

*УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ ОСОБО ТОЧНОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ
ПРИ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ*

Ю.П. ДОБРОБАБА, А.Л. ХОРЦЕВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: tolyahortsev@gmail.com*

Управления перемещением и позиционированием является одной из самых ресурсоемких задач автоматического управления. Основная сложность заключается в том, что на промышленных предприятиях все электродвигатели соединены с исполнительными механизмами не идеально жёсткими валопроводами, а обладающими некоторой упругостью. Это обуславливает сложность системы автоматического управления перемещением исполнительного органа особо точного электропривода, которая состоит из задатчика интенсивности, формирующего диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода, и системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода, обрабатывающей заданную диаграмму. В статье разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом. Определены параметры предложенной диаграммы. Разработано устройство для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа особо точного электропривода с упругим валопроводом. Внедрение предложенного комплекса технических средств позволит существенно повысить точность перемещения различных промышленных механизмов.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, большие перемещения, упругий валопровод, устройство для формирования диаграммы перемещения.

Применяемые для управления перемещением исполнительных органов электроприводов оптимальные по быстродействию диаграммы не учитывают инерционность системы автоматического регулирования (САР) положения. В статье [1] доказано, что инерционность САР положения вызывает ошибку по перемещению исполнительного органа электропривода и не позволяет обеспечить высокую точность выполнения технологических операций. Авторы решили эту задачу для электроприводов постоянного тока с идеальными валопроводами, по результатам чего опубликована монография [2].

Однако в реальных условиях связь исполнительного органа механизма с электродвигателем невозможно выполнить идеально жесткой, что значительно усложняет процесс управление перемещением исполнительного органа. Для

особо точного управления перемещением электропривода постоянного тока с упругим валопроводом необходимо разработать оптимальные по быстродействию диаграммы восьмого порядка (формируется седьмая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода или восьмая производная угла поворота).

Целью данной работы является разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, учитывающей инерционность САР положения и позволяющей избавиться от ошибки по перемещению исполнительного органа электропривода.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, состоящая из двадцати семи этапов. На первом, третьем, пятом, девятом, одиннадцатом, тринадцатом, шестнадцатом, восемнадцатом, двадцатом, двадцать втором, двадцать четвертом и двадцать шестом этапах седьмая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению $\omega_{\max}^{(7)}$; на втором, четвертом, шестом, восьмом, десятом, двенадцатом, пятнадцатом, семнадцатом, девятнадцатом, двадцать третьем, двадцать пятом и двадцать седьмом этапах седьмая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(7)}$. Длительность первого, шестого, восьмого, тринадцатого, пятнадцатого, двадцатого, двадцать второго и двадцать седьмого этапов равна t_1 ; длительность второго, пятого, девятого, двенадцатого, шестнадцатого, девятнадцатого, двадцать третьего и двадцать шестого этапов равна t_2 ; длительность третьего, четвертого, десятого, одиннадцатого, семнадцатого, восемнадцатого, двадцать четвертого и двадцать пятого этапов

равна t_3 ; длительность седьмого и двадцать первого этапов равна t_4 ; длительность четырнадцатого этапа равна t_5 .

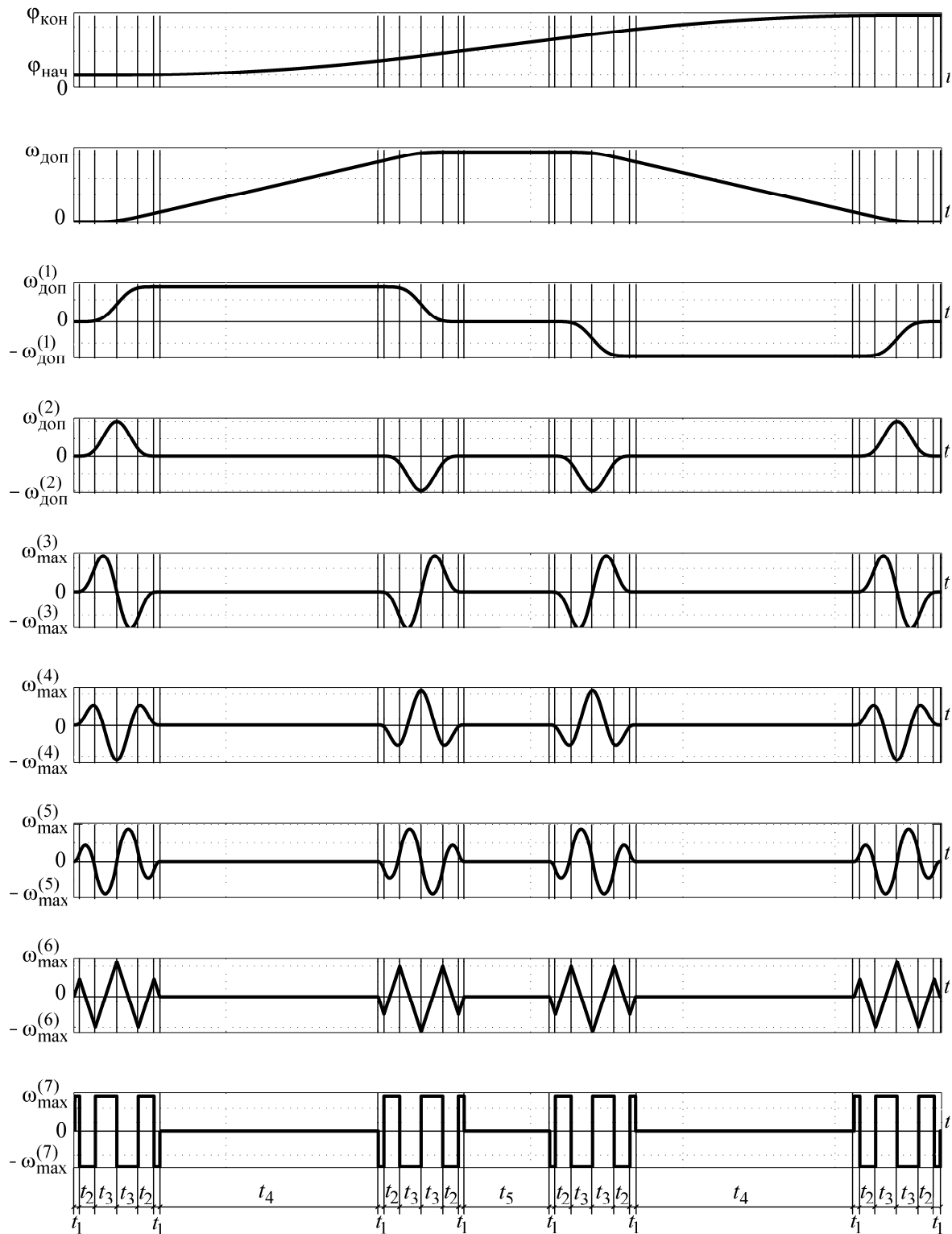


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

В моменты времени $(t_1 + t_2 + t_3)$ и $(7t_1 + 7t_2 + 7t_3 + 2t_4 + t_5)$ шестая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(6)}$; в моменты времени $(3t_1 + 3t_2 + 3t_3 + t_4)$ и $(5t_1 + 5t_2 + 5t_3 + t_4 + t_5)$ шестая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(6)}$.

В моменты времени $(2t_1 + 2t_3)$, $(2t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4)$, $(4t_1 + 6t_2 + 4t_3 + t_4 + t_5)$ и $(8t_1 + 6t_2 + 8t_3 + 2t_4 + t_5)$ пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(5)}$; в моменты времени $2t_2$, $(4t_1 + 2t_2 + 4t_3 + t_4)$, $(6t_1 + 4t_2 + 6t_3 + t_4 + t_5)$ и $(6t_1 + 8t_2 + 6t_3 + 2t_4 + t_5)$ пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(5)}$.

В моменты времени $(3t_1 + 3t_2 + 3t_3 + t_4)$ и $(5t_1 + 5t_2 + 5t_3 + t_4 + t_5)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(4)}$; в моменты времени $(t_1 + t_2 + t_3)$ и $(7t_1 + 7t_2 + 7t_3 + 2t_4 + t_5)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(4)}$.

В моменты времени $2t_2$, $(4t_1 + 2t_2 + 4t_3 + t_4)$, $(6t_1 + 4t_2 + 6t_3 + t_4 + t_5)$ и $(6t_1 + 8t_2 + 6t_3 + 2t_4 + t_5)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(3)}$; в моменты времени $(2t_1 + 2t_3)$, $(2t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4)$, $(4t_1 + 6t_2 + 4t_3 + t_4 + t_5)$ и $(8t_1 + 6t_2 + 8t_3 + 2t_4 + t_5)$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(3)}$.

В моменты времени $(t_1 + t_2 + t_3)$ и $(7t_1 + 7t_2 + 7t_3 + 2t_4 + t_5)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения $\omega_{\dot{\alpha}i\ddot{i}}^{(2)}$; в моменты времени $(3t_1 + 3t_2 + 3t_3 + t_4)$ и $(5t_1 + 5t_2 + 5t_3 + t_4 + t_5)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения со знаком «минус» $-\omega_{\dot{\alpha}i\ddot{i}}^{(2)}$.

На седьмом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\dot{\alpha}i}^{(1)}$; на двадцать первом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\dot{\alpha}i}^{(1)}$.

На четырнадцатом этапе угловая скорость исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения $\omega_{\dot{\alpha}i}$.

За время цикла $\dot{O}_6 = (8t_1 + 8t_2 + 8t_3 + 2t_4 + t_5)$ исполнительный орган электропривода перемещается от начального значения угла поворота $\varphi_{\text{нач}}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{\text{кон}}$.

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода с упругим валопроводом, представленной на рисунке 1, справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = \frac{61 - 35\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\omega_{\dot{\alpha}i}^{(1)}}{\omega_{\dot{\alpha}i}^{(2)}};$$

$$t_2 = (13\sqrt{3} - 22) \cdot \frac{\omega_{\dot{\alpha}i}^{(1)}}{\omega_{\dot{\alpha}i}^{(2)}};$$

$$t_3 = \frac{17 - 9\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\omega_{\dot{\alpha}i}^{(1)}}{\omega_{\dot{\alpha}i}^{(2)}};$$

$$t_4 = \frac{\omega_{\dot{a}i} - 2 \cdot (17 - 9\sqrt{3}) \cdot \frac{\omega_{\dot{a}i}^{(1)}}{\omega_{\dot{a}i}^{(2)}}}{\omega_{\dot{a}i}^{(1)}};$$

$$t_5 = \frac{\varphi_{\dot{a}i} - \varphi_{i\dot{a}} - \frac{\omega_{\dot{a}i}}{\omega_{\dot{a}i}^{(1)}} - 2 \cdot (17 - 9\sqrt{3}) \cdot \frac{\omega_{\dot{a}i}^{(1)}}{\omega_{\dot{a}i}^{(2)}}}{\omega_{\dot{a}i}^{(1)}};$$

$$\dot{O}_6 = 16t_3 + 2t_4 + t_5;$$

$$\omega_{\max}^{(7)} = 240 \cdot \frac{74862242 + 43221735\sqrt{3}}{148035889} \cdot \frac{[\omega_{\text{доп}}^{(2)}]^6}{[\omega_{\text{доп}}^{(1)}]^5};$$

$$\omega_{\max}^{(6)} = 2 \cdot (2 - \sqrt{3}) \cdot \omega_{\max}^{(7)} \cdot t_3;$$

$$\omega_{\max}^{(5)} = 2 \cdot (7 - 4\sqrt{3}) \cdot \omega_{\max}^{(7)} \cdot t_3^2;$$

$$\omega_{\max}^{(4)} = \frac{3\sqrt{3} - 5}{3} \cdot \omega_{\max}^{(7)} \cdot t_3^3;$$

$$\omega_{\max}^{(3)} \approx 0,025424256 \cdot \omega_{\max}^{(7)} \cdot t_3^4.$$

Область существования оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода:

$$\varphi_{\ddot{a}.2} \leq (\varphi_{\dot{a}i} - \varphi_{i\dot{a}}),$$

где
$$\varphi_{\text{гр}.2} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + 2 \cdot (17 - 9\sqrt{3}) \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} \right].$$

Для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом разработано устройство, представленное на рисунках 2 и 3.

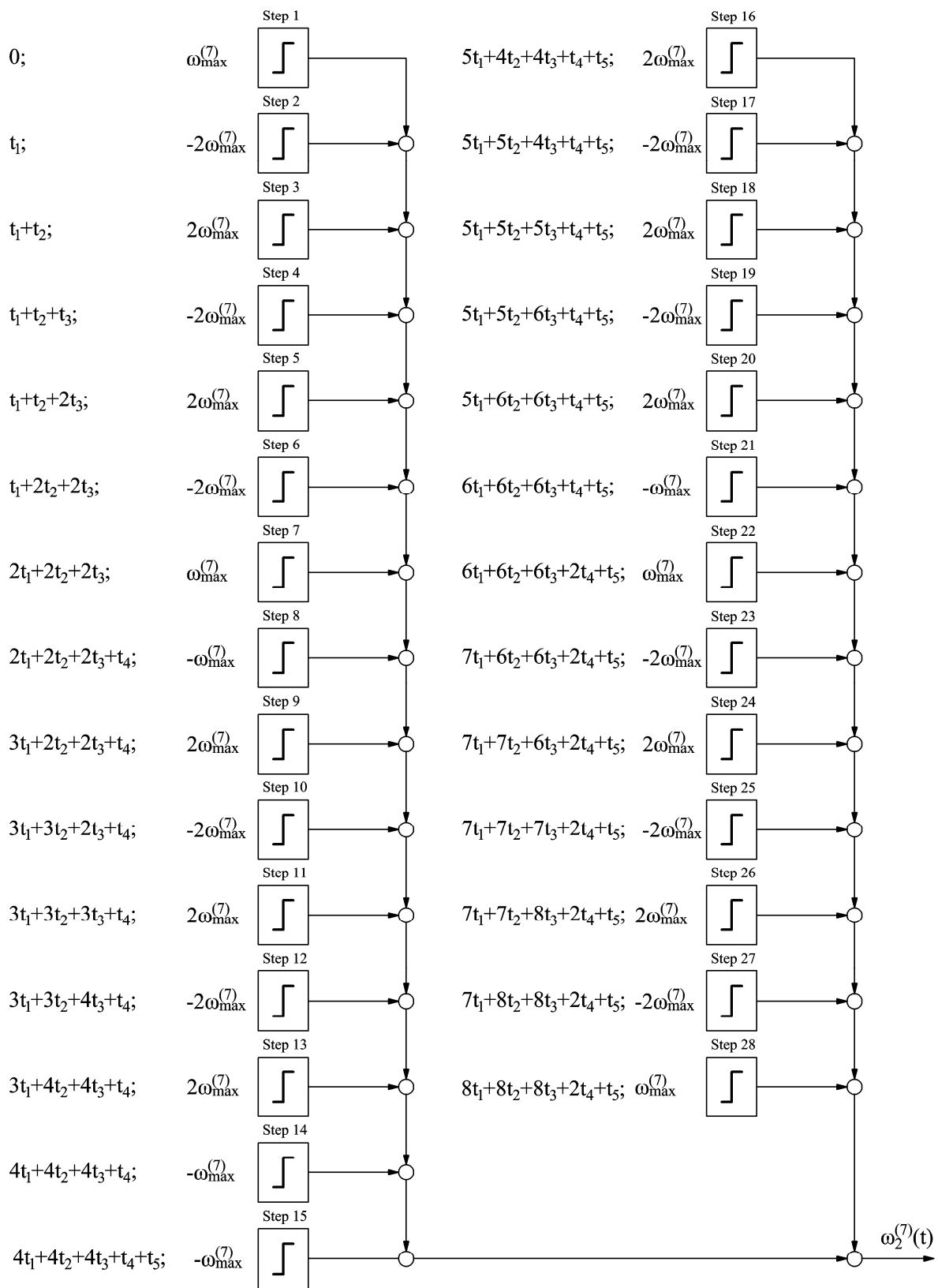


Рисунок 2.

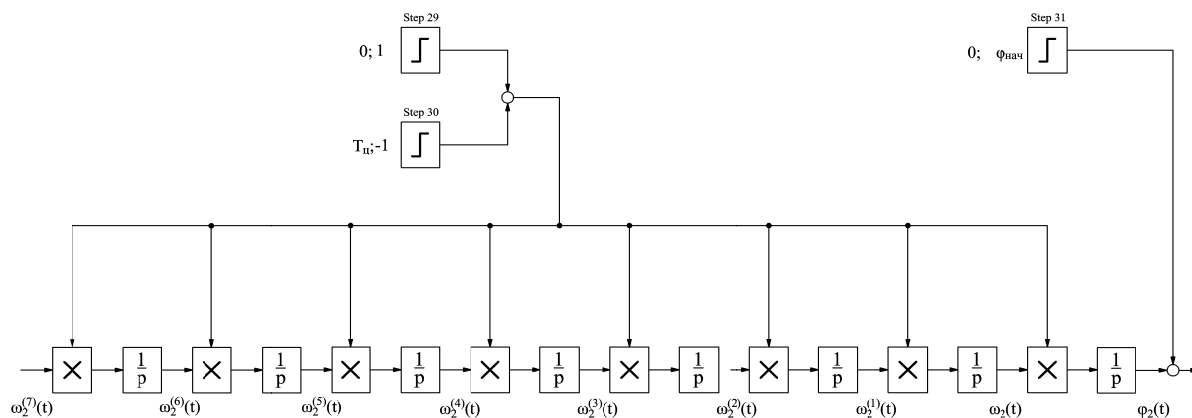


Рисунок 3.

Оптимальная по быстродействию диаграмма при больших перемещениях исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом состоит из двадцати семи этапов, следовательно, для её формирования необходима реализация двадцати восьми переключений седьмой производной угловой скорости исполнительного органа механизма. Для этого используются двадцать восемь блоков генератора ступенчатого сигнала и двадцать семь блоков алгебраического суммирования. Функция шестой производной угловой скорости исполнительного органа механизма получается интегрированием функции седьмой производной угловой скорости исполнительного органа механизма для чего применен первый интегратор. Функция пятой производной угловой скорости исполнительного органа механизма получается интегрированием функции шестой производной угловой скорости исполнительного органа механизма для чего используется второй интегратор. Функция третьей производной угловой скорости исполнительного органа механизма получается интегрированием функции четвертой производной угловой скорости исполнительного органа механизма для чего используется четвертый интегратор. Функция второй производной угловой скорости исполнительного органа механизма получается интегрированием функции третьей производной угловой скорости исполнительного органа механизма для чего используется пятый интегратор. Функция первой

производной угловой скорости исполнительного органа механизма получается интегрированием функции второй производной угловой скорости исполнительного органа механизма для чего используется шестой интегратор. Функция угловой скорости исполнительного органа механизма получается интегрированием функции первой производной угловой скорости исполнительного органа механизма для чего применен седьмой интегратор. Функция угла поворота исполнительного органа механизма получается интегрированием функции угловой скорости исполнительного органа механизма для чего используется восьмой интегратор. Для обнуления сигналов на входах восьми блоков интегрирования используются step 29 и step 30, алгебраический сумматор и восемь блоков произведения. Для введения начального значения угла поворота исполнительного органа механизма применяются step 31 и алгебраический сумматор.

Выводы:

- разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом. Определены её параметры и область существования. Разработано устройство, обеспечивающее формирование оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

- внедрение предложенного комплекса технических средств позволит значительно повысить точность промышленных механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.П. Добробаба, А.Л. Хорцев. Аналитические зависимости выходной координаты системы автоматического регулирования положения от времени при отработке типовой оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа электропривода. - Научные труды КубГТУ, 2014,-№3, URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/61>.

2. Добробаба Ю.П., Хорцев А.Л. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока. – Монография. Краснодар, изд-во КубГТУ – 2014. - 104с.

REFERENCES

1. YU.P. Dobrobaba, A.L. Khortsev. Analiticheskie zavisimosti vykhodnoy koordinaty sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya polozheniya ot vremeni pri otrabotke tipovoy optimalnoy po bystrodeystviyu diagrammy dlya bolshikh peremeshcheniy ispolnitelnogo organa elektroprivoda. - Nauchnye trudy KubGTU, 2014,-№3, URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/61>.

2. Dobrobaba YU.P., Khortsev A.L. Osobo tochnyy pozitsionnyy elektroprivod postoyannogo toka. – Monografiya. Krasnodar, izd-vo KubGTU – 2014. - 104s.

CONTROL OF LARGE MOVEMENTS OF ULTRA PRECISE DC ELECTRIC DRIVE WITH ELASTIC SHAFTING

YU.P. DOBROBABA, A.L. KHORTSEV

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: tolyahortsev@gmail.com*

Control of the movement and positioning are the most intensive tasks of automatic control and regulation. One problem lies in the fact that all the real drives are connected to the actuators with not perfectly tough shafting, but has some elasticity. This leads to the difficulty of motion of the executive body of the drive automatic control systems which consists of signal source generating signal due optimum speed diagrams for large movements of electric drive's actuating device and automatic regulation system, which allows to work out optimum speed diagrams for large movements of electric drive's actuating device with ultra-precision. In this article were developed optimum speed diagram for large movements of ultra-precise electric drive with elastic shafting. Were identified all parameters of diagrams and its range of existence. Also developed device for generating the optimum speed diagram for large movements of ultra-precise electric drive with elastic shafting. Implementation of the proposed hardware software complex will significantly improve the accuracy of motion actuators of various ultra- precise DC drives.

Key words: optimum speed diagram, large movement, elastic shafting, device for generating diagram of the movement.