

УДК 62.83.52:62.503.56

## ДИАГРАММА ДЛЯ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ДВУХМАССОВОЙ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

### DIAGRAM FOR LARGE MOVEMENTS OF EXECUTIVE BODY OF THE TWO-MASS ELASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEM

#### Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,  
профессор кафедры  
электроснабжения промышленных предприятий,  
Кубанский государственный  
технологический университет

#### Ульрих Ренат Викторович

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет

#### Мильдзихов Георгий Павлович

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет

**Аннотация.** В данной работе предлагается оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы с ограничениями по току якорной цепи электродвигателя и скорости. При ее разработке не учитывалось влияние индуктивности якорной цепи электродвигателя постоянного тока.

**Ключевые слова:** двухмассовая упругая электромеханическая система, большие перемещения.

#### Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,  
Associate Professor,  
Professor of department  
of power supply industrial enterprises,  
Kuban state technological university

#### Ulrikh Renat Viktorovich

Student,  
Kuban state technological university

#### Mildzikhov Georgy Pavlovich

Student,  
Kuban state technological university

**Annotation.** In this paper, we propose an optimal speed diagram for small displacements of the executive body of a two-mass elastic electromechanical system with restrictions on the current of the electric motor anchor chain and speed. During its development, the influence of the inductance of the anchor circuit of a DC motor was not taken into account.

**Keywords:** two-mass elastic electromechanical system, large displacements.

На рисунках 1–3 приведена диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы. Для данной диаграммы перемещения исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы справедливы следующие десять уравнений:

$$C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(1)}; \quad (1)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1; \quad (2)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \omega_{\text{max}}^{(2)} \cdot t_1 = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2; \quad (3)$$

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_2); \quad (4)$$

$$-C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{min}}^{(1)}; \quad (5)$$

$$\omega_{\text{max}^*}^{(2)} = \omega_{\text{max}^*}^{(3)} \cdot t_1; \quad (6)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\omega_{\text{max}^*}^{(2)} \cdot t_1 = -\omega_{\text{max}^*}^{(3)} \cdot t_1^2; \quad (7)$$

$$\omega_{\text{доп}} = -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_3); \quad (8)$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{доп}} \cdot (4t_1 + \frac{1}{2}t_2 + \frac{1}{2}t_3 + t_4); \quad (9)$$

$$T_{\text{ц}} = 8t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (10)$$

где  $C_M$  – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В · с;

- $I_{\text{доп}}$  – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;  
 $M_{\text{со}}$  – момент сопротивления электропривода, Н · м;  
 $J_1$  – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м<sup>2</sup>;  
 $J_2$  – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м<sup>2</sup>;  
 $\omega_{\text{max}}^{(1)}$  – максимальное значение первой производной скорости,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$  ;  
 $\omega_{\text{max}}^{(2)}$  – максимальное значение второй производной скорости при разгоне,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$  ;  
 $\omega_{\text{max}}^{(3)}$  – максимальное значение третьей производной скорости при разгоне,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$  ;  
 $\omega_{\text{доп}}$  – допустимое значение скорости,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$  ;  
 $\omega_{\text{min}}^{(1)}$  – минимальное значение первой производной скорости,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$  ;  
 $\omega_{\text{max}^*}^{(2)}$  – максимальное значение второй производной скорости при торможении,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$  ;  
 $\omega_{\text{max}^*}^{(3)}$  – максимальное значение третьей производной скорости при торможении,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$  ;  
 $\varphi_{\text{нач}}$  – начальное значение угла поворота исполнительного органа двигателя, рад;  
 $\varphi_{\text{кон}}$  – конечное значение угла поворота исполнительного органа двигателя, рад;  
 $t_1$  – длительность первого, второго, четвёртого, пятого, седьмого, восьмого, десятого и одиннадцатого этапов, с;  
 $t_2$  – длительность третьего этапа, с;  
 $t_3$  – длительность девятого этапа, с;  
 $t_4$  – длительность шестого этапа, с;  
 $T_{\text{ц}}$  – длительность цикла, с.

Из уравнения (1):

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (11)$$

Из уравнения (3) и зависимости (11):

$$\omega_{\text{max}}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (12)$$

Из уравнения (4) и зависимости (11):

$$t_2 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - 2t_1. \quad (13)$$

Из уравнения (5):

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = - \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (14)$$

Из уравнения (7) и зависимости (14):

$$\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (15)$$

Из уравнения (8) и зависимости (14):

$$t_3 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} - 2t_1. \quad (16)$$

Из уравнений (9), (13) и зависимости (16):

$$t_4 = \frac{(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{\omega_{\text{доп}}} - 2t_1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}. \quad (17)$$

Если  $t_4 = 0$ , то  $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$ .

При этом:

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \frac{1}{2} \omega_{\text{доп}} \cdot \left[ 4t_1 + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} \right]. \quad (18)$$

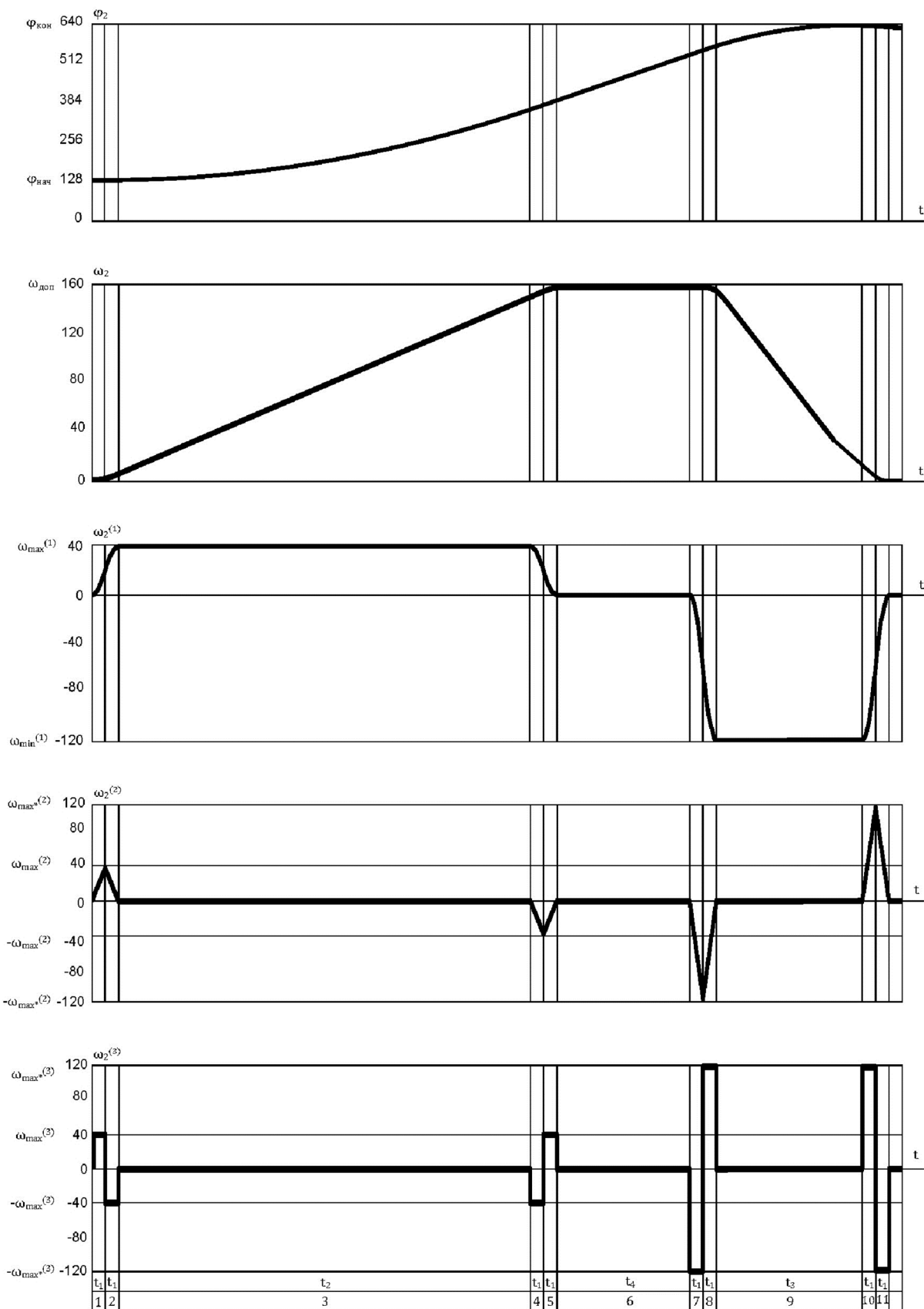


Рисунок 1

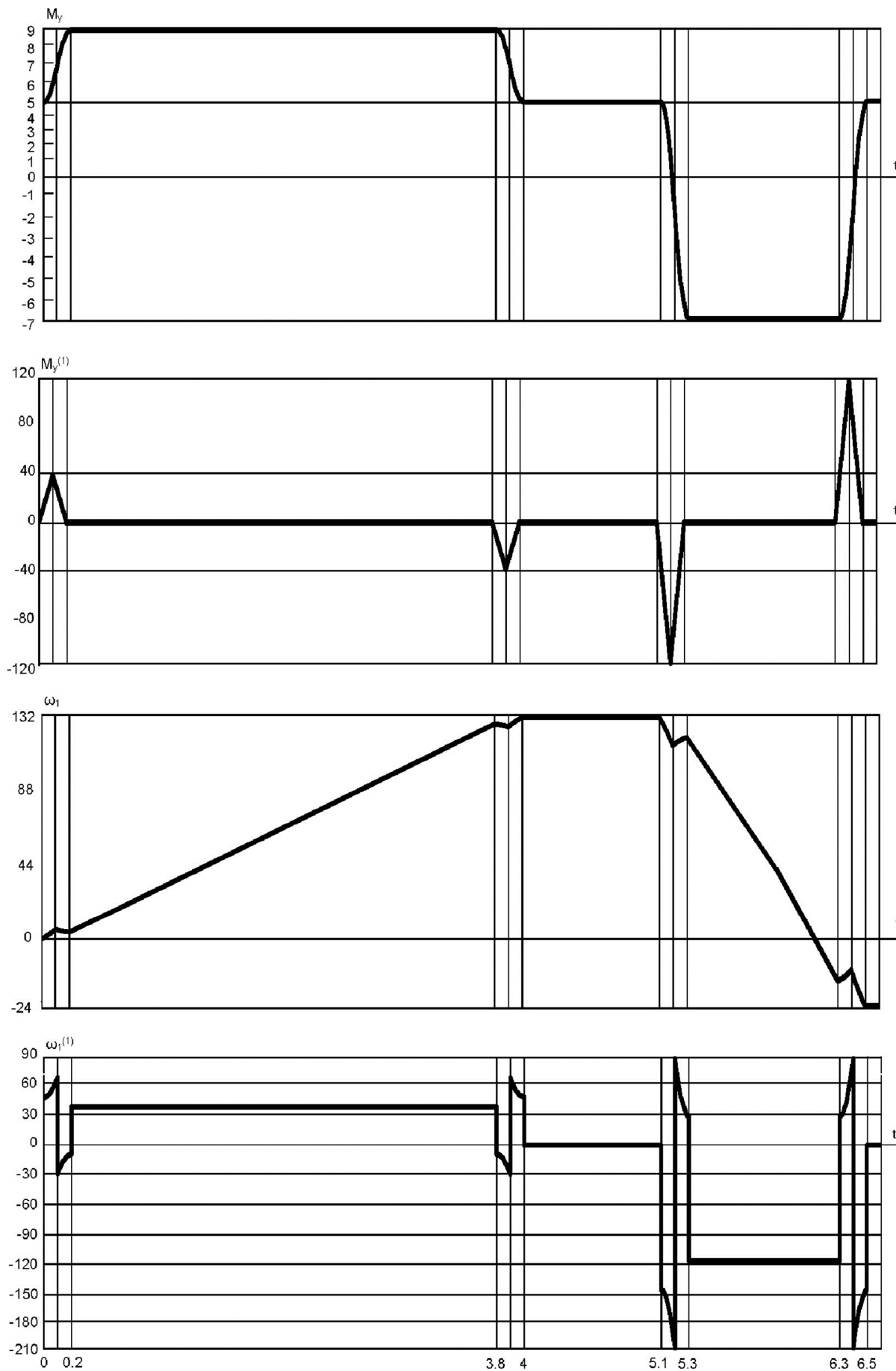


Рисунок 2

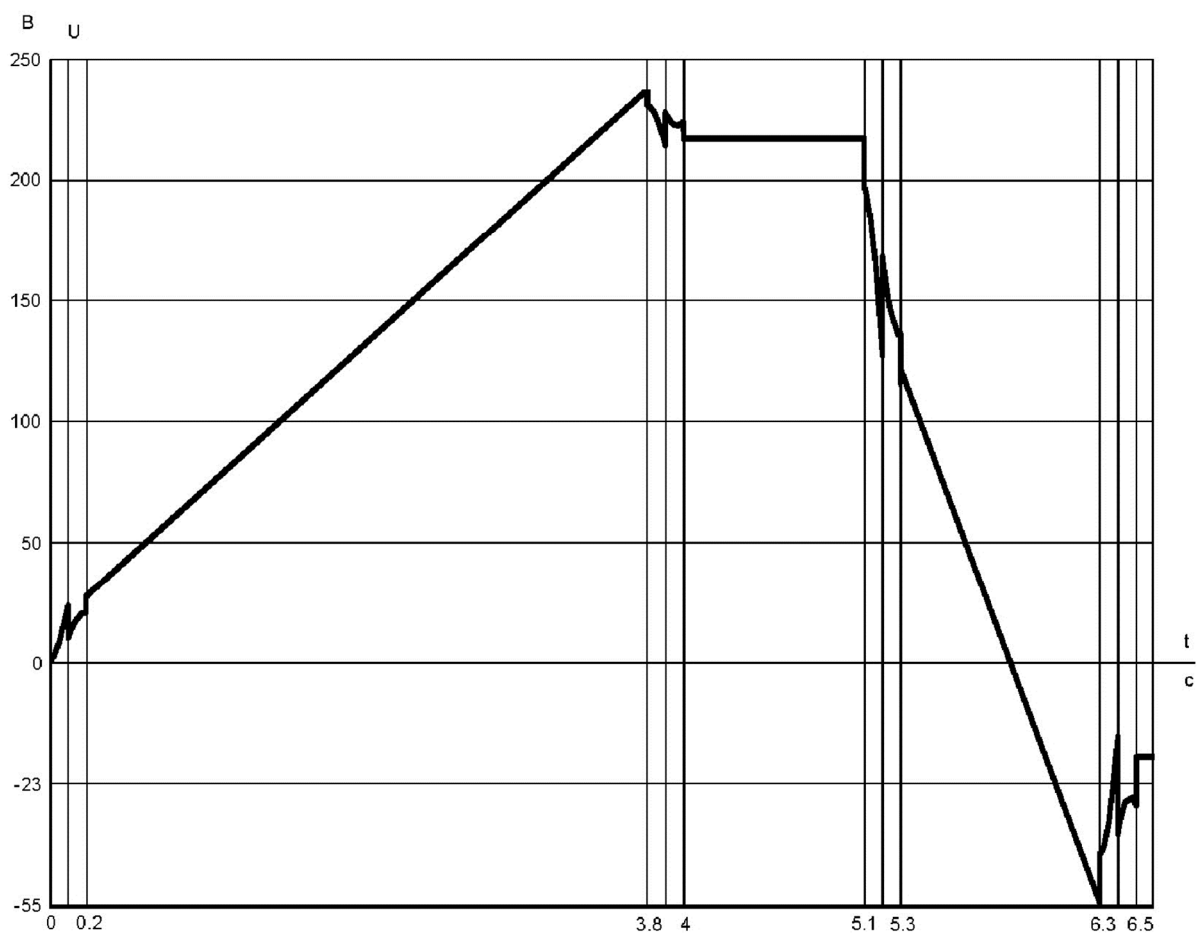
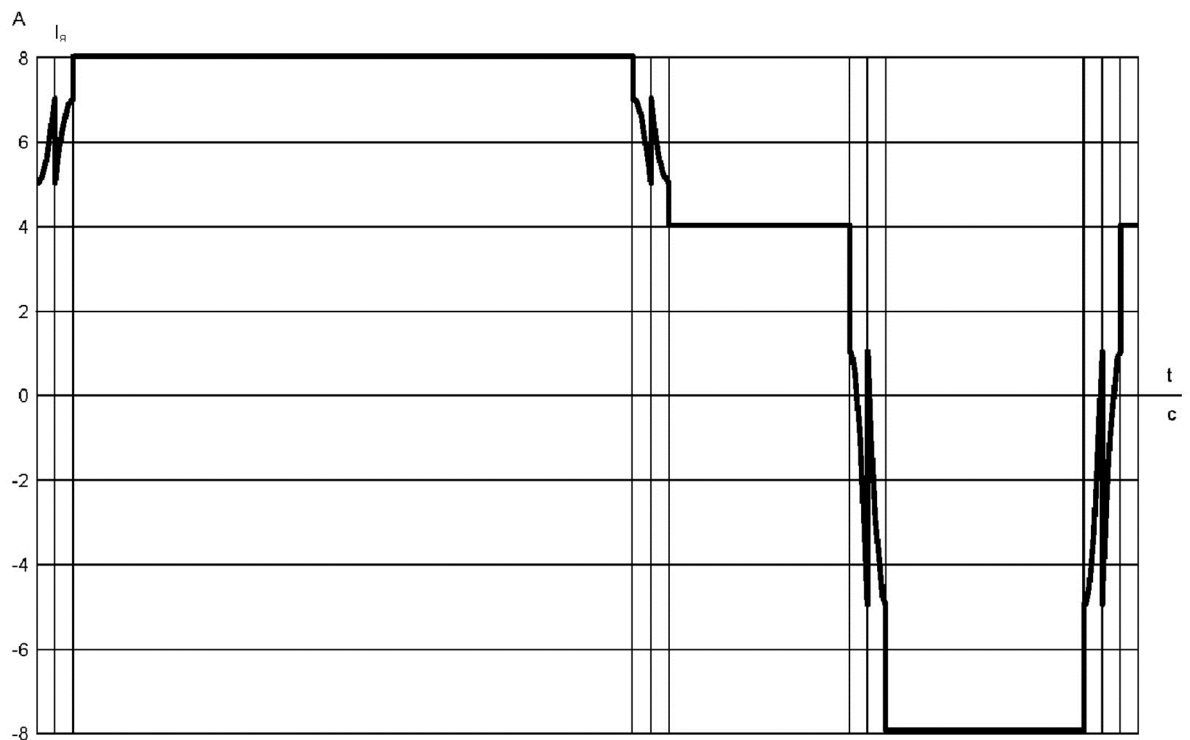


Рисунок 3

В данной работе рассмотрена двухмассовая упругая электромеханическая система имеющая следующие параметры:

$C_e = 1,25 \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$  – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электродвигателя и его ЭДС,  $\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$ ;

$C_M = 1,25 \text{ В}\cdot\text{с}$ ;

$R_{\text{Я}} = 5 \text{ Ом}$  – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;

$J_1 = 0,0025 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_2 = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$C_y = 8 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$  – жесткость валопровода,  $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$ .

На контролируемые координаты двухмассовой упругой электромеханической системы накладывались следующие ограничения:

$U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$  – допустимое напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$ ;

$\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

Момент сопротивления имел следующее значение:

$M_{\text{со}} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Граничное значение угла поворота исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы равно:

$\varphi_{\text{гр.1}} = 458 \frac{2}{3} \text{ рад}$ ,

при этом:

$t_1 = 0,1 \text{ с}$ ;  $t_2 = 3,8 \text{ с}$ ;  $t_3 = 1 \frac{2}{15} \text{ с}$ ;  $t_4 = 0 \text{ с}$ ;  $T_{\text{ц}} = 5 \frac{11}{15} \text{ с}$ ;

$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;  $\omega_{\text{max}}^{(3)} = 4000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$ ;  $\omega_{\text{min}}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;  $\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = 12000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$ .

Приведенная на рисунках 1–3 диаграммы для больших перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы имеет следующие параметры:

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 640 \text{ рад}$ ;

$t_1 = 0,1 \text{ с}$ ;  $t_2 = 3,8 \text{ с}$ ;  $t_3 = 1 \frac{2}{15} \text{ с}$ ;  $t_4 = 1 \frac{2}{15} \text{ с}$ ;  $T_{\text{ц}} = 3 \frac{1}{15} \text{ с}$ ;

$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;  $\omega_{\text{max}}^{(3)} = 4000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$ ;  $\omega_{\text{min}}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;  $\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = 12000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$ .

## Выводы

Принятое в работе допущение о не учете влияния индуктивности якорной цепи электродвигателя, позволило получить аналитические зависимости для определения параметров оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы и.

Следует иметь в виду, что при реализации данной диаграммы из-за не учета влияния индуктивности якорной цепи появится несанкционированное движение исполнительного органа.

## Литература:

1. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод : монография / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГУО ВПО «КубГТУ», 2009. – 178 с.

## References:

1. Dobrobaba Yu.P., Litash B.S. Quasi-optimal software-controlled positional electric drive : monograph / Kuban. state technol. un-t. – Krasnodar : Publ. GUO VPO «KubGTU», 2009. – 178 p.