

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 СРЕДНИХ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ**

**CONTROL OF MEDIUM 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

Dobrobaba Yurii Petrovitch
Cand. Tech. Sci., Professor
RSCI SPIN-code = 4946-0809
RSCI Author ID = 662496

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: промышленные манипуляторы, прокатное и штамповочное оборудование, транспортные и подъемно-транспортные машины, упаковочные машины, линии розлива жидкостей, металлообрабатывающие станки. Одна из проблем заключается в том, что на промышленных объектах все электродвигатели 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 средних 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 средних 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 medium movements of electric drive's actuating device and automatic regulation system, which allows to work out optimum speed diagrams for medium movements of electric drive's actuating device with ultra-precision. In this article were developed optimum speed diagram for medium 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 medium 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

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

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

При разработке известных оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения, используемых для управления движением исполнительных органов электроприводов, не учитывалась инерционность системы автоматического регулирования (САР) положения. В работе [1] доказано, что инерционность САР положения не позволяет обеспечить высокую точность перемещения исполнительного органа электропривода, из-за возникновения ошибки по перемещению. В монографии [2] авторы решили эту проблему для особо точных электроприводов постоянного тока с идеальным валопроводом.

В реальных условиях связь исполнительного органа механизма с электродвигателем невозможно выполнить идеально жесткой, что значительно усложняет управление перемещением исполнительного органа. Особо точный электропривод постоянного тока с упругим валопроводом с учетом инерционности САР положения описывается системой дифференциальных уравнений восьмого порядка, поэтому оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода необходимо сформировать для систем восьмого порядка.

Целью данной работы является разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для средних 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. А также разработка устройства, позволяющего формировать данную диаграмму.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом, состоящая из двадцати шести этапов. На первом, третьем, пятом, девятом, одиннадцатом, двенадцатом, тринадцатом, пятнадцатом, семнадцатом, девятнадцатом, двадцать первом, двадцать третьем и двадцать пятом этапах седьмая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна

максимальному значению $\omega_{\max}^{(7)}$; на втором, четвертом, шестом, восьмом, десятом, двенадцатом, четырнадцатом, шестнадцатом, восемнадцатом, двадцать втором, двадцать четвертом и двадцать шестом этапах седьмая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(7)}$. Длительность первого, шестого, восьмого, тринадцатого, четырнадцатого, девятнадцатого, двадцатого и двадцать шестого этапов равна t_1 ; длительность второго, пятого, девятого, двенадцатого, пятнадцатого, восемнадцатого двадцать второго и двадцать пятого этапов равна t_2 ; длительность третьего, четвертого, десятого, одиннадцатого, шестнадцатого, семнадцатого, двадцать третьего и двадцать четвертого этапов равна t_3 ; длительность седьмого и двадцатого этапов равна t_4 .

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

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

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

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

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

На седьмом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения $\omega_{\text{доп}}^{(1)}$; на двадцатом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(1)}$.

В момент времени $(4t_1 + 4t_2 + 4t_3 + t_4)$ угловая скорость исполнительного органа электропривода достигает максимального значения ω_{\max} .

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

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

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

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

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

$$t_4 = \sqrt{\frac{\varphi_{кон} - \varphi_{нач}}{\omega_{доп}^{(1)}} + 2 \cdot (266 - 153\sqrt{3}) \cdot \left[\frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(2)}} \right]^2} - 3 \cdot (17 - 9\sqrt{3}) \cdot \frac{\omega_{доп}^{(1)}}{\omega_{доп}^{(2)}}; \quad (4)$$

$$T_{ц} = 16t_3 + 2t_4; \quad (5)$$

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

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

$$\omega_{max}^{(5)} = 2 \cdot (7 - 4\sqrt{3}) \cdot \omega_{max}^{(7)} \cdot t_3^2; \quad (8)$$

$$\omega_{max}^{(4)} = \frac{3\sqrt{3} - 5}{3} \cdot \omega_{max}^{(7)} \cdot t_3^3; \quad (9)$$

$$\omega_{max}^{(3)} \approx 0,025424256 \cdot \omega_{max}^{(7)} \cdot t_3^4; \quad (10)$$

$$\omega_{max} = \omega_{max}^{(7)} \cdot \left(\frac{2}{15} \cdot t_3^7 + \frac{1}{30} \cdot t_3^6 t_4 \right); \quad (11)$$

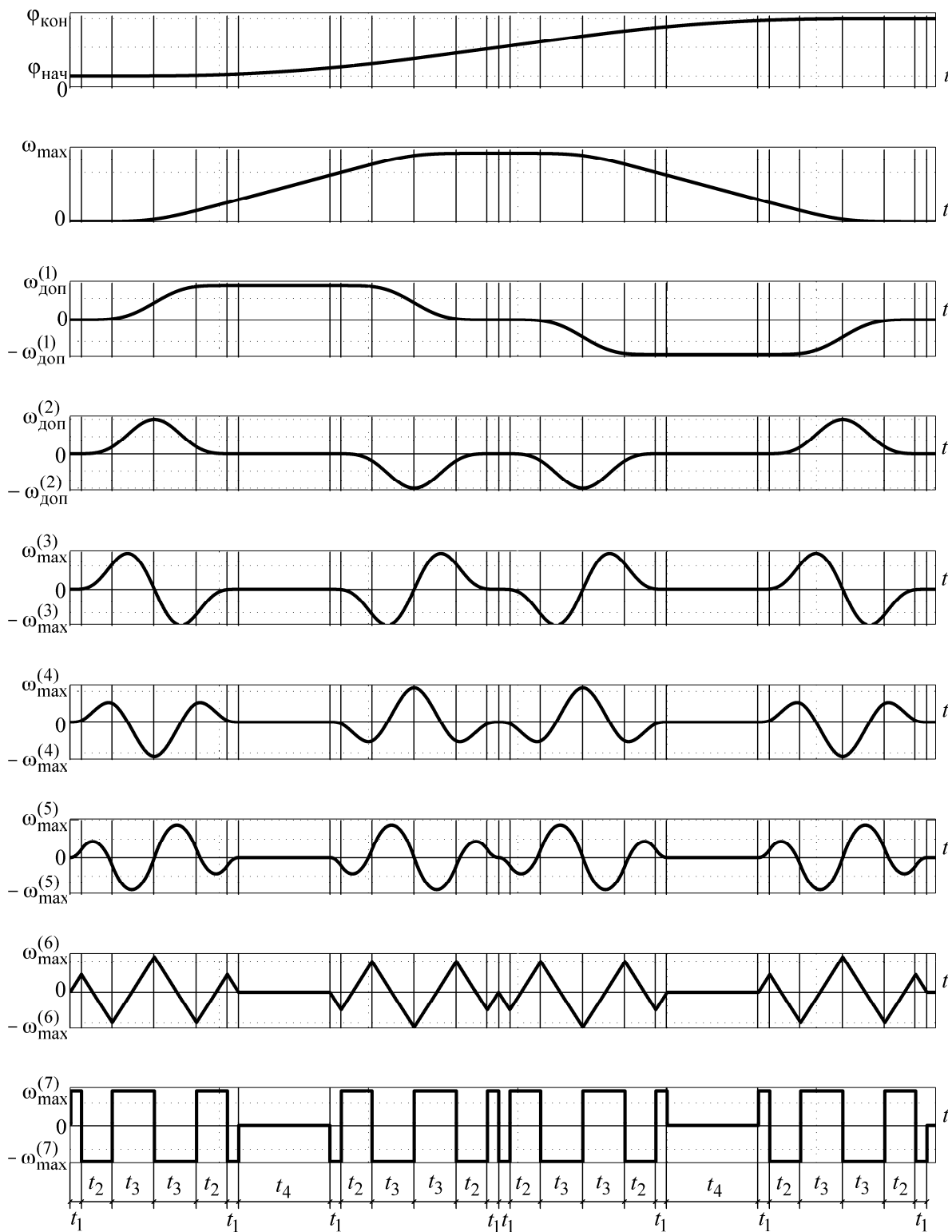


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом

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

$$\varphi_{гр.1} \leq (\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) \leq \varphi_{гр.2}, \quad (12)$$

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

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

$\omega_{доп}$ – максимально допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, рад/с.

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

Оптимальная по быстродействию диаграмма при средних перемещениях исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом состоит из двадцати шести этапов, следовательно для её формирования необходима реализация двадцати семи переключений седьмой производной угловой скорости исполнительного органа механизма. Для этого используются двадцать семь блоков генератора ступенчатого сигнала и двадцать шесть 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

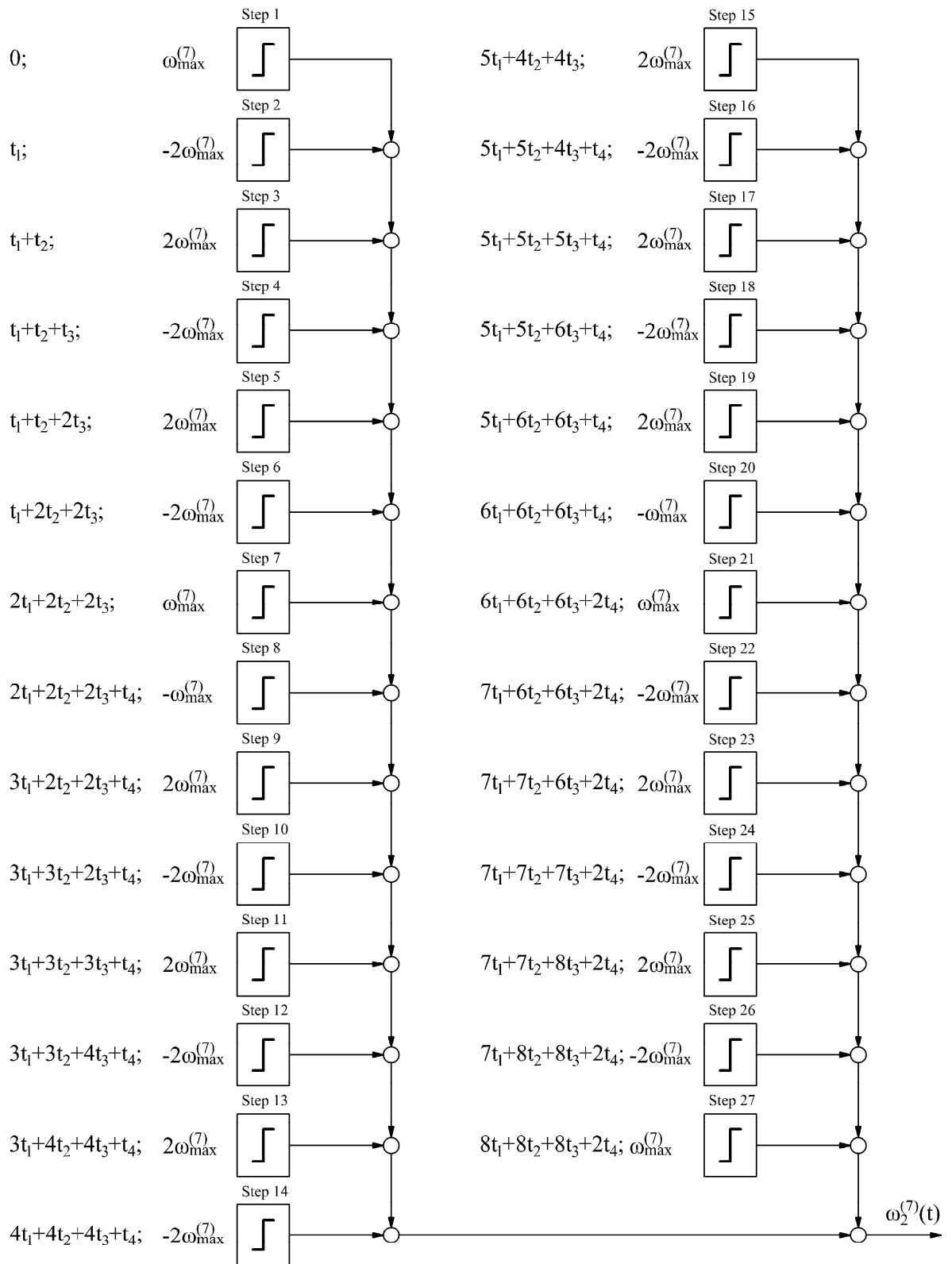


Рисунок 2

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 28 и step 29, алгебраический сумматор и восемь блоков произведения. Для введения начального значения угла поворота исполнительного органа механизма применяются step 30 и алгебраический сумматор.

Выводы

Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для средних 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 средних перемещений исполни-

тельного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом.

На промышленных предприятиях применяются механизмы, к которым предъявляются повышенные требования по точности отработки заданных диаграмм перемещения. Внедрение предложенного комплекса технических средств позволит значительно повысить точность перемещения их исполнительных органов.

Список литературы

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 средних перемещений исполнительного органа электропривода. - Научные труды КубГТУ, №1, 2014 год. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/3>.

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. Analiticheskie zavisimosti vyhodnoj koordinaty sistemy avtomaticheskogo regulirovanija polozhenija ot vremeni pri otrabotke tipovoj optimal'noj po bystrodejstvuju diagrammy dlja srednih peremeshhenij ispolnitelnogo organa jelektroprivoda. - Nauchnye trudy KubGTU, №1, 2014 god. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/3>.

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