

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММЫ ДЛЯ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ

Ю.П. ДОБРОБАБА, И.Б. КУЗЬМИНА

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: curious_girl_23@mail.ru*

В статье предлагается оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом. Для данной диаграммы определены аналитические зависимости для расчета параметров диаграммы, область существования и зависимость длительности цикла от угла поворота исполнительного органа механизма.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, исполнительный орган, большие перемещения.

Статья [1] посвящена разработке оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительных органов электроприводов переменного тока с упругим валопроводом. При разработке данной диаграммы не учитывались постоянные времени цепей ротора и статора, следовательно, использование математического обеспечения, предложенного в статье [1], для электропривода с упругим валопроводом приведет к возникновению ошибки при перемещении исполнительного органа. Это недопустимо в технологических процессах, где требуется не только точность позиционирования, но и строгое соблюдение заданной траектории перемещения исполнительного органа электропривода.

Поэтому разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом является актуальной.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом, состоящая из тридцати одного этапа. На первом, третьем, шестом, десятом, тринадцатом, пятнадцатом,

восемнадцатом, двадцать первом, двадцать третьем, двадцать пятом, двадцать седьмом и тридцатом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}^{(5)}$; на втором, пятом, седьмом, девятом, одиннадцатом, четырнадцатом, семнадцатом, девятнадцатом, двадцать втором, двадцать шестом, двадцать девятом и тридцать первом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(5)}$; на четвертом, восьмом, двенадцатом, шестнадцатом, двадцатом, двадцать четвертом и двадцать восьмом этапах пятая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна нулю. Длительность первого, третьего, пятого, седьмого, девятого, одиннадцатого, тринадцатого, пятнадцатого, семнадцатого, девятнадцатого, двадцать первого, двадцать третьего, двадцать пятого, двадцать седьмого, двадцать девятого и тридцать первого этапов равна t_1 ; длительность второго, шестого, десятого, четырнадцатого, восемнадцатого, двадцать второго, двадцать шестого и тридцатого этапов равна $2t_1$; длительность четвертого, двенадцатого, двадцатого и двадцать восьмого этапов равна t_2 ; длительность восьмого и двадцать четвертого этапов равна t_3 ; длительность шестнадцатого этапа равна t_4 . В моменты времени t_1 , $7t_1 + t_2$, $11t_1 + t_2 + t_3$, $13t_1 + 2t_2 + t_3$, $19t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$, $21t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4$, $25t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$, $31t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\text{max}}^{(4)}$; в моменты времени $3t_1$, $5t_1 + t_2$, $9t_1 + t_2 + t_3$, $15t_1 + 2t_2 + t_3$, $17t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$, $23t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4$, $27t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$, $29t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\text{max}}^{(4)}$; в моменты времени $4t_1 + t_2$, $8t_1 + t_2 + t_3$, $12t_1 + 2t_2 + t_3$, $16t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$,

$20t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4$, $24t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$, $28t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ четвертая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает нулевого значения. В моменты времени $2t_1$, $14t_1 + 2t_2 + t_3$, $22t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4$, $26t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения $\omega_{\max}^{(3)}$; в моменты времени $6t_1 + t_2$, $10t_1 + t_2 + t_3$, $18t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$, $30t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимального значения со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(3)}$; в моменты времени $4t_1 + t_2$, $8t_1 + t_2 + t_3$, $12t_1 + 2t_2 + t_3$, $16t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$, $20t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4$, $24t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$, $28t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает нулевого значения. В моменты времени $4t_1 + t_2$, $28t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения $\omega_{\text{дон}}^{(2)}$; в моменты времени $12t_1 + 2t_2 + t_3$, $20t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения со знаком «минус» $-\omega_{\text{дон}}^{(2)}$; в моменты времени $8t_1 + t_2 + t_3$, $16t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$, $24t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$ вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает нулевого значения. В моменты времени $8t_1 + t_2 + t_3$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения $\omega_{\text{дон}}^{(1)}$; в моменты времени $24t_1 + 3t_2 + 2t_3 + t_4$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения со знаком «минус» $-\omega_{\text{дон}}^{(1)}$; в момент времени $16t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$ первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода достигает нулевого значения. В момент времени $16t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4$ угловая

скорость исполнительного органа электропривода достигает максимально допустимого значения $\omega_{доп}$. За время цикла $T_{ц} = 32t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4$ исполнительный орган электропривода перемещается от начального значения угла поворота $\varphi_{нач}$ до конечного значения угла поворота $\varphi_{кон}$

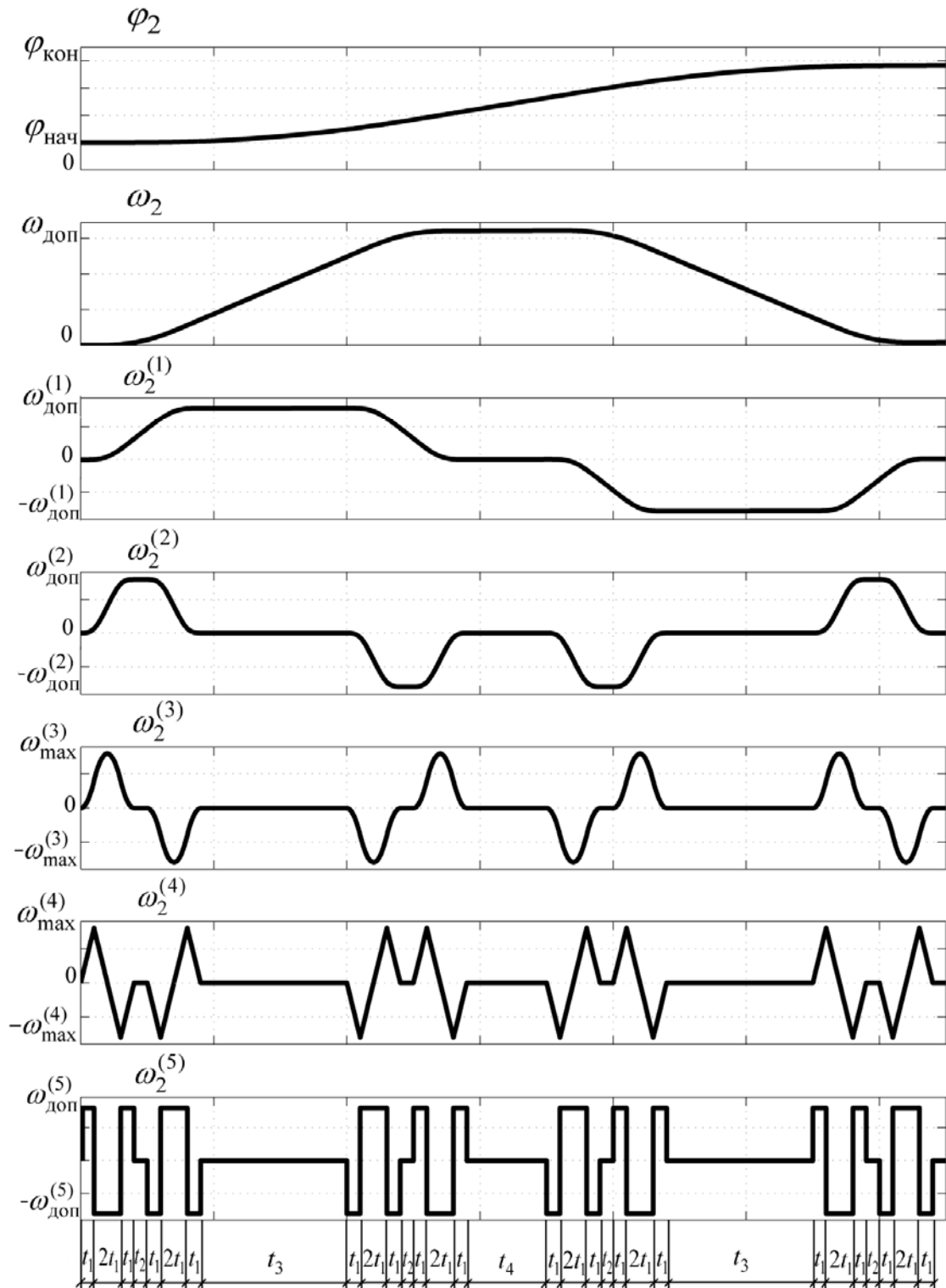


Рисунок 1

Для оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом справедливы следующие соотношения:

$$t_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{доп}}^{(5)}}};$$

$$t_2 = \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} - 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{доп}}^{(5)}}};$$

$$t_3 = \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} - 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{доп}}^{(5)}}};$$

$$t_4 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} - 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{доп}}^{(5)}}};$$

$$T_{\text{ц}} = 32t_1 + 4t_2 + 2t_3 + t_4,$$

$$\omega_{\text{max}}^{(4)} = \omega_{\text{доп}}^{(5)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{\text{max}}^{(3)} = \omega_{\text{доп}}^{(5)} \cdot t_1^2.$$

Оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом справедлива при выполнении условия:

$$\varphi_{\text{гр.3}} \leq (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}),$$

где
$$\varphi_{\text{гр.3}} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{\omega_{\text{доп}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}{\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{2\omega_{\text{доп}}^{(5)}}} \right].$$

Координаты электропривода имели следующие ограничения:

$$\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \quad \omega_{\text{доп}}^{(1)} = 80 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \quad \omega_{\text{доп}}^{(2)} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3};$$

$$\omega_{\text{доп}}^{(5)} = 80000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}. \text{ Электропривод отработал угол поворота исполнительного}$$

органа механизма $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 560 \text{ рад}$ за время $T_{\text{ц}} = 6,4 \text{ с}$. Остальные

параметры диаграммы: $t_1 = 0,1 \text{ с}; t_2 = 0,1 \text{ с}; t_3 = 1,1 \text{ с}; t_4 = 0,6 \text{ с};$

$$\omega_{\max}^{(4)} = 8000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \quad \omega_{\max}^{(3)} = 800 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}. \quad \text{Граничное значение угла поворота}$$

исполнительного органа механизма при таких ограничениях координат $\varphi_{\text{гр.3}} = 464 \text{ рад}.$

При радиусе приведения $r = 0,025 \text{ м}$ это соответствует следующим линейным скоростям и перемещениям исполнительного органа механизма.

$$\text{Ограничения координат электропривода: } V_{\text{доп}} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad V_{\text{доп}}^{(1)} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad V_{\text{доп}}^{(2)} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}^3};$$

$$V_{\text{доп}}^{(5)} = 2000 \frac{\text{м}}{\text{с}^6}. \quad \text{Электропривод отработал перемещение исполнительного}$$

органа механизма $(S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}}) = 14 \text{ м}$ за время $T_{\text{ц}} = 6,4 \text{ с}$. Остальные параметры

$$\text{диаграммы: } t_1 = 0,1 \text{ с}; \quad t_2 = 0,1 \text{ с}; \quad t_3 = 1,1 \text{ с}; \quad t_4 = 0,6 \text{ с}; \quad V_{\max}^{(4)} = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}^5};$$

$$V_{\max}^{(3)} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}^4}. \quad \text{Граничное значение перемещения исполнительного органа}$$

механизма при таких ограничениях координат $S_{\text{гр.3}} = 11,6 \text{ м}.$

На рисунке 2 для электропривода, с указанными выше параметрами, представлена зависимость длительности цикла от угла поворота исполнительного органа механизма (пунктирной линией показана зависимость для малых, небольших и средних перемещений, сплошной – для больших).

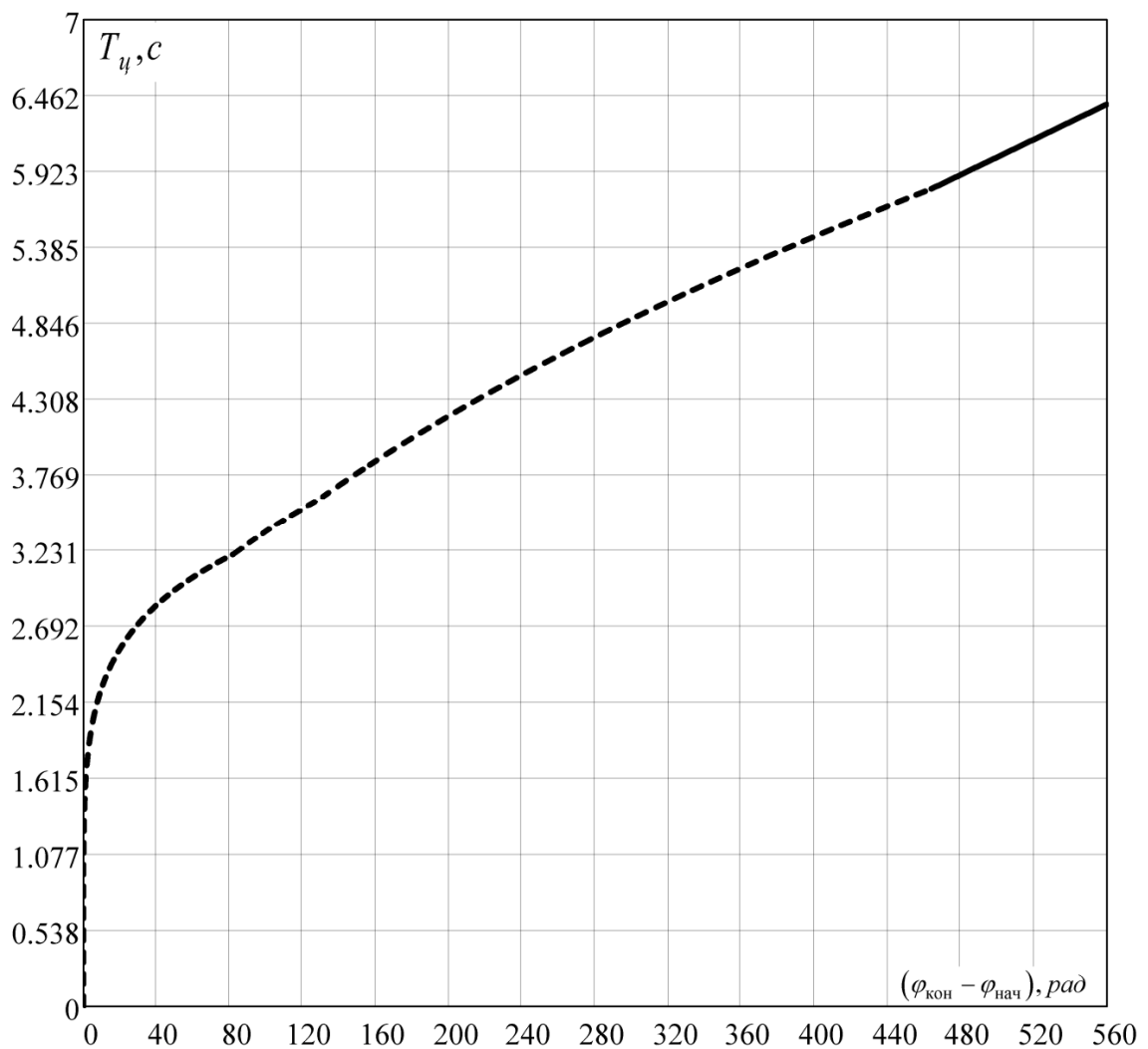


Рисунок 2

ВЫВОДЫ

Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом. Определена её область существования.

При внедрении данных диаграмм для больших перемещений исполнительного органа прецизионного электропривода переменного тока с упругим валопроводом повысится точность воспроизведения исполнительным органом механизма заданной траектории движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Добробаба Ю.П., Левченко Д.К.** Разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом // Научный журнал КубГАУ № 95(01), 2014. Ссылка на интернет-ресурс: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/50.pdf>.

REFERENCES

1. Dobrobaba Yu.P., Levchenko D.K., *Scientific Journal KubGAU* № 95(01), 2014. Link to online resource: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/50.pdf>.

*DEVELOPMENT-OPTIMAL DIAGRAM FOR LARGE DISPLACEMENTS
EXECUTIVE BODY PRECISION ELECTRIC AC ELASTIC SHAFTING*

YU.P. DOBROBABA, I.B. KUZMINA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: curious_girl_23@mail.ru*

In this article the average speed of the actuator displacement diagrams of precision AC actuator with elastic shafting described. The parameters and conditions for the existence cycle length depending on the angle of rotation of the drive unit are determined.

Key words: optimum speed of diagrams, electric drive actuator, big movement.