

УДК 62.83.52:62.503.56

UDC62.83.52:62.503.56

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ
ОРГАНОМ ОСОБО ТОЧНОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С
УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ ПРИ МАЛЫХ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ****CONTROLLING SMALL MOVEMENTS OF
ULTRA PRECISE DC ELECTRIC DRIVE WITH
ELASTIC SHAFTING**

Добробаба Юрий Петрович

к.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код = 4946-0809

РИНЦ Author ID = 662496

*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Dobrobaba Yuri Petrovitch

Cand.Tech.Sci., professor

RSCI SPIN-code = 4946-0809

RSCI Author ID = 662496

*Kuban State Technological University,
Krasnodar, Russia*

Хорцев Анатолий Леонидович

студент

tolyahortsev@gmail.com

*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Khortsev Anatoliy Leonidovich

student

tolyahortsev@gmail.com

*Kuban State Technological University,
Krasnodar, Russia*

Задачи управления перемещением и позиционированием являются одними из наиболее ресурсоемких задач автоматического управления и регулирования. Однако эти задачи приходится решать при автоматизации таких объектов как: сборочные и технологические линии, производственные машины, конвейеры, подъемные машины, упаковочные машины, линии розлива жидкостей, металлообрабатывающие станки. Одна из проблем заключается в том, что все реальные электроприводы соединены с исполнительными механизмами не идеально жесткими валопроводами, а обладающими некоторой упругостью. Это обуславливает сложность систем автоматического управления перемещением исполнительного органа особо точного электропривода, которые состоят из: задатчика интенсивности, формирующего диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода; системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода, отрабатывающей заданную диаграмму. В статье разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом. Определены все параметры предложенной диаграммы. Разработано устройство для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы при малых перемещениях исполнительного органа особо точного электропривода с упругим валопроводом. Внедрение предложенного комплекса технических средств позволит существенно повысить точность перемещения исполнительных механизмов различных особо точных электроприводов постоянного тока

Control of the movement and positioning are the most intensive tasks of automatic control and regulation. However, these problems must be solved in the automation objects such as assembly and production lines, manufacturing machines, conveyors, hoisting machines, packaging machines, filling lines for liquids, metal-working machines. 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 small movements of electric drive's actuating device and automatic regulation system, which allows to work out optimum speed diagrams for small movements of electric drive's actuating device with ultra-precision. In this article were developed optimum speed diagram for small movements of ultra-precise electric drive with elastic shafting. Were have identified all parameters of diagrams and its range of existence and also developed a device for generating the optimum speed diagram for small movements of ultra-precise electric drive with elastic shafting. The implementation of the proposed hardware software complex will significantly improve the accuracy of motion actuators of various ultra-precise DC drives

Ключевые слова: ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА, МАЛЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УПРУГИЙ ВАЛОПРОВОД, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Keywords: OPTIMUM SPEED DIAGRAM, SMALL MOVEMENT, ELASTIC SHAFTING, DEVICE FOR GENERATING MOVING DIAGRAM

Как показано в работе [1] система автоматического регулирования положения исполнительного органа особо точного электропривода обладает дополнительной инерционностью, которая не учитывалась при разработке известных оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения. Инерционность САР положения не позволяет обеспечить точность перемещения исполнительного органа электропривода, необходимую в некоторых технологических процессах. В монографии [2] авторы решили эту проблему для особо точных электроприводов постоянного тока с идеальным валопроводом.

Однако валопроводы электроприводов реальных механизмов невозможно выполнить идеально жесткими, что значительно усложняет управление перемещением исполнительного органа электропривода. Электропривод постоянного тока с упругим валопроводом описывается системой дифференциальных уравнений шестого порядка, что с учетом инерционности САР положения вызывает необходимость разработки оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения исполнительного органа особо точного электропривода для систем восьмого порядка.

Целью данной работы является разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом (с учетом инерционности САР положения), позволяющей избавиться от ошибки по перемещению исполнительного органа электропривода. А также разработка устройства, позволяющего формировать данную диаграмму.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, состоящая из двадцати двух этапов. На нечетных этапах седьмая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению $\omega_{\max}^{(7)}$; на четных этапах седьмая производная угловой скорости

исполнительного органа электропривода равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(7)}$. Длительность первого, одиннадцатого, двенадцатого и двадцать второго этапов равна t_1 ; длительность шестого и семнадцатого этапов равна $2t_1$; длительность второго, пятого, седьмого, десятого, тринадцатого, шестнадцатого, восемнадцатого и двадцать первого этапов равна t_2 ; длительность третьего, четвертого, восьмого, девятого, четырнадцатого, пятнадцатого, девятнадцатого и двадцатого этапов равна t_3 .

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

В моменты времени $(2t_1 + 2t_3)$, $(2t_1 + 4t_2 + 2t_3)$, $(4t_1 + 6t_2 + 4t_3)$ и $(8t_1 + 6t_2 + 7t_3)$ пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(5)}$; в моменты времени $2t_2$, $(4t_1 + 2t_2 + 4t_3)$, $(6t_1 + 4t_2 + 6t_3)$ и $(6t_1 + 8t_2 + 6t_3)$ пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(5)}$.

В моменты времени $(3t_1 + 3t_2 + 3t_3)$ и $(5t_1 + 5t_2 + 5t_3)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(4)}$; в моменты времени $(t_1 + t_2 + t_3)$ и $(7t_1 + 7t_2 + 7t_3)$ четвертая производная угловой скорости исполнительного

органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(4)}$.

В моменты времени $2t_2$, $(4t_1 + 2t_2 + 4t_3)$, $(6t_1 + 4t_2 + 6t_3)$ и $(6t_1 + 8t_2 + 6t_3)$ шестая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(3)}$; в моменты времени $(2t_1 + 2t_3)$, $(2t_1 + 4t_2 + 2t_3)$, $(4t_1 + 6t_2 + 4t_3)$ и $(8t_1 + 6t_2 + 78t_3)$ 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 $(7t_1 + 7t_2 + 7t_3)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(2)}$; в моменты времени $(3t_1 + 3t_2 + 3t_3)$ и $(5t_1 + 5t_2 + 5t_3)$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(2)}$.

В момент времени $(2t_1 + 2t_2 + 2t_3)$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(1)}$; в момент времени $6t_1 + 6t_2 + 6t_3$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(1)}$.

В момент времени $(4t_1 + 4t_2 + 4t_3)$ угловая скорость исполнительного органа электропривода достигает максимального значения ω_{\max} .

За время цикла $T_{\text{ц}} = (8t_1 + 8t_2 + 8t_3)$ исполнительный орган электропривода перемещается от начального значения угла поворота $\varphi_{\text{нач}}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{\text{кон}}$.

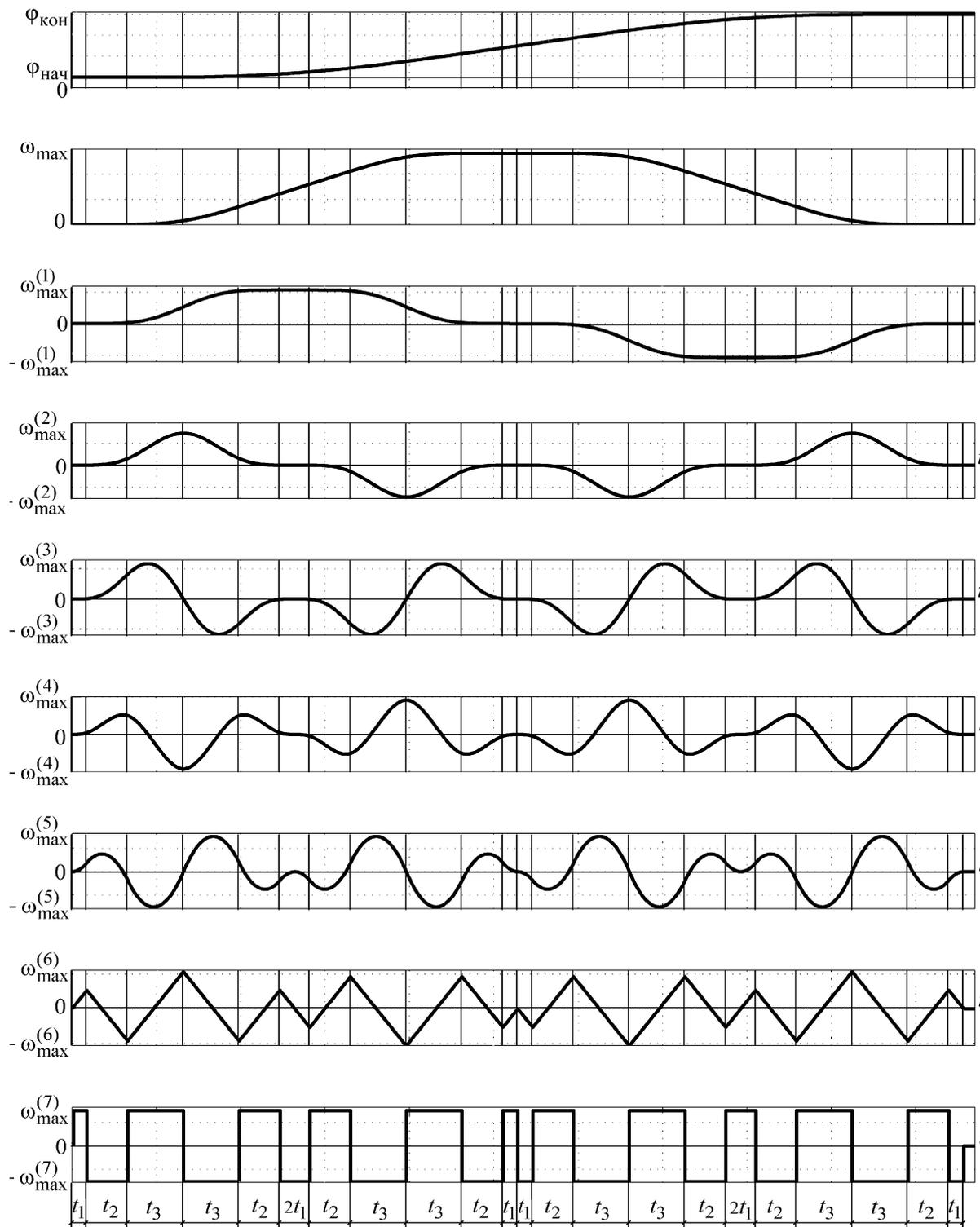


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом

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

$$t_3 = \sqrt[8]{\frac{15}{16} \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{max}}^{(7)}}}; \quad (1)$$

$$t_2 = (\sqrt{3} - 1) \cdot t_3; \quad (2)$$

$$t_1 = (2 - \sqrt{3}) \cdot t_3; \quad (3)$$

$$T_{\text{ц}} = 16t_3; \quad (4)$$

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

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

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

$$\omega_{\text{max}}^{(4)} = \frac{3\sqrt{3} - 5}{3} \cdot \omega_{\text{max}}^{(7)} \cdot t_3^3; \quad (8)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(3)} \approx 0,025424256 \cdot \omega_{\text{max}}^{(7)} \cdot t_3^4; \quad (9)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = \frac{17 - 9\sqrt{3}}{60} \cdot \omega_{\text{max}}^{(7)} \cdot t_3^5; \quad (10)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{1}{30} \cdot \omega_{\text{max}}^{(7)} \cdot t_3^6; \quad (11)$$

$$\omega_{\text{max}} = \frac{2}{15} \cdot \omega_{\text{max}}^{(7)} \cdot t_3^7; \quad (12)$$

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

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \leq \varphi_{\text{гр.1}}, \quad (13)$$

где
$$\varphi_{\text{гр.1}} = 16 \cdot (266 - 153\sqrt{3}) \cdot \frac{[\omega_{\text{доп}}^{(1)}]^3}{[\omega_{\text{доп}}^{(2)}]^2}.$$

$\omega_{\text{доп}}^{(1)}$ – максимально допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, рад/с²;

$\omega_{\text{доп}}^{(2)}$ – максимально допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, рад/с³.

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

Так как оптимальная по быстродействию диаграмма при малых перемещениях исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом имеет двадцать два этапа, то необходима реализация двадцати трех переключений седьмой производной угловой скорости исполнительного органа механизма. Для этого используются двадцать три блока генератора ступенчатого сигнала и двадцать два блока 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.

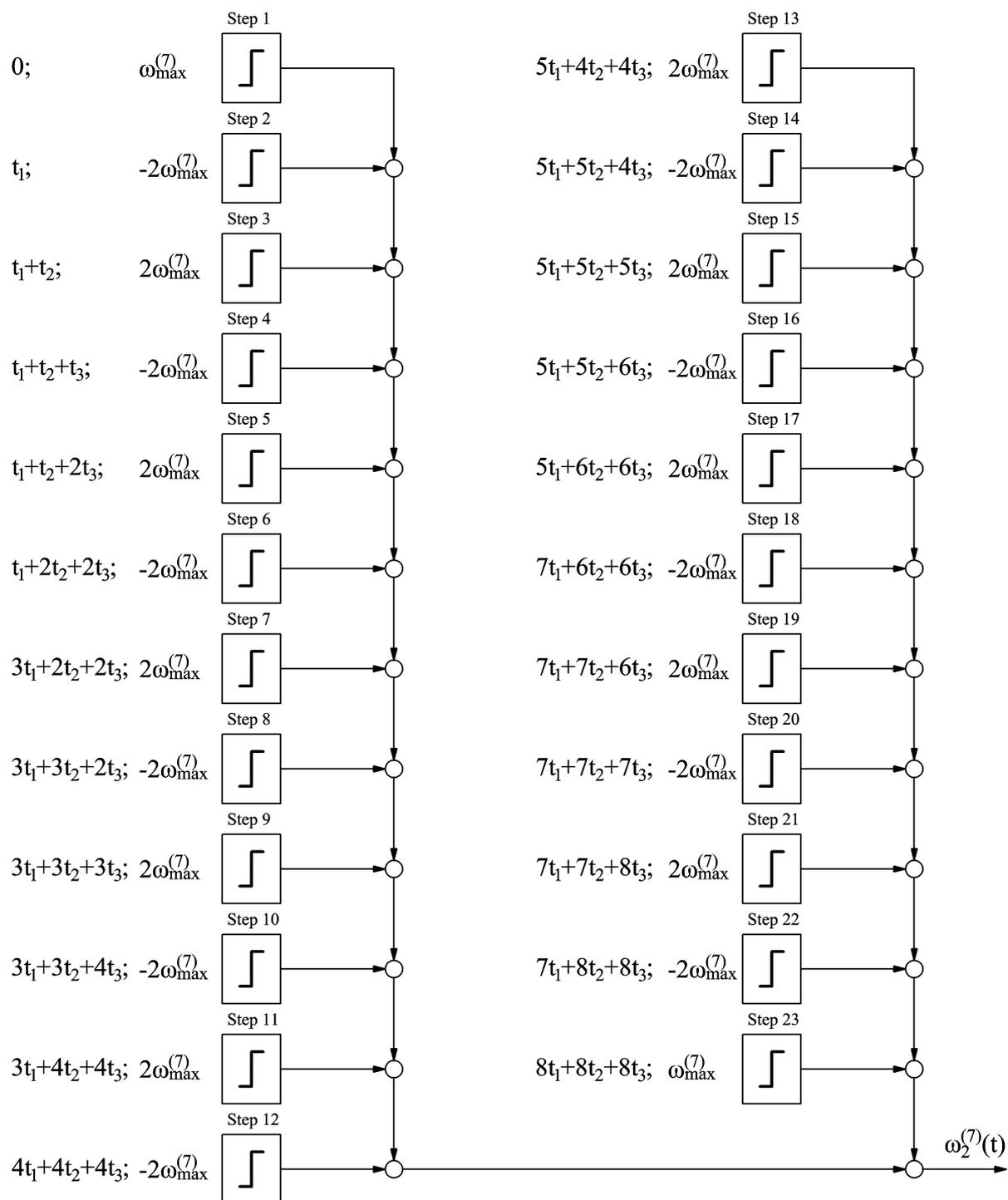


Рисунок 2

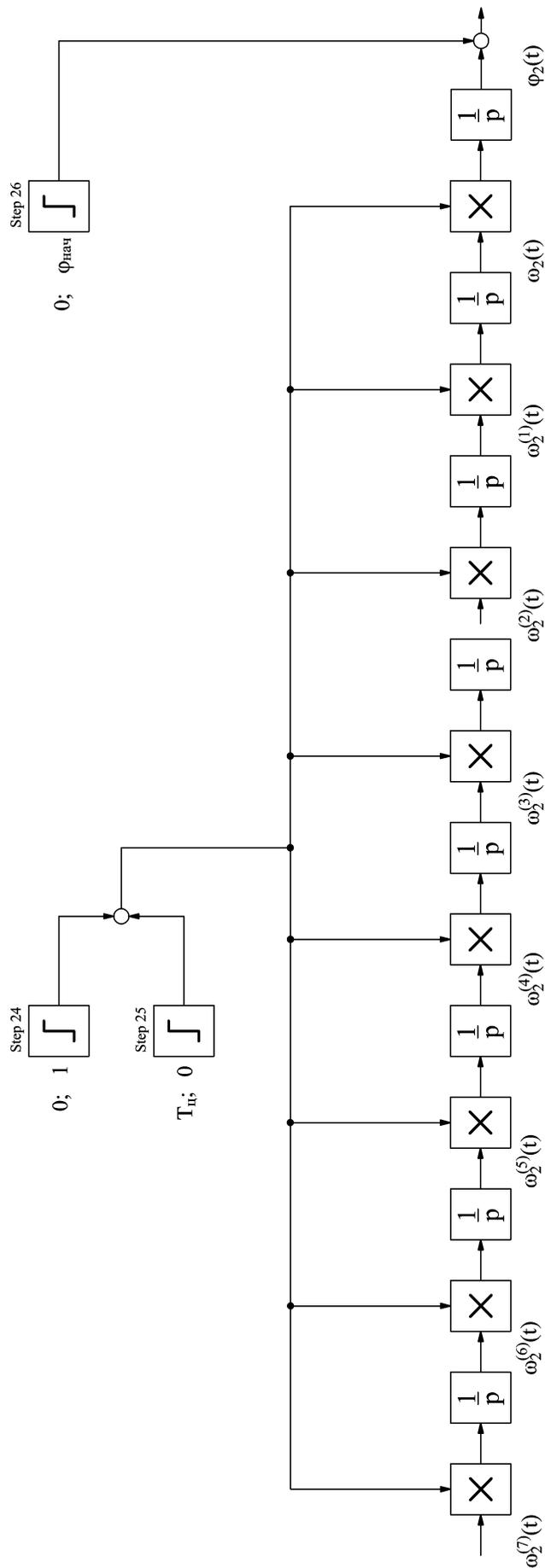


Рисунок 3

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 24 и step 25, алгебраический сумматор и восемь блоков произведения. Для введения начального значения угла поворота исполнительного органа механизма применяются step 26 и алгебраический сумматор.

Выводы

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

Внедрение предложенного комплекса технических средств позволит значительно повысить точность перемещения исполнительных органов таких механизмов как: сборочные и технологические линии, производственные машины, конвейеры, подъемные машины, упаковочные машины, металлообрабатывающие станки.

Список литературы

1. Ю.П. Добробаба, А.Л. Хорцев, В.Е. Нечесов. Аналитические зависимости выходной координаты системы автоматического регулирования положения от времени при отработке типовой оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода. - Научный журнал КубГАУ №97(03), 2014. URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/21.pdf>.

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

References

1. Ju.P. Dobrobaba, A.L. Horcev, V.E. Nechesov. Analiticheskie zavisimosti vyhodnoj koordinaty sistemy avtomaticheskogo regulirovanija polozhenija ot vreme-ni pri otrabotke tipovoj optimal'noj po bystrodejstviju diagrammy dlja malyh pe-remeshhenij ispolnitel'nogo organa jelektroprivoda. - Nauchnyj zhurnal KubGAU №97(03), 2014. URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/21.pdf>.

2. Dobrobaba Ju.P., Horcev A.L. Osobo tochnyj pozicionnyj jelektroprivod postojannogo toka. – Monografija. Krasnodar, izd-vo KubGTU – 2014. 104s.