

УДК 62.83.52:62.503.56

UDC62.83.52:62.503.56

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММЫ ДЛЯ СРЕДНИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ**DEVELOPMENT OF OPTIMUM SPEED DIAGRAMS FOR A MEDIUM MOVEMENTS OF ACTUATING DEVICE OF AC ELECTRIC DRIVE WITH ELASTIC SHAFTING**

Добробаба Юрий Петрович
к.т.н., профессор
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Dobrobaba Yurii Petrovitch
Cand. Tech. Sci., professor
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Левченко Денис Константинович
студент
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Levchenko Denis Konstantinovich
student
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

В статье описана оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом. Для данной диаграммы определены параметры, условия существования и зависимость длительности цикла от угла поворота исполнительного органа механизма.

In this article optimum speed diagram of medium moving actuating device of AC electric drive with elastic shafting is described. Parameters, conditions of existence and dependence of the duration of the cycle from the angle of rotation of actuating device are defined.

Ключевые слова: ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН, СРЕДНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Keywords: OPTIMUM SPEED OF DIAGRAMS ELECTRIC DRIVE ACTUATOR, MEDIUM MOVEMENTS

Статья [1] посвящена разработке оптимальной по быстродействию диаграммы для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с идеальным валопроводом (в статье не учитывается влияние упругости валопровода). У реальных редукторных электроприводов валопроводы обладают упругостью. При использовании оптимальной по быстродействию диаграммы для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока, разработанной в статье [1], для реального электропривода с упругим валопроводом появится несанкционированное движение (уменьшится точность при воспроизведении исполнительным органом механизма заданной траектории движения).

Поэтому весьма актуальной является задача по разработке оптимальной по быстродействию диаграммы для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом.

Математическая модель силовой части электропривода переменного тока с упругим валопроводом [2]:

$$M(t) = M_y(t) + J_1 w_1^{(1)}(t);$$

$$M_y(t) = M_{c0} + J_2 w_2^{(1)}(t);$$

$$j_1^{(1)}(t) = w_1(t);$$

$$j_2^{(1)}(t) = w_2(t);$$

$$M_y(t) = C_y \cdot [j_1(t) - j_2(t)],$$

где M – момент электропривода, $H \cdot м$;

M_y – упругий момент, $H \cdot м$;

M_{c0} – постоянный по величине момент сопротивления, $H \cdot м$;

w_1 – угловая скорость исполнительного органа электродвигателя, $\frac{рад}{с}$;

w_2 – угловая скорость исполнительного органа механизма, $\frac{рад}{с}$;

j_1 – угол поворота исполнительного органа электродвигателя, $рад$;

j_2 – угол поворота исполнительного органа механизма, $рад$;

J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, $кг \cdot м^2$

J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, $кг \cdot м^2$;

C_y – жесткость валопровода, $\frac{H \cdot м}{рад}$.

Начальные значения контролируемых координат:

$$M(0) = M_{c0};$$

$$M_y(0) = M_{c0};$$

$$w_1^{(1)}(0) = 0;$$

$$w_2^{(1)}(0) = 0;$$

$$w_1(0) = 0;$$

$$w_2(0) = 0;$$

$$j_1(0) = j_{\text{нач}} + \frac{1}{C_y} \cdot M_{c0};$$

$$j_2(0) = j_{\text{нач}},$$

где $j_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа механизма, *рад*.

Конечные значения контролируемых координат:

$$M(T_{\text{ц}}) = M_{c0};$$

$$M_y(T_{\text{ц}}) = M_{c0};$$

$$w_1^{(1)}(T_{\text{ц}}) = 0;$$

$$w_2^{(1)}(T_{\text{ц}}) = 0;$$

$$w_1(T_{\text{ц}}) = 0;$$

$$w_2(T_{\text{ц}}) = 0;$$

$$j_1(T_{\text{ц}}) = j_{\text{кон}} + \frac{1}{C_y} \cdot M_{c0};$$

$$j_2(T_{\text{ц}}) = j_{\text{кон}},$$

где $j_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа механизма, *рад*.

Оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим

валопроводом, состоящая из четырнадцати этапов, приведена на рисунках 1 ÷ 4. На рисунках 1 ÷ 4 приняты обозначения:

w_{\max} – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{rad}{c}$;

$w_{\text{доп}}^{(1)}$ – максимально допустимое значение первой производной угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{rad}{c^2}$;

$w_{\text{доп}}^{(2)}$ – максимально допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{rad}{c^3}$;

$w_{\max}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{rad}{c^4}$;

M_{\max} – максимальное значение момента электропривода, Н·м;

M_{\min} – минимальное значение момента электропривода, Н·м;

$M_{y\max}$ – максимальное значение упругого момента, Н·м;

$M_{y\min}$ – минимальное значение упругого момента, Н·м;

$M_{y\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной упругого момента, $\frac{H \cdot m}{c}$;

$M_{y\max}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной упругого момента, $\frac{H \cdot m}{c^2}$;

t_1 – длительность первого, третьего, пятого, седьмого, восьмого, десятого, двенадцатого и четырнадцатого этапов, с;

t_2 – длительность второго, шестого, девятого и тринадцатого этапов, с;

t_3 – длительность четвертого и одиннадцатого этапов, с.

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

$$t_1 = \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}};$$

$$t_2 = \frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} - \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}};$$

$$t_3 = \sqrt{\frac{j_{\text{кон}} - j_{\text{нач}}}{W_{\partial on}^{(1)}} + \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} + \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}} \right]^2} - \frac{3}{2} \cdot \left[\frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} + \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}} \right];$$

$$T_{\text{ц}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{j_{\text{кон}} - j_{\text{нач}}}{W_{\partial on}^{(1)}} + \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} + \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}} \right]^2} + \left[\frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} + \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}} \right];$$

$$W_{\max} = \omega_{\partial on}^{(1)} \cdot \left\{ \sqrt{\frac{j_{\text{кон}} - j_{\text{нач}}}{W_{\partial on}^{(1)}} + \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} + \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}} \right]^2} - \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{W_{\partial on}^{(1)}}{W_{\partial on}^{(2)}} + \frac{W_{\partial on}^{(2)}}{W_{\max}^{(3)}} \right] \right\};$$

$$M_{\max} = M_{\text{с0}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\partial on}^{(1)};$$

$$M_{\min} = M_{\text{с0}} - (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\partial on}^{(1)};$$

$$M_{y \max} = M_{\text{с0}} + J_2 \cdot \omega_{\partial on}^{(1)};$$

$$M_{y \min} = M_{\text{с0}} - J_2 \cdot \omega_{\partial on}^{(1)},$$

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

Оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом справедлива при выполнении условий:

$$j_{\text{гр.2}} \leq (j_{\text{кон}} - j_{\text{нач}}) \leq j_{\text{гр.3}},$$

$$\text{где } j_{\text{гр.2}} = 2w_{\text{доп}}^{(1)} \cdot \left[\frac{w_{\text{доп}}^{(1)}}{w_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{w_{\text{доп}}^{(2)}}{w_{\text{max}}^{(3)}} \right]^2,$$

$$j_{\text{гр.3}} = w_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{w_{\text{доп}}}{w_{\text{доп}}^{(1)}} + \frac{w_{\text{доп}}^{(1)}}{w_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{w_{\text{доп}}^{(2)}}{w_{\text{max}}^{(3)}} \right],$$

где $w_{\text{доп}}$ – максимально допустимое значение угловой скорости исполнительного органа механизма, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

На рисунках 1 ÷ 4 приведена оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом, имеющего следующие параметры:

$$J_1 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad J_2 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad C_y = 100 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

Момент сопротивления электропривода $M_{c0} = 2,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Координаты электропривода

$$\text{имели следующие ограничения: } w_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \quad w_{\text{доп}}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$w_{\text{доп}}^{(2)} = 500 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad w_{\text{max}}^{(3)} = 10\,000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}.$$

Электропривод отработал угол поворота исполнительного органа механизма $(j_{\text{кон}} - j_{\text{нач}}) = 37,5 \text{ рад}$ за время

$$T_{\text{ц}} = 1,5 \text{ с}. \quad \text{Остальные параметры диаграммы: } t_1 = 0,05 \text{ с}; \quad t_2 = 0,15 \text{ с};$$

$$t_3 = 0,25 \text{ с}; \quad w_{\text{max}} = 50 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \quad M_{\text{max}} = 7,5 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{min}} = -2,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{y \text{ max}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{y \text{ min}} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Граничные значения угла поворота исполнительного органа механизма при таких ограничениях его координат $j_{\text{гр.2}} = 12,5 \text{ рад}$. и

$$j_{\text{гр.3}} = 296 \text{ рад}.$$

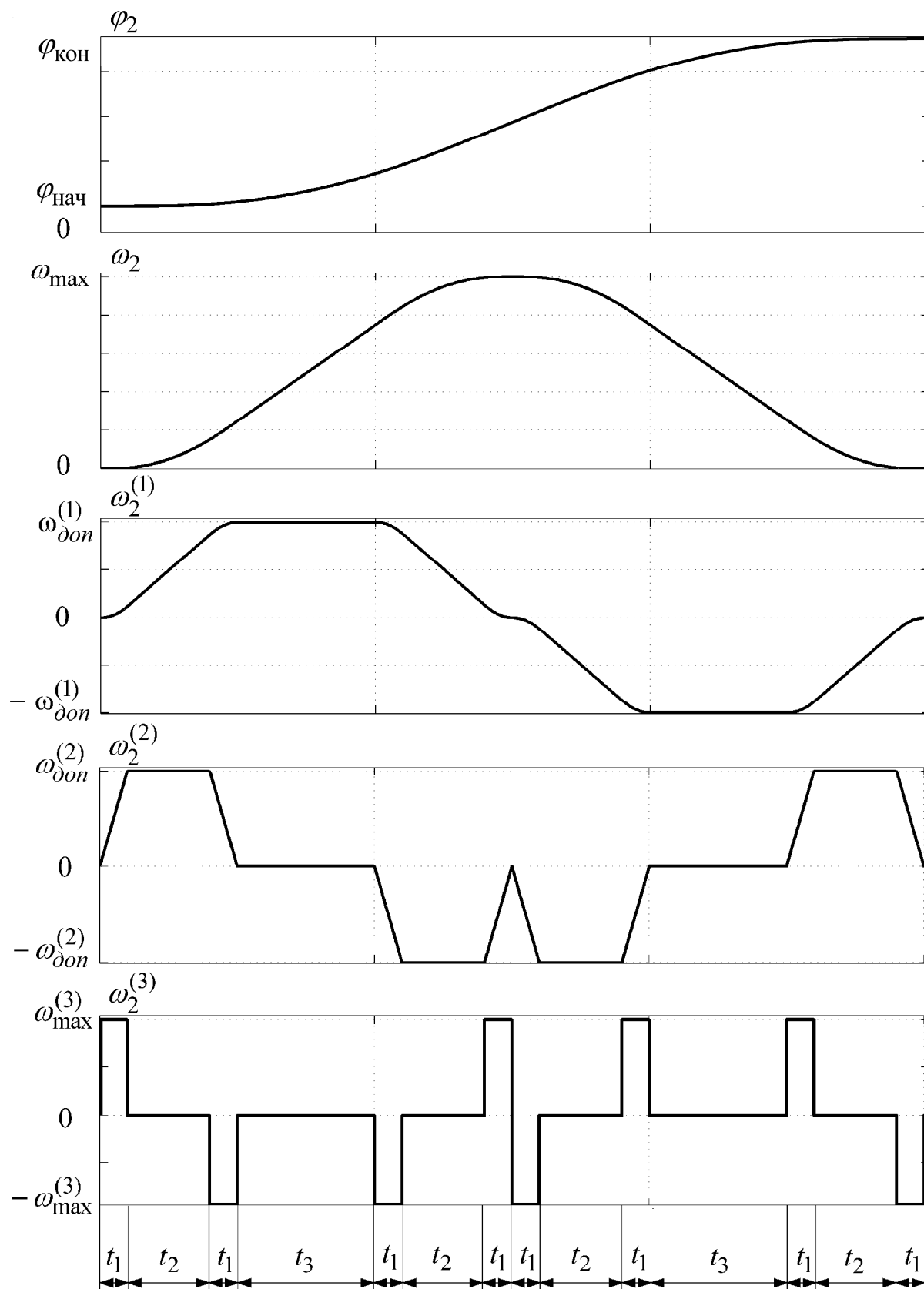


Рисунок 1

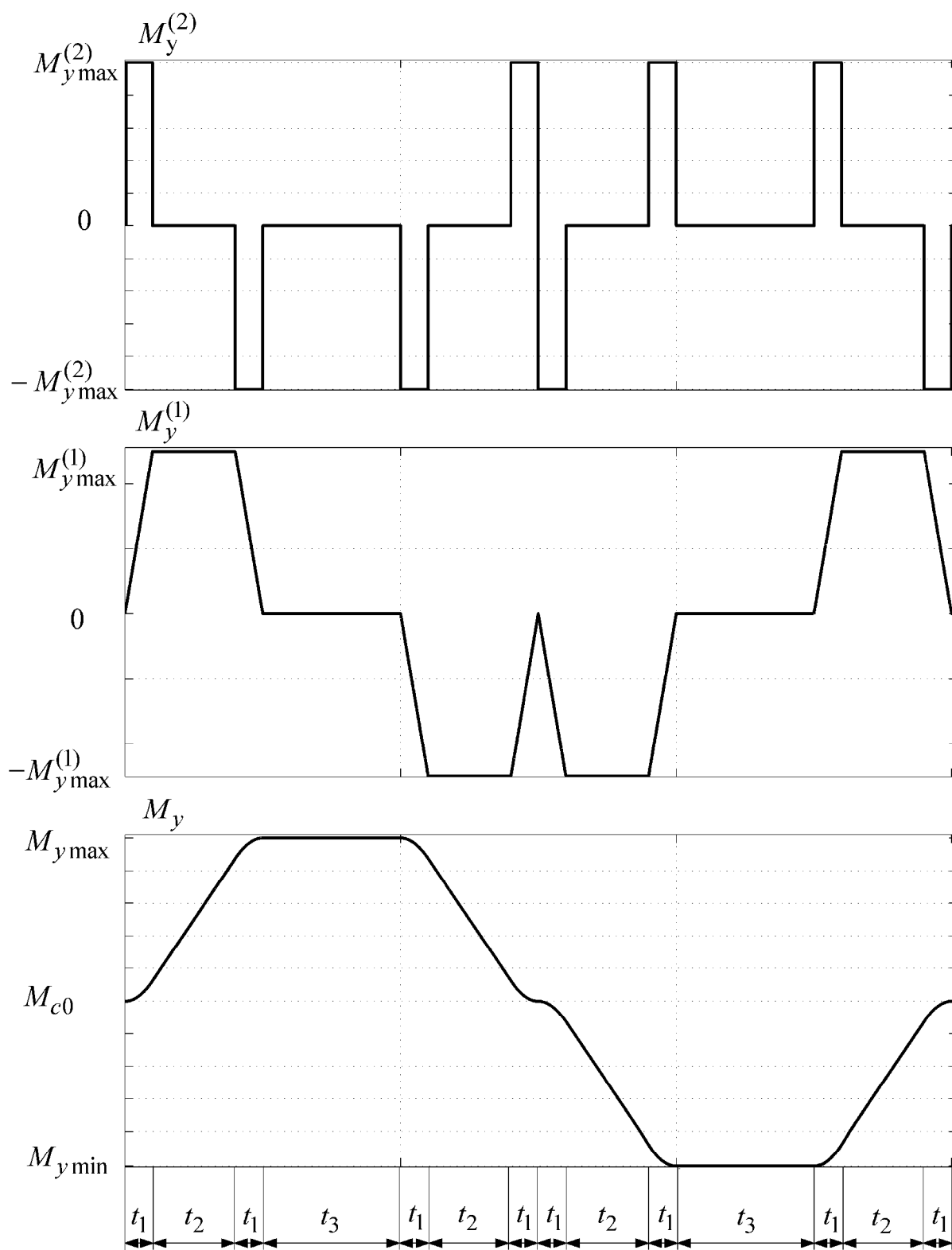


Рисунок 2

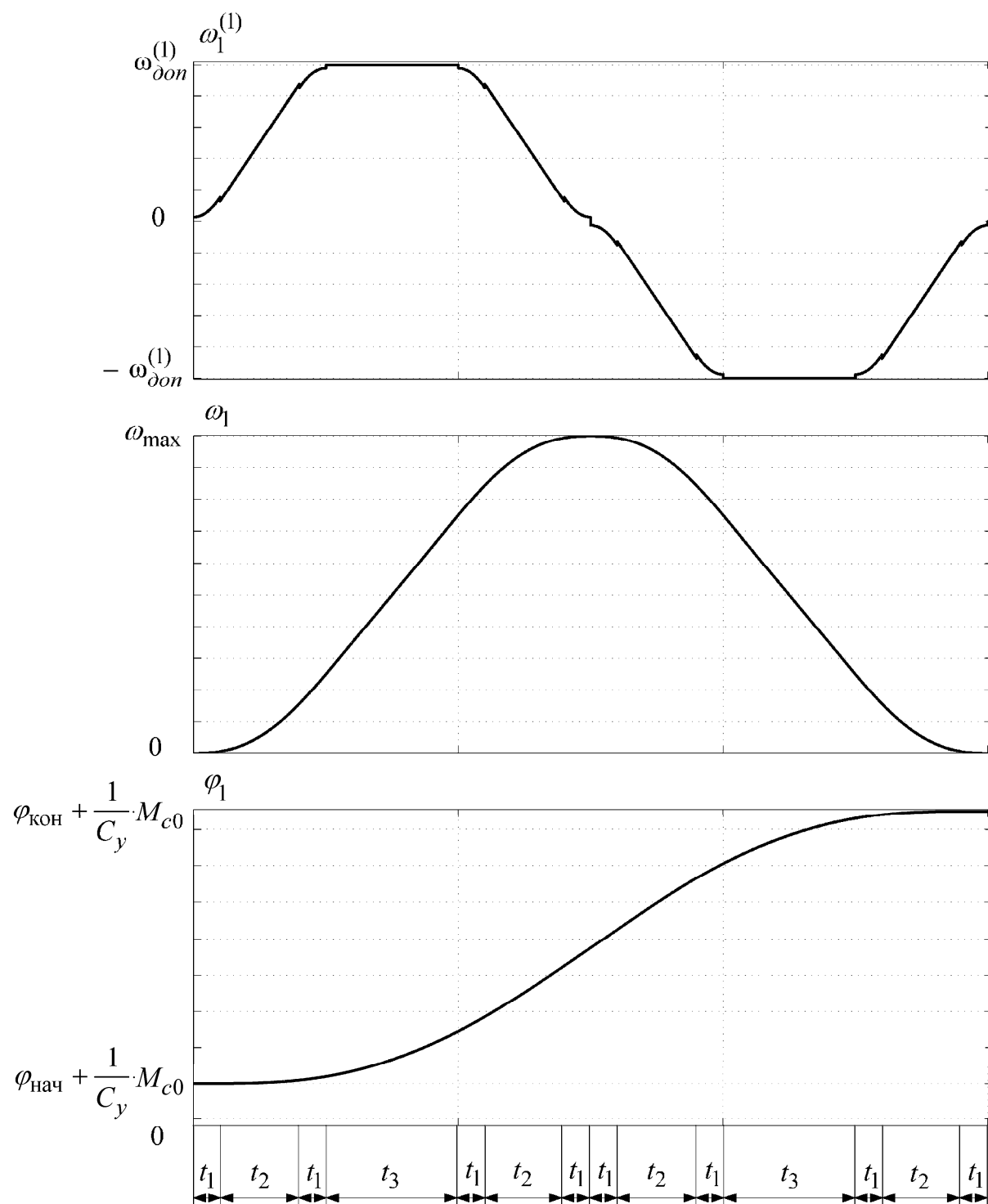


Рисунок 3

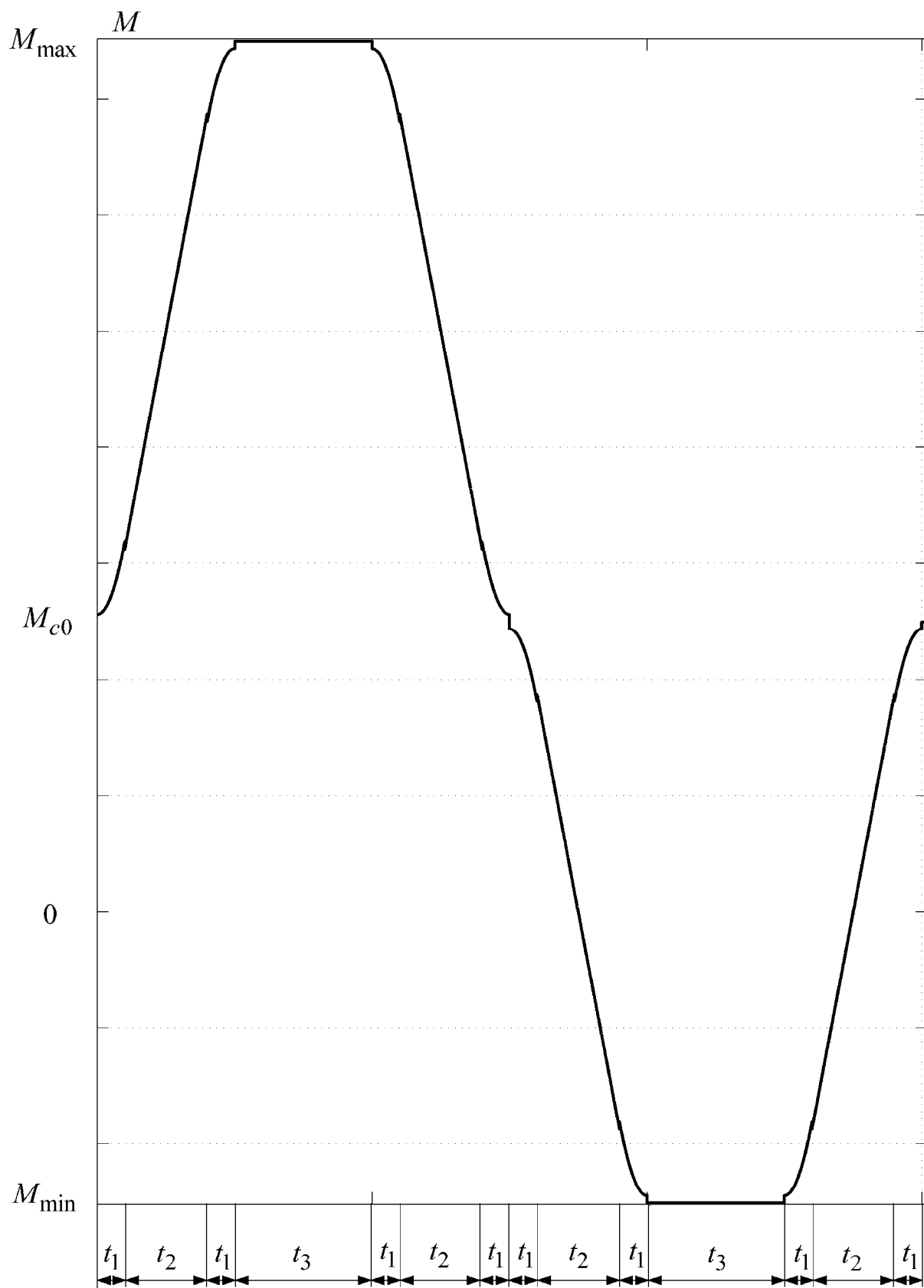


Рисунок 4

На рисунке 5 для электропривода, с указанными выше параметрами, представлена зависимость длительности цикла от угла поворота исполнительного органа механизма.

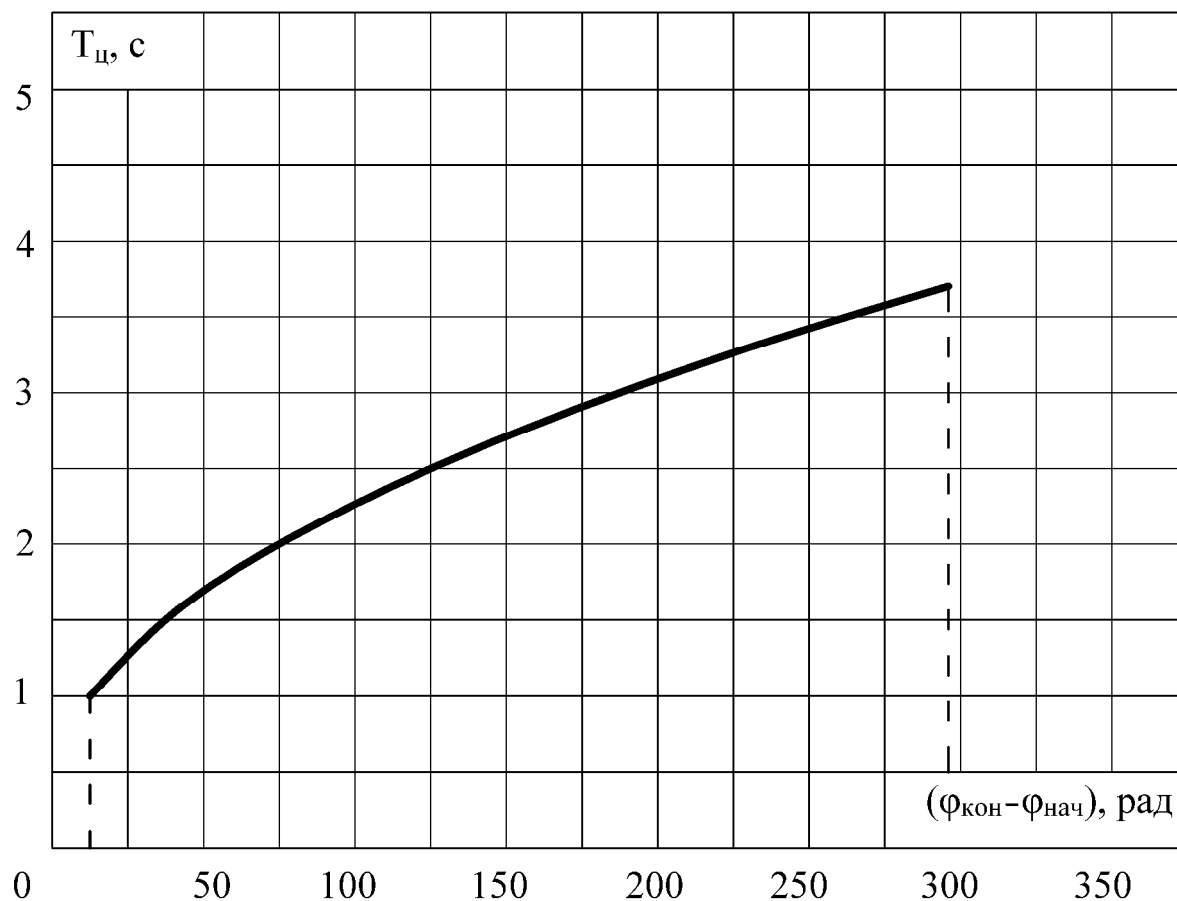


Рисунок 5

Выводы

Предлагается оптимальная по быстродействию диаграмма для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом, состоящая из четырнадцати этапов. Определены её параметры и область её существования.

При внедрении оптимальной по быстродействию диаграммы для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока с упругим валопроводом без дополнительных капитальных затрат повысится точность воспроизведения исполнительным органом механизма заданной траектории движения.

Список литературы

1. Добробаба Ю.П., Шпилев А.А., Мурлина Е.А. Разработка оптимальной по быстродействию диаграммы для средних перемещений электроприводов переменного тока /Известия вузов. Пищевая технология. – 2010.-№ 2-3. – с. 95-97.
2. Добробаба Ю.П. Электрический привод. Учеб.пособие /Кубан. гос. технол. ун-т. Краснодар: Изд-во ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2013. – 302 с.

References

1. Dobrobaba Ju.P., Shpilev A.A., Murlina E.A. Razrabotka optimal'noj po bystrodeystviyu diagrammy dlja sredniyh peremeshhenij jelektroprivodov peremennogo toka /Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. – 2010.-№ 2-3. – s. 95-97. (In Russian)
2. Dobrobaba Ju.P. Jelektricheskij privod. Ucheb.posobie /Kuban. gos. tehnol. un-t. Krasnodar: Izd-vo FGBOU VPO «KubGTU», 2013. – 302 s. (In Russian)