$$t_1 = \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}}; \quad (8)$$

$$t_2 = \frac{\omega_{\text{дон}}^{(3)}}{\omega_{\text{дон}}^{(4)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}}; \quad (9)$$

$$t_3 = \frac{\omega_{\text{дон}}^{(2)}}{\omega_{\text{дон}}^{(3)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(3)}}{\omega_{\text{дон}}^{(4)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}}; \quad (10)$$

$$t_4 = \frac{\omega_{\text{дон}}^{(1)}}{\omega_{\text{дон}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(2)}}{\omega_{\text{дон}}^{(3)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(3)}}{\omega_{\text{дон}}^{(4)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}}; \quad (11)$$

$$t_5 = \frac{\omega_{\text{дон}}}{\omega_{\text{дон}}^{(1)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(1)}}{\omega_{\text{дон}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(2)}}{\omega_{\text{дон}}^{(3)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(3)}}{\omega_{\text{дон}}^{(4)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}}; \quad (12)$$

$$t_6 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{дон}}} - \frac{\omega_{\text{дон}}}{\omega_{\text{дон}}^{(1)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(1)}}{\omega_{\text{дон}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(2)}}{\omega_{\text{дон}}^{(3)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(3)}}{\omega_{\text{дон}}^{(4)}} - \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}}. \quad (13)$$

Минимально возможное значение угла поворота $\varphi_{\text{Гр.5}}$ для электропривода при его движении в соответствии с симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных равно:

$$\varphi_{\text{Гр.5}} = \omega_{\text{дон}} \cdot \left[\frac{\omega_{\text{дон}}}{\omega_{\text{дон}}^{(1)}} + \frac{\omega_{\text{дон}}^{(1)}}{\omega_{\text{дон}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{дон}}^{(2)}}{\omega_{\text{дон}}^{(3)}} + \frac{\omega_{\text{дон}}^{(3)}}{\omega_{\text{дон}}^{(4)}} + \frac{\omega_{\text{дон}}^{(4)}}{\omega_{\text{дон}}^{(5)}} \right]. \quad (14)$$

В работе рассматривается электропривод, у которого максимально допустимые значения соответственно равны: $\omega_{\text{дон}} = 160 \frac{\text{рад}}{c}$; $\omega_{\text{дон}}^{(1)} = 80 \frac{\text{рад}}{c^2}$; $\omega_{\text{дон}}^{(2)} = 160 \frac{\text{рад}}{c^3}$;

$$\omega_{\text{дон}}^{(3)} = 800 \frac{\text{рад}}{c^4}; \quad \omega_{\text{дон}}^{(4)} = 10000 \frac{\text{рад}}{c^5}; \quad \omega_{\text{дон}}^{(5)} = 500000 \frac{\text{рад}}{c^6}.$$

При этом:

$$\varphi_{\text{зр.5}} = 160 \cdot \left[\frac{160}{80} + \frac{80}{160} + \frac{160}{800} + \frac{800}{10000} + \frac{10000}{500000} \right] = 448 \text{ рад}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 448 \text{ рад}$, то $t_1 = 0,02c$; $t_2 = 0,06c$; $t_3 = 0,1c$; $t_4 = 0,2c$; $t_5 = 1,2c$; $t_6 = 0c$; $T_{\text{ц}} = 5,6c$.

На рисунках 1, 2 и 3 приведена симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных, которая имеет следующие параметры: $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 480 \text{ рад}$; $t_1 = 0,02c$; $t_2 = 0,06c$; $t_3 = 0,1c$; $t_4 = 0,2c$; $t_5 = 1,2c$; $t_6 = 0,2c$;

$$T_{\text{ц}} = 5,8c; \quad \omega_{\text{дон}}^{(5)} = 500000 \frac{\text{рад}}{c^6}; \quad \omega_{\text{дон}}^{(4)} = 10000 \frac{\text{рад}}{c^5}; \quad \omega_{\text{дон}}^{(3)} = 800 \frac{\text{рад}}{c^4}; \quad \omega_{\text{дон}}^{(2)} = 160 \frac{\text{рад}}{c^3};$$

$$\omega_{\text{дон}}^{(1)} = 80 \frac{\text{рад}}{c^2}; \quad \omega_{\text{дон}} = 160 \frac{\text{рад}}{c}.$$

Выводы

В данной статье представлена симметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных, состоящая из тридцати одного этапа.

Установлено минимально возможное значение угла поворота для электропривода при его движении в соответствии с симметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных.

Разработан алгоритм, необходимый для определения параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с упругим валопроводом с ограничениями по скорости и ее первой, второй, третьей, четвертой и пятой производных.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Кошкин Г.А., Громницкий Е.Е. Оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – 160 с.

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

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Koshkin G.A., Gromnitsky E.E. Optimalnye on speed of the chart of movement of executive body of the precision electric drive of a direct current with the elastic shaft line / Kuban State Technological un-t. – Krasnodar : Prod. FGBOOU WAUGH of «KubGTU», 2018. – 160 p.

2. Dobrobaba Yu.P., Kuzmina I.B. The precision position electric drive of alternating current with the elastic shaft line : monograph / Kuban State Technological un-t. – Krasnodar : Prod. FGBOOU WAUGH of «KubGTU», 2015. – 132 p.